

桜島爆発による特別警報発表に関する考察

An Examination on the Announcement of Special Warnings Due to the Sakurajima Explosion

井口正人

Masato IGUCHI

Synopsis

After the vulcanian eruption on July 24, 2022 at Sakurajima volcano, a special warning (Level 5) was issued with an alert zone of 3 km from the Minamidake summit crater, and residents were evacuated from the southern villages of Sakurajima. Problems of issuing information, warning, and evacuation orders regarding this eruption are summarized. The flight distance of volcanic bombs estimated by JMA remains questionable. It is essential to have an accurate state of volcanic activity. It took 45 minutes from the onset of the eruption to issue the special warning, and 90 minutes to issue an evacuation order. It takes too much time to respond to the eruption. Rapid evacuation decision-making is necessary. The volcanic alert level is an index that indicates the extent of the area requiring alert. Level 5 means that the warning is required even in residential areas, but the keyword “Level 5” alone no longer indicates the extent of the alert zone. It is necessary to issue warning that pushes the range of the alert zone to the forefront.

キーワード: 噴火警報, 噴火警戒レベル, 警戒範囲, 火山岩塊, 桜島

Keywords: eruption warning, volcanic alert level, alert zone, volcanic bomb, Sakurajima volcano

1. はじめに

桜島火山では1955年10月以降, 南岳山頂火口(A火口, B火口)およびその東の昭和火口においてブルカノ式噴火と呼ばれる爆発的噴火(これ以降, 爆発と呼ぶ)が繰り返されている。この様式の噴火は, マッシュルーム状の噴煙を噴出させ, 強い空気振動を伴って火山岩塊を山腹に落下させる。火山岩塊の落下により, 建物, 構造物の破壊や火災が発生しており, これらは桜島の南岳山頂噴火期における代表的な災害形態である。火山岩塊の直撃は人命にかかわる問題でもあることから, 気象庁は火山岩塊が南岳山頂から2.4kmを超えて飛散した場合, 特別警報(噴火警戒レベル5)を発表することとしている。この警報発表を受けて, 自治体等は避難等の対策を行う。桜島南岳では, 1955年から2020年までに火山岩塊が2.4kmを超えて飛散した爆発が20回発生している(井口・

山田, 2021)。

桜島の山頂噴火活動は, 1955年から1971年までの第1南岳活動期, 最も爆発活動が激しかった1972年から2005年までの第2南岳活動期, 2006年から2017年までの昭和火口活動期, そして, 2017年11月には, 噴火活動の中心が再び南岳に戻り, 現在は南岳において爆発が繰り返されている(第3南岳活動期)。2022年の噴火活動は低調であったが, 6月ごろから爆発が発生するようになった。7月24日20:05に発生した爆発では, 火山岩塊が南岳東斜面に落下した。鹿児島地方気象台はこの火山岩塊が2.4kmを超えて飛散したとして, 噴火警戒レベル5の特別警報を発表した(福岡管区気象台・鹿児島地方気象台, 2022)。また, 桜島がある自治体鹿児島市は, これを受けて避難指示を桜島南部の有村町と古里町の一部に発令し, 避難が行われた。

本稿では, 特別警報発表とその後に行われた対応

の課題について検討する。

2. 噴火警報

2.1 噴火警報と噴火警戒レベル

気象業務法の改正により、2007年12月から気象庁は噴火警報を発表することとなった(山里・他, 2013)。噴火警報は、噴火に伴って、生命に危険を及ぼす火山現象の発生が予想される場合やその危険が及ぶ範囲の拡大が予想される場合に、「警戒が必要な範囲」(生命に危険を及ぼす範囲)を明示して発表される。ここでいう火山現象とは、火山岩塊、火砕流、溶岩流、融雪型火山泥流等であり、発生から短時間で火口周辺や居住地域に到達し、避難までの時間的猶予がほとんどない。気象庁は、全国の50火山において常時監視を行っているが、49火山において噴火警戒レベルを運用している。

火山活動が静穏な状態では噴火予報(噴火警戒レベル1)が発表される。火口周辺に影響を及ぼす噴火が発生、あるいはその発生が予想される場合は、噴火警報(火口周辺)が発表される。噴火の影響が火口周辺にとどまる場合の警戒レベルは2であるが、居住地域に近づいている場合はレベル3の警報が発表され、「警戒が必要な範囲」が拡大される。噴火警報(火口周辺)は登山者向けの警報であり、発表されたときは火口周辺規制(レベル2)、入山規制(レベル3)の防災対応がとられる。

火山活動がさらに活発化し、居住地域に被害を及ぼす噴火が発生、あるいはその発生が予想される場

合は、噴火警報(居住地域)が発表される。この警報は特別警報に位置づけられる。この場合の噴火警戒レベルは4および5であり、レベル4は居住地域に被害を及ぼす噴火の発生が高まっていることを意味し、高齢者等避難の対応がとられる。レベル5では、居住地域に被害を及ぼす噴火が発生、あるいはその発生が差し迫っていることへの警戒であり、避難等が必要となる。

2.2 噴火警戒レベルの判定基準

気象庁は、火山の監視観測に基づいて噴火警戒レベルの上げ下げを行う。判定基準は気象庁の内規であったが、2014年の御嶽山噴火が警戒レベル1の状態が発生し、63名の犠牲者を出したことを踏まえ、2015年以降、噴火警戒レベルの判定基準が気象庁のホームページにおいて順次、公開されている。

<https://www.data.jma.go.jp/svd/vois/data/tokyo/keikaillevelkijunn.html>

判定基準は2つのカテゴリーからなる。1つは噴火発生前に検知される通常の活動以上の変化が見られた時の判定である。データは地震回数と振幅、火山性微動の発生、地盤変動、二酸化硫黄放出率、地熱活動・噴気活動などである。判定基準表には判定のための閾値が示されている。有珠山のように主に火山性地震の発生と地盤変動で判定している場合もあるが、判定条件を多数列記し、複数の条件を満たしたときにレベルを引き上げる場合が多い。判定基準は、過去の噴火に前駆する現象に基づいているため、2014年以降に頻繁に噴火が発生した口永良部島のよ

【大規模噴火の可能性】

- ・溶岩の流出により溶岩が居住地域に接近(居住地域まで500m)
- ・2015年8月15日のような顕著な地殻変動(島内の傾斜計で1時間に1マイクロラジアン以上)を観測した場合は、火口から3kmを警戒が必要な範囲とするが、桜島付近を震源とするマグニチュード2以上の地震が10回以上(12時間以内)発生した場合は、山腹噴火の可能性が高まったとして、全島を警戒が必要な範囲とする

【これまでみられたような噴火(ブルカノ式噴火)の激化の可能性】

- ・大きな噴石が2kmを超えて2.4km以内に24時間以内に3回飛散した場合、警戒が必要な範囲は概ね3kmとする
- ・火口から約2kmを超える火砕流が発生もしくはその可能性。次のいずれかで判断する
 - ①火砕流が発生して、到達距離が火口から2kmを超えた場合
 - ②目視できる場合は、火砕流が発生し、到達距離が確認できない場合でも、噴煙量階級6(きわめて多量)の噴煙が10分以上続く場合
 - ③目視できない場合は、島内の傾斜計において、数時間で1マイクロラジアンの変動が予想される場合

Fig. 1 Criteria for the Volcanic Alert Level 4

うな火山では、判定基準は複雑なものになっている。
もう1つは、噴火の発生に対応した事後判定である。
この場合、噴火によって飛散した火山岩塊の到達距離、火砕流、溶岩流の流下範囲を判定基準に照らし合わせ警戒レベルを決定することになる。

2.3 桜島の噴火警戒レベル

噴火警戒レベルは1～5の5段階あるが、桜島では噴火警報（火口周辺）が常時発表されている。警戒レベルの基準を3（警戒を要する範囲は南岳および昭和火口から2kmの範囲）とし、レベル1, 2は運用しないこととしている。これは、災害対策基本法63条の定める警戒区域が山頂火口域から2kmの範囲に設定されていることへ整合的に対応したものがある。噴火警戒レベル3では、警戒を要する範囲を2.4kmまで拡張されるが、南岳に最も近い有村集落は2.7kmの距離にあるので、警戒を要する範囲が2.4kmを超える場合はレベル4, 5に対応する特別警報が発表されることとなる。すなわち、桜島では噴火活動の活発さに加え、居住地域の火口への近さゆえに特別警報が発表されやすい状況にある。

桜島の噴火警戒レベル4の判定基準をFig.1に示す。想定する噴火規模によって2つに分けられている。1つは大規模噴火（昭和21年噴火の溶岩流出を含む）であり、地震活動と地盤変動によって警戒を要する範囲を火口から3kmと桜島全島（概ね7kmが想定されている）に決められている。急速な地盤変動があった場合は警戒を要する範囲を火口から3kmとするが、さらに、M2以上の地震が12時間以内に10回以上発生した場合は、警戒を要する範囲を全島とすることになっている。2015年8月15日の群発地震発生では、有

村観測坑道において10:28からの1時間において43 μ ラディアン以上の火口方向隆起の傾斜変化が検出されているが（Hotta et al., 2016）M2以上の火山性地震の発生は、4回にとどまったので、警戒レベル4で警戒を要する範囲は火口から3kmの範囲とされた。溶岩が居住地域の500mの距離まで接近した例として昭和21年の噴火がある。

もう1つの想定は1955年以降継続している南岳山頂付近で発生する爆発の活発化である。これまでの実績では火山岩塊が2kmを超えて2.4km以内に24時間以内に3回飛散した事例はない。また、火砕流の流下距離が2kmを超えたこともない。ただし、「②目視できる場合は、火砕流が発生し、到達距離が確認できない場合でも、噴煙量階級6（きわめて多量）の噴煙が10分以上続く場合」を適用した場合、夜間で噴煙量階級は判定できないものの噴火の規模からみて1987年11月17日に発生した爆発（石原・小林, 1988）がレベル4に相当する可能性がある。

レベル5の判定基準をFig.2に示すが、同様に、大規模噴火と山頂付近における爆発が想定されている。100 μ ラディアン以上の傾斜変化と大きな地震（1回のM5または2回のM4）が全島を対象とする噴火警戒レベル5の条件となる。井口・他（2019）は、大正噴火直前における南岳下の圧力源の体積増加量を $1.7 \times 10^8 \text{m}^3$ と見積もっているが、これを傾斜変化量に換算すると優に100 μ ラディアンを超える。また、大正噴火前日の1月11日9:57には震度5（M5と推定）の地震が発生している（Omori, 1920）。

南岳山頂付近で発生する爆発の活発化に相当し、噴火以下レベルを5に引き上げるのが火山岩の飛散距離が2.4kmを超えた時である。3km以内であれば警

【大規模噴火が切迫】

- ・山腹噴火が発生もしくは切迫
山腹からの噴火が開始するか、極めて顕著な山体膨張（島内の傾斜計のいずれかで100マイクロラジアンが観測され、大きな地震活動（マグニチュード5ならば1回、マグニチュード4ならば2回）が伴った場合は、大規模噴火発生の可能性が切迫していると考え、全島を警戒が必要な範囲とする
- ・火砕流が居住地域近く（居住地域まで数100m）に到達
- ・溶岩流が居住地域付近（居住地域まで概ね100m）に到達

【これまでみられたような噴火（ブルカノ式噴火）の激化】

- ・大きな噴石が火口から概ね2.4kmを超え3km以内に飛散した場合、警戒が必要な範囲は概ね3kmとする。火口から概ね3kmを超え3.5km以内に飛散した場合、警戒が必要な範囲は概ね3.5kmとする
- ・火砕流が居住地域近く（居住地域まで数100m）に到達

Fig. 2 Criteria for the Volcanic Alert Level 5

警戒を要する範囲を3.0km, 3.5km以内であれば, 警戒を要する範囲を3.5kmとする. 火山岩の飛散距離が2.4kmを超えた爆発は, 1955年以降, 20回発生している(井口・山田, 2021). このうち, 3回は3.0kmを超えており, 最も直近の事例である2020年6月4日の爆発では, 火山岩塊は桜島南西山麓の東桜島町(3.3km)に落下した. この爆発では, 火山岩塊の落下が爆発後4日を経過してから確認されたため, 噴火警報は発表されていない.

2.4 過去に発表された特別警報

2022年7月24日に発生した桜島爆発以前に特別警報(警戒レベル4および5)の発表事例は3件ある.

最初に特別警報が発表されたのは, 2015年5月29日に口永良部島において発生した噴火である. 9:59に始まった噴火で火砕流が新岳北西山麓の向江浜集落まで達したため, 噴火警戒レベルが3から5に引き上げられた(福岡管区气象台・鹿児島地方气象台, 2015a). この特別警報では警戒を要する範囲が明示されなかったものの, 屋久島町は全島に対して避難指示を発令し, 屋久島へ島民・一時滞在者137名が避難した. 10月には警戒を要する範囲を新岳火口から3kmとされたため, 12月に一部の集落の帰島が実現した(井口, 2021).

2番目の特別警報は, 桜島において発表された. 桜島では2009年以降, 昭和火口において噴火が頻発していたが, 火山性地震の発生は少なく, 地盤変動も高感度の傾斜計および伸縮計によってとらえられる 0.1μ ラディアン/ストレイン以下の微小なものであった. ところが, 2015年8月15日の朝からおよそ2桁大きい地盤変動を伴って火山性地震が群発したため, 警戒を要する範囲を南岳および昭和火口から3kmの範囲とする特別警報(レベル4)が発表された(福岡管区气象台・鹿児島地方气象台, 2015b). 鹿児島市は3km以内の有村町, 古里町に加え, 火砕流の危険がある黒神町にも避難勧告を発令し, 77名が避難した.

3番目の事例は, 口永良部島で2018年8月15日に発生した有感クラスの火山性地震の発生であり, 警戒を要する範囲を新岳火口から2.5kmの範囲とする特別警報(レベル4)が発表された(福岡管区气象台・鹿児島地方气象台, 2018).

3. 桜島爆発による火山岩塊の飛散

3.1 火山岩塊による災害事例

先に述べたように, 火山岩塊の飛散距離が2.4kmを超えた爆発は, 1955年から2021年までに, 桜島において20回発生している. 火口はすべて南岳である. 爆発時の鉛直方向の初速度は210m/s~250m/sに達し

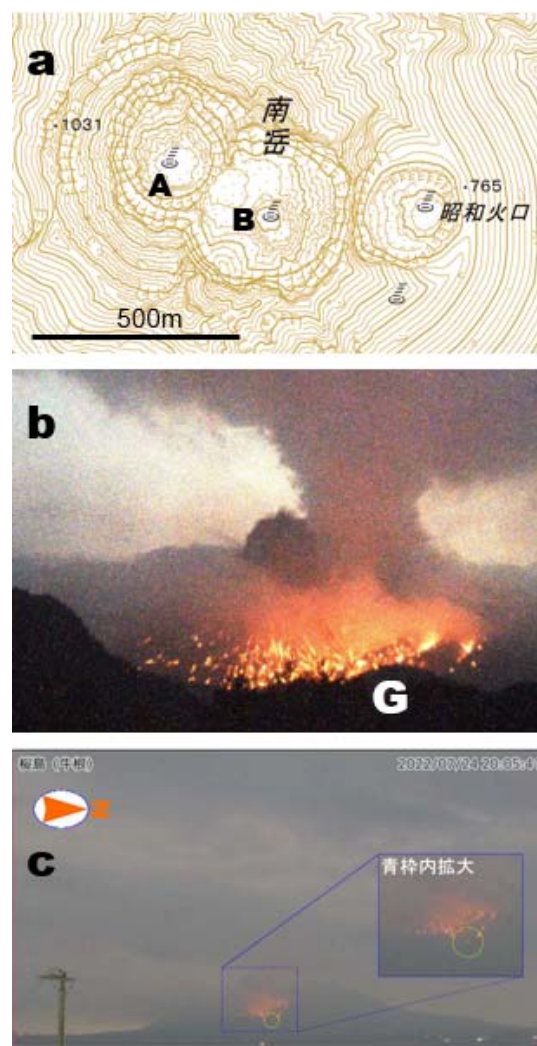


Fig. 3 Snapshot of the explosion on July 24, 2022. a) Craters near the summit of Minamidake. b) Taken from Kurokami Observatory, Kyoto University (3.8 km east of Minamidake B crater). “G” indicates Gongenyama (2.1 km east of Minamidake B crater). c) JMA monitoring camera at Ushine (11.6 km east of Minamidake B crater).

ていると推定される. また, 爆発に伴う空振の振幅は概ね300Pa以上に達していることも指摘されている(井口・山田, 2021). 20回の爆発のうち, ハルタ山と野尻川に落下した事例を除くと, 南山麓の東桜島, 古里, 有村集落において落下が確認されており, これらの集落は火山岩塊による災害リスクが高い.

火山岩塊は高温であるため, 火災が発生しやすい. 南岳活動期の初期である第1活動期には, まだ, 植生が山麓にあったので, 山火事がよく発生した. また, 木造建造物の場合は, 焼失したり(1983年2月18日の事例), 発見が早かったためにぼやで済んだ事例も多い. 舗装された道路等に火山岩塊が落下した場合は, アスファルトは炎上する(京都大学ハルタ山観

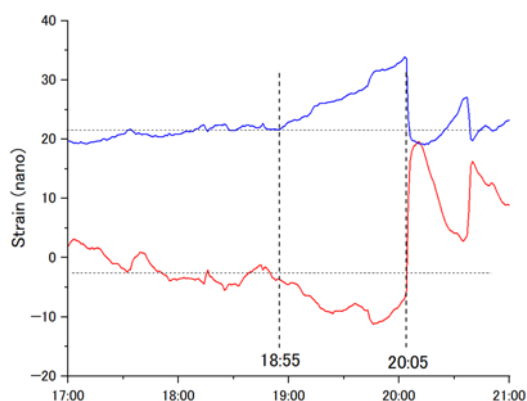


Fig. 4 Strain changes prior to the eruption at 20:05 on July 24, 2022. Strain changes were recorded at Arimura underground tunnel. Red and blue curves represent radial and tangential strain, respectively.

測室構内、1983年8月2日の爆発)。

火山岩塊は着地したときの衝撃が大きい。岩塊重量は1トン、落下速度が200m/sを超えているためである。1986年11月23日16時02分の爆発では、古里温泉のホテル山下家を岩塊が直撃し、屋根と鉄筋コンクリートのフロント床を貫通して地下倉庫に達した事例がある。この爆発では負傷者5名が報告されている。構造物でなければ、最大数メートルのインパクトクレータを形成する。1984年7月21日15時02分の爆発では、国道224号に並走する高圧送電線と電話線が火山岩塊により切断された。また、火山岩塊は着弾の衝

撃で粉々に破碎されることが多く、その岩片は周囲に飛散して被害を拡大させる。2020年6月4日2時59分の爆発では、破碎された岩片が100m飛散して小屋の屋根を貫通した。

爆発回数が480回に達した1985年には6月8日から7月10日までの約1か月と12月19日のあわせて6回このような爆発が発生しており、危険な状態であった。鹿児島市は単独事業として南岳火口に最も近い有村地区の希望する住民に対して鹿児島市街地への移転事業を行った。

3.2 2022年7月24日爆発

この爆発の映像をFig.3に示す。南岳山頂付近には南岳A火口、B火口および昭和火口がほぼ東西に並んでいる (Fig.3a)。2022年7月24日の爆発は南岳B火口において発生した。爆発により放出された火山岩塊は南岳東斜面一面に落下した (Fig.3b)。南岳B火口から2.1km離れた権現山より南岳側に火山岩塊は落下しており、黒神のカメラから見る限り、火山岩塊の到達距離は2.1km以下であると見える。一方、気象庁が牛根に設置した監視カメラでは、1つだけ離れて落下した火山岩塊が確認されている (Fig.3c)。気象庁はこの岩塊の到達距離が2.4kmを超えたとして噴火警戒レベルを5に引き上げた。

この爆発は24日の20:05に発生したが、それに前駆して18:55から伸縮計の直交成分において伸長ひずみ、火口方向の成分において収縮ひずみが検出されている (Fig.4)。ひずみ変化量は直交方向に12ナノ

Table 1 Time sequence of issuing information and warning after the eruption on July 24, 2022

時刻	情報の種類	情報の内容	情報の提供範囲
20:10	噴火に関する火山観測報第1報	20:05に南岳において爆発発生、有色噴煙：火口上300mで雲入り	
20:22	噴火速報	桜島で噴火が発生	全国に情報が流れる
20:50	噴火警報 (居住地域)	噴火警戒レベル5、避難 火口から3km以内の居住地域では大きな噴石に厳重な警戒	全国に情報が流れる
	エリアメール※	噴火警戒レベル5、避難、特別警報 被害が予想される居住地域ではただちに避難してください。	対象鹿児島市
21:09	噴火に関する火山観測報第2報	弾道を描いて飛散する大きな噴石2合目 (火口より2000から2700m)	
22:20	避難指示【鹿児島市】 エリアメール	火口から3km以内の有村町、古里町の一部に避難指示を発令。ただちに避難してください。	対象鹿児島市

ストレイン、火口方向において-8ナノストレインで、継続時間は1時間10分である。これらの値は、南岳爆発に前駆する地盤変動として標準的な値である。地盤変動から爆発が発生することは容易に予想できるが、変動量や様式をもって、火山岩塊が2.4kmを超える距離まで飛散することは予測することはできない。

一方、この爆発の特殊性は、爆発に伴う空気振動が小さいことである。ハルタ山において107Paで、B火口に最も近い有村観測坑道でも30Paであった。火山岩塊の到達距離と空振振幅には相関が認められており、火山岩塊の到達距離が2.4kmを超える爆発の空振振幅はハルタ山において300Paを超えている（井口・山田，2021）。

4. 2022年7月24日爆発後の情報発出時系列

2022年7月24日20:05に爆発が発生したが、その後、気象庁および鹿児島市から様々な情報が発出されている。これらの情報の時系列をTable 1に示す。

4.1 噴火警報（居住地域）まで

20:10に「噴火に関する火山観測報第1報」が発表されているが、ここまでは通常通りである。第1報は爆発の発生をいち早く伝えるものであり、噴煙の上昇中であっても発表される。次いで、第2報において噴煙の到達高度や火山岩塊の到達距離、空振の振幅など詳細な情報が発表される。ところが、この爆発については、20:22に発表された噴火速報が次の情報であった。噴火速報は警戒を要する範囲を拡大する噴火が発生したことをいち早く伝える情報であり、警戒を要する範囲を火口から2km（レベル3）とする桜島においては、レベルを3に据え置いたままで警戒を要する範囲を2.5kmにするか、レベル5に引き上げて警戒を要する範囲を3km以上に拡大するかのいずれかである。噴火速報は全国に流され、テレビ放送のテロップ等で挿入される。

実際に警戒を要する範囲を拡大する警報が発表されたのはそれから約30分後の20:50であった。この警報は、噴火警報（居住地域）であり、特別警報に相当する。内容は噴火警戒レベル5「避難」であり、「火口から3km以内の居住地域では大きな噴石に 심각한警戒」となっている（福岡管区気象台・鹿児島地方気象台，2022）。この警報も全国に流された。より衝撃的であったのは、特別警報速報メール（エリアメール）である。火山噴火によりエリアメールが送信されること自体が、極めてまれであることに加え、その内容は「噴火警戒レベル5、避難、特別警報。被害が予想される居住地域ではただちに避難してください。」となっている。気象庁の発表する警報文との最

大の違いは警戒を要する範囲が明示されておらず、報道や自治体等から発表される情報にゆだねている点である。なお、エリアメールの対象範囲は鹿児島市であるが、電波の特性上、鹿児島市以外にもエリアメールは届いている。

4.2 避難指示まで

21:09に噴火に関する火山観測報第2報が発表されているが、噴火速報と噴火警報（居住地域）の発表への対応から遅れたものと解釈できる。鹿児島市から噴火警戒レベル5に対応した避難指示が発令されたのは、気象庁の噴火警報（居住地域）発表からさらに1時間半後の22:20であった。すなわち、爆発の発生から避難指示の発令までに2時間15分を要したことになる。エリアメールも同時に発進されているが、「火口から3km以内の有村町、古里町の一部に避難指示を発令」と、避難のエリアメールでは避難の対象地域が明示されている。これとほぼ同時に避難所（高齢者福祉センター東桜島）へのバスによる避難が始まり、翌日の0:19には避難が完了した。有村町、古里町（東地区）などの住民25世帯36名が避難した。

5. 噴火対応の課題

2022年7月24日の爆発は、2022年に発生した噴火としては最大級であるが、1955年以降続いている噴火活動の中ではよくある噴火の規模と様式である。この噴火への一連の対応の課題は以下の様にまとめられる。これについて考察する。

- ① 火山岩塊落下地点決定の妥当性
- ② 気象庁が噴火警報（居住地域）発表までに45分を要した（警報発表の遅れ）。
- ③ 特別警報速報メール（エリアメール）の不完全な情報
- ④ 鹿児島市が避難指示を発令するまでにさらに1.5時間要した。
- ⑤ 気象と火山の特別警報速報メールの廃止

5.1 火山岩塊落下地点決定の妥当性

現在は多くの火山において、高精度のデジタル地形が整備されているので、デジタル地形を平面に投影したうえで、画像上の複数の基準点を投影したデジタル地形に合わせこむことにより、画像上の火山岩塊の位置からデジタル地形上の位置を決定することができる（井口・他，1983）。位置の決定精度は、デジタル地形の分解能と画像の解像度によって決まる。また、デジタル地形を鉛直に近い平面に投影しているため、急斜面は精度よく決定できるが、斜面の勾配が緩やかになると投影し

た平面でのデジタル地形のグリッドの間隔が狭くなり、位置の同定精度が低下する。居住地域に近くなる山麓への火山岩塊の落下位置の決定精度は高精度であるべきであるが、緩斜面への落下であるがために、その位置の決定精度は桜島南岳山頂付近および山腹への落下に比べて低下することを意味する。火山岩塊の到達距離は噴火警戒レベルの引き上げに直結するパラメータであるが、その監視体制は依然として脆弱であることが指摘できる。また、監視を補足する手段として熱赤外映像装置を搭載したドローンの緊急運用も望まれる。

この噴火は南岳東斜面への火山岩塊の飛散を伴ったが、東麓の集落である黒神町は南岳から4.4km以上離れており、この集落への影響はないことは監視カメラの映像から即時に判断できる。精査の結果、火山岩塊の到達距離がFig.2に示した判定基準である火口からの距離2.4kmを超えていたとしても、「居住地域に重大な被害を及ぼす噴火が発生、あるいは切迫している状況にある」と定義される噴火警戒レベル5とは相いれない。

5.2 警報発表の遅れ

火山噴火の発生の前には、火山性地震の発生回数の増加、膨張性地盤変動、火山ガス放出量の増加などの異常現象が観測される。これらの観測量からハザードを評価して警報を発表することが望まれるが、実際は困難である場合も多く、事後の警報発表となることも多々ある。そのような場合でも、気象庁は迅速な警報発表に努めてきた。Table 2に警報発表が、

噴火発生後となった場合の警報発表に要した時間を示す。

多くの場合30分以内、早い場合は10分以内で警報が発表されている。桜島で2021年4月25日に発生した噴火では91分を要しているが、これは、山麓を移動する噴煙を火砕流の流下と誤認して警戒を要する範囲を2kmから2.5kmに拡大した事例であり、後に取り下げられている。これを除くと桜島における2022年7月24日の警報発表に最も時間を要している。

5.3 特別警報速報メール

7月24日20:50に発表された噴火警報（福岡管区気象台・鹿児島地方気象台、2022）には、噴火の発生と火山岩塊が火口から2.5kmの距離に達したとする気象庁の解析結果が述べられるとともに、南岳山頂火口及び昭和火口から概ね3km以内の居住地域（鹿児島市有村町及び古里町の一部）に大きな噴石に厳重な警戒（避難等の対応）を呼び掛けている。警報文には警戒を要する範囲が明示されているが、同時に送信された特別警報速報メールでは、

噴火警報（桜島）

桜島に、噴火警戒レベル5（避難）を発表しました。

これは、火山の特別警報です。

テレビ、ラジオ及び自治体等の情報を確認し、被害が予想される居住地域では、ただちに避難してください。

気象庁の発表する警報文を読めば、警戒を要する範囲が3kmまで拡大されたことは分かるが、エリア

Table 2 Time required for issuing upgraded alert level from the onset of eruptions

火山名	噴火発生時刻	警戒レベルと警報	噴火警報発表に要した時間（分）
桜島	2022年7月24日20:05	3→5噴火警報（居住地域）	45
	2021年4月25日01:09	3→3噴火警報（火口周辺）	91
	2016年2月5日18:56	2→3噴火警報（火口周辺）	17
口永良部島	2014年8月3日12:24	1→3噴火警報（火口周辺）	26
	2015年5月29日09:59	3→5噴火警報（居住地域）	8
諏訪之瀬島	2020年12月28日02:48	2→3噴火警報（火口周辺）	8
	2021年3月31日02:57	2→3噴火警報（火口周辺）	33
	2021年6月23日00:03	2→3噴火警報（火口周辺）	12
阿蘇山	2021年10月20日11:43	2→3噴火警報（火口周辺）	5
	2016年10月8日1:46	2→3噴火警報（火口周辺）	9

メールでは、レベル5、特別警報、避難だけが強調され、避難すべきはだれかということが分からない。このことが、発生した噴火は20世紀以降で我が国最大規模とされる大正噴火（1914年）のような大規模噴火の発生ではないか、という混乱を招くことになった。

5.4 噴火警戒レベル5という表現の妥当性

噴火警戒レベルは、火山活動の状況に応じて「警戒が必要な範囲」と防災機関や住民等の「とるべき防災対応」を5段階に区分して発表する指標とされている。すなわち、噴火警戒レベルは「警戒が必要な範囲」によって決まる指標であって、噴火警戒レベルは、警戒を要する範囲に人がいれば生命にかかわる火山岩塊、火砕流、溶岩流、融雪型火山泥流等の火山現象を対象とする以上、警報が発表されれば最高度の警戒が必要なので、レベルは警戒度の高さを表すものではない。もちろん、警戒が必要な範囲が居住地域を含み、広範囲になれば、防災対応は複雑になるので、「防災対応レベル」と言い換えた方がより適切であろう。

レベル2、3の警戒を要する範囲はレベル5の警戒を要する範囲よりも内側にあるので、その範囲を多少拡大したとしてもその違いは0.5～2km程度である。一方、警戒を要する範囲に居住地域の一部が含まれるレベル5の警戒を要する範囲は火山活動によっては、どこまで拡大されるかわからない。例えば、桜島

においては噴火警戒レベル3での警戒を要する範囲は火口から2kmまたは2.5kmの範囲であるが、警戒を要する範囲をそれ以上に拡大する場合は、すべてレベル5である。桜島では爆発によって警戒を要する範囲を3kmまたは3.5kmにする場合と、大正級の大規模噴火を想定した南岳山頂から7kmの範囲を「警戒が必要な範囲」とする場合が想定されているが、噴火活動によっては、その間の5km、あるいはさらに拡大した10kmや20kmの警戒を要する範囲の設定もあり得る。噴火警戒レベル5は警戒を要する範囲の明示なしに運用することのできないレベルであり、警戒を要する範囲を前面に押し出した警報の発表が適切である。

5.5 鹿児島市の噴火警戒レベル5対応

すべての自然災害において高齢者等避難、避難指示を発令して人命が失われないようにするのは自治体の責務であるので、特別警報（噴火警戒レベル5）を受けた鹿児島市の対応について述べる。時系列に沿ってTable 3にまとめた。特別警報発表と同時刻の20:50に災害対策本部が設置された。2015年8月に桜島において噴火警戒レベル4に引き上げられたが、その後、特別警報が発表された場合、自動的に災害対策本部が設置されるように地域防災計画が改訂されているからである。その後、京都大学に状況確認を行っているが、これも地域防災計画に記載されている対応である。噴火警戒レベル5の特別警報に対応し

Table 3 Response of Kagoshima city to Volcanic Alert Level 5

日時	鹿児島市の対応
7月24日	
20:50	災害対策本部・現地災害対策本部を設置
21:07	桜島の火山活動の現状及び今後の動向等を京都大学火山活動研究センターに確認
22:00	避難用バス（第1便）が東桜島合同庁舎を出発
22:05	第1回災害対策本部会議を開催
22:20	有村町・古里町の一部に避難指示を発令（避難所は高齢者福祉センター東桜島）
23:30	桜島火山防災連絡会出席（鹿児島県事務局）
23:56	消防局による戸別訪問完了（警戒範囲内の避難を確認）
7月25日	
00:19	避難用バス（最終便）が高齢者福祉センター東桜島に到着
01:00	第2回災害対策本部会議を開催
16:15	市長による開設避難所の現地確認
18:30	避難者説明会を開催（鹿児島地方気象台、京都大学、市危機管理課、市地域福祉課）
7月26日	
14:00	避難指示地域への一時帰宅を実施（17世帯25名）
16:00	桜島火山防災連絡会出席（鹿児島県事務局）
20:15	第3回災害対策本部会議を開催
20:25	避難指示解除、災害対策本部・現地災害対策本部廃止

た避難指示が発出されたのは、特別警報発表から90分が経過した22:20であった。15分前の22:05に第1回災害対策本部会議が開催されているので、特別警報発表から避難指示発令までの時間の大半は会議を招集するまでに要した時間と考えられる。これは、日曜日の夜間であったことを考えるとやむを得ないのかもしれない。一方、22:00には第1便の避難用バスが東桜島合同庁舎を出発しているの、実質的な避難対応を避難指示の発令に先行して行ったともいえる。翌25日の00:19には、最終の避難用バスが避難所に到着しているの、避難に要した時間は2時間程度であった。

噴火警戒レベル5の引き下げの基準は「大きな噴石や火砕流が当該距離に影響する噴火が3日間発生しない場合」とされている。24日20:05～27日20:05までには4回の爆発と3回の噴火が発生したが、弾道を描いて飛散する大きな噴石は最大で6合目（南岳山頂火口より800から1100m）に達したとされているので27日20:00に噴火警戒レベルは3に引き下げられた。これを受けて、鹿児島市は20:25に避難指示を解除した。

5.6 特別警報速報メールの廃止

気象庁は2022年12月26日付で気象等および噴火に関する特別警報速報メールを廃止することとした。気象庁は、特別警報の緊急速報メールには対象となる市区町村が記載されておらず、住民の避難を促す情報としては十分ではないこと、危険でない地域も含めて配信される等の問題点を認めたとうえで、全ての市区町村から多様かつ適切な手段により住民に伝えられており、それに加えて防災アプリなど防災気象情報の提供環境が充実してきたことを廃止の理由としている。確かに防災気象情報は充実してきており、鹿児島市に上陸した2022年の台風14号の接近時には、気象庁が発表する特別警報の緊急速報メールに先駆けて鹿児島市は、市内全域を対象とする避難指示の緊急速報メールを送信している。一方、火山噴火に関する情報は依然として不十分であり、防災アプリなどの情報も気象庁の発表する情報と同じで、気象のような独自の分析はない。

一方で、気象庁は緊急地震速報と津波警報・大津波警報の緊急速報メールは継続することとしている。これらの現象は突発的であり、その発生と警戒をいち早く伝えることには意味がある。火山噴火については、特別警報に相当する噴火警戒レベル4、5の判定基準にあるように、2つの場合がある。1つは火山活動の一連の高まりにおいて居住地域に重大な被害を及ぼす噴火が発生すると予想される場合、もう1つはそのような噴火が発生した場合である。火山活動

の評価は依然として不十分とはいえ、前者は気象現象に類似しているが、後者は地震や津波の発生に類似している。そのような火山噴火に関する特別警報の二面性が十分理解されるべきであろう。

なお、鹿児島市は、噴火に関する特別警報速報メールの重要性を考慮して、独自に代替え手段を講じることとしている。一方、本来自治体がなすべき迅速な避難指示の発令についても考慮してほしい。

6. まとめ

2022年7月24日の桜島爆発によって警戒を要する範囲を南岳山頂火口から3kmとする特別警報（レベル5）が発表され、桜島南山麓の集落からの避難が行われた。この噴火についての情報及び警報発表、避難指示から以下のことが言える。

- [1] 火山岩塊の到達距離が2.4kmを超えたことがこの特別警報の根拠であるが、気象庁により推定された到達距離には依然として疑問が残る。まず、正確な火山活動の現状把握が必須である。
- [2] 噴火の発生から特別警報発表まで45分、避難指示の発令までにさらに90分を要した。噴火発生後の事後対応としては時間がかかりすぎている。迅速な避難の意思決定が必要である。
- [3] 噴火警戒レベルは、警戒を要する範囲の広さを示す指標である。レベル5は居住地域においても警戒を要することを意味するが、もはやレベル5というキーワードだけでは警戒を要する範囲の広さが分からない。警戒を要する範囲を前面に押し出した情報発表が必要である。

謝 辞

鹿児島市危機管理局からは噴火対応に関する情報をいただきました。

参考文献

- 井口正人・石原和弘・加茂幸介（1983）：火山弾の飛跡の解析，京都大学防災研究所年報，第26号B-1，pp.9-21.
- 井口正人・為栗健・平林順一・中道治久（2019）：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.
- 井口正人（2021）：2015年口永良部島噴火の火山活動推移と避難の意思決定．地学雑誌，第130巻，pp.755-770.
- 井口正人・山田大志（2021）：1955年以降の桜島南岳活動期の火山災害，京都大学防災研究所年報，第64

- 号, pp.57-72.
- 石原和弘・小林哲夫(1988): 桜島火山の最近の火山活動, 火山, 第33巻, pp. 269-271.
- 福岡管区気象台・鹿児島地方気象台(2015a): 火山名 口永良部島 噴火警報(居住地域)平成27年5月29日10時07分.
- 福岡管区気象台・鹿児島地方気象台(2015b): 火山名 桜島 噴火警報(居住地域)平成27年8月15日10時15分.
- 福岡管区気象台・鹿児島地方気象台(2018): 火山名 口永良部島 噴火警報(居住地域)平成30年8月15日10時30分.
- 福岡管区気象台・鹿児島地方気象台(2022): 火山名 桜島 噴火警報(居住地域)令和4年7月24日20時50分.
- 山里 平・舟崎 淳・高木康伸(2013): 気象庁の火山防災業務, 防災科学技術研究所研究資料, 第380号, pp. 9-15.
- Hotta, K., Iguchi, M., Tameguri, T. (2016): Rapid dike intrusion into Sakurajima volcano on August 15, 2015, as detected by multi-parameter ground deformation observations, *Earth Planets Space*, Vol. 68, 68 <https://doi.org/10.1186/s40623-016-0450-0>.
- Omori, F. (1920): The Sakura-Jima eruptions and earthquakes, V, *Bull. Imp. Earthq. Inv. Comm.*, Vol. 8, No. 5, pp. 353-466.

(論文受理日: 2023年8月31日)