

令和 3 年 1 0 月 8 日
火山防災に係る調査企画委員会からの報告

「噴火予測・前兆現象の評価」に資する施策・研究の方向性について（報告）

「火山防災に係る調査企画委員会」は、令和元年 7 月に、防災対策の推進にあたり、行政の施策と研究・技術開発を一体的に推進するために、技術面での調査・研究の促進をはかるべきテーマについて検討した。

それをうけ、防災上の課題解決に活用可能な最新技術やその研究・開発の動向を把握、整理する「火山防災に係る技術動向検討グループ」において、「噴火予測・前兆現象の評価」に資する研究充実の方向性を検討した。

本報告は、これら検討を踏まえ、「噴火予測・前兆現象の評価」に資する施策・研究の方向性について、とりまとめたものである。

1. 「噴火予測・前兆現象の評価」に資する主な施策の現状と研究への期待

○火山毎の中長期的な噴火リスク評価

・現状

火山噴火予知連絡会は、全国の活火山を対象に、有史以降の噴火履歴や過去 1 0 0 年程度の噴火活動及び地震・地殻変動等の火山活動状況をもとに、「中長期的な噴火の可能性の評価について」を平成 2 1 年 6 月にとりまとめ、火山防災のために監視・観測体制の充実等の必要な火山を選定した。しかしながら現時点で選定された 5 0 の火山の中で、噴火リスクの程度に応じ、防災対策を充実させるための火山の優先順位付けは行われていない。

・研究への期待

噴火リスクの程度に応じて、防災対策の優先度の高い火山を明らかにするためには、火山毎に中長期的（今後 1 0 0 年程度以内）な噴火の可能性を定量的に評価する手法の開発が必要である。

○水蒸気噴火の予測

・現状

気象庁は観測データに基づき活動を評価し、噴火警報を公表しているが、水蒸気噴火はマグマ噴火と比べて、規模の小さな前兆現象が観測機器で検知困難な場合や、前兆現象の発生から噴火までの時間が短い場合が多く、防災対応を執るために必要な時間的猶予のある噴火警報の発表ができるとは限らない。

・研究への期待

水蒸気噴火において、より確実に噴火前に警報発表がなされ、住民・登山者等の適時的確な避難が可能となるためには、噴火のおよそ数カ月前から噴火直前までの、規模の小さな前兆の把握と即時的な前兆の評価手法の確立が必要である。

2. 「噴火予測・前兆現象の評価」に資する施策の技術的課題と解決方策の検討

技術動向検討グループにおいては、これらの現状等を踏まえ、「火山毎の中長期的な噴火リスク評価」と「水蒸気噴火の予測」に資する研究充実の方向性について検討した。具体的には、それぞれの技術的課題を整理し、解決に必要な時間スケールに応じた研究目標と研究・技術開発のアプローチを検討した。

「噴火予測・前兆現象の評価」における技術的課題

(火山毎の中長期的な噴火リスク評価)

中長期的(今後100年程度以内)な火山毎の噴火の可能性の評価手法としては、噴火履歴に関する地質データや地殻変動等の観測データの活用が考えられるが、技術的課題として、今後100年程度以内に起こり得る噴火の可能性の評価に有効な指標の作成が見いだされた。

(水蒸気噴火の予測)

水蒸気噴火の予測には、前兆を確実に捉え、噴火の切迫度を迅速に評価することが重要であるが、技術的課題として、規模の小さな前兆を捉えるための観測を充実させるべき想定火口域の特定手法や、観測データから迅速に噴火切迫度を評価する手法の確立が見いだされた。

「噴火予測・前兆現象の評価」に資する研究充実の方向性

「噴火予測・前兆現象の評価」における技術的課題に対する研究目標を

- ①比較的短期(5年程度)の達成が見込まれる目標
- ②中期的(10年程度)に達成を目指す目標
- ③最終的に達成を目指す目標

に整理し、課題解決に向けた具体的なアプローチを別紙表にとりまとめた。

課題解決に向けたアプローチを以下に述べる。

水蒸気噴火の予測については、「潜在的に水蒸気噴火が起こり得る想定火口域の特定」と、「噴火切迫度の評価」にわけてとりまとめた。なお、水蒸気噴火の予測に述べるアプローチには、マグマ噴火の予測にも活用できるものがある。

(火山毎の中長期的な噴火リスク評価)

- ・噴出量・噴火時期の誤差の評価と必要な噴火履歴に関する地質データの質・量の整理
- ・噴火履歴に関する地質データの統計処理方法の開発・検証
- ・階段ダイアグラムを用いたマグマ噴出率の長期的変化の理解
- ・繰り返し測地・測量、GNSS 観測、InSAR 解析等により検出したこれまで長期間の火山性地殻変動データの精度検証と事例の蓄積・整理
- ・火山周辺の地殻変動を解析・評価する手法の高度化 (InSAR 時系列解析等)
- ・マグマ噴火の可能性の統計的な評価手法を踏まえた噴火履歴調査の実施
- ・噴火履歴が少ない火山におけるマグマ噴火の可能性の評価手法の開発
- ・マグマだまり把握手法の高度化・開発によるマグマ蓄積量の把握
- ・噴火の可能性の確率評価に有効な指標の整理・検証
- ・噴火に至るまでのメカニズムの解明

(水蒸気噴火の予測)

「潜在的に水蒸気噴火が起こり得る想定火口域の特定」

- ・50火山の赤色立体図による地形判読 (噴火が起こったことのある火口の特定)
- ・InSAR 解析による常時観測火山の地殻変動状況の網羅的な精査
- ・地下比抵抗構造調査結果の検証・整理に基づく調査方法の標準化
- ・地下比抵抗構造調査による浅部熱水系の状態把握

「噴火切迫度の評価」

- ・微小地震も含めた地震活動モニタリング手法 (Matched Filter 法、エンベロープ相関法、ASL 法等) の検証と実装 (常時自動処理化)
- ・火山体内部状態変化の推定手法 (発震機構や起震応力場の解析等) の検証と実装 (常時自動処理化)
- ・火山体内部状態把握手法の高度化・開発 (地震波速度構造や地震波散乱特性の時空間変化の把握手法、火山性地震活動度の応力応答性を用いた熱水系状態把握等)
- ・火山ガスと水蒸気噴火の相関性の解明
- ・物理・化学過程に基づく火山噴火に至る過程の解明 (地下の熱水や火山ガスの移動のモデル化等)

「噴火予測・前兆現象の評価」に資する研究・技術開発については、具体的に下記の研究目標の達成を目指していくべきである。

【比較的短期 (5 年程度) の達成が見込まれる目標】

(火山毎の中長期的な噴火リスク評価)

- ・噴火履歴調査の充実した一部の火山における地質データに基づくマグマ噴火の可能性の統計的な評価手法の開発

- ・ マグマ蓄積状況に関するこれまでの情報の集積

(水蒸気噴火の予測)

「潜在的に水蒸気噴火が起こり得る想定火口域の特定」

- ・ 地形判読や地殻変動状況の解析による地下比抵抗構造を調査する想定火口域の整理
- ・ 浅部熱水系の状態把握に必要な地下比抵抗構造調査方法の開発・高度化

「噴火切迫度の評価」

- ・ 既存研究等から火山活動評価に有望な地震・地殻変動データ解析手法の監視業務への実装

【中期的（10年程度）に達成を目指す目標】

(火山毎の中長期的な噴火リスク評価)

- ・ 50火山における噴火履歴調査を踏まえた統計的なマグマ噴火の可能性評価の実施
- ・ マグマ蓄積状況の把握によるマグマ噴火の可能性の評価手法の開発

(水蒸気噴火の予測)

「潜在的に水蒸気噴火が起こり得る想定火口域の特定」

- ・ 地下比抵抗構造探査に基づく水蒸気噴火の可能性の高い想定火口域の特定

「噴火切迫度の評価」

- ・ 地震・地殻変動観測データからの火山体内部状態把握による水蒸気噴火の切迫度が高い想定火口域の絞り込み
- ・ 火山ガス観測等地球化学的手法も含めた総合的な判断による予測の精度向上

【最終的に達成を目指す目標】

(火山毎の中長期的な噴火リスク評価)

- ・ 噴火に至るまでのメカニズムを踏まえたこれまでの長期間の観測データ等を活用した噴火の可能性の確率評価手法の確立

(水蒸気噴火の予測)

「噴火切迫度の評価」

- ・ 火山現象の科学的な理解および想定火口近傍での高精度な観測データに基づく、シミュレーション等を踏まえた予測

3. 「噴火予測・前兆現象の評価」に資する今後実施すべき施策・研究の方向性

「火山毎の中長期的な噴火リスク評価」と「水蒸気噴火の予測」の今後の施策・研究の方向性をとりまとめた。

(火山毎の中長期的な噴火リスク評価)

火山毎の中長期的な噴火リスク評価には、「噴火の可能性の評価」と、「噴火に伴う影響」を総合的に評価することが必要であるが、現在の火山学の知見では火山毎に中長期的（今後100年程度以内）な噴火の可能性を定量的に評価することが困難であり、まずは以下の調査・研究を推進することが重要である。

- ・ 中長期的（今後100年程度以内）な噴火の可能性の評価手法の開発及び評価
- ・ 基礎データとなる噴火履歴調査やマグマ生成・蓄積・移動のプロセスの解明等の基礎研究

中長期的な噴火の可能性の評価手法を開発するためには、まずは、現時点で蓄積されている火山噴出物調査や史料調査による噴火履歴調査結果を俯瞰し、噴火履歴調査が充実している火山において、噴火履歴から火山噴火の中長期予測につなげる評価手法の開発を進める火山を選定することが必要である。選定にあたっては火山毎に、噴火履歴調査の実施状況とともに、過去数十年程度の地殻変動等の観測データによるマグマ蓄積状況や、噴火により想定される被害を整理することが重要である。なお、中長期的な噴火の可能性の評価手法の開発状況を踏まえ、噴火の可能性を評価できる火山を広げていくことが重要である。

現状では、噴火履歴調査の実施状況は、各火山の調査対象とする噴火の年代、精度、調査範囲が同一でないことも踏まえ、噴火の年代や規模を系統的に整理することから始め、調査の実施状況や噴火発生時に想定される被害の大きさ等を考慮し、対象とする火山に優先順位を付して、着実かつ速やかに噴火履歴調査を進めることが重要である。

また、残存する地殻変動等の観測データに基づく可能な限り長期のマグマ蓄積状況の整理は、火山活動を監視している気象庁が主導することが必要である。

なお、噴火の可能性を定量的に評価する手法の開発に必要な調査・研究は、調査・研究の進捗を踏まえて、必要に応じ、検討することが必要である。

(水蒸気噴火の予測)

水蒸気噴火の予測には、「潜在的に水蒸気噴火が起こり得る想定火口域の特定」と「噴火切迫度の評価」を組み合わせることが必要であり、潜在的に噴火可能性が高い想定火口域において前兆現象を捉え、噴火切迫度を評価するため、以下の取組を推進することが重要である。

「潜在的に水蒸気噴火が起こり得る想定火口域の特定」

- ・ 水蒸気噴火の起こり得る可能性の高い想定火口域の特定に向けた精密地形分析や地下構造把握手法の開発及び調査

- ・精密地形分析や地下構造調査に基づく、観測を充実させるべき想定火口域の特定

「噴火切迫度の評価」

- ・水蒸気噴火の起こり得る可能性の高い想定火口域を踏まえた観測の最適化
- ・地震及び地殻変動等の観測データに現れる異常を迅速に検知する手法の開発及び実装
- ・地震動、地殻変動、火山ガス等の多項目な観測に基づく火山現象の解明研究の推進と、そこから得られる噴火前兆監視技術の高度化

なお、大学や気象庁等の関係機関が連携し、地形判読や現地調査等を組み合わせ、地下構造の調査範囲を絞り込み、その結果を踏まえて地下構造調査を推進し、水蒸気噴火の起こり得る可能性の高い想定火口域を特定するとともに、水蒸気噴火の起こり得る可能性の高い想定火口域での観測の充実により、噴火切迫度を評価することが、重要である。

大学や国の研究機関等の研究成果で有効なものについて、気象庁等行政機関は施策への反映の可能性について検討するとともに、関係機関はそれに必要な連携協力について検討する。気象庁は噴火警戒レベルの判定基準を継続的に精査し、その際には、大学や研究機関等の知見も踏まえて検討を加える。火山監視へ新たな解析手法を実装する際には、火山活動の監視業務の実状を踏まえた検討が必要であるため、気象研究所が大学や研究機関の協力を得ながら、火山監視への実装に向けた開発を主導することが必要である。

今後、関係機関は、文部科学省の次世代火山研究・人材育成総合プロジェクト等で実施している研究も踏まえ、課題解決のために必要となる研究を推進するとともに、大学や国の研究機関等は火山観測の実施と調査研究を連携して取り組むことが重要である。また、気象庁等の関係機関はそれぞれが有する観測データを他機関にも提供するとともに、調査・観測の実施に協力することが重要である。

今後の個別分野の観測研究の進展に加え、事例の積み重ねとそれらの比較研究等も有効と考えられるが、国内の噴火事象だけでは限りがあるため、海外の噴火事例の研究成果も網羅的に収集し検討することも重要である。また、防災対応を実施する自治体担当者に、例えば各火山の、噴火警戒レベルの切替の理解に有効な研究や、想定火口、火山内部構造等の研究の成果を伝えることも重要である。

なお、「噴火予測・前兆現象の評価」に資する施策等の技術的課題とその解決方策については、必要に応じ、さらなる検討を行っていく必要がある。

4. 「噴火予測・前兆現象の評価」に資する施策・研究の充実のために、速やかに検討すべき事項

- 中長期的な噴火の可能性の評価手法を開発する火山の選定
- ・現状

中長期的な噴火の可能性の評価手法の開発には噴火履歴調査が必要であるが、現状では火山毎に噴火履歴調査の蓄積が異なると同時に、地殻変動等の観測データの蓄積状況も異なる。これらの調査・観測は学術目的で行われてきたので、必ずしも想定される災害等の防災上の観点からの優先度を考慮して進められていない。

- ・今後の取組

調査企画委員会において、火山毎に「噴火履歴調査の実施状況」、「過去数十年程度の地殻変動等の観測データによるマグマ蓄積状況」に加え「噴火により想定される被害」を整理し、中長期的な噴火の可能性の評価手法を検討する火山を検討する。また、検討結果をふまえ、優先度をつけた計画的な噴火履歴調査を実現するための体制についても検討する。

- 水蒸気噴火の予測精度向上のための連携研究

- ・現状

水蒸気噴火の予測精度向上のため、観測データをもとに、地震、火山ガス、地殻変動等の観点からそれぞれの分野毎に研究が実施されているが、これらの分野横断的な研究は十分でない。

また、関係機関が所有する既存調査データには、水蒸気噴火の予測に重要な想定火口域の推定に有効なデータが存在する。

- ・今後の取組

火山活動が活発で水蒸気噴火が起りやすい火山を対象として、大学や研究機関等は水蒸気噴火の予測に資する分野横断的な共同研究を推進すべきであり、調査企画委員会において、火山活動の監視能力の向上のための、分野横断的な研究内容や研究連携体制とその実現方策について検討する。

水蒸気噴火の予測に重要な想定火口域は、防災対応を検討するうえでの基礎的な情報でもあるため、調査企画委員会において、想定火口域の推定に必要な関係機関が所有する既存調査データの共有方策についても検討する。

「噴火予測・前兆現象の評価」における技術的課題及び解決のアプローチ等について（技術動向検討グループ）

火山毎の中長期的な噴火リスク評価

技術的課題	研究目標	課題解決に向けた具体的なアプローチ
<ul style="list-style-type: none"> 今後100年程度以内に起こり得る噴火の可能性の評価に有効な指標の作成 	<p><比較的短期(5年程度)の達成が見込まれる目標></p> <ul style="list-style-type: none"> 噴火履歴調査の充実した一部の火山における地質データに基づくマグマ噴火の可能性の統計的な評価手法の開発 マグマ蓄積状況に関するこれまでの情報の集積 	<ul style="list-style-type: none"> 噴出量・噴火時期の誤差の評価と必要な噴火履歴に関する地質データの質・量の整理 噴火履歴に関する地質データの統計処理方法の開発・検証 階段ダイヤグラムを用いたマグマ噴出率の長期的変化の理解 繰り返し測地・測量、GNSS観測、InSAR解析等により検出したこれまで長期間の火山性地殻変動データの精度検証と事例の蓄積・整理 火山周辺の地殻変動を解析・評価する手法の高度化 (InSAR時系列解析等)
	<p><中期的(10年程度)に達成を目指す目標></p> <ul style="list-style-type: none"> 50火山における噴火履歴調査を踏まえた統計的なマグマ噴火の可能性評価の実施 マグマ蓄積状況の把握によるマグマ噴火の可能性の評価手法の開発 	<ul style="list-style-type: none"> マグマ噴火の可能性の統計的な評価手法を踏まえた噴火履歴調査の実施 噴火履歴が少ない火山におけるマグマ噴火の可能性の評価手法の開発 マグマだまり把握手法の高度化・開発によるマグマ蓄積量の把握
	<p><最終的に達成を目指す目標></p> <ul style="list-style-type: none"> 噴火に至るまでのメカニズムを踏まえたこれまでの長期間の観測データ等を活用した噴火の可能性の確率評価手法の確立 	<ul style="list-style-type: none"> 噴火の可能性の確率評価に有効な指標の整理・検証 噴火に至るまでのメカニズムの解明

「噴火予測・前兆現象の評価」における技術的課題及び解決のアプローチ等について（技術動向検討グループ）

水蒸気噴火の予測

技術的課題	研究目標	課題解決に向けた具体的なアプローチ
<ul style="list-style-type: none"> 規模の小さな前兆を捉えるための観測を充実させるべき想定火口域の特定手法の確立 観測データから迅速に噴火切迫度を評価する手法の確立 	<p>研究目標</p> <p><比較的短期(5年程度)の達成が見込まれる目標> 「潜在的に水蒸気噴火が起こり得る想定火口域の特定」 ・地形判読や地殻変動状況の解析による地下比抵抗構造を調査する想定火口域の整理</p> <p>・浅部熱水系の状態把握に必要な地下比抵抗構造調査方法の開発・高度化</p> <p>「噴火切迫度の評価」 ・既存研究等から火山活動評価に有望な地震・地殻変動データ解析手法の監視業務への実装</p>	<p>課題解決に向けた具体的なアプローチ</p> <ul style="list-style-type: none"> 50火山の赤色立体図による地形判読(噴火が起こったことのある火口の特定) InSAR解析による常時観測火山の地殻変動状況の網羅的な精査 地下比抵抗構造調査結果の検証・整理に基づく調査方法の標準化 微小地震も含めた地震活動モニタリング手法(Matched Filter法、エンベロープ相関法、ASL法等)の検証と実装(常時自動処理化) 火山体内部状態変化の推定手法(発電機構や起震応力場の解析等)の検証と実装(常時自動処理化)
	<p>研究目標</p> <p><中期的(10年程度)に達成を目指す目標> 「潜在的に水蒸気噴火が起こり得る想定火口域の特定」 ・地下比抵抗構造調査に基づく水蒸気噴火の可能性が高い想定火口域の特定</p> <p>「噴火切迫度の評価」 ・地震・地殻変動観測データからの火山体内部状態把握による水蒸気噴火の切迫度が高い想定火口域の絞り込み</p> <p>・火山ガス観測等地球化学的手法も含めた総合的な判断による予測の精度向上</p>	<ul style="list-style-type: none"> 地下比抵抗構造調査による浅部熱水系の状態把握 火山体内部状態把握手法の高度化・開発(地震波速度構造や地震波散乱特性の時空間変化の把握手法、火山性地震活動度の応力応答性を用いた熱水系状態把握等) 火山ガスと水蒸気噴火の相関性の解明
	<p>研究目標</p> <p><最終的に達成を目指す目標> 「噴火切迫度の評価」 ・火山現象の科学的な理解および想定火口近傍での高精度な観測データに基づく、シミュレーション等を踏まえた予測</p>	<ul style="list-style-type: none"> 物理・化学過程に基づく火山噴火に至る過程の解明(地下の熱水や火山ガスの移動のモデル化等)

火山防災に係る調査企画委員会 委員

座長	森田 裕一	東京大学地震研究所教授	
学識委員	青山 裕	北海道大学大学院理学研究院教授	
	伊藤 順一	産業技術総合研究所地質調査総合センター 活断層・火山研究部門長	
	大野 宏之	一般社団法人全国治水砂防協会理事長	
	関谷 直也	東京大学大学院情報学環准教授	
	西出 則武	東北大学大学院理学研究科 特任教授	
	西村 太志	東北大学大学院理学研究科 教授	
	前野 深	東京大学地震研究所 准教授	
行政委員	小谷 敦※1	荒竹 宏之※2	消防庁国民保護・防災部 防災課長
	工藤 雄之※1	鎌田 俊彦※2	文部科学省研究開発局 地震・防災研究課長
	三上 幸三	国土交通省水管理・国土保全局砂防部砂防計画課長	
	青木 元	気象庁地震火山部 管理課長	
	林 正道※1	矢崎 剛吉※2	内閣府政策統括官（防災担当）付 参事官（調査・企画担当）

※1：令和元年7月17日（第3回）、令和2年3月19日（第4回）

※2：令和2年8月25日（第5回）、令和3年3月8日（第6回）

火山防災に係る技術動向検討グループ 委員

令和2年3月31日現在

青山 裕	北海道大学大学院理学研究院 准教授
神田 径	東京工業大学理学院 准教授
角野 浩史	東京大学大学院総合文化研究科 准教授
山本 希	東北大学 大学院理学研究科 准教授
前野 深	東京大学地震研究所 准教授
小久保 一哉	気象庁気象研究所 火山研究部第1研究室 室長
矢来 博司	国土地理院 地理地殻活動研究センター 地殻変動研究室 室長
下司 信夫	国立研究開発法人産業技術総合研究所 活断層・火山研究部門 大規模噴火研究グループ グループ長
林 真一郎	国立研究開発法人土木研究所 土砂管理研究グループ 主任研究員
上田 英樹	国立研究開発法人防災科学技術研究所 地震津波火山ネットワークセンター火山観測管理室長