

目次

I. はじめに	1
1. 背景	1
2. 本レビューの目的	1
II. 「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画（第 3 次）」の基本的な考え方	2
1. 地震火山観測研究計画のこれまでの経緯	2
2. 現行計画の基本的な考え方	3
III. 令和 3 年 4 月から令和 8 年 6 月までに発生した重要な地震及び火山現象に関する観測研究の成果の概要	4
1. 主な地震	4
2. 主な火山噴火	8
IV. これまでの成果と課題	10
1. 観測研究の成果と課題	10
1. 1 地震・火山現象の解明のための研究	10
1. 2 地震・火山噴火の予測のための研究	13
1. 3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究	16
1. 4 地震・火山噴火に対する防災リテラシー向上のための研究	18
1. 5 分野横断で取り組む地震・火山噴火に関する総合的研究	19
2. 研究を推進するための体制の整備状況と課題	22
V. 総括的評価と今後の展望	28
1. 第 2 次計画に対する外部評価への対応	28
2. 現行計画で強化した研究	29
3. 中長期的展望に挙げられた項目の現行計画での進捗	31
4. 観測研究計画の今後の方向性	34
VI. まとめ	36

I. はじめに

1. 背景

日本列島はプレート沈み込み帯に位置することから、有史以前から何度も大地震や火山噴火に見舞われてきた。これらの大地震や火山噴火は、多様で豊かな自然環境をもたらした一方、多くの人命を奪い、歴史的に我が国の社会・経済に大きな影響を及ぼしてきた。地震や火山噴火による災害を軽減し、国民の生命・財産を守るためには、自然現象である地震・火山噴火への科学的理解を深めるとともに、災害誘因の予測や災害発生の仕組みの理解も進め、得られた知見を災害軽減に役立てるための方策を探りつつ対策を立てる必要がある。地震・火山噴火現象は、永続する地殻活動を背景とし、その結果として生じる短期的・急激な現象である。そのため、地殻活動の長期的・多角的な観測と蓄積されたデータに基づく地震・火山噴火のメカニズムの解明が、将来の地震・火山噴火の発生や災害誘因の発生の予測の鍵となる。さらに、災害発生メカニズムの解明の研究、地震・火山噴火災害の履歴や将来予測といった知見が有効活用されるためには、社会の防災リテラシーの向上に資する研究も不可欠である。

我が国においては、地震及び火山噴火の予測により災害軽減に貢献することを目指して、測地学審議会（現在の科学技術・学術審議会測地学分科会）の建議に基づき昭和 40 年度から地震予知計画が、また、昭和 49 年度から火山噴火予知計画が開始され、それぞれ複数回の計画として実施された。平成 21 年度からは、背景となる地球科学的条件の共通性に鑑みて地震予知と火山噴火予知の計画が統合された。これらの観測研究計画等によって、地震及び地殻変動の全国的な稠密観測網、活動的火山における高密度多項目観測網が構築され、多様な地震・火山噴火現象が捉えられ、様々な地殻活動や地殻構造との関連に関する理解が進んだ。平成 26 年度から実施された「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、平成 23 年の東日本大震災の発生を踏まえた方針転換を行った。その結果、地震・火山噴火の発生予測を目指す研究を継続しつつ、研究対象を地震・火山噴火による災害誘因の予測にまで広げた上で組織的・体系的に進めることとなった。この方針を引き継いだ第 2 次計画に対する外部評価では、災害の軽減に貢献するための地震・火山観測研究をより一層推進し、基礎研究の継続と深化を前提とした科学的アプローチによって防災・減災につなげることが求められた。この外部評価を受けて科学技術・学術審議会は、「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画（第 3 次）の推進について」を令和 5 年 12 月に建議し、令和 6 年度から現行計画が開始された。

2. 本レビューの目的

本レビューの目的は、「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画（第 3 次）」（以下「現行計画」という。）について、研究目標に対する達成度に加え、新たな展開から得られた成果やその発展性も含めて、計画が適切に進捗しているかを総括的に自己点検し、今後の観測研究計画の検討に資することである。また、重点研究における社会的要請を踏まえた研究の進展や、分野横断で取り組む総合的研究における理学、工学、人文学・社会科学の連携の進展についても点検する。

本レビューの構成は次のとおりである。Ⅱ章では、地震火山観測研究計画のこれまでの経緯を振り返るとともに、現行計画の基本的な考え方をまとめる。Ⅲ章では、近年発生し現行計画で扱った重要な地震と火山噴火に関する研究成果を取りまとめる。Ⅳ章では、現行計画の項目ごとに成果を取りまとめ、それぞれについて今後の展望を検討する。また、研究を推進するための体制の整備状況について述べる。Ⅴ章では、計画全体を総括的に評価し、課題を検討することにより、今後の地震火山観測研究計画の方向性などを述べる。

Ⅱ. 「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画（第3次）」の基本的な考え方

1. 地震火山観測研究計画のこれまでの経緯

プレート沈み込み帯に位置し、古くから大地震や火山噴火による災害に見舞われてきた我が国では、地震及び火山噴火の予知の実現を通じた災害の軽減を目指し、測地学審議会（現在の科学技術・学術審議会測地学分科会）の建議に基づいて、昭和40年度から地震予知計画が、昭和49年度から火山噴火予知計画が開始され、複数次の5か年計画として実施されてきた。

地震予知計画については、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、地震現象の理解は大きく進展したものの、平成7年の阪神・淡路大震災を契機に行われた総括で、前兆現象の捕捉のみに基づく地震予知には限界があると結論づけられた。これを受けて平成11年度からは方針を転換し、地震発生の物理過程の解明とモデル化に基づき地殻活動の推移予測を目指す「地震予知のための新たな観測研究計画」を開始した。

火山噴火予知計画については、平成20年度の第7次計画終了時までに、活動的火山における高密度・高感度・多項目の観測網の整備が進んだ。火山体内部構造やマグマの上昇・脱ガスなどの噴火過程に関する理解が進展した結果、観測体制が充実し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った。平成12年の有珠山と三宅島の噴火は過去の経験則に基づいて噴火前の情報発信に成功した事例であるが、噴火発生の物理・化学モデルは確立しておらず、噴火様式や規模あるいは推移までは正確に予測できなかった。

地震と火山現象は、地球科学的背景や観測研究手法に共通する部分が多い。必要な観測網とデータを有効活用しつつ、地震と火山の相互作用や物理過程の理解を深めるため、平成21年度から両予知計画を「地震及び火山噴火予知のための観測研究計画」に統合した。

以上のような長年の取組により観測体制の整備が進み、発生機構などの理解は大きく進んだものの、信頼性の高い地震・火山噴火の発生予測は簡単ではないことが次第に明らかになった。地震については、その規模や一定期間内の発生確率を予測する長期評価には大きな不確実性が伴い、短期的な発生予測も実現していない。火山現象についても、経験則が成立する場合以外は、噴火の規模・様式・推移の予測は依然として困難であった。

こうした状況下で、平成23年に東北地方太平洋沖地震が発生し、死者・行方不明者が約2万人にのぼるなど大きな被害がもたらされた。それまでの観測研究計画では、このような超巨大地震の発生はある程度検討され、強震動や津波など、災害を及ぼす外力たる「災害誘因」に関する研究も行われていたが、結果的には十分でなかった。平成24年10月にまとめられた外部評価では、地震や火山噴火に関する観測研究への社会的な要請自体は極めて強いとされたが、それまでの計画では社会の防災・減災に十分に貢献できておらず、国民の命を守る実用科学としての研究の推進、低頻度かつ大規模な地震及び火山噴火の研究の充実、中長期的なロードマップの提示、社会要請を踏まえた研究と社会への関わり方の改善などが求められた。これを受け、5か年計画途中の平成24年11月に計画内容の部分的見直しを建議した。さらに、平成25年1月に公表された「東日本大震災を踏まえた今後の科学技術・学術政策の在り方について（建議）」では、地震学・火山学分野だけでなく工学分野や人文学・社会科学分野を含めた災害科学としての学際的研究の必要性が指摘された。これに基づいて平成26年度に観測研究計画の抜本的な見直しを行い、「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画」（以下、「第1次計画」）を開始した。

第1次計画では、機器による観測が導入される以前の地震・火山噴火の解明のために、

歴史学・考古学分野の研究者，災害や防災に関連する研究を推進するために工学や人文科学・社会科学分野の研究者が新たに参加した。従来からの地震学・火山学研究者との連携により，地震・火山現象の理解に加えて，それらがもたらす災害誘因を知り，研究成果を災害の軽減につなげることを目指した。また，東北地方太平洋沖地震，南海トラフの巨大地震，首都直下地震，桜島火山噴火については，研究区分を横断して総合的に実施することとした。

第1次計画初年度の平成26年に発生した御嶽山噴火は，死者・行方不明者63人という戦後最悪の火山災害となった。これを受け測地学分科会地震火山部会では，平成26年11月にこのような突発的な水蒸気噴火に対処するために必要な課題を整理し，以後の火山観測研究の体制や，方向性，戦略を「御嶽山の噴火を踏まえた火山観測研究の課題と対応について」にとりまとめた。

第1次計画の実施状況に関して平成29年にとりまとめたレビュー報告書と外部評価に基づき，「重点的に取り組む研究」の設定，「分野横断型の総合的研究」の拡充，「防災リテラシー向上のための研究」の創設などの改善を加えた上で，平成31年度から「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）」（以下，「第2次計画」）を開始した。第2次計画のうち令和3年6月までの実施内容については，令和4年2月にレビュー報告書をとりにまとめた。同年7月に受けた外部評価では，計画の妥当性，達成度，学術的意義，社会的貢献，改善事項などの観点から評価が示され，次期計画においても災害の軽減に貢献するための地震・火山観測研究をより一層推進し，基礎研究の継続と深化を前提とした科学的アプローチをもって防災・減災につなげる姿勢で臨むべきと総括された。一方で今後改善すべき点として，分野間連携の更なる強化や防災リテラシー向上研究の目標の明確化・情報発信の強化，火山研究活性化促進のための地震研究との連携，人材育成への取組，研究成果の発信力強化，他施策や関係機関との連携などが挙げられた。

以上を踏まえ，令和6年度から開始された「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画（第3次）」（以下，「現行計画」）では，「分野横断で取り組む総合的研究」を柱の一つとして明確化した。加えて，防災リテラシーの構成要素の検討，知識の体系化・理論化に力を入れるとともに，人材育成やデータベースの充実と利用促進，社会とのコミュニケーション活動の展開などを強化して計画を実施している。

2. 現行計画の基本的な考え方

平成31年度に始まった第2次計画では，地震・火山現象の解明と発生予測を目指す観測研究に加え，研究対象を災害誘因（災害をもたらす外力としての地震動，津波，火山噴出物，地すべりなど）の予測に広げるという第1次計画の方針を維持しつつ，新たに地震・火山噴火の防災リテラシーの向上に関する研究にも取り組み，減災への積極的貢献を目指した。従来からの参加分野である理学分野と，第1次計画から新たに加わった工学，人文学・社会科学分野との分野間連携は，第2次計画を通じて一層強化された。その結果，地震・火山現象の発生予測に関する研究だけでなく，その成果を活かして災害の軽減に貢献するという本研究計画の目的の実現を志向した研究が着実に進められた。しかしながら，地震・火山現象は複雑かつ多様であり，その予測には解決すべき課題が未だ多く残されている。また，防災リテラシーの向上に関する研究は，新たな知識体系の構築が進みつつあるが，実践手法の開発・改良に向けた努力も引き続き必要である。

現行計画では，第1次計画から継承してきた中長期的展望を踏まえ，観測研究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方針を引き続き堅持しながら，一層強化・推進している。その際，基礎研究の継続とさらなる深化を前提としたうえで，科学的アプローチをもって防災・減災につなげる姿勢をさらに明確化している。本計画の成果が社会において実際に利活用されてこそ災害の軽減につながることを意識し，

個々の目標を明確にしてその達成を目指すこととした。この目標を達成するために、現行計画では以下の6項目を実施項目の柱として、観測研究が推進されている。(1)

「地震・火山現象の解明のための研究」では、過去の発生履歴や観測データ等を基に、地震・火山現象の物理・化学過程や発生場の構造・応力・変形を明らかにし、低頻度大規模な地震・火山噴火を含む発生機構の解明とモデル化を進める。(2)「地震・火山噴火の予測のための研究」では、地質・歴史資料、地震・地殻変動等の観測、実験・数値計算を活用し、地震の長期予測や大地震発生後の推移予測、火山活動の定量的評価・予測手法を開発・高度化し、防災施策への活用を目指す。(3)「地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究」では、地震動、津波、火山噴出物、地すべり等の災害誘因について、事前評価及び発生後の即時予測手法を高度化するとともに、大地震の災害リスク評価や、受け手に配慮した効果的な情報発信に関する研究を進める。(4)「地震・火山噴火に対する防災リテラシー向上のための研究」、地震・火山災害の発生機構と社会的要因を解明し、災害軽減に必要な知識体系を構築する。行政機関や地域の関係者と連携して教育・研修プログラムを開発・実践し、社会の共通理解と防災リテラシーの向上を図る。(5)「分野横断で取り組む地震・火山噴火に関する総合的研究」では、災害科学上重要な地震・火山現象を対象として、研究分野を横断して知見や情報を統合することにより、総合的な理解と災害軽減に資する成果の創出を目指す。現行計画では、「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」、「内陸で発生する被害地震」、「大規模火山噴火」、「高リスク小規模火山噴火」の6つの総合的研究を実施する。(6)「観測基盤と研究推進体制の整備」では、地震・火山観測の安定的継続とデータ流通・利活用の環境を整備するとともに、分野間・機関間連携、国際共同研究、防災行政機関等との連携、社会への成果還元及び次世代の人材育成を進め、計画を持続的に推進する。

現行計画では分野横断で取り組む「総合的研究」(上記(5))を計画の項目に据え、理学、工学、人文学・社会科学が効果的に連携できるよう体制も充実させ、総合知により成果を創出することに重点を置いた。また、上記の実施項目の中で実施される様々な研究項目のうち、社会の課題解決に向けて着実な成果の創出が期待できる項目である「地震発生の新たな長期予測」、「火山の噴火発生・活動推移に関する定量的な評価と予測の試行」、「地震の災害誘因の即時予測手法の高度化」については、「重点研究」として集中的に取り組んでいる(図 地震I-1)。

Ⅲ. 令和3年4月から令和8年6月までに発生した重要な地震及び火山現象に関する観測研究の成果の概要

1. 主な地震

本節では、近年発生した地震のうち、令和3年度以降に地震発生過程の解明・地震発生予測の研究を進める上で意義深い成果が得られた地震や災害科学的に重要な地震を取り上げた。なお、令和8年熊本地震については、本レビューの対象期間外に発生したが、研究対象の重要性に鑑み、震源域周辺で地震に至る過程に関して成果が得られていることから追加資料に記載した。

1) 令和6年(2024年)1月1日 能登半島地震(M7.6)

能登半島北東部では、2018年頃から地震活動が活発化し、2020年12月頃からは石川県珠洲市を中心とする隆起を伴う顕著な群発地震活動となった。震源分布、地震波速度構造、比抵抗構造、地殻変動等の解析から、深部からの流体の移動とそれに伴う非地震性変形が一連の地震活動に重要な役割を果たした可能性が示された。2023年5月にはM6.5の地震が発生し、その後活動が低下しつつあったが、2024年1月1日にM7.6の地震が発生し、

最大震度7の激しい地震動により能登半島北部に甚大な被害をもたらすとともに、日本海沿岸の広い範囲に津波をもたらした。

M7.6の地震については、陸海域の地震観測、GNSS、干渉SAR、津波、重力等の多様な観測データを用いた研究が進められた。地震発生前には群発地震の震源が本震震源に向かって移動する現象（図 地震Ⅲ-1）や本震約1.5時間前からの前震活動が確認され、深部流体が震源付近まで移動していた可能性が示された。余震観測からは震源断層の3次元形状が明らかにされ、地震波形やGNSS等の解析から能登半島北岸付近に二つの大すべり域が存在することが示された。また、干渉SARや現地調査から能登半島北岸の顕著な隆起（図 地震Ⅲ-2）が捉えられ、海成段丘の存在から過去にも同様の隆起を伴う地震が繰り返した可能性が示された。動的破壊シミュレーションによっても大すべり域が再現され、3次元断層形状や応力場の把握が大地震の震源過程を事前に評価する上で重要であることが示された。能登半島北岸の海域には、一連の地震活動の発生以前から活断層があることが知られており、震源断層モデルの構築が行われ、地震活動の活発化以降は大地震の発生可能性が増加しているという指摘もあったが、群発地震がM7.6の大地震へ発展することを事前に予測することはできず、流体移動を含む地殻活動の推移を把握し、大地震への発展可能性を評価する手法の構築が重要な課題として残された。

2) 令和5年(2023年)2月6日 トルコ・シリア地震(M7.7, M7.5)

2023年2月6日(現地時間。以下同じ。)、トルコ南東部の東アナトリア断層系においてM7.7の地震が発生し、その約9時間後には近接するチャルダック断層でM7.5の地震が発生した。一連の地震は5万人を超える死者を生じる甚大な災害となった。この地震を対象として、地震活動、応力変化、干渉SAR、GNSS、地形・地質調査など多面的な研究が行われ、巨大な内陸地震の発生・連鎖過程について重要な知見が得られた。

M7.7の地震による静的応力変化の解析から、後続のM7.5の地震の震源付近では断層面にかかる剪断応力だけでなく法線応力が大きく変化しており、この地震の震源核形成に寄与した可能性が示された。また、クーロン応力変化と地震活動との比較から、断層端部で応力が増加して余震活動が集中する一方、過去の地震による応力変化を含めると活動が抑制されたと考えられる地域も認められ、複数の地震発生履歴を考慮した応力評価の重要性が示された。地震統計(ETAS)モデル、b値及びクーロン応力を統合した解析では、本震前の活動活発化と低b値が確認され、低b値域が破壊開始部の大すべり域と対応することも示された。さらに、長期間の干渉SAR解析から、地震間・地震時・地震後の断層すべり域が空間的に異なることや、今回破壊しなかったM7級地震を起こし得る領域が特定された。地震前後に同一地点で実施された断層のトレンチ調査では、過去の活動履歴の解釈方法を実際の地震断層によって検証する貴重な成果も得られた。これらは、内陸大地震の長期評価から地震発生時の連鎖的破壊、地震後の活動評価までを統合的に理解する上で重要な成果である。

3) 令和6年(2024年)8月8日及び令和7年(2025年)1月13日 日向灘の地震(M7.1, M6.6)

2024年8月8日に日向灘でM7.1のプレート境界地震が発生し、宮崎県日南市で最大震度6弱を観測するとともに、宮崎港で51cmの津波が観測された。この地震を受け、南海トラフ沿いの大規模地震発生可能性が平常時より相対的に高まったとして、「南海トラフ地震臨時情報(巨大地震注意)」が運用開始以降初めて気象庁より発表された。さらに2025年1月13日には、その北側でM6.6のプレート境界地震が発生した。

GEONETと大学によるGNSS観測網を用いた解析により、二つの地震の地震時すべり域は南北に隣接し、ほとんど重ならないことが明らかになった。また、2025年の地震のすべり域は1996年に発生した二つのM6級地震のすべり域と重なり、約28年を経て両領域が一度に破壊したと考えられる(図 地震Ⅲ-3)。さらに、2024年の地震に先行して2023年

後半から震源域深部でMw5.9のスロースリップ（SSE）が発生していたほか、地震後には震源域の浅部側及び深部側で余効すべりが進行し、その深部側の端付近で2025年の地震が発生したことが明らかになった。こうしたSSE、地震時すべり、余効すべり及び過去の地震のすべり域の空間関係は、プレート境界における地震発生過程を理解し、地震活動を評価する上で重要な成果である。また、海底光ケーブルを利用した分散型音響センシング（DAS）によって本震・余震を観測するなど、新しい観測技術の有効性も示された。一方、南海トラフ地震臨時情報に関する社会調査では、情報の認知度は高かったものの、日頃の備えの再確認という具体的行動には十分結び付かなかったことが明らかとなり、科学的評価を効果的な防災行動につなげる情報伝達のあり方にも課題が示された。

4）令和7年（2025年）トカラ列島近海の継続的地震活動

鹿児島県のトカラ列島近海では2025年6月21日から地震活動が急激に活発化し、7月31日までに震度1以上を観測する地震が約2200回発生した。地震の規模は最大でM5.6であるが、M5クラスの地震が複数発生し、7月3日の地震（M5.5）により悪石島で震度6弱を観測した。同地域では2021年や2023年にも群発地震活動が発生していたが、2025年の活動はそれらを大きく上回る規模となった。このため、島嶼部の地震観測点のオンライン化や広帯域地震計とGNSS観測機器の設置、海底地震計による臨時観測など、観測体制の強化が図られた。

陸域及び海底の地震観測データを統合した精密な震源再決定により、震源は深さ3～15kmの上部地殻内に分布し、主活動域では長さ約25 km、幅3～4 kmの明瞭な線状配列を示すことが明らかとなった。また、活動域が時間とともに移動する現象が捉えられた（図 地震Ⅲ-4）。地震波エネルギーの解析では、7月末までにM6.3相当のエネルギーが放出され、その大部分が活動初期に放出されたことが示された。さらに、臨時GNSS観測点、GEONET及び民間GNSS観測網を統合した解析により、小宝島では地震活動と同期して10 cmを超える顕著な地殻変動が検出された。この変位の大部分は地震によるものではなく、北西傾斜の正断層における非地震性すべりによるものと推定された。過去の群発地震でも地殻変動が同期していたことが確認され、非地震性すべりと群発地震活動との密接な関係が示された。一方、一連の活動のメカニズムについては火山性流体の貫入とスロースリップの関与を示唆する考えと、広域応力場を重視する考えがあり、群発地震の発生や推移の解明には、地震や測地観測を組み合わせた継続的研究が必要である。

5）令和7年（2025年）7月30日 カムチャツカ地震 M8.8（ロシア）

2025年7月30日（現地時間。以下同じ。）、ロシア・カムチャツカ半島東方沖でM8.8のプレート境界巨大地震が発生した。日本でも太平洋沿岸を中心に津波が観測され、岩手県久慈港では141 cmを記録した。津波は波源から直接到来した波だけでなく、天皇海山列や南米沿岸等で反射した波も長時間にわたり観測された。

この地震の震源域付近では1952年にもM9.0の巨大地震が発生しており、約73年という間隔で同規模の巨大地震が発生したことは、大地震の繰り返し過程を考える上で重要な課題を投げかけた地震であった。1952年と2025年の津波波形を北海道から福島県の検潮記録で比較したところ、第一波及び後続波群の到達時間、振幅、位相が類似していることから、1952年と2025年に巨大地震が再来し、両者の地震の規模の差は最大でも1.5倍程度であったことが示された（図 地震Ⅲ-5）。これは、歴史的な観測記録と最新の観測を組み合わせることで巨大地震の規模や繰り返しを検討できることを示す成果である。一方で、73年という短い発生間隔は、プレートの沈み込み速度と前回の地震からの経過時間では説明できず、大地震発生後にも解消されないひずみの分布などによって、地震発生間隔が変動する可能性が示された。また、津波警報を受けた住民の避難行動に関する社会調査では、自動車避難による渋滞などの課題に加え、津波警報発表後も避難しない住民が一定数いたことが明らかとなった。この地震により、巨大地震の発生機構

や遠くからの津波伝播に関する科学的知見が得られたが、得られた科学的知見を実効的な避難行動へ結び付けることの重要性が課題として示された。

6) 令和7年(2025年)12月8日 青森県東方沖の地震(M7.5)

2025年12月8日、青森県東方沖の深さ54kmでM7.5のプレート境界地震が発生し、青森県八戸市で最大震度6強を観測した。北海道から東北地方の太平洋沿岸を中心に津波が観測され、岩手県久慈港で64 cm、北海道浦河で50 cmを記録した。この地震を受け、根室沖から三陸沖にかけての巨大地震想定震源域では、新たな大規模地震の発生可能性が平常時より相対的に高まったとして、「北海道・三陸沖後発地震注意情報」が2022年12月の運用開始以降初めて気象庁により発表された。その後も地震活動は継続し、12月12日には本震の東方約60 kmでM6.9の地震が発生するなど、活動域は東西約100 kmに広がった。この活動域は1968年十勝沖地震の震源域北部に位置し、その南側には1994年三陸はるか沖地震(M7.6)の震源域が隣接している。

この地震及び周辺で発生した地震の強震記録を用いて、被害予測への応用が期待される周期別疑似速度応答スペクトルの距離減衰式の検証が行われた。その結果、地下の減衰構造を考慮した予測式によって観測値の空間分布を概ね再現できることが確認された。一方、震源に近い八戸では短周期成分について予測式との乖離が認められ、強震時における地盤の非線形応答の影響が示唆された。

また、「北海道・三陸沖後発地震注意情報」の発表前後に社会調査が実施され、情報の認知度は発表前の約30%から発表後には約80%まで上昇した。一方、M8以上の地震が一週間以内に発生する確率が発生する確率が1%程度であることについての認知度は約30%にとどまり、情報発表を受けて日頃の地震への備えを再確認する行動も限定的であった。初めて実際に発表された「北海道・三陸沖後発地震注意情報」に対する住民の認知や行動を把握した成果であり、不確実性を伴う地震発生情報を具体的な防災行動へつなげる上での課題が明らかになった。

7) 令和8年(2026年)4月20日 三陸沖の地震(M7.7)

2026年4月20日、三陸沖の深さ19kmでM7.7のプレート境界地震が発生し、青森県階上町で最大震度5強を観測した。北海道から東北地方にかけて津波が観測され、岩手県久慈港で79cm、北海道浦河で39cmを記録した。この地震を受け、2回目の「北海道・三陸沖後発地震注意情報」が気象庁より発表された。震源周辺では2025年11月頃から地震活動が活発化し、11月9日のM6.9、12月31日及び2026年3月8日のM6.1、3月26日のM6.7など、M6級の地震が繰り返し発生していた。活動域は北西-南東方向に約150kmにわたって広がり、4月20日のM7.7の地震はその北西側で発生した。この領域は1968年十勝沖地震の震源域南部に位置し、その北側には1994年三陸はるか沖地震(M7.6)の震源域が隣接している。

さらに、同年6月25日には岩手県沖の深さ44kmでM7.2の地震が発生し、青森県階上町で最大震度6強を観測した。この地震は1994年三陸はるか沖地震の最大余震である1995年1月7日のM7.2の地震に近接して発生した。一連の地震活動は、過去のM7~8級地震の震源域と隣接あるいは重なる領域において、M6~7級のプレート境界地震が時間的・空間的に連続して発生する過程を観測する重要な事例となった。

2回目の後発地震注意情報について実施された社会調査では、情報の認知度は約80%と高い水準を維持していた。一方、情報を受けて避難場所や避難経路を確認した割合は5%程度にとどまり、情報の認知が具体的な防災行動には十分結び付いていないことが改めて示された。これらの成果は、北海道・三陸沖におけるプレート境界地震の活動推移を継続的に把握して大地震発生可能性の評価につなげることの重要性と、後発地震注意情報を住民の具体的な備えに結び付けるための情報提供のあり方を検討する必要性を示したものである。

2. 主な火山噴火

本節では、令和3年度以降に活動が活発化した国内外の火山のうち、観測研究の進展及び災害科学上の重要性が特に大きい事象を取り上げた。

1) 福德岡ノ場

2021年8月13日、小笠原諸島の海底火山である福德岡ノ場で大規模な噴火が発生した。噴煙高度は16 km以上に達し、大量の噴出物により一時的に新島が形成された。噴火直後に衛星画像で約300 km²に及ぶ漂流軽石（軽石いかだ）が確認され、約2か月後の10月上旬以降には沖縄県や鹿児島県奄美地方の沿岸に大量の軽石が漂着した。これにより、港湾の利用、船舶の航行、漁業や観光に長期間にわたる影響が生じ、遠隔の海域火山であっても広域災害を引き起こし得ることが改めて示された。

噴火の推移は、気象衛星ひまわり等の衛星データ、海上保安庁による航空機観測、父島の地震・空振観測、海洋研究開発機構のハイドロフォン（水中音響）観測等により捉えられた。衛星画像、航空写真、火山ガス観測及び数値モデルを総合した解析から、噴出量は0.1～0.4 km³、最大噴出率は10⁶ kg/s以下と推定され、噴火規模はVEI4以上と評価された。また、漂流軽石は噴煙から単純に降下したものではなく、噴火最盛期に火口近傍を流れた高温の火山灰や軽石などから、低密度の軽石が急速に分離・集積して形成されたと考えられた。軽石内部の気泡の特徴からは、マグマの上昇速度が一般的な大規模爆発的噴火ほど高くなかった可能性も示された（図 火山Ⅲ-1）。

この噴火を契機として、衛星と地上・海中観測を組み合わせた海域火山噴火の即時把握、噴煙形状と噴出率の定量化、漂流軽石の移動予測に関する研究が進展した。気象衛星画像から上空に広がる噴煙の形状を求める手法や、大気との相互作用を考慮した噴煙モデルの検証も進められたほか、海上保安庁による福德岡ノ場の監視が強化された。これらは、接近が困難な海域火山について、噴火規模と広域ハザードを遠隔観測から早期に評価する研究の進展につながった。

2) 阿蘇山

2021年10月20日11時43分、阿蘇山中岳第一火口で水蒸気噴火が発生した。噴煙は火口縁上3,500 mに達し、多数の噴石が放出されたほか、火砕流が火口の北側約1.6 kmまで流下した。気象庁は11時44分に噴火速報を発表し、11時48分に噴火警戒レベルを2（火口周辺規制）から3（入山規制）に引き上げた。人的被害はなかったが、噴火時には登山者が火口周辺におり、活動状況や噴火速報を正確かつ迅速に伝える上での課題が明らかになった。

噴火に先立ち、2021年9月頃から地下の膨張を示す地殻変動と火口浅部の温度上昇を示す地磁気変化が観測され、10月初旬から長周期の火山性地震の増加と火山ガス放出量の増大が捉えられた。10月13日の微動振幅増大と14日のごく小規模な噴火の後も活動の高まりは観測されたが、20日の噴火規模を事前に判定するまでには至らず、噴火発生だけでなく規模や様式の予測が難しいことを示した。噴火後には、複数機関が連携して降灰調査を行い、降灰量は火口近傍を除いて約15,000トンと見積もられた。火山灰に新たなマグマに由来する物質がほとんど含まれないことから水蒸気噴火と判断されたほか、ドローン調査からは噴出物の主な分布方向が二方向に延び、噴石の最大飛距離が火口中心から南へ約900 mであることも明らかになった。

その後の解析では、気象レーダー観測により10月14日と20日の噴煙はいずれも水の寄与が大きく、20日の方が噴煙内の火砕物量が多かったことが示された。GNSS観測からは、噴火前後約3か月に中岳を中心とする広域的な膨張と火口近傍で特徴的な変位が検出され、やや深部から火口直下の浅部への流体供給が示唆された。地磁気、火山ガス、

噴煙高度など異なる観測データを統合して地下の状態を定量的に評価する研究や、火山活発化指数（VUI）による評価の準備へと発展した。

観光客を対象とした事前調査では、阿蘇山を活火山と明確に認識していた人は約7割であった一方、訪問前に噴火警戒レベルを確認した人は約4割、噴火速報に対応する防災アプリ利用者は3割未満であった。噴火後にはレベル判定基準、登山道の閉鎖手順、現地表示等の見直しが進められた。阿蘇山の事例は、多項目観測による火山活動の評価と、その成果を防災対応や登山者・観光客の避難行動につなげる情報伝達の研究を一体として進める必要性を示した。

3) 霧島山（新燃岳）

新燃岳では、2024年10月下旬頃から火口直下の火山性地震が増減を繰り返し、GNSSでも同年11月頃から新燃岳付近、2025年3月頃から霧島山深部の膨張を示す変化が認められた。3月下旬以降は傾斜変動、火山性微動、噴気の増大、衛星による熱異常が相次ぎ、4月には深部の膨張と新燃岳直下へのマグマ等の貫入を示唆する地殻変動が観測された。

2025年6月22日に山頂火口内北東側で噴火が始まり、翌23日にはSO₂放出量が1日当たり4,000トンに増加した。7月3日には噴煙が火口縁上5,000mに達し、火口内南東側にも新たな噴出孔が形成された。その後は活動が次第に低下し、9月8日以降、噴火は発生していない。噴火警戒レベルは6月23日に3へ引き上げられ、10月17日に2へ引き下げられた。

この一連の活動について、地震、火山性微動、地殻変動、火山ガス、噴出物、ドローン観測等による解析が進められた。機械学習も活用して約3万個の火山性地震の震源を決定した結果、2024年9月頃から微小地震の発生率が上昇し、2025年3月下旬には低周波地震や微弱な連続振動が増加したことが明らかになった。また、微動の発生場所が噴火前に地下から地表付近へ複数回移動したことや、ドローン観測により火口の熱異常が噴火後に大幅に低下したことも確認された。さらに、噴出した火山灰の多くは既存岩石の破砕物であったが、少量の新鮮なマグマ起源物質を含み、火山ガス観測からは高温のマグマ起源ガスが浅部の熱水系・地下水と接触して冷却される過程が捉えられた。

これらを総合すると、一連の活動は深部マグマだまりと浅部まで上昇したマグマ性流体の影響を受けた水蒸気噴火で、マグマ自体の地表への移動・噴出は限定的であったと考えられる。過去の新燃岳噴火の解析と合わせ、マグマ噴火へ移行する場合と水蒸気噴火で終息する場合の違いを検討し、今後の活動推移を考える上で重要な知見が得られた。

4) フンガ・トンガーフンガ・ハアパイ火山

2022年1月15日17時14分（現地時間）、トンガの海底火山フンガ・トンガーフンガ・ハアパイで大規模な爆発的噴火が発生した。一連の活動は2021年12月に始まり、巨大な噴煙柱を伴う噴火に至った。人工衛星観測によれば、噴煙は噴火開始後約30分で高度約58kmに達し、上空に広がった噴煙の半径は200kmを超えた。トンガ周辺では降灰、火砕流及び津波により大きな被害が発生し、海底通信ケーブルの断絶によって通信や救援活動にも深刻な影響が生じた。

噴火に伴う大規模な気圧変動は大気中を地球規模で伝わり、海面を変動させながら伝播した。日本でも最大約1mの潮位変動が観測され、従来の地震に伴う津波とは異なる発生・伝播機構を考慮する必要が生じた。沖合の水圧計には、大気圧変動と海面変動に伴う水圧変化が高い時間分解能で記録された。解析の結果、日本に到達した水位変動の主体は大気圧波によって励起された波であり、カルデラ陥没や海底地形の変化によって海水が直接動かされて生じる津波の寄与は小さいと推定された。

気圧、潮位、海底水圧、地震、衛星及び電離圏のデータを組み合わせた研究により、噴火に伴う大気の擾乱が上空へ伝わり、日本上空を複数回通過したことが明らかになった。また、衛星画像から上空に広がる噴煙の形状を定量化する手法や、大気との相互作用を考慮した噴煙モデルが検証され、巨大噴煙の発達過程の理解が進んだ。さらに、噴火によってマグマや火山ガスが激しく噴出する際の反力と地震波との関係を調べる研究も進められた。

この噴火は、大規模噴火が火山周辺の降灰・火砕流だけでなく、大気圧力波、津波、電離圏擾乱、通信障害等の地球規模の複合災害を引き起こすことを示した。本研究計画においても、火山学、気象学、海洋学、津波研究及び電離圏研究を横断した解析が進み、大規模噴火に伴う潮位変動の即時把握と警報、衛星による噴火規模推定、複合ハザード評価を新たな研究課題として位置付ける契機となった。

IV. これまでの成果と課題

1. 観測研究の成果と課題

1. 1 地震・火山現象の解明のための研究

(地震発生過程及び地震発生場の解明とモデル化)

本項目では、先進的な地球物理学的観測、データ解析、モデリングによって、プレート境界における詳細なひずみと応力の蓄積・解放過程を把握し、プレート境界地震とその発生場に関する理解をさらに深める研究が進められた。観測データに基づく研究に加えて、地震発生サイクルにおける種々の現象を定量的に説明できる物理モデルを構築する研究も進んだ。さらに、内陸やプレート境界の断層において、脆性―塑性遷移領域における変形の不均質性の解明や摩擦則の構築と地震発生過程の物理的理解を進める研究が行われた。

具体的には、日本海溝沿いを中心とした海底地殻変動観測と小繰り返し地震の解析が継続され、海陸の測地データを統合して用いることで、東北地方太平洋沖地震後の沈み込みプレート境界における固着状態の回復や 2015 年に三陸沖で発生したものを含む複数のゆっくり滑りの時空間発展を定量的に推定した。また、千島海溝根室沖でも海底地殻変動観測が実施され、プレート境界浅部において強固な力学的固着によるひずみの急速な蓄積を実証した。断層面における温度、流体、岩石の空隙、および滑りの相互作用と、すべり速度とすべり履歴に依存する断層摩擦構成則を結合した物理理論を発展させ、ゆっくり滑りから高速な通常地震まで、同一の理論的枠組みで説明する数理モデルを構築した。地質調査による地下深くから削り出された自然断層帯の微細構造解析や岩石変形実験からは、地下深部の脆性―塑性遷移領域における変形の不均質性、および断層中心部の超微細な変形構造が確認された。摩擦則を用いた地震サイクルシミュレーションでは、実際の大地震を想定した計算領域の最小サイズは実験室におけるサイズよりはるかに大きいため、摩擦パラメータの空間分布の粗視化と統計的取り扱いが必要であることを整理し、定量的解析に向けた理論的基礎を構築した（図 地震Ⅳ-1）。

地震発生場の構造研究からは、海底地震観測およびトモグラフィー解析の高度化により、地下深部の高圧な流体の偏在がプレート境界の固着やゆっくりとした滑りの空間分布を支配している力学的プロセスが提示された。日本海溝では、流体が多く含まれていることを示す地震波低速度域とスロー地震の分布が対応することが示され、流体分布の不均質がプレート境界のすべり様式を支配する可能性が示された（図 地震Ⅳ-2）。2024 年能登半島地震においては、地下深部から上昇した極めて高圧な流体が地殻内を移動し、長期間の群発地震の継続とその後の M7.6 の大地震へと至った一連のプロセスが推定されたほか、沿岸の津波を発生させた海底活断層が海底面付近まで数メートル規模で滑った実態を明らかにした。

今後は、海陸の地震・測地観測網の安定的継続によって、断層のすべり状態の時空間

変化を高精度に捉えつつ、岩石実験から得られた摩擦特性の不均質性をマクロに扱う粗視化理論を実際の断層スケールへと適用することが重要である。また、通常地震とスロー地震を一元的に再現する断層すべりシミュレーションの解像度を高め、高度な人工知能（AI）技術を応用してシミュレーションコードおよびデータ同化計算の実行効率を飛躍的に向上させ、日本列島規模での地震発生過程に関するデータとモデルのプラットフォームとして構築することが望ましい。さらに、海域と陸域の構造共通モデルや、地殻応力の空間分布と流体の移動・集積プロセスを定量的に結びつける必要がある。

（火山現象及び火山地下構造の解明とモデル化）

火山研究では、地震、地殻変動、電磁気、火山ガス、熱、噴出物などの多項目観測と解析を組み合わせ、地下で進行する現象と地表で観測される火山活動との関係を理解する研究が進展した。特に、ドローン、人工衛星、DAS、機械学習等の新たな観測・解析技術の導入により、従来は観測が困難であった火口近傍や海域火山を含め、火山活動の時間変化を高密度かつ継続的に捉えるための手法が拡充された（例：図 火山Ⅳ-2）。今後も多項目観測の高密度化を進めるとともに、多変量解析等を活用して観測項目間の相互関係を明らかにし、火山活動の推移把握・予測において鍵となる観測量やその組合せを抽出する手法を高度化することが重要である。また、これまで主として火山活動の類型化として進められてきた火山間の比較研究についても、機械学習等を活用することにより、客観的かつ系統的に進める必要がある。

噴火過程については、噴出物の物質科学的解析、室内実験及び数値シミュレーションを組み合わせることで、マグマの発泡、脱ガス、結晶化、破碎等の素過程と噴火様式との関係について理解が進んだ。減圧率、マグマ上昇速度、脱ガス通路の形成・閉塞、ナノライト晶出に伴う粘性変化等が、爆発性や噴火様式の変化に関与することが個々の噴火事例から示唆された。一方、これらの要因のどれが噴火様式の分岐を支配する上で本質的であり、多くの火山に共通して適用できるのかは十分に明らかになっていない。今後は、観測、噴出物解析、実験及び数値モデルをより密接に結びつけ、噴火様式の変化を支配する物理・化学条件の理解と定量化を進める必要がある。

火山活動の源となるマグマ供給系・熱水系についても、地震波速度構造、比抵抗構造、地殻変動、火山ガス、温泉水・地下水、岩石学的情報等の多様な観測・解析により、地下深部から火口近傍に至るマグマや火山性流体の分布、移動経路、熱水系との関係について理解が進展した。複数の火山で、深部から供給されるマグマや流体と浅部マグマだまり・熱水系、地震活動、地殻変動との関係を説明する概念モデルが構築されつつある（例：図 火山Ⅳ-3）。また、地震学、電磁気学、地球化学等の異なる観測結果を共通の物理的枠組みで解釈する試みも進められた。一方、観測された変化がマグマそのものの移動を示すのか、熱水や火山ガス等の流体移動を示すのか、また、それらがどのような経路を移動しているのかについては不確実性が大きい。今後は、マグマ供給系・熱水系の大局的な構造だけでなく、流体の移動通路となり得る火道、亀裂・クラック等の微細構造を高密度にイメージングし、それらと火山性地震・微動、地殻変動、熱・ガス異常との関係を明らかにすることにより、火山性流体の移動経路とその時間変化を捉える研究を進める必要がある。

発生頻度は低いものの極めて大きな災害をもたらす、 10 km^3 を超えるマグマを噴出してカルデラを形成するような大規模噴火についても、過去の噴出物の地質調査や年代測定、岩石・鉱物の分析、地下構造探査等により理解が進んだ。その結果、大規模噴火に至るまでのマグマの長期的な生成・蓄積過程や、深部からの新たなマグマ供給が噴火の契機となる可能性、大規模噴火後にそれ以前とは異なるマグマ供給系が形成される場合があることなどについて、新たな知見が得られた。しかし、大規模噴火は近代的な観測によって捉えられた事例がないため、地質・物質科学的研究から復元された過去の噴火過程と、現在観測されている地下構造や火山活動をどのように対応づけるかが大きな課

題である。今後は、過去の大規模噴火の記録、マグマの生成・蓄積の時間スケール、現在の地下構造及び多項目観測を結びつけ、大規模噴火に至るマグマ供給系の形成・発達過程を明らかにするとともに、その変化が現在の観測データにどのように現れ得るのかを検討する必要がある。

（史料・考古データ、地質データに基づく低頻度大規模地震現象の解明）

大規模な地震・火山噴火現象は発生頻度が低く、近代的な観測記録が限られるため、その発生履歴や発生機構には未解明な点が多い。一方で、長期的な地震・火山活動の評価のためには、より多くの観測事例から現象の普遍性や特殊性を理解する必要がある。本計画では、地震・測地・海底地殻変動観測などの近代的な観測データを活用することはもちろん、史料・考古データ、津波堆積物などの地質学的記録、岩石・鉱物試料の物質科学的分析に加え、巨大地震及び大規模噴火の発生履歴、発生過程及び発生場の解明を進めた。

自然言語処理を専門とする情報工学者との密接な連携のもと、人工知能（AI）を活用した歴史文献からの地名表現の自動抽出を試行するとともに、新たな地震・火山関連史料を追加収集した。校訂作業を経てデータベース化することで、地震史料集テキストデータベースの総項目数は大幅に拡充された。史料調査にあたっては、絵図や年代記なども活用して、被害の実態を視覚的・地理的に復元した。これらの研究により、1751 年越後高田地震や北海道駒ヶ岳 1640 年噴火、などについての詳細が明らかになった。さらに、過去に同じ地域で繰り返し発生した巨大地震の地震像の相違点を史料から明確にする研究から、過去の南海トラフ地震の際に紀伊半島南部において、地震動が比較的小さいにもかかわらず、早期に大規模な津波が襲来したことを明らかにし、プレート境界の固着分布との対応から震源域の検討を行った。史料表現の定量化手法を改善し、震度の距離減衰式など地震学の成果を参考にすること、震源の位置や規模に関する歴史地震カタログの作成に取り組んだ。また、昭和、安政、宝永期の南海トラフ地震時の海岸の昇降を史料から整理し、高知県内の複数地点のデータから、南海トラフ地震の時間予測モデルへの適合性が示される一方、実際の再来間隔にはばらつきが存在することが示された（図 地震Ⅳ-3）。

全国の発掘調査報告書から液状化などの地震災害痕跡を抽出した全国遺跡出土地震痕跡データセットを公開した。これにより、京都府長岡京跡周辺や奈良県平城京跡周辺における地震痕跡の分布が明らかとなり、活断層や古地形との対応関係が示された。これは考古学の成果を地震学・地形学に還元する可能性を示す分野融合から生まれた新たな成果である。

地形・地質データを用いた研究においては、研究コミュニティで共有するための主要活断層帯を対象とした断層の地下形状モデル（コミュニティ断層モデル）の初期モデルの構築が完了した。日本海溝や千島海溝、南海トラフや南西諸島海溝に面した沿岸域の津波堆積物調査が精力的に行われ、津波堆積物の認定・対比手法の確立や、年代決定手法の改良が進み、過去の地殻変動の調査も合わせて、津波をもたらしたプレート境界巨大地震及び日本海の大地震の発生履歴とその規模の解明が進んだ。沿岸部の巨礫（津波石）の移動の解析やモデル計算から、1707 年宝永地震時の津波を上回る規模の巨大津波が紀伊半島で起こっていたことが明らかになったほか、南西諸島海溝での地震の最大規模が推定された。

今後は、構築した各種データベースの利便性向上を図るとともに、史料中の地名への位置情報付与や、遺跡災害痕跡との時間的照合を進めて、歴史災害の空間復元精度を向上させる必要がある。また、断層立体形状モデルの公開プラットフォームを構築していくことも課題である。巨大地震については、津波堆積物調査と歴史地震の知見を数値シミュレーション技術と融合させ、日本海沿岸や太平洋側のプレート境界における巨大地震の発生履歴・規模の未解明領域の明確化を進める。さらに未観測海域を含む陸海統合

観測と地質調査を継続し、物理機構を忠実に表現する数値モデルを高度化させて、長期的なハザード評価へ接続させる必要がある。

1. 2 地震・火山噴火の予測のための研究

(地震発生の新たな長期予測, 重点研究)

海溝型巨大地震の長期予測に関しては、日本海溝沿いや南海トラフを対象に、過去の大地震の発生履歴や近年の GNSS 観測などで得られた地殻変動分布を再現する地震発生サイクルシミュレーションモデルを構築し、東北地方太平洋沖地震後のプレート境界地震の発生時期と規模の予測を試行した。このモデルにより、強く固着している領域（アスペリティ）周辺におけるプレートの非地震性滑りの時間的变化によって、宮城県沖の M7 クラス地震の再来間隔が変動する性質を再現した。南海トラフ沿いや南西諸島海溝沿いの海底地殻変動観測が実施され、南西諸島の沖縄本島と宮古島の間ではプレート間固着を示す積極的証拠は得られなかった。一方、陸上の GNSS 観測からは八重山諸島南方沖で、 M_w 7.5 相当のひずみエネルギーが蓄積されていることや、房総半島南東沖で 1703 年の元禄関東地震以降も持続的にひずみが蓄積し、M7.8 以上の巨大地震に相当するひずみエネルギーが蓄積されている可能性を指摘した（図 地震Ⅳ-4）。

内陸地震の長期予測に関しては、活断層の 3 次元形状や応力場に基づく動的破壊シミュレーションにより、2011 年福島県浜通り地震、2024 年能登半島地震などの破壊伝播やすべり量を高精度に再現した。また、長大な活断層系においてトレンチ調査等の古地震調査を行い、過去の活動履歴や断層の浅部における分岐構造を再評価した。さらに、GNSS 観測や合成開口レーダー観測（InSAR 解析）等の測地データを面的に統合して、ひずみ速度を高解像度で推定することに成功するとともに、日本全国の GNSS データに基づいて、内陸地震が発生する 30 年確率を初めて試算した（図 地震Ⅳ-5）。下部地殻の塑性流動と背景応力場から、大地震を引き起こす地震発生層にひずみエネルギーがどれくらいの速さで蓄積されるかを評価する物理的な枠組みも構築された。

海溝型巨大地震の長期予測について、今後は現状で観測網が手薄な状態にある南西諸島や千島海溝域なども含めて海域での地殻変動連続観測（GNSS-A 観測）を増強し、プレート間の固着強度の解像度を向上する必要がある。海溝近くの複雑な地下構造や堆積層を反映したより現実的な地下構造を考慮したモデルへと発展させ、境界の固着・すべり状態の変化の推定から巨大地震発生シナリオや長期的なハザード評価へ繋げるための研究を深化させることが課題である。内陸地震に関しては、本計画で実施した研究の一部が、地震調査研究推進本部（以下、地震本部）による地震調査研究事業として発展するなど、実用化を見据えた段階に研究が進展している。今後は、地殻の非弾性的な変形特性の推定を高度化し、観測データと予測物理シミュレーションを高度に結合したモデルを開発することで、地震本部が実施する地震の長期評価などの防災施策に本格的に活用可能な手法を確立することが求められる。

(観測データに基づく地震発生確率の時間更新予測)

長期予測が今後 30 年などの長期的な地震発生確率を評価する手法なのに対し、数年程度あるいはそれ以下の時間スケールで、観測データを地震発生の物理モデルあるいは経験的な確率予測モデルに追加することで、地震発生確率を逐次更新していくような予測に対する社会的な期待は高い。このような予測に対する手法の開発・改良が進展した。

ほぼ同じ場所で繰り返し発生する地震群（繰り返し地震）を系統的・網羅的に検出し、繰り返し地震の発生履歴を解析することにより、日本列島周辺の断層でのすべりの時空間変化の特徴を調べた。2024 年能登半島地震の本震が発生する前の群発地震が活動した期間において、本震が発生した断層面上で GNSS 観測による検出限界以下の微小な非地震性のすべりが地下深部において進行していた可能性を見出した。また、豊後水道周辺において、ゆっくり滑りに連動して発生する深部低周波地震の活動履歴と、2024 年に起き

た海洋プレート内部の地震の相互関係を解明し、プレート間のスロー地震とプレート内部の通常地震の間で力学的な相互作用が働いている可能性を指摘した。さらに、物理法則をモデルの制約として組み込んだ最新の深層学習技術を用いて、GNSS の連続データからプレート境界の摩擦特性の空間分布を推定し、従来のモデルでは再現が困難であった詳細な地表変位の時空間パターンを再現することに成功した。一方、大地震発生前に現れる可能性が指摘されているプレスリップに関する検証も進められた。海外のグループにより、2011 年東北地方太平洋沖地震の 2 時間前からプレスリップが進行していたことが GNSS データから指摘されていたが、ノイズによる見かけのものであるとの反論もあったため、GNSS とは独立な観測データである傾斜変動記録を調べた。その結果、先行研究で指摘されていた大きさのプレスリップはなかった、との結論が得られた（図 地震Ⅳ-6）。

以上のように、観測データから物理モデルの構築・改善を行い、断層の状態を推定することにより個別地震の予測可能性に関する研究は進展した。今後は、地下の構造探査の結果等から得られる断層での間隙水圧推定結果等を統合して、滑りの特性を規定する地下の物性を明らかにし、地震発生サイクルシミュレーションを基盤として地下の状態を記述する物理モデルを高度化し、観測データとの比較・検証を繰り返すことが重要である。

物理モデルを経ずにデータから経験的に予測する手法に関しても一定の成果が得られている。地震活動を記述する統計的な発生予測モデルの高度化を進め、地震活動の b 値の時間変化に基づいて、布田川断層（2016 年熊本地震の震源断層）の中部において、2016 年の地震後長期間にわたって大地震の発生ポテンシャルが高い状態が続いていると評価した。最先端の機械学習モデルを用いた地震波の自動検出・処理技術プログラム群の開発により、従来よりも数倍から 10 倍の地震を検出し、震源位置やマグニチュードを決定した。このような高精度かつ大量の地震カタログを用いることにより、能登半島の本震に至る前の微小地震活動のなかに、波形がよく似た繰り返し地震が複数活動していたことなど、本震を誘発した深部流体移動を示唆する貴重な事実を突き止めた。先行現象候補の検証では、大地震発生の前に現れることがある電離圏総電子数（TEC）の時間変化の検出や、高度な統計解析手法を適用した地下水中のラドン濃度の連続観測データから、1995 年兵庫県南部地震や 2011 年東北地方太平洋沖地震の前に統計的に有意な先行変化が生じていたことを実証した。

今後は、機械学習による大量の地震データの解析をさらに高速化して、微小な地震・微動の時空間変化から大地震の発生前の特徴的な変化を客観的に検出していくことが望まれる。また、物理モデルや発生サイクルのシミュレーション、そして経験的に得られたモデルを有機的に融合させ、予測情報の社会的有用性（どのように防災対応に繋げるか）の検討と高度化を図ることが期待される。

（火山の噴火発生・活動推移に関する定量的な評価と予測の試行、重点研究）

火山噴火の予測では、噴火の発生時期だけでなく、発生場所、噴火様式や規模、噴火開始後の活動推移、さらには終息までを予測することが重要である。火山活動や噴火現象は多様であるため、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捉える必要がある。このような考え方にに基づき、観測情報と時間軸を取り入れた火山活動推移モデルの構築と、その背景にある物理・化学過程の理解を進めた。これにより、時期・場所・様式・規模・推移という噴火予測の 5 要素を一体として評価し、従来の経験則に依存した活動評価から、観測・物質科学・地質情報に基づく客観的・定量的な評価と予測へ発展させることを目指している。

多項目観測に基づく火山活動評価では、非噴火期における活動の活発化を客観的に評価する火山活発化指数（Volcanic Unrest Index: VUI）の試験適用が 5 火山で進み、具体的な閾値や基準を定めた共通の評価手法が整備された（図 火山Ⅳ-4）。また、熱エネルギー

ギー収支に基づく物理モデルに複数の観測データを取り込むデータ同化手法を用いて、地下からの熱供給量の変化を定量的に捉える予測試行も進展した（図 火山Ⅳ-5）。これらは、経験則に依存する部分が大きかった火山活動評価に対して、客観的な指標や物理モデルを導入した点で進展した。今後は、機械学習やベイズ推定等も活用して各観測項目の寄与を定量化するとともに、他火山への適用を通じて評価手法の客観性と汎用性を高める必要がある。

水蒸気噴火については、温泉水の化学組成、地磁気、地電位等の観測により、噴火に関連する変化が数分から年単位までの異なる時間スケールで捉えられた。これらの観測と発生過程の研究から、熱水や浅部地下水の蓄積・移動と火山活動との関係について理解が進んだ。一方、このような変化が常に噴火に先行するとは限らず、観測された異常から噴火発生の可能性や時期を定量的に評価するには至っていない。長期観測を継続して噴火事例と非噴火事例を蓄積・比較し、噴火に至る事象分岐の条件を明らかにすることが重要である。

噴火の規模や活動推移を予測する研究についても、過去の噴火履歴や噴出物から噴火の頻度や推移を明らかにするとともに、地質・物質科学的情報を用いた事象分岐条件の検討が進められた。また、2025 年霧島山新燃岳噴火では、噴火中の火山灰を迅速かつ時系列的に分析することで噴出物の変化を追跡し、その結果が火山調査研究推進本部における活動評価にも活用された。一方、観測された変化から、その後どのような事象へ移行するのかを定量的に判断する手法は依然として限定的である。今後は、噴火履歴、地下構造、物質科学的情報と多項目観測を結びつけ、噴火に至る過程や噴火開始後の活動推移を支配する条件を明らかにしていく必要がある。そのためには、まず噴火前後の多項目観測事例を蓄積し、噴火に先行する現象や噴火後の推移について、火山間の共通性と相違点を明らかにすることが重要である。しかし、国内だけでは噴火事例に限られることから、活動度の高い海外火山における観測や国際的なデータ共有を進め、多様な噴火事例を蓄積・比較する必要がある。こうした知見を基礎として、将来的に事象分岐条件の定量化や火山活動推移モデルの構築につなげることが重要である。

研究成果の現業への導入も進展した。気象庁では、本研究計画で開発・高度化された地震、空振、地殻変動、地磁気等の解析手法の火山監視業務への実装が進み、火山活動を迅速かつ客観的に評価するための技術基盤が強化された。また、本研究計画に関連する研究で学位を取得した若手研究者が気象庁に就職し、研究成果を現業監視へ橋渡ししたことも成果の実装に寄与した。今後は、火山調査研究推進本部、気象庁等との情報共有をさらに進め、研究成果を国の火山活動評価や防災施策へ反映するとともに、行政や火山監視の現場から求められる課題を研究計画へ還元する双方向の連携を強化することが重要である。

火山活動は火山内部の変化だけでなく、周辺で発生する大地震など外部からの影響を受ける可能性がある。世界の地震・噴火記録の統計解析から、大地震によって $0.5 \mu\text{-strain}$ 以上の膨張ひずみを受けた火山では、その後 5~10 年間にわたり噴火発生頻度が通常の 2~3 倍に高まる傾向が示された。一方、その背景にあるマグマや熱水系の物理過程は十分に解明されておらず、統計解析と火山内部の物理過程の両面から研究を進める必要がある。

発生頻度は低いものの甚大な災害をもたらす大規模噴火については、過去の噴出物から噴火の規模や推移、マグマの生成・蓄積過程についての理解が進んだ。しかし、近代的な観測によって大規模噴火に至る過程を捉えた事例はほとんどなく、現在の火山活動から大規模噴火の可能性を評価する手法は確立されていない。今後は、過去の大規模噴火に至る過程と現在の地下構造や多項目観測との対応を検討し、大規模噴火の準備過程が観測データにどのように現れ得るのかを明らかにして、その可能性を評価する手法へつなげることが重要である。

1. 3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究 (地震の災害誘因の事前評価手法の高度化)

強震動の事前評価手法の高度化については、震源モデルの高度化、地下構造モデルの高度化、表層地盤の強震動応答のモデル化、災害誘因評価・強震動予測のそれぞれで、着実に成果が得られた。2024 年の能登半島地震などの解析から、地下で断層が大きく動いた領域と地震波速度の間に空間的な対応関係があることを明らかにした。海底強震計のデータを取り入れた震源過程解析手法の有効性を実証したほか、大阪盆地を対象として三次元地質構造モデルと速度構造モデルの精緻化を進めた。

津波の事前評価については、多様な大規模津波シミュレーションを通じて、不確実性を含めた津波予測やリスク評価が大きく進展するとともに、地すべりに伴う津波の予測に関しても進展があった。過去の日本海東縁で発生した地震のデータを用いた想定断層モデルの再評価や、南海トラフにおける断層すべり分布の不確実性が、沿岸・湾奥部にどのような異なる影響をもたらすかという評価手法を構築した(図 地震Ⅳ-7)。火山島の山体崩壊により発生する津波についても、火山近傍で津波波形が観測されることを想定し、ジャワ島西岸やスマトラ島東岸への津波の到達時刻や波高を即時に予測する手法を開発した。想定とは異なる方向に山体崩壊が発生した場合でも、高い精度で沿岸の津波を予測できることを確認した。

地震時の斜面変動や地盤変状の事前評価については、地盤災害の発生場の素因解明と地盤状態の時系列モニタリングの高度化を両輪として進めてきた。モニタリングの高度化として、地震波を用いて降雨に伴う地下水位の変動や地盤強度の時間変化を長期監視する手法が開発されたほか、地震で崩壊した斜面が、その後も長期間にわたって変形が継続していることがわかった。さらに、能登半島などの地震による地すべりの現地踏査から、地盤の風化の厚さやすべり面を構成する地層の物理的特性との関係を特定したほか、被災した「谷埋め盛土」の地下水位の実態を把握した。

災害リスクの事前評価手法については、強震動の増幅特性、地下構造、建物脆弱性、地域特性等を総合的な把握が進展した。沖縄地方に多い既存不適格建物の実態調査を行い、現行基準に満たない既存不適格の建物が 63%にも達する自治体があることなどがわかった。軟弱な地盤特性と建物の倒壊リスクを結びつけて「学校施設の耐震性能分布マップ」を作成した。

このようにそれぞれの個別の課題においては、順調に研究が進展した。今後は、震源モデル、地下構造モデル、表層地盤応答モデルを一貫して整合的に高度化する評価手法を推進する。また、堆積平野における揺れの増幅特性と建物被害の評価、首都直下や南海トラフ巨大地震による災害発生原因の分析、事前評価の誤差(不確実性)を低減するための統合データの活用、斜面変動・地盤変状の時間変化を考慮した評価手法の構築を進め、不確かさを含んだ予測リスク情報を、自治体の実務や現場的・現実的な災害対応へ効果的に提供するための仕組みを確立することが重要な課題である。

(災害誘因の即時予測手法の高度化、重点研究)

地震動の即時予測に関しては、観測点補正の適切な設定により初期微動(P 波)から迅速に主要動(S 波)の大きさを予測し、現行の緊急地震速報における予測性能を高める開発を行った。また、高度な機械学習モデルや、物理現象を瞬時に代行して計算する数値手法を用いて、大震災時に都心の超高層ビルがどのように揺れるかを、短時間で自動予測するシステムを開発し、その高い予測可能性を実証した(図 地震Ⅳ-8)。

津波の即時予測については、地殻変動データに民間の GNSS 観測点のデータを統合したり、断層に関する既存の知見を統合することで、リアルタイム GNSS データに基づく地下の断層すべりを即時に把握するシステムの高度化が進んだ(図 地震Ⅳ-9)。さらに、高度な機械学習モデルを用いた津波シミュレーションモデルを開発し、学習していない新たな断層運動に対しても、津波の時空間分布を瞬時に予測できる性能を確認した。

火山噴火についても同様に、噴火発生時に得られる観測データを活用し、火山灰などの災害誘因を即時的に把握・予測する手法の開発を進めた。レーダー等による噴煙観測や地上観測から噴煙の高度や火山灰の分布を把握するとともに、これらの観測データを数値モデルに取り込むことで、火山灰の輸送・降灰を予測する研究を進めた。特に、観測と数値シミュレーションをデータ同化によって統合し、実際の噴火の推移を反映して予測を更新するための手法の開発が進展した。火砕流については、先行する微小地震や地盤変動などの特徴を明らかにし、観測データから発生危険度をリアルタイムに判定して流下範囲を表示するシステムを構築した。溶岩流については、ドローンによる高精細地形データと流下シミュレーションを用いた評価手法の高度化を進めた。土石流については、光ファイバー観測により特徴的な振動波形や流速・流量との関係を明らかにし、悪天候時にも利用可能なモニタリング手法の高度化につながる成果を得た。一方、噴火時に即時的に得られる観測・調査データは限られており、噴出量・噴出率、噴出物の配分や物性を迅速かつ精度よく推定して数値計算に反映する手法は十分に確立されていない。今後は、こうした不確実性を低減するとともに、噴火から火砕物の移動・堆積、流下・氾濫までを一体的に予測し、異なる火山にも適用可能な災害誘因評価手法へ発展させることが重要である。

以上のように、地震動、津波、火山噴火に伴う災害誘因について、既往研究の高度化や新たな取り組みによる成果が着実に得られている。本計画で開発された即時予測手法の一部がすでに社会実装され、減災に貢献していることは特筆すべき成果である。今後は、限られた観測データから災害誘因の規模や広がりをもより迅速かつ精度よく把握するとともに、予測の不確実性を適切に評価する手法を高度化する必要がある。さらに、行政機関と研究機関の連携を強化し、得られた予測情報を実際の防災対応や意思決定に結びつける即時予測システムの高度化と社会実装を進めることが課題である。

（災害誘因予測・リスク評価を防災情報につなげる研究）

地震・火山噴火の予測情報に対する、住民・企業・自治体などのユーザのニーズや活用実態の調査を通じて、災害軽減のための地震・火山噴火情報のあり方に関する研究が進められた。

地震動予測地図における確率の表現方法に着目し、一律に30年確率で示すよりも10～20年確率で示した方が、受け手の世代や居住地域によっては、防災対策の必要性に対する意識をより高める効果があることが明らかになった。また、2024年8月の南海トラフ地震臨時情報（巨大地震注意）の初めての発表時において、テレビで放送された情報が住民に与えた影響を分析し、約8割の住民が臨時情報を知っていたにもかかわらず、具体的な備えの再確認などの行動に十分結びついていなかった実態を明らかにした（図 地震Ⅳ-10）。さらに、2025年12月に初めて発表された北海道・三陸沖後発地震注意情報に対する全国規模の調査から、深夜帯の発表であったため直後の情報伝達が限定的であったことや、テレビを主要な情報源としつつも具体的な備えの実行には至らないという、情報伝達から行動への移行に課題があることが明らかとなった。

このように、災害に関する予測や観測の成果を防災行動につなげるためには、情報の内容や表現だけでなく、必要な情報を迅速かつ分かりやすく提供する仕組みの整備も重要である。

火山については、火山観測データや、降雨による土石流・泥流、噴火による融雪型火山泥流などの災害誘因予測から得られる研究成果を、実際の防災判断に活用できる情報として提供するための研究を進めた。地震波形、GNSS、傾斜計等の観測データを即時解析し、震源や地殻変動源を表示する準リアルタイム火山情報表示システムを開発し、北海道、東北地方、九州地方へ展開した。特に地殻変動については、地下の膨張・収縮源の位置や規模をMCMCインバージョンによりリアルタイムで推定する手法を開発し、過去の有珠山噴火を想定した数値実験による性能検証や、GNSS常時観測網との連動を進めた。

これにより、噴火切迫時や噴火中に刻々と変化する火山活動を自動的に解析し、その結果を防災担当者が迅速に把握するための技術的基盤が整備された。さらに、これらの情報を地元自治体や防災担当者が実際の防災判断に活用するための方策についても検討した。

今後は、地震・火山に関する予測・観測情報を実際の防災行動や意思決定につなげるため、不確実性を伴う情報の表現・伝達手法を高度化するとともに、住民が情報をどのように受け止め、避難や事前の備え、生活再建などの行動に結びつけるのかを社会科学分野との連携により明らかにする必要がある。また、火山における地盤変動源のリアルタイム推定など、研究段階にある技術の実装を進め、得られた情報を自治体等の防災判断に結びつける仕組みを構築することも重要である。こうした研究を通じて、災害情報の内容、表現、伝達、活用までを一体として捉え、多様な住民や地域社会において実効性の高い防災教育、研修、訓練へと展開していくことが期待される。

1. 4 地震・火山噴火に対する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)

防災リテラシーの根幹である、人間や社会の行動や変容に対して、地震動や津波、火山噴出物などの災害誘因がどのように影響を与え、人間や社会がそれらをどのように受け止め、活動に組み込んできたかについて、着実な研究成果が得られた。

過去に複数回津波に襲われた三重県の漁村を対象に現地調査を行い、漁村型防災の実態を分析した。その結果、かつては仕事や消防団などの地域のコミュニティ構造と一体化して機能していた防災体制が、過疎高齢化の進行や、高台移転事業などの行政主導の対策の導入により、生活や仕事と防災が乖離・希薄化し、むしろ社会的脆弱性を高めている側面があることが明らかになった。人間行動を対象とした社会調査では、地震発生時の安全確保行動が、時間帯よりも周囲の人の有無に強く影響を受ける心理的・社会的特性を解明した(図 地震Ⅳ-11)。また、全国規模の継続的な意識調査から、能登半島地震などの大きな災害発生直後には一時的に防災行動の実行度が上がっても、しばらく経ると再び元の状態に戻る(or 低下する)傾向が判明した。

今後は、これらを通じて得られた人間行動やコミュニティの脆弱性に関する知見を、防災教育や訓練、研修などのさまざまな現場で活用できる実践的な「知」として体系的に整理することが不可欠である。個別課題と共通課題を切り分け、さまざまな専門分野が連携するだけでなく、被災地住民、自治体の実務担当者、研究者が一体となる「産官学民」の強固なネットワークを作り、地域住民や組織の実態とニーズに応える具体的な対策の実証に取り組むことが求められる。

(災害に関する社会の共通理解醸成)

地震・火山現象に関する自然科学的知見を社会の共通理解として共有・醸成させるために、災害発生後の人間行動や判断のメカニズム、それらを集合体として捉える社会の活動や防災対策のあり方に関する調査研究が進められた。個々の事例をモデル化することによって一般化する取り組みも進められた。また、実践的な教育・研修プログラムの開発と検証が進められており、教育・研修参加者の防災リテラシーの向上が確認された。

脳の血流変化を測定する装置(fMRI)を用いて、津波の防災動画を見た際の人の心理・脳内活動を分析した結果、防災教育において災害の科学的な仕組みと避難指示のメッセージを同時に見せると、避難指示メッセージを単独で見せた時と比べて、情報を捉える脳の働きが弱まってしまい、結果として教育効果が下がる懸念があることを科学的に示した。また、地震による津波警報発表時に実際に避難した人の多くは、長期的な避難先を想定しておらず、正常性や同調性バイアスが働くことで、津波警報が解除される前に自宅に戻る避難解除行動をとっていた実態を特定した。教育プログラム開発では、地図学習アプリを活用し、その土地の歴史や地域形成のプロセスを学習することで、現

在の地形条件に基づくリスク認知から、その場所の履歴を含む土地勘が災害時の強力な判断資源となることを示した。東日本大震災の被災者への追跡調査では、家計の安定に半年、地域活動の進展に1年を要する一方、地域経済の回復には実に7年を要し、13年経過した時点でも生活再建が完全ではないという長期的なタイムラインを初めて可視化した（図 地震Ⅳ-12）。

火山防災に関しても、火山現象についての科学的な理解を実際の避難行動や防災行動につなげるための教育・研修に関する研究が進んだ。富士山周辺では、自治体や学校と連携し、噴火警戒レベルやハザードマップ、避難行動を学ぶワークショップや、実際の噴火を想定した防災訓練が実施され、その効果が検証された。また、気象庁においても、火山を含む防災知識や防災行動を学ぶためのウェブ教材やeラーニング教材の整備などが進められ、研究成果や防災情報を社会へ伝える取り組みが進展した。

今後は、地震・火山災害に対して適切な対策や避難行動をとるために必要な知識とその活用能力を防災リテラシーとして体系化し、災害時の判断・行動から避難、生活再建に至る過程についての理解をさらに深める必要がある。その上で、地域や対象者の特性に応じた教育・研修手法を開発し、スマートフォンのアプリやシミュレータ等の新たな技術も活用しながら、その効果を継続的に検証することが重要である。さらに、各実施機関が蓄積してきた知見や教育・研修プログラムを集約・体系化して広く共有し、地震・火山災害に関する科学的知見が実際の防災行動に結びつくよう、社会全体の共通理解を継続的に醸成する仕組みを構築することが課題である。

1. 5 分野横断で取り組む地震・火山噴火に関する総合的研究 (南海トラフ沿いの巨大地震)

南海トラフ沿いの巨大地震の地震像やハザード研究は、前期までの計画でその基盤の構築が一定程度進んでいたが、今期計画ではプレート境界の状態監視、即時解析、リスク評価、行動変容及び国際比較へ拡張する研究が進んだ。

日向灘を重点対象地域として設定し、海底地震観測、海底地殻変動観測、津波堆積物調査、津波浸水シミュレーションを多角的に統合した結果、1662年の日向灘地震が、これまでの想定を上回るM8クラスの巨大地震であった可能性を指摘した（図 地震Ⅳ-13）。また、沈み込む海山（九州パラオ海嶺）の形状を精緻化し、プレート形状とプレート境界で発生する大地震やスロー地震との関係の理解が進んだ。さらに、地震観測データから機械学習を用いて、通常地震と低周波地震を高精度に識別し、震源等を自動決定するシステムや、5分以内に大地震の震源過程解析を完了するシステムが開発され、地震活動のリアルタイムモニタリング能力が大きく向上した。社会実装の分野では、宮崎市等において強震動、津波の浸水、建物被害、および津波避難アプリを使った実避難訓練での歩行スピード・移動軌跡を一体的に結合したハザード・リスク評価の枠組みが整備されつつある。さらに、中南米などの日本と類似したプレート沈み込み環境を有する国々と地震津波防災に関する国際研究拠点を設置し、プレート状態監視などの比較研究を推進した。

今後は、海底での連続観測、反射法構造探査、科学掘削等をさらに進め、沈み込む海山がその周辺の固着強度や大地震・ゆっくり滑りの発生にどのような物理的・力学的な影響を及ぼしているかを、不確実性ととともに定量化することが課題である。また、海陸の地震・地殻変動・津波観測データを用いたモニタリングシステムの精度向上や迅速化、データのさらなる統合を進め、来るべき巨大地震の発生準備過程の監視と発生直後の地震像把握の高度化をより一層進めるべきである。さらに、地震の一体型のリスク評価システムをさらに標準化し、他地域や国のハザード情報へ円滑に適用可能なプラットフォームとして発展させることが望ましい。

(首都直下地震)

首都直下地震を対象とする総合的研究は、現在の地殻活動の解析と歴史地震・地質学的調査に基づく地震発生場の解明から強震動・複合災害の予測、都市防災力の向上までを一体的に推進することで、着実な進展が見られた。

房総半島の海岸段丘や津波の古文書を解析し、過去に関東地方を襲った巨大地震の発生年代や再来間隔、津波高を推定した（図 地震Ⅳ-14）。また、関東地方の下複雑な地下構造モデルの高分解能化を進め、プレート間固着の強さがどのように時間変化しているかを把握した。さらに、臨時の観測網を整備し、首都圏地震観測網（MeSO-net）と統合させてゆっくり滑りや微小地震の空間変化を監視する基盤を強化したほか、東京湾周辺における浅い地層のメタンガス湧出の実態調査、個人や地域の状況に応じて避難や災害対応を支援する情報収集センサーの開発など、都市特有の火災や情報途絶等の複合災害に対応するための研究を進めた。

今後は、プレート境界のすべり、地震活動、流体分布、地下構造の相互作用の理解をさらに向上させるとともに、強震動予測の不確実性を定量化し、地震発生ポテンシャルと被害予測の精度を向上させる必要がある。また、各分野、特に〇〇と工学や社会科学分野との連携をより一層深め、地震学や歴史学から得られた知見を大地震発生時の建物被害、火災の延焼、避難行動、地域経済への影響をトータルで評価する都市災害リスク評価へと発展させることが望まれる。

（千島海溝沿いの巨大地震）

発生 of 切迫性と被害の甚大さが懸念されている千島海溝沿いの巨大地震を対象とする総合的研究では、地震・津波発生過程やプレート間固着状態の解明、観測・調査による地殻活動モニタリング、地震動・津波予測の高度化、積雪期など北海道特有の条件を考慮した津波避難行動の分析や地域経済への影響評価、北海道・三陸沖後発地震注意情報の社会的受容や防災情報伝達の検討に関する研究が行われた。

海底地殻変動観測の結果から、根室沖のプレート境界の浅部で現在固着が強いことが推定され（図 地震Ⅳ-15）、次の巨大地震においても過去に発生した巨大地震と同様に、沿岸域で高い津波が想定される可能性が示された。巨大地震を対象とした津波避難シミュレーションを函館市等で実施した。これにより、非積雪期の昼間には、周遊観光客が多いため避難困難者が夜間の 10 倍以上に達するなど、季節や時間帯ごとの地域避難の課題を定量的に明らかにした。また、巨大地震の発生により、農業や漁業などの地域産業へ及ぼす経済被害が、最大で数千億円規模に達する可能性を推計した。また、北海道・三陸沖後発地震注意情報の初めての発表から、情報を認知しても具体的な備えへの実行に至らないという行動変容の壁が明らかになった。

根室沖で強い固着状態が推定されたものの、その南西側の十勝沖から日本海溝北部におけるプレート間固着状況は依然不明であり、今後も継続的な海域観測の強化が必要である。また、研究の成果を具体的な津波避難計画の評価へと進めるために、社会環境と津波ハザード評価の時空間的な不確実性を組み合わせて影響を検討することが重要である。発災時の防災情報の効果的な伝達や、住民の事前防災・行動変容の促進には、現在も進められている放送事業者や自治体の防災担当者等との意見交換をさらに緊密にしていくことや保健福祉分野との連携が効果的であろう。さらには、先端的な研究と社会実装の間には依然として大きな隔たりがあるため、出口戦略を自治体や事業者と直接検討する体制の構築が必要である。

（内陸で発生する被害地震）

陸域で発生する地震は、人間の生活圏の近くで発生するため、大きな被害を伴うことが多い。このような内陸地震の発生要因や強震動の生成メカニズム、歴史地震の研究を通じて、今後発生が想定される地震像を提示し、災害誘因予測や地震リスク評価手法に取り組む総合的研究が今期計画より開始された。

2024 年能登半島地震 (M7.6) の発生に際し、地震、地殻変動、電磁気、光ファイバーを用いた超高密度観測などの緊急機動観測を速やかに展開し、その全容を捉えた。特に、震源域の地下深部において、固結したマグマ領域が地下の高圧流体を遮断する壁として働き、地震発生時にはそれが巨大な破壊の中心 (アスペリティ) として機能したという、地下構造と震源過程の不均質性を解明した (図 地震IV-16)。また、断層にかかる力の向きから滑りやすさを評価する解析手法により、地震が発生する前の断層面が極めて滑りやすい極限状態に達していたことを数値的に実証した。そして、得られた理学的な最新の発見について、被災した珠洲市などの住民や地方自治体の防災担当者と直接共有する報告会やシンポジウムなどを、災間のリスクコミュニケーションモデルの提案のために行った。自然現象に対する理解の深まりと、自然に起因するリスクを受容しながらも社会課題に柔軟に変化しようとする結果が見られた。

今後は、能登半島の全域で継続している沈降などの余効変動の推移予測の高度化や、地下の流体移動と地震活動を結ぶモデルの高度化、新たな観測手法の開発展開を行うことで、内陸地震の長期・中短期予測手法の開発を目指す。また、能登地方で実証した評価手法や、住民と対話する災間のリスクコミュニケーションモデルを、他の高リスクな内陸活断層が存在する地域や、地震活動が活発化している地域へ展開することで、地域に自然科学の成果を還元する方法論として標準化を進めることが望まれる。

(大規模火山噴火)

大規模火山噴火については、桜島と富士山を主な対象として、噴火現象の解明から予測、災害誘因の評価、広域避難までを一体的に扱う総合的な研究を進めた。なお、本研究では、マグマ噴出量 $0.1 \sim 10 \text{ km}^3$ 程度の噴火を大規模噴火として想定している。

過去の大規模噴火の地質・物質科学的解析と現在の火山活動の多項目観測を組み合わせ、マグマの蓄積・上昇から噴火に至る過程の解明を進めた。桜島では、ミュオグラフィ、重力、地盤変動、火山ガス、地震、MT 等の観測から、マグマの上昇や火道構造、マグマ供給と噴火活動の関係について新たな知見を得た。富士山や浅間山では、地質調査や噴出物解析、地震・重力観測により、過去の噴火履歴を精緻化するとともに、噴火様式の変化を支配するマグマの減圧過程や、深部低周波地震活動と山体膨張等との関係について理解を進めた。また、桜島大正噴火については、史料や地震・地盤変動等の観測記録を基に、噴火に至る過程を地震活動、地盤変動、火山ガス等の変化から段階的に整理した。

噴火予測については、マグマの貫入速度を用いて噴火の発生時刻と規模を確率的に予測する手法を提案した。また、大規模噴火時にも火山活動を継続して把握できるよう、低軌道衛星通信や複数の無線通信手段を利用して地震波形をリアルタイムに伝送する技術を実証した。一方、大規模噴火は近代的な観測事例が少なく、観測量と噴火規模・様式との関係には依然として大きな不確実性がある。今後は、観測データから噴火の推移を即時的に評価し、不確実性を含む複数の噴火シナリオを提示できる予測手法へ発展させる必要がある。また、国内外の大規模噴火事例との比較を進め、桜島や富士山で得られた知見と研究手法の一般化を図ることが重要である。

大規模噴火に伴う広域降灰については、噴火シナリオに基づくシミュレーションにより降灰分布とリスクを評価するとともに、地震・地盤変動から推定した噴出率を用いて降灰分布を予測する手法を進展させた。今後は、噴火の推移に応じて影響範囲を迅速に予測し、避難区域や避難時期の判断に活用できる手法へ発展させることが課題である。

大規模噴火時の広域避難については、過去の避難事例の分析や住民・登山者への調査、教材開発、住民参加型の防災活動を進めた。桜島大正噴火時の広域避難とその後の移住の実態を明らかにするとともに、富士山では火山情報や防災マップの理解、避難時期の判断に課題があることを示した。また、広域避難を学ぶゲーム型教材やガイドブックを

作成した。今後は、火山学的な予測を広域避難に関する意思決定や住民主体の地域防災につなげることが重要である。

（高リスク小規模噴火）

火口周辺に多くの観光客や登山者が訪れる火山では、小規模な噴火であっても大きな人的被害につながる可能性がある。このような高リスク小規模噴火に関する総合研究では、水蒸気噴火を主な対象として、多項目観測、地下構造探査、地球化学・地質学的調査を組み合わせ、地下熱水系の構造や状態変化の理解を進めた。複数の火山で熱水の蓄積や流動に関する概念モデルが構築され（図 火山Ⅳ-6）、火山ガス、地震、空振などの観測から火山活動を捉える解析技術も進展した（図 火山Ⅳ-7）。また、湖底堆積物や古絵図を用いて、地表には痕跡が残りにくい過去の小規模噴火や長期的な活動推移を明らかにする研究も進めた。

観測・解析技術については、特に火山活動の活発期にも安全かつ継続的にデータを取得するためのドローン技術が大きく進展した。火山ガス観測装置の小型・軽量化やドローンによる電磁探査を進めるとともに、草津白根山では、遠隔地からドローンを操縦するシステムを活発な火山において世界で初めて運用し、厳冬期を含む半年間にわたり、無人で繰り返し観測を行うことに成功した。また、箱根山では、地震動振幅の分布を画像認識によって解析して震源を推定する新たな手法や、機械学習による地震波初動の自動読み取り技術を高度化し、微小地震の活動度や発生位置を高精度かつ短時間で把握できるようになった。

このように地下熱水系の状態変化を捉える観測・解析手法は大きく進展した一方で、噴火発生を引き金となる過程や、それがどのようなシグナルとして観測されるのか、噴火規模を支配する要因については、十分に理解されていない。今後は、熱水等の火山性流体の移動を支配する地下構造や、熱水流路の閉塞などに関する物質科学的研究を進め、その知見を多項目観測に基づく概念モデルに統合するとともに、熱水流動シミュレーションへと発展させる必要がある。

防災面では、登山者や観光客を対象とした調査から、火山の危険性や噴火警戒レベルに関する知識があっても、登山届の提出やヘルメットの着用などの具体的な防災行動には必ずしも結びついていないことが明らかになった。また、火山活動を分かりやすく示す指標の作成や、研究者、行政、地域住民の間での情報共有、地域に密着したアウトリーチ活動も進めた。今後は、アンケート調査で得られた知見とアウトリーチ活動を相互に反映させるとともに、地域間の比較を通じて有効な取り組みを明らかにし、その成果を他地域へ展開していくことが重要である。

2. 研究を推進するための体制の整備状況と課題

（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・社会科学など幅広い分野の研究者が連携する学際的な研究として推進され、その成果を地震・火山噴火による災害の軽減につなげることを目指している。このため、全国の大学、研究開発法人、行政機関等の 35 機関が参加し、それぞれの観測・研究成果を共有しながら計画を推進している。

科学技術・学術審議会測地学分科会は、行政や社会のニーズと学術研究の動向を踏まえ、各年次の全体計画の立案、進捗状況の把握、成果の取りまとめを行っている。また、地震調査研究推進本部及び火山調査研究推進本部と計画の進捗や成果について情報交換し、それぞれが策定した地震及び火山に関する調査研究の基本施策との整合性を確認するとともに、行政機関等との技術的・制度的な連携を進めている。

計画に参加するすべての機関からの委員で構成される地震火山観測研究推進協議会（令和7年度に地震・火山噴火予知研究協議会から名称変更，以下，地火協）は，研究全体の実質的な推進を担っている。地火協には研究内容に応じた8つの計画推進部会と6つの総合研究グループが設置され，すべての研究課題がいずれかの部会・総合研究グループに所属して情報交換を行いながら研究を進めている。また，大学が実施する各研究課題への予算配分，進捗状況の把握，成果の取りまとめを行うとともに，災害軽減という共通の目標に向け，各部会及び総合研究グループの進捗把握や部会間の連携の調整・強化を行っている。企画部の専任教員は，研究の進捗把握や研究者間の連絡調整を担うとともに，大地震や火山噴火時には臨時観測を含む緊急研究計画を立案している。研究者間の連携と情報共有のため，計画推進部会や総合研究グループによる研究集会を単独または合同で開催するとともに，年度末には地火協主催の成果報告シンポジウムを開催し，計画に参加する約300名の研究者が成果を共有し，計画全体の進捗や課題について情報交換を行っている。

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，重点推進研究と一般課題型研究の公募を行っている。特に，地震・津波等の自然現象の予測と，建物被害や避難などの災害リスク評価を結びつける分野横断的な共同研究を推進し，理学と災害工学・社会科学との連携を進めている。

国土地理院が事務局を担当する地震予知連絡会では，地震活動や地殻変動等のモニタリング結果を共有する場を定期的に設け，注目すべき地震や地震予知研究上の重要な課題について集中的な検討を行っている。これにより，定常的な観測研究から得られた成果を関係機関の評価・検討へ速やかに提供する仕組みが継続して機能している。火山分野では，気象庁が事務局を担当した火山噴火予知連絡会が2024年11月に終了するまで，全国の火山活動の総合的な評価を担った。2024年度に火山調査研究推進本部が発足して以降は，大学・研究機関等の観測・研究成果を火山調査委員会へ提供し，国としての火山活動評価や調査研究へ結びつける新たな連携体制が整備された。

以上のような推進体制により，多様な研究機関・研究分野が連携し，基礎的な観測研究から災害軽減を意識した研究までを一体的に推進する体制が維持・発展してきた。今後は，地震本部・火山本部や行政機関，工学・人文社会科学分野等との連携をさらに進め，行政・防災上の課題を研究側へ還元するとともに，基礎研究や高度化された解析・予測技術の成果を調査研究や実際の防災施策へつなげる双方向の連携を強化することが重要である。また，大地震や火山噴火などの緊急時に，迅速な観測・研究と情報共有を行うことができるよう，平時から機関間の連携体制を整備・検証しておく必要がある。さらに，拠点間連携等を通じて進展してきた災害工学・人文社会科学との連携を計画全体に広げ，新たに参画した多様な分野の研究者を含め，共通の学術課題に取り組む分野横断的な研究を一層推進することが課題である。

（地震調査研究推進本部，火山調査研究推進本部との関係）

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にしつつ推進することが重要である。地震に関する国の調査研究は地震調査研究推進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を通じて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研究を進めてきた。

火山についても，2024年度に火山調査研究推進本部が発足し，国として火山に関する調査研究を一元的に推進する体制が整備された。今後は火山本部との情報交換を密にし，本観測研究計画で得られた基礎的な研究成果や観測・解析技術を国の調査研究や気象庁による火山活動の監視・評価等に活用するとともに，行政・防災上求められる研究課題を把握し，本観測研究計画へ還元する双方向の連携を強化することが重要である。

（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し、災害軽減につなげることを目的として、「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は、拠点間連携共同研究を継続して実施した。その推進のため、両研究所は拠点間連携共同研究委員会を設置し、あらかじめ設定し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、観測研究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。本計画期間には、巨大地震のリスク評価に含まれる不確実性を対象として、地震発生、強震動、津波等の自然現象の予測と災害リスク評価を結びつける研究など、地震・火山科学と防災研究を横断する共同研究を推進した。また、この枠組みを通じて、これまで本研究計画との関わりが少なかった研究者・研究機関も災害軽減を目的とした研究に参画し、多くの成果が得られた。一方で、従来から観測研究計画を担ってきた研究者の拠点間連携共同研究への積極的な参画には課題が残っている。今後は、拠点間連携共同研究によって形成された災害科学との接点を観測研究計画全体へさらに広げ、従来から計画を担ってきた研究者と新たに参画した研究者が共同で課題を設定し、地震・火山現象の理解から災害リスクの評価までを結びつける研究を継続的に推進することが重要である。

（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、強震観測網、GNSS 観測網、火山観測網に加え、S-net, DONET, N-net 等の海域観測網の整備・運用が進み、陸域と海域を統合して地震・津波・火山現象を高密度に把握する観測基盤が強化された。気象庁、国土地理院、防災科学技術研究所、大学等による長期連続観測も継続され、国土地理院では GEONET による地殻変動の連続モニタリングや衛星 SAR による面的な地殻変動解析、大地震や火山活動の活発化時に対応したリアルタイム解析の高度化が進められた。令和 6 年能登半島地震などの大地震や火山活動の活発化時には、これらの基盤観測網に臨時地震・地殻変動・海底地震観測等の機動観測を組み合わせた観測が迅速に実施された。火山では、地震、地殻変動、火山ガス、熱、重力、地磁気等の多項目観測が継続され、気象庁が火口周辺に設置する観測点も火山活動を解釈する上で重要な役割を果たした。また、大学ではドローン等を用いた火口近傍の観測も進展した。このように、平時の長期観測と大規模現象発生時の機動観測を組み合わせる体制が、引き続き研究基盤として重要な役割を果たしている。

観測・解析技術についても、海底地震・地殻変動観測、GNSS 一音響測距、海底圧力・傾斜観測、光ファイバーを利用した分散型音響センシング (DAS)、無人海上プラットフォーム、衛星・航空機 SAR、ドローン、火山ガス・電磁気・宇宙線観測等の開発と実観測への適用が進んだ。海域では、超深海に対応した広帯域海底地震計、海底水圧観測による上下変動の把握、DAS による地震やゆっくり滑りの観測、自律型海上観測機を用いた GNSS 一音響測距の自動化など、従来は観測が困難であった場所での観測技術が進展した。火山においても、火口近傍など危険性が高くアクセスが困難な場所での観測技術が発展した。これらにより、観測の自動化・省力化・長期化・リアルタイム化が進展した。また、機械学習、データ同化、大規模数値計算等を用いた解析技術も発展し、観測データを即時的に処理して現象把握や予測へ利用するための基盤が強化された。

観測データの流通・共有については、全国の地震・地殻変動等のデータを即時的に流通させる JDXnet の安定運用と高度化が進み、長期間のデータ蓄積・公開とリアルタイム解析を一体的に扱う基盤へと発展しつつある。火山分野でも JVDN を通じた機関間のデータ共有が進み、過去の火山観測一次データについても、旧式媒体や独自形式を含めて収集・整理し、再解析可能な形で保存・共有する取り組みが進められた。さらに、活断層、

津波堆積物、火山地質、歴史地震・歴史噴火等のデータベースや解析ソフトウェアの整備・公開も進み、異なる研究分野のデータを横断的に利用できる研究環境が拡充された。こうしたデータの長期的な保存と再利用を促進するため、永続的識別子（DOI）の付与や国際標準に基づくオープンデータ化に向けた取り組みも進められた。

地震・火山現象の解明や予測、災害誘因予測の成果は、長年にわたり維持されてきた観測網と長期観測データに負うところが大きく、均質で高品質なデータを継続して取得・蓄積することが、我が国の地震・火山研究の発展を支えてきた。一方、地火協の定常観測点検討ワーキンググループにおける検討からは、予算の減少により既存観測点の維持だけでなく、将来の研究の萌芽となる予察的な観測研究にも制約が生じていること、長期的な観測データの蓄積が困難になりつつあること、観測施設・機器の老朽化や国内の観測機器メーカーの撤退・縮小など、観測基盤の持続性に関わる課題が明らかになった。観測基盤の維持には多大な費用と人員を要することから、大学・研究機関と関係機関が連携して持続可能な観測網の維持管理方針を検討するとともに、観測の低コスト化、省力化、長寿命化や、通信・計算基盤の効率化を進める必要がある。また、DAS 等の新たな観測技術を導入する際には、長年蓄積されてきた既存データとの連続性や観測精度を検証するとともに、大容量化する観測データを効率的に処理するため、数理学・計算機科学との連携による自動処理・ノイズ低減技術を高度化することも重要である。さらに、観測技術を維持・継承する人材を確保し、観測網の維持やデータの整備・公開に携わる技術職員や研究者の貢献を適切に評価しながら、観測からデータの保存・公開・再利用までを持続的な研究基盤として継承していく仕組みを構築することが課題である。

（関連分野間の連携）

地震・火山研究の成果を災害軽減につなげるため、理学、工学、人文・社会科学などの関連分野との連携を引き続き強化した。歴史学・考古学との連携では、近代的な観測以前に発生した低頻度・大規模な地震や火山噴火について、史料や考古資料から規模や発生頻度等を明らかにする研究が進み、相模トラフの巨大地震の発生確率推定などの成果につながった。また、歴史資料のオンラインデータベース化を背景に、これまで十分に調査されていなかった火山活動に関する絵図等を活用した研究も進展した。

近年発展の著しい数理学・情報科学・計算科学との連携もさらに進み、これらの分野の研究者が個別の研究課題にも参画するようになった。機械学習等を用いて長期間の地震波形データから地震関連現象を系統的に検出する技術が開発されるなど、蓄積された大量の観測データから新たな情報を抽出する研究が進展した。また、文部科学省による情報科学を活用した地震調査研究プロジェクト（STAR-E プロジェクト）や、次世代火山研究・人材育成総合プロジェクトとも連携し、本計画で進める研究と関連プロジェクトの研究成果を相互に発展させる取り組みが進められた。

本計画内部でも、総合研究グループ間の情報・課題の共有や、火山研究と史料・考古研究の合同勉強会など、分野を越えた連携を進めた。さらに、日本自然災害学会等との連携を通じて、地震・火山以外の災害科学分野の研究者とも成果や課題を共有したほか、地域防災に関わる機関の地火協への新規参加や、大学・研究機関と気象庁・国土地理院等の現業機関との人的交流を通じて、研究成果を実際の防災業務に反映するとともに、現業機関のニーズを研究へフィードバックする双方向の連携も進展した。また、研究機関において産学官連携を担う体制の整備も進み、研究成果を現業機関の防災業務へつなげる取り組みが強化された。

このように、これまで進めてきた関連分野との連携は、地震・火山現象の理解を深めるだけでなく、新たな解析手法の開発や災害リスクの理解、研究成果の防災業務への活用など、具体的な研究成果や災害軽減への展開につながりつつあり、今後もこの方向性を継続する意義は大きい。一方、連携する研究分野や組織の拡大に伴い、研究計画や運営が複雑化し、限られた人員・予算の中で研究者の負担も増加している。今後は、単に

連携の範囲を拡大するだけでなく、共通する研究課題や目標を明確にして分野間の実質的な連携を深めるとともに、研究の多様性を保ちながら、それを支える人員や研究資源も含めた持続可能な連携体制を構築していくことが重要である。

（国際共同研究・国際協力）

地震・火山現象、とりわけ発生頻度の低い大規模な現象の理解には、多くの事例を比較し、知見を集約することが重要であるが、国内の研究だけでは十分な事例を得ることができない。このため、日本と同様に地震・火山活動が活発なニュージーランド、メキシコ、インドネシア、台湾、トルコ等を中心に、前計画までに形成された研究者・研究機関間の連携を基盤として国際共同研究を進めた。ニュージーランドのヒ克蘭ギ沈み込み帯では、海域観測や稠密地震観測により、プレート境界で発生するゆっくりすべりと地震活動との関係や、周辺の応力変化、断層周辺の不均質性に関する研究が進展した。メキシコでは、海底観測により津波地震やスロー地震の発生場に関する研究を行ったほか、南アフリカの大深度金鉱山では、震源断層近傍での高分解能観測や削孔調査、掘削コアの解析から、地質的な不均質性と地震発生との関係を調べた。また、トルコでは長大活断層の連動破壊に関する調査を行うなど、国内では得ることが難しい地震現象についての知見が蓄積された。

火山分野では、インドネシアのメラピ火山、ケルウト火山等において、地震、地殻変動、噴出物等に基づく火山活動推移の研究を進めるとともに、日本で開発した火山防災教材を現地の社会・文化・教育環境に適合させる取り組みを行った。また、桜島では海外の研究機関と共同して、宇宙線ミュオグラフィ、衛星観測、火山ガス、地殻変動等を組み合わせ、火道内部の状態変化と噴火活動との関係を調べた。このように、現象解明のための共同観測だけでなく、日本で開発された観測・解析手法や防災教育手法を現地の研究・防災に活用し、現地研究者とともにその有効性を検証する取り組みも進展した。

国際共同研究の基盤となる観測データや解析技術の共有も進んだ。海外の定常・臨時観測網と日本側の観測データを統合し、機械学習を含む解析手法の共同開発を行うとともに、観測機器の現地管理やデータ処理技術の共有を通じて、現地機関が継続的に観測・解析へ参画できる体制の構築を進めた。また、気象庁は近隣国や国際機関との地震観測データの交換に加え、航空路火山灰情報や津波情報を国際的に提供した。国土地理院や海上保安庁では、GNSS、超長基線電波干渉法（VLBI）、人工衛星レーザー測距（SLR）等の国際共同観測を継続し、国際地球基準座標系の構築にも貢献した。さらに、国際シンポジウムや研究集会、海外研究者の招聘、研究者・学生の相互交流を通じて、人的ネットワークの形成と次世代の人材育成を進めた。

本計画期間には、新型コロナウイルス感染症の流行や国際情勢の不安定化、物価・航空運賃・輸送費の上昇等により、海外での観測・調査や人的交流が大きな影響を受けた。一方、現地研究機関との役割分担、オンライン会議や共同解析、現地研究者による観測機器の運用、観測データの共有等を組み合わせることで、国際共同研究を継続することができた。今後も、国内外の地震・火山・災害事例を比較するため、これまで構築した機関間の協力関係と人的ネットワークを維持し、国際環境の変化にも対応できる持続的な国際共同研究を進めることが重要である。その際、日本から観測・解析技術や防災手法を一方向に提供するだけでなく、現地研究者と共同して観測・解析・防災への活用を進め、海外の地震・火山現象や災害対応から得られた知見を日本の研究や防災にも還元する、双方向の国際連携をさらに発展させる必要がある。

（教育・人材育成）

大学や研究機関では、次世代を担う若手研究者や技術者の育成に向けて、若手教員・研究員等のポストの確保、多様なキャリアパスを見据えた教育、大学院生への研究・交流機会の提供などを進めてきた。地火協においても、毎年 1～2 名の特任研究員を雇用し、

その後の大学や研究機関への就職につながるなど、若手研究者のキャリア形成を支援している。また、成果報告シンポジウム等への若手研究者・大学院生の参加を促し、研究成果の発表や研究者間の交流の機会を提供してきた。しかし、若手研究者の安定した受け皿は依然として十分ではない。一方、地震・火山・防災等の専門教育を受けた大学院修了者の進路は、大学や研究機関、気象庁等の研究職・専門職だけでなく、行政機関、自治体、コンサルタント業界等にも広がっている。行政機関や自治体職員等を対象とした専門的・実践的な教育・研修も進められており、今後は民間企業や行政機関との連携も図りながら多様なキャリアパスを示し、研究から防災実務まで幅広く担う人材を育成することが重要である。

火山分野では、平成 28 年度から令和 7 年度まで実施された「次世代火山研究・人材育成総合プロジェクト」や、令和 8 年度から開始された「火山ハザード対策に向けた研究・人材育成プロジェクト」等と連携し、全国の大学院生を対象に、専門分野の枠を越えた講義やフィールド実習などを通じて、幅広い知識と経験を有する火山研究者の育成を進めてきた。今後もこうした全国的な人材育成の枠組みと連携するとともに、本計画が提供する実際の観測研究への参加機会を活用し、火山研究や火山防災を担う幅広い人材を育成していくことが重要である。また、行政機関や自治体等で防災実務を担う社会人に対する高度な専門教育についても、大学院への社会人受入れを含め、関連する人材育成事業と連携しながら充実させていくことが望まれる。

地震・火山観測を長期的に支える人材の確保と技術継承も重要な課題となっている。全国の大学等では、地震・火山観測に従事する技術職員を対象とした技能研修や関係機関間の情報共有を継続し、観測技術の維持・向上と継承を図ってきた。一方、地火協の定常観測点検討ワーキンググループにおける検討からは、観測研究を企画する若手研究者や、観測計画の立案、観測網の設計、機器の設置・運用、取得データの品質評価等を担う人材が不足しつつあることが明らかになった。観測網やデータ流通基盤の整備によって、高品質な観測データを広く利用できる研究環境が実現した一方、研究者が自ら観測を企画・実施し、観測現場を経験する機会が減少していることも懸念される。地震・火山現象を適切に捉えるためには、データ解析の能力だけでなく、現地の条件を踏まえて何をどこでどのように観測するかを考え、観測データの特性や限界を理解する能力が不可欠である。この点で、本計画が「観測研究」を中核としていることを活かし、大学院生や若手研究者が実際の観測に参加し、観測の企画から機器の設置・運用、データ取得・解析までを一連の研究過程として経験できる機会を積極的に提供することが重要である。特に、競争的研究費では継続的な実施が難しい長期観測や、新たな発見や監視手法の発展につながる新規性・挑戦性の高い観測研究を本計画の特色として支援し、若手研究者が観測手法や研究課題を開拓できる環境を維持する必要がある。こうした経験を通じて、個々の観測技術を継承するだけでなく、将来必要となる観測を構想し、観測網を設計できる人材を育成することも重要である。そこで得られた観測技術や科学的知見を、将来的に地震調査研究推進本部や火山調査研究推進本部、気象庁等による調査研究・監視・評価へつなげていくことは、本計画が我が国の地震・火山研究の人材と研究基盤の双方を育成する上でも重要である。

（研究成果の社会還元と防災教育）

本計画で得られた学術的成果を広く社会へ的確に伝え、国民の防災に関する理解を深めるため、公開講義、セミナー、動画、ジオパーク、e ラーニング、自治体・住民との直接対話によるリスクコミュニケーションなど、多様な形で社会還元の取り組みを進めた。地震火山観測研究推進協議会は、計画推進部会や総合研究グループの活動の要点を分かりやすく説明するパンフレットを作成したほか、東京大学地震研究所と共同して、報道関係者を対象に、最新の地震・火山研究の成果や予測の可能性と不確実性について共有・議論するサイエンスカフェを継続的に開催し、報道を通じて科学的知見を正確に社

会へ伝えるための取り組みを進めた。

専門性の高い先端的な研究成果を、社会の要請や人々の関心を踏まえて的確に発信するためには、報道機関とのサイエンスカフェをはじめとする継続的な対話の場を維持することが重要である。今後は、防災リテラシーに関わる計画推進部会が中心となり、個々の学術的成果を体系的に整理し、学校、自治体、地域、報道機関等の多様な主体や場に応じた実践的な防災教育・研修プログラムとして体系化し、普及させる仕組みを構築することが望まれる。さらに、教育や社会還元の効果を検証し、その結果をプログラムの改善に反映させる継続的な評価の仕組みを整備することも重要である。

V. 総括的評価と今後の展望

本章では、総括的評価として、第2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、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的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として挙げられた項目の現行計画での進捗状況について述べる。本章の最後においては、今後の展望として、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。

1. 第2次計画に対する外部評価への対応

第2次計画の実施状況等のレビュー報告書（令和4年2月）では総括的な自己点検が行われ、同計画の課題及び今後の方向性が示された。このレビュー報告書を含む各種資料を踏まえて令和4年7月にまとめられた外部評価では、計画の大方針は適切であり順調に進捗していると評価された一方で、今後改善すべき点として以下の事項が指摘された。

(1) 理学、工学、人文・社会科学の分野間連携のさらなる強化と、災害科学の深化を意識した基礎研究の一層の推進

(2) 災害誘因の概念やハザード・リスク評価との関係、研究対象とする範囲・選定理由の明確化

(3) 防災リテラシー向上研究の目標・射程の明確化と、研究成果の公表・情報発信の強化

(4) 火山研究者の不足への対応と、地震研究との連携等による火山研究の活性化

(5) 当該学術コミュニティ全体での地震・火山観測研究を担う人材の育成

(6) 研究成果の社会への発信、データの利活用、社会実装に向けた他施策・関係機関との連携の強化

これらの指摘に対する現行計画での対応は以下のとおりである。

(1) 分野間連携をさらに強化するため、現行計画では「分野横断で取り組む総合的研究」を予算措置も行って研究計画の柱の一つとして明確に位置づけ、理学、工学、人文・社会科学等の分野を横断した研究を進めた。また、東京大学地震研究所と京都大学防災研究所による拠点間連携共同研究を継続し、地震・火山科学と総合防災学を結びつける研究を推進した。歴史学・考古学、数理・情報科学等との連携も進み、これまで本計画との関わりが少なかった研究者・研究機関の参画や具体的な共同研究成果につながるなど、地震・火山現象の理解から災害軽減までを分野横断的に扱う体制が強化された。

(2) 災害誘因については、地震・火山現象によって生じて被害をもたらす得る地震動、津波、火山噴出物、地すべり等の外力と位置づけ、災害素因との組み合わせによって生じる災害リスクと区別して研究対象を明確化した。その上で、地震については強震動、津波、斜面変動、地盤変状等、火山噴火については火山灰、火砕流、溶岩流、土石流等を含む多様な災害誘因を対象とし、これまでに蓄積された観測データや数値モデルを基礎として評価・予測手法の高度化が可能な課題に研究対象を整理した。さらに、災害誘

因の評価・予測を災害リスク評価や防災情報へつなげる研究を新たに設定した。

(3) 防災リテラシー向上研究については、行動変容そのものを研究の直接的な到達点とするのではなく、適切な防災対策や避難行動に必要な知識とそれらを活用する能力を「防災リテラシー」と定義し、その構成要素や、人々の認知・意思決定・行動に影響する要因を明らかにすることを主要な射程として明確化した。社会調査、人流データ、行動実験、脳機能計測等を用いて基礎的知見を蓄積するとともに、教育・研修プログラム、防災ワークショップ、避難訓練等の開発と検証へ展開した。さらに、研究活動のみで実現することが困難な社会の行動変容に対しても、行政、学校、地域住民等と連携しながら、研究成果を実践に適用してその有効性を検証する取組を進め、教材・動画、研修等を通じた成果発信にも取り組んでいる。

(4) 火山研究については、地震、地殻変動、火山ガス、熱、重力、地磁気等の多項目観測を継続するとともに、JVDN を通じたデータ共有や過去の火山観測一次データの収集・整理を進め、複数火山の比較研究に利用できる基盤を強化した。また、関連事業と連携した人材育成や、情報科学・工学等の研究者の参画も進んでいる。地震研究との連携も共通する観測・解析手法を通じて進みつつあり、今後は両研究コミュニティの双方向の交流をさらに強化するとともに、現業機関との人的交流や海外火山での国際共同観測等を新たな研究者が火山研究に参画する契機とし、研究の裾野を広げることが重要である。

(5) 人材育成については、若手教員・研究員等のポストの確保、大学院生への研究・交流機会の提供、多様なキャリアパスを見据えた教育を進めるとともに、地震火山観測研究推進協議会による特任研究員の継続的な雇用など、若手研究者のキャリア形成を支援した。また、全国的な人材育成事業と連携した講義やフィールド実習も実施している。さらに、観測研究を中核とする本計画の特色を活かし、大学院生や若手研究者が観測の企画から機器の設置・運用、データ取得・解析までを経験する機会を積極的に提供するとともに、挑戦的な観測研究への参画を支援している。

(6) 研究成果を社会へつなげるため、地震調査研究推進本部と新たな長期予測手法等について情報交換を行い、国の基本施策との整合性を図りながら研究を進めた。また、火山調査研究推進本部や、本計画に参画する気象庁、国土地理院等の現業機関との連携を通じて、研究成果の防災業務への活用を見据えるとともに、現業機関のニーズを研究へ還元する双方向の取組を進めた。具体的な橋渡し研究として、火山観測データを即時解析して震源や地殻変動源等を表示する準リアルタイム火山情報表示システムを開発・展開し、自治体や防災担当者による将来的な活用方策の検討を進めた。さらに、社会実装を見据えた3つの重点研究において予測手法の開発・試行・検証を進めるとともに、JDXnet や JVDN をはじめとするデータ共有基盤、各種データベースや解析ソフトウェアの整備・公開を進め、データの利活用を促進した。

このように、外部評価で指摘された課題に対して、分野横断研究の強化、防災リテラシー研究の展開、観測・データ共有基盤の整備、行政・現業機関との連携、人材育成等を通じて進展が得られつつある。一方、研究成果を具体的な防災行動や社会実装へつなげることで、分野間連携の深化、観測研究を継承する人材の育成は、今期計画のみで完結する課題ではない。限られた人員・予算の中で持続可能な研究・連携体制を構築し、今後の観測研究計画においても継続して取り組む必要がある。

2. 現行計画で強化した研究

(重点研究)

現行計画では、将来の社会実装を見据えて重点的に取り組む研究として、「地震発生の新たな長期予測」、「火山の噴火発生・活動推移に関する定量的な評価と予測の試行」、「地震の災害誘因の即時予測手法の高度化」の3つを設定した。これらに関連する研究課題には予算上の配慮を行いながら研究を推進している。

「地震発生の新たな長期予測」では、過去の地震発生履歴を主として用いる従来の長期評価に加え、測地データ、地震活動、地下構造、応力場、物理モデル等の多様な情報を活用した新たな予測手法の開発を進めた。特に、地震調査研究推進本部と新たな長期予測手法に関するワークショップ等を通じて情報交換を行い、令和7年度からは委託調査による地震調査研究事業として本計画の課題をさらに発展させた研究が開始されるなど、緊密な連携を図りながら研究を進めている。新たな予測手法については、個々の要素技術の開発から、その有効性や適用可能性を検証する段階へと進みつつあり、今後は地震本部等での将来的な活用も念頭に、予測の試行と検証を継続することが重要である。

「火山の噴火発生・活動推移に関する定量的な評価と予測の試行」では、観測データに基づいて火山活動の状態を定量的に評価し、時間軸を含めて噴火の発生やその後の活動推移を予測する研究を進めた。これまでに構築してきた噴火事象系統樹や活動推移モデルを基礎として、地震、地殻変動、火山ガス等の観測量の時間変化を取り入れ、噴火発生や活動推移を定量的に評価する試みが進展した。大規模噴火についても、過去の噴火記録と観測データの解析から前駆過程を整理し、マグマ貫入速度等の観測量から噴火発生時刻や規模を確率的に評価する研究が行われている。今後は、国内に加えて活動が活発な海外火山での観測研究を通じて噴火事例を蓄積し、複数火山への適用と予測結果の検証を進めることで、手法の一般性を評価する必要がある。さらに、火山調査研究推進本部や気象庁等との連携を進め、将来の火山活動評価への活用につなげることが重要である。

「地震の災害誘因の即時予測手法の高度化」は、現行計画から新たに重点研究として位置づけられた。大地震発生直後の限られた観測情報から地震動等を迅速かつ高精度に把握・予測するため、稠密な地震観測網のデータに加え、機械学習等の新たな解析技術を活用した研究を進めている。特に、AIを用いた地震動予測、地震波形の自動解析、震源過程の迅速推定等が進展し、大地震発生後の地震像や強震動を短時間で把握するための技術的基盤が強化された。今後は、実際の地震データによる継続的な検証を通じて、予測精度や即時性、不確実性を評価し、防災情報への活用を見据えた研究へ発展させることが重要である。

このように、3つの重点研究では、重点的な支援によって研究が進展し、予測手法の開発に加えて、その試行・検証や社会実装を見据えた研究へと段階が進みつつある。今後、基礎的な研究を着実に進めながら、社会実装に向けた試行と検証を継続することが重要である。

（分野横断で取り組む総合的研究）

分野横断的な研究を一層推進するため、「分野横断で取り組む総合的研究」を研究計画の柱の一つとして明確に位置づけ、現行計画から独立した項目として予算上の措置を行い、研究を推進した。研究対象についても、従来の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、高リスク小規模火山噴火に加え、内陸で発生する被害地震を新たに設定するとともに、桜島大規模火山噴火を大規模火山噴火へと拡張し、桜島に加えて富士山等も対象とした。これにより、地震・火山現象の理解から災害誘因、リスク評価、防災情報、避難等までを分野横断的に扱う6つの総合的研究を推進した。

6つの総合的研究では進展段階に違いがあるものの、分野間の連携と個別研究成果の統合が進んだ。特に、南海トラフ沿い及び千島海溝沿いの巨大地震では防災実務への展開を見据えた研究が進展し、首都直下地震及び高リスク小規模火山噴火では、前計画で課題となっていた分野横断的な研究体制が大きく前進した。また、大規模火山噴火では研究対象と研究領域が拡張され、内陸で発生する被害地震では新たな総合的研究の枠組みが形成された。総合的研究の仕組みが分野横断研究を促進する上で有効に機能してい

ることから、今後も各課題の進展段階や社会的重要性を踏まえて研究対象や方向性を見直しながら、この枠組みを継続・発展させることが重要である。

3. 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、時間をか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いる。このように目標を達成するまでに必要な時間が異なる課題について、計画的に取り組み着実に実現していくことによって、災害の軽減につなげることができる。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。

これらの項目について、現行計画での進捗状況は以下のように整理される。

(1) については、過去の観測研究計画や第 1 次・第 2 次計画における歴史史料・考古データの蓄積を引き継ぎ、現行計画では、理学、歴史学、考古学、情報科学等の協働により、史料・データの質の向上や位置情報の高精度化が進展した。機械学習などの人工知能(AI)を用いた自然言語処理技術の導入により、大量の歴史文献から地名を抽出・構造化する手法の開発が進み、史料データベースの登録件数も大幅に増加した。また、遺跡から得られる災害痕跡の一元化、コミュニティ断層モデルの構築、津波堆積物調査による古地震・津波履歴の復元が進められ、近代的な観測以前に発生した低頻度・大規模な地震・津波とそれらがもたらした災害に関する知見が質・量ともに充実した。火山噴火が引き起こす災害については、過去の噴出物の地質学的・物質科学的調査や噴火現象の観測・解析を通じて、火山灰や火砕流等の発生過程、規模、影響範囲を明らかにするとともに、低頻度であるが広域に甚大な影響を及ぼす大規模噴火についても研究を進めた。

こうした地震・火山災害に関する科学的知見を社会に伝え、防災に活用するため、防災リテラシーに関する研究も進展した。前計画までに進められてきた研究を基礎として、現行計画では、防災に必要な知識やその活用能力の体系化・理論化を進めた。脳科学的手法を取り入れた実験により、防災情報やメッセージの提示方法が人間の認知や判断に及ぼす影響を調べるとともに、移動人流データや大規模社会調査を用いた解析により、緊急時の避難行動や、正常性バイアス、同調性バイアス等の心理的要因、被災後の生活再建に至る過程について理解を深めた。

さらに、得られた知見を自治体や住民、登山者・観光客、報道機関等へ広く伝えるため、防災教材、公開講義、リスクコミュニケーション、サイエンスカフェ等を実施し、科学的知見を防災判断や防災行動につなげる取り組みを進めた。

今後は、異分野のデータベース間の連携を強化し、過去の災害履歴の解明精度をさらに高めるとともに、災害情報に対する人間の認知・判断・行動に関する知見を体系化する必要がある。その上で、これらの成果を対象者や地域の特性に応じた実践的な教育・研修プログラムへと発展させ、地震・火山災害に関する科学的知見を社会に広く共有する仕組みを構築することが重要である。

(2) については、地震・測地観測における陸海統合観測網の維持・拡張とデータの長

期蓄積、さらに民間の GNSS 観測点の利活用等により、地震や火山噴火の発生頻度・規模、ならびに地殻変動特性に関する理解が進んだ。重点研究として進められた地震発生の新たな長期予測では、従来の過去の発生履歴に基づく統計的アプローチに加え、測地・地震活動データと物理・数理モデルを融合し、物理過程を考慮した予測手法の開発が進展した。大規模な地震発生サイクルシミュレーションの高度化により、プレート境界の固着・滑りの時空間変化の再現性が向上したほか、地殻のひずみ速度場に基づく内陸地震の発生確率の試算も行われた。

災害誘因の事前評価については、地下構造モデルの精緻化、海底観測データを取り入れた動的震源過程解析の高度化、地盤変状や斜面変動の継続的なモニタリング技術の開発が進んだ。さらに、人工構造物の脆弱性を考慮した脆弱性評価を取り入れることで、大地震に伴う建造物被害や人的リスクを事前に評価する研究も進展した。

火山噴火の発生頻度や規模、噴火様式を長期的に評価するため、地質調査や年代測定、噴出物解析の結果、湖底堆積物や歴史資料等を用いて、過去の噴火履歴や活動推移の復元を進めた。また、多項目の観測情報を統合して火山活動の状態を評価する VUI や、過去の噴火履歴・観測情報に基づいて活動推移や噴火事象を定量的に評価する数理モデルの開発を進め、将来起こり得る噴火の規模や様式を想定するための研究を進展させた。さらに、噴出物解析、室内実験、数値シミュレーションにより、噴火様式を支配する物理・化学過程を探るとともに、火山灰や火砕流等の災害誘因の影響範囲を評価し、長期的な火山防災・減災対策の基礎となる研究を進めた。

数十年から数万年以上に及ぶ時間スケールで発生する低頻度・大規模な地震・火山現象を評価するためには、史料や地質調査に基づく発生履歴の解明が今後也不可欠である。地震については、プレート境界の固着や応力蓄積状態の定量的評価の精度を高めるとともに、物理・数理モデルを用いた長期予測手法をさらに高度化する必要がある。火山についても、過去の噴火履歴と現在の観測・地下構造等の情報を結びつけ、噴火の頻度・規模・様式を長期的に評価する手法を高度化する必要がある。

特に、大規模噴火や巨大地震などの低頻度現象については、日本国内だけで近代的な観測事例や経験を十分に蓄積することは難しい。このため、海外で発生する低頻度・大規模現象を対象とした国際共同研究や観測・調査を平時から進め、国内では得ることが難しい観測事例を蓄積し、その発生過程や推移の理解につなげることが重要である。火山については、大規模噴火が日本より高い頻度で発生する地域において、0.1~10 km³規模のマグマを噴出する噴火の準備過程から、噴火の開始、活動の最盛期、収束に至る一連の推移を観測データから捉えることが重要である。地震についても、海外で発生する巨大地震や複雑な断層系の連動破壊について観測・調査の機会を捉え、その発生過程や推移の理解を進める必要がある。こうした海外での観測・調査から得られる知見を、日本における低頻度・大規模現象の長期評価や災害誘因の事前評価、さらには自治体等の防災計画へ還元する仕組みを強化することが重要である。

(3) については、発生直後に災害の規模や影響範囲を迅速に把握する技術として、現行計画では「地震の災害誘因の即時予測手法の高度化」を重点研究として推進し、実用化に向けた研究が大きく進展した。地震動の即時予測では、初期微動を活用した処理の迅速化・堅牢化に加え、AI 技術や代理モデルを活用し、地震発生直後に構造物の強い揺れや波動場を高速に計算・予測するシミュレーション技術が開発された。津波の即時予測では、海陸のリアルタイム高密度測地データを用いた断層すべりや津波波源の早期自動推定技術が高度化されるとともに、事前に想定していない断層運動に対しても、津波の時空間分布を迅速に予測するモデルが構築された。

火山噴火については、噴火発生直後に得られる観測データを用いて、火砕流、降灰、土石流、溶岩流等の災害誘因の規模や影響範囲を迅速に予測し、防災対応につなげる研究を進めた。特に、噴火に伴う地震・空振等の観測データから噴火規模を即時に把握し、気象場を考慮して火山灰の輸送・降灰域を予測する手法や、観測データを基に火砕流の

発生を迅速に判定し、数値シミュレーションによって流下範囲を推定する手法の開発・高度化を進めた。また、火山島の山体崩壊によって発生する津波についても、火山近傍で津波波形が観測されることを想定し、沿岸への津波の到達時刻や波高を即時に予測する手法を開発した。これらにより、噴火や山体崩壊の発生後、限られた時間と観測情報から災害誘因の規模や広がり把握するための即時予測技術が進展した。

一方、即時予測の成果を実際の防災対応につなげる上では、予測精度の向上だけでなく、得られた情報を適切に伝達し、防災行動や意思決定に結びつけることが重要である。南海トラフ地震臨時情報や北海道・三陸沖後発地震注意情報の発表事例に関する社会調査からは、情報の認知度が高くても、日常の備えの再確認や具体的な防災行動には必ずしも結びついていないことが明らかになった。今後は、地震動、津波、火山噴火に伴う災害誘因について、即時予測の精度向上と対象とする災害誘因の拡充を進めるとともに、予測の不確実性を適切に評価する必要がある。さらに、防災リテラシー研究や行政機関との連携を進め、不確実性を含む即時予測情報を適切に伝え、避難や交通規制等の防災判断に結びつける仕組みを高度化することが重要である。

(4) について、地震分野では、地震発生の予測に向けて、繰り返し地震カタログの全国・世界規模での整備、AI 技術の導入による微小地震の検出能力の向上、ならびにゆっくり滑り（スロースリップ）と通常の地震との力学的相互作用の解明が進んだ。こうした高密度の地殻活動モニタリングと物理モデルやデータ同化技術を組み合わせることで、プレート境界における摩擦特性の空間分布の推定や、大地震に先行する可能性のある地下深部の微小な非地震性滑りの推定など、観測データに基づいて地下の状態変化を把握し、予測につなげる研究が進展した。

火山噴火の発生とその後の活動推移を予測するため、地震、地殻変動、火山ガス、熱、電磁気等の多項目観測により、マグマや熱水等の火山性流体の移動や蓄積に伴う地下状態の変化を捉える研究を進めた。加えて、光ファイバーを利用した分散型音響センシング（DAS）による高密度観測や、AI を用いた地震波初動の自動読み取り、微小地震の検出・震源推定等の新たな観測・解析技術の導入が進み、火山活動に伴う微小な変化をより詳細かつ迅速に把握するための技術が進展した。また、観測情報を統合して火山活動の状態を客観的に評価する VUI や、観測データと数理モデルを組み合わせることで活動推移を予測する手法の開発を進めた。さらに、水蒸気噴火については、地下熱水系の構造や状態変化と噴火前に観測される各種シグナルとの関係を明らかにし、噴火発生予測につなげる研究を進めた。

しかしながら、地震の発生時期・場所・規模を高い確度で予測する手法は、依然として確立されていない。火山についても、噴火に至る過程やその引き金となる現象には未解明な点が多く、火山活動の変化を早期に把握して、噴火の発生やその後の活動推移を予測する手法の確立には至っていない。今後も、観測基盤を安定的に維持しながら、地震・火山現象の基礎的な理解と予測手法の高度化を進める必要がある。さらに、得られた成果を地震調査研究推進本部や火山調査研究推進本部等の国の調査研究・評価へ還元するとともに、関係機関との連携を強化し、最終的に避難等の防災対応に結びつけることが重要である。

以上、中長期的展望に示された4項目については、第1次・第2次計画から継続して研究が進められ、現行計画においても、地震・火山現象と災害誘因の理解、長期評価、即時予測、発生・推移予測のそれぞれで研究が進展した。今後は、人材育成と持続的な観測研究を可能とする体制の維持・発展を図りつつ、基礎研究と予測手法の高度化を進める必要がある。また、得られた成果を防災・減災に活用するため、地震調査研究推進本部、火山調査研究推進本部、気象庁、地方自治体等との双方向の連携を強化するとともに、理学、工学、人文・社会科学等の分野横断的な連携を進めることが重要である。

4. 観測研究計画の今後の方向性

本計画の目的は、地震・火山噴火による災害の軽減に貢献することであり、そのためには、地震・火山現象を正しく理解し、その発生や推移を予測するとともに、災害を引き起こす現象を適切に評価することが不可欠である。特に、現象の根本的な理解は、発生予測や災害誘因評価をはじめとする災害軽減に向けた研究の基盤であり、本計画では今後も観測に基づく現象解明を重視する必要がある。現行計画では、AI や機械学習を活用した大量の微小地震データの網羅的検出や、光ファイバーを利用した分散型音響センシング（DAS）等の新たな観測技術の導入により、これまで捉えることが難しかった微小な現象を高い時空間分解能で観測・解析する研究が進展した。AI 技術が急速に発展する中においても、新たな現象の発見や現象理解の出発点となるのは観測によって得られる一次データであり、高品質な観測データを継続的に取得することの重要性はむしろ高まっている。今後も、新たな観測技術の開発と実観測への導入、実験・理論研究との連携を進め、地震・火山現象の根本的な理解を深める必要がある。その際、個別事例の解明にとどまらず、国内外の多様な地震・火山現象を比較し、共通する物理過程や現象の類型化を進めることにより、普遍的な現象理解へと発展させることが重要である。

低頻度で発生する地震・火山現象の理解には、長期間にわたる安定した観測とデータの蓄積が不可欠であり、大学等がこれまで担ってきた地震・地殻変動の定常観測も重要な役割を果たしている。一方、定常観測網の維持には多くの予算と人員を必要とし、研究資源が限られる中で、長期的に安定した観測体制をどのように維持・発展させていくかが課題となっている。今後は、大学が担う観測の役割や位置づけについて、地震調査研究推進本部や火山調査研究推進本部等の施策に基づく基盤的な観測網との関係も考慮しつつ、関係する研究機関や大学間で十分な検討を進め、中長期的な観測体制のあり方を検討する必要がある。

その上で、本計画では、定常観測だけでは捉えることが難しい現象を対象とした機動的・高密度観測や、新たな観測手法・機器の開発を推進するとともに、科研費等の競争的研究費では継続が難しい中長期的な観測研究を支えることが重要である。特に火山分野では、地震や地殻変動に加えて、化学、電磁気、重力、熱等の多様な観測が地下のマグマ・熱水系の長期的な状態変化を捉える上で有用であるが、これらについては全国的な基盤観測網が整備されておらず、継続的な観測によりその有効性を評価することが重要である。今後は、このような多様な中長期観測と定常観測、機動的観測を組み合わせた研究を一層重視し、新たな現象の発見と理解につなげていく必要がある。特に、観測や技術開発に意欲を持つ若手研究者を重点的に支援し、観測の企画、機器開発、設置・運用、データ解析までを経験できる環境を維持することは、将来の観測研究を担う人材を育成するとともに、そこで生み出された新たな観測技術や科学的知見を、将来的に地震調査研究推進本部、火山調査研究推進本部、気象庁等による調査研究・監視・評価へ発展させていく上でも重要である。

機器観測以前の低頻度・大規模現象を理解し、現在の観測データと結びつけて理解するためには、史料・考古・地形・地質データの収集・分析も引き続き重要である。現行計画では、自然言語処理 AI の導入やデータベース間の連携強化により、これらのデータの質・量の向上が進んだ。今後は、断片的な歴史・地質記録と近現代の高精度な観測データを統合するとともに、国内外の事例を比較することにより、低頻度・大規模現象に共通する特徴や多様性を明らかにし、その発生機構や長期的な評価へと結びつける必要がある。

地震・火山噴火の発生予測研究は、こうした現象解明の成果を災害軽減という計画の最終目的に結びつける中核的な役割を担っている。地震発生予測については、観測データと物理・数理モデルを融合させ、物理過程を考慮した予測手法の開発が進展している。内陸地震を対象にして、測地観測によって得られる全国のひずみ速度場等に基づく発生確率の試算が行われており、今後は予測モデルの試行と検証を進めることが期待される。

プレート境界地震についても、多様な滑り現象を説明する数値シミュレーションや物理深層学習等によるデータ同化手法が進展した。今後はスロー地震や繰り返し地震を対象とした時間更新予測実験を試行し、予測モデルの精度を検証するとともに、共通基盤となる地下構造モデルやコミュニティ断層モデルの精緻化を進める必要がある。火山噴火予測については、地震、地殻変動、火山ガス、熱、電磁気等の多項目観測によって地下のマグマ・熱水系の状態変化を捉え、物理・数理モデルと結びつける研究をさらに進める必要がある。特に、小規模な水蒸気噴火については、噴火の数分前に現れる変化を捉えた事例が蓄積されつつあり、今後は、こうした前兆的变化が生じる物理過程と噴火の引き金となる現象を明らかにすることが重要である。その上で、複数火山での観測事例を比較して共通性と多様性を検証し、前兆現象を迅速かつ客観的に検出する手法を開発する必要がある。将来的には、気象庁等の関係機関と連携し、噴火直前に得られる観測情報を迅速な警戒情報へ結びつける仕組みの構築を目指すことが期待される。

地震・火山研究で対象とすべき現象は、社会状況や観測技術の変化、新たな科学的知見の蓄積に伴って拡大している一方、それを担う研究者、技術者、予算には限りがある。すべての課題を同じ重点度で進めることは困難であり、国民の生命・財産を守るという本計画の目的に照らして、今後重点的に解明すべき現象と必要な時間軸を、中長期的な俯瞰図の中で定期的に検討する必要がある。火山分野では、 0.1 km^3 を超える大規模噴火、火山活動に伴う大地震、地すべり・山体崩壊等について、近代的な観測による事例が限られている。特に大規模噴火については、日本国内ではその準備過程から噴火開始、規模拡大、収束に至る一連の活動を近代的な多項目観測によって捉えた経験がない。このため、大規模噴火が比較的高い頻度で発生する海外の火山地域と中長期的な共同研究・観測体制を平時から構築し、実際の噴火発生時に観測・調査を行う経験とデータを蓄積することが重要である。こうした海外での観測事例を国内の地質記録や観測研究と比較し、大規模噴火に至る普遍的な物理過程を明らかにすることは、物理モデルに基づく噴火発生予測や災害誘因予測を高度化し、将来、日本で大規模噴火が発生した際の対応力を高める上でも重要である。

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発展させるため、強震動、津波、火砕流、降灰等の災害誘因の即時予測やリスク評価に関する研究も引き続き重要である。AI 代理モデル等を用いた強震動・津波の高速シミュレーションやリアルタイムハザード評価など、実用化が進みつつある研究については、関係機関と連携して実際の防災対応への活用を進める必要がある。一方、地震・火山現象そのものを正しく理解し、発生時に何が起きているのかを迅速かつ分かりやすく社会へ伝えることも、観測研究が果たす重要な社会的役割である。現象についての科学的な理解は、不確実な状況において人々が過度な恐怖や思い込みに左右されず、合理的に判断するための基盤となる。このため、地震や火山噴火の発生時に、観測データから現象の進行を可能な限りリアルタイムに把握するとともに、何が分かっており、何がまだ分からないのかを含めて、関係機関や社会へ迅速に説明できる観測・解析・情報共有体制を継続的に改善することが重要である。

南海トラフ地震臨時情報や北海道・三陸沖後発地震注意情報の発表事例に関する社会調査が示すように、情報の認知が必ずしも日頃の備えの再確認や具体的な防災行動に直結するとは限らない。防災リテラシー研究では、最終的には科学的知見を適切な判断や防災行動につなげ、災害軽減に貢献することを目指す必要がある。一方、限られた予算・人員の中で研究を進める現段階では、まず、人々が地震・火山現象や予測情報をどのように理解し、判断に利用するのかを明らかにするとともに、地震・火山災害に対して適切な判断や防災対応を行うために必要な知識とその活用能力を体系化・理論化することに重点を置くことが重要である。その上で、得られた知見を実践的な教育・情報提供手法へと発展させ、その効果を検証しながら、適切な防災行動につなげていくことが望まれる。

現行計画では、分野横断型の総合的研究や拠点間連携研究を通じて、理学、工学、人文・社会科学にまたがる幅広い研究者が知見を共有し、現象解明から災害軽減までを対象とした協働研究が進展した。今後もこうした分野横断的研究を継続する一方、連携する分野や組織を単に拡大するのではなく、地震・火山災害の軽減という共通の目的の下、地震・火山現象の解明と発生予測をはじめとする各研究課題を明確にし、各分野がその解決にどのように貢献するかを意識した実質的な連携を進めることが重要である。

以上のように、今後の観測研究計画では、地震・火山災害の軽減に貢献するという最終的な目的の下、地震・火山現象の解明と発生予測、それらを支える観測研究、災害誘因・リスク評価、防災リテラシー研究を相互に連携させて推進することが重要である。研究テーマによって基礎研究から社会実装までの到達段階は異なるため、すべての研究に一律に社会実装を求めるのではなく、科学的成熟度と社会的要請に応じて重点研究や総合的研究を設定し、基礎的な現象解明、新たな観測・予測手法の開発、試行的な予測実験、実用化を段階的に進める必要がある。その際、今期計画だけの成果だけでなく、中長期的な視点において、災害軽減のために優先的に解明すべき現象、維持・開発すべき観測技術、育成すべき人材を明確にした目標を共有し、定期的に見直していくことが重要である。

得られた成果については、地震調査研究推進本部、火山調査研究推進本部、気象庁、地方自治体等との双方向の連携を通じて、調査研究・監視・評価や防災施策へ還元する必要がある。さらに、2026年11月には政府全体の防災・災害対策の司令塔となる防災庁の発足が予定されており、本計画で得られた科学的知見や観測・予測技術を実際の防災・減災へ効果的につなげるため、防災庁との連携体制についても早期に検討・整備することが重要である。このように、基礎的な現象解明から予測、災害誘因・リスク評価、社会への情報提供と活用までを相互に結びつけながら、地震・火山の観測研究を安定的かつ継続的に発展させ、地震・火山災害の軽減につなげていくことが、本計画に求められる今後の方向性である。

VI. まとめ

現行計画は、地震火山観測研究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第1次計画からの方針をより一層深化させることを目指して立案・実施している。理学、工学、人文・社会科学の連携による「総合知」を結集して、地震・火山現象の解明から地震・火山噴火の予測、さらには地震・火山噴火がもたらす災害誘因の予測に関する成果を創出してきた。第2次計画から始めた防災リテラシー向上のための研究では、防災対策や避難行動に必要な知識とそれらを活用する能力を構成する要素や人々の認知・意思決定・行動に影響する要因を主な研究対象として明確化した上で実施し、災害時の行動、災害や復興に対する意識における心理的・社会的特性とその時間変化が明らかになるなどの重要な成果が得られている。同じく第2次計画から設定した重点研究では、地震の長期予測、火山の噴火・推移予測、災害誘因の即時予測のそれぞれにおいて重要な成果が得られている。今後は、地震本部や火山本部、防災庁や気象庁などと社会実装に向けた連携を進めるとともに、それぞれの予測手法のさらなる高度化に向けて研究を発展させていく必要がある。

現行計画において最も特筆すべき点は、理学、工学、人文学・社会科学が連携する「分野横断で取り組む総合的研究」を計画の主要な柱として明確に位置付けて、6つの研究対象を設定して推進したことである。これにより、自然現象の解明・観測から、予測、災害誘因・リスク評価、さらには住民との対話型リスクコミュニケーションに至るまで、災害軽減に向けた一貫した研究成果を創出することができた。観測研究から災害軽減までをシームレスに統合したこのような取組は、基礎研究の成果を防災・減災対策へと発展させる実践的な学際研究のモデルとして有効に機能していることから、今後も

総合的研究の研究対象ごとの進捗状況や社会的重要性を踏まえて研究対象や方向性を見直しながら、この枠組みを継続・発展させることが重要である。

本観測計画の継続・発展のためには、持続可能な形での観測基盤の継続や新たな観測機器の開発、データの整備・公開、国際共同研究や分野横断型研究の推進や次世代の人材育成が欠かせない。今後もこれらの課題に積極的に取り組み、地震・火山噴火による災害軽減のための観測研究を一層深化させることが望ましい。