

倶多楽の噴火警戒レベル判定基準とその解説

1. 想定する噴火様式

倶多楽は、倶多楽カルデラとその外輪山西麓に位置する日和山溶岩ドーム、地獄谷および大湯沼の爆裂火口等で構成される活火山である。約 4 万年前に現在の倶多楽カルデラが形成されて以降の火山活動は、カルデラ外輪山西麓に限定される（勝井ほか、1988；森泉、1998）。

約 1 万 5000 年前のデイサイト質マグマ貫入（日和山溶岩ドームの形成）以降、カルデラ外輪山西麓におけるマグマ噴火の履歴はみつかっていない。最近 1 万年間は少なくとも 12 回の水蒸気噴火を繰り返したことが分かっており、最新の水蒸気噴火は約 200 年前に起こったと推定されている（勝井ほか、1988;Goto et al. 2013;Goto et al. 2015）。現在でも、地獄谷、大湯沼、日和山などで熱湯噴出等の活発な熱水活動、噴気活動が続いている。勝井ほか（1988）は将来想定される噴火について、長期的には大湯沼・地獄谷地域で比較的規模の大きな水蒸気噴火が起こる可能性があるとする一方、マグマ噴火については、今後数十年～百年の間に発生する可能性は極めて低いと考えるのが妥当であろうとしている。

以上を踏まえ、今後起こり得る噴火としては、水蒸気噴火のみを想定する。

2. 想定する噴火場所

日和山から地獄谷にかけての領域には、水蒸気噴火によると推定される多数の火口地形が認められ、領域内のあちこちで噴火が発生したと推測される。また約 200 年前の噴火について、その噴出物の分布から、日和山から地獄谷にかけての領域の中で同時に複数の地点で噴火が発生した可能性が指摘されている（Goto et al. 2015）。

現在、熱水活動、噴気活動は概ね日和山から地獄谷にかけての領域内で認められる。

以上を踏まえ、倶多楽火山防災マップ（登別市、2014）で火口想定域として示されている、日和山周辺から地獄谷周辺にかけての約 1800m×約 600m の領域を噴火が発生する可能性のある場所として想定する。

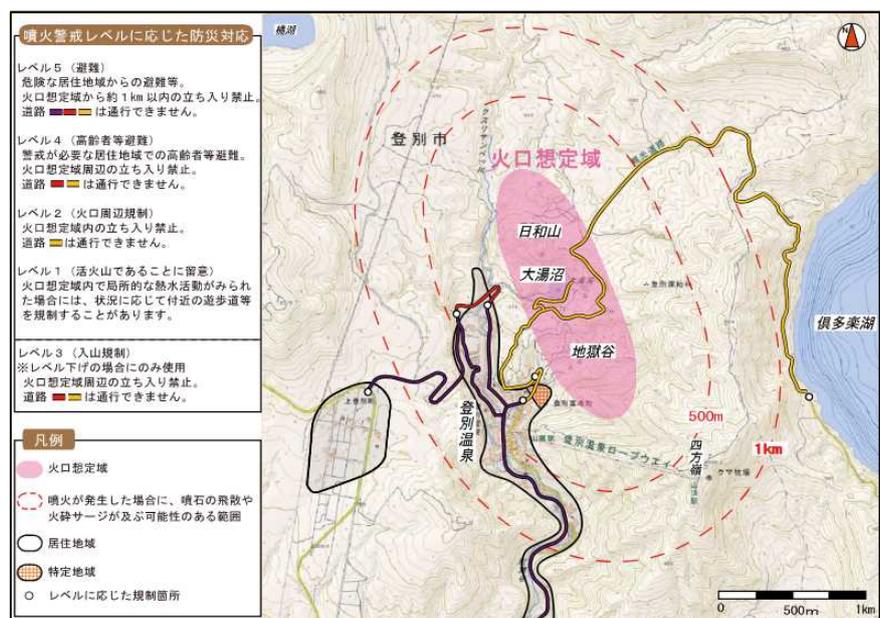


図1 倶多楽の火口想定域（噴火警戒レベルリーフレットより）

3. 想定する火山現象と影響範囲

火山現象としては、一般的な水蒸気噴火の際に起こり得る、噴石の飛散、降灰を想定する。火砕流は、過去1万年以内に発生した履歴がみつからないことから考慮しないが、火砕サージについては、噴煙が横向きに噴出する可能性も考慮して想定しておく。ただし、影響範囲は1km以内と考えられる（勝井ほか、1988）。また、大湯沼には多量の熱水が存在し、地獄谷などでは活発な熱水活動が認められることから、通年で「火口湖決壊型」及び「火口噴出型」の火山泥流の流下を想定する。

倶多楽の噴火警戒レベルは、約200年前の水蒸気噴火よりもやや規模の大きな噴火とそれよりも大きな噴火を対象として設定されている。想定する噴火場所と噴火様式、噴火に伴う現象とその影響範囲を表1に整理した。

表1 想定する噴火、噴火場所、及び火山現象とその影響範囲

噴火場所	噴火様式	噴火に伴う現象	影響範囲
火口想定域	水蒸気噴火	噴石※ ¹	火口から1000m程度以内
		降灰※ ²	火口から2000m程度
		火山泥流※ ³	クスリサンベツ川～登別川沿い
		火砕サージ※ ⁴	火口から1000m程度以内

- ※1 一般に噴火警戒レベルで想定する噴石は風の影響を受けずに弾道を描いて飛散する大きな噴石を対象とするが、倶多楽は居住地域が火口想定域に接しており、小さな噴石でも風の影響を受ける間もなく居住地域に飛散する可能性を踏まえ、こぶし大程度の小さな噴石も対象としている。
- ※2 火山灰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。
- ※3 大湯沼・地獄谷からクスリサンベツ川を経て登別川沿いに流下する（倶多楽火山防災マップ；登別市、2014）。
- ※4 影響範囲は噴石と同程度と考えられるため（勝井ほか、1988）、火砕サージによる特段の防災対応は想定していない（倶多楽火山避難計画；倶多楽火山防災協議会、2018）。

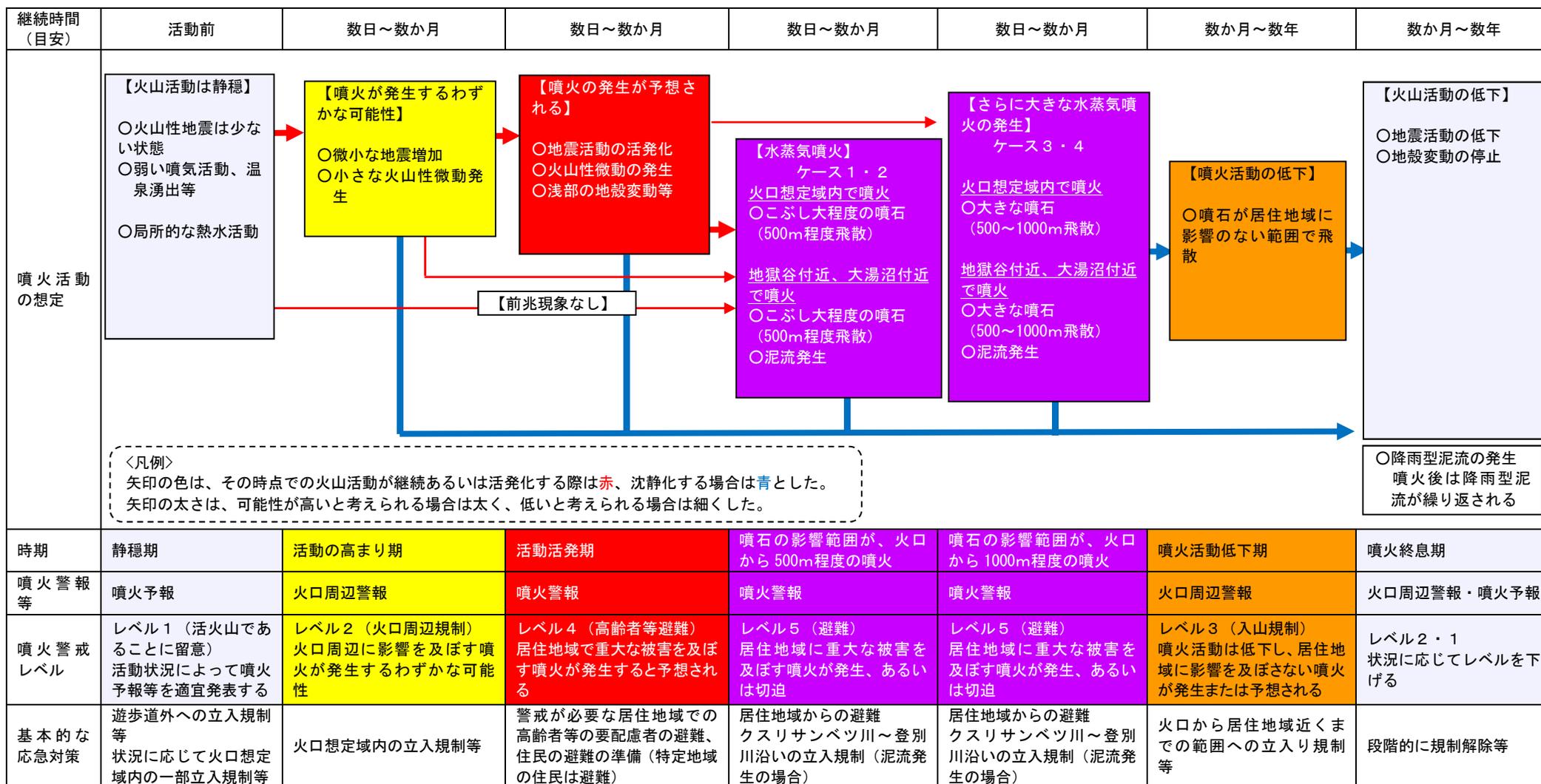
4. 火山活動の時間的な推移

前述の通り、倶多楽では過去1万年の間に少なくとも12回の水蒸気噴火が発生したと考えられているが、噴火の前兆や噴火活動の推移に関する記録は残っておらず、噴火に至る火山活動の時間推移の詳細は分かっていない。

倶多楽では、火口想定域において活発な熱水・地熱・噴気活動が続いており、地下浅部に供給された熱水などの火山性流体が、それらの活動を通して継続的に地表から放出されていると推測される。一般的な火山学の知見を踏まえると、火山性流体の供給量が増大し放出量とのバランスが崩れると、地下浅部での内圧が高まり水蒸気噴火が発生する可能性が高まると考えられる。その際には、熱水・噴気活動の活発化や火口付近浅部の膨張を示す地殻変動、火口想定域の地震活動の活発化などの前兆現象が観測されることを想定している。近年の噴火事例である、御嶽山（2007年）や

霧島山（えびの高原（硫黄山）周辺）（2018年）の水蒸気噴火では噴火に前駆して地震活動の活発化や山体膨張の地殻変動などが観測されている。一方で2018年の草津白根山（本白根山）の水蒸気噴火では、噴火直前の傾斜変動を伴う火山性微動以外に顕著な前兆現象は観測されなかったように、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留意する必要がある。

一般的な火山学の知見や他火山の水蒸気噴火の事例も参考にして想定された倶多楽の噴火シナリオを「倶多楽火山避難計画（倶多楽火山防災協議会、2018）」より示す（図2）。



- ※ ・ケース 1・2 の噴石とは 50cm 未満のものも含み、ケース 3・4 の大きな噴石とは 50cm 以上のものとする。
 ・これは一つの想定であり、必ずしも起こりうる全ての現象やその推移を網羅したものではない。また、全ての現象が発生するとは限らない。
 ・基本的な応急対策は考えられる一例であり、実際の対策は地元自治体と協議の上で決定する。

図 2 倶多楽 防災のための噴火シナリオ (火口想定域で水蒸気噴火が発生する場合)

5. 噴火警戒レベルの区分け

過去に複数の火口で同時多発的に噴火が発生した可能性も指摘されており、噴火が発生した時点で直ちに影響範囲の特定は困難である可能性があることや、火口想定域が居住地域に隣接することを考慮し、噴火規模や影響範囲に関わらず噴火した時点でレベル5まで引き上げる。噴火が発生した後にその影響が明らかに居住地域に達しないとわかった場合や、影響範囲が居住地域に達する噴火の可能性が著しく低くなったと判断できる場合は、レベル3以下に引き下げる。

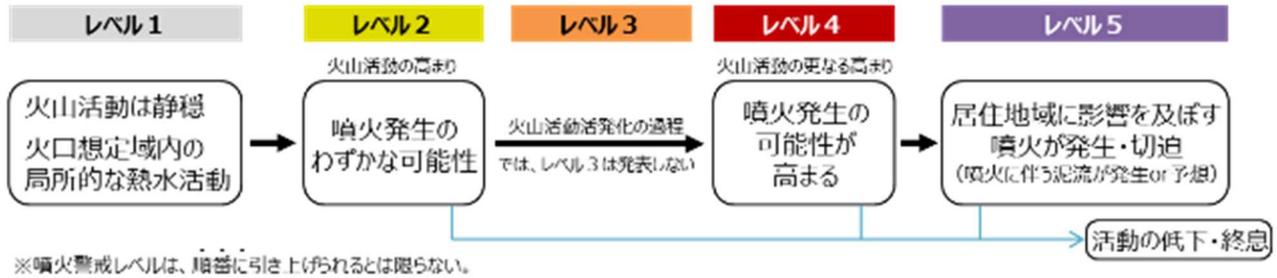


図3 倶多楽の火山活動想定推移と噴火警戒レベルの概要

レベル1（活火山であることに留意）

火山活動が静穏な状態。火口想定域で定期的に熱水活動がみられるものの、火口想定域で発生する地震は少ない。火口想定域で局所的な熱水活動の高まり（温泉・泥水・小石・土砂等の噴出、地熱域の拡大）や、火口想定域の外で一時的に地震活動が高まることもある。このように火山活動がわずかに高まった場合には、活動の高まりの状況に応じて「火山の状況に関する解説情報（臨時）」や「火山の状況に関する解説情報」を発表する。ただし、静穏な状態であっても、明確な前兆がないまま噴火が突然発生する可能性があることに留意する必要がある。

レベル2（火口周辺規制）

噴火の可能性がわずかに認められる状態。火口想定域で火山性地震の増加、火山性微動の発生、顕著な熱水・噴気活動など火山活動に高まりがみられる。

レベル3（入山規制）

火山活動が低下し、影響範囲が居住地域に達する噴火の可能性が著しく低くなった状態。

レベル4（高齢者等避難）

噴火する可能性が高まっている状態。地震回数や規模の大きな地震、熱活動、地殻変動などがレベル2の判定基準をさらに上回り、顕著に火山活動の高まりがみられる。

レベル5（避難）

影響範囲が居住地域に達する噴火が発生、あるいは切迫した状態。

6. 噴火警戒レベルの判定基準とその考え方

【レベル1】

<火山活動は静穏>

定常的な熱水活動が認められ、火口想定域およびその近傍^{※1}で発生する地震は1日あたり数回以下

<火山活動に若干の高まりが認められる>

- ・局所的な熱水活動（温泉・泥水・小石・土砂等の噴出）の高まりや地熱域の拡大がみられることがある。また、火口想定域外^{※2}で一時的に地震活動が高まる（1日あたり数十回）ことがある

※1、※2「火口想定域およびその近傍」、「火口想定域外」については、図4を参照。

（解説）

火山活動の静穏な状態は、火口想定域で見られる定常的な熱水活動の状況、及び地震回数の計数を開始した2004年8月以降のデータによる地震の発生状況から見積もっている。倶多楽では、明治以降、地獄谷や大湯沼などで、間欠泉や熱湯の噴出、噴気地帯の出現など熱活動がわずかに高まった事例が複数回あったことが知られており（勝井ほか、1988）、近年も大正地獄などで熱湯噴出等の活動が見られる。1952年に地獄谷内に“昭和地獄”が生成され、こぶし大の石が49m飛散した事例を含め、これら熱湯噴出等の諸現象はレベル1の活動の範囲内と整理されている（札幌管区气象台、2015；倶多楽火山防災協議会、2018）。したがって、これまで知られている範囲内の現象でレベルを引き上げることはないが、火山活動の状況を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」を発表する。また、今後レベルを引き上げる可能性があるとして判断した場合は「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）

<噴火が発生する可能性がわずかに認められる>

- ① 火口想定域およびその近傍で地震活動が活発化した場合
 - ・50回以上/24時間、または60回以上/48時間
- ② 地震活動が活発化し（火口想定域外で100回以上/24時間、または火口想定域およびその近傍の地震が①の回数に達しない程度の増加）、かつ以下の現象が観測された場合
 - ・火口想定域およびその近傍の浅部を震源とするマグニチュード2程度の規模の大きな地震の発生
 - ・低周波地震が複数回発生、または火山性微動の発生
 - ・山体浅部の膨張を示す地殻変動
 - ・顕著な熱水・地熱・噴気活動等
- ③ 広範囲で顕著な熱水・地熱・噴気活動が生じる

（引き下げ基準）

上記の条件を満たさなくなり、火山活動の低下が認められた場合には、レベルを引き下げる。

●解説

(判定基準)

- ① 倶多楽では、火口想定域外の主に日和山の西から北側の概ね1～4 kmの範囲で定常的な地震活動があるが、火口想定域およびその近傍で発生する地震は少ない(図4)。地震回数の計数を開始した2004年8月以降、1日あたりの地震回数は概ね0～数回程度で、まれに十数回～数十回観測されることもあるが、そのほとんどは火口想定域外で発生していると考えられる。水蒸気噴火に先行して火口浅部で火山性地震の増加が観測された事例は、雌阿寒岳(2006年、2008年噴火など)など他火山で多くある。倶多楽においても火山活動の高まりに伴って、火口想定域およびその近傍で火山性地震が増加することが予想される。火口想定域およびその近傍で地震が増加した場合は水蒸気噴火の可能性があるととしてレベル2に引き上げる。その際の基準として、地震回数の計数を開始した2004年8月以降に火口想定域およびその近傍で発生したと考えられる地震は、多くても1日あたり数回以下であることを考慮し、その10倍程度である任意の24時間で50回を設定している。また、24時間の回数が50回に満たないものの活発な活動が継続する場合の目安として、48時間で60回も基準として設定している。

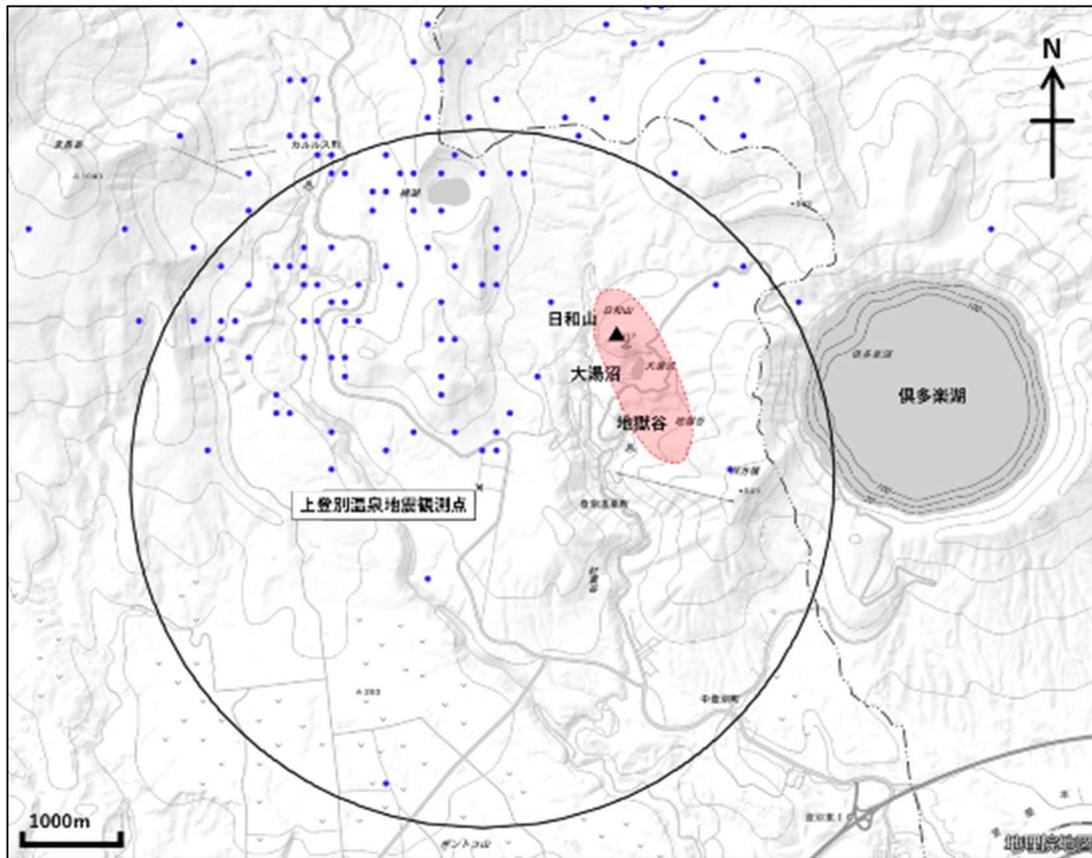


図4 倶多楽の震源分布と火口想定域

図中青点は定常的な地震活動の震源分布(広域地震観測網による震源、1997年10月1日～2020年8月31日)、赤色楕円は火口想定域(約1800m×約600m)、黒色円(上登別観測点から半径約3.5 km)は倶多楽において火山性地震として計数する概ねの領域を示す。地震は主に日和山の西から北側の1～4 kmの範囲で発生している。

また、“火口想定域の近傍”とは、火口想定域から数百mの範囲を指す。

さらに、“火口想定域外”とは、火口想定域およびその近傍を除いた黒色円内の範囲を指す。

※この図は気象庁のほか、北海道大学、国立研究開発法人防災科学技術研究所、公益財団法人地震予知総合研究振興会のデータも利用して作成している(地理院タイルに情報を追記)。

- ② 「4. 火山活動の時間的な推移」で述べたように、倶多楽では熱水・地熱・噴気活動を通じて、地下浅部に供給された熱水などの火山性流体が地表から放出されており、放出量に比して火山性流体の供給量が増大した場合には水蒸気噴火の可能性が高まると想定している。また、噴火に至る活動は必ずしも十分にわかっているわけではないが、御嶽山や霧島山（えびの高原（硫黄山）周辺）など多くの火山で、水蒸気噴火の前駆現象として、地震活動の高まりのほか、火山性微動、低周波地震、浅部の膨張を示す地殻変動、噴気活動の高まりなどが観測されている。これらの事例を参考に、①で設定した基準に達しない程度の地震増加であっても、それに加えて他火山で噴火に前駆して観測された現象が観測された場合にはレベルを2に引き上げる。また、倶多楽で通常発生している火口想定域外の地震活動が活発化し、それと共に上記のような前駆現象が観測された場合には、その地震活動は火山活動に関する地震活動であると考え、この場合もレベル2に引き上げる。その際の基準として、これまで最大の回数であった24時間で53回（2016年2月）の2倍程度である、24時間で100回以上を設定している。

地震増加のほかに想定する複数の前駆現象のうち、火山性微動と山体浅部の膨張を示す地殻変動は倶多楽においてこれまで発生事例がないこと、低周波地震は発生事例が極めて稀であることから、このような現象の発生はレベル上げを検討する項目としている。また、現地で体を感じる規模の地震（マグニチュード2程度以上）が火口想定域で発生するような状況も地震活動の活発化を示唆するため考慮する。さらに、明治以降の熱水活動活発化事例では、1952年の昭和地獄の生成・噴出事例は規模が大きく、地震回数の増加と共にそのような規模の活動が発生した場合、或いは近年の大正地獄の熱湯噴出事例（2007～2011年、2016～2018年）のように比較的規模の小さな現象であっても複数個所で発生するような場合は、火山活動が高まっている可能性があるためレベル上げの検討項目として設定している。

- ③ こぶし大の石を49m飛散させた1952年の昭和地獄の活動はこれまで知られている中で最も影響範囲の大きい熱水活動の活発化事例である。この事例を含めて明治以降に発生した熱水活動活発化はすべてレベル1の活動の範囲内と整理されており、地元自治体等により遊歩道規制等の防災対応が執られることになっている。しかし、今後も発生が想定される熱水活動の活発化がこれまでの活動の範囲内に収まるかはわからない。顕著な熱水活動や地熱・噴気活動などが広範囲で認められるような場合は、これまで知られている規模を上回る噴出現象が発生する可能性も否定できないため、地震の増加を伴わなくてもレベル2に引き上げる。

（引下げ基準）

上記の現象が観測されなくなり、火山活動に低下が認められた場合にレベルを引き下げる。ただし、噴気や熱活動が低下するまでは長く続くことが多いため、それらに拡大・活発化の傾向がないことが明らかになった段階で他に活動の高まりを示す現象が認められなければレベルを引き下げる。同様に、地殻変動は、変動前の状態に戻らないことがあることも考慮し、変動が停滞した段階で他に活動の高まりを示す現象が認められなければレベルを引き下げる。

【レベル3】

（判定基準）

<火山活動が低下し、噴石の飛散が居住地域まで達しない噴火が発生、あるいは予想される>

火山活動が高まっていく段階でレベル3の運用はしない。火山活動が低下しレベル5から引き下げる段階で、噴火の影響範囲を考慮して状況に応じて発表する。

(引下げ基準)

噴火が発生しなくなり、火山活動の低下が認められた場合には、レベルを引き下げる。

●解説

(判定基準)

倶多楽は居住地域が火口想定域に接していることから、他火山ではレベル2に相当するような小規模な噴火でも、居住地域への影響が懸念されるためレベル5に位置づけている。そのため、噴火の規模に関わらず、噴火が発生・切迫した場合にはレベル5に引き上げる。火山活動が高まっていく過程では、噴火の可能性の程度に応じてレベル2と4を発表することとしており、その過程でレベル3は運用しない。ただし、レベル5に引き上げた後、火山活動が低下している、或いは実際に噴火の影響が居住地域に及ばなかった場合など、それ以上噴火が拡大しないと判断される場合にはレベル3を発表する。

(引下げ基準)

火山活動に低下が認められ、居住地域に達しない程度の噴火の発生もなくなり、今後発生する可能性も低くなったと判断した場合、レベルを引き下げる。

【レベル4】

(判定基準)

<噴火が発生する可能性が高まっている>

レベル2の判定基準をさらに上回る現象が観測された場合

- ・地震活動が顕著に活発化
 - ▶地震のさらなる増加
 - ▶規模の大きな地震の増加
 - ▶低周波地震の増加
 - ▶火山性微動の増加や規模の増大
- ・山体浅部の膨張を示す明らかな地殻変動
- ・熱水・地熱・噴気活動のさらなる活発化

(引下げ基準)

上記の条件を満たさなくなり、火山活動の低下が認められた場合には、レベルを引き下げる。

●解説

(判定基準)

倶多楽では噴火が発生・切迫した状態はレベル5に位置づけ、火山活動が高まっていく過程で噴火の可能性がわずかに認められる段階をレベル2、噴火の可能性が高まった段階をレベル4に対応させている。地震活動や地殻変動、熱水活動などが、レベル2で設定した発表基準をさらに超える状態が観測さ

れた場合にはレベル4に引き上げる。

なお、上記各現象の具体的な基準は、当該火山の史実から数値化することはできないため、活動を評価し、その都度、判断根拠を明示する。

(引下げ基準)

上記の基準を満たさなくなり、火山活動の推移をみて、噴火の可能性が低くなったと判断した場合、レベルを2以下に引き下げる。

【レベル5】

(判定基準)

<噴火が発生、あるいは切迫>

以下のいずれかの現象が観測された場合

- ・噴火が発生
- ・噴火に伴う火山泥流の発生
- ・山体浅部の膨張を示す急激な地殻変動

(引下げ基準)

上記の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うえで速やかにレベルを引き下げる。

●解説

(判定基準)

倶多楽は、火口想定域と居住地域が極めて近く、小さな噴火であっても居住地域に影響が及ぶ可能性があり、噴火してから避難するまでの時間的猶予がほとんどない場合も想定される。一般に、噴火後即座に、噴火の規模を見極め、影響範囲を特定することは困難であり、可能な限り避難するまでの時間を確保するため、噴火を確認した時点で、速やかにレベルを5に引き上げる。また、視界不良等のため監視カメラで確認ができず、地震計や空振計、傾斜計などによる観測で噴火が発生したと判断される場合にも速やかにレベルを5に引き上げる。

時間的猶予が短いという点において火山泥流も上記と同様である。発生した時点で居住地域まで流下するかどうかを判断することは不可能なため、発生を確認した時点でレベル5に引き上げる。

2014年の御嶽山の水蒸気噴火や2018年の草津白根山（本白根山）の水蒸気噴火では、噴火発生の数分前から火山性微動と共に火口方向が上がる急激な傾斜変動が観測された。山体膨張を示す急激な傾斜変動を観測した場合には噴火が切迫していると判断されるため、この時点でレベル5に引き上げる。

なお、上記の「急激な傾斜変動」については、活動を評価し、その都度、判断根拠を明示する。

(引下げ基準)

噴火の影響範囲が居住地域に達していないと判断できた場合は、レベル5の対象外であるため速やかに適当なレベル（レベル3～1）に引き下げる必要がある。ただしその後、影響範囲がより大きな噴火が発生する、異なる場所から新たに噴火が発生するなど、噴火が拡大していく可能性がないか、火山活動の推移を十分に検討した上でレベルを引き下げる。

以上で示した基準のほか、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を行った上でレベルを判断することもある。

7. 今後検討すべき課題

以上示した判定基準は、現時点での知見や監視体制を踏まえたものであり、今後随時見直しをしていくこととする。特に、以下の各課題に引き続き取り組み、判定基準の改善を進める必要がある。

- (1) 火口想定域の外側で発生する地震について、火山活動との関連性について調査・検討を進める必要がある。
- (2) 有史以降噴火の経験がなく、かつ観測期間も短いため、判定基準が定性的な表現に留まっている部分が多い。今後観測監視を継続し、必要に応じて観測強化を進め、現れる諸現象をよく分析していくことで、倶多楽の火山活動の理解を深めていく必要がある。その上で、判定基準の各項目の定量化を進める等により精緻化していく、または見直すことが重要である。

参考文献

- 勝井義雄・横山 泉・岡田 弘・我孫子 勤・武藤晴達 (1988) 倶多楽 (日和山), 火山地質・活動史・活動の現況および防災対策. 北海道における火山に関する研究報告書第 12 編. 北海道防災会議, 99 p.
- 気象庁, 雌阿寒岳の 2006 年 3 月 21 日の噴火, 火山噴火予知連絡会会報第 94 号, 2007, 1-11.
- 気象庁, 御嶽山の火山活動—2007 年 3 月～2007 年 6 月—, 火山噴火予知連絡会会報第 97 号, 2008, 14-29.
- 気象庁, 倶多楽大正地獄の泥混じりの熱湯噴出, 火山噴火予知連絡会会報第 98 号, 2009, 12-19.
- 気象庁, 雌阿寒岳の 2008 年 11 月の噴火, 火山噴火予知連絡会会報第 102 号, 2010, 1-15.
- 気象庁, 御嶽山の火山活動 (2014 年 5 月～2014 年 10 月 13 日), 火山噴火予知連絡会会報第 119 号, 2014, 42-66.
- 気象庁, 箱根山の火山活動 (2015 年 6 月～2015 年 9 月), 火山噴火予知連絡会会報第 122 号, 2015, 200-221.
- 気象庁, 草津白根山の火山活動 (2017 年 10 月～2018 年 2 月), 火山噴火予知連絡会会報第 129 号, 2018, 58-77.
- 気象庁, 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第 130 号, 2018, 213-284.
- 倶多楽火山防災協議会 (2018) 倶多楽火山避難計画.
- Goto, Y., Danhara, T. (2011a) : Zircon Fission-track Dating of the Hiyoriyama Cryptodome at Kuttara Volcano, Southwestern Hokkaido, Japan, Bull. Volcanol. Soc. Japan, 56, 19-23.
- Goto, Y., Matsuzaka, S., Kameyama, S. (2011b) : Three-dimensional Digital Mapping of the Noboribetsu Geothermal Field, Kuttara Volcano, Hokkaido, Japan, using a Helicopter-borne High-resolution Laser Scanner, Bull. Volcanol. Soc. Japan, 56, 127-135.
- Goto, Y., Sasaki, H., Toriguchi, Y., Hatakeyama, A. (2011c) : A Phreatic Explosion after AD 1663 at the Hiyoriyama Cryptodome, Kuttara Volcano, Southwestern Hokkaido, Japan, Bull. Volcanol. Soc. Japan, 56, 147-152.

- Goto, Y., Sasaki, H., Toriguchi, Y., Hatakeyama, A. (2013) : History of Phreatic Eruptions in the Noboribetsu Geothermal Field, Kuttara Volcano, Hokkaido, Japan, Bull. Volcanol. Soc. Japan, 58, 461-472.
- Goto, Y., Toriguchi, Y., Sasaki, H., Hatakeyama, A. (2015) : Multiple Vent-forming Phreatic Eruptions after AD 1663 in the Noboribetsu Geothermal Field, Kuttara Volcano, Hokkaido, Japan, Bull. Volcanol. Soc. Japan, 60, 241-249.
- 札幌管区気象台 (1993) 北海道地域火山機動観測報実施報告第 14 号, 知床硫黄山・倶多楽.
- 札幌管区気象台 (1998) 北海道地域火山機動観測報実施報告第 19 号, 雌阿寒岳・倶多楽.
- 札幌管区気象台 (2015) 火山防災対策を検討するための倶多楽の噴火シナリオ.
- 登別市 (2014) 登別市防災マップ.
- 福富孝治・藤木忠美 (1953) 昭和 26 年 11 月から 27 年 3 月頃の登別温泉地獄谷の活動状況. 北海道大学地球物理学研究報告, 3, 23-40.
- 森泉美穂子 (1998) クッタラ火山群の火山発達史. 火山, 43, 95-111.