

霧島山（えびの高原（硫黄山）周辺）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

えびの高原（硫黄山）周辺では、約 9,000 年前の不動池の噴火以降、小規模なマグマ噴火や爆発的な水蒸気噴火が何度も生じ、それらは活動ごとに火口の位置を変えた（田島・他, 2014）。

田島・他（2014）によると、硫黄山は 16～17 世紀頃の噴火で形成されたと考えられている。この噴火で、溶岩が硫黄山火口から北方へ 400m 程度流出し、山体が形成された。また、硫黄山火口から 2 km ほど離れたキャンプ場や六観音御池付近では、硫黄山から噴出されたと考えられる直径 20cm 以上の岩塊がみつかり、硫黄山形成時にはブルカノ式噴火を伴っていたと考えられている。1768 年に硫黄山東火口から発生した水蒸気噴火では、噴火活動は 40 日ほど続いたとされている。また、火山噴火予知連絡会（2018）によると、2018 年 4 月 19 日には硫黄山でごく小規模な噴火が発生し、噴火地点の周辺 100m 程度まで大きな噴石が飛散した。

えびの高原（硫黄山）の火口から西方の 1～2 km 付近には、えびの高原の集客施設が存在する。また、居住地域は火口から 4 km 以遠に位置する。

これら過去の火山活動の特徴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：えびの高原（硫黄山）

2 噴火の区分とその影響

	噴火区分	主な噴出物の種類	警戒が必要な範囲
噴火	ごく小～小	降灰、 <u>大きな噴石</u>	概ね 1 km 以内
		降灰、 <u>大きな噴石</u> <u>火砕流（低温）</u>	概ね 2 km 以内
	中	降灰、 <u>大きな噴石</u>	概ね 4 km 以内
		<u>溶岩流</u> 、 <u>火砕流</u>	概ね 7 km 以内 (範囲内に居住地域あり)

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範囲（警戒が必要な範囲）を基準としている。
- ・水蒸気噴火（小規模噴火）における大きな噴石の飛散範囲は、火山防災マップ作成指

針（内閣府（防災担当）・他，2013）や他の火山の水蒸気噴火の事例も参考に概ね2 km 以内とした。

- ・中規模噴火における大きな噴石の飛散距離は、火山防災マップ作成指針（内閣府（防災担当）・他，2013）や2011年1月の霧島山（新燃岳）のブルカノ式噴火で飛散した最大の距離3.2kmも参考に4 km 以内とした。過去の16～17世紀に発生した霧島山（えびの高原）の噴火の事例では、大きさが約20cmの噴石が約2 km まで飛散している。
- ・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。
- ・噴火警戒レベルは、噴火に伴って発生した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域に到達し、避難までの時間的余裕がほとんどない現象、上表の下線で示した現象）の危険が及ぶ範囲を基に設定している。

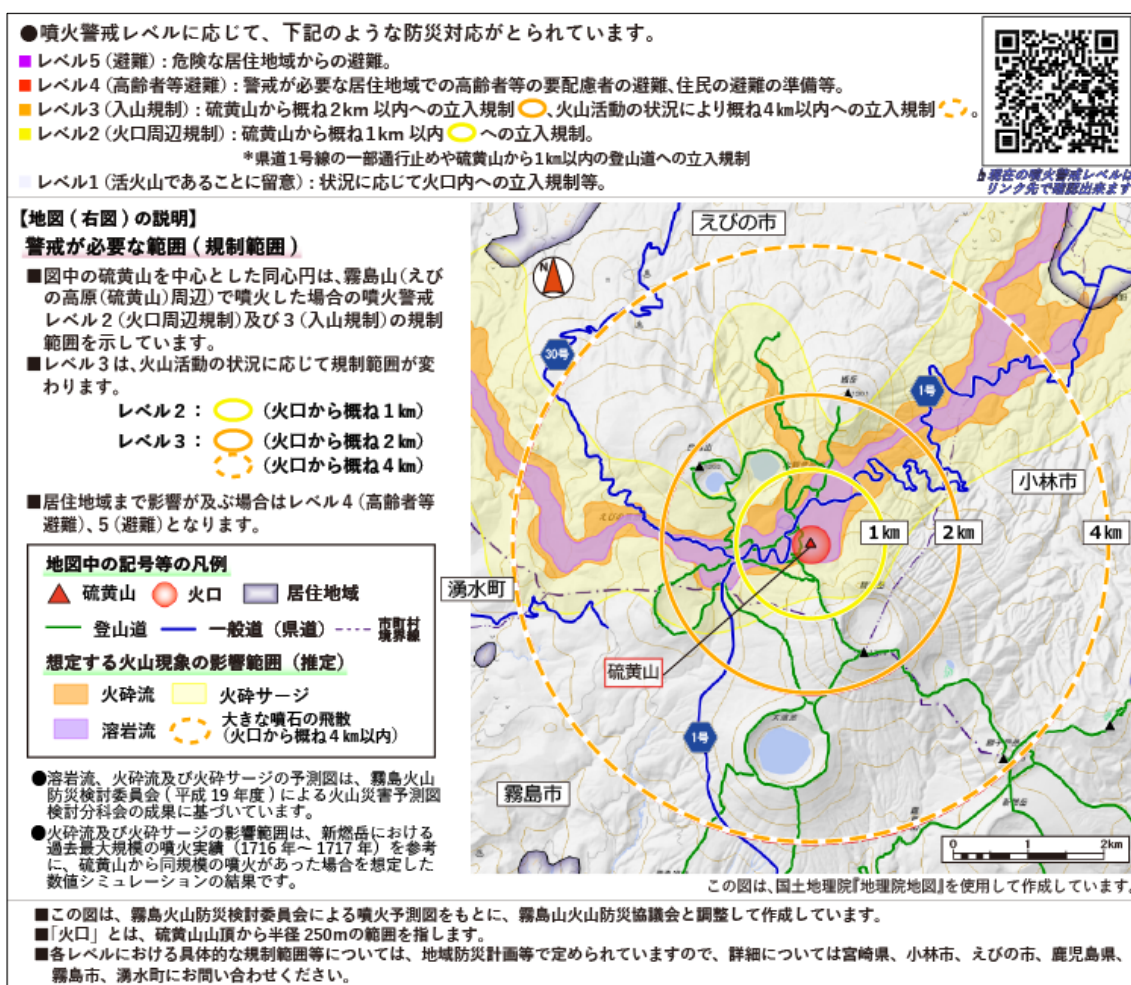


図1 霧島山（えびの高原（硫黄山）周辺）の噴火警戒レベルと影響範囲

## 2 火山活動の時間的な推移

霧島山（えびの高原（硫黄山）周辺）の噴火警戒レベル判定基準の設定にあたっては、過去の噴火実績などをもとに推測した噴火活動の時間推移から作成した噴火シナリオのほか、2018年4月の水蒸気噴火に至るまでの観測データ、及びそれを説明する地下構造の概念モデルをもとにしている。

えびの高原（硫黄山）周辺で噴出物が周辺に堆積物として残るような規模の水蒸気噴火は3回発生し、その中で最後の噴火は、1768年の小規模な水蒸気噴火で40日程継続したと考えられている（田島・他，2014）が、時間的な推移はよく分かっていない。

2018年4月の噴火とそれに先行する一連の火山活動は、近代的な火山観測網により硫黄山で初めて捉えられた噴火を伴う火山活動である。硫黄山には1980年代末まで活発な噴気地帯が存在していたが、1990年代半ば以降は地熱活動が徐々に低下し、2007年以降は噴気が消失していた（舟崎・他，2017）。しかし、2014年8月から2016年頃にかけて火山性微動を伴う傾斜変動がたびたび観測されるようになり、さらに水準測量（九州大学大学院理学研究院・他，2017）や干渉 SAR（国土地理院，2018）により硫黄山が隆起する地殻変動も確認された。そのような中で2015年12月14日には硫黄山火口内の南西側で噴気域の再出現が確認され、2016年4月頃までに噴気域が硫黄山火口南斜面及び南東側へ大きく拡大した。その後、大きな噴気音を伴う活発な噴気活動や熱水の流出が継続し、2017年5月8日の調査では硫黄山火口西側で泥状の噴出物が確認された。さらに、2018年2月からは地震の一時的な増加がたびたび観測され、4月19日に硫黄山の南側でごく小規模な噴火が発生した。これに伴い噴火地点の周辺100m程度まで大きな噴石が飛散した（火山噴火予知連絡会，2018）。また4月20日には硫黄山の西側500m付近でも明瞭な噴気域が出現し、その後4月26日に噴煙に火山灰が含まれる程度の噴火が発生した。地殻変動観測では、噴火前の2018年3月頃から硫黄山周辺のGNSS観測網で認められていた硫黄山付近の地盤の膨張は噴火に伴ってその後収縮に転じたことが確認された。

以上の2018年4月の一連の噴火現象を説明するためのTsukamoto *et al.* (2018)による硫黄山地下概念モデルを図2に示す。硫黄山では電磁探査により地表面近くに顕著な低比抵抗層が確認されており、地盤変動の圧力源位置や硫黄山周辺の震源分布、霧島山の別の地域でのボーリング調査の結果などから、この低比抵抗層が水を通しにくい粘土層に対応していると考えられている。地下深部のマグマから分離した熱水や火山ガスが浅部まで上昇してくると、この難透水層の存在によってその上昇を阻まれ、粘土層の下側に熱水・ガスの溜まり（以下、「熱水だまり」と呼ぶ）が形成される。そして深部からさらに熱水や火山ガスの供給が続くことで、熱水だまりが高圧になり、地殻変動が現れるとともに、地震が多く発生するようになる。また、わずかな隙間を伝って熱水や火山ガスが地表へと上昇することで地熱域の拡大や噴気活動の活発化があらわれる。そしてさらに熱水だまりが高圧になると、粘土層を破って熱水が地表面へ向かって上昇する。

地表面近くでは熱水の液相から気相への相変化により急激な体積膨張が生じ、これにより土砂が周囲に吹き飛ばされる。これが2018年4月19日と26日の噴火に至るまでの過程と考えられている。

噴火警戒レベル判定基準の設定においては、これら2018年4月の水蒸気噴火の発生モデルを念頭に、その噴火に至るまでの過去の観測データを踏まえ、それぞれの観測値の閾値やその組み合わせを定めている。

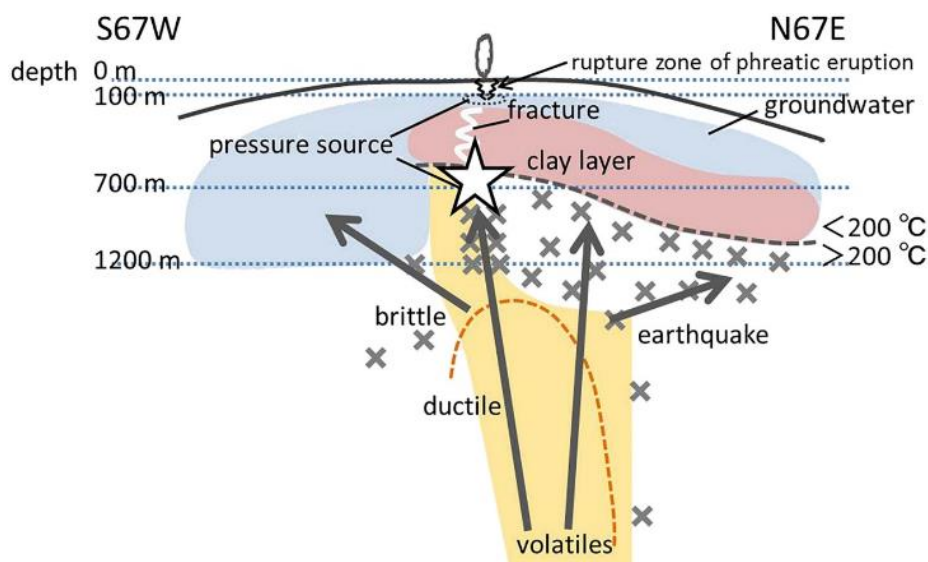


図2 硫黄山地下の熱水系 (hydrothermal system) の概念モデル (Tsukamoto *et al*, 2018, Fig. 4)

赤色は低比抵抗の粘土層 (clay layer) を、青色は地下水 (ground water) に富む領域をそれぞれ示す。粘土層内の白線で示す割れ目 (fracture) を通って流体が地表の噴気地帯へ上昇する。粘土層の底面は 200°C の等温度線に対応する。深さ 130m 付近にある小さな点線で囲んだ領域は干渉 SAR による観測で推定された膨張源を示し、この膨張は水の液相から気相への相変化に対応していると考えられる。白色の星印は粘土層下の熱水の蓄積により生じた膨張源 (熱水だまり) で、水準測量により推定された。地下深部から浅部へ向かう矢印は揮発性物質 (volatiles: もともとマグマに含まれていた熱水や様々な火山ガス) の供給を示す。×印は震源を示し、橙色の点線は脆性 (brittle) 領域と延性 (ductile) 領域の境界を示す。地震は脆性領域で発生し、地震の発生が無い延性領域は揮発性物質の供給路に対応していると考えられる。

### 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)

火口及び火口周辺で噴気域や地熱域が認められない状態、もしくは噴気域や地熱域があるが、噴気の噴出規模や地熱域の明瞭な拡大傾向がなく安定して存在している状

態。火山性地震の発生も少なく、火山性微動の発生もほとんどない。状況により火口内で熱水・熱泥等が飛散する可能性がある。

## 2 レベル2（火口周辺規制）

えびの高原（硫黄山）から概ね1 km 以内に影響する小規模な噴火の可能性がある。硫黄山地下の熱水だまりの圧力の高まりにより、噴気の噴出規模の拡大や地熱域の明瞭な拡大がみられる、もしくは、火山性地震の増加、火山性微動の振幅や継続時間の増大、傾斜計あるいはGNSS等で地殻変動がみられる。

## 3 レベル3（入山規制）

えびの高原（硫黄山）から概ね1 km を超えて4 km 以内に影響する小規模又は中規模噴火の可能性がある。レベル2の現象に加え、山体地下への新たなマグマの貫入、あるいはこれに伴う地下浅部への熱・火山ガス供給量の増加など、レベル2よりさらに火山活動が活発になった状態。

## 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、あるいは活発化すると想定される顕著な地震活動、地殻変動などの異常現象が観測され、噴火の規模がさらに拡大することが予想、もしくは切迫していると考えられる状態。

## 4 噴火警戒レベルの判定基準とその考え方

### 【レベル2】

（判定基準）

レベル1の段階で、次の①②のいずれかの現象が観測された場合にレベルを2に引き上げる。

警戒が必要な範囲は、硫黄山から概ね1 km 以内とする。

#### 1 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

以下のAとBのいずれかを満たす場合にレベルを2に引き上げる。

##### A. 次の2項目のうちいずれかが観測された場合

- ・硫黄山付近の火山性地震の増加（地震回数が100回以上/24時間）
- ・硫黄山付近の火山性微動の発生（韓国岳北東観測点で振幅4  $\mu\text{m/s}$  以上）

##### B. 次の4項目のうちいずれか二つ以上の項目が観測された場合

- ・硫黄山及びその周辺の浅部の膨張を示す地殻変動
- ・地熱域の明瞭な拡大もしくは噴気活動の明瞭な活発化
- ・硫黄山付近の火山性地震の増加（地震回数が80回以上/24時間）
- ・硫黄山付近の火山性微動の発生（韓国岳北東観測点で振幅4  $\mu\text{m/s}$  未満）

#### 2 火口周辺（火口から概ね1 km 以内）に影響を及ぼす噴火が発生

- ・火口周辺に噴石が飛散、または降灰する程度のごく小規模な噴火

(引下げ基準)

火山性地震の増加、火山性微動の発生、硫黄山及びその周辺の膨張を示す地殻変動、地熱域・噴気域の明瞭な拡大傾向が全て認められなくなってからレベル引下げを判断する。

ただし、継続時間数分程度の傾斜変動や火山性微動の発生、1～2日程度の地震増加など、比較的短期間で収束するような現象のみでレベルを引き上げた場合には、概ね2週間程度は他の観測データに変化が無いことを確認した上でレベルを引き下げる。

(解説)

2018年4月の水蒸気噴火を引き起こした硫黄山地下の内部構造モデルを踏まえ、火口周辺に影響を及ぼす噴火の発生の可能性が高まっていると判断される場合にレベル2に判定できるよう、過去の観測データをもとにそれぞれの項目の閾値を設定した。

#### 1 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

主に硫黄山付近で発生した地震の観測データの経験則に基づいて設定した基準Aと、水蒸気噴火に至る地下構造モデルを踏まえて設定した基準Bの二つからなる。

##### A. 地震増加と火山性微動に関する基準（地震観測データの経験則に基づく基準）

- ・2018年4月18日には硫黄山付近の地震回数が100回/24hを超過し、その約40時間後に火口周辺に影響を及ぼす噴火が発生した。地下の熱水だまりの圧力が増大し、熱水や火山ガスが地上へ上昇しようとする過程で発生すると想定している。
- ・硫黄山付近の地震回数が100回/24hを超過しても噴火が発生しない事例もある。例えば、2018年11月4日にも地震回数が増加し108回/24hに達したが噴火は発生しなかった。このようなことも踏まえ、後述するように、短期間の地震増加のみでレベルを引き上げた場合には他の観測データも注視したうえで比較的短期間でレベル引下げを判断する。
- ・2018年4月19日の噴火に伴う火山性微動の振幅は $4.29 \mu\text{m/s}$ （韓国岳北東観測点）であった。このため、これに相当するような大きさの火山性微動の発生は、噴火に相当するような何らかの噴出現象、もしくは、これと同規模の流体の浅部への移動が進行していると考えてレベルを引き上げる。
- ・硫黄山の周辺（韓国岳とその北東側付近、白鳥山付近など）で発生する地震については、2018年4月噴火との因果関係がよく分からないことから、レベル2判定の閾値を設定することは難しい。ただし、噴火前の2017年12月から2018年2月頃には白鳥山や甕岳付近の海面下1 km 付近を震源とする地震が時々みられた。この経験を踏まえ、これら硫黄山の周辺の地震についてもレベル2の判定にあたって参考にすることがある。

B. 地殻変動、表面現象、地震活動に基づく基準（地下構造モデルに基づく基準）

- 2018年4月19日及び26日の噴火は、水を通さない粘土層（難透水層）の存在によって地下深部のマグマに起因した揮発性物質（熱水や火山ガス）の上昇が阻まれ、熱水だまりの圧力が増大し、やがて粘土層を破って水蒸気が地上に噴出して噴火が発生したと考えられている。このため、熱水だまりの圧力増大によって間接的に生じると考えられる（1）地殻変動、（2）噴気・地熱域の明瞭な拡大傾向、（3）硫黄山付近の火山性地震の増加（80回/24h以上）、（4）硫黄山付近の火山性微動の発生、の4項目をレベル引上げの判断要素とする。ただし、これらの項目はそれぞれ2018年4月の噴火前に単独では出現しなかったことを踏まえ、より信頼度をもって噴火の可能性を判断するために、これらのうち複数項目が観測された場合にレベルを引き上げることとする。
- 地殻変動については、2018年4月の噴火前に約2カ月間にわたって硫黄山近傍のGNSSで観測された膨張量がおおよそ1万 $\text{m}^3$ （一日あたりの膨張量に換算して数百 $\text{m}^3$ ）であった（鹿児島地方気象台・福岡管区気象台，2018）ことや、2014年から2018年にかけてえびの高原で度々観測されている火山性微動を伴う傾斜変動の体積変化量が最大で概ね数万 $\text{m}^3$ であった（鹿児島地方気象台・福岡管区気象台，2016，2018）ことから、地下浅部（海面下2km以浅）の体積変化量が一日あたり数万 $\text{m}^3$ 以内の変化をレベル2引上げの目安とする。これは、膨張源である熱水だまりの位置を地表面下0.5～1km（海拔0.7～0.2km）に仮定した場合、韓国岳北東観測点で概ね2 $\mu\text{rad}$ /日未満、あるいは硫黄山近傍のGNSSで数 $\text{cm}$ /日未満の基線長変化に相当する。なお、2014年から2018年までに韓国岳北東観測点でたびたび観測された微動を伴う傾斜変動のうち最も大きな変動は、2014年8月20日に観測された0.46 $\mu\text{rad}$ （NS成分とEW成分の合成値で微動発生前後の約10分間での変動）である。この微動に伴う傾斜変動から推定された圧力源は海拔下500mに求まり、3万 $\text{m}^3$ の膨張と計算される（鹿児島地方気象台・福岡管区気象台，2016，2018）。
- 噴気・地熱域の基準に関しては「“明瞭な拡大傾向”が認められたとき」とする。すなわち、たとえ噴気が勢いよく噴出していても、その勢いが安定して維持されていてその規模の拡大傾向が認められない場合には、高温の火山ガスや熱水等が地下から放出される流路が安定して確保されているため地下の圧力が急激に高まって噴火に至るような可能性が低くなっていると考え、レベル上げの要素とはしない。つまり噴気の勢いが強いかどうかではなく「拡大傾向」があるかに注目してレベル引上げの判断要素とする。さらに、「明瞭な拡大傾向」とは、2015年12月～2016年3月の硫黄山南側における噴気域拡大、2017年5月8日に確認された火口内での熱泥噴出、2018年4月20日～26日までの硫黄山西側500mにおける噴気増大のような、地下からの明らかな熱流の増大やジェット

音を伴う噴気域の出現、激しい熱水や熱泥の噴出を伴うものとする。参考のために、2015 年以降で、地熱域の明瞭な拡大もしくは噴気活動の明瞭な活発化に該当する事例を付録として巻末に示す。

- ・低周波地震はその発生に流体が関与していると推定されることから、地下の熱水だまりが形成される過程では低周波地震の発生が増加することが見込まれる。しかし、2018 年 4 月噴火前後の活動を振り返ると、噴火前よりも噴火後の 2018 年 6 月～12 月の方が低周波地震の回数は多く、単に回数のみをレベル 2 引上げ基準として設定することは難しい。このため、低周波地震については単独で回数の閾値を設けないが、総地震回数に含まれる低周波地震の回数もレベル判定にあたって参考にする。
- ・2018 年 4 月の噴火前には、地下浅部の温度上昇を示す全磁力変化（気象庁地震火山部・他、2019）、高温の火山ガスの関与による噴気の化学組成の変化（東海大学・他、2018）や湧水の化学組成の変化（気象研究所・他、2019）など、火山活動の高まりを示すデータがみられた。レベル判定は基準表に記載された観測項目を基本に行うが、これら全磁力観測や化学成分観測の結果についても参考にする。

## 2 火口周辺（火口から概ね 1 km 以内）に影響を及ぼす噴火が発生

水蒸気噴火の予測技術は未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。火口周辺で降灰する程度のごく小規模な噴火が発生した場合でも、その後も火口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。

レベル 2 から 1 への引下げについては、地下の熱水だまりの圧力増大によって間接的に生じると考えられる火山性地震の増加、火山性微動の発生、硫黄山及びその周辺の膨張を示す地殻変動、地熱域・噴気域の明瞭な拡大傾向が全て認められなくなっから判断する。ここでの「火山性地震の増加が認められない」とは、火山性地震の回数が平穏時に戻る、あるいは戻る傾向が明瞭になることをいう。ただし、火山性微動発生や短期間の地震増加、一時的な傾斜変動など、比較的短期間で収束するような現象のみの場合には、必ずしもその後すぐに表面現象の変化が現れない事例も複数存在する（例えば 2014 年 8 月 20 日、2 月 3 日の傾斜変動を伴う微動や、2018 年 11 月 3 日の地震増加等）。このため、比較的短期間で収束するような現象でレベルを引き上げた場合には、その後 2 週間程度他の観測データに変化が無いこと確認した上でレベルを 1 に引き下げる。

### 【レベル 3】



#### (判定基準)

レベル1～2の段階で、次の①から③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。

##### 1 噴火の拡大傾向

噴火が継続している中で火口から概ね1 km を超えて大きな噴石の飛散が予想される。

##### 2 浅部熱水だまりの大規模な膨張もしくはマグマの浅部への上昇

硫黄山及びその周辺の浅部の膨張を示す大きな地殻変動もしくは地表面温度の著しい高まり（火映や赤熱の出現等）がみられ、かつ、次のいずれかの現象が観測される場合

- ・硫黄山およびその周辺の火山性地震の増加
- ・硫黄山およびその周辺の火山性微動の規模増大

##### 3 火口から概ね1 km を超え4 km まで影響を及ぼしうる噴火が発生

火口から概ね1 km を超える大きな噴石飛散、火砕流、溶岩流等

#### (引下げ基準)

レベル3相当の噴火の可能性でレベルを引き上げたが、火口周辺に影響を及ぼす程度の噴火でおさまった、または、噴火せず、レベル3引上げ基準に該当する現象が見られなくなった場合にレベルを引き下げる。

レベル3相当の噴火が発生し、その後、噴火が発生しなくなる、もしくは、火口周辺に影響を及ぼす程度の噴火にとどまる活動が続いた場合には、レベル引上げ後の活動評価を基本に、防災対応の状況を考慮して判断する。

#### (解説)

えびの高原（硫黄山）周辺において近代ではレベル3相当の噴火の発生例はなく、16～17世紀に大きな噴石が硫黄山から約2 km 飛散した事例や、9,000年前に不動池溶岩が約4 km 流下した事例が残るのみである。これらの活動の時間推移はよくわかっていないことから、レベル3引上げ基準の設定にあたっては噴火シナリオに記載されている以下の二つのケースを想定した。

（ケース1）レベル2相当の噴火よりも規模の大きな水蒸気噴火

（ケース2）マグマが直接関与して発生する噴火（マグマ水蒸気噴火・マグマ噴火）

さらに、これらの想定に加えて、2014年の御嶽山の水蒸気噴火前後の傾斜変動や2011年の新燃岳のマグマ噴火の例も参考に基準を設定した。

##### 1 噴火の拡大傾向

- ・火口周辺に噴石が飛散する程度のごく小規模な噴火が断続的に発生するなかで、

その規模の拡大傾向がみられ、火口から概ね1 km を超えて影響が及ぶ可能性がある場合にはレベル3に引き上げることとする。

## 2 浅部熱水だまりの大規模な膨張もしくはマグマの浅部への上昇

- レベル2引上げの体積変化量としては、前述のとおり一日あたり数万 m<sup>3</sup> 以内を設定している。これよりも規模の大きなレベル3相当の水蒸気噴火の前には、レベル2で想定する場合よりもさらに大きな熱水だまりの膨張が起きると考える。具体的には、一日あたりおよそ10万 m<sup>3</sup> 以上の膨張をレベル3引上げの目安とする（膨張源の深さは海面下2 km 以浅を想定）。この変化量は、膨張源である熱水だまりの位置を地表面下0.5~1 km（海拔0.7~0.2 km）に仮定した場合、韓国岳北東観測点で概ね2 μrad/日以上、あるいは硫黄山近傍のGNSSで概ね10 cm/日以上の基線長変化に相当する。
- 2014年9月27日の御嶽山の水蒸気噴火の例では、噴火直前に火口下約900 mで38万 m<sup>3</sup> 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）。また、新燃岳では2011年1月19日未明のマグマ水蒸気噴火前、及び同月26日のマグマ噴火（準プリニー式噴火）発生前には火口直下海拔0 km付近で数万~数十万 m<sup>3</sup> の体積膨張が見積もられている（加藤・藤原，2012）。硫黄山のレベル3引上げの目安「体積変化量10万 m<sup>3</sup> 以上」は、これらの例ともおおむね整合する。
- 高温のマグマが硫黄山へ上昇し地下浅部へ迫る場合には、火映や赤熱の出現をともなうような地表面の熱活動の著しい活発化が想定される。
- レベル2の想定よりも規模の大きな熱水だまりの膨張や、高温のマグマの上昇の過程では、地下の間隙圧の増加やマグマと地下水の接触などにより、低周波地震を含む火山性地震の増加や火山性微動の規模増大が考えられる。また、その規模の大きさから硫黄山付近に限らず、その周辺の広い範囲（韓国岳とその北東側付近、白鳥山付近など）で低周波地震を含む地震や微動の発生が見込まれる。地震と微動については根拠を示してレベル3引上げの閾値を設定することが難しいことから、単独ではレベル引上げの要素とはしない。
- マグマが地下浅部へ上昇する場合には、二酸化硫黄ガスの放出量が顕著に増加すると見込まれる。えびの高原は地理的に観測条件が悪く安定してデータが取得できないが、顕著な二酸化硫黄ガス放出量の増加（概ね数百トン/日以上）が確認された場合には、マグマ上昇などの火山活動の高まりを示すデータとしてレベル3引上げの判定の参考にする。なお、気象庁が観測を開始した2016年以降では、えびの高原（硫黄山）周辺の二酸化硫黄ガス放出量は数十トン/日以下で推移しており、これまでに100トン/日を超える放出量が観測されたことはない（例えば、鹿児島地方気象台・福岡管区気象台，2019）。

### 3 火口から概ね1 kmを超え4 kmまで影響を及ぼしうる噴火が発生

- レベル2における警戒が必要な範囲（火口から概ね1 km）を超える大きな噴石の飛散や火砕流、溶岩流等が確認された場合は、速やかにレベル3に引き上げる。
- 2018年4月19日の噴火では、これまで噴火を観測した経験がなかったために即座に大きな噴石の飛散距離が判定できず、一度レベル3に引き上げたが、後の現地調査でレベル2相当のごく小規模噴火であったことが判明した（鹿児島地方気象台・福岡管区気象台，2018）。この経験を踏まえ同規模の噴火（硫黄山南カメラのみで噴石が確認できる程度）が発生した場合には、大きな噴石が火口から1 kmを超えていないと判断し、レベル3への引上げは行わない。しかし大きな噴石や火砕流が監視カメラで確認できず、火口周辺の空振計等の観測データから火口から1 kmを超えている可能性があるかと判断した場合は、一度レベル3に引き上げる。その時は速やかに現地調査等を行い、火口から1 kmを超えていないことが確認できた時点でレベル2に引き下げることにする。
- 天候不良等により火口が見えない場合には、韓国岳北東観測点（硫黄山から2.2 km）の空振計でおよそ20 Paを観測した場合に、火口から概ね1 kmを超えて噴石が飛散する可能性を考えて一度レベル3に引き上げることとする。この空振の値は桜島の爆発の通報基準をもとに設定している。桜島の爆発の通報基準の一つである空振10 Pa（観測点は桜島火口から4～5 km）は、火口－韓国岳北東観測点の距離2.2 kmにおける空振波の値に換算すると約20 Paとなる。この場合、前項と同様に、天候回復後に速やかに現地調査を行い、火口から1 kmを超えていないことが確認できた時点でレベル2に引き下げることにする。
- 活動状況に応じて警戒範囲を火口から概ね2 km以内とするか、または概ね4 km以内とするかを検討することとする。

#### （引下げ基準）

レベル2における警戒が必要な範囲（火口から概ね1 km）を超えて、居住地域の近くまで重大な影響を及ぼす噴火の可能性によりレベル3に引き上げたが、噴火の規模が火口周辺に影響を及ぼす程度にとどまった場合、あるいは噴火しない場合で、かつ居住地域の近くまで重大な影響を及ぼす噴火の切迫を示す現象がみられなくなった場合にはレベルを引き下げる。

実際に居住地域の近くまで重大な影響を及ぼす噴火が発生した場合には、その後の噴火活動の状況を見て判断する。具体的には、噴火が発生しなくなる、あるいは、火口周辺に影響を及ぼす程度の噴火にとどまる活動が続いた場合、火山活動を評価し判断する。

#### 【レベル4、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（次のいずれかが観測された場合）
- ・更なる噴火の拡大傾向（火口から概ね3kmを超えて火砕流、溶岩流等が到達）
  - ・硫黄山およびその周辺で規模の大きな地震（体に感じる程度）が多発
  - ・多量のマグマ上昇を示す顕著な地殻変動

レベル5

居住地域に重大な被害を及ぼす噴火が切迫、あるいは発生している（次のいずれかが観測された場合）

- ・火砕流、溶岩流等が居住地域に切迫 等
- ・火砕流、溶岩流等が居住地域に到達 等

(引下げ基準)

各レベルに該当する現象が観測されなくなった場合には、火山活動を評価し判断する。

(解説)

これまでの調査研究結果から判断すると、えびの高原（硫黄山）の水蒸気噴火やマグマ噴火については、居住地域（火口から約4.7km）に重大な影響を及ぼす可能性は少なく、ほとんどはレベル3までの範疇の現象である。しかし、マグマ噴火の規模がさらに拡大し、規模の大きな火砕流の発生や溶岩の流出により居住地域に重大な被害をもたらす場合も想定して、レベル4、5の判定基準を示した。

しかし、えびの高原（硫黄山）の噴火については、その経過が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が、経験がないような地震活動や地殻変動が観測され、大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、その現象がさらに拡大した場合にはレベル5に引き上げることとする。

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知見により評価を得られた場合に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かと判断した場合、または判断に迷う場合に、「火山の状況に関する解説情報（臨時）」を発表する。

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ですが、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 今後検討すべき課題

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) レベル4以上の判定基準については、他の火山の事例も参考にしながら、火山防災協議会における噴火時の避難計画等防災対応の検討の中で、より具体的な数値基準を設定していく必要がある。
- (2) えびの高原（硫黄山）の背後には、韓国岳の崩壊地形があり、えびの高原（硫黄山）の噴火や強い地震動などにより、規模の大きな崩落が発生した場合、県道を越えたのち、谷に沿って北東方向に流下する可能性もあることから、この現象の監視や対策についても検討する必要がある。

## 《引用文献》

- 舟崎淳・下村雅直・黒木親敏（2017）霧島連山えびの高原，硫黄山の明治時代以降の地熱活動資料．*験震時報*，80，1-11.
- 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.
- 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（2019）霧島山の火山活動－2017年9月1日～2018年9月30日－．*火山噴火予知連絡会会報*，**131**，280-350.
- 鹿児島地方気象台・福岡管区気象台 火山監視・情報センター（2016）霧島山の火山活動－2014年5月～10月－．*火山噴火予知連絡会会報*，**119**，213-259.
- 加藤幸司・藤原善明（2012）2011年1月26日新燃岳噴火に先行して観測された傾斜変動について．*日本火山学会2012年度秋季大会予稿集*，P73.
- 火山噴火予知連絡会（2018）第141回火山噴火予知連絡会 霧島山の火山活動に関する検討結果．*火山噴火予知連絡会会報*，**130**，504.
- 気象庁地震火山部・福岡管区気象台・気象庁地磁気観測所（2019）霧島山（硫黄山）における地磁気全磁気変化．*火山噴火予知連絡会会報*，**131**，351-354.
- 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.
- 気象研究所・東海大学・福岡管区気象台・鹿児島地方気象台（2019）霧島山硫黄山周辺の湯溜り・湧水の化学組成（2018年10月19日現在）．*火山噴火予知連絡会会報*，**131**，355-359.
- 国土地理院（2018）霧島山周辺の地殻変動．*火山噴火予知連絡会会報*，**123**，293-301.
- 九州大学大学院理学研究院 附属地震火山観測研究センター・北海道大学大学院理学研究科 附属地震火山研究観測センター・日本大学文理学部 地球科学科・京都大学大学院理学研究科 附属地球熱学研究施設・気象庁福岡管区気象台（2018）精密水準測量で検出された霧島火山地域の地盤上下変動（2011年8月～2017年10月）．*火山噴火予知連絡会会報*，**128**，343-347.
- 内閣府（防災担当）・消防庁・国土交通省水管理・国土保全局砂防部・気象庁（2013）*火山防災マップ作成指針*．112p.
- 田島靖久・松尾雄一・庄司達弥・小林哲夫（2014）霧島火山，えびの高原周辺における最近15,000年間の活動史．*火山*，**59**（2），55-75.
- 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.
- Tsukamoto, K., Aizawa, K., Chiba, K., Kanda, W., Uyeshima, M., Koyama, T., Utsugi, M., Seki, K., and Kishita, T. (2018) Three-dimensional resistivity structure of Iwo-yama volcano, Kirishima Volcanic Complex, Japan: Relationship to shallow seismicity, surface uplift, and a small phreatic eruption. *Geophys. Res. Lett.*, **45**, 12, 821-12, 828.
- 東海大学・気象研究所・産業技術総合研究所・名古屋大学（2018）霧島硫黄山噴火の化学組成・安定同位体比（2015年12月～2018年5月）．*火山噴火予知連絡会会報*，**130**，304-312.

《付録》

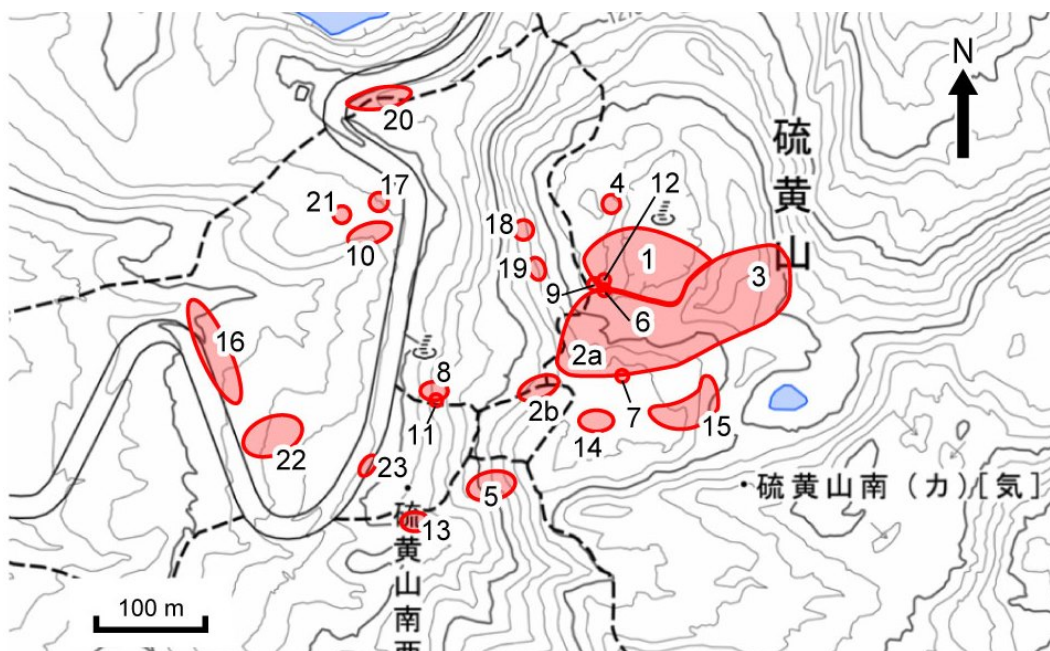


図 A1 2015 年以降に出現が確認された地熱域と噴気域の分布 (図中の番号は表 A1 に対応)  
(国土地理院発行の火山基本図に地熱域と噴気域を追記して作成)

表 A1 えびの高原（硫黄山）周辺で 2015 年以降に出現が確認された地熱域と噴気域  
 番号は図 A1 中の地熱域と噴気域を示す番号に対応する。地熱域の明瞭な拡大もしくは  
 噴気活動の明瞭な活発化に該当する事例を●（黒丸）で示す。

番号	場所	確認日	地熱域の明瞭な拡大 噴気の明瞭な活発化	備考
1	火口内	2015/12/14	●	
2a	南側斜面	2016/01/14	●	
2b	南側斜面	2017 年頃	-	
3	南東側	2016/03/24	●	
4	火口内西側	2016/08/29	-	
5	南西側（旧韓国岳登山道脇）	2017/02/13	-	
6	硫黄山火口の南西側	2017/03/19	●	熱水湧出
7	硫黄山火口の南側	2017/03/21	●	熱水湧出
8	西南西側（韓国岳登山口）	2017/04/27	●	※ 1
9	硫黄山火口の南西側	2017/05/08	●	東大地震研究所により 噴出物を確認
10	西斜面	2017/05/09	-	
11	西南西側（韓国岳登山口）	2017/06/04	●	熱水湧出
12	硫黄山火口の南西側	2017/07/27	●	大きな噴気音
13	南西側（県道近く）	2017/08/31	-	
14	火口内の南西側	2018/04/09	●	熱水流出
15	火口内の南側	2018/04/19	●	噴火（※ 2）
16	硫黄山の西側約 500m	2018/04/20	●	噴火（2018/4/26）
17	硫黄山の西北西側約 350m	2018/04/22	-	
18	火口内の西北西側	2018/04/22	-	
19	火口内の西側	2018/04/26	-	
20	硫黄山北西斜面	2018/08/06	-	
21	硫黄山の西側	2018/08/06	-	
22	硫黄山の西南西側	2018/12/13	-	地熱域のみ
23	硫黄山の南西側法面	2019/01/09	-	地熱域のみ

※ 1 地熱域（番号 8）は 2017/03/24 から存在を確認していたが、2017/04/27 の観測で明瞭な噴気量の増大と地熱域の拡大を確認した。

※ 2 地熱域（番号 15）は 2017/05 頃～2017/06 頃に一時的に存在したのちに消失し、その後 2017/11 頃から出現が再び確認された（鹿児島地方気象台・福岡管区気象台，2018）。これらの地熱域の出現・拡大は「地熱域の明瞭な拡大」に該当するものではない。一方で 2018/04/19 の噴火に伴う変化は「地熱域の明瞭な拡大・噴気の明瞭な活発化」に該当する。