

目次

V. 総括的評価	1
1. 現行計画策定までの経過	1
2. 現行計画の成果と課題	2
3. 計画推進体制の評価と課題	6
4. 現行計画の総括的評価と今後の展望	10
5. まとめ	15

## V. 総括的評価

### 1. 現行計画策定までの経過

#### (地震・火山噴火予知計画の主な成果)

測地学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・解析技術が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、データの蓄積が進むとともに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一方で、前兆現象に基づく地震予知の実用化への道筋は厳しいものであった。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、6,400人を超える死者・行方不明者が出た。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という方針に転換した。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に基づく予測方法の開発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・高感度化が進み、観測項目も徐々に増えた。また、マグマの性質を明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及び地震と火山の相互作用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。また、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、両者にまたがる研究者も多い。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。これにより、地震発生場である沈み込み帯のスラブから供給される水と火山噴火を支配するマグマの発生過程の関係や、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。

#### (東日本大震災を契機とした方針転換と第1次計画の開始)

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。当時までの観測研究計画ではプレート境界で発生する大地震に関する様々な研究が実施されていたがM9クラスの巨大地震発生や津波などの災害誘因に関する研究が不十分であったため、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観測研究計画にも引き継がれた。一方、5ヵ年計画の4年目に入っていたことから、観測研究計画の抜本的な方針転換は次の5ヵ年に持ち越された。

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」(第1次計画)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誘因の予測も行い、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。

(現行計画の策定)

第1次計画が開始された平成26年に発生した御嶽山噴火は噴火現象としては比較的小規模であったが多くの登山者が火口付近を訪れていたため甚大な災害となった。この噴火に関しては、水蒸気噴火のような規模の小さい噴火を解明するための理学的研究の推進だけでなく、近隣の住民に加えて観光客や登山者に対する火山災害情報のあり方に関する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も、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。このように、第1次計画では地震・火山現象に関する理学的知見を生み出すのみならず、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、防災・減災に向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ったが、その多くはまだ萌芽的段階に留まっていた。また、第1次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、現行計画である次の5か年計画は、第1次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、実施体制の強化や実施項目の追加・拡充を行った上で「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。体制の強化としては、新たな実施機関の追加、重点研究の開始、第1次計画で試行した分野横断の研究連携を総合的研究として立ち上げた点を挙げることができる。また、実施項目の追加・拡充としては、防災・減災に向けた社会への波及効果を念頭に新たに防災リテラシー向上のための研究を開始した点と、御嶽山噴火のような小規模ながら高リスクである火山噴火を対象とした総合研究を開始した点を挙げることができる。

## 2. 現行計画の成果と課題

### 2. 1 地震・火山噴火の解明のための研究

#### (地震発生過程と発生場の解明とモデル化)

プレート境界の地震や構造については、S-net, DONETなどの海底地震津波観測網の追加やGNSS-音響測距結合観測による海底地殻変動観測により拡充が進んだ国内の地震・地殻変動観測網のデータに基づいて多くの研究が展開され、また国際協力による調査観測も実施された。その中で、マグニチュード6から7相当、数日から数ヶ月かけて発生するなど様々な規模、様々な時定数をもつ滑り現象が発見され、物理機構の理解が進展した。また、プレート形状・物性構造・流体分布・応力場等のモデルの精度が向上し、これらの場の不均質がスロー地震や巨大地震の発生や規模・時定数の多様性に与える影響も明らかになりつつある。

内陸地震の発生場に関しては、各地域で地震、地殻変動、地球電磁気等の複合的な調査観測が進み、2016年熊本地震等近年大地震が発生した地域において応力载荷過程および断層の強度低下の解明に資する結果が得られつつある。特に地震発生と密接な関係がある地殻内流体の役割について重要な成果が得られているが、今後は流体の存在量・圧力・存在形態等の定量化や地震発生において応力変動と流体による強度変動の影響のどちらが支配的であるかを切り分けることが重要な課題となる。

岩石破壊等の室内実験より、震源断層のある地下の物質、温度、流体、応力条件における断層滑りの発生・進展、流体の影響などが精力的に調べられ、複雑な地震現象の物理機構の理解が進展した。また、観測や実験で得られた知見を再現・活用する数値シミュレーションにより、物理機構の理解を補強し予測につながるような成果を出している。地震発生予測に不可欠なレオロジーモデルについては、東北地方や中部日本において観測データを説明しうるものが提案されつつある。

このように、地下の様々な物理・化学的狀態をモデル化し、地震滑り現象を中心とする地殻活動の推移をモデル化するための知見や技術は蓄積しつつある。しかし、実際の地殻構造の複雑さ、滑り現象の複雑さ、地殻活動の時定数の長さを考えるとまだ情報や現象の理解は依然として不足している。定常観測網の効果的な利活用に加え臨時観測も実施し、地震発生場の物理・化学的狀態や滑り現象の分析の時空間分解能をさらに向上させると共に、モニタリングシステムの更なる高度化によるデータの質・量の高度化や理論的・実験的研究のさらなる進展が必要である。また、千島海溝沿いのプレート境界では、巨大地震の切迫が同様に危惧されている南海トラフ、日本海溝沿いに比べ観測・調査研究が遅れている。そのために現行計画で総合研究を立ち上げ、研究の加速を試みているが、この体制を持続し知見を蓄積する必要がある。

### (火山現象と火山地下構造の解明とモデル化)

火山現象の解明に関しては、現行計画において火山周辺や火口近傍における多項目観測が促進され、これらの観測が火山活動の推移を高精度・高時間分解能でとらえる上で重要であることがあらためて認識された。噴火前後の山体変形や噴火の準備過程で生じる火山体浅部の消磁現象や火山ガスのふるまい、水蒸気噴火につながる地下の構造など、複数の火山に共通する現象や構造が見出されている。リモートセンシング技術も進み、安全に安定して火山観測を行う観測手法が開発され、異常現象の検知能力も向上している。次の段階として、観測密度を一層高めることにより、火道や岩脈、それらの形成に伴う亀裂やクラックの分布、水蒸気噴火を引き起こすと考えられる地下水層や難透水性の構造のイメージングをさらに進め、それらの微細構造と火山性地震・微動源、火山性圧力源、熱消磁源との関係を明らかにすることにより、火山性流体の挙動を把握することなどが課題となろう。

噴出物の化学分析や組織解析をもとに、マグマの蓄積・上昇の素過程（発泡、脱ガス、結晶化等）とそれに関連する物理化学パラメータ（粘性、揮発性成分量、減圧率等）を推定する試みが進められており、特に火道浅部で発生する現象について、これまでわかっていなかったマグマ特性変化の時間スケール等の物理条件の情報が得られつつある。岩石学的研究から推定されたマグマの状態や、火道形状も考慮したより現実的なモデリングも行われた。

今後は、現在火山観測のスタンダードとなった多項目観測を継続・強化し、今後は多くの火山のデータのデータベース化と比較研究を推進していくことが必要である。それにより噴火様式の分岐条件の定量化を目指し、また実験やモデリングを通じた素過程理解の向上に努め、火山内部現象の定量的物理モデル化を進めて噴火現象の予測に貢献していくべきである。

地震現象との相互作用に関する研究も重要である。火山は、局所的な応力状態の変化や、強度低下を引き起こし、地震発生場に影響を与える。2016年熊本地震に関する研究で示唆されたように、火山及びその周辺の構造が断層の滑り方向の変化や破壊の停止に寄与する可能性があり、内陸地震の発生場所や規模評価に直結するため他地域でも検証を進める必要がある。そのため20 kmスケール以下の範囲に集中した機動的稠密地震観測、電磁気探査、地殻変動観測などを進め、応力場・構造・変形のシステムを詳細に把握することが必須である。

### (低頻度・大規模地震火山噴火現象に関する史料・考古データ、地質データに基づく研究)

地震・火山噴火現象に関係する過去の事象、特に低頻度で大規模な地震・火山噴火現象の発生履歴、規模、場所を解明するためには、史料、考古資料、地質・地形調査から得られる情報が不可欠である。史料・考古データについては、地震・火山噴火現象に関するデータベース化が現行計画で急速に進み、歴史時代における地震活動の変化や先史時代の噴火による降灰範囲など新たな知見が得られた。地質・地形調査でも、プレート境界大地震の破壊域や地殻変動の推移を示す情報、火山噴火の推移を明らかにする情報などの重要な発見が着実に積み上げられている。このように、理学の研究者と歴史・考古学の研究者の協働により、過去の現象に関する情報の量と質が確実に向上した。データベースについては拡充を継続するとともに、維持の方法についても今後考えていく必要がある。また、過去の現象の推定精度を高めるため、史料・考古・地形・地質という時間スケールの異なるデータの統合的活用や、これらのデータを現在の観測データとの融合などの課題にも取り組む必要がある。これらのデータベースを防災リテラシー向上のための研究に活用することも検討すべきである。

## 2. 2 地震・火山噴火の予測のための研究

### (地震発生の長期予測)

海溝型巨大地震の長期予測に関しては、史料・考古データ、地質データから得られる過去の大地震の発生履歴やGNSS観測などの測地データに基づいてプレート境界での滑りの時空間変化を定量的に把握し、地震モーメントの蓄積量などの推定と数値シミュレーションに基づく巨大地震の発生予測手法の開発を進めている。これまでに海溝型巨大地震や津波の発生履歴の蓄積と整理を進めるとともに、応力蓄積状態の推定や地震サイクルの数値モデリングを実施した。日本列島全体を含む3次元有限要素モデルを構築し、プレート境界の応力分布を推定した。また、断層破壊の数値シミュレーションに基づき、今後起こり得る海溝型巨大地震の発生シナリオを複数作成した。加えて、観測に基づいて様々な滑り様式の空間的相補性が明らかになるとともに海底地殻変

動観測によってプレート固着状態が精度良く求められるようになった。一方、過去の地震については発生履歴や震源域の空間分布の把握はまだ十分とは言えず、観測データと比較する数値シミュレーションモデルについても考慮できるパラメータ数を増やすなど、更なる改良が必要である。

内陸地震の長期予測に関しては震源断層モデルの妥当性の検証を行うと共に、応力場や断層形状を考慮した内陸地震の物理モデルを構築し、これらのモデルに基づく新たな長期予測手法の検討を進めている。測地データから推定した陸域のひずみ速度分布を用い、内陸地震の発生確率を試算した。また、日本列島3次元有限要素モデルに基づいて、千島海溝沿いと南海トラフ沿いのプレート間固着に起因する内陸の震源断層への応力載荷速度を推定した。2016年熊本地震のように大きな地震が連鎖する場合の活動推移を予測する手法も開発された。一方、内陸地震に関する物理モデルは特定の地震に基づくものであり、他の地域に適用するためのモデルの普遍化はまだ十分に進んでいない。海溝型巨大地震と比較して内陸地震は震源断層の位置や形状、応力蓄積状態などが複雑であり、長期予測へのハードルは高い。物理モデル、数値シミュレーション、観測データ、統計モデルの融合を更に進め、長期予測の試行を進めるべきである。

#### (地震発生の中短期予測)

中短期の時間スケールでの地震発生予測に関しては、(1)海陸統合の観測データを活用してプレート境界における滑りの時空間変化を推定し、物理・数理モデルに基づいて発生確率を推定する手法の開発、(2)地震活動そのものの時空間変化を高精度かつ迅速に把握し、統計的手法に基づいて地震発生確率の変化を評価する手法の開発、(3)地震活動の変化や電離層の変化など大地震発生に先行する現象の事例を蓄積し、統計的評価に基づいて大地震の発生確率を推定する手法の開発が進んでいる。そのほか、海陸統合データを用いてプレート間固着状態をモニタリングするための手法も開発された。さらに、データ同化法を活用してプレート間の摩擦パラメータが推定された。これによりプレート境界滑りの時空間的発展に関する理解が進み、より現実的なモデルの構築に近づいた。地震活動の観測に基づく統計的発生予測も試行的に行われた。先行現象に関しては、地震活動の静穏化や地震活動の統計的性質の指標であるb値の時間変化、電磁氣的先行現象などの事例蓄積が進むとともに、長期間のデータに対して統計的手法を適用してこれらの先行現象を検証するとともに、先行現象を説明する物理モデルの提案がなされた。これらの成果により、先行現象にもとづく地震発生確率予測を客観的に評価できる段階に進みつつある。

一方、海陸統合データ取得とそれによるモニタリングは長期にわたって続けなければならない、そのための方策を検討する必要がある。また、プレート間滑りは複雑な現象であり、より多様な滑りモデルの構築を目指す必要がある。ただし、複雑な現象の裏にあるシンプルな法則を理解することの重要性も忘れてはならない。物理・数理モデルに基づく発生確率の予測実験実施や実測データに基づく統計モデルの検証と高度化も課題として残されている。先行現象に関しては、データのさらなる蓄積やこれまでとは異なる種類のデータの取得が必要である。さらに、先行現象を説明する物理モデルを観測データや実験等に基づいて検証し、先行現象のメカニズムを解明することも求められている。

#### (火山噴火の予測)

長期的な時間スケールの噴火予測に関しては史料や地質データに基づく噴火履歴データベースを活用して噴火様式や規模、マグマの種類の変化を整理し、マグマ供給系の時間変化を推定することで、噴火活動のポテンシャルを評価している。数カ月から数年程度の中期的な時間スケールについては多項目の観測を実施し、様々な火山現象と噴火発生の関係を定量的に評価している。これまでに年代測定手法の高度化が進み、噴火履歴とマグマ供給系の時間変化が精密に把握されつつある。また、多項目観測を支える観測・解析技術の開発が進み、多項目データが着実に蓄積された。長期のデータが蓄積された火山において、噴火の切迫度評価につながる活動評価指標であるVUIの適用による非噴火時の試行的な活動評価が試みられた。一方、年代測定精度については更なる高度化が必要であり、トレンチやボーリングデータも更に活用すべきである。VUIにもとづく評価を試行する対象火山をさらに増やすことも期待される。多項目観測データをデータベース化し活用することや衛星データのさらなる活用も課題である。また、多項目観測を長期的に維持するための方策を検討することも欠かせない。

火山噴火の予測精度を高める新たな試みとして、火山活動推移モデルの構築が進んでいる。火山活動や噴火現象は多様であり、噴火に先行する現象から噴火の発生、活動の変化、終息までを

一連の現象としてとらえる必要がある。このようなモデルは火山活動推移モデルと呼ばれ、火山の比較研究や噴火に伴い発生する多様な現象の物理モデルを検討する上で有効である。火山活動推移モデルを構築してその背景にある物理現象を理解することにより火山噴火予測を高度化することができる。火山活動推移モデルの構築に関しては、その前段階として、起こり得る現象を網羅的にまとめ、それらの時系列を整理した噴火事象系統樹の作成や改定を進めている。また、噴火履歴や過去の観測データを精査するとともに、新たな観測量も導入することによって事象の分岐条件の定量化を進めている。地球物理・化学的観測に加え、噴出物の物質科学的研究と火山活動の対応の整理も進んだ。活発な活動が続きデータの蓄積が進む桜島において火山活動推移モデルを試行的に作成した。しかしながら分岐判断手法は限定的であり更なる高度化が必要である。多くの火山で継続的な多項目観測を行うほか、各火山の特性に合わせた集中的な観測により、火山現象や噴火現象の定量的データの蓄積を加速し、データベースの活用による比較研究を実施することが必要である。また、火山活動推移モデルを桜島以外の他火山についても試行的に構築することが必要であろう。

### 2. 3 災害誘因の予測のための研究 (災害誘因の事前評価手法)

強震動の事前評価に関する研究では、強震動の観点から見た震源モデルや地震動生成メカニズムの解析、強震動に大きな影響を与える地下構造のモデル化が進み、さらに、建物被害予測モデルの検証や災害リスク評価手法の開発も行われた。2016年熊本地震では、断層浅部のごく一部に時定数の長い大きな滑りが生じ、その近傍で強い長周期速度パルス波が発生するという現象が確認された。このような震源断層浅部の滑りの不均質構造とともに、強震動生成域と呼ばれる断層深部の滑りの不均質構造が震源域の強震動を特徴づける最重要要素であり、これらの位置を決定論的に設定する方法の開発が必要である。地下構造の研究では、地震動の増幅効果の大きい堆積層が厚く堆積した大規模な盆地や平野を中心に実施され、堆積層構造モデルの作成や検証、地震動応答特性の調査が進められた。一方、2016年熊本地震の火山性堆積物や2014年長野県北部の地震の地滑り地塊などが地震動被害集中域に対応したことをふまえ、強震動予測を目的として火山性地質構造や地盤構造の調査対象を広げる必要があると考えられる。

斜面崩壊の事前評価に関する研究では、過去の大地震や2016年熊本地震、2018年北海道胆振東部地震など最近の国内外の地滑りについて調査を行い、危険性の高い地域の地形・地質学的特徴を明らかにした。また、地滑り土塊や盛土での多項目観測及び滑り面の土質の室内実験による地滑りメカニズムの解明にも取り組んでいる。今後、これらの知見に基づいて地滑りの定量的物理モデル化を進めていく必要がある。

### (災害誘因の即時予測)

災害誘因の即時予測に関しては、地震動や津波、火山噴火に伴う噴煙の移流拡散に関して、高密度の定常観測網や海底圧力計、気象レーダなどの観測網の発展を背景に、観測データ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の進展が顕著であった。また、これ以外にも様々な即時評価手法において、観測記録の処理方法やシミュレーション手法の効率化によって予測に要する時間の短縮が図られる一方、評価結果の高精度化や検証の努力がなされた。中には社会実装が進んでいる即時予測手法もあるが、実用を検討する段階にある手法を中心に更なる社会実装を目指す取り組みが求められる。また、即時評価の社会実装・公開には、受け手側への配慮が必要であり、災害情報や防災リテラシーの研究の分野との連携も必要となる。

### (災害誘因予測を災害情報につなげる研究)

災害誘因予測を災害情報につなげる研究の分野では、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た。また、災害リスク評価結果や災害誘因即時予測情報を表示するシステムの開発も行った。避難や防災行動を効果的に伝える災害情報の出し方や、災害誘因の不確実性評価を災害情報にどのように組み込むかについては今後も継続して実施すべき課題である。災害誘因予測や防災リテラシーの分野など、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進めることが必要である。

### 2. 4 防災リテラシー向上のための研究

#### (災害事例による災害発生機構の解明)

過去の地震災害事例について、歴史史料の分析に基づき、居住地の空間構造、地形などの社会素因がどのように影響し被害をもたらしたかを推定するなど、災害発生機構の解明を進めた。関係機関と連携し、地震・津波・火山噴火に関する地域の災害特性や過去の災害履歴等の把握に資するデータベースの整理も進めている。また、震災後の総合的防災政策の政策効果を検証するために、2011年東北地方太平洋沖地震（東日本大震災）を事例に被災から復興に至る地域社会の変化を分析し、統一性のない新たな防災事業が復旧復興を遅らせる要因となったことを明らかにした。今後は、文理融合研究など異分野間の連携促進を一層図りながら、様々な災害事例の詳細な分析と、災害誘因・災害素因の一般化の検討を進め、災害発生機構の解明を進めていく必要がある。

#### (災害に関する社会の理解醸成)

住民の防災リテラシーの実態やニーズの把握のため、学校教育における防災教育の実態とその背景の調査、桜島火山周辺の住民の噴火警戒レベルに関する認知度の調査を行った。南海トラフ地震津波避難対策特別強化地域在住の住民に対する調査からは、避難するか否かを判断する上で参考にする情報・知識を明らかにすることができた。防災リテラシー向上のための研修プログラムとして、阿蘇火山における修学旅行生を対象としたものや、行政機関の災害対応・防災対策業務への活用を意識したものなどの開発が進んだ。また、地震本部による地震活動モデル及び地震ハザード情報に基づくハザード・リスク評価情報システムが作成公開された。避難訓練可視化システムを使った避難訓練や、オープンサイエンス手法の導入など、防災リテラシー向上のための効果的方法の研究・開発・検証が複数試みられた。今後は各研究課題で得られたリテラシー向上に資する知見の連携統合を図り、知識体系の構築を進め、広く利用しやすい手法にまとめていく必要がある。

### 3. 計画推進体制の評価と課題

#### (現行計画の推進体制)

現行計画は地震学・火山学を中核とし、災害や防災に関連する理学、工学、人文・社会科学などの幅広い分野の研究者の協力による総合的な学際研究として推進されており、その成果を地震・火山噴火現象に起因する災害の軽減に活用することを目指している。そのため、全国の大学、研究開発法人、行政機関などから35の多彩な機関が参加している。

地震火山部会は、行政や社会のニーズ、学術研究の動向に配慮しつつ、全体計画の立案、進捗の把握、成果の取りまとめを行っている。また、地震本部や行政機関等関連機関との連携、調整に尽力し、計画推進の一端を担っている。

参加機関からの委員で構成される予知研究協議会は研究全体の推進を実質的に担っており、研究内容に応じた8つの研究推進部会を設け、全ての研究課題がいずれかの部会に所属しながら研究を実施する体制を敷いている。大学の実施する各研究課題への予算配分の決定、進捗状況の把握、成果の取りまとめを行うとともに、研究全体を災害軽減という大きな共通の目標に向かって進めるべく、部会毎の研究の進捗や部会間の連携の調整などを行っている。年度末には、予知研究協議会主催により成果報告シンポジウムを開催し、計画に参加する研究者ら300名ほどが年度毎の成果発表を行い、参加者全体で情報と意識の共有を図っている。地震予知連絡会と火山噴火予知連絡会はそれぞれ、本研究計画の実施機関である国土地理院と気象庁に事務局を置いており、定期的に会議を開催することによって関係各機関が情報共有する場を提供している。共同利用・共同研究拠点である東京大学地震研究所と京都大学防災研究所は、拠点間連携共同研究を実施し、現行計画の方針に沿った研究について、重点課題研究と一般課題型研究の公募を行っている。

以上のような実施体制により、多彩な参加機関が連携し、幅広い分野の研究を効率的に実施することができている。今後もこの実施体制のもとで計画の推進を図るべきである。

#### (地震本部との関係と火山観測研究の一元的推進体制)

本観測研究計画は、地震・火山防災に関する行政や防災研究全体の中で果たす役割を明確化しつつ推進することが重要である。地震に関する国による調査研究は地震本部が一元的に推進していることから、新たな長期予測手法に関するワークショップの開催などにより地震本部と綿密に情報交換を行い、地震調査研究の基本施策との整合性を確認しながら進めている。地震に関して

はこの一元的な体制の存在により本観測研究計画で得られた成果を国の施策に反映させる道筋は比較的是っきりしている。一方、火山噴火に関しては、災害軽減に資する火山の調査研究を一元的に推進する体制は存在せず、火山噴火予知連絡会など情報交換の場はあるものの、得られた成果を国の施策に反映させる過程は必ずしも明確ではない。地震分野における地震本部を頂点とする一元的な施策推進体制に相当する体制を、火山調査研究の分野においても実現することが望まれる。

#### (重点的研究)

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、地震・火山噴火の予測のための研究の中から、地震発生の新たな長期予測、地殻活動モニタリングに基づく地震発生予測、火山活動推移モデルの構築による火山噴火予測、の3つが設定されており、予知協議会ではそれぞれの研究に関連する課題について予算上の優遇措置を取っている。地震発生の新たな長期予測については、地震本部の基本施策との関係が深いことから、前項で述べたように綿密な連携を取りながら実施されている。

本章の2.2節に記載したとおり、予測手法の精度改善を目指すこれら3つの重点的研究はいずれも順調に成果が得られていることから、重点的な研究として実施すべき研究テーマに関しては今後も予算的な優遇措置をとり、関連する基本施策との連携を強めつつ実施すべきである。研究の進捗に注意を払い必要に応じてサポートを追加することも必要であろう。今後の研究計画においても、重点的に実施する研究を選定し現行計画と同様の体制で実施すべきである。

#### (分野横断で取り組む総合的研究)

現行計画においては、地震学・火山学的重要性及び災害科学的な重要性に鑑み、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の5つを複数の分野にまたがり総合的に実施する優先度の高い研究対象として選定した。それぞれに対応する総合研究グループを設けた上で、関連課題間の連携協力体制を構築しつつ実施している。

南海トラフ沿いの巨大地震は、第1次計画に続き現行計画でも総合的研究の対象となっており、関連各分野の研究成果に拠点間連携共同研究の成果を加えることで、震源や地震波伝播経路に関する理学的な研究、強震動や構造物被害に関する工学的研究、災害情報の発信に関する人文・社会学的研究を含む総合的研究として実施されている。南海トラフ沿いの巨大地震の地震像はこれまで主として過去の観測記録及び歴史史料に基づいて描かれていたが、現行研究計画では現状の測地・地震観測により得られたプレート間の固着状態やスロー地震の知見に基づいてデータに基づく広帯域震源モデルを構築するとともに、西南日本地域の強震動や津波浸水モデルの提示をも目指している。さらに、地震発生時のリスク評価を高精度化するために、地震波を発生する震源からその伝搬経路、地盤応答や建物の脆弱性までを総合的に考慮したリスク評価手法の構築を進めている。このリスク評価手法は他の巨大地震に対しても適用可能であろう。今後は、発信すべき情報の内容や発信方法の検討が必要である。また、重点的研究である地震発生の新たな長期予測、地殻活動モニタリングに基づく地震発生予測の各研究課題や拠点間連携研究に含まれる研究課題など、本総合研究と関連の深い研究課題との連携をさらに深めることも必要である。

首都直下地震は、第1次計画においても総合的な研究として実施されたが、想定される地震が多岐にわたり震源モデルを絞り込むことが難しいことから、対象とする地震像の明確化が課題であった。現行計画では、具体的な地震像を描くことを目指し、安政江戸地震を対象として歴史資料に基づいて被害分布を明らかにするとともに、被害分布の検証と定量化を目的とする臨時地震観測を実施した。また、関東平野を中心とした強震動即時予測手法の開発を進めるとともに、防災リテラシーの観点から災害情報に関する住民調査やキャンペーン報道の学習効果を検討した。本総合研究により首都直下地震に関連する新たな知見が蓄積されつつあるものの、地震像が明確でないために、分野間の具体的な議論が進めにくい状況になっている。具体的な震源像を明らかにする方法について研究者間で議論を継続するとともに、震源像が定まらない場合の研究方針を検討する必要がある。

千島海溝沿いの巨大地震については、地震発生の切迫性が高く、特に津波による被害が予想されることから、地域防災力の向上に力点を置いた研究として新たに総合研究の対象とされた。津波堆積物調査により過去の発生時期を明らかにするとともに、地震活動静穏化に基づく切迫性の

評価を行っている。海底地殻変動観測を実施するとともに、M8以上の地震を対象とする迅速な浸水域予測手法を開発した。また、避難訓練可視化システムを開発し、避難訓練の学習効果を高めると共に、地域防災力向上を目指す普及啓発活動をおこなった。災害軽減を進めるためには、地殻活動評価の結果からどのように地震・津波ハザードを評価し、得られた予測情報の不確実性を考慮しつつ避難活動につなげることが重要であり、複数分野にまたがる体系的な取り組みが必要であることから、総合研究という仕組みを今後も活用する必要がある。

桜島噴火は、第1次計画においても総合的な研究として実施され、分岐判断基準の定量化や降灰予測のための新技術開発などの成果があった。現行計画では、住民避難を伴う大規模噴火を中心に研究を進め、火山噴火予測の高度化、定量化につながる火山活動推移モデルが試作されたことに加え、モデルから予測される噴火シナリオにもとづく避難訓練の実施や問題点の整理、住民の意識調査の実施など、災害軽減に向けたより具体的な取り組みを進めた。この成果は他地域でも大いに参考になると考えられる。一方で、火山活動推移モデルは試作段階であり、これをさらに高度化してより具体的かつ効果的な避難計画の策定につなげるためには、今後も同様の総合研究を継続することが必要である。

高リスク小規模噴火については、平成26年の御嶽山噴火や平成30年の草津白根山の噴火発生により、小規模な噴火であっても大きな人的・物的被害が起こり得るという点が社会的に認識されたことを受けて現行計画から新たに始まった総合研究である。小規模噴火が発生する場を理解するため、地下浅部の熱水系を対象とした各種調査が行われ、地下の比抵抗構造と噴火発生位置の関係や、過去に小噴火を発生させた小火口分布と年代などが明らかになった。また、住民や登山客及び観光客に防災情報を伝える役割を担う火山防災ハンドブックなどの記述が、小規模噴火に関しては十分でない場合があることが指摘された。研究対象となる小規模噴火は、データの収集が難しく科学的な研究の対象とすることは容易ではないが、噴火発生時に起こり得る災害の重大性に鑑み、現象の理解や災害発生の社会的要因に着目し、課題の洗い出しと研究の方向性を示すことを目標として実施されている。研究対象の適切な選定を通じて、今後の観測研究計画においてより具体的な研究課題の設定につながる成果が得られることが期待される。

現行計画においては、以上のように5つの対象について総合的な分野横断型の研究が進められている。南海トラフ沿いの巨大地震や桜島大規模噴火のように第1次計画に引き続き実施され順調に成果が得られているものや、首都直下地震や千島海溝沿いの巨大地震のように明確な成果が得られるためには長期的な取り組みの継続が必要とされるもの、高リスク小規模火山噴火のように新たに開始されたものの研究の方向性を示すことが当面の目標となるものなど、各総合的研究の進展段階には大きなばらつきがある。しかしながら、現象の解明・予測から災害軽減につながる取り組みまでを総合的に取り扱うことにより災害軽減へ貢献するという目標は共通であり、桜島大規模噴火のように、現象の解明や予測研究の成果が実際の災害軽減に向けた具体的な取り組みにつながっている事例もある。今後も総合的研究という分野横断研究を実施する仕組みを維持し、進展段階を考慮して、研究対象や研究の方向性の明確化などの必要な改善を加えつつ、研究を進めていくことが望まれる。

#### (拠点間連携共同研究)

地震火山観測研究と防災学の成果を融合することで災害軽減に資することを目標に、「地震・火山科学の共同利用・共同研究拠点」である東京大学地震研究所と「自然災害に関する総合防災学の共同利用・共同研究拠点」である京都大学防災研究所が連携する拠点間連携共同研究が平成26年度に始まった。拠点間連携共同研究の推進のため、地震研究所と防災研究所は拠点間連携共同研究委員会を設置し、あらかじめ設定された研究テーマへの参加者を募る「重点推進研究」の内容を検討するとともに、現行計画の趣旨を踏まえた研究テーマをボトムアップで募集する「一般課題型研究」の審査を行っている。直近の重点推進研究では、巨大地震のリスク評価の不確実性評価がテーマに選ばれ、震源過程、地震波伝播経路、地盤構造、構造物等についてそれぞれが持つ不確実性が最終的なリスク評価の不確実性にどう影響するかが検討された。一般課題型研究では、災害誘因の事前評価、即時評価及び災害誘因予測を災害情報につなげる研究の3テーマについて公募が行われ、災害誘因予測に関する様々な成果が得られている。拠点間連携共同研究委員会は、地震研究所と防災研究所の教員のほか、予知協議会と防災研究所自然災害研究協議会から推薦された委員等から構成され、多面的な意見を考慮し、適切に運営されている。また、拠点間連携共同研究委員会から推薦された委員が予知協議会企画部戦略室に参加することにより、拠

点間連携研究の成果を計画全体の中で適切に位置づけることができている。

拠点間連携共同研究の仕組みによって巨大地震のリスク評価における不確実性をどのように取り扱うべきかという方向性が示された。また、災害誘因予測に関して、斜面崩壊に関する研究など、今後の研究のシーズとなり得る多様な研究テーマが立ち上がった。参加研究者からの自主的な提案のみでは、特定の研究分野に研究者が集まる一方で研究計画全体にとって重要な研究テーマが抜け落ちることにより、研究分野の偏りが生じる恐れがあった。拠点間連携共同研究において適切な研究分野を対象とする公募は研究分野の偏りを防ぐ効果があり、本観測研究計画にとって不可欠な仕組みと言える。

#### （研究基盤の開発・整備）

全国をカバーする高感度地震観測網や GNSS 観測網などの観測網に加え、近年は海域の観測網整備も進み陸海統合地震津波火山観測網が安定的に運用されている。火山観測においては、多項目観測や機動観測が行われ多様なデータが得られている。衛星 SAR 観測データや、地下水等総合観測網のデータ、その他重力や熱学的観測など多様なデータも蓄積されつつある。また、全国的な観測網を補う観測網や機動観測も進められている。火山の火口付近や離島、海底など観測が難しい場所での観測技術や宇宙線を用いる新たな地下探査手法の開発、光ファイバーを用いる新たな観測手法開発など様々な新しい観測技術の開発も進んでいる。データを安定的に配信するデータ流通システムやデータの保存・公開に活用するデータベースの整備も進む。データの新たな解析手法の一つであるデータ同化やデータのリアルタイム処理に関する新たな手法が開発され、即時的予測への活用が始まっている。データ処理ツールの開発やその公開も進み、高度なデータ処理を多くの研究者が手軽に行うことができる環境が整いつつある。生データだけではなく、震源データなどの処理済みデータの公開も進み、多様な研究へ活用されている。活断層や津波堆積物等のデータベース整備や火山に関する基盤的な地質情報図及び災害情報図、海域火山の基礎的な情報など様々な研究基盤の整備が進む。

地震・火山現象の解明や予測、災害誘因予測の成果は長年にわたり整備が進められてきた観測網のデータに負うところが大きい。現在の観測機器には 20 年以上を経過したものが多いため、現代のデジタル通信環境に対応した新しい機器に計画的に更新する必要がある。また、広域災害を想定し、電源や通信網の冗長化も考慮しなければならない。一方で、観測網の安定的な運用や様々なデータベースの維持管理には膨大なコストがかかることから、ハードウェアの低コスト化、省力化、長寿命化、通信コストの低減などを目指す技術開発が必要である。さらに、観測基盤を維持する人材の育成や技術情報の共有による全体コストの低減など、長期的に安定して運用するための新たな仕組みを検討する必要がある。

同質のデータを長期間継続して取得蓄積することは地震・火山観測研究にとって不可欠であり、従来型の観測の継続を求める声は強い。しかし、研究の進展にともない従来とは異なる新たなデータの取得が求められる場合も多い。従来型の観測を全て継続しつつ新たな観測を実施することは現実的ではないことから、従来型の観測を対象とした取捨選択が不可欠である。従来型の観測を新たな観測に切り替える場合、データの連続性を可能な限り維持する必要がある。そのためには、従来型のデータと新しいデータの比較検討を行い、新たな観測の有意性を確認しつつ、徐々に従来の観測から新たな観測に切り替えていく必要がある。

多点観測への必要性が増していることから、定常的な観測を補って多点の機動的観測を実施するための機材や人員の協力体制に関する検討も進める必要がある。

蓄積が進み大容量化したデータを効率的に解析する新たな手法開発が必要である。データの多様性が高まる一方で、解析を実施する研究者の数はそれほど増加が見込めないことから、非専門家でも扱うことのできる解析ツールの開発や、専門外の研究者であっても活用できる段階まで処理が済んだ一次処理データの公開体制の構築などを検討する必要がある。

#### （関連分野との連携）

第 1 次計画から始まった文理融合は、初めは手探り状態であったが、第 2 次計画である現行計画からは理学、工学、人文・社会科学の関連分野の相互理解が進み、連携の強化もが進んだ。また、情報科学、計算科学の近年の進展は目覚ましく、長年蓄積された観測データから機械学習により新たな情報を抽出する試みも盛んにおこなわれている。東京大学では文理融合研究の象徴として地震火山史料連携機構が設立され、歴史研究者と地震研究者による共同研究が進んでいる。

異分野の融合を進めるため、様々な分野の研究者が参加する研究集会や勉強会が行われ、さらに自治体や企業などとの連携によるリアルタイム被害予測システムも開発された。このように、第2次計画に入り関連分野との連携は徐々に強化され、具体的な成果も次々と生まれている。今後もこの方向性を強化しつつ、観測研究計画を推進すべきである。

#### (国際共同研究・国際協力)

地震・火山現象の理解には数多くの事例研究が必須であり、国内の研究のみでは十分とは言えない。日本と同じ沈み込み帯に位置するニュージーランドや、プレート境界に近いメキシコ・チリなどとの協働による観測研究が進められている。火山分野においては、活動的な火山を数多く有するインドネシアとの共同研究が盛んである。逆に、海外の研究者を招聘し、日本の代表的活火山である桜島での国際共同研究も実施されている。国際共同研究は観測研究に限らない。歴史地震データの国際化や情報科学技術に関する国際シンポジウムも実施されている。気象庁や国土地理院、海上保安庁、産業技術総合研究所もそれぞれ国際機関とのデータ共有や広域かつ長期間の観測が求められる分野での国際共同研究が活発におこなわれている。次世代火山研究推進事業で開発されたデータベースである JVDN システムは国際的なデータベースである WOV0dat とのフォーマット共有化による知見の共有を進めている。また、参画機関の多くは海外留学生の受け入れや外国人研究者の招聘を実施しており、国際的な人的ネットワークの交流も進んでいる。

このように、現行計画への参加各機関は国際共同研究・国際協力を積極的に進めている。大規模な地震や火山噴火現象は世界的にも事例が少ないため、2004年のインドネシアにおけるスマトラ地震や2019年にニュージーランドのホワイト島で発生した噴火災害事例の知見は国際的な協力を通じて、現行計画の推進にも生かされていることから、今後も国際協力を積極的に進めることが不可欠である。

#### (教育・人材育成)

大学や研究機関はそれぞれが若手教員のポストの確保に努めている。予知研究協議会でも、現行計画からは特任研究員を雇用できる予算を確保し、数としては年1～2名と多くは無いものの毎年雇用できており、その後は大学や研究機関へのキャリアパスとなっている。しかしながら、これらの多くは任期付きポストであり、人材の受け皿としての機能は十分ではない。大学の修士課程・博士課程を通じて地震・火山・防災等の専門教育を受けた学生は、大学や研究開発法人、気象庁などの研究職や専門職へ就職するものばかりではなく、行政機関や自治体、コンサルタント会社に就職し、防災に携わる立場になるものもある。研究者の安定したポストが限られていることを反映して博士課程進学者が減少していることに鑑み、大学は、研究者の養成という視点に加え、例えば防災に携わる専門家を養成するという視点など、より多様な観点に立った教育を行うことで多様な就職の選択肢を示す必要があるのではないだろうか。

火山分野においては平成28年から次世代火山研究・人材育成総合プロジェクトが始まり、火山防災を担う人材の育成を目的とした火山研究人材育成コンソーシアム構築事業が立ち上がっている。現行計画の実施機関の多くもこのコンソーシアムに参加し、受講生にフィールド実習や講義を提供することにより人材育成の一端を担うほか、毎年成果報告会には多くの受講生が参加している。このような事業と引き続き協力し、人材育成を促進することが重要である。

### 4. 現行計画の総括的評価と今後の展望

総括的評価としては、始めに第1次計画の外部評価における指摘事項に対する現行計画での対応状況を述べ、次に、現行計画で新たに設定した重点研究の評価、現行計画から新たに開始した研究項目の評価、現行計画で拡充した分野横断型の総合研究に対する評価を述べる。続いて、中長期的な展望の下で複数計画にまたがって体系的に取り組むべき課題の現行計画での進捗状況について述べる。

今後の展望としては、現行計画の研究の進展状況に鑑みて今後進めていくべき研究の方向性を述べる。

#### (総括的評価)

##### ○第1次計画に対する外部評価への対応

第1次計画は、地震学・火山学の研究成果を災害軽減につなげるために、災害や防災に関連す

る理学，工学，人文・社会科学などの分野の研究者と連携して推進するという方針転換後の最初の5か年計画であった。この第1次計画に関して平成29年7月にまとめられた外部評価においては，方針転換は適切でありその方針を一層推進する必要があると評価された。一方で，改善すべき点として以下の事項が指摘された。

- (1) 災害の軽減に貢献するための研究の一層の推進
- (2) 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
- (3) 研究目標と目標に対する達成度の明確化
- (4) 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
- (5) 火山の観測研究を安定して実施する体制の整備

これらの指摘に対する，第2次計画での対応は以下のとおりである。

(1) 地震・火山現象の解明と予測のための研究，災害誘因予測のための研究及び現象の理解・予測を災害の軽減につなげるための具体的な手法について検討するために今期新たに追加した防災リテラシー向上のための研究をそれぞれ着実に実施し，防災リテラシー向上のための研修プログラム開発が進むなど多くの新たな成果が得られている。また，第1次計画から継続している災害誘因予測のための研究においても，自治体などを対象とする情報発信ツールの開発と実装が進んだ。

(2) 現行計画からは，文理様々な分野から7つの新たな機関が参加している。第1次計画においては異分野の研究者間の交流の機会が増し相互理解も大きく進んだものの，共同研究は萌芽的なものに留まるものが多かった。現行計画においては研究者間の相互理解も進み，共同研究につながる新たなデータの蓄積も進んだことから，共同研究による様々な具体的研究成果が得られた。例えば史料・考古のデータベース化が第2次計画において大きく進んだ結果，過去の地震・火山噴火現象に関する知見が飛躍的に増加し，過去の地震・火山噴火事例に基づく予測の精度の向上など異なる分野の連携が進んだ。また，異なる分野の研究者が一堂に会する成果報告会の実施や，それをまとめた成果報告書の作成を通じて，計画全体の中での各参加者の位置づけが次第に明確になり，各研究者の役割に対する理解が一層進んだ。分野間の役割分担がより明確になったことにより，分野間連携が一層進んだ。

(3) 現行計画では，将来の社会実装にむけて重点的に取り組む3つの研究を設定した。これらの研究が社会実装に向けてどれだけ近づいたかにより到達度を評価することができる。その他の研究課題においても，達成度評価の明確化に務めている。例えば史料・考古データの収集解析においては，収集すべき資料の範囲を事前に定め，テキストデータベースの構築という具体的な目標を定めることで，達成度を評価しやすくしている。火山に関する研究においても，地下構造を漠然と調べるのではなく，水蒸気噴火の発生につながる場の構造解明というより具体的な目標を設定した上で観測を実施することにより，達成度評価の明確化につなげている。その他の分野においても，研究対象と目標の設定をより具体的なものにすることで達成度評価の明確化に努めている。

(4) 社会に対しては，アウトリーチ活動を通じて防災担当者からのニーズ把握に努めている。研究者に対しては，成果報告シンポジウムに加え，複数研究グループによる合同会議を開くなど，多くの異なる分野の研究者が参加する研究集会を実施することにより，広い分野のニーズ把握に努めている。また，地震発生の長期予測手法に関しては，将来の地震本部による実装を目指した検討を進めるなど，研究成果が社会で実際に用いられることを意識して研究を進めている。

(5) に関しては，参加機関の連携やデータの共有化を徐々に進め，人的資源や観測資源の有効利用を進めることで研究の安定的な実施に向けた体制づくりを進めている。また，文部科学省が実施する次世代火山研究・人材育成総合プロジェクトとの連携を強く意識することにより，火山観測研究の安定的な実施に向けた取り組みを進めている。

このように，多くの項目では外部評価委員会からの指摘に答えることができていると言えるが，本レビュー執筆時点で十分ではない項目もある。それらについては，5か年計画の残りの期間において達成を目指すべきである。異なる分野間の連携強化に関しては，5か年を掛けてようやく相互理解が進み萌芽的な研究が始まるという時間スケールで進むものであり，5か年内での対応は困難であることから，より長期的な視点に立ち，今後の観測研究計画においても対応を継続すべきである。

## ○現行計画で強化あるいは新たに開始した研究

### ・重点研究

現行計画においては、重点的に実施する研究として（1）地震発生の新たな長期予測、（2）地殻活動モニタリングに基づく地震発生予測、（3）火山活動推移モデルの構築による火山噴火予測、の3つを指定している。

（1）については、過去の地震発生履歴に基づく従来の長期予測を改善し、データやモデルに基づく新たな長期予測手法の提案を目指しており、過去の発生履歴に加えて測地データ、地下構造、物理モデル、数値シミュレーションに基づく地震発生予測手法の開発を進めている。内陸地殻内地震に関しては測地データに基づく地震発生確率の試算も行われて有望な成果が得られ始めており、将来の実用化に向けた発生予測実験の実施が視野に入りつつあり、達成度は高い。予測実験の結果次第では社会実装にかなり近づくと考えられる。

（2）は中短期の時間スケールでの大地震発生確率を観測データに基づいて評価する手法を目指すものである。スロー地震の研究を通じてプレート間の滑り速度変化と地震発生の関連が明らかになりつつある。また、地震活動の統計解析に基づく地震発生予測手法にも進展が見られた。一方、研究対象となった事例に限られており、一般性がどの程度あるかについては今後も研究を継続しデータの蓄積と手法の検証を継続すべき段階であると考えられる。また、物理モデルの確立も急がれる。重点研究として指定したことにより研究が加速したことは認められるが、社会実装を目指し災害軽減に資するという目標に応えるためには研究のさらなる継続が必要と考えられる。

（3）は、これまでの噴火事象系統樹を高度化し、火山噴火の準備段階から噴火発生、噴火後の活動の変化、終息までを一体として扱うモデル構築を目指している。噴火頻度の高い桜島においてモデルのプロトタイプは構築できたと考えられる。このモデルを用い、限定的ではあるものの観測量に基づく定量的な噴火推移予測も試みられており、今期に目標としていた推移モデル構築は達成しつつある。桜島噴火への防災対応に活用が試みられており、社会実装を実現しつつある。今後は他火山への適用を目指した一般化などを進めることで火山噴火予測の向上が期待できる。

このように、重点研究として指定した3つの研究に関しては、社会実装を目指すという目標に対し、概ね期待した成果が得られつつあると考えられる。

### ・新たに開始した研究項目：防災リテラシーの向上に関する研究

地震・火山噴火現象に起因する災害に対する防災対策を有効に推進するためには、地震・火山に関する国民の基本的な理解を欠かすことはできない。そのため現行計画からは、社会の共通理解の醸成を効果的に行うための手法開発に関する研究を新たに開始した。災害は災害誘因が社会素因に働きかけることにより発生するが、その発生過程の解明に向けた文理融合研究の実施と、社会の共通理解の醸成や防災リテラシー向上にはなにが必要であるかを明らかにすることを目的とする。

江戸時代や明治時代におきた災害事例に関する史料にもとづく災害発生過程の研究や、東北地方太平洋沖地震を事例とする防災政策の効果の検証、住民の防災リテラシーの地域差など、防災リテラシー向上につながる新たな知見が得られている。また、火山地域においては、噴火を想定した実際的な避難計画の策定を自治体と共同で行うことで問題点を明らかにするとともに、社会への適切な情報発信手法の検討も進められている。また、防災リテラシーの向上を目指した教育プログラムの開発・実装も進められている。災害記憶の伝承に関する研究や避難訓練の効果的な実施に向けた知見の蓄積など、効果的な防災リテラシー向上手法が明らかになりつつあり、防災リテラシー向上に資する、という目標はある程度達成されつつある。

しかしながら、現行計画の他の研究項目とは研究対象が大きく異なるため、研究課題間の連携が不十分な点も見られる。第1次計画では手探りで開始した文理融合研究が、現行計画において軌道に乗り始めたように、新たに開始した防災リテラシー向上のための研究も次第に他の研究分野との連携・協力が進むものと考えられる。本研究項目は、他の研究項目の成果と社会とを橋渡しする役割を期待されており、今後この部会の重要性はますます高まることから、手厚いサポートを加えつつ、研究の柱のひとつとすべく育てていくことが必要であろう。

### ・分野横断型の総合的研究

分野横断型の研究として、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、の5つの総合的研究を実施している。そのうちのいくつかは異なる分野の成果をまとめることで新たな成果の創出に成功している。例えば、桜島大規模火山噴火においては、理学的研究による火山活動の理解とそれに基づく定量的予測、史料的研究に基づく過去の災害履歴の発掘、それらに基づく知見を活かし、地元自治体との協力による実地的な避難計画の策定の試みなど、単独の研究では得られない成果に到達している。一方、進展が見えにくい総合研究もある。例えば高リスク小規模噴火は、多くの分野にまたがる研究対象ではあるものの、個々の研究成果を融合し災害軽減につながるための方策が無い状態であった。現行計画においては、研究成果の融合に向けてどのような点を解決しなければならないかを明らかにする、という段階からスタートしたばかりであり、直ちに大きな成果を得ることは期待できないが、本5か年の終了までには、研究の方向性を具体的に示す段階に到達することが期待できる。

このように、5つの総合研究に関してはそれぞれ進捗の度合いが異なる。これまでの研究の蓄積が少ない場合や、克服が難しい課題を抱える場合は、サポート体制を強化したうえで継続することや、問題解決が困難な場合は総合研究としての実施を休止することも考えるべきであろう。いずれにせよ、分野横断型の研究を進めることで新たな成果を目指すという総合研究の仕組みは概ね順調に成果を出していると考えられ、今後とも改善を加えつつ活用すべきものと考えられる。

### ○中長期的展望に挙げられた項目の現行計画での進捗

地震や火山噴火による災害を軽減するための取り組みには、比較的短期間で進展し成果が期待できるものから、短期的な実現は難しいが時間を掛けて着実に進展させることによって大きな成果が期待できるものが含まれており、それぞれについて計画的に取り組み着実に実現していくことによって災害の軽減につながる。平成26年から始まった第1次計画では、中長期的な展望の下で体系的に取り組む内容を以下の4項目に整理した。

(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・減災対応を採ること。

(1)については、過去の長年の観測研究計画に基づいて災害事例の知見の蓄積がある程度進んでいたが、第1次及び現行計画においては史料記録のデータベース化に力を入れることにより、これまで見落とされがち、あるいは技術的に得ることが困難であった低頻度大規模現象に関する知見が大きく上積みされた。対象とする史料記録を限定し、史料記録の活用手法を確立することに重点をおく段階であったが、今後は、対象史料の限定をせずに網羅的にデータベース化する段階に移行すると考えられる。歴史記録や地質学的記録を蓄積しデータベース化するとともに、アクセスのしやすい形で公開することで国民や関係機関に広く知らしめ、災害事例研究に活用するという目標に着実に近づいている。(3)で述べる災害誘因の予測とその可視化も災害を広く知らしめるという点に寄与している。一方、研究が進むにつれて、起こりうる災害の規模や頻度がこれまでの想定を超えることが明らかになるなどの新たな知見も増えている。地震や火山噴火が引き起こす災害を網羅的に解明することは依然として困難であるが、災害現象の解明につながる研究の継続により知見を増やすことは今後も必要であろう。また、国民や関係機関に効果的に情報を伝え理解してもらうためには社会の共通理解の醸成や防災リテラシー向上が必須であることが明らかになってきたことから、関連する計画が現行計画より開始された。しかしながら、防災リテラシー向上に関する研究はようやく緒に就いた段階であり、性急な成果を求めることなく、他分野との連携を徐々に育みながら継続・発展を目指すべきであろう。

(2)については、データの蓄積により地震や火山噴火の発生頻度や規模に関する知見が増え、地震動や津波、降灰などのハザード予測の精度は大きく向上し、長期的な防災・減災対策につながる基礎的な情報は増え、防災担当機関へのアウトプットも徐々に進んでいる。一方、巨大地震

や大規模噴火の発生間隔は近代的な観測機器によるデータの蓄積がある100年程度の時間スケールよりも一般には長く、史料・考古データ、地質データ等の活用により過去の発生履歴を明らかにする必要がある。第1次及び現行計画により整備が進むデータベースの活用が進み、長期的な予測に繋がりがつあるものの、今後もデータベースの充実に向けたデータ蓄積の努力が欠かせない。また、得られた情報を地震・火山噴火の長期予測に利用する方法の開発、長期予測に基づく災害誘因予測の検討も必要である。

(3)については、近年、地震や火山噴火の発生直後にその規模を即時的に把握する技術が進展し、緊急地震速報のように実用化がなされたものもある。第1次及び現行計画を通じて、海底観測網のデータを用いた津波規模の即時把握と浸水予測も実用化に近づきつつある。火山噴火直後に噴煙高度を気象レーダのデータから推定する手法の開発や突発的な水蒸気噴火の直前に山体膨張や微動の発現などの前兆現象も捉えることに成功した。一方、即時的な予測が実現できている災害誘因はまだ限られ、また精度にばらつきがあり、必ずしも直ちに万全の防災対策に対する情報を提供できるレベルにあるわけではない。即時予測することができる災害誘因の種類を増やすと共に予測精度の向上や予測時間の短縮など、今後克服すべき技術的課題は多い。どのような情報をどのような精度・時間で発信できるのか、それ自体が社会に伝えるべき重要な情報である。また、災害誘因の即時予測結果を社会に発信する際には社会の防災リテラシーがどのような段階にあるかに配慮する必要がある、現行計画より始まった防災リテラシーの向上に関する研究との連携が欠かせない。上記(1)とともに継続・発展を目指すべきである。

(4)について、地震分野では地殻変動データから推定したひずみ蓄積に基づく内陸地震発生長期評価予測手法に関する研究は順調に進んでいる。火山噴火予測に関しては、観測網が充実したことと多くの火山での多年のデータの蓄積が進んできたことから、経験に基づく予測研究として火山活動推移モデルや事象分岐の論理的判断基準が研究されている。ある程度の規模の噴火発生についてはその危険性が定性的に評価されるようになり、気象庁により噴火警戒レベルの発出という形で防災・減災対応が取られている。噴煙挙動や火山灰降下などのシミュレーション技術も進み、災害誘因の予測技術は着実に進歩している。しかしながら、防災・減災対応にとって重要な情報である噴火規模や推移予測に関しては経験則に頼っており、より適用性・信頼性が高い観測データと物理モデルに基づく定量的な予測はまだ実用化の目処は立っておらず、基礎研究をしっかり行う必要がある。また、予測結果を発信する際に防災リテラシーに配慮する必要がある点は(3)と同様であり、(1)との関係も同様である。

以上、中長期的展望に記された各項目に関しては、それぞれの進展状態はまちまちであるものの、第1次及び現行計画を通じて着実に進んでいる。今後も社会実装につなげる段階を目指して、着実に継続する必要がある。特に現行計画から始まった防災リテラシー向上に関する研究は、他の研究成果を社会に発信し災害軽減に真に役立てるという目的にとって欠かせないのものであり、他の研究項目との連携を強化しつつさらに発展させる必要がある。

#### (観測研究計画の今後の方向)

現行計画では、地震・火山現象の発生や推移、発生場の解明に関して様々な現象が発見されており、例えば、スロー地震の応力载荷により大地震が誘発されたと考えられる事例の観測など、発生予測につながる基礎的な知見が増えている。地震・火山現象の解明は、発生予測や災害誘因予測など災害軽減に貢献する研究全ての基礎になるものであり、観測の長期的な継続は言うまでも無く、時空間的な分解能を上げるための観測・解析手法の開発と高度化、実験や理論的な研究の推進を継続することが求められる。

史料・考古資料の分析、地形・地質調査は、近代的観測が開始する以前の地震・火山噴火現象を理解し、将来の活動推移の予測に資するものとして重要である。データの蓄積は着実に進み過去の地震・火山噴火現象に関する新たな知見が得られつつあることから、今後もこれらの研究を継続すべきである。史料・考古・地形・地質のデータは断片的である場合が多いことから、これらを統合的に整理し、さらに近年の観測データと組み合わせることで解釈することが必要であろう。また、このようにして得られる統合データに基づいて、地震・火山噴火現象に対する人間・社会の応答に関する文理融合研究などを広範に展開することが期待される。

地震・火山噴火現象の発生予測の研究は、現象解明の成果を災害軽減という観測研究計画の大きな目的につなげる重要な役割を担っている。地震発生予測に対しては、観測と物理モデルに基

づく地震発生予測研究が重点的に進められており、次の段階としては、予測モデルと手法の高度化をさらに進めると共に、社会実装を目指して手法を検証することを目的として、比較的短期間で繰り返されるスロー地震や繰り返し地震などを対象に、滑り発生の予測実験を試行的に行うことなどが考えられる。

火山噴火予測に対しては、火山噴火の準備過程から、発生・推移変化・終息までを一連の現象として捉えることにより予測の高度化を目指す火山活動推移モデルの構築が重点研究として進められている。今後も、データの蓄積と火山現象の物理・化学的理解を進め、火山活動推移モデルに基づく予測手法の開発を継続すべきである。その際、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で構築が進む多項目データベースの活用が有効であろう。火山の状態を定量的に評価する指標の開発が進んでいることから、いくつかの火山を対象とした試行的な噴火予測実験を視野に入れることも検討すべきである。

観測研究計画を社会の防災・減災に貢献する実用科学として推進するため、災害誘因の評価や災害リスク評価の研究を強化してきた。災害誘因予測に関しては予測精度やリアルタイム性が向上し、手法のいくつかは社会実装に近づきつつある。予測結果に必然的にもなう曖昧さを対象とする研究は社会実装に向けて避けて通ることができないものであり、今後も力を注ぐべきである。

現行計画においては、分野横断型の総合的研究の枠組み、及び、拠点間連携研究の枠組みを使って、現象から災害誘因、災害リスク、防災リテラシーまで幅広い分野の研究者が知見を共有する場ができており研究成果の連携も進んでいる。しかしながら、協働による研究成果はまだ限定的であり、必ずしも各分野の最新の成果が災害誘因や災害リスクの評価に反映されていない場合もあることから、協働の強化に一層取り組むべきである。

このように、現象解明、発生予測、災害誘因リスクの予測、防災リテラシーの各分野の研究において災害軽減へつながる道筋が見えており、今後は現行計画での成果に基づいて、第1次計画から続く方針をより一層強化・推進すべきと考える。社会の減災対策への実用化という点での到達度は研究テーマによりさまざまであるため、今後もその到達度や重要性に鑑みて重点的に行う研究テーマを設定し、中長期的な推進体制をとる必要がある。

## 5. まとめ

第1次計画においては、地震・火山現象の解明や予測による成果を国民の生命とくらしを守る災害科学の一部として推進するという大きな方針転換がなされた。地震学や火山学を中核としつつ、災害や防災に関連する理学、工学、人文・社会科学などの関連研究分野の研究者が計画に参加し、協働して計画が実施された。一方で、地震学・火山学と関連研究分野との共同研究は萌芽的なものが多い状態に留まっていた。方針転換後の第2次計画として始まった現行計画においては、文理融合型の研究を促進し異分野間の連携をさらに強化することを目指し、新たに防災リテラシーの向上に関する研究を開始した。また、現象の理解とそれに基づく予測を災害の軽減に役立てるために分野を跨ぐ総合的な研究についても研究対象を追加した。

参加機関の追加や拠点間連携共同研究の実施など第1次計画で行った推進体制の変革については、開始当初は十分に機能しない場合もあったが、第2次計画である現行計画からは順調に機能しており、研究の推進においてなくてはならない仕組みとなっている。災害科学の一部として実施するという方針についても現行計画に入り参加者への浸透が進んでおり、第1次計画では萌芽的段階に留まっていた研究が多かったことに比べ、第2次計画では具体的な成果が生まれつつある。

第1次計画期間中の平成28年に発生した熊本地震では最大震度7の揺れが2度発生し、本震—余震型の地震活動を想定することの危険性が明らかになった。平成30年の北海道胆振東部地震では斜面崩壊により著しい被害が生じ、斜面崩壊のメカニズムに関する研究が進んだ。平成30年の草津本白根山噴火ではスキー場に落下した噴石による死傷災害が発生し、小規模噴火であっても大きな被害を生じ得ることがあらためて認識された。これらの地震・火山現象はその後策定された第2次計画を象徴するものであったと言える。その研究を通じ、災害の軽減に貢献するためには基礎的な研究成果に基づく地震や火山現象の理解が不可欠であることに加え、災害に関する情報のありかたに関して更に検討する必要があることが明らかになったからである。これらの現象はまた、地震・火山噴火に関する研究計画の実施においては柔軟性が非常に重要であることも教えてくれた。これらの事例が示すように、従来の想定を超える現象は往々にして発生することか

ら、新たな事象が発生した場合は、関連する研究テーマを臨機応変に計画に取り入れつつ研究を進めることが肝要である。

今後の観測研究計画においても、地震・火山現象の理解や予測につながる研究によって得られた知見を社会と共有し、それを災害軽減のために活用するためには何をすべきかという点を考慮した上で、計画を推進することが重要である。また、状況の変化に柔軟に対応できる体制を持つことも重要である。今後の展望に挙げられた研究テーマはいずれも、第2次計画の成果を踏まえ、それを発展させることを目指しているが、新たな知見を生み出すのみならず、得られた知見が社会で実際に活用されるまで責任を持つという姿勢を忘れることなく、かつ、柔軟性を持って研究を実施することが期待される。