

英 文	和 訳
IAEA Safety Standards for protecting people and the environment	I A E A 安全基準
Volcanic Hazards in Site Evaluation for Nuclear Installations	人と環境の保護のために 原子力発電所の立地評価における 火山ハザード
No. SSG-21  IAEA International Atomic Energy Agency	I A E A 安全指針 SSG-21 ※ IAEA 安全基準の和訳。和訳は債務者による。

CONTENTS

1. INTRODUCTION	1
Background (1.1-1.5)	1
Objective (1.6-1.8)	2
Scope (1.9-1.19)	3
Structure (1.20)	6
2. OVERVIEW OF VOLCANIC HAZARD ASSESSMENT	7
Nature of volcanic phenomena and volcanic hazards (2.1-2.10)	7
Geological record and data uncertainty (2.11-2.14)	12
Alternative conceptual models of volcanism (2.15-2.18)	13
Volcano capability (2.19)	14
Deterministic and probabilistic approaches (2.20-2.22)	14
3. GENERAL RECOMMENDATIONS	15
Introduction (3.1-3.4)	15
General procedure (3.5-3.10)	17
4. NECESSARY INFORMATION AND INVESTIGATIONS (DATABASE)	20
Overview (4.1-4.3)	20
Information necessary for the initial assessment (Stage 1) (4.4-4.8)	21
Information necessary for hazard screening and site specific hazard assessment (Stages 2-4) (4.9-4.37)	23
5. SCREENING OF VOLCANIC HAZARDS (5.1)	31
Stage 1: Initial assessment (5.2-5.4)	31
Stage 2: Characterization of potential sources of future volcanic activity (5.5-5.15)	32
Stage 3: Screening of volcanic hazards (5.16-5.23)	34

内容

1. 序論	1
背景 (1.1-1.5)	1
目的 (1.6-1.8)	2
適用範囲 (1.9-1.19)	3
構成 (1.20)	6
2. 火山ハザード評価の概略	7
火山現象と火山ハザードの性質 (2.1-2.10)	7
地質学的記録とデータの不確実性 (2.11-2.14)	12
火山活動の代替概念モデル (2.15-2.18)	13
火山の能力 (2.19)	14
決定論的・確率論的手法 (2.20-2.22)	14
3. 一般推奨事項	15
序論 (3.1-3.4)	15
基本手順 (3.5-3.10)	17
4. 必要な情報と調査 (データベース)	20
概要 (4.1-4.3)	20
初期評価に必要な情報 (ステージ1) (4.4-4.8)	21
ハザードスクリーニングとサイト特定ハザード評価で必要となる情報 (ステージ2～4) (4.9-4.37)	23
5. 火山ハザードのスクリーニング (5.1)	31
ステージ1: 初期評価 (5.2-5.4)	31
ステージ2: 潜在的火山源の将来の火山活動の特徴付け (5.5-5.15)	32
ステージ3: 火山ハザードのスクリーニング (5.16-5.23)	34

英 文	和 訳
6. SITE SPECIFIC VOLCANIC HAZARD ASSESSMENT (6.1-6.5) . . .	37
Tephra fallout (6.6-6.10)	37
Pyroclastic density currents: Pyroclastic flows, surges and blasts (6.11-6.17)	38
Lava flows (6.18-6.22)	39
Debris avalanches, landslides and slope failures (6.23-6.27)	42
Volcanic debris flows, lahars and floods (6.28-6.32)	43
Opening of new vents (6.33-6.37)	45
Volcano generated missiles (6.38-6.41)	47
Volcanic gases (6.42-6.46)	49
Tsunamis and seiches (6.47-6.48)	50
Atmospheric phenomena (6.49-6.52)	52
Ground deformation (6.53-6.57)	52
Volcanic earthquakes and related hazards (6.58-6.62)	53
Hydrothermal systems and groundwater anomalies (6.63-6.67)	55
A comprehensive model of volcanic hazards (6.68-6.71)	57
7. NUCLEAR INSTALLATIONS OTHER THAN NUCLEAR POWER PLANTS (7.1-7.14)	58
8. MONITORING AND PREPARATION FOR RESPONSE (8.1-8.4)	59
9. MANAGEMENT SYSTEM FOR VOLCANIC HAZARD ASSESSMENT (9.1-9.4)	63
APPENDIX: DESCRIPTION OF TYPES OF VOLCANIC PHENOMENA	65
REFERENCES	67
ANNEX I: VOLCANIC HAZARD SCENARIOS	77
ANNEX II: WORLDWIDE SOURCES OF INFORMATION	79
DEFINITIONS OF VOLCANOLOGICAL TERMS	84
CONTRIBUTORS TO DRAFTING AND REVIEW	87
BODIES FOR THE ENDORSEMENT OF IAEA SAFETY STANDARDS	101
	103
6. サイト固有の火山ハザード評価 (6.1-6.5)	37
降下火砕物 (6.6-6.10)	38
火砕物密度流: 火砕流、サージとブラスト (6.11-6.17)	39
溶岩流 (6.18-6.22)	42
岩屑なだれ、地滑りと斜面崩壊 (6.23-6.27)	43
火山性土石流、火山泥流と洪水 (6.28-6.32)	45
新しい火口の開口 (6.33-6.37)	47
火山から発生する飛来物 (6.38-6.41)	49
火山ガス (6.42-6.46)	50
津波と静振 (6.47-6.48)	52
大気現象 (6.49-6.52)	52
地殻変動 (6.53-6.57)	53
火山性地震と関連ハザード (6.58-6.62)	55
熱水系と地下水の異常 (6.63-6.67)	57
火山ハザードの包括的モデル (6.68-6.71)	58
7. 原子力発電所以外の原子力施設 (7.1-7.14)	59
8. モニタリングと対応の準備 (8.1-8.4)	63
9. 火山ハザード評価のマネジメントシステム (9.1-9.4)	65
付録: 火山現象のタイプの解説	67
参考図書	77
補足 I: 火山ハザードシナリオ	79
補足 II: 世界的な情報源	84
火山学用語定義集	87
起案と評価への貢献者	101
IAEA 安全基準の承認のための会議体	103

1. INTRODUCTION

BACKGROUND

1.1. This Safety Guide was prepared under the IAEA's programme for safety standards. It supplements and provides recommendations for meeting the requirements for nuclear installations established in the Safety Requirements publication on Site Evaluation for Nuclear Installations [1] in relation to volcanic hazards. Thus, this Safety Guide complements the other Safety Guides that deal with the protection of nuclear installations against external natural events and human induced events by means of site selection and site evaluation assessments, and the incorporation of appropriate design features and site protective measures, if necessary [2-6].

1.2. The Safety Requirements publication on Site Evaluation for Nuclear Installations states that "Prehistorical, historical and instrumentally recorded information and records, as applicable, of the occurrences and severity of important natural phenomena or human induced situations and activities shall be collected for the region and shall be carefully analysed for reliability, accuracy and completeness" (para. 2.17 of Ref. [1]). In this regard, volcanism is explicitly mentioned in para. 3.52 of Ref. [1], which states that "Historical data concerning phenomena that have the potential to give rise to adverse effects on the safety of the nuclear installation, such as volcanism, sand storms, severe precipitation, snow, ice, hail, and subsurface freezing of subcooled water (frazil), shall be collected and assessed". Therefore, volcanism is required to be considered during the site selection and site evaluation stages of a nuclear installation.

Consequently, this Safety Guide provides a basis for meeting that requirement — as other IAEA Safety Guides do for other natural and human induced external events — through the comprehensive consideration of all potential volcanic hazards. Such consideration should not be interpreted as a way of promoting the location of nuclear installations in regions of hazardous volcanic activity.

1.3. The present Safety Guide upgrades and supersedes Provisional Safety Standards Series No. 1, Volcanoes and Associated Topics in Relation to Nuclear Power Plant Siting, published in 1997. This was the first guidance provided by the IAEA on this subject and it was published at a time when development was still ongoing at both national and international levels. Since that time, many aspects of volcanological science have been developed further. At the same time, there is growing interest in the nuclear community about the construction of additional nuclear power plants at existing sites that had not been

1. 序論

背景

1.1 本安全指針は IAEA の安全基準のためのプログラムに基づき発行された。本指針は、原子力施設のサイト評価[1]で定められた原子力施設に関する安全要求のうち、火山ハザードに関連した安全基準を提供し、補足するものである。よって、この安全指針はサイト選定、サイト評価、関係する適切な計測と設計上の特徴[2-6 参照]を通じて、外部の自然事象・人的事象からの原子力施設の保護を扱う他の安全指針を補足するものである。

1.2 「原子力施設のサイト評価」に記載された安全要求は次のように述べている。“重要な自然現象や人的事象の状況・苛酷な経験に関する有史以前、有史時代または機器により記録された情報と記録は、その地域で収集され、信頼性、精度、完全性のために慎重に分析されなければならない。”(参考資料 [1] パラグラフ 2.17 参照。)この点に関しては、参考資料 [1] のパラグラフ 3.52 に「火山活動、砂嵐、豪雨、降雪、氷、あらゆる地表下での凍結(氷晶)のような、原子力施設の安全性に悪影響を与える可能性のある自然現象に関連する歴史的資料は収集され、評価されるべきである」と明記されている。したがって、火山活動は原子力施設のサイト選定から立地評価の段階で考慮される必要がある。その結果、本安全指針は全ての火山ハザードに関する包括的な考慮を通じて一他の IAEA 安全指針が他の自然現象・人的事象で行っているように一その要求を満足するための基礎を提供する。このような検討は、危険な火山活動のある地域において原子力施設の立地を推奨する方法として解釈されるべきではない。

1.3 本安全指針は 1997 年に発行された暫定安全基準№.1 “Volcanoes and associated topics in relation to nuclear power plant siting” をアップグレードし、差替えている。これは IAEA がこの問題に対して初めて提供した最初の指針であり、火山ハザード評価が国内・国際的に開発途上にあった時点で発行されたものである。その当時から、火山学の多くの面が発展している。同時に、原子力コミュニティにおいては、建設時に火山ハザードについて包括的な評価がなされていない既設のサイトで、追加の原子力発電所を建設する需要が高まっている。新規の原子力施設のために、世界中でより多くの地域が調査され、評価されている。特に、いくつかの国は原子力施設の開発に初めて乗り出そうとしており、これらのサイトの一部では火山ハザードに関して慎重な評価が必要となっている。旧版の IAEA 安全基準シリーズ№.1 は、この問題における唯一の基準であり、科学及び原子力分野の双方で火山ハザード評価を改善するために使用されている。この経験からのフィードバックも本指針作成時に使用されている。

comprehensively assessed in terms of volcanic hazards at the time of site selection. For new nuclear installations, more regions in the world are now being surveyed and assessed. In particular, some States are embarking on the development of nuclear installations for the first time and some of these sites need careful assessment regarding the potential for volcanic hazards. IAEA Provisional Safety Standards Series No. 1 was a unique reference about this subject and has been used by both the scientific and the nuclear communities to improve volcanic hazard assessment. Feedback from this experience has been used in the preparation of this Safety Guide.

1.4. Volcanic phenomena are the surface manifestations of large scale geological processes that develop at significant depths within the Earth over prolonged periods of time. Volcanic activity is caused by deep geological phenomena that determine the local rate of magma generation. The recommendations provided in this Safety Guide reflect the current status of development of the science of volcanology, which has undergone a transformation over the past thirty years. In this time, volcanology has evolved from an essentially descriptive science into a quantitative science that relies on observations of volcanic systems that were not previously possible and the use of numerical models of complex volcanic processes. Given this evolution in volcanology, it is appropriate to use these advances to enhance safety assessments for nuclear installations against this type of external hazard.

1.5. Engineering or operational solutions are generally available to mitigate some of the effects of external events by the incorporation of certain design features and/or operational procedures. However, when such solutions are not practicable or cannot be demonstrated as being adequate for mitigation of the effects of external events, an alternative site should be selected. In this regard, this Safety Guide fulfils Principle 8 of the Fundamental Safety Principles [7] on the request to proceed with adequate site selection as a means of providing defence in depth, firstly for providing the basis for screening out those sites that are found to be unsuitable in the site selection process, and secondly for assessing the volcanic hazards that can affect a nuclear installation and for which appropriate design bases can be established.

OBJECTIVE

1.6. The objective of this Safety Guide is to provide recommendations and guidance on the assessment of volcanic hazards at a nuclear installation site, so as to enable the identification and comprehensive characterization of all potentially

1.4 火山現象は、長期間にわたる地球内部の大深度で発達する大規模な地質学的プロセスの地球表面への表出である。火山活動は、局所的なマグマの生成速度を既定する深度の地質学的現象に起因する。本安全指針に記載する推奨事項は、過去30年間に経験した変更点を含めた、現在の火山学の発達の現状を反映している。近年、火山学は基本的記述科学から、以前は不可能であった火山系の観察と、複雑な火山プロセスの数値モデルの使用に依存する定量的科学へと発展している。このような火山学の発展を踏まえると、外部ハザードに対する原子力施設の安全性評価を強化するためにこれらの進歩を使用することは適切である。

1.5 工学的又は運用的な解決策は、一般に、特定の設計配慮および/または運転上の手順を組み込むことによって、外部事象による潜在的影響を緩和することにより利用できる。しかしながら、それらの解決策が実用的でないか、または外部事象の緩和に十分なものとして証明できない場合には、代替のサイトを選択する必要がある。この点に関して、本安全指針は、深層防護の観点から適用地点選定を進める要求（第1：サイト選定段階で適切となったサイトのスクリーニング基準の提供、第2：原子力施設に影響を及ぼしうる火山ハザードの分析及び適切な設計基準の構築）を通して、基本安全目標[参考図書7]の原則No.8を満足するものである。

目的

1.6 本安全指針の目的は、原子力施設の火山ハザード評価における推奨事項と指針を提供するとともに、将来発生しうる火山活動に関係するハザード現象の区分と特徴付けを包括的に可能とすることである。これらの火山現象は選定されたサイトの適合性に影響を及ぼし、それらの一部は対応する設備の設計基準パラメータを決定することができる。

hazardous phenomena that may be associated with future volcanic events. These volcanic phenomena may affect the suitability of the selected site and some of them may determine corresponding design basis parameters for the installation.

1.7. This Safety Guide is intended for use by regulatory bodies responsible for establishing regulatory requirements, for designers of nuclear installations and for operating organizations directly responsible for the assessment of volcanic hazards at a nuclear installation site

1.8. This Safety Guide is not intended to deal with response analysis and capacity evaluation of volcanic hazards at the nuclear installation (i.e. plant design aspects, capacity or fragility calculations of systems, structures and components).

SCOPE

1.9. This Safety Guide is intended to be used mainly in the site selection and evaluation process for new nuclear installations. It may also be used for existing nuclear installations for a retrospective assessment of the volcanic hazards external to the installation that may affect it.

1.10. Siting is the process of selecting, using adequate criteria, a suitable site for an installation [8]. The selection of a suitable site is one of the elements of the concept of defence in depth used for preventing accidents, as set out in Principle 8 of the Fundamental Safety Principles [7].

1.11. The siting process for a nuclear installation generally consists of an initial stage of the investigation, the site survey, which aims to cover a large region and identify potential sites and to select and rank one or more candidate sites. This is followed by an evaluation phase of those candidate sites, with the aim of finally selecting the site on which the nuclear installation will be located. Once the site is selected, the siting process is thus finished.

1.12. Site evaluation is a process that extends from (i) the last stage of the siting process (i.e. the phase of evaluation of the candidate sites in order to select the preferred site(s)), to (ii) the assessment of the selected site to confirm its suitability and to derive the site related design bases for the installation, to (iii) the confirmation and completion of the assessment during the pre-operational stage of the installation (i.e. during the design, construction, assembly and commissioning stages) and finally to (iv) the operational stage of the installation

1.7 本安全指針は、規制要件を確立する規制当局、原子力施設における火山ハザード評価に直接責任を負う原子力施設の設計技術者、原子力施設の運営組織に使用されることを意図している。

1.8 本安全指針は、原子力施設の火山ハザードの応答解析や容量評価（すなわち、設備設計の側面、システム・構造及びコンポーネントの容量計算、脆弱性の計算）に対処するためのものではない。

適用範囲

1.9 本安全指針は、主に新規原子力施設のサイト選定・評価プロセスに使用されることを目的としている。また、既設の原子力施設の外部から施設に影響を及ぼす火山ハザードの逆及的な評価にも使用される。

1.10 立地とは、適切な基準を用いて、施設にとって適切なサイトを選定するプロセスである[8]。

適切なサイトの選定は、基本安全原則 [7] の原則 8 に記載されている通り、事故防止のために用いられる深層防護の概念の要素の一つである。

1.11 原子力施設の立地プロセスは、一般に、最初のステージである調査、サイトの視察（広い領域を調査する）、可能性のあるサイトの区分、候補地選定とランク付けから成っている。続いて原子力施設の候補地の詳細評価フェーズにより、原子力施設を設置するサイトを一つ選定する。サイトが選定されると、立地プロセスは終了する。

1.12 サイト評価は以下を評価するプロセスである。すなわち、(i)立地プロセスの最終段階（すなわち、優先サイトを選ぶための候補地の詳細評価段階）、(ii)選定サイトの適合性の確認と設備の関連設計基準取得のため の詳細評価、(iii)設備の運転前の評価の確認と完了（すなわち、設計、建設、組立、調整試験の段階）、(iv)設備の運転段階（参考図書 [1] のパラグラフ 1.8 と 1.14 を参照）したがって、サイト評価は、サイト特性、データと情報の有効性、運転記録、規制手法、評価手法、安全基準を考慮に入れ、施設の運用期間にわたって継続する。

英 文	和 訳
(see paras 1.8 and 1.14 of Ref. [1]). Thus, site evaluation continues throughout the entire lifetime of the installation to take into account the changes in site characteristics, availability of data and information, operational records, regulatory approaches, evaluation methodologies and safety standards. 1.13. The volcanic hazards treated in this Safety Guide are obviously considered external events, that is, natural or human induced events that originate external to both the site and the process of the installation, and over which the operating organization may have very little or no control. Such events are unconnected with the operation of a facility or conduct of an activity, but they could have an effect on the safety of the facility or activity. It is also to be noted that the concept of 'external to the installation' is intended to include more than the external zone (see Ref. [8]), since, in addition to the area immediately surrounding the site, the site area itself may contain objects that pose a hazard to the installation. The assessment of the volcanic hazards may also be necessary when performing a probabilistic safety assessment (PSA) of the installation and considering the full scope of external events as initiating events. 1.14. This Safety Guide discusses the volcanic processes that may have adverse effects on the performance of safety systems at a nuclear installation and provides recommendations for the methods that can be used and the critical factors involved in the evaluation of volcanic events and of their associated effects. Different types of phenomena associated with volcanism are discussed in terms of their influence on site suitability and on the derivation of design basis parameters. 1.15. Volcanic phenomena may affect site suitability and the design of a nuclear installation. Hazards from volcanoes can exist over a broad scale of time and distance. These hazards are not uniformly distributed worldwide. Approximately 25% of Member States have potentially active volcanoes and the hazards posed by them can readily extend across international boundaries. Some hazards can even be present at inactive volcanoes, for example, the potential for collapse of a volcano edifice generating a tsunami long after volcanic activity has ceased. 1.16. For the purposes of this Safety Guide, a volcanic hazard is considered to be any phenomenon related to volcanism that may affect site suitability or the design of a nuclear installation. Volcanism is the natural process resulting from magma ascending through the Earth and erupting, or nearly erupting, at the Earth's surface and producing phenomena that may have far reaching and long term effects. Volcanic hazards are complex and varied. Some phenomena, such as the opening of a new volcanic vent, may create a hazard (or hazards) that represents	1.13 本安全指針で扱う火山ハザードは、明らかに外部事象とみなされる。それは、サイトと施設のプロセスの両方に対して外の領域で発生する自然や人間によって引き起こされる事象であり、運転組織がほとんどあるいは全く関与できない事象である。これらの事象は、施設の運転あるいは運用の管理と無関係であるが、施設の安全性と運用に影響を及ぼす。サイトの周辺地域に加え、サイト区域自体が施設に影響をもたらすものを含んでいるため、「施設の外部」という概念は外部の地域[参考図書 8 参照]以上を意図していることに注意すべきであろう。火山ハザードの評価はまた、全ての範囲の外部事象を考慮した施設の確率的な安全評価 (P S A) を実施する際に、起因事象として必要となる。 1.14 本安全指針は、原子力施設の安全システムの機能に悪影響を及ぼしうる火山プロセスについて検討し、火山イベントと関係する現象の評価に際して使用できる手法に関する推奨事項を、重要な要因を含めて提供する。サイトの適合性に対する影響と、設計基準パラメータの導出の観点から、火山活動に伴う様々な現象について検討する。 1.15 火山現象は、サイト適合性と原子力施設の設計に対し影響を与えることがある。火山による災害は、時間と距離の幅広いスケールでもたらされる可能性がある。これらの災害は、世界中に一樣に分布しているわけではない。加盟国のおよそ 25% が潜在的に活動している火山を有しており、それらがもたらす災害は容易に国境を越えて広がる可能性がある。いくつかの災害については、休止中の火山でも存在しうる。例えば、火山活動が終息しただけでなく、津波を引き起こす山体崩壊の可能性がある。 1.16 本安全指針の目的から、火山ハザードは、サイト適合性と原子力施設の設計に影響を及ぼす火山活動に関連したあらゆる現象が考慮される。火山活動は、マグマが地球内部で上昇し、地表近くでの噴火あるいは疑似噴火することにより、広範囲に長期間にわたる現象を引き起こす自然現象である。火山ハザードは複雑で多様である。例えば、新しい火山の開口のようないくつかの現象は、除外条件となるようなハザード（複数のハザード）をもたらし、よってサイト選定において特定の原子力施設のサイトをそれ以上の検討から除外する。サイト周辺でのそのような破壊的な現象の可能性は、サイト適合性評価の早期に考慮されなければならない。サイト適合性が満たされるか否か評価されなければならない。一般的に、サイト周辺とは、サイトから数キロ範

an exclusion condition and, therefore, precludes the particular nuclear installation site from further consideration during site selection. The potential for such disruptive phenomena in the site vicinity needs to be considered early in the site selection and evaluation processes in order to assess whether site suitability can be confirmed or not. In general, the site vicinity is defined as the area extending a few kilometres from the site area, with account taken of the topography of the site, and defined in agreement with the regulatory body. Similarly, the potential for various flow phenomena, such as pyroclastic flows or lava flows, within the site vicinity should be assessed as part of the site suitability evaluation. The potential for other volcanic phenomena, such as the accumulation of volcanic tephra, may represent design basis external events. As some volcanic phenomena potentially affect sites hundreds of kilometres from erupting volcanoes, it is emphasized that a comprehensive methodology needs to be applied to assess volcanic hazards. This Safety Guide discusses the nature of volcanic phenomena in the context of hazard assessment and outlines frameworks for probabilistic and deterministic approaches to the evaluation of volcanic hazards.

1.17. The potential for so-called mud volcanoes to form near a site is beyond the scope of this Safety Guide, as this is not strictly a volcanic phenomenon in which magma reaches the surface. Instead, mud volcanoes occur when overpressure within the Earth brings a mixture of sediment, water and gas to the surface (Appendix, para. I.14). Although the formation of a mud volcano is not strictly a volcanic phenomenon, hazards associated with mud volcanism may be evaluated using techniques described in this Safety Guide related to the opening of new vents and using techniques discussed in Ref. [6].

1.18. This Safety Guide addresses an extended range of nuclear installations as defined in Ref. [8]: land based stationary nuclear power plants, research reactors, nuclear fuel fabrication plants, enrichment plants, reprocessing facilities and spent fuel storage facilities. The methodologies recommended for nuclear power plants are applicable to other nuclear installations through a graded approach, whereby these recommendations can be tailored to suit the needs of different types of nuclear installation in accordance with the potential radiological consequences of their failure due to volcanic hazards. The recommended direction of grading is to start with attributes relating to nuclear power plants and, if possible, to grade down to installations with which lesser radiological consequences are associated¹. Therefore, if no grading is performed, the

1 For sites at which nuclear installations of different types are collocated, particular consideration should be given to the use of a graded approach.

囲のことであり、サイト周囲の地形を考慮し、かつ規制当局と合意して定められる。

同様に、サイト周辺の様々な流動事象（例えば、火砕流や溶岩流）は、サイト適合性評価の一部として評価される必要がある。火山デフラの堆積のような、その他の火山現象の発生可能性は、設計ベースの外部事象となる。いくつかの火山現象は、噴火する火山から何百キロも離れたサイトに影響を及ぼす可能性があるため、火山ハザードの評価には総合的な方法論の適用が必要となることを強調しておきたい。この安全指針は火山現象の性質をハザード評価の関連で説明し、確率的、決定論的な火山ハザード評価手法の枠組みを概説する。

1.17 いわゆる泥火山がサイトの近くに形成される可能性は、本安全指針の適用範囲外である。なぜなら、泥火山は、マグマが地表に到達するといった厳密な火山現象ではないからである。泥火山は、地中内部の過度の圧力により土砂、水、ガスの混合物を地表に運ぶことにより発生する（付録 1 のパラグラフ I.14 参照）。泥火山の形成は厳密には火山現象ではないものの、泥火山に伴うハザードは、本安全指針の新しい火口の開口に関連して記載した手法（参考図書[6]で議論した手法）を用いて評価することが可能である。

1.18 本安全指針は、参考資料[8]に定義される範囲を拡張した原子力施設：地上固定型の原子力発電所、研究炉、燃料加工工場、濃縮工場、再処理工場、独立した使用済燃料貯蔵施設を扱う。原子力発電所に推奨されている方法論は、それらの推奨事項が、火山活動を仮定した際、火山ハザードによる設備の故障が招く潜在的放射線影響とともに、異なるタイプの原子力施設のニーズにも適合可能である限りにおいて、等級分け手法を通じてその他の原子力施設にも適用可能である。それらの推奨事項が異なる原子力施設の要求に適合し、等級分けで推奨される方針は、原子力発電所と類似している特質からスタートし、より低い放射線的重要度の設備にグレードダウンしていくことである¹。したがって、等級分けが実施されない場合、原子力発電所に対する推奨事項が他の原子力施設にも適用できる。

注 1 異なるタイプの原子力施設が配置されているサイトにおいては、等級分け手法使用に当たり特別な配慮が必要である。

recommendations relating to nuclear power plants are applicable to other nuclear installations.

1.19. For the purpose of this Safety Guide, existing nuclear installations are those installations that are: (i) at the operational stage (including long term operation and extended temporary shutdown periods), or (ii) at a pre-operational stage for which the construction of structures, manufacturing, installation and/or assembly of components and systems, and commissioning activities are significantly advanced or fully completed. As long as nuclear fuel is present at the nuclear installation, it is considered to be at the operational stage in which a high level of operational safety is required to be maintained [11]. In existing nuclear installations that are at the operational and pre-operational stages, a change of the original design bases, or a change in the regulatory requirements regarding the consideration of volcanic hazards, may lead to a significant impact on original design features and, consequently, to important hardware modifications.

STRUCTURE

1.20. In this Safety Guide, the description of the phenomena associated with volcanism and the collection of the necessary data and information are set out separately from the criteria for hazard assessment. Thus, Section 2 and the Appendix provide a general description of the different types of volcanic phenomena and an overview of the criteria and general methodology to be used for hazard assessment. Section 3 provides general recommendations and outlines the general procedure to be followed in the site selection and site evaluation stages. Sections 4–6 provide detailed guidance for nuclear power plants. Section 4 provides recommendations on the acquisition and development of the database for the hazard assessment. Sections 5 and 6 provide recommendations on performing the volcanic hazard assessment and on deriving the design basis parameters. Section 7 describes the procedures and criteria to be used for installations other than nuclear power plants using a graded approach, and Section 8 includes information on monitoring and preparation for response in case of volcanic activity. Section 9 provides guidance on management system aspects of the tasks to be performed. As general information for the non-specialist, Annex I provides examples of the complex series of events that accompany different types of volcanic eruption, while Annex II gives information on worldwide available sources of data on the subject. Finally, although it is recognized that complete consensus has not been reached within the scientific community on the use and meaning of some terms, definitions of

1.19 本安全指針の目的とする既存の原子力施設とは以下を指す。(i)運転中の段階（長期運転中のものと一時的に停止しているものを含む）、(ii)運転前の段階（建造物の構築、製造、施設や構成要素とシステムの組み立て及び使用可能な状態または完成状態）。原子燃料が施設内に存在する限り、運転段階にあると見なされ、原子力施設は高いレベルの安全性が維持されることが要求される[11]。運転段階、運転前段階にある既存の原子力施設においては、当初の設計基準の変更、または火山ハザードの考慮に応じた規制要求の変更は、本来の設計上の特徴に顕著な影響を与え、重要な設備の変更につながる可能性がある。

構成

1.20 本安全指針では、火山活動に関連する現象の記述と必要なデータ及び情報の収集は、ハザード評価の基準とは分けて記載している。このように、2 章と補足は火山現象の異なるタイプの一般的な説明、ハザード評価に使用すべき判定基準と一般的な方法論を概説している。3 章ではサイト選定とサイト評価段階に適用される一般的な推奨事項と一般的な手順について概説した。4～6 章では原子力発電所に対する詳細な指針を記載している。4 章ではハザード評価のためのデータベースの構築と開発の推奨事項を提供した。5 章、6 章では火山ハザード評価と設計基準パラメータの導出に関する推奨事項を提供した。7 章では、原子力発電所以外の施設において等級分け手法を用いて行われる手順と判定基準について記載し、8 章ではモニタリングと火山活動の発生に備えた対応準備を記載した。9 章では実行されるべきタスクの観点からマネージメントシステムの指針を提供した。専門家ではない方のための一般情報として、補足 I に異なるタイプの火山噴火と同時に発生する一連のイベントの例を示す。また、補足 II に本件に関する世界の利用可能な情報を示す。最後に、いくつかの用語の意味と用法について、科学界で完全なコンセンサスはいまだ得られていないものの、本安全指針の使用に限定した火山用語定義集として添付した。

volcanological terms are provided, applicable only to usages adopted in this Safety Guide.

2. OVERVIEW OF VOLCANIC HAZARD ASSESSMENT

NATURE OF VOLCANIC PHENOMENA AND VOLCANIC HAZARDS

2.1. Volcanic events can present significant hazards for nuclear installations. Volcanic hazards arise from phenomena that have a broad range of physical characteristics. These phenomena may occur in isolation, or in combination with other phenomena, even during a single volcanic eruption. Some of these phenomena can occur long before or long after an eruption. Thus, the term 'volcanic event' is adopted in this Safety Guide to indicate a set of potentially hazardous phenomena that may occur before, during or after a volcanic eruption. This section provides an overview of the nature and types of volcanic phenomena and the volcanic hazards resulting from a volcanic event, as well as a general description of the methodologies and criteria used for hazard assessment in relation to such phenomena.

2.2. Phenomena associated with volcanic events that may pose a potential hazard to a site are summarized in Table 1, with a clear indication of those phenomena whose characteristics should be considered to preclude selection of a candidate site at the site selection stage and those phenomena that may be accommodated by measures for design and operation. A decision on the suitability of the site is taken in accordance with the potential that phenomena listed as 'Yes' in the third column of Table 1, which generally constitute an exclusionary condition during the site selection stages, will occur within the site area or in the site vicinity.

2.3. If the results of the assessment show that a potential exists for those phenomena listed as 'Yes' in the third column of Table 1 to occur at the site area or in the site vicinity and for them to affect the safety of the nuclear power plant, and that no practical engineering solutions are available, the site should be deemed unsuitable.

2. 火山ハザード評価の概略

火山現象と火山ハザードの性質

2.1 火山現象は、原子力施設に対して著しい災害を及ぼす。自然現象に起因する火山ハザードは、幅広い物理的特徴を有する現象から発生する。これらの現象は単独の噴火でも、単独あるいは他の現象と複合して引き起こされる。これらの現象のいくつかは、噴火の遙か前や、遙か後に発生することもある。したがって、本安全指針において「火山事象」という用語は火山の噴火に先立つ、あるいは噴火中の、あるいは噴火後に、何らかの災害を引き起こしうる単独あるいは一連の自然現象を指している。本章は火山事象によりもたらされる火山現象と火山ハザードの性質と種類を概観し、それらの現象に関連して使用される方法論と判定基準の一般的な解説を提供する。

2.2 火山事象に伴う現象によってサイトに引き起こされるハザードは表 1 にまとめられ、サイト選定段階において候補サイトを除外するために考慮すべき現象と、設計、運転で対応できる現象とを明示した。サイトの適合性の判定は、表 1 の 3 列目が「Yes」となっている現象（一般的にサイト選定段階において除外条件を構成する）がサイト内やサイト周辺で発生する可能性を考慮して実施される。

2.3 調査の結果、3 行目が Yes となる現象がサイトあるいは周辺で発生する可能性があり、それらが原子力発電所の安全性に影響を及ぼし、実現性のある工学的対応ができない場合、そのサイトは立地に不適当と見なされる必要がある。

P8の内容はP9に合わせて記載

P8の内容はP9に合わせて記載

英文

TABLE 1. VOLCANIC PHENOMENA AND ASSOCIATED CHARACTERISTICS THAT COULD AFFECT NUCLEAR INSTALLATIONS, WITH IMPLICATIONS FOR SITE SELECTION AND EVALUATION AND DESIGN

Phenomena	Potentially adverse characteristics for nuclear installations	Considered an exclusion condition at site selection stage ^a	Can effects be mitigated by measures for design ^a and operation ^a ?
1. Tephra fallout	Static physical loads, abrasive and corrosive particles in air and water	No	Yes
2. Pyroclastic density currents, pyroclastic flows, surges and blasts	Dynamic physical loads, atmospheric overpressures, projectile impacts, temperatures >300°C, abrasive particles, toxic gases	Yes	No
3. Lava flows	Dynamic physical loads, floods and water impoundments, temperatures >700°C	Yes	No
4. Debris avalanches, landslides and slope failures	Dynamic physical loads, atmospheric overpressures, projectile impacts, water impoundments and floods	Yes	No
5. Volcanic debris flows, lahars and floods	Dynamic physical loads, water impoundments and floods, suspended particulates in water	Yes	Yes
6. Opening of new vents	Dynamic physical loads, ground deformation, volcanic earthquakes	Yes	No
7. Volcano generated missiles	Particle impacts, static physical loads, abrasive particles in water	Yes	Yes
8. Volcanic gases and aerosols	Toxic and corrosive gases, acid rain, gas charged lakes, water contamination	No	Yes

TABLE 1. VOLCANIC PHENOMENA AND ASSOCIATED CHARACTERISTICS THAT COULD AFFECT NUCLEAR INSTALLATIONS, WITH IMPLICATIONS FOR SITE SELECTION AND EVALUATION AND DESIGN (cont.)

Phenomena	Potentially adverse characteristics for nuclear installations	Considered an exclusion condition at site selection stage ^a	Can effects be mitigated by measures for design ^a and operation ^a ?
9. Tsunamis, seiches, crater lake failure and glacial burst	Water inundation	Yes	Yes
10. Atmospheric phenomena	Dynamic overpressures, lightning strikes, downburst winds	No	Yes
11. Ground deformation	Ground displacements, subsidence or uplift, tilting, landslides	Yes	No
12. Volcanic earthquakes and related hazards	Continuous tremor, multiple shocks, usually earthquake magnitude M < 5	No	Yes
13. Hydrothermal systems and groundwater anomalies	Thermal water, corrosive water, water contamination, inundation or upwelling, hydrothermal alteration, landslides, mobilization of lahar and thermokarst, abrupt change in hydrostatic pressure	Yes	Yes

Note: A "Yes" in the site selection stage column indicates that the presence of a significant hazard from this phenomenon in the site vicinity generally constitutes a site exclusion criterion, i.e. the site is not suitable for a nuclear installation. The design and operation column indicates the general practicability of mitigating the potential hazard associated with particular phenomena, by either facility design or operational planning. A "Yes" in both columns indicates that, in principle, this phenomenon constitutes a site exclusion criterion, although for some cases a design basis may be achievable.

^a Design also includes the design of site protection measures for some of the hazards.

注意：サイト選定段階列の「Yes」は、周辺でサイト除外基準を構成する当該現象による顕著な災害が発生しうることを、すなわち、サイトは原子力施設の立地に適さないことを表している。設計・運転列の「Yes」は、設備の設計と運用計画のいずれかにより、特定の事象に伴うハザードのポテンシャルを緩和するための一般的な対応が存在することを示している。両方の列に「Yes」がある場合は、原則としてその現象はサイト除外基準を構成するが、設計対応が可能な場合もあることを示している。

^a Design also includes the design of site protection measures for some of the hazards.

注2 設計には、いくつかのハザードからサイトを防御する方策の設計も含まれる。

2.4. As stated above, the potential occurrence of a phenomenon that represents an exclusion condition (e.g. pyroclastic density current, lava flow, new vent) having direct effects on a site or in the site vicinity precludes the site from further consideration. Some phenomena (e.g. lahars and floods, tsunamis and hydrothermal systems) are considered exclusion conditions if they have direct effects on the site, or if they occur directly at the site or in the site vicinity. However, in some special cases and circumstances, such phenomena that occur in the region of the site and which have some effects on the site may be accommodated by means of appropriate design, protective measures and operational measures. In the latter case, adequate design bases may need to be formulated. Factors affecting the site suitability or design bases are further explained in Section 6 and in the Appendix.

2.5. If the site is deemed suitable, the corresponding design basis should be derived for those phenomena that can occur at the site and that can affect the safety of the nuclear power plant.

2.6. Volcanic events are infrequent, relative to most other natural events that can affect the safety and performance of a nuclear installation. Some volcanoes have erupted after lying dormant for thousands of years, or even longer. As a general guide, volcanoes that have erupted during the past 10 000 years are usually considered active. Around the world, there are more than 1500 volcanoes that can be considered active on this basis (see Annex II), and these volcanoes are formally referred to as Holocene volcanoes, i.e. volcanoes that have erupted during the past 10 000 years (named after the Holocene period). Holocene volcanoes may erupt after long periods of inactivity. Some volcanoes have reactivated after periods of inactivity longer than 10 000 years. Many individual volcanoes have not been studied in sufficient detail to know for certain whether they erupted during the Holocene or not. Therefore, consideration of volcanic hazards is not to be limited to known Holocene volcanoes.

2.7. Volcanic activity within a geographical region can persist for longer timescales than those associated with individual volcanoes. Many volcanic arcs exhibit recurring volcanic activity for longer than 10 Ma³, although individual volcanoes within the arc itself may themselves remain active for only around 1 Ma. As such distributed volcanic activity can persist for many millions of years, regions that have experienced volcanic activity during the past 10 Ma are considered to have the potential for future activity. A straightforward estimate of

3 Ma: million years.

2.4 上記のように、除外条件となる現象（例：火砕物密度流、溶岩流、新しい火口の開口）がサイト・サイト周辺に直接影響を及ぼす場合は、サイトはそれ以上の検討から除外される。いくつかの現象（例：火山泥流、洪水、津波、熱水系）は、サイトに直接影響するか、サイト・サイト周辺に直接発生する場合には、除外要因とみなされる。しかし、特殊なケースと状況においては、そのような現象がサイトの地域に発生しサイトに幾分かの影響を及ぼす場合でも、適切な設計、保護手段、運転手段によって対応することが可能である。後者のケースでは、適切な設計基準が明確化される必要がある。サイトの適合性や設計基準に影響するような要因は、6章と補足で説明する。

2.5 サイトが適合すると判断された場合は、サイトで発生しうるか、原子力発電所の安全性に影響を及ぼしうる現象に対応した設計基準が用いられるべきである。

2.6 火山現象は、原子力施設の安全と性能に影響を及ぼす他の自然現象のほとんどと関連しており、稀な現象である。火山の中には何千年か、それ以上の期間休止した後に噴火したものもある。一般的な指針としては、通常過去1万年以内に噴火した火山は活動的と見なされる。この基準によると、世界で活動的と考えられる火山は1500以上になる（補足Ⅱ参照）。これらの火山は正式には完新世火山、すなわち、過去1万年以内（完新世）に噴火したことがある火山と呼ばれる。完新世火山は長い休止期間の後に噴火する可能性もある。いくつかの火山は、1年以上の休止期間の後に再活動している。多くの火山は完新世に噴火をしたかどうかを確認するための詳細な調査が十分なされていない。したがって、火山ハザードの検討は、完新世火山に範囲を限定すべきではない。

2.7 地理的領域内における火山活動は、個々の火山に関連する活動よりも長い時間スケールで持続しうる。多くの火山弧が10Ma以上にわたる火山活動を繰り返しているが、火山弧内の個々の火山自体は1Ma程度しか活動を維持できない。このように分散した活動は数百万年間も継続する可能性があるため、過去10Maの間に火山活動があった地域は、将来の活動可能性を考慮すべきである。

注 3 Ma：百万年

a regional volcanic recurrence rate of less than 1 event in 10 Ma would imply a current annual probability of future volcanic activity of less than 10^{-7} . In hazard assessment of external events for nuclear installations (see para. 4.3 of Ref. [2]), a limiting value of the annual probability of occurrence of events with potential radiological consequences is termed the screening probability level, for which, in some Member States, a value of 10^{-7} is ascribed. Initiating events with an annual probability of occurrence lower than this screening probability level should not be given further consideration, regardless of their consequences. Therefore, during the initial screening stage, an annual probability of occurrence of 10^{-7} is a reasonable basis on which to evaluate whether a volcano could generate any type of volcanic activity in the future, given that hazardous effects at the site due to an eruption will be even less likely.

2.8. Episodes of eruptive volcanic activity at individual volcanoes can persist from hours to decades, and in rare cases for even longer periods of time. The intensity of volcanic eruptions can vary from low energy events, which may produce small lava flows and missiles of limited range, to high energy events that bury the countryside under tens of metres of hot ash. Thus, a variety of volcanic phenomena can occur on substantially different scales during volcanic events. Even volcanoes located hundreds of kilometres from a site can cause hazardous phenomena, such as tephra fallout, long runout lahars, floods or tsunamis, which may adversely affect the safety and performance of a nuclear installation.

2.9. Non-eruptive phenomena at volcanoes may also represent hazards for nuclear installations. Volcanoes are commonly unstable landforms. Even after long periods of repose, portions of a volcano may suddenly collapse to form landslides and debris flows. This type of mass wasting is often triggered by extreme weather events, such as tropical cyclones. Such events can impact areas of thousands of square kilometres around the volcano. Some volcanoes are closely linked to tectonic faults or geothermal activity. In such instances, seismic activity relating to fault movement may also cause collapse of the volcanic edifice. These examples demonstrate the need for the volcanic hazard assessment for a nuclear installation to consider the influence of extreme weather and hydrological and tectonic processes on the likelihood and characteristics of future volcanic events.

2.10. Volcanic events rarely produce a single hazardous phenomenon. Rather, eruptions can initiate a complex sequence of events and produce a wide range of volcanic phenomena. Specific impacts of volcanic phenomena depend on a range of conditions, such as composition of the erupted products, temperature, water content and related factors. The occurrence of some volcanic phenomena may

10Maに1回以下の割合で活動した地域における簡単な見積もりでは、現時点における将来の活動発生確率が年に 10^{-7} 以下となることを示している。原子力施設における外部事象のハザード評価（参考資料[2]の4章パラグラフ4.3参照）では、放射線影響の可能性のある事象の年間発生確率の上限値は、screening probability level(SPL)と呼ばれ、いくつかの加盟国では 10^{-7} が用いられている。発生確率がこのSPL以下の発生イベントは、事象の影響に係わらずそれ以上の考慮は不要となる。したがって、初期スクリーニングにおいては、年間発生確率 10^{-7} は、噴火によるサイトに対する災害的な影響がほとんどないという観点で、地域内の火山が将来何らかのタイプの活動をまたらすか否か判定するための妥当な評価水準である。

2.8 個々の火山における爆発的な噴火現象は数時間～数十年間、稀な場合にはもっとも長期間継続する。噴火の強度は、低エネルギーの事象（小規模な溶岩流と限られた範囲での火山噴出物が発生）から高エネルギーの事象（一地方が何十mもの熱い灰で覆われる）まで変化する。このように、火山事象には多様な火山現象が、かなり大きく異なる強度で発生しうる。サイトから何百キロも離れた場所の火山でも、災害をもたらす現象（施設の安全性と運転に悪影響を与える、降下火砕物、長距離火山泥流、洪水、津波など）を引き起こすことがある。

2.9 火山における噴火を伴わない現象もまた原子力施設にとって災害をもたらしうる。一般的に火山は不安定な地形である。長期間の休止の後でもしばしば、火山の一部が突然崩壊し、地滑りや土石流が発生することがある。このような物質移動は、しばしば熱帯低気圧などの極端な気象現象によって引き起こされる。このような現象は、火山周辺の数千平方キロの地域に影響を及ぼす。いくつかの火山は断層あるいは地熱活動と密接に関連している。このような場合、断層運動に関連する地震活動は、山体崩壊の原因となりうる。これらの例は、将来の火山事象の特徴と蓋然性に基づく、極端な気象、水文学、地殻変動に関わるプロセスを考慮した原子力施設における火山ハザードの評価の必要性を示している。

2.10 火山現象が単一の災害事象だけを伴うことはほとんどない。それどころか、噴火が一連の複合的な現象をもたらし、様々な火山現象を引き起こすことが普通である。特定の火山現象の影響は、様々な状況（例えば、噴出物の組成、温度、含まれる水と揮発性物質及び関係する要因）に依存する。いくつかの火山現象の発生が、他の事象が発生する可能性を変化させることもある。火山のハザード評価は、信頼性のある、相関的な現象を評価し、関連ハザードを全て分析に取り込むため、系統的な取り組みを用いる必要がある。

change the likelihood of occurrence of other phenomena. A volcanic hazard assessment uses a systematic approach to evaluate credible, interrelated phenomena and to ensure that all relevant hazards are integrated into the analysis.

GEOLOGICAL RECORD AND DATA UNCERTAINTY

2.11. The representative characteristics and frequencies of past events are critical data for any volcanic hazard assessment. The geological record, however, is usually an incomplete source of these data. Large magnitude events are much more likely to be preserved in the geological record than small events. Yet such unrecorded small events may represent hazards to nuclear installations. The absence of some events from the geological record and the interpretation of this record are sources of uncertainties that need to be properly addressed in the hazard assessment.

2.12. The geological record of an individual volcano does not necessarily encompass the potential characteristics and extent of future activity. Hazard assessments consider that volcanic systems evolve, and the characteristics of the hazards may change over time, sometimes quite rapidly. Information from analogous volcanoes can help both to constrain and to reduce uncertainties arising from interpretations of an incomplete geological record and also to assess potential changes in volcanic hazards over time.

2.13. The frequency and timing of past events is incompletely understood and uncertain for most volcanoes. For example, the timing of the most recent volcanic eruptions can be difficult to determine at volcanoes lacking a record of historical activity. Whether a volcano is dormant or extinct is often subjective and difficult to determine.

2.14. At most volcanoes, there is more certainty about the physical characteristics of past events, such as their volume and spatial extent, than there is about the timing of these events. Thus, a volcanic hazard assessment that focuses on determining the geological characteristics of volcanic phenomena and their spatial extent will usually be more certain than one focusing on an estimation of the likelihood of occurrence of hazardous phenomena. Detailed hazard assessments, if warranted, may need to consider the likelihood of occurrence and associated uncertainties for volcanic phenomena that may reach the site concerned.

地質学的記録とデータの不確実性

2.11 過去の火山現象の代表的な特徴と頻度は、あらゆる火山のハザード評価のための重要なデータである。しかしながら、地質学的記録は、通常このようなデータ源としては不完全である。大規模な事象は、小規模な事象よりも地質学的記録として保存されやすい傾向がある。しかし、このような記録されていない小規模イベントが原子力施設に災害をもたらすこともある。地質学的記録にないイベントや、記録自体の解釈は、不確かさの発生源であり、それはハザード評価の中で適切に取り扱われるべきである。

2.12 個々の火山の地質学的記録は、必ずしも将来の火山活動において可能性のある特徴と範囲を包含していない。ハザード評価に際しては、(しばしば非常に早く) 火山系が発達し、ハザードの特徴が時間と共に変化することを考慮すべきである。類似火山の情報は、不完全な地質学的記録の解釈に起因する不確かさを制約し、減少させるとともに、火山ハザードのポテンシャルの時間的な変化を評価する助けともなる。

2.13 過去のイベントの頻度とタイミングは、ほとんどの火山で不完全にしか理解されておらず、不確かである。例えば、最も近年の噴火のタイミングは、歴史的な活動の記録が欠乏している火山においては確定するのが困難である。火山が休眠火山か死火山かは主観的であり判断が難しい。

2.14 ほとんどの火山では、規模と空間的な広がりのような、過去のイベントの物理的な特徴は、イベントのタイミングについてよりも正確である。したがって、火山事象の地質学的な特徴と空間的な広がりを判断することに焦点を絞った火山ハザード評価は、災害事象が発生する可能性の評価に比べて通常正確である。地質学的記録の不確かさのため、本安全指針は最初的手法として、ハザードの発生確率よりも、ハザードの物理的な特徴に基づくスクリーニングを推奨する。ハザードの詳細な評価に際しては、必要に応じ、サイトに到達している火山現象について発生確率と不確実性を考慮する必要がある。

英 文	和 訳
ALTERNATIVE CONCEPTUAL MODELS OF VOLCANISM 2.15. A fundamental assumption in volcanic hazard assessment is that the record of past volcanic events provides a reliable indicator of possible future events. Confidence in this assumption requires the development of conceptual models to interpret the geological record in terms of volcanic processes. Such conceptual models can encompass the origin of magma, the tectonic setting of volcanoes, the rates and volumes of ejecta produced during eruptions and the nature of volcanic hazards. For example, volcanism in the site region may be associated with a tectonic setting that has remained unchanged for millions of years and, therefore, the processes interpreted in the geological record could be assumed to persist in the future. Alternatively, a potential site may be located in an area where the tectonic setting has changed through time such that the geological record of past volcanic activity might be a poor representation of potential future volcanism. For example, the characteristics of individual volcanoes in a volcanic arc could change over a relatively short period, owing to changes in the orientation or magnitude of the crustal stress field. Therefore, a conceptual model of the tectonic setting for volcanism assists in the determination of the extent to which past events appropriately represent future events. 2.16. A clear and proper understanding of the processes that affect volcanism, as represented by the conceptual model, makes best use of available geological data and guides the collection of additional data. Updates to conceptual models are carried out as new information becomes available during site investigations. In some cases, new data and conceptual models may emerge after the initial site evaluation has been completed. 2.17. Volcanic hazard assessments usually consider alternative conceptual models. These models are consistent with available data and current scientific understanding and are evaluated with due regard to the influence of their effects on hazard estimation. For example, volcanic systems may vary from primarily effusive systems with low energy eruptions to higher energy explosive eruptions. Use of a conceptual model for volcanic activity at a volcano that only has the products of low energy eruptions preserved in the geological record may lead to estimation of hazards for this volcanic activity alone. In contrast, an alternative conceptual model using information from analogous volcanic systems would include hazards associated with higher energy explosive eruptions. 2.18. The hazard assessment is usually clearly documented where alternative conceptual models could result in significant differences in the estimation of hazards. If alternative models result in significant differences in the estimation of	火山活動の代替概念モデル 2.15 火山ハザード評価の基本的な仮定は、過去の火山イベントの記録は、将来の活動の信頼できる指標であるということである。この仮定に立脚し、地質学的記録を火山現象に解釈するために、概念モデルが必要となる。このような概念モデルは、マグマの起源、火山の構造的状態、噴火の頻度や規模、火山災害ハザードの特質を包含する。例えば、サイト地域での地殻変動を伴う火山活動が数百万年間にわたって変らず続いている場合、地質学的記録により解釈されるプロセスも、将来も継続すると想定される。あるいは、サイトが時間と共に変化する地殻構造に位置するが、そこがこれまで過去の火山活動の記録がほとんどない場所の場合は、将来火山活動が発生する恐れがある。例えば、火山弧の個々の火山の特徴は、地殻応力場の方向と大きさの変化に応じて、比較的短期間で変化する。したがって、火山活動における地殻構造の概念モデルは、過去のイベントが適切に将来の火山活動を示しているかを判断する助けとなる。 2.16 概念モデルで解釈されるような、火山活動に影響するプロセスの明確で適切な理解は、利用可能な地質学的データを最も有効に活用することが出来、また追加データを収集する際の指針となる。概念モデルの更新は、サイト調査中に得られる新しい情報によって実施されるべきである。場合によっては、新しいデータと概念モデルが、サイトの初期評価が完了した後に明らかになるかもしれない。 2.17 火山ハザード評価においては、通常、代替概念モデルも考慮する。これらのモデルは利用可能なデータや現在の科学的な知見と整合していただければならず、またハザード評価における影響を考慮したものでなければならぬ。例えば、火山系は低エネルギー噴火を伴う主に噴出性の系から、より高いエネルギーの爆発的な噴火まで多岐にわたっている。低エネルギー噴火の産出物しか地質学的記録に残っていない火山の活動に対する概念モデルの使用は、その火山活動単独のハザード評価につながるであろう。対照的に、類似の火山系の情報を使用する代替概念モデルは、より高いエネルギーの爆発的な噴火によるハザードも包含したものとであろう。 2.18 火山ハザード評価は、通常、代替概念モデルがハザード評価における顕著な差違に帰着できるよう、明文化されなければならない。もし代替モデルがハザード評価における顕著な差違に帰着した場合、それらの代替モデルはハザード評価を通して利用されなければならない。

hazards, then these alternative models are propagated through the hazard assessment.

VOLCANO CAPABILITY

2.19. The concept of a 'capable' volcano or volcanic field is introduced in this Safety Guide to denote those volcano(es) and/or volcanic field(s) that are potentially capable of producing hazardous phenomena that may affect the site of a nuclear installation. A capable volcano or volcanic field is one that: (i) has a credible likelihood of experiencing future activity during the lifetime of the installation and (ii) has the potential to produce phenomena that may affect the site of the installation. Following the identification of one or more capable volcanoes and/or volcanic fields, a comprehensive and site specific volcanic hazard assessment is developed. The designation of a volcano as capable is not dependent only on the time elapsed since the most recent eruption of the volcano, but rather is dependent on the credibility of the occurrence of future volcanic eruptions. This distinction is made because: (i) there is often considerable uncertainty about the timing of the most recent volcanic activity at volcanoes that have no documentation of historical eruptions and (ii) there are multiple deterministic or probabilistic methods of establishing the credibility of future eruptions, such as analysis of the eruption recurrence rate, assessment of the current state of activity of the volcano using geophysical and geochemical investigations, analysis of geochemical trends indicative of the magma productivity of the volcano system and analysis of the tectonic setting of the volcano.

DETERMINISTIC AND PROBABILISTIC APPROACHES

2.20. Both deterministic and probabilistic methods are currently used to assess volcanic hazards. Deterministic methods assess volcanic hazards using one or a few postulated worst case scenarios. Thus, they use thresholds to screen specific phenomena from further consideration. Such thresholds are often based on empirical evidence, such as the maximum volume or maximum lateral extent of pyroclastic flows. These methods, however, do not consider the full range of data and model uncertainty in the analysis. Probabilistic methods consider all potential hazard scenarios for a site and incorporate the uncertainties associated with each scenario into the final hazard calculation. Such analyses usually consider a range of potential frequencies, intensities and characteristics for each event. Both deterministic and probabilistic methods of hazard assessment rely on empirical observations and a theoretical understanding of volcanic processes. Volcano

火山の能力

2.19 考慮すべき火山・火山域の概念を、本安全指針に導入する。これは、火山や火山域が、原子力施設に影響を及ぼしうるハザード事象を作り出す能力があることを示すものである。考慮すべき火山及び火山域とは、
(i) 原子力施設の運用期間に火山活動が発生すると思われに足る十分な確率があり、(ii) その火山活動が原子力施設に影響を及ぼす現象をもたらす可能性がある。一つ以上の考慮すべき火山・火山域の区分により、総合的にサイト固有のハザード評価の開発が可能となる。考慮すべき火山を指定することは、最近の噴火からの経過時間だけでなく、将来の噴火可能性の信頼性に依存している。この判定は、下記を踏まえて実施される。(i) 歴史的な噴火に関する文書がない火山については、最近の火山活動のタイミングはかなり不確かがあること。(ii) 将来の噴火の可能性を推定する決定論的、確率論的方法が複数ある。(例：噴火頻度の分析、地球物理学的、地球化学的な調査に基づく現在の活動状態の評価、火山系のマグマ生産性を示す地球化学的な傾向の分析、火山の構造的状態の分析)

決定論的・確率論的手法

2.20 決定論的及び確率論的手法は共に現在火山災害を評価するのに用いられている。決定論的手法は、一つあるいは数個の最悪ケースのシナリオを仮定して火山ハザードを評価する。よって、決定論的手法は特定の事象について将来の考慮が不要としてふるい分けするために閾値を用いる。この閾値は、しばしば経験的な証拠（例えば、火砕流の最大体積や樹方向への最大広がり）に基づいている。しかしながら、これらの手法は、分析において、データ、モデルの不確かさを全ての範囲では考慮しない。確率論的手法はサイトに起こりうるハザードシナリオを全て考慮し、それぞれのシナリオに関連する不確かさを、最終的なハザード計算に組み込む。このような解析は通常、各イベントの潜在的な発生頻度、強度と特徴を考慮する。ハザード評価における決定論的及び確率論的手法はいずれも火山プロセスの経験的な調査と理論的な知見に依存している。決定論と確率論は相補的な性質を持っているため、火山の能力とサイト固有の火山ハザードは可能な限り、決定論と確率論両方を使用すべきである。

capability and the site specific volcanic hazard are evaluated using, to the extent possible, both deterministic and probabilistic methods because they are complementary.

2.21. In both deterministic and probabilistic approaches, the magnitude and spatial extent of volcanic phenomena are evaluated using geological data gathered in the site region and in a manner consistent with conceptual models of volcanic processes. These geological data can be supplemented with information from analogous volcanoes and from numerical simulation of volcanic phenomena. If the likelihood of occurrence of a phenomenon needs to be used to assess volcano capability or site specific volcanic hazards, relative and absolute age determinations can be used to estimate recurrence rates of volcanic events. In either a probabilistic or deterministic approach, analysis of uncertainties due to the available data and due to model assumptions is an integral part of the hazard assessment, as discussed in detail in Section 6, which deals with specific volcanic phenomena.

2.22. If differences in alternative models cannot be explained or resolved by means of additional investigations within a reasonable time frame, the final hazard evaluation should consider all such alternative models. The volcanic hazard assessment needs to quantify all uncertainties represented in alternative conceptual models, supported by the preparation of clear and traceable documentation recording the method(s) used to propagate each uncertainty through the hazard assessment process. Examples of methods used to include and propagate uncertainties include logic trees and bounding analyses based on individual models. It is important to recognize that any assessment approach, whether deterministic or probabilistic, will involve intrinsic uncertainties that will need to be taken into consideration.

3. GENERAL RECOMMENDATIONS

INTRODUCTION

3.1. This section provides general recommendations on the procedure for evaluating the volcanic hazards for the potential site of a nuclear installation. The outcome of a volcanic hazard assessment should be a transparent and traceable record of decisions made about site suitability and the determination of the design basis. Indeed, the recommended approach focuses only on volcanic phenomena

2.21 決定論的及び確率論的いずれの場合も、火山現象の規模と空間的広がりが、サイト地域で収集された地質学的データをもとに見積もられ、ある意味で火山プロセスの概念モデルと整合していなければならない。これらの地質学的データは類似火山の情報や火山現象の数値シミュレーションの情報によって補うことができ、一つの現象の発生頻度がサイト固有の火山ハザードあるいは火山の能力を評価するために使用される必要があるとしたら、火山イベントの再発頻度を評価するために相対的、絶対的な年代決定が使用できるであろう。確率論的及び決定論的手法いずれの場合においても、データやモデルの不確かさの分析は、ハザード評価（個々の火山現象を取り扱う6章で詳しく述べる）に不可欠な部分である。

2.22 もし、代替モデルの違いが説明あるいは、適当な時間枠内の追加調査によって解明されない場合、最終ハザード評価はこれらの全てのモデルを考慮すべきである。火山ハザード評価は、代替概念モデルに含まれる不確かさを全て定量化できなければならない。これは、ハザード評価プロセスを通じて各々の不確実性を伝えるために使用した手法の明確化で追跡可能な文書記録の作成によってサポートされる。不確かさを包含し、普及させるために使用される手法の例は、個々のモデルをベースにした、ロジックツリー、バウンディング解析（訳注；解析上の仮定や入力データに上下限の範囲を想定して解析を行い結果を評価すること）を含んでいる。評価に使用されるいかなる手段も、決定論的手法、確率論的手法を問わず、考慮が必要な不確実性を内包しているということを認識することが重要である。

3. 一般推奨事項

序論

3.1 本章では原子力施設のサイト候補地の火山ハザード評価に関する推奨手順を示す。火山ハザードの評価結果は、サイトの適合性と設計基準の決定に関して、明快で検証可能な記録であるべきである。実際に、推奨する手法はサイトにおいて実際に発生しうるハザードに関連する現象にのみ焦点を当てている。この手法は、ハザードがデンスシャルの増大に伴い情報レベルを上昇させる必要が増していくことを示している。この手法はまた、潜在的に活動的な火山から遠く離れたサイトでは、限定されたハザード影響の組合せ（例えば、遠距離の降下火砕物や火山性の津波）を考慮すれば良いことを示している。あらゆる火山ハザードを考慮しなければならないのは、潜在的に活動的な火山の近くに位置するサイトである。

that represent potential hazards to the site. This approach recognizes the need for increasing levels of detail in information in accordance with increasing levels of hazard at the site. This approach also recognizes that, for sites located far from potentially active volcanoes, only a limited subset of potential hazards should be considered, for example, only distant tephra fallout and/or volcanogenic tsunamis. The full range of potential hazards should be considered for sites located closer to potentially active volcanoes.

3.2. The general goal for the volcanic hazard assessment is to determine the capability of a volcanic source, defined as a volcano and/or volcanic field for the purpose of this Safety Guide, to produce potentially hazardous phenomena that may reach the site and affect the safety of the nuclear installation. Thus, a comprehensive volcanic hazard model for the site should be established, if deemed necessary. This goal should be accomplished throughout the implementation of an approach based on four stages, as follows and as presented in Fig. 1:

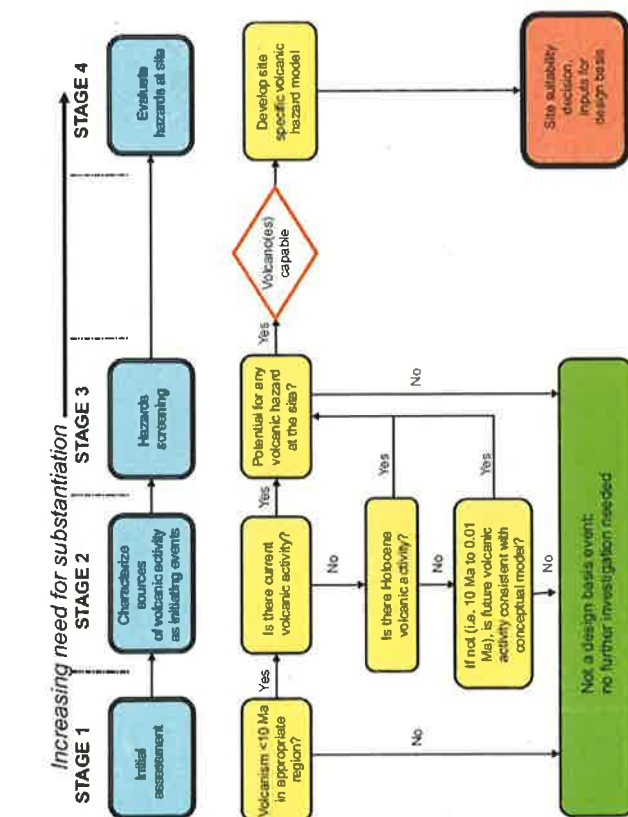


FIG. 1. Methodological approach to volcanic hazard assessment.

3.2 一般的な火山ハザード評価の目標は、原子力サイトに到達し原子力施設の安全性に影響を与える潜在的に危険な現象を作り出す火山（本安全指針では火山や火山帯を指す）の能力を判断することである。したがって、必要に応じて、サイトの総合的な火山ハザードモデルが構築されるべきである。この目標は図1に示す4つのステージを基本とした手法の実行により成し遂げられるべきである。

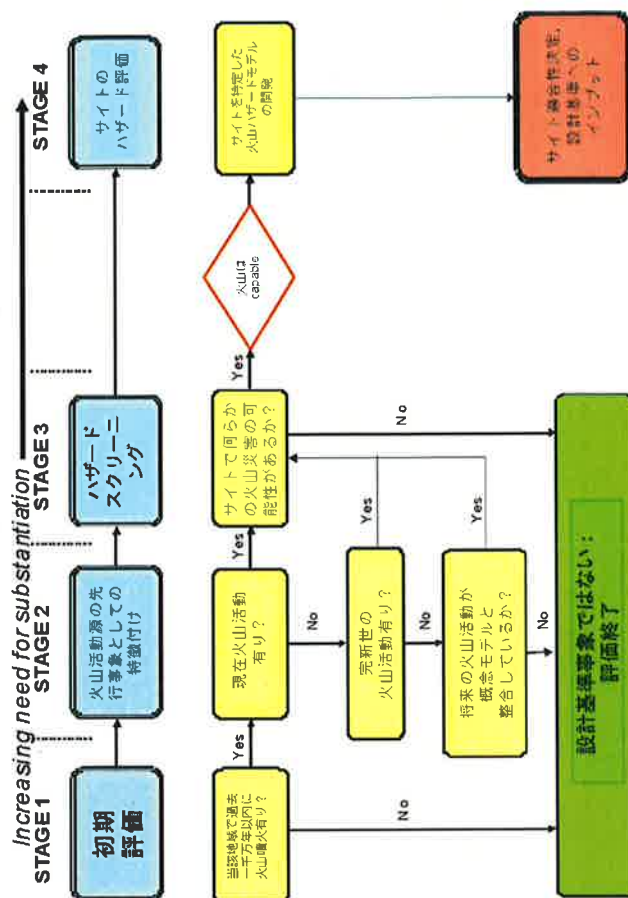


図-1 火山ハザード評価の方法論的手法

英 文	和 訳
(i) Stage 1: First, an initial assessment should be carried out to define a geographical region around the site that encompasses all sources of volcanic activity that may have occurred during the past 10 Ma. (ii) Stage 2: Second, once these sources of volcanic activity have been identified, they should be evaluated to establish the possibility of their erupting or producing another volcanic event in the future. (iii) Stage 3: Third, the possibility of future volcanic events creating hazardous phenomena that may adversely affect the site of the nuclear installation should be evaluated. Volcanoes that do not have the potential to produce hazardous phenomena at the site should be screened out from further consideration. (iv) Stage 4: Finally, if a capable volcanic source is identified, a site specific volcanic hazard assessment should be conducted. This assessment should include each of the specific phenomena that may affect the site and should consider potential causal relationships among these phenomena. Each of these stages is briefly described in the following paragraphs and additional guidance is provided in subsequent sections. 3.3. At each stage of the assessment, it should be determined whether sufficient information is available to evaluate adequately the volcanic hazards at the site. In some cases, the information available could be sufficient to screen specific volcanic phenomena from further consideration. In other cases, additional information should be acquired in order to estimate volcanic hazards, to determine site suitability and/or to derive the related design basis events. 3.4. In the first stage of the siting process, i.e. during the site survey, relevant data should be collected from available sources of information (publications, technical reports and related material) in order to identify volcanic phenomena with the potential for hazardous effects at the identified candidate site(s). In this regard, Annex II provides worldwide sources of information that can be used for such purposes. GENERAL PROCEDURE Stage 1: Initial assessment 3.5. The initial stage of the hazard assessment should focus on two primary considerations:	(i) ステージ 1：第一に、初期評価を実施し、過去 10Ma の間に発生した全ての潜在的火山活動を含む、サイト周囲の地質学的な地域を定義すべきである。 (ii) ステージ 2：第二に、それらの火山活動の源が区分された段階で、それらの火山が将来噴火するか、火山性の事象をもたらす可能性を評価しなければならない。 (iii) ステージ 3：第三に、原子力施設立地サイトに将来悪影響を与える可能性のある危険な現象を発生させる火山性事象を評価すべきである。サイトにおいて危険なハザードをもたらさない火山は、以降の検討から除かれる。 (iv) ステージ 4：最後に、考慮すべき火山が区分できた場合、サイト固有の火山ハザードの評価を実施すべきである。この評価はサイトに影響を及ぼしうる特定の現象と、それらの事象の潜在的な因果関係の双方を考慮しなければならない。 これらの各ステージを次のパラグラフにおいて簡単に説明し、追加の指針を続くセクションに記載する。 3.3 評価の各ステージでは、サイトの火山ハザード問題の適切な評価を行うための十分な情報が得られているか否かの判断をしなければならない。場合によっては、利用可能な情報によって、特定の火山現象はそれ以上の検討が必要ないと判断するのに十分なこともあり得る。その他のケースでは、火山ハザード評価においてサイトの適合性と関連する設計基準を定めるために、追加の情報が求められることもあり得る。 3.4 サイト選定の最初のステージ（すなわちサイト調査期間）では、候補サイトにおいて危険な現象の可能性を有する火山現象を区分するため、利用可能な情報源（出版物、技術報告書、関連資料）から関連データが集められるべきである。この観点から、補遺 2 にこのような目的で利用可能な世界中の情報源を示す。 基本手順 ステージ 1 初期評価 3.5 ハザード評価の初期ステージでは 2 つの主要な事柄に重点をおくべきである。

英 文	和 訳
(1) Definition of an appropriate geographical region around the identified candidate site(s) that encompasses all potential sources of volcanic hazards; (2) Collection of evidence of volcanic activity occurring within that region during the past 10 Ma. The geographical region will depend on the nature and type of volcanic phenomena listed in Table 1, which span orders of magnitude in scale, varying from tens of kilometres for some phenomena, which are the most important regarding the selection of the site and the safety of the installation, to thousands of kilometres for other phenomena, such as tephra fallout and tsunami. This stage should include a detailed review of available sources of information for the geographical region around the site. This detailed review would typically use geological maps, results from previous geological investigations and other information as discussed in Section 4. At this stage, the geographical region around the site(s) for which the hazard assessment will be performed is defined.⁴ 3.6. The outcome of stage 1 should be a determination of the presence and distribution of volcanic sources younger than 10 Ma in the geographical region around the identified candidate site(s). If volcanic sources younger than 10 Ma are not present in the geographical region, no further investigations are necessary.	(1) サイト候補地周辺の火山災害の全ての潜在的要因を包含する地理的な領域を定義する (2) 地域で 10Ma の間に発生した火山活動の証拠を収集する 地理的領域は、自然と火山事象のタイプに依存しており（表 1 参照）、それは様々な程度の規模におよび、サイト選定上最も重要な現象や安全に関係する事象の数キロオーダーから、降下火砕物や津波のように数千キロの範囲に及ぶ。このステージはサイト周辺の地理的領域の利用可能な情報源の詳細なレビューを含むべきである。この詳細レビューは一般的には地形図や先行の地質調査、4 章で議論する「その他の情報」を利用する。このステージでは、ハザード評価が実施されるサイト周辺の地理的エリアを決定する⁴。 3.6 ステージ 1 の結果は、各サイト候補地の周辺地域における 10Ma よりも若い年代の火山源の存在と分布を確定すべきである。もし 10Ma よりも若い火山源が存在しなければそれ以上の調査は不要である。
Stage 2: Characterization of potential sources of future volcanic activity 3.7. If the outcome of the initial assessment in stage 1 indicates that volcanic sources younger than 10 Ma are present in the geographical region, then a conceptual model for volcanic processes in the region should be developed. This conceptual model, or set of alternative conceptual models, should include analysis of the tectonic setting of volcanism, frequency of eruptive activity and similar information about geological trends. Volcanoes that are consistent with the conceptual model for volcanic processes, and all volcanoes registering Holocene activity, should be characterized further. Alternatively, if it can be justified using a conceptual model of volcanism that there is no credible potential for future eruptions, for example, if the tectonic setting that gave rise to past activity at these volcanoes has changed appreciably, then these volcanoes should be screened out from further consideration. Such justification may be supported using a hierarchical analysis, as described in paras 5.5–5.15. 4 In the following paragraphs, the term ‘geographical region’ refers to the region around the site(s) for which the volcanic hazard assessment is performed.	ステージ 2 将来の火山活動の潜在的な発生源の特徴付け 3.7 ステージ 1 の初期評価の結果、10Ma より若い火山源が地理的領域に存在することがわかった場合、領域内の火山活動プロセスの概念モデルを開発すべきである。この概念モデルあるいは代替概念モデルのセットは、火山現象の構造環境、噴火活動の頻度、地質学的傾向が類似する情報の解析を含む必要がある。火山活動プロセスの概念モデルと調和した火山と完新世の活動がある火山はさらに特徴づけられる。但し、将来の噴火の可能性がない概念モデルの使用が正当化される場合（例：火山の過去の活動を生じさせた構造環境が明らかに変化している場合）は、それらの火山はそれ以上の検討から除外すべきである。このような正当化は、パラグラフ 5.5～5.15 に記載した階層的な解析によりサポートされるであろう。 注 4 以下のパラグラフでは、「地理的領域」という用語は、サイト周辺の火山ハザード評価が実施される領域のことを指す。

Stage 3: Screening of volcanic hazards

3.8. In cases where the potential for future volcanic activity in the site region cannot be ruled out, the potential should be evaluated for hazardous phenomena to affect the site in the event that an eruption or other volcanic event occurs. This evaluation should be performed for each of the phenomena associated with each potentially active volcanic source (i.e. a volcano or a volcanic field) in the geographical region around the site, as defined in stage 1. Deterministic and/or probabilistic methods should be used to evaluate the potential for hazardous volcanic phenomena to reach the site. All potentially active volcanic sources in the geographical region do not necessarily produce all the volcanic phenomena listed in Table 1. Volcanoes that do not have the potential for producing hazardous volcanic phenomena at the site should be screened out from further consideration in the hazard assessment.

Stage 4: Hazard assessment of capable volcanoes

3.9. Volcanic sources identified in stage 3 as being volcanic sources that may possibly erupt in the future and which may produce potentially hazardous volcanic phenomena at the site are considered capable volcanic sources (see para. 2.16). Consequently, a site specific volcanic hazard assessment should be conducted for all capable volcanic sources in a comprehensive manner, covering all the volcanic phenomena listed in Table 1. The outcome of this assessment forms the technical basis for decisions about:

- (a) The suitability of the site;
- (b) The derivation of the design basis for those phenomena whose effects can be mitigated by measures for design and operation if the site is deemed as otherwise suitable.

Additional considerations

3.10. If volcanoes within the geographical region are sources of credible hazards at the site, then the characteristics of these capable volcanoes are required to be monitored over the lifetime of the installation [1]. In this case, a monitoring programme for early warning in the operational stage should be prepared and implemented before commissioning, in coordination with specialized agencies in the State for early warning of natural hazards. Normally, emergency planning requirements for an installation will include such a monitoring programme and such operating procedures.

ステージ3 火山ハザードのスクリーニング

3.8 サイト地域における将来の火山活動の可能性が無視できない場合、噴火又はその他の火山イベントの発生によって引き起こされる、サイトに影響を及ぼすハザード現象の可能性を評価すべきである。この評価は、ステージ1で決定したサイト周辺地域における個々の潜在的活動性を持つ火山源（すなわち、火山及び火山域）によって引き起こされる個々の火山現象毎に実施されなければならない。決定論的手法及び／又は確率論的手法がサイトに到達する危険な火山現象の発生可能性を評価する際に使用されるべきである。地理的エリアにある全ての潜在的活動性のある火山が、表1にある全ての火山現象を必ずしももたらすわけではない。サイトに危険な火山現象をもたらす可能性を持っていない火山源は、それ以上の検討から除外する必要がある。

ステージ4 考慮すべき火山のハザード評価

3.9 ステージ3で、将来噴火する可能性があり、サイトにおいて潜在的に災害をもたらさうな火山現象を引き起こす火山源は、考慮すべき火山源と見なされる（パラグラフ2.16参照）。したがって、全ての考慮すべき火山・火山域に対して、表1に示す火山現象を総合的に網羅する、サイト固有の火山ハザードアセスメントが実施されなければならない。このアセスメントの結果は以下の各事項を判断する際の技術的基礎となる。

- (a) サイトの適合性
- (b) 設計及び運転による措置によって影響を緩和できる現象に対する設計基準の導出（当該現象が緩和することができ、サイトが適合と見なされる場合）

追加の考慮事項

3.10 地理的領域の火山がサイトにおいてハザード源となる場合、施設の運用期間中にそれらの考慮すべき火山活動の特徴をモニタリングする必要がある[1]。このケースでは、自然災害の早期警報の専門機関の協力のもとで、設備の運転期間中の早期警報のためのモニタリングプログラムが、試運転の前に準備され、履行されなければならない。一般的に、ある設備に関する緊急時対応の要求事項には、このモニタリングプログラムと操作手順が含まれている。

英 文	和 訳
4. NECESSARY INFORMATION AND INVESTIGATIONS (DATABASE) OVERVIEW 4.1. The cogency and robustness of any assessment of volcanic hazards are dependent on a sound understanding of: (a) The character of each individual volcanic source within the appropriate geographical region; (b) The wider volcanological, geological and tectonic contexts of such volcanic sources; (c) The types, magnitudes and frequencies of volcanic phenomena potentially produced by each of these sources. To achieve an appropriate level of transparency in the assessment, detailed information for each of the volcanic sources and their context in the region should be collected or acquired and compiled in a database. 4.2. The database should incorporate all the information that is necessary to support decisions at each stage of the volcanic hazard assessment. The structure of the database should be sufficiently flexible as to accommodate increasing levels of detail in information, completeness and integration as the analysis progresses through advancing stages of complexity. Initially, the database may be based on, or may include, information from existing international and national compilations of volcanological data. As site characterization progresses, additional data collected specifically for the assessment should be incorporated into the database. This section provides guidance about the types of and levels of detail in the information necessary for the assessment of volcanic hazards in accordance with the need for substantiation as the assessment progresses. 4.3. In addition to serving as an information resource, the database should also provide a structure for documenting the handling of data during the volcanic hazard assessment. This will serve to record the evidence and interpretations on which scientific decisions are based, as well as providing a basis for quality assurance of the data used for the assessment. For instance, all data used to formulate screening criteria and the consequent decisions should be contained in the database. Any data considered in the assessment but rejected as irrelevant or inaccurate for assessing the hazards or otherwise not used should also be retained in the database and identified as such, and justification should be provided as to	4. 必要な情報と調査 (データベース) 概要 4.1 火山ハザード評価の妥当性と健全性は、以下の十分な理解に依存している。 (a) 適切な地理的領域内の各火山源の特性 (b) そのような火山源の広範な火山学的、地質学的、地質構造的環境 (c) それらの個々の発生源により生じる可能性のある火山事象の種類、規模及び発生頻度 評価において適切なレベルの透明性を得るためには、各火山源の詳細な情報及びそれらの地域内での状況を収集あるいは取得し、データベースに蓄積すべきである。 4.2 データベースは火山のハザード評価の各ステージでの判断をサポートするために必要な情報を全て取り入れる必要がある。データベースの構造は、評価が段階を追って複雑化することを踏まえ、情報収集の増加レベル、完成度、及び集積化に対応できる十分な柔軟性を備える必要がある。データベースは、初期の段階で国際的あるいは国内の火山学に関する既存の収集情報に基づくか、それを含むものとなるであろう。サイトの特徴付けの進展に伴って、評価のために集められた追加のデータがデータベースに組み込まれる必要がある。このセクションでは火山ハザード評価のため、評価の進展に伴う具体化の必要性の増大とともに、必要となる情報の種類とレベルに対する指針を提供する。 4.3 情報源として役立つことに加えて、データベースは火山ハザード評価の間、データの取扱いを文書化するための構造を備えなければならない。この構造は科学的な判断の証拠と解釈の記録として役立つ以外に、評価で使われるデータの品質保証の基礎を提供する役割を担うであろう。例えば、スクリーニングの基準を示す全てのデータとその結果となる決定はデータベースに含まれるべきである。評価において考慮されたが、ハザード評価のためには不正確あるいは不適切とされて棄却されたデータや、またはその反対に何からの理由で使われなかったデータについても、全てデータベースに保持され、区分され、なぜそのデータが採用されなかったかを規定する必要がある。情報の提示の際に一貫性を保つため、可能な範囲で、データは出典に関する適切な情報とともに地理情報システムとして編集されなければならない。すべてのデータは、比較と統合が簡単な形で保存される必要がある。

why these rejected data are not considered in the assessment. To achieve consistency in the presentation of information, data should, whenever possible, be compiled in a geographical information system with adequate information concerning the source of the data. All data should be stored in a manner that facilitates comparison and integration.

INFORMATION NECESSARY FOR THE INITIAL ASSESSMENT (STAGE 1)

4.4. For the initial assessment (see Fig. 1), available geological knowledge should be used to determine whether any volcanic activity occurred in the past 10 Ma in an appropriate geographical region surrounding the site. If it is judged that the available geological information on the region is insufficient for this purpose, additional data should be sought, such as those described in paras 4.6–4.8, to provide an adequate basis for initial assessment.

4.5. The geographical region for the assessment does not have predetermined, uniform dimensions, but should be determined on the basis of the types of potentially hazardous phenomena resulting from volcanic activity younger than 10 Ma and which may have an impact on the safety of the nuclear power plant. The most important volcanic phenomena for the site selection and safety of the nuclear power plant are those that extend for short distances from the volcano. The region considered for such potential hazards might extend for only tens of kilometres from the site. For tephra fallout and other atmospheric hazards relating to volcanoes, the geographical region should extend for hundreds to thousands of kilometres from the site, with due consideration given to regional wind field patterns.⁵ Assessment of potential tsunamis induced by volcanic phenomena should consider, in an appropriate manner, an entire ocean basin for some coastal sites (see Ref. [5]). The geographical region to be investigated should be defined at the beginning of the volcanic hazard assessment.

4.6. A hierarchy of geological maps and volcanological data is necessary for the initial assessment. At this stage, available geological maps may be adequate if they provide data at various scales. For example, a 1:500 000 scale map may serve for the full area of study, while 1:50 000 scale maps may be used for the

5 As an example of the extension of the area affected by a volcanic eruption, a tephra fallout deposit of decimetric thickness off the Atlantic coast of South America from an unknown volcano located in the far Andean region, probably 1000 km distant, has been reported.

初期評価に必要な情報 (ステージ1)

4.4 初期評価ステージ (図1参照) では、利用可能な地質学的知識は、サイト周辺地域での過去 10Ma の間に火山活動の有無を判断するために用いられる必要がある。利用可能な地域の地質学的情報がこの目的に対して不十分であると判断される場合、初期評価に必要な基準を規定するため、パラグラフ 4.6～4.8 に示すような追加のデータを探す必要がある。

4.5 評価対象の地域的領域には、予め定められた一定の規模である必要はないが、10Ma より若い火山によって引き起こされる可能性のあるハザード現象の種類及びそれらの現象が原子力発電所の安全性に影響を及ぼしうたことを考慮して、判断されなければならない。原子力発電所のサイト選定とその安全性にとって最も重要な火山現象は、火山から短い距離に広がっている。このような潜在的ハザードで考慮される地域はサイトから数十 km 程度である。火山からの降下火砕物や他の大気ハザードでは、地理的な風の場パターン⁵を考慮する必要がある。火山現象はサイトから数百～数千 km にもなる。いくつかの海岸沿いのサイトでは、火山現象が引き起こす津波の評価において、海盆全体を適切に考慮しなければならない (参考資料 5 参照)。調査されるべき地理的領域は火山ハザード評価の開始時に定められなければならない。

4.6 初期評価では、地質図の階層と火山学的データの必要である。この段階では、利用可能な地質図は、様々な縮尺のデータによって提供されることが適切であろう。例えば、50 万分の 1 の地質図は、全域の検討に役立つであろうし、5 万分の 1 の地図はサイト近傍の検討に使用されるであろう。通常、初期評価には 5 万分の 1 かそれより大きい縮尺の火山地質図が必要となる。

注 5 火山噴火が影響する領域の広がりの一例としては、南アメリカの大西洋において、おそらく 1000km 以上離れたアンデス山脈地域にある未確認の火山から、数十 cm の厚さの降下火砕物が報告されている。利用可能な衛星画像、航空写真もまたこの目的のために役立つだろう。特に完新世と第四紀の火山では、国際的及び国内の火山データの編集物からデータ収集する必要がある。特定火山に対する火山ハザードマップとハザード評価が国の災害軽減プログラムの一部として、しばしば作成される。可能であれば、そのような火山ハザード

英 文	和 訳
region close to the site. Geological maps of volcanoes at a scale of 1:50 000 or larger will normally be necessary for the initial assessment. Available satellite images and aerial photographs may also be useful for this purpose. Data should also be retrieved from international and national compilations of volcanological data, especially for Holocene and Quaternary volcanoes. Volcanic hazard maps and hazard assessments of specific volcanoes are often conducted as part of national hazard mitigation programmes. If available, such hazard maps and assessments should be included in the initial assessment. All this information may be used to develop thematic mapping by means of a geographical information system, which should be developed throughout the various stages of the volcanic hazard assessment, as recommended in para 4.3. 4.7. Volcanism should be characterized in terms of the types of volcano and potential volcanic eruption concerned (see Annex I). At this initial stage, it will be helpful to consider volcanic activity also in terms of age, overall spatiotemporal trends, morphology, eruptive products and associated range of eruptive behaviours and tectonic setting. At some sites, offshore data, such as bathymetric data or drill core logs or descriptions, may be important in identifying potential volcanic sources and deposits during the initial assessment. This detailed characterization provides the groundwork for determination of the appropriate geographical region for volcanic hazard assessment. This characterization should be supported by data of an appropriate resolution. 4.8. Determinations of the age of volcanic products associated with the volcanic sources provide fundamental information for the initial assessment stage. Such age determinations may include historical information, stratigraphic relationships, radiometric dating and morphological considerations. The level of detail in the information should be critically assessed to ensure that all relevant volcanic sources have been identified and have age determinations of suitable quality. For many cases, the available information may not be sufficient for a robust appraisal at this stage of a site evaluation. In such circumstances, additional geochronological, geological and volcanological data should be established or acquired, and compiled. For instance, further sampling may be necessary in order to ascertain the age of volcanic products in the geographical region.	ドマップとハザード評価が初期評価に含まれるべきである。これら全ての情報は、地理情報システムにおいてテーマ別にマッピングする際に使われるであろう。テーマ別マッピングは、パラグラフ 4.3 で推奨したように、ハザード評価の様々な段階で実施されるべきである。 4.7 火山活動は、火山のタイプと、関係する火山噴火の可能性で特徴づけられる（補足 1 参照）。この初期のステージでは火山活動を火山の年代、全体的な空間一時間的傾向、形態、噴出物と噴火の範囲、地質構造の観点から考慮することもある。いくつかのサイトでは、海底地形データあるいはボーリングコア柱状図やその記述のような沖合のデータが、初期評価期間において、火山源の発生可能性と堆積物を区分する上で重要となる。この詳細な特徴づけは、火山ハザード評価の適切な地理的領域を決定するための基礎となるであろう。この特徴づけは適切に分析されたデータによってサポートされる必要がある。 4.8 火山源に伴う火山生成物の年代決定は初期評価ステージの基本情報である。そのような年代決定は、歴史的な情報、層序関係、放射年代測定、形態学的考慮を含むものとなる。詳細な情報レベルは、関連する全ての火山源が区分されており、適切な精度で年代決定されていることを確実にするため、批判的に評価されるべきである。多くの場合、初期評価で利用可能な情報はこのステージのサイト評価を確実に実施するには不十分であるかもしれない。このような状況では、追加の地質年代学的、地質学的、火山学的データが見い出され、取得され、編集されるべきである。例えば、地域的領域の火山噴出物の年代を特定するために更なるサンプリングが必要となるかもしれない。

INFORMATION NECESSARY FOR HAZARD SCREENING AND SITE SPECIFIC HAZARD ASSESSMENT (STAGES 2-4)

4.9. If the findings of the initial assessment indicate the occurrence of volcanism younger than 10 Ma, the next step should be to examine and, if necessary, gather more detailed information on the timing and the characteristics of that volcanism and any associated phenomena in the surrounding region. This information should be added to the volcanological database as indicated in the following paragraphs.

4.10. The database should incorporate statements or records of associated uncertainties, data quality, data sources and any other related information that can be helpful in assessing the strength of evidence and the reliability of the data in relation to establishing the robustness of the hazard assessment. Particular attention should be paid to documenting sources of uncertainty that arise from incomplete knowledge (i.e. epistemic uncertainties), as well as uncertainties that arise from data variability (i.e. aleatory uncertainties).

4.11. As volcanoes often have complex geological histories, additional information may be necessary in order to ensure a comprehensive hazard assessment. First and foremost, any information that is specific to a volcanic source found in the geographical region should be included in the database. Additionally, it needs to be recognized that the geological record of volcanic activity for a given specific source could be incomplete. For such cases, rates of activity at analogous volcanoes may be useful in supplementing information collected in the geographical region of the site in order to evaluate the potential for future eruptions. Similarly, the spatial distributions of volcanic products found at analogous volcanoes may be useful in helping to define 'screening distance values', i.e. the maximum distance value for a particular type of volcanic phenomenon and source beyond which the effects of the phenomenon may be ignored. Whenever such analogous information is utilized in the hazard assessment, it too should be included in the database.

Geological and volcanological data

4.12. Decisions regarding the characterization of volcanic sources and the determination of screening distance values all rely on information about the timing and magnitude of activity at possible volcanic sources. Therefore, the database should include information on the following:

ハザードスクリーニングとサイト特定ハザード評価で必要となる情報 (ステージ2~4)

4.9 初期評価の結果、10Ma よりも若い火山活動が明らかとなった場合、次の段階として、周辺地域の火山と火山に関係する全ての現象のタイミングと特徴に関するより詳細な情報収集が行われる必要がある。この情報は、次のパラグラフに示すように火山学的データベースに加えられるべきである。

4.10 データベースは、関連する不確かさ、データ品質、データソース、その他の関連情報の記述や記録を組み込むべきであり、それはデータの証拠としての確かさと信頼性 (ハザード評価の確かさを確立することに関連して) を評価する上で有用なものとなる。不十分な知識に起因する不確かさ (すなわち、認識的不確かさ) の源の記述には、データの変動性に起因する不確かさ (すなわち、偶然的な不確かさ) と同様、特に注意が必要である。

4.11 火山はしばしば複雑な地質史を有しているため、総合的なハザード評価を確実にするために追加の情報が必要とされるであろう。地理的領域で見いだされた火山起源に特有のあらゆる情報がデータベースに入れられるべきである。さらに、与えられた特定の火山源の火山活動の地質学的記録が不完全であり得ることを認識しておく必要がある。このような場合、類似火山の活動の割合は、将来の噴火確率を評価するためにサイト周辺で収集された情報を補足するのに有用であろう。同様に、類似火山で見られる火山生成物の空間的分布は「スクリーニング距離値」、すなわち、特定の火山事象や火山源に対してその距離以上では火山事象の影響が無視できるという距離の最大値—を規定するのに有用であろう。類似の情報がハザード評価の中で利用される時はいつでも、それらがデータベースに含まれる必要がある。

地質学的、火山学的データ

4.12 火山源の特徴付け及びスクリーニング距離の判断は、可能性のある火山源の活動の時期と規模に関する情報に依存する。したがって、データベースは以下の事項を含まなければならない。

- (a) The types (morphology) and spatial distribution of volcanic sources and geological controls on the distribution of these volcanic sources (such as their relationship to tectonic features);
- (b) The number and timings of eruptions at each source;
- (c) The repose intervals between eruptions and the durations of eruptive episodes at each source, where it is possible to determine these;
- (d) The current topography of each possible source of volcanic activity and its relationship to the topography of the site (such information may be included as a digital elevation model);
- (e) The range of eruption magnitudes, dynamic processes (such as eruption intensity and style) and eruptive products;
- (f) Information about trends in eruptive activity, such as the spatial migration of volcanic sources or temporal evolution of geochemistry, and changes in the volume of eruptive products.

4.13. For volcanic sources with any documented historical activity, the database should contain information relevant to gaining a full understanding of the scale and timing of this activity. Volcanological information taken from historical sources should include the following:

- (a) The location of the volcanic sources (e.g. latitude, longitude, elevation) and the dates and durations of eruptions;
- (b) A description of the types of eruptive product, including their areal extent, volume and composition;
- (c) The areal extent and characterization (e.g. magnitude, intensity, peak ground acceleration and time history, if available) of associated seismic activity, ground deformation and other geophysical and hydrological activity or anomalies;
- (d) A description of current activity at the volcano, including monitoring programmes and review of monitored data (such as seismic data and ground deformation data), if any.

4.14. The database should include descriptions of any volcanic products younger than 10 Ma. For Holocene and younger volcanoes, including those that are currently active, the entire geological history of the volcano should be investigated, not only the period of most recent volcanic activity. An evaluation of the uncertainty in age determinations should be included in this assessment. For example, typically, the stratigraphy of pyroclastic units is complex and incomplete. Assessment of the completeness of the geological record should be attempted, even if all volcanic deposits cannot be mapped. The ages of volcanic

- (a) 火山源のタイプ（形態）、空間的な分布と、それらの火山源の分布に関する地質学的な制約（例：地質構造的特徴の関連性）

- (b) 各火山源の噴火発生数と噴火時期

- (c) 各火山源の噴火の休止期間、噴火の持続時間（但し分かる範囲で）

- (d) 可能性のある各火山活動源の現在の地形及びサイトの地形との関連（そのような情報は数値標高モデルに含まれるであろう）

- (e) 噴火規模の範囲、動力学的プロセス（例：噴火の強度と型式）、噴火生成物

- (f) 噴火活動の傾向（例：火山源の空間的移動、地球化学の時間的進展、噴火生成物の量の変化）

4.13 文書化された記録を有する火山活動源については、この活動の規模と時期の十分な理解を得るための情報をデータベースに含めるべきである。歴史資料から得られる火山学的情報は以下のものを含まなければならない。

- (a) 火山活動源の場所（すなわち経度、緯度、標高）、噴火日と噴火の持続期間

- (b) 噴火生成物の種類、地域的広がり、量と組成

- (c) 関連する地震活動、地盤の変形、その他の地球物理学的、水文学的活動又は異常の地理的範囲と特徴（例：可能であれば、規模、強度、最大加速度とそれらの時間変化）

- (d) 観測プログラムと観測データの分析を含む、火山活動の記録（例：地震や地殻変動のデータ）

4.14 データベースは 10Ma より若いあらゆる噴火生成物に対する記述を含むべきである。完新世とそれよりも若い火山、一今活動中の火山を含めて一においては、最近の火山活動だけでなく、全ての地質学的歴史を調査すべきである。年代測定の不確かさの評価は、この評価の中に含まれているべきである。例えば、火砕性ユニットの層序は通常、複雑で不完全である。全ての堆積物が図化できないとしても、地質学的記録の完全性の評価が試みられるべきである。火山性堆積物の年代は、数値化されるべきであり、火山活動史を明らかにするために、互いに関連付けられるべきである。

deposits should be expressed numerically and should be correlated to provide a complete description of the history of the volcanic activity.

4.15. The information in the database should form the substantive basis on which to assess the potential for specific phenomena to affect the site and should be used to develop screening distance values for these phenomena. Therefore, data should be compiled on volcanic products that could reach the site from each of the potential sources identified. Deposits younger than 10 Ma in the geographical region of interest should be identified and evaluated to provide the following information:

- (a) The type and distribution of deposits and an identification of the likely source or sources;
- (b) The ages and volcanological and petrological characteristics of the associated eruptions and their products.

4.16. The viability and usefulness of this type of information is highly dependent on the age of the deposits and the completeness of the geological record. Wherever possible, complete volcanological information should be collected. In order to compile complete volcanological information, it may be necessary to drill one or more boreholes at the site and to log and sample the stratigraphic section revealed in these boreholes. Rock samples from these boreholes may be characterized petrographically and geochemically, and, if appropriate, radiometric age determinations may be made using these samples.

4.17. If volcanic deposits are identified, additional information should be provided for each distinguishable tephra fallout episode that may have impacted the site. For example, tephra fallout from a nearby volcano that did not result in deposition at the site itself — perhaps only because of meteorological conditions during the eruption — should also be included in the database. The following information should be collected about each individual tephra fallout deposit:

- (a) Isopach and isopleth maps showing the extent, thickness, volume, particle sizes and dispersion axis of the deposit;
- (b) The equivalent static load (wet and dry) of the deposit;
- (c) Derived eruption parameters, such as eruption column height (if not directly observed), mass eruption rate and eruption duration.

4.18. For each distinguishable deposit produced by pyroclastic flow, pyroclastic surge or volcanic blast that may have impacted the site vicinity, the following information should be collected:

4.15 データベースの情報は、サイトに影響を及ぼす固有の現象の可能性評価に基づく本質的な根拠を形成するべきであり、それらの現象のスクリーニング距離を求めるために用いられなければならない。したがって、個々の区分された潜在的火山源からサイトに到達する火山生成物についてのデータが収集整理されるべきである。地理的領域内の 10Ma よりも若い堆積物は、次の情報が得られるよう、評価され区分される必要がある。

- (a) 堆積物の種類と分布、想定される火山源（複数の火山源）の同定
- (b) 関連する噴火とその生成物の年代、火山学的・岩石学的特徴

4.16 この種の情報の実行可能性と有用性は、堆積物の年代、地質学的記録の完全性、地球上のどこに火山が位置するかにも高く依存している。可能な限り、完全な火山学的情報が収集されなければならない。完全な火山学的情報の編集のために、サイトやサイト周辺で 1 箇所かそれ以上のボーリング孔を掘削し、それらのボーリング孔で明らかにされる層序学的区分を記録し、サンプリングすることが必要である。ボーリング孔からの岩石試料は、岩石学的、地球化学的に特徴づけられ、可能であれば、これらの試料を用いて放射年代測定が行われるであろう。

4.17 そのような火山堆積物が同定された場合、追加の情報が各々のサイトに影響を及ぼし得る区分可能な降下火砕物毎に提供されるべきである。例えば、サイトには堆積しなかった周辺の火山からの降下火砕物—おそらく噴火時の気象条件が原因—もまたデータベースに含まれるべきである。個別の降下火砕物の堆積物に対して、以下の情報が収集されるべきである。

- (a) 堆積物の範囲、厚さ、体積、粒径、分布軸を示す等厚線図と等値線図
- (b) 堆積物の等価静的負荷（湿潤／乾燥）
- (c) 噴煙柱の高さ（直接観察によらず）、質量噴出率、噴火継続時間のような、噴火パラメータ

4.18 サイト周辺に影響を与えたかもしれない火砕流、火砕サージ、火山性ブラストにより生じた個々の区分可能な堆積物について、次の情報を収集すべきである。

英 文	和 訳
(a) Thickness, volume, density, areal distribution, probable velocities and temperatures of emplacement and estimates of maximum dynamic pressure achieved during flow, if possible and if necessary; (b) Data on topographic features that influenced the direction and kinetic energy of flows driven by gravity or directed by volcanic blasts (areas over which such flows may have passed without leaving measurable deposits should also be shown); (c) Inferences from such data about the source conditions in each case (e.g. height above the vent of a pyroclastic flow involving column collapse). 4.19. For each distinguishable deposit produced by lava flow, lahar, debris flow or debris avalanche, the following information should be collected: (a) Areas inundated by these flow phenomena and the thickness and volume of the deposit; (b) Probable temperature of emplacement, velocity and estimates of dynamic pressure and related criteria to distinguish flows associated with magmatic activity from those not associated with magmatic activity; (c) Data on topographic features that influenced the flow path from the source, velocity and distribution of the flow and the relationship of the deposit to current topography. Geophysical and geochemical survey data 4.20. Data collected using instrumental methods at individual capable volcanoes within the region of interest can improve the overall hazard assessment. There are several reasons to survey such volcanoes: (a) To help reduce the level of uncertainty in the understanding of particular volcanic phenomena; (b) To provide an objective basis for detecting changes in the level of activity of a specific volcano and the prospects for future eruptive phenomena; (c) To take advantage of new emerging or improved technologies or techniques to strengthen available information (i.e. the volcanological database) about a specific volcano; (d) To comply with safety requirements for monitoring [1]. 4.21. The type and extent of geophysical and geochemical surveys to be carried out should be determined on the basis of information requirements for the volcanic hazard assessment. In the case of the selection of a site for a new nuclear power plant, surveys should be considered at the earliest stage of the process. In	(a) 堆積した場所の厚さ、体積、密度、傾域内の分布、推定速度、温度及びもし可能であれば、流動中の動力学的最大圧力の推定 (b) 重力による流れの方向と運動エネルギー、あるいは火山性ブラストの方向に影響を与えた地形の特徴に関するデータ（観測可能な堆積物なしにそれらが通過した領域も示されるべきであろう） (c) 各ケースにおける火山源の状態についてのデータからの推定（例：噴煙柱崩壊型を含む、火砕流の火口上部の高度） 4.19 溶岩流、火山泥流、土石流、岩屑なだれによる区分可能な堆積物の情報は以下を含むべきである。 (a) これらの流れ現象が流入した領域、堆積物の厚さと体積 (b) 堆積したときの推定温度、速度、動力学的推定圧力、並びに、マグマ活動に関連した流れと関連していない流れを区別するための判断基準 (c) 火山源からの流路、速度、流れの分布に影響を与えた地形の特徴と現在の地形との関係に関するデータ 地球物理学・地球化学的調査データ 4.20 当該地域内の個々の考慮すべき火山で計測機器により収集されたデータは、ハザード評価全体を改善する。そのような火山を調査するのはいくつかの理由がある。 (a) 特定の火山現象の理解にあたり不確かさがレベルが低減できること。 (b) 特定の火山の活動レベル変化の検知し、将来の噴火現象の予測に対して客観的な基準を提供すること。 (c) 特定の火山の情報（火山データベース）を強化する技術や技巧の創出、改善に役立つこと。 (d) モニタリングの安全要求に従うことができること[1] 4.21 実施される地球物理学的及び地球化学的調査の種類と範囲は、火山ハザード評価で必要となる情報に基づき判断される必要がある。新規サイトの立地評価では、調査は最も初期の段階で考慮されるべきである。地表の計測に加えて、サイト周辺のボーリング孔の地球物理学的及び地球化学的なデータにより、水とガスの化学組成（マグマ性のガスの存在）、温度、応力の状態、火山ハザード評価に関連する観察についての貴重な

英 文	和 訳
addition to surface measurements, geophysical and geochemical data retrieved from boreholes in the site vicinity may provide valuable data about water and gas chemistry (e.g. the presence of magmatic gases), temperature, state of stress and related observations relevant to volcanic hazard assessment. Survey data should be interpreted and integrated with other data that contribute to the site evaluation process and should be included in the database. 4.22. In the following paragraphs, brief reviews of some of the various recognized ways of surveying volcanoes for the evaluation of volcanic activity are provided. Specialist advice should be obtained for the design, implementation and analysis of these techniques. Close cooperation should be sought with institutions that operate existing monitoring systems, such as those national programmes with responsibilities and competences for forecasting volcanic eruptions and mitigating the consequences of any disaster. Survey planning and design should consider the possibility that data collection activities might evolve into a monitoring programme for operating nuclear power plants [1]. Volcano-seismic signals 4.23. Instrumental monitoring of volcano-seismic signals is generally recognized as being one of the best methods for detecting volcanic activity and changes in the state of a volcano. Volcanic unrest with the potential for eruptive activity can be discerned by certain patterns and types of volcano-seismic signal generated within or near the volcano. Dedicated seismic monitoring is necessary to detect these signals. 4.24. A well-designed, installed and operated seismographic network for volcano monitoring will record all types of volcano-seismic signal (e.g. tremors, as well as transient events) and its technical capabilities allow for the appropriate characterization of the properties of these signals. Recent developments in seismic tomography techniques and deep tremor detection, for instance, have demonstrated their usefulness for investigating volcanic systems. Ground deformation 4.25. Ground deformation and changes in volcanic topography may reflect surface instability or underground movement of magma, groundwater and gas. Reactivation of old landslides usually reflects unstable ground conditions or ground deformation. Typically, techniques for determining ground deformation provide measurements of variations in elevation, angles and distances between points in a network at established times. These measurements can be acquired by various techniques on	データが得られるであろう。調査データはサイト評価プロセスに寄与するデータとともに統合解釈され、データベースに含まれなければならない。 4.22 以下のパラグラフでは、火山活動評価のための火山調査に関する様々な認知された調査方法のうちいくつかを簡単に紹介する。これらの手法の設計、施工、分析に際しては、専門家の助言を受けるべきである。国の火山噴火予知・災害軽減プログラムのような、既存のモニタリングシステムを運用する団体との緊密な協力を想定すべきである。調査の計画と設計は、データ収集活動が建設された設備のモニタリングプログラムに進展する可能性を考慮しなければならない[1]。 火山性地震 4.23 火山性地震の計器によるモニタリングは、一般的に火山活動、火山の状態変化を検知するための最も良い手法の一つと考えられている。潜在的な噴火活動に伴う火山の前兆活動は、火山の近くで発生する火山性地震の特定のパターンと種類で判別できる。それらの信号を検出するためには専用の地震観測が必要となる。 4.24 火山観測のために適切に設計され、設置され、運用された火山モニタリング用の地震観測網は、全ての種類の火山性地震（微動、短期震動）を記録し、それらの性質の特徴付けが可能な技術的性能を有している。地震波トモグラフィ技術と深部の微動検出の最近の進歩は、例えば、火山系の調査におけるそれらの有用性を証明している。 地殻変動 4.25 地盤の変形や火山地形の変化は、地表の不安定性や地下のマグマ、地下水、ガスの移動を反映している。古い地滑りの再活動は、通常、地盤状態の不安定性や地殻変動の反映である。一般的に、地殻変動の測定は観測網におけるポイント間の標高、角度、距離の変化を繰り返し計測することにより実施する。これらの計測データは、地表面あるいはリモートセンシング等の様々な技術によって得られる。地殻変動は極めて微小であるか、あるいは、相関する事象により不明確となるため、地殻変動に関する観測網は評価の初期段階で準備することが必要となる。

the ground or by remote sensing. As ground deformation may be extremely subtle, or may be obscured by confounding effects, ground deformation monitoring networks need to be deployed at an early stage in site evaluation.

Geomagnetism and geoelectricity

4.26. Measurements of geomagnetic and geoelectrical parameters may be useful for understanding underground structure and the position of magmatic bodies or groundwater systems and for detecting changes in them. The results of these measurements can enhance the understanding of volcanic structures and the large scale geophysical and geological properties of the volcanic edifice, such as zones of hydrothermal alteration.

Gravity

4.27. Measurements of gravity are made over volcanic terrain to provide useful information about rock properties, such as porosity and mass density, and about geological structure, such as the distribution of faults in volcano edifices. When detailed measurements of temporal variations in gravity can be made in conjunction with precise measurements of ground deformation, it may be possible to detect movement of volcanic fluids or other internal mass transfer processes.

Gases

4.28. The composition and the flux of gases discharged from a volcano via craters or fumaroles, or passively through the ground or into crater lakes, provide useful clues as to the degree and character of volcanic activity. Multiple chemical species and variations in the isotopic composition of gases can provide an indication of the predominance of a juvenile magmatic origin or a hydrothermal or meteoric source for the gases. For hazard assessment purposes, the area affected by such degassing, either by direct emanations through the soils of the area, or by mass loading of the atmosphere, should be established. Variations in gas output can also be indicative of a change in the state of the volcano.

Geothermal anomalies and geothermal fluids

4.29. Changes in the temperature, composition and location of thermal anomalies relating to fumaroles, vents, crater lakes, hot and cold springs, soils and snow and ice fields are often good indicators of variations in volcanic activity. Therefore, the implementation of a programme of inspection, monitoring or repeated

地球磁気学と地球電気学

4.26 地球電磁気学的パラメータの測定は、地下構造、マグマや地下水系の位置の把握、それらの変化の検知に有用である。これらの測定結果により、火山の地下構造や、熱水変質帯のような大きなスケールの火山構造の地球物理学的、地質学的特性の理解を深めることが可能である。

重力

4.27 重力の測定は、(空隙率や密度のような) 岩石の性質や、(火山構造中の断層の分布のような) 地質構造に関する有用な情報を得るために火山地域で行われる。時間的な重力変化の詳細な測定が、正確な地震変動の計測と共同で実施された場合には、火山性流体あるいは他の内部の物質移動のプロセスを検知できる可能性がある。

ガス

4.28 火山からクレーターや噴気孔を通り排出されるもの、または、大地や火山湖を通り受動的に排出されるガスの組成と流動は、火山活動の程度と特徴に関する有用な証拠が得られる。火山ガスの多様な化学種と同位体組成の変化は、ガスの卓越する発生源が、初生マグマや熱水、又は天水を示唆している。ハザード評価の目的では、このようなガス放出（土壌からの直接的な発散、大気の重量荷重による放出）に影響される地域を明確化する必要がある。ガスの放出量の変化により、火山の状態変化の兆候が判断できる。

地熱異常と地熱流体

4.29 噴気孔、火口、火口湖、温泉または冷泉、土壌、雪、氷原に関連する熱的異常の温度、組成、位置変化は、しばしば火山活動変化の良い指標となる。したがって、地上またはリモートセンシングによる調査、観測繰り返し計測等のプログラムの実施により、これらの情報を得ることが出来る。

measurements on the ground or by remote sensing will allow all this information to be obtained.

Groundwater circulation

4.30. Significant changes in groundwater conditions can be induced by volcanic activity, sometimes acting over large distances. In this regard, the monitoring of fluctuations in water level and discharge rate and changes in the chemical composition, temperature, conductivity and dissolved gas content of hot or cold springs and crater lakes provides useful information. In addition, other, more specialized, techniques such as bathymetric measurements and acoustic monitoring of crater lakes may be appropriate.

Other phenomenological observations

4.31. Detailed and regular visual observations and inspections provide the most fundamental primary data for assessing the state of activity of a volcano. Sometimes, the earliest signs of unrest can be detected by basic observations, such as anomalous sounds, earthquakes and ground vibrations sensible to humans, temperature variations and fluctuations in the activity of fumaroles and hot springs, patterns of snow melting, drying up of wells, springs and lakes, and changes in the state of vegetation. Visual observations of the flux, intensity, colour and other features of gas or steam venting should be made because they may be informative and can be easily undertaken and reported. If such visual observations are possible, the installation of visible wavelength or infrared cameras for remote surveillance, for instance, may be warranted.

4.32. Initially, many simple phenomenological observations may be anecdotal but, if verified, these should be formalized and integrated into the database, together with any information collected by more formal means.

4.33. The database should also contain the following additional information:

- (a) Statistics on seasonal wind directions and velocities as a function of altitude, where available;
- (b) Rainfall or snowfall data;
- (c) Data useful for the identification of potentially unstable slopes on volcanoes that could result in landslides and debris avalanches, such as digital elevation models, topographic maps and drainage patterns.

地下水循環

4.30 火山活動によって（時には遠く離れた場所で）地下水の状態の顕著な変化が生じることがある。この点に関して、水位と放出量の変動、化学組成の変化、温度、電導度、温冷泉と火山湖の溶存ガス量の変化のモニタリングは有用な情報を提供する。さらに、より専門的な手法（火山湖の深淺測量や音波探査のような）も適切であろう。

その他の現象の観察

4.31 詳細で定期的な目視観測と調査は火山の活動状態を評価するための最も基本的なデータを提供する。ときおり、基礎的な観測（例：異常な音、有感地震や地面の振動、温度変化、噴気孔や温泉の活動変化、融雪のパターン、井戸・泉・湖の枯渇、植生の状態変化）により、ごく初期の段階で前兆が検出される場合がある。ガス又は蒸気噴気の流量、強度、色や他の特性の目視観察は、それらが有益であり容易に実施することができ、報告されるべきである。そのような目視観測が可能な場合、例えば遠隔モニタリングのための可視光または赤外線カメラの設置が望ましいであろう。

4.32 最初は、多くの単純な現象の観測であるが、もし確認された場合はこれらの事象はきちんと検証され、他の正式な情報とともにデータベースに統合されるべきである。

4.33 データベースはまた、以下の追加情報を含む必要がある。

- (a) 季節ごとの風向風速の高度別の統計（可能であれば）
- (b) 降雨量、降雪量データ
- (c) 地滑りや岩屑なだれを起すような火山の不安定な斜面を同定するために有用なデータ（例：数値標高モデル、地形図、水系図）

4.34. For satisfactory interpretation, volcano monitoring data should be integrated with complementary meteorological data. These may be obtained by cooperation with surveillance functions undertaken for other purposes at the nuclear power plant, as well as from regional, national or international weather services.

4.35. Water courses that could become involved with the transport of volcanic products towards, or the accumulation of sediment near, the site should be characterized and measurement programmes should be instituted. Real time early warning monitoring systems may be warranted in certain circumstances.

Monitoring for unrest and eruptions

4.36. Since the identified capable volcanic sources should be subject to a monitoring programme (see para. 3.9), monitoring data on unrest and eruptions should be recorded in the database. Many of the methods discussed in this section, such as volcano-seismic signals, are frequently used for monitoring purposes. Monitoring is often improved by utilizing multiple methods. If a capable volcano starts erupting, a programme of systematic sampling of products (e.g. lava, ash, aerosols) should be implemented to provide detailed information on the eruptive process and the potential for further hazardous phenomena. Such data gathering and documentation relating to unrest and eruptions should, whenever possible, be coordinated with institutions that have responsibilities and competence in national volcano monitoring programmes.

Emerging techniques

4.37. New and improved techniques for volcano monitoring and for geophysical and geochemical surveying of volcanic systems will continue to emerge. In terms of supporting a site specific volcanic hazard assessment or determining volcano capability, the fundamental criterion as to whether any new monitoring or surveying technique can be accepted for use in a volcanic hazard assessment already under way is that the new test or technique provides substantive data or evidence in context and that it is well recognized by the scientific community. If these conditions are satisfied, data from such techniques may be incorporated in the database, although, in the event of controversy, preference should be given to data obtained using well-established 'state of the art' techniques. Use should also be made of data arising from work undertaken for other purposes (e.g. for the assessment of other types of hazard at the site, to meet operational safety requirements or as part of national or regional hazard mitigation programmes).

4.34 十分な解釈のため、火山モニタリングデータは補足的な気象データと統合すべきである。これは、地域の国内・国際的気象サービスからのものと同様、原子力発電所において他の目的で実施された調査活動と協力して得られるだろう。

4.35 水路は、火山生成物の輸送路となり、サイト周囲に堆積させる特徴的な要因であることから、監視プログラムを設ける必要がある。特定の条件では、早期警報モニタリングシステムが有効であろう。

火山活動と噴火のモニタリング

4.36 考慮すべき火山源はモニタリングプログラムが適用されるため（パラグラフ 3.9 参照）、火山活動と噴火の観測データはデータベースに記録されなければならない。火山性地震のような、本章で議論する方法の多くはモニタリングの目的で頻繁に使用されている。モニタリングは通常複数の手法を活用することで改善される。考慮すべき火山が噴火を始めた場合、生成物（溶岩、灰、エアロゾル）を系統的に採取するプログラムが、詳細な噴火プロセスの情報や将来の潜在的な災害事象を求めるために実施されるべきである。この不安定性と噴火に関係したデータ収集と文書化、モニタリングは、可能な都度、国の火山観測プログラムを担う適正な機関と協力して実施すべきである。

先端技術

4.37 火山モニタリング及び火山系の地球物理学的及び地球化学的な新しい、改良された技術が今後も生み出されるであろう。サイト特有の火山ハザード評価を補助する観点から、あるいは火山の能力を評価する観点から、新しいモニタリング技術、調査技術が進行中の火山ハザード評価に使用できるか否かの基礎的な基準は、テストまたは手法が現場での実質的なデータあるいは証拠を提供し、それが科学界でよく認識されているかである。これらの条件を満足すれば、そのような手法によるデータは、データベースに組み入れられるべきである。しかし、議論がある場合には、確立された最新の技術に対して優先権が与えられるべきである。他の目的（例：サイトの他タイプのハザード評価、運転上の安全要求、国・地域の災害緩和プログラムの一部）で実行された作業からのデータもまた活用すべきである。

5. SCREENING OF VOLCANIC HAZARDS

5.1. Stages 1–3 of the volcanic hazard assessment (see Fig. 1) provide steps that lead to the identification of capable volcanoes. This should be accomplished using a hierarchy of screening decisions based on the potential for future volcanic activity and the location of the site relative to sources of hazardous phenomena. In this section, criteria are developed for decision making at each stage in this hierarchical assessment.

STAGE 1: INITIAL ASSESSMENT

5.2. This stage should focus on two primary considerations (as mentioned in para. 3.5): (i) definition of an appropriate geographical region for the initial assessment of volcanic hazards and (ii) collection of evidence of volcanic activity occurring within that region during the past 10 Ma. Stage 1 includes a detailed review of all available sources of information in order to determine an appropriate geographical region around the site. This detailed review should typically include geological maps, results from previous geological investigations and other information as discussed in Section 4. Criteria for defining the geographical region for the assessment are provided in paras 4.4 and 4.5.

5.3. For surface flow phenomena, consideration should be given to the topography between the site and possible volcanic sources. Areas with low elevation topography or broad, shallow drainages may be ineffective in diverting surface flows, even from volcanoes located more than 100 km from the site. Conversely, areas with steep topography and deep drainages may effectively capture and divert low energy surface flows from volcanoes located much closer to the site. Nevertheless, high energy surface flows, such as volcanic blasts, may readily overcome steep topography. The definition of the appropriate geographical region should be justified, to ensure that potentially hazardous volcanoes have been duly considered in the assessment.

5.4. The initial assessment in stage 1 should evaluate the evidence for the occurrence of volcanic activity within the past 10 Ma. As described in para. 2.7, 10 Ma encompasses the timescales of regional volcanic activity in many volcanic arcs and intraplate volcanic settings. In addition, if modern radiometric age determinations are available, these are generally decisive for distinguishing igneous rocks that are older than or much younger than 10 Ma, thereby minimizing the potential for ambiguity in the available data. Thus, if a lack of

5. 火山ハザードのスクリーニング

5.1 火山ハザード分析のステージ 1～3 (図 1) は、考慮すべき火山を同定する手順を示している。これは、将来の火山活動の可能性と、災害現象の発生源に関連するサイト立地に基づく、階層的なスクリーニングによってなされるべきである。本章では、この階層的な評価の各ステージにおける判定のための基準を示す。

ステージ 1 : 初期評価

5.2 ステージでは (パラグラフ 3.5 に記載した通り)、2 つの主要な事項を考慮すべきである。⑥火山ハザードの初期評価のための適切な地理的領域の定義、(ii) 上記の領域内で過去 10Ma の間に発生した火山活動の証拠収集。ステージ 1 は、サイト周辺の適切な地理的領域を決定するために、全ての利用可能な情報源の詳細なレビューが含まれている。この詳細なレビューには、一般に、地質図、地質学的先行調査の結果、及び 4 章で議論した他の情報が含まれていなければならない。評価のための地理的領域の定義の基準は、パラグラフ 4.4 及び 4.5 の通りである。

5.3 表層流の現象には、サイトと可能性のある火山源との間の地形に注意が払われるべきである。標高の低い領域、あるいは平坦な領域、浅い流水域は、サイトから 100km 以上離れた火山からの表層流でさえ、向きをそらすのには効果的でないだろう。逆に、険しい地形の領域、あるいは深い流水域は、よりサイトに近い火山からの低エネルギー表層流を効果的に捉え、向きをそらすであろう。しかしながら、火山性プラストのような高エネルギーの表層流は、容易に険しい地形も乗り越えるかもしれない。適切な地理的領域の定義は、潜在的な危険性のある火山が評価の中で十分に考慮されていることが証明されなければならない。

5.4 ステージ 1 の初期評価では過去 10Ma の間に発生した火山活動の証拠を評価すべきである。パラグラフ 2.7 に記載した通り、10Ma という時間スケールは、多くの火山弧とプレート内の火山条件による地域の火山の活動を包含する。なお、最新の放射年代測定が実施可能な場合は、一般に火成岩の年代が 10Ma より古いか若いかは明確に判別することができ、それによってデータの潜在的な曖昧さを最小化することができる。よって、過去 10Ma の間の火山活動がないことが証明された場合は、将来の噴火確率が 10^{-7} 回/年以下であることを意味しており、したがってこの目的でのそれ以上のハザード評価は必要ないことになる。

volcanism in the past 10 Ma is demonstrated, this implies that annual probabilities of future eruptions are less than 10^{-7} per year and, therefore, no further investigations for the purpose of volcanic hazard assessment would be necessary.

STAGE 2: CHARACTERIZATION OF POTENTIAL SOURCES OF FUTURE VOLCANIC ACTIVITY

5.5. If the outcome of the initial assessment in stage 1 indicates that volcanic sources younger than 10 Ma are present in the geographical region, then these volcanic sources should be further characterized by additional investigations to be performed in stage 2.

5.6. If the outcome of stage 2 confirms evidence of current volcanic activity, then future eruptions are possible and the hazard assessment should proceed to stage 3. Evidence of current volcanic activity includes historical volcanic eruptions, ongoing volcanic unrest, an active hydrothermal system (e.g. the presence of fumaroles) and related phenomena.

5.7. Evidence of an eruption during the past 10 000 years (i.e. the Holocene) is a widely accepted indicator that future eruptions are credible. As the Holocene is often a readily recognized geological boundary, national and international databases usually differentiate between volcanoes that have been active in the Holocene and older volcanoes. Information for determining whether Holocene volcanic activity has occurred may come from multiple sources. Radiometric dating of volcanic products provides the most direct evidence that volcanic eruptions occurred within the Holocene.

5.8. In some circumstances, especially in the early stages of site investigations, the exact age of the most recent volcanic products may be difficult to determine. In such circumstances, additional criteria may be used to judge a volcano as Holocene, including: (i) volcanic products overlying the most recent Pleistocene glacial debris, (ii) youthful volcanic landforms in areas where erosion would be expected to be pronounced after many thousands of years and (iii) vegetation patterns that would be far more developed if the volcanic substrates were more than a few thousand (or hundred) years old.

5.9. Specialists may disagree over the evidence for Holocene volcanism and there may be significant uncertainty about the most reliable age estimate of the most recent eruption. In such cases, the volcanoes should be classified as

ステージ2：潜在的火山源の将来の火山活動の特徴付け

5.5 ステージ1での初期評価の結果、10Ma よりも若い火山源が選定した地理的領域内に存在することが明らかとなった場合、これらの火山源は、ステージ2で実施される追加の調査によってさらに特徴付けられなければならない。

5.6 ステージ2の結果、現在火山活動が行われていることが明らかではある場合、将来の噴火可能性があるため、ハザード評価は次のステージ3へ進む。現在火山活動が行われている証拠とは、歴史上の噴火記録、進行中の火山性の活動、活発な熱水系（例：噴気孔）の存在、関連する現象などが含まれる。

5.7 過去1万年（すなわち完新世）の噴火の証拠は、将来噴火があり得ることを示すものとして広く受け入れられている。完新世は確実に認識された地質学的境界であるので、国内、国際的なデータベースは通常、完新世に活動した火山とそれより古い火山を区別している。完新世に火山活動が発生したかどうかを判断する情報はいくつかわかるであろう。火山性物質の放射年代測定は最も直接的に完新世の火山活動の証拠を提供する。

5.8 いくつかの状況、特に調査の初期段階では、ごく最近の火山生成物の正確な年代測定は困難かもしれない。そのような状況では、火山が完新世のものか判定するために以下の追加の基準が用いられる。⑥最新の更新世の水溶性堆積物の上に火山生成物が堆積している、⑦数千年以上の浸食作用を受けていることが明らかでないに若い火山性の地形がある、⑧火山性の基層が数千（数百）年以上経過している場合、遙かに発達しているべき植生パターン。

5.9 専門家が完新世の火山活動の証拠とすることに対して意見が合わない場合や、最近の噴火に関する推定年代に顕著な不確実性が見受けられる場合があるかもしれない。このような場合、その火山は確立した火山学用語に則り「完新世(?)」⁶に分類されるべきである。安全性の観点から、完新世の噴火に関する不確実な記録を持つ火山を含む、全ての完新世火山については、将来の噴火はあり得るとみなされるべきであり、解析はステージ3に進むことになる。

Holocene(?).⁶ From a safety perspective, future eruptions should be considered credible for all Holocene volcanoes, including those with an uncertain record of eruption in the Holocene, and the analysis should proceed to stage 3.

5.10. If there is no evidence of current or Holocene activity, more detailed consideration should be given to assessing the timing of older activity in the region. Evidence of an eruption in the past 2 Ma generally indicates that future volcanic activity remains possible. Furthermore, for some volcanic systems such as distributed volcanic fields or infrequently active calderas, activity during approximately the past 5 Ma may also indicate some potential for future activity. To ensure adequate evaluation, the geological data should be assessed to determine whether any of the volcanic sources in the region as old as 10 Ma have the potential for future eruption.

5.11. At this step, a probabilistic analysis of the potential for future volcanic events can be used. Such events may be volcanic eruptions, or non-eruptive activity such as slope failure resulting from a previous eruption. Probabilistic methods may include frequency based approaches based on the recurrence of past volcanic eruptions, such as Bayesian methods that can incorporate additional volcanological information, or process level models, such as those based on time-volume relationships of eruptive products.

5.12. As indicated in para. 2.7, in some States a value for the annual probability of 10^{-7} is used in the hazard assessment for external events as one acceptable limit on the probability value for interacting events having radiological consequences [2]. As volcanism is an external hazard, an annual probability of renewed volcanism in the region around the site (i.e. the occurrence of an eruption) at or below 10^{-7} could be considered a reasonable criterion for initial screening. As there is some small likelihood that a hazardous phenomenon could reach the site if an eruption occurred, the value of 10^{-7} is a reasonable basis for initially screening potential volcanic sources of initiating events. However, the acceptable limit value of the annual probability of occurrence of a specific hazardous volcanic phenomenon should be established by the regulatory body.

5.13. Deterministic approaches may also be used. For example, analogous volcanoes can be investigated to determine the maximum period of time elapsing between episodes of eruptive activity and to use this hiatus in activity as a

6 Consistent with established volcanological terminology, a volcano of questionable Holocene age is indicated by Holocene(?).

5.10 現在あるいは完新世の活動の証拠が存在しない場合は、当該地域のより古い火山活動期間について詳しく検討すべきである。過去 2Ma の間の噴火記録は、一般に将来の火山活動の可能性が残っていることを示す。さらに、分散した火山域や、活動的でないカルデラでは、およそ 5Ma の間に活動したものは、将来に火山活動の可能性を残す物と見なされる。十分に評価されていることを確実にするため、当該地域の 10Ma 程度の古さの火山源が将来噴火する可能性を持つかどうか、地質学的データを検討すべきである。

5.11 このステップでは、将来の火山事象の可能性に対する確率論的評価が用いられる。火山事象とは、噴火や噴火に先立つ斜面崩壊のような噴火を伴わない事象である。この評価における確率論的手法は、過去の火山噴火の履歴に基づく頻度による手法、付加的な火山学上の情報を組み込むことができるベイズ法、噴出物の量と時間の関係に基づくような階段モデルなどである。

5.12 パラグラフ 2.7 に示すように、いくつかの国では、 10^{-7} の年発生確率の値は、外部事象のハザード評価において、重大放射線事故に対する許容確率として用いられている[2]。火山活動は外部事象であるため、サイト周辺地域において繰り返される火山活動の年発生確率（すなわち噴火発生確率）が 10^{-7} 以下であることは最初のスクリーニングの基準として妥当なものであると考えられる。噴火に伴うある災害的な現象がサイトに到達するいくつかのより小さな確率もあることから、火山源より引き起こされる事象の発生可能性を最初にスクリーニングするため 10^{-7} は妥当な基準とみなされよう。但し、特定の危険な火山現象の年間の発生確率の許容限界値は規制当局によって明確にされる必要がある。

5.13 決定論的手法もまた使用可能である。例えば、類似した火山を調査し、火山活動の最大休止期間を決定し、その期間を閾値にすることも可能である。現在休止中の火山については、活動を再開する確率をこの閾値との比較によって評価できるであろう。このような決定論的評価は、火山活動の駆動源となる火山プロセスについての考察とプロセス上それらの火山を類似の火山と見なせるのかの説明を含んでいることが必要である。

注 6 火山学用語法に従い、完新世と見なすのに疑問のある火山を「完新世(?)」と表示している。

threshold value. For a volcano with an ongoing period of quiescence, the possibility of a return to activity could be assessed by comparison with this threshold value. Such a deterministic analysis should include discussion of the volcanic processes that drive volcanic activity and an explanation of why the volcanoes are truly analogous in terms of these processes should be provided.

5.14. An additional deterministic approach might invoke time-volume or petrological trends in the volcanic system. For example, a time-volume relationship may indicate an obvious waning trend and demonstrable cessation of volcanic activity in the early Pleistocene or older periods. In such situations, it could be argued that renewed volcanism is very unlikely. In cases where a resolution based on these criteria is not achieved, it should be assumed simply that future eruptions are likely for any volcano younger than 10 Ma.

5.15. It may be found that future volcanic activity in the geographical region is considered less likely than the established acceptable limit value of the annual probability of occurrence, as mentioned in para 5.12. If sufficient information is available to support this conclusion, no further analysis is necessary and volcanic hazards do not need further investigation for this site. Conversely, a lack of sufficient evidence, or a finding that future volcanic events in the region of interest appear to be possible, may warrant additional analyses and the hazard assessment should proceed to stage 3.

STAGE 3: SCREENING OF VOLCANIC HAZARDS

5.16. In cases where the potential for future volcanic activity in the site region is identified, or cannot be precluded, the potential for hazardous phenomena to affect the site should be analysed. This analysis should be performed for each of the phenomena associated with volcanic activity listed in Table 1. In some cases, specific hazardous phenomena may be screened from further consideration if there is negligible likelihood of these phenomena reaching the site. In decisions on screening, consideration should be given to whether such phenomena might result from secondary processes or scenarios that comprise complex sequences of volcanic events (see Annex 1).

5.17. A deterministic approach to assessing hazards at this stage can be based on screening distance values for each specific volcanic phenomenon. Screening distance values are thresholds beyond which the volcanic phenomena cannot reasonably be expected to extend. Screening distance values can be defined in terms of the maximum known extent of a particular eruptive product, with

5.14 付加的な決定論的手法として、火山系における時間と量の関係、もしくは岩石学的傾向が援用できるであろう。例えば、前期更新世あるいはより古い時期の時間と量の関係から、火山活動の明らかな衰退傾向と明白な休止が明らかになるかもしれない。この状況では、火山活動の再開が非常に稀であることを示せるかもしれない。これらの他の基準に基づく解決ができない場合には、決定論的手法は単純に、10Ma よりも若いあらゆる火山においても噴火の可能性があると仮定する必要がある。

5.15 パラグラフ 5.12 で示したように、地理的領域で考慮される将来の火山活動が、定められた年発生確率よりも低い確率でしか起こりえないとみなせることがわかるかもしれない。もしこの結論を担保する十分な証拠がある場合には、それ以上の検討は不要であり、当該サイトではそれ以上の火山ハザード調査を行う必要はなくなる。逆に、十分な証拠がないこと、あるいは、対象地域の将来の火山活動がありえることが確実な場合は、さらなる評価を正当化し、ハザード評価はステージ3に進むことになる。

ステージ3：火山ハザードのスクリーニング

5.16 サイト周辺における将来の火山活動可能性が明らかになった場合、あるいはその可能性が排除できない場合、災害事象がサイトに及ぼす影響を評価しなければならぬ。この評価は、表1に示す火山活動に関係する各々の事象について実施しなければならない。いくつかのケースでは、特定の災害事象は、サイトに到達する確率が無視できるために、それ以上の考慮が不要となるかもしれない。スクリーニングの決定においては、これらの事象が、火山現象の複合事象（補足1参照）における二次的なプロセスやシナリオによって引き起こされないか考慮しなければならない。

5.17 このステージのハザード評価のための決定論的手法は、特定の火山事象に対するスクリーニング距離の値に基づいて実施することができる。これらのスクリーニング距離は、ある火山事象がこれ以上は延長しないと合理的に予想される距離である。スクリーニング距離は、火山源の特性とサイトと火山間の地形の特徴を考慮して、特定の火山性生成物の既往の最大到達距離で定義される。例えば、ほとんどの玄武岩質溶岩は発生源から 10～100km 以上は流れないことが分かっている。玄武岩質溶岩のスクリーニング距離を一般的に 100km とすることは、ほとんどの玄武岩質火山のほとんどの地形において妥当と思われる。もっと短いスクリーニン

account taken of the characteristics of the source volcano and the nature of the topography between the source volcano and the site. For example, most basaltic lava flows are known to travel no more than 10–100 km from source vents. A generic screening distance value of 100 km for basaltic lava flows appears justified for most basaltic volcanoes in most terrains. A shorter screening value distance may be justified on the basis of data gathered at analogous volcanoes or where the topography would prevent the phenomenon from reaching the site. In general, justification for the use of specific screening distance values for all types of volcanic phenomena should be consistent with examples from analogous volcanoes.

5.18. If the site is located beyond the screening distance for a specific volcanic phenomenon, then no further analysis is necessary for that phenomenon. However, if future volcanic activity appears to be possible and if the site is located within the screening distance for a specific volcanic phenomenon, then the volcano or volcanic field should be considered capable and a site specific hazard assessment should be undertaken (i.e. stage 4). This analysis should be completed for each volcanic phenomenon that is associated with each potentially active volcano, as each phenomenon may have a different screening distance value.

5.19. A complementary approach to assessing hazards at this stage is to estimate the conditional probability of a specific volcanic phenomenon reaching the site, given an eruption at the volcanic source. Several methods are available to estimate this probability. These methods are discussed further in Section 6. In some circumstances, site characterization data alone may be insufficient to determine a robust estimate of this probability, because the geological record incompletely preserves past activity from volcanoes and because past volcanic activity may not have encompassed the full range of potential phenomena resulting from a future volcanic event.

5.20. Estimation of the conditional probability of a specific volcanic phenomenon, with accompanying uncertainties, can produce a range of probability values, which can be used in the site assessment. If the potential for a volcanic event to produce any phenomenon that may reach the site is negligibly low, no further analysis is necessary and volcanic hazards do not represent credible design basis events for the site. If use of the conditional probability alone is insufficient to support screening, volcano capability should be considered.

5.21. As indicated in para. 2.7, in some States a value for the annual probability of 10^{-7} is used in the hazard assessment of external events as one acceptable limit

グ距離は、類似火山でのデータ収集か、火山現象がサイトに到達することを妨げる地形によって妥当性が説明することができるであろう。一般に、全てのタイプの火山活動に対する特定のスクリーニング距離の使用の正当化には、類似火山の例と整合していることが必要である。

5.18 もしサイトが特定の火山現象のスクリーニング距離の範囲外に位置する場合は、その現象に対するそれ以上の分析は必要がない。逆に、将来の火山活動可能性があり、サイトが特定の火山現象のスクリーニング距離の範囲内に位置する場合には、火山又は火山域は考慮すべきとみなされ、サイト固有のハザード評価（すなわちステージ4）が行われるべきである。この評価は各々の潜在的に活動的な火山における個々の火山現象について完了しなければならず、各火山現象が異なるスクリーニング距離を持つ場合も同様である。

5.19 本ステージにおけるハザード評価の補完的な手法は、火山源の噴火がもたらすサイトに到達する特定の火山現象の条件的確率を評価することである。この確率評価には複数の方法が利用できる。これらの方法は、6章で議論する。ある状況では、サイト固有のデータ単独ではこの確率の概略評価には不十分であろう。なぜなら過去の火山活動の地質学的記録は不十分であり、過去の活動が将来発生する現象を全て含んでいるとはいえないからである。

5.20 不確かさを伴う特定の火山現象に対し、条件付き確率推定値を使用することにより、確率の範囲を求める、サイト評価に用いることができる。サイトに到達する可能性のあるなんらかの火山現象が無視できるほど低い場合には、それ以上の評価は不要であり、火山ハザードはそのサイトで想定すべき設計基準に影響しない。条件付きハザード確率の使用が単独でスクリーニングを裏付けるのに不十分である場合、火山の危険性が考慮されなければならない。

5.21 パラグラフ2.7に示したように、ある国では相互に影響する事象が重大な放射能漏れにつながる年発生確率の許容上限値として 10^{-7} が外部事象のハザード評価時に使用されている[2]。したがって、火山事象の発生により生じるサイトに影響するハザード現象の年発生確率が 10^{-7} 以下であることが、ステージ2（パラグラフ

on the probability value for interacting events having serious radiological consequences [2]. Thus, an annual probability of hazardous phenomena affecting the site, given that an initiating volcanic event occurs, at or below 10^{-7} could be considered a reasonable criterion on which to base screening decisions in a similar way to that recommended in stage 2 (see para. 5.12). The annual probability may be calculated, for example, by multiplying the probability of occurrence of a volcanic event by the probability that phenomena associated with this event will reach the site, given that the event occurs. This multiplication of the probabilities of occurrence of the initiating event by the conditional probability is also an appropriate basis for identification of a capable volcano or volcanic field. For those phenomena associated with exclusion criteria for a site, as indicated in Table 1, the acceptable limit value of the annual probability of occurrence of 10^{-7} may be adopted but, in any case, the acceptable limit value should be established in agreement with the regulatory body. Finally, a site specific volcanic hazard assessment (stage 4) should be conducted for phenomena originating from capable volcanoes.

5.22. There is a relationship between the magnitude of volcanic eruptions, and hence their potential to affect a site, and the certainty with which the probability of volcanic events can be estimated. Small eruptions often leave little or no geological record. Therefore, there may be great uncertainty about the frequency of small eruptions. Alternatively, if only large magnitude eruptions can affect the site, it is the probability of these large magnitude eruptions that is of most interest in determining volcano capability. As large magnitude eruptions generally leave a significant geological record, there may be more certainty in estimating the probability of large magnitude eruptions on the basis of the geological record of past activity. The conceptual model of the volcano, encompassing the nature and evolution of volcanic processes, should be reflected in the estimate of the probability of the occurrence of such large magnitude volcanic events. Nevertheless, when estimating the full range of uncertainty in the record of past events, care should be taken to avoid placing undue emphasis on large events that are well preserved in the geological record.

5.23. Many volcanic phenomena involve coupling between different processes, so that deterministic and probabilistic approaches should not consider individual processes only in isolation but rather should explicitly allow for coupled and compounded effects. For example, tephra fallout on distant topographic slopes sometimes creates new source regions for debris flows and lahars. Water impoundments can be created by debris flows and lava flows. Screening decisions should consider secondary sources of hazards that result from such complexities (see the Appendix and Annex I).

5.12 参照) で推奨した方法と同様、スクリーニング決定の妥当な基準とみなされる。年発生確率は、火山事象の発生確率と、火山事象に伴う現象がサイトに到達する確率を掛け合わせて計算される。この条件付き確率による最初のイベント確率の乗算もまた考慮すべき火山、火山域を特定するのに適切な基準である。サイトの除外基準を構成する現象 (表 1 に示す) としても年発生許容確率の 10^{-7} は採用して良いが、どの場合でも、規制当局が定める許容確率との一致が必要となる。最終的に、サイト固有のハザード評価 (ステージ 4) は考慮すべき火山がもたらす現象について実施されなければならない。

5.22 火山噴火の規模すなわち噴火のサイトのサイト影響の可能性と、評価可能な火山事象の確率の確実性には関係がある。小規模な噴火による地質学的な記録はほとんど残らないが、あるいはないことが多い。したがって、小規模噴火の頻度に関する不確かさは大きなものとなる。逆に、大規模な噴火だけがサイトに影響を及ぼす場合、大規模噴火の確率のみから火山の能力が決まる。大規模な噴火は通常、地質学的に顕著な痕跡を残すため、過去の火山活動の痕跡に基づき大規模噴火の確率を評価することはより正確にできるであろう。火山の概念的なモデルは、火山プロセスの特徴と進展を含んだ形で、これらの大規模な火山事象の発生確率評価に反映されるべきである。加えて、過去の事象の不確かさを全ての範囲で見積る場合、地質学的な記録に良く保存される大規模な事象を過度に重要視することに注意を払う必要がある。

5.23 多くの火山現象が、異なるプロセスの組合せを含んでいるため、決定論的及び確率論的手法は個々のプロセスを孤立して扱うよりも、影響の組合せ、複合を明示的に考慮すべきである。例えば、遠方の斜面上での降下火砕物は、しばしば土石流や火山泥流の新しい発生地域を形成する。土石流や溶岩流により堰き止め湖が形成されるかもしれない。スクリーニング決定はこのような複雑性がもたらす二次的ハザード源を考慮しなければならない (付録 1 と補足 1 を参照)。

6. SITE SPECIFIC VOLCANIC HAZARD ASSESSMENT

6.1. This section provides guidance for evaluating site specific volcanic hazards when one or more capable volcanoes are identified within the geographical region. This guidance should be used in conducting the assessment of specific volcanic hazards at the site of a nuclear power plant in stage 4 of the volcanic hazard assessment (Fig. 1).

6.2. The volcanic phenomena listed in Section 2 and described in the Appendix are screened in stages 1–3 of the hazard assessment process. Volcanic phenomena that were not screened out as a result of stages 1–3 require further consideration in the site specific volcanic hazard assessment to determine the frequency, nature and magnitude of potential hazards. The assessment should provide sufficient information to determine whether a design basis or other practicable solution for this volcanic hazard can be established. If a design basis or other practicable solution (e.g. site protective measures) for this volcanic hazard cannot be established, the site should be deemed unsuitable.

6.3. As in screening decisions taken in stages 2 and 3, a combination of deterministic and probabilistic approaches may be necessary to assess volcanic hazards in stage 4. In deterministic methods, threshold values are defined on the basis of empirical observations of past volcanic activity, analogous information from other volcanoes and/or numerical simulation of volcanic processes.

Decisions on site suitability and on the determination of the design basis are based upon whether these thresholds are exceeded or not. Probabilistic methods may also use a range of empirical observations, analogous information from other volcanoes and/or numerical simulation to develop a probability distribution for the likelihood that a hazardous phenomenon will exceed a specified magnitude. Decisions on site suitability and on the determination of the design basis are derived from the analysis of these probability distributions. In either method, both the potential for volcanic events to occur and their potential impacts on the nuclear power plant should be evaluated. This evaluation is the topic of the site specific volcanic hazard assessment.

6.4. Each volcanic hazard that is included in the design basis should be quantified so that it can be compared, to the extent possible, with the design basis characteristics of other external events. It may be possible to demonstrate that the design basis derived for other external events encompasses that derived for some volcanic hazards. For example, physical loads resulting from tephra fallout may be enveloped by physical loads derived for other external events.

6. サイト固有の火山ハザード評価

6.1 本章では地理的領域内に1つ以上の考慮すべき火山が見いだされた場合の、サイト固有の火山ハザード評価のための指針を提供する。この指針は、原子力発電所の、ステージ4に示される火山ハザード評価遂行の際に使用されるべきである（図1参照）。

6.2 章にリスト化し、付録に詳述した火山現象は、最初にハザード評価プロセスのステージ1～3でスクリーニングされる。ステージ1～3の結果スクリーニングされなかった火山現象は、潜在的な危険性の発生頻度、性質、規模を明らかにするため、サイト固有の火山ハザード評価によりさらに評価が必要となる。この評価はさらに、当該火山ハザードに対する設計基準又は他の実現可能な解決策が確立可能かどうかを判断するため必要な情報を提供しなければならぬ。設計基準又は他の実現可能な解決策（すなわちサイトを防護できる手段）が確立できない場合、サイトは不適合と見なされるべきである。

6.3 ステージ2と3のスクリーニング判定に示すように、決定論的手法と確率論的手法の組合せがステージ4の火山ハザード評価においても必要となるであろう。決定論的手法における閾値は、過去の火山活動の経験的な観察、他の火山からの類似情報、及び/または火山プロセスの数値シミュレーションに基づき判断する。サイトの適合性及び設計基準上の判断は、これらの閾値が許容限界を超えるか否かに基づく。確率論的評価手法においても、任意の規模の災害的な現象が制限値を超える確率の分布を求めるため、経験的な観察、他の火山の類似情報、及び/または火山プロセスの数値シミュレーションを使用して良い。サイトの適合性及び設計基準上の判断は、これらの確率分布の分析結果に基づく。いずれの評価手法においても、発生しうる火山事象の発生可能性と、原子力発電所に対するそれらの可能性の影響は評価されるべきである。この評価がサイト固有の火山ハザード評価のテーマとなる。

6.4 設計基準に含まれる各火山ハザードは、可能な限り、他の外部事象による設計基準の特徴と比較できるよう定量化されるべきである。いくつかの火山ハザードについては、他の外部事象による設計基準が火山ハザードによる設計基準を包絡することが示せるかもしれない。例えば、降下火砕物による物理的な荷重は、他の外部事象による荷重によって包絡されているかもしれない。

英 文	和 訳
6.5. Recommendations are provided in the following paragraphs on volcanic phenomena that should be considered in the site specific volcanic hazard assessment. Relevant volcanological information for each of these phenomena is provided in the Appendix. TEPHRA FALLOUT 6.6. Tephra fallout is the most widespread hazardous volcanic phenomenon. Even minimal tephra accumulation has the potential to disrupt normal operations at a nuclear power plant. Hazards associated with tephra fallout include: static load on structures; particle impact; blockage of, and abrasion within, water circulation systems; mechanical and chemical effects on ventilation systems, electrical systems and instrumentation and control systems; and particle loading in the atmosphere surrounding the nuclear power plant. Water can significantly increase the static load of a tephra deposit. Tephra particles commonly have adsorbed acid leachates (e.g. SO_4^{2-}, F^-, Cl^-) on their surfaces and so can cause chemical corrosion as well as pollution of water supplies. 6.7. The hazard assessment for tephra fallout for each capable volcano should consider: (a) Potential sources of tephra; (b) Magnitudes of potential tephra producing volcanic eruptions and the physical characteristics of these eruptions; (c) Frequency of tephra producing eruptions; (d) Meteorological conditions between source regions and the site that will affect transport and deposition of tephra; (e) Secondary effects of tephra eruptions, such as the increased likelihood of lahars and the potential for pollution and chemical corrosion, which may have adverse effects on the safe operation of a nuclear power plant. Deterministic assessment 6.8. A deterministic approach should develop a threshold value for the maximum credible thickness for tephra fallout deposits at the site. For example, actual deposits from eruptions of analogous volcanoes could be used to define the maximum thickness of deposits at the site for a capable volcano. Particle size characteristics (i.e. grain size distribution and maximum clast size) could be estimated from these deposits. Analogous deposits or eruptions can also provide information about soluble ions that form acid condensates, which accompany	6.5 サイト固有の火山ハザード評価で考慮されるべき火山事象に関する推奨事項を以下のパラグラフに示す。これらの各現象に関する火山学的情報も付録に示す。 降下火砕物 6.6 降下火砕物は最も広範囲に及ぶ火山ハザード現象である。僅かなテフラの堆積さえ原子力発電所の通常運転に影響を及ぼす可能性を持っている。降下火砕物に伴うハザードには、構造物への静的負荷、粒子の衝突、水循環系の閉塞と摩耗、換気系、電気系、計装制御系に対する機械的及び化学的影響、発電所周囲の大気汚染等の影響が挙げられる。降雨・降雪などの自然現象は、火山灰等堆積物の静的負荷を顕著に増大させる。火山灰粒子には、化学的腐食や給水の汚染を引き起こす成分（例：SO_4^{2-}、F^-、Cl^-）が含まれている。 6.7 各々の考慮すべき火山からの降下火砕物のハザード評価は以下を考慮すべきである。 (a) テフラの潜在的な発生源 (b) テフラを生成する潜在的な噴火の規模と噴火の物理的特性 (c) テフラを作り出す噴火の発生頻度 (d) テフラ発生源とサイトの間的气象条件（テフラの輸送と堆積に影響を及ぼす） (e) テフラ噴火の2次的影響（発電所の安全運転に不利な、火山泥流の可能性の増大、汚染と化学的腐食の可能性など） 決定論的評価 6.8 決定論的手法では、サイトでの降下火砕物の堆積物の最大厚さの閾値を求めるべきである。例えば、類似の火山の噴火における実際の堆積量は、当該サイトの考慮すべき火山における最大堆積厚さを規定するために使用できるであろう。粒子のサイズの特徴（粒径分布及び砕屑物の最大サイズ）はこれらの堆積物から推定できるであろう。類似の堆積物や噴出物から、降下火砕物の降下プロセスに伴う酸の凝縮による可溶性イオンに関する情報もまた得られるであろう。特定の噴火及び気象条件に関連するサイトのテフラの堆積に基づく降下火砕物の数値モデルもまた、閾値を得るために使用されて良い。個々のパラメータの不確実性は適切に考慮されなければならない。様々なパラメータの不確実性は適切に考慮されなければならない。

tephra fallout processes. Numerical models of tephra fallout may also be used to derive a threshold, based on tephra accumulation at the site, for specific eruption and meteorological conditions. The uncertainties in the various parameters should be properly taken into account.

Probabilistic assessment

6.9. A probabilistic approach should use a numerical simulation of tephra fallout at the site. In such an analysis, Monte Carlo simulation or other applicable simulation techniques of tephra fallout from each capable volcano should be conducted, with account taken of variation in eruption volume, eruption column height, total grain size distribution and wind velocity distribution in the region as a function of altitude and related parameters. Such models lead to a frequency distribution of tephra accumulation, commonly presented as an annual frequency of exceedance curve for the hazard (or 'hazard curve'). Uncertainty in the resulting hazard curves should be expressed by confidence bounds, and the basis for the selection of the reported confidence levels should be documented.

Factors to consider in site selection, site evaluation and development of the design basis

6.10. As indicated in Table 1, the effects of tephra fallout are not considered part of the exclusion criteria for the site, since these effects can be mitigated by appropriate measures for design and operation. For either deterministic or probabilistic assessments, the results of assessment of tephra fallout for each capable volcano should be expressed in terms of parameters such as mass accumulation, accumulation rate and grain size distribution. In order to estimate the static loads that are defined as part of the design basis for the nuclear power plant, the contribution for each capable volcano should be integrated into a single, site specific maximum credible value or single hazard curve for tephra fallout. This information may also be used to assess particle size distribution and the potential for remobilization of tephra deposits, which could create particle loads in the atmosphere or debris flows and lahars. Tephra fallout hazards may also result from the opening of new vents.

PYROCLASTIC DENSITY CURRENTS: PYROCLASTIC FLOWS, SURGES AND BLASTS

6.11. Pyroclastic flows, surges and blasts, known collectively as pyroclastic density currents, accompany not only explosive volcanic eruptions but also

確率論的評価

6.9 確率論的手法では、サイトの降下火砕物の数値シミュレーションを使用すべきである。このような解析では、噴出量の変動、噴煙柱の高度、粒径分布、その領域における風速分布の変動を高度及び関連パラメータの関数として、各考慮すべき火山からの降下火砕物のモンテカルロシミュレーションまたは他の適切なシミュレーションを実施すべきである。このようなモデルはデフラ堆積の頻度分布を与え、一般にそれはハザード（あるいはハザード曲線）の超過曲線の年間頻度を与える。生成ハザード曲線の不確かさは信頼境界として表され、報告された信頼度の選定原則は文書化されるべきである。

サイト選定、サイト評価と設計基準の策定で考慮する要因

6.10 表 1 に示したように、降下火砕物はサイト除外の基準とはみなされない。なぜなら降下火砕物は、適切な設計及び運転による措置によって影響を緩和できからである。決定論的及び確率論的評価のいずれの場合でも、各考慮すべき火山からの降下火砕物の評価結果は、パラメータ（例：質量の蓄積、蓄積率、粒径分布）で表されるべきである。原子力発電所の設計基準として定義される静的荷重を評価するために、各考慮すべき火山からの荷重は、サイト固有の単一の最大信頼値または単一の降下火砕物ハザード曲線に統合されるべきである。この情報は、粒径分布やデフラ堆積物の再移動可能性（それらは大気中の粒子による荷重や、土石流、火山泥流をもたらしうる）を評価するのにも使用可能であろう。降下火砕物ハザードはまた新しい噴火口の開口の結果生じる可能性がある。

火砕物密度流：火砕流、サージとブラスト

6.11 火砕流、サージとブラストは、火砕物密度流として総称されるもので、爆発性の火山噴火のみならず溶岩ドームあるいは厚みのある溶岩流による噴出性の噴火にも伴うものである。火砕物密度流の影響は、その高速度と高温（300℃以上）のため、流路上に位置する構造物には非常に苛酷なものとなる。加えて、それらは地表を覆う高温の溶岩、灰、火山性ガスの大量の混合物による運動量のため、破壊的なものとなる。火砕物密度流によってもたらされる堆積物の厚さは何十mにも及ぶことがある。火砕物密度流の影響は通常の設計基準を超越し、このため火砕物密度流はサイト除外基準と見なされる（表 1 参照）。

effusive volcanic eruptions that form lava domes and thick lava flows. The impacts of pyroclastic density currents are very severe for obstacles in their flow paths as these flows move at high velocities, and are commonly at high temperatures (e.g. more than 300°C). In addition, they are destructive, owing to the momentum of the massive terrain enveloping mixture of hot lava blocks, ash and volcanic gas. Deposits from pyroclastic density currents can exceed tens of metres in thickness. The effects of pyroclastic density currents may exceed many common design bases and, thus, they should be considered an exclusion criterion for the site (see Table 1).

6.12. Pyroclastic flows can be controlled topographically, but pyroclastic surges and blasts are less constrained by topography and commonly overcome most topographic obstacles. All types of pyroclastic density current are known to surmount topographic obstacles in some circumstances and to flow across large bodies of water.

6.13. The hazard assessment for pyroclastic density currents for each capable volcano should consider:

- (a) The potential sources of explosive volcanic events and lava domes and flows that may collapse;
- (b) The magnitudes of potential volcanic eruptions and the physical characteristics of eruptions that result in pyroclastic density currents;
- (c) The frequency of explosive volcanic eruptions or dome collapse events that lead to different types of pyroclastic density current;
- (d) The topography between source regions and the site that can affect the flow path and the extent of pyroclastic density currents;
- (e) The secondary effects of deposition from pyroclastic density currents, such as the increased likelihood of lahars and debris flows.

Deterministic assessment

6.14. A deterministic approach should consider the volume and energy of the pyroclastic density current resulting from an eruption and hence should establish threshold values on the basis of the potential maximum travel distance (runout). Screening distance values for these phenomena can be determined on the basis of the volume and nature of pyroclastic density current deposits exposed within the geographical region of concern or by referring to flow events identified at analogous volcanoes. Potential runout can also be estimated by using numerical models. The uncertainties in the various parameters should be properly taken into account.

6.12 火砕流は地形的に制御されるものの、火砕サージとブラストは火砕流に比べて地形の抑制が少なく、通常はほとんどの地形的障害を乗り越える。全ての火砕物密度流は状況によっては地形的障害を乗り越え、大きな水域を横断して流れることが分かっている分がっている。

6.13 各々の考慮すべき火山からの火砕物密度流によるハザード評価は以下を考慮すること。

- (a) 潜在的な爆発性火山現象の発生源及び崩壊しうる溶岩ドーム、溶岩流
- (b) 火砕物密度流の原因となる、潜在的な火山噴火の規模とそれらの噴火の物理的な特徴
- (c) 異なるタイプの火砕物密度流を引き起こす爆発的な火山噴火又はドーム崩壊事象の頻度
- (d) 火砕物密度流の流路と広がり、影響を及ぼす、発生源地域とサイト間の地形
- (e) 火山泥流と土石流の可能性を増大させるような、火砕物密度流の堆積物の2次的影響

決定論的評価

6.14 決定論的手法では、噴火で引き起こされる火砕物密度流の量とエネルギーを考慮する必要があり、従って潜在的な最大到達距離 (runout) に基づき閾値を定めなければならない。これらの現象のスクリーニング距離は、対象の地域に堆積する火砕物密度流堆積物の体積と性質に基づくか、または類似火山の流れ現象を参考とすることによって判断されるだろう。潜在的な最大到達距離は、数値モデルによっても評価することができ。様々なパラメータの不確かさは適切に考慮されなければならない。

6.15. The threshold values specified for pyroclastic flows, surges and blasts are not necessarily the same. Surges, for example, may also form from pyroclastic flows and may extend several kilometres beyond the pyroclastic flow front. In this circumstance, the screening distance value for pyroclastic surges will generally be greater than that for pyroclastic flows.

Probabilistic assessment

6.16. The probability of occurrence of pyroclastic density currents should be calculated as a conditional probability of an eruption of a given intensity, multiplied by conditional probability distributions for:

- (a) Occurrence of pyroclastic density currents;
- (b) Runouts of these phenomena;
- (c) Directivity effects.

The value for conditional probability of pyroclastic density currents should be representative of the physical properties of the magma, the dynamics of the eruption, including interaction with hydrothermal and groundwater systems, and the physics of flow spreading and diffusion. In many circumstances, the past frequency and nature of pyroclastic density currents from the capable volcano, and from analogous volcanoes, can be used to refine the estimate. Uncertainty in the resulting hazard curves should be expressed by confidence bounds and the basis for selection of the reported confidence levels should be documented.

Factors to consider in site selection, site evaluation and development of the design basis

6.17. As indicated in Table 1, the effects from pyroclastic density currents should be considered one of the exclusion criteria for the site, since these effects cannot be mitigated by appropriate measures for design and operation. For either deterministic or probabilistic assessments, several additional factors should be considered in making judgements on site suitability in relation to hazards posed by pyroclastic density currents. Both threshold values and probability estimates relating to most pyroclastic density currents could be evaluated using the energy cone model, which is an empirical model commonly used to estimate potential runout distances. More sophisticated numerical models of pyroclastic density currents coupled with Monte Carlo simulations or other applicable simulation techniques can generate probabilistic assessments of runout and the corresponding destructive effects. Although this is an area of intense research in volcanology, comprehensive dynamic models of pyroclastic flows and surges are

6.15 火砕流、サーージとブラストに対する閾値は同じである必要はない。例えばサーージは、火砕流から形成される場合、火砕流の先端から数キロも先に伸長することがある。この場合、火砕サーージのスクリーニング距離は火砕流のものより大きくなるであろう。

確率論的評価

6.16 火砕物密度流の発生確率は、与えられた噴火強度の噴火確率と、以下に示す条件付き確率分布を掛けた閾値として計算すべきである。

- (a) 火砕物密度流の発生
- (b) これらの現象の最大到達距離
- (c) 指向性効果

火砕物密度流の条件付き確率は、マグマの物性、熱水と地下水の相互作用を含む噴火の力学、流れの広がりや拡散の物理学を表すべきである。多くの場合、考慮すべき火山や類似火山の過去の火砕物密度流の頻度と性質は評価精度の向上に使用できるであろう。生成ハザード曲線の不確かさは信頼境界として表され、報告された信頼度の選定原則は文書化されるべきである。

サイト選定、サイト評価と設計基準の策定で考慮する要因

6.17 表 1 に示したように、火砕物密度流の影響はサイト除外の基準とみなされる。なぜなら火砕物密度流の影響は、適切な設計及び運転による措置によって緩和することができないからである。決定論的及び確率論的評価のいずれの場合でも、火砕物密度流がもたらすハザードに関連したサイト適合性判断を行う際にはいくつかが追加で考慮すべき要因がある。火砕物密度流に関連する閾値と確率評価はいずれも（潜在的な最大到達距離）を評価する際に一般的に使用される経験モデルであるところの）エネルギーコーンモデルを用いて評価することができ。モンテカルロ法または他の適切なシミュレーション技法と組み合わせた火砕物密度流のより洗練された数値モデルにより最大到達距離と破壊的影響の確率論的評価を行うことができる。この分野は火山学でも熱心に研究が進められており、火砕物密度流の包括的な動的なモデルはまだ完全に確立されていない。従って、さまざまな観察とモデル化手法が決定論的及び確率論的手法において考慮されるべきである。火砕物密度流は降下火砕物、土石流、津波などの二次災害をもたらす。

not yet fully established. Consequently, a variety of observations and modelling approaches should be considered in both deterministic and probabilistic assessments. Pyroclastic density currents can give rise to secondary hazards, such as tephra fallout, debris flows and tsunamis.

LAVA FLOWS

6.18. Lava flows commonly destroy or bury engineered structures in their path. The impact of lava flows depends primarily on two factors: (i) the physical characteristics of the lava and (ii) the discharge rate and duration of the eruption. The morphology of the vent and the topography over which lava flows move are also factors in controlling the length of lava flows. Lava flows have a direct impact owing to their dynamic and static loads and their high temperature (up to 1200°C). The effects of lava flows usually exceed many common design bases and they should be considered an exclusion criterion for the site (see Table 1).

6.19. Evaluation of the hazard associated with lava flows for each capable volcano should consider:

- (a) The potential magnitude (e.g. mass discharge rate, areal extent, velocity, thickness) of lava flows;
- (b) The frequency of future effusive volcanic eruptions;
- (c) The eruptive scenario (e.g. individual lava flows, lava tubes, flow fields);
- (d) The physical properties of erupted lava.

Deterministic assessment

6.20. A deterministic assessment should first address the locations of vents and the potential formation of new volcanic vents. Subsequently, the hazard assessment for lava flows should determine threshold values on the basis of the maximum credible length, areal extent, thickness, temperature and potential speed of lava flows that could reach the nuclear power plant. This can be achieved using data from other volcanoes from the geographical region, from analogous volcanoes and from empirical or numerical models of lava flow emplacement. Some empirical models of lava flow emplacement rely on correlations between lava flow length and effusion rate, whereas others are volume limited. Topography along the path and at the site of the nuclear power plant should be considered. A screening distance value can thus be defined for lava flows beyond which lava incursion is not considered a credible event. The uncertainties in the various parameters should be properly taken into account.

溶岩流

6.18 溶岩流は一般的にその経路上の構築物を破壊・埋没させる。溶岩流の影響は主に2つの要因に依存する。

- (i) 溶岩の物理的性質
- (ii) 放出率と噴火の継続時間

噴火口の形態と溶岩流が移動する地形もまた溶岩流の到達距離を支配する要素である。溶岩流はその動的・静的負荷と高温(1200℃に達する)のため直接的な影響を有している。溶岩流の影響は通常、多くの共通設計基準を超えるため、サイト除外条件とみなされるべきである(表1参照)。

6.19 各々の考慮すべき火山からの溶岩流のハザード評価は以下を考慮すべきである。

- (a) 溶岩流の潜在的な規模(例えば、質量放出率、広がり、速度、厚さ)
- (b) 将来の噴出性の火山噴火の頻度
- (c) 噴火シナリオ(個別の溶岩流、溶岩トンネル、流域)
- (d) 噴出溶岩の物理的性質

決定論的評価

6.20 決定論的評価では、最初に噴火口と潜在的な新しい噴火口の位置を特定すべきである。続いて、溶岩流のハザード評価は、原子力施設に到達しうる溶岩流の最大到達距離、広がり、厚さ、温度、潜在的な溶岩流侵入の閾値を決定すべきである。これは、当該地域の他の火山や類似火山のデータ、経験的・数値的な溶岩流侵入モデルを用いて達成することができる。いくつかの経験的溶岩流侵入モデルは、溶岩流の到達距離と噴出率との相互関係に依存している一方、他のモデルは体積依存である。流れ経路と原子力発電所のサイトの地形は考慮しなければならない。スクリーニング距離は従って、想定事象に対してそれ以上溶岩が進入するとは考えられない距離として定義できる。さまざまなパラメータの不確実性は適切に考慮されなければならない。

英 文	和 訳
Probabilistic assessment 6.21. A probabilistic approach should also address the location of vents and the potential formation of new volcanic vents. The probabilistic approach should entail numerical modelling of lava flows and should proceed with numerical simulations for each capable volcano, with account taken of a range of values for parameters that control flow length and thickness, using stochastic methods. In numerical simulation, vent location, topography, discharge rate, viscosity of the flow and duration of the eruption are key parameters that control the modelled lava flow emplacement. Probabilistic assessments use models of lava flows coupled with Monte Carlo simulations and other applicable simulation techniques. Empirical observations from the capable volcano and analogous volcanoes can be used to refine the probabilistic analysis. Lava flow hazard curves should then be determined and combined to express the annual frequency of exceedance of different levels of lava flow incursion and lava thickness at the nuclear power plant. Uncertainty in the resulting hazard curves should be expressed by confidence bounds, and the basis for the selection of the reported confidence intervals should be documented. Factors to consider in site selection, site evaluation and development of the design basis 6.22. As indicated in Table 1, the effects of lava flows should be considered one of the exclusion criteria for the site, since these effects cannot be mitigated by appropriate measures for design and operation. For either deterministic or probabilistic assessments, several additional factors should be considered in making judgements on site suitability in relation to lava flow hazards. Probabilistic or deterministic approaches should result in estimates of the potential for any lava flow to reach the nuclear power plant, and its likely thickness, as well as its thermal properties. This assessment should consider the effects of phenomena associated with lava flows, such as generation of floods following interaction with ice and snowfields, water impoundments, opening of new vents and generation of pyroclastic flows from the collapse of viscous lava domes and flows. DEBRIS AVALANCHES, LANDSLIDES AND SLOPE FAILURES 6.23. Debris avalanches resulting from edifice collapse should be considered separately from other slope failures mainly because of the potentially very large volumes involved (possibly exceeding several tens of cubic kilometres), high	確率論的評価 6.21 確率論的評価もまた、最初に噴火口と潜在的な新しい噴火口の位置を特定すべきである。確率論的手法は、溶岩流の数値モデルを作り、各考慮すべき火山について、溶岩流の到達距離と厚さを支配するパラメータの幅を考慮し確率論的な方法で数値シミュレーションを行うべきである。これらの数値シミュレーションでは、噴火口位置、地形、噴出率、溶岩流の粘度、噴出の継続時間が溶岩流進入モデルのキーパラメータとなる。溶岩流の確率論的評価はモンテカルロ法や他の適切なシミュレーション技法と組合せた溶岩流モデルを使用する。考慮すべき火山と類似火山の経験的な観察もまた確率論的評価の精度を向上させるであろう。その後、溶岩流のハザード曲線が定められ、異なる溶岩流の侵入レベルの年間超過確率と原子力発電所における厚さを表現するために、合成されるべきである。生成ハザード曲線の不確かさは信頼境界として表され、報告された信頼度の選定原則は文書化されるべきである。 サイト選定、サイト評価と設計基準の策定で考慮する要因 6.22 表 1 に示したように、溶岩流の影響はサイト除外基準とみなされる。なぜなら溶岩流の影響は、適切な設計及び運転による措置によって影響を緩和することができないからである。決定論的及び確率論的評価のいずれの場合でも、溶岩流に関連したサイト適合性判断を行う際にはいくつかつ追加で考慮すべき要因がある。決定論的及び確率論的手法は、原子力発電所に到達するあらゆる溶岩流の可能性の推定、それらの想定厚さ、さらに温度特性に帰着すべきである。この評価は、溶岩流に関連した現象（例えば雪原・氷原との作用による洪水、堰止湖、新しい噴火口の生成と火砕流、粘性溶岩ドーム・溶岩流の崩壊による新しい流れの生成）を考慮しなければならない。 岩屑なだれ、地滑りと斜面崩壊 6.23 山体崩壊に伴う岩屑なだれは、大量の土砂（数十 km³以上）、高速度、及び到達距離が長い（150km 以上）可能性を持つ点で、他の斜面崩壊とは別個に考慮されるべきである。他の、小さな規模の斜面崩壊は、他の地盤ハザードの適用範囲（すなわち火山事象以外）で扱うことも可能である[6]。火山性の岩屑なだれの影響は、含まれる材料の質量と速度、大きな厚さのため主に機械的なものになる。体積の膨大さとサイトへの重要性を考えると、岩屑なだれ、地滑り、斜面崩壊は、通常サイト除外基準とみなされるべきである。

英 文	和 訳
velocities and the considerable distances that can be reached (e.g. possibly exceeding 150 km). Other, smaller scale slope failures can be treated within the scope of other (i.e. non-volcanic) geotechnical hazards [6]. The impact of volcanic debris avalanches is predominantly mechanical, owing to the mass of material involved and its velocity and the great thickness to which these deposits can accumulate. Given the wide range of volumes, and hence consequences for a site, the effects of debris avalanches, landslides and slope failures should usually be considered rejection criteria for the site. 6.24. The hazard assessment for debris avalanches, landslides and slope failures for each capable volcano should consider: (a) The identification of potential source regions of these events, including areas of potential instability; (b) The potential magnitude (i.e. volume, areal extent, thickness) of these events; (c) The frequency of such events; (d) The potential flow paths; (e) The influence of volcanic activity on changes in such factors as groundwater levels, surface water conditions, static and dynamic loadings and others that may contribute to these events. Modifications of the flow properties along the path, as well as the topography from the source region to the nuclear power plant, should also be considered, noting that topography may be altered during the eruption thereby altering the flow paths significantly. Deterministic assessment	6.24 岩屑なだれ、地滑り、斜面崩壊によるハザードは以下を考慮する。 (a)潜在的に不安定なエリアを含む、これらの事象が発生しうる地域の区分 (b)これらの事象潜在的な規模（体積、地理的範囲、厚さ） (c)これらの事象の発生頻度 (d)ポテンシャルのある流路 (e)地下水レベル、表層の水の状態、静的・動的荷重等の、これらの事象に寄与する要因の変化が火山活動に与える影響 流路に沿った流れの特性変化も、発源地から発電所までの地形と同様に考慮されるべきである。 （噴火中には地形が変わりうるため、それによって流路が大きく変化しうることに注意する） 決定論的評価
6.25. A deterministic approach should determine threshold values for the maximum credible volume, the runout distance and the thickness of avalanche deposits at the site using information collected from actual deposits on analogous volcanoes and from avalanche flow emplacement models. A screening distance value can thus be defined for debris avalanches and other associated mass flows beyond which they are not considered to be credible events. The uncertainties in the various parameters should be properly taken into account. Probabilistic assessment 6.26. A probabilistic approach should extend the numerical modelling of these flows and should proceed with numerical simulations, using stochastic methods,	6.25 決定論的手法では、サイトにおける最大予想体積、到達距離、厚さの閾値を、類似火山の堆積層からの情報となだれ流堆積モデルを用いて求めるべきである。スクリーニング距離は、このようにして、岩屑なだれ及び他の関連する質量流がそれ以上は到達すると想定できない距離として定義することができる。 さまざまなパラメータの不確実性は適切に考慮されなければならない。 確率論的評価 6.26 確率論的手法では、これらの流れの数値モデル化を拡張して、確率論的な手法を使用して流れの長さ、速度及び厚さを支配するパラメータの幅を考慮し、個々の考慮すべき火山について数値シミュレーションを行うべきである。確率論的手法は考慮すべき火山の過去の噴火の記録や、他の火山における類似した事象の情報を用いて精度を向上させることができる。その後、ハザード曲線はサイトに侵入する確率を示すために決定さ

for each capable volcano, with account taken of a range of values for those parameters that control the geometry of the source region, flow length, velocity, volume and thickness. Probabilistic methods can be refined by using the record of volcanic events at the capable volcano and by analysis of similar events at other volcanoes. Hazard curves should then be determined and combined to express the probability of incursion at the site. Uncertainty in the resulting hazard curves should be expressed by confidence bounds and the basis for the selection of the reported confidence intervals should be documented.

Factors to consider in site selection, site evaluation and development of the design basis

6.27. As indicated in Table 1, the effects of debris avalanches, landslides and slope failures should be considered one of the exclusion criteria for the site, since these effects cannot be mitigated by means of appropriate measures for design and operation if they occur in the site vicinity or if they affect the site directly. For either deterministic or probabilistic assessments, several additional factors should be considered in making judgements on site suitability in relation to debris avalanches, landslides and slope failures. The results of probabilistic or deterministic approaches should include estimates of the potential for incursion at the site, as well as flow thickness and velocity. The hazard assessment should consider other indirect phenomena associated with debris avalanches, landslides and slope failures, such as tephra fallout, projectiles, pressure waves, debris flows, floods and tsunamis. Large slope failures are potential non-eruptive volcanic events and may be triggered by rainfall or tectonic earthquakes.

VOLCANIC DEBRIS FLOWS, LAHARS AND FLOODS

6.28. Debris flows, lahars and associated floods of volcanic origin should be considered separately from other ordinary floods mainly because of the short warning times available after the onset of the flow, the high flow velocities and discharge rates, the high flow volumes and the considerable distances that can be reached (e.g. possibly more than 150 km from the source). In addition to the impacts associated with ordinary flooding, debris flows and lahars produce mechanical effects, owing to the mass of material involved and its velocity and therefore its erosive power. The occurrence and the effects of debris flows and lahars can persist for periods ranging from months to decades following volcanic eruptions, as volcanic products such as pyroclastic density current and tephra fallout deposits are remobilized over time. Deposits of debris flows and lahars may reach significant thicknesses (e.g. tens of metres). Given the wide range of

れ、合成されるべきである。生成ハザード曲線の不確かさは信頼境界として表され、報告された信頼度の選定原則は文書化されるべきである。

サイト選定、サイト評価と設計基準の策定で考慮する要因

6.27 表 1 に示したように、岩屑なだれ、地滑り、斜面崩壊の影響はサイト除外基準とみなされる。なぜならそれらの影響は、サイト近くで発生した場合やサイトに直接影響する場合には、適切な設計及び運転による措置によって影響を緩和することができないからである。決定論的及び確率論的評価のいずれの場合でも、岩屑なだれ、地滑り、斜面崩壊に関連したサイト適合性判断を行う際にはいくつかが追加で考慮すべき要因がある。確率論的及び決定論的手法の結果は、流れの厚さ及び速度と同様に、サイトへの侵入の可能性についてのパラメータの推定を含んでいるべきである。この評価は、岩屑なだれ、地滑り、斜面崩壊に関する他の間接的事象を考慮すべきである。それは降下火砕物、噴出物、圧力波、土石流、洪水及び津波などである。大規模な斜面崩壊は、噴火を伴わない火山事象による可能性もあり、降雨や地盤構造による地震が引き金となって発生することもある。

火山性土石流、火山泥流と洪水

6.28 土石流、火山泥流及び関係する火山起源の洪水は、通常の洪水とは別に考慮すべきである。それは主に、発生してから警告に使える時間が短いこと、流速が早く、流量が多く、到達距離が長い（例えば発生源から 150 km 以上となる可能性がある）ことによる。通常の洪水に伴う影響に加えて、土石流と火山泥流は含まれる物質の質量、その速度、その侵食力によって機械的な影響も有している。土石流と火山泥流の発生と影響は、噴火生成物（例：火砕物密度流、降下火砕物）が時間とともに再移動することにより、噴火後数ヶ月～数十年にもわたって持続することがある。土石流と火山泥流の堆積物はかなりの厚さ（例：数 10 m）に達することがある。広範囲に及ぶ堆積量とサイトへの重要性を考えると、土石流、火山泥流及び洪水は、通常サイト除外基準とみなされるべきである。しかしながら、いくつかのケースではそれらの影響は、サイトでの防護措置と同様、サイト、プラントのレイアウトと設計上の配慮により対応が可能である。火山事象に伴う洪水は、ある意味では非火山起源のものとして取り扱われるべきである [5]。

volumes, and hence consequences for a site, the effects of debris flows, lahars and floods should usually be considered exclusion criteria for the site. However, in some cases their effects can be accommodated by site and plant layout and design considerations, as well as by on-site protective measures. Floods associated with volcanic events should be treated in a manner consistent with that for floods of non-volcanic origin [5].

6.29. The hazard assessment for lahars, debris flows and floods of volcanic origin for each capable volcano should consider

- (a) The identification of potential source regions for volcanic debris and for water, including snowcaps and glaciers;
- (b) The potential magnitude and characteristics of the flow;
- (c) The potential for modification of the flow properties along the path, the sources of water and the topography between the source region and the nuclear power plant;
- (d) The frequency of such events in the past;
- (e) The meteorological data at the source region and along the potential path of such flows.

Deterministic assessment

6.30. A deterministic approach should establish threshold values for the maximum credible volume, runout distance and thickness for debris flow and lahar deposits for the site using information about actual deposits from nearby, analogous volcanoes and debris flow emplacement models. A screening distance value can thus be defined for these flows beyond which they are not considered to be credible events. Floods of volcanic origin should be evaluated in a manner consistent with that described in Ref. [5]. The uncertainties in the various parameters should be properly taken into account.

Probabilistic assessment

6.31. A probabilistic approach should entail the numerical modelling of these flows and should proceed with numerical simulations, using stochastic methods, for each capable volcano, with account taken of a range of values for parameters that control flow geometry and discharge rate. These models can be refined by means of observations of debris flow and lahar deposits at the capable volcano and similar observations made at analogous volcanoes. Hazard curves should then be derived that express the annual frequency of exceedance values for flow incursion at the site and discharge rates. Uncertainty in the resulting hazard

6.29 各考慮すべき火山による土石流、火山泥流及び洪水の評価は、以下を考慮すべきである。

- (a)冠雪及び氷河を含む、土石流と水の潜在的な発生地域の区分
- (b)流れの潜在的な規模と流れの特性の評価
- (c)流路にそった流れの特性の変化、水源、発生地域と発電所間の地形の考慮
- (d)過去の同様な事象の頻度
- (e)発生地域と、想定される流路沿いの気象データ

決定論的評価

6.30 決定論的手法では、サイトで想定すべき土石流、火山泥流の堆積物の最大想定量、流出距離、厚さに基づき閾値を決定すべきである。これは、周辺あるいは類似した火山における実際の堆積及び経験的土石流モデルの情報を使って実施できる。スクリーニング距離は、このようにして、それらの流れがそれ以上は到達すると想定しなくて良い距離として定義することができる。火山に起因する洪水は、ある程度参考[5]とも関連して評価しなければならない。さまざまなパラメータの不確実性は適切に考慮されなければならない。

確率論的評価

curves should be expressed by confidence bounds and the basis for the selection of the reported confidence intervals should be documented.

Factors to consider in site selection, site evaluation and development of the design basis

6.32. As indicated in Table 1, the effects from volcanic debris flows, lahars and floods should be considered, in principle, one of the exclusion criteria for the site. However, since their effects may be accommodated by site and plant layout, design, operation or site protective measures, the appropriate design basis should be determined. For either deterministic or probabilistic assessments, several additional factors should be considered in deriving the design basis and in making judgements on site suitability in relation to debris flows, lahars and associated floods. The probabilistic or deterministic approaches should result in estimates of their potential to reach the nuclear power plant as well as their likely flow geometry and discharge rates. Indirect event sequences such as tephra fallout from capable volcanic sources on a neighbouring snow clad mountain that could act as a source for debris flows, floods generated by eruption under ice or snow, and the sudden release of water and debris from breakage of volcanic dams in craters or valleys filled with volcanic debris should also be considered.

OPENING OF NEW VENTS

6.33. The opening of new vents is a geological phenomenon that can produce significant flow, tephra fallout, volcano generated missile and ground deformation hazards for a nuclear power plant. New vents may be circular in form, or highly elongate fissures. Vents generally form clusters within volcanic fields, or are closely associated with large volcanic systems, such as shield and composite volcanoes and calderas. Multiple new vents form during some volcanic eruptions. Therefore, the hazard assessment of each capable volcano or volcanic field should consider volcanic phenomena produced as a result of, and during, a volcanic eruption, such as tephra fallout, lava flows, lava domes and pyroclastic flows, that may originate from new vents as well as from existing vents. Opening of new vents at the site vicinity should be considered an exclusion criterion for the site (see Table 1).

6.34. Assessment of the likelihood of formation of new vents requires information about the distribution and ages of volcanic vents in the region. Additional information, such as geophysical surveys of the region, is often used to identify vents buried by subsequent activity or otherwise obscured. In addition,

サイト選定、サイト評価と設計基準の策定で考慮する要因

6.32 表 1 に示したように、火山性土石流、火山泥流、洪水は原則としてサイト除外基準とみなされる。しかしながら、それらの影響はサイトとプラントのレイアウト、設計、運転、サイト防護措置で対応できる可能性があるため、適切な設計基準を定めるべきである。決定論的及び確率論的評価のいずれの場合でも、土石流、火山泥流及び洪水に関連したサイト適合性判断を行う際にはいくつか追加で考慮すべき要因がある。確率論的及び決定論的手法は、それらのありうる流路形状、放出割合と同様にそれらが原子力発電所に到達する可能性を推定することに帰結すべきものである。土石流の発生源となる、考慮すべき火山源から近接した冠雪地帯への降下火砕物、雪や氷の下での噴火による洪水、火山性デブリで埋まった谷川やクレーターの火山湖ダムの決壊による水と泥の突然の放出のような関連現象も考慮しなければならない。

新しい火口の開口

6.33 新しい火口の開口は、原子力発電所に対し、大きな流れ、降下火砕物、噴火性噴出物、地盤崩壊ハザードを引き起こす地質学的現象である。これらの新しい噴火口は円形か、亀裂が長く伸びた形であろう。噴火口は一般的に火山地域で群を形成するか、あるいは盾状火山、成層火山、カルデラのような大規模な火山系に密接に結びついている。複数の新しい火口が火山噴火の期間に形成される。従って考慮すべき火山や火山地域のハザード評価は、火山の噴火の結果生じる事象と噴火中の事象（降下火砕物、溶岩流、火砕流のような）を、既存の噴火口からのものと同じように考慮しなければならない。サイト近くにおける新しい火口の開口は、サイト除外基準と見なされるべきである（表 1）。

6.34 新しい火口形成の確率評価は、当該地域の火山の分布及び年代に関する情報を必要とする。当該地域の地球物理学上の調査のような追加情報は、後の活動によって埋まってしまった火口や不明瞭となった火口の識別に使用される。さらに、サイト地域の地質学的、地球物理学的モデルは、火口分布の地質学的制約（例：火口と断層あるいは類似の構造的特徴）について重要な情報を提供する。

英 文	和 訳
geological and geophysical models of the site region often provide important information about geological controls on vent distribution, such as the relationship between vents and faults or similar tectonic features. Deterministic assessment 6.35. A deterministic assessment of the possibility of new vent formation should determine a screening distance value for the site, beyond which the formation of a new vent is not considered to be a credible event. Additional information, such as significant changes in the tectonic setting with distance from an existing volcanic field, should also be considered in a deterministic analysis. In addition to the formation of a new vent, this deterministic analysis should consider the distance eruptive products might travel from the new vent. The uncertainties in the various parameters should be properly taken into account. Probabilistic assessment 6.36. Modern analyses of volcanic hazards associated with new vent formation normally involve a probabilistic approach. A probabilistic hazard assessment should estimate a spatial probability density function which describes the spatial or spatio-temporal intensity of volcanism in the region. Additional geological or geophysical information should be incorporated into the analysis. In addition to the formation of a new vent, the probabilistic analysis should consider the distance eruptive products might travel from the new vent. Uncertainty in the resulting hazard curves should be expressed by confidence bounds and the basis for the selection of the reported confidence intervals should be documented. Factors to consider in site selection, site evaluation and development of the design basis 6.37. As indicated in Table 1, the effects from the opening of new vents should be considered one of the exclusion criteria for the site, since these effects cannot be mitigated by appropriate measures for design and operation if they occur in the site vicinity or if they affect the site directly. For either deterministic or probabilistic assessments, several additional factors should be considered in making judgements on site suitability in relation to the opening of new volcanic vents. Results of this analysis could be expressed as the probability of a new vent forming within a specified time period (e.g. per year) and within a specific area (e.g. the site vicinity). The potential for new vent formation should be considered in the hazard assessment for other volcanic phenomena, such as lava flows, volcano generated missiles, tephra fallout and surges. In the event of the opening	決定論的評価 6.35 新しい火口形成の可能性の決定論的評価では、これ以上の距離では新しい火口の開口は想定されないというスクリーニング距離を定めるべきである。既存の火山地域からの距離による地殻構造の顕著な変化のような追加情報も決定論的評価で考慮されるべきである。新しい火口の開口に加え決定論的評価は新しい火口から噴出物が移動する距離についても考慮しなければならない。さまざまなパラメータの不確実性は適切に考慮されなければならない。 確率論的評価 6.36 新しい火口形成に伴う火山ハザードの現代の解析は、通常確率論的手法を含んでいる。確率論的ハザード評価は空間的、時空間的火山活動強度に関する空間確率密度分布を定めるべきである。地質学的、地球物理学的追加情報を分析に組み込むべきである。新しい火口の開口に加え、確率論的評価は新しい火口から噴出物が移動する距離についても考慮しなければならない。生成ハザード曲線の不確かさは信頼境界として表され、報告された信頼度の選定原則は文書化されるべきである。 サイト選定、サイト評価と設計基準の策定で考慮する要因 6.37 表1に示したように、新しい火口の開口の影響はサイト除外基準とみなされるべきである。なぜなら、それらがサイトの近くで発生し、サイトに直接影響する場合、適切な設計及び運転による措置によって影響を緩和することができないからである。決定論的及び確率論的評価のいずれの場合でも、新しい火口形成に関するサイト適合性判断を行う際にはいくつかが追加で考慮すべき要因がある。この評価の結果は一定の期間（例：1年）、一定のエリア（例：サイトの周辺）での新しい火口形成の確率として表現できる。新しい火口形成の可能性は、（溶岩流、火山から発生する飛来物、降下火砕物、サージのような）他の潜在的火山関連事象のハザード評価と見なされるべきである。新しい火口が形成される際には、大規模な地震変動（例：数m）、火山性地震、ガス噴出などが周辺で発生するであろう。多数の噴火の期間中、新しい火口の開口は地下水活動、地下マグマ活動を含み、それらは非常に爆発的であろう。これらの条件から、水中や浅い地下水の中での新しい火口の開口は、過去の噴火の生成物で表されるよりも著しく爆発的な噴火を引き起こすであろう。

of new vents, ground deformation of large magnitude (e.g. metres), volcanic seismicity and gas flux may occur in the site vicinity. During many volcanic eruptions, the formation of a new vent may involve phreatic or phreatomagmatic activity, which is generally highly explosive. In such circumstances, the opening of a new vent in water or shallow groundwater systems may result in a significantly more explosive eruption than represented by the products of past eruptions.

VOLCANO GENERATED MISSILES

6.38. Volcano generated missiles can be compared with impacts due to tornadoborne missiles or aircraft crashes, but the potential number of volcano generated missiles that may fall on a nuclear power plant can be very high. At the vent, particles have velocities in the range of 50–300 m/s and the distance travelled is a function of their size and aerodynamic drag, which can be reduced behind the shock waves produced by large eruptions. These factors mean that even large, dense particles (e.g. one metre in diameter) can travel kilometres from the volcanic vent. For hazard estimates for each capable volcano, it is necessary to estimate the source locations, potential magnitude and frequency of future explosive eruptions. The fallout of volcano generated missiles often accompanies the formation of new vents. Furthermore, missile fallout commonly occurs when lava flows or pyroclastic flows enter bodies of water, producing secondary (rootless) vents. Missile fallout can disrupt normal operations at a nuclear power plant and could result in damage to structures at the plant. These hazardous volcanic phenomena should usually be considered an exclusion criterion for the site, although in some cases their effects can be accommodated in the design of protective measures.

Deterministic assessment

6.39. A deterministic approach should determine the threshold values for the maximum distance and maximum size that volcano generated missiles can attain using information on the maximum distance and maximum size of missiles produced in previous explosive eruptions from analogous volcanoes. Missile transport models could also be used to determine a screening distance value as a function of exit speed, density of particles, exit angle and wind field parameters. The analysis should consider the effect of topographic barriers between the nuclear power plant and the vent and the possibility of missiles from secondary vents. The uncertainties in the various parameters should be properly taken into account.

火山から発生する飛来物

6.38 火山から発生する飛来物や噴出物は、竜巻による飛来物あるいは航空機の衝突と対比できるものであるが、火山活動性噴出物が原子力発電所に落下する潜在的な数は非常に多くなりうる。火口では、破片は、50～300m/s の速度を持ち、飛行距離は、その粒径と空気抵抗（大規模な噴火によって生じる衝撃波の背後では小さくなる可能性がある）の関数である。これらの要素は、大きく高密度な弾道体（例えば直径1 mのもの）でも火口から何キロも飛行することを示している。各考慮すべき火山のハザード評価では、将来の噴火の発生源と噴火規模、頻度を評価することが必要となる。火山から発生する飛来物や噴出物の落下は、しばしば新しい火口の形成を伴う。それに加え、溶岩流や火砕流が水域に入るとき一般に発生する噴出物落下は、二次的な（根のない）噴火をもたらす。噴出物落下は原子力発電所の通常運転を途絶させ、施設の機器に損害を与えるであろう。これらの災害的な火山現象は通常サイト除外基準とみなされるべきであるが、設計上の考慮やサイト防護措置により対応可能な場合もある。

決定論的評価

6.39 決定論的手法では、類似火山の過去の噴火での火山から発生する飛来物の最長距離及び最大の大きさに関する情報を用いて、最大到達距離及び大きさの閾値を定めるべきである。噴出物輸送モデルがスクリーニング距離（爆発圧、破片密度、出射角、風系パラメータの関数）を定めるのに使用可能であろう。評価には火口と発電所間の地形的障壁、二次的火口からの弾道噴出物の確率を考慮すべきである。さまざまなパラメータの不確実性は適切に考慮されなければならない。

Probabilistic assessment

6.40. A probabilistic approach should consider a numerical simulation of the trajectories of volcano generated missiles at the site. In such an analysis, a stochastic analysis of trajectories from each capable volcano should be conducted, with account taken of variation in explosion pressure, density of particles, exit angle and related parameters. Such models produce a frequency distribution of particle accumulation, commonly presented as a hazard curve. Uncertainty in the resulting hazard curves should be expressed by confidence bounds, and the basis for the selection of the reported confidence intervals should be documented.

Factors to consider in site selection, site evaluation and development of the design basis

6.41. As indicated in Table 1, the effects from volcano generated missiles should be considered, in principle, one of the exclusion criteria for the site. However, in some cases, their effects may be accommodated by means of site and plant layout, design, operation and site protective measures. For either deterministic or probabilistic assessments, several additional factors should be considered in deriving design basis data and in making judgements on site suitability in relation to volcano generated missiles. Probabilistic and deterministic approaches may be combined in the analysis. Results of this combined analysis could be expressed, for example, as the probability of potential impacts beyond a specified screening distance. The potential for volcano generated missiles should be considered as part of the hazard assessment of the opening of new vents and as impacts relating to tephra fallout. As missile fragments are commonly hot, their potential to initiate fires in or around the nuclear power plant should be considered. Results of the analysis should be consistent with those for similar external hazards, such as missiles generated by human induced events or extreme meteorological phenomena (see Refs [2, 5]).

VOLCANIC GASES

6.42. Volcanic gases may be released in very large quantities during explosive volcanic eruptions. They can be released from volcanic vents at some volcanoes even during periods of non-eruptive activity and can also diffuse through soils and along fracture systems on, and adjacent to, volcanoes. Extensive lava flows are also a significant source of volcanic gases. The adverse effects of volcanic gases include asphyxiation, toxicity and corrosion, often associated with the

確率論的評価

6.40 確率論的手法では、サイトでの弾道の数値シミュレーションを考慮すべきである。このような分析では、各考慮すべき火山からの弾道の確率論的な解析は、爆発圧の変化、破片密度、出射角及び関連パラメータを考慮して実施すべきである。そのようなモデルでは弾道体蓄積の度数分布を算出し、通常はハザード曲線で表される。生成ハザード曲線の不確かさは信頼境界として表され、報告された信頼度の選定原則は文書化されるべきである。

サイト選定、サイト評価と設計基準の策定で考慮する要因

6.41 表1に示したように、火山から発生する飛来物の影響は原則としてサイト除外基準とみなされるべきである。しかしながら、それらの影響はサイトとプラントのレイアウト、設計、運転、サイト防護措置で対応できる可能性があるため、適切な設計基準を定めるべきである。決定論的及び確率論的評価のいずれの場合でも、火山から発生する飛来物に関する設計基準の策定及びサイト適合性判断を行う際にはいくつか追加で考慮すべき要因がある。確率論的評価と決定論的評価は組み合わせて使用して良い。この統合された評価の結果は、例えば、明示されたスクリーニング距離を超える潜在的衝撃の確率として表現することができるであろう。火山から発生する飛来物の到達可能性は、新しい火口の開口可能性のハザード評価の一部、及び降下火砕物に関する影響として考慮されるべきである。噴出物破片は通常高温であるため、火災を引き起しうる。原子力発電所内と周辺におけるそのような火災を考慮しなければならない。評価結果は、類似の外部ハザード（例えば人為的な弾道ミサイルや激しい気象現象）と整合していなければならない（参考[2]及び[5]参照）。

火山ガス

6.42 火山ガスは噴火中に極めて大量に放出される。それらは噴火活動以外の期間中においても火口から放出されることもある。火山ガスは土壌を通して、あるいは火山上和火山に隣接した断裂系に沿って放散しうる。広範囲な溶岩流もまた顕著な火山ガスの発生源である。火山ガスの悪影響は、窒息性、有毒性、腐食性であり、しばしば火山ガス、乾燥堆積物と強い酸性の負荷を伴い疑結する。機械系と人員に対する火山ガスの影響は、設計と運用による適切な対策によって対処されなければならない。設計基準の策定において考慮される必要がある。

condensation of acids from volcanic gases, dry deposition and heavy acid loading. The effects of volcanic gases on mechanical systems and personnel should be accommodated by appropriate measures for design and operation and should be taken account of in derivation of the design basis.

6.43. Estimation of hazards due to volcanic gases relies on accurate estimation of the potential flux of such gases in volcanic systems and on the accuracy of meteorological and topographical data used to model the dispersion, flow and concentration of gases in the atmosphere.

Deterministic assessment

6.44. A deterministic approach should consider defining an offset distance between potential volcanic gas sources and the site by using information gathered from analogous volcanoes or gas concentration measurements at the capable volcano. Alternatively, assuming that degassing from a capable volcano will occur, a deterministic approach could estimate the impact of this degassing using an atmospheric dispersion model, assuming a conservative value for the mass flux of volcanic gases. This modelling should provide some indication of the extreme gas concentrations and acid loading that might occur at the site. The uncertainties in the various parameters should be properly taken into account.

Probabilistic assessment

6.45. A probabilistic approach should consider the expected variation in mass flux from the volcano, including the possibility of degassing pulses at otherwise quiescent volcanoes, and the variability of meteorological conditions at the site. These probability distributions may be used as input into a gas dispersion model to estimate acid loading and related factors. Uncertainty in the resulting hazard curves should be expressed by confidence bounds, and the basis for the selection of the reported confidence intervals should be documented.

Factors to consider in site selection, site evaluation and development of the design basis

6.46. As indicated in Table 1, the effects from volcanic gases are not considered one of the exclusion criteria for the site, since these effects can be mitigated by appropriate measures for design and operation. For either deterministic or probabilistic assessments, several additional factors should be considered in deriving the design basis and in making judgements on site suitability in relation to volcanic gases. Results of this analysis are generally expressed in terms of the

6.43 火山ガスのハザード評価は、火山系のガスの潜在的な流れの正確な見積り、及び大気中へのガスの分散、流動、濃縮のモデル化に使用する気象学的、地形学的データの正確性に依存している。

決定論的評価

6.44 決定論的手法では、類似火山の情報あるいは考慮すべき火山におけるガス濃縮測定結果を用いて、ガス源とサイトの距離距離を定義すべきである。あるいは、考慮すべき火山からのガス放出発生を仮定し、決定論的手法ではガス質量流量を保守側に仮定し、大気拡散モデルを使用することによりガス放出の影響を評価することができよう。このモデリングでは、サイトで発生する可能性のある極端なガス濃縮及び軽負荷の一定の目安を提示すべきである。さまざまなパラメータの不確実性は適切に考慮されなければならない。

確率論的評価

6.45 確率論的手法は、休止火山でのパルスのガスの放出の可能性、サイト気象条件の変化を含め、火山からの質量流れの予想される変動を考慮すべきである。この確率分布は酸負荷と関連要因を評価するためのガス拡散モデルの人力として使用されるだろう。生成ハザード曲線の不確かさは信頼境界として表され、報告された信頼度の選定の原則は文書化されるべきである。

サイト選定、サイト評価と設計基準の策定で考慮する要因

6.46 表1に示したように、火山ガスの影響はサイト除外基準とはみなされない。なぜなら、これらの影響は、適切な設計及び運転による措置によって影響を緩和できるからである。決定論的及び確率論的評価のいずれの場合でも、火山ガスに関する設計基準の策定及びサイト適合性判断を行う際にはいくつか追加で考慮すべき要因がある。

この評価の結果は、一般的に、大気中の火山ガスの予想される濃縮、サイト近傍で予想される乾燥堆積物で表される。この評価は、地面、熱水系、火口湖を介して間接的な噴火生成物の脱ガスと同様に、火口や噴火時の噴煙からの直接的な脱ガスも考慮すべきである。評価はまた、サイトに影響を及ぼすガス溜まり（例：CO₂、CH₄）、水の沸騰（例：クレータ又は断層湖）、熱水系からの局所的なガスの放出も評価しなければならない。

expected atmospheric concentration of volcanic gases and the expected dry deposition in the site vicinity. This analysis should consider the hazard from direct degassing from volcanic vents and eruptive plumes as well as from indirect passive degassing of erupted products, through the ground, the hydrothermal system and crater lakes. The analysis should also evaluate the potential for catastrophic degassing of gas charged (e.g. CO₂, CH₄) water bodies (e.g. crater or fault-bounded lakes) or hydrothermal systems to affect the site.

TSUNAMIS AND SEICHES

6.47. Massive amounts of rock can abruptly enter large bodies of water during an eruption. Furthermore, volcano slopes can become unstable and collapse without warning or eruptive activity. Underwater volcanic eruptions can also displace large volumes of water, from both slope collapse and the release of volcanic gases, and should be considered in the site specific hazard assessment. For coastal sites, or sites located near large bodies of water, such as lakes and reservoirs, tsunami and seiche hazards should normally be considered in the site assessment (see Ref. [5]). Nevertheless, specialist knowledge is necessary to evaluate fully the likelihood and source characteristics of volcanogenic tsunamis. The effects from volcanically induced tsunamis and seiches are the same as those from seismically induced tsunamis and seiches. Inundation by tsunamis and seiches has the potential to disrupt normal operations and damage nuclear power plants. Therefore, tsunami and seiche hazards are required to be considered in both site evaluation and design.

6.48. Currently, tsunami and seiche hazards are evaluated using deterministic numerical models, which should consider the locations of potential sources, the volume and rate of mass flow, the source and characteristics of water displacement and the resulting propagation of waves on the basis of location specific bathymetry data [5]. For sites located in areas potentially affected by volcanically induced tsunamis or seiches, consideration should be given to the potential for large volumes of rock from volcanic eruptions or unstable volcanic slopes to enter water bodies, as part of analysis of the potential distribution of tsunami sources.

ATMOSPHERIC PHENOMENA

6.49. Explosive volcanic eruptions can produce atmospheric phenomena that have potentially hazardous characteristics. Overpressures from air shocks can

津波と静振（セイシュ）

6.47 噴火時にまとまった量の岩石が不意に大量の水域に突然入ることがある。そのうえ、火山斜面は不安定になりうるので、前兆または噴火活動なしに崩壊することがある。水面下での噴火も、斜面崩壊及び爆発的ガス放出の両面で大量の水を押しつけることがあるため、サイト固有のハザード評価で考慮するべきである。海岸沿い、大きな水塊、湖、貯水池に面したサイトは通常、サイト評価の一部で津波と静振の評価を行うべきである（参考[5]参照）。しかしながら、火山性の津波の発生源の性質と発生確率を十分に評価するためには専門家の知識が必要となる。火山で引き起こされる津波と静振の影響は、地震による津波と静振の影響と同じである。津波と静振による氾濫は原子力発電所の通常の運転を阻害し、設備を破損する可能性があることから、津波と静振はサイト評価と設計基準のいずれでも考慮する必要がある。

6.48 現在、津波と静振ハザードは決定論的数値モデルを用いて評価されているが、それには場所特有の水深測量のデータに基づいて、潜在的発生源の位置、質量流の体積と割合、水の移動の起源と特徴、結果としての波の伝播を考慮すべきである[5]。火山による津波と静振により潜在的影響を受けるエリアにあるサイトについては、噴火あるいは不安定な火山斜面からの多量の岩石が水塊に入る可能性を津波の発生源の可能性分布評価の一部として考慮すべきである。

大気現象

6.49 爆発性の火山噴火は、潜在的に危険な特性を持つ大気現象をもたらすことがある。空振による超過圧力は、多くの場合、火山物質の噴出の数キロ先まで及ぶ可能性がある。火山灰柱及び噴煙柱を生じさせる噴火は、一般的に高頻度の稲妻を伴い、また強い下降噴流風を伴う場合がある。このような大気現象は、発電所の設計基準の策定に際して考慮しなければならない。

often extend for kilometres beyond the projection of volcanic material. Eruptions that produce tephra columns and plumes are commonly associated with frequent lightning and are occasionally associated with strong downburst winds. Such atmospheric phenomena should be considered when the design basis for a nuclear power plant is being derived.

6.50. As explosive volcanic eruptions may lead to rare atmospheric phenomena, as described in Ref. [5], consideration should be given in the hazard assessment to the use of a deterministic approach to model the maximum hazard for each atmospheric phenomenon associated with a potential volcanic eruption.

6.51. Volcanoes can be considered stationary sources of explosions when considering air shocks in the hazard assessment [2]. Hazard analyses described in Ref. [2] for stationary sources of explosions are generally applicable to the analysis of air shocks from explosive volcanic eruptions. The analysis of air shocks should focus on determining the potential maximum explosion for the volcanic source using a simplified relationship for shock attenuation with distance from the source.

6.52. Volcanically induced lightning has the same hazardous characteristics as lightning from other meteorological phenomena but is a frequent phenomenon associated with tephra columns formed by explosive volcanic eruption. The likelihood for ground strikes is high and may exceed the strike rate for extreme meteorological conditions [5]. A deterministic hazard assessment for volcanically induced lightning strikes should consider use of the screening criteria used in hazard assessments of rare atmospheric phenomena [5] with consideration given to the fact that there is a potential for a large number of column-to-ground lightning strikes during an explosive eruption.

GROUND DEFORMATION

6.53. Ground deformation typically occurs prior to, during and following volcanic activity. Hazards associated with ground deformation take several forms. In the case of ground deformation at an existing capable volcano, ground deformation associated with intrusion of magma may have indirect effects, such as increased potential for landslides, debris flow or related phenomena and volcanic gas flow. Ground deformation also accompanies the opening of new volcanic vents. The magnitude of ground deformation varies considerably, from millimetre scale vertical and horizontal displacements at great distances from the volcano (e.g. >10 km) to metres of displacement near some volcanic centres (e.g. opening of a

6.50 爆発性の噴火は、参考[5]に示すように、稀な大気現象を誘発するため、決定論的な手法を用いたハザード評価を行う際には、潜在的な火山噴火に伴う気象現象の最大のハザードをモデル化するよう配慮しなければならない。

6.51 空気の衝撃のハザード評価を行う際には、火山は固定的な爆発源とみなすことができるであろう[2]。参考図書[2]に記述された固定的な爆発源用のハザード評価法は、一般に爆発性噴火からの空気の衝撃評価にも適用可能である。空気の衝撃評価は、衝撃の減衰と発生源からの距離を単純化した相関を用いて、火山源の潜在的な最大爆発規模を定めることに注力すべきである。

6.52 火山で引き起こされる雷は、他の気象現象による雷と同様危険な性質を持っており、爆発性の噴火に伴う噴煙柱での雷はより頻繁な現象である。大地への落雷の可能性は高く、激しい気象条件下での落雷の割合を上回るものである[5]。火山性の落雷の決定論的危険性の評価では、まれな気象条件のハザード評価に使用するスクリーニング基準の使用を考慮すべきであるが[5]、爆発的な噴火では噴煙柱から地表へ多数の落雷の可能性があることも考慮すべきである。

地殻変動

6.53 地殻変動は、火山活動の前、活動中、活動後に典型的に生じる現象である。地殻変動に伴うハザードはいくつかの形を取る。既存の考慮すべき火山では、マグマの侵入に伴う地殻変動は、地滑り、土石流あるいは関連する事象の可能性を増大させ、ガス放出の可能性を増加させるような、間接的な影響を及ぼす。また、地殻変動は新しい火口の開口をもたす。地殻変動の規模は、火山から距離が遠い場合（例：10km以上）の水・鉛直の数mmの変位から、火口中心の近く（例：新しい火口や不安定カルデラ）の数mの変位まで大きく変わる。よって、サイトでの最も著しい潜在的な変形は、新しい火口の開口に伴うものである。従って、遠距離の考慮すべき火山による地殻変動は原子力発電所の設計基準の範囲内となる。しかしながら、サイト近傍（周囲約5km以内）の新しい火口による変形は、ほとんどの設計基準を超えるため、大きな火山性の地殻変動はサイト除外基準と見なされるべきである。

英 文	和 訳
new vent or a 'restless' caldera). Thus, the most significant potential deformation in the site locations is associated with the opening of new vents. Therefore, volcano deformation associated with distant capable volcanoes can be within the design basis of the nuclear power plant. Near vent deformation within the site vicinity area (i.e. about 5 km around the site), however, can exceed most design bases and, therefore, the potential for large volcanic deformation should be considered an exclusion criterion for the site. 6.54. The potential magnitude of ground deformation should be estimated in terms of displacement and the results of this should be superimposed onto topographic maps or digital elevation models in order to assess the potential for secondary impacts, such as landslides. Deterministic assessment 6.55. In a deterministic assessment, a threshold value should be derived that reflects the maximum potential magnitude of ground deformation at the site. This threshold value may be estimated using information from analogous volcanoes where deformation has been directly observed and from models of ground deformation that consider the movement and pressurization of magma bodies of various geometries and possessing various rock mechanical properties. The uncertainties in the various parameters should be properly taken into account. Probabilistic assessment 6.56. A probabilistic assessment of potential ground deformation may simply link the magnitude of ground deformation, estimated using models, to the likelihood of such events and to a range of potential geometries for intrusion. As in deterministic approaches, models of ground deformation should consider the movement and pressurization of magma bodies of various geometries and having various rock mechanical properties. The probabilistic analysis may be refined by using information from analogous volcanoes where ground deformation has been observed. Factors to consider in site selection, site evaluation and development of the design basis 6.57. As indicated in Table 1, the effects of ground deformation should be considered one of the exclusion criteria for the site since these effects cannot be mitigated by appropriate measures for design and operation if they occur in the site vicinity or if they affect the site directly. For either deterministic or	6.54 地殻変動の潜在的規模は変位で記述し、その結果は地滑りのような二次ハザードの可能性を評価するために地形図あるいは数値標高モデル (DEM) に重ね書きされるべきである。 決定論的評価 6.55 決定論的評価では、閾値は、サイトにおける最大の地殻変動規模を反映して決定すべきである。この閾値は、変位が直接観察された類似火山の情報や、様々な形状及び岩石力学的性質を備えたマグマ溜まりの動きと加圧を考慮した地殻変動モデルからの情報をを用いて推定される。さまざまなパラメータの不確実性は適切に考慮されなければならない。 確率論的評価 6.56 潜在的地殻変動の確率論的評価は、事象の発生の可能性に対するモデル、及び、侵入形状の可能性の幅によって表される地殻変動の規模と単純に結びつくだろう。確率論的手法では、地殻変動のモデルは、様々な形状と岩石力学的性質があるマグマ溜まりの動きと加圧を考慮しなければならない。確率論的評価では、地殻変動が観察された類似火山の情報が精度を向上させるだろう。 サイト選定、サイト評価と設計基準の策定で考慮する要因 6.57 表1に示したように、地殻変動の影響はサイト除外基準とみなされるべきである。なぜなら、それらがサイトの近くで発生し、サイトに直接影響する場合、適切な設計及び運転による措置によって影響を緩和することができないからである。決定論的及び確率論的評価のいずれの場合でも、評価の結果は、新しい火口の開口を含む火山活動の結果サイトで生じる地殻変動の可能性を含むものでなければならない。しかしながら、地殻変動評価の最も重要な側面は、他の火山事象の可能性の評価とこの評価を結び付けることである。特に、地

probabilistic assessments, results of this analysis should include estimation of the potential for ground displacement to occur at the site as a result of volcanic activity, including the opening of new vents. The most significant aspect of the ground deformation analysis, however, should involve coupling this analysis with analysis of the potential for other volcanic phenomena. In particular, the potential for ground deformation in landslide and volcanic debris avalanche source regions should be assessed, as ground deformation in these zones may greatly change the potential volume of such flows (i.e. landslides and debris avalanches) and consequently their potential for reaching the site of the nuclear power plant. Volcanic activity or subsurface intrusions of magma may change groundwater flow patterns or cause fluctuations in the depth of the water table. The potential hazards associated with such changes should also be considered in the assessment of flood hazards [5].

VOLCANIC EARTHQUAKES AND RELATED HAZARDS

6.58. Volcanic earthquakes and related hazards normally occur as a result of stress and strain changes associated with the rise of magma towards the surface. The characteristics of volcano-seismic events may differ considerably from tectonic earthquakes. Volcanic earthquakes can be large enough or numerous enough (hundreds to thousands per day) collectively to represent a potential hazard. Thus, a specific volcano-seismic hazard assessment should be considered and, where appropriate, undertaken using similar methods to those set out in Ref. [4].

Deterministic assessment

6.59. In line with the approach to hazard assessment for tectonic earthquakes (i.e. seismic earthquakes), a deterministic method for assessing volcano-seismic ground motion should determine the combination of magnitude of the volcano-seismic event, depth of focus and distance from the site that produces maximal ground motion at the site, with account taken of local ground conditions at the site. (It may be necessary to demonstrate that the volcano-seismogenic source structure cannot be interpreted as a capable fault that may produce surface displacements (see Section 8 of Ref. [4].) Suitable relationships for volcano-tectonic earthquakes should be derived for alternative parameterizations of ground motion, such as peak ground acceleration, duration of shaking or spectral content. (Specific ground motion characteristics of volcano-tectonic earthquakes may differ from those considered in Ref. [4], but the same principles should be applied.) The uncertainties in the various parameters should be properly taken into account.

滑り及び土石流の発生源での地震変動の可能性を評価することは重要である。なぜならこの地域での地震変動は地滑りや土石流の潜在的な量、ひいてはそれらの流れ（つまり地滑りや土石流）が発達所へ到達する可能性を大きく変えるからである。火山活動や、地表面下へのマグマ侵入は地下水の流れパターンを変え、地下水位の変動を引き起こすかもしれない。そのような変化に伴うハザード評価は、洪水ハザードの評価の一部と見なされるべきである [5]。

火山性地震と関連ハザード

6.58 火山性地震と関連ハザードは、通常、マグマが地表に向かって上昇することに伴う応力や歪みの変化の結果として生じる。火山性地震事象の特徴は、構造性地震によるものとは大幅に異なっている。火山性地震は火山性地震は全体として潜在的ハザードを代表するほど大規模であるか、多発する（1日に数百から数千回）可能性がある。従って、特定の火山地震ハザード評価が考慮されるべきであり、適切な場合には、参考図書[4]と同じ手法で行われるべきである。

決定論的評価

6.59 構造性地震（則ち地震）のハザード評価の手法に従い、火山性地震の地面の動きを評価する手法は、火山性地震のマグニチュード、震源深さ、サイトからの距離（サイトでの地面の動きを決める）を、サイトの局地的地盤条件を考慮に入れて定めておくべきである。（火山性の地震の震源構造が表層の移動をもたらすような活断層と解釈されるものではないことは論証する必要があるかもしれない。参考図書[4]の8章参照。）地面のピーク加速、揺れの継続時間、スペクトル特性などの代替地動パラメータ化を通して、火山性と構造性の地震同士の適切な関係が構築されるべきである。（個々の地震の地動特性は、参考図書[4]で考慮したものは異なるであろうが、同じ原則が適用されるべきである。）さまざまなパラメータの不確実性は適切に考慮されなければならない。

英 文	和 訳
Probabilistic assessment 6.60. A probabilistic assessment of the volcano-seismic hazard at a site should follow principles similar to those outlined in Ref. [4]. Allowance should be made for uncertainties in the parameters as well as alternative interpretations. Application of the probabilistic method should include the following steps: (a) Construction and parameterization of a volcano-seismic source model, including uncertainty in source locations; (b) Evaluation of event magnitude-frequency distributions for all such sources, together with uncertainties; (c) Estimation of the attenuation of seismic ground motion for the site region and its stochastic variability. With these steps, the results of the probabilistic computation of the ground motion hazard should be expressed in terms of the annual frequency of exceedance of different levels of relevant ground motion parameters (e.g. peak ground acceleration, appropriate range of response, spectral acceleration) for both horizontal and vertical motions. Factors to consider in site selection, site evaluation and development of the design basis 6.61. As indicated in Table 1, the effects produced by volcanic earthquakes are not considered one of the exclusion criteria for the site since these effects can be mitigated by appropriate measures for design and operation. In many cases, a site close to a capable volcano will also lie in a region of significant seismic hazards from tectonic faults and fault zones and it may be possible to demonstrate that the volcano-seismic hazards at the site are significantly lower than those associated with other sources of seismic activity. The occurrence of volcanic activity may alter regional patterns in seismicity. For example, volcanic activity may result in pressurization of pore fluids along regional tectonic faults. When such an analysis does not provide a clear margin of difference, a deterministic or probabilistic volcano-seismic hazard assessment should be undertaken. 6.62. Volcano-seismic events may result in an increased potential for slope failure and may alter loads on structures (e.g. in tandem with tephra fallout loading). Such effects should be considered and assessed for their potential influence on the design basis and site evaluation.	確率論的評価 6.60 サイトにおける火山と地震のハザードの確率論的評価は、参考図書[4]に概説されたものと同様の原則に従うべきである。代替解釈と同様、パラメータの不確実性に対する裕度を取るべきである。確率論的手法の適用は次のステップを踏んで行う。 (a)震源位置の不確実性を含む火山と地震の震源モデルの構築とパラメータ化 (b)それらの全震源への強度と頻度分布、及び不確実性の評価 (c)サイト地域に対する地震動の減衰とその確率論的変動の推定 これらのスラップで、確率論的地盤振動のハザード計算結果は、水平・鉛直の両方向について関連地盤振動パラメータ（例えば、ピーク加速度や応答スペクトル加速度の適切な範囲など）と異なるレベルでの年間超過確率として表現されるべきである。 サイト選定、サイト評価と設計基準の策定で考慮する要因 6.61 表1に示したように、火山性地震の影響はサイト除外基準とはみなされない。なぜなら、それらの影響は、適切な設計及び運転による措置によって影響を緩和することができるからである。多くの場合考慮すべき火山の近くにある原子力施設は、断層や断層帯による顕著な地震ハザードがありうる地域にあり、また、サイトににおける火山性地震によるハザードが他の地震源によるハザードに比べ著しく低いことを示すことも可能であろう。火山活動の発生は、地域的な地震の発生パターンを変化させることに注意が必要である。例えば、火山活動は地域の断層に沿って間隙流体の加圧をもたらし可能性がある。これらの解析により明確な裕度が見いだせない場合は、決定論的あるいは確率論的火山と地震のハザード評価を行うべきである。 6.62 火山と地震の事象は、斜面崩壊の確率を上昇させるかもしれないし、構造物への荷重を変化させるかもしれない（例：降下火砕物荷重への加算）。そのような事象は、設計基準及びサイト評価に対する潜在的な影響として考慮され評価されるべきである。

HYDROTHERMAL SYSTEMS AND GROUNDWATER ANOMALIES

6.63. Hydrothermal systems can generate steam explosions that eject rock fragments to a distance of several kilometres and can create craters hundreds of metres in diameter and result in the formation of new vents. Hydrothermal systems can also alter rock to clays and other minerals, which lead to generally unstable ground that can be highly susceptible to landslides. These factors make it questionable whether a design basis can be derived for a nuclear power plant located in an active hydrothermal system. Thus, the occurrence of a hydrothermal system and the potential for such a system to develop should be considered an exclusion criterion for the site, although in some cases their effects can be accommodated by employing protective measures at the site. Active hydrothermal systems and groundwater perturbations due to volcanic events at capable volcanic sources can create conditions that result in lahars, ground subsidence and slope instability.

6.64. Factors that should be considered in evaluating the development and possible impacts of hydrothermal systems include:

- (a) The lateral extent and nature of active hydrothermal systems associated with capable volcanoes;
- (b) The patterns of groundwater circulation that may give rise to hydrothermal systems;
- (c) The distribution of features, such as faults, that may influence the location and development of hydrothermal systems.

Deterministic assessment

6.65. A deterministic assessment should identify a threshold value for the distance from an existing hydrothermal system beyond which the hydrothermal system would not expand and beyond which the possibility of a new hydrothermal system developing is negligible. Determination of this threshold value should consider the lateral extent and the nature of hydrothermal systems at each capable volcano, the lateral extent of hydrothermal systems at analogous volcanoes, and the hydrogeology of the site and the surrounding area. The uncertainties in the various parameters should be properly taken into account.

Probabilistic assessment

6.66. A probabilistic assessment should consider numerical models for the development of hydrothermal systems in specific geological settings, given

熱水系と地下水の異常

6.63 熱水系は大規模な水蒸気爆発を発生させることがある。それは、岩石片を数キロ吹き飛ばし、直径数百 m に及ぶクレーターを作り、新しい火口を作ることがある。熱水系はまた、岩石を泥や他の物質に変える可能性があり、これに起因して地滑りや不安定な地盤を形成する可能性がある。これらの要因は、活動的な熱水系地域に建設された原子力発電所に設計基準が適用されるか疑問にさせる。従って、熱水系の発生可能性はサイト除外基準と見なされるべきであるが、いくつかのケースではサイト防護措置により対応が可能である。考慮すべき火山、火山地域の活動による活動的な熱水系と地下水の脈動は、火山泥流の形成、地盤沈下、斜面の不安定を引き起こされるような状態を作り出す。

6.64 熱水系の生成とその影響を評価する際に考慮すべき事項は以下の通り。

- (a) 考慮すべき火山による活動的な熱水系の横方向の広がり と性質
- (b) 熱水系の上昇をもたらす地下水循環パターン
- (c) 断層のような熱水系の場所と生成に影響を及ぼす特徴の分布

決定論的評価

6.65 決定論的評価は、一つの実在する熱水系が拡張する可能性がない距離、及び新しい熱水系の生成を無視できる距離を閾値として明確にするであろう。この閾値の決定に際しては、考慮すべき火山における熱水系の横方向の広がり及び性質、類似火山における熱水系の横方向の広がり、サイトと周辺エリアの水文地質学を考慮しなければならない。さまざまなパラメータの不確実性は適切に考慮されなければならない。

確率論的評価

6.66 確率論的評価は、特定の地質学的条件（考慮すべき火山の活発性や、新しい火口の開口影響との組合せにより変化する）における熱水系生成の数値モデルを考慮しなければならない。そのような確率論的モデルには類似火山の情報により精度が向上するだろう。確率論的モデルの出力は、サイトでの熱水系の生成の確率となるべきであり、火山の熱的な状態と水文系における流れや輸送の制約となる特徴に関連する入力パラメータの変動幅を含む。

changes in volcanic activity at each capable volcano, and in conjunction with the opening of new vents. Such probabilistic models can be refined by data from analogous volcanoes. The output from the probabilistic model should be the likelihood of a hydrothermal system developing at the site, given a range of input parameters relating to the thermal state of the volcano and the properties controlling flow and transport in the hydrological system.

Factors to consider in site selection, site evaluation and development of the design basis

6.67. As indicated in Table 1, the effects of the development of volcanic hydrothermal systems should be considered, in principle, as one of the exclusion criteria for the site. However, in some cases, since their effects may be accommodated in the site and plant layout, or in design, operational or site protective measures, the appropriate design basis should be determined. Currently, it is difficult to determine the likelihood of steam explosions occurring at specific locations within most hydrothermal systems. Hazards associated with specific phenomena, such as the development of fumaroles or the opening of new vents during steam explosions, are less important to consider explicitly than the development and lateral extent of the hydrothermal system itself. The effects of groundwater anomalies on the potential for lahars, debris flows, ground subsidence and slope instability should be assessed as part of the analysis of these phenomena.

A COMPREHENSIVE MODEL OF VOLCANIC HAZARDS

6.68. A comprehensive and site specific volcanic hazard model should be developed to inform decisions about site suitability and the design basis for the nuclear power plant. In reaching these decisions, the potential for future volcanism and assessment of its potential effects should be considered from the perspective of the potential impact on the safety of the nuclear power plant, including plant availability for operation.

6.69. A comprehensive and site specific model of the volcanic hazards involves a large number of complex interacting phenomena. Development of such models will require assistance from volcanological experts, preferably through a formal process designed to consider all expert judgement in relation to volcanic hazards at the site. Furthermore, external peer review of the technical basis and application of the hazard model should be undertaken to increase confidence that an appropriate range of models and data has been considered in the assessment.

サイト選定、サイト評価と設計基準の策定で考慮する要因

6.67 表 1 に示したように、火山熱水系発達の影響は原則としてサイト除外基準とみなされるべきである。しかしながら、いくつかのケースではそれらの影響はサイトとプラントのレイアウト、設計、運転、サイト防護手段で対応できる可能性があるため、適切な設計基準を定めるべきである。現状ほとんどの熱水系において、水蒸気爆発の確率を決定することは困難である。特定の現象に伴うハザード（例えば水蒸気爆発による噴気孔の生成や新しい火口の生成）の検討は、熱水系自体の横方向への進展と生成よりは重要性が低い。火山泥流、土石流、地盤沈下、斜面安定性の発生可能性に影響する地下水の異常については、それらの現象の評価の中で考慮されるべきである。

火山ハザードの包括的モデル

6.68 包括的な、特定サイト用の火山ハザードモデルが、原子力発電所の設計基準とサイト適合性判断のための情報として開発される必要がある。それらの判定に際しては、将来の火山活動の可能性とその潜在的影響を、発電所の安全に対する影響（運転の継続性を含む）の観点から考慮しなければならない。

6.69 包括的でサイト固有の火山ハザードのモデルは、複雑に相互作用する多数の現象を含んでいる。そのようなモデルの構築には、火山学の専門家の助言、できればサイトの火山ハザードに関連する全ての専門的判断を考慮するよう意図された正式な手続きが必要となるだろう。さらに、適切な範囲のモデルとデータが評価の中で考慮されていることを通して信頼度を向上させるため、技術的な基準とハザードモデルの適用について外部の評価を行うべきである

英 文	和 訳
6.70. Volcanic events can give rise to multiple hazardous phenomena (e.g. tephra loading and seismic loading). A volcanic hazard may be the cause of other hazards in the region (e.g. a volcano generated earthquake can cause a landslide that may affect dams or local river courses). In combination, these hazards can exacerbate the risk to a nuclear power plant, even though the individual risk stemming from each hazard may be relatively minor. A comprehensive model of volcanic hazards should, therefore, take account of the combined effects of volcanic phenomena. 6.71. Non-volcanic events, such as regional earthquakes or tropical storms, can initiate the occurrence of hazardous phenomena at a volcano. A comprehensive model of volcanic hazards should consider the likelihood of such hazards, which are coupled to non-eruptive initiating events. Additionally, in comparison with many external hazards, volcanic activity may persist for longer periods of time and may affect larger areas around the nuclear power plant. For example, debris flows may persist in a region for years following explosive volcanic eruptions. Although such debris flows may not damage a nuclear power plant directly, they may render normal operation of the power plant impossible owing to extensive or devastating impacts on the population and infrastructure of the surrounding region. 7. NUCLEAR INSTALLATIONS OTHER THAN NUCLEAR POWER PLANTS 7.1. This section provides guidance for the volcanic hazard assessment for a broad range of nuclear installations other than nuclear power plants. This Safety Guide addresses an extended range of nuclear installations as defined in Ref. [8]: land based stationary nuclear power plants, research reactors, nuclear fuel fabrication plants, enrichment plants, reprocessing facilities and spent fuel storage facilities. 7.2. For the purpose of volcanic hazard assessment, these installations should be graded on the basis of their complexity, potential radiological hazards and hazards due to other materials present. Volcanic hazard assessment should be performed in accordance with this grading. 7.3. Prior to categorizing an installation for the purpose of adopting a graded approach, a conservative screening process should be applied in which it is	6.70 火山事象は、複数のハザード事象を引き起こす（例：テフラ荷重と地震荷重）。一つの火山ハザードが地域において他のハザードを引き起こすこともある（例：火山は引き起こした地震によって地滑りが発生し、それがダムや局地的な川の流れに影響する）。各ハザードから生じる危険が単独では比較的小さくても、複合することにより発電所への危険性を増大させる。従って、火山ハザードの包括モデルは、火山現象の複合的な影響を考慮しなければならない。 6.71 非火山性の事象（例えば局地的な地震、台風など）により、火山性のハザードが引き起こされるかもしれない。火山ハザードの包括的モデルはこのような爆発性のない事象で発生する災害の確率も考慮すべきである。加えて、多くの外部ハザードとの比較では、火山活動は長期に渡り継続し、発電所の周囲の広い範囲に影響を及ぼすこともある。例えば、土石流の危険性は火山の噴火後、地域に数年継続するであろう。このような土石流は発電所に直接ダメージを与えないかもしれないが、周辺地域のインフラや住民に破壊的影響を及ぼし発電所の運転を不可能にするかもしれない。 7. 原子力発電所以外の原子力施設 7.1 この章では広く原子力発電所以外の原子力施設の火山ハザード評価の指針を提供する。木安全指針は参考図書[8]に定義する拡張した原子力施設、すなわち、陸地の固定式原子力発電所、研究炉、燃料製造工場、濃縮工場、再処理工場及び使用済燃料貯蔵施設を対象としている。 7.2 火山ハザード評価の目的から、これらの施設は、その複雑性、放射能災害の可能性、他の現存物質による災害の可能性に基づいて等級分けされるべきである。火山ハザード評価はこの等級分けに応じて実施されるべきである。 7.3 等級分け手法を採用するための施設の種類に先立ち、火山事象により引き起こされる事故によって、施設の放射性物質のインベントリが完全に放出されるという仮定に基づく保守的なスクリーニングプロセスが行われるべきである。このシミュレーション放出の結果が、従事者、公衆、又は、環境にとつて許容できない（すなわち、従事者あるいは公衆の被ばく量が、放射性物質のインベントリが放出されても規制当局の定められた被ばく限度を上回らない）ものではなく、かつ規制当局によって課された他の特定の要求がない場合、当該施設は、以降の火山ハザード評価から除外されるであろう。

assumed that the entire radioactive inventory of the installation is released by an accident initiated by a volcanic event. Provided that the potential result of such a radioactive release were that no unacceptable consequences would be likely for workers or for the public (i.e. provided that doses to workers or to the public due to the release of that radioactive inventory would be below the authorized dose limits established by the regulatory body), or for the environment, and provided that no other specific requirements are imposed by the regulatory body for such an installation, the installation may be screened out from further volcanic hazard assessment.

7.4. If the results of the conservative screening process show that the potential consequences of such releases would be 'significant', a volcanic hazard assessment and a safety evaluation of the nuclear installation should be carried out, in accordance with the steps indicated in paras 7.5-7.14.

7.5. The likelihood that a volcanic event will give rise to radiological consequences will depend on the characteristics of the nuclear installation (e.g. its purpose, layout, design, construction and operation) and on the nature of the volcanic event itself. Such characteristics should include the following factors:

- (a) The amount, type and status of the radioactive inventory at the site (e.g. whether solid or fluid, processed or only stored);
- (b) The intrinsic hazard associated with the physical processes (e.g. criticality) and the chemical processes that take place at the installation, if applicable;
- (c) The thermal power of the nuclear installation, if applicable;
- (d) The configuration of the installation for activities of different kinds;
- (e) The concentration of radioactive sources in the installation (e.g. for research reactors, most of the radioactive inventory will be in the reactor core and fuel storage pool, while in fuel processing and storage facilities it may be distributed throughout the installation);
- (f) The changing nature of the configuration and layout of installations designed for experimental work (such activities have an associated intrinsic unpredictability);
- (g) The need for active safety systems and/or operator actions for the prevention of accidents and for mitigation of the consequences of accidents;
- (h) The characteristics of engineered safety features for the prevention of accidents and for mitigation of the consequences of accidents (e.g. the containment and containment systems);

7.4 この保守的なスクリーニングプロセスの結果、潜在的なインベントリ放出結果が「有意」となった場合、原子力施設の火山ハザード評価と安全評価は、パラグラフ 7.5～7.14 に示すステップに従って実行されなければならない。

7.5 火山事象で放射線のレベルが上昇する可能性は、原子炉施設の特徴（すなわち施設の目的、レイアウト、設計、構造、運転状態）及び火山事象自体の特徴によって決まる。そのような特徴は以下の要素を含むべきである。

- (a) サイトの放射性インベントリの量、タイプ、状態（たとえば、固体が液体か、設備で加工中か単に保管しているだけか、等）
- (b) 適用可能であれば、設備で発生する物理的プロセスに伴う固有のハザード（例：臨界）と科学的プロセスに伴う固有のハザード
- (c) 適用可能であれば、原子力施設の熱出力
- (d) 異なる種類の活動に対する施設の構成
- (e) 施設における放射性物質の集中の度合い（例えば、研究炉では、殆どの放射性物質インベントリは原子炉と使用済燃料プールに存在する。一方、加工や保管プラントでは放射性物質インベントリは施設内に分散している。）
- (f) 実験用に設計された施設での設定、レイアウトの性質の変化（このような活動は本質的に予測不可能性を伴う）
- (g) 事故の予防と事故の影響緩和のための能動的な安全システム及び／又は運転操作の必要性
- (h) 事故の予防と事故の影響緩和のための設計上の安全性の特徴（例：封じ込めと封じ込めシステム）

英 文	和 訳
(i) The characteristics of the processes or the engineering features that might show a cliff edge effect⁷ in the event of an accident; (j) The characteristics of the site relevant to the consequences of the dispersion of radioactive material to the atmosphere and to the hydrosphere (e.g. size, demographics of the region); (k) The potential for on-site and off-site contamination resulting from the volcanic event. 7.6. Volcanic hazards at the site should be evaluated in accordance with the procedures described in this Safety Guide. 7.7. Although most nuclear installations are located at surface sites, some nuclear installations may be located below the surface. Most hazards from surface volcanic processes, such as lava flows, have limited potential to affect the safety of a subsurface installation. Surface flow phenomena from volcanoes may impact ventilation and water circulation systems associated with such subsurface facilities. Direct intrusion of magma or other igneous processes that accompany the opening of new vents, including emission of volcanic gases, ground deformation, generation of volcanic earthquakes and circulation of geothermal fluids, are of principal concern for the volcanic hazard assessment of subsurface installations. Analyses of volcanic hazards for subsurface installations may need to consider the transport and release of radioactive material to the biosphere by volcanic processes, such as tephra fallout and lava flows, if there is potential for eruptive conduits to develop through the installation. 7.8. Depending on the criteria used by the regulatory body, some or all of the factors mentioned should be considered. For example, fuel damage, radioactive release or dose may be the conditions or metrics of interest. 7.9. The grading process should be based on the following information: (a) The existing safety analysis report for the installation, which should be the primary source of information, if available;	(i) 事故発生時にクリフエッジ効果⁷をもたらすようなプロセスあるいは設計上の特徴 (j) 放射性物質の大気圏・水圏への散乱に関連するサイトの特徴 (例：サイズ、地区の人口統計等) (k) 火山事象に伴うオンサイト、オフサイトの放射能汚染のポテンシャル 7.6 サイトにおける火山ハザードは本安全指針に記載した手順に従って評価されなければならない。 7.7 ほとんどの原子力施設は地表に設置されるが、一部の施設は地下に設置される。溶岩流のような、ほとんどの表層の火山プロセスは、地中の施設の安全性には限定的な影響しか及ぼさない。火山からの表層流現象は、地中の施設の換気と水循環系に影響を及ぼすであろう。マグマの直接侵入、あるいは新しい火口の形成と同時に起こる他の火成プロセス（火山ガスの噴出、地殻変動、火山性地震、地熱流の循環などを含む）は、地下施設の火山ハザード評価では重要な事項である。もし噴火の火道が施設内を通る場合は、地下施設の火山ハザードの解析は、降下火砕物や溶岩流のような火山プロセスによる、生物圏内での放射性物質の輸送や放出を考慮する必要があるかもしれない。 7.8 規制当局で使用される判定基準に則り、言及される一部又は全部の要因について考慮が必要である。例えば、燃料破損、放射性物質の放出または放射線照射は、対象の条件あるいは測定基準である。 7.9 等級分けプロセスは、以下の情報に基づくべきである。 (a) 利用可能であれば、施設の既存の安全解析レポートは第一の情報源である。
7 A cliff edge effect in a nuclear installation is an instance of severely abnormal system behaviour caused by an abrupt transition from one system status to another following a small deviation in a system parameter, and thus a sudden large variation in system conditions in response to a small variation in an input.	注 7 原子力施設におけるクリフエッジ効果とは、あるシステムのパラメータの小さな変化に引き続く、あるシステム状態から他の状態への急激な変化が引き起こす稀なシステムの異常な挙動、すなわち、一つの人の小さな変化の結果、急激にシステム状態が大きく変動することである。

英 文	和 訳
(b) The results of a comprehensive volcanic hazard assessment (stages 1-4), if one has been performed; (c) The characteristics of the installation specified in para. 7.5.	(b) もし包括的な火山ハザード評価が実施されているのであれば（ステージ1-4）、その検討結果 (c) パラグラフ 7.5 で記載した施設の特徴
7.10. The grading of the installation leads to its categorization. This grading may have been performed at the design stage or later. If this grading has been performed, the assumptions on which it was based and the resulting categorization should be reviewed and verified. In general, the criteria for categorization should be based on the radiological consequences of the release of the radioactive material contained in the installation, ranging from very low radiological consequences to potentially severe radiological consequences. As an alternative, the categorization may range from radiological consequences within the installation itself, to radiological consequences confined to the site boundary of the installation, to radiological consequences to the public and the environment outside the site.	7.10 施設の等級分けは、分類分けに繋がる。この等級分けは、設計ステージ以降にとり行われる。等級分けが実行されれば、基礎となる仮定と結果となる分類分けも検証され、実証されなければならない。一般には、分類分けの判定基準は施設に貯蔵されている放射性物質の放出による放射線影響（非常に低い放射線影響から、潜在的に過酷な影響までの範囲にわたる）を基本に定められる。代替手段としては、分類分けは、施設そのものの内部の放射線影響、施設の境界上の許容放射線影響、施設外の公衆と環境に対する放射線影響によるものがある。
7.11. As a result of this process for grading of the installation, three or more categories of installation may be defined on the basis of national practice and criteria, as indicated in para. 7.10. As an example, the following categories may be defined:	7.11 この施設の等級分けの結果として、パラグラフ 7.10 に示す国家的な慣習と基準をもとに、3 つ以上の施設の分類が定義されよう。例として、以下の分類が定義されよう。
(a) The lowest hazard category includes those nuclear installations for which national building codes for conventional facilities (e.g. essential facilities, such as hospitals) or for hazardous facilities (e.g. petrochemical or chemical plants), as a minimum, should be applied. (b) The highest hazard category contains installations for which standards and codes for nuclear power plants should be applied. (c) There is often at least one intermediate category of hazardous installation, for which, as a minimum, codes dedicated to hazardous facilities should be used.	(a) 最も低いハザード分類の原子力施設には、最低でも、従来型の施設のための国の建築基準（例：重要施設、病院のような）または災害をもたらすような施設のための国の建築基準（例、石油化学、化学工場）が適用されるべきである。 (b) 最も災害をもたらす分類には、原子力発電所の基準や規則が適用される施設が含まれる。 (c) しばしば、最低 1 つの災害をもたらす施設の中間分類が設けられ、最低でも、災害をもたらす施設向けの規則が適用される。
7.12. The volcanic hazard assessment should be performed using the following guidance:	7.12 火山ハザードの評価は、以下の指針を用いて実施すべきである。
(a) For the least hazardous installations, the volcanic hazards may be estimated from national volcanic hazard maps or similar volcano-specific hazard assessments. (b) For installations in the highest hazard category, methodologies for volcanic hazard assessment, as described in earlier sections of this Safety Guide, should be used (i.e. recommendations applicable to nuclear power plants).	(a) 最も低い災害レベルの施設では、国の火山ハザードマップや同等の火山災害評価手法を用いてハザード評価を実施する。 (b) 最も高い災害レベルの施設では、本安全指針の前の章で記載したハザード評価手法を用いる。（従って推奨事項は原子力発電所向けのものと同じとなる。）

英 文	和 訳
(c) For installations categorized in the intermediate hazard category, the volcanic hazard assessment is typically performed using methods similar to those described in this Safety Guide, but higher probabilities of volcanic events or higher thresholds of activity in deterministic analyses may be acceptable for site selection and evaluation and design of such installations. For such installations in the intermediate hazards category, simplified methods may be appropriate in cases where the database and the methods recommended in this Safety Guide are found to be excessively complex, time consuming and demanding in terms of effort for the nuclear installation in question. Such analyses may be based on national or similar regional databases of volcanic eruptions (see Annex II), and simplifying assumptions may be used to assess the potential for specific volcanic phenomena to affect the site. 7.13. Unless otherwise required by national regulations, the evaluation of volcanic hazards for nuclear installations in the lowest hazard category should be based on existing volcanic hazard maps applicable for the site, including appropriate factors for the rates and nature of volcanism and the topography of the site region. In cases where no such volcanic hazard maps exist, then such hazard maps should be prepared and applied to the site, in accordance with national standards for volcanic hazard assessments. 7.14. Application of the recommendations relating to the monitoring of capable volcanoes in the geographical region of interest (see paras 3.9 and 4.36) should be commensurate with the category of the installation as defined in para. 7.11.	(c) 中間クラスの災害レベルの施設では、火山ハザード評価は通常本安全指針に記載された方法論を用いて実施されるが、そのような施設にとってはより高い火山事象の確率、又は決定論的解析における活動のより高い閾値が、地点選定と評価、設計において許容されるかもしれない。そのような中間ハザード分類の施設にとつて、本安全指針で推奨するデータベースと手法が、当該原子力施設にとって過度に複雑で、時間と労力を費やすものと認識される場合、単純化した手法が適切であろう。そのような解析は、火山噴火に対する国あるいは同様の地域的データベース（補足2）をもとに、単純化した仮説が、サイトに影響を与える特定の火山現象の発生可能性を評価するために使用されてもよい。 7.13 国の基準により求められない限り、最も低い災害レベルの原子力施設の火山ハザード評価は、火山活動の様相と頻度に関する適切な要因と、サイト周辺の地形を含め、サイトに当てはめられた現存する火山ハザードマップをベースに実施されるべきである。そのような火山ハザードマップがない場合、国の火山ハザード評価の基準をもとにハザードマップを用意すべきである。 7.14 対象の地理学的地域での考慮すべき火山（パラグラフ 3.9 と 4.36 参照）のモニタリングに関する推奨事項の適用は、パラグラフ 7.11 に定義された施設の分類に従い対応していなければならない。
8. MONITORING AND PREPARATION FOR RESPONSE 8.1. As stated in para. 5.1 of Ref. [1], the characteristics of the natural and human induced hazards, as well as the demographic, meteorological and hydrological conditions of relevance to the nuclear installation, are required to be monitored over the lifetime of the nuclear installation. As capable volcanoes represent natural induced hazards, if a nuclear installation is constructed that has an associated capable volcano which may generate phenomena hazardous to the installation, as considered for design or site protective measures, that volcano should be monitored over the lifetime of the nuclear installation. Thus, if a volcano monitoring programme is not in place at the site suitability stage, such a	8. モニタリングと対応の準備 8.1 参考文献[1]のパラグラフ 5.1 で述べたように、自然ハザードと人的ハザードの特徴は、人口統計学、気象学、水文学的な状態と同様、原子力施設の運用期間全体にわたってモニタリングされなければならない。考慮すべき火山は自然災害を引き起こすため、もし原子力施設に災害的な現象を引き起こす火山が関係しており、設計あるいは防護上の配慮が必要な場合は、その火山は施設の運用期間中にモニタリングされなければならない。よって、火山モニタリングプログラムがサイト評価期間に存在しない場合は、そのようなプログラムは施設の建設開始に先だって用意されなければならない。運転段階を通じて整備され、最新に保たなければならない。

programme should be developed prior to the start of construction of the installation and should be maintained and kept up to date throughout the operational stage.

8.2. Since volcanic hazards can originate from well beyond the boundaries of the installation, monitoring should be conducted in collaboration with appropriate national and international institutions responsible for the observation and monitoring of volcanoes. It may be the case that capable volcanoes are not currently monitored or that their monitoring is given comparatively low priority by national and international volcano observatories tasked with the volcano monitoring activities and the mitigation of volcanic hazards on a national scale. Therefore, all interested parties (e.g. operating organizations, regulatory bodies and other government organizations) should work with such volcano observatories to achieve an appropriate level of monitoring, commensurate with the nature of the capable volcano and with the hazards posed to the nuclear installation. In the absence of an established volcano observatory, it may be necessary to establish such an observatory as part of the required monitoring programme.

8.3. Some of the data collection activities performed during the site characterization stage (Section 4) may involve assessment of the current state of activity of volcanoes that might be capable. As the personnel who performed these assessments may be from volcano observatories and the instrumentation necessary to monitor capable volcanoes may be in place at this stage, a monitoring programme should be developed that uses these personnel and this infrastructure to the greatest extent practicable. Involvement of personnel from volcano observatories early in the site characterization will facilitate development of an appropriate monitoring programme for capable volcanoes.

8.4. The emergency plan for the nuclear installation should take into account how results or alerts from the volcano monitoring programme will be used in emergency response. A detailed procedure should be prepared for the response to changes in the potential for volcanic hazards that are detected by the monitoring system. Most volcanic systems show a systematic increase in indicators of unrest prior to eruption, which allows for the development and use of graded levels of alert. Most volcano observatories around the world establish levels of alert on the basis of information from the monitoring system. The levels of response in the emergency plan should be based on the levels of alert identified by the volcano observatory. Development of the emergency plan should be coordinated with appropriate representatives of volcano observatories to ensure proper response to information on alerts that is provided in periods of volcanic activity.

8.2 火山ハザードは施設の境界を大きく越えて発生するものであるため、モニタリングは適切な国内・国際機関（火山の調査とモニタリングを目的とする機関）の協力のもとに実施されるべきである。考慮すべき火山が、国レベルでの火山モニタリングあるいは火山ハザード低減を目的とした国内・国際観測所によって、現在モニタリングされていない、あるいは比較的低い優先順位しか与えられていないということもあり得る。それゆえ、全ての関係機関（例：執行組織、規制当局、他の政府組織）は、これらの観測所が、考慮すべき火山の特性や、発電所へ及ぼす影響に見合ったレベルの観測を行うよう働きかける必要がある。既設の火山観測所がない場合は、必要なモニタリングプログラムの一環としてそのような観測所を設ける必要があるだろう。

8.3 サイトの特徴付けステージ（4章）における、いくつかのデータ収集活動は、考慮すべきかもしれない火山の現在の活動状況評価を含むであろう。火山観測所からのこれらの評価を行った人員、及び考慮すべき火山をモニタリングするために必要な観測機器が現段階で適切であるならば、モニタリングプログラムは実用上最大限の範囲で、それらの人員と機器を用いて開発されるべきである。サイトの特徴付け初期からの火山観測所の関与は、考慮すべき火山の適切な観測プログラムの開発を容易にするであろう。

8.4 原子力施設の非常時の計画は、火山モニタリングプログラムからの情報あるいは警報が、緊急対応上どのように使用されるか考慮しなければならない。モニタリングシステムにより検知された火山ハザードの危険性の変化に応じて、詳細な手順が準備されていなければならない。大部分の火山系では、噴火前に前兆となる指標の系統的増加を示すため、警報の段階的なレベルの作成と使用が可能である。世界のほとんどの火山観測所は観測システムからの情報に基づき警報をレベル分けしている。緊急対応のレベルは、火山観測所で検知された警報レベルに基づき定めらるべきである。緊急時計画の開発は、火山活動中の警報に対する適切な対応を明確にするために、火山観測所の適切な代表と調整して実施すべきである。

9. MANAGEMENT SYSTEM FOR VOLCANIC HAZARD ASSESSMENT

9.1. An adequate management system that includes a quality assurance programme [9, 10] should be established and implemented to cover all activities relating to data collection, data processing and interpretation, field and laboratory investigations, numerical modelling and technical evaluations that are within the scope of this Safety Guide. At each step in the hazard assessment, documentation should be provided to support the outcomes of the assessment.

9.2. In view of the complexity of the volcanic hazard assessment, an independent peer review should be conducted by a peer review panel. The peer reviewer(s) should not have been involved in other aspects of the volcanic hazard assessment and should not have a vested interest in the outcome. The level and type of peer review can vary depending on the nature of the volcanic hazard. The peer review should address all parts of the volcanic hazard assessment, including the process for the volcanic hazard assessment, all technical elements (e.g. determination of volcano capability, geological and geophysical investigations, assessment of past rates of volcanic activity), methods used for the volcanic hazard assessment (e.g. numerical models), and quantification and documentation. The peer review panel should have the multidisciplinary expertise necessary to address all technical and process related aspects of the study.

9.3. The purpose of the peer review is to provide assurance that a proper process has been duly followed in conducting the volcanic hazard assessment, that the analysis has addressed and evaluated epistemic uncertainties and that the documentation is complete and traceable.

9.4. Two methods for peer review can be used: (i) participatory peer review and (ii) late stage and follow-up peer review. A participatory peer review is carried out during the course of the study, allowing the reviewer(s) to resolve comments as the volcanic hazard assessment proceeds and as technical issues arise. A late stage and follow-up peer review is carried out towards the end of the study. Conducting a participatory peer review will reduce the likelihood of rejection of the study at a later stage.

9. 火山ハザード評価のマネジメントシステム

9.1 品質保証プログラム[9, 10]を含む適切な管理システムを確立し、本安全指針の適用範囲である、データ収集、処理、解釈、現地・室内調査、数値モデル作成、及び技術的評価に関する全活動に適用するべきである。各ハザード評価のステップでは、評価の結果を支援するため文書化を行うべきである。

9.2 火山のハザード評価の複雑さからみれば、独立した専門家による評価は、専門家による評価委員会によって行われなければならない。専門評価委員は火山ハザード評価の他の面に関わってはならない。また、結果に関して利害関係があってはならない。専門家による評価のレベルと種類は、火山ハザードの性質に従って変化する。専門家による評価は、火山のハザード評価のためのプロセスを含む火山のハザード評価の全ての部分、すべての技術的な要素（例えば火山の能力の判定、地質学のおよび地球物理学的調査、火山の活動の過去の割合の評価）、火山のハザード評価のために利用される手法（例えば数値モデル）および定量化と文書化、によって対処されなければならない。専門家による評価委員会には、技術的なそして研究の状況に関連したプロセスのすべてに対処するため、多くの領域にわたる専門知識が必要である。

9.3 専門家による評価の目的は、火山のハザード評価を行う際に、適切なプロセスが、十分に成し遂げられる保証を提供することである。また、分析が知識的な不確実性に対して実施され評価される、そして文書化が完了したあと、跡をたどることができる。

9.4 専門家による評価のため2つの手法が利用できる。

(i) 参加型の専門家による評価

(ii) 後の段階とそれに続く専門家の評価

参加型の専門家による評価は調査中に実施され、火山のハザード評価の進行により、技術的問題が生じた場合、専門家がコメントを出すことができる。後期の段階とそれに続く専門家による評価は、調査の終了に向かつて実施される。参加型の専門家による評価を行うことは、後の段階で調査が拒否される可能性を軽減する。

余 白

余 白

Appendix

DESCRIPTION OF TYPES OF VOLCANIC PHENOMENA

I.1. A brief description of the physical characteristics of each volcanic phenomenon and an indication of the order of magnitude of representative parameters associated with each phenomenon are presented. However, a comprehensive volcanic hazard assessment should quantify specific parameter values for a given site. Additional information about the volcanological terms used in the following paragraphs is provided in the list of definitions.

Tephra fallout

I.2. The fall and deposition of pyroclastic material such as ash, pumice and scoria occur after these particles are lifted by an explosive eruption to altitudes of several kilometres to tens of kilometres (generally <40 km above sea level). This material is transported in the atmosphere by wind. Volcanic eruptions produce widely varying volumes of tephra, but the total mass released in an explosive volcanic eruption commonly exceeds 10^{11} kg (approximately 10^8 m³ of tephra). On falling, pyroclasts normally reach a constant velocity (so-called terminal velocity), which is determined by the size, shape and density of the falling particles, air density and air viscosity. Their distribution is governed by the velocity and direction of the wind and by the nature of the eruption column. The thickness and mass per unit area of tephra deposited generally decrease with distance from the volcano, each in a roughly exponential manner. Thus, tephra fallout may occur more than 100 km from the vent and the mass per unit area may vary from less than 10 kg/m² far from the vent to more than 1000 kg/m² close to the vent. When wet, these loads may be more than double. Tephra particles can range in size from microns to decimetres and average particle size decreases with distance from the volcano. Substantial tephra fallout is generated by plinian volcanic eruptions. Vulcanian and strombolian type volcanic eruptions also generate tephra fallout. Tephra fallout is common for all types of volcanic eruption, but the most voluminous fallout is normally associated with caldera-forming eruptions and composite volcanoes.

Pyroclastic flows, surges and blasts

I.3. Pyroclastic flows are high temperature mixtures of rock fragments, volcanic gases and air that flow down slopes at high speeds. These flows form from the gravitational collapse of eruption columns, 'boil over' of vent rims by dense

付録

火山現象のタイプの解説

I.1 各火山現象の物理的特性の簡単な解説と、各現象に関連付けられた代表的なパラメータの規模の概略を示す。但し、目的のサイトの特定のパラメータの定量化は、包括的火山ハザードモデルによって実施すべきである。以下に使用されている火山学用語に関する付加的な情報は、用語集で示す。

降下火砕物

I.2 灰や軽石、スコリア等の火砕物の降下、堆積で、これらの物質の粒が爆発的な噴火により上空数 km 程度 10 km (通常は海面から 40km 未満) に運ばれた後に発生する。この物質は風により大気中を運ばれる。火山の噴火はさまざまな量のテフラを作り出すが、1 回の爆発的な火山噴火で噴出するテフラの総質量は、通常 10^{11} kg (約 10^8 m³) 以上である。降下の際、火砕物は一般に、そのサイズ、形状、降下物の密度、大気の密度・粘性で決まる一定の速度 (終端速度と呼ばれる) に達する。テフラの分布は、風速、風向と、噴煙柱の特性で決まる。単位面積当たりのテフラの厚さと質量は、一般に火山から遠いほど、ほぼ指数的に減少する。降下火砕物は、火口から 100km 以上離れても発生する可能性があり、単位面積当たりの質量は、火口から遠い場所の 10kg/m^2 以下から、火口付近の 1000kg/m^2 以上にわたる。総分がある場合は上記の荷重は倍以上になる。テフラの粒径はミクロンから 10cm 単位まで分布し、火口から遠いほどサイズは小さくなっていく。大部分の降下火砕物がブリーニイ式噴火によって生成され、ブルカノ式噴火とストロンボリ式噴火もまた降下火砕物を作り出す。降下火砕物は全ての種類の噴火に共通であるが、最も量の多い降下火砕物は、通常、カルデラ噴火と成層火山に伴い発生する。

火砕流、火砕サージ、プラスト

I.3 火砕流は岩石の砕片、火山ガス及び空気からなる高温の混合物であり、斜面を高速で流下する。これらの流れは、噴煙柱の重力崩壊、火口のふちからの高濃度噴煙柱の吹きこぼれ、溶岩ドームや粘性のある溶岩流の先端のなだれによって生成され、流れの速度は $10\sim 100\text{m/s}$ に達する。温度はもとのマグマの温度 (多くの場

eruption columns or avalanching of dome and viscous lava flow fronts. Flow velocities reach 10–100 m/s. The temperature can be close to that of the original magma (around 1000°C in many cases) ranging down to ambient temperatures, depending on the degree of mixing with air. Rapid downslope movement of the pyroclastic flow is driven largely by gravitational forces. The high mobility of the flow indicates that internal friction is very low. Pyroclastic flows may have sufficient momentum to deviate from drainage lines and surmount topographic obstacles and can rapidly reach tens of kilometres from the volcano, depending on eruption volume and flow thickness. Dynamic pressure generated in pyroclastic flows may exceed 100 kPa and the thickness of individual flow deposits may range from a few millimetres to tens of metres. These flows carry projectiles that may inflict significant damage on some structures.

I.4. Pyroclastic surges and blasts are dilute gas–solid suspensions that flow over the ground surface at high velocities and are less influenced by topography than pyroclastic flows. Estimated densities of pyroclastic surges range from 1 kg/m³ to 6 kg/m³. There are three types of pyroclastic surge: (i) base surge, (ii) ash cloud surge and (iii) ground surge. A base surge is usually formed when the volcano initially starts to erupt from the base of the eruption column as it collapses. It usually does not travel further than 10 kilometres from its source. A ground surge usually forms at the base of a pyroclastic flow. An ash cloud surge forms when the eruption column is neither buoying material upward by convection nor collapsing. Such deposits can be formed before, after and during the formation of pyroclastic flows. Base surges typically contain water and/or steam and have temperatures at or below the boiling point of water.⁸ Base surges can extend up to 10 km from the vent. Ground surges are generated by many of the same processes that form pyroclastic flows and often precede pyroclastic flows. Ground surges have many of the characteristics of pyroclastic flows but are more dilute and of lower volume and, in general, leave thinner deposits. Base surges originate from hydromagmatic explosions in which interaction occurs between shallow groundwater or surface water and magma. A volcanic blast is a laterally directed pressure wave associated with ash-laden clouds. Surges and blasts pose a variety of hazards, including burial and impact by rock fragments. Hot pyroclastic surges present several additional hazards, including incineration, toxic poisoning and asphyxiation. Pyroclastic flows, surges and blasts are capable of travelling over bodies of water for tens of kilometres. In some cases, the entry of dense pyroclastic flows into water may generate tsunamis.

8 <http://www.geo.mtu.edu/volcanoes/hazards/primer/images/volc-images/basesurge.jpg>

合 1000℃付近) 近くから、空気と混じるに従って周囲環境の温度にまで低下していく。火砕流の急速な斜面を下る動きは、主に重力の力によっている。火砕流の高い流動性は、内部の摩擦が非常に小さいことを示している。火砕流は、噴火の規模や流れの厚さによっては、排水経路からそれ、地形的障害を乗り越えるには十分な運動量を持ち、火山から何十 km も離れた場所に短時間で到達しうる。火砕流がもたらす動的压力は 100kPa を超え、個々の流れの堆積物の厚さは、数十 m から数 mm の範囲となる。これらの流れは、いくつかの設備に深刻なダメージをおよぼす得る射出物を運ぶことができる。

I.4 火砕サージとブラストは、希釈された気体と固体の懸濁液であり、地表を高速で流れ、火砕流よりも地形の影響を受けない。火砕サージの概略密度は、1～6kg/m³ の範囲である。火砕サージには 3 種類がある。

- (i) ベースサージ
- (ii) 灰雲サージ
- (iii) グラウンドサージ

ベースサージは通常火山が噴火を開始する際、噴煙柱の基部から噴煙柱が崩壊するに従って発生する。ベースサージは通常発生源から 10km 以上広がることはない。グラウンドサージは通常火砕流の基部から発生する。灰雲サージは噴煙柱が対流により上方に物質を持ち上げてもせず、崩壊もしない場合に発生する。これらの堆積物は、火砕流の形成前、形成後と形成途中に生成される。ベースサージは一般的に水及び/又は蒸気からなり、温度は水の沸点か、沸点より下の温度である⁸。ベースサージは火口から 10km の地点まで到達しうる。グラウンドサージは火砕流と同じ特徴を多く持っているが、一般に、より希薄で、体積が小さく、堆積物もより薄い。ベースサージは火砕流と伴う横方向の圧力波である。サージとブラストは、岩石の破片による埋没や衝突を含むさまざまなハザードをもたらす。高温の火砕サージは燃焼、有毒性、窒息性などの付加的ハザードをもたらす。火砕流、火砕サージ、火山性ブラストは水の上を数十 km 移動することができる。また、濃縮された火砕流が水に入ることによって津波が発生するケースもある。

注 8 <http://www.geo.mtu.edu/volcanoes/hazards/primer/images/volc-images/basesurge.jpg> を参照

I.5. Pyroclastic flows, surges and blasts are most commonly associated with explosive volcanic activity, such as vulcanian and plinian eruptions at calderas and composite volcanoes. Nevertheless, all types of volcano, including monogenetic tuff rings and scoria cones, may be the locus of such activity.

Lava flows and domes

I.6. Flows of lava are driven by gravity and follow the drainage lines of the topography. Lavas are viscous, dense (approximately 2000 kg/m³) fluids, usually with a semi-solid crust on the surface, and flow at speeds of less than 1 m/s to around 20 m/s in extreme cases. The morphology and velocity of lava flows depend on the viscosity, eruption rate, temperature, composition, vent geometry and topography. Thick lava flows can inundate and change topography. Lava flows can travel tens of kilometres from the vent, and in unusual cases up to several hundred kilometres, and range in thickness from less than one metre to more than 100 m. The temperature of lava can range from 1200°C to around 800°C or less. Lava may erupt from the main volcanic conduit, or from multiple vents located on the flanks of volcanoes, up to tens of kilometres from the location of the main vent. Lava flows typically inundate areas of 0.1–1000 km². Effusive activity from a single vent can sometimes continue unabated for several years.

I.7. Depending on its nature, a lava flow can create its own topography by vertical expansion, enabling the lava flow to invade new areas initially not connected to the lava source. Flowage of low viscosity lava over dense vegetation will likely ignite vegetation and trigger explosions from trapped CO₂ and CH₄ gases. Explosive activity and degassing is possible upon entry of lava flows into water bodies or the sea. Eruption of lava under snow or ice can generate massive floods, such as happens in Iceland (jökulhlaups).

I.8. The extrusion of viscous lavas can last from a few days to years or decades, leading to formation of lava domes associated with degassing (SO₂, CO₂, H₂O, HCl, HF), which can have significant environmental impact. Eruption of viscous lava typically produces voluminous pyroclastic material from the gravitational collapse and explosive disintegration of the lava dome or lava flow. This material is emplaced at the base and on the volcano where it can be remobilized (i.e. lahars) many years to decades after cessation of the eruption. Repeated, frequent magma intrusions, such as those that feed long lived lava flows, also promote the development of hydrothermal systems that can be active for years to decades, or even centuries. The dynamics of the hydrothermal system will govern, in part, the

I.5 火砕流、火砕サージ、火山性プラストは、カルデラや成層火山におけるブルカノ式噴火とプリニー式噴火のような、爆発的な火山活動に伴って発生することが最も多い。しかし、単成火山のタフリングとスコリア丘を含む、その他全ての種類の火山もそのような活動の場となる可能性がある。

溶岩流と溶岩ドーム

I.6 溶岩流は重力によって流れ、地形的な排水経路に沿う。溶岩は粘性があり、高濃度 (約 2000kg/m³) の流れで、通常表面に半固形の外皮を有しており、流れの速度は 1m/s 未満から、極端な場合で 20m/s 程度である。溶岩流の形態と速度は、粘性、噴出率、温度、組成、火口の幾何形状、地形に依存する。厚い溶岩流が押し寄せることで地形が変化することもある。溶岩流は火口から数十 km 移動することがあり、稀なケースでは数百 km にも及ぶ。厚さの範囲は 1 m 未満から 100m 以上である。溶岩の温度は、1200℃から 800℃付近がそれ以下の範囲である。溶岩は、メインの火道から噴出するか、またはメインの火口から数十 km 離れることもある火山側面の複数の火口から噴出する。一般に溶岩流は 0.1～1000km² のエリアを覆い隠し、単独の火口からの噴出的な活動は、数年間衰えないこともある。

I.7 その性質により、溶岩流は鉛直方向に成長することで独自の地形を作り、当初溶岩発生源と接続していなかったエリアに溶岩流が流れ込むことがある。密集した植生上への低粘性の溶岩の侵入は、植生を着火させ、蓄積された CO₂ と CH₄ ガスによる爆発を引き起こす。溶岩流が海や水域に入ると爆発的な反応とガス放出が発生しうる。雪や氷の下で溶岩が噴出すると、アイスランドで発生したような大規模な洪水が発生する (ヨークルフロイプ)。

I.8 粘性の高い溶岩の押し出しは、数日から数年、数十年続くこともあり、ガス (SO₂, CO₂, H₂O, HCl, HF) の放出を伴う溶岩ドームを形成する。放出されるガスは環境に大きな影響を及ぼす。粘性の高い溶岩の噴出は、一般に溶岩ドーム、溶岩流の重力崩壊と爆発的崩壊により、おびただしい火砕物を作り出す。この物質は、火山の麓と火山上に、噴火が中断した後も数年から数十年間移動可能 (すなわち火山泥流となる) な状態で残ることになる。寿命の長い溶岩流を作り出すようなマグマの高頻度の反復侵入は、数年、数十年、もしくは数百年も続く熱水系の発達を促進する。熱水系の動力学は、マグマ上昇、噴火様式の一部のプロセスを支配し、山体の異常箇所斜面不安定性に影響を与えるであろう。

processes of magma ascent and the eruptive style and will contribute, in turn, to slope instability of altered parts of the edifice.

Debris avalanches, landslides and slope failures

I.9. Steep sided volcanic edifices, such as volcanic domes and composite volcanoes, may become unstable as a result of rock alteration, volcanic eruption, ground deformation and erosion. Partial or complete failure of the slopes can produce debris avalanches, which are high speed flows of rock fragments, ranging in size from a few centimetres to tens of metres in diameter, and entrapped air. Individual blocks of very large diameter can cause significant damage because of their momentum. The mode of movement of debris avalanches is therefore similar to that of pyroclastic flows in that both phenomena are high velocity fluidized flows accelerated downslope by gravity (up to 50–70 m/s). Volumes of debris avalanches from composite volcanoes may exceed 10 km³ and deposits of these avalanches can extend more than 100 km from the volcano. Sometimes volcanic avalanches are hot (up to 100°C). Although not as large as debris avalanches, detachment and collapse of unstable slopes of the volcanic edifice may lead to landslides and other types of sudden slope failure, triggered by igneous intrusion, earthquake or heavy rainfall. Edifice collapse can trigger hydrothermal explosions or initiate volcanic eruptions, including lateral blasts. These mass movements may have sufficient volume to dam river drainages. In some cases, the entry of debris avalanches and landslides into water bodies may generate tsunamis.

I.10. As noted above, debris avalanches, landslides and slope failures are common on steep topography. Nevertheless, very large debris avalanches (100–1000 km³) have occurred on shield volcanoes in oceanic settings, resulting in tsunami generation. These phenomena also occur on long dormant volcanoes.

Debris flows, lahars and floods

I.11. Volcanic debris flows and lahars are mixtures of volcanic rock fragments ranging in diameter from 10⁻⁶ m to 10² m, mixed with varying proportions of water, as well as other rocks, soil and vegetation. Sometimes volcanic debris flows are hot (up to 100°C). They range from flows containing many large boulders cascading down steep slopes to muddy currents sweeping over wide areas at the base of the volcano following river courses. Debris flows and lahars can become torrential streams, heavily loaded with suspended sand and clay particles. These flows may occur at any stage during volcanic activity, including the earliest stages of an eruption. Debris flows can occur throughout a region for

岩屑なだれ、地滑り、斜面崩壊

I.9 火山ドームや成層火山のように急勾配な火山体は、岩石の変質、火山噴火、地殻変動、浸食により不安定となる。斜面の一部又は全部の崩壊は、岩石の破片（直径数センチから数十m）と捕捉された空気の高速の流れである。岩屑なだれを引き起こす。直径の大きな個々のブロックは、その運動量によって大きな被害を与える。岩屑なだれの運動形態は、火砕流のものと類似している。それはいずれの現象も、重力によって斜面で加速され、高い速度（最高 50～70m/s）を持つ流動化した流れであるからである。成層火山における岩屑なだれの体積は、10km³に達し、それらのなだれの堆積物は火山から 100km 以上の距離に到達することがある。岩屑なだれは高温（100°Cに達する）になることがある。また、岩屑なだれほど大きくはないが、火成貫入、地殻、豪雨などによって火山体の不安定な斜面の剥離・崩壊が発生し、地滑りやその他の突然の斜面崩壊が発生することがある。山体崩壊は熱水爆発の引き金となったり、水平プラストを含む噴火の原因となったたりする。これらの質量移動は、川の流れをせき止めるのに十分な体積を有しており、場合によっては、岩屑なだれや地滑りが水域に入り、津波を引き起こされることがある。

I.10 上述したように、岩屑なだれ、地滑り、斜面崩壊は険しい地形では一般的な現象である。しかしながら、極めて大規模な岩屑なだれ（100～1000km³クラス）が海に面した盾状火山で発生し、津波の発生に繋がったことがある。これらの現象は長い期間休眠している火山でも発生しうる。

土石流、火山泥流、洪水

I.11 火山性土石流、火山泥流は火成岩の破片（直径 10⁻⁶～10²m のもの）が水、並びに他の岩石、土、植物と様々な割合で混じったものである。火山性土石流は高温（最高 100°C）になることがある。それらは、多数の大きな転石を含み急勾配を滝となって流れ落ちる流れから、川の経路に沿いながら火山の麓の広い範囲を押し流す泥状の流れまで変化する。土石流と火山泥流は徐々に急な流れに変わり、取り込まれた砂や粘土の粒子により比重が重くなる。これらの流れは火山噴火のどの段階（噴火の初期の段階を含む）でも発生しうる。土石流は、量の多い爆発的火山噴火の後、数十年間は発生する可能性がある。流れの速度は、10～50m/hに達し、放出割合はヨークルフロイブで 10³m³/s に達する。大きな土石流と火山泥流は、150km 以上移動し、10⁷m³以上の体積を持つ。（ヨークルフロイブ、土石流、岩屑なだれが変化した火山泥流の場合は数 km³に到達する。）土石流は地形的な障害を乗り越えることもある。特に火山体の麓近くではその傾向が強い。

decades following voluminous explosive volcanic eruptions. Flow velocities may reach 10–50 m/s, with discharge rates of up to 10⁵ m³/s for jökulhlaups. Large debris flows and lahars may travel 150 km or more and have volumes of more than 10⁷ m³ (up to a few cubic kilometres for jökulhlaups and debris flows and lahars transformed from debris avalanches). Debris flows may surmount topographic barriers, especially near the base of volcano edifices.

I.12. Floods can be generated in association with volcanic activity. These may be the result of complex processes. For example, floods may be created by the catastrophic draining of crater lakes, the formation of jökulhlaups, which are floods resulting from subglacial eruptions of lavas, breakage of temporary dams formed by volcanic debris avalanches and related mass flow deposits and the entry of these flows into existing bodies of water.

I.13. Debris flows and related phenomena are common on composite volcanoes, sometimes occurring many years after volcanic eruptions have ceased. Such flows are much less common on other types of volcano, except in unusual circumstances. For example, rivers have been known to become dammed at topographic restrictions, causing flooding, following pyroclastic eruptions from monogenetic volcanoes. Flooding of nearby lowlands is also common after explosive eruptions if material from the volcano reduces the channel capacity of rivers in these areas.

Opening of new vents

I.14. A new vent forms when magma ascends through the Earth's crust along a new pathway, leading to an eruption of lava at a new location. New volcanoes can form at locations tens of kilometres away from the sites of previous eruptions. New vents may initiate along fissure zones that are up to several kilometres long, but normally eruptive activity localizes as the eruption continues, resulting in the formation of pyroclastic cones, such as cinder cones, lava domes, eruptive fissures and similar structures. Secondary vents may form when lavas or pyroclastic flows enter bodies of water. These are sometimes referred to as rootless vents. Eruptions from these new vents may last from several hours to months, or eruptions may occur sporadically over many decades with significant gaps in eruptive activity. Where associated with larger volcanic structures, such as shield volcanoes and calderas, new vents often form along rift zones or other major structures on the volcano. New vents also form in volcanic fields, consisting of tens to hundreds of individual volcanoes that are not associated with larger volcanic structures. These vents can be the source of significant pyroclastic falls and voluminous lava flows. Occurrence of a non-volcanic phenomenon such

I.12 火山活動に伴う洪水が発生することがあり、それは複雑なプロセスの結果である。例えば、火口湖の破局的な排水、ヨークルフロープ（氷河下での溶岩の噴出の結果として発生する洪水）の発生、岩屑なだれや濁運する質量流れの堆積物による一時的なダムの決壊、これらの流れの水域への侵入などが津波の原因となる。

I.13 土石流と関係現象は、成層火山では一般的であり、火山の噴火から何年も後に発生することがある。このような流れは他の種類の火山ではあまり一般的ではないが、特殊な環境では別である。例えば、川が地形的な制約でせき止められ、引き続く単成火山の火砕噴火により、洪水を引き起こし得ることが分かっている。火山からの物質が低地における河川の排水量を減らしてしまう場合、噴火のあとに付近で洪水が発生することが普通である。

新しい火口の開口

I.14 マグマが地殻の中の新しい経路に沿って上昇し、新しい場所で溶岩の噴出をもたらすと新しい火口となる。新しい火山は以前に噴火のあった場所から数十 km は離れた場所に出現することがある。新しい火口は数 km の長さの断裂地帯に現れることもあるが、通常、噴火活動は噴火が継続する地域に限定され、火砕物の円錐（噴石丘）、溶岩ドーム、噴出性の断裂、または同様の構造体を形成する。第 2 の火口は、溶岩や火砕物が水域に入るときに形成されることがある。これらは時折、根無し火口と呼ばれる。これらの新しい火口の噴火は、数時間から数ヶ月継続するか、または散発的な噴火が数十年以上にわたって、明確な活動の休止期を伴って続く。大きな火山構造体（楕状火山やカルデラ等）では、新しい火口は地帯帯やその他の主要な火山の構造体に沿って形成される。新しい火口は、火山地域（10～100 の間々の、より大きな火山構造に関連のない個々の火山からなる地域）でも形成される。これらの火口は、激しい降下火砕物や、大量の溶岩流の発生源となる。泥の火山と呼ばれるような非火山性活動は、新しい火口の開口と類似の現象と見なされる。泥の火山は岩石の破片と水とガス（しばしばメタン）の懸濁液が噴出して形成される。それらは半径 100m 以上、高さ 20m 以上にすることがある。泥の火山は火山地帯にもできるが、粘土質や砂質の地盤が地下に存在する非火山地帯のほうにより一般的である。泥の火山は、地下の流体の加圧と、通常付随する僅かな温度上昇によって形成され、岩層の破砕と流動化を引き起こす。多量のメタンを含むガスは、空気に触れると引火するとおそれがある。泥の火山の噴火は、何年も継続し、長距離・大量の泥の流れをもたらす。泥の火山に伴う、地面の流動化と泥流

as a so-called mud volcano may also be considered similar to the opening of a new vent. Mud volcanoes form by eruption of a suspension of rock particles with water and gas (often methane). They may be more than 100 m in radius and 20 m in height. Although they may occur in volcanic areas, they are more usually found in non-volcanic areas that are underlain by clayey to sandy bedrock. Mud volcanoes form because of underground fluid overpressure, usually associated with slightly elevated temperatures, that may cause fracturing and fluidization of the rock formation. The gases, which may contain significant quantities of methane, may be flammable on contact with the air. Eruptions of mud volcanoes have persisted for years and have resulted in long and voluminous flows of mud. Soil fluidization and mudflows associated with mud volcanoes may constitute a potential hazard relevant to surface stability (see Ref. [6]). Mud volcano phenomena are not addressed specifically in this Safety Guide and the criteria set out in this Safety Guide for determining volcano capability and the related volcanic hazards should not be applied. Nevertheless, some of the methods used in current practice for evaluating the probability of opening of new volcanic vents and for characterizing mudflows on volcanoes may be applicable to mud volcano hazard assessment.

Volcano generated missiles

I.15. Ejection of missiles such as blocks, bombs and other solid fragments is caused by explosions occurring within craters, domes or vents. These objects are propelled by high pressure gas and follow trajectories under gravity. The speeds of the missiles can be more than 300 m/s and the maximum horizontal distances they may travel can be up to 5 km from the origin. Large blocks or bombs can be thrown further than expected, owing to the decrease in the influence of drag forces. When their size is sufficiently small, the friction of air decelerates them enough to affect their trajectory. Typically, volcano generated missiles larger than 1 m in diameter are not significantly affected by drag forces.

I.16. Volcano generated missiles can be associated with a wide variety of eruptions, but are especially notable products of strombolian and vulcanian style eruptions, and thus with eruptions on composite volcanoes and shield volcanoes, and of monogenetic volcanoes. Ejection of missiles nearly always accompanies the opening of new vents and secondary vents associated with lava flows and pyroclastic flows.

は、地表の安定に関するハザードの潜在的要因となる（参考資料[6]参照）。泥の火山現象は本安全指針で特に取り扱わず、能力及び関係する火山ハザードを決定するために本安全指針で提示する基準は適用されない。しかし、新しい火口の開口の発生確率と火山性泥流の特徴付けに使用する手法は、泥の火山のハザード評価にも適用できよう。

火山から発生する飛来物

I.15 火山岩塊、火山弾、その他固形の破片などの弾道噴出物の噴出は、クレーター、溶岩ドーム、火口での爆発によって引き起こされる。噴出物は、高圧のガスにより推進され、重力により弾道を描いて飛ぶ。噴出物の速度は 300m/s 以上となることがあり、水平到達距離は発生源から 5km に及ぶこともある。大きな岩塊や火山弾は、空気の抵抗力の影響が減少するため予想よりもはるかに遠くまで飛ぶことがある。それらのサイズが十分に小さい場合は、空気抵抗が弾道に影響を及ぼすほど十分に減速させる。通常、直径 1 m 以上の火山から発生する飛来物は空気抵抗の影響をあまり受けない。

I.16 火山から発生する飛来物はさまざまな噴火で生じるが、ストロンボリ式噴火とボルカノ式噴火で特に顕著に生じることから、成層火山、楯状火山、単成火山で見られる。弾道噴出物の噴出は、通常、溶岩流や火砕流を伴う新しい火口、第二火口の形成に伴い発生することがほとんどである。

Volcanic gases

I.17. Volcanic gases make up a significant fraction of the total mass of material emitted by volcanoes. Gases exhaled from volcanic vents, fumaroles, solfataras, mofettes and hydrothermal systems may be highly reactive and hazardous to humans and property. Although volcanic gases consist mainly of H₂O, they also include CO₂, SO₂, H₂S, CO, HCl and HF and form low pH condensates. Gases may be discharged in large quantities either from established vents or from new fissures unrelated to established vents, or through soils on volcanoes, well before or after an eruption. For example, SO₂ release on a volcano not undergoing eruption may be of the order a few tonnes per day to a few thousand tonnes per day and can be transported by the wind for great distances. Large quantities of magmatic gases, especially CO₂, may also be released suddenly from lakes in volcanic craters and tectonic rifts. As CO₂ is heavier than air, dense flows of CO₂ gas may follow drainage systems and collect in topographical depressions, displacing air and posing a danger of asphyxiation. The interaction of volcanic gases with water in the atmosphere also results in acid rain and possibly pollution of surface water.

I.18. Volcanic gas emission may occur from lava flows during volcanic eruptions, as these lava flows continue to cool and crystallize as they flow across the land surface. Changes in hydrothermal systems may result in increases or decreases in volcanic gas emissions. Investigation of the state of the hydrothermal system of the volcano may provide important information about the potential for volcanic gas emissions. Widespread and persistent gas emissions are common at calderas and composite volcanoes. Such emissions also occur at some shield volcanoes, especially from rift zones on these volcanoes.

Tsunamis and seiches

I.19. Volcanogenic tsunamis and seiches may be generated when voluminous (e.g. from 10⁶ m³ to in excess of 10⁹ m³) landslides, pyroclastic flows or debris avalanches rapidly enter the sea or large lakes, or by submarine eruption of volcanoes. Collapse of a volcano edifice triggered by volcanic eruptions or earthquakes may lead to large displacement of the slopes, which, in turn, can generate tsunamis in proximal bodies of water.

I.20. As steep sided volcanoes are unstable structures, any such volcano located near water is a potential source of these phenomena. In addition, bathymetric surveys reveal that shield volcanoes in oceanic settings have been the sites of submarine debris avalanches. Such phenomena may result in basin-wide

火山ガス

I.17 火山ガスは火山から放出される物質の質量のうちわずかな部分を占めるにすぎない。火口、噴気孔、硫気孔、炭酸気孔、熱水系から発散するガスは、人と土地に対して非常に反応性が高く、危険である。火山ガスは主に水蒸気からなるが、二酸化炭素、二酸化硫黄、硫化水素、一酸化炭素、塩化水素、フッ化水素も含み、低pHの凝縮物を形成する。ガスは完成された火口や、完成された火口と関係のない断裂、火山の土壌から、噴火の前後で特に大量に放出される。例えば、噴火状態でない火山から放出される二酸化硫黄は、一日に数t～数千tのオーダーであり、風に乗って長距離を移動する。大量のマグマガス、特に二酸化炭素もまた、火口湖や地震の断裂から突然放出されることがある。二酸化炭素は空気より重いいため、濃度の高いガスの流れが、排水経路を通じて地形的なくぼ地に集められ、空気を押しつけて酸欠の危険をもたらすこともある。火山ガスが大気中の水分と相互作用することによって酸性雨及び、おそらく水の表層の汚染を引き起こされる。

I.18 火山ガスの放出は、溶岩が地表を流れる際、徐々に冷却され結晶化される段階で溶岩から発生することもある。熱水系の変化も火山ガスの放出を増減させる。火山の熱水系の調査により、火山ガス放出の可能性に関する重要な情報が得られるであろう。カルデラや成層火山では広範で連続的なガス放出があるのが一般的である。盾状火山の地帯帯においても火山ガスの放出が発生することがある。

津波と静振

I.19 火山性の津波と静振は、大量の（すなわち 10⁶ から 10⁹m³ の）地滑り、火砕流、岩屑なだれが海・大きな湖へ急速に侵入した時や、海底火山の噴火によって発生する。火山噴火や地震に起因する山体崩壊は、斜面の大きな移動をもたらし、次に近くににある水域で津波を引き起こす。

I.20 急峻な火山は不安定な構造であり、水際に位置するような火山は津波・静振現象の潜在的な発生源である。加えて、深淺測量により、海岸近くに位置する盾状火山が海中岩屑なだれを引き起こすかどうか明らかにすることができる。この現象は、海域全体の津波で発生する可能性がある。加えて、火山島では中規模噴火も津波を引き起こす。但し通常、これらの影響をもたらすのは、大きく、爆発的な噴火である。

tsunamis. In addition, even moderate eruptions at island volcanoes have generated tsunamis, although generally it is large, explosive eruptions that initiate these effects in extreme cases.

Atmospheric phenomena

I.21. Explosive eruption of a volcano, such as vulcanian and phreatic explosions, can generate air pressure waves powerful enough to break windows at distances of several kilometres. Air shocks may accompany lateral volcanic blasts and thus may affect areas tens of kilometres from the volcano, depending on the interaction of the blast and the topography. They are accompanied by ejection of bombs and blocks, as discussed in para. I.15, but the radius of the shock wave effects may be greater than that of the projected material.

I.22. Lightning often accompanies many types of volcanic eruption and may involve hundreds of ground strikes. In some cases, lightning and high static charges occur up to several kilometres from the erupting volcano.

I.23. Locally violent weather may accompany volcanic eruptions. Heavy rainfall may accompany the development of explosive eruption columns, as ash particles in the atmosphere cause sudden nucleation of raindrops. Heavy rainfall during tephra fallout may result in the generation of lahars. Downbursts (locally very strong winds) can occur as a result of explosive columns or the emplacement of hot lava flows. These winds may cause damage extending beyond the lava flows themselves.

I.24. Although such atmospheric phenomena may occur during any volcanic eruption, they are most commonly associated with large explosive eruptions.

Ground deformation

I.25. Some of the largest amplitude natural ground deformations ever observed have occurred on volcanoes. Prior to a volcanic eruption, ground deformation can involve rapid uplift of several metres or more. More generally, ground displacements of millimetres to centimetres may occur over broad areas in response to magma intrusion into volcanoes. Deformation typically occurs around volcanoes through syneruptive faulting or shallow intrusion of magma. Modes of deformation include uplift, subsidence and extension. For example, vertical displacements of more than 100 m were produced by the 1977 eruption of Utsu volcano in Hokkaido (Japan). Even the slow deformation of slopes may, with time, lead to considerable horizontal and vertical displacement, manifested as

大気現象

I.21 ブルカノ式噴火や水蒸気爆発のような、火山の爆発的な噴火は数キロ離れた場所の窓ガラスを割るような空気の圧力波を作り出すことがある。空気の衝撃は、水平方向の火山ブラストに伴い生じるため、ブラストと地形の相互影響によって火山から数十キロのエリアに影響を及ぼしうる。それらは、パラグラフ I.15 に記載したような火山弾や火山岩塊の放出を伴うが、衝撃波の影響半径は、生成された物質による影響半径より大きくなるであろう。

I.22 雷もまた、さまざまな噴火に伴い発生し、落雷は数百回に及ぶ。噴火中の火山から数キロ離れた場所でも、雷と高い静電気の充電が発生したこともある。

I.23 噴火に伴い局地的に激しい天候が生じることもある。噴煙柱の成長時に豪雨が発生することがある。大気中の灰の粒子が雨粒の核を急速に形成するからである。降下火砕物の発生中の豪雨は、火山泥流の原因となる。爆発的な噴煙柱や高温の溶岩流の存在は、ダウンバースト（局地的な非常に強い風）を引き起こすことがある。この風は溶岩流自体の到達距離を超えて被害をもたらす可能性がある。

I.24 このような大気現象は、いかなる火山噴火中でも発生しうるが、もっとも一般的には、水蒸気ブリーニ式噴火のような大きな爆発的噴火に伴い発生する。

地殻変動

I.25 過去に観察された自然界における最大の地殻変動のうちいくつかは、火山で発生している。噴火に先立ち、数mかそれ以上の急速な地盤隆起が発生することがある。より一般的には、数mmから数cmの地盤移動が火山へのマグマ侵入に伴い広いエリアに渡って発生するであろう。地殻変動は一般的に、噴火時の断層作用や、マグマの浅層への侵入によって発生する。例えば、1977年の北海道有珠山噴火では鉛直方向に100m以上の地盤変位が起こっている。斜面の緩峻な変形でさえも、時間と共に、断層、亀裂、地表の起伏となって現れる相当な水平・鉛直の変形をもたらすであろう。カルデラにおける地殻変動は広い範囲で、別の時間尺度で大きな鉛直方向の移動を引き起こすであろう。大規模な地殻変動は実質的に全ての様式の火山で発生する。

faults, cracks and undulations in the surface. Ground deformation in calderas may result in significant vertical movements over large areas on different timescales. Large scale ground deformation is common to virtually all types of volcano.

Volcanic earthquakes and seismic events

I.26. Volcanic earthquakes and seismic events normally occur as a result of stress releases associated with the rise of magma towards the surface. There are two principal forms of volcano-seismic activity which could give rise to potentially hazardous ground motions at a site. The first are transient events, such as volcanotectonic and volcanic earthquakes. These transient seismic disturbances last a few seconds or tens of seconds, at most. The second category is usually denoted generically as 'tremor', which is of a much more continuous and prolonged nature and may last hours or days. The effects of tremor are generally small and localized at the volcanic centre, whereas volcano-tectonic earthquakes can occur 10 km or more from the centre. Volcanic tremors are best characterized by their limited frequency content and long duration. They are due to resonance phenomena involving systems of large dimensions (i.e. hundreds of metres to a few kilometres) and hence involve frequencies of a few Hertz, and are associated with fluid motion.

I.27. Generally, the largest volcanic earthquakes have smaller magnitudes than the largest earthquakes of tectonic origin in a geodynamically active region. The characteristics of volcano-seismic events may differ considerably from those of tectonic earthquakes. Moreover, volcanic earthquakes can be large enough or numerous enough (hundreds to thousands per day) to warrant consideration as part of a seismic hazard assessment (see Ref. [4]).

I.28. Volcanic earthquakes accompany every type of volcanic eruption and are generated by all types of volcano.

Hydrothermal systems and groundwater anomalies

I.29. Extensive hydrothermal systems are sometimes associated with volcanoes. Hydrothermal systems create elevated near surface temperatures that can boil water and alter solid rock to clays. The presence of active hydrothermal systems or hydrothermal alteration can indicate a propensity for large mass movements, such as landslides or edifice collapse. Additionally, hydrothermal systems can produce steam explosions that are capable of ejecting rock fragments over distances of several kilometres and of forming explosion craters hundreds of metres in diameter. The interaction of rising magma with groundwater may cause a phreatic or phreatomagmatic eruption. Volcanic activity or igneous intrusions,

火山性地震と地震性の事象

I.26 火山性地震と地震事象は、一般的にマグマの地表に向けた上昇に伴う応力の開放の結果発生する。サイトにおいて災害的な地面の動きを発生させる可能性を増大させる火山の地震事象には、2つの主要な種類があり、便宜上、それらは2種類にグループ分けされる。最初のグループは瞬間的な事象で、火山構造性地震や火山性地震である。これらの瞬間的な地震性の擾乱は、最大で数秒から数十秒継続する。第2のグループは、一般に「微動」と表記されるもので、より連続的で長時間続く特徴があり、数時間から数日続く。微動の影響は、一般的に小さく、火山の中心に偏って存在する。一方、火山構造性の地震は、火口から10km以上の距離で発生することがある。火山性微動は、限られた周波数成分や、長い持続時間で特徴付けられる。それらは流体運動に関係し、大きな広がり（すなわち、数百m～数km）を持ち、それゆえ数Hzの周波数を有する共振現象によって引き起こされる。

I.27 一般的に、最大の火山性地震は、地球力学的に活発な地域における最大の構造起源の地震よりも小さい。火山性地震事象の特徴は、構造的な地震によるものとはかなり異なっている。さらに、火山性地震は地震ハザード評価の一部として検討するに値する程十分に大きい、あるいは多数（1日数百～数千回）発生する。（参考図書[4]参照）

I.28 火山性地震は、いかなる種類の火山噴火にも関係し、全ての様式の火山で実際に発生している。

熱水系と地下水異常

I.29 広範囲な熱水系が火山に関係することがある。熱水系は、地表付近に高温部を作り出し、水を沸騰させ、岩石を粘土に変える。活発な熱水系や、熱水異常の存在は、地滑りや山体崩壊のような、大規模な質量移動の傾向を指示することがある。加えて、熱水系は、水蒸気爆発を引き起こし、岩石の破片を数キロも吹き飛ばし、直径数百mにおよぶ爆発クレーターを作り出すこともある。上昇するマグマと地下水の相互作用は、水蒸気爆発やマグマ水蒸気噴火を発生させることがある。火山活動や、岩脈のような火成岩貫入は、地下水の流れのパターンを変化させ、地下水面のレベルを変動させる。火山体内部からの水と泥の予期せぬ排出が、降雨と関係なく発生することもある。これらの排出により、火山貫入による熱水や地下水系の乱れに起因する火山泥流が引き起こされる。マグマ貫入もまた熱水系の内部での爆発の引き金となりうる。地下水系の変化はカルスト地形の沈下を引き起こすかもしれない。北極地方では、サーモカルストのような現象が地下水の流れの変化

英 文	和 記
such as dykes, may change groundwater flow patterns and cause fluctuations in the depth of the water table. Unexpected discharges of water and mud from the interior of volcano edifices and unrelated to rainfall can occur. These discharges can generate lahars that are attributed to the disturbance of the hydrothermal or groundwater system by volcanic intrusions. Magma intrusions can also trigger explosions in the hydrothermal system. Changes in the groundwater system may cause subsidence in karst terrains. In arctic areas, phenomena such as thermokarst may develop in response to changes in groundwater flow or as a result of the development of hydrothermal systems. Changes in the hydrogeology of the site due to volcanic activity may also result in changes of the hydraulic pressure in soil-bearing layers and water aquifer layers. Development of hydrothermal systems and groundwater anomalies are most common at calderas and may be associated with all types of volcano.	や、熱水系の発達の結果として成長するであろう。火山活動によるサイトの水文地理学的変化は、土壌支持層と帯水層の水圧の変化に帰着する。熱水系の発達と地下水異常は、カルデラにおいて最も一般的であるが、どのような様式の火山にも関係しうる現象である。

REFERENCES

参考図書

- [1] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Site Evaluation for Nuclear Installations, IAEA Safety Standards Series No. NS-R-3, IAEA, Vienna (2003).
- [2] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, External Human Induced Events in Site Evaluation for Nuclear Power Plants, IAEA Safety Standards Series No. NS-G-3.1, IAEA, Vienna (2002).
- [3] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Dispersion of Radioactive Material in Air and Water and Consideration of Population Distribution in Site Evaluation of Nuclear Power Plants, IAEA Safety Standards Series No. NS-G-3.2, IAEA, Vienna (2002).
- [4] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Seismic Hazards in Site Evaluation for Nuclear Installations, IAEA Safety Standards Series No. SSG-9, IAEA, Vienna (2010).
- [5] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Meteorological and Hydrological Hazards in Site Evaluation for Nuclear Installations, IAEA Safety Standards Series No. SSG-18, IAEA, Vienna (2011).
- [6] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Geotechnical Aspects of Site Evaluation and Foundations for Nuclear Power Plants, IAEA Safety Standards Series No. NS-G-3.6, IAEA, Vienna (2005).
- [7] EUROPEAN ATOMIC ENERGY COMMUNITY, FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, INTERNATIONAL LABOUR ORGANIZATION, INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION, OECD NUCLEAR ENERGY AGENCY, PAN AMERICAN HEALTH ORGANIZATION, UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME, WORLD HEALTH ORGANIZATION, Fundamental Safety Principles, IAEA Safety Standards Series No. SF-1, IAEA, Vienna (2006).
- [8] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, IAEA Safety Glossary: Terminology Used in Nuclear Safety and Radiation Protection, IAEA, Vienna (2007).
- [9] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, The Management System for Facilities and Activities, IAEA Safety Standards Series No. GS-R-3, IAEA, Vienna (2006).
- [10] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Application of the Management System for Facilities and Activities, IAEA Safety Standards Series No. GS-G-3.1, IAEA, Vienna (2006).
- [11] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Safety of Nuclear Power Plants: Commissioning and Operation, IAEA Safety Standards Series No. SSR-2/2, IAEA, Vienna (2011).
- [1] IAEA 安全基準 NS-R-3
原子炉等施設の立地評価 (2003)
- [2] IAEA 安全基準 NS-G-3.1
原子力発電所の立地評価における外部人為事象 (2002)
- [3] IAEA 安全基準 NS-G-3.2
原子力発電所の立地評価における放射性物質の大気と水への拡散と人口分布の考慮 (2002)
- [4] IAEA 安全基準 SSG-9
原子力施設の立地評価における地震ハザード (2010)
- [5] IAEA 安全基準 SSG-18
原子力発電所の立地評価における気象学的・水文学的事象 (2011)
- [6] IAEA 安全基準 NS-G-3.6
原子力発電所のためのサイト評価と地盤の地質学的観点 (2005)
- [7] EURATOM, FAO, IAEA, ILO, IMO, OECD/NEA, PAHO, UNEP, WHO
IAEA 安全基準 SF-1
基本安全原則 (2006)
- [8] IAEA 安全用語集
原子力安全および放射線防護のための用語集 (2007)
- [9] IAEA 安全基準 GS-R-3
施設と活動のためのマネジメントシステム (2006)
- [10] IAEA 安全基準 GS-G-3.1
施設と活動のためのマネジメントシステムの適用 (2006)
- [11] IAEA 安全基準 SSR-2/2
原子力発電所の安全：試運転と運転 (2011)

余 白

余 白

Annex I

VOLCANIC HAZARD SCENARIOS

I-1. Volcanic activity often involves a complex series of events and may involve development of a series of hazardous volcanic phenomena. Volcanic activity often begins with a period of unrest, which may continue for a long period of time (e.g. decades) and which often is not followed by eruption. Once eruptions begin, they can persist for just a few minutes up to many years. This duration of activity, and the uncertainty associated with it, means that volcanic events are varied and complex and are often best treated as a combination of possible scenarios. Consideration of such scenarios is an important part of volcanic hazard assessment. The following three hypothetical scenarios are used to illustrate the complexity of volcanic eruptions and consequently the complexity of hazard assessment.

Scenario 1: Eruptions characteristic of composite volcanoes

I-2. Composite volcanoes are steep sided conical volcanoes built by effusion of lava flows and domes, and by explosive eruption of pyroclastic material that forms pyroclastic flows and tephra fallout. Although some composite volcanoes have patterns of past activity that can be used to assess the likelihood of hazardous phenomena occurring, composite volcanoes can be unpredictable and appropriate consideration needs to be given to a broad range of potentially hazardous explosive and effusive phenomena. The geological record at many composite volcanoes shows that abrupt changes in composition or eruptive character are common and that eruptive centres can suddenly emerge kilometres distant from the central (summit) vent.

I-3. A typical eruption generally commences with the onset of volcanic unrest, such as changes in the background seismicity, deformation of the volcano edifice or increased emission of magmatic gases, all of which may be detected by monitoring activities. Potentially precursory unrest can last as little as hours or as long as decades. The onset of unrest does not necessarily mean that there will be an eruption. Indeed, periods of unrest without eruption are more common than periods of unrest that lead to eruption.

I-4. An ensuing eruption can produce a wide range of simultaneous hazards over a period of hours to years, often with long gaps of inactivity. Initial activity can start with the gentle effusion of lavas from a flank vent, followed later by the sudden emergence of explosive activity from the summit vent. In other examples,

補足 I : 火山ハザードシナリオ

I-1.火山活動はしばしば複雑な事象の連続からなり、一連の災害的な火山事象の発展を含むことがある。火山活動は、長期間（例：数十年）続く火山性活動期間として始まることが多く、また必ずしも噴火が後に続くとは限らない。一旦噴火が始まると、噴火は数分から数年継続する。この活動の継続とそれに伴う不確実性は、火山活動が多様、複雑なものであり、考えられるシナリオの組合せとして扱うことが適当であることを示している。このようなシナリオの検討は、ハザード評価の重要なプロセスの一つである。以下の3つの仮想シナリオは、火山活動、ひいては火山ハザード評価の複雑さを説明するものである。

シナリオ1：成層火山に特有の噴火

I-2.成層火山は急勾配な円錐形の火山で、溶岩流と溶岩ドームの噴出、火砕流及び降下火砕物をもたらす火砕物の爆発的な噴火によって形成される。いくつかの成層火山は、過去の活動履歴を残しており、災害的な現象が起こる可能性を評価するために使用できるが、成層火山は、成長が予測できず、広い範囲の潜在的に危険な噴火・噴出現象に対し適切な検討が必要となる。多くの成層火山に関する地質学的記録により、火山組成又は噴火の特性は急激に変化することが普通であり、噴火の中心がそれまでの中心（山頂）から数キロも離れたところに突然現れ得ることもわかっている。

I-3.典型的な噴火は通常、背景地震頻度の変化、山体の変形、マグマ性ガスの噴出増大のような火山性活動を伴い始まるが、それらはいずれもモニタリング活動によって検知することができる。潜在的に前兆となる活動は、短くて数時間から長くて数十年続く。活動の開始は必ずしも噴火の発生とはならない。実際、噴火がないまま活動期間が終る場合のようだが、活動の後に噴火が続く場合よりも一般的である。

I-4.引き続く噴火は、さまざまな同時発生的な災害を数時間から数年にわたり（しばしば長い休止期間をいった後）、もたらす。初期の活動は、斜面の火口からの溶岩の緩慢な噴出で始まることもあり、その後、山頂火口における爆発的な活動が突然発生する。他の例では、大きな爆発が噴火の始まりとなることがある。火砕流と降下火砕物が活動持続期では特徴的であり、その後噴火の中断、又は溶岩ドーム噴出の期間が続く。火砕流が排水経路に浸入するか、多量の降雨があった場合、一般に土石流が発生する。噴火期間を通じて、火山性地

large explosions herald the onset of the eruption. Pyroclastic flows and tephra fallout can characterize days of sustained activity, followed by cessation of the eruption or a prolonged period of lava dome effusion. Debris flows commonly occur if pyroclastic flows invade active drainage systems, or in response to heavy rainfall. Throughout the eruption, volcanogenic earthquakes occur and the potential for landslides or slope failure is enhanced. The high elevations of the composite volcano edifice represent a significant energy potential for debris flows and landslides triggered by large scale (e.g. to the order of cubic kilometres) edifice collapse. Although not all phenomena will necessarily occur during an eruption of a composite volcano, the potential for multiple phenomena to occur during a single eruption is extremely high for such a volcano.

I-5. A nuclear installation constructed within tens to hundreds of kilometres of a composite volcano experiencing such eruptive activity might face multiple potentially hazardous phenomena, possibly for an extended period of time. For example, tephra fallout at the site might continue for weeks, months or longer. Explosive volcanic activity might contribute to the occurrence of debris flows, as waterways transport much higher sediment loads as a result of such eruptive activity for years following the eruption. In summary, such a nuclear installation could face multiple hazard scenarios resulting from a single volcanic eruption.

Scenario 2: Effusive eruptions characteristic of shield and composite volcanoes

I-6. An effusive eruption of fluid lava will generally begin with the formation of eruptive fractures associated with locally experienced seismicity, ground deformation, gaseous emanations and anomalous heat flux. In general, eruptions are preceded by months to years of non-eruptive phenomena or activity which, in ideal cases, shows marked variations in some parameters as magma rises towards the surface. However, with effusive systems that produce fluid lava, the rise of magma to the surface can be very rapid and sometimes only a few hours separate the onset of high levels of pre-eruption seismicity from the actual eruption of lava. Thus, there might only be a short time in which to implement safety measures at a nearby nuclear installation in the event of an effusive eruption.

I-7. On shield volcanoes and some composite volcanoes, such effusive eruptive activity may be localized within tens of kilometres of the central vent of the volcano. Once magma reaches the surface, lava fountains can reach several tens to hundreds of metres in height above the vent and stretch over several hundreds of metres (i.e. a curtain of fire). Eventually, the vent will reduce to a more cylindrical shape and may continue to erupt for periods ranging from hours to days, generating potentially

震が発生し、地滑りや斜面崩壊の可能性が高くなる。成層火山の標高の高い山体は、大規模な（すなわち立方 km 単位の）山体崩壊を引き起こすエネルギーポテンシャルを示す。1 つの噴火期間中に必ずしも全ての現象が発生するわけではないが、1 つの噴火中に複数の現象が発生する可能性は、このような火山では極めて高い。

I-5. このような噴火活動をしている成層火山から数十～数百 km 離れて建設された原子力施設は、長期間複数の災害的な現象に直面することになる。例えば、サイトにおける降下火砕物が数週間、数ヶ月、あるいはそれ以上続く可能性がある。そのような爆発的な活動が噴火後に何年も続く結果、水路がより多くの堆積物を輸送するため、爆発性の火山活動は、土石流の発生に寄与することになる。つまり、そのような原子力施設は、1 つの火山噴火による複数のハザードシナリオに直面することになる。

シナリオ 2：楯状火山と成層火山に特有の噴出性噴火

I-6. 一般的に、液状の溶岩の噴出的な噴火が、噴出性の断裂の形成とともに始まる。これに、地域的な地震活動、地殻変動、ガス放散、異常な熱流束が伴う。通常、噴火に先立つ数ヶ月から数年の非爆発的な現象あるいは活動があり、理想的には、それらはマグマが地表に向け上昇していることを示すパラメータの著しい変動を示す筈である。しかし、液状の溶岩を生成するような噴出系では、マグマの地表への上昇は極めて早く、噴火前の地震が高レベルになってから実際に噴火が始まるまでに数時間しかないこともある。従って、噴出的な噴火事象において、その近傍の原子力施設が安全対策を実施するための時間が限られていることもあり得る。

I-7. 楯状火山といくつかの成層火山では、このような噴出性の活動は、火山中心火口から数十 km 離れた範囲に限定されるだろう。マグマが地表に達すると、溶岩泉は火口上部に数十～数百 m の高さに達し、楯状火山の範囲に広がる（火のカーテン）。時折、火口がより円筒形に変形し、おびただしい量のテフラとガスを生成する噴火が数時間～数日続くことがある。テフラは比較的低い噴煙柱（例：高さ数 km 以下）及びガス（例えば SO_2 , CO_2 , H_2O , HCl , HF ）によって風下に運ばれ、風下に酸性雨を引き起こし、人間、動物に対する毒性の問題をもたらす、設備を腐食させ、民間航空を阻害する。溶岩流がこの火口から発生し、これらの溶岩の噴出は同一火口から数時間～数ヶ月継続する。

copious quantities of tephra, which are transported downwind by relatively low eruption columns (e.g. less than a few kilometres in height), and gases (e.g. SO₂, CO₂, H₂O, HCl, HF), which can trigger acidic rains downwind and lead to problems of toxicity to humans and animals, corrosion to infrastructures and disturbance of civil aviation. Lava flows will be emitted from this vent and the eruption of these lavas could last from hours to months from the same vent.

I-8. Fluid lava flows can move at speeds of 1–20 m/s. They form potentially extensive lava flow fields, single individual flows, or both at different spatiotemporal scales. The formation of crusted lava flows often leads to the formation of lava tubes through which lava can flow with little thermal loss and thus can reach areas relatively far from the vent. The sudden breakage of lava tubes or of secondary lava pools formed along the flow, or lateral lava flow fronts (i.e. levées), can generate additional rapidly moving flows with different characteristics and moving in different directions from the main flow.

I-9. Effusive volcanoes can have styles of eruptive behaviour that persist for long periods of time and then suddenly change to a different style (e.g. crater centred eruptions switching to flank lateral eruptions), or they can oscillate from one style to the other from eruption to eruption or within the same eruption. Eruptions can also occur simultaneously from central vents as well as from lateral vents located low down on the flanks of volcanic rift zones. Tephra producing lava fountains can coexist with long lived lava flows from the same edifice and during the same eruption.

I-10. Thus, a nuclear installation located near a volcano experiencing such effusive activity would face hazardous phenomena in the event of incursion of the site by lava flows, opening of new vents, tephra fallout, gas emissions or connected seismic activity. Some of these phenomena are considered to be beyond the design basis of nuclear installations and therefore have to be avoided through the site selection and evaluation process. Therefore, it is critical to evaluate the capability of a volcanic system to produce such effusive flows that may impact the site. In the event that such capability is identified, a volcanic hazard model for the site would necessarily consider the nature of coupled volcanic phenomena, such as a scenario in which new vents open and effusive lava flows from these flank vents.

Scenario 3: Eruptions characteristic of volcanic fields

I-11. Not all volcanism occurs from the central vents of existing composite or shield volcanoes. In many circumstances, volcanism is distributed over the close

I-8. 溶岩流は1～20m/sの早さで移動する。これらは一つの個別の溶岩流によって、あるいは別々の空間、時間のスケールによって広範な溶岩原を形成する。溶岩流の凝固は、しばしば溶岩流トンネルを形成する。トンネルを通る溶岩は熱の損失が少ないため、火口からかなり遠くまで到達しうる。溶岩トンネルの突然の崩壊や、流れ沿いの第二の溶岩プール形成、横方向への溶岩流フロント（すなわち堤防）は主な流れと違う方向、違う挙動の高速な流れを作り出すことができる。

I-9. 噴出火山は長期間継続する噴出的挙動を有するが、突然異なる様式に変化することがある。（例：クレターを一を中心にした噴火が、中腹からの噴火に変化する）あるいは、噴火から噴火または同一噴火内で、ある噴火様式から別の噴火様式を行き来することがある。また、噴火は中央の火口と地溝帯の中腹に下がった横方向の火口で同時に発生することがある。同一火山、同一噴火において、溶岩泉を作るテフラは、長寿命の溶岩流と共存することができる。

I-10. 従って、このような噴出活動を行っている火山の周辺の原子力施設はサイトへの溶岩流の侵入、新しい火口の開口、降下火砕物、ガス噴出、地震による災害的な現象に直面することになる。これらのうちいくつかの現象は、原子力施設的设计基準を超えると考えられ、それゆえサイト選定と評価プロセスの中で立地不適とする必要がある。従って、サイトに影響する噴出流を生成する火山の能力を評価することが重要となる。そのような能力が区分される事象では、サイト用火山ハザードモデルにより複合的な火山活動の特性を考慮することが必要となる。（例：新しい火口が形成され、その中腹の火口から溶岩流が噴出するというようなシナリオ）

シナリオ 3：火山地域に特有の噴火

I-11. 全ての火山活動が、既存の成層火山や楯状火山の中央火口で発生するわけではない。多くの場合、火山活動は、火山地域の周辺に分散し、新しい火口の開口に至る火山活動が繰り返される。大きな火山、例えば日本の富士山、イタリアのエトナ山などでは、何百ものスコリア丘の分布とそれに関連して火山の近く数kmの景観に点在する火山の特徴によって、新しい火口形成プロセスは明確である。他のエリアでは、火山活動は、

volcanic region and renewed volcanic activity results in the formation of new vents. On large volcanoes, such as Mount Fuji, Japan, or Mount Etna, Italy, the process of new vent formation is clear from the distribution of hundreds of scoria cones and related volcanic features that dot the landscape for tens of kilometres around the volcano. In other areas, volcanism builds volcanic fields, sometimes consisting of hundreds of individual vents, distributed over hundreds or thousands of square kilometres, where each vent opened separately as an individual batch of magma ascended to the surface.

I-12. Activity associated with the opening of new vents begins with the ascent of magma through the crust. Often, this magma ascends as a sheet-like dyke, commonly less than one metre in width and perhaps kilometres in length, ascending through the Earth's crust at a rate of the order of 1 m/s. The first sign of this activity would likely be a series of low magnitude earthquakes in the area. Hundreds to thousands of earthquakes per day have been observed to be associated with magma ascent of this nature. If seismic network observations are sufficiently precise, these earthquake hypocentres might be observed to rise gradually as the tip of the magma dyke ascends to ever shallower levels, although this migration of seismic hypocentres is only rarely observed. In some cases, this ascent is arrested by natural processes and the dyke cools within the Earth, without forming a new vent.

I-13. When a new vent does form, the first manifestation at the surface is usually ground deformation. This ground deformation often consists of fracture zones that are up to approximately 10 m in width and hundreds of metres to kilometres in length, comparable to the length of the dyke itself. When magma reaches the surface, it often does so at intermittent locations along the entire fracture system. Over a period of hours, however, this activity generally localizes into one or several new vents. Mass flow of magma from these vents increases rapidly with time, creating a fire fountain of incandescent rock rising hundreds of metres into the air and raining particles down on the surrounding terrain. Where abundant water is present at or near the surface, this initial activity may become highly explosive, creating volcanic phenomena such as pyroclastic surges and excavating craters that may exceed 1 km in diameter. In some circumstances, buoyant volcanic plumes develop that carry tephra to heights of several kilometres or even tens of kilometres above the new vent. Scoria cones grow quickly as a result of this type of volcanic activity, commonly achieving heights of more than 100 m and basal diameters of hundreds of metres. Often, lava flows develop as the eruption progresses. Depending on the composition and rate of effusion of lavas, these flows can reach tens of kilometres from the new vent. New vents may form at any time along the original fracture. Such eruptions have

しばしば数百～数千平方 km の範囲に分布する何百もの個々の火口からなる火山地域を作る。それぞれの火口は、地表に上昇する別々のマグマによって開口している。

I-12. 新しい火口形成に伴う活動は、マグマの地殻内での上昇によって始まる。しばしばこのマグマは板状の岩脈として上昇し、一般に幅 1 m 未満、長さ数 km で、地殻内をおよそ速度 1 m/s 程度で上昇する。最初の活動の兆候は、その地域での一連の低いマグニチュードの地震となるだろう。一日に数百～数千回の地震がこの性質のマグマの上昇に伴って観測されてきている。もし地震観測ネットワークが十分に正確であれば、これらの地震の震源が、マグマ岩脈が浅深度に上昇するにつれ徐々に増加していることがわかるであろう。しかしながら、この震源の移動は減衰に観測できない。いくつかのケースでは、マグマの上昇が自然界のプロセスでせきとめられ、岩脈が地殻内で冷却され新しい火口を形成しない場合もある。

I-13. 新しい火口が形成される場合、地表の最初の兆候は通常、地殻変動である。この地殻変動は、しばしば、幅約 10m、長さ数百 m～数千 m に及び、岩脈自体の長さにも及ぶ断裂地域から成る。マグマが地表に達する場合、それは断裂系全体に沿って、断続的な場所が発生することがある。しかしながら、期間中、この活動は通常 1 つあるいは数個の新しい火口に限定される。これらの火口からのマグマのマスフローは時間とともに急速に増加し、白熱した岩石による火の泉を生成する。マグマは空中に何百 m も噴き上がり、周辺に粒状に落下する。地表地殻に潤沢な水が存在する場合、この初期活動はきわめて爆発的となり、火砕サーージのような火山現象をもたらし、直径 1 km に及ぶクレーターを形成する。場合によっては、浮揚性の火山ブルームにより、テフラが火口上空数キロ～数十キロの高さに運ばれることもある。スコリア丘はこのタイプの火山活動の結果として急速に成長し、一般的に高さ 100m 以上、基部の直径で数百 m に到達する。噴火の進行とともに溶岩流も発生することがある。溶岩の組成と噴出頻度によるが、これらの溶岩流は新しい火口から数十 km の距離に到達することがある。いつでも新しい火口が元々の断裂に沿って形成されるかもしれない。他の噴火は 10 年程度も続くのに対し、このような噴火の継続期間は 1 ヶ月未満であることが観察されている。場合によっては、間欠的な活動が、新しい火口において 100 年以上も続くことが分かっている。従って、新しい火口の開口と、このような活動の予兆となる前駆的現象は、地域内に存在する原子力施設に対しさまざまな災害的な事象をもたらす複雑な事象であることを示している。

英 文	和 訳
been observed to persist for less than one month, while others have lasted as long as a decade. In some cases, intermittent activity has been known to continue at new vents for more than one hundred years. Thus, the opening of a new vent and the precursory phenomena that herald this type of event represent a complex sequence that may produce a wide array of hazardous phenomena for a nuclear installation located in the region.	I-14. 上記の記載は一例にすぎないが、それらは火山ハザードの複雑性を示しており、火山が原子力施設に影響を与える能力があるかどうかを決める包括的なモデルの構築が必要であることを示している。これらの例に示す通り、単体の火山事象の発生中に、複数の火山ハザードが発生しうる。火山事象は、長期間（時折年単位）継続し、広範囲に影響しうる。
I-14. Although the preceding examples are for illustrative purposes only, they do indicate the complexity of volcanic hazards and the need for development of comprehensive volcanic hazard models where volcanoes capable of affecting the site of a nuclear installation are identified. As shown by these examples, multiple volcanic hazards can occur during a single volcanic event. Volcanic events can continue for an extended period of time (sometimes years) and can affect large areas.	

Annex II

WORLDWIDE SOURCES OF INFORMATION

II-1. The assessment of potential sources of volcanic activity is complex, even during the initial assessment (stage 1). Expertise in volcanic hazard assessment and confidence in data sources are necessary. Internationally, the International Association of Volcanology and Chemistry of the Earth's Interior (IAVCEI, Ref. [II-1]) is the primary organization dedicated to the study of volcanoes and the mitigation of volcanic hazards. Commissions within IAVCEI that are particularly relevant to volcanic hazard assessment for nuclear installations include the World Organization of Volcano Observatories (WOVO, Ref. [II-2]), the Cities and Volcanoes Commission [II-1] and the Commission on Statistics in Volcanology [II-3]. The IAVCEI and these IAVCEI Commissions provide essential information concerning the state of the art in volcanic hazard assessment, access to specific information about volcanism by region and access to specific techniques necessary to assess volcanic hazards quantitatively. Several databases exist that may be of great utility in volcanic hazard assessment, especially in the initial assessment (stage 1).

II-2. The Smithsonian's Global Volcanism Program (GVP) is dedicated to gathering and verifying data on Holocene volcanic activity worldwide [II-4, II-5] (see Fig. II-1). While insufficient alone for performing initial assessments of nuclear installations, the GVP database is an excellent resource that can support these assessments. A database of historical volcanic unrest worldwide is also under construction by WOVO.

II-3. Many States have national databases for Holocene volcanism (e.g. Russian Federation [II-6], United States of America [II-7]). The Geological Survey of Japan maintains a detailed database on active [II-8] and Quaternary volcanoes [II-9] in Japan, including detailed geological maps of specific volcanoes and records of recent volcanic activity. Such resources provide a useful model for development of a site specific database for the initial assessment.

II-4. An important source of information on updated criteria and methodologies for volcanic hazard assessment for nuclear power plants is available in Ref. [II-10].

補足 II：世界的な情報源

II-1. 火山活動の潜在的な発生源を評価することは、特に初期評価（ステージ1）においては複雑である。火山ハザード評価の専門知識と信頼できる情報源が必要となる。国際的には、国際火山学及び地球内部化学協会（IAVCEI：参考文献 II-1）が火山と火山ハザード軽減の研究を専門とする第一の組織である。原子力施設の火山ハザード評価に特に関係する IAVCEI 内部の委員会としては、国際火山観測所機構（WOVO：参考文献 II-2）、都市火山委員会（参考文献 II-1）、火山統計委員会（COSIV：参考文献 II-3）がある。IAVCEI と IAVCEI の各委員会は、火山ハザード評価の最先端の基礎情報を提供し、地域ごとの火山活動に関する特定の情報、火山ハザードの定量的な評価に必要な特定の技術を利用できるようにしている。火山ハザード評価、特に初期評価（ステージ1）に非常に有用ないくつかのデータベースが存在する。

II-2. スミソニアン博物館世界火山プログラム（GVP）は世界の完新世火山の活動のデータを収集し確認することに取り組んでいる。（参考文献 II-4、II-5）図 II-1 参照。単独で原子力施設の初期評価を実施するには不十分であるが、GVP のデータベースはこれらの評価をサポートする優れた情報源となる。世界の歴史上の火山性活動のデータベースも WOVO で構築中である。

II-3. 多くの国が、完新世の火山活動の国家データベースを持っている。（例：ロシア連邦 [II-6]、アメリカ合衆国 [II-7]）日本の地質調査総合センターは、活動中の火山の詳細なデータベース [II-8] と第四期の火山の詳細なデータベース [II-9] を持っており、それは特定の火山の詳細な地質マップと最近の火山活動の記録を含むものである。このような情報源は、初期評価のためのサイト特定のデータベース構築に有用なモデルとなる。

II-4. 原子力発電所の火山ハザード評価の最新の基準と方法論に関するひとつの重要な情報源は参考文献 [II-10] で利用できる。

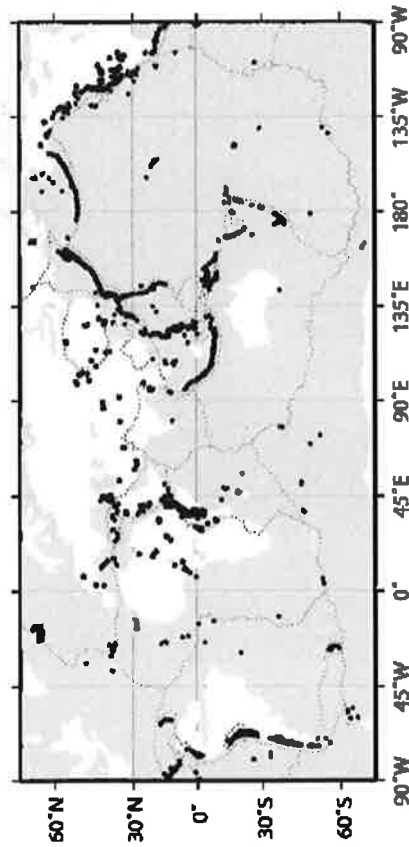


FIG. II-1. Map showing the global distribution of subareal and submarine volcanoes active during the past 10 000 years, including major plate boundaries (dotted lines). Data courtesy of the GVP [II-5].

REFERENCES TO ANNEX II

- [II-1] International Association of Volcanology and Chemistry of the Earth's Interior (IAVCEI), <http://www.iavcei.org>
- [II-2] World Organization of Volcano Observatories (WOVO), <http://www.wovo.org>
- [II-3] IAVCEI Commission on Statistics in Volcanology (COSIV), <http://cosiv.rc.usf.edu/>
- [II-4] SIMKIN, T., SIEBERT, L., Volcanoes of the World, Second edition, Geoscience Press, Tucson, AZ (1994).
- [II-5] The Smithsonian's Global Volcanism Program, <http://www.volcano.si.edu>
- [II-6] KVERT: Active Volcanoes of Kamchatka and Northern Kuriles, http://www.kscnet.ru/ivs/kvert/volcanoes/index_eng.php
- [II-7] Volcanoes, US Geological Survey, <http://vulcan.wr.usgs.gov/Volcanoes/framework.html>
- [II-8] Database of Japanese Active Volcanoes, <http://riodb02.ibase.aist.go.jp/db0099/index-e.html>
- [II-9] Quaternary Volcanoes in Japan, http://riodb02.ibase.aist.go.jp/strata/VOL_JP/EN/index.htm
- [II-10] CONNOR, C., et al. Volcanic and Tectonic Hazard Assessment for Nuclear Facilities, Cambridge University Press, Cambridge (2009).

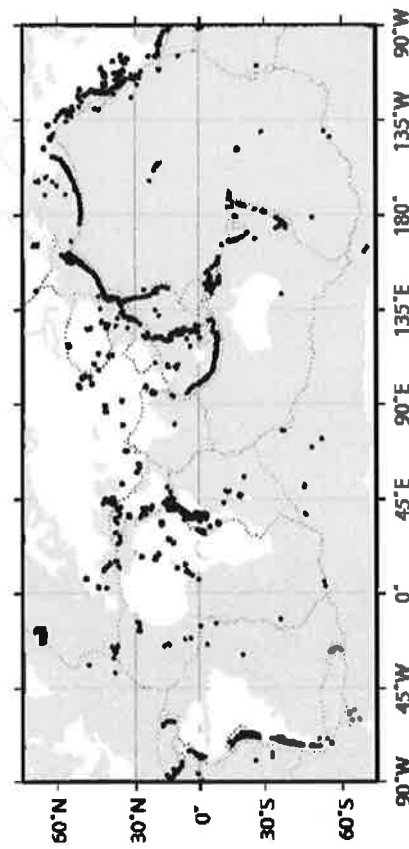


図 II-1：地図に過去 1 万年に活動があった陸上及び海底火山の分布を示す。点線は主要なプレート境界である。(GVP からのデータ)

補足 II のリファレンス

- [II-1] 国際火山学及び地球内部化学協会 (IAVCEI) <http://www.iavcei.org>
- [II-2] 国際火山観測所機構 (WOVO) <http://www.wovo.org>
- [II-3] 火山統計委員会 (COSIV) <http://cosiv.rc.usf.edu/>
- [II-4] シムキン、シーバート Volcanoes of the World 第 2 版 ジオサイエンスプレス、1994
- [II-5] スミソニアン博物館世界火山プログラム (GVP) <http://www.volcano.si.edu>
- [II-6] KVERT (訳注：The Kamchatka Volcanic Eruption Response Team) カムチャツカと北クリルにおける活火山 http://www.kscnet.ru/ivs/kvert/volcanoes/index_eng.php
- [II-7] 火山：米国の地質調査所 <http://vulcan.wr.usgs.gov/Volcanoes/framework.html>
- [II-8] 産業技術総合研究所 地質調査総合センター 活火山データベース <http://riodb02.ibase.aist.go.jp/db0099/index.html>
- [II-9] 産業技術総合研究所 地質調査総合センター 日本の第四紀火山 http://riodb02.ibase.aist.go.jp/strata/VOL_JP/index.htm
- [II-10] コナー他：原子力施設の火山と地殻構造ハザード評価、ケンブリッジ大学出版、2009

余 白

余 白

DEFINITIONS OF VOLCANOLOGICAL TERMS

火山用語定義集

andesite. A type of volcanic rock that is common to many composite volcanoes.

Andesite composition (52-63 wt% SiO₂) is intermediate between basalt and dacite. It often forms thick, rubbly lava flows. However, the magma usually contains moderate amounts of water and can thus produce violent explosive eruptions generating high altitude eruption columns rich in pumice and scoria, pyroclastic flows and surges. Andesite is generally erupted at temperatures of 900-1100°C.

ash. A fragment of volcanic rock that is less than 2 mm in mean diameter resulting from different processes of eruptive fragmentation. By far the most common variety is vitric ash (glassy particles formed by gas bubbles bursting through liquid magma). See also tephra, pyroclast.

basalt. A type of dark coloured volcanic rock that often forms lava flows and low lying volcanoes. Basalt composition has less than 52 wt% SiO₂, which gives it a low viscosity and allows dissolved gases to escape from the magma. Although this type of magma often behaves in a less explosive manner than more viscous magma, basaltic magma does erupt explosively, especially if interaction with groundwater or seawater occurs. Basalt is generally erupted at temperatures of 1100-1250°C.

Bayesian statistics. A paradigm for probabilistic inference that depends on the specification of prior distributions for all unknown parameters, followed by an application of Bayes' theorem to incorporate the extra information included in the data. The principle can be used in volcanology as a method to help constrain the results and uncertainty estimates of statistical and numerical modelling, taking advantage of as much data and other relevant information as are available. In contrast, frequentist statistics relies on patterns of past events to model the likelihood that an event will occur in the future. Bayesian methods can incorporate more geological information into an estimate of probability of occurrence than is possible with a frequentist approach.

blast (directed blast). A volcanic explosion of old or juvenile magma with a laterally directed low angle component resulting from sudden depressurization of a volcanic dome, a volcanic shallow depth magmatic body or a shallow depth hydrothermal system. Volcanic blasts can produce a dilute mixture of gas and volcanic fragments (blocks and smaller) that moves generally as a laterally expanding highly turbulent pyroclastic surge

安山岩 (andesite) 火山岩の一種で多くの複合火山に共通して見られる。安山岩の組成 (SiO₂ 52~63wt%) は玄武岩とデイサイトマグマの間である。安山岩はしばしば厚く瓦礫の多い溶岩流を形成する。マグマは一般に中程度の量の水分を含んでおり、このため軽石、スコリアを多く含む高い噴煙柱、火砕流、サージを伴う激しく爆発的な噴火をもたらす。安山岩は通常 900°C~1100°C で噴火する。

灰 (ash) 火山岩の破片であり、平均直径は 2 mm 以下である。さまざまな爆発性の破砕のプロセスの結果作られる。ガラス質火山灰 (液状マグマ中の気泡により形成されるガラス質の粒) となる場合がとりわけ多い。デフラと火砕物の項も参照。

玄武岩 (basalt) 暗い色の火山岩の一種で、しばしば溶岩流や低地火山に見られる。玄武岩の組成は SiO₂ 52wt %未満であり、それが低い粘性とマグマから発生したガスの溶解をもたらしている。このタイプのマグマは、より粘性の高いものと比べ噴火しにくい傾向があるが、特に海水や陸水との相互作用が発生すると、玄武岩マグマは爆発することもある。玄武岩は通常 1100°C~1250°C で噴火する。

ベイズ統計学 (Bayesian statistics) 全ての未知のパラメータの事前の分布の仕様に依存する確率論的推論のためのパラダイムは、ベイズの定理を適用し、データに含まれる追加情報を組み込むことである。本理論は火山学では、統計モデルと数値モデルの構築による結果と不確実性評価を制約する助けになる手法として用いられ、利用可能なより多くのデータのデータと関連情報の収集に有用となる。一方、頻度主義的統計学は、過去の事象のパターンに依存して将来発生する事象の確からしさをモデル化する。ベイズの方法は、頻度主義的手法に比べ、より多くの地質学的情報を発生確率評価に取り込むことを可能にする。

ブラスト (方向性ブラスト) (blast (directed blast)) 水平方向の低角度成分を持つ、古いあるいは新しいマグマの火山性爆発であり、溶岩ドーム、浅深度マグマ、浅深度熱水系の急激な減圧に伴って引き起こされる。火山性ブラストは、ガスと火山破片 (火山石塊あるいはより小さいもの) の希薄な混合物を作り、通常それは水平方向にかなりの速度 (最大 500km/h) の極めて激しい火砕サージとなつて広がり、広い扇形の範囲を破壊する。火砕サージの項も参照。

at considerable speeds (up to 500 km/h) and which is capable of causing widespread devastation. See also pyroclastic surge.

block. An angular fragment of volcanic rock greater than 64 mm in mean diameter, which does not deform during transport, even if hot. Blocks often break on impact with the ground surface. See also tephra and bomb.

block and ash flow. A type of pyroclastic flow that is generally concentrated in particles including blocks of dense lava (decimetres to metres in diameter) set in a mixture of finer grained particles. These flows result from the gravitational collapse of lava domes and viscous lava flow fronts. See pyroclastic flow.

bomb. A pyroclast (fragment of volcanic rock) greater than 64 mm in mean diameter ejected during a volcanic explosion and which is sufficiently hot as to undergo ductile deformation during transport. See also tephra and block.

caldera. A large basin shaped depression, normally larger than a kilometre in diameter, which may form in several ways: (i) removal of magma from a shallow chamber by powerful explosive activity spreading volcanic ash falls and pyroclastic flows over large areas, (ii) magma withdrawal from a shallow chamber and subsidence of the overlying rock and (iii) sector collapse of a volcano due to edifice instability. A great number of calderas have long periods of repose, episodes of unrest and eruptions of varying scales. Their geological history often testifies to a very long life, often lasting millions of years.

capable volcano or volcanic field. A capable volcano or volcanic field is defined in this Safety Guide as one that has a credible likelihood of undergoing future activity and producing hazardous phenomena, including noneruptive phenomena, during the lifetime of the nuclear installation and which may potentially affect the site. As discussed in Sections 3 and 5, hierarchical criteria for determining whether a volcano or volcanic field is capable are: (i) evidence of contemporary volcanic activity or active near surface processes associated with magmatism for any volcano in the geographical region, (ii) Holocene volcanic activity for any volcano within the geographical region and (iii) some evidence of potential for activity, such as recurrence rates of volcanism greater than 10–7 per year, and the

火山岩塊 (block) 火山性の岩石の角張った破片。平均直径は 64mm 未満であり、高温状態で移動しても変形することはない。火山岩塊は地表に当たる衝撃で砕けることがある。テフラと火山弾の項も参照。

火山岩塊火山灰流 (block and ash flow) 火砕流の一種で、通常、高密度の溶岩ブロック (直径は m あるいは 10 センチ単位) がより細かい粒子の中に混じるように濃縮されている。この流れは溶岩ドームや粘性の高い溶岩流の先端が重力で崩壊して生成される。火砕流を参照。

火山弾 (bomb) 平均直径 64mm 以上の火砕物 (火山岩の破片) であり、火山噴火に伴い放出され、輸送される間に変形するには十分な高温である。テフラと火山岩塊も参照。

カルデラ (caldera) 大きな盆地状のくぼ地で、通常、直径は 1 キロ以上ある。形成される方法には幾通りかある。

(i) 表層近くのマグマ溜まりから、広範囲に灰を降らせ、火砕流をもたらす強力な噴火活動により、マグマが除去される場合。

(ii) 表層近くのマグマ溜まりからマグマが後退し、上載岩盤が崩落した場合。

(iii) 火山体の不安定性により、火山が扇状に崩壊した場合。

多数のカルデラが長期の休止、火山性の活動史、さまざまな規模の噴火を経験している。それらの地質学的歴史は非常に長いことが多く、しばしば何百万年にもなる。

考慮すべき火山、火山地域 (capable volcano or volcanic field) 火山、火山地域は本安全指針では原子力施設の運転期間中に火山活動を経験する可能性があり、サイトに影響を及ぼしうる災害的な現象 (爆発を伴わない現象も含む) をもたらす可能性のあるものと定義する。3 章と 5 章で議論したように、火山、火山地域が考慮すべきであるかどうか判定する階層的な基準は、以下となる。

(i) 地域内の全火山における、現在の火山活動の証拠又はマグマ運動に関連する表層付近の活動

(ii) 地域内の全火山における完新世の火山活動

(iii) 潜在的活動 (例えば年間に 10⁻⁷ 以上の確率で火山活動が発生する可能性) あるいはサイト周辺に影響を及ぼす災害的な現象を生み出す可能性を示す証拠

cinder cone. Also termed scoria cone, this is a small conical volcano, typically less than one kilometre in diameter and no more than a few hundred metres high, formed by the accumulation of lava fragments as scoria and bombs around the vent, which have fallen back after a moderate explosion. Often, they are surrounded by lava flows from the same vent. Cinder cones commonly grow rapidly and quickly attain their maximum size. They occur in groups, often on the flanks of large composite volcanoes and shield volcanoes. Examples of cinder cones include Parícutín, Mexico, and Cerro Negro, Nicaragua.

clast (volcanic). An individual solid volcanic fragment or grain that formed as a result of mechanical disruption of the magma or fracturing of rocks from the conduit or the host rock surrounding the magma reservoir as a result of eruptive processes.

composite volcano. Also termed stratovolcano, this is a large volcano, typically more than one kilometre in diameter at its base and greater than a few hundred metres in height, principally formed from eruption of tephra and lava from a central vent. The history of some composite volcanoes can involve the collapse of the summit to form a caldera or the sliding of an entire flank of the volcano to form a large debris avalanche. Episodes of eruption followed by years or centuries (or even longer) of inactivity can recur at composite volcanoes over hundreds of thousands of years. Examples of composite volcanoes include Mount Vesuvius, Italy, and Mount St. Helens, United States of America.

conduit. The pathway along which magma reaches the surface at a volcano. Conduit geometries vary from tabular dykes to near cylindrical subvertical tubes, but complex geometries are possible. The opening of the conduit at the surface is a vent. See also vent.

co-pyroclastic-flow plumes. Any buoyant ash plume generated from elutriation above pyroclastic flows, irrespective of how the pyroclastic flow originally formed. Co-pyroclastic-flow plumes can detach from the underlying pyroclastic flow and travel over hills and into adjacent valleys, creating a separate hazard from the main pyroclastic flow. The style of volcanic eruption influences the volumes of ash and condensed volatiles produced, their dispersion, the concentrations of particles and gases in the plume, the ratio of particles to gases and the transport time of the ash in the plume.

噴石丘 (cinder cone) (スコリア丘とも) 小さな円錐形の火山で、通常直径 1 km 以下、高さ数百 m 以下。火山形成時の爆発に伴い、溶岩の破片が火山周辺にスコリアや火山弾として積み重なって形成される。しばしば同じ火山から噴出した溶岩流に囲まれている。噴石丘は一般に急速に生成され、短期間で最大サイズに到達する。それらは群れをなして発生し、また、しばしば、大きな成層火山や盾状火山の中腹に出来る。噴石丘の例は、パリクティン山 (メキシコ)、セロ・ネグロ山 (ニカラグア) が挙げられる。

クラスト (火山) (clast (volcanic)) 個々の固体の火山破片又は粒で、マグマの機械的な崩壊や、噴火プロセスの結果、火道の岩あるいはマグマだまりの母岩が破碎されて出来る。

成層火山 (composite volcano (stratovolcano ととも)) 大きな火山で、一般的に麓の直径 1 km 以上、高さが数百 m 以上のもの。原則として、中央の火山からのテフラと溶岩の噴火によって形成される。いくつかの成層火山の歴史は、山頂の崩壊によるカルデラの形成や、中腹全体の地滑りによる大きな岩層なだれからなる。成層火山では、数年から数世紀 (またはより長い) 休止期間の後の噴火史が、数十万年にわたって繰り返されている。成層火山の例は、ヴェスヴィオ山 (イタリア)、セントヘレンズ山 (アメリカ) である。

火道 (conduit) 火山において、マグマが地表に出る通り道である。火道地形は平らな岩脈状の割れ目から、ほぼ垂直の円柱形状まで多岐にわたるが、複合地形となることが多い。火道が地表に出た場所が火山口である。火山口も参照。

副火砕流ブルーム (co-pyroclastic-flow plumes) 火砕流の上方に比重の違いによって形成される浮揚性の灰のブルームを指し、もともと火砕流がどのように形成されたかは関係しない。副火砕流ブルームは、下方の火砕流と引き離され、丘や周辺の谷を越えて漂うことがあり、火砕流とは別のハザードをもたらす。火山噴火の様式は、生成される灰と凝縮した揮発性物質の量、それらの分散、ブルーム中のガスと粒子の濃縮、ガスに対する粒子の割合、ブルーム中の粒子の輸送速度に影響する。

英 文	和 訳
crust. The outermost solid layer of the Earth. It represents less than 1% of the Earth's volume and varies in thickness from approximately 6 km beneath the oceans to approximately 60 km beneath mountain chains.	地殻 (crust) 地球の一番外側の固体層。地球全体の体積の 1 %未満であり、海洋下部の約 6 km から、山脈下部の 60km までさまざまな厚さがある。
dacite. An igneous rock intermediate in composition between andesite and rhyolite. These rocks contain 63–68 wt% SiO₂. Owing to their high SiO₂ content, dacitic magmas can have high viscosity and erupt explosively, generating such eruptive phenomena as pyroclastic flows. Generally, dacitic magmas erupt at temperatures of 800–1000°C.	デイサイト (dacite) 火成岩の一種で安山岩と流紋岩の中間の組成を示す。デイサイトの SiO₂ は 63～68wt% である。SiO₂ の含有量が多いため、デイサイトマグマは粘性が高く、爆発的に噴出し、火砕流のような噴出性の現象をもたらし、一般的にデイサイトマグマは 800℃～1000℃で噴出する。
debris avalanche. A large mass (of rock debris resulting from the disintegration of a volcanic edifice by partial or complete collapse that slides and/or flows downslope under the force of gravity at high speeds (200 km/h). Debris avalanches often excavate a significant part of the hydrothermally altered portions of a volcanic edifice. Debris avalanches contain a mixture of small fragments of millimetre size to large blocks hundreds of metres in size that move as coherent entities, deforming with flow and eventually fragmenting into smaller particles. They can contain significant quantities of water or mix with inflowing water bodies to transform into more mobile mudflows. Edifice collapse can generate large explosive depressurization of the shallow depth magma–hydrothermal system. See also blast.	岩屑なだれ (debris avalanche) 火山体の部分的崩壊や完全崩壊によって引き起こされ、斜面を重力により高速 (200km/h) で滑る／流れる大量の岩屑。岩屑なだれはしばしば、火山体に熱水的に顕著に変化した部分を掘り起こすことがある。岩屑なだれは、mm オーダーの小さい破片から火山を形成していた何百mもの大きな破片のブロックまでを含み、それらは一定の流れとなって移動し、流れによって変形し、最終的にはより小さな破片に砕ける。岩屑なだれは相当量の水を含む、あるいは水域に流入すること、より流動性のある泥流に変化する。山体崩壊は、浅深度のマグマ–熱水系の大きな爆発的減圧を引き起こす。(プラストを参照)。
debris flow. A dense, slurry-like mixture of rock debris and water moving rapidly downslope on volcanoes due to gravity and formed from a variety of processes, often with sufficiently high energy to sweep away buildings and trees along the flow path. They can form from water saturated landslide blocks, or when water from heavy rain, rapid snowmelt or a crater lake, or from water squeezed out of the edifice, remobilizes ash-rich volcanic deposits. Remobilization of fragmental material by heavy rain can occur years after an eruption. Debris flows exhibit significant yield strength and usually contain more than 60% sediment by volume. See also hyperconcentrated flow and lahar.	土石流 (debris flow) 高密度な、スラリー状の岩屑と水との混合物であり、重力により斜面を急速に下る。生成原因は多様であり、しばしば流路上の建造物や樹木をなぎ払うほどの高いエネルギーをもつ。土石流は水の染み込んだ地滑り区画、大雨、急速な融雪、クレター湖、山体からの水の染みだし、灰分の多い火山堆積物の再移動などによって発生する。大雨による破片物質の再移動は、噴火後何年か、あるいはより長期間たった後に発生することがある。土石流は、顕著な降伏強度を持ち、通常 60%vol 以上の堆積物を含んでいる。超高濃度流と火山泥流の項も参照。
degassing. The process by which volatiles that are dissolved in magma form a separate gas phase and escape from the magma. Slow degassing forms bubbles in lava flows, whereas rapid degassing can fragment the magma explosively and form pyroclasts. Efficiency of degassing from magma before reaching the surface is one control on the explosivity of eruptions.	脱ガス (degassing) マグマに溶け込んでいる揮発物が、気体となって分離しマグマから放出されることをいう。ゆるやかな脱ガスは、溶岩流の泡となるが、急速な脱ガスはマグマを爆発的に断片化し、火砕物を形成する。地表に到達する前のマグマからの脱ガスの効率、噴火の爆発性を制約する要素の一つである。

英 文	和 訳
dome. A steep sided pile of rock formed as a result of an extrusion of lava. Domes are frequently, but not exclusively, composed of andesitic or rhyolitic magma. Domes usually form when the magma is very viscous or extrudes slowly, thereby accumulating at the vent rather than flowing away. Pyroclastic flows can be generated by collapse of lava domes. Recent eruptions producing lava domes include the recent eruptions of the Soufrière Hills volcano, Montserrat, the 1991–1995 eruption of Mount Unzen, Japan, and the 1994 and 2006 eruptions of Mount Merapi, Indonesia.	溶岩ドーム (dome) 溶岩の押し出しによって形成される急勾配な岩の山。溶岩ドームはしばしば (但し例外はあるが) 安山岩や流紋岩のマグマからなっている。溶岩ドームは通常、マグマの粘性が非常に高いか、ゆっくり押し出される際にできるため、流れ去るよりも火口に堆積することが多い。溶岩ドームの崩壊により火砕流が発生することもある。最近の溶岩ドームを形成した噴火は、スープリエールヒルズ山 (セントセラト) の直近の噴火、雲仙普賢岳 (日本) の 1991~1995 年の噴火、メラピ山 (インドネシア) の 1994 年と 2006 年の噴火がある。
dyke. A sheet-like, often vertical or near vertical body of igneous rock resulting from solidification of magma filled fractures that cut across pre-existing rocks and geological structures. Dykes that transport magma from deep reservoirs towards the surface can become arrested at shallow depths in the crust, feed the volcanic conduit or erupt themselves at the surface. Shallow depth emplacement of dykes can cause ground surface deformation or trigger the collapse of volcano slopes.	岩脈 (dyke) 板状の、しばしば鉛直あるいはほぼ鉛直形状の火成岩で、既存の岩石や地層の亀裂に貫入したマグマが凝固して出来る。岩脈すなわち深いマグマ溜まりから表層に運ばれるマグマは、浅い深度の地殻で阻まれ、火道に流れ込むか、地表から噴出する。地表近くの岩脈は、地表の変形を引き起こしたり、火山の斜面崩壊の引き金となったりする。
effusive eruption. A volcanic eruption in which coherent magma is extruded from the vent to form lava flows. See also explosive eruption and extrusive flow.	噴出噴火 (effusive eruption) 一様なマグマが火口から溶岩となって押し出される噴火。爆発的噴火と噴出流の項も参照。
elutriation. A process in which finer volcanic ash particles are separated from coarser ones by the action of a current of gas, air or water, carrying lighter particles upwards while heavier particles sink.	エルトリエーション (elutriation) ガス、空気、水の流れにより細かい灰が粗い灰から分離される現象で、軽い粒は上方に、重い粒は下方に運ばれる。
eruption (volcanic). Any process on a volcano or at a volcanic vent that involves the explosive ejection of fragmental material, the effusion of molten lava, the sudden release of large quantities of volcanic gases (e.g. CO₂) or a process by which buried regions of the volcanic systems from various depths, such as the hydrothermal system, are brought to the surface during edifice collapse. Eruptions are magmatic if newly solidified magma is present in the eruptive products and non-magmatic (phreatic) if they involve only recycled rock fragments. Eruptions can occur over widely varying timescales (seconds to years). See also phreatic eruption, phreatomagmatic eruption, plinian eruption, strombolian eruption, Hawaiian-style eruption, vulcanian eruption, explosive eruption, effusive eruption.	噴火 (火山) (eruption (volcanic)) 火山や火口で、破碎された物質の爆発的な噴出、溶岩の流出、大量のガス (例: 二酸化炭素) の突然の放出を伴うプロセス全体を指す。あるいは、火山系の地域をさまざまな深さで埋めるプロセス (山体崩壊中に熱水系が地表に運ばれるような) を指す。もし噴火生成物に新しく固まったマグマが含まれる場合、噴火はマグマ的であり、火山の岩片しか含んでいない場合は、非マグマ的 (地下水的) となる。噴火は広いタイムスケール (秒から年) で発生する。地下水噴火、地下マグマ噴火、プリニー式噴火、ストロンボリ式噴火、ハワイ式噴火、ブルカノ式噴火、爆発的噴火、噴出噴火の項も参照。

eruption cloud. A cloud of tephra and gases that forms above a volcanic vent during explosive volcanic eruptions. The vertical pillar of tephra and gases that forms during most explosive activity is referred to as an eruption column, or strong plume, and includes a momentum dominated region and a buoyancy dominated region. Eruption clouds may rapidly spread laterally under gravity, especially in the most energetic eruptions, and may drift thousands of kilometres downwind. Large eruption clouds can encircle the Earth within days.

eruptive fissure. A linear fracture on the Earth's surface through which lavas, pyroclasts and gases are erupted.

explosive eruption. A volcanic eruption in which gas bubble expansion or explosive interaction between magma and water is rapid enough to break the magma apart (i.e. fragment the magma). Explosive eruptions also occur when pressurized hydrothermal gases and superheated fluids suddenly break the host rock in a volcanic edifice. Pyroclastic flows, falls and volcano generated missiles are characteristic of explosive eruptions. See also phreatic eruption.

extrusive flow. A non-explosive (i.e. non-pyroclastic) eruption of magma from a volcanic conduit that forms lava flows and domes.

fire fountain. A mildly explosive, pressure driven eruption of gas and magma having sufficient force to propel fragments of magma hundreds of metres above the vent. Fire fountain eruptions often feed lava flows and are characteristic of Hawaiian-style basaltic eruptions.

fumarole. A fracture or small vent (typically centimetres in diameter) from which volcanic gases or water vapour is emitted at elevated temperatures. Fumarole temperatures vary from only slightly above ambient temperature to magmatic temperatures. A solfatara denotes a fumarole that emits sulphurous gases (SO₂, H₂S). A mofette denotes a fumarole that emits mainly CO₂ at temperatures below the boiling point of water.

geological record. Also termed the stratigraphic record, this is the sequence of rock layers in a vertical section of the Earth. The oldest layers occur at the base of the section, with successively younger layers occurring higher in the sequence. Geologists use the stratigraphic record to assign relative ages to deposits. Volcanic stratigraphy is often complex, with deposits characterized by having relatively limited lateral extent, exhibiting rapid

噴火雲 (eruption cloud) 火山の火口の上に噴火中に形成される、テフラとガスの雲。最も爆発的な噴火活動の間に形成されるテフラとガスの鉛直な柱は、噴煙柱、あるいはストロングブルームと呼ばれ、運動量支配領域と浮力支配領域を持っている。噴火雲は重力による拡散のため水平方向に急速に広がり、特に最も活動的な噴火では、風下数千 km に漂うこともある。大きな噴火雲は数日で地球を取り囲むことがある。

噴火亀裂 (eruptive fissure) 地表面の直線的な破孔であり、溶岩、岩屑、ガスがそこを通過して噴出する。

爆発的噴火 (explosive eruption) 気泡の膨張、またはマグマと水との爆発的な相互作用が、マグマを分離させる（つまり、マグマを断片化する）のに十分なほど急速な噴火のこと。爆発的な噴火はまた、加圧された熱水ガスや、過熱された流体が急激に火山体の母岩を破壊することによって生じる（地下水噴火の項も参照）。岩屑なだれ、岩屑降下、火山から発生する飛来物は、爆発的噴火に特徴的な現象である。

噴出流 (extrusive flow) 火道からのマグマの爆発的でない（従って、火砕流のない）噴火で、溶岩流と溶岩ドームを形成する。

火の泉 (fire fountain) 中程度に爆発的な、マグマとガスの圧力による噴火であり、マグマの小片を火口上方に数百 m 吹き飛ばすだけの速度を持つ。火の泉の噴火は、しばしば溶岩流を生成し、ハワイの玄武岩質噴火に特徴される。

噴気孔 (fumarole) 高温の火山性ガスや水蒸気が放出される小さな孔（一般に直径数 cm）。噴気孔の温度は周囲の温度から僅かに高いものから、マグマの温度まで多様である。硫気孔は亜硫酸ガス（二酸化硫黄、硫化水素）を放出する噴気孔を意味する。炭酸気孔は水の沸点以下の温度で主に二酸化炭素を放出する噴気孔を意味する。

地質学的記録 (geologic record) (層序学的記録とも) 地球の鉛直断面の岩石層の順序。一番古い層が断面の底辺に堆積し、若い層が順番に断面の最上部にむけて積み重なっていく。地質学者は地質学的記録を、堆積物の相対的な年代を特定するために使用する。火山の地層学は、しばしば複雑であり、堆積物は相対的に限定された水平方向の広がりを持ち、層相の変化は急速で、谷の侵食と再堆積が繰り返されている。

facies changes and having undergone multiple episodes of erosion and refilling of valleys.

Hawaiian-style eruption. A type of volcanic eruption characterized by the eruption of pyroclasts to heights greater than 500 m above the vent, often from fissure or vent systems that may extend for 1 km or more. The effusion rate and lava volume from Hawaiian-style eruptions can be quite large when integrated across an entire fissure zone and these eruptions can be sustained for a long time, commonly longer than a year.

Holocene. The most recent epoch of the geological Quaternary period, defined as the interval from 10 000 years before present to the present.

Holocene volcano. A volcano or volcanic field that has erupted within the past 10 000 years (the Holocene). Reported historical activity and radiometric dating of volcanic products provide the most direct evidence of volcanic eruptions within the Holocene. In some circumstances, especially in the early stages of site investigation, the exact age of the most recent volcanic products may be difficult to determine. In such circumstances, additional evidence may be used to judge a volcano as Holocene, following the methods used by the Smithsonian Institution¹. Such evidence includes:

- (i) volcanic products overlying latest Pleistocene glacial debris,
- (ii) youthful volcanic landforms in areas where erosion would be expected to be pronounced after many thousands of years, (iii) vegetation patterns that would have been far richer if the volcanic substrates were more than a few thousand (or hundred) years old and (iv) ongoing fumarolic degassing, or the presence of a hydrothermal system at the volcano. In addition, some volcanoes may be classified as Holocene(?) volcanoes. Volcanoes are denoted as Holocene(?) volcanoes when authorities disagree over the existence of Holocene volcanism, or when the original investigator expresses uncertainty about the most reliable age estimate of the most recent eruption. Under these circumstances, it is reasonable to consider such volcanoes as Holocene for the purposes of this Safety Guide and to proceed with the hazard assessment.

hot spot. A location at the Earth's surface that has experienced volcanism as a result of a thermal or compositional perturbation or plume in the Earth's

ハワイ式噴火 (Hawaiian-style eruption) 火山噴火の一種で、火砕物の火口上部への飛翔高さは500m以上であり、断裂や火口系がしばしば1 km 以上となるのが特徴的。ハワイ式噴火の噴出エリア全域における流出割合と溶岩の体積は極めて大きく、噴出は通常1年以上の長期間にわたり継続する。

完新世 (Holocene) 地質時代の第四紀のなかで最も新しい地質時代区分で、1万年前から現代までの期間と定義される。

完新世火山 (Holocene volcano) 過去1万年以内 (完新世) に噴出した火山及び火山地域。歴史上の噴火記録や、火山生成物の放射性年代測定は、最も直接的な完新世の噴火の証拠を示す。いくつかの事情で、特にサイト調査の初期段階では、最も新しい火山生成物の正確な年代を定めるのは難しい。この場合、以下の追加の証拠が、スミソニアン協会の使用する手法 (注1) に従い、火山が完新世かどうか検討するために使用される。

- (i) 最も新しい更新世氷河堆積物の上にある火山生成物
 - (ii) 何千年もの間、浸食が起っていたに相違ない、エリアの中の若々しい火山地形
 - (iii) 火山性の地表 (基質) が数千年 (あるいは数百年) 以上古ければより繁殖している苔の植生パターン
 - (iv) 進行中の噴気性ガス放出や、火山における熱水系の存在
- 加えて、いくつかの火山は「完新世火山?」に分類される。火山は、当局が完新世の火山活動の存在に同意しない場合や、最初の調査者が最近の噴火の最も信頼できる年代測定に関して不確実性があると表明した場合に、「完新世火山?」と表示される。本安全指針の目的に照らすと、これらの火山も「完新世火山」と捉え、ハザード評価を進めることが適切である。

ホットスポット (hot spot) 熱的又は組成的な摂動や、マントルブルームの結果として、火山活動を経験したことのある地表の場所。多くのホットスポットがプレート内地域に位置しており、しばしば火山活動の場となるプレート境界からは遠く離れている。

注1：シムキン、シーバート「世界の火山第2版」1994年、Geoscience Press

¹ See SIMKIN, T., SIEBERT, L., Volcanoes of the World, 2nd Ed., Geoscience Press (1994).

mantle. Many hot spots are located in intraplate tectonic settings, far from the tectonic plate boundaries that often host volcanism.

hyperconcentrated flow. A flowing mixture of sediment and water, with intermediate characteristics and sediment concentration with respect to muddy stream flow and debris flow. Hyperconcentrated flow has no appreciable yield strength and typically contains 20–60 vol% sediment.

igneous. Term used to describe characteristics pertaining to rocks that have formed from magma. Extruded igneous (volcanic) rocks are typically divided into four basic types according to their SiO₂ content: basalt, andesite, dacite and rhyolite.

ignimbrite. Also termed ash flow tuff, this is a pyroclastic flow deposit that consists mainly of pumice and ash. Ignimbrites can range in appearance from loose accumulations of pyroclasts to strongly compacted (i.e. welded) deposits resembling bricks.

jökulhlaup. A flood or debris flow generated by the melting of ice or snow from a glacier in response to subglacial volcanic eruptions.

lahar. A debris flow or hyperconcentrated flow originating on a volcano and composed mainly of volcanic fragments. See also debris flow.

lapilli. A type of pyroclast (i.e. fragment of volcanic rock) greater than 2 mm and less than 64 mm in mean diameter. Lapilli are sometimes formed in eruption columns by the accretion of ash sized particles, termed accretionary lapilli. See also tephra.

lava. Molten rock erupted at the Earth's surface by a volcano or by an eruptive fissure as an effusive dome or flow. When first emitted from a volcanic vent, lava is a liquid at very high temperature, typically 700–1200°C. Lava flows vary by many orders of magnitude in their viscosities and this strongly influences their flow properties.

magma. A mixture of molten rock (800–1200°C) which can also contain suspended crystals, dissolved gases and sometimes gas bubbles. Magma forms by the melting of existing rock in the Earth's crust or mantle. Magma composition and gas content generally control the style of eruption at a volcano. In general terms, hotter, less viscous magma (e.g. basalt) allows gas to separate more efficiently, limiting the explosivity of the eruption,

超高濃度流 (hyperconcentrated flow) 堆積物と水の流動混合物で、濁流と土石流に対する中間的な性質と土砂濃度を有している。超高濃度流は明確な降伏強度を持たず、通常、体積にして 20～60%の堆積物を含んでいる。

火成の (igneous) マグマから形成された岩石に関する特徴を示す形容詞。火成岩は一般的に、SiO₂の含有量に応じて4つの基本タイプに分類される。それは玄武岩、安山岩、デイサイト、流紋岩である。

溶結凝灰岩 (灰石とも) (ignimbrite (ash flow tuff)) 火砕流は、主に軽石と灰から成る堆積物を生成する。溶結凝灰岩は火砕物のまばらな堆積から、レンガの様に強く圧縮された (すなわち密着した) 堆積物の範囲で観察される。

ヨークルフロイプ (jökulhlaup)

氷河下の火山噴火により氷河の水や雪が溶けて発生する洪水、土石流。

火山泥流 (lahar) 火山起源の、主に火山性砕石物から形成される土石流、超高濃度流。土石流の項も参照。

火山れき (lapilli) 火砕物 (火山岩の破片) の一種で、平均直径 2mm～64mm ものを指す。火山れきは時折、噴煙柱で灰の大きな粒が結合・成長して形成されることがあり火山豆石と呼ばれる。テフラの項も参照。

溶岩 (lava) 火山・噴火性亀裂によって地表から噴火する溶けた岩石で、噴出性溶岩ドームや溶岩流を作る。最初に火口から出た溶岩は、液状で非常に高温 (通常 700～1200°C) である。溶岩流はその粘性によって流動特性に強い影響を与え、様々な様相を呈している。

マグマ (magma) 溶けた岩石 (800～1200°C) の混合物で、浮遊した結晶、溶解したガス、場合によっては気泡等を含むことがある。マグマは地殻またはマントルの岩石が溶けてできる。通常、マグマの組成や含有ガスが火山噴火の様式を制約する。おおまかに言えば、高温で、粘性の低いマグマ (すなわち玄武岩) は、ガスをより効率的に分離し、爆発的な噴火を制限するのに対し、低温で、粘性の高いマグマ (安山岩、デイサイト、流紋岩) は、噴火の間激しく断片化される傾向がある。

while cooler, more viscous magma (e.g. andesite, dacite and rhyolite) is more likely to fragment violently during eruption.

magma chamber. An underground reservoir that is filled with magma and tapped during a volcanic eruption. Magma in these reservoirs can partially crystallize or mix with new magma, which can change the eruption composition or hazard over time.

mantle. A solid layer of the Earth, approximately 2300 km thick, that is located between the crust and the core. Basaltic magma forms from the partial melting of mantle rocks.

monogenetic volcano. A volcano resulting from one or numerous eruptions over a period of months to perhaps several centuries. After this period of activity ends, the monogenetic volcano will not erupt again. Most cinder cone volcanoes are thought to be monogenetic. See also volcanic field.

mudflow. A general term for a flow of water and earth material possessing a high degree of fluidity in its movement. See also debris flow and lahar.

phreatic eruption. A type of eruption caused by rapid volume expansion of water, or water vaporization, in the subsurface, without magma being erupted at the surface. Phreatic eruptions are usually steam explosions that occur when hot water is suddenly depressurized, but may occasionally be non-explosive expulsions of pressurized or heated aquifer waters and/or hydrothermal fluids at a volcano. Phreatic eruptions are common where rising magma interacts with groundwater, commonly in the interior of a volcano edifice. Although commonly small in scale, phreatic eruptions may be followed by larger scale phreatomagmatic or magmatic eruptions. Phreatic eruptions may generate debris flows and hot lahars. See also phreatomagmatic eruption, debris flow and lahar.

phreatomagmatic eruption. A type of explosive eruption that involves subsurface interaction of magma and water and which produces explosive mixtures of rock, steam and magma that often form pyroclastic flows and surges. Surtseyan and phreato-plinian eruptions are phreatomagmatic eruptions involving the interaction of hot pyroclasts and water, as the magma is erupted from the vent into bodies of water. See also eruption and phreatic eruption.

マグマ溜まり (**magma chamber**) マグマで満たされた地下の空洞で、火山噴火の間マグマを供給する。これらの空洞内のマグマは、部分的に結晶化し、新しいマグマと混合し、噴火の様相・ハザード継続時間を変更する。

マントル (**mantle**) 地殻と核の間にある地球の固体で、厚さはおよそ 2300km。玄武岩のマグマはマントルの岩が部分的に溶けてできる。

単成火山 (**monogenetic volcano**) 1 ヶ月以内〜何世紀の間、1 回〜無数の噴火によって形成された火山。単成火山は、この活動期が終わった後は噴火しない。ほとんどの噴石丘火山は単成火山と想定される。火山地帯の項も参照。

泥流 (**mud flow**) 高い流動性を持つ、水と土壌物質の流れに対する一般的な用語。土石流と火山泥流の項も参照。

水蒸気爆発 (**phreatic eruption**) 地下にある水の急激な体積膨張または気化に伴う噴火の一種で、マグマの地表への噴出はない。水蒸気爆発は通常、高温の水が急速に減圧されて起こる水蒸気爆発であるが、陡折、加圧又は熱せられた帯水層、及び/又は火山における熱水流の、非爆発的放出の形態を取ることもある。水蒸気爆発はマグマが上昇し地下水と相互作用する場所で発生し、一般に火山体の内部で起こる。一般に規模は小さいものの、水蒸気爆発は、より大きなマグマ水蒸気爆発あるいはマグマ噴火が続いて発生することがある。水蒸気爆発は土石流と高温火山泥流を発生させることもある。

マグマ水蒸気爆発 (**phreatomagmatic eruption**) 噴火の一種で、地下のマグマと水の相互作用により発生し、岩石、蒸気、マグマの爆発的な混合物を生成し、しばしば火砕流やサージを伴う。スルツェイ式噴火と水蒸気ブリーニャー式噴火はマグマが水中に噴出したことに伴う、高温の火砕物と水の相互作用によるマグマ水蒸気噴火である。(噴火と水蒸気爆発の項も参照。)

plinian eruption. An explosive pyroclastic eruption characterized by a sustained eruption column that generally rises to altitudes of 10–50 km. Plinian eruptions may produce thick tephra fallout over areas of 500–5000 km² and/or pyroclastic flows and surges that travel tens of kilometres from the volcano. The 1991 eruption of Mount Pinatubo, Philippines, is a recent plinian eruption.

Pliocene. The Pliocene is an interval of geological time extending from 5.3 to 2.6 million years ago.

polygenetic volcano. A volcano built up from multiple eruptions, some of which follow long periods of inactivity. As many polygenetic volcanoes can remain active for 10 000–1 000 000 years and have long periods of repose, it may be very difficult to distinguish between extinction and inactivity at a Quaternary polygenetic volcano. Most composite volcanoes are polygenetic.

pumice. A light coloured, extremely vesicular (typically 60–80% volume void fraction) pyroclastic rock that is formed in explosive eruptions and which floats on water. Pumice often forms from rhyolitic or dacitic magma and occasionally from andesitic magma. It resembles solidified foam as it consists of a network of gas bubbles 'frozen' amidst fragile volcanic glass and minerals. During an explosive volcanic eruption, volcanic gases dissolved in the liquid portion of magma expand rapidly to create a foam. In the case of pumice, the liquid part of the foam solidifies quickly to glass, trapping the vesicles.

pyroclast. A particle of any size or composition produced from a volcanic eruption, generally in explosive eruptions.

pyroclastic density current. A generic term for a mixture of volcanic gas, pyroclasts and rocks that flows across the ground as a result of a volcanic eruption (i.e. pyroclastic flows, surges and blasts).

pyroclastic flow. A ground hugging concentrated flow of pyroclasts and hot gas. These hot flows generally form by collapse of an eruption column or a dome and flow rapidly downslope. Pyroclastic flows can transport large clasts (blocks, bombs) and generally follow topographic gradients. The temperature within a pyroclastic flow is often greater than 500°C. Velocities depend on how and where the flow originates and the slopes over which it

プリニー式噴火 (plinian eruption) 爆発的な火砕物噴火で、一般に地表 10～50km の高度に及ぶ噴煙柱の継続が特徴的である。プリニー式噴火は周辺 500～5000 平方 km の地域に厚い降下火砕物をもたらし、かつ／または火山から何十キロも移動する火砕流とサーージを作り出す。1991 年のフィリピンにおけるピナツボ山の噴火は、現代におけるプリニー式噴火の一つであった。

鮮新世 (Pliocene) 鮮新世は、530 万年前から 260 万年前までの期間の地質学的年代である。

複成火山 (polygenetic volcano) 複数の噴火で形成された火山で、そのうちいくつかの噴火は長い休止期間を挟むこともある。多くの複成火山は 1 万年から 100 万年の活動期と、長い休止期間を有しているため、第四紀の複成火山の活動休止と活動終息を見極めるのは極めて困難である。ほとんどの成層火山は複成火山である。

軽石 (pumice) 明るい色の、爆発的な噴火で生成される極度に多孔質（一般に孔の割合が体積で 60～80%）の火山砕屑物で、水に浮く。軽石はしばしば流紋岩やデイサイトのマグマから作られるが、時折安山岩のマグマからも作られる。軽石は、気泡の中に壊れやすい火山ガラスや鉱物の組織で構成されているため、固化した泡に似ている。爆発的な火山噴火の際には、マグマの液体部に溶けた火山ガスが急速に膨張し泡となる。軽石の場合は、泡の液体部分が急速に凝固し気泡を囲むガラスになる。

火砕物 (pyroclast) 火山の噴火で生成される砕片のことで、サイズや組成は関係しない。一般的には爆発的な噴火で生成される。

火砕物密度流 (pyroclastic density current) 火山噴火の結果、麓に流れ下る、火山ガス、火砕物、岩石の混合物の総称（すなわち、火砕流、火砕サーージ、ブラスト）。

火砕流 (pyroclastic flow) 地表を這う火砕物と高温ガスの高濃度流。これらの高温流は一般に噴煙柱や溶岩ドームの崩壊によって形成され、高速で斜面を流れ下る。火砕流は大きな破片（火山岩塊や火山弾）を運ぶことが可能で、通常地形的な勾配に沿って流れる。火砕流内部の温度は、500℃を超えることもある。速度は火砕流の発生原因と発生場所、流れ下る斜面に依存するが、一般に 50km/h 以上、時に 100km/h 以上となる。

travels, but are typically greater than 50 km/h and sometimes exceed 100 km/h.

pyroclastic surge. A type of pyroclastic flow that is relatively dilute, of high velocity and more turbulent than most pyroclastic flows. Pyroclastic surges can form from the collapse of domes and eruption columns, and can also separate and move away from a denser pyroclastic flow. Pyroclastic surges are less constrained by topographic gradients than most pyroclastic flows.

repose interval. The time elapsing between successive volcanic eruptions at the same volcano. Ideally, the repose interval would be the time elapsing from the end of one volcanic eruption to the beginning of the next. However, eruption duration can rarely be determined. Therefore, the repose interval is the best estimate of the time elapsing from one eruption to the next.

rhyolite. A type of light coloured volcanic rock that often forms glassy domes or pyroclastic deposits. Rhyolite composition has in excess of 68 wt% SiO₂, which gives it a high viscosity and traps gases in the magma. Thus, rhyolite eruptions are often explosive and form pyroclastic deposits, although lavas and domes can occur. Rhyolite is generally erupted at temperatures of 700–850°C. Obsidian is a volcanic glass of rhyolitic composition.

scoria. A dark, vesicular pyroclastic rock that is formed in basaltic to andesitic eruptions. Unlike pumice, scoria sinks in water. Scoria forms cinder cones and can occur at fire fountain eruptions. See also fire fountain.

shield volcano. A volcano resulting from Hawaiian-style eruptions that tend to produce a broad, low angle cone, e.g. Kilauea volcano, USA, which resembles an ancient warrior's shield in profile.

sill. A sheet-like igneous intrusion, often horizontal or subhorizontal, that is concordant with pre-existing geological structures. See also dyke.

strombolian eruption. A type of volcanic eruption that is intermediate in explosivity between fire fountain and plinian eruptions. Magma is less fragmented than in a plinian eruption and gas is often released in coalesced slugs rather than in a continuous jet. Strombolian eruptions are commonly discrete events, punctuated by intervals of relative quiescence lasting from a few seconds to several hours. Strombolian eruptions, usually basaltic to andesitic in composition, form weak eruption columns that rarely exceed 5 km in height, and the volume of lava flows is generally equal to, or

火砕サージ (pyroclastic surge) 一般的な火砕流よりも比較的低濃度で高速、乱流的な火砕流。火砕サージは溶岩ドームや噴煙柱の崩壊によって生成され、高濃度の火砕流とは分離して流れる。火砕サージはほとんどの火砕流よりも地形的な勾配による制約を受けない。

休止期間 (repose interval) 同一火山において噴火と噴火の間に経過した時間のこと。理想的には、休止期間はある噴火の終わってから次の噴火が始まるまでに経過した時間である。しかし、噴火の持続期間が明確に分かることは稀である。従って、休止期間は一つの噴火から次の噴火までに経過する時間の最善の目安である。

流紋岩 (rhyolite) 薄い色の火山岩の一種で、ガラス質の溶岩ドームや火砕物から生成される。流紋岩は 68wt %以上の SiO₂ を含んでいるため、粘性が高く、マグマの中にガスを閉じ込めることがある。従って、流紋岩の噴火は、しばしば爆発的であり、火砕堆積物を生成するが、溶岩や溶岩ドームも発生しうる。流紋岩は通常 700～850°Cで噴火する。流紋岩の化学組成で構成された火山ガラスが黒曜石である。

スコリア (scoria) 暗色で、多孔質の火山砕屑物であり、玄武岩から安山岩までの噴火で生成される。

軽石と違い、スコリアは水に沈む。スコリアは噴石丘を形作り、火の泉の噴火をもたすことがある。

(火の泉の項も参照。)

楯状火山 (shield volcano) ハワイ式噴火により、広く、傾斜の小さい円錐形の火山。例として、アメリカのハワイにあるキラウエア火山がある。古代の戦士の楯を横にしたような形に似ている。

貫入岩床 (sill) 既に存在する地質構造に沿って発生する板状の火成岩の貫入。しばしば、水平か、ほぼ水平である。(岩脈の項も参照。)

ストロンボリ式噴火 (strombolian eruption) 火山噴火のタイプの一つで、プリニー式噴火と火の泉の中間の爆発規模を持つ。マグマはプリニー式噴火よりも断片化する割合が少なく、火山ガスはしばしば連続的なジェットではなく一体となったスラッグ弾となって放出される。噴火は通常不連続に発生し、数秒～数時間の休止期間により何度も中断する。ストロンボリ式噴火は、通常玄武岩質から安山岩質の組成であり、弱い噴煙柱(めったに地上 5 km に達しない)を形成する。溶岩流の体積は火山砕屑物の体積と同等以上である。この噴火は、イタリアのストロンボリ火山、エルサルバドルのイサルコ火山の特徴である。

英 文	和 訳
greater than, the volume of pyroclastic rocks. Such eruptions are characteristic of Stromboli volcano, Italy, and Izalco volcano, El Salvador. tephra. Any type of pyroclastic material erupted from a volcano, regardless of size, shape, composition or method of formation, although the term is most often used for pyroclasts that fall, rather than flow. thermokarst. Process of creating a complex and variegated land surface by melting of permafrost ice and subsequent movement of soils. vent. An opening in the Earth's crust where volcanic products (e.g. lava, solid rock, gas, liquid water) is erupted. Vents may be either circular structures (i.e. craters) or elongate fissures or fractures, or small cracks in the ground. volatile. A dissolved component in a magma at high pressure and temperature which forms a separate gas phase at lower pressures and temperatures. The most common volatile in magma is water, followed by CO₂ and SO₂. Rapid expansion of gas released from magma in the volcanic conduit expels fragments of magma (lava, pumice, scoria, ash, etc.) explosively from the vent into the air. volcanic activity. A feature or process on a volcano or within a volcanic field that is linked to the presence of magma and heat gases emanating from the Earth and their interaction with nearby crustal rocks or groundwater. Volcanic activity includes seismicity, fumarolic activity, high rates of heat flow, emission of ground gases, thermal springs, deformation, ground cracks, pressurization of aquifers and ash venting. The term includes volcanic unrest and volcanic eruption. volcanic earthquake. A seismic event caused by, and directly associated with, processes in a volcano. Volcanic earthquakes and seismic activity come in many forms and types (e.g. volcano-tectonic earthquakes, long period events, hybrid events, tremors, swarms) before, during and after eruptions, and their characteristics and patterns are used to infer what is happening within the volcano at different times. Seismic monitoring is the most fundamental method used for forecasting the onset of an eruption and for assessing the potential for volcanic eruption. Increasing seismicity, continuous tremor, shift in hypocentres towards the surface with time and the occurrence of shallow long period (or low frequency) events imply a high possibility that the onset of eruption is very close. Tremors can also continue through eruptions.	テフラ (tephra) 火山から噴出される火砕物を指し、大きさ、形状、組成、生成方法を問わない。しかしながらこの用語は、流れる火砕物よりも降下する火砕物に対してよく使われる。 サーモカルスト (thermokarst) 永久凍土の溶解と、その後に続く土壌の移動により、複雑で多様化した地表を形成するプロセス。 火口 (vent) 火山生成物 (マグマ、固形の岩、ガス、液状水) を噴出する地殻の穴。火口は、円形 (すなわちクレアター) 、細長い亀裂、裂け目、小さな隙間の形状を取る。 揮発性物質 (volatile) 高圧、高温下でマグマに溶けた物質。低い圧力、温度では分離して気体となる。マグマで最もありふれた揮発性物質は水であり、次いで二酸化炭素、二酸化硫黄である。火道においてマグマから放出されたガスの急激な膨張は、マグマの断片 (溶岩、軽石、スコリア、灰など) を火口から空気に爆発的に噴出させる。 火山活動 (volcanic activity) 地球から放出されるマグマと熱ガスの存在とそれらと地殻傍の岩石や地下水との相互作用が関係した火山・火山地域の特徴またはプロセス。火山活動は、地震の頻度、噴気活動、熱流の増加、地中ガスの噴出、温泉、地殻変動、地溝、帯水層の加圧、灰の噴出を含む。また、この用語は火山性の活動と火山噴火を含む。 火山性地震 (volcanic earthquake) 火山で発生しているプロセスに直接関係して発生する地震。火山性地震と地震活動は、噴火の前後、最中にさまざまな形態をとる (すなわち、火山構造性地震、長期地震、複合地震、微震、群発地震)。また、それらの特徴とパターンは異なる時間にどのような事象が火山内部で発生しているか推論するために用いられる。地震活動の観測は噴火の始まりを予測し、噴火の可能性を評価するための最も基本的な手法である。地震頻度の増加、微震の継続、時間毎の震源の表層への移動、浅深度の長周期地震 (あるいは低周波地震) の発生は、噴火の開始が極めて近いことを意味している。微震もまた噴火を示し、噴火の期間中継続することがある。

volcanic event. Any occurrence, or sequence of phenomena, associated with volcanoes that may give rise to volcanic hazards. Volcanic events may be formally defined as part of a hazard assessment in order to provide meaningful definition of repose intervals and hazards. Volcanic events may include eruptions and will typically include the occurrence of non-eruptive hazards, such as landslides.

volcanic field (also termed volcano group). Any spatial cluster of volcanoes.

Volcanic fields range in size from a few volcanoes to over 1000 volcanoes. Volcanic fields may consist of monogenetic volcanoes (e.g. the Cima volcanic field, USA), or both polygenetic and monogenetic volcanoes (e.g. the Kluchevskoy volcano group, Russian Federation).

volcanic hazard. A volcanic process or phenomenon that can have an adverse effect on people or infrastructure. In the more restricted context of risk assessment, it is the probability of occurrence, within a specific period of time in a given area, of a potentially damaging volcanic event of a given intensity value (e.g. thickness of tephra fallout).

volcanic unrest. Variation in the nature, intensity, spatio-temporal distribution and chronology of geophysical, geochemical and geological activity and phenomena as observed and recorded on a volcano, from a baseline level of activity known for this volcano or for other similar volcanoes outside periods of eruptive activity. Volcanic unrest can be precursory and can culminate in an eruption, although in most cases, rising magma or pressurized fluids that cause unrest do not breach the surface and erupt.

volcano. A naturally occurring vent at the Earth's surface through which lava, solid rock and associated gases and liquid water can erupt. A volcano is also the edifice that is built by the explosive or effusive accumulation of these products over time.

volcano explosivity index (VEI). A classification scheme for the explosive magnitude of an eruption, primarily defined in terms of the total volume of erupted tephra, but in some cases the height of the eruption column and the duration of continuous explosive eruption are used to determine the VEI value. The VEI varies from VEI 0 (non-explosive eruption, less than 10^4 m³ tephra ejected) to VEI 8 (largest explosive volcanic eruption identified in the geological record, more than 10^{12} m³ tephra ejected). A unit of increasing explosivity on the VEI scale generally corresponds to an increase in volume of erupted tephra by a factor of ten. The only exception

火山事象 (volcanic event) 火山ハザードの可能性を上昇させる、火山に関する全ての現象の発生又は一連の事象を指す。火山事象は正式には休止期間とハザードの意味を定義するために、ハザード評価の一部として定義することができる。火山事象は噴火を含み、一般的には(地滑りのような)爆発的でないハザードも含む。

火山地域 (火山群とも) (volcanic field (volcano group)) 火山の空間的な集団のこと。火山地域の大きさは、数個の火山から千個以上の火山までさまざまである。火山地域は、単成火山からなるもの (例: アメリカ、カリフォルニア州のシーマ火山地帯) と複成火山と単成火山からなるもの (例: ロシア、カムチャツカ地方のクリュチェフスカヤ火山群) がある。

火山ハザード (volcanic hazard) 公衆とインフラに悪影響を及ぼす火山のプロセス又は現象。リスク評価のより限定された文脈では、特定の地域、特定の期間における、所定の強度の潜在的に損害を被りうる火山事象の発生確率 (例えば降下火砕物の厚さ)。

火山性の活動 (volcanic unrest) 噴火活動していない期間のこの火山あるいは他の類似火山で分かっている基本的なレベルの活動として観察・記録された、性質、強度、時空間的分布上の変化及び地球物理学、地球化学的、地質学的な活動と現象の年代学上の変化。火山性の活動は、ある噴火の前触れとなり、噴火中に最高潮となるが、ほとんどのケースでは上昇するマグマや加圧流体が地表を突き破り噴出することはない。

火山 (volcano) 地表に自然発生する開口で、マグマ、固形の岩、付随するガスと液状水が噴出する。一つの火山はまた、それらの爆発的、噴出的な物質の堆積が時間と共に作り上げた構造物でもある。

火山爆発指数 (Volcano explosivity index (VEI)) 噴火の爆発規模をクラス分けするための枠組みの一つで、主に噴出するテフラの体積をもとに定められるが、噴煙柱の高さと爆発的な噴火の連続する期間が用いられることもある。VEI クラスは VEI0 (爆発を伴わない噴火、テフラ放出量 10^4 m³ 以下) から VEI8 (地質学的記録に残る最大の爆発的噴火、テフラ放出量 10^{12} m³ 以上) まで分かっている。VEI クラスが1つ上昇すると噴出テフラ物の量は10倍となる。VEI0 から VEI1 への上昇のみ、噴出テフラの量が100倍となることを表している。

英 文	和 訳
is the transition from VEI 0 to VEI 1, which represents an increase in the volume of tephra erupted by a factor of one hundred. volcano generated missile. A pyroclastic particle, often of large size, that is forcefully ejected, follows a high angle trajectory from the vent to the surface as a result of explosive activity at the vent and falls under gravity. Any material, such as rock fragments, trees and structural debris, that is rapidly transported by flow phenomena with significant momentum and that may impact structures, causing considerable damage, even beyond the extent of the main flow itself.	火山から発生する飛来物 (volcano generated missile) しばしば大きいサイズの火砕物の粒で、火山の爆発的な活動のため火山から地表に高い角度で排出され重力によって落下する。火山性噴出物は、岩の破片、樹木、構造を持つデブリのような、他の放出物を含む。それらは、激しい勢いで流動現象によって急速に運搬され、元の流れの広がりを超えて、構造物に強い衝撃を与え、相当なダメージを引き起こす
volcano monitoring. Geophysical, geochemical and geological monitoring to evaluate the potential for a forthcoming eruption, forecast the onset of eruption, understand an ongoing eruption and evaluate the potential volcanic hazards arising from an eruption. Instruments such as seismometers, global positioning system receivers, tiltmeters, magnetometers, gas sensors, cameras and/or related instruments are installed on and around the volcano to evaluate volcanic activity, identify volcanic unrest and evaluate the potential for volcanic eruption. Remote sensing using satellites is sometimes very effective in monitoring temporal thermal, topographical and geological changes in volcanoes.	火山観測 (volcano monitoring) 地球物理学的、地球科学的、地質学的な観測のこと。来るべき噴火の可能性を評価したり、噴火の始まりを予測したり、現在進行中の噴火を理解したり、ある噴火からの火山ハザードの可能性を見積もるために実施される。振動計、GPS 受信機、傾斜計、磁気計、傾斜計、カメラその他の関連する機器が、火山の周辺に、火山活動を評価し、火山性活動を区分し、火山の噴火の可能性を見積もるために設置される。人工衛星を使ったリモートセンシングは、火山の熱的、地形的、地質的な変化をモニタリングするのに非常に効果的である。
vulcanian eruption. A type of volcanic eruption characterized by discrete explosions, which produces shock waves and pyroclastic eruptions. Vulcanian eruptions typically occur when volcanic gas accumulates in a solidifying shallow conduit or dome, which pressurizes the magma to the point of brittle failure. Andesitic and dacitic magmas are most often associated with vulcanian eruptions. Examples of recent vulcanian eruptions include Sakurajima volcano, Japan, Soufrière Hills volcano, Montserrat, and Colima volcano, Mexico.	ブルカノ式噴火 (vulcanian eruption) 個別の噴火が特徴の火山噴火の一種で、衝撃波と火砕物噴火をもたらす。ブルカノ式噴火は一般に、火山ガスが凝固の浅い火道や溶岩ドームに蓄積した状態で、脆性破壊をおこす点にマグマが加圧されたときに発生する。安山岩とデイサイトのマグマがブルカノ式噴火に伴うことが多い。近年のブルカノ式噴火を起した火山としては、日本の桜島、セントセラトのスーフリエールヒルズ山、メキシコのコリマ山がある。

Paulikas, V.; Malaysia: Hassan, H.; Mexico: Aguirre Gomez, J.; *Morocco: Bouanani, A.; Netherlands: van der Shaaf, M.; *New Zealand: Cotterill, A.; Norway: Lystad, R.; Pakistan: Mannan, A.; Panama: Fernandez, M.A.; Poland: Skrzeczkowska, M.; Romania: Rodna, A.; Russian Federation: Polyakov, Y.; Slovakia: Homola, J.; Slovenia: Kroselj, V.; South Africa: Mosoeunyane, S.; Spain: Lopez de la Higuera, J.; Sweden: Hedberg, B.; Switzerland: Altorfer, F.; *Thailand: Supakit, P.; *Turkey: Unver, O.; Ukraine: Kondratyev, S.; United Kingdom: Chandler, S.; United States of America: Camper, L.; European Nuclear Installation Safety Standards-FORATOM: Nocture, P.; European Commission: Necheva, C.; IAEA: Siraky, G. (Coordinator); International Organization for Standardization: James, M.; International Source Suppliers and Producers Association: Fasten, W.; OECD Nuclear Energy Agency: Riotte, H.; World Nuclear Association: Saint-Pierre, S.

Paulikas, V.; Malaysia: Hassan, H.; Mexico: Aguirre Gomez, J.; *Morocco: Bouanani, A.; Netherlands: van der Shaaf, M.; *New Zealand: Cotterill, A.; Norway: Lystad, R.; Pakistan: Mannan, A.; Panama: Fernandez, M.A.; Poland: Skrzeczkowska, M.; Romania: Rodna, A.; Russian Federation: Polyakov, Y.; Slovakia: Homola, J.; Slovenia: Kroselj, V.; South Africa: Mosoeunyane, S.; Spain: Lopez de la Higuera, J.; Sweden: Hedberg, B.; Switzerland: Altorfer, F.; *Thailand: Supakit, P.; *Turkey: Unver, O.; Ukraine: Kondratyev, S.; United Kingdom: Chandler, S.; United States of America: Camper, L.; European Nuclear Installation Safety Standards-FORATOM: Nocture, P.; European Commission: Necheva, C.; IAEA: Siraky, G. (Coordinator); International Organization for Standardization: James, M.; International Source Suppliers and Producers Association: Fasten, W.; OECD Nuclear Energy Agency: Riotte, H.; World Nuclear Association: Saint-Pierre, S.

CONTRIBUTORS TO DRAFTING AND REVIEW

Aspinall, W.P. Aspinall & Associates, United Kingdom

Chigama, A. International Atomic Energy Agency

Coman, O. International Atomic Energy Agency

Connor, C.B. University of South Florida, United States of America

Godoy, A. International Atomic Energy Agency

Hill, B.E. Nuclear Regulatory Commission,
United States of America

Jaupart, C. Institut de Physique du Globe de Paris, France

Komorowski, J.C. Institut de Physique du Globe de Paris, France

Nakada, S. University of Tokyo, Japan

Newhall, C. Earth Observatory of Singapore, Singapore

Pasquaré, G. University of Milan, Italy

Sparks, R.S.J. University of Bristol, United Kingdom

Uchiyama, Y. Japan Nuclear Energy Safety Organization, Japan

起案と評価への貢献者

Aspinall, W.P. Aspinall & Associates, United Kingdom

Chigama, A. International Atomic Energy Agency

Coman, O. International Atomic Energy Agency

Connor, C.B. University of South Florida, United States of America

Godoy, A. International Atomic Energy Agency

Hill, B.E. Nuclear Regulatory Commission,
United States of America

Jaupart, C. Institut de Physique du Globe de Paris, France

Komorowski, J.C. Institut de Physique du Globe de Paris, France

Nakada, S. University of Tokyo, Japan

Newhall, C. Earth Observatory of Singapore, Singapore

Pasquaré, G. University of Milan, Italy

Sparks, R.S.J. University of Bristol, United Kingdom

Uchiyama, Y. Japan Nuclear Energy Safety Organization, Japan

余 白

余 白

BODIES FOR THE ENDORSEMENT OF IAEA SAFETY STANDARDS

An asterisk denotes a corresponding member. Corresponding members receive drafts for comment and other documentation but they do not generally participate in meetings. Two asterisks denote an alternate.

Commission on Safety Standards

Argentina: Gonzalez, A.J.; Australia: Larsson, C.-M.; Belgium: Samain, J.-P.; Brazil: Salati de Almeida, I.P.; Canada: Jammal, R.; China: Jun Yu; Czech Republic: Drabova, D. (Chairperson); Finland: Reiman, L.; France: Lacoste, A.-C.; Germany: Vorwerk, A.; India: Bajaj, S.S.; Israel: Markovits, M.; Japan: Nakamura, K.; Korea, Republic of: Yun, C.-H.; Lithuania: Demcenko, M.; Malaysia: Raja Adnan, R.; Morocco: Soufi, I.; Pakistan: Habib, M.A.; Russian Federation: Bezzubtsev, V.S.; South Africa: Phillips, C.O.; Spain: Gurgui Ferrer, A.; Sweden: Lund, I.; United Arab Emirates: Travers, W.; United Kingdom: Weightman, M.; United States of America: Weber, M.; IAEA: Delattre, D. (Coordinator); Advisory Group on Nuclear Security: Raja Adnan, A.; European Commission: Faross, P.; International Commission on Radiological Protection: Cousins, C.; International Nuclear Safety Group: Meserve, R.; OECD Nuclear Energy Agency: Yoshimura, U.; Safety Standards Committee Chairpersons: Feron, F. (NUSSC); Massera, G. (RASSC); Brach, E.W. (TRANSSC); Williams, G. (WASSC).

Nuclear Safety Standards Committee

*Algeria: Merrouche, D.; Argentina: Waldman, R.; Australia: Ward, J.; Austria: Sholly, S.; Belgium: De Boeck, B.; Brazil: Gromann, A.; Bulgaria: Vlahov, N.; Canada: Rzentkowski, G.; China: Li, Jingxi; Croatia: Medacovic, S.; Cyprus: Demetriades, P.; Czech Republic: Vesely, J.; Egypt: Ibrahim, M.; Finland: Jarvinen, M.-L.; France: Feron, F. (Chairperson); Germany: Weidenbruck, K.; Greece: Nikolaou, G.; Hungary: Adorjan, F.; India: Vaze, K.; Indonesia: Antariksawan, A.; Iran, Islamic Republic of: Mataji Kojouri, N.; Israel: Harari, R.; Italy: Matteucci, L.; Japan: Maki, S.; Korea, Republic of: Lee, S.; Libya: Abulagassem, O.; Lithuania: Slepavicius, S.; Malaysia: Azlina Mohammed Jais; Mexico: Carrera, A.; Morocco: Soufi, I.; Pakistan: Mansoor, F.; Panama: Gibbs, E.; Poland: Kielbasa, W.; Romania: Ciurea-Ercau, C.; Russian Federation: Stroganov, A.; Slovakia:

IAEA安全基準の承認のための会議体

1つのアスタリスクは、コメントやその他の文書のドラフトは受け取るが、通常は会議に参加しない委員を示し、2つのアスタリスクは代替委員を示している。

安全基準委員会

Argentina: Gonzalez, A.J.; Australia: Larsson, C.-M.; Belgium: Samain, J.-P.; Brazil: Salati de Almeida, I.P.; Canada: Jammal, R.; China: Jun Yu; Czech Republic: Drabova, D. (Chairperson); Finland: Reiman, L.; France: Lacoste, A.-C.; Germany: Vorwerk, A.; India: Bajaj, S.S.; Israel: Markovits, M.; Japan: Nakamura, K.; Korea, Republic of: Yun, C.-H.; Lithuania: Demcenko, M.; Malaysia: Raja Adnan, R.; Morocco: Soufi, I.; Pakistan: Habib, M.A.; Russian Federation: Bezzubtsev, V.S.; South Africa: Phillips, C.O.; Spain: Gurgui Ferrer, A.; Sweden: Lund, I.; United Arab Emirates: Travers, W.; United Kingdom: Weightman, M.; United States of America: Weber, M.; IAEA: Delattre, D. (Coordinator); Advisory Group on Nuclear Security: Raja Adnan, A.; European Commission: Faross, P.; International Commission on Radiological Protection: Cousins, C.; International Nuclear Safety Group: Meserve, R.; OECD Nuclear Energy Agency: Yoshimura, U.; Safety Standards Committee Chairpersons: Feron, F. (NUSSC); Massera, G. (RASSC); Brach, E.W. (TRANSSC); Williams, G. (WASSC).

原子力安全基準委員会

*Algeria: Merrouche, D.; Argentina: Waldman, R.; Australia: Ward, J.; Austria: Sholly, S.; Belgium: De Boeck, B.; Brazil: Gromann, A.; Bulgaria: Vlahov, N.; Canada: Rzentkowski, G.; China: Li, Jingxi; Croatia: Medacovic, S.; Cyprus: Demetriades, P.; Czech Republic: Vesely, J.; Egypt: Ibrahim, M.; Finland: Jarvinen, M.-L.; France: Feron, F. (Chairperson); Germany: Weidenbruck, K.; Greece: Nikolaou, G.; Hungary: Adorjan, F.; India: Vaze, K.; Indonesia: Antariksawan, A.; Iran, Islamic Republic of: Mataji Kojouri, N.; Israel: Harari, R.; Italy: Matteucci, L.; Japan: Maki, S.; Korea, Republic of: Lee, S.; Libya: Abulagassem, O.; Lithuania: Slepavicius, S.; Malaysia: Azlina Mohammed Jais; Mexico: Carrera, A.; Morocco: Soufi, I.; Pakistan: Mansoor, F.; Panama: Gibbs, E.; Poland: Kielbasa, W.; Romania: Ciurea-Ercau, C.; Russian Federation: Stroganov, A.; Slovakia:

Uhrik, P.; Slovenia: Vojnovic, D.; Spain: Zarzuela, J.; Sweden: Hallman, A.; Switzerland: Flury, P.; *Thailand: Siriprom, L.; *Turkey: Kilinc, B.; Ukraine: Gromov, G.; United Arab Emirates: Grant, I.; United Kingdom: Hart, A.; United States of America: Case, M.; European Commission: Vigne, S.; ENISS: Bassing, G.; IAEA: Svab, M. (Coordinator); International Electrotechnical Commission: Bouard, J.-P.; International Organization for Standardization: Sevestre, B.; OECD Nuclear Energy Agency: Reig, J.; World Nuclear Association: Frohmel, T.

Radiation Safety Standards Committee

*Algeria: Chelbani, S.; Argentina: Massera, G. (Chairperson), **Gregory, B.; Australia: Topfer, H.; *Austria: Karg, V.; Belgium: van Bladel, L.; Brazil: Da Hora Marechal, M.H.; *Bulgaria: Katzarska, L.; Canada: Thompson, P.; China: Yang, H.; Croatia: Kralik, I.; *Cyprus: Demetriades, P.; Czech Republic: Petrova, K.; Denmark: Ohlenschlager, M.; Egypt: Hamed Osman, A.; Finland: Markkanen, M.; France: Godet, J.-L.; Germany: Helming, M.; *Greece: Kamenopoulou, V.; Hungary: Koblinger, L.; India: Sharma, D.N.; *Indonesia: Rusdian, Y.; Iran, Islamic Republic of: Kardan, M.R.; Ireland: Pollard, D.; Israel: Koch, J.; Italy: Bologna, L.; Japan: Nagata, M.; Korea, Republic of: Rho, S.; Libya: El-Fawaris, B.; Lithuania: Mastauskas, A.; Malaysia: Mishar, M.; Mexico: Delgado Guardado, J.; Netherlands: Vermeulen, T.; New Zealand: Cotterill, A.; Norway: Saxebol, G.; Pakistan: Nasim, B.; Panama: Preoteasa, A.; Peru: Ramirez Quijada, R.; Poland: Merta, A.; Romania: Preoteasa, A.; Russian Federation: Mikhlenko, S.; Slovakia: Jurina, V.; Slovenia: Sutej, T.; South Africa: Tselane, T.J.; Spain: Alvarez, C.; Sweden: Hagg, A.; Switzerland: Leupin, A.; *Thailand: Suntarapai, P.; *Turkey: Celik, P.; Ukraine: Pavlenko, T.; United Arab Emirates: Loy, J.; United Kingdom: Temple, C.; United States of America: McDermott, B.; European Commission: Janssens, A.; European Nuclear Installation Safety Standards: Lorenz, B.; Food and Agriculture Organization of the United Nations: Byron, D.; IAEA: Colgan, P.A. (Coordinator); International Commission on Radiological Protection: Clement, C.; International Labour Office: Niu, S.; International Radiation Protection Association: Kase, K.; International Organization for Standardization: Rannou, A.; International Source Suppliers and Producers Association: Fasten, W.; OECD Nuclear Energy Agency: Lazo, T.E.; Pan American Health Organization: Jimenez, P.; United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation: Crick, M.; World Health Organization: Peres, M.; World Nuclear Association: Saint-Pierre, S.

Uhrik, P.; Slovenia: Vojnovic, D.; Spain: Zarzuela, J.; Sweden: Hallman, A.; Switzerland: Flury, P.; *Thailand: Siriprom, L.; *Turkey: Kilinc, B.; Ukraine: Gromov, G.; United Arab Emirates: Grant, I.; United Kingdom: Hart, A.; United States of America: Case, M.; European Commission: Vigne, S.; ENISS: Bassing, G.; IAEA: Svab, M. (Coordinator); International Electrotechnical Commission: Bouard, J.-P.; International Organization for Standardization: Sevestre, B.; OECD Nuclear Energy Agency: Reig, J.; World Nuclear Association: Frohmel, T.

放射線安全基準委員会

*Algeria: Chelbani, S.; Argentina: Massera, G. (Chairperson), **Gregory, B.; Australia: Topfer, H.; *Austria: Karg, V.; Belgium: van Bladel, L.; Brazil: Da Hora Marechal, M.H.; *Bulgaria: Katzarska, L.; Canada: Thompson, P.; China: Yang, H.; Croatia: Kralik, I.; *Cyprus: Demetriades, P.; Czech Republic: Petrova, K.; Denmark: Ohlenschlager, M.; Egypt: Hamed Osman, A.; Finland: Markkanen, M.; France: Godet, J.-L.; Germany: Helming, M.; *Greece: Kamenopoulou, V.; Hungary: Koblinger, L.; India: Sharma, D.N.; *Indonesia: Rusdian, Y.; Iran, Islamic Republic of: Kardan, M.R.; Ireland: Pollard, D.; Israel: Koch, J.; Italy: Bologna, L.; Japan: Nagata, M.; Korea, Republic of: Rho, S.; Libya: El-Fawaris, B.; Lithuania: Mastauskas, A.; Malaysia: Mishar, M.; Mexico: Delgado Guardado, J.; Netherlands: Vermeulen, T.; New Zealand: Cotterill, A.; Norway: Saxebol, G.; Pakistan: Nasim, B.; Panama: Preoteasa, A.; Peru: Ramirez Quijada, R.; Poland: Merta, A.; Romania: Preoteasa, A.; Russian Federation: Mikhlenko, S.; Slovakia: Jurina, V.; Slovenia: Sutej, T.; South Africa: Tselane, T.J.; Spain: Alvarez, C.; Sweden: Hagg, A.; Switzerland: Leupin, A.; *Thailand: Suntarapai, P.; *Turkey: Celik, P.; Ukraine: Pavlenko, T.; United Arab Emirates: Loy, J.; United Kingdom: Temple, C.; United States of America: McDermott, B.; European Commission: Janssens, A.; European Nuclear Installation Safety Standards: Lorenz, B.; Food and Agriculture Organization of the United Nations: Byron, D.; IAEA: Colgan, P.A. (Coordinator); International Commission on Radiological Protection: Clement, C.; International Labour Office: Niu, S.; International Radiation Protection Association: Kase, K.; International Organization for Standardization: Rannou, A.; International Source Suppliers and Producers Association: Fasten, W.; OECD Nuclear Energy Agency: Lazo, T.E.; Pan American Health Organization: Jimenez, P.; United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation: Crick, M.; World Health Organization: Peres, M.; World Nuclear Association: Saint-Pierre, S.

Transport Safety Standards Committee

Algeria: Herrati, A.; Argentina: Lopez Vietri, J.; Australia: Sarkar, S.; Austria: Kirchnawy, F.; Belgium: Lourtie, G.; Brazil: Xavier, A.M.; *Bulgaria: Bakalova, A.; Canada: Faille, S.; China: Xiaoqing, Li; Croatia: Ilijas, B.; *Cyprus: Demetriades, P.; Czech Republic: Duchacek, V.; Egypt: Nada, A.; Finland: Lahkola, A.; France: Kueny, L., **Sert, G.; Germany: Richartz, M., **Nitsche, F.; *Greece: Vogiatzi, S.; Hungary: Safar, J.; India: Singh, K.; *Indonesia: Sinaga, D.; Iran, Islamic Republic of: Eshraghi, A.; Ireland: Duffy, J.; Italy: Trivelloni, S.; Japan: Kojima, S.; Korea, Republic of: Cho, D.; Lithuania: Statkus, V.; Malaysia: Mohd Sobari, M.P.; **Hussain, Z.A.; Mexico: Bautista Arteaga, D.M.; **Delgado Guardado, J.L.; *Morocco: Allach, A.; Netherlands: Ter Morshuizen, M.; *New Zealand: Ardouin, C.; Norway: Hornkjøl, S.; Pakistan: Muneer, M.; Panama: Francis, D.; *Poland: Dziubiak, T.; Russian Federation: Buchelnikov, A., **Ershov, V., **Anikin, A.; South Africa: Mohajane, P., **Hinrichsen, P., **Mmutle, N.; Spain: Zamora, F.; Sweden: Zika, H.; Switzerland: Koch, F.; *Thailand: Jerachanchai, S.; *Turkey: Turkes Yilmaz, S.; Ukraine: Kutuzova, T.; United Kingdom: Sallit, G.; United States of America: Boyle, R.W.; **Brach, E.W. (Chairperson); **Weaver, D.; European Commission: Binet, J.; IAEA: Stewart, J.T. (Coordinator); International Air Transport Association: Brennan, D.; International Civil Aviation Organization: Rooney, K.; International Organization for Standardization: Malesys, P.; International Source Supplies and Producers Association: Miller, J.J.; United Nations Economic Commission for Europe: Kervella, O.; Universal Postal Union: Bowers, D.G.; World Nuclear Association: Gorlin, S.; World Nuclear Transport Institute: Neau, H.J.

Waste Safety Standards Committee

*Algeria: Ghezal, A.; Argentina: Lee Gonzales, H.A.; Australia: Williams, G. (Chairperson); *Austria: Fischer, H.; Belgium: Blommaert, W.; Brazil: De Souza Ferreira, R.; *Bulgaria: Alexiev, A.; Canada: Howard, D.; China: Zhimin Qu; Croatia: Trifunovic, D.; Cyprus: Demetriades, P.; Czech Republic: Lietava, P.; Denmark: Hannesson, H.; Egypt: Abdel-Geleel, M.; Finland: Hutri, K.; France: Evrard, L.; Germany: Gotz, C.; *Greece: Mitrakos, D.; Hungary: Molnar, B.; India: Rana, D.; *Indonesia: Wisnubroto, D.; Iran, Islamic Republic of: Sebtahmadi, S.; Iraq: Al-Janabi, M.; Israel: Torgeman, S.; Italy: Dionisi, M.; Japan: Shiozaki, M.; Korea, Republic of: Park, W.-J.; Libya: Gremida, K.; Lithuania:

輸送安全基準委員会

Algeria: Herrati, A.; Argentina: Lopez Vietri, J.; Australia: Sarkar, S.; Austria: Kirchnawy, F.; Belgium: Lourtie, G.; Brazil: Xavier, A.M.; *Bulgaria: Bakalova, A.; Canada: Faille, S.; China: Xiaoqing, Li; Croatia: Ilijas, B.; *Cyprus: Demetriades, P.; Czech Republic: Duchacek, V.; Egypt: Nada, A.; Finland: Lahkola, A.; France: Kueny, L., **Sert, G.; Germany: Richartz, M., **Nitsche, F.; *Greece: Vogiatzi, S.; Hungary: Safar, J.; India: Singh, K.; *Indonesia: Sinaga, D.; Iran, Islamic Republic of: Eshraghi, A.; Ireland: Duffy, J.; Italy: Trivelloni, S.; Japan: Kojima, S.; Korea, Republic of: Cho, D.; Lithuania: Statkus, V.; Malaysia: Mohd Sobari, M.P.; **Hussain, Z.A.; Mexico: Bautista Arteaga, D.M.; **Delgado Guardado, J.L.; *Morocco: Allach, A.; Netherlands: Ter Morshuizen, M.; *New Zealand: Ardouin, C.; Norway: Hornkjøl, S.; Pakistan: Muneer, M.; Panama: Francis, D.; *Poland: Dziubiak, T.; Russian Federation: Buchelnikov, A., **Ershov, V., **Anikin, A.; South Africa: Mohajane, P., **Hinrichsen, P., **Mmutle, N.; Spain: Zamora, F.; Sweden: Zika, H.; Switzerland: Koch, F.; *Thailand: Jerachanchai, S.; *Turkey: Turkes Yilmaz, S.; Ukraine: Kutuzova, T.; United Kingdom: Sallit, G.; United States of America: Boyle, R.W.; **Brach, E.W. (Chairperson); **Weaver, D.; European Commission: Binet, J.; IAEA: Stewart, J.T. (Coordinator); International Air Transport Association: Brennan, D.; International Civil Aviation Organization: Rooney, K.; International Organization for Standardization: Malesys, P.; International Source Supplies and Producers Association: Miller, J.J.; United Nations Economic Commission for Europe: Kervella, O.; Universal Postal Union: Bowers, D.G.; World Nuclear Association: Gorlin, S.; World Nuclear Transport Institute: Neau, H.J.

廃棄物安全基準委員会