

平成 19 年 12 月 1 日運用開始
令和 3 年 3 月 26 日現在
気 象 庁

樽前山噴火警戒レベル判定基準とその解説

1 過去 1 万年間の活動概要

樽前山は約 9000 年前に支笏カルデラ南壁上に噴出した後カルデラ火山である。約 3000 年前の活動後、約 2500 年あまりの休止期を挟んで 17 世紀以降再び活動期に入り、1667 年と 1739 年に広域に影響を及ぼす軽石・火山灰の降下や火砕流を伴う大規模噴火が発生した。この 2 回の大規模噴火はプリニー式と呼ばれるマグマ噴火で、数日間～2 週間程度継続した。また、1739 年の噴火により、山頂部にカルデラ（現在の山頂火口原；山頂外輪山内の平坦～緩斜面の部分；図 1）が形成された。その後、1804 年～1817 年（文化年間）、1874 年（明治 7 年）にマグマ噴火が発生し、火砕流が山腹（山頂火口原外側の山体斜面のうち標高 300～400m 以上；火口から 4～5km 地点）まで流下した。また、1867 年（慶応 3 年）及び 1909 年（明治 42 年）のマグマ噴火では、溶岩ドームが形成された。このほか、1883 年～1887 年、1894 年及び 1917 年以降に小規模噴火を繰り返した。

噴火活動としては 1978～1981 年の小規模な水蒸気噴火が最後である。1970～80 年代前半にかけて地震活動の高まった状態が継続していたが、その後地震活動は低下した。1996 年から地震活動が再び高まり、1999 年以降は A 火口で高温状態が継続するなど、溶岩ドームを中心に現在も噴気・地熱が認められる。

樽前山の北北西約 3km に位置する風不死岳は、約 2 万 6 千年前に支笏湖の南岸に噴出した後支笏カルデラ火山である。約 8500 年前にマグマ水蒸気噴火、約 4500 年前に水蒸気噴火が発生した（古川・中川, 2010）ものの、現在噴気活動は認められない。

2 想定する噴火場所、噴火様式、火山現象とその影響範囲

(1) 想定する噴火場所

樽前山の過去 1 万年の噴火は、いずれも山頂火口原内もしくは風不死岳で発生しているが、少なくとも数百年、あるいはそれ以前からの噴火は山頂火口原内で発生してきたこと、また現在も山頂火口原内の溶岩ドーム及びその周辺で高温の噴気孔や地熱域及び地震活動がみられ、かつ山腹から山麓にかけて噴気孔等が存在しないことから、山頂火口原内の溶岩ドーム及びその周辺を想定する噴火場所とする。

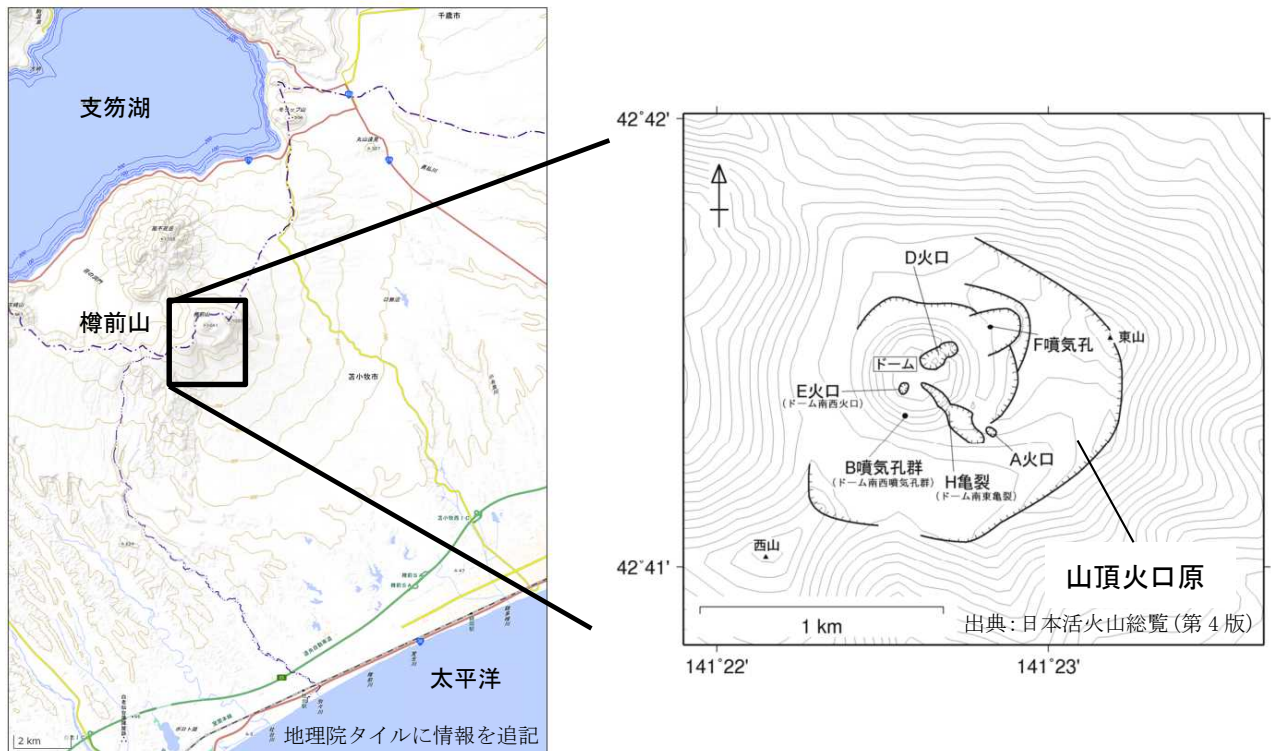


図1 樽前山における火口周辺図

(2) 想定する噴火様式

過去1万年間の活動履歴を踏まえ、水蒸気噴火とマグマ噴火（マグマ水蒸気噴火を含む）を想定する。なお後述のとおり、マグマ噴火はプリニー式噴火と溶岩ドームを形成する噴火に大別される。

(3) 想定する火山現象と影響範囲

過去1万年間の活動履歴を前提とし、火山現象とその影響範囲を以下のとおり想定する。なお、以降「大きな噴石」とは、概ね20～30cm以上の、風の影響をほとんど受けずに弾道を描いて飛散する噴石を指すこととし、「小さな噴石」とは、直径数cm程度の、風の影響を受けて遠方まで流されて降る噴石のこととする。

① 想定する火山現象

想定する火山現象を、噴火様式ごとに以下のように想定した。なお、樽前山において火砕流・火砕サージの発生が確認されている噴火活動は、いずれもマグマ噴火であると考えられているが、水蒸気噴火においても、山頂火口原周辺及び山腹にまで達する火砕流・火砕サージが発生する可能性がある。

- ・水蒸気噴火：小さな噴石及び火山灰の飛散、大きな噴石の飛散、火砕流・火砕サージの流下
- ・マグマ噴火（マグマ水蒸気噴火を含む）：小さな噴石及び火山灰の飛散、大きな噴石の飛散、火砕流・火砕サージの流下、融雪型火山泥流の流下

② 想定する影響範囲

火砕流・火砕サージ：樽前山では、マグマ噴火による火砕流・火砕サージの流下が確認されている。1667、1739年（プリニー式噴火）の噴火では、北側は支笏湖まで、南側は火口から10km（現在の居住地域）まで流下し太平洋岸まで達している（古川・中川，2010）。上記以外のマグ

マ噴火では、1804-1817年及び1874年の噴火により、山腹まで火砕流が流下した（古川・中川、2010）。

火砕サージは、一般に火砕流の先端から数km程度先にまで到達することがある（図2）。これらを考慮し、火砕流と火砕サージを合わせた影響範囲として、居住地域までを想定した。

大きな噴石：プリニー式噴火（1667年、1739年）の大きな噴石に関する記録はないが、大きな噴石の最大飛散距離は、火口から最大4km程度まで想定する。

- 1874年のマグマ噴火では、山頂の溶岩ドームが破壊され噴出岩石が外輪山を越えて山腹に達した（田中館、1926）。また1909年3月30日のマグマ噴火では、火口底に元々あった岩石の多くが、火口周辺及び中央火口丘内の北側に飛散した。このように、噴火時には、溶岩ドームを形成していた岩石または火口内の岩石の一部が、火口の周囲及び山腹まで飛散することが想定される。
- 過去の水蒸気噴火に伴う大きな噴石の飛散範囲は、山頂火口原内であるが、他火山の噴火事例も考慮して、水蒸気噴火に伴う大きな噴石の飛散範囲は山頂火口原周辺及び山腹を想定する。

融雪型火山泥流：樽前山では、融雪型火山泥流の流下の記録は残っていない。しかしながら、マグマ噴火に伴う火砕流・火砕サージにより融雪型火山泥流が発生し居住地域に影響を及ぼす可能性がある。

小さな噴石、火山灰、火山ガス：プリニー式噴火では、大量の小さな噴石、火山灰が上空の風に乗って遠方まで運ばれ堆積する。火山ガスも同様に、上空の風により山麓の広範囲にわたり影響が及ぶと考えられる。

軽石：特にプリニー式噴火では、大量の軽石も上空の風に乗って遠くまで運ばれ堆積するため、影響範囲は広範囲にわたる。

溶岩流・岩屑なだれ：古川・中川（2010）によれば、樽前山では溶岩流の発生は稀な現象である。また、樽前山では岩屑なだれの発生は確認されておらず、山体の形状からも発生する可能性は低い。これらのことから、樽前山では溶岩流及び岩屑なだれの発生は考慮しない。

津波：規模の大きな火砕流や融雪型火山泥流が支笏湖に流入した場合、湖岸全域に広がる可能性があるが、これまで発生は確認されておらず発生する可能性は低いことから、津波の発生は考慮しない。

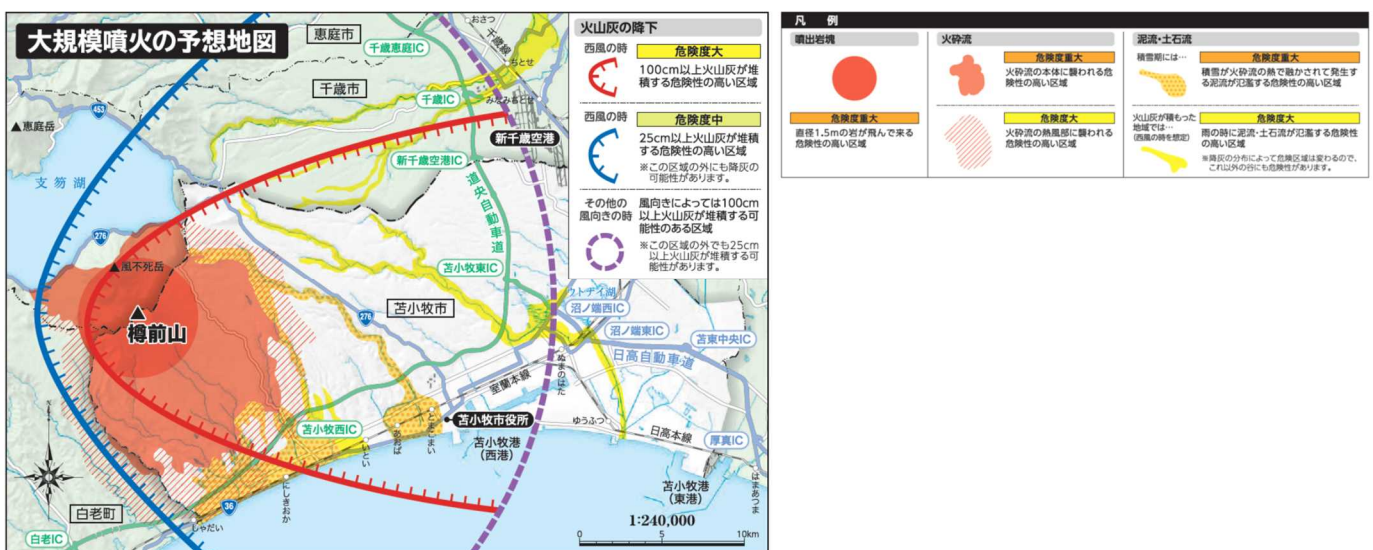


図2 苦小牧市 樽前山噴火災害ハザードマップ（大規模噴火）

(4) 想定のおまとめ

想定する噴火場所、噴火様式、火山現象とその影響範囲を表1のとおり整理した。ただし、(3)①で想定する火山現象のうち、噴火警報の対象としているもののみ挙げた。

表1 想定される火山現象と影響範囲（噴火警報の対象となるもののみ）

噴火場所	噴火様式	火山現象	影響範囲
山頂火口原	水蒸気噴火	大きな噴石の飛散	山頂火口原周辺及び山腹
		火砕流・火砕サージの流下	山頂火口原周辺及び山腹
	マグマ噴火 (マグマ水蒸気噴火含む)	大きな噴石の飛散	想定火口から概ね4km以内
		火砕流・火砕サージの流下	居住地域まで
		融雪型火山泥流の流下	居住地域まで

3 火山活動の時間的な推移

勝井ほか(1981)は過去の噴火履歴及び岩石学的研究に基づき将来の噴火予測を行い、噴火の規模・様式について、①少量の火山灰や噴石が飛散する小～中規模噴火(1909年噴火以降20世紀に繰り返された水蒸気噴火;溶岩ドームの一部または全部を破壊する場合がある)、②①の活動に引き続き、または休止期において、軽石・スコリア・パン皮状火山弾・火山れき・火山灰等を放出し(1804～1817年)、さらにその後溶岩ドームを形成する中規模噴火(1874年、1909年)、③広域に影響を及ぼす大量の軽石や火山灰の降下や火砕流を伴う大規模噴火(1667年、1739年)、の3つの場合を想定した。①～③の具体的な時間推移は以下のとおりである。

① 樽前山の過去の水蒸気噴火は、少量の火山灰を噴出し噴出口の近傍に噴石を飛散させるような噴火から、爆発音、空振や体を感じる地震を伴いながら噴煙が勢いよく上昇するような噴火までである。特に山頂火口原に溶岩ドームが存在する場合は、溶岩ドームの一部を破壊し噴石となって飛散する。これらの水蒸気噴火は、数日から数週間程度の間で繰り返す。

② 1909年の噴火は以下の4つのステージに分けられる(田中館, 1917)。

I 初期活動(1月11日～3月末)

噴煙の激増、鳴動、地震、降灰及び火柱などの活動が記録に残っていることから、小規模な噴火と鳴動が断続的に発生したと推定される。

II 主噴火期(3月30日及び4月12日)

ステージIのあと、2回のマグマ噴火が発生した。噴出量はステージIより明らかに多い。この2回の噴火ではいずれも、新鮮なマグマ物質を含む軽石、スコリア、火山弾、火山灰を噴出したことから、新鮮なマグマが火口底またはその近くまで上昇していたと考えられる。

III 溶岩ドーム形成期(4月17日～19日)

ステージIIの後、火口底に溶岩が蓄積され、火山灰を噴出しながら溶岩ドームが形成された。

IV 末期活動の噴火(5月15日)

噴火により、溶岩ドームの一部に亀裂が形成された。

1874年2月8日から10日にかけての噴火では、軽石の降下、1867年に形成された旧溶岩ドームを破壊し、灼熱した岩石が外輪山を越えて山腹に飛散した。また、最終段階で降下スコリア

及び谷沿いに火砕流が流下した（山頂火口原から 3km 流下）。1804 年～1817 年（文化年間）の噴火では小規模なプリニー式噴火が発生し、火口から 2km 以内に降下火砕物の堆積が確認されている（古川・中川，2010）。

- ③ 1667 年、1739 年の 2 回のプリニー式噴火では、多量の火砕物（軽石など）の降下と太平洋や支笏湖にまで到達するような火砕流・火砕サージを繰り返した。プリニー式噴火の活動期間は、数日～半月程度と推定される。噴出量が最も多い噴火の発生する時期は両者で異なり、（Nakagawa et al., 2003）1667 年噴火では活動の初期に最大規模のプリニー式噴火が発生したのに対し、1739 年噴火では活動終期に最大規模のプリニー式噴火が発生した。

4 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）

火山活動は概ね静穏な状態である。ただし、火山性地震の増加、火山性微動の発生、噴煙・噴気高の増大など一時的に活動が高まることもあり、状況によっては火口内に影響する程度の火山灰や火山ガスの噴出等が起こることもある。

(2) レベル 2（火口周辺規制）

山頂火口原周辺に影響を及ぼす噴火が発生した、または発生が予想される状態である。

上記の山頂火口原周辺に影響を及ぼす噴火が発生した状態とは、悪天等の視界不良時に振幅が大きく継続時間の長い火山性微動が発生し、噴火が発生したと考えられる状態を含む。

また、噴火の発生が予想される状態とは、水蒸気噴火の可能性が高まった状態、つまり熱活動が高まったなかで火口直下において火山性地震が増加し、場合によっては山頂付近で地殻変動も観測されるような状態を指す。

(3) レベル 3（入山規制）

想定火口から概ね 3 km 及び谷沿いの範囲に影響を及ぼす噴火が発生、または発生が予想される状態である。

上記の噴火の発生が予想される状態とは、レベル 2 の規模の噴火が断続的に発生したり、熱活動が高まったりするなかで、振幅の大きな火山性地震が増加し、場合によっては山腹や山麓の観測点で地殻変動も観測されるなど火山活動が活発化した状態を指す。

なお、例外的な場合として、影響範囲が想定火口から概ね 3 km 及び谷沿いの範囲に収まらないものの居住地域には影響を及ぼさない現象が発生、または発生が予想される場合には、当該現象に応じた警戒が必要な範囲を明示してレベル 3 を適用する。

(4) レベル 4（高齢者等避難）

居住地域に重大な影響を及ぼす現象（火砕流・火砕サージ及びそれらに伴う融雪型火山泥流）が予想される状態である。

上記の現象が予想される状態とは、非積雪期においては、マグマ噴火が発生し噴火規模及び頻度が増大傾向にあり、より大きな規模のマグマ噴火（プリニー式噴火）に伴って居住地域に到達する火砕流・火砕サージの発生が予想される状態である。積雪期においては、マグマ噴火（またはマグマ水蒸気噴火）が発生する可能性が高まっており、融雪型火山泥流の発生が予想される状態である。

(5) レベル 5（避難）

居住地域に重大な影響を及ぼす現象（火砕流・火砕サージ及びそれらに伴う融雪型火山泥流）が

発生した、または切迫している状態である。

上記の現象が切迫している状態とは、それらを発生させる可能性が高いマグマ噴火（またはマグマ水蒸気噴火）が発生した状態または切迫している状態を指す。具体的には非積雪期においては、噴煙高度が 10,000m に達するような噴火（プリニー式噴火）が発生した状態や、マグマ噴火のリスクが高い中でレベル 3 またはレベル 4 を超えるような空振や火山性微動が観測された状態、あるいはマグマ噴火が発生し噴火規模及び頻度が増大傾向にある中で、顕著な地震活動あるいは地殻変動が継続している状態である。積雪期においては、マグマ噴火（またはマグマ水蒸気噴火）が発生、または水蒸気噴火からマグマ噴火への噴火様式の移行が確認され、融雪型火山泥流の発生が切迫している状態である。

5 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、1967 年 7 月以降のヒュッテ南観測点（2000 年 11 月 22 日以降は北山腹観測点）の地震観測データや遠望観測データ、現地調査の結果等に基づき検討を行った。また、過去の噴火事例に関する当時の観測・調査の記録や地質調査等による研究成果、他火山の事例も参考とした。

なお、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には、それらを加味した火山活動の評価を行い、以下に示す判定基準によらずレベルを判断することがある。また、火山活動に低下傾向が認められたと判断してレベルを下げた後に、再び火山活動が高まる傾向に転じたと判断される場合には、引上げ基準に達していなくても元のレベルに戻す。

【レベル 2】

(引上げ基準)

＜火口から概ね 1 km（山頂火口原周辺）の範囲に影響を及ぼす噴火が発生＞

①噴火が発生し、以下の現象を確認

- 火口から概ね 1 km 以内に大きな噴石が飛散
- 噴煙の高さが火口縁上 3,000m 未満

視界不良時（②、③とも）

②火山性微動（北山腹観測点で変位最大振幅 0.5 μ m 以上かつ継続時間 10 分以上）が発生

③空振を伴う火山性微動または火山性地震が発生

＜火口から概ね 1 km（山頂火口原周辺）の範囲に影響を及ぼす噴火が発生する可能性＞

④山頂溶岩ドーム直下の火山性地震の顕著な増加（任意の 24 時間に 200 回以上、任意の 24 時間に 100 回以上を 1 ヶ月程度の間 2 回以上、任意の 30 日間に 800 回以上）

⑤山頂溶岩ドーム直下の火山性地震の増加（任意の 24 時間に 100 回以上、任意の 30 日間に 600 回以上）の他、次のいずれかの現象を 2 つ以上観測

- 火山性微動（北山腹観測点で変位最大振幅 0.1 μ m 以上）
- 熱活動の高まり（噴気高度概ね 500m 以上、火口温度の 200°C 程度以上の上昇等）
- 山頂付近の GNSS や傾斜計で観測される山体膨張を示す明瞭な地殻変動
- 山体周辺の火山性地震の顕著な増加（任意の 24 時間に 100 回以上）

(引下げ基準)

・上記の条件を満たさなくなり、かつ、火山性地震の増加や火山性微動が発生しなくなってから、概

ね1ヶ月程度経過した場合にレベル1に引き下げる。

●解説

(引上げ基準)

はじめに、1967年以降の観測データをもとにレベル2の引上げ基準に対して各事例の確認を行った結果を表2に示す。噴火3事例のうち1事例(1981年の噴火)は、噴火の10日前にレベル2となる。残り2事例は、噴火前の短期的な火山活動の高まりに乏しく、噴火を受けてレベル2に引き上げる。なお、レベル2に引き上げても噴火に至らなかった事例が3事例あるが、火山活動の高まりが認められている状況であり、火口周辺では噴火に対する警戒が必要である。

表2 1967年以降のレベル2に該当する事例

事例	噴火とレベル2のタイミング	備考
1978年5月噴火	噴火を受けてレベル2	明瞭な前兆無し
1978年12月～ 1979年5月噴火	噴火を受けてレベル2	明瞭な前兆無し
1981年2月噴火	噴火前(10日前)にレベル2基準に該当	噴火前に顕著な地震増加、微動発生。
1999年5月地震増加	噴火には至らず	顕著な地震増加、火口温度上昇。
1999年7月地震増加	噴火には至らず	地震増加、地殻変動、火口温度上昇。
2001年8月地震増加	噴火には至らず	顕著な地震増加、火口温度上昇。

<火口から概ね1km(山頂火口原周辺)の範囲に影響を及ぼす噴火が発生>

- ① 一般的に、突発的な噴火の発生は予測できないこともあるため、レベル1の段階で、微小なものも含め、噴火の発生を確認した場合には、速やかにレベル2に引き上げる。噴煙または大きな噴石の飛散が確認できる場合は噴煙の高さが火口縁上3,000m未満、大きな噴石の飛散距離が概ね1km内(山頂火口原周辺)のときにレベル2に引き上げる。これを上回る現象を確認した場合には後述のとおりレベル3以上に引き上げる。
- ② 視界不良で噴煙が確認できない場合は、火山性微動(北山腹観測点で変位最大振幅0.5μm以上かつ継続時間10分以上)を観測したときにレベル2に引き上げる。この閾値(0.5μm以上かつ10分以上)は、1978～1981年の噴火の際の火山性微動(噴火微動)を参考に設定している。
- ③ 空振を伴う火山性微動や火山性地震が発生した場合には、噴火が発生している可能性が高いことからレベル2に引き上げる。このとき火山性微動や火山性地震の最大振幅等を考慮して必要に応じてレベル3への引き上げを検討する。なお、樽前山ではこれまでに噴火に伴う空振を機械観測した事例は無く、今後、事例の蓄積を踏まえ、噴火規模と空振の最大振幅の関係等に基づく空振に関する定量的な数値基準の設定を検討する。

<火口から概ね1km(山頂火口原周辺)の範囲に影響を及ぼす噴火が発生する可能性>

- ④ 1981年の噴火では、噴火に先行する山頂ドーム直下の地震活動の活発化が捉えられており、噴火前の1カ月間の地震回数は1000回を超え、噴火の6日前及び10日前には日回数が100回を超えた。また、1999年5月の地震増加時には、日回数が観測史上最多の211回に達し、その後数年間にわたり山体の膨張を示す地殻変動や火口温度の上昇等の火山活動の活発化が見られた。上記事例を踏まえ、任意の24時間及び任意の30日間の地震回数を指標として、山頂ドーム直下で上記

事例に匹敵する顕著な地震増加があった場合には、噴火の可能性が高まっていると考えレベル2に引き上げる。

- ⑤ 上記④の顕著な地震増加事例には及ばないものの、山頂ドーム直下で5～10年に1回発生する程度の地震増加と、同時期にその他の観測項目にも活動の高まりが見られた場合には、噴火の可能性が高まっていると考えレベル2に引き上げる。以下、山頂ドーム直下の地震増加以外の各観測項目における判断の指標について説明する。

- ・ 1978年～1981年の噴火活動において、噴火の直前に火山性微動が発生した事例は1981年2月の噴火の一週間前に3回発生した事例のみだが、噴火の発生後や噴火が頻発している期間中には火山性微動が多く発生している。火山性微動の発生後に必ずしも噴火が発生するわけではないが、一般的にも火山性微動の発生と火山活動の活発化には関連が見られる場合が多いことから、火山性微動の発生をレベル2引き上げの判断の指標の一つとする。ここでいう火山性微動とは北山腹観測点で変位最大振幅 $0.1\mu\text{m}$ 以上のものを対象とする。
- ・ 1978～1981年の噴火活動では直前に噴気高度の変化は見られなかったものの、この噴火活動の前後数年間は1967年以降では噴気高度が比較的高かった時期にあたり、500m以上が時々観測され、最高では1000mが記録されている。その後、1995年以降は噴気高度が低下し、500m以上は観測されていない。上記を踏まえ、500mの噴気高度が観測された場合には、噴火活動があった期間相当に噴気活動が活発化しており、噴火の可能性が高まっていると考え、これをレベル2引き上げの判断の指標の一つとする。

A火口及びB噴気孔群では、2004年以降、 200°C を超えるような温度変化は見られない。今後、これらの火口温度が 200°C 程度以上上昇した場合には、これまでに観測された最も高い火口温度と同程度またはそれをを超える温度となるため、 200°C 程度以上の上昇をレベル2引き上げの判断の指標の一つとする。

- ・ 地震の増加や火口温度の上昇、噴気活動の活発化等が観測された1999年～2000年にかけて、山頂周辺における繰り返しGNSS観測では、山頂ドーム直下に膨張源が推定される地殻変動が観測された(福井, 2008)。上記の火山活動の活発化事例や、他の火山において小規模な噴火に先行して山体浅部の膨張を示唆する地殻変動が観測された事例(例えば2018年4月の霧島山(硫黄山)の噴火)も踏まえ、山頂付近のGNSSや傾斜計で観測される山体膨張を示す明瞭な地殻変動をレベル2引き上げの判断の指標の一つとする。
- ・ 2013年には、山体西側の地震が顕著に増加(日回数は最大で105回)し、山体北西側に膨張源が推定される地殻変動が山腹・山麓に設置された複数の傾斜計で観測された。この時には山頂ドーム周辺では火山活動の活発化を示唆する現象は観測されなかった。これらの活動は、山体周辺での火山性流体の移動を示唆している可能性がある。このような状況で、山頂ドーム周辺において同時期に火山活動の活発化を示す現象が観測された場合には、噴火の可能性が高まっていると考えられるため、山体周辺の顕著な地震増加をレベル2引き上げの判断の指標の一つとする。具体的には、以下の通り判断を行う。
 - 山頂溶岩ドーム周辺で異常が見られなければレベル1を継続する。
 - 山頂溶岩ドーム直下の地震増加が見られる中で、山頂付近の観測点で山体膨張を示す明瞭な地殻変動等を観測した場合には、レベル2に引き上げる。
 - レベル2の条件を満たす中で山頂溶岩ドーム直下で噴火警戒レベル2を超える規模及び頻度の火山性地震の多発や、山麓や山腹の観測点で山体膨張を示す明瞭な地殻変動等を

観測した場合は、レベル3（後述）への引き上げを検討する。

（引下げ基準）

レベル2の引上げ基準を満たさなくなり、かつ、火山性地震の増加や火山性微動が発生しなくなつてから、概ね1ヶ月程度経過した場合にレベル1に引き下げる。ここでいう火山性地震の増加とは、任意の24時間に100回、任意の30日間で600回を目安とする。また、火山性微動は北山腹観測点で変位最大振幅 $0.1\mu\text{m}$ 以上のものを対象とする。

1967年以降で噴火活動が数ヶ月以上継続した唯一の事例である1978年12月～1979年5月の噴火活動では、最長で1ヶ月強程度の時間間隔で断続的に噴火が約20回発生し、火山性微動は約140回発生するなど、期間中は継続して火山活動の高まりが認められている状況であった。そのため、上記期間中は火口周辺では継続して噴火に対する警戒が必要であり、期間中はレベル2を継続する必要があると考えられるが、本引下げ基準はこの点を満たしている*。

※ 1978年12月～1979年5月の噴火活動に対して、本基準を適用した場合、最初の噴火以降はレベル2が継続され、1979年5月28日（最後の噴火から17日後）の最後の火山性微動から1ヶ月後にレベル1に引き下げられる。

【レベル3】

（引上げ基準）

＜火口から概ね3km及び谷沿いの範囲に影響を及ぼす噴火が発生＞

① 噴火が発生し、以下の現象を確認

- 火口から概ね3km以内に大きな噴石が飛散、または火砕流の流下
- 噴煙の高さが火口縁上3,000m以上

② ＜視界不良時＞山麓の観測点で明瞭に観測される空振や火山性微動

＜火口から概ね3km及び谷沿いの範囲に影響を及ぼす噴火が発生する可能性＞

- ・レベル2の条件を満たしているなかで、次のいずれかの現象を観測

〔マグマ噴火への移行〕

- ③ 噴出物中に新鮮なマグマ性物質が数パーセント以上含まれているなど、マグマ噴火への移行を確認した場合

〔マグマ噴火への移行の可能性〕

- ④ レベル2相当の噴火が断続的に発生し、さらに火山性微動の振幅が増大または継続時間の増加
- ⑤ レベル2を超える規模及び頻度の火山性地震の多発
- ⑥ 山腹や山麓のGNSSや傾斜計で観測される山体膨張を示す明瞭な地殻変動

（引下げ基準）

- ・上記の条件を満たさなくなつてから、概ね1ヶ月程度経過した場合にレベル2に引き下げる

●解説

（引上げ基準）

＜火口から概ね3km及び谷沿いの範囲に影響を及ぼす噴火が発生＞

- ① 1874年のマグマ噴火では、1867年に形成された旧溶岩ドームが破壊され、その一部が噴出岩石として外輪山を越えて山腹に達した（田中館，1926）。この噴火に伴う火砕流の堆積物が火口から谷

沿いに3 km程度の範囲で認められた(古川・中川, 2010)。このように大きな噴石が山腹(火口から概ね3 km)まで飛散した場合にはレベル3に引き上げる。また、火砕流については、後述のとおり発生時に流下距離を予測することは困難であるため、火砕流の発生を確認した場合は原則直ちにレベル5に引き上げる。ただし、規模が小さく居住地に到達しないことが明白な場合や、後になって居住地域に到達しない範囲に流下した痕跡を確認できた場合などはレベル3とする。

1874年2月8日から10日にかけて発生したマグマ噴火では、当時の札幌方面等からの噴火スケッチによれば、噴煙が火口縁上3,000m程度まで上がっていたことが分かっている。この噴火では、上記①の通り山頂火口原を越えて噴石が飛散した。また、1917年の水蒸気噴火では、溶岩ドームに複数の亀裂の形成・拡大及び噴出口が形成され、噴石の飛散に関しては記録が無いが噴煙は4,000mの高さに達した(田中館, 1926)。このように、噴煙の高さが火口縁上3,000m以上となる噴火が発生した場合は、山頂火口原を超えて火口から概ね3 kmの範囲に大きな噴石を飛散させる可能性が高いと判断してレベル3に引き上げる。

- ② 過去の噴火では、山麓で戸障子が振動するなどの微動または空振の記録が残っている。このことから、視界不良等の場合でも、噴火に対応する山麓の観測点で明瞭に観測される空振や火山性微動を観測した場合、火口から概ね3 kmの範囲に影響を及ぼす噴火が発生したと判断してレベル3に引き上げる。

<火口から概ね3 km及び谷沿いの範囲に影響を及ぼす噴火が発生する可能性>

- ③ 1909年の噴火では4月中旬頃に溶岩ドームが形成され、その後、溶岩ドームの一部を破壊する噴火が発生した(田中館, 1917)。2011年の新燃岳の噴火でも同様に、山頂火口底に溶岩が蓄積された後、溶岩の一部を噴き飛ばす爆発的噴火があり、大きな噴石が山麓まで達した。1804年～1817年、1874年のマグマ噴火では、軽石が山麓の広範囲に降下し堆積した。また、1909年3月30日のマグマ噴火(先述の主噴火期)では、新鮮なマグマ物質を含む軽石、スコリア、火山弾、火山灰を噴出した。これらのことは、大量のマグマが地下浅部まで上昇してきたことを示唆する。以上から、噴出物に新鮮なマグマ性物質が数パーセント以上含まれているなど、マグマ噴火への移行を確認した場合はレベル3に引き上げる。
- ④ レベル2相当の噴火が断続的に発生している状況で、さらに火山性微動の振幅が増大または継続時間が長くなった場合、噴火の規模が増大し大きな噴石がより遠方まで飛散する可能性があるため、レベル3に引き上げる。
- ⑤⑥ 樽前山では噴火前の地殻変動及び活発な地震活動(体を感じる地震の多発など)の事例はないが、他火山の事例を参考にすると樽前山でも同様に、地下浅部へのマグマの上昇により地震活動の活発化及び地殻変動が観測される可能性がある。よって、レベル2を超える火山性地震の多発や、山腹や山麓のGNSSや傾斜計で山体膨張を示す明瞭な地殻変動が観測された場合も、マグマ噴火の可能性が高まっていると判断しレベル3に引き上げる。

(引下げ基準)

熱活動や地震活動に低下傾向が認められるか、地殻変動に停滞または鈍化の傾向が認められた場合、火口から概ね3 kmの範囲に影響を及ぼす噴火の発生がなくなったと判断し、レベル2へ引き下げる。

【レベル4】

(引上げ基準)

<居住地域に重大な被害を及ぼす現象の可能性>

- ① マグマ噴火が発生し噴火規模及び頻度が増大傾向にある
- ② 積雪期に噴火警戒レベル3への引上げ基準の〔マグマ噴火への移行の可能性〕を満たした場合

(引下げ基準)

- ・上記の条件を満たさなくなった場合には、火山活動を評価した上でレベルを引き下げる。

●解説

(引上げ基準)

<居住地域に被害を及ぼす現象の可能性>

- ① マグマ噴火が発生している中で噴火規模及び頻度が増大傾向にある場合は、マグマ噴火の規模がさらに大きくなり、居住地域に重大な被害を及ぼす現象（火砕流・火砕サージ）の発生が予想されることからレベル4に引き上げる。
- ② 積雪期に、レベル2の状態にある中で、噴火活動の拡大や、地震活動や地殻変動に活発化の兆候が見られた場合には、マグマ噴火（またはマグマ水蒸気噴火）による居住地域に重大な被害を及ぼす融雪型火山泥流の発生が予想されることからレベル4に引き上げる。

(引下げ基準)

- ・上記の条件を満たさなくなった場合には、火山活動を評価した上で適切なレベルに引き下げる。積雪期において、噴火警戒レベル3の判定基準を満たさなくなった状態が継続している場合にはレベル2へ引き下げを検討する。

【レベル5】

(引上げ基準)

<居住地域に被害を及ぼす火砕流・火砕サージ、融雪型火山泥流が発生>

- ① 居住地域に到達すると予想される火砕流・火砕サージ、融雪型火山泥流が発生

<居住地域に被害を及ぼす火砕流・火砕サージ、融雪型火山泥流が切迫>

- ② 噴火が発生し、噴煙の高さは火口縁上5,000mを超え、さらに上昇
- ③ レベル3またはレベル4の状態、噴煙の状況が確認できないなか、レベル3またはレベル4をさらに上回る空振や火山性微動が観測された場合
- ④ マグマ噴火が発生し噴火規模及び頻度が増大傾向にある中で、顕著な地震活動あるいは地殻変動が継続している状態
- ⑤ 積雪期に噴火警戒レベル3への引上げ基準の〔マグマ噴火への移行の可能性〕以外を満たした場合

(引下げ基準)

- ・上記の条件を満たさなくなった場合には、発生した現象の影響範囲と火山活動を評価した上で適切なレベルに引き下げる。

●解説

(引上げ基準)

<居住地域に被害を及ぼす火砕流・火砕サージ、融雪型火山泥流が発生>

- ① 火砕流・火砕サージ、融雪型火山泥流の流下距離を予め予測することは極めて困難である。時間的猶予を考慮すると、明らかに規模が小さい場合を除き、それらの発生を確認した時点で居住地域へ到達する可能性は否定できないと判断しレベル5に引き上げる。

<居住地域に被害を及ぼす火砕流・火砕サージ、融雪型火山泥流が切迫>

一般に、火砕流・火砕サージの発生を事前に予測することは困難であるが、火山学的知見に基づくと、噴煙高度が10,000mを超えるマグマ噴火(プリニー式噴火)の場合は噴煙柱崩壊型の火砕流・火砕サージが発生する可能性がより高まると考えられ、そのような噴火が切迫している場合はレベル5に引き上げる。

- ② 時間的猶予を考慮すると、10,000mまで噴煙が上昇するのを待つことなく、5,000m程度を超えてもなお上昇する傾向が認められた時点で、噴煙が10,000mを超える可能性は高いと判断し、レベル5に引き上げる。
- ③ マグマ噴火の可能性が高まっている、またはマグマ噴火が発生したレベル3またはレベル4の状態にあり、何らかの要因により噴煙の状態を確認できない中で、レベル3及びレベル4を上回る空振や火山性微動が観測された場合、噴煙高度が10,000mに達するような大規模な噴火が発生したと判断し直ちにレベル5に引き上げる。
- ④ マグマ噴火が発生して噴火規模及び頻度が増大傾向にある中で、多量のマグマが浅部に移動している可能性を示唆するような顕著な地震活動や顕著な地殻変動が継続する場合は、噴煙高度が10,000mに達するような噴火の発生が切迫していると判断しレベル5に引き上げる。
- ⑤ 積雪期に、レベル3相当の噴火の発生や、噴火様式が水蒸気噴火からマグマ噴火に移行していることが確認された場合には、マグマ噴火(またはマグマ水蒸気噴火)による融雪型火山泥流が切迫していると考えられることからレベル5に引き上げる。

(引下げ基準)

・レベル5へ引き上げたあと、火山現象の影響範囲と火山活動を評価した上で、適当なレベルに引き下げる。3.の③で示した通り、樽前山でのプリニー式噴火において、噴出量が最も多い噴火が発生する時期は噴火毎に異なる。そのため、レベル5に引き上げた場合には、その後の活動推移や噴火様式などを評価した上で判断する。

6 今後検討すべき課題

今後も、以下の各課題に引き続き取り組み、判断基準の改善を進める必要がある。

- ① 火山活動のデータの蓄積や火山に関する知見の高度化を踏まえ、火口近傍のデータのより高度な活用等、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 レベル2の判定基準は1967年以降の機械観測の記録に基づき設定したが、例えば、地震活動に関して噴火に先行する地震活動の活発化を捉えたのは1981年2月に発生した噴火のみであり、観測経験は十分とは言えない。また、レベル3以上に対応するマグマ噴火に関連した機械観測の経験は皆無であり、定量的な基準設定に至っていない。今後データを蓄積することで、より高精度な基準の設定を可能にしていく必要がある。

参考文献

- 古川竜太・中川光弘（2010）樽前山火山地質図 1:30,000, 火山地質図 15, 独立行政法人産業技術総合研究所地質調査総合センター.
- 勝井義雄・石川俊夫（1981）樽前山の活動史, 噴出物調査および Disaster Map と災害評価, 文部省研究費自然災害特別研究成果自然災害化学総合研究班. 噴火災害の特質と hazard Map の作成およびそれによる噴火災害の予測の研究, 9-13.
- 福井 敬一(2008), 樽前山における地殻変動および地磁気観測データを組み合わせた解析, 気象研究所技術報告, 53, 286-303.
- Nakagawa, M., et al. (2003) Calderas and active volcanoes in southwestern Hokkaido, Field Trip Guidebook A1, IUGG 2003, 35p.
- 田中館秀三（1917）樽前ドームの形態と新噴火, 地質学雑誌, 24, 353-366.
- 田中館秀三（1926）樽前山噴火歴史, 地球, 6, 405-412.