

平成 23 年 3 月 31 日運用開始
令和 4 年 3 月 31 日現在
気 象 庁

伊豆東部火山群の噴火警戒レベル判定基準とその解説

1 想定する噴火の様式、場所と現象

伊豆東部火山群は、伊豆半島東部の大室山等の陸上火山と、その東方海域に分布する多数の海底火山からなる火山群である。最新の噴火は、1989 年の手石海丘の海底噴火である。過去 1 万年では陸域でも噴火が発生しており、4,000 年前には大室山で、3,200 年前にはカワゴ平で、2,700 年前には岩ノ山－伊雄山火山列で噴火が発生している。1978 年以降、伊豆半島東方沖で地殻変動を伴う群発地震がたびたび発生しており、これらは噴火には至っていないものを含め、地下でのマグマの貫入によると考えられている。

① 想定する噴火場所

伊豆半島は、プレートの移動により北西－南東方向に強く押されており、そのことを反映して、伊豆東部火山群では時期によって様々な所で噴火し、火口も押されている方向に並ぶ傾向があり、噴火場所の想定は難しい。しかし一般に、マグマ貫入した場所では、群発地震が発生することが知られている。1978 年以降の伊豆東部火山群の活動をみると、1989 年噴火や、噴火は発生していないがマグマの貫入によると考えられている群発地震が発生する場所は、川奈崎沖の西北西－東南東に伸びる領域にほぼ限られており、今後当面のマグマ貫入はこの付近と考えることができる。さらに、震源分布から最近貫入した板状マグマの形状は鉛直方向から約 15 度北東側に傾いていると考えられること、マグマが以前貫入した領域の隣に貫入する場合もあったことを踏まえ、今後、噴火する可能性が高い範囲として、最近の群発地震の活動域に加えその北東部、および西北西方向と東南東方向に広げた、火山群の北東外周部の領域を想定する（図 1－1）。海域においては、水深が深いと高い水圧により噴火が爆発的とならないため、海上や居住地域に影響は考えにくいことから、「火口が出現する可能性のある範囲」のうち、水深が 500m 以深の範囲を除外した範囲を「海上や陸上に影響を及ぼす噴火が発生する可能性のある範囲」（ここでは、「想定噴火領域」という）として設定している（図 1－2）。（以上、静岡県・伊豆東部火山群の火山防災対策検討会，2011）

なお、1989 年 7 月の噴火は海底噴火であったが、過去には陸域でも噴火していること、2007 年以降の震源をみると陸寄りのものもみられることから、陸域での噴火発生についても十分留意する必要がある。

② 想定する噴火様式、及び現象

伊豆東部火山群では、3,200年前のカワゴ平噴火など、マグマの粘性が比較的大きく爆発的噴火を起こしやすい珪長質マグマや安山岩質マグマによる活動も確認されている。しかし、こうした活動は火山群の中央部に限られ、手石海丘などの外周部の噴火は、粘性が比較的小さい玄武岩質マグマを噴出させていることから、「火口が出現する可能性のある範囲」では、玄武岩質マグマによる活動を想定する。

大きな影響が及ぶ可能性のある噴火現象として、海域で噴火が発生する場合は、マグマ水蒸気爆発による大きな噴石の飛散とベースサージを想定する。陸域で噴火が発生する場合は、マグマ水蒸気爆発による大きな噴石の飛散とベースサージに加え、スコリアの噴出及び溶岩流を想定する。また、火山灰等が陸上に堆積した場合には、降雨による土石流についても留意する必要がある。

なお、防災対応上、「火口が出現する可能性がある範囲」を、南北方向に約1.4km、東西方向に約2kmの範囲で21個に分割する（以下、分割した範囲をブロックという）。噴火が予想された場合には、群発地震の震央分布域に火口が出現する可能性が高いと考え、群発地震活動域から想定火口域を設定し、その想定火口域に一部でもかかるブロック全てを「想定火口域」とみなす（図1-2）。

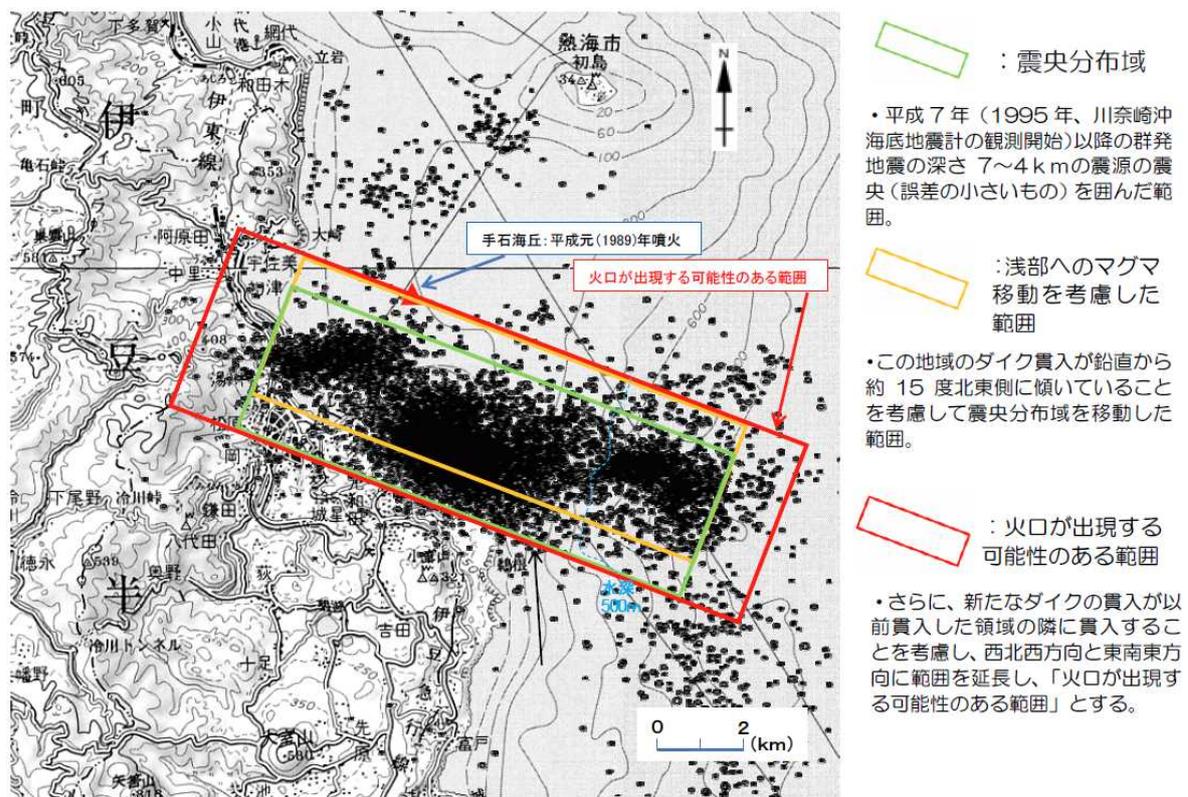


図1-1 伊豆東部火山群の震央分布図と「火口が出現する可能性のある範囲」（1995年9月～2010年12月の深さ7～4kmの震央分布）。
（静岡県・伊豆東部火山群の火山防災対策検討会，2011）

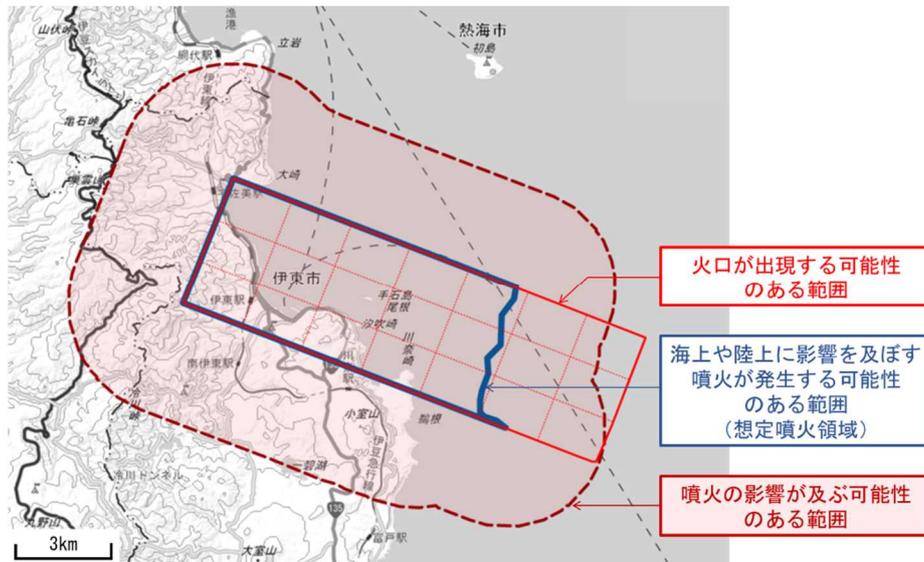


図1-2 伊豆東部火山群の「火口が出現する可能性のある範囲」と影響範囲等
 (静岡県・伊豆東部火山群の火山防災対策検討会, 2011; 伊豆東部火山群防災協議会, 2018
 をもとに作成)

噴火の影響が及ぶ可能性のある範囲については、上記の「想定火口域」に対して、陸域噴火を想定した影響範囲は、大きな噴石の到達距離 3.5km、海底での噴火を想定した影響範囲は、ベースサージの到達距離 3 km とする (図1-2)。

2 火山活動の時間的な推移

伊豆東部火山群の火山防災対策検討会報告書(平成23年10月)で整理されている噴火シナリオに基づき、火山活動の時間的な推移を述べる。

伊豆東部火山群における観測開始以降唯一の噴火である1989年の噴火では、6月末に群発地震が始まり、活発な活動が1週間程度継続して沈静化に向かいつつある7月10日から低周波地震や火山性微動が開始し、13日に海底噴火が発生した(手石海丘の形成)。

1980年以降繰り返し発生してきた群発地震では、個々の活動の初期には、震源が深部から浅部へと上方に移動する。そして震源が一定の深さ(浅部)に達すると、今度はその中心部から震源が鉛直方向に円状に(上方にも側方にも下方にも)広がる様子が観測されている。また、これに同期して群発地震活動域の付近にマグマの蓄積を示す地殻変動も観測される。これらのことは、深部に蓄積したマグマが周辺の岩体に比べて密度が小さいため、浮力により上昇し、等密度となる深度(浮力中立深度)に達すると、そこに滞留して広がることで説明できる。

上記のようなモデルに基づき、地震活動に先行するマグマ貫入による地殻変動を捉えれば、群発地震の発生や活動度を予測することができる。地震調査研究推進本部地震調査委員会では「伊豆東部の地震活動の予測手法」(地震調査研究推進本部地震調査委員会, 2010)

をまとめ、気象庁はそれに基づき「地震活動の見通しに関する情報」の発表を行うこととしている。

伊豆東部火山群の火山防災対策検討会では、火山活動で想定される事象の推移を示した噴火シナリオを作成している（図2）。群発地震発生時点で最終的にどのような現象になるかの過去事例の発生頻度の比率も含めて示している。1978年以降、群発地震は約50回あり、そのうち海底噴火に至ったのは1989年の活動1回だけである。つまり、群発地震が発生しても98%は噴火に至らない噴火未遂として活動は終息する。これらの活動をさらに詳しく分析すると、群発地震には、マグマが深さ3～6kmの浅部まで達する活動と深さ7～9kmのやや深部に留まる活動の2種類があることがわかっており、1978年以降の群発地震のうち、震源の深さが精度よく判明している活動を調べると、両者の発現頻度はおおよそ等しい。噴火につながる可能性があるのは、深さ3～6kmの浅部の群発地震であるが、浅部の群発地震であってもほとんどの場合は噴火に至らない。これまでの群発地震では、全体の5%程度の事例でマグマがさらにごく浅部まで上昇したと考えられており、火山性微動や低周波地震などが観測された1989年及び1995年の群発地震がそれに相当する。1989年の噴火の発生前には、深さ3～6kmで活発な群発地震があった後、低周波地震や火山性微動が発生し、その2～3日後に海底噴火に至っている。しかしながら、1995年の群発地震では、低周波地震や火山性微動が発生したものの噴火に至っておらず、そのような事例は、多くの火山でみられる。伊豆東部火山群では、マグマがごく浅部まで上昇した場合は、おおよそ半数が噴火に至ることが想定されている。

ただし、ここで示した噴火シナリオは、1980年以降の活動に基づいているもので、今後の活動は、このとおりに行かない場合もあることを念頭に置く必要がある。

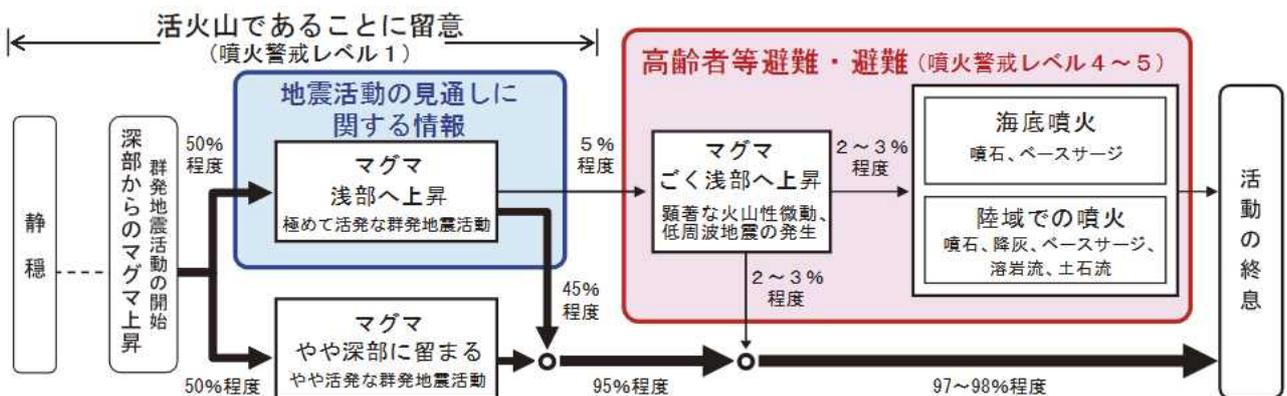


図2 伊豆東部火山群で予想される活動推移（伊豆東部火山群噴火警戒レベルリーフレットより）

- ・ 上図は、「伊豆東部火山群の火山防災対策検討会」が作成した図を簡略化したものです。
- ・ 図中の%の数値は、過去の事例と火山学的知見に基づき推定された発生頻度を示す目安です。
- ・ ここで想定されていない火山現象がまれに発生することもあります。
- ・ 活動の途中や終息後、マグマが再度深部から上昇すると、新たな群発地震が始まることがあります。

3 噴火警戒レベルの区分けと判定基準及びその解説

伊豆東部火山群で発生する群発地震は、上昇するマグマの周辺部で発生している。また、地震の発生回数などは上昇するマグマの量に比例し、さらにひずみ変化の総量はそのマグマの量に比例する。したがって、群発地震がどこで発生しているか把握すればマグマの位置が、また地震活動の規模やひずみ変化量でマグマの量が推定できる（静岡県・伊豆東部火山群の火山防災対策検討会，2011）。伊豆東部火山群の噴火警戒レベルは、このことを参考にしてマグマの位置に応じて区分けしている。

① レベル1（活火山であることに留意）

（レベル1の状況）

<火山活動は静穏>

- ・地震活動は低調だが、時々まとまって地震が発生することがある。
- ・火山活動による地殻変動は認められない。

<マグマの移動等に伴い、群発地震や地殻変動が観測される>

- ・活発な群発地震により、体に感じる地震が多発し、震度5弱以上の大きな揺れとなることがある（震源の浅部への移動が観測されることがある）。
- ・体積ひずみ計などで明瞭な地殻変動が観測される。
- ・単発的に振幅の小さい低周波地震や継続時間が短い火山性微動が観測されることがある。

（解説）

伊豆東部では、ときどき地震がまとまって発生することがあるが、その規模は小さく、地殻変動もほとんど観測されない場合は、マグマの上昇はないか、あったとしてもごくわずかと推定されることから、噴火の可能性は極めて低いと考えられる。

また、活発な群発地震がみられても、約7km以深の深い活動では、マグマは深い場所に留まっていると推定されるので、噴火の危険性は極めて低いと考えられる。深さ3～6kmと浅い群発地震で、地殻変動やわずかな低周波地震が観測されることがあっても、これまでの事例ではほとんどの場合は噴火に至っていない。このような状況をレベル1と考える。

なお、群発地震が活発化した場合には、「伊豆東部の地震活動の見通しに関する情報」を発表し、そのなかで、以上のような地震活動や地殻変動等の状況及び今後の見通しなどについてお知らせする。また、火山活動の状況によっては、「火山の状況に関する解説情報」等により活動状況をお知らせする（特に、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、または判断に迷う場合は「火山の状況に関する解説情報（臨時）」を発表する）ことがある。

② レベル2（火口周辺規制）、レベル3（入山規制）

（レベル2、3の状況）

伊豆東部火山群では、火山活動活発化の過程でレベル2、3は発表しない。ただし、火山活動が低下する過程などにおいてレベル2、3を発表する場合がある（予想される噴火による影響範囲が火口周辺に限定され、かつ居住地域から離れている場合）。レベル2、3を発表する場合は、レベル2、3からの引下げ基準を明確にする。

（解説）

噴火警戒レベルは、噴火に伴う影響範囲と居住地域との距離に応じて、必要な防災対応を踏まえて設定されるものである。そのうちレベル2、3は、噴火の可能性のある限定された火口周辺に警戒が必要な段階である。多くの火山では、噴火場所は概ね山頂火口周辺に限定されるため、山頂火口から居住地域までの範囲を、火口周辺（レベル2の対象範囲）、火口から居住地域近くまで（レベル3の対象範囲）、居住地域及びそれより火口側（レベル4、5の対象範囲）とエリア分けを行うことが可能であるが、伊豆東部火山群では、噴火地点をあらかじめ限定することが難しいことに加えて、噴火が居住地域の近傍や直下で起こりうるという特殊性がある。したがって、伊豆東部火山群における噴火警戒レベルの現在の運用は、噴火の可能性が高まっていく段階では、レベル2、3の発表はなく、レベル4以上の発表とする。

噴火発生、または噴気、地熱域の出現などの後に、火山活動が沈静化していく段階では、噴火などの現象が発生した場所やその周辺に、当面噴火が発生する可能性が高い場所を特定できる場合がある。そのうえで、予想される噴火の影響範囲が居住地域に重ならない火口周辺の範囲に留まる場合は、レベル2またはレベル3を発表できることもある。このような場合は、噴火の可能性のある領域と警戒が必要な範囲を明示して、レベル2もしくはレベル3を発表する。

なお、レベル2、3からの引下げについては、レベル2、3における火山活動の状況を具体的に想定することは困難なため、基準を明記することも困難である。噴火事象が発生し、レベル2、3に引き下げる段階で、改めて引下げ基準を検討し、そのうえで示すこととする。

③ レベル4（高齢者等避難）

（レベル4の状況）

マグマが地下のごく浅部（深さ1～2km）にまで移動し、居住地域に重大な被害を及ぼす噴火の発生が予想される状態。

（引上げ基準）

【居住地域に重大な被害を及ぼす噴火の発生が予想される】

マグマの移動に伴う群発地震が発生しているなか、次のいずれかが観測された場合

- ① 想定噴火領域での低周波地震または継続時間が短い（3分未満）火山性微動の多発（24時間に概ね10回以上または6時間に概ね5回以上）

- ② 継続時間の長い（3分以上）火山性微動の発生
- ③ マグマがごく浅部まで上昇したと考えられる地殻変動

（引下げ基準）

噴火が発生せず、上記のいずれの現象も観測されなくなった場合には、火山活動を評価した上で、すみやかにレベルを引き下げる。

（解説：引上げ基準）

マグマがごく浅部に移動した場合、それに伴う群発地震が見られているなか、低周波地震や火山性微動の発生、また地殻変動が観測されることが想定される。ここでは、主に 1989 年の海底噴火事例を参考に基準を設定した。

- ① 1989 年の海底噴火では、噴火発生の 3 日前の 7 月 10 日 04 時頃に低周波地震が観測され始め、同日 10 時に前 6 時間回数が 5 回に、同日 21 時に前 24 時間回数が 10 回に達している。この頃にマグマがごく浅部に達したと推定され、これを基準として設定した。

なお、1978 年以降の約 50 例の群発地震のうち、低周波地震が観測されたのは、4 例である。そのうち、この基準を満たしたのは、1989 年と 1995 年である。1995 年は、噴火には至らなかったが、群発地震、マグマ貫入による地殻変動、震源の浅部への移動、低周波地震の多発、火山性微動がみられるなど、地殻変動量などに違いはあるものの 1989 年の海底噴火時の活動状況とその経過が類似していることから、レベル 4 に該当すると考える。

- ② 1995 年の事例では、低周波地震の前 6 時間回数が 5 回に達する約 1 時間前に、継続時間が 3 分を超える火山性微動が発生した。この頃にマグマがごく浅部に達したと推定されるから、これを基準として設定した。なお、1989 年の場合は、低周波地震が発生し始め、7 月 10 日に①の基準を満たしたあとの 11 日 20 時 38 分頃から火山性微動が発生している。

- ③ 1989 年の海底噴火では、傾斜計で、7 月 1 日頃からマグマが貫入した領域が沈降する方向のわずかな傾きが観測されはじめ、7 月 4 日頃に、その傾斜方向が反転し、マグマが貫入した領域が隆起する数十 μ rad の変動が観測された (Okada and Yamamoto, 1991)。このことは、板状のマグマが浅部へ上昇すると、板状のマグマの走向に垂直な方位にある傾斜計は、最初は板状のマグマの方が沈降する方向に傾き、板状のマグマが浅くなると、変動方向が反転するとともにその変化量が大きくなることから、浅部へのマグマの移動によるものと解釈できる。周辺の傾斜計等のデータの変化傾向から、マグマがごく浅部まで上昇したと推定される地殻変動が観測された場合、レベルを 4 に引き上げる。ただし、実際の傾斜計の動きは板状のマグマの走向、傾き、傾斜計の位置に依存するとともに、活発な群発地震に伴う変動も入り込んで複雑になることが予想されるので、具体的にどの観測点でどのような変動かをあらかじめ想定することは難しい。上記のことを参考にしつつ、震源情報や GNSS などの観測データも活用し、判断する。

(解説：引下げ基準)

群発地震がある程度低下し、上記の①～③の現象がみられなくなった場合は、マグマの移動などが低下したと考えられる。このような状況になるなど、居住地域に影響する噴火発生の可能性がないと判断した段階で、可能な限り速やかにレベル1に引き下げることとする。

噴火が発生した場合は、噴火の発生場所や発生している噴火の規模、噴出物の影響範囲に加え、噴火活動の推移、火山性地震の発生状況や地殻変動の推移といった観測データから、火山活動を評価して、居住地域に影響する噴火が発生する可能性がなくなったと判断した場合に速やかにレベル3もしくは2以下に引き下げる。

④ レベル5 (避難)

(レベル5の状況)

レベル4の段階からさらに低周波地震が増加したり、火山性微動の規模が大きくなったりするなど噴火の発生が切迫した状態。あるいは噴火が発生。

(引上げ基準)

【居住地域に重大な被害を及ぼす噴火が切迫または発生】

マグマの移動に伴う群発地震が発生しているなか、次のいずれかの現象が観測された場合

- ① 想定噴火領域での低周波地震または継続時間が短い(3分未満)火山性微動の多発(24時間に概ね20回以上または6時間に概ね10回以上)
- ② 継続時間の長い(3分以上)顕著な火山性微動(振幅 $5\mu\text{m/s}$ 以上)の発生
- ③ 陸域での噴気や地熱域の出現、地殻変動による顕著な地割れ・隆起・陥没などの発生
- ④ 海底(水深500m以浅)での火山活動による変色域などの出現
- ⑤ 陸域 または 海底(水深500m以浅)で噴火が発生

(引下げ基準)

該当する現象が観測されなくなった場合には、火山活動を評価した上で、すみやかにレベルを引き下げる。

(解説：引上げ基準)

レベル4の状態からさらに火山活動が高まると、低周波地震や火山性微動がさらに活発になると想定される。ここでは、主に1989年の海底噴火事例を参考に基準を設定した。

- ①②1989年の伊東沖の手石海丘での海底噴火では、噴火発生の2日前の11日に低周波地震がさらに増加し、火山性微動の振幅の増大も見られた。
- ③伊豆東部火山群では、過去に陸上で顕著な地熱異常がみられた記録はない。マグマ上昇により群発地震と地殻変動がみられるなかで、顕著な地熱異常域が確認された場合は、マグ

マもしくはマグマからの高温の火山ガスが地表面近くまで達していると考えられる。その場合は噴火が切迫していると判断しレベルを5に引き上げる。また、マグマが地表近くまで達すると、地割れや隆起などがみられると想定される。

- ④マグマもしくはマグマからの高温の火山ガスが地表面近くまで達し、海底から熱水やガスが噴出した場合、海面上に変色水や気泡、噴出により巻き上げられた軽石等が浮遊することが考えられる。その場合は噴火が切迫していると考えられる。そのような現象が、海底（水深500m以浅）の場合、海面上にその影響が及ぶ可能性が高い。
- ⑤陸域または海底（水深500m以浅）で噴火が発生した場合、その影響が居住地域に及ぶ可能性が高いことから、すみやかにレベル5に引き上げる。

（解説：引下げ基準）

レベル5からの引下げは、噴火が発生した場合は、噴火の発生場所や発生している噴火の規模、噴出物の影響範囲に加え、噴火活動の推移、火山性地震や地殻変動の状況から火山活動を評価して、居住地域に影響する噴火が発生する可能性がなくなったと判断された段階で行う。

噴火が発生せずに地震活動等が終息していった場合などでは、観測データから居住地域に影響する噴火発生の可能性がないと判断した段階で、可能な限り速やかにレベル1に引き下げることにする。

レベル4～5で設定した低周波地震や微動の回数、振幅の閾値は、主に、1989年や1995年の観測データに基づいて設定しているが、例えば、微動の振幅については、マグマが上昇してくる場所に依存する。そのため、近傍の気象庁観測点の大崎観測点、新井観測点、鎌田観測点における振幅の最大を基準としている。それにより、想定火口域における1989年、1995年規模の火山性微動を概ね包括できる。発生場所によってはそれより小さい規模の微動でも基準を満たすことになる。

また、上記以外の現象でもマグマがごく浅部へ上昇したことを示すなど噴火の可能性が高いと判断した場合にはレベルを引き上げるなど、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や知見が得られた場合はそれらを加味して評価した上でレベルを判断することもある。

なお、前述のとおり、レベル4以上に引き上げる場合は、図1-2で示した火口が出現する可能性がある範囲のうち、どの領域が噴火の可能性のある地域であるかを、群発地震の震源分布等のデータから判断し、噴火警報等により明示することとしている。その方法（領域の分割方法や呼称等）は、関係機関とあらかじめ協議して定めている。

4 今後検討すべき課題

以上示した判定基準は、現時点での知見を踏まえたものである。今後、新たな知見が得ら

れた場合は、随時判定基準を見直していくこととする。

現時点では、火山活動が活発化する過程において噴火警戒レベル2、3の運用は行わないこととしているが、これはレベル2、3の運用を将来にわたって否定するものではない。今後、新たな知見や防災体制の見直し等に応じて、レベル2、3の運用やレベル1段階での火山の状況に関する解説情報（臨時）の具体的な発表基準についても継続して検討を進めていく必要がある。

想定火口については、最近の地震活動に基づいて設定しているが、最近の活動域とは異なる場所で地震活動が発生した場合の場合は、随時、想定火口についても検討する必要がある。

引用文献

伊豆東部火山群防災協議会（2018）：「見直し後の噴火の影響が及ぶ可能性のある範囲」，2018年10月1日協議会資料。

地震調査研究推進本部地震調査委員会（2010）：「伊豆東部の地震活動の予測手法」報告書。

Okada, Y. and E. Yamamoto, A model for the 1989 seismo-volcanic activity off Ito, central Japan, derived from crustal movement data (1991) : J. Phys. Earth, 39, 177-195.

静岡県・伊豆東部火山群の火山防災対策検討会（2011）：伊豆東部火山群の火山防災対策検討会報告書，61p.