

平成 19 年 12 月 1 日運用開始  
令和 6 年 3 月 14 日現在  
気 象 庁

## 阿蘇山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) 噴火の区分とその影響.....	2
2. 火山活動の時間的な推移 .....	3
(1) 中岳火口の活動.....	3
(2) 中岳火口以外の場所での活動.....	5
3. 噴火警戒レベルの区分け .....	5
(1) レベル1（活火山であることに留意） .....	5
(2) レベル2（火口周辺規制） .....	5
(3) レベル3（入山規制） .....	5
(4) レベル4（高齢者等避難）から5（避難） .....	5
4. 噴火警戒レベルの判定基準とその考え方.....	5
5. 改善経緯と今後検討すべき課題.....	15
6. 参考文献.....	15
《改定履歴》 .....	16

## 1. 想定する噴火の規模、様式と現象

### (1) 噴火場所

#### ① 中岳火口

阿蘇山の有史以来の噴火の大部分は中岳火口で発生している。阿蘇山で近代的な火山観測が開始された1931年頃は、第一、第二、第四火口で噴煙活動がみられた。1930年10月以降は第四火口、1934年11月以降は第二火口の活動が衰え、その後現在まで第一火口のみが活動している。また、約4800年前には溶岩を流出している。

#### ② 中岳火口以外

1816年に湯ノ谷温泉で水蒸気噴火が発生し、人的被害があった。また、過去1万年間では、杵島岳、往生岳、米塚付近から噴火が発生し、溶岩を流出している。阿蘇山火山噴火緊急減災対策砂防計画では、これらの場所からの噴火についても想定されており、噴火警戒レベルは設定されていないが、火山活動の推移に沿って噴火警報を発表する。また、これらの場所において火山活動に関係すると考えられる現象が観測された場合は、臨時的に観測を強化するとともに、その後の火山活動の推移や防災対応を支援する情報提供を行っていく。

### (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
ごく小噴火	火山灰、小さな噴石	火口近傍
小噴火	上記に加え、 <u>大きな噴石</u> 、空振	火口から概ね1km以内
中噴火	<u>火砕流</u> （または火砕サージ）、降雨による土石流	火口から概ね1kmを超え、概ね4km以内
大噴火	上記に加え、 <u>溶岩流</u>	居住地域に達する

- ・噴火区分の表現は、火山学的な噴火規模（噴出物量）とは異なり、弾道を描いて飛散する大きな噴石、火砕流等の到達する範囲（影響範囲）を基準に設定している。
- ・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。空振も、影響範囲を超えて広範囲に伝わる。降雨による土石流は、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、生命に危険を及ぼす火山現象（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。
- ・以上のほか、火山灰等が火口内にとどまるような土砂の噴出（「土砂噴出」、「土砂噴」と呼ぶことがある）がみられることがある。火山灰等の固形物が噴出場所から水平若しくは垂直距離で概ね100～300mの範囲を超して放出または溶岩を流出した場合を「噴火」としている。
- ・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警戒を呼びかける範囲をいい、立ち入り等の規制については、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

阿蘇山の噴火警戒レベルは、主に過去の噴火活動における時間的な推移に基づいて設定した。また、必要に応じて他の火山における噴火活動の推移を参考にした。

### (1) 中岳火口の活動

これまでの観測成果により、中岳第一火口における典型的な活動経過は次のようなプロセスであることがわかっている(図1)。火山活動が静穏な時期には火口内には湯だまりが存在している。火山活動が高まると湯だまりの温度上昇と水位の減少が進行し、小さな土砂噴出が発生するようになる。活動の高まりに応じて土砂噴出の規模は大きくなり火口外に土砂や火山灰が放出される場合もある。湯だまりが消失し火口底が露出するようになると、火口底では高温の火山ガスの噴出により噴気孔周辺が熱せられ赤くみえる赤熱現象が認められる。活動が進行すると火口底に火孔が開き火山灰が噴出するようになり、さらにマグマが関与するような本格的な噴火活動となると、赤熱した噴石を間欠的に放出する噴火(ストロンボリ式噴火)へ移行する。火山活動が高まっている状態では、大きな空振や火砕流(火砕サージ)を伴う噴火が発生する場合もある。火山活動が低下し終息すると再び火口内に湯だまりが形成される。

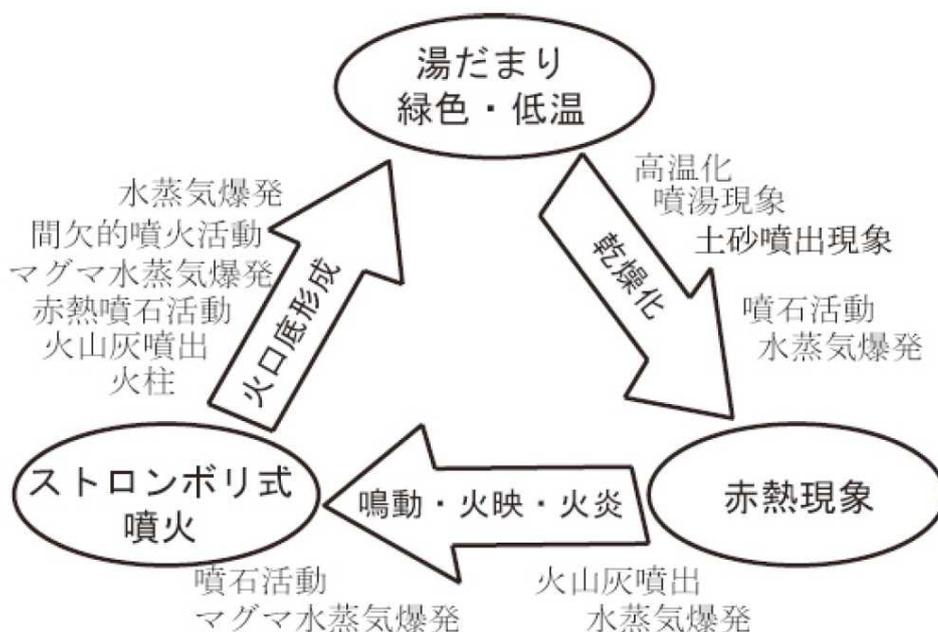


図1 阿蘇山活動経過プロセス図 (吉川・須藤, 2004)

阿蘇山の火道システムは、中岳の火口列下にクラック状火道と、さらにそこから中岳第一火口直下を結ぶ円筒状火道が推定されており、火山性流体の流路と考えられている。また草千里付近の深部にはマグマだまりが存在すると考えられている(図2)。

火山活動の高まる過程では、先に挙げた表面現象の変化に加えて、火口浅部を震源とする火

山性微動の振幅が増大することが知られており、これは火口底への火山性流体の流路の拡大と火孔の形成過程と考えられる。さらに中噴火のように火口から概ね 1 km を超えた範囲に影響を及ぼす規模の噴火が発生する際には、火山性流体の更なる増大に対応する火口直下の増圧を示す地殻変動や火山性微動の振幅の更なる増大、クラック状火道の動きを反映する長周期の振動（長周期パルス）などを伴う場合がある。また火孔が土砂の流れ込み等の影響で閉塞した際には、火山性微動の振幅が急激に小さな状態（火山性微動の停止）となり、地下の増圧が進行して大きな空振を伴う噴火となるケースもある。そのほか草千里付近の深部にあるマグマだまりの膨張を示す地殻変動や、マグマから分離された火山ガス（二酸化硫黄）の増加が観測される場合がある。

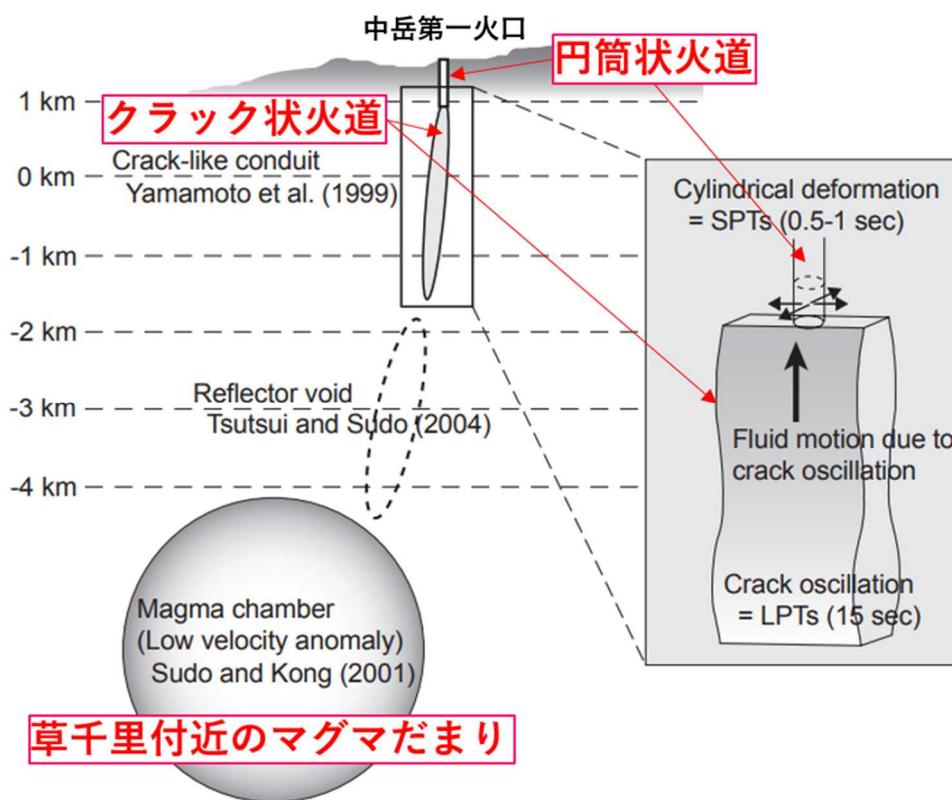


図2 阿蘇火山火道システム (Yamamoto et al., 2008 に加筆)

中岳においては定常的には図1に示した中岳第一火口の活動が繰り返されるが、観測開始以来最大規模の噴火となる1932～1933年の噴火では、第一火口だけでなく、第二火口でも噴火が発生し、中岳火口内にマグマプール（溶岩湖）が出現した。この活動では溶岩が火口外にあふれ出ることにはなかったが活動がさらに活発化した場合には、約4800年前の噴火のように溶岩の流出が始まり、居住地域に迫ることも想定される。

## (2) 中岳火口以外の場所での活動

観測開始以降、中岳火口以外での噴火活動はなく詳細な時間推移は不明であるが、他の火山の経験等を踏まえて、次のような経過が想定されている。

現在、噴気活動がある地獄～湯ノ谷地熱域については、活動の活発化により、噴気の増大、温泉の湯量や温度変化、局所的な地殻変動などが検出されると考えられる。さらに活発化すると水蒸気噴火が発生し、噴石の飛散や火山灰を噴出する。また、地すべりや土石流のリスクが高まっていく。

長期にわたって火山活動の兆候のない杵島岳、往生岳、米塚付近については、マグマ噴火に至る一般的な推移を想定しており、地震活動の活発化や地殻変動、火山性微動の発生、地磁気の変化や噴気の発生などを経て、小噴火が発生し、さらには本格的なマグマ噴火（溶岩流出や噴石・スコリア丘の形成）に至ると考えられる。

## 3. 噴火警戒レベルの区分け

現時点で噴火警戒レベルが設定されているのは中岳火口で、主には中岳第一火口からの噴火が想定される。

### (1) レベル1（活火山であることに留意）

静穏な火山活動。若干の火山性地震、火山性微動の発生はありうる。中岳火口の場合、火口内にとどまる程度の土砂噴出などの可能性がある。

### (2) レベル2（火口周辺規制）

火口から概ね1 km 以内に影響する小噴火の可能性はある。中岳火口の場合、火口内の顕著な温度上昇、湯だまり量が減少、土砂噴出の規模の増大傾向、ごく小～小噴火の発生など、火山活動が高まった状態を指す。

### (3) レベル3（入山規制）

火口から概ね1 km を超え、概ね2 km 以内、状況により概ね4 km 以内に影響を及ぼす中噴火の可能性はある。近代的な観測を開始した1931年以降では、大きな噴石や火砕流（火砕サージ）は1 km を超えた事例もある。

### (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、あるいは活発化を示す現象が観測され、噴火により居住地域に重大な被害を及ぼす可能性、もしくは切迫している状態と考えられる。

## 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、レベルを2に引き上げる。

<火口周辺に影響を及ぼす噴火の可能性>

次のいずれかが観測された場合

- ① 火山性微動の振幅の大きな状態（中岳西山腹観測点南北動成分で1分間平均振幅  $2.5 \mu\text{m/s}$  以上）が1時間以上継続
- ② 火口内の土砂噴出の活発化（高さ約30m以上）
- ③ 規模の大きな火山性微動（現地で震度1相当以上）の発生
- ④ 以下の現象が複数項目観測された場合
  - [A] 火山性微動の振幅のやや大きな状態（中岳西山腹観測点南北動成分で1分間平均振幅  $1.5 \mu\text{m/s}$  以上）が1時間以上継続
  - [B] 火山ガス（二酸化硫黄）の1日あたりの放出量が概ね1,500トン以上
  - [C] 山体膨張を示す地殻変動（GNSS等で観測される比較的緩やかな地殻変動）
  - [D] 中岳火口（中岳第一火口以外）で地熱域の発現

<火口周辺に影響を及ぼす噴火が発生>

- ⑤ ごく小～小噴火の発生（大きな噴石飛散、火砕流等が火口から概ね1km以内にとどまる程度、火口近傍に降灰する程度のごく小噴火も含む）

(引下げ基準)

上記の全項目のうち、④の項目[C][D]以外がいずれも認められない状態が概ね1ヶ月続いたときを基本とする。活動状況によってはレベル引下げの期間を短縮（最短3日程度から活動を踏まえた上で検討を開始）する。

(解説：判定基準)

<火口周辺に影響を及ぼす噴火の可能性>

- ① 火山活動が高まれば、中岳火口の浅部で発生する火山性微動の振幅が増大し、その状態が継続することが知られている。過去には振幅の増大の後に噴火に至った事例がある。これは地下から火口底へ上昇する火山性流体の増加により、流路の拡大と火孔が形成される過程を反映していると考えられる。ただし振幅の増大に伴って噴火が発生するとは限らず、振幅が小さくなり1週間程度経過した後に噴火が発生した事例もあるため、一定期間様子を見る必要がある（図3）。過去の観測データから中岳西山腹観測点南北動成分で1分間平均振幅  $2.5 \mu\text{m/s}$  以上が1時間以上継続した場合を基準とする。

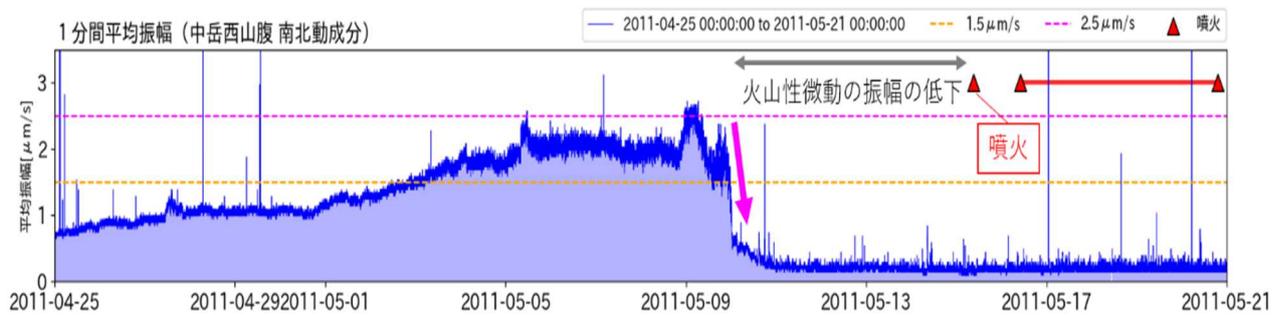


図3 中岳西山腹観測点南北動成分1分間平均振幅と噴火の発生（2011年4月25日～2011年5月21日）

- ② 活動が高まり、湯だまり量が減少すると、火口内で土砂を噴き上げる現象が確認されるようになる。土砂噴出が活発となり規模も大きくなると、火口近傍への降灰や大きな噴石の飛散の可能性が考えられる。また土砂噴出の活発化後に噴火が発生した事例もあり、2014年8月には高さ50mを超える土砂噴出が観測された翌日に噴火が発生した。このことから、高さ約30m以上の土砂噴出が観測された場合にはレベルを引き上げる。
- ③ ①のように火山性微動の振幅の大きな状態が1時間を超えて続く場合だけでなく、一時的な振幅の増大であっても震度1以上や現地で体を感じる振幅の大きな火山性微動が観測されれば、噴火の発生や②で想定する規模の土砂噴出の発生、またはその前駆的な現象である可能性があることからレベルを引き上げる。
- ④ ①の基準に満たない火山性微動の振幅のやや大きな状態（[A]火山性微動の振幅のやや大きな状態（中岳西山腹観測点南北動成分で1分間平均振幅1.5 $\mu\text{m/s}$ 以上）が1時間以上継続）や、草千里付近の深部のマグマ活動の高まり（[B]火山ガスの増加、[C]山体膨張を示す地殻変動等）を示す変化のうち複数項目観測された場合はレベルを引き上げる。

なお1934年以前には中岳第一火口以外からの噴火も発生している。中岳における火山活動の活発化を示唆する他の現象とともに[D]中岳第一火口以外の場所で火口内に地熱域が現れ、その熱活動の高まりが顕著である場合には中岳第一火口以外の火口からの噴火も想定される。

<火口周辺に影響を及ぼす噴火が発生>

- ⑤ 火口周辺に影響するようごく小～小噴火が突発的に発生した場合にはレベルを引き上げる。火口近傍に火山灰を降下させる程度のごく小噴火であっても、噴火の影響範囲が拡大する可能性を考慮してレベルを2に引き上げることとする。

（解説：引下げ基準）

レベルの引下げの判断について、①の事例に挙げた通り、過去にはレベル引上げ基準を下回って1週間程度経過して噴火が発生したことがある（図3）。活動の低下後も一定期間様子を見

る必要があるため、基準を下回った状態が概ね1ヶ月程度経過したことを確認してレベルを引き下げる。

また、噴火活動は単発の噴火で活動は終息せず、その後も断続的に噴火が繰り返され活動が長期化する場合もある。過去の活動では、一連の噴火活動中に発生した噴火と噴火の間隔は概ね1ヵ月未満であったが、一部には噴火が発生しない状態が1ヵ月以上続いた後に噴火する事例もある。そういった噴火の中には火山性微動の振幅や火山ガス（二酸化硫黄）の放出量に高まりを示す変化が前兆的にあったとしても、その高まりはレベル引上げ基準を満たさない場合がある。一旦、噴火が発生し火山性流体の流路が拡大し火孔が形成された後は、しばらくは火山活動が不安定な状態となり、明瞭な前兆現象なしに噴火に至る可能性があるため留意が必要となる。

以上のことから、噴火の発生（⑤）や①～③にある活動の高まりだけでなく、それに満たないような事象（複数項目でレベル引上げとしている④[A]火山性微動の振幅がやや大きな状態、または④[B]火山ガス（二酸化硫黄）放出量の増加）が継続するうちは噴火の可能性があることからレベル2を維持する。これら全ての基準を下回った状態が概ね1ヶ月経過したことを確認した上で、一連の活動の終息を判断しレベルを引き下げる。ただしGNSS等で観測される比較的な緩やかな地殻変動（④[C]）、中岳火口（中岳第一火口以外）の地熱活動（④[D]）は、深部のマグマだまりの活動や中岳第一火口以外への活動の移行を示唆する中長期的な活動を反映していると考えられることから、顕著な変化が認められない限りはこれらの現象が単独でみられたとしても、原則としてレベル2の状態を維持する基準とはしない。

火口浅部の活動の低下を判断するため、レベルの引下げは前述の基準を下回って概ね1ヶ月後を基本とするが、一時的な現象と判断できる際には適宜レベル引下げを検討する。例えばごく少量の降灰程度で大きな噴石の飛散を伴わない噴火では、他の観測データに活動の高まりがないことを判断した上でより短い期間（最短3日程度から）でレベル下げを検討する。2003年7月10日、2004年1月14日の噴火は、土砂噴出に伴うごく少量の火山灰の噴出や火口近傍でのごく少量の降灰のみであり、他の観測データから活動の高まりが認められないことから、より短い期間でレベル1への引下げを行うことが出来る事例である。

### 【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、レベルを3に引き上げる。警戒が必要な範囲は、火口から概ね2km以内を原則とするが、大きな噴石の飛散距離や火砕流の到達距離によっては最大概ね4km以内まで拡大する。

<火口から概ね2km以内、状況により概ね4km以内に影響を及ぼす噴火の可能性>

次のいずれかが観測された場合

- ① 規模の大きな火山性地震（現地で震度1相当以上）の多発

- ② 火口直下の増圧を示す急激で顕著な地殻変動（古坊中観測点傾斜計で概ね  $0.1 \mu \text{ rad/h}$  以上の傾斜変化等）と同時に、火山性微動の振幅の増大または火山性地震の多発
- ③ 火山性微動の振幅の増大（中岳西山腹観測点南北動成分の1分間平均振幅が  $4 \mu \text{ m/s}$  以上）かつ振幅が大きく変動
- ④ 噴火活動中に火山性微動が概ね3時間以上停止
- ⑤ レベル2への引上げ基準を満たす現象が観測される中、加えて以下の現象が複数観測された場合
  - [A] 火山性微動の振幅の増大（中岳西山腹観測点南北動成分の1分間平均振幅が  $4 \mu \text{ m/s}$  以上）または振幅が大きく変動
  - [B] 火山ガス（二酸化硫黄）の1日あたりの放出量が概ね2,000トンを超えて急激に増加傾向（2～3倍程度）
  - [C] 火口直下の増圧を示す急速な地殻変動（概ね  $0.02 \mu \text{ rad/h}$  以上の傾斜変化等）
  - [D] 長周期パルスの発生（広帯域地震計：周期概ね10秒以上かつ振幅概ね  $20 \mu \text{ m/s}$  以上）

<火口から概ね1 kmを超え、概ね4 km以内に影響を及ぼす噴火が発生>

- ⑥ 火口から概ね1 kmを超え、大きな噴石が飛散、火砕流が到達等
- ⑦ 古坊中観測点の空振計で150Pa以上の空振を伴う噴火の発生

(引下げ基準)

火口の閉塞が原因と考えられる噴火活動中の火山性微動の停止（火山性微動の振幅の急激な減少）に伴い（上記の④）、レベル3に引き上げた場合には、火山性微動が再開（火山性微動の振幅の増大）、もしくは小噴火が発生して火口の閉塞が解消されたと判断できる場合に引下げを検討する。その他の要因でレベル3に引き上げた時は、上記のレベル3への引上げ基準（上記の④以外）のいずれにも達しない活動が概ね2週間続いたときを基本とする。

(解説：判定基準)

中噴火（火口から概ね1 kmを超えて大きな噴石が飛散、または、火砕流が概ね1 kmを超える等）が発生する可能性がある場合、もしくは、発生した場合をレベル3とする。中岳では本格的なマグマ噴火以外にも、水蒸気噴火やマグマ水蒸気噴火がしばしば発生している。しかしながら、大きな噴石や火砕流が火口から1 kmを超過するか事前に予測することは容易ではないことから、過去の事例を参考とし、同様の規模の現象が観測された場合にはレベルを引き上げる。

<火口から概ね2 km以内、状況により概ね4 km以内に影響を及ぼす噴火の可能性>

- ①②火口直下への急速なマグマの貫入及び上昇を伴う活動に移行した場合、中岳火口で繰り返し観測されている噴火と比べて、より規模の大きな噴火が発生するおそれがあることからレベル3への引上げや、状況に応じて警戒が必要な範囲を変更する。体を感じる程度の規模の大きな火山性地震の多発、古坊中観測点の傾斜計で概ね  $0.1 \mu \text{ rad/h}$ （火口の直下深さ2 kmで約  $4,000 \text{ m}^3/\text{h}$  のマグマ貫入に相当）以上の顕著な地殻変動が火山性微動の振幅増大や火山性地震の多発とともに認められた場合等を急速なマグマの貫入及び上昇を示

唆する現象として想定する。

- ③ 2016年10月8日のマグマ水蒸気噴火や2021年10月20日の水蒸気噴火では、噴火前に火山性微動の振幅が増大し、中岳西山腹観測点南北動成分の1分間平均振幅が $4\mu\text{m/s}$ 以上の状態となった。さらに大きな変動がみられるようになり、同観測点で $10\mu\text{m/s}$ 程度まで一時的に増大と $4\mu\text{m/s}$ 程度までの急減を繰り返した(図4)。このような火口浅部の火山活動の活発化を示すとみられる火山性微動の振幅の大きさや変動の様相について、過去の中噴火事例を参考とし、レベル3への引上げを判断する。2016年の噴火は上記現象の数時間後、2021年の噴火では同2日後にそれぞれ中噴火が発生した。なお、1988~1989年の事例のようにマグマ噴火(ストロンボリ式噴火)継続中にも同様の現象が認められることがあるが、この場合には火山性微動の振幅の増大のみでのレベルの引上げは行わない。

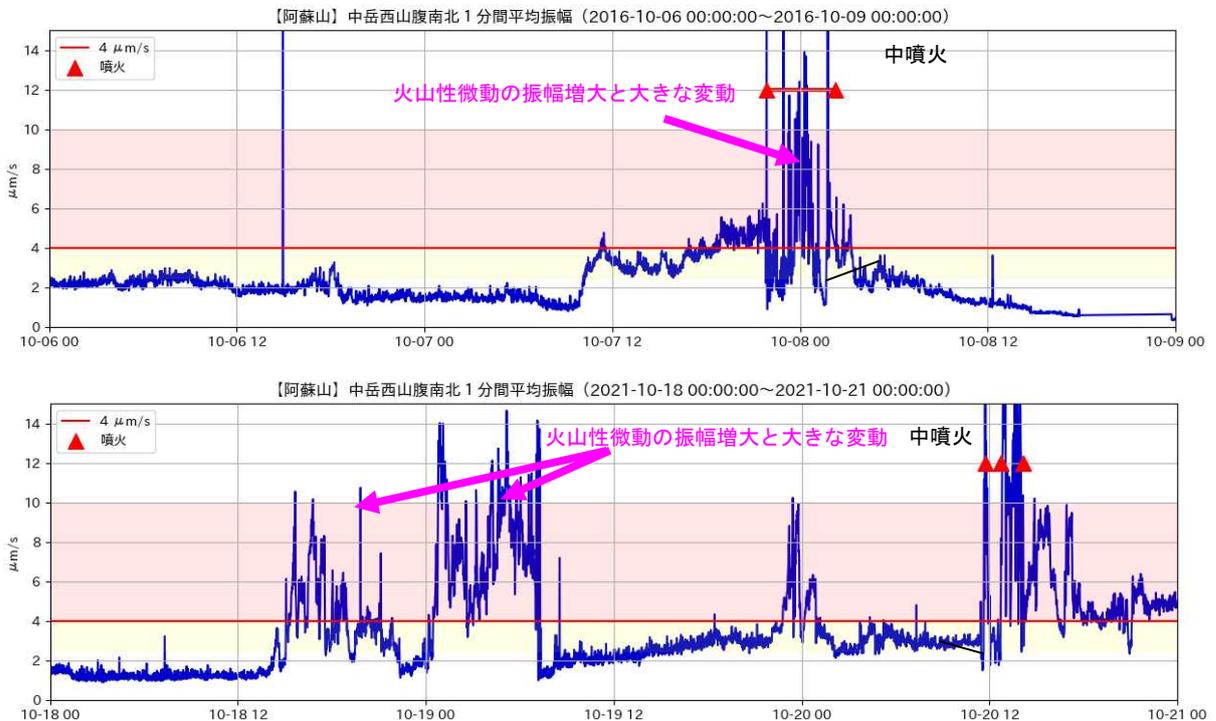


図4 中岳西山腹観測点南北動成分の1分間平均振幅

(上段:2016年10月6~8日、下段:2021年10月18~20日)

- ④ 土砂の流れ込み等の影響で火孔が閉塞して、地下の増圧が進行して中噴火に至ったケースがある(1979年9月6日など)。噴火活動中に火山性微動の振幅が急激に小さくなり、火山性微動が停止した場合には、火孔の閉塞が発生したと判断する。
- ⑤ 2016年10月8日01時46分の中噴火の事例では、事前にレベル2の判定基準を満たした状態から③に挙げた火山性微動の振幅の増大及び大きな変動以外にも、火山活動の高まりを示す複数の現象がみられた。噴火の数ヶ月前からGNSS連続観測ではゆっくりとした山体膨張(変動には平成28年(2016年)熊本地震の余効変動を一部含む)、火山ガス(二酸化硫黄)の放出量が1日あたり1,500トンを超え、ごく小~小噴火が発生していた。噴火直前に

なると更なる火山活動の高まりがみられ、二酸化硫黄の放出量の急激な増加や、中岳火口下の増圧を示唆する傾斜変動、火山性地震の多発、及び火山性微動の振幅増大と振幅が大きく変動した状態がみられた。さらに、噴火の数分前には火口直下のクラック状火道の動きを反映していると考えられる周期が概ね 10 秒を超えるような長周期の振動（長周期パルス）が観測され噴火に至った。

2021 年 10 月 20 日 11 時 43 分の中噴火の事例においても、2016 年と同様に、噴火数日前から火山ガス（二酸化硫黄）の放出量の増加傾向、火山性微動の振幅変化がみとめられ、噴火直前に長周期パルスが観測された。これらの事例で噴火数日前から直前までに観測された[A]火山性微動[B]火山ガス[C]地殻変動[D]長周期パルスのうち、⑤に定めた条件を満たす現象が複数観測された場合にはレベルを 3 へ引き上げる。

[A] 火山性微動については、③にあるように、2016 年及び 2021 年の活動を参考に、振幅の増大と大きな変動が認められれば単独でレベル 3 への引上げの基準として採用している。振幅の増大のみの場合や、振幅の変動が数  $\mu\text{m/s}$  程度認められる場合でも、他に活動の高まりを示す変化が認められればレベルを引き上げる。

[B] 火山ガス（二酸化硫黄）の 1 日あたりの放出量は、2016 年の事例では 9 月頃まで 1,500 ～3,100 トンで推移していたが、噴火 2 日前には 4,400 トン、前日の 10 月 7 日には 15,000 トンと短期間で急激に増加した。一方で 2021 年の事例では 10 月の噴火前日の放出量は 3,200 トンであり、2016 年の事例の噴火前日の値と比較すると小さかったが、9 月までは 600 トン以下で推移している状況からの急増であった（図 5）。火山ガス（二酸化硫黄）の 1 日あたりの放出量が概ね 2,000 トンを上回る値であり、かつこれまでに観測された値から 2～3 倍程度を超える増加が認められた場合には、マグマの寄与の程度が高まったと判断する。放出率の変動については、直近での観測及びそれまでの数ヶ月間程度の推移を考慮する。



図 5 噴火発生までの火山ガス（二酸化硫黄）の 1 日あたりの放出量（上図：2016 年 7 月 8 日～10 月 8 日（10 月 8 日に中噴火発生）、下図：2021 年 7 月 20 日～10 月 20 日（10 月 20 日に中噴火発生））

[C] 2016年10月8日は、噴火のおよそ2時間前から1時間前にかけて、火山性微動の振幅の大きな変動とともに、古坊中観測点傾斜計の東西成分で火口方向の成分が隆起する $0.039\mu\text{rad}$ の傾斜変動が認められた。変動の速度は $0.026\mu\text{rad/h}$ であった。火口直下のクラック状火道における開口が支配的な変動では、古坊中観測点傾斜計では火口方向の成分の隆起以外の変化を示す場合もある。また降水等の影響による変動を含むこともあるため、火山活動による地殻変動と判断できない場合もある。

[D] 2016年は噴火発生およそ5分前、2021年は同およそ12分前に $0.01\mu\text{rad}$ 程度の傾斜変動を伴う長周期パルスが観測された(図6)。小噴火の発生前においても長周期パルスが観測された事例(2015年10月23日、2016年2月18日など)があるが、中噴火となった事例では、それらに比べて大きな振幅であった。2016年、2021年の事例とその他に過去観測された長周期パルスの周期と振幅の関係を図7に示す。広帯域地震計の上下動成分( $0.03\text{--}0.1\text{Hz}$ のバンドパスフィルター)において2021年10月20日相当(振幅が概ね $20\mu\text{m/s}$ 以上、周期が概ね10秒以上)を超える長周期パルスが発生した場合には、中噴火の可能性が高まった際の現象と判断する。

なお、表1のとおり、これらの事例では、いずれも長周期パルスの発生時に他の現象の条件も満たしており、中噴火の可能性がより切迫していることを示すものと考えられる。その一方、過去の事例では長周期パルスの発生から噴火までの猶予時間がほとんどない点は留意する必要がある。

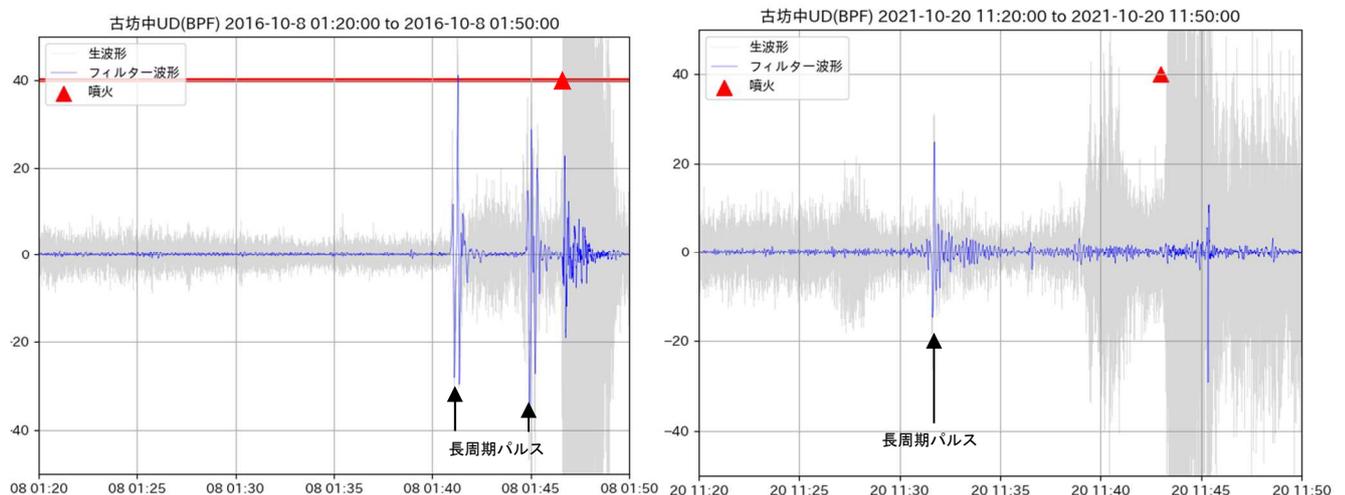


図6 噴火発生前に観測された長周期パルス(古坊中観測点上下動成分にフィルター、上:2016年10月8日、下:2021年10月20日)

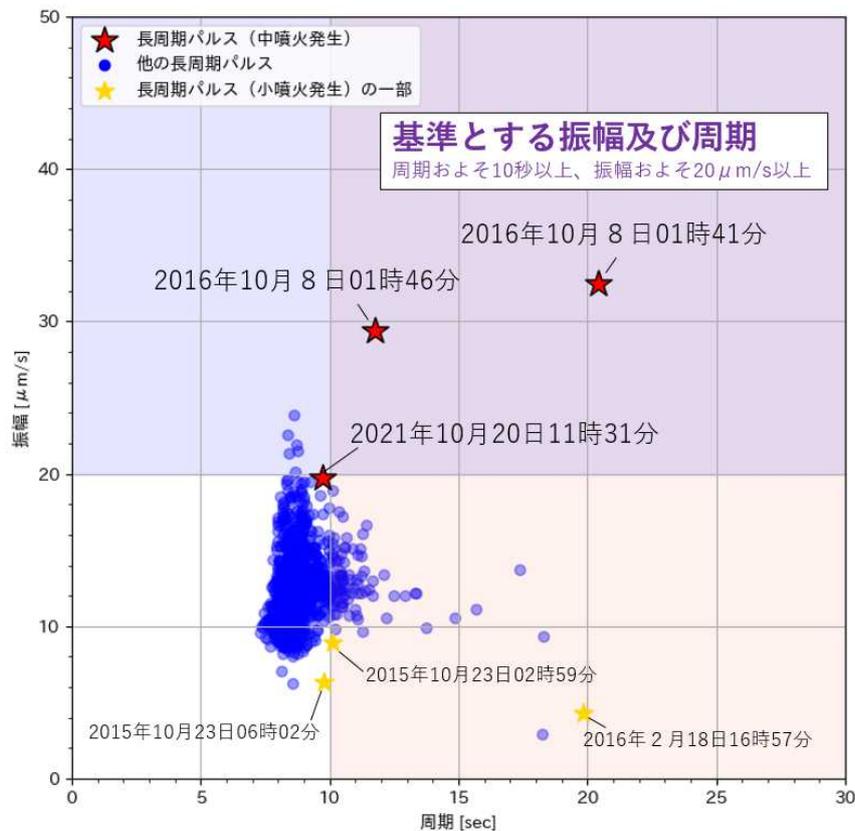


図7 長周期パルスの周期と振幅の関係

(古坊中広帯域地震計上下動成分 0.03-0.1Hz のバンドパスフィルター)

表1 長周期パルスの周期と振幅と⑤[A]～[C]の基準に対応する他の現象の発生状況

日時	振幅[μm/s]	周期[sec]	[A]火山性微動	[B]火山ガス	[C]地殻変動	発生後の噴火
2016/10/08 01:41	32.46	20.44	○	○	○	○
2016/10/08 01:44	29.37	11.74	○	○	○	○
2021/10/20 11:31	19.72	9.74	○	○	×	○

※2021年10月20日の事例では、草千里付近の深部にあるマグマだまりの膨張を示す地殻変動、傾斜変動を伴う長周期パルスを観測。

<火口から概ね1 km を超え、概ね4 km 以内に影響を及ぼす噴火が発生>

レベル1もしくは2で、⑥大きな噴石や火砕流が火口から概ね1 km を超える噴火が発生した場合、または、⑦天候等の状況により噴火による大きな噴石や火砕流が直接確認できない場合に古坊中観測点(火口から約1 km)で150Pa以上の大きな空振を伴う噴火が発生した場合には、それが判明次第速やかにレベルを3に引き上げることとしている。これは、2016年10月8日の噴火で古坊中観測点の空振計で189Paを観測したことや、桜島では、3合目(火口から1,300m～1,800m)まで大きな噴石が達した時の9割の噴火で、火口から約4 kmの空振計で40Pa(火口からの距離を考慮すると阿蘇山の場合とほぼ同等の振幅)以上の空振を観測していることも考慮

し設定した。

(解説：引下げ基準)

噴火活動中の火山性微動の停止（火孔の閉塞）に伴いレベル3に引き上げた場合、火山性微動が再開もしくは小噴火の発生により火孔の閉塞が解消されれば引下げの検討を開始する。また、大きな噴石や火砕流が火口から概ね1 kmを超えた可能性があるとは判断してレベルを引き上げ、実際には火口から1 km以内にとどまっていた場合も同様とする。

ただし、1958年6月24日の噴火では噴火発生前に12日間、1979年9月6日の噴火では10日間に渡って火山性微動が停止した状態であったことがわかっている。そのため、火孔の閉塞が解消され内圧の高まりが解消されたと判断された場合を除き、2週間程度は様子を見ることとし、傾斜計の変化の解消や火山性微動の振幅の低下、長周期パルスの発生なし、二酸化硫黄の放出量に急激な増減がない場合等、火山活動の低下が確認された場合には、レベルを引き下げる。

#### 【レベル4】

(判定基準)

<居住地域に噴火による重大な被害を及ぼす現象の可能性>

溶岩流が居住地域に到達する可能性

#### 【レベル5】

(判定基準)

<居住地域に噴火による重大な被害を及ぼす現象が切迫>

溶岩流が居住地域に切迫

(引下げ基準)

噴火活動の推移、溶岩流の影響範囲等、観測データを評価し、居住地域に影響する噴火の可能性がなくなったと判断した段階でレベル3以下に引き下げる。

(解説：判定基準)

最も近い居住地域でも、中岳火口から4 km以上離れている。火山防災マップ（噴火による影響範囲）では、火砕流の到達距離は火口から概ね4 kmとしているが、溶岩流は居住地域に達することも想定されている。噴火警戒レベルについても、溶岩流が居住地域に到達するおそれがある場合にレベル4、居住地域まで到達することが避けられなくなった場合にレベル5とする。

(解説：引下げ基準)

レベル4、5からの引下げは、引上げの原因となった溶岩流の影響範囲等に加え、噴火活動の推移、地殻変動等の観測データから火山活動を評価して、居住地域に影響する可能性がなくなったと判断された段階で行う。

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た場合に、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、阿蘇山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、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かと判断した場合には「火山の状況に関する解説情報（臨時）」を発表する。

## 5. 改善経緯と今後検討すべき課題

以上に示した判定基準は、長年の知見や過去事例の積み重ねと現時点での観測・監視体制を踏まえたものである。令和4年度には、最近の中噴火前の観測データから得られた知見を基に、火口浅部の状況やマグマの寄与などを念頭に置きながら、火山性微動や長周期パルスの発生した状況を精査し、レベル3の判定基準を改定した。繰り返し記述したとおり、中噴火を事前に予測することは非常に困難であるが、この改定でよりの確な噴火警報の運用を目指しているところである。

今後も随時見直しをしていくこととするが、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。また、阿蘇山の火山活動について新たな知見が得られればそれを積極的に取り入れていくこととする。

- (1) 火口近傍のデータの活用等、新たな項目を判定基準に取り込む検討を続ける必要がある。
- (2) 現在の噴火警戒レベルは、中岳火口及びその近傍からの噴火に対して設定されたものであり、中岳火口以外からの噴火は含まれていない。地獄～湯ノ谷地熱帯の水蒸気噴火や杵島岳・往生岳、米塚付近の大噴火では居住地域に影響が及ぶことも想定されていることから、阿蘇山火山噴火緊急減災対策砂防計画の想定も踏まえ、今後これらの場所からの噴火を想定した対策についても検討していく必要がある。

## 6. 参考文献

- Yamamoto, M. and Kawakatsu, H. (2008), An efficient method to compute the dynamic response of a fluid-filled crack. *Geophys. J. Int.*, **174**, 1174-1186.
- 吉川 慎・須藤靖明 (2004) , 阿蘇火山中岳第1火口の温度変化と火山活動. 京大防災研年報, **47B**, 803-807

## 《改定履歴》

- 平成 19 年 12 月 1 日運用開始
- 平成 30 年 4 月 23 日改定
- 令和 4 年 9 月 8 日改定
- 令和 5 年 3 月 15 日改定
- 令和 6 年 3 月 14 日改定