

平成 28 年 7 月 26 日運用開始  
平成 29 年 3 月 23 日現在  
令和 4 年 2 月 24 日  
気 象 庁

## 鶴見岳・伽藍岳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

鶴見岳を構成する山体の大半は鬼界カルデラを起源とするアカホヤ火山灰（約 7,300 年前）に覆われ（小林，1984）、最新の溶岩流である鶴見岳山頂溶岩もそれ以前の噴出物である。アカホヤ火山灰の堆積以降の噴火としては、1,800 年前に鶴見岳山頂付近で発生したブルカノ式噴火による火山灰が鶴見岳の南側斜面に堆積している（藤沢・他，2002）。山頂北西側には地獄谷赤池噴気孔があり、活発な噴気活動が認められる。

伽藍岳は、約 10,500 年前より若干古い時代に生成し、伽藍岳 3 火山灰を噴出した（藤沢・他，2002）。千数百年前には、変質物を主体とする粘土質火山灰の放出が少なくとも 2 回は確認されている（星住・他，1988、藤沢・他，2002）。上位の火山灰層は「日本三代実録」に記録されている西暦 867 年の噴火に相当するものと考えられる。伽藍岳の山頂部の直径 300m の円弧状の火口地形の内側では、1995 年に新たな泥火山が生成するなど（大沢・他，1996）、現在でも活発な噴気活動が続いている。

鶴見岳・伽藍岳は比較的粘性の高い安山岩～デイサイト質のマグマによる溶岩流、溶岩ドームや火山砕屑物等が複雑に積み重なって形成された火山である。想定する噴火様式については、活動履歴が少ないことから同様な岩石組成である雲仙岳や霧島山（新燃岳・硫黄山）及び由布岳を参考とした。噴火の形態については、水蒸気噴火からマグマ噴火へ移行する可能性が高い。水蒸気噴火では一般には火山灰の噴出や岩塊の放出を伴うが、時には火砕流が発生することがある。マグマ噴火に移行した場合には、火砕流、溶岩流、及び溶岩ドームの崩落による火砕流も想定される。これら参考とした火山の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。

---

本資料で用いる用語の解説については、「気象庁が噴火警報等で用いる用語集」を御覧ください。  
<https://www.data.jma.go.jp/vois/data/tokyo/STOCK/kaisetsu/kazanyougo/mokuji.html>

① 噴火場所（想定火口）：鶴見岳山頂火口（地獄谷赤池噴気孔を含む）及び伽藍岳爆裂火口付近

② 噴火の区分とその影響

	噴火区分	主な火山現象の種類	警戒が必要な範囲
噴火	小	火山灰、 <u>大きな噴石</u> 、 <u>火砕流</u>	火口から概ね1 km 以内
	中	火山灰、 <u>大きな噴石</u> <u>火砕流</u>	火口から概ね2 km 以内
	中～大	上記に加え、 <u>溶岩流</u>	大きな噴石は火口から概ね4 km 以内 火砕流・溶岩流はハザードマップに示された範囲

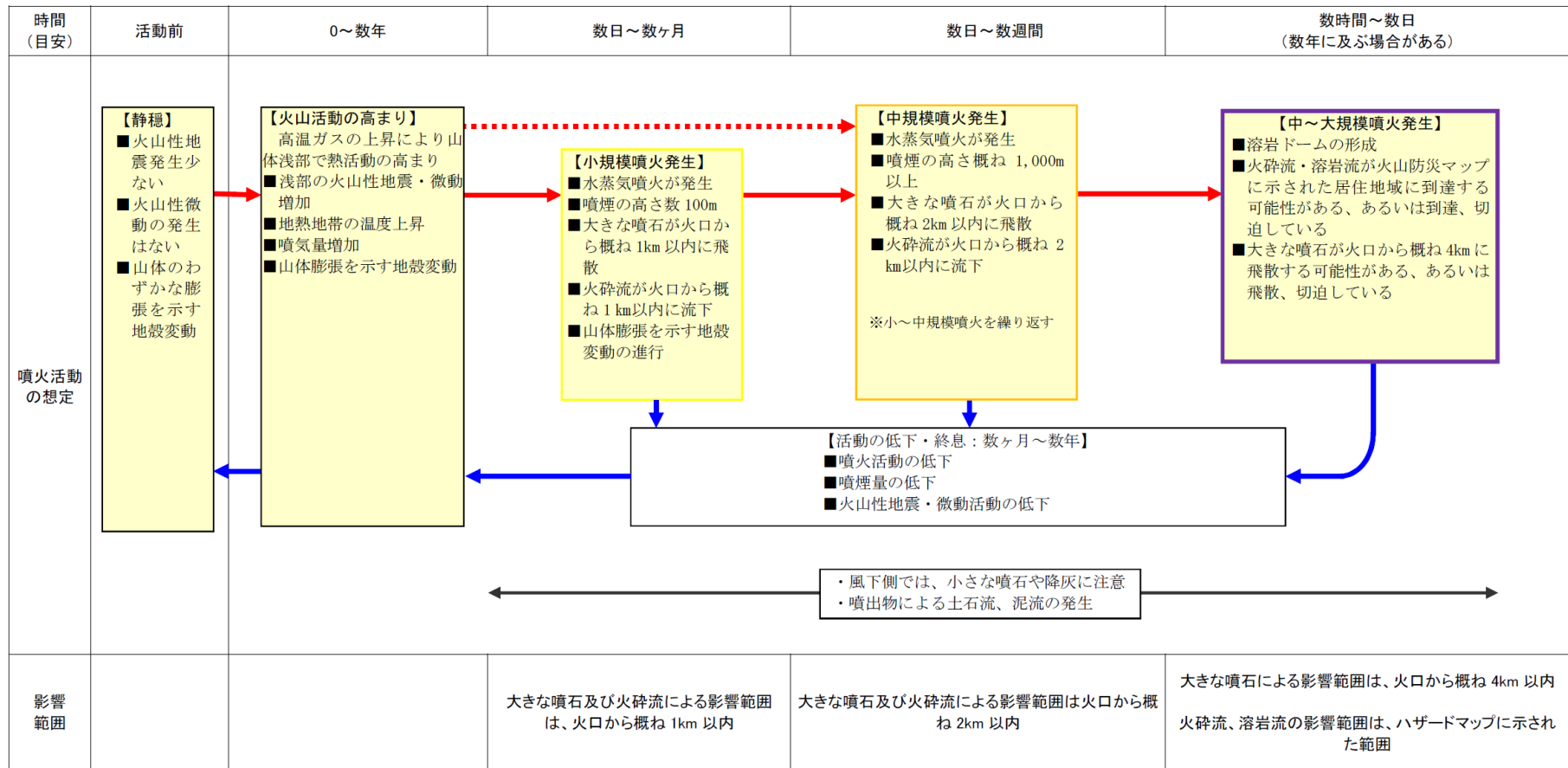
- ・噴火の規模表現は、火山学的な噴火の規模（噴出物量）とは異なり、大きな噴石、火砕流や溶岩流の到達する範囲（警戒が必要な範囲）を基準に想定した。
- ・火山灰や小さな噴石は、風に乗って警戒が必要な範囲を超えて広範囲に達することがある。空振も、警戒が必要な範囲を超えて広範囲に伝わる。降雨による土石流は、噴火中でも発生することがあり、噴火が終息した後も、大雨の時には発生することがある。
- ・警戒が必要な範囲とは、火山活動の状況に応じて発生する火山現象の影響範囲をもとに気象庁が呼びかける警戒が必要な範囲をいい、立ち入りが規制される警戒区域は警戒が必要な範囲を参考に自治体が設定する。

## 2. 火山活動の時間的な推移

鶴見岳では1,800年前に山体の東斜面でブルカノ式噴火が発生し、771年および867年に伽藍岳で水蒸気噴火が発生しているが、噴火の時間的な推移はよく分かっていない。

また、2010年11月の観測開始以降、周辺領域での一時的な地震の増加や想定火口付近の弱い噴気は認められるものの、噴火に至った事例はない。

以上のように、火山活動の時間的な推移についての知見には乏しいものの、長期にわたり噴気活動が継続していることから、活動の開始は想定火口における水蒸気噴火を想定する。活動の想定（噴火シナリオ）を図1に示す。



(凡例) 赤色矢印：その時点での火山活動が継続あるいは活発化する場合  
 青色矢印：沈静化する場合  
 過去事例により相対的に可能性が低い場合は破線で示している。

図 1 鶴見岳・伽藍岳における噴火シナリオ

### 3. 噴火警戒レベルの区分け

鶴見岳・伽藍岳においては、火口から最も近い居住地域が伽藍岳火口から約1.5kmに位置する。このため、噴火による大きな噴石や火砕流等の危険な現象の影響が火口から1.5km以内にとどまる火山活動であればレベル2または3とし、その範囲を超えて居住地域に危険があると予想される、あるいは、及んでいる状況をレベル4、5とする（図2）。

噴火警戒レベルは鶴見岳、伽藍岳それぞれの山について適用し運用する。どちらの火山で活動が活発化しているか明確に判断できる場合はその山のみ噴火警戒レベルを引き上げる。どちらの火山での活発化かを判断できない場合は両火山とも噴火警戒レベルを引き上げることもあり得る。

#### ① レベル1（活火山であることに留意）

静穏な火山活動。火口及び火口周辺で噴気活動が認められる程度。火山性地震の発生は少なく、火山性微動の発生もほとんどない状態。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）

火口から概ね1km以内に影響する小噴火が発生する可能性がある。噴気活動の活発化や規模の大きな火山性地震の発生や回数の増加、低周波地震の発生、火山性微動の振幅や継続時間が増大する。山体浅部を膨張源とする地殻変動がみられる。

#### ③ レベル3（入山規制）

火口から概ね1.5km以内に影響する中噴火が発生する可能性がある。火山活動が活発化し、レベル2の現象がさらに進行・拡大した状態。火山性地震のさらなる増加や規模増大、山体膨張を示す明瞭な地殻変動がみられる。

#### ④ レベル4（高齢者等避難）から5（避難）

レベル3の段階から噴火活動がさらに活発化。火口から概ね1.5kmを超えて影響を及ぼす中～大噴火が発生する可能性、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、急激な山体膨張を示す地殻変動がみられる。

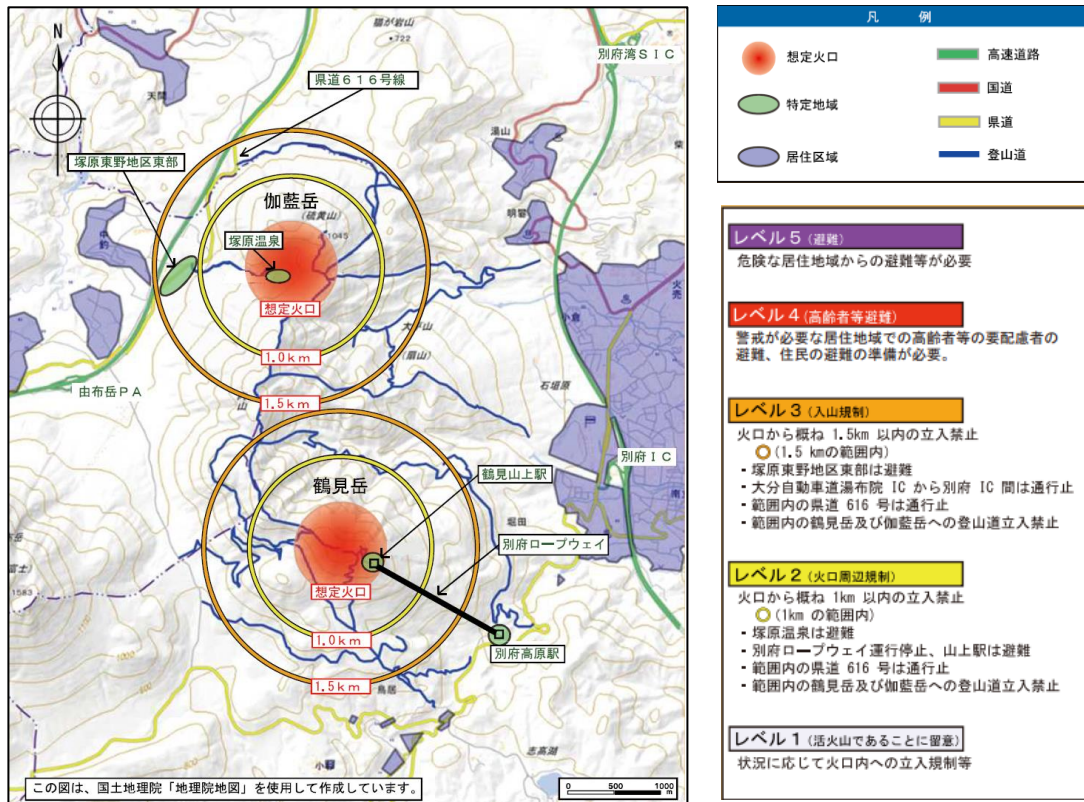


図2 鶴見岳・伽藍岳 噴火警戒レベルに対応した防災対応  
(噴火警戒レベルリーフレットより)

#### 4. 噴火警戒レベルの判定基準とその考え方

判定基準の設定にあたっては、水蒸気噴火については噴気活動等に共通点があると考えられる御嶽山、箱根山、硫黄山（霧島山）、マグマ噴火は雲仙岳等の過去の火山活動や知見を参考にした。また、地震活動に関しては活断層との関連も考慮した。

##### 【レベル1】

火山活動は静穏な状態。火山性地震の発生状況は日回数で0～数回程度、噴気地帯の状況にも特段の変化は認められず、地殻変動にも変化が認められない状況。

ただし、レベル1の状況であっても活火山であることから、想定火口内では突発的に火山灰や泥の噴出等が発生する可能性があることには留意する必要がある。

なお、火山活動に変化がみられ、活動状況や観測データの変化について伝える必要があると判断した場合は「火山の状況に関する解説情報」によりお知らせする。また、今後の活動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して判断した場合には「火山の状況に関する解説情報（臨時）」を発表する。

##### 【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。

##### 【火口周辺に影響を及ぼす噴火の可能性】

- ① 火山性地震の増加（地震回数が50回/24時間以上、活断層近傍の地震は除く）
- ② 山体浅部を震源とする振幅の大きな火山性地震が複数回発生
- ③ 火山性微動の増加または規模増大（6回/24時間以上あるいは継続時間5分以上または振幅10 $\mu$ m/s以上の微動発生）
- ④ 以下の現象が複数項目観測された場合
  - [A] 火山体内の活断層近傍の地震の増加（地震回数が50回/24時間以上を目安）
  - [B] 火山性地震の震源が山体浅部へ移動
  - [C] 山体浅部を震源とする低周波地震が複数回発生
  - [D] 山体膨張を示す地殻変動
  - [E] 既存噴気地帯での噴気の増加や地熱域の拡大、もしくは新たな噴気や地熱域の出現

##### 【火口周辺に影響を及ぼす噴火が発生】

- ① ごく小規模～小規模な噴火の発生  
(大きな噴石飛散、火砕流等が火口から半径1km以内にとどまる程度、火口周辺に降灰する程度のごく小規模な噴火も含む)

(引下げ基準)

噴火の発生がなく、山体膨張や噴気の増加傾向がなくなり、地震・微動が平穏時のレベルに戻った、あるいは戻る傾向が明瞭になる。ただし、平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、活発化の傾向に転じたことがわかった場合は、引上げ基準に達していなくても再度レベル2に引き上げる。

#### (解説)

噴火警戒レベル2への引上げは水蒸気噴火の発生もしくはその可能性が高まった状態を対象としている。鶴見岳・伽藍岳山体直下の浅部（概ね深さ1 km 以浅）には帯水層が存在すると考えられている（別府市，2012）。他火山の事例から水蒸気噴火前には帯水層付近に地下からの火山性流体が供給されることで蓄熱・膨張が進行することが想定される。

例えば、霧島山（硫黄山）において2018年4月に発生した水蒸気噴火は、噴火前に山体膨張が観測された。この変動は硫黄山直下の深さ約700mにおける数万 $\text{m}^3$ の体積増加で説明されており（鹿児島地方気象台・福岡管区気象台，2018）、帯水層にマグマ起源の火山ガスや熱水が供給されたと考えられている。噴火に至るまでの過程では、山体浅部への地下からの火山性流体の供給に起因した体積増加による地殻変動、応力変化による火山性地震の増加や火山性微動の発生、地表においても地熱域の拡大、噴気の増大が観測されている。1991年、2007年及び2014年の御嶽山や2015年の箱根山の水蒸気噴火においても噴火前に同様な現象が観測されており、鶴見岳・伽藍岳でも水蒸気噴火が切迫している場合には同様な現象が観測される可能性が高い。このことから、噴火警戒レベル2への引上げ基準は山体浅部における活動に着目して設定している。

鶴見岳・伽藍岳は周辺に別府一万山断層帯と呼ばれる活断層群が分布しており、地震活動が活発な領域である。鶴見岳・伽藍岳近傍では、堀田一朝見川断層、由布院断層、鉄輪断層、別府北断層などの存在が知られており、これらの活断層沿いでも活発な地震活動がみられ、時折群発的な活動となる場合もある。鶴見岳・伽藍岳付近に存在する活断層近傍の過去の地震活動の例を巻末資料に示す。

火山の活動監視においては、地震計基準観測点から概ね5 km 以内におさまる領域の地震を一律に火山性地震として監視している。そのため、火山性地震としたものの中には、上記活断層近傍の地震によるものが含まれる。実際に活断層近傍の地震が増加した2020年6～8月の事例では、火山活動の活発化には至らなかった。このことから、同様の活動では噴火警戒レベルは引き上げないこととしている。しかしながら、火山体と活断層が近接しているため、火山活動に起因する火山性地震であるかどうかを明確に区別することは困難である。また、活断層近傍の地震活動自体も火山活動と全く関係ないとは言い切れない。このため、地震増加とともに火山活動の活発化を示す他のデータが観測された場合には噴火警戒レベルを引き上げる。加えて、火山体近傍のこれまでに地震が発生したことのない領域で地震活動が活発化した際には地震増加のみでレベルの引上げを検討する。

しかし、その後の観測データの蓄積によりその地震活動が活断層によると判断できる場合には、地震回数のみでのレベルの引き上げは行わない。

(解説：判定基準)

【火口周辺に影響を及ぼす噴火の可能性】

- ① 御嶽山では1991年、2007年及び2014年の噴火いずれの場合も噴火に先行して火山性地震あるいは火山性微動の増加が観測されている。鶴見岳・伽藍岳においても御嶽山の基準を参考に火山性地震が24時間で50回以上発生した場合をレベル引き上げの基準とした。なお、活断層近傍で発生する地震については回数基準を満たしたのみではレベルの引き上げは行わない(④及び巻末資料参照)。
- ② 2021年2月に鶴見岳直下の深さ約0kmで振幅の大きな火山性地震が発生した(日の平観測点上下動成分で $1,637\mu\text{m/s}$ )。山体の浅い所で発生した地震としては、観測開始以降最も大きな地震であった。この事例の際も火山活動の活発化はみられなかった。しかし、火山性地震としては比較的規模の大きな地震であり、火山活動が活発化する可能性も考えられた。このことから、浅いところ(概ね深さ1km以浅)でこの地震を上回るような規模の地震(日の平観測点で概ね $2,000\mu\text{m/s}$ 以上)が複数回発生した場合には噴火警戒レベルを2に引き上げる。なお、伽藍岳ではこれまでに上記のような規模の大きな火山性地震が観測されたことはないため、地震振幅に関する知見が得られるまでは鶴見岳と同様に湯山観測点で概ね $2,000\mu\text{m/s}$ 以上の基準を用いる。
- ③ ①で述べたように、御嶽山では過去3回の噴火に先行して火山性微動が観測されている。鶴見岳・伽藍岳ではこれまでに火山性微動の観測例はないが、地震回数と同様に御嶽山の基準を参考にして火山性微動の規模や継続時間を設定した。
- ④ 鶴見岳、伽藍岳ともに想定火口域内に噴気地帯が存在している。同様に噴気活動が見られる霧島山(硫黄山)や箱根山では、噴火に前駆して地殻変動と地震の増加が観測され、噴気活動も非常に活発となった。噴火の前駆現象としての活動の高まりはこのように複数の観測項目において同時に観測される場合があるため、[A]~[E]のうち複数項目が観測された場合にレベルを2に引き上げる。前述したように、活断層近傍の地震活動の活発化についても、鶴見岳・伽藍岳の火山活動と全く関係がないとは言い切れないことから、他の観測データの変化と組み合わせた基準の一つとする。

また、伽藍岳付近には鉄輪断層や別府北断層が存在する。鉄輪断層東部域での活動は活発であるが、西部域(伽藍岳山体近傍)で地震の増加はこれまで観測されていない。また、別府北断層近傍では地震活動は比較的静穏である。山体に近接した鉄輪断層近傍や別府北断層近傍で地震が多数発生した場合にも、堀田一朝見川断層・由布院断層と同様の運用とする。

[A] 活断層近傍の地震活動活発化であっても、火山活動の活発化を示すような現象が観測された場合にはレベルを引き上げる。回数基準は火山性地震の場合



に準ずる。

- [B] 活断層近傍の地震であっても、山体直下の浅部へ向けて震源が移動するような分布を示す場合は、山体浅部に向けて火山性流体の移動や流量の増加を反映している可能性がある。
- [C] 鶴見岳・伽藍岳において、これまでに低周波成分が卓越する地震の観測事例はないが、帯水層付近や火山性流体の挙動による地震と考えられることから引上げ検討対象とする。
- [D] 帯水層における増圧に伴い体積の増加が想定される。2018年霧島山(硫黄山)の活動等を参考に、山体浅部において数万 $\text{m}^3$ 程度の体積膨張を考える。傾斜変動は増圧源の位置によって大きくことなることや観測経験がないことから具体的数値は定めないが、仮に、鶴見岳山頂直下の概ね深さ1kmで5万 $\text{m}^3$ の増圧が生じたとすると、日の平観測点傾斜計で $1.5\mu\text{rad}$ 程度の変動が見込まれる。
- [E] 帯水層において蓄熱が進行すると、地表においても地熱域の拡大及び噴気の増大等が観測される可能性がある。

#### 【火口周辺に影響を及ぼす噴火が発生】

- ① 水蒸気噴火の予測技術はまだまだ確立されていないことから、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。火口周辺に降灰する程度のごく小規模な噴火が発生した場合もレベルを直ちに引き上げる。

#### 【レベル3】

(判定基準)

レベル1～2の段階で、次のいずれかの現象が観測された場合、レベル3に引き上げる。

#### 【居住地域の近くまで重大な影響を及ぼす噴火の可能性】

- ① 噴火の拡大傾向(火口から概ね1km以遠に大きな噴石飛散が予想される)
- ② 大きな火山性微動(レベル2よりも規模大あるいは継続時間長)
- ③ 火山性地震の急増、規模増大(レベル2よりも規模増大あるいは回数増加)
- ④ 山体の膨張を示す明瞭な地殻変動

#### 【居住地域の近くまで重大な影響を及ぼす噴火が発生】

- ① 火口から概ね1.5km以内に大きな噴石飛散、火砕流等

(引下げ基準)

居住地域の近くまで重大な影響を及ぼす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、上記の現象がみられな

なくなった場合。居住地域の近くまで重大な影響を及ぼす噴火が発生し、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、レベル引き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する。

(解説)

レベル2と比較してさらに噴火の発生が切迫している状態、あるいは規模の大きな水蒸気噴火やマグマ水蒸気噴火への移行など、レベル2の火山活動がさらに活発化する過程を想定する。火山活動へのマグマの寄与が強まり、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)

**【居住地域の近くまで重大な影響を及ぼす噴火の可能性】**

- ① レベル2規模の噴火活動からさらに活動が活発化し、火口から概ね1km付近まで大きな噴石が短期間のうちに複数回飛散した場合にはレベルを3に引き上げる。
- ② ～④ 水蒸気噴火の発生が切迫していると推定される状態や水蒸気噴火の規模拡大あるいはマグマ水蒸気噴火への移行を想定する。水蒸気・熱水など火山性流体のさらなる上昇、マグマの浅部への移動などの現象が起こっているものと考えられる。これら流体の移動があるとそれに伴い火山性微動が発生するとともに、圧力の増大により規模の大きな火山性地震が発生する他、山体膨張を示す顕著な地殻変動が観測されると考えられる。

**【居住地域の近くまで重大な影響を及ぼす噴火が発生】**

レベル2における警戒が必要な範囲を超えて大きな噴石の飛散等が確認された場合は、速やかにレベルを3に引き上げる。

**【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】**

- ① 更なる噴火の拡大傾向  
(火口から概ね1.5km以遠に大きな噴石飛散、火砕流、溶岩流等が予想される)
- ② 山体内で規模の大きな地震(有感地震を含む)が多発
- ③ 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】**

① 火砕流、溶岩流等が居住地域に切迫 等

【居住地域に重大な被害を及ぼす噴火が発生】

① 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、活動状況を勘案しながら、総合的に判断する。

(解説)

噴火様式としてはマグマ噴火を想定している。鶴見岳山頂溶岩を噴出した噴火では、鶴見岳の東から南東方面に溶岩が流出している。その他にも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。しかしながら、多量のマグマの上昇を示唆するような地震活動や山体膨張が観測される場合や、溶岩ドームの崩落、規模の大きなマグマ噴火に伴う火砕流、溶岩流が居住地域に達すると予想される場合には警戒が必要な範囲も検討したうえでレベル4とし、居住地域に切迫、もしくは到達した場合には、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観測データが得られた場合には、総合的に評価した上でレベルを判断することもある。

## 5. 改善経緯と今後検討すべき課題

鶴見岳・伽藍岳では、2010年10月の観測開始以降、10年以上が経過し観測体制も強化された。これにより、火山性地震の検知能力及び震源決定精度の向上が図られ、周辺で発生する活断層の地震との関係などが次第に明らかとなってきた。この知見により、令和4年2月のレベル2の判定基準の改定では、地震増加の基準について、活断層近傍の地震活動と火山性地震を区別し、火山活動の活発化をより適切に判定できるようにした。このことにより、火山の状況に関する解説情報を発表して注意を呼び掛けた2020年6月の事例は、特段の警戒の対象とはならなくなる。この他、火山性地震の最大振幅による基準の追加などの改善をおこなった。

現在のところ、鶴見岳・伽藍岳では火山活動活発化の経験はないものの、噴気活動の状況、通常地震活動などのデータの蓄積は進んでいる。今後も判定基準の高度化を図る上で有用な知見が得られた場合には基準の見直し・改定を進めていく必要がある。

【巻末資料】活断層近傍の地震活動について

図3に鶴見岳・伽藍岳周辺の震源分布を示す。図には存在が確認されている活断層の位置も示した（茶色線）。鶴見岳・伽藍岳近傍の由布院断層や堀田一朝見川断層、鉄輪断層沿いでも活発な地震活動が認められる。

図4には火山性地震の震源分布を示した。火山性地震は鶴見岳・伽藍岳火山体直下の他①由布院断層近傍や②堀田一朝見川断層沿いでも多数発生している。

2016年4月16日に大分県中部でM5.7の地震が発生し、一時的に地震活動が活発となった（図5-1）。この地震活動は由布院断層の活動であると考えられる。ここで、地表の断層線と震央分布が一致していないのは由布院断層の断層面が北側に傾斜しているためと考えられている（Ohkura et al, 2002）。この活動に伴う地震の発生領域は図4では①の領域にあたることから、この領域で発生する地震は、地表での断層からは離れているものの活断層の地震であると考えられる。

また、堀田一朝見川断層近傍での活動事例として、2020年6月から8月にかけて鶴見岳・伽藍岳の東側山麓付近での地震活動が挙げられる（図5-2）。これらの地震は堀田一朝見川断層の西端域の深さ約2～4kmにかけて断層面に沿った面的な分布をしており、図4の②の領域にあたる。この領域の地震についても活断層で発生している地震であると考えられる。

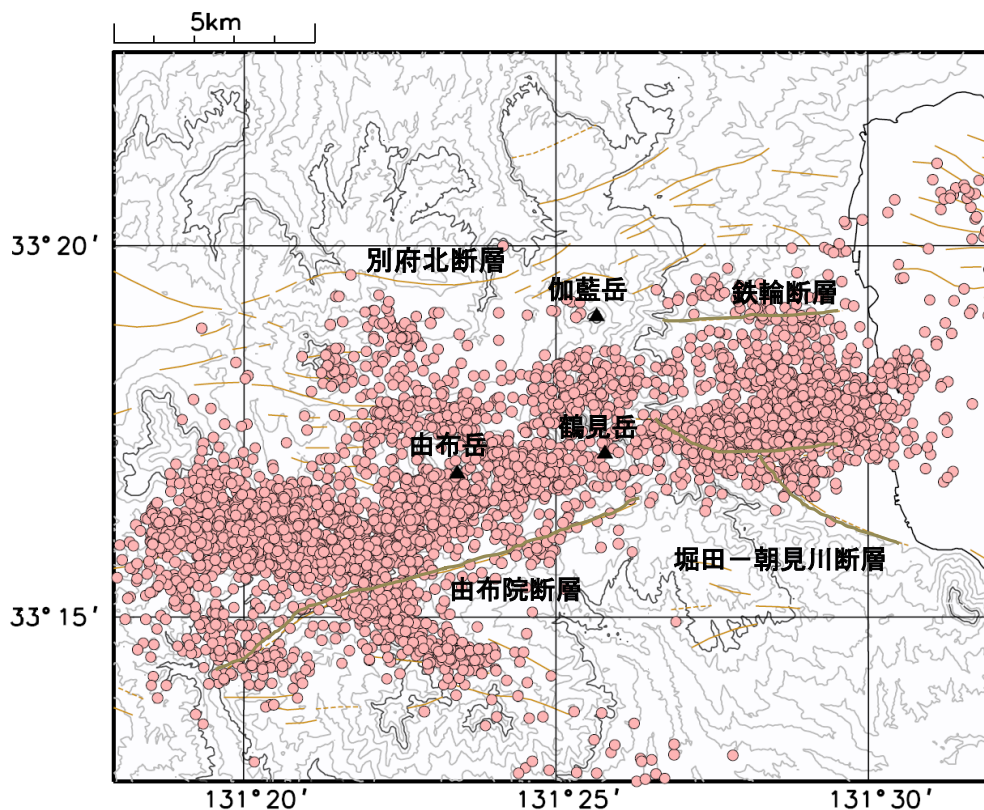


図3 広域観測網による鶴見岳・伽藍岳周辺の震源分布（2014年1月～2021年7月）

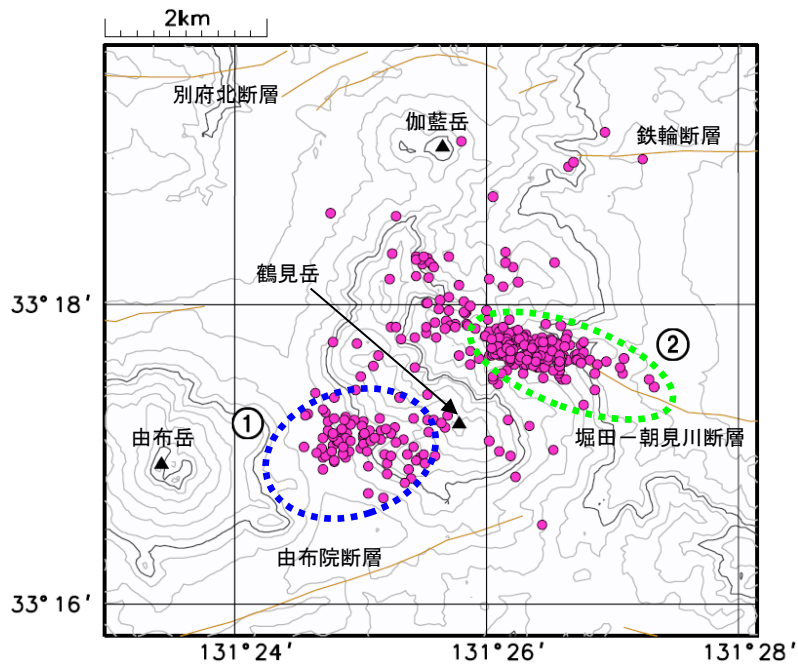


図4 火山性地震の震源分布 (2014年1月~2021年7月)

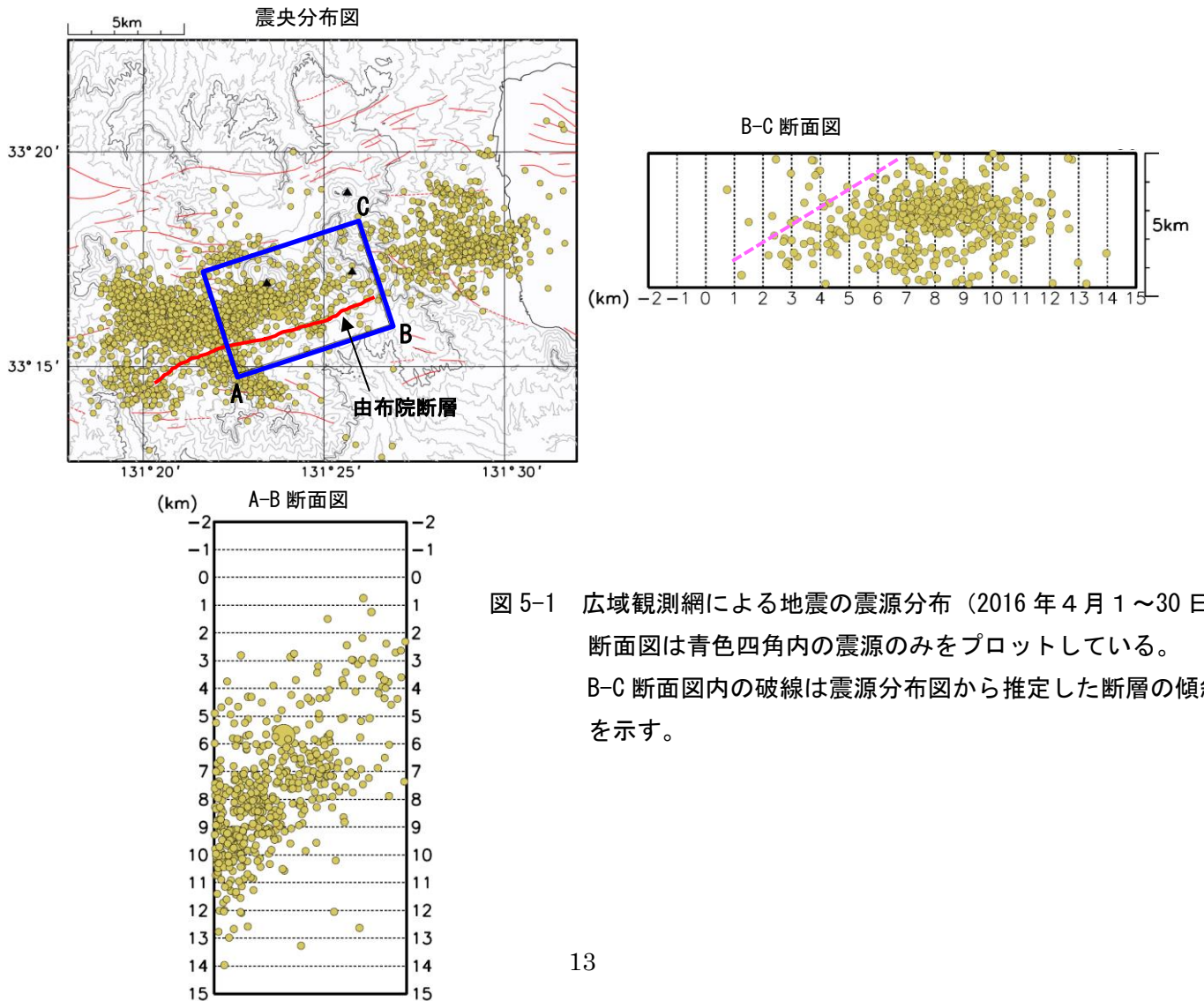


図5-1 広域観測網による地震の震源分布 (2016年4月1~30日)  
断面図は青色四角内の震源のみをプロットしている。  
B-C断面図内の破線は震源分布図から推定した断層の傾斜を示す。

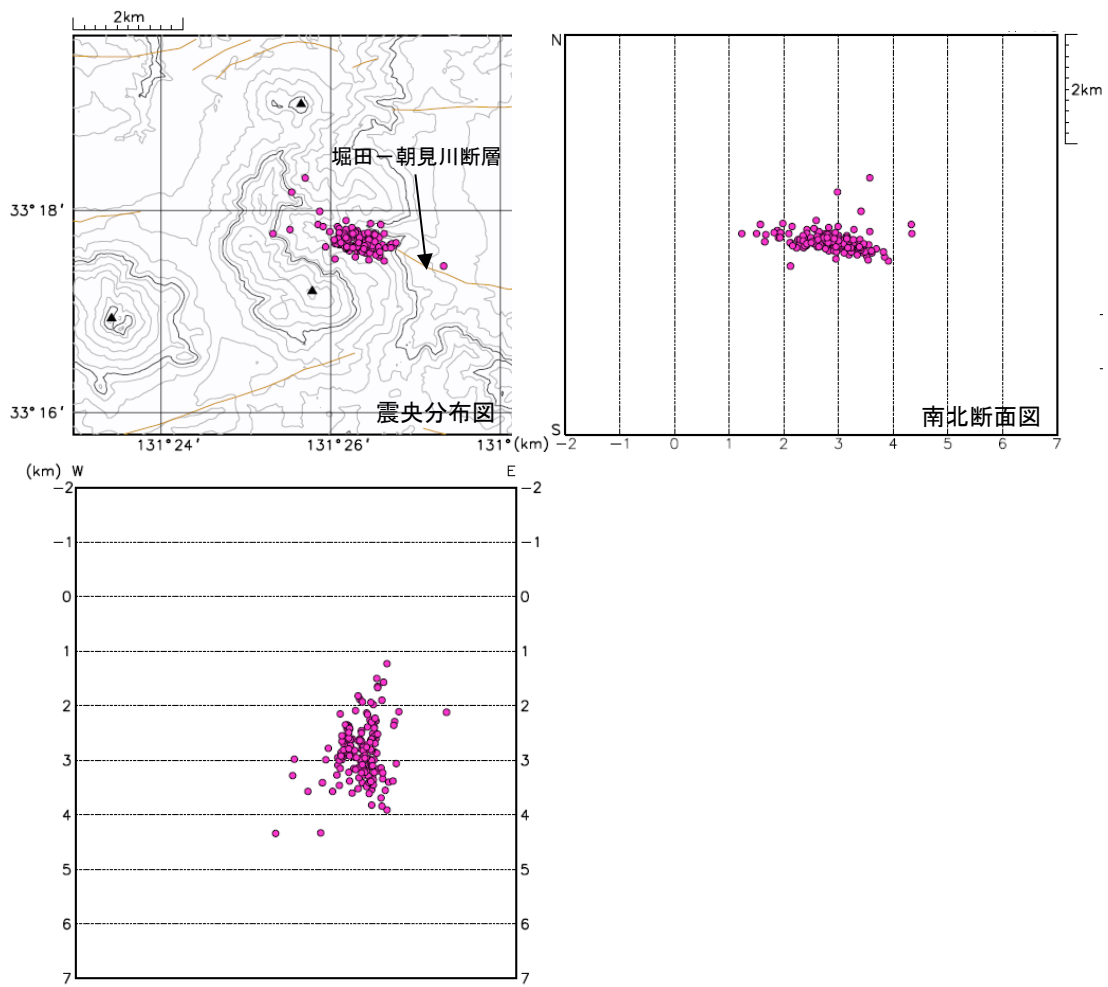


図 5-2 2020 年 6 ~ 8 月の震源分布。  
火山性地震としているが、活断層近傍で発生している地震であると考えられる。

## 【参考文献】

- 大沢信二・大上和敏・由佐悠紀（1996）1995 年伽藍岳塚原鉦山跡に出現した泥火山．火山，**41**，103-106.
- Ohkura et al (2002) Seismic activity in the Beppu graben, Kyushu, Japan. Institute for Geothermal Research, Graduate School of Science, Kyoto University, Annual Report FY 2002, 2-4.
- 鹿児島地方気象台・福岡管区気象台（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.
- 小林哲夫（1984）由布・鶴見火山の地質と最新の噴火活動．地質学論集，**24**，93-108.
- 藤沢康弘・奥野 充・中村俊夫・小林哲夫（2002）九州北東部、鶴見火山の最近 3 万年間の噴火活動．地質学雑誌，**108**，45-58.
- 別府市（2012）文化的景観 別府の湯けむり景観保存計画．第 3 章，温泉・湯けむりの自然科学的概要 [https://www.city.beppu.oita.jp/gakusyuu/bunkazai/yukemuri\\_keikan\\_plan.html](https://www.city.beppu.oita.jp/gakusyuu/bunkazai/yukemuri_keikan_plan.html)
- 星住英夫・小野晃司・三村弘二・野田哲郎（1988）別府地域の地質．地域地質研究報告，5 万分の 1 地質図幅，福岡（14）第 75 号．