

## 「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（案）

「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100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21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50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100年程度）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)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 (GNSS 観測データのスタッキング、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

- ・ 49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

- ・ マグマ蓄積過程の把握

(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確立

噴火切迫度の評価

- ・ 既存の地震・地殻変動データ解析手法の実装

**【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)

- ・ 49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
- ・ 噴火履歴とマグマ蓄積状況の組み合わせ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水蒸気噴火の可能性が高い想定火口域の特定
- ・ 火山ガス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

「噴火予測・前兆現象の評価」に資する施策等の実施に向けて、技術的課題を解決するため、以下の取組を推進することが重要である。

(火山毎の中長期的な噴火リスク評価)

- ・火山噴火予知連絡会等における各火山の中長期評価に資する取組の推進の検討
- ・産業技術総合研究所及び大学等による、基礎データとなる噴火履歴調査やマグマ生成のプロセスの解明等の基礎研究

(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

- ・大学等による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地下構造把握手法の開発の推進

噴火切迫度の評価

- ・気象庁による、観測データを迅速に解析する手法の実装、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、関係機関との協力体制や地震計・空振計アレイ観測等の機動的観測体制の整備等の取組の推進
- ・気象研究所及び大学等による、地震動、地殻変動、火山ガス等の集中的、機動的観測による火山現象の解明に資する研究や各分野での連携

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、個々の機関では対応が難しい課題について、例えば地下構造と火山ガス分野の研究は、連携して取り組むことが重要である。

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

○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。

・今後の取組

火山活動が活発で水蒸気噴火が起こ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"> <li>今後100年程度に起こり得る噴火の可能性の評価に有効な指標の作成</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>&lt;比較的短期(5年程度)の達成が見込まれる目標&gt; <ul style="list-style-type: none"> <li>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</li> </ul> </li> <li>マグマ蓄積過程の把握</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>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</li> <li>噴火履歴に関する地質データの統計処理方法の検証</li> <li>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</li> <li>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</li> <li>火山周辺の地殻変動を解析・評価する手法の高度化 (GNSS観測データのスタッキング、InSAR時系列解析等)</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>&lt;中期的(10年程度)に達成を目指す目標&gt; <ul style="list-style-type: none"> <li>49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</li> </ul> </li> <li>噴火履歴とマグマ蓄積状況の組み合わせによるマグマ噴火の可能性の評価手法の開発</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>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</li> <li>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</li> <li>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</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>&lt;最終的に達成を目指す目標&gt; <ul style="list-style-type: none"> <li>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</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>噴火の可能性の確率評価に有効な指標の整理・検証</li> <li>噴火に至るまでのメカニズムの解明</li> </ul>

# 「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"> <li>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</li> <li>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</li> </ul>	<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)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>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</li> <li>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確立</li> </ul> <p>(噴火切迫度の評価)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>既存の地震・地殻変動データ解析手法の実装</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>49火山の赤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)</li> <li>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</li> <li>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</li> <li>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)</li> <li>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)</li> </ul>
	<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)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>地下比抵抗構造探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</li> <li>(噴火切迫度の評価)</li> <li>地震・地殻変動観測データから水蒸気噴火の可能性が高い想定火口域の特定</li> <li>火山ガスも含めた総合的な判断による予測の精度向上</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>地下比抵抗構造調査による浅部熱水系の状態把握</li> <li>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)</li> <li>火山ガスと水蒸気噴火の相関性の解明</li> </ul>
	<p>＜最終的に達成を目指す目標＞ (噴火切迫度の評価)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>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</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>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)</li> </ul>

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准教授
	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	消防庁国民保護・防災部 防災課長
	工藤 雄之	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	内閣府政策統括官（防災担当）付参事官（調査・企画担当）

火山防災に係る技術動向検討グループ 委員

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