

破局噴火 その時、何が起きるか

莫大なマグマが一気に噴出、大火砕流が広大な山野を呑み込み
火山灰は日本列島のほぼ全域に厚く降り積もる——
超巨大な火山噴火でどんなことが起きるのか、次第にわかってきた

中島林彦（編集部） 協力：前野 深（東京大学地震研究所）



家々を襲う火砕流 雲仙普賢岳は1990年11月に噴火が始まり、翌91年5月に最初の火砕流が観測され、同年6月3日の火砕流では43人が犠牲に、93年6月23日にも1人が亡くなった。火砕流は96年5月まで合計9400回観測された。写真は長崎県島原市在住の古瀬孝一さんが撮影したもので、晴天下の火砕流を間近から捉えた貴重な一枚だ。破局噴火の場合、これをはるかに上回る規模の火砕流が発生する。



2011年3月11日、大津波が仙台平野や三陸沿岸を襲う実況中継を多くの人々が職場や茶の間で呆然と眺めた。白昼の悪夢のような光景だった。東北地方の東方沖を震源とする巨大地震は人々にとって完全な不意打ちで、国や自治体、電力会社は十分な対策を講じていなかった。大津波による死者・行方不明者は2万人近くに達し、深刻な原子力発電所事故が起きた。

201X年、今度は大火砕流が地を這う灰色の雲となって九州の山野を呑み込んでいく中継映像を呆然と眺める日がくるかもしれない。大火砕流の背後には、成層圏にまで達する巨大な噴煙の壁が姿を現していることだろう。

火山学の研究によれば、今から数年後にも巨大噴火が九州で起きる可能性はゼロではない。もし起きれば最悪の場合、噴火開始後約2時間で九州の大半が火砕流に呑み込まれる。放出された莫大な量の火山灰は偏西風に乗って東進し、本州と四国、さらには北海道にまで降り注ぐ。日本列島のほぼ全土が火山灰で埋まる事態になる（右ページの図）。

そんな噴火が完全な不意打ちで起これば、被害は東日本大震災の比ではない。火砕流は赤熱した溶岩の細片や水蒸気、火山ガスなどが渾然一体となった数百℃の超高温の流れ（粉体流）だ。呑み込まれた町々は瞬間に焼き尽くされ灰で埋まる。イタリアのナポリ近郊、ヴェスヴィオ火山の噴火で火砕流が襲ったローマ帝国の都市ポンペイの話はよく知られているが、九州の数多くの都市がいわばポンペイとなり、約700万人の命が失われることになる。

本州と四国の人々も無事では済まない。降灰によって電気、ガス、水道が使えず、家屋はつぶれ、交通は途絶、食糧供給が絶たれる。最悪の場合、約1億人が生きてゆけなくなるとの見方もある。何とか生き残れるのは降灰が比較的少ない北海道と沖縄の人々だけ

かもしれない。

原子力発電所が火砕流に呑み込まれたり、火山灰に埋まった場合、どんなことが起こるのかよくわかっていないが、早晚、核燃料を冷却できなくなり、放射性物質が広範囲に飛び散る可能性がある。

噴火の影響は長期かつ広範囲に及ぶ。灰が降り積もった地域では農地も森林も壊滅、雨が降るたびに各地で大土石流が発生して、地形が変わっていく。世界各地は異常冷夏となり、農作物に深刻な被害が出ることになる。

こうしたモンスター級の噴火は日本滅亡の危機を招くことから破局的な巨大噴火、「破局噴火」と呼ばれる。現代の日本が先述のような巨大噴火に襲われた状況をリアルに描き出した災害小説『死都日本』（石黒耀著、2002年）に登場する言葉だ。巨大噴火より破局噴火の方が、想定される被害の実態をイメージしやすいことから火山学者も使うようになった。

1万年に1回発生

噴火の規模はマグマ（高温で融けた岩石）の放出量が目安になる。例えば江戸時代以降で最大級の噴火は約300年前の富士山の宝永噴火で、放出されたマグマは推定約0.7km³。もし今、同様の噴火が富士山で起きたら山麓はもちろん関東平野一円に灰が降り積もり、首都機能は長期間、麻痺する。文字通りの大噴火だが、破局噴火になると比較的小さなものでマグマの放出量は数十km³、中には200km³に達するものもある。

最近の研究によれば、破局噴火が国内のいずれかの火山で今後100年間に起きる確率は約1%だ。看過できる数字だろうか？ 大づかみな話だが、期間を100倍に延ばすと1万年間で確率100%になる。1万年後に1億人近くが命を落とす破局噴火が起きると考えても、あまり現実感は湧かない。しか

し、累計の犠牲者数が同じになる事象、例えば死者1万人近くに達する火山災害が今年から向こう1万年間、毎年起きると考えると、受け止め方はかなり違ってくる。

こうした発生確率を求めるベースになっているのは過去に起きた破局噴火だ。数百万年以上遡ると紀伊半島や北アルプス、日本海の隠岐などでも破局噴火が起きているが、直近の約12万年間では九州と北海道に集中する傾向が見られる。日本列島の地下活動の全体的な状況は少なくともここ12万年間は変わっていないので、近い将来起きるとすると、やはり両地域である可能性が高い。

破局噴火の発生回数はどれほどの規模の噴火までカウントするかで違ってくる。マグマ放出量が100km³に近い噴火であれば日本が壊滅する可能性が極めて高く、10km³を少し上回る程度であっても、都市域周辺で噴火したり、降灰地域が大都市圏に及ぶと甚大な被害になる。前者の規模の噴火は過去12万年間に10回程度、後者を含めると同20回弱起きています。発生頻度でいえば前者の場合はざっと1万年に1回、後者では約7000年に1回となる。

直近で九州で破局噴火が起きたのは縄文人が暮らしていた約7300年前のことだ。当時、鹿児島県南方に存在していた島で起きた巨大噴火で、その島は噴火によって海中に没した。火砕流は海上を走り、近くの種子島や屋久島を襲い、九州本土にも上陸した。鹿児島県南部の縄文人は火砕流の犠牲になり、独自の発展を遂げていた同地の縄文文化も失われた。西日本に住んでいた人々は降灰によって餓死したり難民化したとみられる。一方、北海道で直近に起きたのは約7600年前で、北海道東部が火砕流に呑み込まれた。

同じ震源域で起こる巨大地震は繰り返し期間にかなりの規則性があるが、破局噴火には今のところそうした規則

最悪の噴火 九州中部の火山でマグマが一度に150km³も放出される破局噴火（巨大カルデラ噴火）が起ると大火砕流が発生し、約2時間で九州中部と北部のほぼ全域に広がる（濃いオレンジ色の領域）。噴出した膨大な量の火山灰は偏西風に乗って東に向かい、翌日には関西に到達、関西以西の地域は灰に埋まる（図中の破線の円に付記しているのは、降り積もる火山灰の厚さと、その領域内の人口）。その後、降灰地域は関東から東北、さらには北海道まで広がっていく。札幌でも降灰は厚さ5cmに達する可能性がある。火砕流と降灰域は神戸大学の箕好幸教授の資料による。

5cm, 1億3000万人

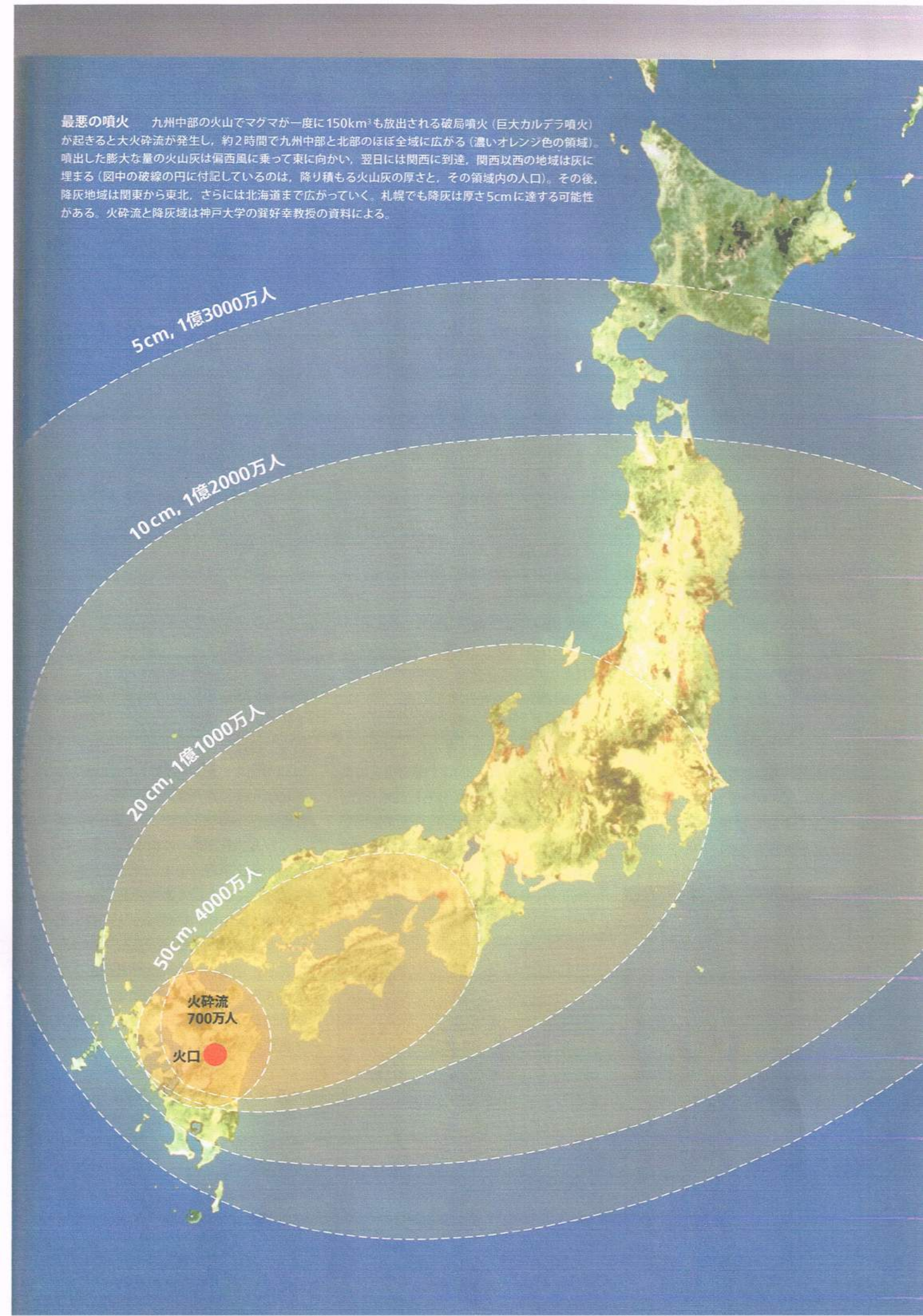
10cm, 1億2000万人

20cm, 1億1000万人

50cm, 4000万人

火砕流
700万人

火口



性は見いだされていない。ただ九州と北海道のいずれもここ7000年間は静穏で、その間、マグマの蓄積が続いてきた可能性が高い。現在は、次の破局噴火への満期に近づきつつあるとみる火山学者は多い。

きっかけは東日本大震災

火山学者は迫り来る破局噴火に対する危機意識を以前から持っていたが、一般的には、そうした空恐ろしいほどの巨大噴火が繰り返り起きていること自体ほとんど知られていなかった。破局噴火は直近のものでも先史時代。明治時代以降に起きた自然災害を見ると、人的・経済的被害は火山噴火より地震や台風の方が桁違いに大きく、国や社会の関心はそちらに向いていた。

それが東日本大震災で風向きが変わった。たとえ低頻度であっても、起きた時には甚大な被害が出る「低頻度巨大災害」に対する一般社会の認識が深まり、それへの対応が重要な政策課題として浮上してきたからだ。

実際、太平洋沿岸に大津波をもたらす南海トラフ巨大地震については、起こり得る最悪の事態を想定した被害予測が行われた（東南海地震や南海地震などが連動すると最悪で犠牲者32万人に達する西日本大震災が起きるとの

想定が公表された）。そして、それを踏まえた防災対策の検討が進んでいる。津波の襲来を早期に検知するための海底観測システムも整備されつつある。

一方、大規模火山災害対策については内閣府などが検討会を組織、2013年5月に提言を発表した。およそ1万年に1回の頻度で起きる巨大噴火について「知見は非常に限られ、噴火予知や対応策について研究を進める体制も整っていない」との現状認識を示した上で「巨大噴火のメカニズム及び巨大噴火に対する国家存続の方策などの研究を行う体制の整備に努め、研究を推進すべき」としている。提言を踏まえた具体的な動きはまだ出ていないが、こうした現状を早急に改めねばならない事態がすでに生じている。

東京電力の福島第1原発事故を契機に全原発が運転を停止し、現在、再稼働に向けて活断層や火山噴火などのリスクの再評価が行われている。九州電力の川内原発（鹿児島県薩摩川内市）が再稼働の第1号になったが、その安全性審査での破局噴火に関するリスク評価が大きな議論を呼んだ。川内原発が立地するのは、かつて破局噴火による大火砕流が何度も襲来した場所だ。破局噴火は同じ火山で繰り返す傾向があるので、再び火砕流が来ないとは言

い切れない。

九州電力は川内原発の運用期間中、周辺地域で破局噴火が起こる可能性は十分小さく、火山活動を監視していれば、ある程度の時間的余裕を持って予知し、核燃料を安全に措置できるとの見方を示している。2014年9月、国の原子力規制委員会はこの九州電力の評価を妥当とする判断を示した。

一方、多くの火山学者は、破局噴火の予知を、十分な時間的余裕を持って高い確度で行うことは現時点では困難だとみている。日本火山学会も慎重な姿勢だ。同学会は原子力問題対応委員会を立ち上げ、巨大噴火の予測と監視に関して2014年11月に提言を発表した。その中で巨大噴火の警報について「有効に機能させるためには、噴火予測の可能性、限界、曖昧さの理解が不可欠」と述べている。

川内原発以外にも、破局噴火で大火砕流が襲来したり、大量の火山灰で埋まった可能性がある場所に立地する原発はいくつもある。佐賀県の玄海原発、愛媛県の伊方原発、青森県にある東通原発と核燃料再処理工場、北海道の泊原発だ（右ページの図）。他の原発も破局噴火が起きれば、降灰によって外部電源が失われ、冷却水の取水ができなくなる恐れがあり、影響は免れない。原発の火山影響評価をめぐって今後も議論が続くことになりそうだ。

一方、火山研究の現場では、少しずつだが、破局噴火に関する研究が進んでおり、過去の破局噴火がどのようなものだったのか浮かび上がってきた。それは私たちがイメージする火山噴火とはまるで違う大地の変動だった。

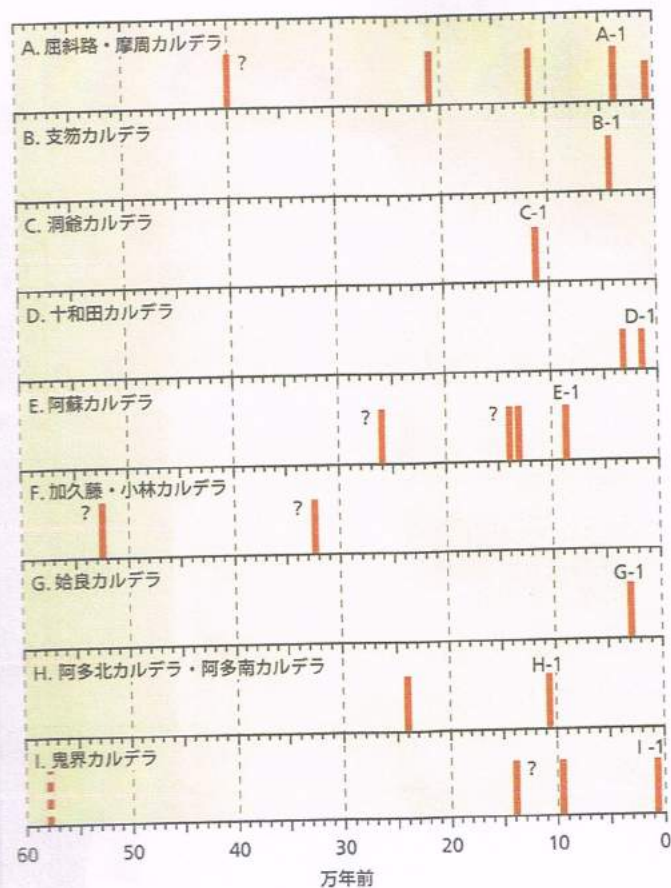
カルデラを作る巨大噴火

破局噴火は火山学的には「巨大カルデラ噴火」と呼ばれる。カルデラとは火山活動で生じた大きな凹地のことで「大釜」を表すポルトガル語に由来する。一般の人は観光案内などで目にす

KEY CONCEPTS

日本滅亡を招く大災害

- 原子力発電所の再稼働をめぐる、巨大噴火のリスクをどう評価するかが議論になっている。日本では1万年に1回の頻度で、国土のかかなりの部分を火山灰で覆うほどの巨大噴火が起きている。こうした噴火が起きると、日本は滅亡の危機に瀕することになるので「破局噴火」とも呼ばれる。
- 破局噴火は火山学ではカルデラ噴火と呼ばれるタイプ。最終段階では直径10kmを超えるリング状の火口から膨大な量のマグマが一気に放出され、大火砕流が全方位に流れ出て、幅広い範囲を焼き尽くし、火山灰で埋める。直近は7300年前に九州南方の島で起きた「鬼界カルデラ噴火」で、地質調査やシミュレーション研究から、当時、どのようなことが起きたのかが浮かび上がってきた。



過去数十万年の代表的な破局噴火 比較的大規模な破局噴火（巨大カルデラ噴火）は九州と北海道、東北地方の北部で起きている。それらの年代を右図に示す。噴火規模の大小は棒線の長さで表した（図中で？が付記されている噴火は規模がよくわかっていないもの。鬼界カルデラ噴火での約58万年前の噴火が起きたかどうかは不確定）。一部の噴火については火砕流の到達域と降灰域を左図に示す。これらの巨大カルデラ噴火による火砕流が到達した可能性がある原子力関連施設の場所も書き込んだ。

ることが多い。新春の大学駅伝で知られる箱根カルデラ（箱根山）や阿蘇カルデラは日本有数の観光地だ。

そうとは知らず風光明媚の地としてカルデラを訪れることも多い。霧の摩周湖やマリモの阿寒湖、温泉で知られる洞爺湖、紅葉の十和田湖、桜島が浮かぶ鹿児島湾内奥部は、いずれもカルデラに水がたまってできた。それぞれ摩周カルデラ、阿寒カルデラ、洞爺カルデラ、十和田カルデラ、始良（あいら）カルデラと呼ばれる。

そうした巨大な凹みができたのは、破局噴火によって莫大なマグマが地下から一気にあふれ出たためだ。カルデラはそこで巨大噴火が起きたことを物語るモニュメントで、その大きさからマグマのおよその放出量が、侵食の程

度から噴火した時代の新旧がわかる。

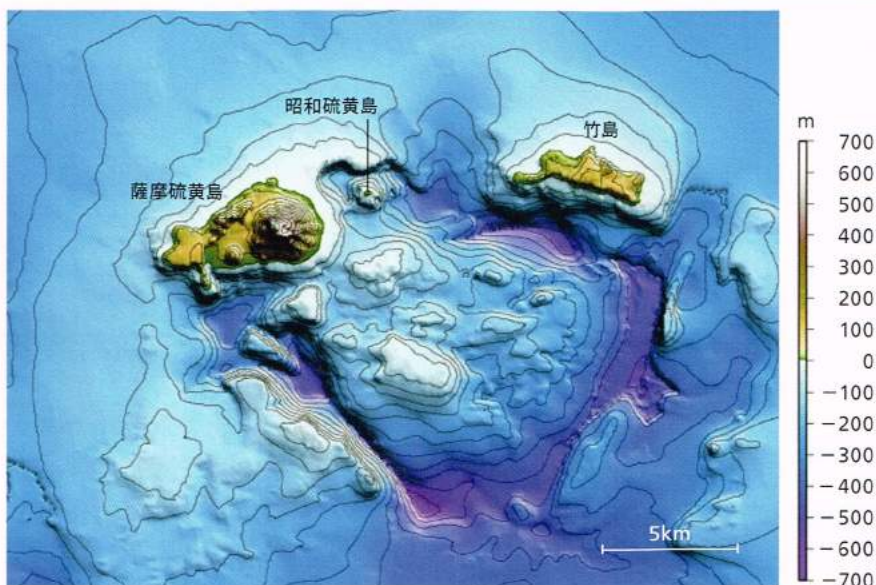
日本列島における火山の寿命はおおむね数十万年前で、その一生のうちにカルデラ噴火を1回、または複数回繰り返す火山もあれば、私たちが一般的にイメージする噴火、例えば浅間山や桜島で起きているような山体噴火だけで終わる火山もある。

巨大カルデラ噴火をする火山では、巨大カルデラ噴火以外の時期に山体噴火を繰り返す場合も多い。例えば現在も活発に活動している阿蘇山の中岳は阿蘇カルデラの中央部にある。桜島は鹿児島湾の最奥部を形成する始良カルデラの縁に、2000年に噴火した有珠山は洞爺カルデラの縁に位置する。薩摩富士とも呼ばれる開聞岳は鹿児島湾の一部を構成する阿多カルデラの西縁

に位置する。2011年、半世紀ぶりに爆発的噴火を起こした新燃岳（しんもえだけ）がある霧島連山（霧島火山群）の近くでは、50万年以上に小林カルデラ噴火、30万年前には加久藤（かくとう）カルデラ噴火が起きている。

十和田カルデラで最後に巨大カルデラ噴火が起きたのは1万5000年前だが、1000年前の平安時代（西暦915年）にも激しい噴火があり、東北地方のほぼ全域に灰が降った。過去2000年間で起きた中では国内最大の噴火で、放出されたマグマは2.1km³だった。ちなみに、この大噴火の46年前に貞観地震が起きた。かなりの時間差ではあるが、貞観地震がこの噴火を誘発した可能性が指摘されている。東日本大震災をもたらしM9の巨大地震は貞観地震の再来と考えられるので、東北地方の火山は今後も注意が必要だ。

こうして見てくると私たちが現在、目にしているかなりの数の噴火は、巨大カルデラ噴火を起こす火山のいわば



南九州の火山とカルデラ 南九州では火山が南北に連なる(下段左図)。北から順に新燃岳が属する霧島火山群、桜島(上段右の写真)、開聞岳(薩摩富士)、薩摩硫黄島(上段左の写真、画面奥が硫黄岳)だ。これらの火山は過去に破局噴火を起こしたカルデラの縁などに位置している。これらカルデラは鹿児島地溝という南北に走る帯状の凹みの中に位置している(鬼界カルデラは鹿児島地溝の延長上)。直近で起きた破局噴火は7300年前の鬼界カルデラ噴火。海底地形図(下段右図)を見ると、薩摩硫黄島と昭和硫黄島、竹島はカルデラの縁にあることがわかる。カルデラの中央部は全体的に膨らんでいるが、これは新たなマグマの供給によって形成されたドームだ。海底地形図は海上保安庁ホームページ(<http://www1.kaiho.mlit.go.jp/GIJUTSUKOKUSAI/kaiikiDB/image/satuiosc.jpg>)による。

“寝息”のようなものだと考えられる。これらのいくつかは、このまま通常の山体噴火を繰り返すだけで一生を終えるかもしれないが、中には再び目覚めてカルデラ噴火を起こすものがあると考えられている。その1つになる可能性があるのが始良カルデラだ。

始良カルデラ西縁に位置する鹿児島市街地の地盤の隆起・沈降は始良カルデラ地下のマグマの動きと密接なつながりがある。同地の地盤はゆっくり隆起しているが、桜島が比較的大きな噴火をすると、その直後に急な沈降が起きる。ゆっくりした隆起は地下深部か

らのマグマの供給が続いていることを示し、桜島噴火による急な沈降はマグマの放出によるものと理解されている。

例えば1914年の大正噴火は大噴火で、流れ出た溶岩によって桜島と九州本土が現在のような陸続きになったが、その際、鹿児島市街地の地盤は80cm沈下した。現在は、その時点と比べると70cm隆起しており、2020年代には大正噴火直前と同レベルまで戻ることから、大噴火の再来を懸念する声がある。ただ地質学的な研究などから超長期の同地の地盤変動を推定すると、大正噴火クラスの噴火で沈降が時折起

きても、1000年単位では、同地の地盤は1mを超えるペースで着実に隆起し続けているとの説がある。供給されるマグマの一部は桜島の噴火で消費されるが、残りが地下に蓄積され続けている可能性は否定できない。

始良カルデラが最後に破局噴火を起こしたのが約3万年前で、その際、川内原発があるあたりまで火砕流が到達し、大量の火山灰によってシラス台地が形成された。以来、マグマの蓄積が続いているとすれば、再び破局噴火を起こし得る程度まで溜まっている可能性はある。数千年スケールで見ると、現在の桜島の噴火活動は、始良カルデラでの次の破局噴火に至る1つのステップとなっているのかもしれない。

過去1万年で最大の噴火

九州で直近に破局噴火が起きた鬼界

カルデラでも、7300年前の噴火後、再びマグマが蓄積しつつある。破局噴火の前に存在していた島はカルデラとなって海中に没し、その最も高い部分が島として海面に姿を見せるのみとなっていた。それが現在の薩摩硫黄島の一部（西側と北側の部分）と竹島だ。

6000年前以降、火山活動によって、当時の薩摩硫黄島のすぐ東側に新島が誕生、それが成長して現在の薩摩硫黄島の硫黄岳となった（左ページの図）。硫黄岳は噴気活動が激しく、火口から約1km以内への立ち入りは規制されている。1934年には海底火山の噴火により昭和硫黄島が誕生した。カルデラ中央部の海底はドーム状に盛り上がり、地下深部から新たにマグマが供給されていることがわかる。ドーム部の少なくとも5カ所から熱水が噴出していることが2016年10月、神戸大学の海底探査でわかった。

鬼界カルデラ噴火は他の破局噴火と比べると新しく、周囲の島や九州南部に、その痕跡が比較的多く残る。そうした情報をもとに、破局噴火がどのように進んだのか研究が進んでいる。それは過去1万年間で起きた世界最大の噴火だった。まずは時計の針を破局噴火が起きるさらに数万年以上に戻す。

鬼界カルデラでは13万年前と9万5000年前にも破局噴火が起きたことが、薩摩硫黄島や竹島に残る火砕流の堆積物などから判明している。前々回に当たる9万5000年前の破局噴火では、噴出した火山灰が九州から関東地方まで降り注いだことがわかっている。その噴火が起きた後は現在の鬼界カルデラのように、大半が海面下に沈んでいた可能性が高いが、新たなマグマの供給によってドーム状の海底火山が次第に成長し、大きな島または群島が誕生したと考えられている。

1万3000年前以降になると、そうした島や群島で、あまり大きな休止期を置かずに噴火活動が続き、大規模な

山崩れもたびたび起きたようだ。薩摩硫黄島の地質調査では、一連の噴火による降灰がもとになってできた厚さ約40mの地層が観察されている。そのクライマックスとして7300年前の破局噴火が起きたと考えられる。

現在の鬼界カルデラは東西20km、南北17kmの大きな凹みで、山手線がその中に入ってしまう。7300年前の破局噴火の直前には、そのあたりにかなり大きな島または群島があり、その地下3～7kmには現在のカルデラに近い広がりを持つ巨大なマグマ溜まりが存在していた。マグマ溜まりの厚さはよくはわかっていないが1km程度と考えられ、全体的には薄い円板状のような形だったとみられる。マグマ溜まり内部は概ね1000気圧以上で、約1000℃のマグマで満杯となっていた。

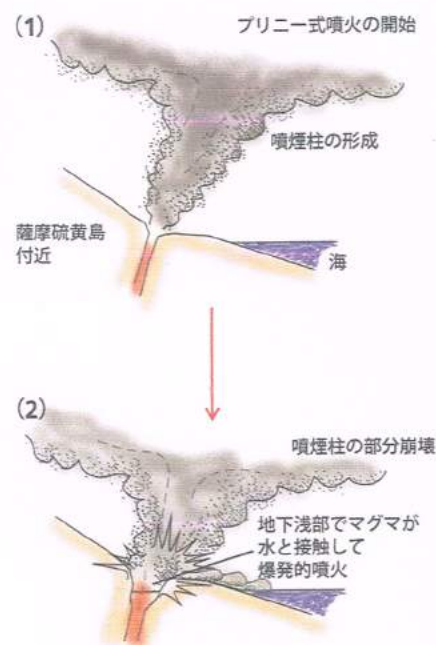
破局噴火は2つの段階に分かれる。その第1段階は、巨大なマグマ溜まりと地表との間に亀裂が走り、1本の通り道（火道）ができたことから始まる（前ページの図）。その火口は現在の鬼界カルデラの縁、おそらくは薩摩硫黄島の付近（当時あった島の一部）だったと推定されている。マグマ溜まりと地表との圧力差はざっと1000気圧。マグマは出口を求めて火道を上昇し始めた。そして上昇するにつれて減圧が起これ、マグマ中に溶けていた水や二酸化炭素がガス化して気泡（主成分は水蒸気）が続々と生まれ始めた。

ここでマグマがサラサラして水に近い状態であれば、火口を上昇するうちに気泡はマグマ本体から抜け出て、火口から噴気となって放出され、マグマ本体は溶岩流となって火口から静かに流れ出る。ハワイ島のキラウエア火山のマグマがこの代表的なタイプだ。

一方、マグマが粘り気がある水飴のような状態だと、気泡はマグマから抜け出られず、マグマは泡入りのまま上昇を続ける。破局噴火を起こす火山のマグマはこのタイプだ。上昇して減圧

が進むにつれてマグマ中の気体成分は増えていくが、マグマは狭い火道に閉じ込められているので、気泡は容易に膨張することができず、気泡内の圧力が高まっていく。

地表近くに至るとマグマは気泡を押さえ込めなくなり、最終的には、泡入りマグマ全体が激しい爆発を起こし、火口から上空に向けてジェットのように超音速で噴出、高温のマグマの破片と火山ガスは一体となってぐんぐん上昇する。爆発的な噴出は単発的なものではなく、一定時間続くので、この様子を遠望すると噴煙の柱が天高く立ち上っているように見える。こうした雄大な噴煙柱が形成されるタイプを「プリニー式噴火」という。ビールや炭酸飲料を激しく振って開栓すると、飲み口付近の液体が一気に発泡して噴出するが、これと似た現象が一定時間連続して巨大なスケールで起きるわけだ。



鬼界カルデラ噴火の第1段階 巨大なマグマ溜まりと地表の間に亀裂が生じ、そこにマグマが上昇、当時存在していた島の一角（現在の薩摩硫黄島付近）で激しいプリニー式噴火が起きた。プリニー式噴火は時間をおいて少なくとも2回起きた。その後、上昇してきたマグマが地下水または亀裂の中に入り込んだ海水と接触することで非常に激しい火山爆発が起これ、噴煙柱崩壊型の火砕流が発生した。

プリニー式噴火で高空まで運ばれた火山灰は偏西風によって遠方まで飛散する。7300年前の鬼界カルデラ噴火では、第1段階の前半として少なくとも2回のプリニー式噴火が起き、1回目の噴火では火山灰が約100km先の九州本土の大隅半島南部まで、2回目

の噴火ではさらに広域に飛散した。この2回目の噴火の噴煙柱は対流圏を突破し、成層圏上層に当たる高度43kmにまで到達したと推定されている。噴火規模は富士山の宝永大噴火を上回り、20世紀の世界最大の噴火であるフィリピン・ピナトゥボ山噴火に匹敵するとみられている。

こうしたプリニー式噴火の連打によって岩盤の亀裂が広がったためか、破局噴火の第1段階の後半では、島の地下でマグマと地下水や海水との大規模な接触が起きたようだ。1000℃近くのマグマに接触した水は瞬時に約1000倍の体積をもつ水蒸気となって急膨張し、火口周辺の岩盤も破碎する激しい爆発が起きた可能性が高い。

この時も噴煙柱が立ち上るプリニー式噴火だったが、噴煙柱を形成するマグマの破片や火山ガスの混合物は自重によって降下、地表に激突し、火砕流となって周囲に広まったことがわかっている。いわゆる「噴煙柱崩壊型」の火砕流だ。薩摩硫黄島の地質調査では、この火砕流に由来する厚さ20m以上の堆積物層が観察されている。

大火砕流の発生

ここまで紹介したのが破局噴火の第1段階で、少なくとも数日間続いた可能性がある。噴出物の量は10km³をはるかに超えたと推定されている。

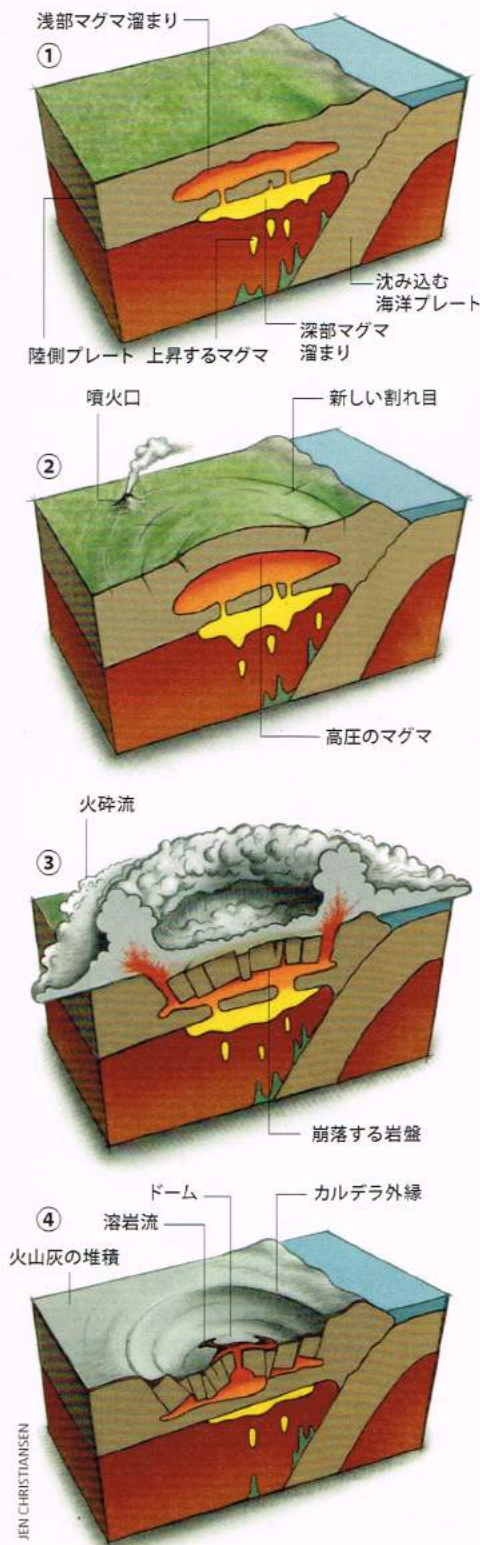
巨大カルデラ噴火のサイクル 九州のカルデラ噴火はフィリピン海プレートの沈み込み域の近くで起こる。おおもとはマントルに沈み込んだ同プレートの上面近くで生じるマグマで、それが何段階かのステップを経て地下浅部に巨大なマグマ溜まりが形成される①。浅部のマグマ溜まりが成長すると、地表に達する亀裂が入り、そこからマグマが上昇、プリニー式噴火が始まる②。噴火が続くうちにマグマ溜まり内の圧力が低下し、マグマ溜まりの天井を構成する岩盤が自重によってマグマ溜まりに落ち、それがピストンのような役割を果たす結果、リング状の火口から大量のマグマが噴出、大火砕流が起きカルデラが形成される③。カルデラの直下には半ばつぶれたマグマ溜まりが埋まっており、そこに新たなマグマが供給され、カルデラ中央にドームが形成される④。

大量のマグマが放出されたことで、地下数kmにある巨大なマグマ溜まりに大きな変化が生じた。破局噴火の第2段階の始まりだ。

先述のように、マグマ溜まりは直径10km以上、厚さ1km程度の薄い円板状で、噴火前は1000気圧以上のマグマで満杯になっていた。高圧のマグマは、いわば広大な地下空洞の天井を支える柱としての役割を果たしていたわけだ。ところが数度のプリニー式噴火でかなりの量のマグマが放出されると、マグマ溜まり内の圧力が低下、マグマが支柱としての役割を果たさなくなった。マグマ溜まりの天井を構成する直径10km以上、厚さ数kmの巨大な岩盤は、マグマ溜まりの側壁だけで支えきれものではない。側壁上部の至るところから地表に達する亀裂が走り、そこを伝って高温高圧のマグマが噴出、激しい火山爆発を起こし始めた。

最終的には、そうした亀裂が相互につながって直径10km以上ものリング状の火口が形成されたようだ(118～119ページの図)。そうすると巨大マグマ溜まりの天井を構成していた岩盤は、周囲の岩盤と切り離され、マグマ溜まりの中に落ちることになる。落ちる先にはマグマが満ちているので、落下する岩盤はピストンとなってマグマを押し込む。するとマグマ溜まり内の圧力が急上昇し、膨大な量のマグマが、リング状の火口から一気に噴出する。

この時、3つのことがほぼ同時に起きたとみられている。1つは大火砕流の発生だ。リング状の火口から噴出したマグマによって、通常のプリニー式噴火とは桁違いの規模の爆発的噴火が起き、成層圏まで到達する巨大な円筒状の噴煙の壁が形成された。そして、その巨大な噴煙の壁が自重で倒れたり、爆発力が高いマグマが火口から噴き出すことで大火砕流が生み出され、リング状の火口から全方位に広がり、島から海に流れ出た。



大火砕流は、爆発的噴火で四散した山体の破片をかなり含む、超高温の土石流のようなものだったと考えられる。岩石破片を多く含む火砕流の高密度部分は島を流れ下った後、海中に没するが、放出されたばかりのマグマの細片や水蒸気、火山ガスを主体とする火砕流の低密度部分は海上を滑るように走り、40km以上離れた種子島や屋久島、さらには九州本土に上陸し、現在の鹿児島市街地近くまで到達した。

大火砕流が起きた頃、大津波も発生した。遠くは長崎県橘湾の海底や大分県の沿岸で津波が運んだ堆積物が確認されている。大火砕流が海に突入したことで津波が生じたとの説があるが、近年、津波のシミュレーション研究などから別のメカニズムで起きたことがわかってきた（右図）。

大火砕流は、巨大マグマ溜まりの天井部分がマグマ溜まりの中に落ち込むことによって起きるが、その天井を構成する岩盤上には、プリニー式噴火を繰り返した島が乗っている。だから岩盤がマグマ溜まりに落ち込めば、島も一緒に落ち込み、海に沈む。破局噴火の第2段階が始まって島が水没、カルデラが形成されるまでに要した時間は推定で最長6時間、もしかしたら1時間程度だったかもしれないという。この急激な地盤の変動で海水が大きく揺らぎ、津波が発生した。九州本土の薩摩半島沿岸で波高30m、長崎県島原半島の橘湾付近でも同数mの津波となったようだ。

大地震も起きた可能性が高い。巨大なマグマ溜まりの中に、その天井を構成していた厚さ数kmの岩盤がずり落ちる現象は、正断層型の地震が発生するメカニズムと基本的には同じだ。実際、種子島や屋久島などの地層では、大火砕流が来る直前に起きた可能性がある地震動による地割れや礫の噴出（噴礫脈）が見られる。また九州南部各地の地層で、この破局噴火による火



押し寄せる大津波 鬼界カルデラ噴火の第2段階では、巨大なマグマ溜まりの直上に存在していた島で大火砕流が発生、同時に島は急激に沈降した。島は海中に没し、それによって大津波が起きた可能性が高い。上図は島の沈降が1時間で起きた時、どのように津波が発生して伝わるかを示したシミュレーションのスナップショット。沈降開始60分後、海面は大きく沈み込み（左図）、それが周辺海域に伝わって、同84分後には高さ20m以上の津波が種子島や九州本土の薩摩半島や大隅半島に達した（右図）。

山灰が降り注いでいる最中に起きた地震による液化化現象が見つかった。火山灰が降りやんだ後にも液化化が起きているので、破局噴火が終わった後も大地は静まっていなかったようだ。

広域に及んだ影響

リング状の火口から噴出した膨大なマグマによる爆発的噴火は大火砕流を生み出すと同時に、非常に大量の火山灰や火山ガスを成層圏にまで送り出した。火山灰は偏西風に乗って本州や四国に向かい、関西で厚さ約20cm、関東でも同約10cm積もり、東北地方の仙台あたりまで降ったことがわかっている。狩猟採集生活をしていた縄文人にとって、灰で覆われた森や海辺での食糧探しは困難を極めたことだろう。

一方、火山ガスからは硫酸エアロゾルと呼ばれる微粒子が生み出され、成層圏まで到達したものは全世界に広がっていったと考えられる。硫酸エアロゾルは太陽光を反射、地球を寒冷化さ

せる働きがあるので、世界各地に「火山の冬」が訪れたはずだ。また硫酸エアロゾルはオゾン層を破壊する。太陽からの有害な紫外線はオゾン層によって遮られているが、オゾン層破壊が進めば紫外線の地表への到達量が増え、生物に悪影響を及ぼす。

7300年前の鬼界カルデラ噴火で放出されたマグマの量は推定80km³以上。琵琶湖の貯水量（約30km³）をはるかに上回る量だ。もっともこれは南九州で起きた破局噴火では規模が小さい方で、2万9000年前の始良カルデラ噴火では150km³、9万年前の阿蘇カルデラ噴火では200km³に達する。始良カルデラ噴火も阿蘇カルデラ噴火も九州本土で起きているので火砕流は広大な山野を呑み込んだ。阿蘇カルデラ噴火の大火砕流は瀬戸内海を渡って本州は山口県宇部あたりまで、四国は佐多岬半島の付け根あたりまで到達したと考えられている。降灰地域も鬼界カルデラ噴火より広く、北海道や朝鮮

半島全域に及んだ。

ちなみに原発の耐震性に関する安全性評価では12万～13万年前以降に活動した断層の上への立地は不適としている。大火砕流も、直下の活動層による激震と同様、避けるべき事態だが、原発を襲う大火砕流をもたらすカルデラ噴火の活動について、具体的にどれほど時代を遡った噴火までを立地不適の対象とするか、具体的な数値基準は定められていない。仮に地震と同じ基準を単純にあてはめると、例えば川内原発は始良カルデラ噴火、玄海原発と

伊方原発は阿蘇カルデラ噴火について十分な検討が必要になる。

タンボラ噴火の場合

国内の破局噴火はいずれも先史時代に起きたので記録は残っていないが、世界で直近に起きた破局噴火である1815年のインドネシア・タンボラ噴火（規模は鬼界カルデラ噴火より小さい）では、当時の状況がかなり詳しく書き記されている。それによるとやはりプリニー式噴火が何回かあった後に大火砕流とカルデラの形成が起きてい

る。プリニー式噴火に先立つ前兆現象も観測されている。噴火の推移の時間スケールが参考になるので、その顛末を紹介する。

タンボラ山はインドネシア中部、バリ島より少し東のスンパワ島にあり、富士山と同じ成層火山と呼ばれるタイプに属する。かつて約4300mの高さがあったが、1815年の噴火で山体上部が失われ、現在は約2850m。山頂には直径約6km、深さ600mのカルデラがある。

前兆となる火山活動は1812年に始



まった。地震がたびたび起こり、小規模な噴火も観測された。1815年4月5日夕刻、最初のプリニー式噴火が始まり、その際の爆発音は1000km以上離れた場所でも聞こえたという。翌4月6日には400km以上西にあるジャワ島東部に火山灰が降り始めた。

その後、何度もプリニー式噴火と考えられる火山爆発が続いた末の4月10日午後7時、3本の火柱が立ったとの目撃報告があり、この頃、大火砕流が発生したとみられる。午後8時頃には、タンボラ山の約30km東方のサン

ガールという海沿いの町で直径20cmもの軽石が降った。軽石はマグマの細片が発泡して冷えて固まったものだ。

さらに同日午後9時すぎには高さ4mの津波がサンガールに襲来した。大火砕流が山腹を流れ下って山麓の村々を呑み込み、海に入って起きた津波だ。午後10時すぎには木々をなぎ倒す爆風が同地を襲った。激しい噴火は翌4月11日までだったが、降灰は4月12日まで続いた。鬼界カルデラ噴火と同様、ごく短時間のうちにカルデラが形成されたようだ。また当時の記録によると、タンボラ周辺地域に住んでいた約1万2000人のうち、生き残ったのは26人だった。

タンボラ噴火の翌年の夏、北米や欧州は異常低温に見舞われ、北米北東部では夏に雪が降るほどだった。農作物は壊滅的打撃を受け、各地で飢饉が起きた。後に「夏のない年」と呼ばれるこの異常な冷夏は、タンボラ噴火が主な要因だと考えられている。

破局噴火と向き合う

タンボラ噴火では前兆の火山活動が約3年前からあったことを考えると、国内のカルデラ噴火でも、プリニー式噴火が始まる前に少なくとも数年間は前兆の火山活動が起きていた可能性がある。だとすれば、次に起こる破局噴火でも、前兆を捉えることができるかもしれない。

ただ前兆の火山活動の期間やその具体的な内容は火山によってかなり異なるとも考えられる。現在の知識では、ほとんど前兆なしに破局噴火が始まる可能性も完全には否定できない。例えば巨大マグマ溜まりが急膨張しても、それに呼応する形でマグマ溜まり自体が沈降すれば、地表での隆起は起きず、マグマ活動の異変を検知できないかもしれない。

また前兆とみられる火山活動が捉えられても、その時点では本当に前兆な

のか、そうでないかを判断するのは難しい。前兆ではないのに、県レベルでの広域避難を実施した場合、経済的損失は莫大だ。

一方、プリニー式噴火が始まってからの広域避難はほぼ不可能だ。現代文明は火山灰に対して極めて脆弱。噴火で数mmの灰が積もっただけでも飛行場は閉鎖され、数cm積もれば道路や鉄道は使えなくなり、停電と断水が起きる。多くの人々は呼吸器障害に陥る。最初のプリニー式噴火が始まってから大火砕流が襲来するまでの猶予期間はタンボラ噴火で5日間だった。降灰が続く中、交通手段がほとんど奪われた状態で数十万～数百万の人々を遠隔の安全地帯に数日間で移送することは非常に難しい。

鬼界カルデラ噴火についていえば、破局噴火の第1段階はタンボラ噴火より長く、第1段階から第2段階の間には1週間以上の比較的静かな時期があった可能性が指摘されている。将来の破局噴火の際、降灰が一時的でも止む期間があれば、ある程度は救出作業が進むかもしれない。

阪神・淡路大震災や東日本大震災では甚大な被害が出たが、被災地は限定的で、周辺地域から救援することができた。これに対し破局噴火は最悪の場合、ほぼ全国が被災地となる。避難や防災について、巨大地震とは考え方を変える必要がある。まずは破局噴火に関するこうした現状認識を多くの人々で共有することが出発点になる。 ■

協力 前野 深(まえの・ふかし)

東京大学地震研究所火山噴火予知研究センター助教。専門は火山地質学。噴煙柱や火砕流、溶岩ドームなど火山噴火に伴う地表面象のダイナミクスと噴火堆積物の形成過程に関する地質学的研究に取り組んでいる。火山性津波の発生・伝播過程も研究している。

初出掲載誌 日経サイエンス 2015年4月号

巨大カルデラ噴火の第2段階 プリニー式噴火が何度か起こった後、直径10kmを超えるリング状の火口の各所から激しく噴煙が上がり、大火砕流が発生、周囲を燃やし尽くし、火山灰で埋める。このイメージ画像は北米大陸で起きた巨大カルデラ噴火の想像図だが、鬼界カルデラ噴火では同じような事態が九州南方、東シナ海に浮かぶ島で起きた。



JULIA GREEN