

火山防災マップ作成指針

別冊資料

内閣府（防災担当）、消防庁、国土交通省水管理・国土保全局砂防部、気象庁

目 次

1. 過去の火山災害	1
2. 災害要因実績図の作成	6
3. 火山ハザードマップ作成に利用可能なシミュレーションプログラム	10
4. 火山ハザードマップ作成手法	12
4-1 特定の火山災害要因に関する火山ハザードマップの作成手法	12
4-1-1 大きな噴石	12
4-1-2 小さな噴石、火山灰（降下火砕物）	16
4-1-3 溶岩流	30
4-1-4 泥流・土石流	45
4-1-5 津波	67
4-2 予測される災害を累積した火山ハザードマップの作成手法	73
4-2-1 大きな噴石	73
4-2-2 小さな噴石、火山灰（降下火砕物）	76
4-2-3 溶岩流	79
4-2-4 火砕流（火砕サージを含む）	81
4-2-5 岩屑なだれ	89
4-2-6 泥流・土石流	91
4-2-7 地すべり、斜面崩壊	93
4-2-8 火山ガス・噴煙	94
5.用語の解説	96
6. 参考文献	99

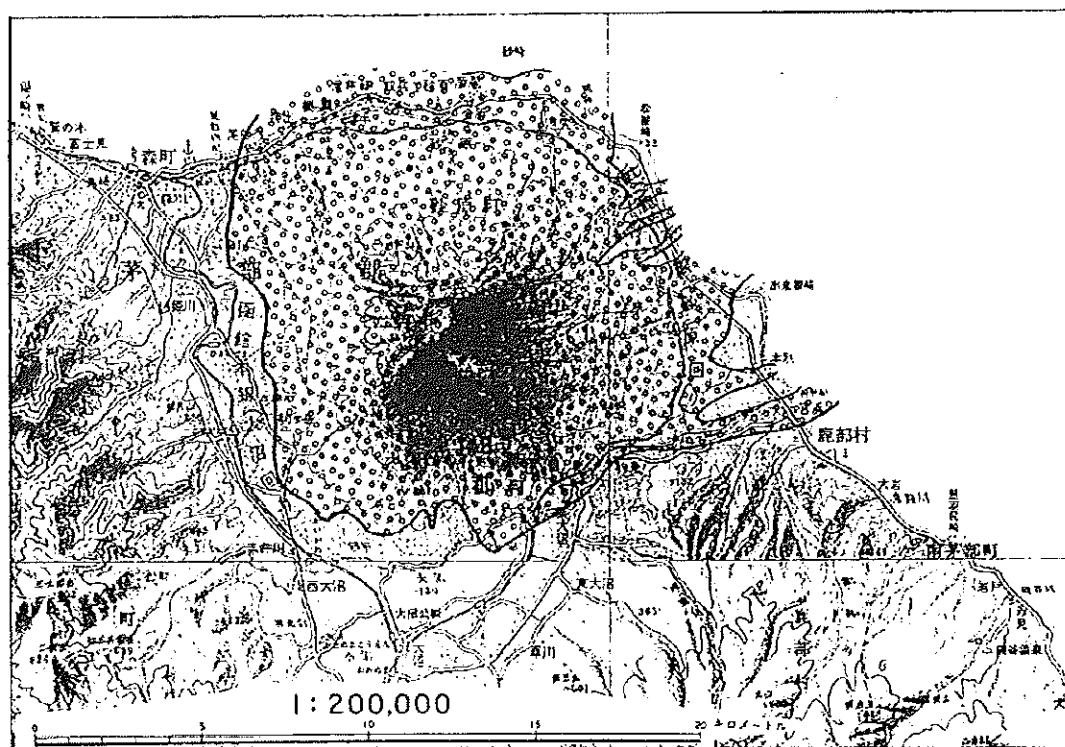
4-2-4 火砕流（火砕サージを含む）

1) 予測する災害の状況

ここでは、岩塊や細粒物質を多く含む固気混相流が火口から高速で火山斜面を流下していく火砕流、火砕サージの影響が及ぶ範囲の予測を行う。火砕流、火砕サージの影響が及ぶ範囲では、壊滅的な被害が生じるので、危険性の高い火山災害要因の一つである。

2) 今までの研究例

火砕流の影響が及ぶ範囲の予測を行っている例は、我が国では、勝井の指導による北海道駒ヶ岳の例と Aramaki (1984) による浅間山の例がある。北海道駒ヶ岳では、過去の火砕流の災害要因実績図、火口からの距離及び山麓部の地形から火砕流の影響が及ぶ範囲を想定している（図4-31）。浅間山では、過去の火砕流や岩屑なだれの堆積物の分布状況、流下方向を規定する山頂付近の地形から、火砕流と岩屑なだれの影響が及ぶ範囲を設定している（図4-32）。浅間山の場合、山頂付近の地形からみて、火砕流は北側に流れやすい。噴火規模が大きくなると火口の周囲はすべて危険になり、到達する範囲も北側と南側にかなり広がってくる。海外の事例も、ほぼこれらの手法や考え方に近いものである。



国土地理院発行縮尺 20 万分の 1 地勢図室蘭を使用

図4-31 北海道駒ヶ岳の火砕流の火山ハザードマップ（駒ヶ岳火山防災協議会、1983）

●●● 火砕流の影響が及ぶ範囲

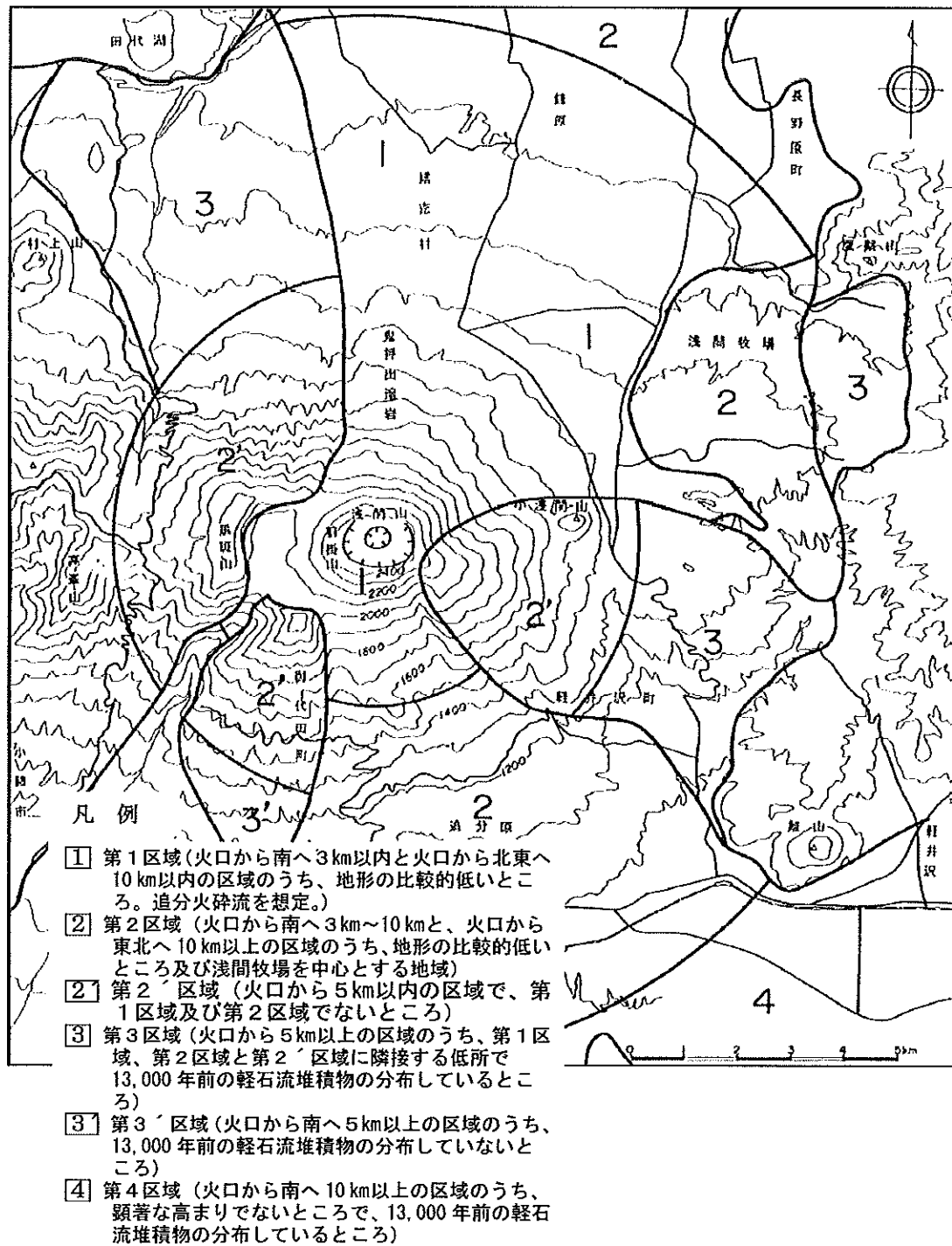


図4-32 浅間山の火砕流と岩屑なだれの火山ハザードマップ (Aramaki, 1984 を修正)

3) 予測手法

a) 火砕流の流下方向の予測

① 小型火砕流（火砕流の体積 <1000 万 m³）の場合

火砕流の発生原因には、「噴煙柱崩壊型」と「溶岩ドーム崩壊型」がある。1988年の十勝岳の火砕流は北西側に開いた火口から発生し、北西側に流下している。桜島で最近発生した小型火砕流では噴出源となった火口によって東方向に流下するケースと西方向に流下するケースに分かれるが、いずれの場合も火口縁の低いところが火砕流の出発点になっている（図4-33）。1991年雲仙岳噴火で発生した火砕流は、せり出した溶岩ドームが崩壊することによって発生しているものがほとんどで、火砕流の流下方向は崩落している溶岩ドーム直下の斜面の傾斜方向になっている。このように、火砕流の出発点に分かる場合には流下方向を特定することが容易であるが、噴煙柱崩壊型の場合は、山腹の四方に展開する可能性が大きくなるので注意を要する。

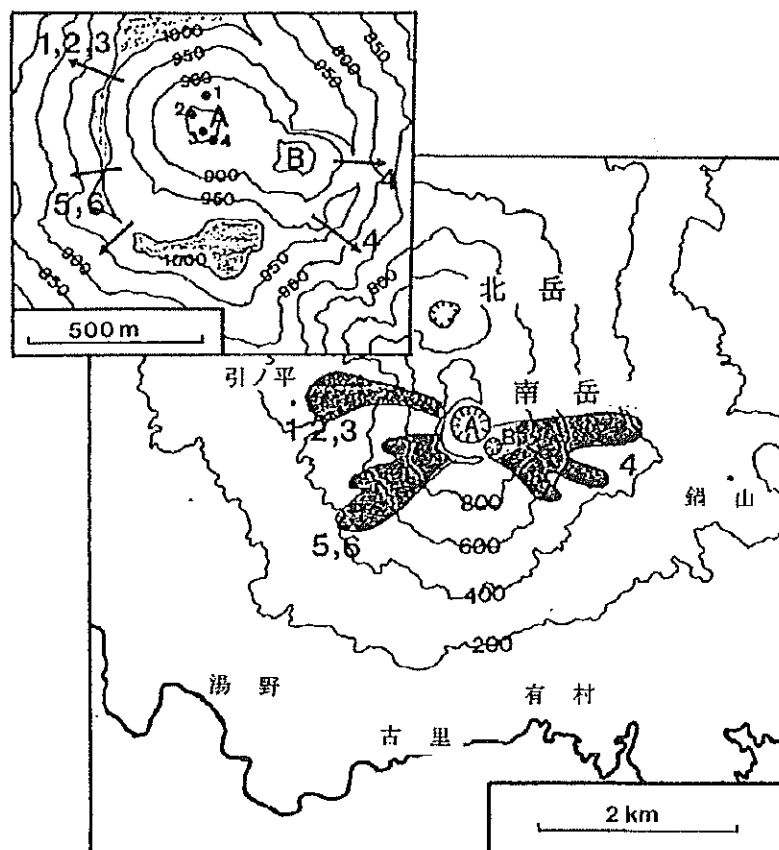


図4-33 桜島で最近発生した小型火砕流の到達範囲と流下方向（加茂・石原，1986）
図中の番号1～6は発生年に対応している。1:1967年, 2:1974年, 3:1976年,
4:1979年, 5:1984年, 6:1985年

② 中型火砕流 ($1000 \text{ 万 m}^3 < \text{火砕流の体積} < \text{数十億 m}^3$) の場合

少し規模の大きな中型火砕流になると火口付近の多少の高まりに影響されることがなく、火口から四方に広がって流下していく。火口の大きさも $1 \sim 2 \text{ km}$ 程度で、やや小さいカルデラ並みである。1667 年や 1739 年の樽前山の火砕流や 1929 年の北海道駒ヶ岳の火砕流 (図 4-34)、1108 年の浅間山の追分火砕流等は山頂から四方に火砕流が流下した例である。この程度の規模の火砕流は火口縁の谷地形に沿って流下していくというよりは、火口付近の高いところを避けて四方に流下していく傾向がある。



図 4-34 1929 年の北海道駒ヶ岳の火砕流の到達範囲
(守屋の図を鈴木・勝井・鎌田, 1986 が一部加筆修正)

① 大型火砕流 (数十億 $\text{m}^3 < \text{火砕流の体積}$) の場合

我が国にある大きなカルデラ形成の際には大型火砕流が発生した。鹿児島で約 2 万年前に始良カルデラを形成した際に噴出した入戸火砕流、北海道で約 3 万年前に支笏カルデラを形成した際に噴出した支笏火砕流、熊本県で約 8 万年前に阿蘇カルデラを形成した際に噴出した阿蘇 4 火砕流等、巨大噴火に伴う大型火砕流等は、噴出源から 100 km 以上の広い範囲まで到達している。流下する方向は全ての方向で、数百 m 程度の起伏の山地は越えてしまう。

b) 火砕流の流下する経路の予測

①小型火砕流の場合

小型火砕流は煙状のものが火山斜面をあまり横方向に広がらずに流下して行くことが多い。火山斜面に深い谷地形があれば、それに沿って流下していく。1991年の雲仙岳の火砕流は、山腹の谷地形に沿って流下している。1783年の浅間山の鎌原火砕流では、火砕流の中に含まれた岩塊が山腹を深く削っていった例もある。火砕サージも概ね谷地形沿いに流下していくが、火砕流に比べて地形の影響を受けることは少なく、谷地形沿いのかなり広い範囲に広がりながら流下していく。

②中型火砕流の場合

中型火砕流の流下状況が堆積物から詳細に確認されたのは、1929年の北海道駒ヶ岳の火砕流である。山頂付近で発生した火砕流は、火山斜面の谷地形に沿って流下していき、山麓部の緩傾斜地で扇状に広がっている。流下した後は自然堤防や舌状のロープ等の地形が確認されている(守屋, 1978)。この例を見るかぎり、中型火砕流は谷地形に沿って流下していき、勾配の緩くなったところで横方向に広がって堆積、停止する。さらに、後続流によって火砕流堆積物が侵食され、山麓側へ火砕流堆積物が運ばれていく。

中型火砕流の場合、山腹を広げて流下していく可能性が高い。その際、深い谷地形があればそれに沿って流下し、尾根状の地形があればそれを避けて流下する。ただし、その傾向は小型火砕流のケースに比べて弱い。

③大型火砕流の場合

大型の火砕流がどのような方向へ流下していくかは決めにくい。大型火砕流は数百 m 以下の起伏に影響されることなく流下していく。

c) 火砕流の到達距離の予測

火砕流の到達距離は火砕流の内部構造、規模、流下する斜面の地形等によって様々である。図4-35に示すように高度差が大きい場合ほど遠くまで達することが分かる。しかし、非火山性の岩屑なだれや雲仙岳の火砕流は比較的流動性が低く、高度差のわりに到達距離が短くなる傾向が認められる。

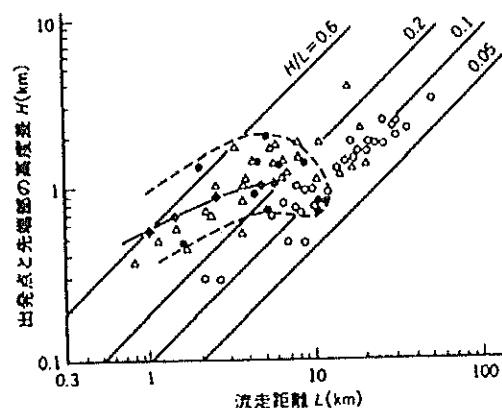


図4-35 火砕流と岩屑なだれの流動性の比較 (Ui et al., 1986 を荒牧, 1991 が加筆)

比 H/L の値が小さいほど流動性が高い、○: 火山性岩屑流、△: 非火山性岩屑流、●: 熱雲(岩塊を主とする小型火砕流)、◆: 1991年雲仙火山の火砕流。

①小型火砕流の場合

小型火砕流は火山斜面をあまり遠くまで流下していない。桜島において1967年から1985年に発生した火砕流の場合1 km程度（加茂・石原，1986）、1988年12月の十勝岳の火砕流でも1 km程度の到達距離であった。1991年に発生した雲仙岳の火砕流の到達距離は、比較的大きな火砕流の場合で溶岩ドームから4ないし6 km程度であった。

火山山頂付近で発生するごく小さい火砕流の場合、到達距離は1ないし2 km程度で火山山麓まで到達しないものもあると考えて良い。1991年の雲仙岳のうち比較的大きな火砕流で、その堆積物の体積は0.03億 m^3 程度と見積られているが、谷地形沿いに流下する場合は、火山山麓まで達することもある。火砕サージは火砕流より0.5 kmから2 km程度遠くまで到達するが、地表付近の風の影響を受けることがある。

②中型火砕流の場合

中型火砕流は火山斜面を流下し、山麓まで達している例が多い。1667年や1739年の樽前山の火砕流、1929年の北海道駒ヶ岳の火砕流、浅間山の1108年の追分火砕流、富士山の大沢火砕流等は山腹を流下し、山麓の緩い傾斜のところまで達している。

中型火砕流の場合、到達距離は5～20 km程度で火山山麓まで到達すると考えて良い。

③大型火砕流の場合

大型火砕流では、火山地形とはあまり関係なく、火山からかなり離れたところまで到達する。到達距離は20～100 km程度までと幅が広い。

火砕流の火山ハザードマップ作成のための指標を噴出量ごとに整理すると表4-9のようになる。

表 4-9 火砕流の火山ハザードマップ作成のための指標

火砕流の噴出量	事 例	流下方向	流下経路	到達距離
～10 万 m ³	2008 年桜島	火口縁の低い所、火口が開いた方向	谷地形や低所に沿う。	数百 m ～ 2 km
10 万～ 100 万 m ³	1973 年浅間山 1988 年十勝岳 1991 年雲仙岳	火口縁の低い所、火口が開いた方向	谷地形や低所に沿う。	数百 m ～ 3 km
100 万～ 1,000 万 m ³	1984 年桜島 1991 年雲仙岳	火口縁の低い所、火口が開いた方向	谷地形や低所に沿う	1 ～ 5 km
1,000 万～ 数 10 億 m ³	1667 年樽前山 1929 年北海道駒ヶ岳	火口縁の高い所を避けて幅広く	谷地形や低所に沿う。山麓で広がる	5 ～ 10 km
数 10 億～ 100 億 m ³	915 年十和田 1108 年浅間山	火口縁の高い所を避けて幅広く	谷地形や低所に沿う。山麓で広がる	10～20 km
100 億 m ³ ～	約 2 万年前入戸火砕流 約 3 万年前支笏火砕流 約 8 万年前阿蘇 4 火砕流	全方向	小さな山や谷とは関係なく、広範囲に流下する	20～100 km

【参考 TITAN 2D によるシミュレーション計算手法について】

TITAN 2D はアメリカのニューヨーク州立大学バッファロー校で開発され、粒子流モデル（初期は重力流を対象）による、GIS を用いたシミュレーションである
(<http://www.gmfg.buffalo.edu/>)。

火砕流、泥流、岩屑なだれ等を多数の粒子の集合体からなる連続体とみなし、その流動に関して重力を駆動力とする運動方程式を解く。

用いる基礎式は、次のとおりである。

○連続式（非圧縮流体を仮定）

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial \overline{hu}}{\partial x} + \frac{\partial \overline{hv}}{\partial y} = 0$$

○運動方程式（X 方向の場合）

運動方程式は、層厚方向の速度分布は一定、すなわち平均値であると仮定している。

$$\begin{aligned} \frac{\partial \overline{hu}}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\overline{hu^2} + \frac{1}{2} k_{ap} g_z h^2 \right) + \frac{\partial \overline{huv}}{\partial y} \\ = -h k_{ap} \operatorname{sgn} \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right) \frac{\partial h g_z}{\partial y} \sin \phi_{int} - \frac{u}{\sqrt{u^2 + v^2}} \left[g_z h \left(1 + \frac{u}{r_x g_x} \right) \right] \tan \phi_{bed} + g_x h \end{aligned}$$

ここで、 h は層厚 (m)、 u 、 v は速度 (m/s)、 K_{ap} は土圧係数、 g は重力加速度 (m/s^2)、 r は斜面の曲率、 ϕ_{int} は内部摩擦角^{※1}、 ϕ_{bed} は層底摩擦角^{※1}をそれぞれ示す。

【※1 内部摩擦角と層底摩擦角について】

ある流体（自重： N ）を斜面に置き、底面に沿って横に滑らせたとき、滑り出すときの力は N に比例する。また、流体の中の粒子と粒子の間にも、 F と N の間には比例関係があり、流れにくさは $N \cdot \cos \theta \cdot \tan \phi$ で表わされる。このときの角度 ϕ を、前者は層底摩擦角（ ϕ_b ）、後者は内部摩擦角（ ϕ_i ）と呼ぶ。

