

薩摩硫黄島の噴火警戒レベル判定基準とその解説

1. 想定する噴火の規模、様式と現象

鬼界カルデラでは 7,300 年前に大規模なアカホヤ噴火が発生し、現在のカルデラの輪郭が形成された。薩摩硫黄島は鬼界カルデラの北西端に出現した流紋岩質マグマによる成層火山であり、約 6,000 年前には火山島として出現し現在に至っている。4,000 年前～3,000 年前の間は噴火活動を休止したが、休止期以前を古期硫黄岳、休止期以降を新期硫黄岳と呼ぶ。硫黄岳の活動休止期間中に、硫黄岳の南西山麓では玄武岩質マグマの噴火が複数回発生し、小型成層火山である稲村岳が誕生した。

新期硫黄岳における最新のマグマ噴火は、歴史時代に相当する 500～600 年前(西暦 1400 年頃)に山頂付近の火口で発生し、軽石質の火砕流を発生させた。1934 年には薩摩硫黄島の東沖合で海底噴火が発生した。初期には多量の巨大軽石を湧出するだけであったが、年末には火砕丘が出現し、火山灰・火山ガスを噴出するようになった。1935 年には溶岩が海面上に出現し、1936 年には全体が溶岩島となった。

近年の活動としては、1900 年代後半から 2000 年代前半にかけて、硫黄岳火口で類質火山灰を噴出する小規模な水蒸気噴火が頻発した。硫黄島では少なくとも過去 1,000 年以上にわたり、高温の火山ガスが噴出していたことがわかっている。このような長期にわたり火山ガスが放出を続けるメカニズムについては、深部のマグマ溜まりからマグマが火道内を上昇して地表近くの浅い場所で脱ガスした後、火道内を沈降してマグマ溜まりに戻る“火道内マグマ対流プロセス”(図 3、図 4)によると考えられている(Kazahaya et al., 2002)。

有史以降の火山活動の規模と居住地域の位置に基づき、想定する噴火場所とその影響について、以下のとおり区分した。

① 噴火場所：硫黄岳火口、周辺海域

②-1 硫黄岳火口における噴火区分、主な噴出物、及び影響範囲

噴火区分	主な噴出物の種類	警戒が必要な範囲
ごく小	火山灰、小さな噴石、 <u>大きな噴石</u>	火口近傍（火口中心から概ね 0.5km 以内）
小	火山灰、小さな噴石、 <u>大きな噴石</u> 、 <u>火砕流</u>	火口中心から概ね 1 km 以内
中	火山灰、小さな噴石、 <u>大きな</u>	火口中心から概ね 2 km 以内

大	<u>噴石</u> 、 <u>火砕流</u> 、 <u>溶岩流</u>	火口から居住地まで
---	-------------------------------------	-----------

②-2 周辺海域における噴火様式、主な噴出物、及び影響範囲

発生場所	噴火様式	主な噴出物の種類	警戒が必要な範囲
居住地から離れた海域（居住地から概ね2 km 以遠）	マグマ水蒸気噴火、またはマグマ噴火	火山灰、小さな噴石、 <u>大きな噴石</u> 、 <u>溶岩流</u> 、 <u>火砕サージ</u>	噴火地点から概ね2 km 以内 ^{※1} （噴火規模の高まりによっては居住地まで）
居住地に近い海域（居住地から概ね2 km 以内）	マグマ水蒸気噴火、またはマグマ噴火	火山灰、小さな噴石、 <u>大きな噴石</u> 、 <u>溶岩流</u> 、 <u>火砕サージ</u>	噴火地点から概ね2 km 以内 ^{※1}

注：下線を引いた噴出物の到達距離により警戒が必要な範囲の設定を行う。

- ・噴火区分の表現は、火山学的な噴火の規模（噴出物量）とは異なり、大きな噴石、火砕流や溶岩流の到達する方向及び範囲（警戒が必要な範囲）を基準としている。
- ・「大きな噴石」とは、概ね20～30cm以上の、風の影響を受けずに弾道を描いて飛散するものであり、火山灰や小さな噴石は、風に乗って影響範囲を超えて広範囲に到達することがある。
- ・噴火警戒レベルは、噴火に伴って発生し、生命に危険を及ぼす火山現象（発生から短時間で火口周辺や居住地に到達し、避難までの時間的猶予がほとんどない現象、上表に下線で示した現象）の危険が及ぶ範囲をもとに設定している。

※1 「海域火山噴火の推進と表面現象について（東京大学地震研究所2015）」、及び第131回火山噴火予知連絡会資料によると、火砕サージが発生する水深は100m以浅とされている。火砕サージの影響範囲については、伊豆諸島6火山防災協議会では最大2 kmを想定する合意がなされている。薩摩硫黄島周辺の海底噴火もこの想定を参考に、居住地から概ね2 km内の浅い海域（水深約100m以浅）で噴火が発生した場合、噴火初期段階で居住地に影響が及ぶと想定する。なお、約100m以深における海底噴火は噴火初期段階では噴火地点の海面上に影響を与えないが、噴火の継続により水深が浅くなることを考慮し噴火地点から概ね2 kmを警戒範囲とする。また、居住地から概ね2 km以遠の海底噴火については、噴火初期段階で居住地に影響は及ばないが、噴火の規模が拡大し、居住地に影響が及ぶ可能性がある、または切迫している場合も想定する。

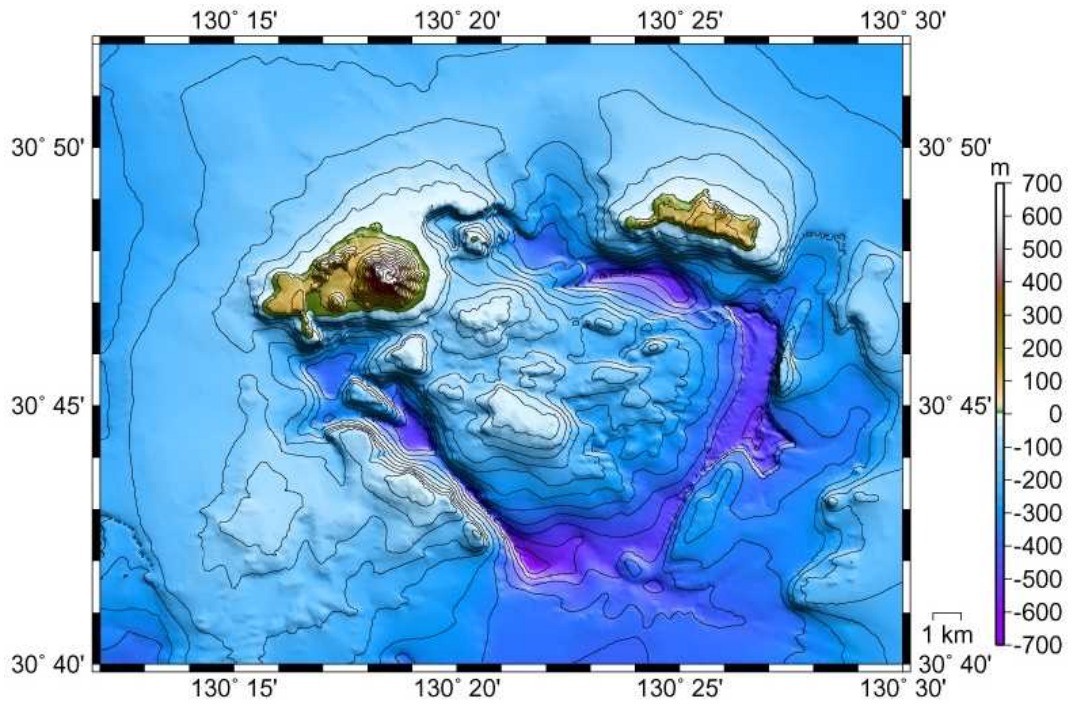
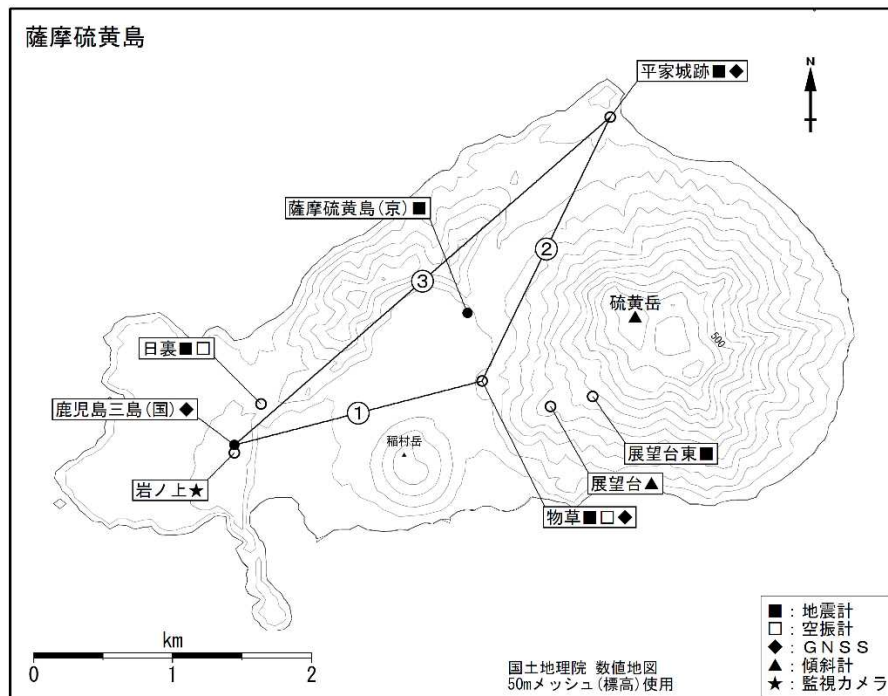


図1 薩摩硫黄島 海底地形図（出典：海上保安庁ホームページ）



小さな白丸 (○) は気象庁、小さな黒丸 (●) は気象庁以外の機関の観測点位置を示しています。
 (国): 国土地理院、(京): 京都大学

図2 薩摩硫黄島 観測点配置図

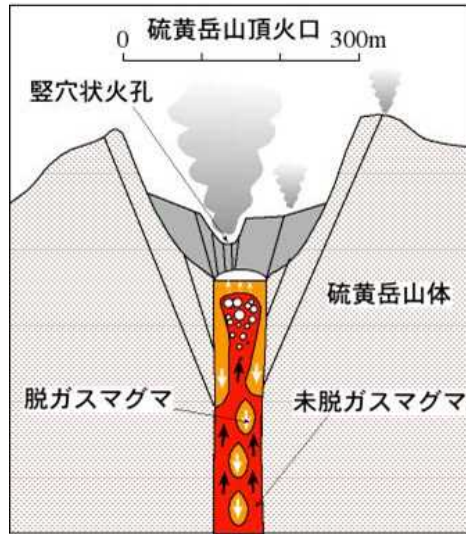


図3 薩摩硫黄島 火道内マグマ対流による脱ガスの模式図
(Kazahaya et al. (2002)の Fig. 4 を改変 産業技術総合研究所 HP より)

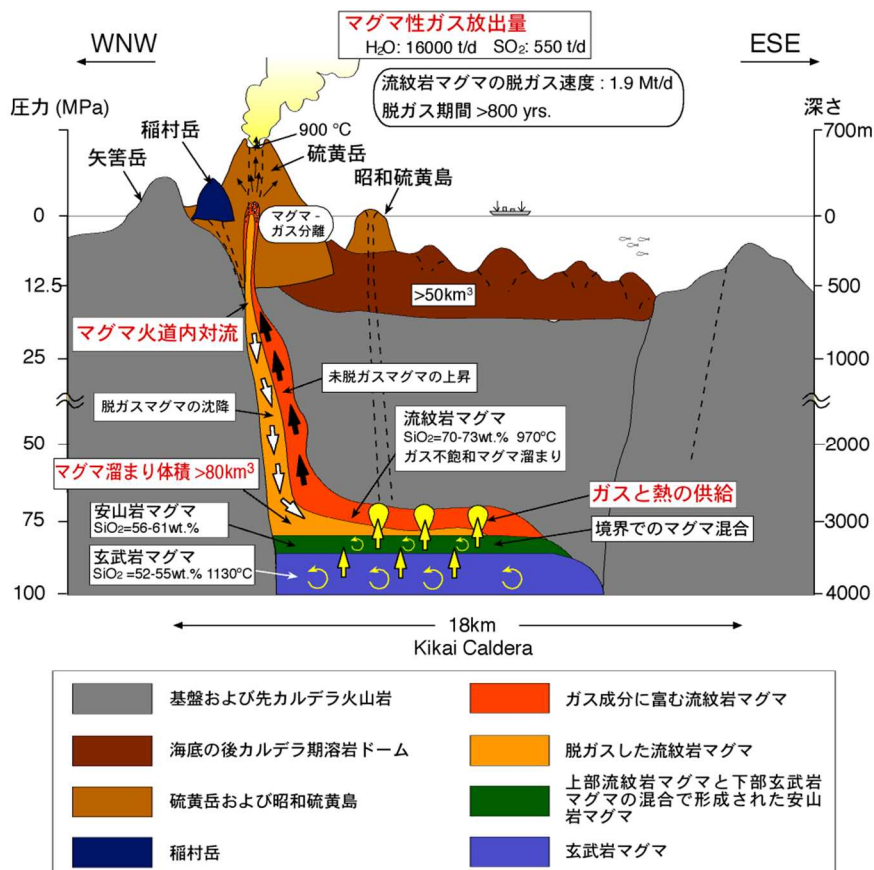


図4 薩摩硫黄島 現在のマグマ溜まりのモデル
(Kazahaya et al. (2002)の Fig. 5 を改変 産業技術総合研究所 HP より)

2. 火山活動の時間的な推移

薩摩硫黄島における時間的な推移がわかっている規模の大きな噴火として、1934年9月の溶岩流出を伴う海底噴火がある。海底噴火の約1週間前から薩摩硫黄島で体を感じる程度の地震が繰り返し発生しており、次第に震源が浅くなった後に噴火に至ったと考えられている。多量のマグマの上昇に伴い規模の大きな地震が発生していたとみられる。

3. 噴火警戒レベルの区分け

噴火警戒レベルは、硫黄岳火口における噴火区分に対応するよう以下のとおりレベル1～5に区分けした。なお、海底噴火は噴火地点が想定できないことから、レベル1～5に対応する区分けは難しい。そこで、海底噴火の発生により居住地域に直ちに影響が及ぶ場合はレベル5、影響が及ぶ可能性がある場合は4とし、直ちに居住地域に影響を与えない海域の海底噴火はレベル2に区分けする。

① レベル1（活火山であることに留意）

静穏な火山活動。状況により火口内で火山灰や泥の噴出等が発生する可能性がある。若干の火山性地震や、継続時間の短く振幅の小さな火山性微動が発生する可能性がある。

② レベル2（火口周辺規制：火口中心～概ね0.5km）

火口近傍に影響する程度の、噴火区分ごく小の噴火（ごく小噴火）が発生する可能性がある。高感度の監視カメラで見える微弱な火映の観測や、地震活動や噴煙活動の高まりなどがみられる状態。居住地域から概ね2km以遠の海域で噴火が発生し、居住地域に影響を与えない火山活動が続く状態。

③ レベル2（火口周辺規制：火口中心～概ね1km）

火口中心から概ね1km以内に影響する、大きな噴石や火砕流（居住地域方向への流下を除く）を伴う噴火区分小の噴火（小噴火）が発生、または発生する可能性がある。肉眼で認められる火映の観測や、ごく小噴火が継続または繰り返し発生、継続時間の長い火山性微動または振幅の大きな火山性微動の発生、傾斜計等で山体浅部の膨張を示す地殻変動を観測するなど火山活動が高まった状態。

④ レベル3（入山規制：火口中心～概ね2km）

火口中心から1kmを超え概ね2km以内に影響する、大きな噴石や火砕流（居住地域方向への流下を除く）、溶岩流を伴う噴火区分中の噴火（中噴火）が発生、または発生する可能性がある。また、火口中心から居住地域方向へ概ね1km以内に流下する火砕流や、高周波地震の多発や火山性微動の振幅増大、火口直下の増圧を示す急激な地殻変動、火山ガス（二酸化硫黄）の急増など活発な火山活動がみられる状態。

⑤ レベル4（高齢者等避難）～5（避難）

レベル3の段階から、噴火活動がさらに活発化、あるいは活発化すると想定される異常現象が観測される他、火口中心から居住地域方向へ概ね2km以内に流下する火砕流

や、噴火区分大の噴火が発生し、居住地域まで重大な影響が及ぶ事が予想、もしくは切迫していると考えられる状態。また、居住地域から概ね2 km 以内の海域で噴火の兆候や噴火が発生するなど、居住地域まで重大な影響が及ぶ事が予想、もしくは切迫していると考えられる状態。

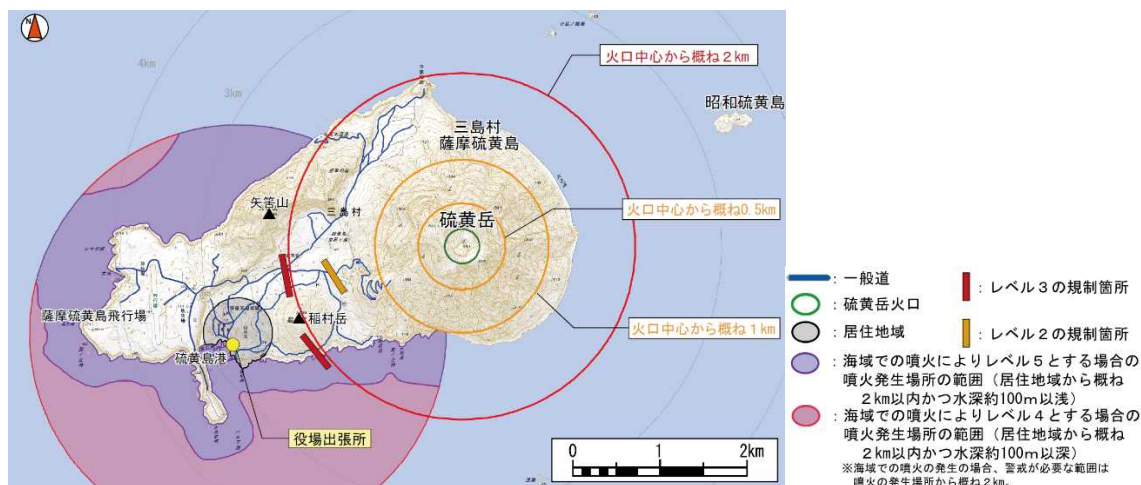


図5 薩摩硫黄島 硫黄岳火口からの距離と居住地域
(噴火警戒レベルリーフレットより)

4. 噴火警戒レベルの判定基準とその考え方

【レベル1】

(火山活動は静穏)

- ・ 火口の熱活動は低調
- ・ 火山性地震は少ない (数回/日程度で推移)
- ・ 継続時間が短く振幅の小さな火山性微動の発生

(火山活動に若干の高まりや異常が認められる)

長期間火映が観測されない中で再び火映がみられ始めるような、火口の熱活動が高まりつつある状況や、わずかに火山性地震の増加傾向がみられる状況。また、状況により火山灰や小さな噴石が火口近傍に噴出する程度のごく小噴火が発生する可能性がある。

(解説)

ごく小噴火は観測されず、地震活動及び噴煙活動が低調かつその他の観測データにも活動の高まりがみられない場合、火山活動が静穏であると判断しレベル1とする。

なお、レベル1の状況であっても、活火山であることから突発的に火口内で火山灰や泥の噴出等が発生する可能性があることに留意する必要がある。

【レベル2（火口周辺規制：火口中心～概ね0.5km）】

（判定基準）

レベル1の段階で、次の①～⑥のうちのいずれかの現象が観測された場合、レベル2（火口周辺規制：火口中心～概ね0.5km）に引き上げる。

＜火口中心から概ね0.5km以内に影響を及ぼす噴火の可能性＞

- ① 高感度の監視カメラで見える微弱な火映を時々観測
- ② 中長期間における噴気地帯の地熱域の拡大や活発な噴煙活動
- ③ 火口浅部の火山性地震の増加（地震回数が概ね50回以上/24時間）
- ④ 継続時間が100秒を超える火山性微動の発生
- ⑤ 中長期間における火口浅部の地震活動の高まり（地震回数が概ね200回以上/月が3ヶ月継続）
- ⑥ 火口周辺に降灰する程度の微小な噴火の発生

（引下げ基準）

上記のレベル2（火口周辺規制：火口中心～概ね0.5km）の判定基準に達しない活動が概ね6ヶ月続いたときを基本とする。ただし、短期的な地震の増加や火山性微動の発生でレベルを引き上げた場合は基準を概ね1ヶ月下回った段階でレベルを1に引き下げる。

（解説：判定基準）

以下、判定基準の①～⑥について解説する。

＜火口中心から概ね0.5km以内に影響を及ぼす噴火の可能性＞

- ①：2019年11月及び2020年4月に、硫黄岳火口で噴火区分ごく小の噴火が発生した。噴火前に火山性地震の急増は認められなかったが、噴火の前後で高感度の監視カメラで見える程度の火映を継続的に観測していた。このような火映が観測されるような状況においては、火口の熱活動が高まっており、ごく小噴火が発生する可能性があると考えられることから、火映の観測をレベル2（火口周辺規制：火口中心～約0.5km）引上げの指標とする。引上げの基準としては、2ヶ月の間で山頂部の遠望観測が可能な日に火映を時々観測した場合とする。
- ②：中長期的にみて、これまで観測されなかったような高さまで噴煙が上昇する状況が継続、または噴気地帯の地熱域に拡大傾向がみられれば、火口の熱活動や噴煙活動に高まりがみられると判断してレベルを引き上げる。
- ③：2013年6月3日のごく小噴火の前に、火口浅部を震源とする火山性地震が50回/日を超えて地震活動に高まりがみられたことから、同程度の地震の増加を観測した場合、レベルを引き上げる。
- ④：噴火活動が低調化した2006年以降に観測された火山性微動は、主に継続時間が1分未満のものである。そこで、継続時間が100秒を超える火山性微動（展望台東観測点で

5 $\mu\text{m/s}$ 以上) が発生すれば、火山活動に高まりがみられると判断してレベルを引き上げる。なお、展望台東観測点が障害時の場合、他観測点で上記基準に相当する火山性微動を観測すれば判定基準を満たすとする。

⑤: 2019年11月のごく小噴火の発生前に火山性地震の急増はみられなかったが、2018年6月頃から2019年10月頃にかけては、継続的に地震の月回数が200回を超えるなど、中長期的に地震活動にわずかな高まりがみられていた。同程度(概ね200回以上/月が3ヶ月継続)の高まりがみられれば、ごく小噴火が発生する可能性があるとして判断してレベルを引き上げる。

⑥: 火口周辺に降灰する程度の微小な噴火が発生した場合、引き続き火口近傍に影響するような噴火が発生する可能性があるとして、レベルを引き上げる。

(解説: 引下げ基準)

火映の観測、地熱域の拡大や噴煙活動などは火山の熱活動に関する表面現象であり、その活動状況の低下を短期間で判断することはできない。活動の静穏化と判断するには数か月は要すると考えられることから、判定基準に達しない活動が概ね6ヶ月継続した場合にレベルを1に引き下げる。ただし、短期的な地震の増加もしくは火山性微動の発生でレベルを引き上げた場合は、基準を下回る状態が概ね1ヶ月継続したところでレベルを1に引き下げる。

【レベル2 (火口周辺規制)】(海底噴火)

(判定基準)

レベル1の段階で、薩摩硫黄島の居住地域から離れた海域で次の現象が観測された場合、レベル2に引き上げる。警戒が必要な範囲は噴火地点から概ね2kmとする。

<島の居住地域から離れた海域における現象>

- ・居住地域から概ね2km以遠の海域における噴火

(引下げ基準)

火山活動の低下が続いたと認められた場合にはレベルを1に引き下げる。

(解説: 判定基準)

海底噴火の初期段階では火砕サージの影響が噴火地点から概ね2kmまで達する恐れがある。このため居住地域から十分に離れている場合は居住地域に影響が及ばないと判断し、レベルを2に引き上げて活動の推移を注視することとする。なお、噴火の規模の拡大が確認され居住地域にまで影響が及ぶ、またはその可能性があるとして判断されれば、レベル5または4へ引き上げる。

(解説：引下げ基準)

島の居住地域から離れた海域で噴火が発生した後、噴石の飛散や溶岩流出等を伴わない噴火活動、及び噴火地点の周辺で変色域や軽石の浮上がみられなくなる状況とともに、地震活動や地殻変動に高まりがみられない場合には、火山活動が低下したと判断しレベルを引き下げる。なお、島から離れた海域の噴火に対しては、薩摩硫黄島島内の観測網では詳細な活動推移を把握できないことや、連続した遠望観測が困難であることが想定されることから、活動が低下したと判断する期間は概ね数か月を要すると思われる。

【レベル2（火口周辺規制：火口中心～概ね1 km）】

(判定基準)

レベル1またはレベル2（火口周辺規制：火口中心～概ね0.5km）の段階で、次の①～⑤のいずれかの現象が観測された場合、レベル2（火口周辺規制：火口中心～概ね1 km）に引き上げ、または警戒範囲を拡大させる。

<火口中心から概ね1 km以内に影響を及ぼす噴火の可能性>

- ① 肉眼で認められる火映を時々観測
- ② ごく小噴火が継続または繰り返し発生
- ③ 継続時間の長い火山性微動（約30分以上）の発生、または振幅の大きな火山性微動の発生（展望台東観測点の最大振幅で概ね $50\mu\text{m/s}$ 以上）
- ④ 傾斜計等で山体浅部の膨張を示す地殻変動を観測

<火口中心から概ね1 km以内に影響を及ぼす噴火の発生>

- ⑤ 火口中心から概ね1 km以内に大きな噴石飛散

(引下げ、または警戒範囲の縮小基準)

上記の判定基準に達しない活動が概ね1ヶ月続いたときを基本とし、平穏時に戻る傾向が明瞭であると判断したときはレベルを引き下げ、若干の高まりが残っている場合はレベル2のまま警戒範囲を縮小させる。ただし、レベルを引き下げ、または警戒範囲を縮小した後に活発化傾向に転じたことが明らかな場合は、上記の基準に達していなくてもレベル2（火口中心～概ね1 km）に引き上げ、または警戒範囲を拡大させる。

(解説：判定基準)

以下、判定基準の①～⑤について解説する。

<火口中心から概ね1 km以内に影響を及ぼす噴火の可能性>

- ①：浅間山では経験則として肉眼で明瞭に見えるほどの火映が観測された後に、規模の大きな噴火が発生している。また、桜島や諏訪之瀬島では肉眼でようやく確認できる程度の火映とともに鳴動を度々観測しており、火口の熱活動の高まりを示唆していると考えられる。薩摩硫黄島でも肉眼でようやく確認できる程度の火映を時々観測すれば火

口の熱活動が高まっていると判断しレベルを引き上げる。なお、高感度の監視カメラでは火映の強度の判定が難しいことから、現地からの通報や現地調査をもってレベルの引上げを判断する。

- ②：噴火活動が低調化した 2006 年以降、薩摩硫黄島では継続時間の短いごく小噴火しか観測されていない。薩摩硫黄島でごく小噴火が継続、または繰り返し発生する状況になれば、小噴火が発生する可能性が高まっていると考えられることから警戒範囲を拡大させる。
- ③：ごく小噴火が繰り返し発生していた 2003 年から 2004 年において、ひと月以上ごく小噴火が観測されない日が続いた後に、継続時間 30 分以上の火山性微動が観測されてごく小噴火が発生した事例が複数回認められた。また、同時期に観測された火山性微動の最大振幅は大きなもので $50 \mu\text{m/s}$ (展望台東観測点) 前後であった。これらと同程度の地震活動の高まりがみられれば、ごく小噴火が繰り返し発生し小噴火に移行するような火山活動が予想されると判断しレベル 2 (火口周辺規制：火口中心から概ね 1 km) に引き上げ、または警戒範囲を拡大させる。なお、展望台東観測点が障害時の場合、他観測点で上記基準に相当する火山性微動を観測すれば判定基準を満たすとする。
- ④：火山では活動活発化による火山性流体 (マグマや火山ガス) の上昇・蓄積に伴い山体膨張 (地殻変動) が起こる。この膨張を観測するために火山体に傾斜計、伸縮計、GNSS といった観測機器が設置されている。例えば、桜島では爆発が発生する数時間～数日前から傾斜計や伸縮計で山体膨張を示す地殻変動が観測され、爆発発生後には山体の収縮が観測される。

薩摩硫黄島でも同様に火山活動が活発化する場合は山体膨張を示す地殻変動が生じると考えられる。気象庁では、薩摩硫黄島に傾斜計及び GNSS を設置し地殻変動観測を実施している。しかし、薩摩硫黄島では観測開始以降、レベルを 3 以上に引き上げるような活動は発生していないため、山体膨張を示す地殻変動が観測されたことはない。

そこで、他の火山で観測された活動活発化による地殻変動を参考にし、薩摩硫黄島の活動が活発化した場合の地殻変動を想定する。ここでは、2018 年 4 月に霧島山えびの高原 (硫黄山) 周辺で発生した水蒸気噴火前に観測された地殻変動を参考にする。

この噴火発生のおよそ 2 ヶ月前から山体膨張を示唆する地殻変動が観測された。山体直下の浅い所で火山性流体の上昇・蓄積が起こったと推定され、噴火発生の前兆であったと考えられる。この時の変動は 2 ヶ月かけて火口直下の浅い所で約 1.2 万 m^3 の膨張 (体積変化) が生じたと考えられ、1 日あたりの膨張量に換算すると数百 m^3 である。

薩摩硫黄島で同様の膨張が起こった場合に島内に設置している傾斜計 (展望台観測点) で観測されるであろう変動量を想定し、同程度以上の変動が発生した場合にレベルを 2 に引き上げる。なお、傾斜変動量は膨張源の位置によって大きく異なるため、基準としての明確な変動量 (数値) は決められないが、仮に硫黄岳直下の海拔 0 km 付近で 1 日あたり 千 m^3 の体積膨張が発生した場合は、展望台観測点傾斜計で $0.2 \mu\text{rad/日}$ 程度

の変動が見込まれる。

<火口中心から概ね1 km 以内の範囲に影響を及ぼす噴火の発生>

⑤：火口中心から概ね1 km 以内に噴石を飛散させる噴火が発生した場合、引き続き火口周辺に影響するような噴火が発生する可能性があるとして、レベルを引き上げる。

(解説：引下げ基準)

上記の判定基準に達しない程度の活動が概ね1 ヶ月続いた場合は、火山活動が低調に向かっていると判断しレベルを引き下げるが、微弱な火映が時々観測される、地震が時々多発するなど若干の高まりが残っている場合には警戒範囲を火口中心から概ね0.5km 以内に影響を及ぼす噴火の可能性があるので警戒範囲を縮小させる。また、一旦は火山活動が低調になってきても長期的に火山活動がやや高い火山であるため、活発化の傾向に転じた場合には、上記基準に満たなくてもレベルを引き上げ、もしくは警戒範囲を拡大させる。

【レベル3（入山規制：火口中心～概ね2 km）】

(判定基準)

次の①～⑥の内のいずれかの現象が観測された場合にレベルを3に引き上げる。

警戒が必要な範囲は、硫黄岳火口中心から概ね2 km 以内とする。

<火口中心から1 km を超え概ね2 km 以内に影響を及ぼす噴火の可能性>

- ① 火口中心から居住地域方向へ概ね1 km 以内に流下する火砕流を観測
- ② 山体浅部を震源とする高周波地震の多発(地震回数が概ね100回以上/24時間、または展望台東観測点で $200 \mu\text{m/s}$ 以上の地震が概ね10回以上/24時間)
- ③ 火山性微動の振幅増大(展望台東観測点の1分間平均振幅で概ね $8 \mu\text{m/s}$ を1時間以上継続)
- ④ 火口直下の増圧を示す急激な地殻変動
- ⑤ 火山ガス(二酸化硫黄)放出量の急増傾向

<火口中心から1 km を超え概ね2 km 以内に影響を及ぼす噴火の発生>

- ⑥ 火口中心から1 km を超え概ね2 km 以内に大きな噴石飛散

(引下げ基準)

上記の基準に達しない活動が続き、火山活動の低下が認められた場合には、レベルを引き下げる。

(解説：判定基準)

以下、判定基準の①～⑥について解説する。

<火口中心から1 km を超え概ね2 km 以内に影響を及ぼす噴火の可能性>

- ①：火砕流が繰り返し発生すれば、地形を平滑化し徐々に到達距離が伸びてくる恐れがある。火砕流が居住地域方向（火口から概ね南西～北西方向）へ概ね1 km まで流下した場合は、さらに流下距離を伸ばし、警戒が必要な範囲である1 km を超えて火砕流が流下する噴火につながる可能性があるとしてレベル3に引き上げる。
- ②：地震計による観測を開始して以降、硫黄岳の火口浅部を震源とする高周波地震は主に日回数10回未満であり、火口浅部で高周波地震が多発した事例はない。山体浅部を震源とする高周波地震の多発を観測した場合、多くのマグマ上昇が伴っている可能性があることから、地震回数が概ね100回以上（/24時間）、または展望台東観測点で200 μ m/s以上の地震が概ね10回以上（/24時間）あれば、火山活動に高まりがみられると判断しレベルを引き上げる。なお、展望台東観測点が障害時の場合、他観測点で上記に相当する地震活動を観測すれば判定基準を満たすとする。
- ③：噴火が繰り返し発生していた2002年～2004年にかけて、振幅の大きな火山性微動が観測されており、微動振幅が大きい時では展望台東観測点の1分間平均振幅で5 μ m/sを1時間以上継続し、さらに、一時的に6 μ m/s程度まで高まるほどであった。この微動振幅を超えるような、展望台東観測点の1分間平均振幅で概ね8 μ m/sを1時間以上継続する状況になれば、2003年～2004年の噴火活動を上回る規模に発展する可能性があると考えられることからレベルを引き上げる。なお、展望台東観測点が障害時の場合、他観測点で上記に相当する火山性微動を観測すれば判定基準を満たすとする。
- ④：硫黄岳火口直下の浅部に上昇したマグマによって中噴火が発生することを想定する。薩摩硫黄島では、地震計による観測を開始した1997年以降、レベル3に該当する噴火は観測されていない。そこで、火砕流が火口から約1 km 流下した2018年12月18日の口永良部島の噴火を参考に、火口直下の増圧を示す急激な地殻変動を観測した場合を想定する。仮に火口直下深さ1 km で1日に1万 m^3 の体積膨張があった場合、硫黄岳火口の西南西約1 km に設置している展望台観測点における傾斜変動量は約2 μ rad/日と推定されることから、目安として短時間に1 μ rad/日を超える傾斜変動を観測すれば、レベル3相当の噴火が想定されると判断してレベルを引き上げる。
- ⑤：薩摩硫黄島では、定常的に火山ガス（二酸化硫黄）が放出されているとみられる。1990年～2004年にかけてはおおよそ1,000～1,500トン/日（暫定値）で、放出は安定していたと推定されている（産総研火山研究解説集による）。2019年12月～2020年4月にかけて東京大学他が実施したフェリーみしまによる観測ではおおよそ500～1,500トン/日で推移している。今後も観測データを蓄積しどの程度の幅で変動しているかを評価する必要はあるが、他火山を参考に火山ガス（二酸化硫黄）が急増傾向にある場合にはレベルを引き上げる。
- <火口中心から1 km を超え概ね2 km 以内に影響を及ぼす噴火の発生>
- ⑥：火口中心から1 km を超えて概ね2 km 以内に影響を及ぼす中噴火が発生した場合、引き続き同規模の噴火が発生する可能性があるとして、レベルを引き上げる。

(解説：引下げ基準)

上記の基準を満たす大きな噴石の飛散や火砕流が観測されない状況や、振幅が大きな(展望台東観測点で $200 \mu\text{m/s}$ 以上)地震の頻度低下や火山性微動の振幅が小さくなる状況、地殻変動が安定している状況などが続き火山活動の低下が認められた場合にはレベルを引き下げる。

【レベル4】

(判定基準)

次のいずれかの現象が観測された場合にレベルを4に引き上げる。全島を警戒が必要な範囲とし、居住地域に影響を及ぼす可能性のある噴火が周辺海域で発生した場合には、噴火地点から概ね2kmを警戒が必要な範囲とする。なお、居住地域から離れた海域の噴火規模が拡大傾向で居住地域に影響が及ぶ可能性があるとして判断された場合の警戒範囲は噴火地点からの距離によって設定する。

<居住地域に重大な被害を及ぼす噴火の可能性>

○島内または島の周辺海域における現象

- ① 火口中心から居住地域方向へ1kmを超え概ね2km以内に流下する火砕流を観測
- ② 体を感じる地震の多発(概ね、マグニチュード3が2回/24時間、またはマグニチュード2が10回/24時間)
- ③ 多量のマグマの上昇を示す顕著な地殻変動

○島の周辺海域における噴火

- ④ 居住地域から概ね2km以内の深い海域(水深約100m以深)における噴火
- ⑤ 居住地域から概ね2km以遠の海域の噴火規模が拡大傾向

(引下げ基準)

上記に該当する現象が観測されなくなり、火山活動の低下が続いたと認められた場合には、レベルを引き下げる。

(解説：判定基準)

以下、判定基準の①～⑤について解説する。

○島内または島の周辺海域における現象

- ①：火砕流が繰り返し発生すれば、地形を平滑化し徐々に到達距離が伸びてくる恐れがある。火砕流が居住地域方向(火口からおおよそ南西方向～北西方向)へ1kmを超えて概ね2km以内に流下するのを観測した場合は、さらに流下距離を伸ばすような居住地域に重大な被害を及ぼす噴火につながる可能性があるとして判断して、レベル4に引き上げてその後の活動状況を見極めることとする。

②及び③：薩摩硫黄島のレベル4及び5の火山活動としては、500～600年前に発生した、火砕流を伴うマグマ噴火が相当すると考えられる。しかし、この噴火に関する詳細な歴史資料は確認されていない。そこで1934年の昭和硫黄島形成時の活動を参考に、同様の火山活動が硫黄岳直下または島の周辺海域で発生することを想定する。

1934年の昭和硫黄島が形成される前に、島周辺を震源とする体を感じる地震が多発しており、多量のマグマ上昇が伴っていたとみられる。硫黄岳直下または島の周辺海域で、こうした多量のマグマの上昇を示す顕著な地殻変動または体を感じる地震の多発（概ね、マグニチュード3が2回/24時間、またはマグニチュード2が10回/24時間）を観測した場合、居住地域に重大な被害を及ぼす噴火の可能性があると判断してレベル4へ引き上げる。なお、想定した基準の回数を満たしていなくても規模の大きな地震の発生頻度を鑑みて、レベルの引上げを判断する場合もある。

顕著な地殻変動量としては、鹿児島県作成の火山防災ハザードマップで試算された、火砕流が硫黄岳火口から約2km付近に及ぶ際の総噴出量（100万 m^3 ）を参考に、火口浅部（火口直下深さ1km）に1日あたり40万 m^3 （総噴出量100万 m^3 をマグマ体積量に換算）の体積変動（球状圧力源）を想定すると、展望台観測点の傾斜計で約30 μ rad/日の変動量が生じると概算される。なお、傾斜変動量は観測点から変動源にかけての距離や圧力源の体積変動量、想定する圧力源モデルにより大きく異なることから、数値基準は設けない。居住地域に重大な被害を及ぼす噴火に相当する地殻変動量と判断されればレベル4への引上げ条件を満たすとする。

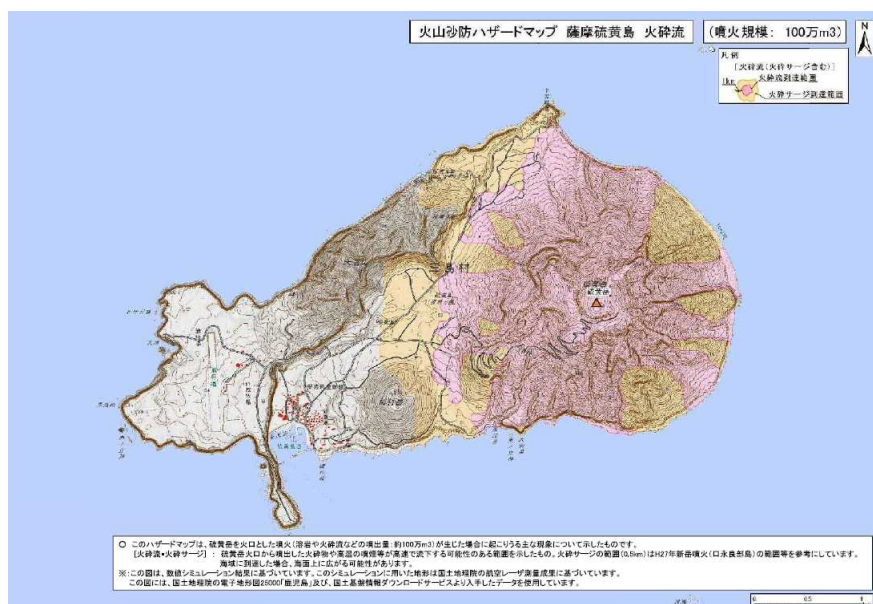


図5 薩摩硫黄島 火砕流の影響範囲（火山防災ハザードマップ 噴火規模：100万 m^3 ）

④：居住地域から概ね2km以内の深い海域（水深約100m以深）で噴火が発生した場合、噴火の初期段階においては海面上に影響を及ぼさないが、噴火が継続し海底が浅くなれば居住地域に影響を及ぼす可能性があると判断しレベルを4に引き上げる。

- ⑤：居住地域から概ね2 km 以遠の海域で噴火が発生した場合、噴火の初期段階においては居住地域に影響を及ぼさないが、火山活動が高まり噴火規模が拡大し居住地域に影響を及ぼす可能性があるとして判断されればレベルを4に引き上げる。

【レベル5】

(判定基準)

次のいずれかの現象が観測された場合にレベルを5に引き上げる。警戒が必要な範囲は全島を対象とし、居住地域に影響を及ぼす噴火が周辺海域で発生した場合には、噴火地点から概ね2 km を警戒が必要な範囲とする。なお、居住地域から離れた海域の噴火規模が拡大し居住地域に影響が及ぶ場合の警戒範囲は噴火地点からの距離によって設定する。

<居住地域に重大な被害を及ぼす噴火が切迫、あるいは発生している>

○島内または周辺海域における現象

- ① 規模の大きな体を感じる地震の多発（概ね、マグニチュード4が2回/24時間、またはマグニチュード3が10回/24時間）
- ② さらに多量のマグマの上昇を示す顕著な地殻変動

○島内における現象

- ③ 火砕流、溶岩流が居住地域に切迫または到達
- ④ 硫黄岳火口中心から2 km を超えて大きな噴石が飛散

○島の周辺海域における噴火

- ⑤ 居住地域から概ね2 km 以内かつ浅い海域（水深約100m以浅）における噴火
- ⑥ 噴火規模が拡大し居住地域に影響

(引下げ基準)

上記に該当する現象が観測されなくなり、火山活動の低下が続いたと認められた場合には、レベルを引き下げる。

(解説：判定基準（レベル5）)

以下、判定基準の①～⑥について解説する。

○島内または周辺海域における現象

- ①及び②：レベル4の活動をさらに上回る地震活動（概ね、マグニチュード4が2回/24時間、またはマグニチュード3が10回/24時間）や地殻変動（一日あたり概ね1千万 m^3 の体積変動）があれば、居住地域に重大な被害を及ぼす噴火が切迫していると判断してレベル5へ引き上げる。なお、想定した回数を満たしていなくても規模の大きな地震の発生頻度を鑑みて、レベルの引上げを判断する場合もある。
- ③及び④：硫黄岳火口中心から概ね2 km を超えて大きな噴石が飛散、または硫黄岳火

口中心から概ね2 km を超えて居住地域方向へ火砕流・溶岩流が流下した場合は居住地域に重大な被害を及ぼす噴火が発生または切迫していると判断してレベル5に引き上げる。

○島の周辺海域における現象

⑤：薩摩硫黄島の居住地域付近の海域（居住地域から概ね2 km 以内を想定）の水深約100m以浅で噴火が発生した場合、居住地域に影響を及ぼす噴火が発生したと判断してレベルを5に引き上げる。

⑥：居住地域から離れた海域で海底噴火が発生した後、噴火規模の拡大傾向がみられ、付近の居住地域に影響が及ぶ噴火が切迫または発生した場合、レベルを5に引き上げる。

（解説：引下げ基準（レベル4、5））

レベル4及びレベル5からの引下げについては、レベル上げの各判定基準を観測データが下回った場合を目安とするが、レベル上げの判定基準を下回った後も活動の状況を監視し、火山活動の低下を確認した上で、必要に応じて火山噴火予知連絡会や他の有識者との検討会等の検討結果も参考にしながら、居住地域への影響を再評価した上で判断することとする。

以上で示したレベル2～レベル5の判定基準のほか、これまで観測されたことのないような火山活動の変化があった場合や新たな観測データが得られた場合は、火山活動を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、火山活動が新たなステージになった場合や、新たな知見が得られた場合など、火山活動の状況に応じて、随時判定基準を見直すこととする。

なお、噴火警戒レベルの判定基準に現状達していないが、今後の活動の推移によっては噴火警戒レベルを引き上げる可能性があるかと判断した場合、「火山の状況に関する解説情報（臨時）」を公表する。現時点では、噴火警戒レベルを引き上げる可能性は低いが、火山活動の状況を伝える必要があると判断した場合には、「火山の状況に関する解説情報」を公表する。

5. 今後検討すべき課題

今後も、以下の各課題に引き続き取り組み、判断基準の改善を進める必要がある。

- (1) 地震活動に高まりがみられても、噴火には至らない場合や噴火の規模が拡大しない場合があることから、こうした要因を検討し続ける必要がある。
- (2) レベル4、5における防災対応の検討を踏まえつつ、さらなる改善を進める必要がある。薩摩硫黄島周辺の海域における噴火を具体的に想定し、即時かつ適切に防災対応

が取れるよう調整を進める必要がある。

- (3) 中長期的な活動の高まりを示す指標として地震回数や火映観測を判定基準に盛り込んでいるが、今後は、GNSS 連続観測データを蓄積し適宜基準に加えることが望まれる。また、GNSS 連続観測データに限らず各種観測データの蓄積に併せ、判定基準に設けられた閾値についても適宜見直すことが望まれる。

《参考文献》

Kazahaya, K., Shinohara, H. and Saito, G. (2002) Degassing process of Satsuma-Iwojima volcano, Japan: Supply of volatile components from a deep magma chamber. *Earth Planets and Space*, vol. 54, p. 327-335.

篠原宏志・斎藤元治・松島喜雄・川辺禎久・風早康平・浦井 稔・西 祐司・斎藤英二・濱崎聡志・東宮昭彦・森川徳敏・駒澤正夫・安原正也・宮城磯治 (2008) 火山研究解説集：薩摩硫黄島。産総研地質調査総合センター

URL : https://gbank.gsj.jp/volcano/Act_Vol/satsumaioujima/vr/index.html

「鹿児島県地域防災計画（火山災害対策編）」（平成 31 年度鹿児島県作成）

井口正人 (2002) 薩摩硫黄島火山における最近の火山活動—1975 年～2001 年—。薩摩硫黄島火山・口永良部島火山の集中総合観測（平成 12 年 8 月～平成 13 年 3 月），1-12.

「海域火山噴火の推進と表面現象について」（東京大学地震研究所, 2015）

「第 131 回火山噴火予知連絡会資料」（東京大学地震研究所, 2015）

鹿児島地方気象台・福岡管区気象台 地域火山監視・警報センター (2018) 霧島山の火山活動—2018 年 2 月～2018 年 5 月 31 日—。火山噴火予知連絡会会報，130，213-284.