

資料 1 - 3

科学技術・学術審議会 測地学分科会
地震火山観測研究計画部会（第42回）
R3. 9. 24

「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画（第2次）」
の実施状況等のレビュー草案（V章）

目次

I. 総括的評価	1
1. 現計画策定までの経過	1
2. 現計画の成果と課題	2
3. 計画推進体制の評価と課題	5
4. 現計画の統括的評価と今後の展望	6
5. まとめ	6

V. 総括的評価

1. 現計画策定までの経過

(地震予知・火山噴火予知計画の主な成果)

測地審議会の建議に基づく地震予知計画は、前兆現象に基づく地震予知を目指して昭和40年に開始された。高感度の地震観測点や地殻変動観測点の整備とデータ蓄積が進み、データテレメータ化や自動震源決定など観測・解析技術の向上したことにより、プレート運動と地震発生の関係など地震現象の理解は大きく進展したが、データの蓄積が進んでも地震活動は極めて複雑かつ多様であることが明らかになるばかりであり、前兆現象に基づく地震予知の実用化への道筋は開けていなかった。そのような状況下で平成7年の阪神・淡路大震災が発生し、6400人を超える死者行方不明が出た。これを契機にそれまでの研究成果の総括が行われ、前兆現象の捕捉に基づく地震予知を目指すというそれまでの方針から、地震発生の物理過程の解明とモデル化に基づいて地殻活動の推移予測を目指すことへと方針を転換した。平成11年度からは新たな方針に基づく「地震予知のための新たな観測研究計画」を開始し、プレート境界地震アスペリティモデルの発展、地震発生サイクルシミュレーション、ゆっくり滑りや低周波微動などの新たな現象の発見など国際的に高く評価される学術的研究成果が得られ、地震現象の物理過程の理解という方針転換後の新たな目標に近づく知見が徐々に積み上げられていった。

火山噴火予知計画については、観測に基づく火山噴火予知の実用化を目指し、昭和49年度から開始された。いくつかの火山では、観測網の高密度・高感度が進み、観測項目も徐々に増えた。また、マグマの性質をあきらかにする実験や理論的研究も始められた。その結果、火山の内部構造のイメージング、マグマ供給系・熱水系のモデル化、噴火とそれに付随する諸現象に関する理解が進展した。観測データと噴火履歴に基づき、噴火に先行する現象の理解と噴火の関連性がある程度まで明らかになった。また、地質・岩石学的調査によりマグマの特性と噴火様式の関係についての理解が進んだ。2000年の有珠山や三宅島の噴火の際は、先行現象の検知と過去の噴火履歴に基づいて噴火発生前に情報発信がなされ、事前避難につながった。このように、噴火事例の蓄積が進み、かつ、観測体制が整備された火山においては噴火時期をある程度予測できるようになり、平成19年には気象庁が噴火警報・噴火予報を業務として開始した。

地震と火山噴火は海洋プレートが日本列島下に沈み込むという共通の地球科学的条件の下で発生するものであり、地下構造や応力場などの地下の状態の把握と理解は地震予知と火山噴火予知の両者にとって不可欠である。地震と火山噴火では観測研究手法に共通する要素が多く、地震と火山の相互作用を理解することも忘れてはならない。このような点に鑑み、平成21年度からは地震予知と火山噴火予知の計画を統合し、「地震及び火山噴火予知のための観測研究計画」を開始した。沈み込み帯におけるスラブから供給される水とマグマ発生過程や、火山におけるマグマ蓄積の推移と地震活動の関係についての解明が進むなど、地震・火山研究の統合による新たな科学的成果が得られつつあった。

(東日本大震災・御嶽山噴火を契機とした方針転換と現行計画の開始)

平成23年3月に発生した東北地方太平洋沖地震では津波などにより死者・行方不明者が2万人近くにのぼった。当時までの研究計画ではM9クラスの巨大地震発生や津波被害に関する研究が不十分だったことが明らかになったため、計画の部分的な見直しを行った。その結果、過去の超巨大地震に関して多くの知見が得られるようになり、地震規模や津波を短時間で予測する手法などの開発も進みその成果は次の計画にも引き継がれた。一方、計画の抜本的な方針転換は次の5カ年に持ち越された。

このような背景から、平成26年度から始まった「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画」では、地震・火山現象の理解に加え、地震・火山噴火による災害を知り、研究成果を災害の軽減につなげるように方針を大きく転換した。災害や防災に関連する理学、工学、人文・社会科学分野の研究者や、近代観測以前の地震・火山噴火の解明のために歴史学・考古学分野の研究者が新たに参加し、地震・火山に関する理学的研究成果を災害軽減につなげるために、異なる分野の研究者が連携して取り組んだ。この方針転換により、地震や火山噴火の発生直後に状況をリアルタイムに把握し、災害誘因の即時予測に役立てるための研究が進展した。また、平成26年の御嶽山噴火のような小規模噴火については、理学的研究だけでなく、火山災害情報のあり方に関する住民の意識調査などの社会学的研究も進められた。平成28年の熊本地震に関して、地震そのものの現象解明だけではなく地震がもたらした災害に関する研究など、これまでにない視点

での研究も実施されるようになった。

上記のように、災害科学の視点を取り入れた総合研究や、文理融合の取組により、地震・火山現象に関する理学的知見を生み出すのみならず、防災・減災にむけて社会的な波及効果を期待できる成果が生まれつつあるものの、その多くはまだ萌芽的段階に留まっていた。また、前計画のレビュー報告書に基づいて実施された外部評価では、災害の軽減に貢献する方向への方向転換は適切でありより一層推進していくべきとの指摘があった。そのため、現行の5か年計画は、前計画の基本方針を維持し、災害の軽減に貢献することを目指すという共通理念の下、「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画（第2次）」として開始された。また、平成26年御嶽山の水蒸気噴火により人的・物的被害が生じたことを踏まえて火山の観測研究体制を見直し、現行計画においては、高リスク小規模火山噴火を対象とした分野横断の総合的研究を立ち上げた。

2. 現行計画の成果と課題

「**解明**」 ←これは最終的には外す予定

(史料・考古データ、地質データに基づく研究) ←小項目タイトル

成果：地震・歴史の専門家の協働による過去イベントの量・質が向上し、長期にわたる地震・火山現象の把握が可能になった。異分野の協働という文化が根付きつつある。

- ・地震・火山関連資料のテキスト化
- ・降灰範囲など災害痕跡考古資料の収集
- ・噴出率等の基礎データ、噴出物の岩石・鉱物学的解析の実施
- ・火山地質図、火山データベースの整備・更新

課題：データベースの高度化、長期の維持、利便性の向上。異分野協働のさらなる拡充。これらのデータに基づく新たな研究の創生。特に長期予測への活用。

(低頻度・大規模地震火山現象)

成果：史料・考古データ、地質データの活用による過去の巨大地震、大噴火に関する知見の充実。巨大地震発生域の地下構造、発生メカニズムの理解、モニタリング体制の拡充。水蒸気噴火に関する知見の拡充。

- ・大地震後の地殻変動、大地震前後の地殻内地震活動、プレート境界地震の規模・間隔の多様性の情報。
- ・大規模噴火を対象とする地質調査、物質科学的解析、カルデラ噴火に関する調査

課題：データの精度向上。不確実性をどう取り入れるか。過去データと現在のモニタリング情報の融合。大規模噴火の推移や分岐条件の把握。カルデラ形成噴火の理解。

(地震発生過程のモデル化)

成果：観測、実験、シミュレーションにより断層滑りの多様性や物理機構の理解が進展。巨大地震発生域での多様な滑り現象の発見と理解が進んだ。海域観測の進展。陸域観測の多点化。

- ・破壊シミュレーションの進化（海山の影響の再現、粗い断層面の破壊、震源域に想定される岩石の摩擦実験に基づくシミュレーションなど）

課題：千島海溝の研究が遅れている。海外の沈み込み帯との比較研究の推進。海域地殻変動。断層滑りにおける水の寄与の更なる理解、内陸地震との関係。地殻内流体の把握。地震、地質、化学の総合研究推進。

(火山現象の解明とモデル化)

成果：多項目観測やリモートセンシングによる火山活動の定量的把握。物質科学的研究によるマグマの性質の理解。水蒸気噴火の発生場の理解。マグマの蓄積、上昇に関する数値モデルの高度化。新観測手法。分岐条件定量化の試み。

- ・多項目観測に基づく火山活動の定量化とモデル化、新たな観測手法、
- ・火山ガス放出過程、噴火に至るマグマの挙動と分岐条件の理解
- ・水蒸気噴火のモデル化（この5年ぐらいで大きく進展。ほぼ日本からの貢献）

課題：多くの火山に共通する現象の抽出、データベース化と比較研究の推進。マグマの貯留・上昇開始条件、時間スケール推定。実験や理論による素過程理解。噴火様式の変岐条件

定量化。火山内部現象と観測量の対応を理解。

(地震火山現象を支配する場の理解)

成果：震源分布、構造、応力場、流体分布等の場の推定が進む。レオロジーモデル作成。内陸地震発生と地殻流体の役割の理解。水蒸気噴火発生場のモデル。地震発生と火山特有の構造の比較や相互作用の理解。構造共通モデルの構築。

- ・ マグマ供給系、熱水系の構造把握、火山活動と構造の関係
- ・ 火山性の構造と地震活動の関連、噴火に伴う応力場の変化と地震メカニズム
- ・ ひずみ集中帯のレオロジーモデル

課題：地下構造の解像度向上。海底観測データ活用。内陸地震と流体の関係の定量的理解。レオロジーモデル高度化。火山浅部の微細構造把握。マグマだまりのイメージング。マグマ含水量推定。地震火山相互作用の物理機構理解。

「予測」 ←これは最終的には外す予定

(地震発生の新たな長期予測)

成果：海溝型巨大地震や津波の発生履歴が整理された。応力蓄積状態の推定。地震サイクルの数値モデリング。内陸地震の震源断層モデルの検証。応力場や断層形状等を考慮した内陸地震の物理モデル構築。長期予測手法の検討開始。

- ・ 日本列島有限要素法モデル→プレート境界の応力蓄積分布推定→破壊シミュレーションによる地震シナリオ、様々なすべり様式の空間的相補性、海底地殻変動観測によるプレート固着分布の精度向上
- ・ 陸域のひずみ速度分布→内陸地震発生確率推定手法、日本列島有限要素法モデル→活断層への载荷と地震活動度への影響、大地震連鎖の活動推移予測

課題：地震・津波発生履歴把握はまだ不十分。時間空間的にぬけがある。観測と数値シミュレーションの比較とモデルの更新。内陸地震モデルの普遍化。物理モデル、シミュレーション、観測、統計モデルの融合。長期予測手法の試行。

(モニタリングに基づく発生予測)

成果：地震、測地データに基づくプレート間固着状態のモニタリングのための様々な手法開発が進展。海域観測網の構築、運用。地震活動の観測に基づき統計的な発生予測の実施。データ同化による摩擦パラメタの推定。

- ・ プレート境界すべりの時空間的發展の理解、摩擦パラメタの推定
- ・ 大地震後の地震活動推移予測

課題：モニタリングの継続。多様な滑りモデルの構築。滑り発生予測実験の実施。統計モデルの検証と高度化。

(先行現象に基づく確率予測)

成果：地震活動の静穏化やb値の変化、電磁気現象等の先行現象の蓄積。統計的手法による客観的評価の実施。先行現象を説明するモデルの提案。

- ・ 様々な先行現象による地震発生確率予測の客観的評価

課題：データのさらなる蓄積、拡充。モデルの検証。メカニズム解明

(中長期的火山活動評価)

成果：地質、岩石学的手法による噴火履歴とマグマ供給系変遷の把握。年代測定の高度化。多項目モニタリングの継続によるデータ蓄積と、活動を評価する指標(VUI)の試行的適用。

課題：年代測定の更なる高度化。トレンチ・ボーリング調査の活用。VUI評価の試行とデータ蓄積、長期運用体制の構築。データベースの活用。

- ・ 地質、岩石学的手法による噴火履歴とマグマ供給系変遷の把握、年代測定の高度化
- ・ 多項目物理化学モニタリングによる活動評価、VUIの試行、衛星データの活用、データベース(JVDN)の活用

(火山活動推移モデルによる噴火予測)

成果：火山活動推移モデルへの発展に向けた噴火事象系統樹の作成・改定。分岐条件の定量化（噴火履歴，過去の観測データの精査，新たな観測量）。噴出物の物質科学的研究と活動推移の整理。桜島における推移モデル作成の試行。

- ・火山活動推移モデルへの発展に向けた，噴火事象系統樹の作成，改定，
- ・分岐条件の定量化（噴火履歴，過去の観測データの精査，新たな観測量）
- ・噴出物の物質科学的研究と活動推移

課題：分岐判断手法の高度化。集中観測による事例蓄積とデータベース活用による比較研究。桜島以外の火山での推移モデルの構築。

「災害誘因」 ←これは最終的には外す予定

(災害誘因の事前評価手法)

成果：震源モデル，地下構造の高度化，生成メカニズム等の特性理解が進み，評価手法も高度化した。津波，斜面崩壊，火山噴出物などの災害誘因の事前評価手法が構築された。地震発生から二次災害までも含む災害評価手法が開発された。

- ・震源近傍長周期パルス（熊本地震益城）の解明
- ・地盤応答，地殻構造
- ・災害リスクの確率論的評価と表示法
- ・地震時地すべりの地形・地質的特性，地すべり地での多項目観測
- ・火山活動による地すべり現象の事前評価（火砕降下物とすべり面の関係）
- ・火砕流発生予測，火山泥流発生ポテンシャル評価

課題：地下構造情報が不十分な地域が残る。海底地すべりの評価はまだ。災害発生機構や災害抑制の要件が未解明。社会実装を見据えた高度化。分野によっては評価手法や要素モデルにまだ未熟なものがあり，更なる高度化が必要。

(災害誘因の即時評価)

成果：地震動や津波は，観測波動場と数値シミュレーション，データ同化を活用した即時予測手法の開発が進む。レーダを用いた噴煙の即時把握とそれに基づく即時予測手法が開発された。社会実装も進みつつある。

- ・PLUM法の改良，自治体データ利用と自治体へのシステム実装
- ・波動場同化による長周期地震動即時予測
- ・PTSの高精度化と即時予測への応用
- ・データ同化による津波即時予測
- ・XバンドMPレーダ，GNSS搬送波，気象レーダ等による噴煙の即時把握
- ・火山灰堆積後の土石流発生予測

課題：即時評価には様々な分野が関与するため，分野の連携を更に進め，手法を高度化する。また更なる社会実装を目指す取り組みも必要。

(災害誘因予測を災害情報につなげる研究)

成果：不確実性を含む災害誘因予測が適切に伝わり災害の軽減に活かされるよう，受け手に配慮した情報のあり方を検討している。災害シナリオ評価システムの構築など，防災担当者の情報活用を支援する取り組みを進めている。

- ・火山情報表示システムの開発
- ・噴火後の調査に基づく，利用者の理解度・知識を考慮した情報伝達の必要性
- ・災害リスク情報の表現方法の妥当性検討

課題：災害誘因の不確実性評価はまだこれから。アンケートなどによる受け手側の情報の吸い上げもこれからの課題。相互に関連が強い研究課題間の連携を深めるため，定期的な情報交換を実施が有効。関連することが有効と考えられる。

「災害リテラシー」 ←これは最終的には外す予定

(災害事例による災害発生機構の解明)

成果：地震・火山噴火の災害事例をもとに、地震動・津波・火山噴出物などの災害誘因が、居住地の空間構造、コミュニティ構造、社会的脆弱性などの社会要因とどのように関連し被害をもたらすのか、という災害発生機構の解明が進んだ。

- ・歴史時代、および近年の地震事例における災害要因の分析
- ・大都市近接火山における、行政機関と研究者の共同による防災システム構築、火山噴火に関する知識の住民認知度調査
- ・火山観光地における、行政と研究者の連携
- ・リテラシー向上に向けた各種教育プログラム（旅行者向け、自治体職員向け等）
- ・ジオパークガイド養成、火山マイスター制度の検討
- ・地域防災訓練への参加、助言、HP 整備、出前講座、講演会、防災番組

課題：課題間連携、文理融合研究の促進。災害事例の分析に基づく災害発生機構の解明。社会発信にむけたステークホルダーとの連携や防災リテラシー向上の具体策や教育プログラム開発が必要。

(災害に関する社会の理解醸成)

成果：防災リテラシーの実態やニーズの把握が進んだ。防災対策に必要な知識体系を構成する要素の検討が進んだ。研修プログラムの開発改良が進んだ。避難訓練可視化システムにより防災リテラシー向上への知識要素、学習目標が明確化。

- ・防災リテラシー向上のための効果的方法の研究・開発

課題：リテラシー向上に資する知識要素や教育・訓練プログラムの連携統合を図り、知識体系の構築を進める。研修プログラムの実行性強化も必要。マイクロジオデータ、オープンサイエンスの手法活用も重要。

3. 計画推進体制の評価と課題

(本計画の推進体制)

- ・多彩な参加機関の全国連携、予知協による運営、地震予知連絡会、噴火予知連絡会

(地震本部との関係と火山観測研究の一元的推進体制)

(重点的研究) (どのように「重点化」されているか、成果も少し書く)

将来の社会実装を目指して重点的に取り組む研究として、以下の3つを設定した。

「地震発生の新たな長期予測」：

- ・大地震の発生履歴に頼る長期予測手法に、観測データや物理・統計モデルを導入

「地殻活動モニタリングに基づく地震発生予測」：

- ・観測データに基づく中短期地震の発生確率計算手法の開発と予測実験

「火山活動推移モデルの構築による火山噴火予測」：

- ・観測データとモデルに基づき、噴火の発生から終息までの全体像を記述する推移モデルを開発し、予測に繋げる。

(分野横断で取り組む総合的研究) (仕組み+成果も書く)

- ・南海トラフ沿いの巨大地震、首都直下地震、千島海溝沿いの巨大地震、桜島大規模火山噴火、高リスク小規模火山噴火

(拠点間連携共同研究) 仕組み+成果も少し書く

(研究基盤の開発・整備)

- ・観測基盤 MOWLAS, 気象庁観測網, GEONET, 衛星データ
- ・観測解析技術開発 海底観測, 火口近傍観測, データ同化手法開発, GNSSA 等, DAS 技術の活用
- ・データ流通 地震波形流通システム, 火山データ教習システム(JVDN)
- ・データベース 解析ツールサーバー, 地震カタログ・一元化处理, 火山観測データベース, 地質図, 地質情報データベース, 地震・津波・火山ハザードデータベース, GNSS データ公開, 海域火山基礎情報等

(関連分野との連携)

- ・理学, 工学, 歴史学, 考古学, 人文社会学, 情報科学, 計算科学の連携, 史料連携機構設立, 異分野融合プロジェクト, 自治体や企業との連携

(国際共同研究・国際協力)

- ・ニュージーランド（沈み込み帯），メキシコ・チリ等（プレート境界），インドネシア（活動的火山）
- ・歴史地震の国際研究，国際的データ共有・流通，火山灰情報センター，基準座標系構築，国際レーザー測距，海外の国研との協力・協定締結，JVDN+WOV0dat
- ・国際研修による人的ネットワーク構築

（教育・人材育成）

- ・予知協による特任研究員雇用
- ・火山P J との連携による実習，講義の提供

4. 現計画の総括的評価と今後の展望

（総括的評価）

- ・前計画における課題と今計画における対応状況
 - 前計画の外部評価で指摘された事項
 - ・災害の軽減に貢献するための研究の一層の推進
 - ・理学，工学，人文・社会科学の研究者間のより一層の連携強化
 - ・研究目標と目標に対する達成度の明確化
 - ・社会や他分野の研究者のニーズ把握とそれに合致した研究の推進
 - ・火山の観測研究を安定して実施する体制の整備
 - について，どのように対応したかを述べる
- ・今計画の重点研究3つの進捗評価
- ・今計画で初めて設置した防災リテラシー部会の成果について
- ・総合研究の実施体制について
- ・前計画の建議からの中長期的な展望についての現状の到達点と今後の展望
 - 中長期的な展望4項目
 - (1) 地震や火山噴火が引き起こす災害にはどのようなものがあるかを解明し，国民や関係機関に広く知らしめること
 - (2) 地震や火山噴火が，どこで，どの程度の頻度・規模で発生し，それらによる地震動，地盤変形，津波，噴火様式等がどのようなものかを想定して，長期的な防災・減災対策の基礎とすること
 - (3) 地震や火山噴火の発生直後に，地震動や津波，火砕流や降灰，溶岩流などの災害を予測することにより対策に役立てること
 - (4) 地震の発生や火山噴火の発生とその推移を事前に予測することにより有効な防災・減災対応を取ること
 - について，現状の到達点と今後の展望を述べる

（今後の展望）

- ・現計画の研究の進展状況に鑑み，次期以降，進めていきたい研究の方向
 - ・新たな火山活動評価及び予測手法の開発
 - ・モニタリングによる地震発生予測実験
 - ・巨大地震のリスク評価のパラダイム構築
- ・総合的研究の重要性と，その実施体制をより戦略的に作っていく必要性についても言及する

5. まとめ