

草津白根山（本白根山）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

草津白根山の本白根山は、過去 1 万年間にマグマ噴火が複数回発生しているが、噴火活動に関する詳細は不明である。このため、2018 年 1 月 23 日に発生した噴火（以降 2018 年噴火と呼ぶ）をもとに噴火場所などを以下のように想定した。

①噴火場所

2018 年噴火では、半径約 300m の領域に火口が複数分布している。この分布域を噴火が発生する場所と想定し、以降、「火口」と呼ぶ。

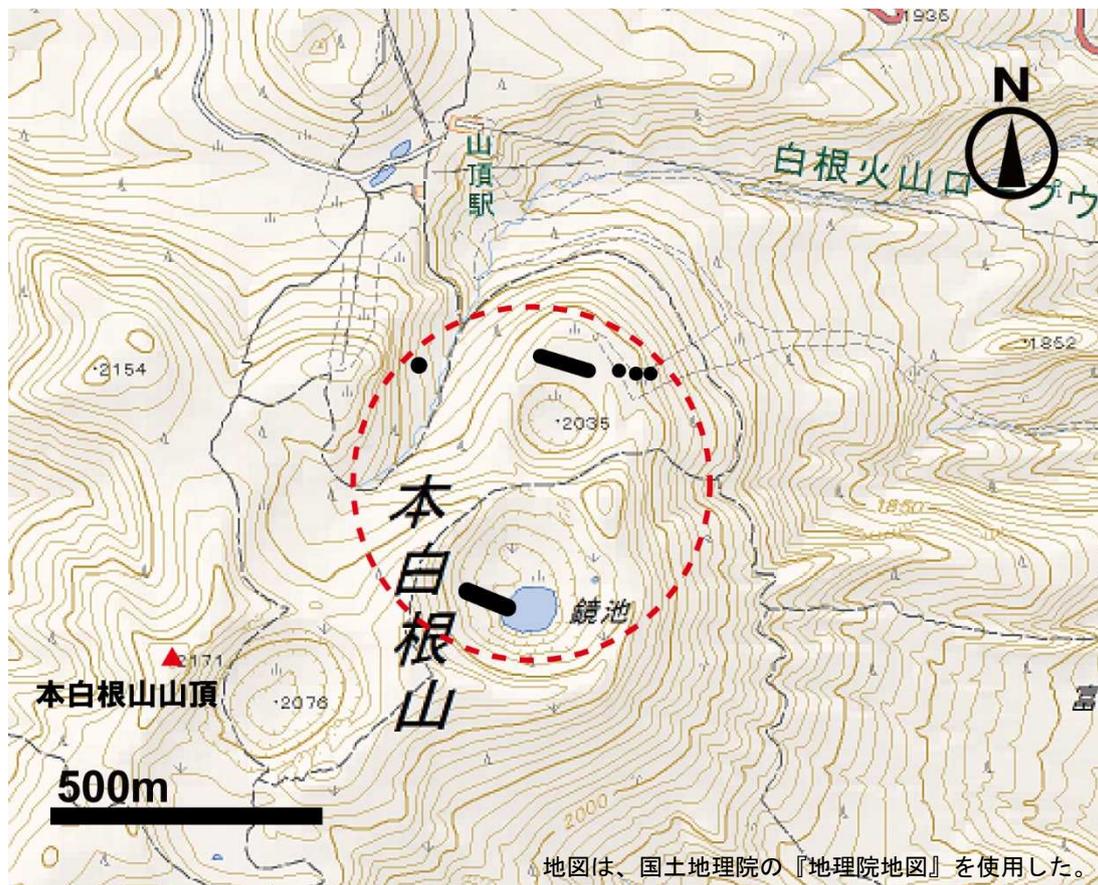


図 1 本白根山の想定する噴火場所

- ・ 赤破線内を本白根山の噴火が発生する場所と想定し、以降「火口」と呼ぶ。
- ・ 赤破線内の黒印は 2018 年噴火の火口を示す。

②噴火の区分とその影響

噴火様式と規模の想定は下表のとおりである。

噴火様式	規模	噴火に伴う現象	警戒が必要な範囲	過去事例
水蒸気噴火	小噴火	大きな噴石、小さな噴石・降灰、空振	火口から概ね1 km 以内の範囲（大きな噴石）	2018年噴火
水蒸気噴火	中噴火	大きな噴石、火砕流、小さな噴石・降灰、空振	火口から概ね2 km 以内の範囲（大きな噴石） 火口から居住地域近くまでの範囲（火砕流）	有史以降の事例なし
マグマ噴火	大噴火	大きな噴石、溶岩流、火砕流 [*] 、融雪型火山泥流 [*] 小さな噴石・降灰、空振	火口から概ね3 km 以内の範囲（大きな噴石） 火口から概ね7 km 以内の範囲（溶岩流）	約3,000年前 本白根火砕丘形成、 石津溶岩等 有史以降の事例なし

- ・ 「大きな噴石」とは、主として風の影響を受けずに弾道を描いて飛散するものことである。
 - ・ 火山灰や小さな噴石は、風に流されて警戒が必要な範囲を超えて風下側に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被害をもたらすことがある。
 - ・ 溶岩流および火砕流の流下範囲は、地形による制約を受け、山体の東側に流下する可能性が高いと考えられる。
- ※ 火砕流および積雪期の融雪型火山泥流を対象とした警戒が必要な範囲については、今後のハザードマップの検討結果をふまえて設定することとする。

2 火山活動の時間的な推移

本白根山の噴火に関する観測実績は2018年噴火しかなく、しかも観測体制が十分でない中で発生しており、ほとんど知見が無い。そこで、白根山（湯釜付近）の活動等を参考にし、逢ノ峰付近浅部の地震活動の活発化、火口付近浅部の膨張を示す地殻変動、噴気活動や地熱活動等が、マグマに由来する火山ガスの浅部への供給量増加により観測されることを想定した。しかし、2018年噴火では噴火直前（3分前）に発生した傾斜変動を伴う火山性微動以外は、顕著な前兆現象は観測されなかった。このように、静穏な状態から直前まで前兆現象が観測されないまま、噴火が突発的に発生する可能性があることに注意する必要がある。

一方、有史以前に発生しているマグマ噴火については、本白根山と同じ安山岩質マグマの火山における一般的な火山活動推移を参考にすると、マグマの貫入・上昇に伴い、山体の膨張や規模の大きな火山性地震の多発等が予想される。マグマ上昇が進行すると、マグマ由来の火山ガスの浅部への供給量が増加する。その後、地下水とマグマの相互作用によりマグマ水蒸気噴火が発生する。マグマが更に上昇すると、マグマ中の揮発性成分の発泡により爆発的な噴火が発生して大きな噴石が飛散し、火砕流を伴うことも考えられる。また、揮発性成分が抜けたマグマが、溶岩流として山頂付近あるいは山腹斜面

から流下することが考えられる。

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）

火山活動は静穏。火山性地震が時々発生する程度。

②レベル2（火口周辺規制）

火口から概ね1 km以内に大きな噴石が飛散する噴火が発生する可能性がある。浅部の地震活動の活発化、火口付近浅部の膨張を示す地殻変動、火口付近での明瞭な噴気活動、地熱域の出現がみられるなど、マグマ由来の火山ガスの供給量増加により火山活動が高まった状態。

③レベル3（入山規制）

火口から概ね2 kmまで大きな噴石が飛散する、あるいは居住地域近くまで火砕流が到達するような噴火の可能性がある。マグマ由来の火山ガスの供給量がさらに増加し、浅部の地震活動、地殻変動、噴気活動や地熱活動に、レベル2で想定している現象を上回る規模で変化がみられるなど、火山活動がさらに高まった状態。

④レベル4（避難準備）から5（避難）

マグマの上昇により、規模の大きな地震（現地で体に感じる程度）の多発や顕著な地殻変動等がみられるなど、居住地域に重大な被害を及ぼす噴火が発生することが予想、もしくは切迫していると考えられる状態。

火砕流と積雪期の融雪型火山泥流については、今後のハザードマップの検討結果をふまえて設定することとする。

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2に引き上げる。

<火口から概ね1 km以内に大きな噴石が飛散する噴火の可能性>

- ① 傾斜変動を伴う振幅の大きな火山性微動が発生（青葉山西観測点UD 概ね $20\mu\text{m/s}$ 以上）
- ② 逢ノ峰付近浅部の火山性地震の増加（前一週間で概ね10回）、かつ、火口付近ごく浅部の火山性地震の増加
- ③ 火口付近ごく浅部のBH型地震の多発
- ④ 逢ノ峰付近浅部または火口付近ごく浅部の低周波地震（BL型地震）や火山性微動の増加
- ⑤ 明瞭な噴気活動、地熱域の出現
- ⑥ 火口付近浅部の膨張を示す地殻変動

＜火口から概ね 1 km 以内に大きな噴石が飛散する噴火の発生＞

- ⑦ 火口周辺に降灰する程度の微小な噴火を含め、火口から概ね 1 km 以内に大きな噴石が飛散

(引下げ基準)

噴火の発生がなく、地震活動も静穏時の状態に戻り、噴気活動や地熱域、地殻変動に活発化の傾向が明瞭にみられなくなってから数ヶ月経過後。火口付近ごく浅部の BH 型地震の多発のみでレベルを引き上げた場合は、地震活動が静穏時の状態に戻れば他のデータの変化を確認した上でレベルを引き下げる。

ただし、噴気活動や地熱域、地殻変動に活発化の傾向が明瞭にみられなくなったと判断してレベル 1 に引き下げた後に、再び火山活動が高まる傾向に転じたと判断した場合は、上記の基準に達していなくてもレベル 2 に引き上げる。

(解説：判定基準)

＜火口から概ね 1 km 以内に大きな噴石が飛散する噴火の可能性＞

- ① 2018 年噴火では、噴火発生前後に傾斜変動を伴う火山性微動が発生した。この火山性微動の振幅は青葉山西観測点の UD 成分で約 $20 \mu\text{m/s}$ であったため、この事例に基づいて同規模の火山性微動が発生した場合にはレベル 2 に引き上げる。ただし、微動の振動源や傾斜の変動源から、明らかに本白根山の火山活動ではないと特定できる場合を除く。
- ② 逢ノ峰付近浅部では 1～2 ヶ月程度継続する地震活動が繰り返し発生している (図 1)。現時点で本白根山の火山活動との関連性はよくわかっていないが、少なくとも 2017 年以前に本白根山の火山活動が活発化した事例はなく、この地震活動の活発化だけで直ちに本白根山の噴火に発展すると考えることは難しい。しかし、逢ノ峰付近浅部の地震活動と同時に、火口付近ごく浅部でも火山性地震が増加した場合は、本白根山の火山活動が活発化したと判断し、レベル 2 に引き上げる。

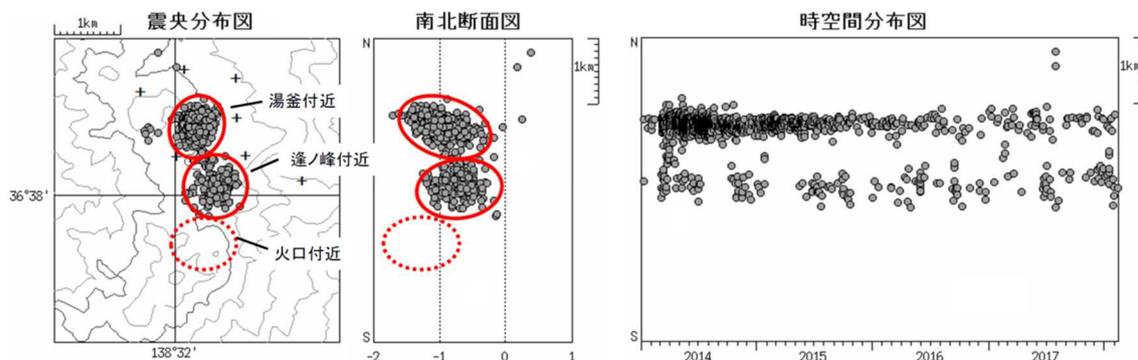


図 1 草津白根山の震源分布図

③2018年噴火以降、火口付近ごく浅部を震源とするBH型地震が発生している。この地震活動は、噴火によるクラック開口及び火口付近ごく浅部の応力状態の変化等を反映したものと推定されるが、詳細は不明である。このため、BH型地震の多発は、火山活動の一時的な高まりを示している可能性があるとして判断し、念のためレベルを一時的に引き上げる。

④2018年噴火発生直前に、低周波地震（BL型地震）や火山性微動の増加は観測されていないが、噴火発生後、数日間は低周波地震や火山性微動がまとまって発生している。また、御嶽山など他の火山では、回数は少ないながらも低周波地震が発生した後に噴火に至った事例がある。これらのことを踏まえ、低周波地震や火山性微動が増加した場合は、火山活動が高まっていると判断し、レベル2に引き上げる。

⑤2018年噴火後、風が弱く気温の低い時間帯において、火口からごく弱い噴気が時々観測されることがあったが、継続的な火山活動の高まりではないと解釈した。しかし、マグマ由来の火山ガスの供給量が増加すると、明瞭な噴気や地熱域が出現する可能性が考えられる。そのような現象が観測された場合は、レベル2に引き上げる。

⑥マグマ由来の火山ガスの供給量が増加すると、火口付近浅部の膨張が観測される可能性がある。そのような現象が観測された場合は、レベル2に引き上げる。なお、2014年に白根山（湯釜付近）の火山活動が高まった際には、傾斜計やGNSSで湯釜付近浅部の膨張が観測された。

<火口域から概ね1 km以内に大きな噴石が飛散する噴火の発生>

⑦一般的に水蒸気噴火は明瞭な前兆が直前まで観測されないままに突発的に発生する可能性があることを踏まえ、レベル1の段階で、火口周辺に降灰する程度の微小な噴火を含め、噴火が発生した場合は、速やかにレベル2へ引き上げる。ただし、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はレベル3以上に引き上げる。

(解説：引下げ基準)

本白根山の火山活動についてはほとんど知見がないことから、レベルの引下げに際しては、火山活動の推移を慎重にみた上で判断する。

火山活動が低下すると、地震活動は他の観測種目に比べ、早く元の状態に戻ると考えられる。それに対し、噴気活動や地熱域、地殻変動は元の状態に戻るまで時間がかかる場合が多く、戻らない場合もある。このため、地震活動が静穏時の状態に戻り、かつ、噴気活動の活発化、地熱域の拡大や温度上昇、膨張を示す地殻変動が停滞しわずかな低下傾向がみられる等、火山活動の高まる傾向が明瞭にみられない状態が数ヶ月継続した場合レベル1へ引き下げる。

火口付近ごく浅部を震源とするBH型地震が多発した場合は、念のためレベルを引き上げる。しかし、マグマ由来の火山ガスの供給量増加が認められない場合には一時的な地

震多発で終わる可能性も考えられることから、地震活動が静穏時の状態に戻った場合は、他の観測種目のデータの変化を確認した上でレベルを引き下げる。

ただし、レベルを引き下げた後、地震活動、噴気活動、地熱域、地殻変動のいずれかの観測データで活動の高まりがみられた場合は、レベル2の判定基準に達していなくてもレベル2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。

<火口から概ね2 km まで大きな噴石が飛散する、あるいは居住地域近くまで火砕流が到達するような噴火の可能性>

- ①傾斜変動を伴う振幅の大きな火山性微動の発生（傾斜変動、微動の規模はいずれもレベル2の基準を上回る）
- ②逢ノ峰付近浅部の火山性地震の増加、かつ、火口付近ごく浅部の火山性地震の増加（いずれの地震もレベル2の基準を上回る）
- ③噴気活動の活発化、地熱域の拡大
- ④噴出物中にマグマ起源の物質が増加

<火口から概ね2 km まで大きな噴石が飛散する、あるいは居住地域近くまで火砕流が到達するような噴火の発生>

- ⑤火口から概ね1 km～2 km の範囲に大きな噴石が飛散
- ⑥火口から居住地域近くまで到達する火砕流の発生（火口から概ね1 km 以内にとどまる程度のものは除く）

(引下げ基準)

レベル3で想定している噴火が発生せず、上記の現象がみられなくなってから概ね1ヶ月経過後。

レベル3で想定している噴火の発生後、噴火が発生しなくなる、もしくは、レベル2で想定している噴火の規模に低下した場合、レベル引上げ後の活動評価に基づき、防災対応の状況も考慮してレベル引き下げを検討する。

(解説：判定基準)

草津白根山では、本白根山のみならず、白根山（湯釜付近）も含めて、火口から1 km を超えるような大きな噴石の飛散や火砕流を伴う噴火を観測した事例がないことから、マグマ由来の火山ガスの供給量が更に増加するなどにより、レベル2で想定している規模以上の噴火が発生する可能性が高まった場合を想定して基準を作成した。

<火口から概ね2 km まで大きな噴石が飛散する、あるいは、居住地域近くまで火砕流が

到達するような噴火の可能性>

①～③マグマ由来の火山ガスの浅部への供給量が更に増加した場合、レベル2への引上げ基準よりも規模の大きな、傾斜変動を伴う火山性微動の発生や地震活動の活発化、火山ガス（二酸化硫黄）の放出量の増加等の噴気活動の活発化、地熱域の拡大が観測される可能性が考えられる。そのような現象が観測された場合、レベル3に引き上げる。

④マグマ上昇が進行すると、噴火を繰り返す中で噴出物中にマグマ起源の物質が増加することが想定される。そのような現象が観測された場合はレベル3へ引き上げる。

<火口から概ね2 km まで大きな噴石が飛散する、あるいは居住地域近くまで火砕流が到達するような噴火の発生>

⑤観測データの分析による大きな噴石の飛散範囲の予測は難しいことから、レベル2で想定している概ね1 km を超え、概ね2 km までの範囲に大きな噴石が飛散する噴火が発生した場合は、速やかにレベル3へ引き上げる。

⑥レベル1の段階であっても、火口から居住地域近くまでの範囲に到達する火砕流が発生した場合は、速やかにレベル3に引き上げる。ただし、火口から概ね1 km 以内にとどまる程度の火砕流の場合は、レベル2とする。

(解説：引下げ基準)

レベル3で想定している、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が発生しなかった場合は、上記の現象がみられなくなってから概ね1ヶ月経過後。

レベル3で想定している、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が発生した場合は、その後にレベル3で想定した噴火が発生しなくなる、もしくは、レベル2で想定している、大きな噴石が飛散する範囲が火口から概ね1 km 以内にとどまる噴火の規模に低下した場合、レベル引上げ後の活動評価に基づき、防災対応の状況も考慮してレベルを引き下げる。

【レベル4】

(判定基準)

次のいずれか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山体内に規模の大きな地震が多発
- ②多量のマグマ上昇を示す顕著な地殻変動
- ③溶岩流が居住地域に到達する可能性

【レベル5】

次のいずれか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溶岩流が居住地域に切迫
- ②溶岩流、大きな噴石が居住地域に到達

(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、活動状況を勘案して総合的に判断する。

(解説：判定基準)

草津白根山のマグマ噴火については、観測実績がないため詳細は不明であるので、他の火山の事例等を踏まえると、噴火の前兆現象として草津白根山で多量のマグマ上昇を示すような顕著な地殻変動や規模の大きな地震の多発等が想定される。溶岩流については、居住地付近に到達するには数時間以上かかると考えられることから、状況をみながら判断することとした。

(解説：引下げ基準)

引下げについても観測実績がないので、火山活動の低下を確認した上で、居住地域への影響を再評価して判断する。

(留意事項)

以上で示したレベル2からレベル5の判定基準のほか、これまで観測したことのないような観測データの変化や火山現象を観測した場合、あるいは新たな観測データが得られた場合は、それらも加味して評価した上でレベルを判断する。

5 今後検討すべき課題

本白根山の火山活動に関する火山学的知見はほとんどなく、観測データも不足しており、不明な点が多い。以上に示した判定基準は、2018年噴火の観測事実や白根山（湯釜付近）の知見、類似火山の一般的な火山学的知見に基づき設定している。今後、過去の観測データの再調査、観測事例の蓄積を進めつつ、レベル判定基準を随時見直していく。特に、以下の各課題に取り組み、判定基準の改善を図ることとする。

- (1) 逢ノ峰付近浅部で発生している地震と火山活動との関連性を明らかにするために、本白根山付近の地下構造や地震活動、地殻変動等に基づき、基準設定の根拠となる火山活動の考え方について検証等を行う必要がある。
- (2) 2018年噴火発生以降、火口付近のごく浅部で発生しているBH型地震の実態を把握するため、震源、地震の規模、波形等の変化について詳細に調査する必要がある。

- (3) 本白根山の火山活動を監視・評価するため必要となる観測体制の検討を行う必要がある。
- (4) 過去の噴火履歴に関する調査研究で新たな知見が得られた場合は、噴火場所や噴火様式、規模などをその都度見直すこととする。
- (5) 大噴火に伴う現象に、積雪期の融雪型火山泥流や居住地域に到達する規模の火砕流についても考慮する必要がある、今後のハザードマップの検討結果を踏まえ、改めて検討する。