

平成 19 年 12 月 1 日運用開始
令和 3 年 2 月 15 日現在
気 象 庁

九重山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

九重山は、東西約 13 km、南北約 10 km の山体からなり、地形から西部、中部、東部に分けることができる。西部は黒岩山、合頭山、獅師山、中部は中岳、久住山、三俣山、星生山、扇ヶ鼻、東部は黒岳、大船山、平治岳などの山々からなる。過去の火山活動では、軽石の噴出、溶岩ドームの形成と火砕流の流下が繰り返されてきた。約 7,300 年前以降では立中山、大船山、黒岳において溶岩流の流出や、溶岩ドームの形成を伴った活動がみられた。大船山では約 5,600 年前に段原火口からのプリニー式噴火が発生し、約 1,700 年前には米窪火口地形が形成された。最新のマグマ噴火は、黒岳における火山活動（黒岳溶岩・黒岳火砕流堆積物）で、約 1,600 年前と推定される（川辺・他，2015）。

有史以降の噴火は全て水蒸気噴火である。直近の水蒸気噴火は 1995～1996 年に硫黄山周辺で発生した。最近数千年の水蒸気噴火の発生場所は、星生山から北千里ヶ浜及び中岳周辺の九重火山中央部と推定される（伊藤・星住・川辺，2014）。

噴石や火砕流、溶岩流について、過去 1 万年の活動の特徴を以下に示す。噴火後の土石流及び岩屑なだれは、噴火警報が対象としている火山現象には含まれないが、その発生状況についても併せて記載する。

①噴石の到達距離

- ・大船山の噴火（約 6,000～1,700 年前）

噴石が噴出したと推定されるが、到達距離の詳細は不明

- ・黒岳の噴火（約 1,600 年前）

噴石が噴出したと推定されるが、到達距離の詳細は不明

- ・硫黄山の噴火（1995～1996 年の噴火活動）

1995 年 10 月の噴火では、硫黄山の火口から概ね 100m に小さな噴石*が飛散

*飛散した噴石は、最大でこぶし大の大きさで、小さな噴石の範疇とした。

②火砕流の到達距離

- ・黒岳の噴火（約 1,600 年前）

溶岩ドーム形成時に火砕流を伴った噴火が発生し、火砕流は 2 km 以上流下したと推定される。

③溶岩流の到達距離

- ・大船山の噴火(約 6,000~1,700 年前)

大船山山頂付近から岳麓寺溶岩が噴出し 3 km 以上流下したと推定される(約 6,000 年前)。

大船東溶岩が噴出し 3 km 以上流下したと推定される(約 2,700 年前)。

米窪火口の噴火により溶岩が噴出したと推定されるが、到達距離の詳細は不明(約 1,700 年前)。

- ・黒岳の噴火(約 1,600 年前)

黒岳の溶岩ドーム形成時に火砕流を伴った噴火が発生し、溶岩流は火口から 1 km 以上流下したと推定される。

④噴火後の土石流の発生状況

- ・硫黄山の噴火(1995~1996 年の噴火活動)

1995 年 10 月の噴火では、噴出物は主に火山灰で、泥流が発生し、北側に約 200m 流下した。

⑤岩屑なだれの発生状況

- ・約 2.1~1.8 万年前に中岳、三俣山、台の山で岩屑なだれが発生した。火山活動に伴い発生する可能性があり、発生場所の想定はできないが留意が必要である。

(1) 想定火口域(硫黄山)

九重山の活動は、マグマ噴火から水蒸気噴火まで多様であり、過去 1 万年の活動では火口の位置を変えて噴火が繰り返されている。将来噴火が発生しうる火口位置の特定が困難であることから、有史以降に噴火が発生している硫黄山において、噴気地帯(A、B、C、D領域)を囲む半径 500m の範囲を想定火口域とした(図 1、2)。

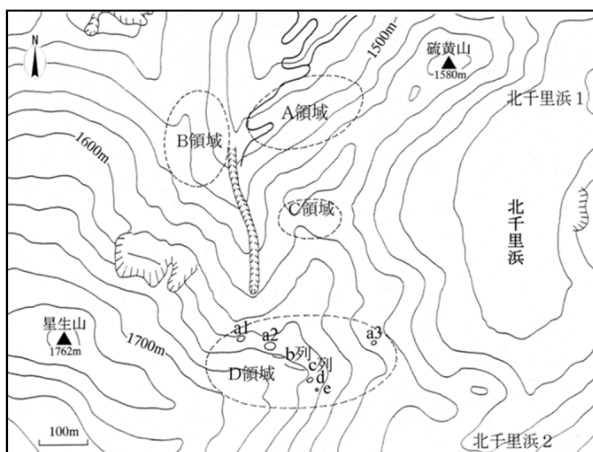


図 1 想定火口域内(硫黄山)における噴気地帯の分布

(破線に囲まれた領域は噴気地帯を示す。)

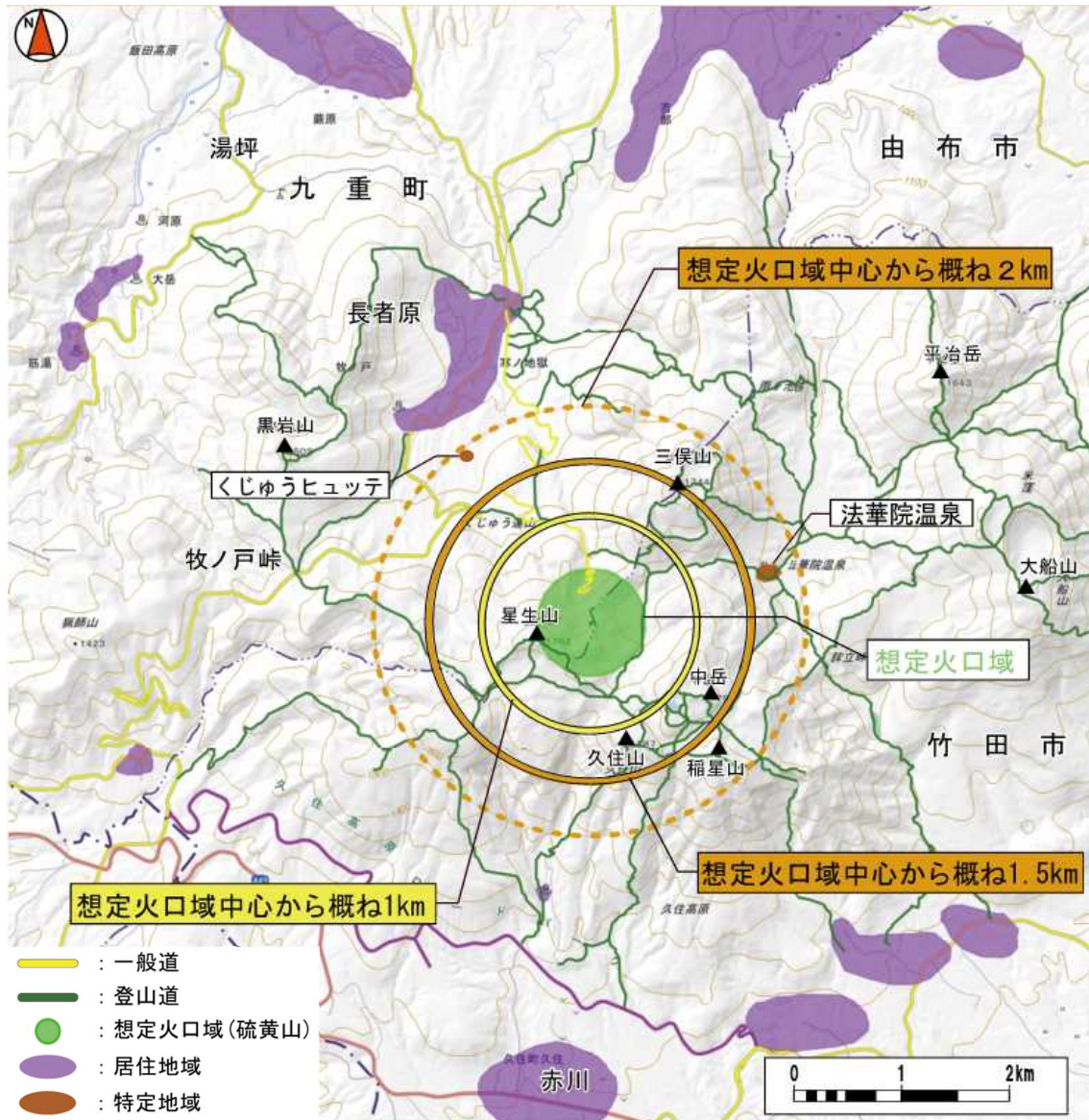


図2 九重山の居住地域の分布とレベルに応じた警戒が必要な範囲

★硫黄山を想定火口とした場合の警戒が必要な範囲等

レベル1：硫黄山想定火口域

※硫黄山想定火口域は硫黄山のA、B、C、D領域を囲む半径500mの範囲

レベル2：小噴火：想定火口域中心から概ね1km以内

レベル3：中噴火：想定火口域中心から概ね2km以内

レベル4、5：大噴火：想定火口域中心から居住地域付近まで

※特定地域

・硫黄山想定火口域中心から東側1.6km付近の法華院温泉

・硫黄山想定火口域中心から北西側2km付近のくじゅうヒュッテ

「特定地域」とは、「居住地域」よりも想定火口域に近いところに位置する温泉等の施設が含まれる地域を指し、居住地域よりも早い段階（レベル3）で避難の準備や避難の対応が必要となる場合がある。

(2) 噴火の区分とその影響

噴火区分	想定される主な火山現象	警戒が必要な範囲
ごく小	火山灰、小さな噴石	想定火口域内
小	火山灰、小さな噴石、大きな噴石	想定火口域中心から概ね 1 km 以内
中	火山灰、小さな噴石、大きな噴石、火砕流	想定火口域中心から概ね 2 km 以内（範囲内に特定地域あり）
大	火山灰、小さな噴石、大きな噴石、火砕流、溶岩流	想定火口域中心から居住地域付近まで

- ・噴火の区分は、火山学的な噴火の規模（噴出物量）とは異なり、大きな噴石、火砕流や溶岩流等の到達する範囲（警戒が必要な範囲）を基準に想定した。想定火口域は硫黄山の噴気地帯を囲む半径 500m の範囲とした。
- ・典型的な水蒸気噴火、マグマ噴火だけでなく、両者の中間的な特徴をもつような噴火様式をとることもある。
- ・火山灰や小さな噴石は、風に乗って警戒が必要な範囲を超えて広範囲に達することがある。空振も、警戒が必要な範囲を超えて広範囲に伝わる。降雨による土石流の危険性は、噴火が終息した後も継続することがある。
- ・警戒範囲とは、火山活動の状況に応じて発生する火山現象の影響範囲をもとに気象庁が呼びかける警戒が必要な範囲をいい、立ち入りが規制される警戒区域は、警戒範囲を参考に自治体が設定する。

2. 火山活動の時間的な推移

九重山では有史以降に確認された噴火は全て水蒸気噴火であり、マグマ噴火の事例はない。また、1995～1996 年の活動以降での噴火の発生はなく、観測網が現在のように充実した状態での過去事例はない。

火山活動の時間的な推移の想定に際して、1995 年前後の硫黄山地下構造について江原（1998）の概念モデル（図 3）を基に、平常時の地下構造に関する知見も加え、噴火シナリオでは想定される火山活動の推移を整理した遷移図（図 4）を作成した。さらに、他火山の知見として、水蒸気噴火は御嶽山や霧島山（えびの高原（硫黄山）周辺）、マグマ噴火は雲仙岳を参考とした。1990～1996 年の雲仙岳の活動では水蒸気噴火発生後、マグマ噴火・溶岩ドームの出現へ移行しており、九重山においても同様の過程を想定した。ただし、ここで想定する現象は遷移図に示す順番で起こるとは限らず、また前兆なく噴火が発生する場合もある。

・平常時

山体膨張を示す地殻変動が認められず、噴気は弱く、火山性地震は少ない状態。硫黄山の地下浅部（深さ 1.5km 付近）には、平常時においても帯水層があるとされており、主に

この領域で、地震の発生が時々認められる。

- ・火山活動のわずかな高まり

準備過程として硫黄山想定火口域の火口下 500m～1 km 付近のごく浅部に熱水・火山ガスの溜まり（熱水だまり）が形成されはじめる。

硫黄山想定火口域の地下の温度上昇を示唆する全磁力等の変化や、ごく浅部では山体のわずかな膨張を示す地殻変動とともに、体積膨張に伴う火山性地震の一時的な増加が認められる。噴気には青白色のガスが含まれることもある。状況によっては、想定火口域内で火山灰や泥が噴出する可能性がある。

- ・火山活動の高まり～小噴火

ごく浅部において熱活動のゆるやかな高まりが数か月から数年の間続く中で、深部からの熱水や火山ガスの供給がさらに増加することにより、ごく浅部および帯水層での火山性地震の増加に加えて、やや深部（帯水層より深い海拔下 2～4 km 付近）においても地震が発生するようになる。また、火山性流体の移動を示唆するような低周波地震の発生や、継続時間がこれまでより長い火山性微動、山体膨張を示す地殻変動（主にごく浅部の熱水だまりの形成・膨張に伴う変化）が認められるようになる。さらに、地下の亀裂を通過し熱水や火山ガス流量が増えることで、地表では噴気地帯等の地熱域の急な拡大や噴気活動の急な活発化、火山ガス（二酸化硫黄）の 1 日当たりの放出量の増加が認められると考えられる。1995 年～1996 年噴火活動では噴火 3 か月前に塩化水素放出量の急増が確認されており、火山ガスの成分濃度についても変化が生じる可能性がある。

- ・火山（噴火）活動のさらなる高まり～中噴火の発生

火山性流体へのマグマ混入が増えることで、やや深部にマグマの滞留が始まるとともに、地震の規模が大きくなり、有感地震が発生することもある。噴火活動ではマグマの寄与が次第に高まり、これまでより規模の大きな水蒸気噴火やマグマ水蒸気噴火が発生し、想定火口域の中心から概ね 2 km 以内に影響をおよぼす程度の小規模な火砕流を伴うこともある。

これまで認められた浅部での火山活動はさらに活発化し、やや深部においても増圧にともなう地震活動の活発化や膨張を示す地殻変動が認められる可能性がある。

- ・山体浅部へのマグマ上昇～大噴火の発生

噴火活動の活発化がみられるなかで、規模の大きな地震（有感地震）の増加や地殻変動、火山ガス（二酸化硫黄）放出量の 1 日当たりの放出量の顕著な増加などマグマの貫入・上昇を示す現象が認められる。

深部からやや深部へのマグマ貫入、やや深部から地表直下へのマグマ上昇が始まり、噴火形態はマグマ噴火へ移行する。貫入したマグマの性質（粘性や比重など）によりマグマの上昇過程が異なると考えられる。マグマの粘性が低い場合は、顕著な地殻変動や地震の増加から短時間でマグマ噴火に進行する可能性がある。マグマの粘性が高い場合は、より顕著な地殻変動や有感地震が多発し継続するとともに、マグマ発泡が進み爆発的なブルカ

ノ式噴火やプリニー式噴火に移行する可能性がある。プリニー式噴火の規模が拡大すると、噴煙柱崩壊型火砕流が発生する危険性がある。マグマからの脱ガスが進んだ場合は、溶岩ドームが形成され、ドーム崩落型の火砕流が発生することがある。

・活動の終息

噴火活動の低下、地震活動の低下、熱活動の低下、山体の収縮等がみられ、平常時の状態となる。

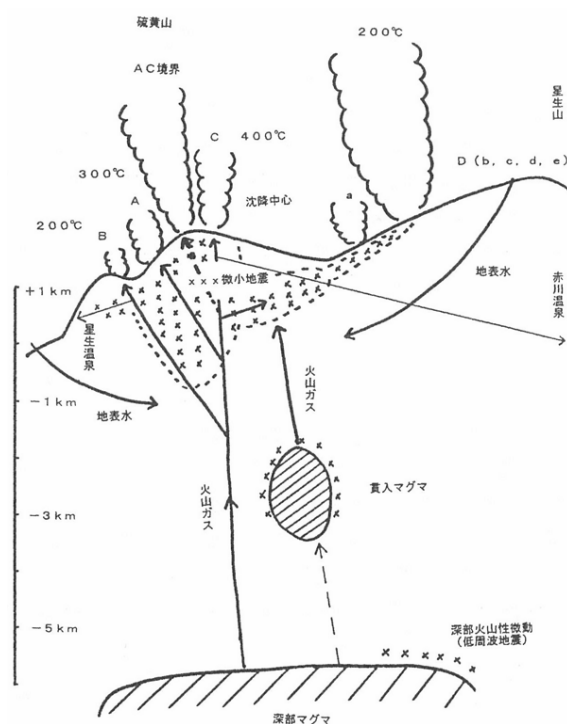
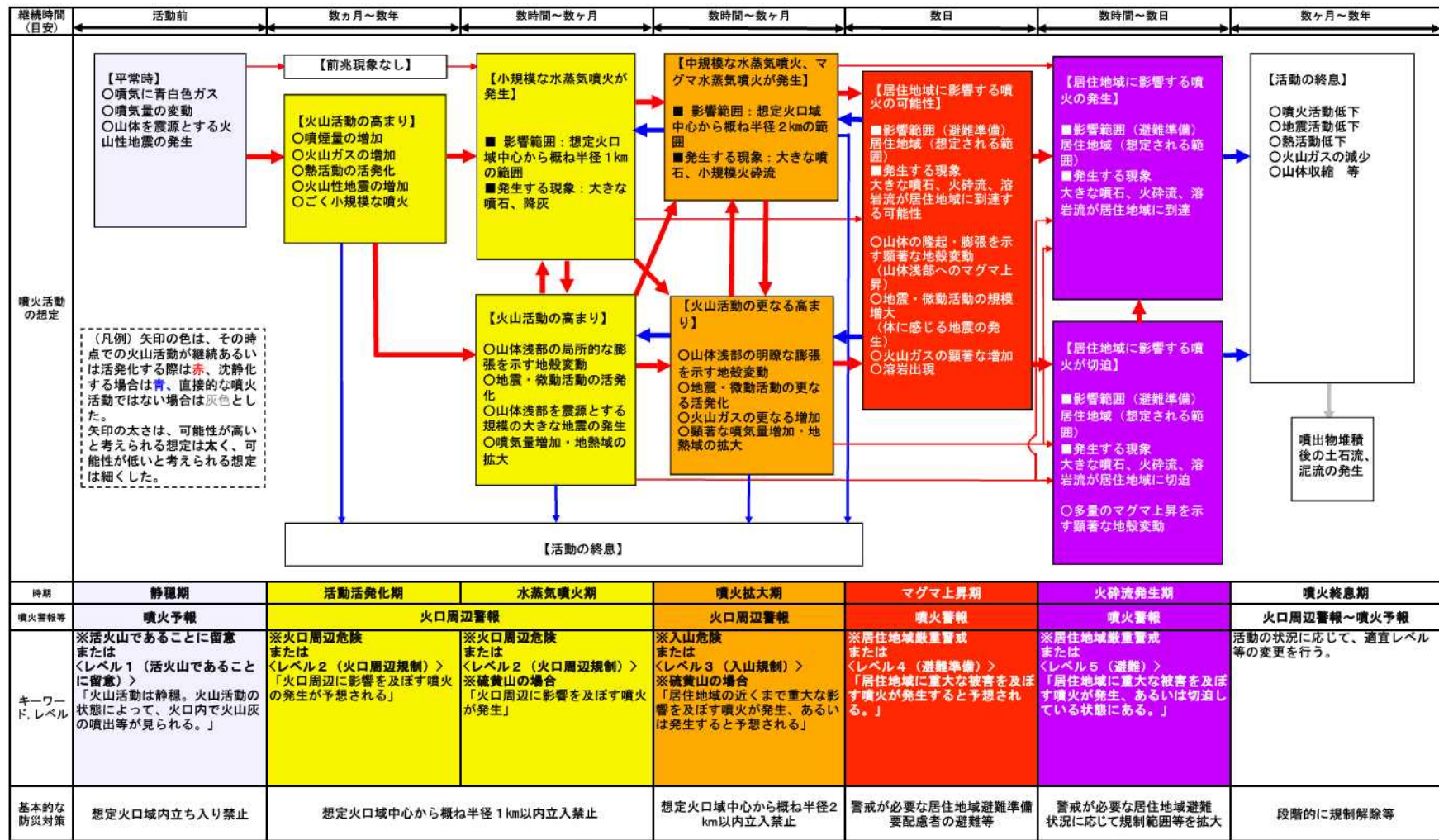


図3 1995年噴火前後の九重山の概念モデル

(江原, 1998)



※想定火口域（硫黄山）以外から噴火した場合は、噴火場所や規模に応じてキーワードにて噴火警報を発表する場合があります。想定火口域以外からの噴火は、噴火場所により小噴火でも居住地域嚴重警戒となる場合があります。

図4 九重山における噴火の遷移図

3. 噴火警戒レベルの区分け

① レベル1（活火山であることに留意）

火山活動は静穏で噴気は弱く、火山性地震は少ない状態。レベル1の中でも静穏な状況から火山活動が若干高まり、地熱域や噴気活動の変化といったわずかな熱的な高まりや地震活動の一時的な活発化、山体のわずかな膨張がみられることがある。状況によっては、想定火口域内で火山灰や泥が噴出する可能性がある。

② レベル2（火口周辺規制）

想定火口域中心から概ね1 km以内に影響する小噴火の発生、またはその可能性がある。ごく浅部の熱水だまりの圧力増加に伴う火山性地震の増加、さらにこれまでより継続時間が長い火山性微動の発生、火山性地震の震源の深さの変化および波形や周波数の変化、山体膨張を示す地殻変動、地熱域の急な拡大や噴気活動の急な活発化、火山ガス（二酸化硫黄）の増加がみられる。

③ レベル3（入山規制）

想定火口域中心から概ね1 kmを超えて概ね2 km以内に影響する中規模噴火の発生、またはその可能性がある。浅部への熱水や火山ガスの供給が増加し、山体膨張を示す地殻変動が大きくなる。やや深部においてもマグマの貫入や蓄積の開始を示唆する活動がみられる可能性がある。火山活動は活発化し、レベル2の現象がさらに進行・拡大した状態。

④ 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。居住地域に重大な被害を及ぼす大噴火の可能性、もしくは切迫あるいは発生する状態。多量のマグマの上昇に伴う規模の大きな地震の増加、顕著で急な地殻変動がみられる。

4. 噴火警戒レベルの判定基準とその考え方

【レベル1】

火山活動が静穏である状態の判定基準は、1995年10月12日開始以降の観測結果から見積もっている。静穏な状態から火山活動が活発化し、通常の火山活動を上回るような、わずかな熱的な高まりを示す地熱域や噴気活動の変化、地震活動の変化や山体のわずかな膨張が認められる場合がある。想定火口内での火山灰や泥の噴出についてはレベル1の活動とみなす。また、筋湯付近（星生山から北西3～10km）では、たびたび群発的な地震活動がみられる（図5）。1995～1996年の噴火活動の期間内においても、一時的に活発な時期があったが硫黄山からの噴火活動と直接的な関連性は不明であ

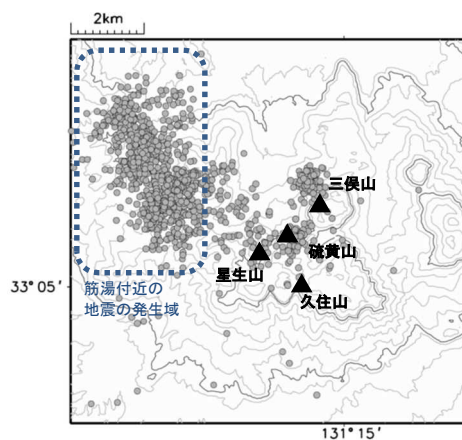


図5 震源分布図
(2010年1月～2020年9月)

る。このため、筋湯付近の地震については判定基準の基準として閾値を設定することは困難であるが、筋湯付近を含めた九重山周辺地域の地震活動もレベル上げの判断の参考とする可能性がある。

【レベル2】

(判定基準)

レベル1の段階で、次のいずれかの現象が観測された場合、レベル2に引き上げる。

<火口周辺（火口から概ね1 km以内）に影響を及ぼす噴火の可能性

- ① 熱活動の高まりが観測されている状態で、火山性地震が増加（目安として、100回／24時間以上（筋湯付近を除く））した場合
- ② 熱活動の高まりが観測されている状態で、火山性地震が増加するも上記基準に満たない程度で、次のいずれかが観測された場合
 - A) 火山性微動（目安として、継続時間100秒以上）の発生
 - B) 火口下の火山性地震の震源の深さの変化、波形や周波数の変化
 - C) 山体膨張を示す地殻変動（主にごく浅部）
 - D) 噴気地帯等の急な地熱域の拡大や急な噴気活動の活発化
 - E) 火山ガス（二酸化硫黄）の1日当たりの放出量の増加
- ③ 想定火口内で噴石が飛散、または噴石の飛散はないが想定火口域周辺に火山灰を降下させる噴火

<火口周辺に（火口から概ね1 km以内）影響を及ぼす噴火が発生>

- ④ 想定火口域中心から概ね1 kmまでに大きな噴石が飛散

(引下げ基準)

上記のレベル2への引上げ基準に達しない活動が概ね1ヶ月続いたときを基本とするが、静穏時に戻る傾向が明瞭であると判断したときはレベル引下げの期間を短縮する。ただし、静穏時に戻る傾向が明瞭であると判断してレベル1に引き下げた後に活発化傾向に転じたことが分かった場合は、上記の基準に達していなくてもレベル2に戻る。

(解説)

噴火様式は水蒸気噴火を想定する。九重山の過去事例では1995～1996年の噴火が該当する。1995年10月11日に硫黄山で発生した噴火は、想定火口域内に小さな噴石（最大でこぶし大）が飛散する程度のごく小噴火であった。火口周辺に影響を及ぼす大きな噴石の飛散はなかったが、10月の噴火以降も火山灰噴出を繰り返し、火山性地震の増加や火山性微動の発生等がみられ、さらには12月20～22日の火山灰噴出では火山灰中にマグマに由来する発泡ガラスが含まれるなど、結果として火口周辺に大きな噴石を飛散させ

るような噴火は発生しなかったが、想定火口域内に留まらず火口周辺に影響を及ぼす噴火に発展する可能性が高い状況であったと判断した。

1995～1996年の噴火では、硫黄山直下において熱水活動の高まりに起因すると考えられる浅部での地震増加や山体膨張、熱活動の高まりといった現象が観測された。しかし多くの観測種目が1995年10月の噴火を受けて観測が開始・強化されたため噴火前の観測データに乏しく、また当時と現在と比較しても観測体制が大きく異なるため地震回数等の閾値を決定することは困難となる。そこで当時の観測事実と先に示した概念モデルをもとに、霧島山（えびの高原（硫黄山）周辺）及び雲仙岳の知見もしくは判定基準の考え方を参考として、レベル2の判定基準を設定した。

（解説：判定基準）

<火口周辺に影響を及ぼす噴火の可能性>

① ②熱活動の高まりが観測されている状態

レベル2相当の活動へ移行する準備段階として、ごく浅部において熱水だまりの形成に伴う熱活動の高まりが、数か月から数年単位の期間で徐々に進行すると考えられる。そのため①と②の基準の前提条件として、熱活動の高まりの観測を設定した。1995～1996年の噴火前では、1960年頃から低下傾向にあった地熱域の噴気温度が1980年代後半から上昇傾向に転じた（江原，2007）。また近年の観測では、気象庁が実施している全磁力観測で、2014年より想定火口域直下の温度上昇を示唆する熱消磁が観測されている。噴気地帯においても地表面温度が周囲より高い状態で推移している。想定火口域の地表からごく浅部ではこのような熱活動の高まりが噴火前に繰り返されていると考えられる。

① 火山性地震が増加

1995～1996年噴火直前の硫黄山直下の地震活動について、江原・藤光（1996）によれば、地震活動は1980年代後半に低下していたが、1995年10月噴火前に実施したおよそ1か月間の観測では、活発化の傾向がみられた。しかしながら噴火の1か月前には観測が終了したため、火山性地震の増加傾向はとらえることは出来たが、噴火直前の地震の発生状況は不明である。火山性地震が増加した際にレベル2へ引き上げる発生回数の閾値は、2018年4月霧島山（えびの高原（硫黄山）周辺）や1990年11月雲仙岳の水蒸気噴火前の地震回数増加を参考として、地震回数100回/24時間以上とした。

② 火山性地震が増加するも上記基準に満たない程度

地震回数が100回/24時間以上の基準を満たさない場合でも、浅部への熱水・火山ガスの供給量の増加や浅部での熱水だまりの増圧が示唆される以下の現象のいずれかが観測される場合はレベルを2に引き上げる。

A) 1995年10月の噴火後、12月の再噴火では断続的に火山灰を噴出した。その際、

数分から 20 数分間継続する火山性微動が複数回発生している（須藤、1997）。雲仙岳の 1990 年 11 月に発生した水蒸気噴火の事例では、噴火 3 か月前から火山性微動が観測されはじめ、1 か月前には継続時間が 100 秒を超えるものが出現するようになった。九重山においても水蒸気噴火前には火山性微動が発生し、次第に継続時間が長くなることを想定し、継続時間が 100 秒を超える火山性微動を条件とした。

B) 硫黄山直下の地震活動は、静穏時には主に浅部で発生し、熱水だまりの膨張や熱水及び火山ガスの浅部への移動が活発になると、地震活動が全体的に活発化する中で、通常の発生領域よりもやや深部においても火山性地震が発生し、火山性流体が関与していると推定される低周波地震の発生も増加すると考えられる。須藤(1997)によれば、1995 年 12 月の噴火の期間には、火山性微動のほかに火口直下の深さ 2 km までの鉛直方向への震源域の広がりや低周波地震が観測されている。

C) 1995～1996 年噴火前には光波測距儀、GNSS、傾斜計による地殻変動観測は実施されていない。一方で干渉 SAR では想定火口域付近で最大で 6 cm の隆起が観測されている。噴火 20 日前までの 2 年間では地殻変動は観測されておらず、水蒸気噴火前の 20 日程度の短い期間で膨張が急速に進んだと考えられる (Tomiyama et al., 2004)。

噴火後の観測事例として、1995 年 10 月噴火の 1 か月後より実施した GNSS 繰り返し観測と光波測距観測から、硫黄山の想定火口域直下の地表から 500～600m で、噴火発生後に噴気の放出による収縮が進行したと推定されている（斎藤他、2003）。同じく噴火直後から実施した全磁力観測では地表から 200～400m に帯磁源が推定され、地下の冷却が噴火後に進行したと考えられる（橋本他、2002）。

これらの観測結果はごく浅部の熱水だまりの膨張収縮過程や冷却過程を反映していると考えられる。想定火口域直下の熱水だまりによる膨張源をこの位置周辺に仮定した場合、熱水だまり直上において干渉 SAR で観測された 1995 年 10 月噴火前の隆起をもたらすには、数万 m³ の膨張量が必要となる。これは霧島山（えびの高原（硫黄山）周辺）で 2018 年 4 月噴火前にみられた膨張量や 2014 年から 2018 年にかけて観測される火山性微動を伴う傾斜変動から推定した体積変化量（鹿児島地方気象台・福岡管区気象台, 2018）とほぼ同等であり、硫黄山から北北西約 1.5km に設置している星生山北山腹観測点の傾斜計で数 μ rad（1 万 m³ あたりおよそ 0.7 μ rad）の変動に相当する。

D) 熱水や火山ガスの供給が増大することにより、噴気地帯等の急な地熱域の拡大や急な噴気活動の活発化が想定される。中長期的な熱活動の高まりの結果として、噴気活動が活発となり地熱域の温度が高い状態であっても、噴気の勢いや地熱域の広がり急激な変化がみられない安定した状態であれば対象としない。

E) 火山活動の高まりに対応して火山ガス（二酸化硫黄）の放出量の増加が期待される。1980 年代後半に地熱域の温度が上昇傾向を示し始めた頃から、白色の水蒸気の中に二酸化硫黄を含む青白色のガスが混じるようになった（江原, 2007）。1995～1996

年の噴火発生後における観測では火山ガスの1日当たりの放出量は増加し、100～200 トン/日で推移している。噴火前と比べて放出量は1桁増加したと推定される（九州大学理学部附属島原地震火山観測所、1995）。前兆的な変化として火山ガスの放出量の増加は観測されていないが、噴火発生時には100～200 トン/日で推移したことを目安とし、一時的な高まりや気象の影響によらないことを確認した後に火山ガス（二酸化硫黄）の放出量の増加を判断する。なお近年の観測として、気象庁では2017年6月から低周波地震が時々発生したことを受けて、2017年7月にガス観測を実施したが、二酸化硫黄の放出量は検出限界以下であった（福岡管区气象台、2017）。

- ③ 想定火口域内で小さな噴石を飛散させるような噴火や、想定火口域周辺で降灰する噴火が発生した場合でも、その後に想定火口域周辺に大きな噴石が飛散する噴火が発生する可能性が高まっていると考え、レベルを引き上げる。

<火口周辺に（火口から概ね1 km以内）影響を及ぼす噴火が発生>

- ④ 想定火口域中心から概ね1 kmまでに噴石が飛散

水蒸気噴火の予測技術はいまだ確立していないことから、レベル引上げ基準に達することなく火口周辺に影響を及ぼす噴火が発生することも想定される。

【レベル3 警戒範囲 1.5 km以内】

(判定基準)

火口から概ね1.5 km以内に影響を及ぼす噴火の発生とその可能性。レベル1～2の段階で、次の現象が観測された場合、レベル3に引き上げる。

<火口から概ね1.5 km以内に影響を及ぼす噴火の可能性>

- ① 活動の高まりがある中で、次のいずれかが観測された場合

- A) 火山性地震または火山性微動のさらなる増加や規模増大
- B) 山体の膨張を示す明瞭な地殻変動（レベル2よりも規模大）
- C) 火山ガス（二酸化硫黄）1日当たりの放出量のさらなる増加

<火口から概ね1.5 km以内に影響を及ぼす噴火が発生>

- ② 想定火口域の中心から概ね1～1.5 kmに大きな噴石が飛散

(引下げ基準)

想定火口域周辺に影響を及ぼす程度の噴火にとどまる活動が概ね1ヶ月以上続いたとき、または、噴火せず、上記の現象が観測されなくなって概ね1ヶ月以上続いたときにレベルの引下げを行う。

（ただし、レベル引上げ後の活動評価を基本に、防災対応の状況等を考慮して判断し、状況によっては1ヶ月より短縮する）

(解説)

硫黄山を含め、九重山では近年ではレベル3相当の噴火の事例はないが、噴火が継続している中で、レベル2と比較して規模の大きな水蒸気噴火やマグマ水蒸気噴火の発生といったレベル2の噴火活動が拡大する過程を想定する。地下のマグマの寄与が次第に高まり、火山性流体の浅部への移動が活発化するなかで、レベル2でみられた現象がさらに顕著になると考えられる。

(解説：判定基準)

<火口から概ね1.5 km以内に影響を及ぼす噴火の可能性>

① 活動の高まりがある中で、次のいずれかが観測された場合

レベル2相当の活動の中で、さらに以下のような活発化が見られた場合にレベルを3に引き上げる。

- A) 火山性流体の浅部への移動増加による間隙水圧の高まりや熱水だまりの膨張が顕著となり、硫黄山直下の地震活動がさらに活発化すると考えられる。主にレベル2で想定している浅部での地震活動のさらなる活発化を想定する。
- B) ごく浅部を中心に熱水だまりの膨張がさらに進行する。熱水だまりの膨張量については、前述のとおりレベル2では数万 m^3 を想定している。さらに規模の大きな水蒸気噴火の事例として、2014年9月27日の御嶽山の噴火では、噴火直前に火口下約900mで38万 m^3 の体積膨張が推定されている(気象研究所・気象庁、2016; Takagi and Onizawa, 2016)。レベル3引上げの目安として想定火口域直下における数十万 m^3 の膨張を想定する。
- C) レベル2の活動で想定している火山ガス(二酸化硫黄)の放出量(1日あたり100~200トン)からさらなる増加が見込まれる。

<火口から概ね1.5 km以内に影響を及ぼす噴火が発生>

② 想定火口域の中心から概ね1~1.5 kmに大きな噴石が飛散

レベル2における警戒が必要な範囲(想定火口域中心から概ね1 km以内)を超える、大きな噴石の飛散が確認された場合は、速やかにレベル3に引き上げる。

【レベル3 警戒範囲2 km以内】

火口から概ね2 km以内に被害を及ぼす噴火の発生とその可能性。レベル1~2の段階で、次の現象が観測された場合、レベル3に引き上げる。またレベル3の段階で、火口から概ね1.5 kmをさらに超えて2 km以内に被害を及ぼす噴火の発生とその可能性がある場合には、警戒範囲を火口から2 kmに拡大する。特定地域まで被害を及ぼす可能性がある。

<火口から概ね2 km以内に被害を及ぼす噴火の可能性>

① 活動の高まりがある中で、次のいずれかが観測された場合

- A) 想定火口域中心から概ね 1.5 km に影響を及ぼす火砕流の発生
- B) 想定火口域中心から概ね 1～1.5km に大きな噴石が飛散する噴火が複数回発生

<火口から概ね 2 km 以内に被害を及ぼす噴火が発生>

② 大きな噴石、火砕流が想定火口域中心から概ね 1.5～2 km に飛散または到達

(引下げ基準)

想定火口域周辺に影響を及ぼす程度の噴火にとどまる活動が概ね 1 ヶ月以上続いたとき、または、噴火せず、上記の現象が観測されなくなって概ね 1 ヶ月以上続いたときにレベルの引下げまたはレベル 3 を維持したまま警戒範囲を 1.5 km に縮小を行う。

ただし、レベル引上げ後の活動評価を基本に、防災対応の状況等を考慮して判断し、状況によっては 1 ヶ月より短縮する。

(解説)

レベル 3 相当の噴火の中で、特定地域（硫黄山想定火口域中心から東側 1.6km 付近の法華院温泉及び北西側 2 km 付近のくじゅうヒュッテ）に被害を及ぼす噴火およびその可能性のある噴火を想定する。特定地域においては、居住地域よりも早い段階で避難の準備や避難の対応が必要となる。

(解説：判定基準)

<火口から概ね 2 km 以内に被害を及ぼす噴火の可能性>

① 活動の高まりがある中で、次のいずれかが観測された場合

- E) 水蒸気噴火に伴う火砕流は、三宅島 2000 年 8 月 29 日の噴火や口永良部島 2014 年 8 月 3 日の噴火、御嶽山 2014 年 9 月 27 日噴火など他火山において多数の観測事例がある。硫黄山においても水蒸気噴火の規模拡大やマグマ水蒸気噴火へ移行する過程において、想定火口域の中心から 1.5 km 以上に影響を及ぼす小規模な火砕流が発生する可能性がある。火砕流の規模が想定火口域内に留まる程度であっても安全性を考慮し、警戒範囲を 2 km とする。
- F) 想定火口域中心から概ね 1～1.5km に大きな噴石が飛散するような噴火であっても、短期間の間に複数回発生するようであれば、噴火規模の拡大傾向と判断し、警戒範囲を 2 km に拡大する。

<火口から概ね 2 km 以内に被害を及ぼす噴火が発生>

② 大きな噴石、火砕流が想定火口域中心から概ね 1.5～2 km に飛散または到達

レベル 2 における警戒が必要な範囲（想定火口域中心から概ね 1 km 以内）や既に発表

されているレベル3の警戒範囲（想定火口域中心から概ね1.5 km以内）を超える、大きな噴石の飛散や火砕流の到達が確認された場合は、速やかに警戒範囲2 kmとしてレベル3に引き上げ、またはレベル3の切り替えをおこなう。

【レベル4】、【レベル5】

（判定基準）

【レベル4】

居住地域に重大な被害を及ぼす噴火の可能性。次の現象が観測された場合、レベル4に引き上げる。

<居住地域に重大な被害を及ぼす噴火の可能性>

① 活動の高まりがある中で、次のいずれかが観測された場合

- ・ 噴火規模が拡大傾向で、想定火口域中心から概ね2 km 付近に大きな噴石が飛散する噴火が増加
- ・ 多量のマグマ上昇を示す、規模の大きな火山性地震の増加（有感地震の増加）や顕著で急な地殻変動
- ・ 溶岩の出現

【レベル5】

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。次の現象が観測された場合、レベル5に引き上げる。

<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>

① 噴火規模が拡大傾向で、次のいずれかが観測された場合

- ・ 大きな噴石、溶岩流が想定火口域中心から概ね2 km を超えて居住地域に切迫あるいは到達
- ・ 火砕流（噴煙柱崩壊、溶岩ドーム崩落等による）の発生
- ・ 多量のマグマの浅部への上昇を示す、規模の大きな火山性地震（有感地震）の増加

（引下げ基準）

上記に該当する現象が観測されなくなった場合には、活動状況を勘案しながら、レベル引下げや警戒範囲縮小を総合的に判断する。

（解説）

噴火様式はマグマ噴火を想定している。最新のマグマ噴火は、約1,600年前と推定される黒岳における火山活動で、溶岩ドーム形成時に火砕流を伴った噴火が発生し、火砕流は2 km以上流下したと推定される。また溶岩流は火口から1 km以上流下したと推定される。過去にマグマ噴火の事例はあるものの、噴火活動の時間推移はよく分かっていないことから、詳細な基準を設定することは現時点では困難である。経験がないような地震活動や膨張を示す

地殻変動が観測され、深部から多量のマグマの上昇が想定される場合や噴火の拡大で火砕流や溶岩流が居住地域の近くまで達した場合にはレベル4とし、マグマの上昇が浅部まで及ぶ場合や噴火がさらに拡大する場合など、さらに切迫した場合にはレベル5に引き上げることとする。

以上に示した基準のほか、これまで観測されたことのないような変化がデータにみられた場合や新たな観測データが得られた場合には、総合的に火山活動を評価した上でレベルを判断することもある。

なお、噴火警戒レベルの引上げ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。また、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、火山活動に変化がみられるなど、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. 今後検討する課題

以上で示した判定基準は、現時点での知見や監視体制を踏まえたものであり、今後随時見直していくこととする。特に、以下の各課題については、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) 観測開始以来、想定火口域外まで大きな噴石を飛散させるような噴火が発生していないため、他火山での事例も参考にしながら判定基準を設定している。今後、噴火の発生等火山活動の活発化がみられた場合は、その時点の観測データを評価し、随時、基準の見直しを行うこととする。
- (2) 九重山では、有史以降にマグマ噴火は発生していない。現時点では硫黄山以外の地域において噴気活動は観測されていない。しかし約1,600年前には黒岳でマグマ噴火が発生しており、それ以前は1,000～2,000年間隔で規模の大きな噴火を繰り返してきたことから、今後将来においてマグマ噴火が発生する可能性がある。これまでにマグマ噴火が発生した火口の位置は長期的には九重山の西部から東部へと移動しているものの、将来のマグマ噴火が発生する火口の位置を想定することは困難である。判定基準では、有史以降の噴火が硫黄山周辺で発生していることを根拠に、硫黄山からの噴火活動を想定している。

現時点での想定火口以外においても、噴火地点付近ではごく浅い震源の地震が頻発または規模が大きくなる、浅い場所を膨張源とする地殻変動がみられる、新たな地熱域が確認されそれが急速に拡大するといった、現在の硫黄山で想定している現象が観測される可能性がある。

参考文献

- 糸井龍一・甲斐辰次・田中俊昭・福田道博 (2000) : 九重火山の噴気地帯からの塩化水素ガス放出量の経年変化. 日本地熱学会誌, **22**, 159-169.
- 伊藤順一・星住英夫・川辺禎久 (2014) : 最近 5000 年間の九重火山における水蒸気噴火の発生履歴. 火山, **59**, 241-254.
- 江原幸雄・藤光康宏 (1996) 九重火山下の熱過程と 1995 年噴火過程. 文部省科研費突発災害調査研究成果報告書, 1995 年 10 月九重火山の水蒸気爆発の発生機構と火山活動推移の調査・研究, 15-31
- 江原幸雄 (1998) : 1995 年九重火山噴火とその後の経過. 温泉科学, **48**, 72-83.
- 江原幸雄 (2007) : 火山の熱システム—九重火山の熱システムと火山エネルギーの利用—. 樺歌書房, 193p.
- 川辺禎久・星住英夫・伊藤順一・山崎誠子 (2015) : 九重火山地質図 (2 万 5 千分の 1). 火山地質図 19, 産業技術総合研究所地質調査総合センター.
- 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.
- 気象研究所・気象庁 (2016) 2014 年御嶽山噴火前後の傾斜変動と浅部圧力源. 火山噴火予知連絡会会報, 119, 72-75.
- 九州大学理学部附属島原地震火山観測所 (1995) 火山噴火予知連絡会会報, **63**, 58-59
- 斉藤英二・須藤茂・渡辺和明 (2003) 九重硫黄山, 1995 年噴火後の山体変動. 火山, **48**, 275-282.
- 須藤靖明 (1997) 九重火山の活動と噴火予知, 火山, **42**, 75-81
- Takagi, A., and Onizawa, S. (2016) Shallow pressure sources associated with the 2007 and 2014 phreatic eruptions of Mt. Ontake, Japan. Earth Planets Space, **68** (1), 1-9.
- Tomiya, N., Koike, K. and Omura, M. (2004) Detection of topographic changes accompanied with volcanic activities of Mt. Hossho by D-InSAR. Advances in Space Science, **vol. 33, no. 3**, pp. 279-283.
- 橋本武志・宇津木充・坂中伸也・田中良和 (2002) : 九重硫黄山の熱放出過程と地磁気変化, 京都大学防災研究所年報, **45**, B-1.
- 福岡管区気象台. 九重山の火山活動解説資料 (平成 29 年 7 月). (2017)