

特集

桜島の大規模噴火を考える

企画・総括 井口 正人・中道 治久

はじめに

井口正人¹・中道治久¹

1914年に発生した桜島の大正噴火は、20世紀以降わが国において発生した最大規模の噴火である。この噴火では、死者・行方不明者が58名に上ったことに加え、多様な火山災害が発生し、約2万人の住民が移住を余儀なくされた。始良カルデラ下においてマグマの蓄積が進行していることから、大正噴火から100年以上が経過した現在は、地質学的時間スケールではなく、社会的時間スケールで次の大規模噴火を視野に入れる時期に来ている。次の大規模噴火においては、噴火の早期警戒に従い、噴火発生前に確実に避難を完了する必要がある。ここ100年の間に火山観測技術は大きく進歩し、よもや桜島で発生する火山性地震を見誤ることはあり得ないが、現代の我が国が大規模噴火を経験していない以上、単なる経験則だけではなく火山活動の科学的原理に基づいて意思決定がなされるべきである。一方、100年の間に社会環境は大きく変化した。鹿児島市の都市化は進み、火山噴火の影響を受ける人口ははるかに増大した。加えて、我が国における世代別の人口構造は変化して早期避難を要する高齢者人口は、特に増大した。また、100年の間の社会インフラの進化により、火山災害対策の考え方を大きく変えざるを得ない。人命を守ることは当然のことである

が、噴火開始後の生活をいかに守っていくかが最大の課題となっている。特に、交通等のインフラの進化は目覚ましく、大正時代よりもはるかに複雑で膨大な災害対応を行う必要がある。

本特集では、第1章「地質学視点でみた桜島火山の大規模噴火(小林哲夫:鹿児島大学名誉教授)」で桜島の大規模噴火の特性を明らかにし、第2章「史料にみる桜島大正噴火(岩松暉:鹿児島大学名誉教授)」で大正噴火災害について詳述する。第3章「桜島大規模噴火の発生予測(井口正人:京都大学教授)」では、今後起こりうる大規模噴火の発生予測について述べ、第4章「桜島における大規模噴火災害対策(鹿児島市役所:幸福崇ほか)」では、自治体の考える火山災害対策について述べる。第5章「桜島大規模噴火で予想される陸上交通の麻痺と対策(三田和朗:(株)ホウセイ・技研)」と第6章「大規模火山噴火による航空輸送への影響:桜島噴火の場合(竹林幹雄:神戸大学教授)」では、交通インフラへの影響と対策について述べる。最後に、第7章「ジオパークと大規模噴火(福島大輔:NPO法人桜島ミュージアム)」で大規模噴火を如何に社会に理解してもらうかについて述べる。

¹ 京都大学防災研究所

1. 地質学視点でみた桜島火山の大規模噴火

小林哲夫²

1.1 はじめに

桜島火山は始良カルデラの南縁に生じた後カルデラ火山である。山頂部は北岳・中岳・南岳が南北に連なって見えるが、地質学的には北岳が古い火山体であり、その南山腹に成長したのが南岳である。南岳では歴史時代にも4回の大規模噴火が発生し、特に1955年以降は山頂火口と昭和火口で活発なブルカノ式～ストロンボリ式噴火が発生している。最後の噴火である大正噴火(1914年)から100年以上が経過し、遠くない将来に同程度の規模の大噴火が発生してもおかしくない時期に達している(Yamamoto et al., 2013)。そのような時期にこそ4大噴火の噴火現象を地質学的側面から整理し、将来の噴火対応を考えるのも意義がある。

本論ではまず桜島火山の噴火史を概観し、次に歴史時代の4大噴火の特徴を記載し、将来の大規模噴火の噴火予測(噴火規模、噴火様式等)を行う。最後に桜島火山と親子関係にある始良カルデラの巨大噴火の発生可能性についても言及する。

1.2 桜島火山の噴火史

桜島火山の噴火史は、周辺地域に分布するテフラ(主に降下軽石)の層序と分布から推定することができる。図1-1は模式的なテフラ層序と、歴史時代の4大噴火のテフラの分布を示している。テフラの名称は最も新しい大正噴火(1914年)のテフラをP1、それ以前をP2(安永噴火, 1779年), P3(文明噴火, 1471年), P4(天平宝字噴火, 764年)と略記する。それ以前のテフラP5～P17は先史時代の噴出物であり、それらの噴火年代は暦年較正された¹⁴C年代である(奥野, 2002)。このテフラ層序中には鬼界カルデラ噴火に由来する鬼界アカホヤ火山灰(7300年前)が挟在する。テフラ

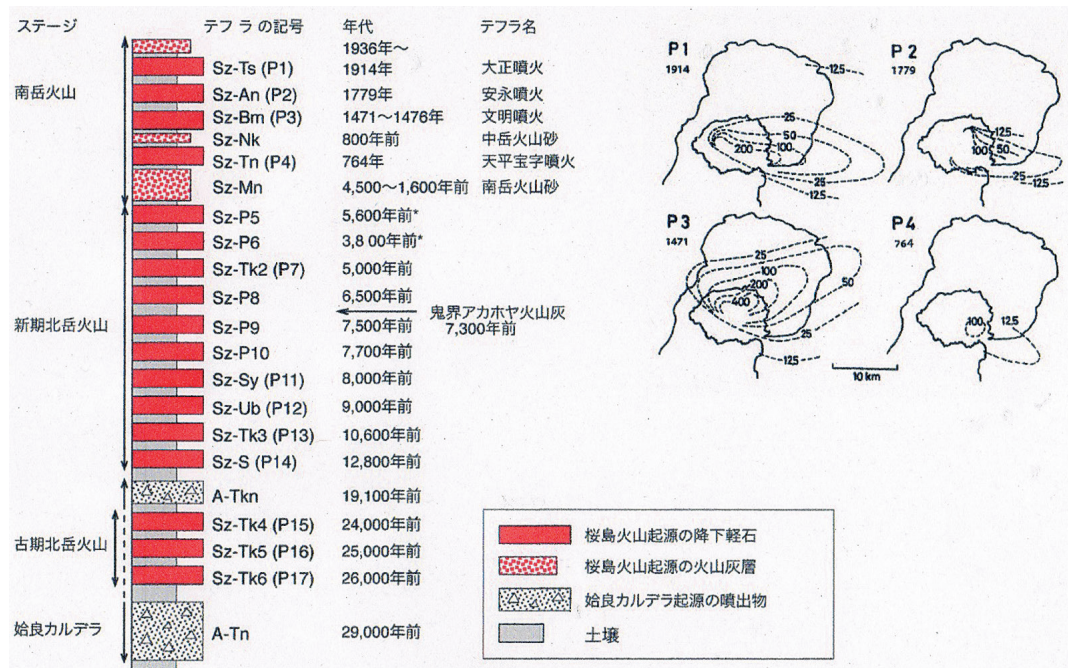


図1-1 桜島火山の模式的なテフラ層序(左・右下)と歴史時代の4大噴火のテフラ層の分布(小林・溜池, 2002, 小林他, 2013を修正)

² 鹿児島大学地震火山地域防災センター

データを総合すると、まず北岳が段階的に成長し、その後4500年前からは南岳が活動を始めたことがわかる。中岳の誕生時期については、北岳、中岳、南岳の順あるいは中岳、北岳、南岳と考えられた時期もあるが、Koto (1916) の研究以降は、北岳、南岳、中岳の順が受け入れられている。中岳は南岳の北火口縁付近に誕生した溶岩ドーム状の側火山であり、最近の研究で形成年代は西暦1200年ころと推定された(小林, 2010)。また南岳の南西斜面に分布する大平溶岩も歴史時代の溶岩と推定されていたが、¹⁴C年代測定(小林・他, 2009a)および古地磁気と全岩化学組成の研究(味喜・他, 2012)から、西暦950年ころの噴出物と判断された。

図1-2はテフラ噴出量を累積表示する階段図である。北岳は単一の火山に見えるが、実は古期北岳(2万6000年前~2万4000年前)と新时期北岳(1万2800年前~5600年前)が重なりあった火山体であり、古期と新期の活動時期には1万年以上の休止期間が存在する。古期北岳でも初期のプリニー式噴火は大規模なものが多く、特にP14(Sz-S)噴火の噴出量は約11 km³にも達する。それに次ぐ

P13でも噴出量は2 km³を超えないので、P14は他のテフラより桁違いに大きいことがわかる。噴火地点は袴腰付近と推定され、鹿児島市街地を含む約10 kmの範囲にはベースサージが到達している(小林・溜池, 2002)。南岳が成長した時期(4500年前~)には、主に火山灰(+溶岩)を噴出するブルカノ式噴火が卓越した。

なお古期と新期の間の長期の休止期間中には、始良カルデラ起源のマグマが2回噴火している(図1-2)。1万9100年前の高野ベースサージ(A-Tkn)と1万6000年前の新島軽石(A-Sj)の噴火である(西村・小林, 2015)。これらテフラはカルデラの東縁に沿って存在する海底火山や若尊カルデラから噴出したものと推定される。噴出物の希土類元素パターンを比較すると、桜島と始良カルデラの噴出物は明らかに異なるパターンを示す(図1-3b)。また高野ベースサージと新島軽石は、桜島ではなく始良カルデラの噴出物と類似したパターンを示す(図1-3a)。すなわちA-TknとA-Sjは始良カルデラのマグマ溜りから噴出したことを意味している。それゆえ始良カルデラと桜島火山のマグマ溜りはともに「始良カルデラ」域に存在してはいるが、単一のマグマ溜りからの噴出物ではなく、分離した別個の空間を占めるマグマ溜りから噴出したことを強く示唆している。

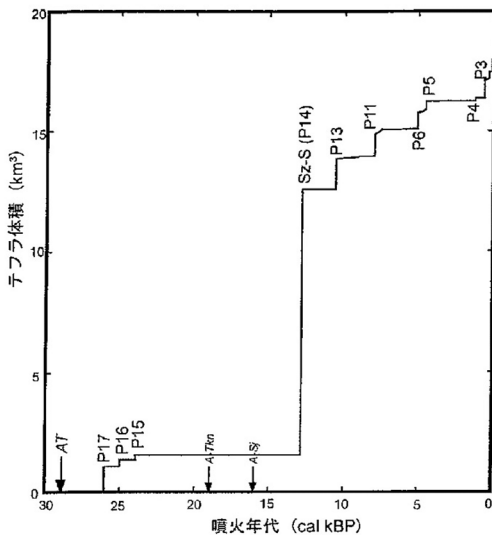


図1-2 桜島火山のテフラ噴出物の階段図(奥野・小林, 2015)。噴火年代は較正暦年であり、噴出量はみかけの体積である。溶岩と火山体の体積は図示されていない。

1.3 歴史時代の大噴火

表1-1は歴史時代の噴火をまとめたものであり、表1-2は代表的な噴火の噴出量をテフラと溶岩別に表示した。また図1-4は歴史時代の溶岩流(+鍋山)の分布図である。歴史時代にも多くの噴火記録が残されているが、天平宝字噴火(764年)、文明噴火(1471年)、安永噴火(1779年)、大正噴火(1914年)の4つが大噴火と見なされている。しかし昭和噴火(1946年)、中岳の形成噴火(1200年ころ)および大平溶岩の噴出(950年ころ)等は、溶岩の流出を伴ってもマグマの噴出量が少ないため、大噴火とは扱っていない。

表1-2には過去の4大噴火の噴出物を、軽石と溶岩に区別し、それを合計したマグマ噴出量として表示している。ただしテフラは見かけの体積な

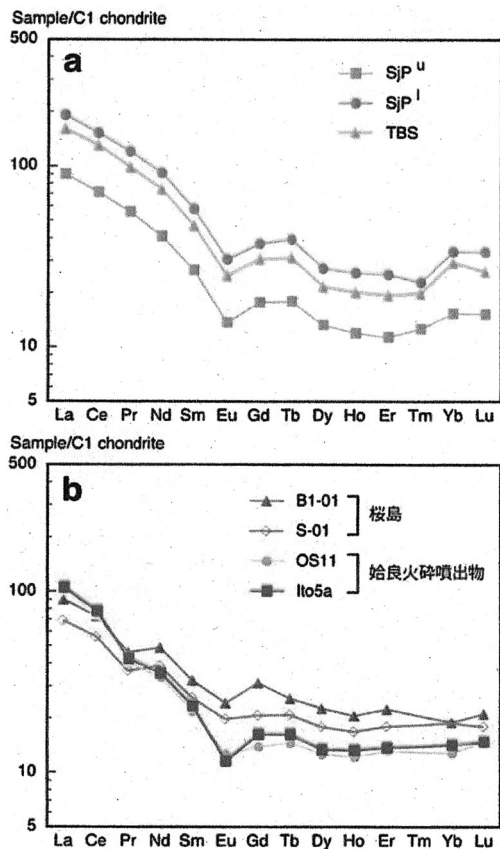


図1-3 希土類元素パターン（西村・小林, 2015）。a: 新島軽石(SjP)および高野ベースサージの軽石(TBS), b: 桜島の噴出物と始良カルデラの噴出物

ので、溶岩（マグマ）と同じ密度の体積（DRE）に換算するには0.4を掛ける必要がある。その結果、4大噴火のマグマ噴出量は0.81～1.82 km³の範囲となる。そのなかで軽石の比率が高いのは文明噴火であるが、それでも溶岩と軽石の比率はほぼ1：1である。それ以外では溶岩の比率はるかに高く、特に天平宝字噴火では噴出量の約95%は溶岩である。

1.3.1 天平宝字噴火（764年～766年）

小林（1982）は古文書の記述内容と島内の地質を対照し、西暦764年の噴火で鍋山が出現し、その前面に長崎鼻溶岩が流出したと考えた。その後、Okuno et al. (1997, 1998) の¹⁴C年代測定結果および味喜（1999）の古岩石磁気による年代学的な研究から、この噴火年代が西暦764年であることが確定し、天平宝字噴火と呼ばれるようになった。そのため長崎鼻溶岩は天平宝字溶岩とも呼ばれる。

最初の噴火活動は桜島東山麓の海岸付近で発生したプリニー式噴火であったが、すぐに水蒸気マグマ噴火に変化し、ベースサージの集積により鍋山火砕丘が出現した。火砕丘は形成中から波浪侵食を受け、現在のように東側が欠如した地形となった。しかしその前面の火口から溶岩流が海域に広がり、鍋山は溶岩により陸域に隔離された火山となった。鍋山の東に隣接する蝦の塚もこの時

表1-1 桜島火山の歴史時代の噴火

噴火年代	噴火名（テフラ略記）	特記事項
2006～	昭和火口での噴火再開	2009年以降、平成火砕丘の成長
1955～	山頂（A, B）火口での噴火	2003年以降、爆発回数が激減
1939→1946	昭和火口での噴火	1946年、昭和溶岩の流出
1914～1915	大正噴火（P1）	溶岩により大隈半島と陸つづきとなる
1880, 1899		
1779～1782	安永噴火（P2）	安永諸島の出現（4島が現存）
1468, 1642, 1678, 1706		
1471～1476	文明噴火（P3）	文明溶岩は複数回の流出
1200*	山頂噴火	中岳の誕生
950*	山頂噴火	大平溶岩の流出
764～766	天平宝字噴火（P4）	鍋山火砕丘と長崎鼻溶岩の流出
708, 716, 718		

*：暦年較正した¹⁴C年代（概数）。大噴火は太字で表示。

に出現した小規模な火砕丘である。図1-4には図示されていないが、海底には陸域に分布する溶岩の2倍ほどの量の溶岩が分布している(表1-2を参照)。鍋山出現後の766年には群発地震が発生し、島民が恐れをなして避難したとの記録がある。

1.3.2 文明噴火(1471年~1476年)

文明噴火は歴史時代では最大規模の軽石噴火であり、1471~1476年にかけて噴火した記録が残されている。文明溶岩は桜島の北東山麓と南西山麓に分布しているが、本間(1935)、山口(1975)、福山(1978)および福山・小野(1981)で、微妙に

表1-2 歴史時代の噴火の噴出量の比較(味喜・小林, 2016を簡略化)

噴火名称	西暦年代	テフラ km ³	溶岩 km ³	マグマ km ³ DRE
昭和噴火	1946		0.18	0.18
大正噴火	1914-1915	0.5	1.34	1.54
安永噴火	1779-1782	0.3	1.7	1.82
文明噴火	1471-1476	0.8	0.49	0.81
(中岳)	ca.1200			
(大平)	ca.950		0.2	0.2
天平宝字	764-766	0.1	0.84 (陸0.29+海0.55)	0.88

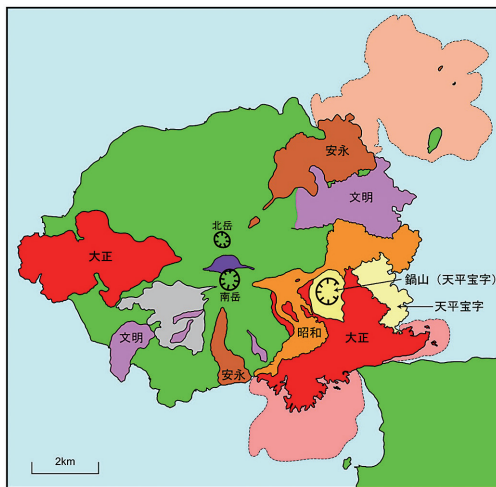


図1-4 桜島火山の歴史時代の溶岩流の分布(鍋山を含む)。大正溶岩と安永溶岩は海底での分布も図示してある。灰色は大平溶岩、暗紫色は中岳溶岩。

解釈が異なっている。

文明噴火では4大噴火では最も大規模なプリニー式噴火が発生した。主火口は北東側の割れ目火口のみであり、火砕流も発生している。しかし南西側の火口からは溶岩を流出しただけである(小林, 1986)。その後の調査で、南東斜面にも「文明溶岩」が分布すること、また南西斜面の溶岩の分布も従来よりも広がるのが判明した(高橋ほか, 2011; 小林ほか, 2013)。このように多くの文明溶岩流が識別されるようになったが、いまだ詳細な噴火年代は特定できていない。P3の分布は主に福山方向に向かっているが、北西方向に分布する軸も認められる(図1-1)。それゆえ軽石噴火も少なくとも2回は発生したと思われるが、古文書の記述と地質データとは整合しない。おそらく古文書の信憑性に問題があるためと考えられる。

1.3.3 安永噴火(1779年~1782年)

安永噴火では、前兆的な群発地震、井戸水の沸騰や湧水の増加、さらには海水の変色などの異変が出現した後に、南岳の南斜面と北東斜面に生じた対の割れ目火口からプリニー式噴火がはじまった。火砕流は噴火の比較的早期に発生した(小林, 1982, 1986)。その後、溶岩の流出が始まったが、南側火口の活動はまもなく沈静化した。しかし北東側に流下した溶岩の沖合では、その後1年以上にわたり海底噴火が継続し、海底が100mほど台地状に隆起し、その台地上には安永諸島と呼ばれるいくつかの島が出現した。これらの島は誕生の順に一~六番島と命名されたが、その後水没したのものもあり、現在では4島が存在するのみである。

小林(2009)は安永諸島の出現の推移を以下のように整理した。猪子島と硫黄島の誕生時には、まず海底で多量の軽石を湧出させるマグマ噴火が発生し、湧出した巨大軽石はしばらくの間浮遊したが、次第に沈んでいった。その後、海底が台地状に隆起し火口が海面近くに達すると、泥を降らすような噴火様式に変化した。硫黄島は海面にわずかに露出する溶岩島として現存する。一方、中

ノ島・新島は溶岩ではなく、海底が押し上げられて海面上に出現した単純な隆起島である。新島の地表には隆起に伴い生じた東西方向にのびる断層が多数存在する。中ノ島および新島の表面には、かつて海底に沈積した巨大軽石が点在している。

安永諸島がほぼ出そろった頃から、海底での爆発が顕著になり、津波が発生して被害が生じた(井村, 1998)。津波は1780年から1781年までの間に6回記録されているが、そのうちの3例は明らかに爆発に伴ったものである。それ以降も同じ場所で小規模な爆発があり、最後の小爆発は1782年初頭であった。

安永噴火のあと、鹿児島湾の奥部では地盤の沈降により4～5年は異常な高潮にみまわれた。この噴火による死者は153名であり、降下軽石や火砕流が流下した島の南～南東海岸の集落に被害が集中している(小林, 1982)。

1.3.4 大正噴火(1914年～1915年)

大正噴火の発生前日から島内では有感地震が発生した。噴火は翌12日の午前10時すぎに桜島火山の東西斜面に生じた対の割れ目火口で発生した。噴火様式は多量の軽石を噴出するプリニー式噴火であったが、噴火継続中の当日の午後6時30分ころに、鹿児島市側でM 7.1の大地震が発生し、29名もの死者がでた。プリニー式噴火の活動は13日の深夜(午前0時)過ぎが最も激しく、その後噴火の勢いは次第に低下した。しかしその日の夜半(午後8時30分ころ)、西側火口で激しい火砕流噴火が発生した。この火砕流により赤生原など西海岸沿いの多くの家屋が焼失した。西側の溶岩はこの爆発の後に流れ出し、沖合いの鳥島を飲み込んだが、約2週間後の1月末にはほぼ鎮静化した。

一方、東側火口から流出した溶岩は瀬戸海峡を埋め立て、1月末には桜島を対岸の大隅半島と陸続きにした。溶岩の流出は1年半ほど続き、海域を埋め立て独特な溶岩三角州が形成された。

大正噴火で噴出したマグマの総量は約1.5 km³であり、噴火後には始良カルデラを中心とした同心円状の沈降が観測され、鹿児島市付近でも30～50 cmほどの沈降量であった。

1.3.5 噴火現象の比較

4大噴火の共通点は、山腹～山麓に生じた割れ目火口でプリニー式噴火が発生し、溶岩の流出で終わっていることである。ただ大正・安永・文明噴火ではプリニー式噴火の最中～末期に火砕流が発生したが、天平宝字噴火ではすぐに水蒸気マグマ噴火に変化したため、ベースサージ(広義の火砕流)が発生し鍋山火砕丘が出現した。

大半の火砕流やベースサージは桜島の対岸までは到達していない。しかし先史時代の高野ベースサージ(A-Tkn)は東側対岸の高野周辺まで達しており、またP14の噴火では大規模なベースサージが発生し、その堆積物は現在の鹿児島市街地から吉野台地までの広い範囲に分布している。

いずれの4大噴火でも溶岩流の先端は海域に達したが、特に天平宝字噴火と大正噴火(東側溶岩)では、溶岩は海底にも広く流入した。しかし溶岩の顕著な二次爆発は知られていない。ただ安永噴火時の北東沖合いの海底噴火では、初期には巨大軽石を湧出するだけであったが、次第に爆発的な噴火が起こり、それに付随して津波も発生した。

噴火と関連する前兆地震は、おそらくすべての大噴火に先行して発生したと思われる。大正噴火では噴火開始から約8時間後にM 7.1の大地震が発生した。この地震では小規模な津波が発生した。また天平宝字噴火の後には、桜島を中心に群発地震が続いた。また火山性地震と関連するか否かは不明であるが、北岳の東側火口縁には、明瞭な二重のリムが認められる(岩松・小林, 1984)。この特殊な地形については、すでに本間(1935)がその存在を指摘しており、Tsuya(1956)および下村(1972)は北岳の新旧2つの火口縁と推定した。しかし現在の知識では、二重のリムは火口縁のずり落ちによるものと判断できる。表層のテフラの産状から、この特異な地形は安永噴火末期の火山性地震、あるいはその後の明治35年(1902年)までの間に発生した地殻内地震により形成されたものと推定されるが、具体的な年代特定には至っていない(小林, 2011)。

1.4 大噴火の規模・噴火様式の予測

桜島火山で今後数10年以内に大噴火が発生するとしたら、どのような噴火現象を想定すべきだろうか？図1-5は南岳誕生以降のマグマ噴火の階段図であり、歴史時代の4大噴火では軽石（白）と溶岩（黒）を色分けして図示した。大規模噴火間の休止期間は、文明噴火から安永噴火までが約300年、安永噴火から大正噴火までは約130年である。文明噴火以降は大規模噴火の発生頻度が高まっているように感じられる。

図1-2と図1-5からもわかるように、一般に大噴火の前には長い休止期間が存在し、その期間中に多量のマグマを蓄えていく。文明噴火以降は大噴火が頻発しており、大規模なマグマ溜りを形成することができないのであろう。経験則をもとに考えると、今後数10年以内に発生する大噴火は、大正噴火規模～最大でもその2倍程度の噴火を想定するのが妥当であろう。過去最大のP14噴火では10 km³以上のマグマを噴出したが、その噴火前には約1万年という長い「休止期間」が存在した。それゆえ現状では、P14規模の噴火は起こりえないと考えている（奥野・小林，2015）。

次は噴火様式について考える。大正噴火も安永

噴火も、それ以前の火山活動は低調であった。大正噴火前の桜島は全山緑に覆われており、おそらく中央火道は塞がれていたと推定される。噴火のためマグマが急激に上昇するには、新たな割れ目火道を形成する方が容易であった。しかし現在は山頂火口が開き状態であり、深部から上昇するマグマは中央火道を利用して噴火するかもしれない。テフラと溶岩の比率がどうなるかは判断できないが、大正噴火に比べ、溶岩として噴出する割合が高いかもしれない。噴火規模は同じでも、爆発的か流出的かによって、火山災害の種類も規模も大きく異なることになる。

その他、過去の大規模噴火で付随した諸現象、例えば前兆地震は必ず伴うものと考えられる。ただし大正噴火時のM 7.1クラスの大地震や、天平宝字噴火後の群発地震のような現象を伴うかは判断できない。また貫入したマグマにより山体が不安定になり、そこに大地震が追い打ちをかければ、規模の大きな山体崩壊が発生するかもしれない。噴火が海岸～浅海域で発生すれば、水深100 m以深なら巨大軽石の噴出、浅海なら水蒸気マグマ噴火（ベースサージの発生）や津波の発生も考えられる。防災対策としては、これら諸現象も考慮しておく必要があると思われる。

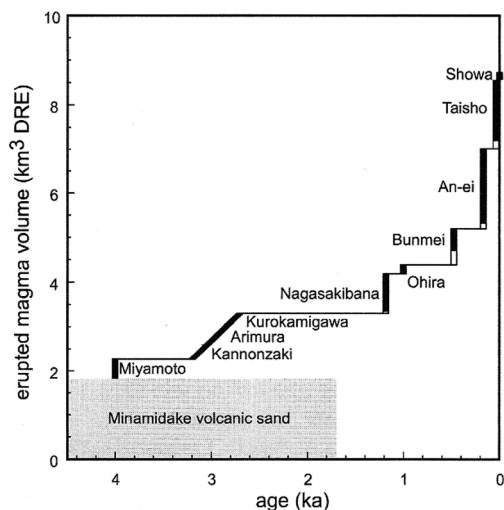


図1-5 南岳火山から噴出したマグマの階段図（味喜・小林，2016）。長崎鼻溶岩は天平宝字溶岩と同義。白縦線と黒縦線は軽石と溶岩を示す。

1.5 桜島火山と始良カルデラとの関係

1.5.1 巨大カルデラ噴火の予測は可能か？

桜島火山は始良カルデラの巨大噴火（約3万年前）後に誕生した火山であり、両者は親子のような関係にある。しかし両者の振舞いはまったく異なっており、前者は非常に活動的であるが、後者はずっと沈黙を続けている。活動的な桜島の火山活動を詳しく観測していれば、カルデラ噴火の予知（予測）もできるのかと考えがちであるが、近代的な観測体制の下で、我々は巨大カルデラ噴火を経験していないため、どのような変動がカルデラ噴火に結びつくか否かの的確な判断を下すことはできない。しかし地質学的な研究では、カルデラ噴火直前の噴出物を調べ、前兆的な噴出物とその噴火年代を特定することも可能である。

このような研究としては、北アメリカのクレー

ターレイクのカルデラ形成噴火 (Bacon, 1983) があり、日本でも鬼界カルデラに関する Kobayashi & Hayakawa (1984), 小林 (2008), 小林・他 (2010) 等の研究, 阿蘇カルデラに関する小林・他 (2009b) や小林・星住 (2017) 等の研究がある。筆者が研究した国内外のカルデラ噴火の事例を総合すると、前兆噴火とはカルデラ噴火と類似した組成のマグマ (流紋岩～デイサイト質) 噴火であり、共存する活火山のマグマとは起源が異なっている。著しく発泡したマグマが噴出するカルデラ噴火とは異なり、前兆噴火では溶岩が卓越する流出的な噴火も多い。また前兆噴火の発生時期には、カルデラ噴火の数100年前～数1000年前と大きな幅がある。

始良カルデラでも、約3万年前の巨大噴火に先行する幾つかの前兆噴火が確認されている。まずカルデラ噴火の1万年～5000年前の間に、カルデラの北縁と南縁の異なる場所で、大隅石を含む特徴的な流紋岩質溶岩の噴出があった (周藤・他, 2000)。その後～3000年前までの間に3回の軽石噴火が発生した (長岡・他, 2001)。直近では数100年前に、カルデラ噴火のマグマと類似した組成ではあるが、黒雲母を含む流紋岩質溶岩が噴出した (小林・他, 2019)。このように巨大カルデラ噴火に向かい、噴火の頻度が増していったことがわかる。

しかし現在の始良カルデラでは、約1万5000年前年より前にカルデラ噴火と類似したマグマ噴火が2回 (高野ベースサージおよび新島軽石) 発生したのみであり、それ以降現在に至るまで、流紋岩質マグマによる前兆的な噴火は発生していない。それゆえ近い将来に桜島火山が大噴火をして、それに連動するように巨大なカルデラ噴火が発生することはないと判断せざるをえない。このような考えは、最新の観測データに基づく噴火予知とは異なるものであるが、長期的な噴火予測としては的を射た発想と考えている。

1.5.2 始良カルデラ研究の将来展望

始良カルデラの深部 (~10 km) には桜島に連なるマグマ溜りが存在しており、大噴火の前後で

地盤の緩やかな上昇と、急激な沈降を繰り返してきた (加茂・石原, 1980)。この変動はマグマ溜りがあたかも心臓のように膨縮を繰り返し、マグマを放出しているために現れるパターンである。しかし図1-6に示したように、噴火後の沈降は上昇開始時点の高さまで下がらず、長期的には始良カルデラ周辺の地盤は上昇を続けている。歴史時代の上昇率は1.3 mm/year であるが、その上昇率は湾周辺の完新世初期の段丘地形の形成過程をも説明できるため、少なくとも過去7000年を通じてほぼ一定の上昇率であったと推定された (泉・他, 1991)。この長期的な地盤の上昇が、沈黙をつづける始良カルデラのマグマ溜りの膨張を反映していると仮定すると、現在のマグマ溜りには、数10 km³の流紋岩質マグマが蓄積されているのかもしれない (小林・他, 2010)。

図1-7は始良カルデラの深部構造の概念図である。桜島のマグマ溜りは膨縮を続ける心臓のように表現した。なお Kamo (1989) には始良カルデラの流紋岩質のマグマ溜りが描かれていないため、概念的なマグマ溜りを描き加えた。このマグマ溜りは過去3万年にわたり流紋岩質マグマを溜め込んでおり、桜島のマグマ溜りよりもはるかに大きな空間を占めているはずである。しかしその形態や内部構造などは何もわかっていない。北米のロングバレーカルデラの研究では、マグマ溜りは巨大な単一の回転楕円体のような形態を想定しており、マグマの蓄積が続くと液状のマグマ

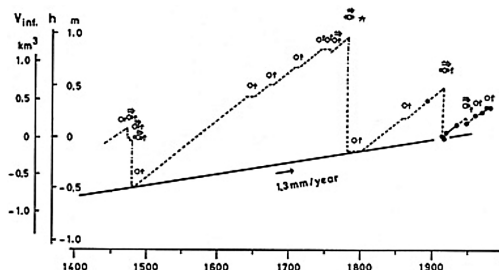


図1-6 15世紀以降の始良カルデラ周辺の推定地盤変動 (加茂・石原, 1980; 泉・他, 1991を修正)。Vinf. はカルデラの隆起容量, h は鹿児島市街地の標高変化のスケールを示す。斜め実線 (1.3 mm/year) は15世紀以降の平均上昇速度。

は次第に結晶化し、特に外縁部では深成岩化した強固な殻となり、内部でも結晶にとむ「おかゆ状態」となっている (Hildreth, 2004; Bachmann & Bergantz, 2008)。

流紋岩質マグマは一般に低温であるため、マグマ体の周縁部は定置とともに結晶化が始まるのであろう。始良カルデラのマグマ溜りは、おそらくロングバレーカルデラとは異なり、単一の回転楕円体状の形態ではなく、蓄積時期の違いを反映して、化学組成や物性が微妙に異なる小マグマ体が複雑に合体・連結している可能性がある (小林, 2008)。

マグマ溜りの膨張が臨界に達した時に前兆噴火が発生するのであろうが、著しく発泡したマグマの噴出ではなく溶岩等の流出的噴火が多いのはなぜか、前兆噴火から本格的なカルデラ噴火に至るまでに数100年以上もかかるのはなぜか等、マグマ溜りの実態解明のためのヒントはいくつも見つかっている。地球物理的、地球化学的研究とも協力し、カルデラ噴火の予知・予測に迫る地道な研究が必要であろう。

1.6 おわりに

桜島火山の歴史時代の4大噴火の地質学的な特徴を整理し、共通点と相違点を整理した。共通点としては、噴火は山頂火口からではなく、山腹～山麓に生じた割れ目火口から発生し、最初はプリニー式噴火で始まり、最後は安山岩質溶岩の流出で終わった。噴火の過程で火砕流も発生したが、天平宝字噴火では水蒸気マグマ噴火によるベースサージが発生した。

テフラ(軽石)と溶岩の噴出量を比較すると、両者がほぼ半々から大半が溶岩までの幅広い変化が認められた。最近では山頂火口での活動が活発なため、大噴火であっても山頂火口を利用するかもしれない。その場合、噴出量が正噴火と同程度でも、溶岩の比率の高い噴火になるかもしれない。多様な噴火様式が生じうることも考慮しておく必要がある。

カルデラ噴火の長期予測は、当面は地質学的手法でしか解明されないと考えている。共存する始良カルデラでは、過去1.5万年以上もの間、前兆噴火と判断される流紋岩質マグマの噴火は発生し

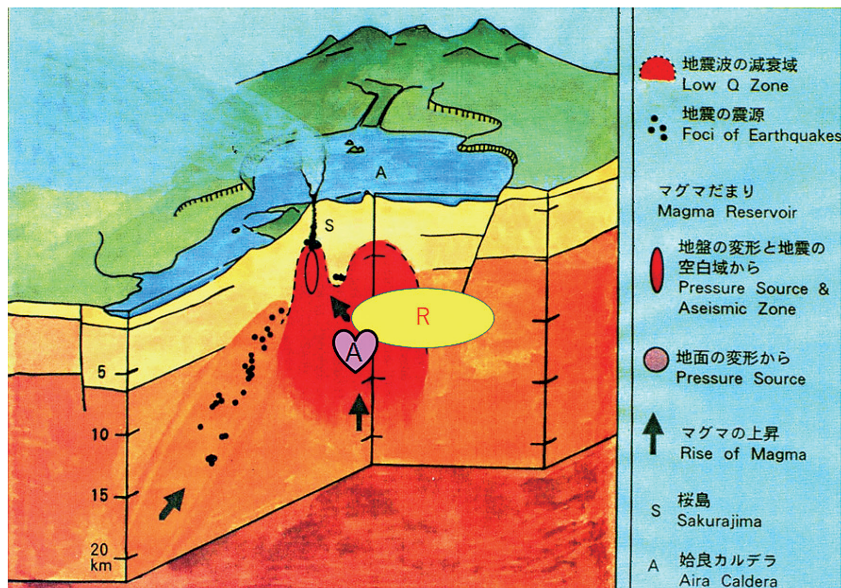


図1-7 始良カルデラの地下深部における2つの異なるマグマ溜りの概念図 (Kamo, 1989を修正)。Aは桜島系のマグマ溜り(安山岩質)、Rは始良系の巨大なマグマ溜り(流紋岩質)。

ていない。それゆえ近い将来に巨大カルデラ噴火が発生することはないと判断した。カルデラ噴火はごく稀に発生する破局的な自然現象であり、筆者の思い通りに推移するとは限らないが、明確な前兆現象が認識されていない以上、カルデラ噴火に至るプロセスの解明は、基礎的で重要な問題と位置づけ、着実に研究を進めるしかないと考えている。長期的な「噴火予測」ではなく、せめて数十年前くらいには精度の高い「噴火予知」ができる時代がくることを願っている。今後の研究の進展に期待したい。

最後に、筆者とともに桜島火山およびカルデラの研究を進めてきた奥野 充、成尾英仁、西村光史、宮縁育夫、稲倉寛仁、福島大輔、星住英夫氏ら多くの共同研究者、また本誌への掲載を勧めてくれた井口正人教授に感謝いたします。

引用文献

- Bachmann, O. and G. Bergantz: The magma reservoirs that feed supereruptions. *Elements*, Vol.4, pp.17-21, 2008.
- Bacon, C.R.: Eruptive history of Mount Mazama and Crater Lake caldera, Cascade Range, U. S. A. *Jour. Volcanol. Geotherm. Res.*, Vol.18, No.5, pp.57-115, 1983.
- 岩松 暉・小林哲夫：桜島火山の有史軽石の分布と浸食作用，桜島地域学術調査協議会調査研究報告，第2集，pp.149-158，1984.
- 泉 拓良・小林哲夫・松井 章・諏訪 浩・江頭庸夫・加茂幸介：桜島における縄文人の生活と火山災害－桜島・武貝塚の発掘調査，京都大学防災研究所年報，No.34 A，pp.81-190，1991.
- 福山博之：桜島火山の地質，地質学雑誌，Vol.84，No.6，pp.309-316，1978.
- 福山博之・小野晃司：「桜島火山地質図 1:25,000」，地質調査所，1981.
- Hildreth, W.: Volcanological perspectives on Long Valley, Mammoth Mountain, and Mono Craters: several contiguous but discrete systems. *Jour. Volcanol. Geotherm. Res.*, Vol.136, No.3-4, pp.169-198, 2004.
- 本間不二男：日本火山誌1・桜島，火山（第1集），Vol.2，pp.226-296，1935.
- 井村隆介：史料からみた桜島火山安永噴火の推移，火山，Vol.43，No.5，pp.373-383，1998.
- Kamo, K.: A dialogue with Sakurajima Volcano, *Proceedings of Kagoshima International Conference on Volcanoes 1988*, pp.3-13, 1989.
- 加茂幸介・石原和弘：地盤変動からみた桜島の火山活動，桜島地域学術調査協議会調査研究報告，鹿児島県，pp.19-28，1980.
- 小林哲夫：桜島火山の地質：これまでの研究成果と今後の課題，火山，Vol.24，No.4，pp.277-292，1982.
- 小林哲夫：桜島火山の形成史と火砕流，文部省科学研究費自然災害特別研究，計画研究「火山噴火に伴う乾燥粉体流（火砕流等）の特質と災害」（代表者 荒牧重雄）報告書，pp.137-163，1986.
- 小林哲夫：カルデラの研究からイメージされる新しい火山像－マグマの発生から噴火現象までを制御するマントル－地殻の応力場－，月刊地球 総特集 カルデラ生成噴火－準備過程の理解に向けて－，号外 No.60，pp.65-76，2008.
- 小林哲夫：桜島火山，安永噴火（1779-1782年）で生じた新島（安永諸島）の成因，火山，Vol.54，No.1，pp.1-13，2009.
- 小林哲夫：桜島火山・中岳の形成年代：歴史時代の可能性，日本火山学会講演予稿集（2010年度秋季大会），p.33，2010.
- 小林哲夫：桜島の崩壊地形（コラム1），中央防災会議－災害教訓の継承に関する専門調査会（編）1914桜島噴火報告書，p.141，2011.
- Kobayashi, T. and Y. Hayakawa: Geology of Kikai caldera (Source of the Koya Ignimbrite), Japan. A progress report of the U.S.-Japan Cooperative Science Program "Volcanology of the Koya ash flow" (Principal investigators, Walker, G.P.L. and Ui, T.), pp.13-14, 1984.
- 小林哲夫・星住英夫：阿蘇－4火砕流堆積物と高遊原溶岩が重なる露頭，日本火山学会講演予稿集，2017年度秋季大会，p.19，2017.
- 小林哲夫・溜池俊彦：桜島火山の噴火史と火山災害の歴史，第四紀研究，Vol.41，No.1，pp.269-278，2002.
- 小林哲夫・奥野 充・中村俊夫・福島大輔：桜島・南岳で発見された歴史時代の溶岩流，日本火山学会講演予稿集，2009年度秋季大会，p.10，2009a.
- 小林哲夫・西村光史・宮縁育夫・稲倉寛仁：Aso-2火砕流噴火の直前に噴出した異常に高温の安山岩質マグマ，日本火山学会講演予稿集，2009年

- 度秋季大会, p.19, 2009b.
- 小林哲夫・奥野 充・長岡信治・宮縁育夫・井口正人・味喜大介: 大規模カルデラ噴火の前兆現象－鬼界カルデラと始良カルデラ－, 京都大学防災研究所年報, No.53 B, pp.269-275, 2010.
- 小林哲夫・味喜大介・佐々木寿・井口正人・山元孝広・宇都浩三: 桜島火山地質図1:25,000 (第2版), 地質調査総合センター I, pp.1-8, 2013.
- 小林哲夫・西村光史・迫口友里・高木哲一・昆 慶明・荒岡大輔: 3万年前の始良カルデラ噴火の前兆として噴出した流紋岩溶岩, 日本火山学会秋季大会講演予稿集, p.154, 2019.
- Koto, B.: The great eruption of Sakura-jima in 1914. J. Coll. Sci. Imp. Univ. Tokyo, Vol.38, pp.1-237, 1916.
- 味喜大介: 古地磁気方位・強度測定による桜島の溶岩の年代測定, 火山, Vol.44, No.3, pp.112-122, 1999.
- 味喜大介・小林哲夫: 桜島火山・南岳の形成過程－溶岩の古地磁気学的年代と噴出量の推定からの考察－, 火山, Vol.61, No.1, pp.237-252, 2016.
- 味喜大介・宇都浩三・Nguyen Hoang・石原和弘: 古地磁気と全岩化学組成から見た桜島火山南岳南西斜面に分布する溶岩流の噴出年代, 京都大学防災研究所年報, No.55 B, pp.177-181, 2012.
- 長岡信治・奥野 充・新井房夫: 10万～3万年前の始良カルデラ火山のテフラ層序と噴火史, 地質学雑誌, Vol.107, No.7, pp.432-450, 2001.
- 西村光史・小林哲夫: 始良カルデラ, 高野ベースサージと新島火砕流堆積物の化学的特徴, 月刊地球, Vol.37, No.6, 総特集－九州の火山地質学-III, pp.259-264, 2015.
- 奥野 充: 南九州に分布する最近3万年間のテフラの年代学的研究, 第四紀研究, Vol.41, No.4, pp.225-236, 2002.
- 奥野 充・小林哲夫: 桜島火山の噴火史から見た薩摩噴火の可能性, 月刊地球, Vol.37, No.6, 総特集－九州の火山地質学-III, pp.265-268, 2015.
- Okuno, M., T. Nakamura, H. Moriwaki, and T. Kobayashi: AMS Radiocarbon dating of the Sakurajima tephra group, southern Kyushu, Japan. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, Vol. B132, pp.470-474, 1997.
- Okuno, M., T. Nakamura, and T. Kobayashi: AMS ¹⁴C dating of historic eruptions of the Kirishima, Sakurajima and Kaimondake volcanoes, southern Kyushu, Japan. Radiocarbon, Vol.42, pp.825-832, 1998.
- 下村彦一: 桜島火山の山頂火口形, 地学雑誌, Vol.81, No.2, pp.65-80, 1972.
- 周藤正史・石原和弘・巽 好幸: 始良カルデラ地域の先カルデラ火山活動史－カルデラ北縁部加治木, 国分地域及び南縁部牛根地域の溶岩流試料のK-Ar年代測定－, 火山, Vol.45, No.1, pp.1-12, 2000.
- 高橋正樹・大塚 匡・川俣博史・泊 寿・安井真也・金丸龍夫・大槻 明・島田 純・厚地貴文・梅澤孝典・白石哲朗・市来祐美・佐竹 紳・小林哲夫・石原和弘・味喜大介: 桜島火山および始良カルデラ噴出物の全岩化学組成－分析データ583個の総括－, 日本大学文理学部自然科学研究所「研究紀要」, No.46, pp.133-200, 2011.
- Tsuya, H.: On the recent explosive eruptions of volcano Sakura-jima, southern Kyushu, Japan (1). Bull. Earthq. Res. Inst., No.34, pp.307-333, 1956.
- 山口鎌次: 桜島火山の研究, 日本地学教育学会, 東京, 128p., 1975.
- Yamamoto, K., T. Sonoda, T. Takayama, N. Ichikawa, T. Ohkura, S. Yoshikawa, H. Inoue, T. Matsushima, K. Uchida and M. Nakamoto: Vertical ground deformation associated with the volcanic activity of Sakurajima volcano, Japan during 1996-2010 as revealed by repeated precise leveling survey, Bull. Volcanol. Soc. Japan, Vol.58, No.1, pp.137-151, 2013.

2. 史料にみる桜島大正噴火

岩松 暉³

2.1 はじめに

1914年(大正3年)1月12日午前10時5分発生した桜島大正噴火は、20世紀にわが国が経験した最大の火山噴火である。明治維新以来半世紀、近代科学も発展してきたし、折からの大正デモクラシー、新聞報道も活発に行われていた。写真機も上流人士には普及し始め、職業写真家でなくても写真記録が残せるようになっていた。1888年(明治21年)磐梯山噴火と異なる点である。何よりも大都市の眼前で展開されたから、記録が多数残さ

³ 鹿児島大学名誉教授・静岡大学総合防災センター客員教授

れているものと考えられがちである。しかし戦前鹿兒島市は海軍基地を持つ軍港、第二次世界大戦の空襲で壊滅的な被害を受けた。地方都市では最大の被害という。しかも昭和・平成と度重なる町村合併により、貴重な公文書が廃棄されてしまった。こうした事情で、県議会議事録はじめ貴重な史料がほとんど失われている。一方陸海軍や内務省などの縦組織では、報告が細大漏らさず中央に挙げられており、国立公文書館等に残っていた。そこで内閣府中央防災会議災害教訓の継承に関する専門調査会で「1914桜島噴火」報告書¹⁾を取りまとめた際、それら各地に散在する諸史料を収集してデジタルアーカイブを構築した。また記念碑の悉皆調査も行った(岩松・橋村, 2014)²⁾。本稿はこのアーカイブに基づき噴火の様子と被害の概要を再構築したものである。

2.2 アーカイブの概要

アーカイブは新聞記事、絵画・映画・書、写真、絵はがき、国・軍、県・郡役所、市町村郷土史誌、単行本、雑誌、私家本、日記・作文、その他、地図、野帳・スケッチ帳、学術論文・学術記録と分け、細大漏らさず収集したつもりである。すべてpdf形式の電子ファイルとした。印刷時数千ページに相当する総容量約8.6GBである。

流布している写真は絵はがきの複写が多い。撮影者が明らかで写真乾板の残っているものでは、東京帝國大學(以下東京帝大と略記)教授大森房吉、鹿兒島縣女子師範學校(現鹿兒島大学)教諭山口謙次、第七高等學校(現鹿兒島大学;以下七高と略記)英語教師 W. L. Schwartz、垂水郵便局長宮原景豊撮影の写真が挙げられる。このうち Schwartz が新発見で、七高跡地に建つ鹿兒島県歴史資料センター黎明館にお孫さんから寄贈された。

油絵は洋画界の重鎮黒田清輝が、偶々帰省中に爆発に遭遇、小品を残している。黒田の弟子山下兼秀も地元鹿兒島の百貨店宣伝部長として勤務していたため、臨場感に富む大作数点とユーモラスな絵巻3巻を残した。図2-1は桜島の北方始良市加治木町の旧家に残っていた日本画である³⁾。東

両山腹のほぼ同標高から噴火している。東西走向の割れ目噴火をよく示している。

報道では地元紙鹿兒島新聞と鹿島朝日新聞(いずれも現南日本新聞)が当然のことながら精力的に取材している。もちろん鹿兒島新聞は12日当日号外を発行したが南日本新聞社にも日本新聞博物館にも残っていない。幸い旧藩主島津宗家の家令が東京の公爵家へ提出した日報にスクラップされていた(図2-2)⁴⁾。県外ではかなり誇大に伝えられたようで、たとえば大阪朝日新聞(現朝日新聞)13日付第二號外では、「海嘯襲來す」「有毒瓦斯發生」「櫻島死傷者は百四名」などとデマや誇大な数字が記されている。

総括的な報告書も出版されている。噴火から13年後の1927年(昭和2年)、鹿兒島縣では『櫻島大正噴火誌』⁵⁾と題する総括報告書を出版した(以下、噴火誌と略記)。以後の市町村誌はほとんど



図2-1 加治木から見た桜島大正噴火(白陽画, 加治木郷土館蔵)



図2-2 鹿兒島新聞1月12日付號外(田村, 2015)

これからの引用が多い。町村では東櫻島村役場が1925年(大正14年)に『大正三年櫻島爆發遭難録』⁶⁾という小冊子を出版したが、「櫻島には異變なし」と誤判をした鹿兒島測候所に対する恨みつらみが主であり、西櫻島村は何も出版していない。地元桜島は出版どころではなかったのだろう。ただし垂水村教育會の『垂水村郷土誌』⁷⁾は詳しい。

ここで当時の統治機構について触れてみたい。明治維新により中央集権的な国家が誕生したが、内治は主として内務省が所管した。土木・衛生から警察・消防まで広範囲を管轄、「官庁の中の官庁」と呼ばれ強大な権限を有していた。地方行政は国→県→郡→市町村といった階層構造を採っており、県・郡にはそれぞれ官選の知事・郡長が置かれている。郡は1899年(明治32年)~1926年(大正15年)の間だけ存在した組織で、府県で処理するには小さく町村で処理するには大きい事務を処理する中間機関である。実務行政官は主として県と郡にいたようで、桜島大正噴火の場合、どうも郡役所が前面に出て対応したらしい。前述の『噴火誌』⁵⁾も郡の記録の引用が多いからである。なお町村誌は直後にはあまり発行されていないし、その内容は被害の悲惨さや救援の美談など文学的記述が多く、定量的な記載はほとんどない。町村役場には技官が少なく事務官がほとんどだったのではなかろうか。

さて、その郡役所の記録であるが、前述のように郡役所自体が廃止されたため、地元でもそのような役所の存在自体知られていず、その出版物は国会図書館にも鹿兒島県立図書館にも鹿兒島大学図書館にもなかった。幸い鹿兒島縣肝属郡役所の『櫻島爆發肝属郡被害始末誌』⁸⁾(以下始末誌と略記)は鹿屋市立図書館と鹿兒島市立図書館に、鹿兒島縣噲啞郡役所の『櫻島爆發誌』⁹⁾(以下爆發誌と略記)は京都大学経済学部図書室に所蔵されていた。100年も経てば貴重書、当然禁帯出であるが、特別の計らいでアーカイブすることができた。両書は定量的記載も多く非常に役立った。本稿もこれに負うところが多い。また県の総括報告書は鹿兒島市内に勤務する県庁職員の手で編纂されたためか、大隅半島の情報に抜け落ちもあり、これを

補う点でも有益であった。

なお当時は明治憲法体制下にあり、勅令という超法規的措置も可能だった。前年の北海道・東北地方の凶作と桜島噴火に対処するため、内務大臣・大蔵大臣・文部大臣の地方行政に関する職権を県知事に委任する勅令を6月に発している(図2-3)¹⁰⁾。これにより、県知事はかなり自由な裁量権と財源を行使できるようになった。

2.3 噴火の様子

噴火の様子は克明に報道されており、ルポルタージュのまとめが鹿兒島新聞記者十餘名共纂『大正三年櫻島大爆震記』¹¹⁾として刊行されている。今回のアーカイブ作業で東京大学理学図書館小藤文庫に、小藤文次郎のフィールドノート2冊と共にスケッチブックが5冊発見された。大噴火前の午前8時30分、「南嶽ノ山頂ヨリ細キ二條の蒸氣昇リ…」から始まっており、小藤来鹿以前の時刻だから、小藤の描いたものではない。七高地質学鉱物学講師篠本二郎のハガキが貼ってあるので、恐らく篠本が恩師に贈呈したものであろう(図2-4)¹²⁾。篠本は測候所の「櫻島には異變なし」との見解に反対した人で、大噴火前から前兆現象に気づいて記録していたことになる。科学者による目撃証言として貴重である。

住民はどのように見ていたのであろうか。数多くの石碑に記述されているが、東櫻島村有村の住民が2年後に建立した記念碑には次のように記されている²⁾。

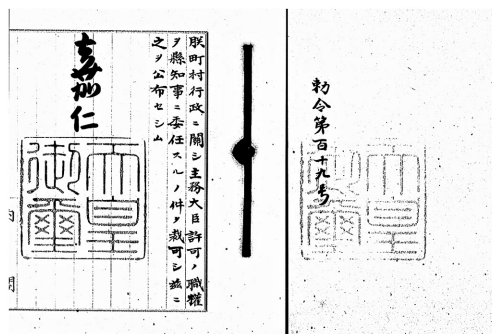


図2-3 勅令第百十九号(国立公文書館アジア歴史資料センター蔵)

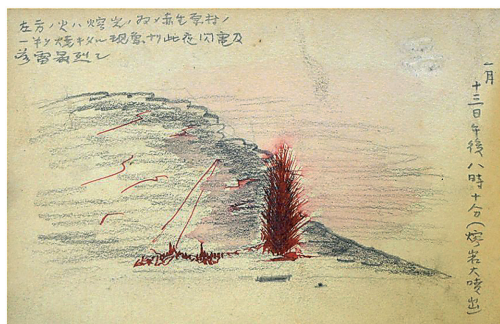


図2-4 篠本二郎(?)のスケッチ(東京大学理学図書館小藤文庫蔵)

東櫻島村有村氣候温暖土地豊饒五穀砂糖煙草瓜柑橘ノ類總テ穰ラサルナク村民永ク其天然ノ慶澤ニ依ラン事ヲ期セリ大正三年一月十一日午前十一時ノ頃ヨリ絶ヘス地大ニ震フ一分時平均三回人心戦々兢々タリ翌十二日午前九時半西櫻島村赤水ノ直上東櫻島村鍋山ヨリ殆ント同時ニ白煙起ル十時五分天地ヲ碎ク大鳴動ト共ニ此處櫻島ハ凄慘ナル大爆發ヲ始メ全島悉ク阿鼻叫喚ノ巷ト化シ終夕島民生色ヲ失ヒ或ハ自ラノ船ニ或ハ救護ノ船ニ乗ジテ倉皇難ヲ對岸ニ避ク爾來鳴動噴煙息ムコトナク村民ハ空ジ(ママ)ク袖手他人ノ同情ニ生クルノミ九旬ノ後危漸ク減ゼシヲ以テ故山追懐ノ念ニ驅ラシ(ママ)テ歸リミレバ哀レ天然ノ豊土ハ忽チニシテ累々タル熔岩ト化シ家モ畑モ舊態尋ルニ由ナシ此ニ於テカ有村百五戸村民六百有余多クハ肝属郡花岡村残余ハ種子島ノ官有地ニ移住ス(後略)

なお、有村集落は東櫻島村の役場所在地であり一大温泉街だったが、墓地も含めすべて溶岩に埋没したため、集落跡地を見渡す高台に「有村一同祖先歴代之總塔」という共同墓碑を建立した²⁾。

2.4 降灰状況

桜島大正噴火では、大量の降下火砕物(軽石・火山灰)を噴出した後、溶岩を流出した。溶岩は硬くて100年程度では浸食されないから現存しており、史料に頼る必要はない。そこで、ここでは降下火砕物の分布状況と層厚を見てみよう。

肝属郡と嶺峯郡の両郡役所は層厚を主要集落ごとに数字で記載しており、肝属郡役所は降灰量に

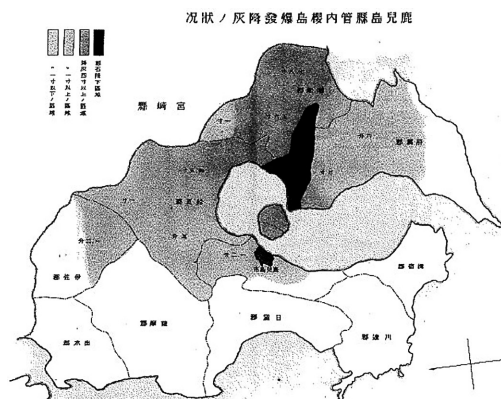


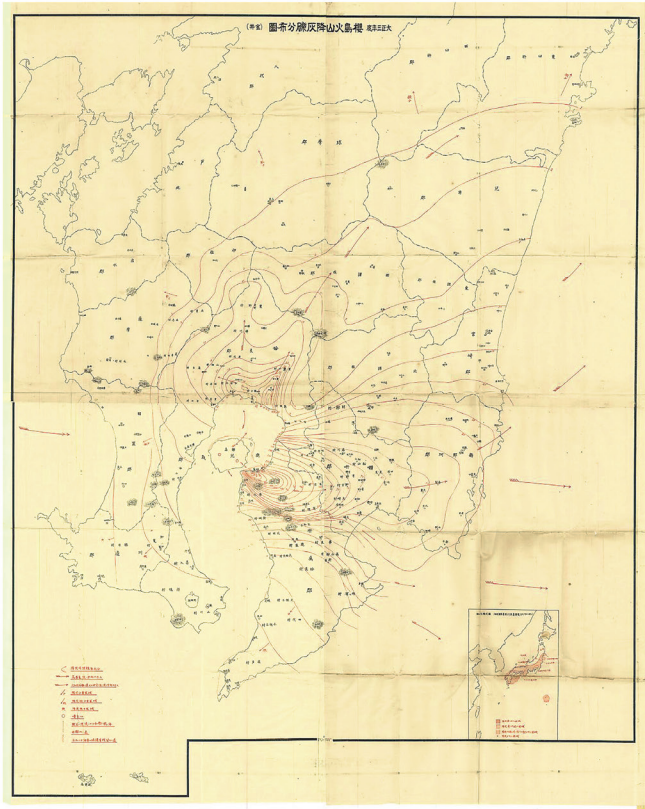
図2-5 櫻島爆發降灰ノ状況(田村, 2015)

応じてグラデーションで図示している。島津公爵家文書⁴⁾に県知事報告として綴じられている図と内務省警保局文書「大正三年一月櫻島爆發ニ関スル被害其ノ他ノ概況」¹³⁾の図とは同一であるが、これには軽石分布域が降灰域とは別に塗色されている(図2-5)。

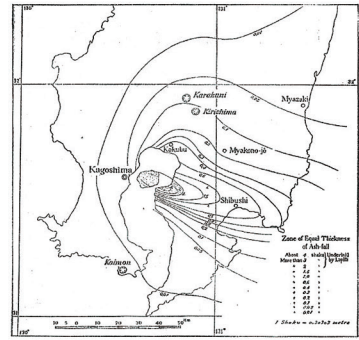
一方学者の論文では等層厚線図が採用されている。地元鹿兒島高等農林學校(以下鹿兒島高農と略記)助教授金井眞澄による全紙大の大きな図面「大正三年度櫻島火山降灰礫分布圖」がある¹⁴⁾。これは鹿兒島高農の學術報告特別號として出版されたため、サーキュレーションが極めて悪く、地質学界・火山学界では知られていなかった(2019年国立国会図書館デジタルコレクションで公開された)。東京帝大教授小藤文次郎¹⁵⁾と地質調査所技師佐藤傳蔵¹⁶⁾の2人の地質学者による論文付図もある。図2-6ではこれらの他に比較のため現代の地質学者による図も付け加えた(小林・溜池, 2002¹⁷⁾; Todde et al., 2017¹⁸⁾)。なお地震学者東京帝大教授大森房吉も等層厚線図を描いているが、町村役場からの報告に基づいて描いたらしくあまりにも大雑把なので省いた。

等層厚線は点データから内挿して描くもので、それほど厳密ではないから細かな異同を論じて意味はないが、上記5論文の1尺ライン(現代の論文はメートル法なので、30 cm ラインを内挿して描いた)を示すと図2-7のようになる。

図2-6と図2-7をどのように読み解けば良いので



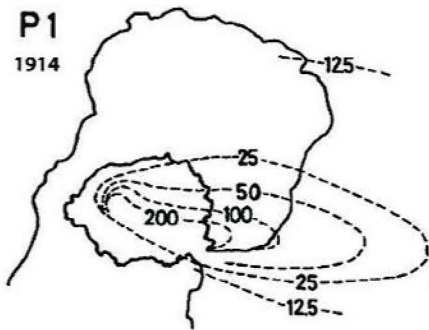
金井(1920)



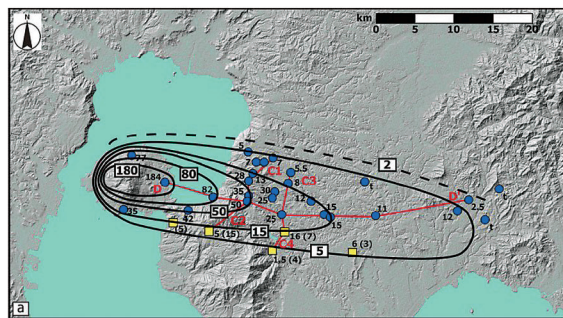
Koto(1916)



佐藤(1914)

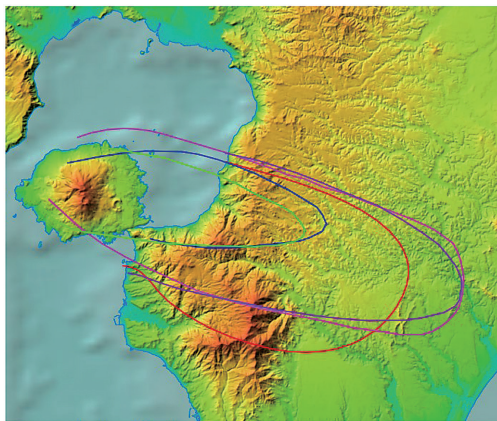


小林・溜池(2002)



Todde et al.(2017)

図2-6 桜島大正噴火降下火砕物の等層厚線図各種



紫: Koto, 桃: 佐藤, 赤: 金井, 青: 小林, 緑: Todde

図2-7 1尺 (30 cm) コントアの比較
背景図は地理院陰影起伏図

あろうか。GISでジオレファレンスした際の誤差にしてはあまりに大きいし、系統的な差異が認められる。第一に目につくのが、農学者金井の図¹⁴⁾が地質学者の図に比し、突出して分布域が広いことである。地元の地の利を生かして長期間克明に調査した結果であろう。一般に地質学者の地質調査は河川沿いや道路沿いの露頭に依拠して行われる。金井は農学者だから、後世露頭として残りにくい畑地、とくに地質学者の歩かない山麓斜面の畑地の調査を重点的に行っていたことも結果の違いに反映しているのであろう。第二に、分布の主軸が明瞭に3つのグループに分けられることである。金井¹⁴⁾のそれが北から東へ110度~120度方向で、地質学者小藤¹⁵⁾・佐藤¹⁶⁾は約105度方向、現代の地質学者^{17,18)}は95度~100度方向と、少しずつ異なる。第三に図2-7の1尺 (30 cm) コントアが示すように、現代の地質学者^{17,18)}の描いた分布範囲は、大正期^{15,16)}のものに比し、明らかに狭いことである。つまり層厚がかなり薄くなっている。以上をどう考えれば良いのであろうか。

安井ほか (2006)¹⁹⁾は、桜島大正噴火を次の3つのステージに分けている。ステージ1は1月12日午前10時過ぎからの約30時間で、プリニー式噴火により大量の軽石を噴出した。ステージ2は14日~1月末頃までで、東西両山腹から溶岩が溢流した時期である。火山灰を噴き上げる噴火もしば

しばあった。ステージ3は2月から翌年9月頃までで、東側山腹の穏やかな溶岩溢流で特徴づけられる。時には断続的な火山灰噴火もあったという。これらを勘案すると、小藤¹⁵⁾や佐藤¹⁶⁾は東京からの短期間出張調査だったから、ステージ1の主としてプリニー式噴火の堆積物を観察しただけだったのだろう。県知事報告の軽石分布域とほぼ一致している。それに対し、金井¹⁴⁾は地元にて全ステージの堆積物を観察記載したため、分布範囲が異なる結果になったのである。小藤¹⁵⁾・佐藤¹⁶⁾と異なって南方の鹿屋方面や北方の霧島・始良方面に張り出しているのは、ステージ2~3の間に風向きが始良~霧島~曾於~鹿屋方向の間を変動したためであろう。一番新しい Todde et al. (2017)¹⁸⁾の論文では、テフラを火山礫 lapilli サイズの軽石を含む T1~T3のユニットに分け、さらにそれらを覆う火山灰だけの T4ユニットを識別し、T4は南縁だけに分布するとしている。しかし実際に霧島市方面にも降灰被害が出ているから、南縁だけというのは当たらないであろう。

現代の地質学者^{17,18)}の図と大正期^{15,16)}の地質学者の図とで分布主軸が異なるのは、主軸の南側が高隈山系であり申良川などの源流に当たる点が効いているように考えられる。ここでは後述のように、10年近く土石流や洪水が頻発した。露頭は道路の切り割りで見られることが多く、その道路は谷沿いに造られることが通例だから、浸食しつくされて現在では露頭としてあまり残っていないからではないだろうか。層厚が異なるのは、100年間に圧密で厚さが減じたり、雨風で浸食されたり、さらには人為的に排土されたりしたからであろう。ちなみに等層厚線図からGISで火砕物の体積を求めてみる。金井¹⁴⁾を基準とすると、小藤¹⁵⁾および佐藤¹⁶⁾は約51%、小林¹⁷⁾および Todde¹⁸⁾は約23%になるという(田中私信:謝辞参照)。

次に軽石と火山灰との量比についても検討してみたい。軽石 pumice とは、降下火砕物のうち淡色で塊状多孔質なものを指す組織についての用語である。これに対し、火山灰 volcanic ash は粒径 2 mm 以下の細粒な降下火砕物を指す粒度に基づく名称である。したがって分類基準が異なる名称

を並列に扱うのは火山学的には若干問題があるため、一括して降下火砕物あるいは単に降灰と呼ばれることが多い。しかし常日頃降灰を経験している鹿児島市民に「大規模降灰」と言われても、いわゆる「ドカ灰」をイメージするだけで、軽石を想起する人は皆無であろう。やはり軽石と火山灰は物性的には明らかに異質で災害に及ぼす効果も著しく異なるから、これを峻別しておくことは災害科学的には意味がある。

堆積物の内容にまで言及記載してあるのは噲噲郡役所の『爆發誌』⁹⁾だけなので、これを見たい。ただし曾於郡は降灰の分布主軸から若干離れた縁辺部に位置していることに留意する必要がある。集落ごとに表層から順に第一層～第四層と記載している。このうち第二層と第四層が軽石層で第一層と第三層が火山灰層である。「降灰の變遷」の項を読むと、第三層と第四層は1月12日午前10時20分～13日午前8時に降ったもので、第一層と第二層は14日午前2時～15日午後2時に降ったものようである。つまり前者2者は安井ほか(2006)¹⁹⁾のステージ1の堆積物、後2者がステージ2の堆積物である。ステージ2でも、粟粒大だが多少粗粒の部分が識別できたようだ。軽石の大きさは米粒大とか大豆大あるいは蠶豆大などという記載されているが、ここでは第二層と第四層を一括して軽石層として、柱状図を描いた(図2-8)。全層厚のうち軽石層の占める割合は70～80%である(図2-9)。ちなみに分布主軸に近い垂水村高峠の鹿児島高農高隈演習林においては、「全堆積物深さ二尺二寸に及び下層軽石は一尺九寸、上層灰量三寸なり」¹⁴⁾。つまり全層厚中86%が軽石であった。

2.5 地震

桜島大正噴火で忘れてはならないのが大噴火当日の夕刻18時29分に発生したマグニチュード7.1と推定されている地震である。主として鹿児島市内で被害があり、死者29名を出した。今村(1920)²⁰⁾は震度階を図示し、江戸時代の絵図と比較して、人工埋立地で震度が大きいと指摘している。恐らく震災と人工埋立地との関係を論じた

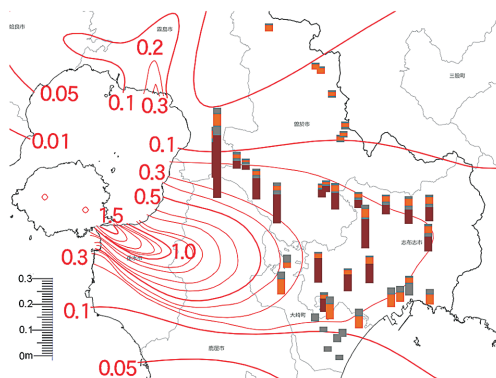


図2-8 曾於郡における降下火砕物の柱状図『爆發誌』より作図。表層から第一層～第四層(単位:m)ただし、金井(1920)の等層厚線図を加筆(単位:mに変換)背景図は地理院白地図(自治体名は現在の地名)

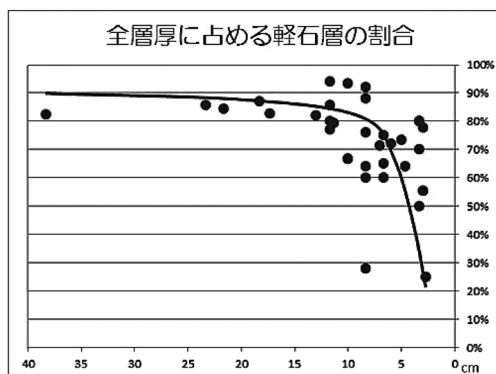


図2-9 全層厚に占める軽石層の割合『爆發誌』より作図。

最初の論文であろう。今村の論文付図は写真製版のゆがみがあるため、現在の地形図にトレースし直してみた(図2-10)。確かに平安時代俊寛僧都が島流しにされた際出航した俊寛堀は震度Ⅳ強震のところにと当たっている。図では震度Ⅲ弱震のところだが、松原稲荷神社では記念碑に「偶々大正寅三年一月櫻島ノ爆發ニ際シ神殿ノ崩摧ニ逢ヒ」と記されており、震度Ⅲであっても倒壊している²⁾。

液状化もあったようだ。鹿児島市郊外に当た



図2-10 鹿児島市街地震度分布
 今村(1920)をトレースしたもの
 ①～④が震度階
 赤丸：俊寛堀、紫丸：御船手(江戸時代の港)、青丸：松原稲荷神社

る西武田村(現鹿児島市田上地区)の『西武田村誌』²¹⁾に次のような記述がある。「田上川の堤防には長さ数間に及ぶ数十の大亀裂を生じ、田上尋常高等小學校の校庭にも處々亀裂を生じ其の裂口より濁水滔々と湧き出で瞬間にして脛を没するに至り當日宿直して熱心に救護に従事中の松元訓導の如き全く海嘯の襲來と仰天せし程なりと。」さらに同誌は「天神が瀬戸數十間に互りて崩壊し折からの月明をたどりて谷山方面へ連続して遁れ行く避難者を地下十三間の底に壓死せしめたり」と続け、圧死者10名の住所氏名年齢を列挙している²¹⁾。地震でシラス崖が崩壊したのである。ただし死者は鹿児島市民5名谷山村民5名で、桜島の島民は含まれていない。

2.6 二次災害(土砂災害・水害)

火山災害というと噴火活動に伴う直接の災害が注目されがちで、報告書や研究論文も噴火終息後に集中的に刊行される。その後は世間から忘れ去

られるのが常だ。桜島大正噴火では、その後10年以上、土石流災害や水害が継続した(下川・地頭蘭, 1991)²²⁾。高隈山系に軽石が積もって山地が荒廃したため土石流が発生、その土石流が河床を上げて洪水を誘発したのである。『垂水村郷土誌』⁷⁾に次のような記述がある。「一度急雨沛然として至らんかセメント質を帯びて凝結せる灰砂に覆はれたる土地は吸収力なく停滞力なく降るに従ひ低きを求めて滔々流下し山林よりは巨大なる根扱きの樹木及巨巖大石を押し流せし惨状普通の洪水と比すべくもあらず。」この年垂水村では11回も土石流が発生しており、噴火直後は僅か日雨量33 mmでも発生したという。

とくに降下火砕物の分布主軸を源流とする串良川の被害は甚大だった。串良川沿いに13基の河川改修記念碑が残されている。鹿屋市観音淵の「堤塘工事記念碑」には、「櫻嶋爆發シ降流灰砂殆ど四尺ニ及ヒ河川濁流シ為メニ魚族全滅シタリ殊ニ爆發后ノ大洪水ハ未曾有ノ大氾濫ヲナシ堤塘ヲ決潰シテ土砂ヲ流シテ沿岸ノ耕地ヲシテ一望荒涼沙漠ト化セシメタリ」とある²⁾。中には高隈中央のように同じ場所に改修記念碑と第2回改修記念碑と2基もあるところがあった²⁾。複数回の土石流で被災、その都度やり直しをしたのである。半ば泥に埋まった石碑を掘り出してみると、碑文末尾に「運搬寄附 高隈小學校兒童」とあった(写真2-1)。重機もなく人力に頼るしかない時代、学童も動員されたのだ。

2.7 二次被害(地盤沈下)

鹿児島湾奥部の沿岸では地盤沈下の被害もあった。始良カルデラを中心に鹿児島湾沿岸で数10 cm 沈下したのである(陸地測量部, 1915; Omori, 1916; Koto, 1916)(図2-11)。霧島市の小村新田は江戸時代の干拓地だが、桜島噴火に伴い地盤沈下した。「堤防復舊記念碑」には「沿岸一帯ノ土地沈降海水ハ三尺餘ノ高潮(次掲)來シ地區内ニ海水侵入水田ノ大半ハ一沼海ト變ズルニ至リ」とあり²⁾、「土地沈降」と正しく認識しているが、始良市塩釜公園の「塩田の碑」には「大正三年桜島爆發の際大津波が襲い堤防は忽ち決壊し塩田は

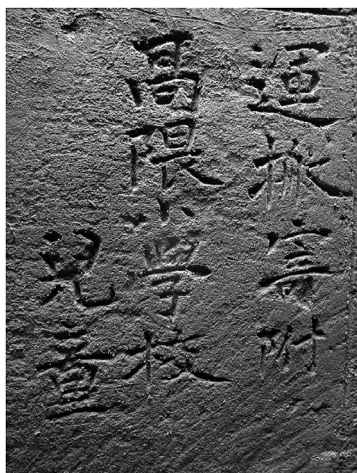


写真2-1 第二回河川記念碑 (高隈中央, 部分)

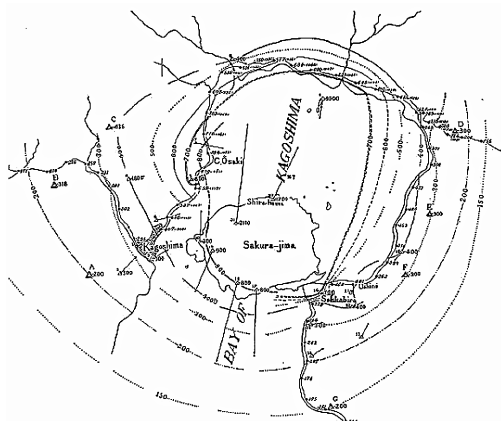


図2-11 始良カルデラを中心とする地盤沈下 (Koto, 1916)

一面の海となり復旧の術もなかった。」とあって²⁾、津波と勘違いしたようだ。当時海嘯襲来とのデマが飛んだ原因だったのかも知れない。

2.8 人的被害

鹿児島県の総括報告書である『噴火誌』⁵⁾では、火山噴火に伴う死者行衛不明者29名(東櫻島村24名, 西櫻島村1名, 牛村(牛根村の誤植?)4名), 地震の死者29名(鹿児島市13名, 東西櫻島村を除く鹿児島郡15名, 谿山郡谷山村1名), 計58名の人的

表2-1 死者及行衛不明者に対する御下賜金交付リスト

町村	人数	町村	人数
鹿児島市	14	始良郡西國分村	-
鹿児島郡谷山村	6	全清水村	-
全伊敷村	1	全福山村	-
全西武田村	1	嘸咄郡市成村	-
全中郡宇村	2	全野方村	-
全東櫻島村	32	全恒吉村	-
全西櫻島村	5	全西志布志村	-
揖宿郡喜入村	-	肝属郡垂水村	2
日置郡東市来村	1	全百引村	-
全伊作村	1	全高隈村	-
全日置村	2	全牛根村	2
全下伊集院村	1		
全上伊集院村	1	熊本郡上屋久村	1

『噴火誌』による

被害があったとされ、この公式見解が現在も引き継がれている数字である。しかし史料によってかなり異同がある。たとえば前述の天神ヶ瀬戸の崖崩れの圧死者数について、『西武田村誌』²¹⁾と『噴火誌』⁵⁾ではそれぞれ10名と9名となっており、谷山村民の数も5名と1名で食い違っている。さらには鹿児島市役所が建立した「櫻島爆発記念碑」では「天神ヶ瀬戸の崩壊ノ如キ一時二十名を斃シ」とあり、2倍になっている²⁾。

3月6日東櫻島村黒神の学童3名大人1名が避難先の垂水村海浜で洪水の犠牲になったが⁷⁾、上記牛根村4名はどうもこの垂水村4名の誤りらしい。犠牲者を出身地にカウントするか犠牲地にカウントするかの違いもあったようだ。ダブルカウントもあったかも知れない。

同じ『噴火誌』⁵⁾に、死者及行衛不明者に対して下賜された皇室からの御救恤金交付リストが載っている(表2-1)。純粹の風水害である屋久島を除くと71名分記載されていて、同一報告書なのに、上記の数字と大幅に食い違う。桜島島民の犠牲者合計37名も上記の数字と整合性がないし、鹿児島市民の犠牲者数も異なる。金銭の交付を伴うものだから、こちらのほうが正確なのではないだろうか。

一方肝属郡の『始末誌』⁸⁾にも死者行衛不明者に対する御下賜金の記載がある。(イ) 櫻島爆発

被害に關するもの(6月交付)22名は、明らかに桜島島民の被災者遺族に対し移住先の肝属郡で交付したものであるが、(ロ)暴風雨被害に關するもの(6月暴風雨に対し9月交付：8月暴風雨に対し11月交付)の23名は二次災害に対して下賜されたものである。ただしこの23名の中に東櫻島村からの移住者が18名含まれている。なお『始末誌』⁸⁾には漏れているが、『垂水村郷土誌』⁷⁾によれば、2月と3月にも水害があり計2名の死者を出している。結局この2冊の史料だけで大隅半島の二次災害犠牲者は25名となる(ただし両書とも1915年発行)。いずれにせよ桜島大正噴火に伴う犠牲者数は公式見解よりかなり多そうだ。

なお桜島出身者18名の暴風雨犠牲者は元からの郡民に対して比率が高すぎる。もともと古くからの住民は適者として比較的 안전한場所に住んでいたのに対し、移住者は今まで人が住んでいなかった未開地、つまり災害リスクの大きな場所に住まざるを得なかったからなのだろうか。

2.9 建物被害

家屋被害も甚大だった。『噴火誌』⁵⁾に市町村別被害軒数が載っている。これをランク分けして図化した(図2-12)。桜島島内は溶岩や火砕流による焼失あるいは降下火砕物の重みによる倒壊である。地震の被害は従来鹿児島市内だけと漠然と考えられていたが、蒲生村(現始良市蒲生町：ただし半倒1軒のみ)から喜入村(現鹿児島市：1軒御下賜金交付)までの南北ラインは恐らく地震による被害であろう。喜入には塩田跡地に「護岸記念碑」があるので液状化があったのかも知れない。鹿児島湾奥部沿岸部は、前述の通り主に埋立地の地盤沈下に関連する災害である。大隅半島は、主として二次災害としての土石流・洪水によるものであるが、牛根地区では降下火砕物の重みによる倒壊もあった。牛根村松ヶ崎尋常小學校は噴火当日の午後「屋上に堆積した降石灰のため」倒壊したという⁷⁾。

2.10 インフラ被害

鉄道道路網と橋梁の被害状況を『噴火誌』⁵⁾『始

末誌』⁸⁾から読み取って地図上にプロットしてみた(図2-13)。おそらく代表的なところだけで、実際はもっとあったのだろう。薩摩半島側は地震による被害である。鉄道は鹿児島本線(現日豊本線)と川内線(現鹿児島本線)が不通になった。鐵道院總裁の内閣總理大臣宛報告によれば「山上の岩石墜落したるに因りて醸したる損害なり」とある²⁵⁾。始良カルデラ壁(鹿児島本線)とシラス崖(川内線)で表層崩壊が多発したのだろう。当

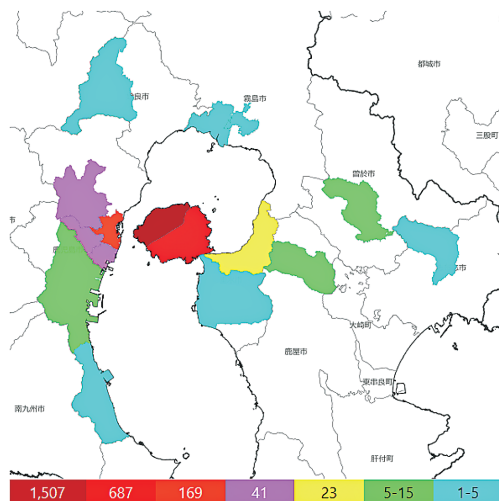


図2-12 市町村別住家全半倒焼失軒数(『噴火誌』より作図)背景図は地理院白地図(自治体名は現在の地名)



図2-13 交通被害(『噴火誌』『始末誌』より作図)ただし、金井(1920)の等層厚線図を加筆(単位：mに変換)

時はSL車だから給水井戸の変状も致命的だった。「水底地盤突起し、ポンプ鐵管に多量の砂を吸入したる爲に故障を生じ」とある。液状化したのだ(九州鐵道管理局, 1914)²⁶⁾。また降灰も災いした。「降灰雨に混じて碇子に積り、漏電多量重富嘉例川間最甚しかりき」と送電網の故障もあったようだ²⁶⁾。なお郊外電車(現鹿児島市電谷山線)も不通になった。

大隅半島側は大量降灰による道路閉塞やその後の土石流・洪水による道路橋梁の破壊が相次いだ。志布志など比較的遠方で主として細粒火山灰が積もった地域でも不通になったところがある。「降灰の量厚ければ厚き丈土地の吸収力減少せる爲一旦降雨に遭遇せば忽泥化し爲めに日光を蔽ひたる並木筋の乾燥悪しき縣道筋は泥濘甚しく且乾燥悪しき爲め復活も又平時より困難なるを認めたり」と述べられている⁵⁾。

電気は鹿児島電氣株式會社が供給していたが、地震によって「本線と架空接地バド線と混觸し爲に過大電流發生し、自動遮斷器を働かせしめたるによりて、電燈全部滅失するに至れり、翌十三日之か修理を了へ、十四日より一般に點火支障なき程度に至りしも當時市民の殆ど全部避難し居りたるにより空家に點火することは、保安上危険なりしとて其筋よりの注意に従ひ官公署及諸會社を除く外は送電を見合せ」という状況だったようである⁵⁾。阪神淡路大震災で問題となった通電火災について1世紀も前に配慮していたのかも知れない。

鹿児島郵便局舎と電話局も地震で危険建物になったので、テントを張って臨時事務を行い数日間混乱した。

当局は降灰の健康影響や井水への混入による衛生面の影響を心配して、種々の手を打ったようだが、鹿児島市内の水道は江戸期以来の湧水に頼っていたから、ほとんど被害はなかったらしい。郡部は食料自給だったから総じて食料問題は顕在化しなかったし、鹿児島市も地震被害だけで物流杜絶はなかったから、食料についてはあまり問題にならなかったようだ。もちろん農地を失った被災者に対しては後述のように食料費が支給された。

2.11 農業被害

鹿児島県は現在も農業県だが、当時は農業は基幹産業で水稲・麦・甘藷・菜種・蔬菜・茶・果樹(枇杷・柑橘)・煙草などのほか養蚕も盛んだった。溶岩で埋まったところや、土石流・水害の二次災害で被災したところは当然全滅した。一方降下火砕物で覆われた農地では、覆った火砕物の厚さや、植え付け作物が根菜類か葉菜類か、春蒔きか秋蒔きかで、影響はさまざまだった。『噴火誌』⁵⁾に土地被害面積や被害金額が田地・畑地・宅地と分けて町村別にまとめられている。図2-14はそのうち田地と畑地の合計被災面積を図化したものである。元々の耕地面積が分からないから被害率を示したものではない。降下火砕物の分布主軸方向に位置する町村に被害が大きい傾向は認められるが、それ以外の町村でもかなりの被害が出ている。4,000町歩以上の被害があったところは溝邊村・鹿屋町・末吉村・西串良村である。いずれも元々大規模耕作地帯だったのだろう。この図で注目すべきこと

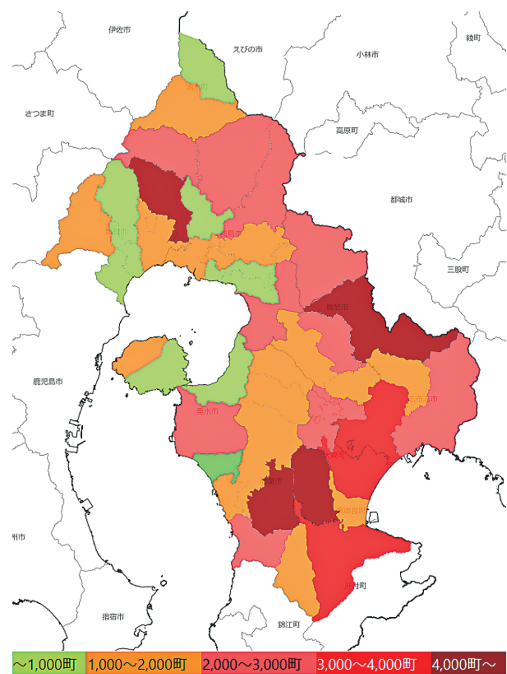


図2-14 町村別農地被害高(『噴火誌』より作図) 背景図は地理院白地図(自治体名は現在の地名)

は、今ではすっかり忘れ去られているが、桜島島内以外でも多大な被害があったという点である。桜島大正噴火から1世紀、桜島噴火は桜島島内の話と他人ごとのように考えている人々に警鐘を鳴らしている。

『爆發誌』⁹⁾によれば降下物の厚さと土地被害の程度には一般に表2-2のような関係があったという。『噴火誌』⁵⁾もこれを引用しているが、曾於郡は降灰の分布主軸から離れた縁辺部に当たっているから、他地域に適用するのは若干問題である。

作物に関しては、『爆發誌』⁹⁾に次のように述べられている。

「養蠶ハ大崎末吉財部ノ三村ヲ除クノ外ハ殆ント皆無ニ歸シ水陸稻粟大豆小豆ノ如キハ降砂灰ノ除去ヲ行ヒ耕作上注意ヲ拂ヒタルモ一般ニ收穫充分ナラズ甘藷ハ降砂灰ニ對スル關係少ナク却テ收穫多量ニシテ大根葱ノ如キ根菜類モ何レノ種類ヲ問ハス生育良好ナリキ」

養蚕業は当時農業の中でも特別の比重を持っていた。『爆發誌』⁹⁾も別編を設けて詳述している。降灰の影響は蚕の食用となる桑葉に対する影響と、蚕に与える生理的影響に分けられる。噴火は1月で桑樹は休眠中だったから「何等障害ヲ蒙リタルコトナク…(中略)…無事ニ發芽伸長シタルハ仕合ナリキ」という状態だった。発芽後は黄変などの変状が出たようだが、噴火が短時日で終わったため、被害は限定的で「本年ノ養蠶ハ別條ナク豊作」だったと述べている。しかしこれは桜島から比較的遠かった曾於郡の話であり、『噴火誌』⁵⁾では、冷涼な気候も一因として挙げつつも、火山灰に附着した「其可溶性物質の化學的に蠶兒

の生理を傷害するものにして」と稚蚕の發育阻害を挙げ、「一帯に殆春蠶全滅の悲況を呈せり」としている。薩摩半島側の始良郡でも『鹿兒島縣始良郡郡制史』²⁷⁾によれば「本郡ノ蠶業ハ櫻島爆發ノ厄ニ遇ヒテ一時頓挫ノ觀ヲ呈シ」とある。

煙草も江戸時代からの鹿兒島名産である。『鹿兒島專賣支局要覽』²⁸⁾によれば、「煙草の被害ハ降灰石量ト殆ド比例スルコトナク、比較的少量ナリシ始良郡横川地方(降灰石量二分)ノ如キモ、尚四割ノ被害あり。其ノ他ハ全滅或ハ之ニ近キモノ大部分ヲ占ム」状況だった。灰のこびりついた葉を河川水で洗浄しても強酸性のため傷害が甚だしかったという。

大隅地方は林業も盛んだった。『始末誌』⁸⁾には、「森林の樹木は被覆せられ、林内の萱草等は、其灰石の下に埋まり、天然林の鬱蒼たる樹木は、其葉に降灰附着して、全山灰色を呈し。(ママ)漸次黄色と變して、遂には全葉悉く脱落したるのみならず、其の甚しき所ものは、降石の爲めに、幹枝を折られ、樹皮を損傷せられ、以て枯死の悲境に陥るにはあらざるかの觀を呈したり」とある。とくに人工林で被害が著しかったという。

2. 12 避難

この桜島大正噴火が大噴火だった割に人的被害が少なかったのは、前兆現象に気づいて住民が自主避難したためだったが、半農半漁で小舟を有する家庭が多かったのも幸いした。以下、『噴火誌』⁵⁾に見てみよう。

東櫻島村では、噴火前日「黒神、瀬戸、脇、湯之等の部落に於ては村民評定の結果、避難の準備手配り等を定め、先づ舟を所持せざる者の老幼婦女を第一とし舟を所持する者の家族及主人之れに次ぎ舟を所持せざる家長及壯者を最後と定め順次對岸なる垂水、牛根地方を指して續々避難を始めたり」と自主避難を開始した。しかるに役場所在地の有村では村長・学校長・駐在巡查など知識階級が住んでおり、鹿兒島測候所の「櫻島には異變なし」との言を信用し、住民に「避難の必要なし」と告諭すると共に、自らも最後まで踏みとどまったため、逃げ遅れて冬の海へ飛び込むなど「慘憺

表2-2 降下物の厚さと農業被害の割合

降下物の厚さ	被害の割合
8寸以上	9割
5寸～8寸	7割
3寸～5寸	5割
2寸～3寸	3割
1寸～2寸	1割5分
5分～1寸	5分
2分～5分	2分

『爆發誌』による

たる混乱の状況」になった。東桜島小学校にあるいわゆる「科学不信の碑」²⁾がその教訓を伝えている(碑文の当該箇所は後述「復興」の項を参照)。

西桜島村は「由緒ある家柄少からずして比較的日進の教育を受けたる連中多く爲めに測候所の判定に基く村長其他有力者の告達を信頼し、前日より避難を爲したる者は極めて少数なりき。従て噴火當時の混乱も亦一層甚しかりき」という状況だった。幸い鹿児島市の前面に位置していたから、「公力を以て湾内碇泊の各汽船を徴發し直に横山、赤水、小池、其他各方面に向つて救護船を出さしめ」救助したようだ。島の北方に位置する西道・松浦・高免方面では「各部落の青年會員結束奮闘し十一日以来重富、加治木、福山地方へ避難せしめたる爲大なる混乱を免れたるもの、如し」と自力避難により難を免れた。

対岸の鹿児島市民にとって最初は文字通り対岸の火事だったが、「須臾にして噴煙は益々強大となり岩石飛び、爆聲熾に起るに至り次第に危惧の念を起し、何時如何なる危険災害の及ばんも計り難しとて憂慮し居たる折柄流言飛語盛んに起り或は毒瓦斯到りて窒息の息(ママ)れありと言ひ或は海嘯襲來せんなど口から口へ傳はり市民恐慌の念は更に一層の度を高め」⁵⁾でいったが、同日夕刻午後6時29分マグニチュード7.1の地震が発生、家屋や石塀の倒壊が相次ぎ、市民はパニックになった(図2-15)²⁹⁾。「七萬の市民愕然狼狽し號泣の聲は四方に起り或は伊敷方面に或は伊集院、市來、串木野方面にと次ぎより次ぎに避難するに至り伊敷國道筋は車馬人影を以て滿たされ又鹿児島武兩驛の如きは空前の雜沓を來せる」状態になり、斯くの如くにして鹿児島市は殆ど一般市民は人影を絶ち萬戸扉を閉ぢ街頭寂として聲なく唯軍隊歩哨と警察官の時々巡邏せるのみ」になったという⁵⁾。

2.13 救援

噴火前日の11日は日曜だったため、役所の対応が若干遅れた。最初に動いたのは鹿児島新聞號外にあるように警察である。「西桜島駐在所巡查の報告により前日来地震の震源地は櫻島にありと觀測し鹿児島測候所へも之を警告し」、12日午前9

時署員の非常招集を行つて署長以下が小蒸気船で桜島に急行した⁴⁾。しかし接岸直前大爆発が発生、方針を転換して「湾内ニ碇泊セル大小汽船ニ命シ救護ニ向ハシメ」¹³⁾た。陸海軍も直ちに出勤し(図2-16)³⁰⁾、残存者の救出は海軍艦艇で行つた。内務省警保局文書によれば、こうした「罹災民ハ直ニ之ヲ東西本願寺縣會議事堂及神職會堂等ニ收容シ市内商人ニ請負ハシメ焚出シヲ開始シタリシカ全日午後六時ノ激震以來市民ノ殆ント全部ハ難ヲ恐レテ市外各方面ニ四散シタリシヲ以テ十三日以後は縣廳吏員自ラ焚出シニ從事セリ」といった状



図2-15 逃げ惑う鹿児島市民(山下兼秀絵巻, 鹿児島市立美術館図録より)



図2-16 陸軍省次官通達(国立公文書館アジア歴史資料センター蔵)

況だったという¹³⁾。

救援はこうした官憲や軍隊が行っただけではない。当時は地縁社会が健在で、青年会・婦人会・在郷軍人会等の組織も機能していた。垂水や始良・加治木方面から桜島の爆発を遠望した漁民や青年会員がわれ先に小舟を繰り出して一斉に救助に向かったという。さまざまな美談も生まれた。傷病者の救護には赤十字社・軍隊が待機したが、「サシタル死傷者ナカリシハ寔ニ不幸中ノ大幸ナリ」とある¹³⁾。

2.14 避難生活

救援の後には長く続く避難生活が待っている。避難者数は統計により日にちによりマチマチだが、内務省警保局によれば1月20日現在で約18,000人である¹³⁾。当初は前述のように寺院・議事堂・学校などに収容されたが、やがて各地に罹災民収容所、今でいう仮設住宅が建設される(写真2-2)³¹⁾。県の救済基準は次のようなものである⁵⁾。

一、避難所費は實費九十日以内

一、食料費は下白米にして年齢十五年以上七十年未満の男一日三合、七十年以上十五年未満の男女一日二合宛九十日以内但し時宜に依り他の慣用食品を以て代用し又食料費の半額以内に於て鹽、味噌、漬物等の副食物を併給することを得

一、小屋掛費は一戸に付價格拾貳圓以内

一、就業費は一戸に付價格拾圓以内

小屋掛費(応急住宅建設費)や就業費を計上しているところを見ると、短期は食住を保障し、極力自力での住宅建設・生業の回復を目指していた



写真2-2 櫻島罹災民加治木収容所(「柁城」28号口絵, 1914)

ようだ。この収容所は何時まで維持されたのだろうか。肝属郡新城村の収容所は2月7日建設申請、同8日認可、数日で竣工、5月24日廃止と記録されている⁸⁾。やはり基準通り90~100日程度だったようだ。現在のように給与所得者が多い時代とは異なり、大部分が農民だったから農地がなければ将来設計が立てられない。移住を最優先としたのであろう。

2.15 復旧・復興

第一次世界大戦が勃発したのは桜島大正噴火の半年後1914年(大正3年)7月28日であり、関東大震災が発生したのは1923年(大正12年)9月1日である。まだ国力に多少のゆとりがある時だったのは不幸中の幸いだった。桜島大正噴火は未曾有の災害だったから国も県も総力を挙げて取り組んだ。大学・地質調査所・農事試験場・蚕業試験場などの研究者を投入、軽石・火山灰の理化学的研究はもとより、被害調査・水質分析・試験栽培・営農指導など多岐にわたる調査研究指導に当たさせた。後述のように移住地の郡衙には県農業技手を駐在させ、その後の営農指導に当たらせている。私有財産の補償は現在ではなかなか難しいが、後述のように移住地は無償譲渡している。

公だけでなく民も動いた。地元鹿兒島新聞はじめ各新聞社が義捐金を募集した。もちろん日本赤十字社や恩賜財團済生会・商工會議所なども義捐金を集めた。特筆すべきは、侯爵松方正義元総理を総裁とする「東北九州災害救済会」が立ち上がり全国的な運動を展開したことである。

前述の「科学不信の碑」には、次の文言がある。「本島ノ爆発ハ古來歴史ニ照シ後日復亦免レサルハ必然ノコトナルヘシ住民ハ理論ニ信頼セス異變ヲ認知スル時ハ未然ニ避難ノ用意尤モ肝要トシ平素勤儉産ヲ治メ何時變災ニ値モ路途(ママ)ニ迷ハサル覚悟ナカルヘカラス」²⁾。つまり桜島の再噴火は必然だから、異変を察知したときには事前避難が肝心なこと、何時災害に遭っても路頭に迷わないよう日頃から殖産興業に励めということである。後年の村長達はそれを実践した。噴火直後西櫻島村長に就任した大窪宗輔氏は、西櫻島村耕地

整理組合を組織、国から約15万円を無利息で借り受け、復旧工事に取りかかる²⁾。天地返しを行うなど農耕地復旧に心血を注いだ。桜島の耕地は水はけのよい火山麓扇状地にある。水稻には不向きだから桜島大根や島ミカンを作付けしたらしい。

後任の久米芳季村長はその流通改革に乗り出す²⁾。当時こうした特産品は鹿児島市の問屋に安く買いたたかれていた。高い口銭を強要されるなど前近代的な搾取の慣行もあった。久米氏はこれに対抗して自前の「桜島青果卸市場」を開設した。流通網を確保し果樹園芸の先進地となる。1972年(昭和47年)頃までは「宝の島」と呼ばれ、1971年(昭和46年)は農家1戸当たり農業所得が県下第1位となった。また村営バスや村営船(現桜島フェリー)のような新規事業も立ち上げ新婚旅行ブームももたらした。両氏を讃える記念碑が建立されている。

2. 16 移住

溶岩で埋まった土地は天地返しもできない。残された道は移住だけである。県は噴火直後から移住やむなしとして台湾・朝鮮・北海道から宮崎・種子島まで移住可能性を問い合わせ、県内や宮崎県には移住候補地の調査に吏員を派遣した。国も移住費として国庫より625,893円を特別補助した⁵⁾。移住には、県が斡旋する指定移住と縁故をたどる任意移住とがあった。『噴火誌』⁵⁾によれば、指定移住地と人員は表2-3の通りである。

指定移住の方法はどれも同じで、国が国有林等の官有地を県に無償で払い下げる、県は罹災者に分割貸与して開墾させ、一定の年限を経過したら

表2-3 指定移住地と移住者数

	肝属郡					熊毛郡			宮崎縣	朝鮮	計
国有林	北野	名邊迫	内之牧	大申尾	大野原	中割	國上	現和	夷守	昌明寺	
町村	新城	大根占	田代	小根占	垂水	北種子	北種子	北種子	小林町	真幸	
戸数	88	71	92	244	84	106	99	43	53	12	1,001
人数	541	463	575	1,539	486	1,330	567	289	328	73	6,245

『噴火誌』による

移住者に無償譲渡するという方式である。

種子島北種子村古仁ヶ田代地区には移住に関するさまざまな文書が「櫻島移住民書籍」として大切に保管されている³²⁾。それを見てみよう。ただし、後日タイプ印刷されたので、漢字は新字体である。

移住計画

桜島爆発ニ起因セル罹災者ニシテ原住所ニ居住シ能ハサルモノハ左ノ計画ニ拠リ移住セシム

第一条 移住ハ左記各号ノ事項ヲ達成セシムルヲ以テ目的トス

- 一 罹災者ヲ救助シ独立自営ノ者タラシム
- 二 既成町村ニ従属セシメ永ク其地ニ定住セシム

第二条 移住セシムルモノハ左記各号ノ一ニ訣(マ)当シ意志強固ニシテ復帰ノ念ナク開墾ニ堪ヘ生計困難全戸移住スルモノに限ル(以下略)

第三条 指定国有林地・面積・収容戸数列举(略)

第四条 移住地ハ其ノ用途ニ従ヒ左ノ十種ニ区分ス

- 一 宅地
- 二 耕地
- 三 燃料材林及採草地
- 四 地区附属地(防風林・水源保護林地)
- 五 雑種地(牛馬埋葬地・伝染病牛馬埋葬地)及墓地
- 六 道路敷
- 七 学校敷実習地及学林地
- 八 欠如
- 九 寺院又ハ説教所敷及其ノ附属地
- 十 公共用地及附属地・巡査駐在所敷・伝染病舎敷

第五条 移住者ニハ左記標準ニ拠リ県有地ヲ貸与シ自費ヲ以テ開墾セシム

- 一 宅地ハ一戸ニ対シ五畝歩以内トシ地形ニ応ジ之ヲ定ム
- 二 耕地ハ一戸ニ対シ平均壘町七反歩以内トシ家族数ヲ斟酌シテ之ヲ定ム

第六条 前条貸付地ノ事業ハ貸付ノ時ヨリ五ヶ年以内ニ完成セシムルモノトス 但シ特別

ノ事由アルモノハ二ヶ年ヲ限り延期ヲ許可スルコトアルベシ貸付地内ノ耕適地ニシテ地形其他ノ関係ニヨリ許可ヲ得テ他ノ目的ニ利用シタルモノハ事業ヲ完了シタルモノト見做ス事業完成拾年後ニハ県所有権ヲ移住者ニ与フルモノトス

第七条 貸付地事業ニシテ予定期間内ニ完成セサルモノハ特殊ノ事由アルモノノ外土地所有権ヲ譲渡セサルモノトス

第八条 燃材料及採草地ハ一戸当り五反歩ノ割合ヲ以テ地積ヲ定メ適当ナル管理方法ニ依リ移住者ヲシテ之ヲ利用セシム移住事業完了後ニ於テハ県ハ其ノ所有権ヲ地元町村ニ附与シ前項ニ準シ利用セシム

第九条～第十五条 地区附属地など(略)

第十六条 耕地及宅地内ノ立木ハ県ニ於テ直接之ヲ処理シ必要ノ程度ヲ斟酌シ各移住者ニ分与ス 但シ矮小ノ雑木ハ借地人ヲシテ便宜処理セシムルコトアルベシ

第十七条 移住者には左ノ通り給与ス

- 一 小屋掛料ヲ給シ一時的ノ小屋ヲ建設セシム
- 二 移住ニ要スル実費旅費ヲ給ス
- 三 生活ニ直接必要ナル家具及農具費ヲ給ス
- 四 荷物ノ運搬費ヲ給ス
- 五 相当期間食費並ニ油類代ヲ給ス
- 六 差当り必要ナル種苗及肥料ヲ給ス
- 七 共同浴槽ヲ給ス

第十八条 水質ヲ検シ水量ヲ調査シ戸数ノ多寡ヲ斟酌シ飲料水ノ設備トシテ井戸ヲ掘鑿シ又ハ簡易水道ノ設備ヲ為ス

以下農事組合を組織させるとか、県農業技手を所轄郡衙に駐在させて営農指導に当たらせるとか、元の住所に所有する土地家屋の処分は自由だとか、いろいろなことが列挙されている。以上のように、移住民の立場に立ってきめ細かな配慮が行われたようだ。

しかし国有林の原野を開墾するのは至難の業であった(写真2-3)。『噴火誌』⁵⁾には次のように述べられている。

「移住地の多くは樹林地なるを以て開墾に困難

を極め豫定の如く進捗せざりしのみならず作付の時期後れたると又昨年数度の風害に加ふるに早魃の爲農作物非常なる被害を受け其收穫著しく減少し粟作及陸稻の類は殆ど皆無の状態なりしに依り食料費は豫定期間より延長給與せざるを得ざるの状況に陥れり」

結局食料費は1915年(大正4年)1月まで支給し続けたという。また国有林は山麓斜面に立地していることが多く飲料水の確保に難儀した。谷底までの水汲みは女子供の仕事、大変な重労働だった。水道開設が悲願だった。

上記第六条にあるように、事業完成後10年後には所有権が移住者のものになる決まりだったが、垂水市の^{おおのぼる}大野原の「土地所有権移轉記念碑」は1936年(昭和11年)に建立されている²⁾。移住開始から21年後のことである。大幅に遅れた理由は不明だが、それだけ難事業だったのだろう。

こうした公的記録にない苦労もあったようだ。それは既住地元民との軋轢である。新渡戸稲造は1915年(大正4年)宮崎県小林町の移住地を訪問している(新渡戸, 1925)。地元民が移住者を排斥した理由として、①「従来下草下枝採取の慣行が存した林地を、新たに他所の者に占有せられるのは各自の利益に關するので、之を欲しなかつた爲」、②「櫻島の者は粗食に耐へてよく働くから、斯る隣人を新に得て壓迫せられるのを好まぬ」の2点を挙げ、「近年我出稼人に對する米國人の態



写真2-3 国有林の測量(大中尾小学校蔵)

度と、全然同一の苦情であるのを奇とすべきである」と批判している。

なお人里離れた国有林ゆえ、学童の通学も大変だった。遠距離登校の不可能なところには尋常小学校が3校新設された。北種子村(現西之表市)鴻峰尋常小学校・田代村(現南大隅町)大中尾尋常小学校(写真2-4)・垂水村(現垂水市)大野尋常小学校である。しかし現在はいずれも廃校となってしまった。

このように父祖の血と汗の染み込んだ移住地は、現在では多かれ少なかれ過疎が進行しており、桜島出身者の比率も減少している。

2.17 生かすべき教訓

桜島大正噴火から1世紀、始良カルデラのマグマは当時と同等レベルに回復しているという。いつ大規模噴火があってもおかしくない。当時は農業中心の自給自足に近い生活をしている人が多かったが、現代は高度に発達した社会である。日常生活は水・食料はじめあらゆることが他者に依存している。コンピュータがすべてを管理する情報化社会でもある。電力・通信・物流などのインフラが止まっただけで社会は麻痺してしまう。航空機の被害は全国に及ぼう。また噴火は時を選ばない。東風で鹿児島市街地を襲うこともあり得る。60万都市が数10 cmの軽石に覆われる状況は想像を絶する。大量降灰時の事前交通規制や土捨て場の確保など、通常法では対処できない事態も予想される。想定外を想定した準備が求められる。大規模火山噴火臨時措置法など特別立法の法制化も



写真2-4 新設大中尾尋常小学校(大中尾小学校蔵)

必要であろう。

当時は強力な中央集権国家であったが故に、逆に生活再建までも視野に入れたかなり柔軟な公助も行われたようだし、地縁社会が有効に機能したようだ。現在は国自体が赤字財政であり、社会の分断も進行、無縁社会になりつつある。当時のソフト面での教訓も生かす必要がある。

謝辞

地図のジオレファレンスおよび降下火砕物の体積計測などGIS作業は日本地図センター田中圭氏のお手を煩わせた。記して謝意を表する。

引用文献

- 1) 中央防災会議：1914桜島噴火報告書，内閣府，169p.，2011.
- 2) 岩松 暉・橋村健一：桜島大噴火記念碑－先人が伝えたかったこと－，徳田屋書店，291p.，2014.
- 3) 白陽：日本画，加治木郷土館蔵，1914.
- 4) 田村省三：櫻島爆發報告書類，尚古集成館紀要，No.14，pp.7-40，2015.
- 5) 鹿児島県編：櫻島大正噴火誌，鹿児島県，466p.，1927.
- 6) 鹿児島郡東櫻島村役場：大正三年櫻島爆發遭難録，鹿児島郡東櫻島村役場，21p.，1925.
- 7) 肝属郡垂水村教育會：垂水村郷土誌 附録第六 大正三年櫻島爆發概要，肝属郡垂水村教育會，pp.325-356，1915.
- 8) 鹿児島縣肝属郡役所：櫻島爆發肝属郡被害始末誌，鹿児島縣肝属郡役所，524p.，1915.
- 9) 鹿児島縣噺郡役所：櫻島爆發誌，鹿児島縣噺郡役所，164p.，1916.
- 10) 内閣：御署名原本・大正三年・勅令第百十九号・町村行政ニ関シ主務大臣許可ノ職権ヲ県知事ニ委任スル件，国立公文書館アジア歴史資料センター，1914.
- 11) 鹿児島新聞記者十餘名共纂：大正三年櫻島大爆發震記，櫻島大爆發震記編纂事務所，340p.，1914.
- 12) 篠本二郎(?)：スケッチブック5冊(手記)，東京大学理学図書館小藤文庫蔵，1914.
- 13) 内務省警保局：大正三年一月櫻島爆發ニ関スル被害其ノ他ノ概況，国立国会図書館デジタルコレクション，1914.
- 14) 金井眞澄：大正參年度に於ける櫻島火山の噴火

- 状況並に噴出物及作物栽培に関する調査試験報文、鹿兒島高等農林学校「櫻島火山の大正三年に於ける噴火状況並噴出物に関する調査報文」、pp.1-107, 同付図1葉, 1920.
- 15) Koto, B.: The great eruption of Sakura-jima in 1914, Jour. Coll. Sci., Imperial Univ. Tokyo, Vol.38, Art.3, pp.1-237, 1916.
- 16) 佐藤傳蔵：大正三年櫻島火山破裂調査報文，地質要報，Vol.24, No.1, pp.1-17, 1914。（図は『噴火誌』講演録から引用）
- 17) 小林哲夫・溜池俊彦：桜島火山の噴火史と火山災害の歴史，第四紀研究，Vol.41, No.4, pp.269-278, 2002.
- 18) Todde, A., Cioni, R., Pistolesi, M., Geshi, N. and Bonadonna, C.: The 1914 Taisho eruption of Sakurajima volcano: stratigraphy and dynamics of the largest explosive event in Japan during the twentieth century, Bull. Volcanology, Vol.79, No.10, pp.1-22, 2017.
- 19) 安井真也・高橋正樹・石原和弘・味喜大介：桜島火山大正噴火の記録，日大文理学部自然科学研究所紀要，No.41, pp.75-107, 2006.
- 20) 今村明恒：九州地震帯，震災豫防調査會報告，No.92, pp.1-94, 1920.
- 21) 松本榮兒：西武田村誌，田上尋常高等小學校，283p., 1915.
- 22) 下川悦郎・地頭菌隆：大正3年桜島大噴火が火山周辺域の侵食災害に及ぼした影響，自然災害科学研究西部地区部会報，No.12, pp.73-80, 1991.
- 23) 陸地測量部：櫻島爆發後ニ於ケル鹿兒島縣下地形ノ変状及地盤ノ變動，陸軍參謀部陸地測量部，13p., 1915.
- 24) Omori, F.: The Sakurajima eruptions and earthquakes. II, Chap. VII Level change and horizontal displacement of the ground caused by the Sakura-jima eruption of 1914, Mem. Imp. Earthq. Invest. Committee, Vol.8, No.2, pp.152-179, 1916.
- 25) 鐵道院總裁床次竹二郎：内閣總理大臣山本權兵衛宛報告書，官文第二一號，17p., 1914.
- 26) 九州鐵道管理局編纂：大正三年櫻島噴火記事，九州鐵道管理局，327p., 1914.
- 27) 鹿兒島縣始良郡役所：鹿兒島縣始良郡郡制史，鹿兒島縣始良郡役所，190p., 1924.
- 28) 鹿兒島專賣支局：鹿兒島專賣支局要覽，鹿兒島專賣支局，88p., 1915.
- 29) 山下兼秀：繪卷3卷，（個人蔵，破損廃棄：鹿兒島市立美術館図録より引用），1914.
- 30) 陸軍省：天災地変，国立公文書館アジア歴史資料センター，1914.
- 31) 田中寫眞館撮影：櫻島罹災民加治木収容所，柁城，28号，口絵，加治木同郷會事務所，1914.
- 32) 北種子村古仁ヶ田代地区：櫻島移住民書籍，タイプ印刷私家本，27p., 1914.
- 33) 新渡戸稲造：櫻島罹災民の新部落，柳田國男編「郷土會記録」，大岡山書店，pp.156-166, 1925.

3. 桜島大規模噴火の発生予測 — 非地震性地盤変動から地震活動を伴う地盤変動への推移

井口正人⁴

3.1 はじめに

桜島ではVEI4級の大規模噴火がよく発生する。最近550年の間に、文明(1471~1476年)、安永(1779, 1780年)、大正(1914年)の3回の大規模噴火が中央火口丘の両山腹において発生している。これらの大規模噴火によって多くの犠牲者がでている。文明噴火では具体的な犠牲者数の記述はないが、日本災異史に「人畜多ク死亡シ」とあるように、甚大な被害があったことがわかる。安永噴火では144名の犠牲者が記録されている。大正噴火では死者・行方不明者は58名とされるが、噴火開始の前日から始まった有感地震の多発を異常と感じて噴火発生前に避難を開始した住民が多く、噴火の規模の割には犠牲者数が少なかったとも言える。このことは、噴火発生前の避難をもって火山災害対策の基本とすることの重要性を示すものである。

噴火発生前の避難のきっかけとなったのは、有感地震の多発であるが、大正噴火発生前後の回顧録(野添, 1980)によれば、噴火直前の地震の多発の前にも様々な異常現象が発生している。代表的なものが噴火の1か月前から認識されていた井戸水の干潮時における濁水であり、これは、桜島の地盤の著しい隆起と解釈でき、多量のマグマが

⁴ 京都大学防災研究所

桜島に貫入しつつあった段階と思われる(井口・他, 2019)。群発地震の前に、顕著な地盤変動があったとすれば、地盤変動の進行は、群発地震の発生という噴火発生直前の最後通告の段階への切迫度を表すものと考えられる。

桜島では大正噴火から105年が経過しており、桜島の主マグマ溜まりがあるとされる始良カルデラ下のマグマの増加量は大正噴火に関連するマグマ量に匹敵するとされる。また、始良カルデラへのマグマの供給率や、過去の大規模噴火の発生間隔から見ても、将来の大規模噴火の発生はそれほど先のことではないと考えられる。

本章では、大正噴火発生前からの現象を、当時の回顧録(野添, 1980)に基づいて考察し、噴火に至るプロセスを再構築する。次に、大正噴火の前の現象から推定される地盤変動の進行から地震発生に至るプロセスを、火山観測網の整備によって前駆する地盤変動と地震活動の推移が把握できるようになってきた最近の我が国及び海外の火山噴火について検証する。最後に、今後発生する大規模噴火に至るまでの過程において、避難等の意思決定を行うタイミングについて考察する。

3.2 大規模噴火の前兆現象

大正噴火の前から桜島に住んでいた人々の噴火前後の回顧録「桜島爆発の日(野添, 1980)」は、地震計が1台しか鹿児島になかった時代においては、噴火に先行する異常現象をまとめるのに極めて貴重な資料である。これによると、桜島島内における異常な現象は、時系列に沿って次のようにまとめられる。

- (1) 有村の谷あいでの二酸化炭素事故(1913年7月:半年前)
- (2) 井戸水の干潮時における渇水(1913年12月:2~4週間前)
- (3) 有感地震を含む火山性地震活動の活発化(約1日前)
- (4) 井戸の水位上昇・海岸からの温泉湧出(3~4時間前)
- (5) 南岳からの白煙放出(1時間前)

3.2.1 二酸化炭素事故

大正噴火後の回顧録において、1913年7月に有村の谷あいでは発生した二酸化炭素を原因とする遭難事故は、最初の異常現象である。当時の調査でも、死因に二酸化炭素ガスが関与していることがすでに推定されている。現在でも有村は土壌からの二酸化炭素拡散放出量が大い場所として認識されており、有村の井戸における二酸化炭素濃度は60~70%の高濃度で推移している(平林・他, 2008)。有村地域は、もともと地下に高濃度の二酸化炭素を含む温泉水が胚胎しており、ここから分離したガスが同地域における地中の高濃度二酸化炭素の供給源と言える(井口・他, 2019)。

3.2.2 井戸水の渇水

桜島北部の高免、南部の持木、湯之、有村湯之浜では、大正噴火発生の約1か月前の1913年12月には井戸水の渇水や減水の報告がある。海岸近くにある桜島の井戸の水位は常に海の潮位変化と連動して変化し、井戸水の水位はほぼ海水面と同じ高さにあるので、井戸が渇水した原因は、桜島の隆起により、海水面と同じ高さにある井戸水の水位が低下したように見えたことにある。以前は汲めた水が汲めないほど1913年12月には干上がっていたのであるから、隆起量は数cm程度ではなく、数十cm以上に達していたと考えられる(井口・他, 2019)。

南岳活動期の桜島の地盤変動の特性(例えば、石原・江頭, 1978)から、井戸水の渇水し始めた時期には、始良カルデラ中央部地下より噴火活動の場となる桜島火山へマグマが移動、あるいは桜島火山の地下へ2次の圧力源が生成・成長したものと考えられる。大ざっぱな仮定に基づく見積もりであるが、井口・他(2019)は、0.14 km³のマグマが大正噴火前の半年間に桜島に貫入したと推定している。このマグマの貫入速度は南岳活動期のものより1桁以上大きい。

3.2.3 有感地震の群発と急速な地盤変動

大正噴火に先行する異常のうち、最も顕著なものは有感地震の群発である。地震活動が急激に活

発化したのは、噴火前日の1月11日の未明からであり、地震について多くの記述がある。

「大正三年一月十日の夕方から弱い地震がしていましたが、あまり気にとめないでいました。ところが、その日の夜中頃から十一日の明け方にかけて強い地震がして、何回も目が覚めて眠れないまま夜を明かしました。・・(中略)・・地震はましきもの(間断なく)続いていましたが、十一日の昼過ぎまでの地震はこたえられないような強いものではありませんでした。・・(中略)・・十一日の夕方頃になると、地震はやみそうな気配もなく、ますます強くなり、さらに北岳の山崩れは見えても恐ろしいほど激しく崩れ落ちていました。(湯之、木ノ下金次氏)」

1888年に鹿児島測候所に設置されたミルン式地震計の記録から、当時の地震活動を定量化できる。Omori (1920) に基づいて鹿児島測候所において観測された1時間毎の地震回数を図3-1に示す。

1月11日には時間の経過とともに地震の発生数は増加し、活動が高まった。1月12日の1時と2時は10回/時以下まで一時的に低下したが、3時以降再び発生回数が増加している。これらのうち、鹿児島測候所において有感と記載されたものは、噴火の開始までに222回発生しており、桜島においてはさらに多数の地震が有感となったことが想像できる。前駆地震活動期の後半では地震回数の増加だけでなく、鹿児島測候所における有感地震の割合が相対的に高まっている(Omori, 1920)が、「11日の夕方以降に地震が強くなった」とする証言はこれに符合する。一方、震度Vの極めて強い地震は前半(1月11日の9時と12時)に発生しており、前半と後半で火山内部の破碎状態が変化しているのかもしれない。大正噴火直前の有感地震は、桜島島内のすべての集落において報告されている。最近の火山性地震の震源分布を参考にするに震源は桜島中央部直下である可能性が最も高い

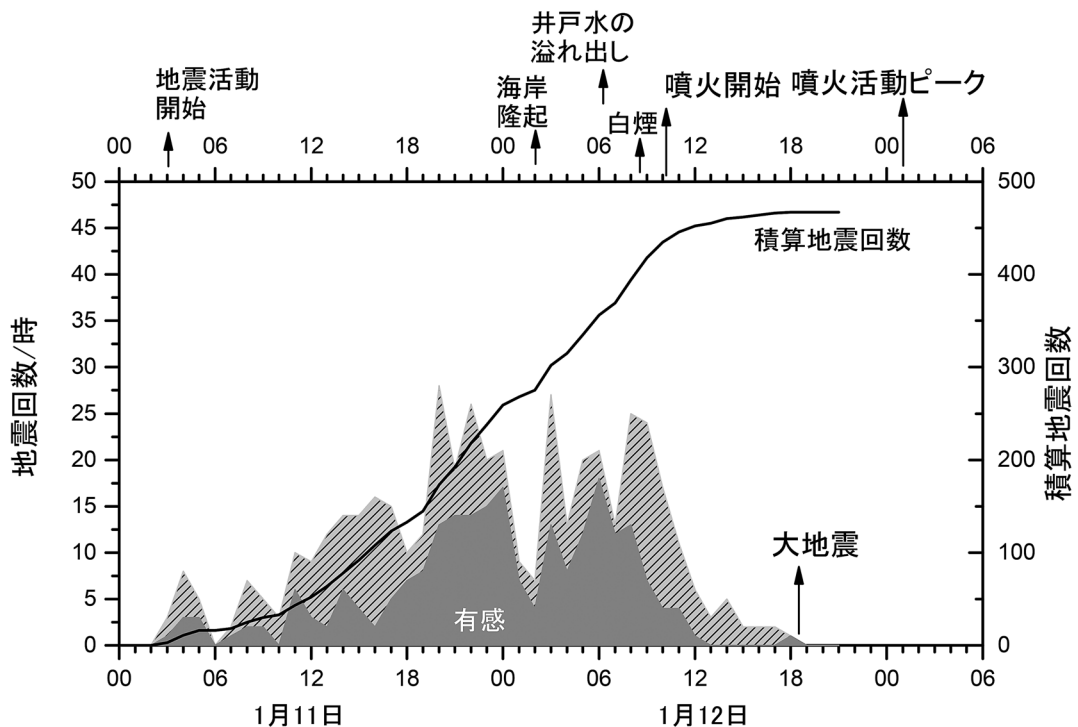


図3-1 大正噴火(1914年1月12日10:05噴火開始)直前の地震活動の活発化。時間別地震回数は鹿児島測候所の計測による(Omori, 1920)。有感地震回数は灰色で示した。図の上段に、異常現象発生の時間経過を示す。

(井口・他, 2019)。1 か月前からのマグマの貫入により桜島は隆起しているが、さらにマグマの貫入速度が高まったことにより、地震が群発的に発生したと考えられる。

マグマの貫入速度がさらに高まったと考えられることを推察できる証言が桜島の南西部の湯之において記録されている。

「時刻は明けて十二日の午前二時でした。足投の浜に出てみると、潮がとてつもなく干あがって、いつもはどんな干潮にも姿をみせたことのない、足投沖のボコ瀬が二尺(六十センチメートル)位も頭を海上に出しておりました。更に驚いたのは、今まで見たことのない珍しい貝類がたくさん干あがっていたことでした。(湯之, 木ノ下金次氏・迫田鉄之助氏)」

12日の午前2時ごろは、大潮に近い時期の干潮であるので、海岸が大きく干上がっているはずであるが、いつもはどんな干潮にも姿をみせたことのない瀬が海上に姿を現している以上、この海岸が隆起したものと考えざるを得ない(図3-1)。井口・他(2019)は、隆起量を80 cmと推定し、マグマの貫入量を20時間で、 0.17 km^3 と見積った。

3.2.4 井戸水の水位上昇

さらに、5時間後の1月12日の朝には井戸水の水位上昇や温泉の噴騰など地下水に関連する異常の報告が多い(図3-1)。

「朝七時半頃だったと思いますが、湯之浜について上陸してみますと、海岸では、湯や水が湧き出して、地震は下から突き上げるように強く揺れていました。私は、父のいっつけで、自宅まで甘藷を取りに行こうとして湯浜の共同井戸の傍を通りましたところ、井戸は上枠いっぱいまで井戸水がせきあがり、今にもあふれる寸前でした。(有村湯之浜, 竹之下三太郎氏)」

1月12日の6~7時ごろは満潮時刻であり、地下水位も高い状態にあるが、マグマの貫入に伴う間隙水圧の増加が井戸水の水位上昇を加速したと考えられる。

3.2.5 白煙の放出

噴火開始1~2時間前の1月12日午前8時から9時ごろに南岳山頂から白煙が立ち上ったことについては、多くの証言がある。白煙は一時的なものであったが、噴火直前の現象として位置づけられる。

3.2.6 安永噴火の前兆現象との類似点

先に述べた(1)~(5)の現象のうち、(1)を除き、安永噴火でも同様の前兆現象が起きている。大正噴火の回顧録の中に、また、安永噴火の前にも井戸水が濁れたことは、以下の記述からわかる。

「昔、安永噴火の時の言い伝えとして、自分(祖父)が子供の頃父やおじいさんから伝え聞いていることがある。それは、井戸水が一旦干あがる(からからに枯れる)そしてしばらくたったら今度はもどす(増水する)、その時は早く逃げ出さないと岳が噴火する。(有村湯之浜, 竹之下三太郎氏)」。また、同氏は1月12日の朝、井戸水があふれる寸前であったのを見て祖父が言った安永噴火の教訓はこれだ」とすぐに感じ取っているように、安永噴火の直前にも急激な水位上昇があった。

安永噴火に前駆する有感地震の発生は噴火前日の夕方から始まり、20~21時から頻発したとされている(井村, 1998)。したがって前兆地震はおよそ20時間前から始まったことになる。先にのべた地下水位の上昇に起因する井戸沸騰や湧き出し、海水の変色などは11時ごろ、さらに南岳からの白煙の上昇は12時ごろとされており(井村, 1998)、安永噴火でも大正噴火と同様の時系列に沿って前兆現象が進行していった。このように、安永噴火に至るまでの現象の推移の時間経過は大正噴火の前駆期に類似している(表3-1)。

3.3 予想される噴火に至るまでの過程

大正噴火後に南九州一円の地盤が広範囲において沈降し、その沈降の中心は始良カルデラにある(Omori, 1916)ことから、桜島の主マグマ溜まりは始良カルデラの中央部の深さ10 km付近にあることは以前より、言われていることである(例

表3-1 安永噴火と大正噴火の前兆現象

	安永噴火 (1779年)	大正噴火 (1914年)
(1) 二酸化炭素増加	不明	6 か月前
(2) 井戸の湯水	あり(時期については不明)	1 か月前から
(3) 有感地震の発生と群発	20時間前から	30時間前から
(4) 地下水異常	3時間前	3～4時間前
(5) 南岳からの白線	2時間前	1～2時間前
噴火開始	11月8日14時ごろ	1月12日10時頃

安永噴火については井村 (1998) による。

えば, Mogi, 1958; Yoshikawa, 1961; 江頭, 1988など)。加茂・石原 (1980) は始良カルデラへのマグマの供給率を800万 m³/年とする地盤の隆起が進行し、噴火時には溶岩流等の固形噴出物の体積の45%が始良カルデラの沈降として地盤変動に現れるとして、大正噴火以前に遡って、始良カルデラの上下変動を推定している。これに従えば、当然、噴火の直前の隆起量が最も大きくなり、鹿児島市街地 (BM2469) は大正噴火直後を基準とすれば、大正噴火直前は50 cm、安永噴火直前は54 cm 高かったと推定されている。1975年の時点では、31 cm 高い。大規模噴火の発生の前提条件として始良カルデラへのマグマの蓄積が必要であるが、現時点ではかなり進行していると評価できる。

一方、桜島において発生する最近の噴火活動は、始良カルデラ下のマグマ溜まりから直接噴出するのではなく、いったん、桜島へマグマが移動・上昇した後に、噴火活動が活発化することが知られている。南岳の噴火活動は1972年9月から活発化した。それに前駆して桜島全体の地盤が隆起し、隆起中心が始良カルデラから桜島島内に移動したことが指摘されている (石原・江頭, 1978)。また、最近の昭和火口における噴火活動においても、北岳下に圧力源が見いだされ、始良カルデラ下のマグマ溜まりから北岳下のマグマ溜まりへマグマが貫入して噴火活動が活発化することが知られている (Hotta et al., 2016a)。岩石学的に見ても、大正噴火で噴出したマグマは1～3 km の深さから噴出したとされているので (Araya et al., 2019)、まずいったん桜島に貫入したマグマが、その後、上昇して噴出したと考える。したがって、2番目のステップとして、始良カルデラ下のマグマ溜まり

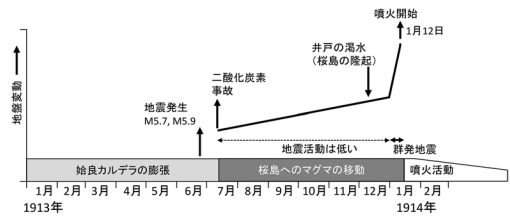


図3-2 大正噴火に至る前兆過程の概念図

から桜島の中央火口丘下へのマグマの上昇・移動の過程があるものと考えられる。二酸化炭素の濃度は、最近の昭和火口における噴火活動期でも地盤の膨張と関連すると考えられており (井口・他, 2019)、大正噴火の6か月前に起きた二酸化炭素濃度増加による遭難事故は、マグマの移動による桜島の膨張の初期段階、1か月前に認識された「井戸水の湯水」は、桜島の隆起が進行した段階と考えられる。

安永噴火では20時間前から、大正噴火では30時間前から発生した有感地震を含む火山性地震の群発活動は、マグマの貫入がさらに進行して応力が増加し、火山体を構成する岩石の破壊強度を超えて、脆性破壊が起こりつつある段階と考えられる。これらのことを考えると大正噴火に至るまでの前兆現象の推移は図3-2のようにまとめられる。

3.4 地盤変動と地震活動の関係

始良カルデラ下へのマグマの蓄積は常に進行している現象であり、桜島の大規模噴火の発生予測を考える上では、桜島へのマグマの貫入による地盤変動の進行過程を地震活動が卓越する最終段階に至る前段ととらえて検討することが最も重要と考えられる。一方、将来の桜島の大規模噴火でも大正噴火と同様に火山活動が推移する保証はないので、地盤変動と地震活動の関係を国内外の火山活動の例からその妥当性を検証してみる。

3.4.1 大規模噴火

メラピ火山はインドネシア・ジャワ島の中央部に位置する火山で、数年おきに溶岩ドームの形成に伴う噴火、百数十年おきに大規模なプリニー式噴火を繰り返している。2010年の噴火は10月26日

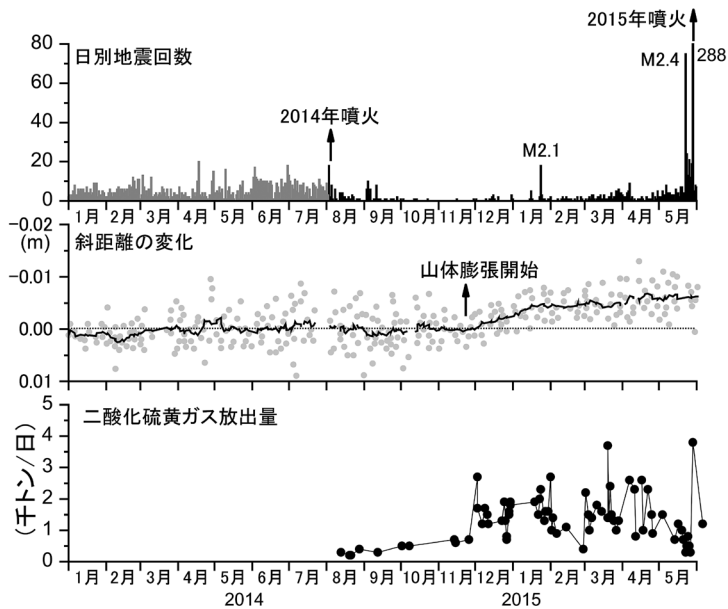


図3-3 口永良部島2015年噴火の前兆現象。上段：日別地震回数。灰色：京都大学，黒色：気象庁の計測，中段：斜距離の変化（GNSS観測点：上屋久2～七釜）。曲線は移動平均を示す。斜距離の変化は短縮が火山体の膨張を示すので，短縮を上向きとした。下段：二酸化硫黄ガス放出量。二酸化硫黄ガス放出量はフェリー（Mori et al., 2017）または島内の陸上におけるトラバース法により測定された。

に，古い溶岩ドーム（2006年）の破壊で始まり，11月3日～5日のプリニー式噴火でピークを迎えた。プリニー式によって，噴煙柱は高度17 kmまで上昇し，火砕流は16 kmの距離まで流下した。噴火規模はVEI4とされる（Surono et al., 2012）。

噴火規模が大きいので，噴火に前駆する顕著な地盤変動と地震活動が観測されている。メラピ火山では，山麓から山頂への光波測量により，地盤変動を観測している。2009年4月ごろから山体の膨張を示す，基線長の短縮が始まった。短縮量の大きい基線では2010年8月までの変化量は30 cmを超えている。一方，この期間の地震活動は極めて低い。

2010年9月12日ごろから火山構造性地震が頻繁に発生するようになり，噴火開始の3日前の10月23日には80回，1日前には222回の火山構造性地震が発生し，加速度的に火山性地震が増加した。9月に入って，地盤変動も加速し，10月26日の噴

火直前のマグマの貫入速度は29万 m³/日と推定されている（Aisyah et al., 2018）。メラピ火山の2010年噴火については，顕著な地震活動を伴わない地盤の膨張が17か月前から検知され，噴火の45日前から地盤変動，地震活動とも加速度的に活発化した。

3.4.2 中・小規模マグマ性噴火

口永良部島では2014年8月3日に最初のマグマ水蒸気噴火が発生した。噴火後3～4か月の間は，地震の発生回数は少ないものの，二酸化硫黄放出が数百トン/日のレベルにあった。12月ごろからGNSSにより，屋久島と口永良部島新岳の東山麓の基線長が短縮する変化が観測されるようになった。この変化は，口永良部島山体の膨張を示す（図3-3）。膨張の初期には火山性地震回数は少ないが，2015年1月ごろから，徐々に増加し，2015年1月24日はM2.1の地震が，さらに5月23日にはM2.4の地震

(現地有感)がいずれも新岳西山麓において発生した。その6日後の5月29日には新岳において噴火が発生し、口永良部島の全島民は屋久島へ避難した(Iguchi et al., 2017)。火山構造性地震の発生の前には、明らかに地盤の膨張が見られる。2014年12月ごろから応力が集中し始め、それが、その後の火山性地震を誘発したと考えられる。

桜島においてはブルカノ式噴火発生の数分から数日前から地盤の膨張が観測坑道に設置した伸縮計により観測される。多くの場合、火山性地震の発生を伴わないが、膨張が長時間継続して、膨張量が大きい場合は、その後の噴火が大きく、火砕流を伴うこともある。このような場合は、地盤の膨張が一定量進行した後に火山性地震の多発を伴い、その後、噴火が発生する(Tameguri and Iguchi, 2019)。火山性地震活動から見ると、火山性地震の多発に先行して地盤が膨張することになる。

また、浅間山は桜島と同様にブルカノ式噴火がよく発生する火山である。2004年の噴火活動後はしばらく静穏であったが、2009年2月にブルカノ式噴火が発生した。この噴火に前駆して、2008年8月ごろからGNSSにより観測される基線長の伸長が観測され始めた(東京大学地震研究所, 2009)。2009年2月1日2時ごろから、山頂火口側が隆起する傾斜変化が検知され、さらに、同日、午前中から火山性地震が増加し、翌2月2日にはブルカノ式噴火が発生した(気象庁地震火山部, 2009)。なお、傾斜変化が始まり、火山性地震が増加した段階で、気象庁は噴火警戒レベルを2から3へ引き上げている。

3.4.3 水蒸気噴火

水蒸気噴火といえども、噴火に前駆する地盤変動と地震活動を検知できる場合があるので、その事例について紹介する。

箱根山の太浦谷で2015年6月29日に発生した水蒸気噴火は小規模であったが、それに前駆する地盤変動と地震活動が明瞭に捉えられている。2015年4月上旬からGNSSにより観測される基線長が伸長を開始した。この伸長は深部における膨張と

考えられており、深部低周波地震も増加した。4月26日からは、カルデラ内の深さ0.5~2.5 kmで地震が群発し始め、5月9日には地震活動のピークに達した(Mannen et al., 2018)。浅部における火山性地震の活動から見ると地盤変動が明らかに先行している。

シナブン火山はインドネシアのスマトラ島北部にある成層火山であるが、2010年8月に有史以降で初めての噴火が発生し、9月までに7回の水蒸気噴火が発生した。その後、3年間は噴火が発生しなかったが、2013年9月15日に再び水蒸気噴火が発生した。2010年の噴火後に、整備されたGNSS観測により、2013年9月以降の噴火に前駆する地盤の膨張が2013年6月ごろから検知された(Hotta et al., 2017)。また、火山構造性地震の発生回数はおおむね10回/日以下であったが、7月4日に32回、5日に73回、6日に129回、7日に127回の火山構造性地震が発生し、その後も火山構造性地震の発生頻度の高い状態が続き、9月15日の水蒸気噴火が発生した。シナブン火山においても地盤の膨張に続く地震活動の活発化という過程を経て噴火の発生に至っている。

2014年9月27日に御嶽山で発生した水蒸気噴火によって噴出された火砕流および火山灰の重量は67万~130万トンと見積もられており(Maeno et al., 2016)、2015年に箱根山で発生した水蒸気噴火に比較してはるかに規模が大きい。御嶽山噴火に先行して火山構造性地震が多発し、9月9日に10回、10日に52回、11日に85回の地震が記録された(気象庁地震火山部, 2014)。2014年御嶽山噴火の規模を考えると、これまで多くの火山について述べてきたような火山性地震の発生に先行する山体の膨張がこの噴火に前駆する過程においても期待されるが、火山性地震の多発あるいは噴火発生当時は、噴火直前の急激な山頂火口方向の隆起を除いて顕著な地盤変動はないという見解が支配的であった。一方、最近の研究では、スタッキングによりGNSSの基線解析のSN比を改善することにより、噴火の1か月前から山体内の力源に体積増加が認められるという結果が得られている(Miyaoka and Takagi, 2016)。したがって、御嶽山

においても、他の火山と同様に、火山体の膨張から火山構造性地震の発生によって示される脆性破壊のプロセスを経て噴火に至ったものと考えられる。

傾斜計は GNSS よりも感度が高いため、地震活動に先行する地盤変動を検知できる可能性が高い。気象庁の田の原の傾斜変化の記録そのもの(気象庁地震火山部火山課, 火山監視・情報センター, 2016) は、5月から8月にかけての北東方向の隆起と8月から翌年5月にかけての沈降傾斜の年周変化が見られるが、2014年8月ごろから北西方向が隆起したことを示す。感度が高いため、御嶽山のように帯水層が発達した火山では、地下水の変動や融雪などにより影響を受けやすく、観測された傾斜変動が火山性であるか否かの判断は難しいとされる(Takagi and Onizawa, 2016) が、火山構造性地震の発生や GNSS の基線解析の結果を合わせて考えると、北西方向隆起を示す傾斜変化の有力な原因は御嶽山山頂の地盤の隆起と考えられる。

3.4.4 噴火に至らなかったケース

噴火には至っていないが、顕著な地盤変動と活発な地震活動を伴った火山活動の事例がいくつかある。

岩手山では1998年4月下旬から火山性地震が多発し、4月29日には200回の地震が群発した。活発な地震活動は8月上旬まで続いた(植木・三浦, 2002)。一方、傾斜計、体積ひずみ計、GNSS等の地盤変動観測により、1998年2月ごろからマグマが貫入したと考えられている(Miura et al., 2000)。特に、2月21日には 10^7 を超える体積ひずみと傾斜変化が複数の観測点で検知された(浜口, 2005)。1998年の岩手山における火山活動でも活発な地震活動に先行して地盤変動が始まっている。

口永良部島火山では、1999年7月以降、火山性地震の活動が活発化し、2014年噴火発生までいくつかの火山性地震の群発と火口周辺の地盤の膨張イベントが捉えられている(斎藤・他, 2015)。2004年1月～5月、2006年11月～2007年2月、

2008年9月～2008年12月に火山性地震が多発し、それと同期して GNSS により火口周辺の地盤の膨張が観測された。これらの期間における地盤変動と地震活動の活発化の開始の時間差は識別できない。また、2011年3月ごろから始まった火口周辺の地盤の膨張では、膨張速度がほぼ停止した2011年12月に地震活動が活発化した。

桜島の昭和火口の噴火活動は2015年7月以降、低下していたが、8月15日に顕著な地盤変動を伴いながら火山性地震が群発した。地震は朝7時ごろから起り始め、8時ごろには急激に発生回数が増加した。それと同時に急激な地盤変動が始まった。膨張速度が速い15日の午前中を中心に火山構造性地震が多発し、その発生回数は15日に887回、16日には73回を数えた。地盤変動は北東～南西方向に走向をもち、上端を海面下1.1 km とする長さ0.8 km、幅0.5 km の鉛直に近い割れ目の開口によって近似でき、ダイク状マグマの貫入量は約270万 m^3 と推定される(Hotta et al., 2016b)。地震発生が急速な地盤膨張に先行しているようにも見えるが、詳細にみると3時ごろから地盤変動は始まっており、地震活動と地盤変動はほぼ同時とみてよいだろう。

3.4.5 地盤変動と地震活動

地震の発生は、差応力の増加の結果として生じるせん断的な脆性破壊と考えられている。地震の発生に前駆して、差応力が増加し、破壊する以前は地殻が弾性体としてふるまうことを前提とすれば、応力の増加に対して線形にひずみが増加する。破壊によって応力は降下し、ひずみは増大する(Mogi, 2007, 図3-4)。火山性地震のうち、火山構造性地震は、通常の構造性地震と同様にせん断的な脆性破壊によって生じると考えられているので、火山構造性地震の発生の前には、火山体が変形して地盤変動が観測されると考えられる。

応力の増加がマグマの貫入によるものと仮定し、Mogi (2007) の脆性破壊の概念図(図3-4)に基づいて、マグマの貫入による差応力の増加、ひずみの増加、火山性地震の活発化の時間変化を図3-5のように概念化した。差応力が増加し破壊強

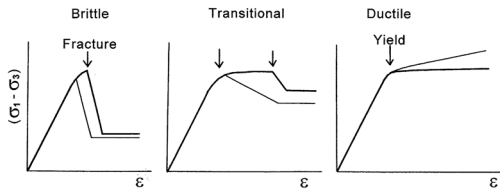


図3-4 差応力とひずみの関係の概念図 (Mogi, 2007)。左図 (Brittle) が脆性破壊の場合を示す。 $\sigma_1 - \sigma_3$ は最大主応力と最小主応力の差。 ϵ はひずみ。

度を越えて脆性破壊に至るまでは、火山体の弾性変形によるひずみのみが観測される。岩石の破壊強度を越えて、脆性破壊が起これば、応力は低下し、ひずみは増加する。最初の脆性破壊以降もマグマの貫入が続けば、応力の増加と弾性変形→脆性破壊による応力降下とひずみの増大のプロセスが繰り返される。

観測によってひずみや傾斜変化などとして地盤変動のみが検出される時期は、弾性変形のみが進行する非地震性地盤変動期 (図3-5) に対応する。火山構造的な地震が起り始めた段階は、応力が岩石の破壊強度を超え始めた時点と考えられる。図3-5に示すように、脆性破壊は応力の緩和過程とも言えるが、脆性破壊によるひずみの増加に示されるように、地盤変動はさらに進行することになる。この時点においてさらにマグマの貫入が続けば、地盤変動を伴いながら火山性地震が発生し続ける (図3-5、地震性地盤変動)。

3.4.1～3.4.3節にて述べた多くの火山の事例から、噴火発生に先行して火山性地震の発生頻度が増加するが、地震活動が発生する前にはすでに地盤変動が進行していることがわかる。すなわち、噴火の前兆期における地盤変動は顕著な地震活動を伴わず地盤変動のみが進行する過程と顕著な地震活動を伴いながら地盤変動が進行する時期に分けられることが指摘できる。典型的な例が2010年に発生した Merapi 火山噴火の先行過程であり、2009年4月から2010年8月までの17か月は、緩やかな地盤変動が継続したが、火山構造的な地震の発生回数は少ない。2010年9月以降は、火山性地震活動、地盤変動とも加速しながら、噴火に至った。

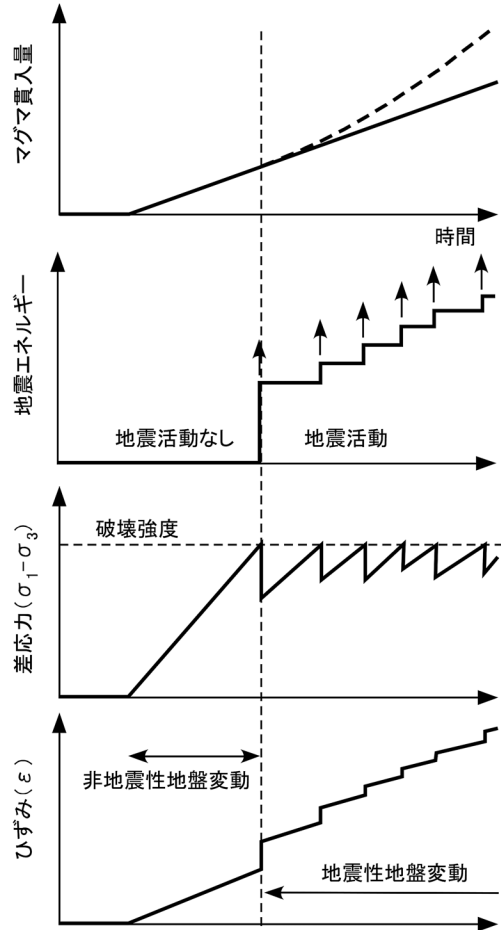


図3-5 マグマの貫入量、地震エネルギー、差応力、ひずみの時間変化の概念図。

顕著な地震活動を伴わず地盤変動のみが進行した2009年4月～2010年9月11日の期間は図3-5の非地震性地盤変動期に対応し、顕著な地震活動を伴いながら地盤変動が進行する2010年9月12日～10月26日は地震性地盤変動期に対応する。同様のことは箱根山や御嶽山噴火についても指摘でき、箱根山噴火の前駆期では2015年4月上旬～4月25日は非地震性地盤変動期、4月26日以降が地震性地盤変動期に対応する。御嶽山噴火では、2014年8月中旬～9月8日が非地震性地盤変動期、9月9日以降が地震性地盤変動期と考えられる。気象庁の発表する地震回数では9月12日以降地震活動が低下したように見えるが、Kato et al. (2016) によ

る matched-filter 法による地震の検出によれば、12日以降も噴火発生まで、火山性地震が発生し続けており、図3-5の地震性地盤変動期における地震活動の特性に整合的である。

桜島大正噴火に先行する地盤変動と地震活動について考えてみる。噴火発生の1か月前に認識された井戸水の濁水は桜島の隆起を示すものである。この時期には、時々、地震があったとの報告もあるもののこのころは顕著な地震活動はない。地盤変動の開始時期は不明であるが、濁水期は非地震性地盤変動期に対応すると考えられる。噴火発生の30時間前の1月11日の3時ごろから火山性地震が多発するようになるが、この時期には、湯之の海岸が干上がったようなさらに顕著な地盤の隆起が推定される。したがって、30時間前から地震性地盤変動期の段階に入ったと考えられる。

なお、地盤変動と地震活動がほぼ同時期に始まり、非地震性地盤変動期が識別できない場合もある。これは、非地震性地盤変動期が短時間しか継続しない場合であり、マグマの貫入速度が極めて速いか、岩石の破壊強度が非常に小さい場合は、差応力が岩石の破壊強度を短時間で超えてしまう。桜島において2015年8月15日に発生したマグマ貫入イベントはマグマの貫入速度が極めて速い場合に相当し、圧力源の体積増加速度は $1 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{h}$ と見積もられている (Hotta et al., 2016b)。また、三宅島で2000年6月26日の18時ごろに始まったマグマの貫入 (Meilano et al., 2003) も同様である。岩石の破壊強度が小さい場合は、口永良部島で2004年1月、2006年11月、2008年9月に始まった新岳火口周辺の膨張である。この場合、地盤の膨張は小規模な火山性地震の頻発を伴ったが、火山性地震はいずれも火口からの深さ0~500 mにおいて発生したもので (Triastuty et al., 2009)、極めて浅い。岩石の破壊強度は封圧によって変化し、封圧の増加に伴い破壊強度も増加する (長, 1993)。したがって、封圧の小さい火山体極浅部の岩石の破壊強度は小さいと考えられるので、応力の増加から破壊に至るまでの時間が短い。

3.5 警報発表と対策開始のタイミング

火山観測には、火山性地震、地盤変動、熱、火山ガスなど様々な項目があるが、住民の避難や山頂火口周辺域における登山者の立入規制の意思決定に直結する警報発表には、火山性地震の活動度が最も有効である。その理由は地震観測が最も安定的に連続観測を可能とする手法であること、最も長い観測の歴史があるので事例が豊富であること、地盤変動、熱、火山ガスなどの観測データは一般的に緩やかに変化するのに対し、火山構造的な地震は、応力が集中し続けた結果として生じる脆性破壊現象なので、応力が破壊強度という一線を越えた状況である。特に、火山性地震としては規模の大きい有感地震の発生は、意思決定のために重要な判定基準を提供できるものである。有感地震の発生は必ずしもその後の火山噴火の発生を伴うものではないが、避難を要した火山噴火を遡ると、桜島昭和噴火(1946年)を除いて有感地震が発生している (Iguchi et al., 2017)。

以上のことを踏まえて、まず、住民の避難が行われた2015年口永良部島火山の噴火と本稿で取り扱う桜島大正噴火災害の犠牲者数を越えた2014年御嶽山噴火について警報発表や種々の対策の開始のタイミングを考えてみる。

口永良部島の2015年5月29日の噴火発生の6日前の5月23日に口永良部島の西山麓において有感地震が発生した。火山性地震の活動度は意思決定のための有効な指標であるが、非地震性地盤変動期から地震活動の活発な地震性地盤変動期に移移する火山活動遷移モデル (図3-5) に基づいて考えると、火山性地震の多発は地震性地盤変動期に移行したことを意味し、それに前駆する非地震性地盤変動期の地盤変動を検出できれば、火山性地震の発生は地震性地盤変動期に入ったことを裏付けることができる。口永良部島の場合は、遅くとも5月23日に有感地震が発生した段階で地震性地盤変動期に入っているが、それ以前においては2014年12月から地盤変動が始まって非地震性地盤変動期に入り、この期間において二酸化硫黄放出量の急増や火映の出現などの異常現象も現れていた。したがって、5月23日の有感地震発生が警報発表

のトリガーとなるのは疑いのないところである。

火山構造性地震の発生は、応力が集中し続けた結果として生じる脆性破壊現象で、応力が破壊強度という一線を越えた状況であるという考え方に立てば、2014年の御嶽山噴火の場合でも、火山構造性地震が多発した9月10日ごろが警報発表のタイミングであると考えられる。しかも事後解析とはいえ、地盤変動の開始は8月中旬であることが指摘されており (Miyaoka and Takagi, 2016), 9月10日以降に地震活動が活発化したこと (Kato et al., 2016) は、これ以降、地震性地盤変動期に入ったことを示す。本稿で述べた非地震性地盤変動から地震性地盤変動への推移の考え方に従えば、9月10日ごろにはすでに地盤変動は進行していた状態である。少なくとも傾斜計の生記録は、8月ごろから御岳山山頂方向である北西側隆起を示している。この変動が火山性起源であることを示すには、様々なノイズ要因 (Takagi and Onizawa, 2016) を除去する必要があるが、逆に火山性地盤変動の可能性を否定できる記録ではないともいえる。9月10日以前の非地震性地盤変動期の検出は困難でこれを見逃したとしても、火山構造性地震の多発は、応力が増加して岩石の破壊強度を超えたことを意味するので、それに遡って火山性地盤変動の有無を検討できる。さらに警報の目的である早期警戒の趣旨に基づけば、火山性地震多発の時点で火山性地盤変動の進行を否定できない以上、火山性地震の多発は警報発表の適切なトリガーである。

今後、想定される大正噴火級の大規模噴火については、安永噴火、大正噴火に前駆する地震活動は有感地震活動を多数含むことから、先述の口永良部島や御嶽山の噴火の前駆地震活動よりもはるかに活動的であり、3.2節に述べたような地震活動に先行する地盤隆起が予想できるので、地震活動の活発化が警報発表のトリガーとなる。

安永噴火、大正噴火に前駆する活発な地震活動期は噴火発生前の20~30時間であるので、将来発生する同等規模の噴火についても地震が頻発する地震性地盤変動期の活動は20時間程度と考える。したがって、20時間以内で対策が完了するものに

ついては、有感地震を含む火山性地震の群発現象の捕捉が意思決定に活用可能である。例えば、住民の避難がこれに相当する。気象庁が発表する噴火警戒レベルの判定基準に従えば、現在の噴火警戒レベルが3なので、火口から3kmの範囲に対しての噴火警戒レベル4 (避難準備)、全島に対してのレベル5 (避難) が、順次発表されることが予想される。これらの警報発表をトリガーとして避難が始められることが期待される。

一方、実施に長時間を要する対策 (例えば、家畜等の避難) や、避難と同時に実施することができない対策、あるいは避難のための準備作業については、噴火警戒レベルが3のままであっても非地震性地盤変動期に開始する必要がある。

桜島の大規模噴火に先行する非地震性地盤変動期では、井戸水の濁水がわかるほど地盤変動が大きいことが予想されるので、非地震性地盤変動期であることが十分認識できると思われるが、地盤変動の早期検出がむしろ課題となろう。

3.6 まとめ

桜島の大正噴火に前駆する現象を時系列に沿って整理し、マグマの動態を推定した。始良カルデラにおけるマグマ蓄積増加量は、大正噴火に匹敵すると考えられ、次の大規模噴火に至るまでの過程を考察した。桜島以外の多くの火山噴火でもマグマの貫入に伴う弾性変形のみが進行する非地震性地盤変動期から火山体の脆性破壊を伴いながらマグマの貫入がさらに進行する地震性地盤変動期への推移が認められるので、桜島における次の大規模噴火でも、マグマの貫入に伴う弾性変形のみが進行する非地震性地盤変動期から噴火発生の直前現象である有感を含む火山性地震が多発する地震性地盤変動期に推移するものと考えられる。有感を含む火山性地震の多発期には避難等の意思決定が必須であるが、より高度な災害軽減対策においては、非地震性地盤変動期から実施する必要がある。

引用文献

Aisyah, N. et al.: Combination of a pressure source and

- block movement for ground deformation analysis at Merapi volcano prior to the eruptions in 2006 and 2010, *Jour. Volcanol. Geotherm. Res.*, Vol. 357, pp. 239-253, 2018.
- Araya et al.: Shallow magma pre-charge during repeated Plinian eruptions at the Sakurajima volcano, *Scientific Reports*, Vol. 9, 1979, 2019.
- 長 秋雄: 岩石の破壊強度から求められた地殻強度と地殻での高圧型破壊の可能性, *地学雑誌*, Vol. 102 (3), pp.279-287, 1993.
- 江頭庸夫: 桜島火山周辺における地盤変動-1982年~1985年-. 第6回桜島火山の集中総合観測, pp.15-19, 1988.
- 浜口博之: 岩手山の火山活動と観測に関する備忘録, 火山噴火予知連絡会最近10年のあゆみ, 気象庁, pp.141-147, 2005.
- 平林順一・他: 桜島火山の活動と火山ガス組成および土壌からの二酸化炭素ガスの拡散放出, 第10回桜島火山の集中総合観測, pp.149-164, 2008.
- Hotta, K. et al.: Multiple-pressure-source model for ground inflation during the period of high explosivity at Sakurajima volcano, Japan - Combination analysis of continuous GNSS, tilt and strain data -, *Jour. Volcanol. Geotherm. Res.*, Vol. 310, pp.12-25, 2016a.
- Hotta, K. et al.: Rapid dike intrusion into Sakurajima volcano on August 15, 2015, as detected by multi-parameter ground deformation observations, *Earth Planets Space*, Vol. 68, doi: 10.1186/s40623-016-0450-0, 2016b.
- Hotta, K. et al.: Magma intrusion and effusion at Sinabung volcano, Indonesia, from 2013 to 2016, as revealed by continuous GPS observation, *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, Vol.382, pp.173-182, 2019.
- Iguchi, M. et al.: Contribution of monitoring data to decision making for evacuation from the 2014 and 2015 eruptions of Kuchinoerabujima Volcano, *Journal of Natural Disaster Science*, Vol. 38, pp.31-47, 2017.
- 井口正人・他: マグマ貫入速度による桜島火山における噴火事象分岐論理, *火山*, 第64巻, pp.33-51, 2019.
- 井村隆介: 史料からみた桜島火山安永噴火の推移, *火山*, 第43巻, pp.373-383, 1998.
- 石原和弘・江頭庸夫: 桜島火山近傍の垂直地盤変動と山頂噴火活動の関係について, *京都大学防災研究所年報*, No. 21, pp.153-162, 1978.
- 石原和弘・他: 桜島火山の溶岩流(1) - 有史時代の溶岩流の容積 -, *京都大学防災研究所年報*, 第24号, pp.1-10, 1981.
- 加茂幸介・石原和弘: 地盤変動からみた桜島の火山活動, *桜島地域学術調査協議会調査研究報告*, 桜島地域学術調査協議会, pp. 19-28, 1980.
- Kato, A. et al: Preparatory and precursory processes leading up to the 2014 phreatic eruption of Mount Ontake, Japan, *Earth Planets Space*, Vol. 67:111, DOI 10.1186/s40623-015-0288-x, 2016.
- 気象庁地震火山部火山監視・情報センター: 浅間山の火山活動解説資料(平成21年2月), 2009.
- 気象庁地震火山部: 火山名 御嶽山 火山の状況に関する解説情報 第2号平成26年9月12日16時00分, 2014.
- 小林哲夫: 桜島火山の地質: これまでの研究成果と今後の課題, *火山*, 第27巻, pp.277-292, 1982.
- Mannen et al.: Chronology of the 2015 eruption of Hakone volcano, Japan: geological background, mechanism of volcanic unrest and disaster mitigation measures during the crisis, *Earth Planets Space*, Vol. 70:68, <https://doi.org/10.1186/s40623-018-0844-2>, 2018.
- Meilano, I. et al: Rapid ground deformation of the Miyakejima volcano on 26.27 June 2000 detected by kinematic GPS analysis, *Earth Planets Space*, Vol. 55, pp. e13-e16, 2003.
- 味喜大介・小林哲夫: 桜島火山・南岳の形成過程 - 溶岩の古地磁気学的年代と噴出量の推定からの考察, *火山*, 第61巻, pp.237-252, 2016.
- Miyaoka, K. and Takagi, A.: Detection of crustal deformation prior to the 2014 Mt. Ontake eruption by the stacking method, *Earth Planets Space*, Vol. 68:60, DOI 10.1186/s40623-016-0439-8, 2016.
- Miura et al.: Crustal deformation associated with the 1998 seismo-volcanic crisis of Iwate Volcano, Northeastern Japan, as observed by a dense GPS network, *Earth Planets Space*, Vol. 52, pp.1003-1008, 2000.
- Mogi, K.: Relation between the eruptions of various volcanoes and the deformations of the ground surface around them. *Bull. Earthq. Res. Inst., Univ. Tokyo*, 38, 99-134, 1958
- Mogi, K.: *Experimental rock mechanics*, *Geomechanics Research Series 3*, Taylor & Francis, London,

- 2007.
- Mori, T. et al.: Sulfur dioxide flux monitoring using a regular service ferry after the 2014 eruption of Kuchinoerabujima Volcano, Japan, *Journal of Natural Disaster Science*, Vol. 38, pp. 105-118, 2017.
- 野添武志：桜島爆発の日，南日本新聞開発センター，p214，1980.
- Omori, F.: The Sakura-Jima eruptions and earthquakes, *II. Bull. Imp. Earthq. Inv. Comm.*, 8(2), 35-179, 1916.
- Omori, F.: The Sakura-Jima eruptions and earthquakes, *V. Bull. Imp. Earthq. Inv. Comm.*, Vol. 8, No. 5, pp. 353-466, 1920.
- 斎藤英二・他：GPS 連続観測による口永良部島火山の2014年噴火10年前からの地盤変動，地質調査研究報告，第66巻，第5/6号，p. 103-141, 2015.
- Surono et al.: The 2010 explosive eruption of Java's Merapi volcano-a '100-year' event. *Jour. Volcanol. Geotherm. Res.* Vol. 241-242, pp. 121-135, 2012.
- Takagi, A. and Onizawa, S.: Shallow pressure sources associated with the 2007 and 2014 phreatic eruptions of Mt. Ontake, Japan, *Earth Planets Space*, Vol. 68:135, DOI 10.1186/s40623-016-0515-0, 2016.
- Tameguri, T. and Iguchi, M.: Characteristics of micro-earthquake swarms preceding eruptions at Showa crater of Sakurajima volcano, Japan, *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, Vol. 372, pp. 24-33, 2019.
- 東京大学地震研究所：地殻変動の観測データ，浅間山の火山活動について，2009. http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/TOPICS_OLD/200902_Asama/#GPS
- Triastuty, et al.: Temporal change of characteristics of shallow volcano-tectonic earthquakes associated with increase in volcanic activity at Kuchinoerabujima Volcano, Japan, *Jour. Volcanol. Geotherm. Res.*, Vol. 187, pp. 1-12, 2009.
- 植木真人・三浦 哲：1998年岩手山周辺の火山・地震活動，*地学雑誌*，第111巻，第2号，pp.154-165，2002.
- Yoshikawa, K.: On the crustal movement accompanying with the recent activity of the volcano Sakurajima (Part 1). *Bull. Disast. Prev. Res. Inst.*, Kyoto Univ., No. 48, pp. 1-15, 1961.

4. 桜島における大規模噴火災害対策(鹿児島県鹿児島市)

幸福 崇⁵・田嶋祐哉⁵・黒岩賢彦⁵・上林嵩弘⁵

4.1 活火山桜島と共生するまち鹿児島市の概況

鹿児島市は，九州南端，鹿児島県本土のほぼ中央部に位置する人口約60万人の都市で，市街地から鹿児島湾を挟んだ約4 kmの対岸に桜島（標高1,117 m）が聳えている。（写真4-1）

鹿児島市のシンボル桜島は，1955年以来60年以上の長きにわたって噴火活動を続けている世界でも稀有な火山である。桜島では，2011年に観測史上最多の1,355回の噴火があり，昨年は479回の噴火が発生し，活発な噴火活動が続いている。

鹿児島市民にとって桜島の噴火とそれに伴う降灰は日常の出来事である。桜島上空の風向きや降灰予報などの情報がニュースやメールで常に発信され，日常生活の中で活用されている。また，降灰後は，ロードスイーパーや散水車（写真4-2）が出動して火山灰の除去にあたるほか，市民一人ひとりも市が配布する「こくはいぶくろ灰袋」（写真4-3）などに灰を収集し，指定の場所に集め，市がそれらを回収して埋め立て処分するなど，地域全体で降灰対策に取り組んでいる¹⁾。

桜島島内では，噴火による噴石の影響が想定される火口周辺2 kmを常時立入禁止（災害対策基本法第六十三条にもとづく警戒区域）としている



写真4-1 活火山桜島と60万市民が共生する鹿児島市

⁵ 鹿児島市危機管理局危機管理課桜島火山対策係

ほか、島内一円への防災無線の配備や32か所の退避壕（シェルター）の整備などに加え、増加する観光客対策として避難施設等への4か国語表記看板の設置を進めている。

また、1972年から半世紀に渡って火山防災訓練を実施し、避難体制の充実と改善に継続して取り組んでいる。この訓練を通じ、警察や自衛隊、ライフライン事業者などの防災関係機関との連携を図っているほか、2か月に1回開催される火山防災連絡会を通じ、鹿児島地方気象台と大学、国・県・市の行政による連携を図るなど、懇親会の開催も含め、顔の見える関係づくりにも力を入れている。

こうした様々な取組により、桜島は安心して生活・観光ができる体制が整えられており、2013年には「桜島・錦江湾ジオパーク」として、日本ジ



写真4-2 ロードスイーパー



写真4-3 克灰袋

オパークの認定を受けるなど、火山を「恵み」として、観光や産業の振興に活用する取組も進められてきた²⁾。

4.2 火山防災トップシティ鹿児島市

桜島は、市民生活をはじめ、農作物等各方面にわたって大きな影響を与えているが、本市では、桜島と向き合い、共に暮らすために、これまでハード・ソフトの両面から火山防災対策に取り組み、さまざまな試行錯誤を経ながらその充実に努めてきた。こうした本市の火山防災に係る取組は、長年の経験や実績に裏打ちされた実効性のある対策となっている。

これをさらにブラッシュアップし、火山防災のモデルとして世界に発信することにより、国内外の火山災害の被害軽減に寄与できるものと考え、市民と地域、事業者、研究機関・行政が一体となって、桜島に対する総合的な防災力の底上げを図るとともに、最先端の火山防災に取り組む「鹿児島市」を、火山の魅力も交えながら世界に発信することにより、交流人口に加え、関係人口の拡大を図るため、2019年3月に鹿児島市火山防災トップシティ構想を策定した³⁾。

構想の基本的な考えの中で、これまでの火山防災対策にさらに磨きをかけ、大規模噴火時においても、犠牲者が出ない体制の構築に取り組む「大規模噴火でも『犠牲者ゼロ』を目指す防災対策」、市民の誰もが桜島のなりたちや火山の恵み、文化を学び、桜島への関心と愛着を育むとともに、火山災害時における対応を理解し、身につける火山防災教育の取組を推進する「次世代に『つなぐ』火山防災教育」、これまで培ってきた桜島の火山防災対策を、あらゆる機会を活用して発信することで、世界への貢献を目指す「『鹿児島モデル』による世界貢献」の三つを構想の取組の柱とし、各種施策を展開している。

4.3 大規模噴火でも『犠牲者ゼロ』を目指す防災対策

(1) 大正噴火の概要

桜島は、過去にも大規模噴火を繰り返しており、

中でも1914年の大正噴火は、20世紀以降我が国で最大規模とされ、軽石や火山灰が厚く降り積もり、降灰は日本全国に及んだほか、噴火開始の約8時間後には、鹿児島湾を震源とするマグニチュード7.1の地震が発生した。また、約400mの海峡を埋めて大隅半島と陸続きとなるほど多量の溶岩が流出するなど、一連の活動による死者・行方不明者の数は58人を数えた。

(2) 避難計画

大規模噴火の際は、山の中腹にできる新たな火口から噴火が発生する可能性が高く、桜島全域が大きな噴石や火砕流などの影響範囲に含まれるため、島外への避難を余儀なくされることが想定されている。このため、噴火発生前に桜島島外への避難を完了させるなど、被害者を出さないための各種対策が求められている。

そのため、本市の桜島島外への避難計画⁴⁾では、市街地と桜島を結ぶフェリーを活用した避難計画に加え、陸続きの大隅半島へのバスや自家用車による避難計画を作成し、海上・陸上のいずれでも避難できる体制を構築している。さらに、桜島島内各地域の地理的な状況に応じたよりよい避難方法構築のため、海上避難と陸上避難の両方を活用した迅速かつ効率的な避難方法の検討を行っている。

避難先については、地域のコミュニティごとに避難生活が送れるよう集落ごとに指定の避難所を定めている。さらに、風向きによって降灰場所が変化するため、鹿児島市内の北部、南部地域にそれぞれ代替避難所を定めているほか、市域外の霧島市や垂水市にも一時避難場所を確保するなど、各方位に避難先を確保している。

本計画の認知度を高めるため、桜島住民に対しては、避難計画も掲載した「桜島火山ハザードマップ」や、地域ごとの具体的な避難手順をまとめた「桜島火山避難マニュアル」(図4-1)を各世帯に配布している。さらに、避難状況を把握するため、全ての住民の防災用名簿も作成しており、この名簿と連動したバーコードを貼付した防災ヘルメットを全住民に配布している。

さらに、計画の実効性を検証するため、毎年、大正噴火が発生した1月12日の前後に、さまざまな機関と連携し総合防災訓練(写真4-4)を実施し、実効性の向上と計画の継続した改善に取り組んでいる。

(3) 長期避難計画

また、火山災害は、溶岩の流出等により家屋や地域全体への被害が発生するなど、避難が長期化する傾向にあるため、本市では長期避難計画⁵⁾を定めている。避難者がより負担なく過ごせるよう、期間に応じた避難先を設定したもので、避難初期の避難開始から1週間程度を短期として前述した集落ごとに指定の避難所での避難生活を送り、仮設住宅が整うまでの1週間から2か月程度を中期として宿泊機能や入浴機能を有する研修施設等に移っていただき、2か月以降を長期として、避難

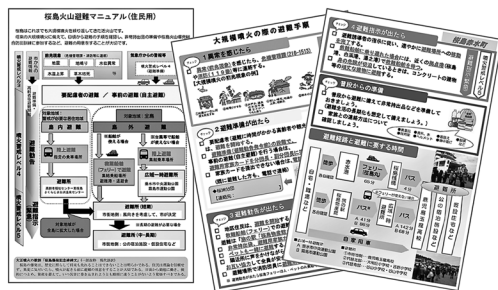


図4-1 桜島火山避難マニュアル(住民用)



写真4-4 半世紀に渡って継続する桜島火山爆発総合防災訓練

者の意向調査を実施の上で、仮設住宅へ入居していただくことを想定している。この仮設住宅も一般的に整備されがちな郊外ではなく利便性の高い市街地の公園に整備することとしているほか、避難生活全般において災害関連死が生じないよう、健康管理や衛生管理だけでなく、口腔ケアや体力支援、栄養管理、メンタルヘルスケアなど心身の各面にわたったケアを行うこととしている。

(4) 大量軽石火山灰対応計画

現在、桜島へのマグマの供給源である始良カルデラに大正噴火前のおよそ9割のマグマが蓄積されていると推定されており⁶⁾、2020年代には大正噴火発生時と同等レベルの蓄積に至ると言われている。いつ、大正噴火クラスの大規模噴火が発生してもおかしくない今、大規模噴火に対する対策強化は急務と言える。

仮に、今、大正噴火クラスの大規模噴火が発生したら、どのようなことが起こりうるのか。気象庁気象研究所のシミュレーションによると、偏西風が弱くなる夏場には、風向きが西向き、いわゆる鹿児島市街地に向かって強い風が吹くこともあり、数十万人が居住する比較的広大なエリアで軽石火山灰が約1mも堆積する結果が示されている⁷⁾。

これらを踏まえ、2017年から全国に先駆けて大量軽石火山灰に関する本格的な検討を開始し、関係機関にも協力をいただきながら、避難対応、保健福祉、救急医療、軽石火山灰除去、ライフライン対策、土石流・河川氾濫対策の6つの作業部会に分けて、各種対策の検討を進めてきた。検討の過程で、大量の軽石火山灰が堆積した道路を車両が走行できるかどうかによって、対策の方向性が変わるといった意見などから、2018年7月に、軽石火山灰が30cm～1m堆積した状況と火山灰のみが30cm堆積した状況を作り、その条件下で車両が走行できるかどうか、また、道路を啓開するために必要な資機材や作業量等がどれくらい必要なのかを検証するための実験を実施した(写真4-5)。実験では、軽石火山灰の条件下、火山灰のみの条件下ともに、市民が日常的に使用する前輪



写真4-5 大量の軽石・火山灰を想定した車両走行実験

駆動車や後輪駆動車では走行が困難である反面、四輪駆動車では走行できることが確認できた。また、道路啓開も想定していたバックホウによる作業に、ホイールローダーを加えることで、作業効率があがることが確認できた。

この実験で得られた結果などを基に、鹿児島市街地側住民の避難の必要性や避難情報の発令時期等を整理し、2019年3月に「大量軽石火山灰対応計画(暫定版)」⁸⁾を作成し、地域防災計画に位置付けたところである。

この計画では、大量軽石火山灰降下による市街地側へのリスク想定として、「風向きにより大量の軽石火山灰や小さな噴石の降下が予想されるが、被災回避行動をすることで、直ちに生命の危険は生じないことが想定される。ただし、その後のライフライン停止等の長期化により、普段の生活を送れなくなることや要配慮者に加え一般住民においても生命維持の危険等が想定される。」と整理しており、電気が使えないことが生命に直結する要配慮者等に加え、夏場の場合、エアコンが使えず、移動手段が限られる状況下では、熱中症等による生命の危険も考えられることから、一人でも多くの住民が大量軽石火山灰堆積地域から事前に避難するための枠組みを構築した。

具体的には、警戒範囲を桜島全島とする噴火警戒レベル5に引き上げられ、特に夏場等、降灰予報等により鹿児島市街地に大量の軽石火山灰降下の可能性が大きい場合に、南岳山頂火口から同心円状の一定の地域に避難準備・高齢者等避難開始

を発令し、発令範囲外の避難場所を開設し、要配慮者等に避難を促すこととしている。その後さらに、地震活動や地盤変動などの前兆現象が進行し、鹿児島地方気象台からの大規模噴火に関する解説情報や京都大学防災研究所火山活動研究センターからの噴火切迫に関する助言がなされるなど、噴火が直前に迫ったと認められる場合には、降灰予報等による主たる降灰方向の地域に避難勧告を発令する(図4-2)方針をまとめ、数十万に及ぶ市民への避難情報の段階的発令要領を整理した。

2019年4月以降も、避難勧告を発令した場合の避難場所の確保のため、周辺市町と避難者受入に関する協議を進めているほか、避難行動を更に促進するための具体的な対策の検討や大量軽石火山灰除去に関するタイムラインや除去計画シートの作成など、計画を充実させるべく、更なる検討を進めているところである。

4.4 次世代に『つなぐ』火山防災教育

鹿児島の「次世代を担う」児童を対象とした火山防災教育として、火山防災教育用副読本を作成(写真4-6)し、市内の小学6学年全児童に配布するほか、市街地側の児童が実際に桜島の災害遺構や防災施設等を訪れ、現地ガイドによる説明を受けて桜島を肌で感じる機会を創出する取組、学校で火山の専門家による講話を聞き、ワークショップを行う取組など、火山への興味・関心の幅を広げるための取組を展開している。



図4-2 大規模噴火時の鹿児島市街地への避難情報発令イメージ

また、大量軽石火山灰対応計画(暫定版)の考え方について住民の理解促進を図るため、火山防災意識啓発映像「知る・備える・行動する」桜島の大規模噴火～その時、あなたはどう動く?～」を制作⁹⁾(写真4-7)し、大正噴火で起こったことや現在の桜島の観測体制等を含めて紹介し、住民の日頃からの備えにつなげる取組を実施している。

4.5 『鹿児島モデル』による世界貢献

本市がこれまで培ってきた桜島の火山防災対策を積極的に発信し、国内の火山地域への貢献はも

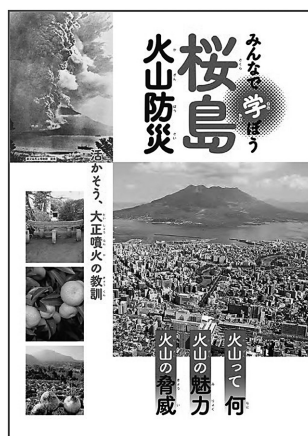


写真4-6 火山防災教育用副読本「みんなで学ぼう 桜島火山防災」



写真4-7 桜島火山防災意識啓発映像



写真4-8 スレマン県との火山防災等の交流促進に関する覚書



写真4-9 第10回火山都市国際会議 (CoV10・ナポリ) における市長によるプレゼンテーション

ちろんのこと、世界への貢献を目指す一つの取組として、インドネシアのジョグジャカルタ特別州スレマン県との連携にも乗り出している。

本市では大規模噴火対策の参考とするため、2017年7月に市長がスレマン県を訪れ、2010年のメラピ火山の大規模噴火時における対応等を調査した。同年10月には、スレマン県知事を本市に招き、市民や職員を対象にした講演を行っていただいたほか、桜島に係る防災関係機関との意見交換などの交流を行った。これをきっかけに、同じく火山と向き合う都市として、被災経験や教訓を共有し、防災対策を高めるためにも、一層交流を深め、あわせて、観光や経済をはじめとする幅広い分野の発展につなげていきたいという思いが一致

し、火山防災等の交流促進に関する覚書を締結するに至った(写真4-8)¹⁰⁾。

今後、この覚書に基づく交流に取り組む中で、本市の火山防災に関する具体的な対策やノウハウの提供を図り、世界への貢献の在り方を検討することとしている。

また、火山都市国際会議 (Cities on volcanoes) など国内外の火山関係会議にも積極的に参加(写真4-9)し、桜島に係る先進的な火山防災の取組を発信するほか、同様の会議の誘致にも積極的に取り組んでいる。

おわりに

これまで火山防災対策の充実に努めてきたが、鹿兒島市の大多数の市民が住む市街地側の避難対応などまだまだ取り組まなければならない課題は多くある。現状に胡坐をかくことなく、更なる火山防災対策の推進を図るとともに、60万市民が火山と共生するまちとして、そして火山防災のトップシティとして、国内外の火山地域など多様な自治体・関係機関とも交流・連携した取組を推進し、火山防災を牽引する都市を目指してまいりたい。

参考文献

- 1) 鹿兒島市ホームページ, 降灰対策 <https://www.city.kagoshima.lg.jp/kikikanri/kurashi/bosai/bosai/sakurajima/kohai.html>
- 2) 桜島・錦江湾ジオパーク推進協議会ホームページ <http://www.sakurajima-kinkowan-geo.jp/>
- 3) 鹿兒島市ホームページ, 鹿兒島市火山防災トップシティ構想 <https://www.city.kagoshima.lg.jp/kikikanri/kazan/topcitykousou.html>
- 4) 鹿兒島市ホームページ, 鹿兒島市地域防災計画(資料編), 桜島火山災害対策避難計画 <https://www.city.kagoshima.lg.jp/kikikanri/kurashi/bosai/bosai/bosai/kekaku.html>
- 5) 鹿兒島市ホームページ, 鹿兒島市地域防災計画(資料編), 桜島火山災害対策長期避難計画 <https://www.city.kagoshima.lg.jp/kikikanri/kurashi/bosai/bosai/bosai/kekaku.html>
- 6) 桜島大正噴火100周年事業実行委員会, 桜島大正噴火100周年記念誌 <http://www.pref.kagoshima.jp/aj01/bosai/sonae/sakura100/kinenshi.html>

- 7) 気象研究所, 第16回環境研究シンポジウム, 大規模噴火を想定した気象レーダー観測と降灰予測(第2報) http://www.mri-jma.go.jp/Topics/H30/kankyosympo2018/files/poster_7.pdf
- 8) 鹿児島市ホームページ, 鹿児島市防災会議資料, 桜島火山災害対策大量軽石火山灰対応計画(暫定版)資料6-2 <https://www.city.kagoshima.lg.jp/kikikanri/kurashi/bosai/bosai/bosai/documents/siryou6-2.pdf>
- 9) 鹿児島市ホームページ, 桜島火山防災意識啓発映像 <https://www.city.kagoshima.lg.jp/kikikanri/kurashi/bosai/bosai/sakurajima/eizou.html>
- 10) 鹿児島市ホームページ, インドネシア・ジョグジャカルタ特別州スレマン県との火山防災等の交流促進に関する覚書締結(平成29年10月25日) <https://www.city.kagoshima.lg.jp/kikikanri/kazanbo-usaitounokouryuusokushinnikansuruuobogakiteike.tsu.html>

5. 桜島大規模噴火で予想される陸上交通の麻痺と対策

三田和朗⁶

5.1 はじめに

災害復旧の観点からは, 道路機能の回復が最も重要であることは言うまでもない。道路機能が回復しなければ, 救援部隊の移動や救援物資の運搬, 停電などの復旧作業, 産業の回復, すべての分野に重大な影響がある。

ところが桜島が大噴火した場合は火砕物が数日以上の間降り続き, その間の道路啓開は現状では困難である。さらに, 降下火砕物の堆積厚さが30 cm から50 cm を超え, 道路に放置車両があると, プリニー式噴火終息後も道路啓開や道路の復旧は困難となる。

大正噴火と同様に多量の火砕物が降下した場合, 数千 km²の広大な地域で交通障害が発生し, 3000 km²程度の地域で, 四輪駆動車以外は通行できない事態となる。本論は, 桜島が大噴火し, 多量の火砕物が降る地域で道路交通に麻痺を引き起こす原因と対策について考察したものである。な

お, 現在の技術力では解決が難しい桜島島内の噴火被害については, 本論では検討範囲に含めないこととした。

5.2 交通麻痺を発生させる要因

本論で検討対象とする噴火規模は, 大正3年噴火(DRE体積にて1.58 km³のマグマ噴出量)と同程度の噴火規模である。図5-1に示した桜島のマグマ蓄積量と消費量の関係を示した階段図¹⁾で, 現在特に大きなマグマ蓄積があるとは考えられてはいない。桜島が大噴火する際のマグマだまりに近い長期観測地点(大崎鼻)の地盤隆起量は, 大正噴火で沈降した量の90%程度まで回復していることから, 次の大噴火は大正噴火程度の規模を考慮することが適切と考えられている。もっとも昭和噴火(1946年)のような中規模の噴火がその前にある場合も考えられるが, 中規模噴火ではマグマ消費量が少ないので, その後はプリニー式の多量の軽石と火山灰を放出する大噴火に至ると考えられている。

噴火後に交通麻痺を発生させる要因は, 噴火に伴う火山噴出物の他に, 降り積もった軽石や火山灰を原因として発生する土石流や洪水, さらに停電や放置車両が引き起こす走行障害も交通麻痺を発生させる要因となる。これらの点について以下

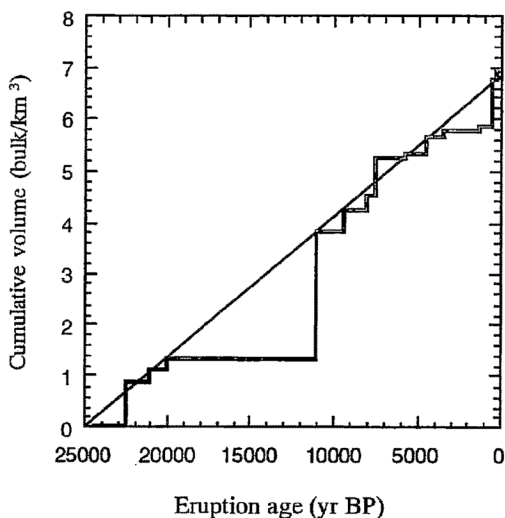


図5-1 桜島火山の階段図 (Okuno, 1997)

⁶ (株) ホウセイ・技研

に示す。

5.2.1 一次被害

火山噴火に伴って発生する噴石・火砕流・溶岩流出・火山ガスなどによる交通被害は、桜島で起きるプリニー式噴火でも起きると考えられるが、これらに対する防災対策が難しい点と、被害を最も受けやすい桜島の住民は、噴火前には全員避難する体制が構築されているので、桜島島内で起きる一次被害については本論では触れないこととする。以下に、上記以外の一次被害について述べる。

(1) 降下火砕物による走行性低下

桜島が大噴火すると降下火砕物（本文では軽石と火山灰を指す）による交通麻痺が発生する。大正噴火の降灰記録²⁾では、鹿児島県の約6割、宮崎県の約5割の面積に1 cm以上の厚さの降下火砕物が堆積している（図5-2）。顕著な走行障害が

発生する可能性が高い5 cm以上の降下火砕物の範囲は、陸域で約3200 km²、厚さ10 cm以上の範囲は、南北23 km 東西65 kmの範囲（約1300 km²）に及んでいる。

降下火砕物が自動車の走行性に及ぼす影響は2018年4月時点では不明な点が多かった。たとえば、富士山ハザードマップ検討委員会（2002）第4回活用部会資料では、〔一般に普通車の車高は10 cm程度であることから、10 cm以上の降灰では走行が困難になるものと想定される。〕、〔湿潤状態では数 cm程度でもスリップして走行不能となると想定される（検討中）〕としている。そして同資料では、定量化の考え方として〔通行不能になる範囲は降灰量10 cm以上の範囲とする。〕ことが示され、気象庁は、2018年時点でホームページに、〔降灰の厚さ5 cm以上から、道路は通行不能〕との見解を示していた。

桜島の場合では、1000 km²を超える広い地域に10 cm以上の厚さの降下火砕物が堆積する可能性が高いので、広範囲の道路機能が停止し、道路機能停止がさらに甚大な被害をもたらすことが予想された。このことは、自動車の走行が困難なため、物流網や人々の移動手段喪失だけではなく、警察車両・救急車・消防車・救護車両・災害復旧車両なども出動できないため災害復旧も進まない深刻な事態を示唆している。

一方、新燃岳の噴火（2011年）の際には、四輪駆動車は降下火砕物が厚さ10 cm程度堆積した坂道でも登坂可能であった（図5-3）。このため、噴火後の救援対策の検討に車両の走行性を確認することが必要と考えられ、鹿児島市は2018年7月に走行実験を行った。

鹿児島市が実施した降下火砕物上での走行実験には約60機関が参加して2日間実施された。この実験で、前輪駆動車も後輪駆動車もスタックして走行が困難なことから、四輪駆動車であれば、厚さ1 mの降下火砕物の坂道も走行可能であることが解った。実際には大噴火後に降る軽石や火山灰は今回使用した軽石や火山灰とは少し異なる性質があるが、基本的に走行が可能か否かの点では大きな成果が得られている。



図5-2 桜島火山降灰礫分布図 堆積厚等値線は金井眞澄（1920）の原図をもとに尺表記を m 表記に変換してしめしてある。

火山灰の堆積厚さと自動車の走行性について、内閣府の大規模噴火時の広域降灰対策検討ワーキンググループ(以後本文では、広域降灰WGと略す)では、平成30年12月の検討資料4で降灰厚さ5cm以上10cm未満で「走行速度10km」、10cm以上で「通行不能」としている。同時に、有珠山の1977年噴火の際に、降灰の厚さ2cm以上でスリップが発生し、10cm以上で走行不能となった事例を示している。

広域降灰WGが参考として記載した有珠山の場合は、モンモリロナイトを数%含んでおり³⁾、モンモリロナイト鉱物をほとんど含まない桜島の火山灰とは性質が異なる。モンモリロナイトを含む火山灰は、降雨後に非常にすべりやすい泥になり、車両の走行性が著しく低下する。モンモリロナイトを含まなければ、一般的な降雨後の泥の状態と同じである。したがって、有珠山の事例は桜島には適用できない。他の火山では御嶽山噴火(2014年)で、山頂の火山灰が降雨後に泥濁化して、自衛隊員の捜索活動を困難にしているが、桜島の場合には火山灰が泥濁化した記録は無い。し



図5-3 10 cm以上の降下火砕物が堆積しても登坂可能(新燃岳2011年噴火)

たがって、桜島の降下火砕物については、鹿児島市が実施した車両走行実験結果を基本的な走行性として把握して良いと考えられる。

(2) 火砕物降下中の視程低下

降下火砕物による交通麻痺の課題として、火砕物の降下中に視程を確保できない点が指摘される。鹿児島県肝属郡役所が1915年にまとめた櫻島爆發肝属郡被害始末誌(以後肝付郡噴火誌と略す)には、「天地晦冥、時に白昼と言えども点灯せざるの止むなき日あるなど、ほとんど天日を見ざること旬日、・・・(p.160)」とあり、桜島の風下にあたる地域では10日間程度は、ほとんど太陽が見えず白昼に明かりを必要とするほど暗かったと記述されている。肝付郡噴火誌には、噴煙の風下で降下火砕物の被害が著しかった4箇村の記録がある(表5-1)。噴火は12日の午前10時頃始まっているが、表5-1では、軽石の降下開始時刻は、桜島からの距離を反映し10時から11時半頃とされている。桜島の東側の噴火口から15km前後の距離がある百引村で噴火後1時間半経過してから軽石の降下が始まり、5~8km程度離れた牛根村では噴火と同時に降下が始まったことになる。牛根村の軽石降下開始時刻は、爆發と同時に午前10時とされて不自然であるが、牛根小学校の記念誌⁴⁾では、「1月12日午前10時爆發と同時にむくむくと晴天に立ち昇り、西よりの風であったから丁度牛根の上空にたおれてあれよあれよという間に指頭大の軽石が彼所此所にぼてぼてと落ちた」と書かれており、表5-1に書かれた牛根村における軽石降下時刻と概ね一致する。軽石が噴火初期段階で噴煙の上昇勢いが弱い時点で、西風に流され牛根村に軽石が降下したものと推定される。

火砕物降下中の視程について、広域降灰WG

表5-1 大正噴火の降下物の変化 出典：櫻島爆發肝属郡被害始末誌 1914 一部加筆

場所	軽石降下開始時刻	軽石の降下激甚	砂状に変化	降砂最盛期	灰状
高隅村	12日午前10時半頃	12日午後2時から	13日午前3時	16日最も盛ん	17日から
百引村	12日午前11時半頃	12日午後2時より	14日より灰砂状	15日まで	17日から
牛根村	12日午前10時より	12日午後2時ごろ最も盛ん	13日午前3時	砂状~灰状16日まで盛ん	
垂水村	牛根と同じ時間で軽石降下無し(降灰は11時から降り始める〔垂水市資料集(十八) 4])				

では、吹雪の調査から火山灰が降る最中の視程を図5-4にまとめている⁵⁾。この図では、視程（視認距離）低下により、自動車の走行速度が遅くなり、視程15 m以下では通行不能になることが示されている。同時に、粒径と降灰と視程の関係について、Blake et al. (2018)⁶⁾の実験結果を引用している。この結果によると、火山灰の粒径が105 μmの場合、1時間で1 m²当たり1000 gの火山灰が降る時の視程は約10 mなので、それより細かな火山灰が多量降るとさらに視程は短くなることになる。

実際の噴火中の記録では、有珠山の噴火(1978年)の際に火山灰が降る中を車両で避難した住民の「ライトをつけても視界は2メートルもない。・・・どこからどこまでが道路なのかわからない。ひとがあるくほどの速さでよろよろ走った。」⁷⁾といった体験談がある。

一方、筆者の住宅にも2018年6月16日に桜島の火山灰が降り、30分余りで図5-5の状態になった。

視程 (視認距離)	車両走行の可能性
~30m	通行不能 (~15m)走行は極めて困難 (15m~30m)走行は困難で危険性が非常に高い
30~60m	走行速度10km/h 走行はかろうじて可能だが危険性が高い
60~125m	走行速度30km/h 減速、徐行による走行が可能
125m~	通常の走行が可能

図5-4 視距と車両の走行性



図5-5 約30分間で降った桜島の火山灰

1時間では、1 m²当たり1000 gの量を超える火山灰の降下量であり、広域降灰WGの資料では、視程は10 mも無い状態である。この時の降灰中の体験では、晴天であったが突然夕方の様に暗くなり、明瞭では無いが対岸の山が見えたので、少なくとも500 m程度の視程（明瞭に見える意味の視程ではない）があった。また、桜島住民の竹元氏（技術士）の視覚を数値化すると、「1時間に2~3 mmの降灰時に100 m程度先までは見える状態である。」との体験談が得られた。桜島を走行中に多量の降灰に見舞われた上小鶴氏（技術士）は、「フロントガラスに多量の火山灰が降り積もり、ワイパーを動かして火山灰を掃除できない状態であったため走行困難になったが、その時も50 m程度先までは見えていた。その時の降灰量は視覚からの推測だが、2~4 mm程度であった。」と語った。

大噴火中の記録としては、桜島の降下火砕物が直撃した牛根地区で火砕物降下中の最盛期である噴火当日の夜に、「夜に入ると、炎と火山雷が真赤に飛び散り、軽石は一晩中降下し、翌朝からは降灰が激しくなってきた。」⁸⁾とあることから、最盛期でも桜島の炎と火山雷は見えていたことになる。広域降灰WGの資料「1時間で1 m²当たり1000 gの火山灰が降る時の視程は約10 m」と、桜島の降灰を体験している鹿児島在住者の視程の感覚は随分乖離している。

降灰中の視程が10 m以下だと、広域降灰WGが示す様に、緊急車両の走行は困難で、道路啓開作業の実施も難しい。降下火砕物の降下量が少なくなるまで、本来は緊急に実施する必要がある道路啓開作業も出来ない。この実施出来ない期間は、表5-1のように盛んに軽石や砂や火山灰が降っている状況を考慮すると、桜島の大正噴火では少なくとも5日間以上続いたと推測される。

火砕物が降下している状態の視程は、緊急車両の通行、道路啓開や復旧作業の実施判断に非常に重要であるので、今後明らかにされる必要がある。

5.2.2 二次被害

大噴火後の陸上交通に関わる二次被害として

は、土石流や河川の氾濫、錦江湾奥部の沿岸地域に起きた地盤沈下などがあるが、地盤沈下については現時点で有効な対策が無いため、土石流や洪水など降下火砕物の移動が原因となる被害について記載する。

(1) 土石流

大正噴火後の土石流発生状況は下川・地頭藪(1991)から図5-6を引用する。同論文では、降下火砕物の厚さが約30 cm以上の地域で土石流が発生したとされている。その回数は、表5-2に示したように、噴火した年の大正3年に村単位の発生回数は65回で、翌年の大正4年に3回発生し、10年余り続いている。ここで述べた発生回数は、多くの場合、同時多発した土石流を同じ日であれば1回とカウントしているもので、実際の発生件数は

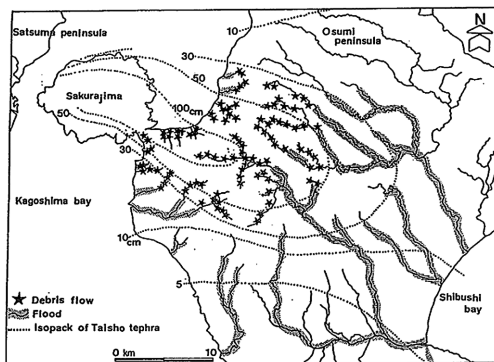


図5-6 大正噴火当時の降下軽石・火山灰の分布と土石流・洪水発生河川 下川・地頭藪1991

表5-2 大正3年噴火後の土石流・洪水被害発生状況 下川・地頭藪1991

年	土石流発生地域数 (村単位)	洪水発生河川数
大正3年	65	1
大正4年	3	1
大正5年	1	0
大正6年	1	5
大正8年	0	1
大正9年	1	0
大正10年	3	1
大正15年	1	0

は示された発生回数の何倍にもなると推定される。

桜島に近い牛根村は最も多量の降下火砕物が堆積した村であるが、大正3年に6回の土石流発生が記録されている。この牛根村の状況を図5-7に示したが、集落の背後にある山腹斜面に白い軽石が堆積している状況が撮影されている。この軽石はほぼ全量が不安定土砂として、土石流となって流出したと考えられる。牛根村では、集落が始良カルデラ壁斜面の裾野にあるため、その被害は激甚であった。集落背後の溪流から土石流が繰り返し集落を襲うため、数百戸の家が破壊されたと推定され、多数の橋梁も流された。

牛根村を海岸沿いに南北に走る現在の国道220号は、当時も現在も唯一の幹線道路であるが、その道路に架かる8箇所の橋が噴火後に流出し、流出しなかった二川橋は埋没している。このため、代道と代橋の建設が行われたが、当時2万余円を投じても水泡に帰するため、この区間を含む約18 kmは、噴火した年には「危険区域として放棄」されている。当時1200戸の人々が生活していた地域が放棄されたのである。

降下火砕物が堆積した後の土石流は発生頻度が高い点と規模が大きい点で、特筆すべき特徴がある。表5-3に垂水村の土石流・洪水発生状況を示した。大正噴火当時は土石流の言葉が無かったが、洪水と記載されているものの一部も岩石の流下や泥流の流下が記録されているので広義の土石流と見做すことが出来る。

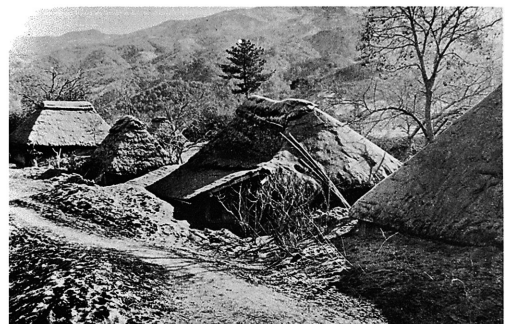


図5-7 噴火後の牛根村 出典 鹿児島国際火山会議開催記念写真集 1988年

表5-3の2月8日の被害は、僅か日雨量32.9 mmで発生している。時間雨量ではなく、日雨量である点に留意が必要である。3月6日には、日雨量42.4 mmで、死者行方不明者1名と、全半壊流出家屋30戸、床上浸水166戸、橋梁流出10箇所 の甚大な被害が発生している。なお表5-3は、垂水村のみの被害なので、大隅半島全体では、更に甚大な被害があったものと推定される。

次の大噴火で、このような土石流被害が、降下火砕物が堆積した地域の扇状地で頻発することは確実である。下川・地頭菌(1991)では、降下火砕物の堆積厚さ約30 cm以上の区域で、土石流が発生したとしているが、大正噴火当時の混乱した社会情勢下で、中小の土石流発生に対して綿密な記録が取られたとは考えにくいので、30 cmよりも薄い降下火砕物堆積地域でも、土石流の発生があったとみるべきであろう。

土石流が流出した道路は通行不能となる。1回の土石流であれば、土石流堆積物の除去は実施しやすいが、僅かな降雨で次の土石流が起きる懸念を抱えながら、堆積した土石流を速やかに除去することは難しい。さらに、堆積した降下火砕物の量が多い事に加え何回も繰り返して土石流が発生するため道路機能の早期回復には困難が伴う。

(2) 洪水

大正噴火後約1か月経過した2月中旬に大隅半島で最初の洪水が、地域最大の肝属川で発生した。翌年にも申良川で発生し、大雨が降ったとみられ

る1917年6月15・16日には5つの河川で洪水が発生している。降灰と洪水の関係は1914年の内之浦村の災害などが参考になる。内之浦村は、大正噴火の火山灰が大隅地域としては少ない5~7 cm堆積した地域に相当する。この内之浦村で、1914年9月30日の台風による大雨で、橋梁が3箇所流出し、破損した橋梁も同じく3箇所である。肝属郡全体では、この台風の雨で、10橋が流出し、6橋が破損している。通常の降水の他に堆積した火山灰が、洪水を激化させたと考えられる。

堆積した火山灰は、浸透能が小さく、金井(1920)は、実測した浸透能を 4.83×10^{-4} cm/secとしている。また、当時の記録では、火山灰がセメント質ないし凝結するとの表現が多く、雨水が火山灰の表面を流れる記述が見られるため、ホートン型の表面流が発生したと考えられる。

次の桜島大噴火で、1 cm程度以上の降灰がある全域で、降雨により洪水が激化すると予想される。火山灰の厚さがさらに少ない場合の影響は不明であるが、雨水の地下浸透を阻害する厚さで火山灰が降る地域では、洪水も激化するはずである。

洪水が発生すると、河川周辺の道路は氾濫土砂で埋没し、通常の走行は困難と考えられる。この状態が、洪水の度に繰り返される可能性が高い。河川に堆積した土砂を除去しないと、最悪の場合には、図5-8のピナツボ火山噴火後と同様な街や道路が泥流に飲み込まれる事態も予想される。ただし、堆積した降下火砕物の量と河川の流量や降雨強度が関係すると考えられ、噴火後ただちに平野

表5-3 大正3年8月までの垂水村における土石流・洪水被害発生状況
引用：下川1991 & 垂水村郷土誌 付属第六 桜島爆発概要 1915年

発生 (1914年)	被害				降雨強度 日雨量 (mm)	出典
	死者・行方不明	全半壊流出家屋	床上浸水	橋梁流出		
2月8日	0	3	107 (床上&床下)	1	32.9 (垂水村)	下川1991
2月15日	1	6	60	1	18.9 (鹿児島市)	垂水村郷土誌
2月25日	0	2	105 (浸水)	1	-	下川1991
3月1日	0	0	0	-	-	下川1991
3月6日	1	30	166	10	42.4 (垂水村)	垂水村郷土誌
3月8・9日	(少し大雨がある毎に洪水を起こし、砂石を押し流し来たり。)				-	下川1991
8月22~25日	0	1	51	-	13~109*1	垂水村郷土誌

*1 22日13.1 mm 23日5.8 mm 24日48.4 mm 25日109.1 mm (鹿児島市)

部の市街地まで火山灰を多量含む泥流が堆積する訳ではない。河川の氾濫までは、数カ月から数年の期間が必要である。

(3) 降下火砕物の移動

大正噴火後には、斜面に堆積した軽石と火山灰の大部分が、数年以内に流出し、その後、数十年以上かけて、それらは少しずつ移動する。特に噴火した年には、溪流から多くの軽石や火山灰が土石や樹木を伴って流出し、溪流と交差する道路はその都度頻繁に通行不能になると考えられる。例えば、図5-9に矢印で示した溪流地点の道路では、降雨後に流出する土砂が多く、降雨の度に通行止めになると予想される。道路の側溝は、土砂で閉塞し、暗渠も閉塞し、溪流を流れる雨水と土砂が路面を流れる事態も予想される。路面を流れる雨水は、道路脇の斜面に流れ出し、新たな斜面災害発生因子にもなり得る。



図5-8 ピナツボ火山の噴火後に泥流に埋まった Bacolor の街⁹⁾



図5-9 溪流からの軽石流出箇所

5.2.3 停電による交通麻痺拡大

桜島大正噴火では、マグニチュード7.1の大地震が噴火当日の18時29分に発生した。大地震があると停電が発生することは広く知られている。大正噴火と同程度の規模の噴火があると、現代社会では次の事態も起きると考えられる。

- 1) 噴煙が向かった地域では、停電の復旧作業が困難である。それは、大正噴火を参考にすると、軽石や砂や火山灰が盛んに降り続き少なくとも5日間程度は車両走行が厳しい視程であり、復旧車両が送電鉄塔までたどり着けない可能性が高い。たとえ送電鉄塔にたどり着けたとしても、砂や火山灰が降る環境で、停電復旧作業を行うことは現時点の技術では難しいと推定される。
- 2) 停電の復旧に日数を要するため、コンセントから電源を必要とする電話機、携帯電話などが不通となる。それは、建物内の配線から電力を得ることが出来ない点と、それに代わる自家発電設備などが3日間程度で消耗し、追加燃料の供給も難しいためである。このため、バッテリーや自家発電設備を備えた携帯電話基地局も機能が停止すると考えられる。
- 3) 通常は災害時に到着可能な、携帯電話の移動中継基地局は現地に到着できず、停電も復旧しないために、携帯電話回線は長期間にわたって不通になると考えられる。

このような理由で、電話やインターネットなどの情報通信手段を喪失すると、道路啓開や復旧の指揮情報系統を喪失し、作業は、各作業所の判断による非効率な作業に依存するしかない。このた

めに停電も長期間の道路麻痺の要因となる。

この他に、停電により信号機が作動しないことや、ガソリンスタンドのポンプが一部の施設を除くと、人力稼働にならざるを得ず、ガソリンの自動車への供給を通常通り行うことが困難になることなども交通麻痺の要因である。

桜島大正噴火の火山灰が杉の枝や葉に付着した写真を図5-10に示す。桜島大正噴火の火山灰の粒径は、現在のブルカノ式噴火の火山灰の粒径より、1割程度細粒であったことが報告されており¹⁰⁾(下川・地頭蘭, 1991) 図5-11に引用した。この図は0.25 mm 以下の粒径含有率と中央粒径の関係を示したもので、大正噴火時の資料は金井(1920)の実測値である。実測された大正噴火の火山灰は、



図5-10 杉の枝にこびりついた火山灰

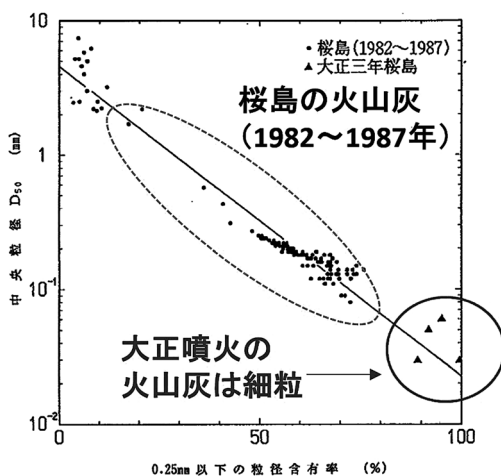


図5-11 細粒であった大正噴火の火山灰

0.25 mm 以下の含有率が90%を超えるので、噴火の勢いが収まり軽石降下が終了し、連続噴火の段階で堆積した火山灰と推定される。

大正噴火の火山灰は、桜島のブルカノ式噴火の火山灰とは性質が異なるものであった。鹿児島湾北部の国分方面に降った火山灰は、「雨にたたかれてセメント漆喰のようである¹¹⁾」と表現され、こびり付いて固まるため、屋根に積もった火山灰をスコップや金火箸または鍬などで除去している。送電線の碍子などに付着した場合は、こびり付いた火山灰の除去が容易ではないと推定される。

5.2.4 放置車両による交通麻痺拡大

桜島の大正噴火が始まると、鹿児島市民7万人は伊集院方面に避難し、鹿児島市は空っぽの状態となった。当時の鹿児島市は、現在の市の中心部の狭い範囲であるが、この避難行動は、鹿児島市周辺の村々に留まらず、錦江湾に面した垂水、牛根、福山、敷根、加治木、重富でも起きた。この時の状況について鹿児島県がまとめた櫻島大正噴火誌(1927)は、「市民は、対岸の火災を見るが如く、或いは海岸に駆け出であるいは城山に走せ登りなどしてこの壮絶なる光景を見ていたが、僅かの間に噴煙は益々強大となり岩石飛び、爆発音が盛んに起こるに至り、次第に危惧の念を起し、何時如何なる危険災害の及ばんも計り難しとて憂慮したる折り、流言飛語盛んに起こり…(一部意識)」と記載されている。流言飛語が伝わる以前に、住民は、噴火の危険が鹿児島市側にも及ぶことを危惧していたことが解る。

噴火した日の夜には、避難活動が活発化しているが、その時の心情が噴火経験者の作文として残っている¹²⁾。爆発当時鹿児島市堀江町に住んでいた中村才次は、大地震が起きる前の段階で「噴煙の様相は、物凄なものとなった。むくむくと昇っていく噴煙の中、巨竜のごとき火柱、真っ赤な溶岩を噴き上げると、落ちる溶岩と噴き上がる溶岩とが、ぶつかりあって火柱を散らす。稲妻と雷鳴の入りまじったなかでの、世紀のショーをば、小川の岸より恐怖心をおさえながら眺めた。これ

で、さくら島はなくなるという噂が流れ誰もがそれを信じたものです。」と作文に書いている。桜島から30 km も離れた金峰町太田小学校の生徒であった東朝江は、噴火した日の夜に役場からの使いだと述べる村の青年たちから「ここから六里先まで避難せよ。でないと危険だから。」と伝えられ、避難の議論が始まっている。

大噴火による鹿児島市街地の安全性は、桜島からの隔離距離と真冬の強い偏西風により結果的には確保されていた。それでも、鹿児島市民が避難行動を起こした最大の理由として津波が発生したとのデマ、有害な火山ガスが襲来するとのデマ、などが広く指摘されているが、その視点は修正する必要があると考えられる。当時の人々が避難した最大の理由は、想像を超える噴火の凄まじさに身の危険を感じ避難行動を起こしたものと考えられるからである。

図5-12は、大正噴火が始まって30分後の光景である。現在のブルカノ式噴火に比較すると桁違いに大きい噴煙である。この噴煙の傘は、鹿児島中

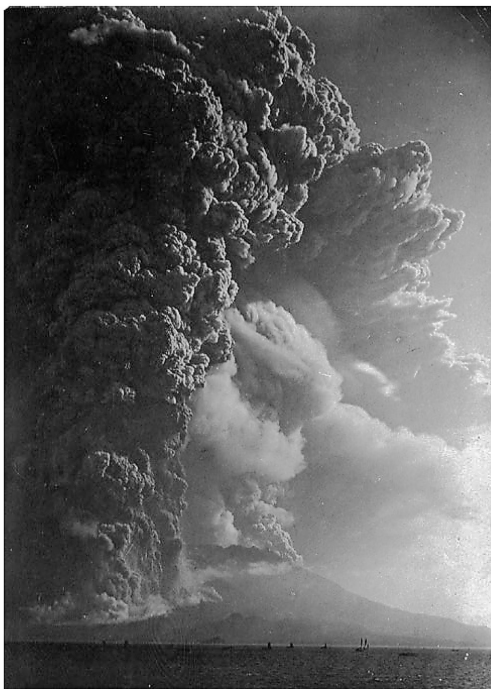


図5-12 大正噴火 1914年1月12日10時30分

央駅付近から見た場合、水平方向の視角で90度もあったと推定され、傘の下の噴煙柱も、当時の人々が見たことも無い巨大さであったはずである。同時に、頻発する地震、百発の砲弾が同時に破裂したかのような火山雷の轟音¹³⁾、火山から放出される赤い噴石など、未知の現象を見て恐怖を感じ、ごく自然に避難行動を起こしたと考えられる。人々の経験や知識で判断できない危険な状況が察知された時に、安全な場所に取りあえず避難しようと考えすることは、ごく自然な避難行動であろう。デマと言われる内容も、当時の人々には実際に起きる可能性があるかも知れないと考えられた危険情報の一つであったであろう。

それでは、100年以上経過し科学と情報網が格段と進歩した現在、同じ規模の大噴火が起きた場合はどうであろうか？火山大噴火の地震・轟音・噴石・噴煙など、繰り返し起きる強烈な現象に、現代の人々も100年前と同じように不安になり、ごく自然に避難行動を取る欲求が高まると推定される。

特に大正当時と異なるのは、ソーシャル・ネットワークワーキング・サービス (SNS) の影響である。住民が不安にかられている状態で、桜島火山の山体崩壊による津波発生、鹿児島市街地まで届く火砕流発生の危険性などが善意の危険情報として発信される可能性は高く、住民はまさかそんなことは起きないだろうと考えている人でも、予測困難な万が一の事態から自分の命を守るためには、噴火後でも避難を決意する住民が多数にのぼると考えられる。

仮に鹿児島市街地に噴煙の傘から軽石が降下する場合でも、初期の段階ではまだ、降下火砕物が降る前の状態なので車で避難は可能である。ところが、その避難車両はやがて渋滞に巻き込まれ、走行困難となり、路上の埋没車両となる。この状態は、図5-13に示したように放置車両に道路が占拠された状態であり、道路を救援車両や復旧車両が通行することは困難である。車両を埋積している軽石は雪よりも除去が難しい。この事態が発生すると、道路復旧を決定的に遅らせ、道路復旧の遅延が、インフラ全体や医療・産業・住民生活の

回復をも遅らせる事態となる。

5.3 交通麻痺対策

桜島が大噴火した際に交通麻痺を起こした道路を復旧する手法の検討は、まだ手探りの状態である。特に、都市部である鹿児島市街地に30~50 cm以上の厚さで降下火砕物が堆積した場合は、短期間で住民生活に支障が無い程度まで道路を回復することは難しい状況である。このような中で、現状で考えられる交通麻痺の回復方法を以下に考察する。

5.3.1 道路啓開

道路啓開とは、一般的には、大規模災害発生時に被災地で緊急車両や救援車両が通行可能となるように最小限の道幅で道路上の瓦礫除去を行い、救援ルートを確認する作業のことである。地震や津波災害が起きた際の道路啓開手法はすでに確立

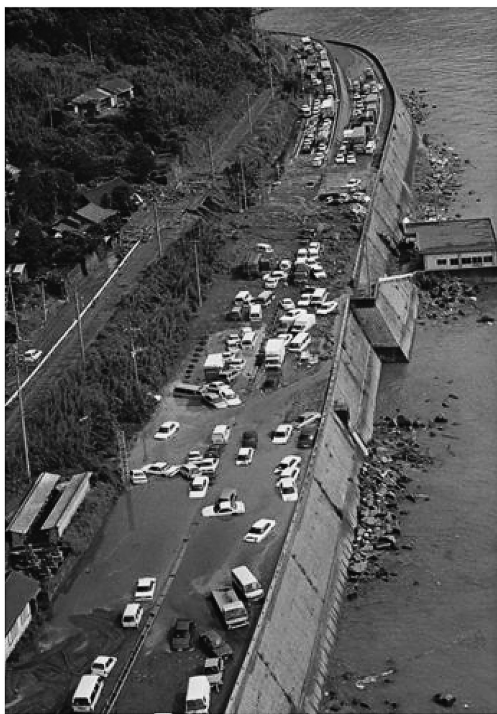


図5-13 平成5年8月の鹿児島豪雨後の国道10号 竜ヶ水の状況 車両撤去には日数を必要とした。

している。一方、桜島のような大規模噴火災害が発生した場合の道路啓開手法は確立していない。近代社会で未経験の分野であり、次の点が早期道路啓開の支障になると考えられる。

- 1) 1時間当たり数1000 g/m²を超える多量の降下火砕物が降る間は、昼間でも闇夜のように暗く、車両のヘッドライトを点灯しても、視程が数mしかないと推定されるため、道路啓開作業の実施が困難である。困難な日数は、安定した偏西風がある冬場の場合は、5日間程度以上の長時間になると予想される。
- 2) 鹿児島市は人口が多く、かつ周辺地域への物流拠点となっているため、最低限必要とされる車線数が多い。特に鹿児島港に隣接した幹線道路では、道路啓開の段階でも複数車線を確保する必要がある。鹿児島市では、単に降下火砕物を道路横に移動するのみでは必要な車線数を確保できない区間も多いため、ダンプカーなどにより軽石を道路外に搬出する必要もあるが、降下火砕物が堆積した道路をダンプカーが走行できるか不明である。
- 3) 鹿児島市の場合は、道路啓開を必要とする路線が非常に多い。市内主要部の各住宅から少なくとも1 km以内の距離にある主な道路を啓開するためには、概ね250 km以上の路線を啓開する必要がある。道路啓開に必要な多数の重機や人員を確保できるか課題がある。

このように、桜島の大規模噴火後の道路啓開には多くの課題があり、一般的な『72時間の壁』を意識して実施される道路啓開とは随分事情が異なる。桜島が大噴火した場合、72時間以内での道路啓開の完了は、現状の技術では困難と見込まれる。

一方、AI技術の進歩や位置情報確認システムおよび5Gの通信技術の進歩により、多量の火砕物が降下し、視程が得られない状況でも、道路啓開作業を実施することが可能になると考えられる。図5-14に示したモーターグレーダーを、無人で噴火の最中に同じ路線で繰り返し稼働できれば、噴火最中と沈静化した時点で道路は走行可能である。このため、緊急車両もAIを搭載した自動運転車両であれば、視程が無い状況でも位置情



図5-14 モーターグレーダー（国土交通省）

報を頼りに走行できる可能性がある。その実現はICT建設機械の研究などにより、近い将来実用レベルに達すると見込まれる。

5.3.2 道路復旧

道路復旧の主な課題は次の点である。

- 1) 膨大な量の軽石の処分場所の確保が必要である。道路復旧の段階では、住宅敷地などの軽石除去要請も高まると見込まれ、その量は、鹿児島市街地で、およそ5000万 m^3 にもなると予想される。陸域での処分場所確保は困難とみられ、一方、海域の処分にも法的な障壁がある。
- 2) 軽石の処分量を仮に5000万 m^3 とすると、多量の重機やダンプカーを投入しても、道路が復旧するまで数カ月以上の期間が必要になる。住民や地域企業が期待する復旧期間と著しく乖離すると考えられ、復旧日数を短縮できる方法の検討が必要である。
- 3) 土石流や洪水が繰り返し発生するので、噴火後の半年程度は相当な頻度で、道路は不通となり、降雨の都度、繰り返し復旧が必要になろう。特に、カルデラ壁の麓にある国道220号の完全復旧を早期に行うことは難しい。大正噴火の時には、道路復旧を行ったが繰り返す土石流のため、その年は道路復旧を断念し、地域は放棄地とされている。現状の防災施設の状況では、多

量の軽石が降下した場合、国道220号は、降雨の度に繰り返し寸断されるであろう。

5.3.3 土石流対策

桜島周辺地域(薩摩半島・大隅半島・湾奥部地域)の砂防施設は、桜島が大噴火した後に起きる大土石流を考慮して建設されている訳では無い。一般的な設計手法が採用され、100年に1回程度の大雨が降った場合の安全を考慮している。ところが、多量の降下火砕物が堆積した後は、1年に何回もある通常の降雨で、100年に1回あるか無いかという大土石流が繰り返し発生する。

全国の活火山で17世紀以降に2回以上かつ3億 m^3 以上の噴出物があった火山は、北海道駒ヶ岳、有珠山、樽前山、桜島の4火山に限られる¹⁴⁾。これに、1926年に融雪型火山泥流が発生し、死者行方不明者144名を出した北海道十勝岳を加えると5火山が、最も噴火被害が大きく危険と考えられる火山である。

桜島以外の4火山では、大噴火後に100年に1回程度の大雨が降った場合に起きる土石流や、さらに大規模な融雪型泥流などに対応する砂防施設の整備が進んでいる。例えば、樽前山の中期整備目標は、降雨型火山泥流の土砂量297万 m^3 に100%対応できる計画であり、融雪型火山泥流の土砂量1529万 m^3 に対応するための整備率は、中期整備目標達成時点で48%とされている。

一方、桜島の場合は、桜島島内でのみ昭和噴火規模を想定した土石流対策が進められている状況である。噴火後に大土石流が繰り返し発生する可能性が高い大隅半島でも、大噴火後の大雨を考慮した対策は事実上実施されていない。

砂防対策や洪水対策は道路機能を回復するためにも重要であるが、砂防施設を今後どのように整備するか、それとも道路機能の回復を噴火直後の年は諦めるか、繰り返し起きる大噴火を考慮した土地利用をどのようにするかなど検討課題は多い。

5.3.4 停電対策

停電対策は、道路の交通麻痺の復旧とは一見無

関係に思われるが、高度に情報網が発達した今日では、停電によりパソコンを用いた情報処理と携帯電話やインターネットなどの情報通信手段の喪失で、交通麻痺の回復作業も停滞する。その対策は、電力会社が検討する内容であるが、以下の解決手段などについても検討する必要がある。

碓子に付着した火山灰の除去作業は、大噴火後の火山灰の性質が新燃岳などの事例と異なるので、従来の手法では実施が非常に難しい可能性が考えられる。新燃岳の場合は、空気を噴出して碓子の火山灰を除去することが可能であったが、セメント質と言われる火山灰や漆喰にたとえられる粘着性がある火山灰の除去は空気の噴出では難しいと考えられる。このため、たとえば碓子の外側に、カバーを設置し、碓子に火山灰が付着することを阻止するなどの処置検討も必要であると考えられる。

また、変電所では、遮断機・断路器・接地装置などを金属容器内に高絶縁性能のガスで密閉・収納しているガス絶縁開閉装置 (GIS) などの設置が必要であろう。GIS 化は、南九州変電所や新鹿児島変電所など桜島に近い重要な変電所でも進んでいない。火山灰は少なくとも南九州全域に多量降る可能性がある。そのため対策が必要な地域は広範囲である。

5.3.5 放置車両対策

大噴火時の放置車両が、道路啓開に大きな障害となることを前述したが、平時の現段階で、放置車両を発生させないため住民の深い理解を得る必要がある。その検討は、交通規制の対象とする路線の検討、噴火前から始まる通行制限時間の設定、監視方法などいずれも住民の移動を制限するので高度な検討課題を多数含む。同時に、噴火前の段階では籠城を考えていたが、噴火後に避難することに方針を変える人々に対し、徒歩避難や指定車両による避難手段も検討する必要がある。

4. おわりに

火山の大規模な噴火は世界各地で起きているが、電気機器や情報通信機器が高度に発達した現

代社会に30 cm を超える降下火砕物が広範囲に堆積した事例は無い。桜島が大噴火した大正時代には、電気はランプの代わりに使用される程度で、停電が起きても重大な事態は発生しなかった。ところが、現代社会では、長期の停電は、水道などのインフラの稼働を停止させ、病院の機器を停止させ、停電という一見災害ではない事態が、大規模噴火災害では、自然災害以上の死者をもたらす可能性さえある。

また、本論で指摘していない事態は他にも多いと考えられる。たとえば、京都大学桜島火山観測所の井口教授は「桜島から流れ出した溶岩は、層厚が厚い部分では1年以上も流動し、桜島島内の国道は通行出来ない事態が考えられる。」と指摘された。このように、未経験の災害に対し、まだ多くの課題が山積しているため、一刻も早く多角的視点から対策を検討し実施する必要があるであろう。

本論の作成にあたり、鹿児島大学地震火山地域防災センターの桜島大正噴火関係文献デジタルアーカイブの多くの貴重な資料を活用させて頂いた。アーカイブの資料収集をされた関係者とセンター運営者に感謝申し上げる。また、気象研究所や前述の地域防災センターで大噴火時の検討に当たった交通への影響ワーキンググループの関係者にも深く感謝致す次第である。

引用文献

- 1) 奥野 充：カルデラと後カルデラ火山の活動史 (第8回西日本火山活動研究会 講演要旨), pp.10-11, 2013.
- 2) 金井真澄：大正参年度に於ける櫻島火山の噴火状況並に噴出物及作物栽培に關する調査試験報文, 鹿児島高等農林学校「櫻島火山の大正三年に於ける噴火状況並噴出物に關する調査報文」, pp.1-107, 同付図1葉, 1920.
- 3) 勝井義雄：1977年有珠山噴火の地質学的研究, 農業土木学会誌, Vol.46, No.1, pp.7-12, 1978.
- 4) 垂水市教育委員会：垂水市史料集 (十八) 垂水と桜島噴火, pp.41-42, 2006.
- 5) 大規模噴火時の広域降灰対策検討ワーキンググループ, 降灰による影響想定の方考え方 (交通分野) (案), <http://www.bousai.go.jp/kazan/>

- kouikikouhaiworking/pdf/2019322siryo1-1.pdf, 2016年3月22日
- 6) Blake, D., Wilson, T. and Stewart, C.: Visibility in airborne volcanic ash: considerations for surface transportation using a laboratory-based method, *Natural Hazards*, Vol. 92, pp. 381-413, 2018.
 - 7) NHK 取材班: 有珠山大噴火, 日本放送出版協会, p.50, 2003
 - 8) 垂水市教育委員会: 垂水市史料集 (八) 牛根編, p.67, 1989.
 - 9) Newhall, C. G. and Punongbayan, R. S.: *Fire and Mud: Eruptions and Lahars of Mount Pinatubo*, Philippines, p.53, 1996.
 - 10) 下川悦郎・地頭菌隆: 大正3年噴火が火山周辺域の侵食災害に及ぼした影響, 自然災害科学研究西部地区会報, 12, p.4, 991.
 - 11) 木村禎藏: 桜島大爆發實記, 九州日日新聞社印刷部, p.54, 1914.
 - 12) 鹿児島西高令者学級: 大正三年桜島大爆發思い出集, pp.28-29, pp.17-18, p.54, 1972.
 - 13) 鹿児島県警本部: 鹿児島県警察史, p.845, 1972.
 - 14) 佐藤一幸: 火山噴火と地震にともなう土砂災害に備えて, *sabo*, vol.103, p.3, 図-3, 2010.

6. 大規模火山噴火による航空輸送への影響: 桜島噴火の場合

竹林幹雄⁷

6.1 火山災害と航空

航空輸送と火山災害は、商用航空輸送が開始された1940年代から既に問題としては認識されていたと考えられる。小野寺ら(1997)によれば、火山噴火による航空機の最初の事故として1944年のイタリア・Vesuvius 火山噴火の例が報告されている¹⁾。商用飛行で最初に大きく注目されたのは1989年の米国アラスカ州にある Redoubt 火山の噴火であろう。これは噴煙にまともに航空機が入ってしまったというものであった。この例は米国における最初の大規模火山被害であったと同時に、当時長距離輸送の標準機材であった Boeing 747の全てのジェットエンジン(4基搭載)が停止

するという極めて深刻な事故となった。この事故以降、火山活動に関して航空機の安全な運航を検討するよう、国際的にも研究がなされるようになってきた²⁾。国際機関である ICAO でも安全基準の策定はなされてきていたが、その規定を根底から覆したのがアイスランド Eyjafjallajökull 火山の噴火であった。

2010年4月～5月に発生したアイスランド Eyjafjallajökull 火山の噴火は、欧州一帯に数日間に及ぶ航空輸送の完全封鎖をもたらした。またその完全復旧にも数週間を要した。この影響は欧州に留まらず、世界中に波及したことが ICAO によって発表されている³⁾。全世界の GDP はこの噴火の影響により50億ドル失われ、エアラインだけで17億ドルの損失を被っていたことが報告されている。このように、大規模噴火による降灰の影響は、局地的なものに留まらず、相当広範囲に及ぶものといえる。

Eyjafjallajökull 火山の噴火は、従来経験していた局所的な航空輸送の被害(機材損傷, フライトのキャンセル・遅延)のみならず、広域的な被害をもたらしたという新たな事例となった。これは、かつてとは異なり、現在航空輸送ネットワークは世界的な規制緩和と競争の拡大、需要の増大により、輸送ネットワークそのものが拡大し続けていることが大きな要因といえる。Eyjafjallajökull 火山のような大規模噴火の場合、フライトへの影響は欧州に留まらず、ほぼ世界中に波及する。Eyjafjallajökull 火山噴火の詳細は既に多くの研究者・実務者が言及しているため、ここでは詳細は省くが、ICAO による安全規定が大幅に変更されたことに示されるように、今日の航空輸送を考える上で、大規模火山噴火は局所的なリスクではなくなっていると認識されている。

しかし、ICAO の安全規定においては、詳細は各国・地域に委ねられている。すなわち、対処の具体的手順は国・地域で策定する必要がある。

以上のような状況は、わが国においても発生する可能性がある。大規模噴火の可能性が極めて高いと考えられるのが、桜島を含む始良カルデラである。特にその中心にある桜島は80年～100年

⁷ 神戸大学大学院海事科学研究科

周期で大規模噴火を繰り返しており、2010年代に入ってから最後の大噴火である『大正の大噴火』(1914年)より100年が経過しているため、大正の大噴火、あるいはそれを超える『安永の大噴火』(1779年)クラスの大噴火が発生するリスクが高まっていると指摘されている⁴⁾。

一方、このような大規模噴火による影響に関しては、首都圏への影響から富士山・阿蘇山の噴火に関わるものなどが検討されているにとどまっている。欧州の事例から明らかなように、大規模噴火の影響は風向きにも左右されるものの、極めて広範囲に及ぶ可能性がある。特に西風が多い環境下では西日本での大規模噴火の影響は首都圏にまで及ぶことは十分に現実的なリスクとして存在している。大規模火山噴火に関して具体的な影響の大きさを計量化することは、今後の減災対策を検討する上で必要不可欠な情報といえよう。

2010年の Eyjafjallajökull 火山噴火以降、航空輸送の脆弱性、特にネットワークへの影響を考察した研究はいくつかなされてきた。中でも Voltes-Dorta ら (2017) は欧州の主要25空港に関して空港の閉鎖が旅客のリスケジュールなどへの影響をシミュレーションにより考察し、ネットワークの脆弱性を評価している⁵⁾。また、Reichardt ら (2018) は Eyjafjallajökull 火山や同じくアイスランドにある Öraefajökull 火山の噴火など、過去に経験した巨大噴火のシナリオに関して、ワークショップでの議論を通じての対処に関する知見を整理している⁶⁾。Reichardt ら (2019) は引き続き、欧州を対象に Eyjafjallajökull 火山をはじめとした複数のシナリオを航空輸送の専門家に示し、専門家による影響評価から欧州での航空輸送における火山噴火に対する脆弱性を指摘している⁷⁾。しかし、わが国においては火山噴火の航空輸送に対する研究は先に挙げた澤田 (1991) や小野寺ら (1997) など限られた事例など火山研究者からのアプローチが大半であり、航空ネットワークを扱う実務者、特に工学系の研究者がこういったテーマを取り上げることは極めて希である。実ネットワークへの影響を議論することは実務上極めて重要であり、その第一歩として、被害の程度を数値的に予測するの

は喫緊の課題といえる。

本稿では、以上のような問題意識に則り、航空管制の実データを利用して航空ネットワークへの影響をシミュレーションし、影響の規模を概算推定することを目的とする。

6.2 大規模火山噴火の航空輸送への影響予測

6.2.1 概要

わが国における火山災害は、火山を有する各地域で検討されてきたが、大規模な噴火に関するものとしては富士山・浅間山などの首都圏に直接影響を及ぼすと考えられる火山噴火⁸⁾が主として検討されてきたといえる。

しかし、こと航空輸送の点から考えると、首都圏に近接する火山のみが大きなりスクとは限らないことがわかる。

図6-1はわが国周辺の主要航空路を示したものである⁹⁾。ここでは重要度の高い路線3つを示すにとどめる。この中で、太線で示しているA-1はアジア太平洋ルートでトラフィックが非常に多い路線であることで知られている。また、それとほぼ並行に走るA-590も同様である。東京以西で強い西風が吹く場合、A-1、A-590といった航空路上に降灰範囲が及ぶことはもちろん、大規模噴火の場合は、降灰が首都圏にまで及ぶことは十分に考えられる。特に本稿で考察対象としている桜島の大噴火では、過去の例でも関東平野にまでかなりの量の降灰があったことは、いくつかの研究で報告されている⁸⁾。このような大規模噴火は、航空輸送の商用運航がわが国で開始されて以降、一度も経験したことがない。幸いにも、航空輸送における交通量を示すトラフィックデータは、ある程度詳細に政府から公開されているため、この実測データに基づく議論は、被害予測には有効と判断される。

ここでは桜島大噴火の航空路に対する降灰の影響を実際のトラフィックデータを用いて予測する。

⁸⁾ 例えば内閣府が設置した富士山火山防災協議会がそれにあたる。

⁹⁾ ICAO が発行する詳細な航空路情報は AIS Japan (<https://aisjapan.mlit.go.jp>) において公開されている。

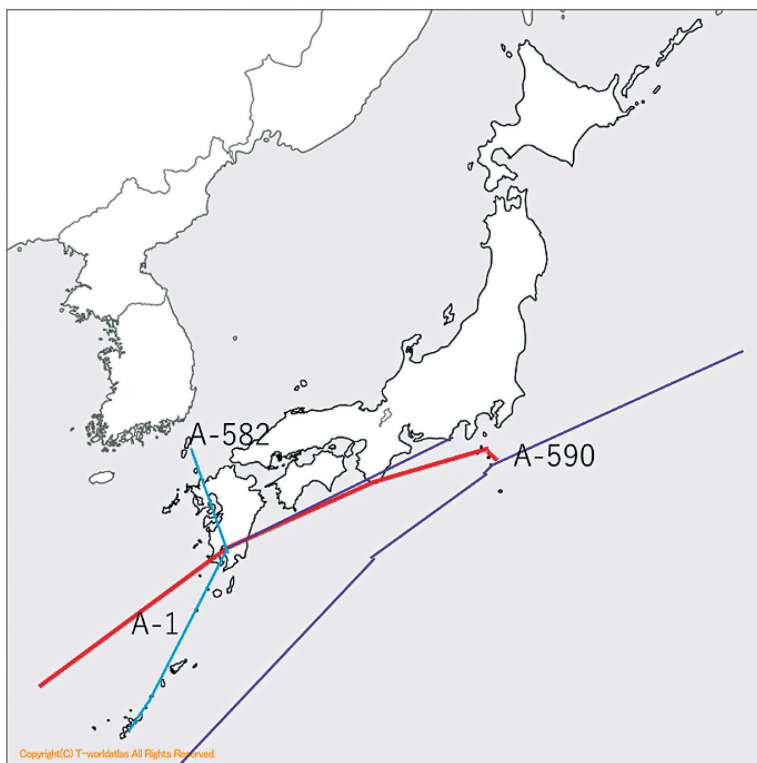


図6-1 主要航空路

6.2.2 設定

本稿では、数値計算による予測を行うに当たり、以下のような設定で計算を行った。

- (1) 安永噴火の降灰範囲⁸⁾を参考とし、成田空港を含む茨城県北部まで降灰が到達するシナリオを採用した。
- (2) 噴煙は2万メートルまで達し、国際航路に有意な影響を与えるレベルとする。
- (3) (火山灰の拡散速度は120 km/hとし、拡散幅は簡単のため100 km (一定)とする。
- (4) 噴火は午前10時に発生し、14時間持続するものとする。

拡散速度に関しては、早ければ拡散幅は狭く、より遠くに到達すると考えられるが、今回は安永噴火の状況⁸⁾を参考としているため、平均速度120 km/h、拡散幅100 kmの矩形で分散するものとし、拡散方位は60の方向(D-60とする)¹⁰⁾で±5度の角度で拡散すると仮定した¹¹⁾。(図6-2)噴火

開始時刻は安永噴火では14時頃発生とされている⁸⁾が、航空輸送における混雑時間帯を複数含む方が状況としてより深刻であることから開始時刻を10時と設定した。なお、以降の数値計算では降灰範囲にある航空路および空港は全て飛行不可能な濃度になっているものと仮定している。また、図から明らかなように、拡散範囲が考察対象全域となった場合、降灰により首都圏のNRT/HND、中部圏のNGO、関西のKIX/ITM/UKBといった空港は全て使用できない状態となる時間帯があることがわかる。これにより、避航先の空港は日本海側と東北、北海道にほぼ限定されることになる。

次に使用したデータであるが、国土交通省航空局管制課がオープンデータとして供給しているCARATS OPEN DATAの2016年1月～9月(2ヶ

¹⁰⁾ 真北を0として真東は90になる。

¹¹⁾ 後述のように結果的にはD-55-65までの範囲を降灰範囲としているが、過去に生じた降灰パターンを考慮して、扱いやすいように簡略化して表現した。

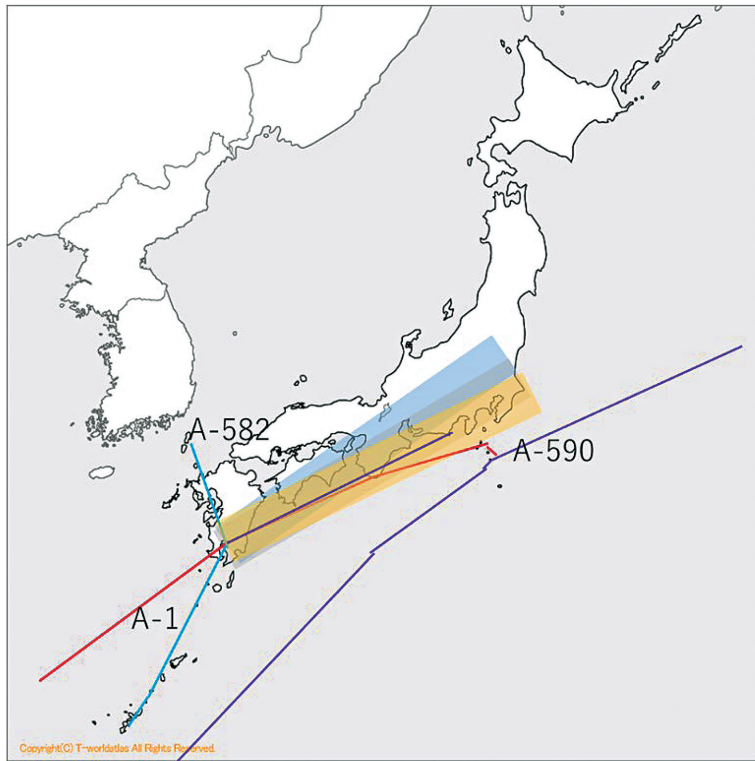


図6-2 数値計算の概要
 注：図中の番号 (A-1, A-590) は主要な航空路の識別番号である。

月毎)の第2週の最初の2日のデータを使用した。例えば、3月期であれば3月11日および12日のわが国管制下のフライトの全飛行記録をデータとして用いている。なお、データは0.1秒ごとの記録である。

6.2.3 降灰の影響規模に関する考察

6.2.2に示した内容の数値計算結果を表6-1に示す。これは降灰により影響を被るフライトの総数の比較を2ヶ月ごとに行った結果を示す。なお、ここではD55-65までの範囲がすべて降灰範囲となる場合についてのみ取り上げることとする。

表6-1から、ほぼ2000フライト前後がキャンセル・迂回を余儀なくされるという結果を得た。これは日本での管制対象となるフライトが1日約4000フライト程度であることから、影響は実にその半数に及ぶ、ということになる。

表6-1 影響を受けるフライト数の変遷 (2016. 1-9月期 第2週)

	Jan.	Mar.	May	Jul.	Sep.
No. Flights	1,973	2,074	2,183	2,033	2,035
Total	4,139	4,306	4,093	4,177	4,315

注1：No. Flights はキャンセル・迂回対象となったフライト数を示す。

注2：Total は CARATS で当該日における日単位フライト総数を示す。

また図6-2より、首都圏と西日本の空港とを結ぶ航空路線は分断が著しい形になるため、これらの区間を飛行するフライトはすべて迂回、ないしはキャンセル対象となるが、加えて韓国、中国と東部(北京)・北部(東北3省)向けのフライト、さらにはシベリア上空を飛行する欧州路線の一部は降灰区間を迂回する必要がある。

一方、季節ごとの違いについては、季節運航の有無など多少の変動はあるとはいえ、有意な差は

認められない。本稿で考察対象としている噴火時間および降灰拡散方向に拡散が生じた場合、航空路への影響は年間を通じて2000フライト前後に及ぶものといえる。2017年の関西空港の総利用者数（航空利用）と発着回数を参考に、その影響を勘案すると、1便あたり平均150人であるため、2000フライトであれば30万人に影響が出ることになる。これは2018年9月の関西空港の台風21号による被害が1日約8万人、2016年5月の羽田空港第3滑走路事故による一時封鎖による影響が1日約5万人と比較しても、その影響の大きさが理解できる。

次に、これらキャンセルの可能性のある航空機が航空輸送に与える影響について考えてみよう。影響の第1は無論キャンセルによる旅客への影響、さらには航空会社の運航損益が挙げられる。これは前述の通りであり、かつてないほどの規模になる。しかし、影響はそれにとどまらない。航空機は火山灰によって機体自体に損害が生じる。特に火山灰に含まれるガラス質がエンジン内に混入した場合、高温で溶解したガラス質がジェットエンジンの性能を著しく損ない、最悪の場合停止に陥る。この例は先に挙げた1989年のRedoubt火山の際のB-747全エンジン停止の事例に当たるものである。このような被害を未然に防ぐために、飛行中の航空機は行き先を変更して、降灰範囲外の空港に着陸・避難する必要がある。さらに、降灰範囲内に駐機中の全機材も、ハンガー（格納庫）に収容できるもの以外は全て離陸・移動する必要がある。今回の数値計算で示した例の場合、種子島以西のエリアを除く西日本～首都圏に至るほとんど全ての空港が降灰範囲内となる可能性があるため、避航可能範囲は北日本に限定される可能性が高い。今回のシミュレーション結果で得たフライト数すべてが独立の機材で運航されているわけではないので、これら全てが降灰影響の出ない空港へ避難する必要があるわけではない¹²が、例えばその1/5の規模で考えても400機の機材の避難を、北海道～北陸の空港で主として対応する必要がある。Cirium社の提供するオンラインデータベースFlightGlobal Dashboardによれば、

2019年時点で、JALはグループ企業も併せて¹³211機、ANAのそれは264機に上る。またLCCは各社合計が68機に達し、そのほとんどが降灰範囲の空港であるKIX、NRTをベースとしている。400機の避航は本邦キャリアがその機材の8割を何らかの形で移動させるという事態に相当することがわかる。北海道～北陸の空港で、ある程度の駐機能力がある空港としては、新千歳空港（スポット数：61）、仙台空港（同12）、新潟空港（同10）、小松空港（同8）、その他は4-6程度であり、スポット数だけでは200程度となる。先の例で400機を避航させるためには、スポット以外の例えば誘導路上なども利用して駐機せざるを得ない。避航の割り振りをできるだけ早く決定する必要がある、そのためには事前にどのようなルールで割り当てるのかを決め、かつ管制の中核であるATS（Air Traffic System）で周知する必要がある。

6.3 おわりに

本稿ではCARATSオープンデータを用いて、安永噴火クラスの大規模噴火が桜島で発生した場合の、航空輸送に与える影響を、数値計算を通じて検討した。その結果、日本管制下のフライトの半数に相当する約2000フライトにフライトキャンセル・迂回行動の必要が生じるだけでなく、降灰の影響を受けないように航空機そのものを影響範囲外に避航させるための空港の駐機容量を北海道～北陸の空港で確保する必要があるが、容量的にも十分ではなく、誘導路などで臨時のスポットを設定しなければならないことを示した。

ただし、本稿はあくまでもCARATSオープンデータで分析可能な範囲での検討にとどまる。これはCARATSオープンデータでは機体番号など、それぞれの機体の個別識別は不可能であるため、避航に関する詳細な検討、例えば各空港への配分などを検討することは厳密には不可能である。今

¹² 例えば、ロサンゼルスからNRTに向かっている機材が米国の管制エリア内で噴火の影響を知った場合、ロサンゼルスに引き返すということが考えられる。この場合、日本の空港での避航を考える必要はないものの、フライトのキャンセル、あるいは行き先変更は生じる。

¹³ LCC（Low cost carriers）は除く。

後は、CARATS オープンデータにおけるより詳細な情報公開がなされることで、避航方法などより現実的な問題解決法の検討が可能になると考えられる。

引用文献

- 1) 小野寺三郎・井口正人・石原和弘, 1997. 火山噴火による航空機災害の防止と軽減, 京都大学防災研究所年報, 40 B-1, 73-81.
- 2) 澤田可洋, 1991. 火山灰と航行の安全に関する第一回国際シンポジウム, 火山第36巻, 457-759.
- 3) The ICAO Journal, 2013. Heeding Eyjafjallajökull's lessons, The ICAO Journal, Vol. 68, No. 1.
- 4) Hickey, J., Gottsmann, J., Nakamichi, H., Iguchi, M., 2016. Thermomechanical controls on magma supply and volcanic deformation: application to Aira caldera, Japan. Scientific Reports, 6, 32691, doi:10.1038/srep32691.
- 5) Voltes-Dorta, A., Rodriguez-Deniz, H., Suau-Shanchez, P., 2017. Vulnerability of the European air transport network to major airport closures from the perspective of passenger delays: Ranking the most critical airports. Transportation Research A 96, 119-145.
- 6) Reichardt, U., Ulfarsson, G.F., Pétursdóttir, G., 2018. Volcanic ash and aviation: Recommendations to improve preparedness for extreme events, Transportation Research A 113, 101-113.
- 7) Reichardt, U., Ulfarsson, G.F., Pétursdóttir, G., 2018. Developing scenarios to explore impacts and weaknesses in aviation response exercises for volcanic ash eruptions in Europe, Journal of Air Transport Management, 79, 101684 (1-10).
- 8) 津久井雅志, 2011. 史料にもとづく桜島噴火1779年安永噴火の降灰分布, 火山, 第56号, 第2・3合併号, 89-94.

7. ジオパークと大規模噴火

福島大輔¹⁴

7.1 はじめに

大規模噴火に備える上で重要な対策の一つに防災教育がある。しかし、防災教育と一口に言っても、学校教育、社会教育、一般向けの講演会やセミナー、シンポジウム、防災関係者への教育など、対象やシチュエーションが様々な上、伝える内容についても、自然現象の理解、身を守る方法、避難後の生活など多岐にわたる。様々な防災教育が、様々な階層で、様々な対象に対し、各々で行われているが、それらを有機的に連携させることは意識されず、単発のイベントで終わっていることが多い。それぞれの防災教育の役割や意義が分類、整理され、系統的・有機的に連携できる環境が整えば、住民の防災リテラシーは向上するだろう。

本稿では、ジオパークにおける防災教育に絞って考察し、その役割や意義、他の防災教育との関係性や有機的な連携について検討する。

7.2 ジオパークとは

ジオパークとは、地質学や地球科学の見地から重要とされる地形・地質などを貴重な遺産と考え、保護と活用を図る「大地の公園」のことである。しかし、単に地形・地質を見せるだけの公園ではなく、それらとつながりのある自然、歴史、文化、産業など様々な要素も資源として捉えている。それゆえ、地形・地質的要素とそれ以外の要素（自然、歴史、文化、産業など）とのつながりのストーリーを発見し、伝えることが重視されている¹⁾。

桜島・錦江湾ジオパークのストーリーの例として、なぜ鹿児島で焼酎の文化が生まれたのかを紹介する。

『日本全国でお酒と言えば日本酒が主流であるが、その原料として重要なのが米である。しかし、鹿児島は大半がシラス台地で覆われており、米作りには適さない。また、日本酒をつくる際には、黄麹をつかって米を発酵させるが、その適正温度

¹⁴ NPO 法人桜島ミュージアム

は10度～12度前後である。そのため、温暖な気候である鹿児島では温度管理が難しく、日本酒づくりには適さない。そこで、水はけの良いシラス台地でも育つサツマイモを原料とし、温暖な気候でも発酵させられる白麴を使い、かつ蒸留することでアルコール濃度を高めて腐りにくくしたものが焼酎である。つまり、鹿児島の大地や気候の特性があったからこそ生まれたのが焼酎であり、まさに大地の恵みと言える。』

このように我々の身近な歴史・文化・産業などは、大地（ジオ）と自然（エコ）と歴史（ヒト）のつながりのストーリーがあり²⁾、それらのつながりを知ることで景色が何倍も面白く見えてくる（図7-1）。特に昔からその土地にある風習や文化、特産品、産業などは、身近な地質や自然とのつながりが強い。その関係性を知ることで住民は初めて興味を持ち、深い学びへの動機づけにもつながる。

7.3 ジオパークにおける防災教育

ジオパークで行われる防災教育には、直接的なものと同接的なものの2種類に大別される。

(1) 直接的な防災教育

直接的な防災教育とは、防災セミナーや特別授業など、防災に焦点を当てた教育活動である。多くの場合、これまでの防災教育と変わらないものをジオパーク事務局が担当しているだけか、防災関係機関が行うものをジオパークの名の元に連携

kanri/kazan/topcitykousou.html

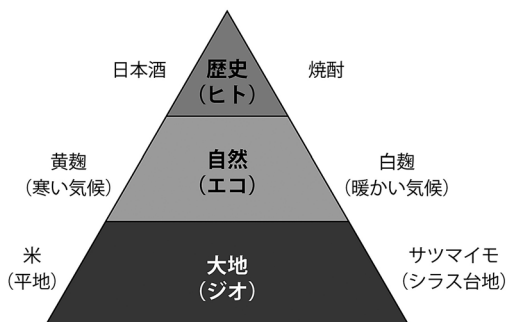


図7-1 ジオパークの基本コンセプトである大地と自然と人のつながり

しているだけのパターンが多い。単に防災のことを伝えるだけであれば、わざわざジオパークという仕組みを使う必要はなく、これまで通り防災関係機関や教育機関等が行えば良い。ジオパークとして直接的な防災教育を行う意義があるとすれば、自然災害が起こる地質学的な背景や、その結果としてそこに生まれている自然や歴史とも関連付け、ストーリー性を持たせて伝えることが重要である。

(2) 間接的な防災教育

間接的な防災教育とは、ジオツアーや講座、セミナーなど、防災とは直接的には関係ないテーマで行われる活動の中に、防災に関連する要素が盛り込まれているものである。たとえば、ジオツアーで桜島を案内する際には、目の前に見える山の形や山肌の様子から始め、次第にその背後に隠されたつながりのストーリーへと話を展開させている。もう少し具体的に紹介すると、以下のような解説の流れになる。

『桜島が横長でどっしりとした形に見えるのは、北岳と南岳という2つの火山体が並んでいるからであり、どちらの火山体が古いかは山肌を見ればわかる（図7-2）。古い火山体である北岳の方が、長い年月侵食されたことによって深い谷ができていくからだ。そして、侵食された土砂は土石流となって麓へ流れ、緩やかな斜面である扇状地を形成していく（図7-3）。そこには現在たくさんの畑や住宅があるが、土石流の被害に遭うことなく安心して暮らせているのは、砂防施設のおかげであ



図7-2 桜島の山肌の様子

る。しかし、砂防施設などなかった大昔、縄文時代には土石流の被害によって集落が被災していたことが貝塚の遺跡から分かっている。そんな災害を繰り返し受ける地域であるにも関わらず人々が住み続けてきたのには理由がある。それは、扇状地の地質は水はけが良く、果樹園に適しているからだ。桜島には桜島小みかんという特産品があり(図7-4)、昭和40年代には農家1軒あたりの農業収入が鹿児島県で1位だったこともある。このように、人々が暮らし、特産品や産業などが生まれる背景には、地形や地質、災害、遺跡、農業など、様々なつながりのストーリーがある。自分たちが暮らす大地がどうやってできたか知っておくことは、防災的にも活用する上でも重要である。』

このような解説をツアーの中で行うことで、参加者の多くは、「自分の住む地域はどうなんだろうか?」という新たな視点で地域について考えるようになる。つまり、この解説で重要だったこと

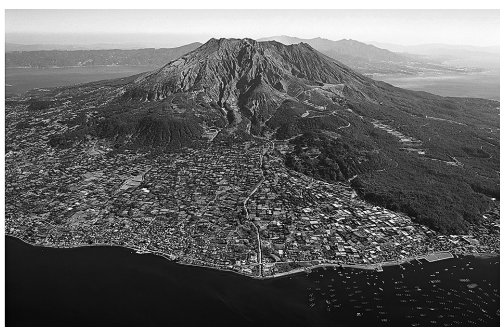


図7-3 桜島の北西部に広がる扇状地



図7-4 桜島の特産品である桜島小みかん

は、「扇状地では土石流被害に遭う可能性がある」という知識の提供ではなく、「当たり前前の景色の裏側にも理由があり、自分たちの暮らす大地がどうやってできたか知っておくことは重要」というメッセージである。

(3) 防災教育の入門編としての意義

ジオパークにおける防災教育の場合は、直接的であっても間接的であっても、大地と自然と人の間に深いつながりがあることに気づいてもらうことに重要な意味がある。

たとえば、環境教育の分野では、①気づき、②理解、③行動の3つのステップが重要と認識されており³⁾、これに沿った様々なプログラムが用意されている。

マーケティングの分野では、人が行動を決定する順序としてAIDMAやAISASという考え方が定着している。AIDMAとは、Attention(注意)→Interest(関心)→Desire(欲求)→Memory(記憶)→Action(行動)。AISASとは、Attention(注意)→Interest(関心)→Search(検索)→Action(行動)→Share(共有)の頭文字を取ったものである。

環境教育の場合もマーケティングの場合も、人にある種の行動を促す場合の最初のステップとして「気づいてもらうこと」を何よりも重視していることがわかる。防災教育も同じように「気づき」を出発点に、「行動」をゴールとした流れをつくることが重要であろう。

ジオパークにおける防災教育は、身近な話題や目の前の景色から、大地と自然と人のつながりに「気づく」ことができ、防災教育の入門編としての意義がある。

7.4 ジオパークと他の防災教育との連携

防災教育における「気づき」の場としてジオパークの活動を活用することはできるが、その先の「行動」へつなげるための流れは十分に整っていない。これは、おそらく防災関係機関が行う教育活動が、「行動」に偏っていて、その間をつなぐ「理解」の部分が抜け落ちている、又は不十分であるためと思われる。

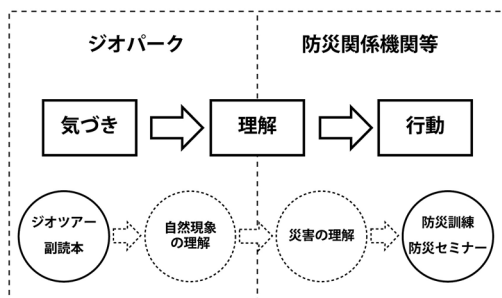


図7-5 ジオパークや防災関係機関における理想的な防災教育の流れ

防災教育において、「気づき」「理解」「行動」の流れをつくる場合、全てをジオパークが担う場合や、全て防災関係機関に任せる場合、各機関で役割分担をして連携する場合など、様々な方法が考えられる。現在、それぞれで努力していることを無駄にすることなく効率よく進めるためには、役割分担を明確にし、連携する方法が良いと思われる(図7-5)。

ジオパークは「気づき」の提供と自然現象(地学現象)の「理解」のための教育を、防災関係機関は災害の「理解」と「行動」のための教育を担い、両者の橋渡しをするための仕組みを整える必要がある。現在足りていないのは、ジオパークによる自然現象(地学現象)の「理解」のための教育、防災関係機関による災害の「理解」のための教育、そしてこれらを結び付けるための連携体制だろう。

7.5 桜島の大規模噴火とジオパーク

桜島の大規模噴火に備えて、桜島・錦江湾ジオパークが担うべき役割の一つは、大規模噴火が繰り返されてきている歴史やその実態、それが近い将来起こる可能性があることなどについて気づき、理解してもらうための教育を行くことである。これまでジオツアーやセミナー等で伝えてきているが、多くの市民には十分に届いていない。

多様な価値観をもつ大人たちに関心を持ってもらうためには、それぞれの価値観や興味に合わせた手法をとる必要がある。今後は、テレビ番組やYouTube、SNS、WEB、ゲーム、スポーツ、音楽、イベントなど、新しい発想と工夫で更に楽しく気



図7-6 桜島・錦江湾ジオパークが作成した副読本

軽に学べるチャンスをつくっていくことが重要である。ただし、これらを行政だけで実行するには、お金がかかる上にセンスも必要になってくるため現実的には厳しい。一方、市民参加型のワークショップ等として実施することで、参画した市民が深い学びを得られるのと同時に、市民自身が情報発信や教育の担い手になっていくことが期待される。

また、学校教育のなかで子供たちに伝えることは極めて重要で、数十年単位の長い目で見れば、大人を対象にするよりも効率的・効果的である。現在ジオパークでは、小学6年生に配布する副読本を作り、毎年配布している(図7-6)。「大地のつくりと変化」という単位について、教科書を使わずに副読本だけで授業を行えるよう、学習指導要領の内容を網羅してある。教科書とほぼ同じ内容であるが、写真はすべて鹿児島島の地形・地質のものを使っており、桜島の大規模噴火に関する情報も多く掲載している。コラム等も充実しており、非常に良い教材となっているので、学校現場でしっかりと使ってもらうための仕組みの整備に期待したい。

また、鹿児島市危機管理局危機管理課では、火山防災トップシティ構想⁴⁾を掲げ、専門知識を持った支援員を雇用するなど、新たな取り組みも始まっており、災害の理解に関する教材の作成も予定されている。今後は、ジオパークとの連携を図り、「気づき」「理解」「行動」の流れをつくることが重要である。

参考文献

- 1) 福島：ジオパークにおけるガイドの現状と課題, 国立公園, No.749, pp.12-15
- 2) 日本ジオパークネットワーク, <https://geopark.jp/about/>
- 3) 長崎ネイチャーゲーム協会：ネイチャーゲームによる環境教育, <https://ng-n.jp/education>
- 4) 鹿児島市火山防災トップシティ構想, <https://www.city.kagoshima.lg.jp/kikikanri/kazan/topcitykousou.html>