

平成 19 年 12 月 1 日運用開始
令和 6 年 3 月 27 日現在
気 象 庁

桜島の噴火警戒レベル判定基準とその解説

目 次

1 想定する噴火の規模・様式と現象	・・・ 2
1) 噴火場所	・・・ 2
2) 噴火様式の区分とその影響	・・・ 2
3) 噴火様式の区分の基準	・・・ 4
2 火山活動の時間的な推移	・・・ 6
3 噴火警戒レベルの区分け	・・・ 9
4 噴火警戒レベルの判定基準とその考え方	・・・ 11
5 今後検討すべき課題	・・・ 20
6 参考文献	・・・ 21

1 想定する噴火の規模、様式と現象

1) 噴火場所：南岳の山頂火口域（昭和火口、南岳山頂火口）、桜島山腹、周辺海域（図 1-1、1-2）

2) 噴火様式の区分とその影響

噴火とは、火口外へ固形物（火山灰、岩塊等）を放出または溶岩を流出する火山現象である。桜島の場合、南岳の山頂火口域（昭和火口、南岳山頂火口）において頻繁に噴火が発生し、時期によっては常時噴火している火山であるため、気象庁は、桜島特有のルールとして、南岳の山頂火口域の噴火とは、爆発または一定基準の噴煙量（概ね噴煙の高さが火口縁上 1,000m）以上のものをいい、それに満たない噴火は、「ごく小規模な噴火」としている。

以降、特記なき限り、南岳の山頂火口域の噴火は、この定義により記述する。

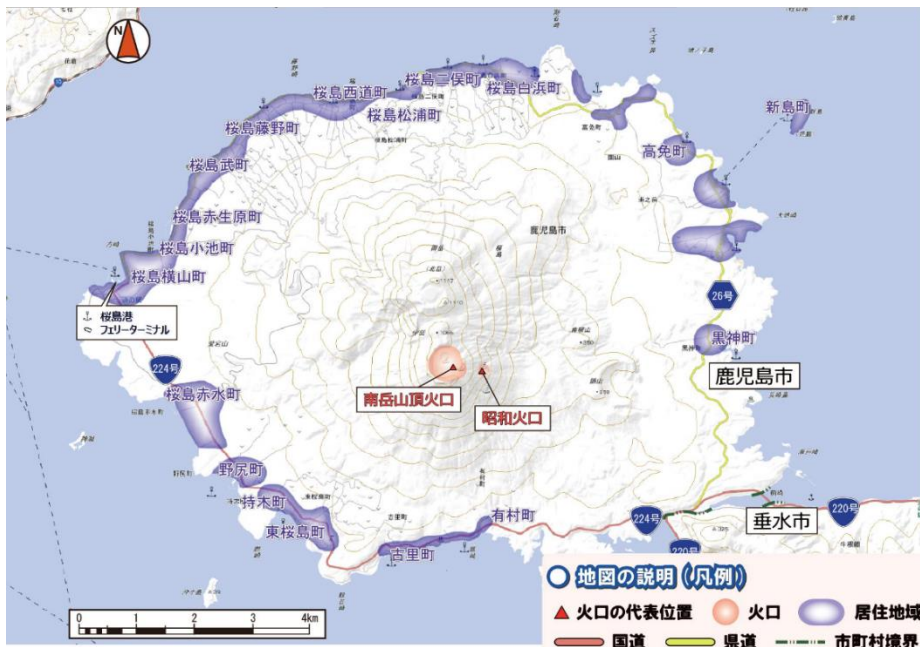


図 1-1 南岳山頂火口域の想定火口（南岳山頂火口及び昭和火口：朱塗りの領域）、居住地域等の分布（紫塗りの領域）

※各想定火口の中心座標は、南岳山頂火口（31.579262 度、東経 130.659625 度）及び昭和火口（北緯 31.578721 度、東経 130.664869 度）とした

※火口から居住地域までの最短距離：約 2.5km（鹿児島市有村町）

また、桜島では、有史以降山腹における大規模噴火が繰り返し発生している。「天平宝字（764 年）」「文明（1471～1476 年）」「安永（1779～1782 年）」「大正（1914 年）」の大規模噴火はすべて山腹噴火であり、プリニー式噴火で始まり、火砕流の発生、多量の溶岩の流出と推移した。

1939 年には、南岳の東斜面（標高約 800m）に新火口を形成し、噴火に伴い小規模な火砕流が発生した。それ以降も噴火活動が継続し、1946 年 3 月 9 日からは新たな噴

火様式（昭和噴火）となり、溶岩を流し始め、鍋山の手前で北東と南に分流し、4月5日に黒神海岸に、5月21日に有村海岸に達した。

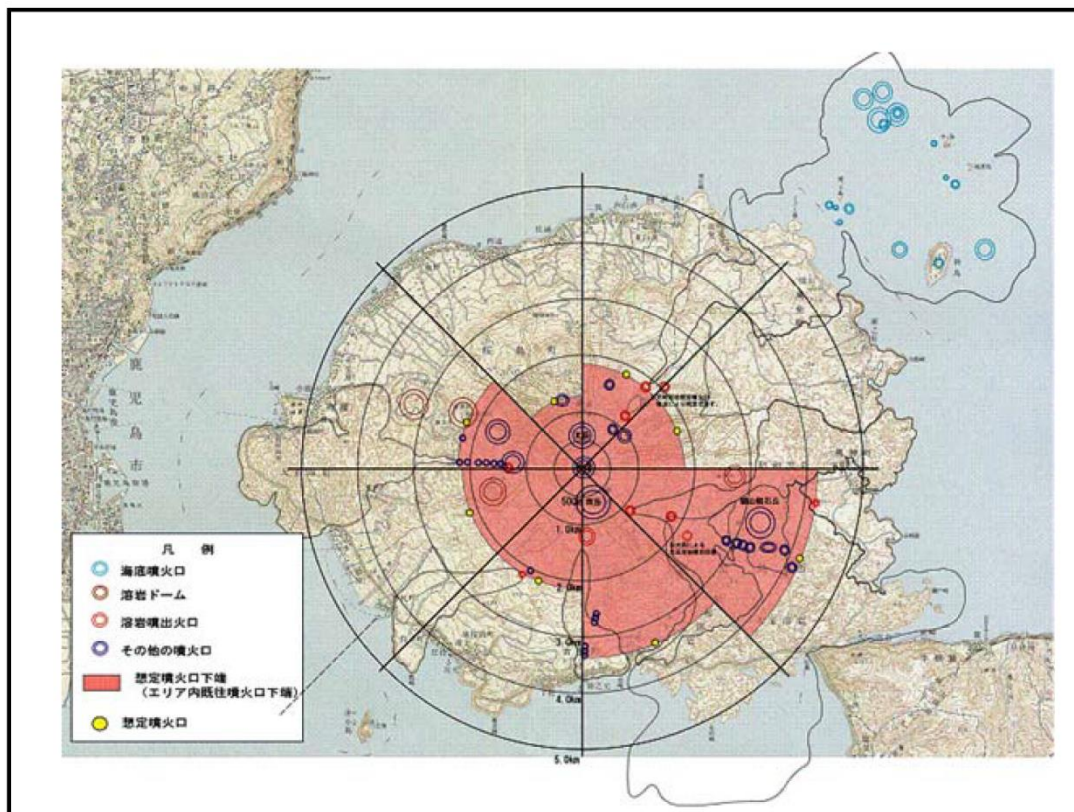


図 1-2 山腹噴火の想定火口域（朱塗りの領域。桜島火山災害予測区域図集（H17.11 鹿児島県、大隅河川国道事務所）より引用）

3) 噴火様式の区分の基準

桜島周辺の居住地域の状況により、噴火区分と噴火した際に人命や家屋・施設等に影響を受ける範囲は表1のように分類される。

表1 噴火様式の区分と影響範囲

噴火様式	区分	火口からの距離	影響範囲	家屋・施設等	噴出物の種類
噴火	小	2.4km 以内	南岳山頂から山腹 (南岳山頂火口及び昭和火口から 2.0km 以内は常時 立入禁止区域)	なし	大きな噴石 小さな噴石 火砕流
	中	2.4km を超え 3.5km 以内 (3.5km を超える 可能性もある)	南岳山頂から山腹 及び山麓の一部	人家、公共施設 (宿泊施設含む)、道路、港など	大きな噴石 小さな噴石 火砕流
大きな噴石 小さな噴石 火砕流 溶岩流					
溶岩流出を 伴う噴火					
巨大な噴煙 柱を形成する噴火で溶 岩流を流出	大	約 3.5km 以遠まで	桜島島内全域 及び桜島島外	桜島島内ほぼ全 域及び薩摩半 島、大隅半島な ど県内各地、一 部は県外にも影 響	大きな噴石 小さな噴石 火砕流 溶岩流

※ 1955 年以降の南岳山頂火口噴火及び 2006 年以降の昭和火口の噴火で見られた現象から記述

- ・「大きな噴石」とは「概ね 20～30cm 以上の、風の影響をほとんど受けずに弾道を描いて飛散する噴石」のことであり、「小さな噴石」とはそれより小さく「直径数 cm 程度の、風の影響を受けて遠方まで流されて降る噴石」のことである。小さな噴石は、風に乗って警戒が必要な範囲を超えて広範囲に到達することがある。

なお、現在も噴火活動がみられる南岳山頂火口及び昭和火口においては、気象庁では爆発の基準をそれぞれ次のように定めている。

・南岳山頂火口の爆発

南岳山頂火口において噴火（噴煙量、噴煙の高さを問わない）が発生し、①②の条件を共に満たす場合には、これを爆発とする。

①爆発地震が観測されること。

②以下の、いずれかを満たすこと。

A. 鹿児島地方気象台で爆発音を観測した場合

B. 鹿児島地方気象台で体感空振を観測した場合

C. 鹿児島地方気象台の遠望観測（目視または監視カメラ）で大きな噴石の

火口外への飛散を観測した場合

D. 東郡元の空振計で 3 Pa 以上、または島内の横山、瀬戸のいずれかの空振計で 10Pa 以上を観測した場合(あみだ川の空振計は用いない)

・昭和火口の爆発

昭和火口において噴火（噴煙量、噴煙の高さを問わない）が発生し、①②の条件を共に満たす場合には、これを爆発とする。

①爆発地震が観測されること。

②以下の、いずれかを満たすこと

A. 鹿児島地方気象台の遠望観測（監視カメラ）で、水平距離 500m以上の大きな噴石の飛散を観測した場合

B. 島内の横山、瀬戸、あみだ川のいずれかの空振計で 10Pa 以上を観測した場合

ただし、噴煙に特に変化が見られない場合には爆発としない。

また、爆発に加え、次のような基準で「噴火」を記録している。

- ・噴煙量階級* 3（中量）以上の火山灰を含む有色噴煙を伴う噴火
- ・噴煙が確認できない場合、瀬戸地震計の速度水平動成分で $10 \mu \text{ m/s}$ 以上の振幅が 90 秒以上継続する火山性微動（明瞭な空振を伴う）

ごく小規模な噴火は「噴火に関する火山観測報」で通報する対象から除いており、火山情報等で示す噴火回数にも含めていない。

* 気象庁では噴煙量を噴煙の高さと幅から 1～6 の階級に分けて観測している。噴煙量階級 3（中量）以上の噴煙は、噴煙の幅にもよるが、高さが概ね 1,000m以上の噴煙に相当する。

噴火の一形態を爆発としていることから、ブルカノ式噴火がみられる間は、噴火回数のほうが爆発回数よりも多くなることがほとんどである。なお、非爆発的な噴火は、天候によっては監視カメラによる噴煙量の測定が困難となるため、記録されないことがある。

2 火山活動の時間的な推移

噴火警戒レベルの設定にあたっては、過去の噴火活動を参考に、想定される現象をもとにしている。桜島では、過去の噴火及びそれらの観測事例が豊富であるため、それをレベルの判定の参考としている。主なものを以下に示す。

大正噴火（1914年）など過去の大規模噴火においては、大正噴火では噴火発生の約1ヶ月前から井戸水の枯渇がみられ、安永と大正の噴火では、それぞれの噴火の3～4時間前には海岸で熱湯噴出や井戸が沸騰したとの記録がある。井口ほか（2019）によると、地下水の濁りは噴火に先行する地盤の隆起に、熱湯噴出はマグマ貫入に伴う地下水の間隙水圧の増加による地下水位の上昇にそれぞれ起因すると考えられる。また、地震計が整備された大正噴火の記録をみると、噴火の約30時間前から火山性地震（体を感じる地震を含む）が急増している（図6）。また、井村（1998）によると、安永噴火に前駆する体を感じる地震は噴火前日の夕方から始まり、20～21時頃から頻発したとされており、地震の急増が噴火の約30時間前から始まったことになる。こうした地震は、桜島直下浅部へのマグマ貫入に伴う地殻変動によるひずみの解消過程で発生していると考えられる。

噴出物量にして1桁程度規模の小さい昭和噴火（1946年）では、有感地震や熱湯噴出などの顕著な前駆現象は見られていないが、1～2ヶ月前から断続的に微動が観測され、前日からは連続微動が記録されている。現在の観測体制では、これらの前駆現象に加えて、GNSS・傾斜計・伸縮計などにより地盤変動が捉えられる可能性がある。

南岳山頂火口においては、噴火活動の活発化に前駆してA型地震^{*1}の発生、BH型地震^{*2}の多発、BL型地震^{*3}の群発、調和型の地震及び微動の発生がしばしばみられた（石原・井口（1989）等）。また、2006年から始まった昭和火口の最初の噴火活動開始前に、昭和火口付近の噴気・地熱の異常がみられた。南岳山頂火口及び昭和火口の個々のブルカノ式噴火に数十分～数日程度前駆して山体膨張を示す傾斜及びひずみの変化が観測されている（Ishihara(1990)、井口ほか(2010)）。

さらに、近年の事例として、2015年8月15日には、A型地震の頻発と同時に急激な地殻変動がみられたが、短時間で終息し、結果的に噴火には至らなかったことがある（図5）。

桜島のマグマ供給系としては、始良カルデラ深部の深さ10km付近に存在すると考えられる深部マグマだまりから、桜島島内やや深部のマグマだまりを経て南岳直下へと蓄積・噴出する経路が考えられている（図2、堀田（2019））。井口ほか（2019）では、桜島の噴火規模と様式に関する噴火事象の経験的分岐論理を示しており、桜島山体へのマグマ貫入速度とマグマが上昇する火道（既存の火道系を使用するか、新たな火道を形成するか）が噴火事象分岐論理を構築する上で有用なパラメータとなり得ることが示されている（図3上段）。レベル判定基準を検討する上で、特にレベル4、5については噴火場所とマグマ貫入速度についても考慮し、現在の観測網で観測され得る条件を検討している（図3下段）。

- ※1 A型地震：火山性地震のうち、P波やS波の相が明瞭で比較的周期の短い地震で、一般的に起こる地震と同様、応力集中による地殻の破壊によって発生していると考えられるが、火山活動に直接関係する発生原因として、マグマの貫入に伴う火道周辺の岩石破壊などの例がある。
- ※2 BH型地震：火山性地震のうち、相が不明瞭なB型地震の中で、比較的周期が短い（5～8Hz程度）地震。火道内の流体の移動やマグマの発泡などにより発生すると考えられる。
BH型地震の多発時には、顕著な噴火現象がみられず地盤の隆起・膨張が観測されることから、火道内の圧力が増加しつつある状態と考えられる。
- ※3 BL型地震：B型地震の中で、BH型地震に比べ周期が長い（1～3Hz程度）地震。
BL型地震の群発時は、噴煙・噴石の放出がみられ、地盤の沈降・収縮が観測されることから、火道内の圧力が減少していると考えられる。

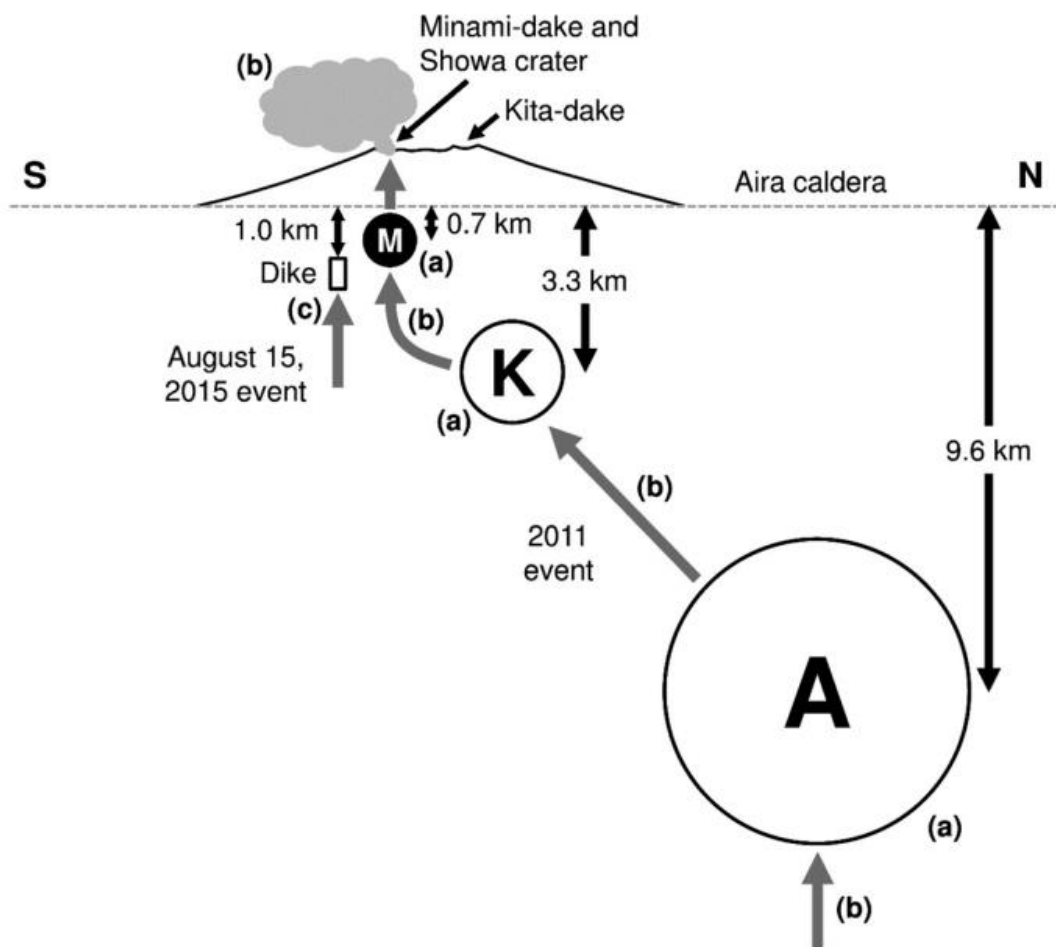
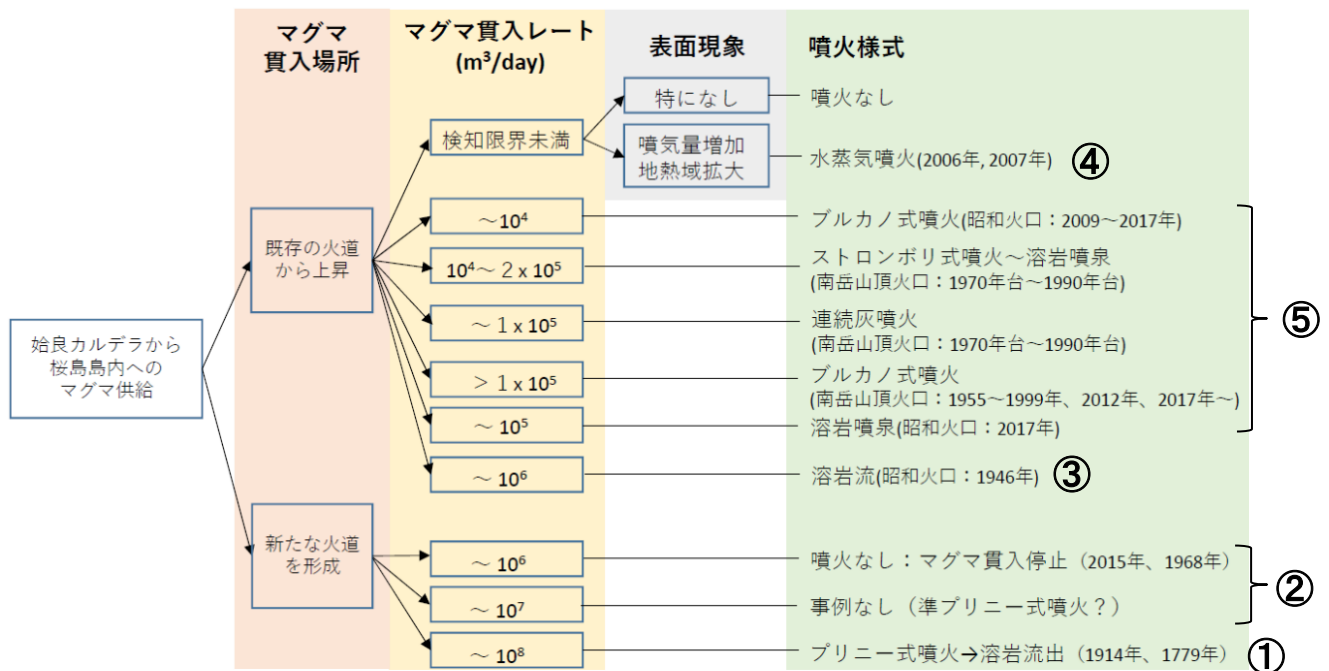


図2 桜島 地殻変動データから推測されるマグマ供給系（堀田（2019））
 A：始良カルデラ深部、K：北岳付近やや深部、M：南岳直下に存在すると推測されるマグマだまりとマグマ供給ルート、及び2015年8月15日のマグマ貫入の位置（Dike）を示す。



シナリオ	概要	噴火区分	マグマ貫入場所、貫入レート (上図) との対応
ケース A-1	山腹における大規模噴火	大噴火	①
ケース A-2	山腹における大規模噴火+海底噴火	大噴火	①
ケース B-1	山腹における規模のやや大きな噴火 →溶岩流出	大噴火	②
ケース B-2	顕著な地殻変動→噴火なし	-	(②、③)
ケース C	既存火口におけるマグマ噴火→溶岩流出	中噴火	③
ケース D	南岳山頂火口域に新たな火口形成 →マグマ噴火への移行	小～中噴火	④→⑤
ケース E	既存火口におけるブルカノ式噴火の 更なる活発化	中噴火	⑤

図3 桜島 マグマ貫入速度による噴火事象分岐 (井口ほか (2019) を基に作成)

3 噴火警戒レベルの区分け

1955年以降の桜島の噴火は、南岳山頂火口もしくは昭和火口において発生している。短い静穏期はあるものの、基本的に活発な噴火活動が継続しており、噴火活動が活発化すれば、噴火（爆発）に伴う大きな噴石や火砕流が居住地に近いところまで達することがある。また、長期にわたり始良カルデラ地下深部へのマグマの供給・蓄積が継続している現状では、短期的な噴火活動の静穏化により、噴火警戒レベルを下げるのは適当ではない。

このため桜島では、通常噴火警戒レベル3（入山規制：警戒が必要な範囲はそれぞれの火口から概ね2km）とし、常時それぞれの火口から概ね2km以内は立ち入り禁止となっている。さらに噴火活動が活発化し、居住地域に大きな噴石や火砕流が達するおそれがある場合、あるいは既に達した場合は、レベル3をレベル4（高齢者等避難）、レベル5（避難）とする（図4-1）。

この他、大正噴火等の大規模噴火に前駆したような顕著な地殻変動を伴う地震活動の活発化があった場合には、その規模や推移に応じてレベル4（高齢者等避難）またはレベル5（避難）とし、警戒が必要な範囲を、山腹の想定火口域を含む南岳山頂火口及び昭和火口から3km以内（活動がさらに活発化するなど、必要に応じ7km以内：桜島全島及び垂水市の一部）に拡大することとしている（図4-2）。また、昭和噴火（1946年）のような既存火口からの溶岩の流出があった場合、溶岩流の流下状況に応じ、居住地域への影響を考慮した上で、レベル4（高齢者等避難）、レベル5（避難）とする。

①レベル1（活火山であることに留意）

火山活動は静穏で、ほとんど火口内だけに影響が限定される噴出だけが想定される状態。ただし、前述のように、桜島の近年の活動では、噴火のおそれがない状態（レベル1）になったことはなく、現時点では、実質的には運用していない。

②レベル2（火口周辺規制）

南岳山頂火口及び昭和火口の噴火活動が比較的静穏な状態。南岳山頂火口もしくは昭和火口から1km以内に影響する噴火の可能性はある。桜島は長期間にわたり噴火・爆発を繰り返していること、短期間の静穏期にも始良カルデラ地下深部へのマグマの供給・蓄積が継続していることから、現時点では、実質的には運用していない。

③レベル3（入山規制）

南岳山頂火口もしくは昭和火口の噴火活動が活発な状態。始良カルデラ地下深部へのマグマの供給・蓄積が継続。南岳山頂火口もしくは昭和火口から2km以内に影響する噴火の可能性はある。大きな噴石や火砕流の到達距離が伸びた場合は、レベル3を維持したままで警戒が必要な範囲を居住地域に達しない範囲（南岳山頂火口及び昭和火口から2.4km以内）まで広げることがある。

④レベル4（高齢者等避難）～5（避難）

南岳山頂火口もしくは昭和火口の噴火活動において、現在みられているブルカノ式噴火活動の更なる活発化がみられ、大きな噴石や火砕流の到達距離が伸びて、居住地域

に達する可能性がある場合はレベル4、達した場合はレベル5とする。

その他、体に感じる地震の多発を伴う顕著な地殻変動があり、山腹において居住地域に影響するような規模の大きな噴火の発生が予想または切迫と考えられる、もしくは山腹における噴火が発生した場合、その規模やその推移に応じてレベル4（高齢者等避難）またはレベル5（避難）とし、警戒が必要な範囲を南岳山頂火口及び昭和火口から必要に応じ7 km 以内（桜島全島及び垂水市の一部、状況によりそれ以上）に拡大する。火口外への溶岩流出が始まり、溶岩流が居住地域に達する可能性がある場合も同様とする。

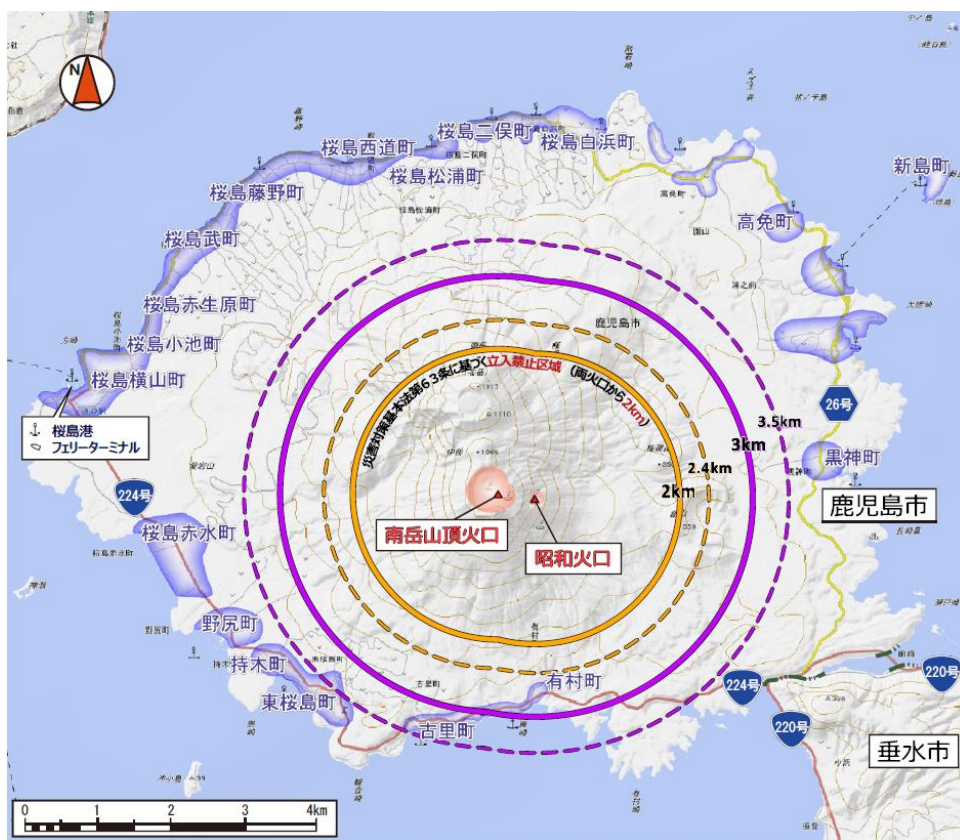


図 4-1 南岳山頂火口及び昭和火口からの噴火時における大きな噴石による影響範囲図
※通常の噴火時は南岳山頂火口及び昭和火口からそれぞれ2 km 以内、
ブルカノ式噴火の活発化時には2 km を超えて最大でそれぞれ3.5 km 以内に達する

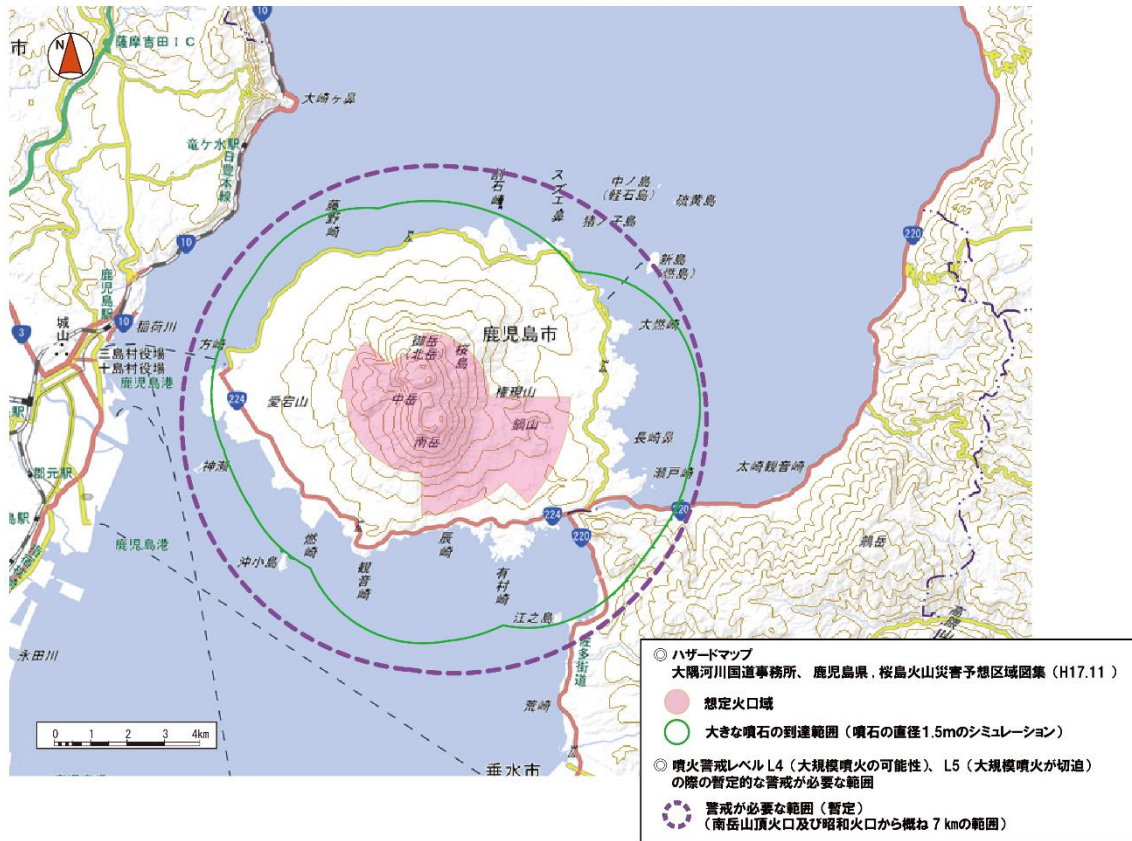


図 4-2 桜島 南岳山頂火口及び昭和火口から 7 km の範囲（桜島全島及び垂水市の一部）

4 噴火警戒レベルの判定基準とその考え方

【レベル 3】（警戒が必要な範囲は火口から概ね 2 km まで）

南岳山頂火口もしくは昭和火口の活発な噴火活動が継続している場合。または、始良カルデラ地下深部へのマグマの供給・蓄積が継続している場合。

【レベル 3】（警戒が必要な範囲を火口から概ね 2.4km に拡大）

レベル 3 の警戒が必要な範囲は、火口から約 2 km の範囲を原則とする。但し、大きな噴石や火砕流の到達距離が伸びた場合、またはその可能性がある場合は、警戒が必要な範囲を居住地域に達しない範囲（火口から概ね 2.4km）に拡大する。

《判定基準》

レベル 3 の段階で、次のいずれかの現象が観測された場合、レベルは 3 に据え置いたまま、警戒が必要な範囲を拡大する噴火警報を発表する。

【火口から概ね 2 km を超え 2.4km まで影響を及ぼす噴火の発生】

- ・ 大きな噴石を火口から 2 km を超え 2.4km 以内に飛散させる噴火が発生

【火口から概ね 2 km を超え 2.4km まで影響を及ぼす噴火の可能性】

- ・ 大きな噴石を火口から 2 km 近くまで飛散させる噴火が発生

- ・火砕流の流下が火口から概ね 1.5km を超え、居住地域への接近が予想される場合

《引下げ基準：警戒が必要な範囲を火口から 2 km 以内に縮小する基準》

大きな噴石や火砕流が当該距離に影響する噴火が 3 日間発生せず、さらなる活動の活発化が見られない場合、レベル 3 のまま警戒が必要な範囲を火口から概ね 2 km までとする。

《解説》

大きな噴石が火口から 2 km を超え 2.4km 以内に飛散させた場合については、噴火警戒レベル 3 を切り替え、警戒が必要な範囲を南岳山頂火口及び昭和火口から概ね 2.4km の居住地域近くまで拡大する。

また、大きな噴石が火口から 2 km 付近に達した場合についても、その後居住地域付近に影響を及ぼす噴火が発生する可能性を考え、警戒が必要な範囲を南岳山頂火口及び昭和火口から概ね 2.4km の居住地域近くまで拡大する。近年の昭和火口の爆発では、大きな噴石の飛散は火口から 2 km 以内にとどまっているが、南岳山頂火口の爆発では過去に 2 km を超えて大きな噴石が飛散したこともあり、今後、昭和火口も含めて大きな噴石が火口から 2 km を超えて飛散する可能性は否定できない。そのため、爆発の発生に伴い大きな噴石が火口から 2 km 付近に達した場合は、念のため警戒が必要な範囲を拡大することとしている。

これらの場合において、3 日間同様の噴火が発生せず、山体の再隆起・膨張を示す地殻変動の観測等更なる活動の活発化が見られない場合は、警戒が必要な範囲をそれ以前の状態まで縮小する。

火砕流が火口から概ね 1.5km を超えてなお勢いを保って流下し、火口の最寄りにある居住地域への接近が予想される場合は、大きな噴石の考え方と同様、その危険性を考慮して、警戒が必要な範囲を拡大、場合によってはレベルをさらに引き上げることとしている。

なお、桜島の溶岩流の場合は流下速度が遅いため、溶岩の火口外への流出が始まった時点ではレベル 3 にとどめたままとする。

[レベル 4]

レベル 4（高齢者等避難）は、マグマの貫入等によりさらに大きな噴火（大規模噴火）が発生するおそれがある場合と、現在の南岳における噴火活動が活発化して、レベル 3 の警戒が必要な範囲（火口から約 2 km）を超えて大きな噴石や火砕流、溶岩流が到達、もしくは到達するおそれがある場合とに分かれる。レベル 3 の段階で、次のいずれかの現象が観測された場合に、レベル 4 に引き上げる。

【大規模噴火の可能性】

《引上げ基準》

- ・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）
- ・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。この場合は、火口から概ね3 km を警戒が必要な範囲とするが、顕著な地殻変動が継続する中で、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、南岳山頂火口及び昭和火口から概ね7 km 以内（桜島全島及び垂水市の一部）を警戒が必要な範囲とする

《引下げ基準》

- ・溶岩流の流下が居住地域到達前に停止し、居住地域に影響がないと判断された場合。
- ・噴火が発生せず、以下のいずれかが認められた場合。
 - ①地殻変動や地震活動が概ね停止・低下したと考えられる
 - ②地震活動が比較的低調で、かつ地殻変動源が深いと推定されるなど、直ちに噴火につながる可能性は低いと判断される

《解説》

溶岩流が居住地域付近に流下した場合、居住地域に達するまでの時間的猶予を考慮して、溶岩流が居住地域まで500mの距離に到達した場合にレベルを引き上げる。溶岩流の状況を見て居住地域に影響がないと判断すればレベルを引き下げる。

2015年8月15日には、A型地震の多発を伴う顕著な地殻変動（図5）が観測された。このときには、昭和火口直下の海面下約1kmに板状のマグマ貫入があったと推定された（Hotta et al., 2016）。また、それ以前に昭和火口で噴火活動が活発であり、たびたび火口の東側へ流下する火砕流が観測されていた。

このときと同様の地殻変動が観測された場合には、南岳山頂火口及び昭和火口から概ね3 km 以内（有村町及び古里町の一部）の範囲を警戒が必要な範囲として、レベル4に引き上げる。また、昭和火口で噴火活動が活発な中で、顕著な地殻変動が観測された場合には、昭和火口からの火砕流到達のおそれがある黒神町塩屋ヶ元地区を警戒範囲に追加する。多発する地震の震源や地盤変動源の位置から2015年の事例とは別の場所でマグマ貫入が起きたと判断される場合には、それを考慮して新たに警戒範囲を設定することもある。さらに、地震活動や地殻変動の状況によっては、レベル5に至る可能性もある。

その後、体に感じる程度の地震を含む活発な地震活動を伴いながらマグマ貫入がさらに継続、加速すれば、山腹噴火の可能性がより高まると考えられるため、さらに警戒が必要な範囲の拡大（南岳山頂火口及び昭和火口から概ね7 km 以内（桜島全島及び垂水市の一部））を検討する。

顕著な地殻変動や地震活動でレベルを4に引き上げた場合、その後噴火が発生せず地震活動や地殻変動が概ね停止した場合（指数関数的に変動が終息する傾向がみられる場

合など、余効変動と判断できる場合も停止とみなす)、または地殻変動レートの低下傾向が一定期間(地震回数の減少、地殻変動の鈍化傾向等が2週間程度)認められた場合にレベルを引き下げる。2015年8月15日の事例では、顕著な地殻変動がみられたのは半日程度で、その後指数関数的な変動の終息傾向がみられ、地震回数は減少した。変動開始から2日後の17日には地殻変動はほぼみられなくなり、この頃にはマグマ貫入は概ね停止したと考えられる。

また、大規模噴火に数ヶ月程度先行して、始良カルデラから桜島直下への多量のマグマの移動・蓄積がみられる可能性がある。井口ほか(2019)によると、大正噴火前に桜島島内でみられた井戸水の湧水・減水の状況から、噴火の1ヶ月程前には桜島島内で数十cm程度の隆起がみられていたと推察している。1913年7月には、有村において二酸化炭素の噴出に伴う遭難事故が発生している。これも山体膨張の影響と考え、このときから膨張が始まり、桜島北部の高免において50cm程度の隆起がみられていたとすると、地殻変動の球状圧力源を北岳付近の深さ6kmに仮定した場合、マグマ貫入レートとしては1日あたり 10^6m^3 近くに達した可能性がある。ただ、この期間においては、直ちに山腹噴火に至る可能性は低いと考えられるため、地殻変動が継続していたとしても、地震活動が比較的低調(桜島島内において体を感じる地震(マグニチュード2以上)は1日あたり数回以下)であり、かつ地殻変動が桜島付近のやや深い所(深さ5km程度以深)へのマグマ貫入現象によると判断できる場合、蓄積されているマグマの浅部への移動の兆候がみられないか状況を注視しつつ、噴火警戒レベルを3とする(この期間における桜島付近の地震活動の詳細は不明であるが、マグマがより浅部へ貫入・上昇する際には、非常に活発な地震活動を伴う前兆現象がみられる事が想定される)。

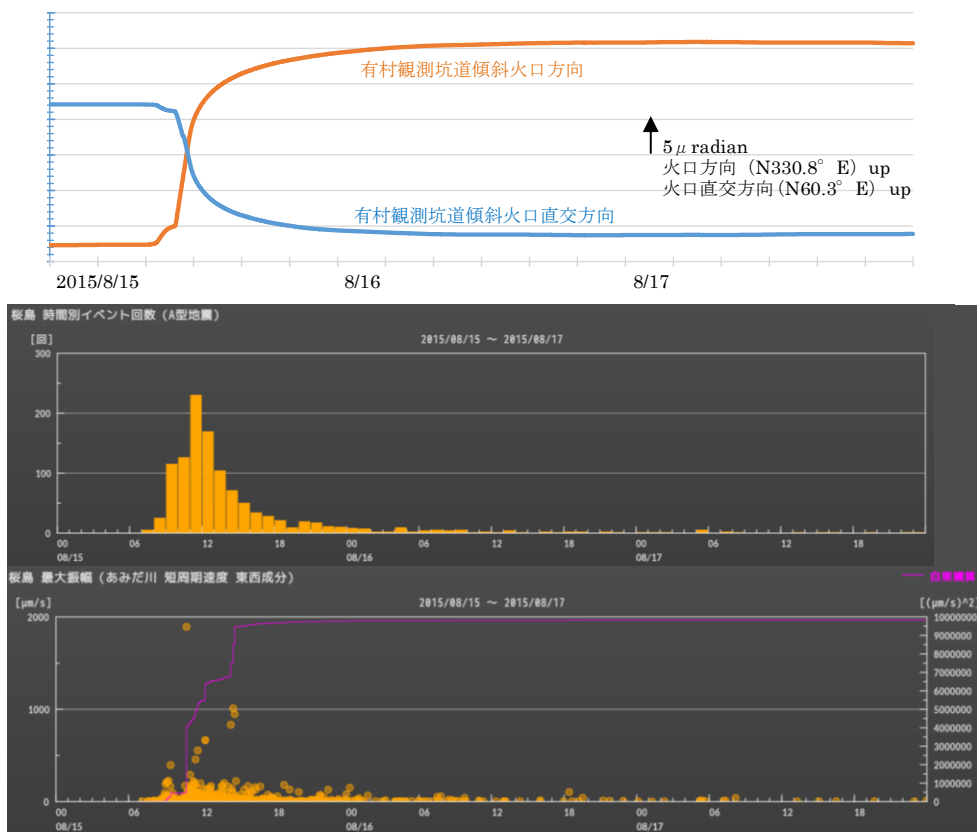


図5 桜島 2015年8月15日のマグマ貫入イベント時に観測された傾斜変動(上段:有村観測坑道傾斜計分値(潮汐補正済み)、A型地震回数(中段)、最大振幅とその二乗和(下段:あみだ川観測点速度東西動)

【これまでみられたような噴火(ブルカノ式噴火)の更なる活発化の可能性】

《引上げ基準》

- ・大きな噴石が2 km 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 3 km とする
- ・火口から約 2 km 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 2 km 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観測された場合

《引下げ基準》

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。

《解説》

大きな噴石や火砕流の到達距離は、あらかじめ予測することが困難なため、実際に発生した事象により判断する。大きな噴石が 24 時間以内に 2 km を超えて 2.4km 以内に 3 回

飛散した場合、次に発生する噴火においても同程度かそれ以上の飛散距離となり、居住地域に達する可能性があるため、レベルを4に引き上げて警戒が必要な範囲を火口から概ね3 km とする。火砕流の場合は、到達距離が火口から2 km を超えた場合は、火砕流の流下の可能性がある居住地域に対して、流下距離及び方向に応じて警戒が必要な範囲を設定する。気象条件等により火砕流の詳細な状況がわからない状況でも、噴煙や地殻変動データから、大きな噴火が発生してそのような火砕流が発生している、またはその可能性がある場合にレベルを引き上げて、警戒が必要な範囲を火口から概ね3 km とする。

大きな噴石の飛散や火砕流の発生もしくはその可能性によりレベルを4に引き上げた場合については、レベル3の警戒が必要な範囲の拡大時と同様に一定期間状況を見て、山体の再隆起・膨張を示す地殻変動等、活動にさらなる高まりがなければ、レベルを引き下げる。

[レベル5]

レベル5（避難）は、マグマの貫入等により山腹噴火（大規模噴火）が発生もしくは切迫している場合と、現在の活動が活発化して、レベル3の警戒が必要な範囲を超えて居住地域付近に大きな噴石や火砕流、溶岩流が到達、もしくは到達するおそれがある場合を想定する。次のいずれかの現象が観測された場合に、レベル5に引き上げる。

【大規模噴火が切迫】

《引上げ基準》

- ・ 山腹噴火が切迫

桜島島内において極めて急激な地殻変動（島内の傾斜計のいずれかで1日あたり100マイクロラジアン以上など）が観測され、極めて活発な地震活動（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、南岳山頂火口及び昭和火口から概ね7 km 以内（桜島全島及び垂水市の一部）を警戒が必要な範囲とする

- ・ 山腹噴火が発生

顕著な地殻変動やA型地震の多発がみられている中で、山腹において噴火が発生した場合は、その後噴火の規模や噴火発生場所がさらに拡大する可能性があると考え、南岳山頂火口及び昭和火口から概ね7 km 以内（桜島全島及び垂水市の一部）を警戒が必要な範囲とするが、その後の推移をみて更なる拡大を検討する

- ・ 火砕流が居住地域近く（居住地域まで数百 m）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

《引下げ基準》

噴火が発生しなかった場合は、観測データにより活動低下が2週間以上続けて認められた場合。

山腹噴火が発生した場合は、新たに形成された火口からの警戒が必要な範囲を定める必要がある。居住地域が溶岩流や火砕流により被災した場合は、当該現象が終息した後、関係機関等の対策を考慮しながら、必要に応じ、噴火警戒レベルの再設定を行う。

《解説》

大規模噴火に前駆する火山活動として、1日あたり $10^7\text{m}^3\sim 10^8\text{m}^3$ オーダーのマグマが桜島島内浅部へ貫入し、極めて急激な地殻変動（島内のいずれかの傾斜計で1日あたり100マイクロラジアン以上、島内のGNSSの水平変位で1m以上など）が観測される中で、大正噴火開始の30時間ほど前からみられたような極めて顕著な地震活動（図6）があれば、事前にレベル5に引き上げ、警戒が必要な範囲を南岳山頂火口及び昭和火口から概ね7km以内（桜島全島及び垂水市の一部）に拡大する。また、過去の大規模噴火では、噴火発生の数時間前には顕著な地表面温度の上昇、熱水の噴出、活動が休止状態にあった南岳山頂火口や山腹における新たな噴気の出現、海域での変色水等の表面現象がみられており、こうした現象についても引上げ判断の参考とする。

また、桜島島内において顕著な地殻変動が観測されている中で、山腹において噴火が発生した場合は、その後噴火発生場所や噴火の規模が拡大し、火砕流や大きな噴石により居住地域に影響を及ぼす可能性があるため、レベル5に引き上げ、警戒が必要な範囲を南岳山頂火口及び昭和火口から概ね7km以内（桜島全島及び垂水市の一部）に拡大する。

山腹において大規模な噴火が発生した場合、警戒が必要な範囲については、その後の噴火推移（新たに出現した火口の位置や噴火の状況など）を踏まえて適宜再設定を検討（噴火の状況によっては、警戒が必要な範囲を南岳山頂火口及び昭和火口から7kmより拡大することもあり得る）する。

噴火が発生しない場合、地震活動や地殻変動等の観測データに活動低下が認められ、一定期間を経過した場合には、レベルを引き下げるが、その際の警戒が必要な範囲については、地元関係機関の防災対応状況等も勘案し、判断することとする。

山腹における噴火が発生し、居住地域が溶岩流や火砕流により被災した場合は、それらの現象が終息した後も当該地域は避難が続くことになる。また、火口が居住地域に近い場所に形成された場合も、避難が続くことになる。そのような場合には、関係機関等の対策を考慮しながら、必要に応じ、噴火警戒レベルの再設定を行うこととする。その際は新たに形成された火口から3km、2kmと徐々に警戒が必要な範囲を狭めることとするが、その範囲内に居住地域があるときはレベル3へ引き下げない。

溶岩流については、居住地域に溶岩流が接近した場合にはレベル5とし、溶岩流の流下の危険が切迫している居住地域を警戒が必要な範囲とする。

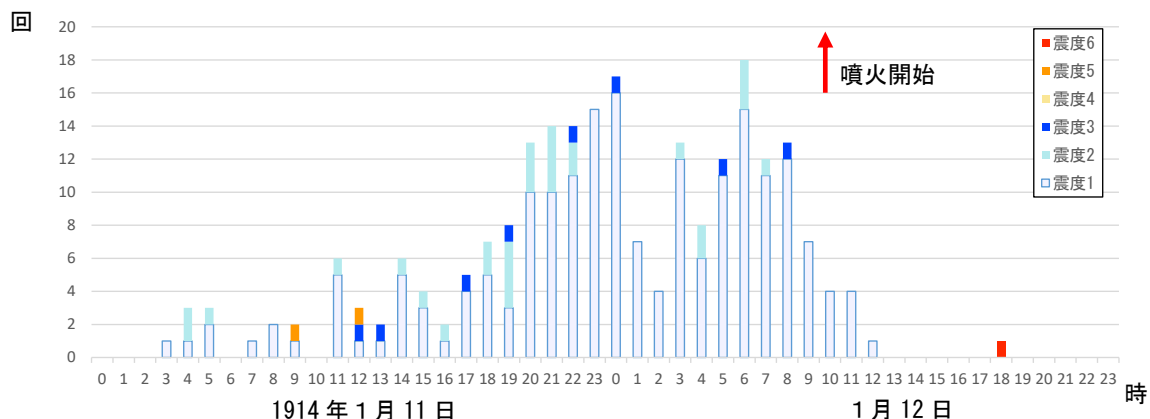


図6 桜島 大正噴火発生前後に鹿児島地方気象台において観測された、震度別地震回数 (回数は「鹿児島県気象年報」(1916)、震度はOmori (1920) による)

【これまでみられたような噴火（ブルカノ式噴火）の更なる活発化】

《引上げ基準》

- ・大きな噴石が火口から概ね 2.4km を超え 3 km 以内に飛散した場合、警戒が必要な範囲は概ね 3 km とする。火口から概ね 3 km 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
- ・大きな噴石が火口から 2 km を超えて 2.4km 以内に 24 時間以内に 4 回飛散した場合、警戒が必要な範囲は概ね 3 km とする
- ・火砕流が居住地近く（居住地まで数百 m）に到達

《引下げ基準》

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。

《解説》

桜島の場合、最も火口に近い居住地域が火口から約 2.5km の位置にある。そのため、現在の火山活動の延長線上で、大きな噴石がさらに遠方まで飛散し、火口から概ね 2.4km を超えて最も火口に近い居住地域に達した場合、あるいは異なる方位でもその距離まで達した場合はレベル5に引き上げ、警戒が必要な範囲を火口から概ね 3 km とする。

また、大きな噴石がさらに遠方の、火口から概ね 3 km を超えて飛散するなど、火山活動の状況によっては、警戒が必要な範囲を火口から概ね 3.5km まで拡大することがある。この事例としては、2020 年 6 月 4 日の南岳山頂火口の爆発により大きな噴石が火口の南西側に 3 km を超えて飛散した事例や、1986 年に南岳山頂火口の爆発で古里温泉に大きな噴石が直撃した事例等が相当する。なお、大きな噴石が火口から概ね 3.5km を超えてさらに遠方まで飛散した場合は、飛散距離に応じて警戒が必要な範囲を設定することとする。

大きな噴石が火口から 2.5km に達しない場合でも、2 km を超えて 2.4km 以内に 24 時間以内に 4 回以上飛散するような噴火活動は、1955 年以降の南岳における噴火活動ではみられたことはなく、ブルカノ式噴火の更なる活発化にあたると考えられる。その後火口から 2.5km を超えて火口に近い居住地域に達する可能性が高いと考えられるため、このような活動がみられた場合は、レベル 5 に引き上げ、警戒が必要な範囲を火口から概ね 3 km とする。

火砕流については、居住地域近く（居住地域まで数百 m）に到達した場合は、火砕流の流下の危険が切迫している居住地域を警戒が必要な範囲とする。

なお、これらの基準によるレベル 5 への引上げは、レベル 3 からレベル 4 を経ずに行われることもありうることに留意が必要である。

これらの基準によりレベルを 5 に引き上げた場合は、レベル 3 の警戒が必要な範囲の拡大時、またはレベル 4 への引上げ時の対応と同様に、3 日間程度状況を見て、活動にさらなる高まりがなければ、レベルを 3 に引き下げることとする。

なお、2020 年 6 月 4 日の事例のように、噴火の発生後時間が経過してから警戒が必要な範囲の外で大きな噴石が確認された場合は、以下の通りの対応とする。

1) 噴火時刻～概ね 3 日（72 時間）以内に噴石の飛散を確認した場合

大きな噴石が噴火後直ちに（噴火直後のカメラ監視や現地調査、発見者通報等）確認された場合だけでなく、噴火から概ね 3 日以内に聞き取り調査や発見者通報等により確認された場合には、レベルを 5 に引き上げる。

2) 噴火から 3 日以降（最長で噴火から 6 日以内）に噴石の飛散を確認した場合

大きな噴石を確認した時点で、山体膨張を示す地殻変動がみられている場合（噴火に伴う収縮・沈降量の 5 割を超える地殻変動がみられ、かつ 1986 年 11 月 23 日の噴火の事例のように、桜島島内の傾斜計及び伸縮計で 50 ナノラジアン及び 50 ナノストレイン以上の隆起・膨張を観測した場合）には、レベルを 5 に引き上げる。

レベルを引き上げた時点でみられていた地殻変動を概ね解消する噴火が発生し、そこから 3 日（72 時間）時点あるいはそれ以降におけるレベル引下げは、その間の火山活動の状況を評価し、再度同規模の噴火の可能性が認められない以下の条件を全て満たす場合、レベルを 3（警戒が必要な範囲は火口から 2 km）に引き下げる。

- ・火口から 2 km を超える大きな噴石の飛散が認められない
- ・噴火に伴う傾斜計及び伸縮計の沈降・収縮量の 5 割を超える再隆起・膨張がみられない
- ・傾斜計及び伸縮計で 50 ナノラジアン（50 ナノストレイン）以上の隆起・膨張がみられない

3 日経過した後も地盤変動を維持している場合は、さらに 3 日間様子を見て一旦レベルを引き下げる。その場合、火山ガス（二酸化硫黄）の放出量や空振も参考にす。レベルの引下げは、関係機関等の防災対応も考慮しながら行う。

以上で示した基準のほか、これまで観測されたことのないような観測データの変化があった場合や新たな観測データが得られて総合的に評価した上でレベルを判断することもある。

また、上記に示した基準は、過去のデータに基づき、桜島で想定される火山活動に基づいて定めている。火山活動が新たなステージになった場合など、火山活動の状況に応じて随時見直すこととする。

なお、レベルの引上げ基準に達しない程度の火山活動の高まりや変化が認められた場合には、「火山の状況に関する解説情報（臨時）」を発表することで、火山の活動状況や警戒事項をお知らせする。

5 今後検討すべき課題

以上示した判定基準は、現時点での知見や監視体制を踏まえたものであり、今後随時見直しをしていくこととする。令和5年度の改定では、令和4年度に改定された「火山防災対策を検討するための桜島の噴火シナリオ」の内容を反映させるため、大規模噴火（山腹噴火）発生時の影響範囲を「南岳山頂火口及び昭和火口から7 km」とより具体的に明示するとともに、桜島の噴火事象分岐論理（井口・他、2019）に基づいた噴火場所とマグマ貫入速度毎の現在の観測網で観測され得る条件の検討を行った。

今後も、以下の各課題に引き続き取り組み、基準の改善を進める必要がある。

- (1) 大規模噴火に至るレベル4及び5の判定基準については、火山防災協議会における大規模噴火時の避難計画等防災対応の検討の中で、より細かい数値基準を設定していく必要がある。特に、海底噴火については、現在のところ明確な基準がなく、今後の課題である。
- (2) マグマ供給による始良カルデラの地下深部の膨張は、観測開始以降継続していることから、現在は大規模噴火に向けた準備過程であると考えられている。現時点では、どのような観測データ及び時間経過により、始良カルデラへのマグマ供給の停止と桜島の長期静穏化を確認するかのも明確な基準は無いことから、今後蓄積される観測データや新たな知見に基づいて、関係機関の防災対応も考慮しながら、レベル2以下の運用も検討する必要がある。
- (3) 桜島における火山学の進展を踏まえて、その知見を判定基準に取り込む検討を続ける必要がある。

6 参考文献

- ①：日本活火山総覧（第4版）
- ②：気象庁資料（桜島関係資料集など）
- ③：石原和弘・井口正人（1989）火山体の変形,表面活動と火山性地震発生の関係（1）-微小地震の群発現象について-. 京都大学防災研究所年報, 32, 1-11.
- ④：Ishihara(1990) Pressure sources and induced ground deformation associated with explosive eruptions at an andesitic volcano: Sakurajima volcano, Japan. *Magma Transport and Storage*, John Wiley and Sons, 335-356.
- ⑤：井口正人・横尾亮彦・為栗健（2010）桜島昭和火口噴火の規模について.京大防災研究所年報,53B,233-240.
- ⑥：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巻第2号,pp33-51.
- ⑦：堀田耕平（2019）複合地盤変動に基づく桜島火山におけるマグマ蓄積移動過程の研究. 火山第64巻第3号、pp175-182.
- ⑧：井村隆介・奥野充・小林哲夫(1999)過去の噴火を知る－史料,14C年代,堆積物からみた桜島火山の安永噴火－,九州の火山－フィールドガイド日本の火山<5>,11-16.
- ⑨：Hotta, K., Iguchi, M. and Tameguri, T. (2016b) Rapid dike intrusion into Sakurajima volcano on August 15, 2015, as detected by multi-parameter ground deformation observations. *Earth Planets Space*, 68, 68.
- ⑩：火山防災対策を検討するための桜島の噴火シナリオ
<https://www.pref.kagoshima.jp/aj01/bosai/sonae/sonae/hunnkashinario/sakurajima.html>