

目次

A 1. 令和 3 年 4 月から令和 8 年 6 月までに発生した重要あるいは社会的影響の大きな地震・火山現象に関する観測研究の成果	2
1. 主な地震	2
2. 主な火山活動	7
A 2. 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）項目別実施状況と今後への課題...	10
1. 地震・火山現象の解明のための研究	10
(1) 史料・考古・地形・地質データ等の収集と解析・統合.....	10
(2) 低頻度かつ大規模な地震・火山噴火現象の解明	13
(3) 地震発生過程の解明とモデル化	15
(4) 火山活動・噴火機構の解明とモデル化	17
(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化.....	19
2. 地震・火山噴火の予測のための研究	23
(1) 地震発生の新たな長期予測（重点研究）	23
(2) 地震発生確率の時間更新予測	25
(3) 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）	29
3. 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究.....	31
(1) 地震の災害誘因の事前評価手法の高度化	31
(2) 地震の災害誘因の即時予測手法の高度化（重点研究）	35
(3) 火山噴火による災害誘因評価手法の高度化	37
(4) 地震・火山噴火の災害誘因予測・リスク評価を防災情報につなげる研究.....	38
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.....	40
(1) 地震・火山噴火の災害事例による災害発生機構の解明.....	40
(2) 地震・火山噴火災害に関する社会の共通理解醸成のための研究.....	42
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.....	45
(1) 南海トラフ沿いの巨大地震	45
(2) 首都直下地震	47
(3) 千島海溝沿いの巨大地震	48
(4) 内陸で発生する被害地震	49
(5) 大規模火山噴火	50
(6) 高リスク小規模火山噴火	52
6. 研究を推進するための体制の整備	54
(1) 観測研究基盤の開発・整備	55
(2) 推進体制の整備	61
(3) 関連研究分野との連携強化	63
(4) 国際共同研究・国際協力	63
(5) 社会への研究成果の還元と防災教育	65
(6) 次世代を担う研究者、技術者、防災業務・防災対応に携わる人材の育成.....	66

A 1. 令和 3 年 4 月から令和 8 年 6 月までに発生した重要あるいは社会的影響の大きな地震・火山現象に関する観測研究の成果

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。

1) 能登半島北東部の継続的地震活動と令和 6 年（2024 年）1 月 1 日能登半島地震 M7.6

石川県能登地方では、能登半島北東部の概ね 30km 四方の範囲において、2018 年頃から地震回数が増加傾向にあり、2020 年 12 月から地震活動が活発になった。地震活動の活発化とともに地殻変動も観測され、2020 年 12 月頃から珠洲を中心に隆起が開始した。2021 年 7 月頃からはさらに地震活動が活発になり、有感地震も数多く観測されるようになった。地震活動の範囲は、地下 10-20km 程度にあり、水平には 15km 四方ほどにまで広がった。この様な活動の中、2021 年 9 月 16 日には M5.1 の地震が発生し、最大震度 5 弱を記録した。この後も地震活動は高い状態で推移し、2022 年 3 月末の時点で、2020 年 12 月から数えて累計 4000 個を超える地震が能登地方で発生し、また、珠洲における隆起量は約 4cm にも達した。2023 年 5 月 5 日には M6.5 の地震（最大震度 6 強）が発生し、地震活動がさらに活発になっていたが、時間の経過とともに地震の発生数は減少していた。

震源分布の研究から、一連の群発地震の震源が複数の面構造に沿って浅部に移動していたこと、その開始部付近の地震波反射面が存在していたことが示された。その結果から、この群発地震活動と 2023 年 5 月 5 日の M6.5 の地震が、流体移動とそれに起因する非地震性変形によって引き起こされた可能性が高いことが示された。また、地震波速度構造との対応として、群発地震活動が開始した南部において活動域の深部に高 V_p 、高 V_p/V_s の領域が確認された。この原因は古いマグマ溜まりと高い圧力の水が考えられ、地震活動と地殻内流体との関連が示唆された。さらに、広帯域地磁気地電流観測による 3 次元比抵抗構造推定により、群発地震活動が開始した南部からその後に活動域が広がった北部に至る低比抵抗領域の存在が明らかになった。群発地震活動は、この低比抵抗領域の上端に位置し、流体の移動・拡散との関連が強く示唆された。

M6.5 の地震については、能登半島周辺の強震波形を用いた解析により、主破壊が破壊開始点より北の浅部に進行したことが明らかとなった。この地震では逆断層すべりが卓越し、最大すべり量は約 1.0m、平均すべり量は約 0.3m であったと推定された。この M6.5 の地震の震源断層は、2022 年 6 月 19 日の M5.9 と同じ南東に傾斜する断層面に位置し、この地震よりも浅い部分を破壊したことが明らかになった。

そのような中で、2024 年 1 月 1 日 16 時 10 分に一連の活動の中で最大規模の地震である M7.6 の地震が発生し、石川県輪島市及び志賀町で震度 7 を観測した。発震機構は北西－南東方向に圧力軸を持つ逆断層型であった。この地震により、珠洲市長橋の潮位観測点は地盤の隆起により観測不能となったものの、石川県の金沢で 80cm の津波を観測するなど、北海道から九州の日本海沿岸各地及びオホーツク海の一部で津波が観測された。また、津波は日本海の対岸まで及び、ロシアのプレオブラジェニエで 32cm、韓国のムッホで 82cm などの津波が観測された（米国海洋大気庁（NOAA）による。2026 年 6 月 24 日現在）。現地調査を行った結果、新潟県上越市で遡上高 5.8m などの痕跡が認められた。2024 年 1 月 1 日の M7.6 の地震発生直後から、能登半島及びその北東側の海域を中心とする北東－南西に延びる 150km 程度の範囲で地震活動が非常に活発になった。その後、時間の経過とともに地震活動が徐々に低下してきていたが、2024 年 6 月に M6.0、11 月に M6.6 の地震が発生した。

本観測研究計画では、既存予算に加えて 2023 年度に新たに 6 つの研究課題への追加予算を配分し、能登半島地震に関する研究を進めた。また、多くメンバーが科学研究費助成事業（特別研究促進費）「能登半島北東部において継続する地震活動に関する総合調査」にも参加し、研究を進めた。また、2024 年 3 月 12 日には地震・火山噴火予知協議会（当時）の企画部戦略室主催で「令和 6 年

能登半島地震ワークショップ」を開催し、気象庁、国土地理院、産業技術総合研究所、海上保安庁海洋情報部、海洋研究開発機構、東京大学、東北大学、京都大学等の各代表機関からの報告があり、情報共有を行った。

M7.6 の地震の震源域では、国土交通省による F42, F43 断層や、文部科学省による日本海地震・津波プロジェクトでの NT2-9 断層が知られていた。また、地震発生バックグラウンドとして、東北地方太平洋沖地震の応力変化による流体上昇の可能性も指摘された。M7.6 の地震の前の地震活動については、震源分布の詳細な解析から、既知の活断層の深部延長よりも深い場所に活断層の深部延長と平行な面を形成するように震源が分布していることが明らかになった。この地震活動域

（珠洲伏在断層）において、地震前に M7.6 の地震の震源に向かって西向きおよび鉛直上向きの 2 つの震源移動が見られた。このことは、流体が本震前に深部の微細断層を通じて震源付近にまで移動していたことを示唆している (Yoshida et al., 2024)。また、M7.6 の地震の 1.5 時間前から、局在化した地震活動の活発化（前震活動）もみられた。

M7.6 の地震の余震分布の解析では、断層面の傾斜が地表付近でやや高角、深部で低角な形状（リストリックな形状）をした断層の存在が示唆された。海域に伸びた震源域での地震活動を調べるために、全国の大学および海洋研究開発機構が参加した自己浮上式海底地震計（OBS）による観測も行われた。この観測により、M7.6 の地震の余震の震源は深さ約 17 km よりも浅い上部地殻内において活発であることが分かった。また、深い地震は海域にあたる震源域最東部に多く位置していること、多くの地震が北西－南東方向の圧縮応力で起きていたことも分かった (Shinohara et al., 2025)。地震時すべり分布については、遠地実体波、強震動波形や GNSS データを用いた解析が行われており、主に 2 つの大すべり域が存在することが分かった。また、M7.6 の地震に対応する非平面な 3 次元断層形状と応力場に基づく動的破壊シミュレーションによっても 2 つのすべりの大きい領域が予測され、地震発生前の時点での滑り域推定の高精度化に向けた進展があった。このほか、津波データおよび GNSS データを用いた地震時すべり分布の推定も行われ、能登半島沖の南東傾斜の断層で 2～4m のすべりが推定されたのに対し、佐渡沖の北西傾斜の断層では、すべりはほとんど認められなかった。また、陸域で観測された地震時地殻変動に基づいた断層モデルから計算した津波波形では、実際の観測波形を十分に再現することができず、さらに北東域に波源が必要であることが分かった (Yamanaka et al., 2024)。

地殻変動の観測では、干渉 SAR を用いた解析から、能登半島北岸での大きな隆起が観測された。この観測結果は沿岸の海岸隆起調査の結果ともよく一致していた。さらに、海岸の現地調査からは今回の地震で隆起が認められた海岸には、少なくとも 3 段の完新世海成段丘が認められ、過去にも同様の隆起イベントがあった可能性が高いことが示された。また、海域での地形調査からは、珠洲沖の海底での広域の隆起も検出された。2021 年夏から開始した大学による陸域の GNSS 臨時観測、国土地理院 GEONET、ソフトバンク株式会社の独自 GNSS 観測点のデータの解析により、特に干渉 SAR では感度がない南北成分の変位を含めて高い空間分解能で地殻変動分布を得ることに成功し、その結果からも能登半島北岸下の 2 ヶ所に大すべり域の存在が明らかになった (Yamada et al., 2025)。また、一連の地震活動の初期は陸域を中心とする放射状の地殻変動パターンを示していたが、2023 年 5 月の M6.5 の地震から 2024 年 1 月 1 日の M7.6 の地震までは、海域に位置する M6.5 の震源域を中心とする地殻変動パターンに変化していたことも分かった。さらに、1 秒毎に取得した GNSS データや珠洲市での光ケーブルを利用した超高感度地殻変動観測でも前震や本震に対応した地殻変動が捉えられた。これらのデータは、震源過程の推定に大きな制約を与えることができる可能性がある。一方 GNSS 観測による余効変動は能登半島の南東部で大きく、粘弾性緩和の影響が考えられることが分かった。群発地震に伴って以前から行っていた重力観測では、M7.6 の地震に伴って珠洲市から輪島市にかけての複数点で、地殻変動量から期待されるものよりも大きな重力の減少が見つかった。このことは地震時、あるいはその前に震源域に水が流れ込んだことを示している可能性がある。

前述の高 V_p 、高 V_p/V_s の領域は、M7.6 の地震の断層モデルの深部延長に位置していることが明らかになった。また、M7.6 の地震のすべり域付近は低 V_p 、低 V_p/V_s となっていた。これは、長期の地震活動と関連し水と共に移動した SiO_2 の濃集が考えられる（岡田・2024 年能登半島地震陸域

余震観測グループ、2024)。

能登半島における一連の地震活動は、群発地震の開始、活動域の拡大を経て、既存の活断層の破壊による M7.6 の大地震へと進展していった。群発地震の活動域の近傍では M7.6 の地震の震源断層に相当する活断層があらかじめ推定されていたものの、群発地震活動が大地震へと発展する過程の予測が依然として困難であり、地殻活動の推移予測が今後解決すべき重要な課題のひとつであることを改めて示した。また、動的破壊シミュレーションは、災害につながる大地震の震源過程等を事前に予測するための有力な手法であることが示された。今後、その入力条件となる 3 次元断層形状および応力場を高精度に推定することが重要である。

2) 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 及び M6.6

2024 年 8 月 8 日 16 時 42 分に日向灘の深さ 31km で M7.1 の地震が発生し、宮崎県日南市で震度 6 弱を観測した。発震機構は西北西－東南東方向に圧力軸を持つ逆断層型で、フィリピン海プレートと陸のプレートの境界で発生した。この地震により、宮崎県の宮崎港で 51cm、日南市油津で 40cm の津波を観測するなど、千葉県から鹿児島県にかけて津波を観測した。この地震の発生に伴って、南海トラフ地震の想定震源域では、大規模地震の発生可能性が平常時に比べて相対的に高まっていると考えられたことから、2024 年 8 月 8 日 19 時 15 分に南海トラフ地震臨時情報 (巨大地震注意) を発表した。

地震調査委員会では、今回の地震について、「日向灘のひとまわり小さい地震」とであると評価した。

この地震活動域内の深さ 36km で 2025 年 1 月 13 日 21 時 19 分に M6.6 の地震が発生し、宮崎県宮崎市、高鍋町及び新富町で震度 5 弱を観測した。発震機構は西北西－東南東方向に圧力軸を持つ逆断層型で、フィリピン海プレートと陸のプレートの境界で発生した。この地震により、宮崎県の宮崎港で 23 cm の津波を観測するなど、高知県から鹿児島県にかけて津波を観測した。

国土地理院 GEONET の観測点に加えて、宮崎県および鹿児島県内に 14 ヶ所の GNSS 連続観測点が大学によって設置され、地殻変動のモニタリングが継続して行われている。これらの観測網によって地震時の地殻変動が捉えられており、2024 年の地震後には余効変動があったことが明らかになった。地殻変動の観測結果から推定された震源断層モデルによると、2 つの地震のすべり域は南北に隣接しており、重なりはみられない。さらに、2025 年の地震のすべり域は 1996 年 10 月と 12 月に発生したプレート間地震 (それぞれ M6.9、M6.7) のすべり域と重なっていることが分かった。すなわち、2025 年の地震では、1996 年の 2 つの地震を合わせた領域が約 28 年間を経て同時にすべったと考えられる。国土地理院 GEONET の観測結果によると、2024 年の地震に先立って 2023 年後半から震源域の深部延長でモーメントマグニチュード (Mw) 5.9 のスロースリップイベント (SSE) が発生していたことが明らかになった。2024 年の地震後の余効変動がアフタースリップによるものだとすると、その規模は 9 月 16 日には Mw6.7 に達しており、発生域は 2024 年の地震の震源域よりも浅い側と深部延長の両方に広がっていた。このうち、深部延長側のアフタースリップの発生域の端を震央として 2025 年の地震が発生した。さらに、M7.1 の地震による深部低周波地震の動的誘発現象が紀伊半島東部と愛知県で確認され、両者の継続時間に明瞭な差が見られた。これは、誘発前のプレート境界における流体圧や応力蓄積状況の違いを反映している可能性が考えられる。日向灘の地震に対しては最新の観測技術も活用された。ケーブル式海底地震津波観測網 N-net に用いられている光海底ケーブルを用いた分散型音響センシング (DAS) による計測が行われ、M7.1 の地震とその余震を多数観測することに成功した。このことから、N-net の海底ケーブルによる DAS 計測が有用であることがわかった。火山活動との関係も調査され、M7.1 の地震のモーメントテンソル解をもとに周辺応力変化量を求めたところ、霧島山は 0.25 micro strain の膨張場となったものの、噴火発生頻度が増加するという閾値 (Nishimura, SR2021) には達していないことが分かった。

継続したモニタリングによって明らかになった地震に先行する SSE、地震時すべり、アフタースリップの発生域の間の位置関係、さらには過去の地震の震源域との関係の把握は、地震発生の評価にとって重要な成果である。

一方、南海トラフ地震臨時情報の発表についての認知度や、発表を受けた防災行動の実態などについて、全都道府県を対象とした調査が臨時情報発表の翌日から行われた。その結果、臨時情報を見聞きしたとの回答は約 8 割であったが、呼びかけられていた「日ごろの地震への備えの再確認」

を行ったと回答した割合は極めて低かったことが明らかになった。これは、一部の報道で巨大地震注意を呼びかける期間が1週間であることが強調されたため、日頃からの備えを確認するという重要なメッセージが伝わらなかった可能性がある。今回の調査結果は、災害情報をより効果的に伝える表現技法の開発に生かされることが期待される。

3) 令和5年(2023年)2月6日 トルコ・シリア地震 M7.8 及び M7.5 (トルコ)

2023年2月6日4時17分(現地時間。以下同じ。)にトルコ南東部の東アナトリア断層系の深さ10kmでM7.8の地震が発生した。発震機構は、南北方向に圧力軸を持つ横ずれ断層型であり、キプロスのパラリムニで0.25mなどの津波を観測した。その後、地震活動が活発になり、約9時間後の13時24分には近傍のチャルダック断層でM7.5の地震が発生した。この地震の発震機構は北東-南西方向に圧力軸を持つ横ずれ断層型である。今回の地震活動により、死者5万人以上、負傷者11万人以上などの被害が生じた(2023年3月2日時点)。今回の地震活動域は、東アナトリア断層の南西部に沿っており、ユーラシアプレートとアラビアプレートの境界に位置している。

これらの地震に対する静的応力変化と地震応答との関係が調査された(Toda and Stein, 2024)。最初のM7.8の地震による、M7.5の地震の震源付近での剪断応力変化は+0.1MPa程度であったが、法線応力の増加が+0.3MPaと著しかった。一方で、M7.8の地震の震源断層に近い北東側では、剪断応力が顕著に低下していた。そのため、法線応力変化が震源核形成に寄与し、剪断応力低下は動的破壊過程にほとんど影響しなかったとみられる。次に、USGSの震源断層モデルを用いて両地震によるクーロン応力変化(ΔCFF)を計算したところ、2つの震源断層の周辺で負の ΔCFF が大きく広がり、2つの震源断層の4つの端部延長で顕著な増加となった。震源断層沿いの余震を除いて全体的に周辺域で活動の低下がみられた。断層端延長部で余震活動は集中するが、2020年のエラズー地震(M6.8)の震源付近では2023年本震後の活動がほとんど認められない。エラズー地震そのものによる ΔCFF は-1MPa程度で、2023年本震による+0.1~+0.2MPaを大幅に下回ったため、単純に応力変化の合計が負となり余震が誘発されなかったという見方もできる。ETAS, b値, クーロン応力を統合して地震活動を解析した結果、本震前には活動の活発化と低b値が確認され、低b値域は破壊開始部の大すべり域と一致した。一方、本震後の最大級の余震は高応力域で発生していることを確認した。余震系列は減衰中であるが、継続期間は2.7~5.5年と推定された(Nanjo et al., 2025)。

2015年から2024年までの干渉SAR解析も実施され、すべり収支の計算から、2023年の地震の破壊域や余効すべり域以外でM7クラスの地震を起こしうる未破壊域が特定された。また、地震間・地震時・地震後の各変動を分離し、それぞれの断層すべり領域が空間的に棲み分けられていることが明らかになった。トルコに設置されたGNSS観測網のデータを利用し、電離圏におけるレイリー表面波の特徴を調査した結果、震源の南西方向に、衛星の視線方向では説明できない著しく大きな電離層擾乱信号が検出された。これは、M7.8の地震によって南西方向に強いレイリー波が放射されたと考えられ、その方向における断層破壊の速度が極めて速いことを反映したものと考えられる(Bagiya et al., 2025)。

M7.8の地震の震源断層では、2014年にトレンチ調査が行われており、シャッターリッジを構成する蛇紋岩と閉塞凹地を埋積する細粒堆積物を境とする明瞭な高角断層が確認されていた。また、断層と地層の切断・被覆関係や変位・変形の程度の差異をもとに、5~6回の過去の活動が識別されていた。歴史記録では、甚大な被害記録の範囲から東アナトリア断層系を震源とする地震とみられていた1513年の地震が最新活動であると考えられていた。さらに先行する歴史地震の候補は1114年に発生したものであり、これらの歴史地震の発生間隔400年と西暦1513年からの経過時間をもとに、近い将来の地震発生可能性が指摘されていた。2023年のM7.8の地震では演述のトレンチ地点でも横ずれ変位が生じたと推定されたため、2023年10月に同じ地点でトレンチを再掘削し、地震前後の断層の出現形態や過去の活動時期の精緻化、累積横ずれ変位量の計測等を実施した。地表地震断層は、2014年のトレンチで識別された断層が上方へ進展し、地表まで切断する様子が確認された。ただし、一部の断層は地表まで進展しておらず、イベント解釈で一般的である断層と地層の切断・被覆関係が過去のイベント層準を示すことが確認された。閉塞凹地からシャッターリッジを横断して排水していたとみられる埋没チャンネル堆積物を基準に累積横ずれ量を計測した。

4) 令和7年(2025年)トカラ列島近海の継続的地震活動

トカラ列島近海(小宝島付近)では、2025年6月21日05時頃から地震活動が活発となり、7月31日までに震度1以上を観測した地震が約2200回発生した。最も大きな震度を観測した地震は、7月3日16時13分に発生したM5.5の地震で、悪石島で震度6弱を観測した。最大規模の地震は、7月2日15時26分に発生したM5.6の地震で、小宝島で震度5弱を観測した。他にも7月5日06時29分(M5.4)、7月6日14時01分(M4.9)、7月6日14時07分(M5.5)で震度5強を観測した。今回の地震活動は大陸側のプレート内で発生した。発震機構は、活動域西側では概ね北北東-南南西方向に張力軸を持つ正断層型が、活動域東側では概ね北北西-南南東方向に張力軸を持つ正断層型または横ずれ断層型であった。

今回の地震活動域付近では、2021年12月や2023年9月など、時々まとまった地震活動があり、それぞれ震度1以上を観測する地震が300回程度発生していたが、今回の活動は過去の地震活動よりもはるかに発生数が多かった。また、この地域の地震活動は活発な期間と落ち着いた期間を繰り返しながら継続することが多く、個々の地震活動の終わりの時期を特定することが難しいという特徴がある。

この地震活動に関する研究に対しては、本観測研究計画の課題予算のほか、科学研究費助成事業・特別研究促進費「トカラ列島近海において継続する地震活動に関する総合調査」による支援を受けて観測体制の強化が図られた。

鹿児島大学では、群発地震活動域に近接する小宝島と平島に設置していたオフライン地震観測点をオンライン化するとともに、広帯域地震計を追加設置した。これらに悪石島観測点(衛星テレメータ)を加えた3点の島嶼地震観測点データを〇月〇日より気象庁に伝送開始し、一元化処理に活用される体制を整えた。また、2025年8月3日から11月15日にかけて10台の海底地震計(OBS)による観測も実施した。OBSで収録されたデータと島嶼域データを結合処理し、震源の再決定を行ったところ、震源の深さは3~15kmであり、2025年の群発地震活動は大陸プレートの上部地殻内で発生したことが明らかになった(八木原ほか、2025)。震央域は、概ね悪石島の西方から小宝島の北北東方にかけて北東-南西方向に配列する主活動域と、宝島の北西方から東北東方に点在する副活動域から構成され、主活動域に認められる震央の配列方向は、海底地形の高まりが延びる方向と平行であった。2025年6月21日~7月6日の期間における主活動域の線状配列は明瞭で、長さが約25km、幅が3~4km程度であった。この南西部には南側に長さ約8km、幅約5kmのもう1本の平行な線状配列が認められた。また、2025年8月3日~11月15日の期間における震源域は、7月までの活動域とは重ならず、浅い側に分布することが分かった。防災科学技術研究所のF-netの観測点と鹿児島大学の臨時観測点における合成波形エンベロープから地震発生後41日間のエネルギー輻射量(4-20 Hz)を推定した結果、7月31日までにM6.3相当の地震波エネルギーが放出されており、その98%が7月16日までに放出されていたことが明らかとなった。震源の移動現象も見られ、火山性流体の貫入に伴うスロースリップと応力集中が群発地震に関与した可能性が示唆された。一方で、流体圧の増加よりは、当該地域の応力場によって発生したとする考えもある(Otsubo and Amezawa, 2026)。個々の地震のメカニズム解(発震機構解)を用いてミスフィット角を計算した結果、宝島周辺で発生した地震については、地震回数が有意に多い7月2日から7月3日の期間にミスフィット角がしきい値を大きく上回り、F-netのモーメントテンソル(MT)解から求めた基準応力場から逸脱する顕著な応力擾乱が生じた可能性が示唆された。

小宝島小島に臨時に設置されたGNSS観測点と、トカラ列島を中心としたGEONET観測点、さらにソフトバンク株式会社の独自GNSS観測点のデータを統合して解析したところ、小宝島において群発地震活動と同期した10cmを超える顕著な南北成分の変位が7月1日から7月3日にかけて観測された。F-net MT解を用いて推定された地震による累積変位量は十分に小さく、GNSSで観測された変位量のほとんどは非地震性のものであると考えられる。観測された変位場から地震時変位の累積量を差し引いた変位場にもとづくモデリングの結果、この非地震性の変位場は、せん断すべりを伴う北西傾斜の正断層によるものと考えられる。なお、2019年以降にGNSS観測が開始されているトカラ列島の各有人離島においては、過去3回(2021年の4月と12月、及び2023年9月)の群発地震活動でも明瞭な地殻変動が同期して発生していたことが分かった。

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 11 時 24 分（現地時間。以下同じ。）にロシア、カムチャツカ半島東方沖の深さ 35km で M8.8 の地震が発生し、日本国内でも震度 2 を観測した。発震機構は北西－南東方向に圧力軸を持つ逆断層型で、太平洋プレートと北米プレートの境界で発生した。この地震により、岩手県の久慈港で 141cm の津波を観測するなど、太平洋沿岸及びオホーツク海の一部で津波を観測した。津波は波源域から直接伝わる第一波に続き、同日昼頃からは天皇海山列から反射した津波も観測し始めた。さらに、太平洋を伝播し、南米沿岸等で反射した津波を 8 月 1 日朝頃から観測するなど、長時間にわたって津波の影響が継続することとなった。また、海外においても、ロシアのヴォドパドナヤで 5 m などの津波を観測した。

今回の地震の震央付近では、2025 年 7 月 20 日 18 時 28 分に M6.8 の地震、同日 18 時 49 分に M7.4 の地震が発生するなど地震活動が活発になっており、M8.8 の地震までの過渡的な震源移動が報告されている。

今回の地震の震央付近では、過去にも巨大な地震が発生している。1952 年 11 月 5 日にはロシア、カムチャツカ半島東方沖で M9.0 の地震が発生し、北海道から九州の太平洋沿岸を中心に津波を観測した。カムチャツカ半島東方沖における太平洋プレートの沈み込み速度は年間約 8cm であり、1952 年の地震からの経過期間が 73 年であることをふまえると、M9 クラスの地震の発生間隔としては短すぎるという見方もある。その原因として、過去の大地震後に残留するひずみ量によって、その発生周期が乱される可能性が示唆された（Yagi et al., 2025）。この地震は、プレートの沈み込み速度と前回の巨大地震からの経過時間だけでは、巨大地震の発生間隔を十分に説明できないことを示した。今後は、過去の地震によって残されたひずみの空間分布、プレート境界の固着状態、さらには周辺で発生する地震との相互作用を考慮し、巨大地震の発生間隔を規定する物理過程を明らかにすることが重要な課題となる。

今回発生した津波の特性を明らかにするために、北海道の十勝・釧路・根室管内で現地調査を行った結果、風の影響を受けにくい港湾内における津波痕跡高は最大 1.4m であり、周辺の検潮所の記録とも整合していた。また、北海道から福島県にかけての検潮所で記録された 1952 年と 2025 年の津波波形の比較も行った。1952 年の検潮記録が存在する釧路・八戸・鮎川・小名浜において津波波形を比較したところ、第一波および後続波群の到着時間・振幅・位相が極めて類似していることが明らかとなった。1952 年の津波高のピーク振幅は 2025 年に対して 1.31～1.81 倍であり、実振幅でも 10～15cm 程度とわずかに大きかった。これらの結果から、1952 年の地震モーメントが大きく見積もっても 2025 年のたかだか約 1.5 倍程度であり、両者はほぼ同規模の地震であったことが強く示唆される。

北海道で津波警報が発表されたのは、2011 年の東北地方太平洋沖地震以来、15 年ぶりであった。そこで、住民の避難行動特性を調査するために追加予算を配分し、インターネットを利用したアンケートを実施した。地域間比較を行うため、北海道のほか、宮城・神奈川・静岡・和歌山県を対象とした。神奈川県を除く各地域では、避難手段として自動車の利用が最も多く、50%を超えていた。その結果、避難時の渋滞が課題として多く挙げられた。また、津波警報は 20 時 45 分の解除まで約 11 時間発表されていたが、発表の継続時間については、いずれの地域においても「適切であった」と「長すぎた」がほぼ同程度であった。津波警報が発令された沿岸から 4km 圏内の住民を対象に 2025 年 9 月下旬から 10 月上旬までに行われた別のアンケートの結果、津波注意報の発表の段階では、46%の住民が避難行動として何もしていなかった。避難行動の有無の選択理由として、「そこにいる方が安全だと思ったから」をあげる割合が多かった。また、避難しなかった理由として、「今回は大丈夫だと思ったから」の割合が多かったことが特徴的であり、避難した理由としては、「津波の危険性を感じたから」の割合が多いのが特徴的であった。さらに、津波警報に引き上げられた際も、41%の住民が避難行動として何もしていなかった。津波注意報と同様に、避難しなかった理由として、「今回は大丈夫だと思ったから」の割合が多かったことが特徴的であり、避難した理由としては、「津波の危険性を感じたから」の割合が多いのが特徴的であった。以上により、災害に対する意識や行動の向上が進まない人間社会における諸要因について、社会レベルと個別現象レベルで検証に必要な基礎的なデータを得ることができた。

6) 北海道・三陸沖後発地震注意情報を発表した地震：令和 7 年（2025 年）12 月 8 日青森県東方沖の地震 M7.5 及び令和 8 年（2026 年）4 月 20 日三陸沖の地震 M7.7

2025 年 12 月 8 日 23 時 15 分に青森県東方沖の深さ 54km で M7.5 の地震が発生し、青森県八戸市で震度 6 強を観測した。発震機構は西北西－東南東方向に圧力軸を持つ逆断層型で、太平洋プレートと陸のプレートの境界で発生した。この地震により、岩手県の久慈港で 64cm、北海道の浦河で 50cm など、北海道から東北地方にかけての太平洋沿岸を中心に津波を観測した。

この地震の発生により、北海道の根室沖から東北地方の三陸沖にかけての巨大地震の想定震源域では、新たな大規模地震の発生可能性が平常時と比べて相対的に高まっていると考えられることから、気象庁は 2025 年 12 月 9 日 02 時 00 分に、2022 年 12 月 16 日の運用開始以降初めて「北海道・三陸沖後発地震注意情報」を発表した。

地震活動は当初は活発に推移しつつも徐々に収まりつつあったが、その後、M7.5 の地震の震央から東に約 60km 付近で、2025 年 12 月 12 日に M6.9 の地震が発生し、再び地震活動が活発となった。今回の地震活動域は、M7.5 の地震の震央からおおよそ東方向に 100km 程度広がっており、「1968 年十勝沖地震」(M7.9) の震源域内の北部に位置する。また、南側は「平成 6 年 (1994 年) 三陸はるか沖地震」(M7.6) の震源域に隣接していた。

また、2026 年 4 月 20 日 16 時 52 分に三陸沖の深さ 19km で M7.7 の地震が発生し、青森県階上町で震度 5 強を観測した。発震機構は西北西－東南東方向に圧力軸を持つ逆断層型で、太平洋プレートと陸のプレートの境界で発生した。この地震により、岩手県の久慈港で 79cm、北海道の浦河で 39cm など、北海道から東北地方にかけての太平洋沿岸で津波を観測した。この地震についても、気象庁は 2026 年 4 月 20 日 19 時 30 分に「北海道・三陸沖後発地震注意情報」の発表を行った。

この地震の震央付近では、2025 年 11 月 4 日からまとまった地震活動が見られるようになり、2025 年 11 月 9 日には M6.9 の地震が発生した。その後も活動は活発で、2025 年 12 月 31 日に M6.1、2026 年 3 月 8 日に M6.1、3 月 26 日に M6.7 の地震が発生するなど、M6.0 以上の地震が度々発生していた。地震活動域は北西－南東方向におおよそ 150km の範囲で広がっており、2025 年 11 月 9 日の M6.9 の地震の活動域の北西側に分布している。「1968 年十勝沖地震」(M7.9) の震源域の南端付近、「平成 6 年 (1994 年) 三陸はるか沖地震」(M7.6) の震源域の南側に隣接する領域で発生した。

さらに、2026 年 6 月 25 日 07 時 30 分に岩手県沖の深さ 44km で M7.2 の地震が発生し、青森県階上町で震度 6 強を観測した。発震機構は西北西－東南東方向に圧力軸を持つ逆断層型で、太平洋プレートと陸のプレートの境界で発生した。この地震により岩手県の久慈港で若干の海面変動を観測した。今回の地震は「平成 6 年 (1994 年) 三陸はるか沖地震」(M7.6) の震源域の西端付近における最大余震 (1995 年 1 月 7 日 M7.2) の震央付近で発生していた。

地震調査委員会では、これらの地震について「青森県東方沖及び岩手県沖北部」の領域で発生する「ひとまわり小さいプレート間地震」(M7.0～M7.5 程度) に該当する、と評価した。

青森県東方沖の地震及びその周辺で発生した地震を利用して、被害予測への応用が期待される周期別の疑似速度応答スペクトル距離減衰式の検証を行い、減衰構造の効果を考慮した予測式が観測値の空間分布を再現することが確認された。震源に近い八戸では短周期成分に予測式との乖離が見られ、非線形効果の影響が示唆された。

2025 年 12 月 8 日の地震で発表された北海道・三陸沖後発地震注意情報の直前と直後にインターネットアンケートによる社会調査を実施し、情報の認知度が 30%程度から 80%程度に上昇したこと、地震の発生可能性が 1%程度である主観確率の認知も 30%となったこと、普段の備えの再確認があまり行われなかったこと等が明らかになった。2026 年 4 月 20 日の地震で発表された 2 回目となる北海道・三陸沖後発地震注意情報に関してもインターネットアンケートによる社会調査を実施した。情報の認知度は前年 12 月の 1 回目とほぼ同じ 80%程度と高い水準が確認されたが、政府が呼び掛けた日頃からの地震への備えの再確認の実施率は避難場所と避難経路の確認においても 5%程度と低く、情報が具体的行動につながっていないことが確認された。

2. 主な火山活動

本節では、令和 3 年 4 月から令和 8 年 6 月まで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。(R3JMA_15, R3JCG_04)

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、漂流軽石は噴煙柱から単純に降下したのではなく、噴火最盛期に火口近傍で生じた火砕物密度流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。漂流軽石の気泡組織からは、マグマ上昇速度が一般的なプリニー式噴火ほど高くなかった可能性も示された。(R3ERI_07, R4ERI_17, R3JAMS03, R3AIST06, R3JCG_04)

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。気象衛星画像から傘型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次元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課題の形成につながった。(R4ERI_17, R4JMA_07, R4JCG_04)

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。(R3JMA_15)

噴火に先立ち、2021 年 9 月頃からマグマだまりを挟む基線の伸長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 JVDN システムを活用した降灰調査が行われ、降灰量は火口近傍を除いて約 15,000 トンと見積もられた。火山灰に本質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主軸が二方向に伸び、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。(R3HKD_04, R3KUS_02, R3ERI_17, R3JMA_03)

その後の解析では、二重偏波気象レーダーにより 10 月 14 日と 20 日の噴煙はいずれも水物質の寄与が大きく、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、やや深部の圧力源から火口直下の浅部圧力源への流体供給が示唆された。磁場データの再解析でも 2021 年噴火に関連する時間変化が抽出され、地磁気、火山ガス、噴煙高度を共通の熱収支に換算して地下状態を推定する研究や、火山活発化指数(VUI)による評価の準備へと発展した。(R4JMA_07, R6THK_06, R6KUS_02, R6KUS_04)

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内部状態の定量化と、その成果を登山者・観光客の具体的な避難行動につなげる情報伝達研究を一体として進める必要性を示した。(R3KUS_03, R6KUS_04)

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 月には深部膨張と新燃岳直下のダイク開口で説明できる傾斜変動が観測された（R7ERI_04）。

2025 年 6 月 22 日に山頂火口内北東側で噴火が始まり、23 日には SO_2 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 5,000 m に達し、火口内南東側にも火孔列が形成された。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（R7AIST05, R7JMA_01, R7JMA_10）。

本研究計画では、複数機関の地震・空振データを統合し、約 3 万個の火山性地震の震源を再決定するとともに、連続微動源と噴出孔の時空間変化を解析した。微動源が噴火前に海面下から地表付近へ複数回移動したこと、2024 年 9 月頃から微小地震の発生率が上昇したこと、2025 年 3 月下旬に低周波地震の割合と微弱な連続振動が増加したことなど、噴火準備過程から活動低下までを特徴づける指標が得られた。ドローンによる可視・熱赤外・LiDAR 観測では、6 月に 240℃ を超えた火口の熱異常が 11 月には大幅に低下し、広域的な地形変化や顕著な帯磁変化がないことも確認された。（R7ERI_04）

噴出した火山灰は合計約 39 万トンで、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んでいた。火山ガス観測では、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。2011 年および 2018 年噴火の噴出物解析や、霧島火山群の噴火推移を 7 類型に整理した研究と合わせ、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分岐条件を検討する重要な事例となり、活動推移モデルと噴火警戒レベル判定基準の高度化に結び付いた。（R6AIST05, R7AIST05, R7UTS_06, R7ERI_13, R6ERI_13, R7JMA_10）

4) フンガ・トンガ-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-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 58 km に達し、傘型噴煙の半径は 200 km 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。（R4ERI_07, R4JMA_07）

噴火に伴う大規模な気圧変動はラム波として地球を周回し、海面を励起しながら伝播した。日本でも最大約 1 m 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。S-net 等の沖合水圧計には、空振と海面変動に起因する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（R4JAMS02, R4JMA_06）。

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、噴火に伴う大気擾乱が対流圏から電離圏へ伝わり、日本上空を複数回通過したことが明らかになった。また、衛星画像から傘型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一次元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。噴出ジェットによる反力と地震波を結び付けるモデル実験も進められ、噴出過程に基づいて地震波形の生成機構を説明する研究へ発展した。（R4CBA_01, R4JMA_07, R6ERI_04, R7ERI_04）

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。（R4JMA_16, R6ERI_04, R6CTOC04）

A 2. 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）項目別実施状況と今後への課題

1. 地震・火山現象の解明のための研究

（1）史料・考古・地形・地質データ等の収集と解析・統合

①目的

長期間における地震・火山現象とそれに伴う災害をできる限り正確に把握するために、史料・考古・地形・地質データの収集と解析を継続するとともに、データベースの改訂や機能拡充を行う。また、これまで独立に整備されてきたデータベース間の連携機能を強化し、より利便性の高い形へ発展させることにより、多分野の知見の融合を促し、より高精度な地震像・噴火像の解明を目指す。

②実施状況と成果

ア. 史料の収集・分析とデータベース化

大学は、地震・火山関連史料集のデータベース（前計画で公開した地震史料集テキストデータベース）を拡充した。史料に現れる地名に位置情報を与えて視認性や利便性を向上させ、考古学、地質学、地形学など関連分野のデータ及びデータベースとの統合や連携を図った。特に、自然言語処理を専門とする情報工学研究者と連携して、AIによる史料中の地名表現の自動抽出、及び地名表現のマークアップを試行した。また、史料調査等により、既刊の地震史料集に収録されていない地震・火山関連史料を収集・追加した。データベース化にあたっては校訂作業を行い、データベースに反映した。史料の信頼性に関する情報を付与するための仕組みの検討を進めた。これらにより、地震史料集テキストデータベースの総項目数は 67,623 件となり、地震・火山関連史料集のデータベースの利便性・正確性が向上し、歴史地震・火山噴火カタログの改善につながった。[UTH_01・HMEV01]

大学は、東北地方、日本海沿岸、東海・紀伊半島、四国、九州など全国各地を対象に史料調査を進め、地震被害の実態や被害集中域の再検討を実施した。また、絵画史料の活用によって被害状況を視覚的・地理的に復元する研究を進めた。これまで主に用いられてきた文書や日記のほか、年代記や絵図など多様な史料に注目し、災害史料学の視点で分析した。分析にあたっては、地震・火山噴火の直接記録だけでなく、地形・天候などの環境情報も収集し、複合災害の発生メカニズムの解明を試みた。これらの研究により、1751 年越後高田地震、1828 年越後三条地震、19 世紀前半九州中南部における地震、日向灘を震央とする可能性のある近世の地震、1896 年明治三陸地震・津波、北海道駒ヶ岳 1640 年噴火、19 世紀前半の阿蘇山の噴火活動などについての詳細が明らかになった。[UTH_01・HMEV01・IRID01・NGT_01]

大学は、現代とは異なる社会状況の下で発生した災害のなかでの人々の行動や復興などに関する検討を進めた。1923 年大正関東地震における住所・本籍分析により、被服廠跡周辺 1km 圏内住民の避難集中と流入人口の被害実態が明らかになった。

大学は、過去に同じ地域で繰り返し発生した巨大地震の相違点を明確にし、その地震像解明を目指した。また、震度の距離減衰式など地震学の成果を参考にすることにより、史料表現の定量化・数値化の手法を改善し、大地震や中小地震も含めた歴史地震カタログの作成に取り組んだ。これらの研究により、南海トラフで繰り返し発生する地震の被害状況の詳細な分析から、紀伊半島南部では揺れが小さいにもかかわらず大きな津波が比較的早くにやってきて津波による大きな被害が出ていることを明らかにし、固着分布との対応関係を検討した。また、史料表現の定量化・数値化により推定震度分布や降下物分布などの精度を向上させた。歴史上の地震活動の時空間分布をより詳細に把握することが可能となった。[NGY_01, HMEV01]

大学は、定期的な研究会の開催と報告集の出版により、分野融合型の研究コミュニティの維持・発展に努めた。一般公開イベントへの出展や、市民参加型のプロジェクトの運営を通じて研究成果の普及を図った。災害時における文化遺産防災として、各地の文化遺産の位置情報と災害情報を重ねた文化遺産防災マップを開発・運用した。その結果、熊本博物館所蔵の「東海道地震記録」は調

査の成果をふまえて常設展示として公開されるなど、研究コミュニティ及び一般市民の歴史地震・噴火研究への理解の増進につながった。[NGT_01, NGY_01, HMEV01, IRID01]

イ. 考古データの収集・集成と分析

奈良文化財研究所は、全国の発掘調査成果から地震・火山噴火・洪水等の災害痕跡情報を体系的に収集し、「歴史災害痕跡データベース」を拡充するため、考古資料及び歴史資料、地質資料に記録される災害痕跡や地形・地質構造について分類・整理し、データの入力方法を改善することで、資料登録件数を大幅に増やした。また、奈良文化財研究所が運用する「全国文化財総覧」に掲載された全文検索を可能とする調査報告資料に対して、地震痕跡キーワードの検索を行い、該当資料について調査位置、地震痕跡種類、さらに書誌情報などをデータ化した「全国遺跡出土地震痕跡データセット」を公開した。これらにより、京都盆地西南部の檜原断層や光明寺断層が分布する長岡宮・京跡周辺域に加え、奈良盆地東縁断層帯が分布する奈良盆地北部、平城宮・京跡周辺における地震痕跡の分布が明らかとなり、地震痕跡の分布と活断層や古地形との対応関係が示されるなど、考古学的情報を地震学・地形学へ還元できる可能性を示すとともに、発掘調査成果を活用した歴史災害研究の新たな基盤が構築された。過去の地形と災害を対比検討し、災害発生機構を分析した。[NAB_01]

大学は、弥生時代に東北地方で発生した津波災害について検討した。その結果、弥生時代前期末に営まれた大規模な集落が中期初頭に衰退し、短い中断を挟んで新たな集落が出現することが明らかになった [NGT_01]

ウ. 地形・地質データの収集・集積と文理融合による解釈

大学は、日本列島を高精度でカバーする活断層の統合トレースデータを作成・公開し、順次更新していくための必要要件を検討した。活断層の変位様式・活動性などのメタデータの付加など将来のデータベース拡充に向けた検討を行った。未知の活断層の抽出を含むトレースデータの更新及び活動性の解明に向けた手法開発にも取り組んだ。また、南海トラフ周辺海域などを対象に、主に海底地形に基づいて海底活断層の分布と変位様式を解明した。これらの研究により、日本列島の主要活断層帯を対象にコミュニティ断層モデルの初期モデルの構築及び目視による品質管理を完了した。さらに、令和6年能登半島地震で津波を引き起こした海底活断層の高精度構造イメージングに成功した。[UTS_02, AORI01]

大学及び海洋研究開発機構、産業技術総合研究所は、津波堆積物の調査を通じて津波堆積物の認定・対比手法の確立や、年代決定手法の改良を進め、過去の地殻変動の調査、及び関連する史料の調査と合わせ、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を進めた。同時に、既存の津波堆積物データの再検討に加え、国内外での堆積物調査を実施した。これらの研究の結果、北海道胆振地方の17世紀の津波堆積物調査から、津波の遡上域全体で見られる傾向（内陸薄層化や内陸細粒化、大きな地形による影響）に加え、局所的な複雑性（津波による侵食や再堆積の影響、微地形の影響）を示すことができ、津波堆積物の認定や年代決定手法の検討、高度化につながった。青森県むつ市の17世紀のイベント堆積物資料の分析から、現世津波堆積物と類似する特徴が認められた。台風起源と考えられるサンゴ礁上の巨礫群を制約条件として活用することにより、これらの巨礫をより内陸に運搬する規模の津波はサンゴ礁形成後に発生していないとの仮定のもとで最大津波規模を数値計算により推定し、地震規模を推定できた。10 mを超えるような巨大な津波石について、LiDARを活用することで植生下の巨礫の形状を復元することに成功した。1707年宝永地震の津波では移動しなかった巨礫が存在することから同津波よりも大きな津波が過去に発生していたことが明らかになった。各地域の津波再来間隔の推定など地震津波の長期リスク評価に必要となる海溝沿いで発生する地震によるイベント堆積物の有無の情報が拡充された。[IRID02, UTS_03, AIST01]

産業技術総合研究所は、津波による浸水履歴情報や活断層データベースを整備・更新した。また、国内外での活断層調査から、地震時変位量等に基づき過去の連動型地震を復元する手法を改良した。これらにより、活断層データベースにおける調査地（約2200地点）と活断層線（約90断層）の位置精度が向上し、表示される情報が充実した。沿岸域の活断層について、既存文献に基づいて詳細位置と断層パラメータが改訂された。福島県の一部の地域において、西暦869年貞観地震による津

波の推定浸水範囲、茨城県北茨城市における津波堆積物の情報を整備・公表した。北海道東部において、千島海溝沿いの波源を推定するための地質学的データの収集を進めた。千葉県九十九里地域において、日本海溝南部周辺（房総半島東方沖）を波源とする津波の地質データおよび断層パラメータを公開に向けた準備を進めた。また、中央構造線断層帯や東アナトリア断層系において、地震時変位量等に基づき連動／非連動イベントを抽出することで、連動履歴が明らかになった。

産業技術総合研究所は、火山活動の評価と予測のための基礎データとして、日本列島の活動的火山の噴火履歴を調査し火山地質図の整備を進めた。高分解能の噴火履歴情報を得るために、新しい火山噴出物に対する効率的かつ高精度な年代測定手法を開発した。これにより、気象庁の常時観測 50 火山を重点として、火山形成史・噴火履歴を示す地質図が整備された。10 万年前より若い火山噴出物を効率的かつ高精度で測定できる年代測定手法として感度法 K-Ar 年代測定及び Ar/Ar 年代測定手法が開発された。低頻度大規模災害対策の基礎資料となる大規模火砕流分布図シリーズの公開を開始し、入戸カルデラ・支笏カルデラ・阿蘇カルデラについて 4 エピソードの大規模噴火堆積物の地下や海底を含めた分布図・解説書が整備された。

大学は、前近代の古絵図や古地図を整理し、これらに基づいて過去の地形の復元を進め、災害の発生状況をより詳細に解明した。現在の災害において過去の地形がどのように影響を及ぼすかを解明し、将来の災害リスクを評価し、その危険性を周知するための手法も検討した。その結果、1804 年象潟地震について由利郡関村の被害の詳細が明らかになった。[IRID01]

③今後の展望

史料の収集・分析とデータベース化、考古データの収集・集成と分析、地形・地質データの収集・集成と文理融合による解釈のそれぞれの項目について、年次計画を踏まえておおむね達成されつつある。今後は、構築した史料・考古データベースの高度化と利便性向上を図り、研究成果の利用促進を進める必要がある。特に、文献史料中の地名への位置情報付与を効率的に進め、考古学的災害情報との時空間的マッチングを実現することで、歴史災害の空間復元精度を向上させることが重要である。

また、「歴史災害痕跡データベース」や「全国遺跡出土地震痕跡データセット」の整備及びその活用成果を踏まえ、発掘調査による地震・火山災害カタログのさらなる高精度化を推進し、文献史料との統合解析による歴史災害シナリオの精緻化を進めていく必要がある。史料研究と地震学・火山学・地質学・地形学との連携を一層深化させ、過去の災害発生メカニズムや被災実態の解明につながる研究基盤を整備することも重要である。その際には、さまざまな研究分野、研究機関が協力して研究を進める本研究計画の特色を生かし、具体的な研究協力を推進していくことが期待される。

歴史学研究の一分野としての災害史研究の確立と、その成果を災害研究へどのように結び付けていくかという視点を持ち、今後も継続的な地域における史料収集を実践していくことが必要である。博物館等の史料所蔵機関での地震・噴火史料の展示に結び付くなど、調査研究自体が地域の災害史構築や災害への関心の醸成、防災意識の向上に向けた取組や、文系分野の特性を生かした災害軽減への提言の構築へと発展する可能性がある。

加えて、史料・考古計画推進部会主催の研究会や現地調査を継続的に実施し、他部会・総合研究グループとの交流を促進するとともに、将来的には AI や GIS 等の新たな解析技術にも対応可能なデータ基盤へと発展させ、歴史災害研究をさらに高度化していく必要がある。そのためには、各研究課題で実施している研究情報・手法を、時間・空間解像度の違いを踏まえて有機的に連結させた総合的研究を実践するとともに、特定の災害やモデルケースとなる地域を選択し、地形発達史の視野も踏まえて史料・考古のデータを有機的に結びつけた研究の実施が必要である。また、史料・考古データベースの多角的利活用の促進と連携範囲の広域化のため、文理の研究者による合同研究企画の推進、歴史情報のオープンデータ化、研究参加者の拡大と融合的研究の促進が求められる。さらに、地震・火山による単独災害にとどまらず、積雪・融雪・降水等に伴う地すべり・洪水なども含めた複合・連鎖災害について、災害発生前の環境・地形・気象情報も含めて解析し、その発生メカニズムの解明を進める必要がある。

主要活断層帯の 3 次元断層形状モデルについては、長期予測や災害誘因予測に資する基礎情報として活用できるよう、継続的なデータ公開のためのプラットフォーム構築を進める必要がある。また、日本海沿岸を中心に津波堆積物調査と歴史地震・津波の再検討を継続し、津波堆積物の認定・

対比手法の高度化と津波資料の蓄積を進めるとともに、得られた地質学的証拠を既存の津波堆積物データ、過去の地殻変動や史料の知見と統合し、数値シミュレーションも活用することで、日本海の大地震やプレート境界巨大地震の発生履歴と規模の解明を進めることが重要である。

（２）低頻度かつ大規模な地震・火山噴火現象の解明

①目的

低頻度かつ大規模な地震・火山噴火現象は発生頻度が低く、近代的な観測記録に限られるため、その発生履歴や発生機構には未解明な点が多く残されている。一方で、これらの現象は甚大な災害を引き起こす可能性があり、その発生過程や発生場を理解することは、長期的な地震・火山活動の評価や災害軽減に向けた基盤的知見を得る上で極めて重要である。本計画では、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、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統合的に活用し、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る。また、個別事例の解析を通じて得られた知見を比較・統合し、巨大地震及び大規模噴火の発生機構や地震サイクル、マグマ供給系の理解を深めるとともに、それらを説明する物理モデルの高度化を目指す。

②実施状況と成果

大学は、近代観測以前の巨大地震の発生履歴及び破壊様式を解明するため、日記史料有感地震データベースの整備、歴史地震記録と近代の震度等の観測データとの比較、津波堆積物・湖底堆積物の調査及び津波浸水シミュレーションを実施した。これらの研究により、近世に発生した地震の震源像に関する知見が得られるとともに、1983 年日本海中部地震の津波堆積物の形成過程が明らかになった。また、千島海溝南部で発生する超巨大地震は、地震サイクルごとに破壊域や規模が異なる可能性が示され、巨大地震の発生様式の多様性に関する理解が進展した。1707 年宝永、1854 年安政、1946 年昭和の 3 回の南海地震について、高知県の複数地点の海岸昇降データを整理し、時間予測モデルに適合しつつも次の地震までの期間はばらつくことが明らかになった。[HMEV02, HRS_01]

大学及び国土地理院は、海溝軸近傍におけるプレート間固着及び巨大地震後の余効変動を解明するため、GNSS-A（GNSS-音響測距結合方式）による海底地殻変動観測及び GEONET による陸上 GNSS 観測を継続するとともに、房総沖への新規観測点の設置、改良した測位手法による既存観測データの再解析、並びに海陸の GNSS データと繰り返し地震データの統合解析を実施した。その結果、千島海溝根室沖ではプレート境界浅部まで強く固着し、ひずみが蓄積していることが示された。また、2011 年東北地方太平洋沖地震後の海域における余効変動の時空間変化が明らかになるとともに、2015 年三陸沖の地震に伴う非地震性すべりの分布が高精度に推定され、海域観測データを加えることによってプレート境界すべりの推定精度が向上することが示された。[ERI_05, THK_01]

大学及び海洋研究開発機構は、海溝型巨大地震の発生場及び地震サイクルを解明するため、海底地震観測、海底構造探査、地震波構造解析、浅部テクトニック微動の解析及び余効変動の数値シミュレーションを実施した。その結果、日本海溝ではプレート境界浅部の断層の間隙水圧が異常に高いことや、東北地方太平洋沖地震に伴って断層付近で流体が上昇した可能性が示された。また、日本海溝北部では、浅部テクトニック微動に同期して通常地震が活発化し、これらが短期的スローリップによって励起された可能性が示されるなど、プレート境界浅部における非地震性すべりと地震活動との関係について理解が進展した。さらに、新たな余効変動モデルにより、東北地方太平洋沖地震後の GNSS 時系列を精度良く再現することに成功し、巨大地震後のプレート境界における状態変化の理解が進展した。[ERI_05, AORI01, THK_07]

防災科学技術研究所は、近年発生した大規模地震の破壊過程を解明するため、2025 年カムチャツカ半島沖地震を対象として、バックプロジェクション法及び波形インバージョンによる震源過程解析を実施した。その結果、破壊開始点から南西方向へ破壊が伝播する様子が推定され、海溝沿いで発生する巨大地震の破壊伝播過程及び断層破壊様式に関する新たな知見が得られた。[NIED02]

大学は、低頻度かつ大規模な噴火の推移と噴火様式の遷移過程を明らかにするため、伊豆大島、西之島、浅間山及び霧島山を対象に、地質調査と噴出物の物質科学的解析を進めた。伊豆大島では、

大規模噴火の推移に伴って斜長石斑晶量が増加することを示し、この傾向が中・小規模噴火を含む数十年スケールの長期的な活動推移にも認められることを明らかにした。西之島では、2019～2020年噴火における噴火様式と化学組成の変化が、深部に由来する苦鉄質マグマの上昇に起因することを明らかにした。浅間山天明噴火では、噴煙柱形成から火砕流への遷移に伴ってマグマの減圧率と破碎深度が増加した可能性を示した。霧島山では、近年及び歴史時代の噴火の推移とマグマ上昇過程を整理するとともに、御鉢及び韓国岳の大規模噴火について、噴火強度・噴火フェーズの変化とマグマの性質との関係を明らかにした。これらにより、大規模噴火の推移と噴火様式の遷移を、噴出物に記録されたマグマの蓄積・上昇過程に基づき理解するための知見が得られた。[ERI_03, ERI_18]

大学は、カルデラ形成噴火に至るマグマの生成・蓄積過程と、噴火後のマグマ供給系の進化を明らかにするため、支笏、屈斜路、洞爺、十和田、始良及び桜島の噴出物について地質学的・物質科学的解析を進めた。U-Th 放射非平衡分析等により、カルデラ形成噴火に関与した珪長質マグマが、長期間存在した主要マグマと、より新しい時期に断続的に生成した付加的マグマから構成されたことを示し、マグマ生成・蓄積の時間スケールに関する理解を進めた。また、始良（桜島）と十和田では、カルデラ形成噴火時の残存マグマが後カルデラ火山活動に直接関与せず、新たなマグマ系が構築・進化したことを明らかにした。[HKD_02, HKD_01]

大学は、カルデラ噴火の発生過程と噴出物の分布を明らかにするため、地質調査と地球物理学的観測・解析を進めた。鬼界カルデラでは、海底電磁気観測、地震波トモグラフィ及び反射法地震探査により、カルデラ下の浅部低比抵抗領域と深部低速度領域を捉え、海底火砕流堆積物の分布と構造を明らかにした。阿蘇カルデラでは、阿蘇4噴火の一連の火砕流堆積物の形成途中に短い堆積休止期間が存在したことを示した。また、富良野一旭川地域では、大規模火砕流堆積物を岩石学的特徴から五つのグループに分類し、それぞれの分布範囲と噴出源を推定した。これらの研究により、地質学的・物質科学的情報と地球物理学的観測に基づき、低頻度かつ大規模な噴火を復元するための知見が得られた。[KOB01, KOB005]

③今後の展望

低頻度かつ大規模な地震・火山噴火現象の解明には、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、地震・測地・海底地殻変動観測等による近代的な観測データを継続的に蓄積し、相互に比較・統合していくことが重要である。今後も、多様な時空間スケールのデータを活用することにより、巨大地震や大規模噴火の発生履歴、発生過程及び発生場をより定量的に復元し、その多様性と共通性について理解を深めていく必要がある。

巨大地震については、史料・地質調査、海底地殻変動観測及び地震観測等により、巨大地震の発生履歴、発生場及び地震サイクルに関する理解が進展した。一方、海溝沿いで発生する超巨大地震は近代的な観測事例に限られるため、地域ごとの発生様式や地震サイクルの違い、プレート境界浅部の固着や非地震性すべりとの関係などについては未解明な点が多く残されている。今後は、千島海溝、日本海溝及び南海トラフなどを対象とした史料・地質調査、海底地殻変動観測及び地震観測を継続するとともに、各地域で蓄積された知見を比較・統合し、観測・解析・数値シミュレーションを組み合わせることにより、巨大地震の発生機構や地震サイクルを説明する物理モデルを高度化していくことが重要である。さらには、プレート境界の固着・すべり状態とその時間変化に関する知見を、次に起こり得る巨大地震の発生シナリオや長期的なハザード評価へつなげるための検討を進める必要がある。

大規模噴火については、噴出物の地質学的・物質科学的解析により、大規模噴火の推移や噴火様式の遷移、カルデラ形成噴火に関わるマグマの生成・蓄積及び噴火後のマグマ供給系の進化に関する理解が進展した。一方、低頻度かつ大規模な噴火は近代的な観測事例に限られるため、個別火山で得られた知見と観測データとの対応や、噴火様式の遷移を支配する条件の一般性は十分に明らかになっていない。今後は、地質・史料に基づいて復元した噴火推移に、斑晶鉱物や石基に記録された物質科学的情報を組み合わせ、マグマの蓄積条件・上昇過程と噴火様式の遷移との関係を火山間で比較する必要がある。また、カルデラ火山については、U-Th 放射非平衡分析等の年代分析を他の岩石・鉱物学的分析と組み合わせ、対象火山を拡大することにより、カルデラ形成噴火に至るマグマの生成・蓄積と、噴火後のマグマ供給系の進化の時間スケールを明らかにする必要がある。

さらに、海底地殻変動観測、高精度年代測定、物質科学的分析などの観測・解析技術の高度化に加え、数値シミュレーションやデータ同化などの新たな解析手法を取り入れることにより、低頻度かつ大規模な地震・火山噴火現象をより高い時空間分解能で理解できることが期待される。これらの成果を長期評価やハザード評価へつなげる基盤的知見として蓄積し、災害軽減に資する研究へ発展させていくことが重要である。

(3) 地震発生過程の解明とモデル化

①目的

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。また、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。さらに、内陸地震断層及びプレート境界について、野外観察、室内実験、理論、シミュレーション等による研究を通じて、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構成則の構築と地震発生過程の物理的理解を進める。

②実施状況と成果

大学は、日本海溝沿いにおいて、GNSS-A 海底地殻変動観測と繰り返し地震観測を継続し、海陸測地データを含む統合解析により、2011 年東北地方太平洋沖地震後のプレート境界すべり・固着の時空間発展の把握を進めた。GNSS・GNSS-A・小繰り返し地震観測により、東北沖地震後の余効変動の全体像を捉えるとともに、根室沖ではプレート境界浅部のすべり欠損を示唆する結果を得た。また、房総沖日本海溝沿いに新設した GNSS-A 観測点の海底局を補完設置し、Wave Glider や船舶による観測を行い、既存点を含む計 5 観測点でデータを取得した。さらに、破壊開始点と大すべり域を同時推定する手法を用いて繰り返し地震を解析した結果、同一地点から破壊が開始した場合でも地震規模は大きく異なり得ることが示され、地震破壊成長過程の複雑性に関する理解が進展した。また、地震とスロー地震のスケール則を再検討した結果、両者は異なる物理法則に支配されている可能性が示され、地震発生過程の理解に重要な制約が得られた。[THK_01, UTS_03]

大学は、変形・摩擦実験および理論的解析により、断層の多様な深度における素過程の理解を進めた。熱・流体・空隙生成の相互作用と速度・状態依存摩擦則を組み合わせ、ゆっくり地震と高速地震を統一的に扱う理論的枠組みを発展させた。また、マントルウェッジ程度の高温高压条件を想定した含水石英岩の超低速変形実験や動的再結晶組織の定量化により、深部岩石の流動則高度化に取り組んだ。さらに、脆性-塑性遷移領域における塑性変形の寄与を評価するとともに、Aging law, Slip law, Nagata law 等に基づく動的地震サイクル計算により、震源核形成過程の多様性を示した。加えて、摩擦特性の空間不均質性を粗視化する理論的基礎と、多自由度ばねブロックモデルによる多様な断層すべり現象の理解を進めた。[ERI_02, ERI_03]

産業技術総合研究所は、内陸活断層深部の脆性-塑性遷移領域における変形不均質性と断層挙動の関係を明らかにするため、地質調査と岩石変形実験を進めた。削剥断層の調査では、断層中心部のウルトラマイロナイトにキャビテーションや延性破壊面が密に伴い、断層走向方向に数十 m から 1 km 以上連続することを確認し、三次元地質モデル構築に向けたデータ整備を進めた。また、鳥取県西部地域では、地震性断層破壊と方解石沈殿によるシーリングが繰り返し生じたことを明らかにした。さらに、アナログ実験により、流動変形中の断層岩を高速で変形させると剪断が亀裂面の薄層に局所化することを示し、塑性変形、キャビテーション、破壊、固着を結ぶ物理モデルの構築を進めた。[AIST04]

大学は、熱・流体・空隙・すべりが相互作用する断層運動について、実験・理論解析・モデル化を進めた。熱・流体・空隙生成の相互作用に基づき、ゆっくり地震と高速地震を統一的に扱う理論的枠組みを発展させ、両者の違いをすべり開始時の流体圧と媒質の空隙率により説明できることを示した。また、熱・流体効果と速度状態依存摩擦則を組み合わせた動的地震すべり過程や破壊核外部への亀裂端伝播条件を検討し、熱弾性不安定に伴う動的弱化的スケール依存性や、地震サイクルにおける核形成過程の多様性を示した。さらに、大規模言語モデルを用いた地震サイクルシミュレーション・データ同化コードの自動生成にも取り組み、断層すべりシミュレーションと観測データ

同化を支える計算基盤の高度化を進めた。加えて、自己重力を考慮した球体モデルに非線形レオロジーを導入し、粘弾性変形や重力場変化を計算する手法を高度化した。[ERI_02, UTS_01]

大学は、GNSS データ及び発震機構解から推定された広域応力場を取り入れた地震サイクルシミュレーション手法を構築し、中央構造線活断層帯に適用した。その結果、地質学的に推定される平均変位速度や地震発生間隔を概ね再現するとともに、鉛直断層モデルが北傾斜断層モデルより観測事実をよく説明することが示された。断層摩擦特性の空間不均質性が地震発生過程に及ぼす影響を評価し、断層すべりを粗視化された摩擦法則で扱うための基礎的検討を進めた。地震サイクルシミュレーションの空間メッシュは実験室スケールを大きく上回るため、速度・状態依存摩擦則を天然断層スケールへ適用する際には、摩擦法則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。また、5 階層程度の階層性をもつアスペリティモデルの 2 次元動的地震サイクル計算を行い、小中リピータや高周波放射を含む複雑な地震サイクル挙動を得たうえで、空間平滑化した断層構成則による粗視化モデル計算を開始した。[UTS_05, ERI_03, ERI_02]

③今後の展望

地震発生予測モデルの高度化に貢献するため、地震発生場の解明とモデル化、応力蓄積メカニズムの解明とモデル化、地震発生メカニズムの解明とモデル化を柱として研究を推進する。

日本海溝沿いの GNSS-A 観測と繰り返し地震観測を継続し、陸域 GNSS を含む海陸測地データとの統合解析を進める。特に、房総沖の新規 GNSS-A 観測点と東北沖の既存観測点で継続的にデータを取得し、繰り返し地震カタログの高度化と断層すべりモデリングの改良により、東北地方太平洋沖地震後のプレート境界すべり・固着の時空間発展を高精度に把握する。

変形・摩擦実験と理論・数値解析を組み合わせ、断層深部のレオロジーと摩擦構成則の高度化を進める。高密度粉体層の強度回復、熱・流体・空隙生成と速度状態依存摩擦則の相互作用、熱弾性不安定、SSE データ同化等を通じて、ゆっくりすべりから高速地震性すべりへの遷移条件を明らかにする。また、微細不均質構造をもつ断層について、摩擦パラメタの粗視化やスケール依存性を検討し、天然断層スケールで有効な摩擦法則の構築を目指す。

削剥断層の地質調査と微細構造解析により、延性破壊面の空間規模・幾何形状を明らかにし、断層中心部の塑性変形が近傍破壊現象に及ぼす影響を検討する。また、方解石シーリングをもたらし流体圧が断層強度に及ぼす影響を調べるとともに、放射光を用いたアナログ変形実験により、流動変形から亀裂生成・連結を経て断層すべりが自発的に加速する過程を観察する。これらを統合し、脆性-塑性遷移領域における断層の固着と破壊に基づく地震発生物理モデルの提唱を目指す。

熱・流体・空隙生成・すべりの相互作用に現実的な速度・状態依存摩擦則を組み込み、通常地震とゆっくりすべりを統一的に説明する断層運動モデルの高度化を進める。また、熱弾性不安定による動的弱化、SSE 発生データの同化、地震サイクル計算を通じて、地震活動の推移を支配する地下状態の理解を深める。さらに、大規模言語モデルを用いた地震サイクルシミュレーション・データ同化コードの自動生成の成果を踏まえ、AI 技術を活用した計算・データ同化基盤の効率化を進める。加えて、不均質粘弾性構造、非線形レオロジー、自己重力を考慮した球体地球モデルを、衛星重力、光格子時計、海底地殻変動等の先進的測地観測と結びつけ、プレート境界すべりや粘弾性緩和過程の推定を進める。[ERI_02, UTS_01]

摩擦パラメタの空間不均質性をもつ断層について、観測や計算で解像できない微細不均質がすべり挙動に及ぼす影響を系統的な数値実験により調べる。一様定常すべりや一様振動が可能となる不均質性の条件、すべり核形成過程を粗視化された摩擦パラメタで記述できる条件、粗視化のスケール依存性、メッシュサイズとパラメタ分散の関係を明らかにし、フラクタル的な摩擦不均質へ拡張する。また、階層アスペリティモデルの動的地震サイクル計算を基準として、空間平滑化した断層構成則による粗視化モデルの妥当性を検討する。[ERI_03, ERI_02]

地震災害は、震源過程だけでなく、地域の地盤構造、地形、都市条件などのローカルな要因にも強く依存する。そのため、ローカルな観測・解析・モデル化は、基礎研究としてだけでなく、災害軽減に向けた知見を蓄積する上でも重要な役割を担う。今後は、上記の 3 つの柱に沿って個別課題の成果を整理しつつ、日本列島規模の地震発生過程に関するデータおよびモデルのプラットフォームを構築し、共同研究を促進することで、地震発生予測および災害誘因予測の高度化に資する基盤

的研究を推進する。

（４）火山活動・噴火機構の解明とモデル化

①目的

火山活動・噴火を定量的に把握し、そのモデル化を進めるため、地球物理学・地球化学・物質科学を総合した多項目の観測・調査・分析を行う。これらの多項目データの統合的解析を通じて、火山活動及び噴火のメカニズムの解明を目指す。また、マグマの流動・破碎・脱ガス・結晶化などの素過程を対象とした実験研究及び数値モデルによる理論解析を行い、火道内のマグマの挙動と噴火様式の分岐条件を明らかにする。さらに、観測データを統合した火山活動度の定量的評価手法の高度化を進めるとともに、既存データの再整理・統合を進める。

②実施状況と成果

大学は、霧島山、阿蘇山、浅間山、伊豆大島、弥陀ヶ原、十勝岳、吾妻山等、海域を含む国内外の活動的火山を対象に、多項目観測及びドローン等を活用した含む火口近傍域観測を実施し、火山活動の推移把握及び活動評価の高度化を進めた。その結果、ドローンを含む無人航空機を利用した新たな観測技術が実用段階へ進み、立ち入り困難な火口近傍においても地形・熱・火山ガス等の面的な情報とその時間変化を安全かつ高精度に把握できる観測基盤が整備された。三宅島、霧島新燃岳、十勝岳、雌阿寒岳等でドローン空中磁気測量を繰り返し実施し、浅部磁化構造とその時間変化を明らかにするとともに、地震活動や地熱活動との対応を明らかにした。さらに、十勝岳ではドローン用のマルチガス観測による火山ガス組成変化の観測を行い、焼岳・九重山・霧島新燃岳では空中熱赤外観測、LiDAR 測量、オルソ画像差分による地温異常や地形変化の面的把握を行った。このような無人航空機のほか光ファイバを用いた分散型音響センシング（DAS）観測などの成果により、従来の点的・局所的観測から面的・高密度観測への発展が進みつつある。空中電界観測を継続し、阿蘇、桜島及び霧島新燃岳噴火に伴う顕著な電界変動を捕捉することに成功し、火山噴火検知に対する新しい観測窓が構築された。弥陀ヶ原において水準・GNSS 統合解析により極浅部開口割れ目（帯水層）の存在を解明した。御嶽山においても、山頂域の機動観測点のデータを統合した解析や応力場推定など、新たな手法による解析を行い、火山活動の推移とその成因の検討が進められた。これらの知見は、2024 年から 2025 年にかけての御嶽山の火山活動活発化に際しての活動評価にも役立てられた。また、これらの多項目観測データを用いた火山活動の評価指標として、火山活発化指標 VUI（Volcanic Unrest Index）の活用に関する研究も前計画に引き続き進められ、樽前山を対象としたワークシートの試作と公表が行われた。

大学は、機械学習の導入や多項目観測データ解析手法の開発により、火山活動モニタリング手法の高度化を進めた。自然言語処理等で利用されている機械学習の一つである Transformer Encoders を導入し、浅間山の過去 20 年間の地震データを用いて火山性地震のタイプ分類を行い、従来の畳み込みニューラルネットワーク（CNN）を大幅に上回る自動分類精度を達成した。また機械学習を用いた自動検出技術を火山性地震に適用し、霧島火山において従来の手動検出に基づく地震カタログよりも高い検出能力で火山性地震カタログの整備を行うことに成功した。霧島火山及び草津白根山等では微弱連続地震動を抽出する Seismic Background Level（SBL）解析を適用し、活動推移との高い調和性を実証した。また、地震計と空振計の統合解析により、2025 年霧島新燃噴火に伴う微動発震源及び噴出孔の詳細な推移を明らかにした。これらの成果は、火山活動推移モデルを構築・高度化するための重要な基盤となり、火山活動の定量的理解や将来的な噴火推移予測へ向けた研究を大きく前進させた。

大学は、人工衛星等によるリモートセンシング観測及び解析手法の高度化を進めた。アジア太平洋域の火山熱異常監視システム「RealVOLC」の運用を継続したほか、気象衛星ひまわり（8 号・9 号）やしきさい、GCOM-C の赤外画像を活用し、西之島、桜島、諏訪之瀬島、霧島山新燃岳等における長期的な熱異常の推移を評価した。さらに、TROPOMI や GEMS のデータを用いた二酸化硫黄（SO₂）放出量の解析手法を構築するとともに、フェリーを用いた海域現地観測により衛星観測の性能を検証した。これらの成果により、観測が困難な離島火山や海域火山を含めた広域かつ継続的な火山活動監視が可能となり、衛星観測は火山監視体制を支える重要な観測手法として発展した。また、土壌

ラドン濃度連続観測システム等の解析手法・観測手法の高度化も進めた。

大学は、室内実験や数値計算に基づいた物理モデルの開発を進め、噴火現象を再現する数理モデルの高度化を進めた。マグマ溜まりと火道を模した装置を用いたスラグ流のアナログ実験を数値シミュレーションと統合的に実施し、火道上端の閉塞状態とスラグ上昇速度の関係解明や、トンガ火山噴火等の海底火山大規模噴火波形との比較検証による爆発的噴火のシングルフォース地震発生モデルの改良などを進めた。その結果、爆発的噴火の発生過程を説明する物理モデルの高度化が進展した。

防災科学技術研究所は、基盤的火山観測網（V-net）やリモートセンシング等の多項目データを活用し、発生機構解明や災害過程把握の研究を進めた。可搬型レーダー干渉計や空撮用赤外カメラシステムによる機動的観測を全国で実施したほか、可搬型火山灰分析装置の開発や火山観測データ一元化システム（JVDN）の運用及び改良を推進した。これらにより、多項目観測データを活用した火山活動評価及び災害把握の基盤が強化された。

大学及び産業技術総合研究所は、桜島、阿蘇山、霧島、浅間等の火山噴出物を採取し物質科学的解析を実施した。揮発性成分分析、減圧実験や高温高圧実験、理論解析を統合して爆発的噴火の強度や様式変化を支配する物理化学因子の解明に努め、火山活動の事象分岐条件の理解等を進展させたほか、分析手法の高度化を進めた。最先端の物質科学的分析及び素過程に関する実験研究の進展により、火道上昇マグマの挙動や噴火様式を支配する物理化学要因の理解が大きく進展した。有珠山 1977 年噴火を対象に、軽石中メルト包有物の含水量、石基マイクロライト組織、融解実験、熱力学モデルを統合し、最初のプリニー式噴火（深部マグマだまりから直接マグマが噴出）と 2 回目以降（火道内滞留マグマが噴出）の上昇プロセスの明確な物理条件の違いを特定した。伊豆皮子平の黒曜石分析から、気泡同士の連結による開放系脱ガス通路形成とその後の閉塞（ヒーリング）プロセスを明らかにし、これがマグマの爆発性獲得を決定する支配因子である可能性を示した。また、霧島新燃岳噴出物の解析から、火道浅部上昇時のナノライト晶出に伴う粘性急増がマグマの破砕および爆発を引き起こす要因として重要であることを示した。火山ガス中の超微量水素測定器を開発し霧島硫黄山等で実地観測し、極低濃度水素の検出により浅部気相化学平衡の解釈精度を高度化させた。

産業技術総合研究所は、活動的火山における火山ガス放出率と組成の観測・分析の高頻度化、放出過程のモデル化を推進した。また、地下浅部に熱水系が卓越する火山を対象に、熱水系とマグマ性ガスの相互作用や脱ガスプロセスの解明に努めた。

北海道立総合研究機構は、道内活火山で温泉水や噴気の化学成分等の地球化学的観測を継続し現況把握と活動推移の評価を進めた。また、熱水変質状況を踏まえた熱水系モデルの検討を行った。

海洋研究開発機構は、無人自動海底観測システム等の開発に取り組んだ。また、伊豆・小笠原海域および鬼界カルデラ等を対象とした海底構造探査、海底調査、岩石試料採取を推進し、海域火山活動の現状把握とマグマや流体の生成から噴火に至るプロセスの理解を深める研究を推進した。その結果、観測空白域であった海底巨大カルデラ火山において、物理と物質の両面から海域火山下の構造およびマグマ蓄積変遷が明らかになった。薩摩硫黄島や竹島と九州本土を結ぶ海底光ファイバを活用した海底 DAS 観測を実施し、約 4 ヶ月間のデータの解析から、鬼界カルデラの海底溶岩ドーム直下の微小 A 型地震を高感度に捕捉し、海底地震網の実用性を示した。また、地球深部探査船「ちきゅう」による科学掘削コアの岩石分析から、9.5 万年前（葛原噴火）の苦鉄質マグマ注入によるカルデラ噴火誘発機構を解明し、さらに、4.3 万年前以降の新たなマグマ供給開始および 1.6 万年前を境とするアカホヤ組成流紋岩マグマの割合変化を特定するなど、アカホヤ噴火（7.3 千年前）の準備段階から現在に至る長期的なマグマ蓄積過程を解明した。

総じて本計画期間を通じて、多項目観測の高度化と解析技術の進展により、個々の観測項目を独立に解析する段階から、多項目データを統合して火山活動を定量的に評価する段階へと研究が大きく発展した。さらに、機械学習、衛星リモートセンシング、ドローン観測、DAS 等の新たな観測・解析技術が火山研究へ本格的に導入され、火山活動推移モデルの高度化や将来的な予測研究へ向けた基盤が整備された。

③今後の展望

これまで実施してきた火山近傍における地球物理学的・地球化学的・物質科学的な観測をはじめ

とする多項目観測により、火山活動やその分岐・遷移を表すパラメータ間の相互関係についての理解が深まり、火山現象のモデル化の基礎的な知見が着実に蓄積された。また、各課題の研究の深化に伴い、それぞれの観測データや諸パラメータの精度や分解能が向上し、時空間的なダイナミックレンジも広がった。今後も、これまでの研究を更に進展させるとともに、多変量相関解析等による定量的なパラメータ間の相互関係の解明、ならびに火山噴火の推移把握・予測において鍵となる物理化学パラメータの推定手法の改良を進め、火山活動及び噴火推移の迅速な把握・理解に役立てられる基礎研究を進めることが重要である。また、これまで主に類型化として進められてきた火山間の比較研究を一層推進するためには、客観的な解析手法・指標を用いた系統的で定量的な情報の蓄積も進めることが必要である。このような客観的・系統的な情報の蓄積には、機械学習を活用していくことが有用である。

一方、近年のドローン等の活用による面的・高頻度な火山ガスや地表熱等のデータの蓄積により、新たな研究課題も見いだされつつある。例えば、火山ガスの組成変化と火山活動推移を対応付ける際に一般的に用いられるダイアグラムは、海外の特定地域におけるマグマ性噴火の事例をコンパイルしたものであり、日本における熱水系が卓越した火山での適用性には限界があることが本計画の推進のなかで指摘された。今後は、このような火山活動推移の評価に必要な基礎情報の見直しと蓄積を行うことも重要である。

さらに、総合研究グループで得られた個別火山に関する知見と、本課題で推進する基礎的観測、理論研究及び火山モニタリング手法開発の成果を相互に活用し、両者の連携を一層強化していく必要がある。これらの成果を、火山ハザード対策に向けた研究・人材育成プロジェクト（V-LEAD プロジェクト）及び火山調査研究推進本部が進める火山活動評価や噴火推移予測へ円滑に展開し、基礎研究から社会実装までを一体的に推進する研究体制を一層強化していくことが重要である。

（５）地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

①目的

地震学、測地学、電磁気学、地球化学、物質科学などの多様な観測・解析手法と数値シミュレーションを組み合わせ、地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化を進める。プレート境界域から内陸地震発生域、火山地域に至る多様な地質学的環境を対象に、地下構造、応力・ひずみ場、火山性流体・マグマ供給系及び熱水系の構造とその時間変化を明らかにするとともに、地下流体やマグマの分布・移動と地震・火山活動との相互作用について理解を深める。また、これらと地震活動及び火山活動との関係を定量的に評価し、地震発生及び火山活動を支配する場の概念モデルの精緻化・定量化を進めることで、その発生機構の理解を深化させるとともに、統一的なモデルの構築を目指す。

②実施状況と成果

ア．プレート境界地震と海洋プレート内部の地震

大学、海洋研究開発機構及び防災科学技術研究所は、プレート境界地震発生帯の構造及び活動の実態解明を目的として、南海トラフ、日本海溝、千島海溝、房総沖、南西諸島北部等を対象に、反射法・屈折法探査、海底地震観測、GNSS-A 観測をはじめとする海底地殻変動観測、海底圧力観測、海底電位磁力計観測等を実施するとともに、常時微動解析や三次元比抵抗構造解析、震源決定手法及びスロー地震モニタリング手法の高度化を進めた。また、海外ではヒ克蘭ギ沈み込み帯における国際共同観測を継続した。これらの観測及び解析により、プレート境界の三次元構造や物性の詳細が明らかとなるとともに、余効すべり、プレート固着、スロー地震活動及び流体分布の空間的不均質が高い精度で把握された。また、南海トラフでは反射法探査データの解析により、1946 年南海地震のすべり域及び強固着域とスロー地震活動域との境界に、上盤プレート内の低速度帯が存在することが明らかとなり、固着状態の空間変化を規定する構造的要因の理解が進展した。さらに、日本海溝では常時微動トモグラフィ解析により、沈み込む海洋プレートから供給される流体に起因する低速度域とテクトニック微動分布との対応が示され、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。[JAMS02, THK_04] さらに、反射法探査データの統合解析や常時微動解析により南海トラフ及び日本海溝沿いの地下構造モデルが高度化され、比抵抗構造解析で

は通常地震域・スロー地震域・定常すべり域の違いや破壊開始域に対応する特徴的な構造が明らかとなった。また、PINN や深層学習を利用した震源決定・微動検知手法の開発等により、海域における地震活動及びスロー地震活動の監視能力が大きく向上した。加えて、南西諸島北部では、海底地震観測及び相似地震解析により、2015 年頃以降プレート境界における準静的すべり速度が広域的に増加し、一部領域では 2020 年以降さらに加速した後、近年は頭打ち又は減速に転じるなど、プレート境界のすべり状態が時間的に変化していることが明らかとなった。[JAMS01, JAMS02, ERI_05, ERI_06, THK_01, KGSM01, NGY_03, AORI01, NIED02]

大学は、海洋プレート内部地震及び深発地震の発生機構を解明するため、自然地震の地震波解析と高温高压岩石変形実験を組み合わせた研究を進めた。レーザー関数解析、余震分布解析、深層学習による震源解析及び減衰構造解析を実施するとともに、Phase A を含むカンラン石多結晶体、青色片岩及びアウターライズ断層を模擬した試料を用いた高温高压変形実験や AE 観測を行った。これらの研究により、太平洋スラブ内ではエクロジャイト化や準安定オリビン領域とスラブ内地震・深発地震の分布との対応関係が明らかとなり、脱水脆性化や相転移が地震発生に果たす役割について理解が進展した。また、前弧域の高分解能地震波構造解析により、福島沖で発生したスラブ内地震の震源域は、含水断層や異方性構造を反映する低速度異常域と対応することが示され、沈み込みに伴う含水化構造がスラブ内地震の発生を制御している可能性が明らかとなった。[THK_05, THK_06]

さらに、高温高压変形実験からは、高強度鉱物の存在や半脆性的な変形挙動が深発地震及び稍深発地震の発生に重要である可能性が示された。また、深層学習を用いた解析により小規模地震の検知能力や震源決定精度が向上し、スラブ内地震活動の詳細な時空間分布を把握する基盤が整備された。[THK_03, THK_04]

大学は、地震発生サイクル及びプレート境界変形を高精度に理解するため、海底地殻変動、衛星重力観測及び光格子時計による重力ポテンシャル観測を統合的に解釈する球体地球モデルの開発を進めた。特に、三次元不均質構造及び非線形レオロジーを考慮した粘弾性変形モデルや広域重力変化計算手法を開発するとともに、フォワードモデリングによる地殻変動及び重力変化の評価を実施した。その結果、不均質構造及び温度・応力依存レオロジーを考慮した球体地球モデルが整備され、地震発生サイクルに伴う地殻変動及び重力変化を従来より現実的に評価できるようになった。また、粘弾性変形がウェッジマントルに集中して大きな重力変化を生じることが示され、海底地殻変動観測、衛星重力観測及び将来の光格子時計観測を統合的に解釈する理論基盤が構築された。これにより、地震発生サイクルの物理過程を観測データと整合的に評価するための解析基盤が大きく前進した。[UTS_01]

イ. 内陸地震

大学、防災科学技術研究所及び海洋研究開発機構は、2024 年能登半島地震を対象として、海域・陸域における緊急地震観測、海底反射法探査、海底地形調査、海底表層地層探査、余震活動解析、SAR 解析及び地質・地球化学調査を実施した。2024 年能登半島地震では、余震活動の詳細な時空間分布、発震機構及び震源断層構造が明らかとなるとともに、津波発生に関与した海底活断層の一部が海底面付近まで到達し、数 m 規模の鉛直変位を伴うことが確認された。また、SAR 解析により海岸隆起域及び局所的沈降域が把握され、地下流体と地震活動との関係について新たな観測的制約が得られた。さらに、2020 年以降に能登半島北東部で継続した群発地震については、高精度震源解析及び地震波速度構造解析により、地震活動が深部から浅部へ移動し、高 V_p/V_s 異常を伴う高間隙圧流体の存在が示され、2024 年能登半島地震発生場における流体の重要な役割が示唆された。

大学は、熊本地震及び日奈久断層帯南部を対象として、稠密地震観測、GNSS 解析、DAS 観測、広帯域 MT 観測及び三次元比抵抗構造解析を行い、地下構造、応力場及び流体分布と地震活動との関係を調査した。熊本地震周辺では、地下構造不均質が破壊伝播方向に影響することが示され、DAS 観測により断層近傍の浅部構造が高分解能で把握された。さらに、熊本地震前後において、弾性ひずみエネルギーの変化と応力場の変化に着目した解析により、これらを説明するためには、震源域が従来考えられていたより高い差応力状態にあり、実効摩擦係数も従来の応力インバージョンに基づく研究から推定された値より有意に大きい可能性が示された。[THK_02, DPRI03] 鹿児島県北西部地震、鳥取県西部地震及び中越地震では、低比抵抗体が大地震の破壊開始域や停止域と対応するこ

とが示され、日光・足尾地域では地下流体を反映すると考えられる低比抵抗体と内陸地震発生域との対応が確認された。有馬高槻断層帯、能登半島、日光・足尾地域、トカラ列島近海及び山口県北部など複数の地域において、地震学的・電磁気学的構造解析から深部流体又は高間隙圧流体の存在が示され、その移動や集積が内陸地震及び群発地震活動に重要な役割を果たしていることが明らかとなった。これらの成果は、地下流体及び物性不均質が内陸地震の発生や破壊過程を制御する重要な要因であることを示した。[ERI_08, NIED02, AORI01, KOB001, HRS_01, KYU_01, KYU_02, DPRI02]

大学及び産業技術総合研究所は、火山性地震及び群発地震活動の発生機構を解明するため、御嶽山周辺、トカラ列島近海及び山口県北部等を対象として、地震活動のクラスター解析、応力逆解析及び震源解析を実施し、地下構造、流体及び応力場と地震活動との関係を調査した。御嶽山では、2024 年末から 2025 年にかけてのアンレストに伴う火山性地震活動の推移が明らかとなるとともに、地震活動や地震メカニズム解の解析から、火山性流体の移動に伴う局所的な応力場の変化が地震活動に大きく影響している可能性が示された。また、トカラ列島近海及び山口県北部では、地下流体やゆっくりすべりに伴う局所的な応力擾乱が群発地震活動を支配する重要な要因であることが示され、流体移動及び応力変化が火山性地震及び群発地震活動を駆動するメカニズムの理解が進展した。[NGY_02, AIST06]

大学は、主要活断層帯約 100 断層を対象として、活断層トレースの標準化及び三次元断層形状モデルの構築を進めるとともに、モデルの品質確認及び改良を実施した。また、モデル作成過程の記録・整理を行い、コミュニティ断層モデルの整備を進めた。その結果、モデル作成手法の標準化及び品質管理が進み、断層形状情報の再現性及び共有性が向上した。また、日本列島規模で統一的に利用可能なコミュニティ断層モデルの整備が進展し、強震動予測、震源過程解析及び各種地震シミュレーションに共通して利用可能な研究基盤が構築された。[UTS_02]

ウ. 火山噴火を支配するマグマ供給系・熱水系の構造の解明

大学は、火山噴火を支配するマグマ供給系・熱水系の構造を解明するため、地震学、測地学、電磁気学、地球化学、物質科学及び水文学など多様な観測・解析手法を組み合わせた研究を実施した。その結果、火山ガス、温泉水及び地下水の化学・同位体組成の継続観測により、火山活動度の時間変動を定量的に評価するとともに、阿蘇山と雲仙岳ではマントル起源マグマの寄与と熱水系の発達度の違いが示された。さらに、雲仙岳では地震波速度構造解析により、固結しつつあるマグマ溜まり上面に沿ってマグマが上昇する新たなマグマ供給系モデルが提案された。また、草津白根山では、 $^3\text{He}/^4\text{Ar}$ 比から推定されたマグマ発泡度の変化が浅部熱水だまりの膨張・収縮と同期することが示され、マグマ活動と浅部熱水系との物質学的なつながりが明らかとなった。さらに、鳴子火山では湖水・地下水・熱収支の統合解析により、地下熱源に起因する地下水流入層及び熱供給構造が推定され、九州の火山を対象とした岩石学・地球化学的研究により、マグマ供給系及び熱水系の構造や進化過程に関する知見が得られた。[AORI02, KYU_01, TIT_03, KOB006, KOB008, KOBE01, JAMS03]

大学及び海洋研究開発機構は、鬼界カルデラにおいて、海底地震・電磁気観測、反射法地震探査、海底掘削及び地質・岩石試料の分析を実施し、マグマ供給系の構造及び進化過程の解明を進めた。その結果、屈折法地震探査及び海底電位差磁力計データの解析により、カルデラ直下に低速度・低比抵抗領域を検出し、地殻浅部（深度約 2.5～6 km）に熔融率 3%以上のマグマ熔融領域が広がることが推定された。また、岩石学的知見との統合により、鬼界アカホヤ噴火時の浅部マグマ溜まりと同一位置へのメルト再注入モデルが提案され、巨大噴火後のマグマ供給系の進化過程に関する新たな知見が得られた。[KOBE01, JAMS03]

エ. 地震発生と火山活動の相互作用の理解とモデル化

大学は、地下流体・マグマの分布及び移動と地震・火山活動との相互作用を解明するため、地震観測、電磁気観測、地球化学観測及び地下構造解析を組み合わせた研究を実施した。その結果、Geofluid Mapping により、地震波速度、電気伝導度及び地球化学データを統合して地下流体の種類、量及び連結度を定量的に推定するとともに、モホ面付近に分布するマグマ及び水溶液流体の分布が明らかとなった。また、箱根火山では、地下構造解析から深部低周波地震発生域と浅部マグマ溜まりを結ぶ流体供給経路が推定され、深部流体の上昇が群発地震活動や地殻変動の活発化に関与するモデルが提案された。さらに、九州縦断地震観測及び広帯域 MT 探査により、マグマ由来揮発

性成分の上昇経路と深部低周波地震の分布との対応が示された。さらに、別府－由布院地域では、深部低周波地震及び火山列が低比抵抗体の端部に対応することが明らかとなり、地下流体・マグマの移動経路を検討するための地下構造モデルが構築された。[DPRI04, DPRI02, KYU_03]

大学及び国土地理院は、火山地域における地殻変動観測及び地下構造解析を実施した。その結果、屈斜路カルデラでは、超稠密 GNSS 観測により繰り返し発生する膨張イベントの変動源が低比抵抗域上端付近に位置することが示された。また、阿蘇カルデラでは、2016 年熊本地震後の沈降が余効すべりによって説明できることが示されるとともに、余効すべりの時間発展に熱水系が影響している可能性が示された。

大学及び産業技術総合研究所は、応力場、地下流体・マグマ分布、地殻変動及び地震活動を統合した地下構造解析及び数値シミュレーションを実施した。その結果、全国高分解能地殻応力マップが整備・公開され、微小地震、地殻変動及び地下構造データを組み合わせた地殻応力場の評価が可能となった。また、地震の CMT データから応力場を推定する応力インバージョン法について、過去の解析結果を直接的先験情報として取り入れる改良がおこなわれ、長期間にわたる地震観測データから応力場の時空間変化を客観的に評価できるようになった。この手法を東北地方に適用した結果、2011 年東北地方太平洋沖地震前の応力場は概ね安定しており、大地震後に見られた地震活動の変化の多くは応力場そのものの変化ではなく、既存の応力場不均質の顕在化を反映している可能性が示された。さらに、地震波速度構造、電気伝導度構造及び地球化学データを共通の物理モデルで解釈する手法が構築され、地下深部から浅部までの流体・マグマ分布、応力場及び流動・変形場を統合的に評価する構造共通モデルの構築が進展した。また、新たなひずみ速度場推定手法により、新潟－神戸ひずみ集中帯や奥羽脊梁ひずみ集中帯に加え、前弧域の低ひずみ帯が抽出され、流動・変形場を再現する構造共通モデルの検証に重要な制約条件が得られた。[HKD_04, GSI_01, DPRI03, AIST07, DPRI04]

③今後の展望

地震発生及び火山活動を支配する場の理解については、海陸統合観測、高精度構造解析、地球化学観測、電磁気観測及び岩石実験等の進展により、プレート境界から内陸地震発生域に至る多様な地質学的環境において、地下構造、応力場及び流体分布と地震活動との関係が着実に明らかとなった。特に、プレート境界における固着・すべり状態の時空間変化、地下構造・物性不均質と地震発生との関係、さらには地下流体が地震活動や群発地震活動に果たす役割について理解が進展した。一方で、地震発生場を支配する応力・流体・断層強度の時空間変化については未解明な点も多く、今後は海域・陸域を統合した観測の継続と構造・物性モデルの高度化により、地震発生機構の定量的理解をさらに深める必要がある。

マグマ供給系・熱水系の構造や進化過程、ならびに地下流体・マグマの分布や移動と地震・火山活動との関係について理解が進展し、観測データを統合した地下構造モデルや構造共通モデルの構築も進展した。一方で、マグマ供給、流体移動及び熱水循環が噴火様式や火山活動の時間変化に及ぼす影響や、地下流体・マグマの移動に伴う応力場変化、さらには地震活動及び火山活動との相互作用を支配する過程については未解明な点が残されている。今後は、地震・測地・電磁気・地球化学・物質科学などの多項目観測及び解析を継続するとともに、マグマ供給系・熱水系の構造及び進化過程の復元、地下構造解析、数値シミュレーション及び構造共通モデルの高度化を進めることで、地下流体・マグマの時空間変化と地震・火山活動との関係を統合的に理解することが重要である。

さらに、構造共通モデル、コミュニティ断層モデル及び地震・火山活動を支配する場の概念モデルの整備が進み、多様な観測データを共通の枠組みで解釈する基盤が構築されつつある。今後は、地震学、測地学、電磁気学、地球化学及び物質科学の連携を一層強化し、地下構造、応力場、流体・マグマ分布及び変形場を統合的に記述するモデルの高度化を進める必要がある。これにより、地震発生、スロー地震、火山活動及び地下流体・マグマ移動を統一的に理解する枠組みの構築を目指すとともに、将来的な地震・火山活動の推移評価や予測手法の高度化へ発展させることが期待される。

2. 地震・火山噴火の予測のための研究

(1) 地震発生の新たな長期予測（重点研究）

①目的

前計画より行われてきた従来の過去の地震活動履歴に基づく統計的予測手法の高度化に加え、陸・海域での地殻変動・地震活動の観測データ解析、室内実験、数値シミュレーションを融合し、物理過程を考慮した地震発生モデルの構築を通じた新たな長期予測手法の開発を重点研究として実施する。プレート境界の巨大地震に対しては、海底地殻変動観測や地質調査による固着状態の把握、室内実験及び地震発生サイクルシミュレーションを実施する。内陸地震に対しては、地殻活動や背景地震活動度に基づく評価を進めて長期予測モデルを高度化し、既存手法との融合を図る。さらに、地震調査研究推進本部（以下、地震本部）との連携を深め、成果が地震本部による長期評価等の防災施策に活用されることを目指す。

②実施状況と成果

ア. プレート境界巨大地震の長期予測

大学、海洋研究開発機構及び気象庁は、日本海溝沿いと南海トラフを主対象に、過去の発生履歴や近代の地震活動・地殻変動の時空間変化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。また、現実的な地下構造を考慮した応力変化や地殻変動の計算を進めた。プレート境界地震サイクルのシミュレーションにより、東北沖地震タイプの M9 級地震の 1 サイクルにおける宮城県沖 M7 級地震の再来間隔を評価した結果、アスペリティ周辺のプレート間すべりの時空間変化により M7 地震の発生間隔が変動することを示した。これは小繰り返し地震から推定された実際のすべり変化と定性的に整合していた。また、過去の震源分布、小繰り返し地震・テクトニック微動活動、東北沖地震のすべり量・応力降下量分布及び海底下構造の空間変化を考慮し、日本海溝沿いの対象範囲を 9 領域に分割して地震サイクルシミュレーションを実施した。各領域のすべり挙動を比較した結果、宮城県沖や福島県沖では比較的良好な再現性が得られた。さらに、プレート境界の形状、海溝軸近傍の堆積層や海底地形を反映した不均質構造モデルを構築し、地表面変位と応力変化のグリーン関数ライブラリを作成した。

大学は、南海トラフ及び南西諸島海溝沿いにおいて海底地殻変動・電磁気観測を実施し、既存データと統合解析することで、プレート境界の固着・すべり状態の定量的評価を進めた。GNSS データに基づき八重山諸島南側のすべり欠損レートを推定したところ、1771 年八重山地震以降の応力蓄積により、既に Mw7.5 相当のエネルギーが蓄積されていることを明らかにした。また、琉球海溝沿いの海底地殻変動観測（GNSS-A）において、沖縄本島一宮古島間の観測点ではプレート沈み込み方向の変動速度が小さく、現時点でプレート間の強い固着を示す積極的証拠が得られないことを示した。同区間での臨時観測による超低周波地震の震央決定からは、超低周波地震と低角逆断層型地震の発生域が相補的であることが判明し、プレート間摩擦特性の不均質性が示唆された。

大学は、フィリピン海プレート縁辺部を対象に津波堆積物調査や掘削試料分析を行い、歴史時代における巨大津波の痕跡を発見し、津波再来間隔の推定に重要な知見を得た。

防災科学技術研究所、海洋研究開発機構及び気象庁は、プレート境界面上における力学的固着を応力蓄積速度として表現し、大地震発生シナリオを構築する研究を進展させた。プレート境界でのせん断応力蓄積速度を直接推定する手法を開発し、南海トラフ沿いの海陸測地データに適用した。さらに、摩擦特性を考慮することで、M8 クラスの大地震に至る一連の地震発生シナリオを構築した。また、関東地方の GNSS データから相模トラフにおける応力蓄積速度分布を推定し、1703 年元禄関東地震や 1923 年大正関東地震の震源域及び房総スロースリップ域で蓄積速度が大きいことを明らかにした。特に房総半島南部では 1703 年以降も応力蓄積が継続しており、M7.8 以上の大地震を引き起こし得るひずみエネルギーが蓄積されている可能性を示した。

イ. 内陸地震の長期予測

大学は、観測データ（断層の 3 次元形状、広域応力場）に基づいた動的破壊シミュレーションを実施し、実際の観測やすべりインバージョン結果と比較して再現性と予測性能を検証した。2011 年

に福島県浜通りで発生した地震（M7.0）については、特徴的なハの字形状をした2枚の断層面上における動的破壊の乗り移り過程を定量的に再現することに成功した。2023年トルコ東部地震や2024年能登半島地震（M7.6）についても、地殻変動分布、破壊過程、強震動励起、モーメントレート関数、などの主要な観測特徴を再現した。特に、2007年能登半島地震の破壊が2024年の破壊域まで伝播しなかった力学的原因として断層セグメントの分岐関係を示した。また、東アナトリア断層系モデルを用いた準動的地震サイクルシミュレーションにより、分岐断層から全域破壊に至る稀な連動イベントを再現し、古地震学的知見との整合性を確認した。

大学は、長大活断層系を対象に、高分解能地形データや第四紀地質学に基づく古地震調査を行い、活動履歴や構造発達過程を復元した。糸魚川―静岡構造線活断層帯の神城断層周辺では段丘変位量を再評価し、複数タイプの地震発生を明らかにした。また反射法地震探査により、神城断層が浅部で低角化し、上盤側で分岐する地質構造を確認した。阿寺断層帯では、断層詳細位置や変位様式を再検討して新たなリニアメントを複数特定し、発掘・露頭調査により約1万年前以降の活動を確認した。さらに、断層帯北部の左ステップ域における構造調査から、主断層が過去に右ずれから左ずれに転じた可能性を示した。

大学は、プレート構造探査や震源断層面上の応力状態に基づき、物理モデルによる長期予測手法の開発を進めた。日本列島域の有限要素モデルを用いた西南日本の応力場計算により、南海トラフの固着に伴う北西―南東圧縮の横ずれ応力や、九州南西部の琉球海溝後退に伴う南北伸張応力の蓄積特性を明らかにした。この応力場は、2004年紀伊半島沖、2005年福岡県西方沖、2016年熊本地震等の発生と調和的であった。一方、1995年兵庫県南部地震や2000年鳥取県西部地震の再現には、南海トラフのみならず伊豆衝突や太平洋プレートの沈み込みといった、より広域・長期的な応力変化の考慮が必要であると示された。また、日本海溝や千島海溝の固着・すべりに伴うクーロン破壊応力変化（ ΔCFS ）を評価した。東北沖地震後は東北・関東陸域の多くの活断層で地震活動が抑制され、その影響は数十年継続する一方、福島県沿岸部では特異な挙動を示す断層が存在し、青森県周辺では千島海溝固着の影響で地震促進へ転ずる場所があることを示した。能登半島の応力場においては、相模トラフの固着や伊豆衝突の影響の重要性が示された。

海洋研究開発機構は、大規模3次元有限要素モデルを用いて、1944年東南海地震及び1946年南海地震後の粘弾性緩和に伴う内陸震源断層への応力変化を評価した。その結果、地震発生後の数年間に西日本内陸で広範囲に正の応力変化（破壊促進）が引き起こされたことを示し、中部・近畿地方や中央構造線周辺での促進傾向、九州での抑制傾向など、実際の歴史地震の発生推移と整合する結果を得た。

大学は、測地・地震活動データに基づく予測モデルの高度化を進め、ひずみ速度分布を用いて日本列島全域を対象としたM6以上の地殻内地震の30年発生確率を初めて試算した。その結果、新潟―神戸ひずみ集中帯周辺、九州中部、伊豆半島周辺、山陰地方などで高い発生確率が示された。また、GNSSデータから3次元の非弾性変形速度分布を推定する手法を開発した。解析の結果、非弾性変形の分布は活断層や地震の分布と強く調和し、深部ほど不均質性が減少することを示した。地域特性として、新潟―神戸ひずみ集中帯では30～40km以浅で短縮・せん断変形が卓越し、中央構造線沿いでは20km以浅でせん断変形が卓越することを明らかにした。さらに、地殻内の弾性・非弾性ひずみを分離する物理指標を導入し、地域差を考慮した空間確率推定手法を整備・検証した。GEONET、民間GNSS及びInSARデータを融合したひずみ速度場推定手法の高度化を進め、高空間解像度な面のひずみ速度場の検出に成功した。新潟―神戸ひずみ集中帯の解析から、糸魚川―静岡構造線北部のひずみ速度がとりわけ大きいことや、積雪期におけるGNSSの優位性、山岳部でのInSARの重要性を示した。また、能登半島地震後も飛騨山脈北部でひずみ集中が継続していることを捉えたほか、京阪神地方では有馬―高槻断層帯周辺に顕著なひずみ集中を検出し、深部（16km以深）における右横ずれクリープを推定した。

防災科学技術研究所は、下部地殻の塑性流動と背景応力場を統合解析し、地震発生層へのひずみエネルギー蓄積速度を評価する枠組みを開発した。山陰ひずみ集中帯への適用により、ひずみエネルギー蓄積速度がMw7クラス地震の解放量に対して約500～2000年の蓄積期間に相当することを示した。

奈良文化財研究所は、信頼性の高い史料に記された地震被害や有感地震の記述を用いて、前近代に発生した内陸地震の震度分布図を作成した。1830年文政京都地震の詳細な震度分布図を作成し、

地震動計算等との統合により、震源断層を京都西山断層帯の越畑断層付近、規模を Mw6.1 程度と精緻に特定し、他の歴史地震にも適用可能な推定手法を確立した。

③今後の展望

プレート境界巨大地震の長期予測研究は、南海トラフで観測される現在の固着分布と過去の大地震の発生履歴の情報を組み合わせ、力学的固着域の破壊を考慮することにより、現時点での巨大地震発生シナリオを示した。日本海溝沿いでは、地震活動や地殻構造などの知見に基づいて、地震サイクルシミュレーションを用いた予測を試行した。現在のモデルは、過去の地震活動の一部のみを説明できる段階であるが、地下構造の不均質を考慮した応力変化を計算するなど、より現実的なモデル構築が進められている。海底地殻変動観測は、日本海溝沿い及び南海トラフに加え、南西諸島海溝域においても速度場が得られるようになった。プレート間固着状態の解明には、今後も観測を継続して精度を高めていく必要がある。

内陸地震の長期評価としては、GNSS 速度場から地殻内の弾性ひずみと非弾性ひずみを分離し、空間不均質を推定する手法を開発し、地域差を反映した地震発生確率推定が可能になった。また、GNSS データによる下部地殻の塑性流動推定と地震の発震機構解による背景応力場との統合解析により、地震発生層へのひずみエネルギー蓄積速度分布を評価する基本的な枠組みを開発した。従来の GNSS 基盤観測網 (GEONET) データだけでなく、InSAR や民間 GNSS 観測網のデータを用いたひずみ速度分布の詳細推定が可能となった。さらに、事前の観測データから得られる応力場、変形場、断層形状を用い、数値シミュレーションによって実際に発生した大地震の大まかな再現が可能となってきた。これらは内陸地震の新たな長期評価手法の開発に貢献する重要な進展である。

過去の地震発生履歴に関する研究の中では、津波堆積物の検出や地形計測、年代測定等において新しい観測技術の活用が進んでいる。歴史・考古史料のデータベース化も進んでいるが、今後、震源情報への適切な変換には、連携研究体制の整備が不可欠である。地震発生場の理解と大地震発生ポテンシャルとの関係は、これまで定性的な理解にとどまっている。実際の予測に結びつけるには定量化を目指す研究が求められる。モデル化・シミュレーション研究は、小さなパッチを含むより複雑な計算が可能となりつつあり、今後の発展が期待される。長期予測から中期予測へ向けては、データ同化や機械学習を活用した、シミュレーションに基づく予測研究が期待される。今後は、学術的に価値のある成果を追求するとともに、社会実装を見据えた研究も必要である。過去の履歴に基づく統計的長期評価手法の限界もふまえ、地球物理的データを積極的に活用した新手法を提案し、地震本部に採用される成果を目指すことも必要であろう。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との関連では、日本の実際の発生場を考慮した研究を行うことが、〇〇といった貢献につながる。内陸地震についても、地震活動や地殻変動データを活用した評価手法の開発が必要である。

(2) 地震発生確率の時間更新予測

①目的

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予測手法の開発・改良を行う。物理モデルに基づくアプローチでは、様々な地殻活動観測データからプレート境界や断層のすべり速度分布を推定するとともに、応力-すべりの構成則に合うように応力・固着状態・摩擦パラメータを推定して、その延長として今後を予測するデータ同化の考え方に立脚する。さらに、予測に基づいて大地震の発生確率や地震発生可能性の相対的な高まりを評価する手法の構築を目指す。観測データに基づく経験的アプローチでは、観測データを入力とする客観的アルゴリズムや統計モデルに基づいて地震活動の試行予測と検証を行い、予測性能を統計的に評価するとともに予測アルゴリズムを改善する。先行現象を網羅的に検出する方法を開発するほか、機械学習等のデータ駆動科学の導入により、人間の直感では気付きたい先行現象も探索する。また、過去の多様な地震活動や地殻変動等の履歴を整理して地震活動事象系統樹を作成することで、地震活動予測の新たな手法の開発を進める。さらに、時間更新型の予測情報の社会的有用性についても検討する。

②実施状況と成果

ア. 地震発生の物理モデルに基づく予測と検証

大学は、日本全国の定常観測網で観測された地震波形データを蓄積し、日本列島周辺で発生した繰り返し地震活動の検出を行った。作成した繰り返し地震カタログを用いて、日本列島周辺の沈み込むプレートの境界および内陸活断層におけるすべりの空間分布・時間変化の特徴を調べた。東北地方太平洋沖地震の発生直後には、繰り返し地震の破壊域の拡大とすべり量の増加が顕著に見られ、その後徐々に回復する傾向が確認された。一方で、破壊開始直後の挙動には有意な違いが見られなかった。このことから本震後の余効すべりに伴う載荷速度の変化が、破壊の開始点ではなく、破壊の停止条件に影響を与えたことが示唆された。能登半島北東部の群発地震震源域において、2020年1月から2024年1月1日の能登半島地震（M7.6）までの間に発生したM2～4の地震を対象として解析を行った結果、102系列の繰り返し地震が見つかった。多くは北側のクラスタ内の1枚の断層面上に多く分布していた。2024年能登半島地震以前の群発地震活動期間内におけるこの断層面上の平均的な非地震性すべりは約20cmであり、期待される地表変位は0.5cm以下であることから、断層面上でGNSSでは検出できない程度の小さなすべりがあったことが推定された。

産業技術総合研究所、防災科学技術研究所、気象庁は、共同研究に基づき、3機関のひずみ・地下水・傾斜データをリアルタイムで共有して南海トラフ周辺地域の短期的ゆっくりすべり（SSE）を解析するシステムの運用を継続した。このシステムを用いて短期的SSEの断層モデルが逐次決定された。

大学は、高精度に震源決定されたテクトニック微動の震源分布、反射法地震探査、海底地形のデータ、高精度にイメージングされた地下地質構造の解釈結果を活用することで、スロー地震発生域に特徴的な地質構造を調査した。その結果、テクトニック微動の分布と地質構造には良い対応関係が見られ、微動は覆瓦スラスト帯で発生し、より海溝に近い前縁スラスト帯ではほとんど発生していないことが明らかとなった。特に、断層すべり域の浅部側の端（上端）は断層の幾何形状によって、また深部側の端は上盤の物性によってそれぞれ制約されている可能性が示唆された。南海トラフ沈み込み帯において浅部スロー地震活動の静穏域にあたる潮岬沖では、タービダイト（混濁流堆積物）層がプレート境界断層に沿って沈み込んでいることが確認された。この透水性の高いタービダイトがプレート境界断層の間隙水压を低下させているために浅部スロー地震活動が抑制されている可能性が示された。また、沈み込んだ古銭州海嶺の西端でモーメント解放量が多いなどの特徴が明らかになった。

大学は、連続地震波形データにテンプレートマッチング手法を適用し、豊後水道周辺での深部低周波地震活動の様子とスラブ内地震との関係を明らかにした。2024年に豊後水道のスラブ内で発生したM6.6の地震の発生直前には、北東方向へ移動する低周波地震活動の主要なエピソードが起こっており、この移動方向とは逆方向の移動がM6.6の地震の震源域を通りこした後に、M6.6の地震が発生した。さらに、M6.6の地震後には豊後水道で低周波地震の活動が活発化し、しかも高速に移動する現象が多数発生した。この結果は、スロー地震とスラブ内地震の間に相互作用が働いていた可能性を示唆する。

気象庁は、南海トラフのプレート形状を模擬した地震発生サイクルシミュレーションを行った。摩擦特性や有効法線応力の分布を調整することで、巨大地震に加えて、固着域深部で繰り返す短期的・長期的スロースリップイベントの発生間隔や規模を概ね再現できた。

大学は、機械学習手法を観測データに適用し、短期的スロースリップや長期的スロースリップの解析に活用する試みを行った。四国西部における連続地震波形とGNSS変位速度時系列の両方に適用する試みでは、既知の短期的スロースリップに加えて、6年間で5つの新たなイベントを検出することに成功した。また、物理深層学習（物理法則を組み込んだ機械学習手法）を用いた摩擦特性の空間分布推定手法を2010年に豊後水道で発生した長期的スロースリップを含むGNSS時系列データに適用した事例では、速度強化域に取り囲まれた速度弱化域が推定されたとともに、強い制約を課す従来型のデータ同化では再現できない地表変位の時空間パターンを再現できることが分かった。

大学は、より小規模な超低周波地震の検知へ向けた観測・解析態勢の整備を行った。四国・紀伊半島・東海地域に展開している観測網によって、超低周波地震の検知能力が向上することを確認した。また、機械学習によるノイズ低減処理のためのグリーン関数データベースを構築した。

大学は、地震発生場の階層的構造の特徴を評価する手法の開発と適用、および Ide & Aochi (2005) モデルの拡張を実施した。北海道から関東までの日本海溝沈み込み帯全域において、震源とセントロイドの同時推定を行ったところ、多くの地域で震源、セントロイドはそれぞれが集中的に生じる場所が限られており、震源破壊プロセスの限定予測可能性が示された。また、多くの地震について破壊伝播は沈み込み帯の深部方向への顕著な方位依存性を示すことも明らかになった。これは、固有の構造が沈み込み方向へ伸びていること、および多くのモデルで仮定されるような深部からの核形成は支配的でないことを示唆する。さらに、三陸沖を対象に、過去の地震履歴に基づいて4階層の円形パッチの分布とパッチサイズに依存したすべり弱化摩擦則を仮定し、一定のローディングを与えて準動的地震サイクルシミュレーションを行った。その結果、M6弱からM8までの様々なサイズが発生し、M8の地震はほとんどがM6以下の地震をパッチのどこかから始まることが分かった。一方で内部に多数の階層性を持っていても、巨大パッチが孤立して存在する場合には、その周期は小スケールの不均質にあまり影響されないことも明らかになった。

イ. 観測データに基づく経験的な予測と検証

大学は、地震活動の特徴づけるパラメータの推定法を高度化して実データに適用し、地震活動評価を試みた。大きな地震と小さな地震の発生数の比を表す b -値の時間変化を基準にした評価では、先行研究で指摘されていた2011年M9東北地方太平洋沖地震の震源域での大地震リスク上昇は示唆されなかった一方で、2016年M7熊本地震以降の布多川断層中部の10 km程度の領域では依然として高リスクな状況が続いていることを示唆する結果が得られた。大地震のあとの余震クラスターの最大マグニチュードの予測に関する研究では、イタリア、スロベニア、ギリシャ等でトップレベルの性能を示している機械学習アルゴリズムの修正・改良を実施し、その性能を評価した。従来のアルゴリズムでは、地震活動が複雑で大きな余震がおきる余震クラスターの割合が小さいという特性を持つ日本の地震活動には適用できなかったが、新しいアルゴリズムを1973年から2004年のデータで訓練し、2005年から2023年の事象で検証したところ、2011年東北地方太平洋沖地震の2日前のM7.3の地震から始まった群発活動が大きな地震を起こすクラスターであると正しく分類するなど、高い精度での分類を実現した。

大学は、遠方からの地震波により地震が誘発される現象（動的トリガリング）に関する研究を進めた。2011年東北地方太平洋沖地震以降の東北地方において動的トリガリングが起りやすくなっているのではないかとという仮説を検証するため、東北地方太平洋沖地震後に群発活動が起きた5つの地域を対象に、計49個の遠地地震による表面波の振幅と、それによって誘発された地震の有無を調べた。その結果、多くの地域では、東北地震後に有意に動的トリガリングが起りやすくなったという結論は得られなかったが、いわき地域のみ動的トリガリングがされやすくなっていることが示唆された。

大学は、地震カタログを利用して、地震の予測可能性そのものに関する研究を進めた。地震の予測可能性に関して、先行研究では、地震の予測可能性を示す分岐比（1つの地震が起こす余震数の期待値であり、地震カタログから推定される。これが1以上であれば地震の予測は不可能）の推定値が1を大きく超えることも下回ることもあったが、従来の推定値には、カタログの性質に起因する偏りがあることがわかった。この偏りを修正する方法を開発し、カリフォルニア、ニュージーランド、四川-雲南、能登の4地域について再推定したところ、すべてで分岐比は有意に1より小さくなった。

大学は、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の検証を行った。先行研究では、GNSSデータのスタッキングにより、2011年M9東北地方太平洋沖地震の2時間前からMw6.9相当の加速度的なプレスリップが存在することが指摘されていたが、GNSS時系列固有の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の同時期の記録を調べた。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。

大学は、地震活動評価の基礎となる各種地震カタログの品質向上のため、波形検出技術を高度化し、実データへの適用を進めた。深層学習を用いた有名な地震波検出ツールであるPhaseNetに新技術を加えることで改良するとともに、日本の地震データによって再訓練して新モデルを開発した。新モデルを現行の気象庁ワークフローに統合した場合、最高性能モデルは気象庁カタログ記載イベ

ントの約 3.5 倍の事象を検出した。また、連続地震波形データから微小地震を発見するためのアルゴリズムを開発した。微小地震検出のために従来から用いられている波形相関法は、計算コストが高く、大規模な GPU クラスタを使わない限り長期の地震波形記録に適用できないという欠点があったため、新たにアルゴリズムを開発し、市販のワークステーションでも利用可能なプログラム群 DiallelX を作成した。これを利用することで、従来のカタログよりも 10 倍多くの震源を含むカタログを作成することに成功した。能登半島に適用した結果として、2007 年能登半島地震から 2024 年能登半島地震発生に至る過程の微小地震活動のなかに、互いに相似な波形を示す特徴的なイベント群を複数発見した。

大学は、ゆっくりすべり (SSE) 検出に関して、測地データと深層学習を用いた検出手法を開発して性能評価を評価し、南海トラフや日本海溝への適用を行った。日本海溝三陸沖の 2025 年 11 月 M6.9 を含む地震活動で高精度震源再決定と繰り返し地震検出を行うことで、活動前後の非地震性すべりを抽出した。

大学は、2024 年能登半島地震の余震域にあたる領域での 2018 年初頭から 2024 年 2 月の相対震源位置決定を行った結果からは、群発地震活動を駆動したと推定されている高圧流体の影響を示唆する震源分布が得られるとともに、本震に先行する非地震性のプレスリップの存在が示唆された。

大学は、地震に先行する可能性が指摘されている電磁気現象の検出を試み、解釈を行った。大地震に先行して電離圏総電子数 (TEC) が変化するかを確認するため、GNSS データの解析を行った結果、2023 年 Mw7.8 カフラマンマラシュ地震、2025 年ミャンマー地震について地震発生の 30 分程度前から始まる TEC 変化が検出され、それらは先行研究で報告されていた他の地震に先行する変化とも整合するものであった。2008 年中国四川地震の直前に観測された虹彩雲について、本震直前に断層系に沿って発生した電気擾乱が上方伝播して電離層と相互作用することで局所的な電場を形成したというモデルを提案した。先行研究で報告されている ULF 電磁場が震源に流れる電流を起源とすると仮定して単純化したモデルを用いて電流強度を推定した結果、推定された電流強度と地震マグニチュードの間に正の相関があるとの結果が得られた。

大学は、地震に先行する可能性が指摘されているラドン濃度変化について、信頼度を高めるための解析手法の高度化を進めた。広く用いられている小型でポータブルな測定機器は、データのばらつきが大きいため、詳細なラドン濃度変動の観測にはこれまでは用いることができなかったが、状態空間モデルを利用することで、大型の高精度の測定器で得られる時系列に類似したピークやトレンドを抽出できるようになった。ニューラルネットワークをベースとして構築した手法で過去のデータを再解析した結果、1995 年兵庫県南部地震、2011 年東北地方太平洋沖地震に先行する統計的に有意な変化が検出された。

大学は、地震活動以外の情報を併用することで地震発生確率の予測精度が向上するかを調べた。時間 ETAS の予測に ULF 帯地磁気変動異常と地表一酸化炭素濃度異常の情報を加味した場合と加味しなかった場合とを比べた結果、両方を加えた場合に地震 1 個あたりの確率利得が約 1.03 倍改善されること、異常の発生時刻をランダムに置き換えると改善は見られなくなることを示した。

③今後の展望

物理モデルに基づくアプローチでは、物理モデル構築・改善に不可欠な観測を維持・拡充するとともに、様々な地殻活動観測データからプレート境界や断層の状態を推定することで、個別の地震の予測可能性に関する研究が進展した。また、プレート境界の地質構造や摩擦特性とスロー地震活動との対応関係が明らかになるなど、すべり現象と構造との関係性の理解が深まった。一方で、これらの知見を統合して地震発生過程の時空間変化を定量的に理解し、将来の地震活動の予測へ結び付けるためには、なお多くの課題が残されている。今後は、プレート境界の浅部から深部に至る高分解能な構造探査結果や、地球電磁気学的観測等によるプレート境界断層の間隙水圧の推定結果などを統合し、プレート境界すべり特性を規定する地下構造や物性の特徴抽出をさらに進める必要がある。これらの成果をプレート境界すべりの時空間発展や地震の規模の予測へ展開するためには、現計画で進展が見られた地震発生サイクルシミュレーションの活用を検討する必要がある。また、地震現象の解明、地震発生場の理解との連携を強化するとともに、観測データとの継続的な比較・検証を通じてモデルの高度化や予測結果の検証を図ることが重要である。そのためには、高品質な観測データの継続的な蓄積が不可欠である。

観測データに基づく経験的アプローチでは、地震活動の履歴を整理して評価する際の基礎となる地震カタログ作成技術が大きく進展した。従来は見逃されてきた地震が検出できるようになったことで、地震活動を規定する b 値等のパラメータ推定精度は格段に向上した。地震活動の推移が震源分布も含めて高精度で把握できるようになったことで、ゆっくりすべりの検出など経験的予測につながる重要な知見が得られた。地震後の最大余震の大きさなど、防災に直結する情報を予測する方法も開発あるいは改良され、検証されつつある。また、地震や地殻変動以外の地震先行現象についても、多方面からの研究が進められた。地震に先行する電離層の異常やラドン濃度の変化は、存否自体が長く議論の対象となっているが、その検討の基礎となるべき事例の蓄積は本計画でも着実に進められた。また、非地震性の経験的情報を地震学的に確立された統計モデルに取り込むことで地震学的統計モデルが改善するのかを調べて経験的情報の有効性を調べる等の新しい試みも行われている。観測結果の蓄積に加えて、様々なアプローチにより先行現象を評価することは、この先も進められることが期待される。

現計画では機械学習手法の観測データへの適用も進み、断層の物理の理解や将来的な断層すべり予測の発展につながる可能性が示された。観測データから地震活動についての情報をより詳細に抽出できるようになり、経験的予測の精度も高まりつつある。機械学習手法の活用によるデータ解析の高速化・高度化は今後もさらに推進することが期待される。一方、経験的予測手法の開発の基礎となるのは地震波形をはじめとする古典的な観測データであり、それらを蓄積し続けることの重要性は今後も変わらない。物理モデルや地震発生サイクルシミュレーション、そして経験的に得られたモデルの有機的な融合を図り、地震発生予測の高度化へつなげていくことが期待される。また、その結果が出てくる段階で、それらの結果を社会でどのように活用することができるのかを順次検討してゆくことも求められる。

（３）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）

①目的

従来の経験則に基づく予測から脱却し、時間軸の情報を取り込んだ、火山活動推移モデルの改良と定量的予測の試行を目的とする。このため、地球物理・地球化学的な連続観測データに加え、物質科学的な噴出物モニタリングや地質情報（噴火履歴・史料・地質等）を包括的な予測対象とし、観測項目ごとに評価指標を導入して現況を総合的・定量的に評価する方法を提示する。これらに基づき、噴火に至る事象分岐から噴火発生、噴火様式の変化、終息に至る一連の推移予測手法の構築を図る。具体的な推進にあたっては、各火山のデータ蓄積状況に応じた段階的アプローチをとる。すでに多項目観測データの蓄積が進む火山においては、具体的な対象事象を設定して構築した予測手法の適用および予測試行を実践する。一方、データ蓄積の前段階にある火山については、将来予測の基礎として、予測すべき事象や予測スキームの検討を含めた定量的評価手法の開発を優先的に進める。

②実施状況と成果

大学は、火山近傍における地震、測地、電磁気学的な観測データや物質科学的な分析データに基づき、火山活動度を定量的な指標で示し、それら指標の時系列を基に噴火発生予測を含む活動推移予測手法の構築を進めた。特にデータ蓄積が進む阿蘇山等では熱エネルギー（エンタルピー）収支を物理制約とした状態空間モデルを適用し、地磁気全磁力、二酸化硫黄放出量、噴煙高度を拡張カルマンフィルタで統合するデータ同化手法（状態空間モデル）を構築した。この手法を阿蘇山中岳第一火口の長期データに適用し、2014年前後及び2019年前後の活動期に先立って深部熱供給量が顕著に上昇し、累積エンタルピーの時間変化が正になる期間をバックテストにおいて定量的に検出することに成功した。さらに、ベイズ的データ分解による磁場補正法を開発し、阿蘇山における2014年のマグマ噴火や2021年の水蒸気噴火前後の微細な地磁気変化を高精度に捕捉した。また、霧島硫黄山における2018年の小規模水蒸気噴火と、2021年の熱水噴騰時に捉えられた地電位変化の発生物理モデルを提示し、浅部熱水活動の定量的評価手法を高度化させた。これらの成果は、多項目観測データを用いた物理モデルに基づく火山活動推移予測手法の実現可能性を示し、定量的予測研究を大きく前進させた。

大学は、非噴火期における活動の不安定度（Unrest）を客観評価する手法に関しては、火山活発化指数（Volcanic Unrest Index, VUI）の試験適用が進展した。十勝岳、雌阿寒岳、吾妻山、草津白根山、阿蘇山の5火山へ適用し、具体的な閾値・基準を明記した共通の「VUI ワークシート」の策定と算出方法の実証を完了した。多項目の地球物理・地球化学データを標準的な手続きで統合することにより、特定の観測項目のみに評価が偏重することを防ぎ、自動化も可能な定量的客観評価体系を確立した。VUI は、多項目観測データを統合した標準的な火山活動評価指標として、他火山への展開も期待される重要な成果である。

大学は、大地震の発生と火山噴火誘発関係のグローバルな相関性評価において、歴史・近代の統計データを融合した時空間解析により、科学的根拠を持つ定量的評価指標を構築した。世界の巨大地震と火山噴火データの系統的解析を通じ、大地震の発生に伴って周辺の地殻内に0.5マイクロストレイン以上の膨張地殻ひずみを受ける火山においては、その後5～10年間の長期にわたり火山爆発指数が2以上の噴火発生頻度が通常の2～3倍に高まるという相関関係を解明し、中長期ポテンシャル評価手法を確立した。

気象庁は、GNSS キネマティック解析、MCMC 法による変動源の時系列インバージョン、粒子フィルタ法や相対ASL法による震動データ処理等、現業監視に直接組み込める高度解析処理技術を開発・実装した。さらに、草津白根山、雌阿寒岳、吾妻山等において、全磁力連続データの自動補正及びリアルタイム自動伝送システムを運用開始した。これらにカルマンフィルタを適用することで、観測点数が限定された状況下でも、活動の消長と同期した地下熱水系の熱消磁源の時間発展イメージングに成功し、即時監視・評価の確度を向上させた。これらの成果は、高度な解析手法を現業監視へ実装し、火山活動の迅速かつ客観的な評価能力を向上させた。

国土地理院は、マグマ移動等を含む地殻変動モデリングのための解析手法の改良を推進した。

大学は、2025年霧島新燃岳噴火において、迅速な共同降灰調査および時系列の火山灰分析を展開した。全岩化学組成および迅速測定が可能な分光測色値の経時変化を分析し、活動初期の既存溶岩破碎主体から、未変質岩石の関与（高温・未変質岩石の酸化や破碎）が増大し新鮮マグマ物質が関与を強めていく環境遷移を追跡した。これらのデータはデータ共有システムを介して遅延なく共有され、火山調査研究推進本部における活動評価の科学的根拠として活用された。また、桜島においてもバルク火山灰の迅速測色主成分分析システムを構築し、噴火時の軽石・スコリア放出に対応する特異な色変化を即時検出することに成功した。

大学は噴出パラメータの客観的推定および不確実性評価について、数理統計学と岩石・物質科学を融合した新たな評価モデルを構築した。鬼界アカホヤや阿蘇4などの大規模テフラを対象に、統計学、ベイズ推定、および機械学習を用いた層厚分布と噴出量推定手法の検証を進めた。等層厚線の確率分布を算出するモンテカルロフィッティング手法と、層厚データのみを用いてベイズ推定や機械学習で直接推定する手法を比較検証した結果、堆積物の風化や地形による二次的な層厚変化のモデル化や、露頭データの地理的な偏りを定量的に考慮することの重要性を明らかにし、不確実性を誤差幅付きの確率分布として客観評価する技術体系を提示した。

産業技術総合研究所及び大学は、事象分岐モデルの客観化・標準化に向け、地質年代学的なデータ環境を拡充させるとともに、物質科学と連続観測データを融合した閾値の導入を複数の火山で進めた。伊豆大島における斜長石斑晶量に基づく大規模噴火への遷移分岐基準の改訂、蔵王山における活動履歴に基づく噴火推移予測図の作成など、各火山の地質学的環境に応じた分岐条件の標準化が大きく推進された。また、中長期評価・予測の基礎となる秋田焼山・御嶽山等の地質図整備、伊豆大島火山地質図第2版の刊行、洞爺火砕流堆積物分布図の公表、およびK-Ar法やAr/Ar年代測定手法の高度化を推進し、各種データベースを公開して情報基盤の拡充を実施した。国内外の噴火推移データベースや火山灰データベースが一般に整備・公開され、予測に必要な基礎データ環境が大幅に拡充された。

北海道立総合研究機構及び大学は、長期地球化学的継続観測を実施し、実際の水蒸気噴火の捕捉実績によってその有用性を示した。十勝岳、雌阿寒岳、樽前山、倶多楽、有珠山、北海道駒ヶ岳等の道内活火山で、長期的な温泉水・噴気等の地球化学的モニタリングを安定的に遂行した。十勝岳、雌阿寒岳、御嶽山、箱根山、アトサヌプリ、阿蘇山、雲仙岳等において、温泉水、噴気ヘリウム・炭素同位体比等の地球化学的モニタリングが着実に継続された。特に、2025年9月及び10月に突発的な水蒸気噴火が発生した雌阿寒岳においては、地殻変動等の物理シグナルが明瞭に現れにくい

アンレスト活動期において、噴火に先立って 2023 年以降から、過去の水蒸気噴火期と同様の水質中硫酸イオン濃度の上昇傾向を検出・捕捉することに成功し、地球化学的指標が火山活動評価に有効な情報を提供することを実証した。

山梨県富士山科学研究所は、富士山周辺の地質・トレンチ調査から噴火履歴を高精度に推定した。

総じて、本計画期間を通じ、多項目観測データ、物質科学的データ及び地質学的情報を統合した火山活動の定量評価・予測研究が大きく進展した。VUI の構築、データ同化による物理モデル予測、地球化学・物質科学的指標の定量化、事象分岐モデル及び噴出量推定手法の高度化などにより、従来の経験則を主体とした火山活動評価から、客観的指標と物理モデルに基づく定量的評価・予測へと研究が発展した。また、阿蘇山等におけるバックテストを通じて予測手法の有効性が検証され、将来的な火山活動推移モデルの高度化及び噴火推移予測に向けた重要な研究基盤が整備された。

③今後の展望

これまでの 5 年間に於いて、VUI 等の定量的評価指標の構築や、熱エネルギー収支に基づく物理モデルとデータ同化手法（拡張カルマンフィルタ）を組み合わせた予測試行が進展し、経験則に依存してきた火山活動評価・予測に対して新たな客観的アプローチが提示された。一方で、多様な火山現象を統一的に説明できる数理物理モデルの構築にはなお課題が残されており、火山ごとの特性を踏まえつつ、観測・物質・地質情報を統合した予測モデルの高度化を引き続き進める必要がある。

そのためには、まず予測モデルの高度化を支える基礎データの継続的な蓄積と統合を推進することが重要である。地殻変動などの物理シグナルが発現しにくい突発的な水蒸気噴火の前兆把握や地下熱水系の異常検知においては、十勝岳や雌阿寒岳等で実施してきた長期地球化学モニタリングの継続が不可欠である。今後は、これらの長期観測データと、岩石・噴出物から推定されるマグマ上昇速度、脱ガス、粘性変化等の物理化学パラメータを統合的に解釈する手法を開発し、火山活動推移モデルの高度化へ結び付けていく必要がある。また、火山ガス組成変化の評価で一般に用いられるダイアグラム等について、日本の熱水系卓越火山の実態に則した解釈基準の再検証を進めるなど、評価の基礎となる知見の高度化を進める必要がある。

次に、定量評価・予測モデルそのものの高度化を進める必要がある。火山活発化指数（VUI）については、現在の観測指標の単純平均による評価から、機械学習やベイズ推定等を活用して各観測項目の寄与率を定量的に評価する手法へ発展させ、客観性及び汎用性をさらに高めることが期待される。また、阿蘇山において構築・実証された熱エネルギー収支に基づくデータ同化手法については、マグマ供給系や地下熱水系の物理過程を取り入れた高度化を図るとともに、他の活動的火山へ適用することで、汎用的な火山活動推移モデルの構築を進める必要がある。

さらに、本計画期間で大きく発展した新たな観測・解析技術を予測モデルへ積極的に取り込むことが重要である。ドローンを用いた高頻度な面的観測、衛星リモートセンシング、光ファイバを利用した分散型音響センシング（DAS）、AI を活用した画像解析やデータ処理などを活用し、多項目観測データをリアルタイムで統合・解析できるシステムを構築することで、火山活動評価や噴火推移予測の高度化を図る必要がある。

最後に、これらの成果を社会実装へ着実につなげることが重要である。総合的研究課題との成果共有及び相互連携を一層強化するとともに、本計画で開発された定量評価・予測手法を火山調査研究推進本部及び文部科学省 V-LEAD プロジェクトへ円滑に展開し、火山活動評価や噴火推移予測の高度化に資する研究推進体制を構築する必要がある。これらの取組を通じて、経験則に依存した火山活動評価から、客観的指標と物理モデルに基づく定量的評価・予測への転換をさらに推進し、火山災害の軽減に資する実用的な火山活動評価・予測手法の確立を目指すことが期待される。

3. 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

（１）地震の災害誘因の事前評価手法の高度化

①目的

強震動、津波、斜面変動、地盤変状、地震動や火山活動による斜面崩壊など、大地震に伴う災害誘因を事前に高精度に評価する手法を開発するとともに、大地震等による災害リスク評価手法を高

度化する。強震動の事前評価では、精緻な地下構造モデルや複雑な断層破壊過程を考慮することで従来の評価手法の改良や高度化に取り組む。津波の事前評価では、最新の津波堆積物調査や歴史地震の調査の知見を取り入れる。斜面変動や地盤変状の事前評価では、その準備過程を捉えるモニタリングに基づく予測も視野に入れ実施する。また、大地震による災害リスクの事前評価手法の開発では、震源から構造物に至る強震観測の連携研究等を推進し、建物被害や人的被害のフラジリティ評価を取り入れ、これまでの取組をさらに発展させる。

② 実施状況と成果

ア. 強震動の事前評価手法

大学は、時空間的に複雑な断層破壊過程と地震被害に直結する震源域の強震動特性の関係を解明し、その事前評価手法を高度化するため、強震記録を用いた大地震の断層破壊過程の解析や手法の高度化を実施した。2023年5月5日に能登半島で発生した地震 ($M_{JMA}6.5$) 及び2024年1月1日に発生した令和6年能登半島地震の本震 ($M_{JMA}7.6$) の断層破壊過程の解析結果を走時トモグラフィによる不均質地殻速度構造を比較したところ、すべりの大きい領域と低 V_p/V_s 比の領域が空間的に対応し、すべりの大きな領域の周囲は比較的高い V_p/V_s 比の領域で取り囲まれていることが分かった。令和6年能登半島地震の本震については、地震後に各機関から公表されている余震分布や海域活断層分布などの情報を踏まえて強震波形 (0.03~0.4 Hz) による震源インバージョン解析を実施した結果、能登半島北西岸付近と禄剛崎北東沖海底下の2カ所にそれぞれ最大8m程度のすべりの大きな領域が存在することが分かった。[現計画 DPRI05]

大学は、強震波形記録を用いた動力学的震源インバージョン手法の高度化を進めた。解析コードの開発を進めた結果、断層が破壊し地震波を放射した領域については与えた動力学的震源パラメータを一定の精度で復元できるようになった一方で、限られた周波数帯域の波形から臨界すべり量を精度よく拘束することには困難性があることが再確認された。近年整備が進んだ海底強震計記録の有効性の検証のため、2021年2月13日及び2022年3月16日に福島県沖で発生したM7級のスラブ内地震を対象として、陸域観測点に加えてS-net海底強震計の記録を用いた震源過程解析の結果と従来の陸域記録のみを用いた結果との比較を行ったところ、大局的なすべり分布や破壊伝播の特徴は概ね共通していた一方で、海底強震計記録を取り入れた場合には最大すべり量がやや小さく推定されることが示され、海底観測記録の活用が震源像の精密化に有効であることが確認された。平成28年熊本地震の最大前震を模擬したテストデータを用いて強震波形の上限周波数を従来より高い1 Hzまで拡張した条件で検討を行った結果、高周波成分を活用することの有効性を示すとともに、自治体震度計等を用いた断層近傍データの活用可能性も示し、今後の観測データの拡充によって、より実動的な動的震源パラメータ拘束が期待されることを明らかにした。[現計画 DPRI05]

大学は、強震動の空間分布や増幅特性を適切に評価するために、震源モデルの高度化に加えて必要な堆積盆地・平野における地下構造モデルの精緻化を、特に大阪盆地を対象として進めた。複数の鍵層の標高データから三次元地質構造モデルを構築し、堆積年代と深さに基づく物性値変換式を用いて三次元速度構造モデルを構築する枠組みを採用した。地質構造モデルについては、新規浅部ボーリング資料の追加、既存地質図の再数値化、深層ボーリング及び反射法地震探査データの再検討などを通じて、精緻化を進めた。物性値変換式についても、新規探査データとの比較から既往モデルでは十分に表現できない空間的不均質性が存在することを確認し、その細分化と再定式化を進めた。これにより、地質構造モデルと反射法地震探査結果との整合性を高めつつ、観測・探査データ間の整合的な三次元速度構造モデルの構築を進展させた。[現計画 DPRI04, DPRI05]

大学は、表層地盤の強震動応答のモデル化のための研究を進めた。新しく整備した実験装置により、模擬砂層地盤の弾性波応答特性、ならびにその強震動による影響を定量的に評価できるようになった。セメントモルタル中に人工的に空隙を埋設した単純な円柱形の模擬媒質に弾性波を透過させるテストを実施し、高空隙率媒質に対する透過弾性波計測に向けたモデル媒質の構築や計測条件の整理も進め、空隙の多い強い不均質媒質における波動伝播特性の定量評価に向けた準備を進展させた。強震動に伴う表層地盤応答の変化とその回復過程を定量的にモデル化して地震動予測を高度化するため、実験・計測システムを開発・利用して、強震動入力前後における弾性波応答特性の変化の計測を行い、表層地盤の粘弾性的応答変化の把握に向けた基盤を構築した。[現計画 RTM_02]

大学は、変動学的知見等を踏まえた詳細な地表地震断層の属性を組み入れたモデルに基づく強震

動計算の高度化に向けた研究を進めた。地震調査委員会「2016 年熊本地震の観測記録に基づく強震動評価手法の検討について（中間報告）」で検討された断層モデルに対して、断層浅部に詳細な地表断層形状を反映させ、強震動の試算を行うとともに、断層モデルのパラメータの不確実性が断層近傍強震動に与える影響を見積もるため、断層パラメータ（断層面積、地震モーメント、アスペリティ面積比）を確率変数として確率密度関数によって表現した断層パラメータの設定方法を検討した。詳細な地表地震断層を強震動計算用の断層モデルに効率的に組み込むためのツールを開発し、主要な断層帯に適用して強震動計算を行った。モデル計算により深部断層と地表断層の形成メカニズムを独立に検討し、地盤の破壊に伴う震動発生を検討した。2025 年ミャンマー地震の際の現地映像を分析して、活断層の断層運動および断層近傍における地震動が周辺の被害に及ぼす影響について検討した。[現計画 NGY_06]

イ. 津波の事前評価手法

大学は、断層モデルの構築法や不確実性評価の基準を洗練させて将来の津波想定信頼性向上に寄与するため、津波堆積物調査の知見も取り入れて既往イベントの再検討を進めた。12 世紀北海道南西沖地震に関して、津波堆積物分布を再現するよう構築した既往の断層モデルについて詳細な検討を行った結果からは、先行研究のすべり量推定が過大評価である可能性が指摘された[2 次計画 HKD_05]。2024 年能登半島地震において観測された津波に関しては、陸域で観測された地震時地殻変動を最も良く説明することができる断層モデルだけでは津波を説明するのに十分ではなく、追加の波源が必要であることを明らかにした。[R6 年度 HKD_05]

大学は、津波の事前予測について、震源パラメータの不確実性も考慮した計算と評価を実施した。南海トラフ巨大地震を想定してランダムに与えた多数の滑り分布に対する津波計算を行った結果から、内閣府中央防災会議モデルの津波高さが、大阪湾の湾奥部では高く、高知県沿岸など外洋に面した地域では低くなる傾向があることがわかった。その差異の原因の検討から、断層すべりの深さ方向の不確実性が津波高の不確実性の大きな要因になることが示された[R3 年度 CT0C04]。日本の駿河湾とメキシコ太平洋沿岸において高速かつ簡便に津波推移を推定するため、多数の津波計算の結果から地形の効果による津波の増幅率を推定し、その妥当性を確認した[R4_CT0C22]。津波によって発生する漂流物の挙動についても、水槽実験と数値計算結果との比較を行い、津波漂流物モデルの改良とその精度評価を行った[R5 年度 CT0C01]。

大学は、海底地すべりや火山島の地すべりによる津波の事例解析及び即時予測手法の開発を行った。海底地すべりによる津波の事例である 1929 年 Grand Banks（カナダ）の津波を対象とした再現実験では、海底ケーブルの断線時刻や験潮記録の再現することに成功した[2 次計画 HKD_05]。火山島の地すべりによる津波の即時予測手法の開発では、ジャワ島西岸やスマトラ島東岸での津波を想定した即時予測手法を開発し、検証の結果、仮想観測点が無い方向への地すべりによる津波でも高い精度で予測できることを確かめた [R4 年度 HKD_05]。

ウ. 地震動に起因する斜面変動・地盤変状の事前評価手法

大学は、地震波を用いた地盤強度と地下水のモニタリング手法の開発と適用を行った。静岡県森町の地すべり地域における地震計アレイによる観測記録を解析した結果、深度約 5m および約 20m に環境要因に敏感な速度構造が検出され、この構造の変化が降雨に伴う地下水面の変動と関連する可能性、およびこれらが潜在的なすべり面の位置と対応する可能性が示された。[R6 年度 NGY_04] また、精密制御震源(アクロス)システムを用いて降雨に対する地震波速度変化のモニタリングと解析を行った結果、降雨に対して、地震波速度はそれぞれ地下水位より速い応答、河川水位より遅い応答を示すことが明らかとなった。[令和 7 年度 NGY_04]

大学は、地表設置型合成開口レーダ(GB-SAR)による地表面変位計測を高精度化した。主に山間部での地滑りや氷河計測を対象とした GB-SAR データを活用し、大気誤差を補正するアルゴリズムを提案した。特に、屈折率の変化が InSAR の位相に与える影響を統計的に表して補正手法に組み込むことで、山間部などの大気の状態変化が著しい場所でも高精度に変位を計測できることを実証した。そのうえで、北海道における三地点で地すべり斜面の計測も行った。[2 次計画 IRID03]

大学は、地震時地すべりの準備過程から発生後の災害に至るまでの総合的な事前評価手法を高度化するための観測研究を進めた。地すべり地の空間的に多様な地震動特性、地すべり変位の地震直

前の安全率依存性、盛土材質による間隙水圧応答特性の違い、粘土鉱物ハロイサイトの構造の違いとせん断特性などについて明らかにした。傾斜計・間隙水圧計・インターバルカメラを 2016 年熊本地震で崩壊した熊本県南阿蘇村のテフラ斜面上方に設置し、令和 3 年度から観測を継続した結果、年間 0.005 度程度の傾斜変化を伴う定常的な変形が現在も進行していることを確認し、さまざまな降水イベントに対する土壌水分の時間変化を捉えた[2 次計画 DPRI10]。令和 6 年能登半島地震で発生した崩壊地の現地踏査を行った結果、表層崩壊の崩壊深は、風化帯や熱水変質により形成された脆弱な土層の厚さと関係があること、珪質シルト岩地域では層理面や地質分離面がすべり面を構成することなどを明らかにした。これまでに被災した谷埋め盛土において屈折波探査を実施した結果、2018 年北海道胆振東部地震や 2018 年大阪府北部の地震などで被災したいくつかの谷埋め盛土で深さ数 m に地下水位が形成されていることを見出した。加えて、西南日本の大規模岩盤崩壊ポテンシャル評価に向けて、四国山地を対象とした地質調査・変形観測を継続した。[現計画 DPRI06]

エ. 大地震に起因する災害リスクの事前評価手法

定常・臨時観測による堆積平野・堆積盆地の強震記録データベースの増強と、データ処理・収集方法の改良を進めた。また、強震観測記録や広帯域地震動シミュレーションの非エルゴード解析、短周期地震動のばらつき分析、機械学習による地震動予測式の検証を実施した。さらに、地下構造モデルの新たなモデル化手法を検討した。三浦半島での微動観測結果と既往地震ハザード地図を比較し、点としての地盤増幅情報の幅を、面としての地盤増幅情報の幅に置き換える試算を行った。強震記録データベースの拡充により、2026 年山梨県東部・富士五湖の地震では、強震記録をほぼ欠測なく取得し、準リアルタイム公開を可能とした。非エルゴード解析の結果、シミュレーションでは堆積平野の増幅特性や破壊シナリオ依存性が大きいことを明らかにし、観測記録との単純な混用には慎重な検討が必要であることを示す一方で、機械学習による地震動予測式は既往研究と整合的であり、簡便法によるリスク評価への有用性を確認した。三浦半島での試算から、地震ハザードマップの震度を約 0.22 変動させることを示し、関東地域や全国に展開する際の基礎的知見を得た。[現計画 ERI_14]

鳥取県及び島根県東部を対象に、地震発生メカニズムの解明と地震被害予測の高度化に向けた調査を進めた。MT 法観測データの三次元解析による地殻比抵抗構造と地震活動の関係の検討、2026 年島根県東部の地震の震源破壊モデル解析、常時微動・地震・重力異常観測による地盤構造および地盤特性の調査、伝統的木造建築物の振動特性評価、ならびに地震・津波被害想定改訂に向けたリスク評価を実施した。また、リアルタイム震度分布把握システムの運用を継続した。これにより、比抵抗構造と地震発生域の対応関係に関する知見を得るとともに、山地部を含む地域の特徴的な地盤震動特性を明らかにした。伝統的木造建築物の耐震性能評価に資するデータを蓄積した。地盤構造モデルを更新することで従来よりも 1943 年鳥取地震における建物被害率をより良く再現した。リアルタイム震度分布把握システムは 2024 年能登半島地震や 2026 年島根県東部の地震で良好に機能し、防災対応への有効性を確認した。[現計画 TTR_01]

沖縄本島南部を対象に、地震被害リスクの高い 1981 年の耐震基準以前に建てられた既存不適格建築物の実態調査を行った。特に県内に多いピロティ形式 RC 建物についてモデル化し地震応答解析による構造性能評価を実施した。また、琉球大学の教育施設及び沖縄県南部地域に広く分布する琉球石灰岩及び島尻層群泥岩に加えて、埋立地盤や盛土地盤での常時微動測定を行った。常時微動測定の結果を用いて宜野湾市を対象に、せん断波速度を推定した。さらに県内各市町村の学校施設を対象とした耐震診断結果をとりまとめ、耐震化の現状調査を行った。既存不適格建築物の実態調査の結果、宜野湾市内の約 63%を占める建物が現行(2000 年)の基準以下であることが判明した。建物の構造性能評価と fragility 曲線により、軟弱な地盤では層間変形角の許容値を大きく超えることもあり、既存不適格建物が倒壊する可能性が高い結果となった。常時微動観測により、沖縄県に特有の地盤特性を明らかにした。収集した学校施設の耐震診断結果に対し、建物の置かれている地盤の増幅率を用いて耐震性の再診断を行い、この結果と既往の耐震診断結果の公表値をそれぞれプロットし、学校施設の耐震性能分布マップを作成した。[現計画 RKD_01]

③今後の展望

強震動の事前評価手法については、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、個別課題において着実に成果が得られており、関連する解析手法や実験技術の開発と改良もすすめられた。今後は、個別に進められた震源モデル、地下構造モデル、表層地盤応答モデルの統合的な高度化が期待される。

津波の事前評価手法については、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。今後、得られた予測結果や評価をどのように社会に還元し活用すべきかを検討しつつこれらの研究を進めることで、災害の軽減により一層貢献しうる成果を生み出すことが期待される。

地震時の斜面変動や地盤変状は、地震動そのものに加えて、地質構造、風化帯構造、地下水条件、斜面形状等の影響を強く受ける。このため、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ることが重要である。モニタリングに必要な計測技術やデータの処理・解析技術は着実に進歩しつつあり、今後も進展が期待される。一方、発生場の素因解明にも地盤状態のモニタリングでも、基礎となるのは現地踏査を含むデータの蓄積であり、これまでの成果の多くもそれらに依存している。データの蓄積それ自体には必ずしも新しい技術が含まれるわけではないが、継続することが災害の軽減につながる成果の産出に不可欠であろう。

災害リスクの事前評価においては、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に把握し、自治体のニーズも踏まえて実際の被害想定へ結びつけることが求められる。これまで得られた成果に加えて、今後は、堆積平野・堆積盆地における地震動増幅特性と建物被害や人口被害の脆弱性の評価、首都直下地震や南海トラフ巨大地震を対象にした地震災害の素因と誘因の関係や災害発生機構の多面的な分析、地下構造モデルや建築物の振動特性の成果を実務に提供することでの地震に対するリスク評価の発展、震度分布のリアルタイム把握などが課題と考えられる。地盤データなどを取得するための観測も重要である。

全体として、それぞれの個別課題において順調に研究を進展させることができたと考えられる。一方で、震源モデル、地下構造モデル、表層地盤応答モデルの統合的な高度化、津波波源や沿岸地形に起因する不確実性の低減、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など、今後取り組むべき課題も明らかとなってきた。成果を実際の防災行動に結びつけるためには、不確実性を含む情報の効果的な伝達手法の検討も重要である。今後は、これまでの研究をさらに進めるとともに、多様な観測データ、物理モデル、数値計算、機械学習等を統合した総合的な評価・予測手法の構築を進めることが重要である。あわせて、研究成果を自治体や防災機関等と共有し、災害軽減に資する防災情報として活用していく取組を一層推進する必要がある。

（２）地震の災害誘因の即時予測手法の高度化（重点研究）

①目的

地震が発生した直後の強震動・長周期地震動・津波などの即時的予測手法を開発・高度化する。本研究では、観測データを数値シミュレーションに同化させることで予測精度や即時性を向上させる研究をさらに発展させる。また、予測の不確実性も同時に評価する手法や、海陸のリアルタイム観測データの処理・解析に機械学習を活用した予測手法の高度化、地面の揺れのみならず建物被害を予測するための研究にも取り組む。さらに、行政機関等と研究機関の連携を重視し、防災実務での活用につながるような基礎技術開発を行う。

なお、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）より、本研究は重点研究に位置付けられている。

②実施状況と成果

ア．地震動の即時予測手法

地震動の即時予測では、従来の震度予測に加え、より広帯域かつ長周期成分を含む揺れの予測を迅速かつ堅牢に行うことが課題である。

気象庁は、Ｓ波より早く到達するＰ波を利用して PLUM 法の迅速性を向上させる研究を進め、気象庁各観測点の実波形への適用により、観測点ごとに適切な予測用加算値を設定することで、Ｓ波相当の震度を妥当に予測できることを確認した。また、速度型地震計用フィルタを用いることで、Hi-net の観測波形からリアルタイム震度を算出できることを示したほか、速度計の計測限界を一

時的に超えた場合でも、KiK-net 加速度計との比較により異常波形を識別可能であることを確認した。さらに、PLUM 法的な長周期地震動階級即時予測に向けて、帯域フィルタ処理後の波形から必要振幅を近似的に得る手法を開発し、一定の精度が得られることを示した。これらは、地震動即時予測の迅速性と適用帯域拡大の両面で大きな前進である。

大学は、機械学習・深層学習を用いた新しい即時予測手法を開発した。長周期地震動に関しては、Temporal Convolutional Network (TCN) による長周期地震動波形の予測モデルを用い、震源域から関東平野への揺れの予測と平野の観測点から建物への揺れの予測の2段階予測に基づいて、都心の超高層ビルの揺れの即時予測実験を行った。また、Neural Operator に基づく代理モデルを用いて、津波のみならず地震動シミュレーションの高速予測可能性を検討し、多様な震源パラメータに対する波動場の時間発展を学習したモデルにより、地震発生後の将来波動場を迅速に推定できる見通しを示した。これらの成果は、即時予測の高機能化と多様化が着実に進んでいることを示すものである。

イ. 津波の即時予測手法

津波の即時予測では、発生直後の情報が限られた段階での予測精度向上に加え、沖合観測データや地殻変動データを逐次活用しながら予測を更新していく技術の高度化が求められる。

大学は、リアルタイム GNSS データに基づく断層すべり即時把握手法の高度化も進めた。地震時すべりを適切な正則化拘束とともに、推定誤差も含めて迅速かつ正確に把握するための技術開発を実施した。具体的には、2024 年能登半島地震を対象として、断層幾何、特に断層傾斜角の仮定による推定結果の変化を調べることを目的とした事後解析を実施した。データには、ソフトバンク独自基準点データ (GNSS 観測点データ) を含めた複合稠密測地観測データを使用した。その結果、能登半島直下の断層では傾斜角が 45 度を仮定した際に、観測された水平・上下成分をバランスよく説明できることを明らかにした。また、過去に発生した地震断層等の情報より、断層浅部が高角、深部が低角のリストリックな断層形状を考慮したすべり分布推定も実施し、同断層幾何でも観測データをよく説明できることを示した。また、巨大地震では、津波を効率的に励起する海溝軸近傍のすべりが陸上 GNSS のみでは十分に解像できないことから、海域すべりをより物理的妥当性の高い形で推定するため、von Kármán 型自己相関関数を用いた正則化拘束の導入など、推定誤差も含めて迅速かつ高精度に把握するための技術開発を継続した。あわせて、巨大地震直後のゆっくりとした地殻変動や 1 日以下の時間帯域における非定常すべり起源の地殻変動を高精度に把握する観点から、電離層遅延及び対流圏遅延をほぼ無視できる短基線相対測位に着目し、RINEX ファイルを直接補正する汎用的マルチパスノイズ低減手法を構築した。初期的な精度評価の結果、補正後のキネマティック GNSS 時系列では、1,000 秒から 10,000 秒程度の時間帯域でノイズレベルを低減できることを確認した。これらの成果は、REGARD の高度化を通じて、津波即時予測に必要な震源情報の早期把握能力向上に加え、地震後の非定常な地殻変動の把握精度向上にも資するものである。

大学は、機械学習に基づく津波即時予測手法も発展した。Neural Operator を用いた津波シミュレーション代理モデルでは、東北沖日本海溝沿いに設定した多数の断層モデルに対する津波計算結果を学習し、任意の津波波源から津波の時空間分布を瞬時に予測する枠組みを構築した。未学習データに対しても津波伝播パターンを概ね良好に再現できることを確認し、自動微分機能を利用した勾配法に基づく震源インバージョンや、Okada モデルと結合した統合予測モデルの構築も進めた。これらの成果は、従来のグリッドサーチ型手法に比べて、非線形なパラメータ空間を効率的に探索しつつ迅速な波源推定と津波予測を行う新しい方向性を示すものである。

気象庁は、2016 年福島県沖地震津波や 2024 年能登半島地震を対象として、沿岸津波波形の線形逆解析では非線形性や観測点方位分布の偏りにより波源推定精度が低下しうること示し、その精度低下を抑える簡便な手法を提案・実証した。さらに、高精度な津波波源を用いた長時間津波伝播計算により、津波減衰過程を含む地震後の振幅時間変化を概ね再現できることを確認し、津波の時間的推移予測の高度化に向けた重要な成果を得た。

③ 今後の展望

それぞれの研究課題において既往研究の高度化や新たな取り組みに関して成果が着実に得られつつある。また、本計画により開発された即時予測手法が一部すでに社会実装され、減災に貢献し

ていることは評価できる。

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）より、本研究は重点研究に位置付けられており、行政機関等と研究機関の連携を重視し、防災実務での活用につながるような一層の基礎技術開発と社会実装を進めていく。また、今後は課題間の連携や、拠点間連携共同研究との連携等も一層進展させる。

（3）火山噴火による災害誘因評価手法の高度化

①目的

火山噴火に伴う火砕物の飛散や流出、溶岩流、土石流、山体崩壊、地すべり、津波、火山ガスなど、多種多様な災害誘因を対象として、その評価手法を高度化し、噴火発生後の即時的かつ高精度な予測につなげる手法の研究を進める。具体的には、既に開発されている数値計算による再現手法や実験手法を基礎とし、観測・調査による実データとの比較を通じてモデルの検証と改良を進める。火山灰及び火山礫については噴出・輸送・降下の予測手法を高度化するとともに、その状況を即時的に把握するモニタリング手法の開発と高精度化にも取り組む。また、土石流及び泥流については降灰後や融雪時における発生・流動の状況の評価する手法の高度化に取り組む。さらに、火砕流や溶岩流を含む火山噴出物の流下範囲等を評価する手法を開発し、火山噴火に伴う災害誘因の具体的な想定に資することを目的とする。

②実施状況と成果

大学は、桜島における火砕流、溶岩流及び土石流の発生危険度や流下範囲を評価する手法を高度化するため、火山観測、地形計測及び数値シミュレーションを実施した。火砕流については、地盤変動、火山性地震、空振、火山ガス及び映像等の観測データを解析し、火砕流に伴う噴火に先行する微小地震の群発、地盤膨張の継続と停滞、噴出物量との関係を明らかにした。これらを基に、前駆する地震活動と地盤変動等の観測データから火砕流の発生危険度をリアルタイムに判定し、流下範囲を表示するシステムを構築した。さらに、大規模噴火時における降下火砕物、火砕流及び溶岩流への噴出物の配分を検討し、過去の大規模噴火（昭和、大正、安永、天平宝字の噴火）では噴出物総量の約7割を溶岩流が占める事例が多いことを明らかにした。溶岩流については、火口近傍の高精細数値標高モデル作成に必要な地形データをドローンを用いて取得するとともに、溶岩の降伏応力等を考慮した流下シミュレーションと危険度判定のロジックを開発し、観測量に応じて更新するリアルタイムハザードマップの構築に向けた準備を進めた。土石流については、野尻川沿いにおける光ファイバーを用いた長期連続 DAS 観測により、土石流に共通する震動波形の特性や検知に有用な指標、土石流の流速や流量と振動振幅の関係など、悪天候時における土石流モニタリングに貢献しうる結果を得た。

大学は、噴火発生後に噴出物の分布と噴出量・噴出率を迅速かつ高精度に把握し、噴火規模や活動推移の評価に活用するため、噴火堆積物の調査・物質科学的分析及び複数機関による機動的な調査・データ共有方法の高度化を進めた。2021年阿蘇山噴火の際には、火山観測データ一元化共有システム（JVDN システム）を活用した複数機関の連携による降灰調査をはじめて実施し、降灰分布と噴出量を迅速に推定するとともに、この調査・データ共有方式の有用性と問題点を整理した。また、霧島山、阿蘇山、諏訪之瀬島及び榛名山では、噴出物の構成物、化学組成及び組織の時間変化を明らかにする研究を進めた。これらにより、噴火発生後の地質・物質科学的データの迅速な取得と、噴火規模・活動推移の評価に活用するための知見が得られた。

大学は、火山灰堆積後の土石流・泥流及び噴火時の融雪型火山泥流の発生条件、流動過程及び規模を評価するため、現地観測、人工降雨・泥流・融雪に関する室内実験及び数値計算を実施した。火山灰堆積斜面に形成される透水性の低い皮膜（クラスト）を模擬した人工降雨実験と数値計算により、クラストの破壊と洗掘孔・ガリの形成によって土砂流出量が急増する過程を明らかにした。焼岳では、凍結・融解による土砂生産、豪雨時の土石流発生及び河床堆積土砂の流出を含む発生ポテンシャルの変動サイクルを土砂動態モデルで再現した。また、粘着性を考慮した泥流実験・数値計算から、粘着力が侵食と流下・停止過程に与える影響を示すとともに、高温の火砕物や熱水による融雪実験から、粒径や熱水流量と融雪速度・流出量との関係を明らかにした。桜島では、月別降

灰量が多いほど地表面の透水係数が低下する傾向を確認し、河床堆積物の侵食を考慮すると、より弱い降雨強度と少ない積算降雨でも土石流が発生し得ることを示した。これらにより、降灰後及び融雪時の土石流・泥流の発生条件と規模を評価する手法が進展した。

気象庁は、噴煙・火山灰を即時に把握し、その輸送と降下を予測するため、気象レーダー、気象衛星及び地上降灰観測のデータ解析と、噴煙モデル及び火山灰データ同化・予測手法の開発を進めた。また、気象レーダーによる噴煙観測と地上の降灰観測を組み合わせることにより、噴煙中の火山灰等の分布を定量的に推定する手法を開発した。二重偏波化された一般気象レーダーのデータを用いた 2021 年阿蘇山噴火の解析では、2 回の噴火の間で、噴煙中の水分量や火砕物の特徴が異なることを捉えた。また、気象衛星ひまわりの画像から 2021 年福徳岡ノ場噴火等の傘型噴煙の形状を把握するとともに、大気との相互作用を考慮した一次元噴煙モデルを開発し、実際の噴煙の特徴を再現できることを確認した。さらに、火山灰データ同化・予測システムの初期値を作成するための噴煙モデルの開発を進めた。

③今後の展望

火山灰の検知・定量化と輸送・降下予測、火砕流の発生危険度判定と流下範囲の表示、降灰後及び融雪時の土石流・泥流の発生条件の評価が進み、実データによるモデルの検証を含む災害誘因評価手法の基盤が構築された。特に、火山灰堆積後の地表状態や河床侵食を考慮した土石流発生条件の評価、観測量と数値シミュレーションを組み合わせた火砕流・溶岩流のリアルタイムハザードマップの構築に向けた研究が進展した点は重要である。一方で、実際の噴火に際して即時的に取得できる観測・調査データが限られるため、噴出量・噴出率、降下火砕物・火砕流・溶岩流への噴出物の配分及び噴出物の物性を迅速かつ精度よく推定し、数値計算の入力条件として設定する手法は十分に確立されていない。このため、火山灰の輸送・降下量や火砕流・溶岩流の流下範囲の評価には不確実性が残る。

今後は、噴火堆積物の調査、衛星・レーダー・地上観測及び地震・地盤変動観測等から得られる情報の統合を一層推進し、噴火によって放出される物質の総量と、そのうち降下火砕物、火砕流及び溶岩流として移動・堆積する量を、噴火の進行に応じて即時的に推定し、数値シミュレーションへ逐次反映する必要がある。特に火山灰については、衛星・レーダー等の観測データを数値モデルに取り込むデータ同化手法を高度化するとともに、降灰分布から総噴出量を推定する際の客観的な定量化・不確実性の推定のために機械学習の活用可能性を検討することも重要である。また、過去の噴火事例を用いてモデルを検証するとともに、噴出量、火口位置、地形及び噴出物の物性等の条件を変えたシミュレーションをあらかじめ実施し、その結果を整理しておく必要がある。これにより、最新の観測データに対応する計算結果を選択し、火砕流や溶岩流の流下範囲等を速やかに更新する手法の構築が望まれる。土石流・泥流については、降灰量、地表面の透水性、火山灰堆積面の硬化や侵食、河床堆積物、植生、降雨及び積雪等の時間変化を定量化し、土砂の生産・侵食から流下・氾濫までを一体的に再現・予測するモデルを構築することが重要である。さらに、火山観測、物質科学、気象学及び砂防工学等の連携により、異なる火山や噴火事例に対して各評価手法を検証し、その適用条件と不確実性を明らかにすることで、複数の火山に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。

（４）地震・火山噴火の災害誘因予測・リスク評価を防災情報につなげる研究

①目的

地震学・火山学の成果としての防災情報は、可視化、定量化、精緻化が進んでいるが、現状では必ずしも社会の防災対策の推進に最適化した形での提供ができていない。不確実で小さいという印象を与えがちな大地震・火山噴火の発生確率に関する情報や、地震・火山噴火発生可能性の相対的な高まりを示す情報を防災対策の推進につなげるために、切迫度に対する社会の認知等に着目した地震・火山情報の内容や発信方法、火山の状況を即時的に把握する手法の開発と災害対応のために必要な災害誘因予測情報を効果的に提供する手法、火山周辺自治体や観光客等に対する災害情報の発信に関する研究が必要となる。これらを踏まえ、不確かさを含んだ災害誘因・リスク情報を効果的な防災情報・災害対応につなげるための表現方法や情報伝達技術に関する研究を行う。

②実施状況と成果

大学は、地震・火山噴火の予測情報に対する、住民・企業・地方公共団体などのユーザのニーズや活用実態の調査を通じて、被害軽減に繋がる地震・火山噴火情報のあり方に関する研究を進めた。地震動予測地図に焦点を絞った研究では、地震動予測地図においては「30年確率」を前提に震度毎に発生確率を計算しているが、改めて検証すると「10～20年確率」で示した場合に、より「対策の必要性」意識を高めることが示された。また、20～40年代は「30年確率」で示された場合、50～60年代は「10年確率」で示された際に、最も「対策の必要性」意識が高まるということが明らかとなった。年齢が高いほど、この「対策の必要性」の意識を高める確率は短くなる。また居住地（日本海沿岸か太平洋沿岸か）によっても意識は変わる。可視化という点から、想定に関する映像において、人々に認知面でのインパクトをもたらすテーマとそうでないテーマが存在することが明らかとなった。これらの成果は、地震動予測地図、地震の発生確率情報や被害想定など災害に関する科学的知見について、表現方法によって、また人の属性によって、受け止められ方が大きく変化することが、繰り返し確認されており、確率表現のあり方や映像を用いた災害の表現方法など情報の特性に応じて、人の認知、記憶の残りやすさ、災害対策への行動意図などが大きく変化することが明らかになりつつある。

大学は、火山噴火活動について、火山噴火が切迫した段階や噴火中に刻々と変化する地殻変動をリアルタイムで把握するための自動処理システムを開発するとともに、そこから得られる情報を準リアルタイム火山情報表示システムに組み込むための開発研究を行い、これらの情報を地元の自治体や防災担当者が活用するための方策について検討した。地震波形・GNSS・傾斜計等のデータを即時解析して震源や地盤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、九州地方に展開した。東北大学と国土地理院は、表示システムのコンテンツのひとつとして、地盤変動ソースをMCMCインバージョンでリアルタイムに推定するプログラムの共同開発を進めた。また、2000年有珠山噴火直前の地殻変動源を仮定した有限要素法数値計算により、現在のGNSS観測点における地殻変動を求め、上記のMCMCインバージョンでどの程度正しく地殻変動ソースが推定できるかを検討した。さらに、次世代火山研究推進事業で有珠山に展開したGNSS常時観測網とリアルタイム変動源推定ツールの連動に目処を付けた。

大学は、火山噴火に関連して発生する土石流について、事前評価と即時予測結果を災害情報として活用する方策を検討し、災害情報に基づく避難行動や災害復旧に関する意思決定を支援するシステムを試作し、地域への効果的な情報伝達方法を検討した。火山防災上重要な2つの現象、すなわち火山灰堆積後の降雨による土石流・泥流の発生および噴火時の融雪型火山泥流の発生に関して、その危険度や規模を予測する手法の確立を目的とし、桜島火山、焼岳火山、メラピ火山等の火山を対象に観測と予測モデル開発を行った。時間的に変化する泥流・土石流の発生危険度や規模を予測する手法を検討するとともに、融雪型火山泥流の発生に関する従来の研究をさらに進展させた。さらに、これらのモデルを使って、噴火後の土石流・泥流の発生基準雨量や融雪型火山泥流に関する火山防災情報が提供できる知見を得た。

大学は、情報の受け手に防災意識の向上や適切な防災対策を促す情報のありようを、異なる表現要素に分けて分析することで、社会心理学などの分野とも連携し、防災情報の効果的な表現技法の開発を進めた。2024年8月8日に発表された「南海トラフ地震臨時情報（巨大地震注意）」の直後に気象庁が行った緊急記者会見中に、NHKがどのようなテキストを表示したのか分析を行った。その結果、「日ごろからの地震への備え 再確認を 1週間続けてほしい」と「1週間たてば安全というわけではない」という矛盾しているメッセージが交互に、繰り返し表示されていた。この情報に対してどのような対応をとったのか、情報が発表された翌日の夜22時から、全都道府県を対象としたインターネットを用いた調査を実施した結果、約8割の人が臨時情報を見聞きしていたものの、呼びかけられていた「備えの確認」はほとんど見られなかった。これらの結果から、矛盾するメッセージを発した結果、「備えの確認をしてほしい」という住民に対するメッセージが伝わっていないと考えられることが示された。2025年12月9日に発表された「北海道・三陸沖後発地震注意情報」に対する日本全国の国民の意識や行動の変化を測定することを目的に、NTTコムリサーチのインターネットパネルを用いた、WEB調査を実施した。47都道府県それぞれに居住する20～60年代から200票ずつ、合計で9,400票を得た。この結果について、対象者が自記した居住地の郵便

番号から、北海道・三陸沖後発地震注意情報で防災対応をとるべき地域の対象か否かを判定し、両者の比較を通して分析を行った。この情報は深夜に発表されたこともあり、対象地域であっても発表直後に見聞きした人は限定的で、入手が朝以降になる回答が多かった。認知後の行動としては追加の情報収集が最も多く、情報源は主としてテレビに依存していた。一方で、備蓄の確認などの防災行動は一定数にとどまり、情報収集がそのまま具体的な備えの実行へ結びついたとは言い難い。注意情報の実効性を高めるためには、深夜帯の発表を前提にした伝達についても考える必要がある。2026年4月20日に発表された、「北海道・三陸沖後発地震注意情報」に対する国民の意識や行動の変化を測定することを目的とした調査を実施した。また、映像表現等に関する認知神経科学的な実験調査を実施するための準備を行った。

大学は、自治体震度計ネットワークの利活用を推進し、リアルタイムで震度を把握して災害対応につなげる仕組みについて検討し、地震動評価及び災害リスク評価の成果を災害実務現場に役立てるための研究を行った。鳥取県震度計ネットワークを活用したリアルタイム震度分布把握システムを管理・運用し、有感地震のリアルタイム震度および最終推定震度分布を鳥取県危機管理部と共有し、防災部局による知事説明用資料を作成して提供した。鳥取県震度計ネットワークからの1秒パケットを用いたリアルタイム震度分布把握システムの結果を、鳥取県危機管理部にオンライン提供して活用している。システムは、2024年1月1日の能登半島地震、2026年1月6日の島根県東部の地震などについても良好に稼働した。また、鳥取県の地盤震動特性や地震活動を県民に伝えるため、①鳥取県の地震とは？、②南海トラフ地震で鳥取はどうなる？、③耐震性の重要点！、について学生とのやりとりを含めた14分強の動画教材を作成した。鳥取県では、2025年度より次期の地震被害想定の更新を予定しており、本研究の成果とともに実務での検討材料を提供することを検討した。

③今後の展望

災害の発生確率、被害想定、関連する災害情報（火災情報や降灰情報）をどのような理解・掌握して活用しているかなど情報の理解の現状と課題を明らかにする研究の推進は、地震動予測地図や様々な確率評価などを含む防災情報の効果的な表現技法の開発に貢献する。災害誘因予測情報を用いた感情的アプローチについても研究や、表現技法をさらに要素にわけ、効果的な災害情報とするための表現技法の開発に資する基礎的な知見を析出し、災害情報をデザインする手法について研究する必要がある。一方、火山噴火が切迫した段階または噴火中には、火山性地震や微動が頻発したり、大きな地盤変動が急激に進行したりする場合がある。このようなケースでは、研究者や現業者が手動で地震波形や地盤変動データを読み取って震源や力源を推定することは多くの場合困難であることから、精度を多少犠牲にしてもほぼリアルタイムで自動的に震源や力源が推定できるシステムの有用性は高い。このような目的で開発した自動処理システムは、次世代火山研究推進事業で有珠山に展開中のGNSS観測網に活用することをめざしており、次の有珠山噴火におけるリアルタイムの情報把握に役立てようとしている。地震動評価及び災害リスク評価の成果を災害実務現場に役立てるため、鳥取県を対象にした研究で作成した動画教材を今後、大学・県を通じて〇〇に配信することで、県内の防災リテラシー向上を図る。また、震度暴露人口や被害のリアルタイム把握についても新たに対応を進める予定である。

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

（１）地震・火山噴火の災害事例による災害発生機構の解明

①目的

近年発生した地震・津波・火山災害の事例検証と将来の災害予測を通して、文理融合により、地震動や津波、火山噴出物などの災害誘因が、避難・防災行動の意思決定プロセスや地域の土地利用、コミュニティ構造などの社会素因とどのように関連し被害をもたらすのかについての災害発生過程の解明を目指す。これらの災害発生過程の解明から、社会還元を視野に入れ、行政の都市計画・総合計画の改善に資する方策や地域固有の地理的・社会的条件を踏まえた、防災リテラシーを向上させるための地域的最適解、観測研究の成果が人々の避難などの防災行動に適切に反映されるため

の基礎的条件を提示する。また、災害誘因予測・リスク評価の成果を統合することで将来の災害における被害状況を推定し、防災に関わる各主体の適切な意思決定を支援する仕組みを検討する。

②実施状況と成果

大学は、三重県度会郡大紀町錦地区で行政や住民を対象に、「ハザードの影響・対策の地震学的検証」「防災と生業・生活の分離」「事前高台移転計画」といった3つの観点から、地域の歴史的沿革や地域防災の現状に関するヒアリング調査およびフィールド調査を実施した。また、データ分析に加えて、漁村型防災における特徴に対する学際的な検討を重ねた。

具体的には、漁村型防災における最適解を解明するに当たり、特に漁村の防災の担い手の変化を捉えつつ、防災対策の経緯・現状を分析した。この成果として、若手漁師は漁業の担い手であるだけでなく、青年団や消防団の担い手でもあり、防災は生業・生活システムの内部に組み込まれていた。一方、漁業の衰退に伴い人口の減少と高齢化が顕著になった。さらに、町主導で先進的な防災対策が推進されているが、実際の防災対応は津波避難に特化したものとなっている。その結果、生活・生業との結びつきが希薄化し、地域の中長期的な持続可能性という点では脆弱な状態に置かれている傾向にあることが明らかになった。あわせて、「事前高台移転計画」についても焦点を当てた。高台移転事業は避難困難者のリスクを事前に低減することを目的に計画されたものであるが、町の防災認識と高齢住民の意向の間には乖離があることが明らかとなった。つまり、公的に進める防災施策としての合理性と高齢者（住民）の居住地選択の合理性には齟齬があり、防災施策の活用・促進が期待できず、両者の条件を踏まえた妥協点を追究する必要性が示唆された。

大学は、地震を経験すると一時的に防災意識や行動が高まるが、しばらくすると元の状態に収束するという人間社会の変動の性質を捉え、人や社会を対象とした観測研究を実施した。この観測研究は、人々の様々な生活場面における状態を観測し、安全確保行動の選択への影響を測定するリアルタイムのサンプリング観測研究と、日本全国を対象とした社会調査による観測研究、災害発生エリアを対象にしたエリアサンプリングを用いて個別要因を検証する観測研究等から構成される。

具体的には、地震災害に遭遇することを想定した安全確保行動の選択における個人内の変動では、地震情報の確認行動は近くに人がいるかどうかによって左右され、周囲の状況確認は時間帯および近くに人がいるかどうかの両方に影響を受けることが示された。また、具体的な安全確保行動は時間帯よりも周囲の人の有無によって左右されることが示唆された。一方でマクロ的に日本全国の特徴を調査したところ、地震災害への認識は高くても、具体的な対応行動への結びつきが弱いことが確認された。また、2024年の能登半島地震の発生や南海トラフ地震臨時情報の発表では、防災行動があらたに、もしくはあらためて実行される傾向が見られたが、その実行度の影響には地域差があることも示唆された。防災行動の持続性については、2024年と2025年に実施した防災行動の47都道府県の実行度を比較したところ、実行数が増加した地域・減少した地域がみられたことから、地震などの災害イベントによる変化は必ずしも持続していないことが示唆された。災害イベントの防災行動への影響を調査すると、「青森県東方沖を震源とする地震」では、その後に青森県を中心に影響を受けた地域で防災行動の実行度の増加が確認された。一方で、ロシアの「カムチャツカ半島地震」では、津波注意報時の際は46%の住民が、津波警報時の際は41%の住民が避難行動として何もしないで、リスクの認知の違いにより、行動が分かれたと推察された。

防災科学技術研究所は、南海トラフ地震の長期評価改訂および、海域活断層の長期評価の改訂・修正を反映した確率論的地震動予測地図、岐阜県・静岡県・愛知県・三重県内の主要活断層帯を対象としたシナリオ地震地図の作成に加え、南海トラフ巨大地震の代表的な地震パターンに対する広域災害シナリオを作成した。また、研究成果をJ-SHIS LabsやJ-THIS Labsにおいて公開した。

具体的には、ハザード・リスク評価手法の高度化を目的に、南海トラフ地震を対象とした認識論的不確定性を考慮するための枠組みの構築、地震活動モデル改良と東海地域の浅部・深部統合地盤構造モデルを反映した2025年起点の確率論的地震動予測地図に加え、南海トラフ地震の長期評価改訂および、海域活断層の長期評価の改訂・修正を反映した確率論的地震動予測地図の作成を実施した。また、東海地域の浅部・深部統合地盤構造モデルを用い、岐阜県、静岡県、愛知県、三重県

内の主要活断層帯を対象とした詳細法および地震動予測式を用いた強震動計算によるシナリオ地震地図を作成した。津波ハザード評価については、相模トラフ沿いのフィリピン海プレート内で発生する地震を対象に、波源断層モデル群の構築、津波伝播遡上計算を行い、確率論的津波ハザード評価を実施するとともに、北海道から長崎県にかけての日本海沿岸を対象に、波源断層モデル群の構築および津波伝播遡上計算を実施した。社会への発信として、地震動予測地図 2020 年版の地震活動モデルに基づく工学的基盤上における最大加速度および応答スペクトルの全国地図を J-SHIS で、強震動データフラットファイル 2023 年版・2024 年版を J-SHIS Labs で、英語版の南海トラフ沿いで発生する地震の最大クラスを含む多様性を考慮した確率論的津波ハザード情報を J-THIS Labs で公開した。

③今後の展望

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ている。特に、南海トラフ地震を想定したコミュニティ構造や社会的脆弱性評価、日本全国を対象とした大規模な防災意識や行動変容を捉えるためのパネル調査といった新しい視点・技術を活用し、地震・火山噴火の災害事例による災害発生機構の解明は進みつつある。これらの成果は、防災リテラシー向上のための方策や教育プログラムのコンテンツを支えるものとなり、社会で展開される取組の質を向上させることが期待できる。さらには、社会の理解を得るためのシナリオ地図の作成・公開など、社会側の理解醸成を支援するだけでなく、意欲的な期待に応える仕組み構築も進められており、大きく評価できる。

今後は、それぞれの成果の精度向上ならびに高度化が必要であることは前提として、ここで得られた知見をどのように体系立て、防災教育や防災訓練、その他の研修など、様々な局面でどのように活用されるような「知」として整理できるかが課題となる。そのためには、個別的な課題や事象と共通する課題や事象を丁寧に切り分け、整理し総合的な災害発生機構の解明を進めることが望まれる。特に、これには多様な主体・視点・専門性が必要不可欠であることから、文理融合のみならず、研究者と実務者、被災者や地域が融合する産官学民の連携を強化させ、多様なステークホルダーの実態と期待を踏まえた社会期待に応える研究の推進が望まれる。さらには、出口戦略としての具体的な施策展開、対策実現、そして教育プログラム開発と実証に取り組むことも重要である。

（２）地震・火山噴火災害に関する社会の共通理解醸成のための研究

①目的

災害を軽減するために、地震・火山現象に関する自然科学的理解を広く共有することを目指し、防災リテラシー向上に資する実践的な教育・研修プログラムの開発と検証を推進し、地域の行政機関やステークホルダー等との協働により、社会の共通理解の醸成と防災リテラシーの向上を図る。そのために、災害の発生を抑止又は軽減する対策を考えるために必要な情報と要素を明らかにし、体系化を進める。不確実性を含む災害誘因に関する事前情報や、実際に起こった災害が住民の行動に与える影響を解明し、モデル化を目指す。実効的・実践的な防災リテラシー研修プログラムやリスクコミュニケーションツールを開発し、ワークショップ等におけるそれらの試験運用を通じた効果検証と改良に取り組む。

②実施状況と成果

大学は、地震・火山現象に関する自然科学的理解を共有しても、必ずしも市民の防災行動に結びつかないというギャップを説明する人間の自然・社会認識と行動意思決定・制御プロセスについて、災害事例分析に基づいた実験系開発により、「防災行動変容の２経路モデルの脳実証」と「非合理的な認知・意思決定過程の概念モデル化」のトピックを、認知・脳メカニズムのレベルで理解することを推進した。

具体的には、「防災行動変容の２経路モデルの脳実証」に対して、防災動画教育介入における２要因の効果に関する脳過程の解明を実施した。これは、津波防災教育において「災害メカニズムの

説明」と「避難行動の指示」の、各メッセージを伝える動画を組み合わせることで、行動意図および脳内情報処理にどのような影響を及ぼすかを、行動指標と代表的な脳計測実験系である fMRI を用いて検討した。その結果、災害メカニズム説明と避難指示の両メッセージ同時提示は、避難指示メッセージ単独提示と比べ自己関連性処理を弱め、教育効果を低下させる可能性が示唆された。また、「実際の災害事例分析結果に基づいた関連認知過程の検討」では、「感情制御」は 2011 年の東日本大震災で抽出された、災害適応的心理行動特性「災害を生きる力」の 8 因子の一つである「感情制御」が、「避難行動の面倒臭さ」といった感情に対して「津波は来ないことにしたい」と自分に信じ込ませる「心理防衛機制」であることを仮説化した。また、現有 fMRI データの追加分析により、前述 8 因子のうち、「能動的健康」と脳活動との正相関が困難な課題に対する自己参照脳反応との間で見出され、「リーダーシップ」と脳活動の負相関が、死関連思考に対する空間処理関連脳反応との間で見出された。これらの知見から、防災リテラシー向上や災害における「適切」な認知・意思決定に、自己参照や空間処理過程が関与している可能性が示された。

大学は、情報科学分野におけるデータサイエンスならびに空間統計学を用いた分析により、移動行動の 1 つとして「避難」に着目し、災害時における行動特性と推測モデルの構築を試みた。特に、平成 23 年東日本大震災と令和 6 年能登半島地震を対象として、自主的な避難行動が自主避難所開設に至る過程に着目し、その簡易的なモデルとして、強震地域では地域人口から自主避難所を含めた開設避難所数を推計する式の構築を実施した。一方で、弱震地域では、指定避難所数で規定されることを示した。

具体的には、富山県内を対象として、令和 6 年能登半島地震時における人流データに基づく避難行動分析およびアンケート調査による避難解除行動の調査を実施した。まず、人流データの分析から、災害発生直後から住民は避難行動を開始したことが確認された。しかしながら、津波警報が発令に伴い、海側から離れる方向への避難行動が取られたことが確認された。しかしながら、津波リスクのない地域からも避難が実施されており、結果として、特に富山市内では大きな渋滞が確認された。一方で、津波警報は発災から 9 時間後に注意報に切り替わったが、避難行動はそれまで継続されることはなく、警報発令の中で、住民は独自に避難解除判断を行っていた。避難時、住民は長期滞在可能な場所を意識しておらず、緊急的な避難行動にとどまった。その結果、正常性バイアスや同調性バイアスが働き、順次、避難を解除する行動に至ったと考えられる。また、自主避難行動からの自主避難所を含めた避難所開設数の推計モデルの構築においては、平成 23 年東日本大震災の際にピークの開設数となったタイミングにおいて、市町村ごとの開設数と人口の関係性を分析した。結果として、正の相関にあるとともに、人口を説明変数とした単純な一次線形回帰式でモデル化が可能となった。令和 6 年能登半島地震に適用したところ、震度が大きい強震地域ではモデルの適合性が確認される一方で、震度が小さい地域では指定避難所数のみとなり、過大評価傾向にあることが確認された。

大学は、災害発生後における住民一人一人の行動の質を向上させるために、①危機意識の浸透、②危険情報の感度、③危険に気づく能力、④判断力と行動力を定着・活用させるための新たな仕組みの構築とその実践を目指し、まずは、受け手側の危険情報に対する低い感度が有する特徴を調査し、その感度を向上させるための教材開発と授業実践を推進した。また、「減災に資する土地勘を養う防災教育の構築と検証」を中心課題とし、①地域理解の深化、②災害想像力の育成、③学校と地域の連携による波及効果の検証、の 3 点を柱として実践と評価を進めた。

具体的には、火山災害・地震災害に関する危険情報に関する感度について、「人と未来の防災センター」へ研修に行った生徒を対象に、防災学習がおよぼす防災学意識と不安傾向の変化について調査を行った。研修前の「災害は自然現象が社会に影響を及ぼし生活に支障を及ぼすことを言う」という定義に関する講義を聞き、研修を実施し終えた後に変化を調査し、防災意識として「被災状況に対する想像力」・「災害に対する危機感」・「災害に対する関心」を尺度として用いた分析では、防災意識は 5%水準で有意に低下し、不安傾向は 5%水準で有意に上昇することが示された。この結果から、研修を境に防災意識が変容し、より具体的に災害がイメージされたことで不安が大きくなったと推察された。一方で、地図学習アプリ「フィールドオン」を用いた防災学習と防災ボードゲーム作成を通じた防災学習の二つの取組を行い、防災意識と不安の変化傾向を調査したところ、この地域学習では、防災施設の研修とは異なり、防災意識の変化は見られない一方で不安が減少し、

災害時の地域のイメージを持つことで災害に対する不安が軽減されることが示唆された。さらに、中学生・保護者・地域住民を対象としたフィールドワークを実施し、土地の履歴に基づく地域形成過程を学習資源として活用することで、現在の地形条件に基づくリスク認知から、土地の履歴と結びつけた理解への変化傾向が確認され、単なる空間認知としての土地勘から、「履歴を含む土地勘」への質的転換が示唆された。その結果、「土地の履歴を含む地域理解」が災害時の判断資源となり得ることを、実践と簡易的效果検証を通して示された。

大学は、防災リテラシー向上のために、ADDIE（アディー）理論に基づく教育・研修プログラムを開発することを目的として、まずは防災リテラシー向上のための知識要素の体系化に着手した。これは、日本全国を対象にしたインターネットモニター調査を実施し、日本における個人の自然災害への備えの実態と、自然災害への備えを促進させるための6つの要因を特定した。また、平成23年東日本大震災の被災者に対し、震災後13年時点において大規模な質問紙調査を実施し、「生活復興カレンダー」手法を用いて、被災者の生活再建プロセスを時間軸上に可視化することで、その実態解明を実施した。

具体的には、日本全国を対象にしたインターネットモニター調査では、内閣府が実施する「防災に関する世論調査」における項目を含む全31項目を用いて災害への備えを測定したところ、災害時に自分がおかれる状況としてイメージしやすい物品の備えや、災害直後の避難行動についての備えを進めていることが判明した。また、重回帰分析を行い、災害への備えを促進する要因として、年齢、結婚の有無、被災経験の有無、ハザードマップの認知度、災害切迫度、地域交流度の6つの独立変数が統計的に有意であり、災害の備えの促進要因となっていることを解明した。特に、ハザードマップの認知度の標準化係数（ β ）が大きい。このことは、ハザードマップをただ漫然と眺めるのではなく、防災教育や防災訓練の機会などで地域や自宅の危険度までを理解することが、災害への備えを一層促進させるために最も有効な対策であることを結論づけた。さらに、平成23年東日本大震災の被災者に対する大規模な質問紙調査結果に対する「生活復興カレンダー」手法を用いた分析では、震災後数日で被害の全体像を把握し、数週間で長期化を覚悟するといった初期段階から、2カ月での仕事・学校の再開、6カ月での住まい・家計の安定、そして1年での地域活動の進展といった詳細なタイムラインが判明した。一方で、地域経済の回復には7年という長い歳月を要し、震災から13年が経過した時点でも、被災者の生活再建としては未だ不完全であることが明らかとなった。

大学は、地区防災計画の策定と検討、そして実践を継続的に実施することによって、地域住民の防災リテラシーはどのように向上していくのかについて、神戸市中央区港島地区を対象とした参与観察を続けている。また、日本での災害復興計画等の策定時には、被災者に提供される住宅に関して、地盤条件を重視した立地が選定・建設されることは少なく、相反するトルコ・マルマラ地震での事例を調査し、プロセス把握を進めた。さらに、復興過程において、被災した地域での継続的な土地利用の実態があり、その課題を整理した。

具体的には、地区防災計画の策定・検討行動と地域住民の防災リテラシー向上の関係性について、神戸市中央区港島地区を対象として、全世帯対象のアンケートを実施し、2019年の結果からの意識や防災対策の変化について整理した。この結果、対象全世帯が堅牢なマンションに居住していることから、建物被害のリスクが少ないことを理解し、適切な避難方法選択が出来ていることが確認された。また、トイレ機能の維持確保についての意識が高く、使い捨てトイレの準備実施が高くなっていたことが確認された。つまり、リスク認知と準備の必要性を継続的に議論することが、対策の実現、そして防災リテラシーの向上につながることを確認された。一方で、復興過程の土地利用の観点からの調査研究では、トルコ・マルマラ地震の事例を対象に、被災者に提供される住宅に関して、日本における災害復興計画等の検討時には考慮されることが少ない条件である地盤条件を重視した立地の選定・建設が、事前防災のガイドラインとしてのTARAP「トルコ災害リスク軽減計画」の策定に起因することが示された。この事前からの対策により、復興時の被災者住宅の立地選定を効果的にすることが教訓として得られた。あわせて、土砂災害の事例ではあるが、平成26年広島市豪雨災害の被災地では、その後の被災者の再建過程において、被災者はその土地を離れつつも、その後のハード対策整備により、以前よりも土地の安全性が担保されたことから、地域復興の過程

で不動産開発業者による土地の取得、住宅の建設販売が行われたことが確認された。この実態から、その土地元来の災害時の脆弱性を見えなくした地域再建の課題を特定した。

山梨県富士山科学研究所は、富士山地域で火山噴火などの自然災害に対する自然現象への適切な理解の促進と避難行動を結びつけるために、富士北麓地域の市町村や小中学校と連携し、ワークショップや防災教育、学校防災対策の支援を通じた、効果的な防災教育の実施方法や実践的な防災訓練の実施方法について研究を進めた。

具体的には、中学校での火山防災ワークショップを通じて、富士山版クロスロードを活用することで噴火警戒レベルやハザードマップ、避難行動に関する防災学習の枠組みを整理し、その実証を進めた。さらに、富士北麓地域の小中学校での富士山噴火を想定した防災訓練では、行政と学校が連携することで富士山噴火の理解を促進させたことに加え、富士山噴火警戒レベル3を想定した引渡し訓練を実施し、学生・教員・保護者の間で噴火警戒レベル3＝避難の認識を強化した。

気象庁は、関係機関と連携し、地域の状況にあった様々な手段を用いて地震・津波及び火山に関する知識や防災行動についての普及啓発に継続的に取り組むとともに、気象庁の発表する防災情報の改善や高度化に係る知見・成果を共有した。

具体的には、知識や防災行動についての普及啓発においては、ホームページ「地震・津波・火山を知る」の公開や緊急地震速報時の対応行動を訓練するための新たな動画の公開に加え、地震・津波・火山防災eラーニング教材を製作した。また関係機関への助言協力のみならず、報道機関向け勉強会の開催などを実施した。気象庁の発表する防災情報の改善や高度化に係る知見・成果としては、津波警報等の更新、津波情報の発表の迅速化や精度向上、「北海道・三陸沖後発地震注意情報」のXML電文による配信開始、長周期地震動に関する情報のより一層の充実といった主な成果をあげ、社会還元および社会普及を推進した。

③今後の展望

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ついて調査研究を進め、モデル化による一般化への取り組みを行ったことは評価できる。また、多様な主体・多様な局面に対する実践的な教育・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ていることから、教育・研修プログラムとしての有用性および効果は高く、関係する各機関の成果は評価できる。

今後は、出口戦略としての教育・研修プログラムの充実化だけでなく、防災リテラシーとして教授すべき知識を構造化するための基礎研究を推進し、新しい技術や手法を取り入れ、多様なシナリオを取り入れた教育・研修プログラムの開発を推進する必要がある。さらには、そのコンテンツとなる避難状況の時系列変化を推定するモデル構築や避難行動から生活再建に至る行動パターンの同定を進めるとともに、行動・脳計測実験を通じた認知過程の解明を進めることが望まれる。また、各機関においても防災リテラシー向上に資する各種情報の改善・強化を進め、これらの研究成果を集約し、多様な主体に対して効果的な教育・研修プログラムとして構築するとともに公開を通して社会普及を促進し、社会の共通理解醸成を支える統一的な仕組みの整備が必要である。この継続的な取り組みを通して、社会における地震・火山噴火現象への共通理解の醸成と防災リテラシーの向上を実現することが望まれる。

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

(1) 南海トラフ沿いの巨大地震

①目的

南海トラフ沿いで将来発生が懸念される巨大地震及び津波による複合災害の軽減に向け、理学、工学、人文・社会科学を横断した総合的研究を推進する。海陸の地震・測地観測に基づき、プレート間固着、スロー地震及び地震活動を高精度に監視し、長期予測、中短期の発生可能性の相対的な

高まりの評価、並びに地震発生後の地震像の即時把握を高度化する。さらに、震源、強震動、津波、浸水、被害及びリスク評価を一貫して結び付け、目的に応じた防災情報の発信、広域避難計画及び住民の行動変容に資する方法論を構築する。特に日向灘を重点地域として、九州パラオ海嶺の沈み込み、プレート間固着、スロー地震及び M8 級地震の関係を解明するとともに、国内外の沈み込み帯との比較を通じて、研究成果を実効的な防災対策と社会実装へつなげる。

②実施状況と成果

大学は、前計画の令和 3～5 年度に、プレート形状の高精度化、海底観測・構造探査・津波堆積物調査を統合した 1662 年日向灘地震の断層モデルと浸水シミュレーションの構築、南海トラフ地震臨時情報に関する自治体セミナー及びメキシコとの国際ワークショップを実施した。これらを基盤として、第 3 次計画では日向灘を重点対象とし、海山沈み込み、プレート間固着、スロー地震及び M7～M8 級地震の関係解明を中心に、観測、モデリング及び社会実装を連携させた研究を進めた。その結果、プレート形状の精緻化を起点として、海底地震観測、構造探査、津波堆積物及び浸水計算を統合し、1662 年日向灘地震が M8 級であった可能性を示す地震像が構築された。

大学は、反射法地震探査、波形インバージョン、構造地質解析、海陸地震波トモグラフィー、岩石物性測定、海底地震・GNSS 観測を進め、沈み込む九州パラオ海嶺周辺の低速度構造、断層・流体、微動分布及び固着の空間的不均質性を調べた。その結果、沈み込む海山直上のスラスト下盤側に低速度層が検出され、流体集積・高間隙水圧の可能性が示されたほか、海山位置に対応する速度異常と大地震・スロー地震分布との関係が明らかになりつつある。また、2024 年及び 2025 年の日向灘地震に伴う地震時・地震後変動の解析や GNSS 解析により、日向灘北部の固着と南部の地震後余効すべり、過去 30 年間の固着分布の時間変化が把握された。さらに、日向灘南部の二つの M7 級震源域が時間差をもって活動する可能性と、非地震性すべりが残余のすべり遅れを担う可能性が示され、日向灘における固着・滑りの空間的不均質性を観測的に制約する基盤が整った。加えて、長期海底地震計、海底 DAS 観測及び国際科学掘削を組み合わせる観測計画を準備した。

気象研究所は、南海トラフ沿いの状態監視と地震像の即時把握を高度化するため、機械学習を用いた地震波形の初動極性・位相分類、自動震源決定、低周波地震・超低周波地震の検出、複数アレイによる常時震央推定〇〇を開発した。その結果、通常地震と低周波地震の P 相・S 相を同時に扱う PhaseNet5 によって検出・震源決定能力が向上し、実機評価では誤決定が低減した。また、通常地震と低周波地震を統一的に扱う深層学習モデル、自動震源決定、超低周波地震の発生領域判定、複数アレイによる常時震央モニタリングを実現し、地震活動の検出能力と即時性が向上した。さらに、近地地震波形を用いる震源過程解析のパラメータ自動設定と並列化を進め、解析開始から 5 分以内に処理を完了する手法を構築し、巨大地震発生直後の地震像把握に向けた技術的基盤を形成した。

気象研究所は、豊後水道で発生する深部テクトニック微動と潮汐応力の関係を解析し、長期的スロースリップ発生期における断層状態の変化を検討した。また、深さ依存の摩擦パラメータとカットオフ時間を導入した速度・状態依存摩擦則により、日向灘から四国西部へ移動する長期的スロースリップ及び四国～紀伊水道・伊勢湾付近の短期的スロースリップの再現を進めた。その結果、豊後水道の深部微動は浅部側ほど潮汐応力への感度が高く、長期的スロースリップ期に感度が増大することが示された。また、速度・状態依存摩擦則を用いた数値計算により、南海トラフ沿いの長期的・短期的スロースリップの移動速度や発生間隔が観測と整合的に再現され、観測と物理モデルを結び付ける研究が進展した。加えて、超伝導重力計と地震計の同時観測を継続し、巨大地震の早期検知に向けた基礎データを蓄積した。

大学は、自治体と連携して宮崎市等の強震動・津波浸水・結合ハザード評価、避難訓練及び津波避難訓練アプリ「逃げトレ」による行動調査を進めた。その結果、日向灘の震源像、宮崎平野の表層地盤、水深データ及び都市を解像する津波氾濫モデルを組み合わせ、強震動、津波浸水及び建物被害を結合したハザード・リスク評価の枠組みが整備されつつある。また、津波堆積物調査と歴史資料の再検討は、1662 年地震の規模・津波像だけでなく、前震段階の住民避難が被害軽減に寄与した可能性を示し、将来シナリオと広域避難計画を検討する上で有用な知見を与えた。さらに、宮崎県内の実避難訓練と「逃げトレ」を用いた調査では、避難経路の閉塞、歩行者と自動車の交錯、地

域知識に由来する不適切な避難先選択など、地域固有の課題を可視化し、自治体の避難計画改善に直接利用できるデータが得られた。

大学は、南海トラフ地震臨時情報発表時の住民・自治体対応を分析し、児童・生徒、聴覚障がい者、外国人等を対象とする教材開発と、家具固定や早期避難を促す介入研究を実施した。その結果、防災コミュニケーションを知識の提供から具体的行動の促進へ発展させる道筋が示された。さらに、京都大学 On-site Laboratory 地震・津波未災学国際 Lab (iLETs) を設置し、メキシコ、チリ、エルサルバドル等との比較沈み込み帯防災科学を推進した。その結果、メキシコ・ゲレロ地震空白域で低周波地震を初めて検出し、海溝付近の地震に津波地震的特徴を見いだすなど、日向灘と他の沈み込み帯を比較する研究成果が得られた。また、宮崎市及び宮崎公立大学との連携体制も構築され、国際比較で得た知見を地域防災へ還元する基盤が形成された。

③今後の展望

本研究は、中間段階として目的を概ね順調に達成しており、前計画で構築した地震像・ハザード研究の基盤を、第3次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した点は高く評価できる。特に、日向灘における海山沈み込みと固着・スロー地震の関係、機械学習による監視技術、自治体と協働する避難・介入研究が同時に進展し、理学から社会実装までの連携が具体化した。一方、前回レビューで課題とされた巨大地震の新たな予測手法、中短期の発生可能性の相対的な高まりの評価及び情報発信については、要素技術は進展したものの、相互に統合された運用可能な枠組みの構築には至っていない。

今後は第一に、海底地震・測地観測、反射法・トモグラフィー、岩石物性、掘削・孔内観測及び数値モデルを統合し、海山が固着強度及び大地震・スロー地震の発生にどの程度影響するかを、不確実性ととともに定量化する必要がある。第二に、深層学習、自動震源決定、常時震央推定及び迅速震源過程解析を海陸の実データで継続検証し、誤検出、推定精度、処理時間及び再現性を共通指標で評価して、巨大地震発生準備過程の監視と発生直後の地震像把握へ結び付けるべきである。第三に、震源、強震動、津波、地盤、建物、避難行動を確率論的に統合した結合リスク評価を進め、南海トラフ地震臨時情報の受け止め方や各種介入の効果を定量的に検証することが重要である。自治体や多様な住民層が利用できる教材・訓練・評価手法を標準化し、他地域へ展開可能な形にする必要がある。さらに、京都大学 On-site Laboratory iLETs を活用して日本と中南米等の観測、行政対応及び防災実践を比較し、研究成果が地域防災施策へ還元されるまでの共通評価指標と継続的なフィードバック体制を整備することが望まれる。

(2) 首都直下地震

①目的

現在の地殻活動の解析と歴史地震・地質学的調査に基づき、首都圏で想定される地震の震源像を把握し、その発生機構の解明と発生確率の推定精度向上を図る。さらに、地震動解析を通じて災害誘因を予測し、地盤、建物、都市インフラを考慮した被害想定の科学的根拠を提示する。加えて、過去の地震災害から復旧・復興に資する知見を抽出するとともに、災害時における情報共有・伝達の最適化に取り組み、都市防災力の向上に貢献する。

②実施状況と成果

本課題は、首都直下地震を対象として、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総合研究として、着実に進展している。

大学と産業技術総合研究所は、房総半島の海岸段丘や津波史料の解析により、過去の関東地震の発生年代、再来間隔、津波高を復元するとともに、茨城県南西部における流体分布と、プレート境界および上盤内の地震活動との関係を明らかにした。

大学と防災科学技術研究所は、関東下に沈み込む二重プレート構造モデルの高分解能化を進め、スラブ内地震の短周期地震動特性や、繰り返し地震に基づくプレート間固着の時間変化を把握した。強震動分野では、都心部における稠密観測や複数地震の地震動比較を通じて、局地的な揺れの差異を検証するとともに、深層学習を用いた地震動予測や、非エルゴード項を考慮した地震動評価の高

度化を進めた。

大学は、丹沢東部―三浦半島―房総半島に臨時地震観測網を整備し、MeSO-net等の既存観測網との統合解析、制御震源探査、機械学習モデルによる地震波の自動検出、プレートマッチング、GNSS解析を通じて、プレート境界すべり、SSE、地震活動の相互関係の解明に取り組んでいる。上盤内の分岐断層の形状・変位速度、海成段丘、史料等に関する調査・解析を統合し、長期的な地震発生履歴と震源像の復元も進めている。広帯域MT観測についても、プレート境界周辺の流体分布と地震活動との関係を解明するための観測基盤として整備が進められている。さらに、東京湾周辺における浅層メタンガスの調査や、個人・地域の状況に応じた情報収集センサーの開発も進展している。これらは、研究成果を揺れの予測にとどめず、火災、避難、情報途絶等を含む都市複合災害の軽減へと展開する取組であり、地震発生場の理解から強震動・被害予測、防災情報の高度化までをつなぐ成果として評価できる。

一方で、各分野で得られた成果を統合し、地震発生ポテンシャルや被害想定の高高度化にどのように結び付けるかについては、今後さらに具体化する必要がある。

③今後の展望

今後は、観測網の一層の充実と各種解析手法の高高度化・統合を進め、プレート境界すべり、地震活動、地下構造および流体分布の相互関係を、より精緻に解明することが求められる。あわせて、地質・歴史資料に基づく長期的な地震発生履歴の復元を進めるとともに、強震動予測に含まれる不確実性を定量的に評価し、首都圏における地震発生ポテンシャルおよび被害予測の精度向上につなげる必要がある。その際には、各サブテーマの成果を個別に蓄積するだけでなく、地震学、測地学、電磁気学、地質学、歴史学、防災情報学等の分野横断的な連携を一層強化することが重要である。観測・調査で得られた知見が、地震現象の理解、発生予測、災害予測、被害軽減へとどのようにつながるのかを明示し、課題全体としての統合的な成果に発展させることが期待される。

さらに、複合災害や情報途絶への対応に関する研究を社会実装へと展開し、都市防災力の向上につなげる必要がある。長期的には、工学・社会科学分野との連携を強化し、建物・都市インフラの被害、火災延焼、経済活動への影響、避難行動等を包括した統合的な都市地震リスク評価へ発展させることが望まれる。

（３）千島海溝沿いの巨大地震

①目的

国が切迫性の高い地震と評価している千島海溝沿いの巨大地震を対象に、自然科学・工学・社会科学を横断した総合的な研究を関連課題と連携して実施し、巨大地震の発生機構の解明から災害軽減までを一体的に推進する。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を進めるとともに、各研究分野の研究成果を連携・統合することにより、巨大地震・津波災害の軽減に資する防災リテラシーと地域防災力の向上を目指す。

②実施状況と成果

総合研究グループの各研究テーマに期待される役割と防災施策との関係を整理した作業分解構成図を作成し、課題間・テーマ間・分野間連携を可視化した。非積雪期および積雪期の津波避難に関する研究を函館市で実施し、周遊観光客が多い非積雪期の昼間には避難困難者数が夜間の10倍以上に達することを定量的に示した。津波事前予測の不確実性要因の一つである津波伝播の非線形性について検討し、津波堆積物に基づいて推定された古地震の断層モデルが過大評価されている可能性を指摘した。千島海溝および日本海溝北部で発生した既往地震のデータを用い、強震動評価に向けたフーリエスペクトル予測手法のプロトタイプを作成した。また、地震動の事前予測に基づき、斜面崩壊・液状化の事前評価を行い、ライフラインや道路被害の空間予測につなげるスキームを検討した。千島海溝で海底地殻変動観測とそれに基づくプレート間固着を推定し、津波を効率的に励起するプレート境界浅部が強く固着していることを確認した。北海道・三陸沖後発地震注意情報に

関する社会調査を継続的に実施し、2025 年 12 月の初回発表直後には認知率が約 30%から約 80%に上昇し、2026 年 4 月の 2 回目の発表時にも同程度の認知率が維持されていたことを明らかにした。一方、政府が呼び掛けた日頃からの備えの再確認を実施した住民の割合は 10%以下にとどまり、情報が実効的な防災対応の強化に結び付いていない実態が浮き彫りになった。千島海溝沿いの最大規模地震が北海道の基幹産業である農業に及ぼす経済被害を推計し、被害総額が数千億円規模に達する可能性を示した。大津波・津波警報発表時のテレビによる防災情報の伝達について、自治体・放送事業者・気象台との意見交換会を実施し、アナウンスや画面テロップ表示などの改善につなげた。津波警報や後発地震注意情報の発表時における対応と課題について複数の自治体を対象にヒアリングを行い、今後の研究で検討すべき社会的ニーズを収集した。

③今後の展望

千島海溝でのプレート境界浅部で強い固着が観測から確認されたことは、最大規模津波対策の重要性を改めて示した。一方、十勝沖から日本海溝北部のプレート間固着状況は依然不明であり、観測を強化しデータの蓄積を図る必要がある。津波伝播浸水シミュレーションの不確実性評価は、津波堆積物を用いた古地震の断層モデル推定や、想定断層モデルを用いた津波浸水想定に直接関係するため、一層の検討を進めることが望まれる。津波避難計画の評価においては、津波避難タワー整備の進捗や人口動態などの社会環境と、震源の多様性や津波予測手法に起因する津波ハザードの時空間的な不確実性を組み合わせ、影響を検討する必要がある。

初めて発表された北海道・三陸沖後発地震注意情報の認知率は上昇した一方、住民の具体的な防災行動にはつながっておらず、防災情報に対する行動変容に関する研究の必要性を示唆する。後発地震に関するモニタリング手法や地震活動評価手法の検討も残された課題である。災害は地域性の強い現象であるが、総合研究グループのような地域を特定した研究においては、社会環境の時空間的な動態が、ハザードやその予測誤差よりも強い影響を及ぼすケースなどの検討も視野に入ると思われる。発災時の防災情報の実効的な伝達や、住民の事前防災の促進には、放送事業者や住民等とのリスクコミュニケーションや、保健福祉分野との連携による行動変容に関する研究が重要となる。先端的な研究と自治体ニーズや社会実装可能性の間には依然大きな隔たりがあり、マーケティング手法等を活用した新たな切り口での研究計画立案や出口戦略を検討することも望まれる。

（４）内陸で発生する被害地震

①目的

内陸の地震は、人間の生活圏の近くで発生するため被害が大きくなりやすく、過去にも多くの被害地震が内陸で発生している。そこで本計画では、陸域で発生する被害地震を新たな総合的研究の対象とする。内陸域の大規模地震や群発地震の発生要因、強震動発生メカニズム、歴史地震の研究を通じて、いくつかの地域において今後発生が想定される地震像を提示し、それに基づく強震動等の災害誘因予測を目指す。また、浅部地盤構造調査や構造物モニタリング調査に基づき、リスク評価手法の研究にも取り組む。さらに、社会との情報共有によるリスク低減の方法も検討する。

②実施状況と成果

今期前半は、2024 年能登半島地震（M7.6）という大規模な内陸被害地震が発生した。大学及び防災科学技術研究所は GNSS、電磁気、地震観測、および光ファイバ（DAS）を用いた超高密度観測等の各種調査研究を実施し、同地震の全容を捉えることを進めた。さらに、史料・考古部会との連携を通して、同地震の余震活動の評価や長期的な活動様式の理解を進めた。

機動的な超高密度観測を通して 2024 年能登半島地震の本震・余震活動の全容を捉えることができた。特に、震源域直下の過去の固結マグマが群発地震時には「流体を遮断する壁」として働き、本震時には巨大な「アスペリティ（破壊の中心）」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ことは、現象理解における大きな成果である。予測手法・モデル構築については、推定応力場に基づく Slip Tendency（ST）解析によって、能登半島地震の発生前の震源断層が極めて滑りやすい状態にあったことを数値的に評価し、実際の滑り量分布との一致を明らかにした。また、遠地波形による 5 つのサブイベントモデル（海域での第 5 の破壊）の構築、稠密 GNSS データ

による数十年規模の余効変動（全域沈降）の予測など、将来の長期・中短期予測および災害誘因予測の基礎を捉えることができた。また、1729年能登半島地震の有感余震の継続期間（約2週間）に関する歴史史料の知見を踏まえ、現在の余震活動の評価や将来予測のための知見を得た。さらに社会実装と災害軽減へのアプローチとして、得られた理学的成果を単なる研究で終わらせず、被災自治体や地方気象台、住民と直接共有する「リスクコミュニケーションモデル」の構築へと繋げた。特に珠洲市でのシンポジウムや現地報告会を通じ、「自然現象の理解」と「社会課題の解決」を念頭においたオープンな対話を実践し、住民のリスク受容と意識変容を促すなど、災間のリスクコミュニケーションを踏まえた災害軽減に向けた具体的な成果を挙げている。

能登半島地震で得られた成果を踏まえ、2026年熊本地震などの期間中に発生した被害地震や近畿三角帯・東北地方中央部等における研究を実施する予定である。

③今後の展望

これまでの進捗を踏まえ、今後は「現象の解明」から「地域社会への確実な還元」に至る一連のサイクルをさらに深化・定着させる。

1. 観測データの高度解析と予測モデルの統合：能登半島全域で継続する沈降予測や佐渡島西方の余効すべりの推移を注視し、粘弾性緩和モデルの高度化を図る。また、ST解析や地下の流体・ SiO_2 濃集メカニズムのモデルを、他の高リスク地域（都市圏や近年の大規模地震発生周辺域）へ応用・展開し、内陸地震の長期・中短期予測手法として確立を目指す。特にDASやノード地震計を用いた高密度観測は地下構造推定や地震活動様式把握のために有用であり、観測に従事する次世代の研究者の育成を兼ねつつ、さらに手法開発と観測展開を行う。

2. 地表地震断層と強震動評価の精緻化：地表変位量の過小評価（広域変形の存在）の課題を解決する。断層近傍における強震動の発生メカニズムと建物被害との関係性を精査し、より実効性の高いリスク評価手法を構築する。

3. リスクコミュニケーションモデルの標準化：珠洲市等で得られた住民ヒアリング（避難行動、心のケア等）やアンケートの分析を進め、他の活発な地震活動域でも適用可能な「災間」のリスクコミュニケーションの方法論を構築することで、文理融合のアプローチをさらに強固にし、災害軽減に直接貢献する。

（５）大規模火山噴火

①目的

大規模噴火の想定に基づき広域避難計画が立案されつつある桜島及び富士山を主対象として、現象解明から避難、帰還および移住に関わる課題までを視野に入れた総合的研究を行う。大規模噴火の予測に資するマグマ供給系の理解と活動推移シナリオの構築、大規模噴火時にも継続可能な観測手法・通信手段の開発、大規模噴火に伴う災害誘因の予測手法の開発を進める。また、広域避難時の自治体間連携、避難区域や避難時期の意思決定、避難後の被災地への帰還や移住に関する意思決定のあり方を検討する。さらに、他の火山における類似の研究や、他の自然災害による広域避難に関する研究を参考にして、地理的及び社会的環境に対策の違いなどにも視点を広げる。なお、本研究で対象とする大規模噴火は、VEI 4から5程度を想定している。

②実施状況と成果

大学は、桜島における大規模噴火の前駆過程を解明し、噴火及び火山灰の拡散・降下を予測する手法を構築するため、大正噴火に関する史料及び地震・地盤変動等の観測記録の解析を行った。その結果、始良カルデラ下のマグマだまりの膨張に伴う桜島から離れた場所での地震発生、桜島島内での二酸化炭素濃度の増加、地盤変動、噴火直前の群発地震を伴う急速な地盤変動の四段階に整理した。その結果、ダイク貫入に伴う地殻の変形とひずみ集中、ひずみを解消する火山性構造性地震の発生が重要な前駆過程であることを示した。また、地盤変動の解析により、マグマ貫入速度が噴火規模・様式の指標となることを示し、噴火の発生時刻と規模の確率的予測手法を提案した。さらに、地震・地盤変動から推定した噴出率と移流拡散計算を組み合わせることにより、火山灰の拡散・降下を予測する手法を進展させた。

大学及び山梨県富士山科学研究所は、富士山及び浅間山における大規模噴火の履歴・推移と現在の火山活動を明らかにするため、地質調査、噴出物の物質科学的解析並びに地震・重力観測を実施した。富士山では、地質調査と馬伏川岩屑なだれ堆積物中の埋もれ木の分析により、岩屑なだれの流下・定置時における木片の集積過程を推定するとともに、山麓・山頂域の調査によってテフラ層序を精緻化した。浅間山天明噴火の火砕流噴出物の物質科学的解析により、噴煙柱から火砕流への遷移に伴ってマグマの減圧率と破碎深度が増加し、噴火様式の遷移がマグマの減圧率に強く影響を受けることを示した。また、富士山の地震観測データの解析により、深部低周波地震活動が山体膨張発生期や 2011 年の静岡県東部地震と同時期に活発化したことを検出した。さらに、絶対重力観測と河口湖の水位データの比較により、観測された重力低下が自由地下水面の低下によって説明できることを明らかにした。

大学は、桜島のマグマ供給系と噴火機構を解明するため、ミュオグラフィ、重力、地盤変動、火山ガス、地震・空振及び MT 観測等の多項目観測と解析を実施した。その結果、昭和火口噴火前に火道内密度の上昇がミュオグラフィによって確かめられ、マグマが火口近傍まで上昇したことが示唆された。また、南岳山頂火口と昭和火口直下における密度変化の逆相関から、分岐した火道構造を推定した。地盤変動観測からは、2022～2025 年には桜島へのマグマ供給が増加する一方で、噴火活動は概して低調であったことが示された。また、火山ガス放出において噴火・爆発に伴う放出よりも準定常的な放出が重要であることも明らかにされた。さらに、太陽活動の活発期に始良カルデラを含む領域で稠密かつ良好な MT 応答を得ることで地下比抵抗構造推定に欠かせないデータを取得した。爆発地震の波形インバージョン解析からは、震源の深さやマグマの発泡・上昇過程の違いが噴火様式に関係することを示した。

大学及び山梨県富士山科学研究所は、桜島及び富士山における大規模噴火時のハザードと広域避難上の課題を評価するため、火山灰移流拡散シミュレーション、大正噴火に関する文献資料の分析、登山者・住民への質問紙調査及び広域避難に関する教材開発を行った。桜島では、大規模噴火シナリオに基づく火山灰移流拡散シミュレーションにより、降灰分布とそのリスクを評価した。大正噴火に関する文献資料の分析により、桜島地震と毒ガス発生のデマによって鹿児島市街地で混乱が起こり、約 2 万人の広域避難によって災害対応が困難になったこと、鹿児島県を中心に国および近隣県との調整を通じて移住政策が進められたことを明らかにした。富士山の登山者・住民への質問紙調査により、火山情報の確認状況、噴火警戒レベルの認知度、火山防災マップの判読状況および避難タイミングに関する認識の課題を明らかにした。また、広域避難時の意思決定のジレンマを学ぶゲーム型教材を試作し、学校や地域で試行するとともに、その評価方法を検討した。

大学は、大規模噴火に備えた防災実践を進展させるとともに、噴火時にも観測・通信を継続するため、桜島火山観測所の一般公開参加者へのアンケート調査、住民参加型ワークショップ、住民主体の防災組織の形成過程の分析並びに衛星・無線通信手段の実証試験を実施した。アンケート調査からは、火山観測施設の希少性と非日常性が参加者の関心を高めることを明らかにした。住民参加型ワークショップにより、大規模噴火と広域避難を想定したガイドブックを作成・公開した。また、住民主体の防災組織の形成過程の分析によって、研究者が活動を押しつけずに住民の自律的な共創を支援することが、防災の担い手育成に有効であることを示した。低軌道衛星通信や複数の無線通信手段の実証試験により、災害対応 IoT 通信システムを用いて地震波形データをリアルタイム伝送できることを実証した。これらにより、住民との共創と観測・通信の継続性の両面から、大規模噴火への備えを進展させた。

③今後の展望

桜島・富士山を主対象として、噴火履歴とマグマ供給系の解明、多項目観測による火山活動評価、ハザード予測、広域避難および大規模噴火時における観測継続性を連携させる研究の枠組みはおおむね構築された。一方で、大規模噴火は近代的な観測事例に限られ、観測量と噴火規模・様式との関係には依然として不確実性があり、観測データから噴火の推移と影響範囲を即時的に評価し、避難区域や避難時期の判断につなげる手法は十分には確立されていない。今後は、観測データとモデルから予測の不確実性を含む複数の噴火シナリオについてハザードを評価するとともに、その結果を広域避難の意思決定に接続する手法を開発する必要がある。また、国内外の大規模噴火事例との比較を進め、桜島・富士山で得られた知見と研究手法の一般化を図る必要がある。

本総合研究は本観測研究計画を中核としつつ、火山防災人材育成プログラム（V-SEP）や V-LEAD 等の関連プロジェクトならびに火山ハザード対策、人材育成および地域防災に関する取り組みと連携して進める必要がある。研究者と防災実務者が参加する研修等を活用し、既存の火山学の枠組みを超えた萌芽的研究を取り込むとともに、自治体の防災担当者から得られる課題や実践上の知見を研究へフィードバックすることが重要である。また、火山噴火ハザードの即時把握・予測手法を高度化し、火山灰移流拡散シミュレーションに基づく広域避難の意思決定手法を検討するとともに、これらを住民主体の地域防災活動と結びつける研究をする必要がある。さらに、普段の研究活動や危機対応時における総合研究グループの情報発信を支援する体制を整備することが求められる。

（６）高リスク小規模火山噴火

①目的

火口周辺が観光地化されている火山が突然噴火した場合、たとえそれが小規模であっても重大な災害につながる恐れがある。しかし、このような小規模噴火を観測データに基づいて予測することは一般に容易ではない。また、高リスク小規模噴火の研究を進めるうえで多くの課題が存在する。例えば、火山により活動の特徴や噴火履歴が異なるだけでなく、火口周辺の土地利用や地域社会の火山に対する知識・認識も、地域によって大きく異なる。災害軽減のためには、各火山や地域社会の実情を十分に理解したうえで、各火山に合わせた観測方法および情報提供方法を研究する必要がある。そこで本グループでは、各火山にて物理観測に基づく現象理解を研究の基盤としつつ、地球化学、地質学、および社会科学的な手法を分野横断的に組み合わせることで、火山観測データから防災情報の社会への伝達までを一体的に扱うことを目指す。併せて、新しい観測技術を開発し、小規模噴火であっても高いリスクとなり得る各火山において観測データの充実をはかる。

②実施状況と成果

大学は、活動活発期を含む多項目モニタリング観測データを、地下構造探査、および地質学的調査結果に基づいて統合的に理解し、水蒸気噴火を起こす火山地下浅部の熱水流動ならびに熱水蓄積に関する概念モデルを構築した。大学と温泉地学研究所は、各火山においてモニタリング観測を継続するとともに、観測および解析技術の向上、ならびに既存データの再解析を進めた。

草津白根山では、浅部に比較的温度の低い気液 2 相の熱水貯留域と、深部に高温・高圧の熱水貯留域の 2 段構造が推定され、そのような複雑な構造と、同火山の活動の多様性との関係を議論した。箱根山では、図化された地震動振幅を画像認識することで震源を推定する新手法を開発した。また、機械学習に基づく地震波初動読取り技術の高度化を進めた。この進展により、微小地震の活動度や発生位置が高精度かつ短時間で求まるようになった。阿蘇山では、空振、火口湖観測、火山ガス、重力観測等の各観測装置および解析システムを改良した。これにより、火山性微動や空振の励起機構など、活動評価のために重要な観測項目に関する定量的な理解が進んだ。

大学は、水蒸気噴火を起こす火山に特有の火山ガス成分である硫化水素に注目し、その放出量の測定を試みた。また、火山体における隠れた熱活動を捉えるために、土壌拡散水銀を精度よく測定する取り組みを行った。気象研究所は、各火山において火山ガスおよび温泉を継続的に採取・分析した。

霧島火山硫黄山では、上空を漂う噴気に含まれる硫化水素の空間分布をドローンにより測定し、同火山における硫化水素放出率を初めて評価した。土壌から拡散放出されている硫化水素を測定するための装置開発が進展し、その放出率分布を面的に測定できる可能性が示された。草津白根山では、多点土壌拡散水銀放出率が測定された結果、白根山の一部領域において、地下構造の不均質に関係すると思われる高い水銀放出域が見いだされた。

草津白根山における繰り返し火山ガス採取・分析から、2025 年の活動変化に応じた二酸化炭素・硫化水素比の上昇を見出した。この結果はマグマガスの関与を示唆するものであり、同火山の活動評価に重要な役割を果たした。岩手山で採取した火山ガスを分析した結果、近年の同火山の活動活発化に対するマグマガスの関与は、前回活発化した 1998 年に比べて低いことが示された。

大学は、UAV（ドローン）を用いた火山観測手法をより高度化するために、他成分火山ガス測定装置 MultiGas や電磁探査のための受信機の小型軽量化を進めた。また、気象研究所は、現地で採

取した火山ガスを迅速に分析するための新しい技術を開発した。大学は、遠隔地からインターネットを通じてドローンを操縦するドローンポートを活発化した火山において世界で初めて運用した。

その結果、主要ガス成分5種を測定可能な装置 MultiGas の重量を 1.5 kg 程度まで軽量化し、十勝岳や阿蘇山において試験測定を実施された。また、空中電磁探査実験が草津白根山において行われ、活動活発化に伴う比抵抗構造変化をドローンにより捉える可能性が示された。

火山ガス濃度を定量するための新しい分析手法を開発して二酸化炭素濃度を測定したところ、分析時間を従来の半分に短縮しつつ収率 99% が達成された。ドローンポートを草津白根山に設置することで、厳冬期を含む半年間にわたり現地を完全無人とした状態で 71 回の飛行調査を実施し、活動活発化に伴う湯釜火口湖の湖面変色域の輝度や面積変化の推移が初めて定量的に示された。

大学は、痕跡が地層として残りにくい水蒸気噴火を対象として、火口周辺の小さな湖や沼の湖底堆積物に注目した研究を行った。また、水蒸気噴火の際に飛散した噴石の到達距離および粒径の詳細を明らかにした。江戸から明治時代に描かれた多数の古絵図を調査し、火山噴煙の長期推移を復元した。

志賀山と草津白根山の湖・沼の湖底堆積物を採取、分析した結果、多数の小規模テフラが見出された。分析上の諸課題が残されているが、地表からは失われた過去数 100 年間の噴火履歴を復元し、水蒸気噴火の長期的活動推移を明らかにできる可能性が示された。阿蘇山では、2021 年 10 月噴火堆積物から噴石飛散距離とその大きさの分布が記載され、同火山における小噴火のリスク評価に資する情報が得られた。草津温泉に残された古絵図 71 点から白根山の噴煙活動の盛衰が見いだされた他、これまで活動記録がみつかっていなかった本白根山（2018 年に噴火）について、約 200 年前に噴煙が上がっている絵図が初めて確認された。

大学は、活動火山において登山者や観光客の認識を把握するためのアンケート調査を実施した。また、大学と神奈川県温泉地学研究所は、研究者と行政機関、および地域住民間における円滑な情報共有を行うための課題発見を目指してシンポジウムを実施した。さらに、大学は、火山の現状を数値として迅速かつ分かりやすく社会へ伝えるための指標を作成した。大学、神奈川県温泉地学研究所、および気象研究所は、火山研究成果に関するアウトリーチ活動を実施した。

阿蘇山で実施したアンケートから、活火山に対する一定の認識が認められたが、それが、登山届けの提出などの具体的な行動にはあまり結び付いていないことが示された。同様の結果は、浅間山でも得られている。すなわち、火山の危険や噴火警戒レベルに対する知識は広まっているものの、そのような知識の高さは、例えばヘルメット装着率などの数字には表れていないことが分かった。

箱根山では、年々向上している観測・解析体制を、随時、火山活発化指数 (VUI) ヘフィードバックさせることで、行政機関とのコミュニケーション改善へと活かされた。

水蒸気噴火に関する国際シンポジウムを小田原市内において開催した。令和 6 年度は主な対象者を研究者と行政機関として約 100 名の参加者を得た。令和 7 年度は国内外から研究者を招聘し、各課題担当者を含めて約 100 名が参加した。さらに、同時通訳を付した市民向け公開講演会を実施し、約 120 名の一般市民の参加を得た。

各課題の担当者、分担者および協力者が関わったアウトリーチ活動を集計した結果、令和 6 および令和 7 年度は、合計でそれぞれ約 1000 人程度、および 2300 人前後との交流が実現されたことが示された。例えば令和 7 年度は、参加者の半数は地域住民と行政担当者で、続いて学生・報道機関がそれぞれ 1 割程度であった。内容は、講演が 4 割を占める一方、ともに登山するなどのユニークな活動も行われた。小規模な活動が多く、参加者 50 人以下のイベントが 7 割、10 人以下の活動も 2 割あった。

大学は、総合グループ内外との連携を深めるために、合同観測および合同研究集会を実施した。

霧島山新燃岳 2025 年噴火に対応して、UAV（ドローン）を使用する本グループの各課題担当者が現地に集まり、多項目 UAV 観測を 2025 年 9 月 12 日から 15 日かけて実施した。観測成果は文部科学省火山調査研究推進本部へ提供されたほか、現地では UAV に関する技術の向上や、突発的な噴火への対応についての意見交換も行われた。さらに、史料・考古計画推進部会との合同勉強会を 2025 年 9 月 9-10 日に草津町内およびオンラインにて実施して、約 30 名の参加者を集めた。自分地理学の専門家による、草津町内の巡検も行われた。近年の歴史資料オンラインデータベース化により、火山に関する未調査の絵図が多数確認されていることが認識され、その成果の一部は論文として公

表された。

③今後の展望

観測技術の進展により、地下熱水系の状態変化を捉えるための手法が近年大幅に拡充した。例えばドローンを用いた地球化学観測およびその関連技術は、活動活発期に調査が制限される場合であっても、熱水系の状態変化を議論するための重要な観測データをもたらすであろう。また、多項目観測データと比抵抗構造を統合した水蒸気噴火発生場に対する概念モデルの構築が各火山で進展し、観測データの解釈や新たな研究課題抽出に活用されつつある。

その一方で、噴火発生の引き金やそのシグナルといった根幹部分については、いまだ十分な理解に至っていない。これは、熱水等の火山性流体の移動を支配する構造と流体の挙動が十分に解明できていないことが一因である。二次鉱物の沈殿・溶解による熱水流路の閉塞、あるいは粘土鉱物を含む媒質の力学的特性といった物質科学的研究を推進し、その知見を他項目観測に基づく概念モデルに統合し、さらに、熱水流動シミュレーションへと発展させてゆくことが望ましい。今後、物質科学および数値シミュレーションに関する研究課題を充実させてゆく必要がある。

本総合研究グループは理学的な素過程の研究にとどまらず、観測成果を社会へ効率的、かつ効果的に還元する方法も研究対象である。アンケート調査を基軸とした研究課題に加えて、各課題において、それぞれ工夫を凝らしたアウトリーチ活動が毎年盛んに行われている。アンケート調査からの示唆を直ちにアウトリーチへ反映させるとともに、アウトリーチの現場から得られる課題をアンケート調査へフィードバックさせることが望ましい。このような連携を通じて、これまで難しかった地域間の比較、あるいは成功事例の他地域への導入を進めるべきである。その一方で、個々のアウトリーチ活動では参加者数が必ずしも多くはなく、活動の負担が大きい。アウトリーチを無理なく継続するために、解説手法の共通化や新たな IT 技術の活用も検討すべきである。また、社会科学を専門とする研究者の助言を得ることも有効である。

本総合研究グループの目標達成のために、様々な専門性を有する研究者の共同が必要である。それを難しくしている要因のひとつとして、火山ごとに活動様式や社会的背景が大きく異なることに加えて、担当研究者の構成や専門性が異なることが挙げられる。過度な負担感を与えることなく、研究課題間の連携や知見を統合する工夫は引き続き検討すべきである。例えば、本総合研究グループにおいて、各課題・各研究者に期待されている役割をある程度明確化することや、本研究グループに参画するうえでのインセンティブ、具体的には研究経費や広報に関する支援などが考えられる。

6. 研究を推進するための体制の整備

目的

地震・火山現象の解明と予測、災害の軽減に必要な観測研究を継続的に推進するため、高品質かつ長期間にわたる観測網の維持・整備を行うとともに、海域や火口近傍、離島等の観測困難域を含む観測・解析技術の開発・高度化を進める。また、観測データの流通・共有を促進し、データベースの構築・充実と国際標準に基づく公開・利活用を進める。本計画を効果的かつ着実に実施し、研究成果や技術を災害軽減の施策や業務に反映させるため、参加機関間の連携を強化するとともに、行政機関、地震調査研究推進本部、火山調査研究推進本部等との役割分担を意識し、技術的・制度的・組織的な連携の下で研究を推進する。文理融合による総合知を地震・火山災害の軽減に役立てるため、理学、工学、人文学・社会科学、歴史学、考古学、地形学、地質学、情報科学、計算科学等の関連研究分野との連携を強化し、機械学習やビッグデータ解析等の新たな技術も取り入れながら学際的な研究を進める。地震・火山災害は世界各地で発生することから、国際的な防災・研究機関との連携、国際共同研究・共同事業、研究事例やデータの共有を進めるとともに、研究成果を他国の地震・火山災害の軽減にも活用する。研究成果を社会に還元して災害軽減に活かすため、防災リテラシー向上のための研究成果を活用し、地震・火山現象とその災害に関する科学的知見を国民や行政の防災担当者等と共有するとともに、防災教育や多様なコミュニケーション活動を通じて社会との共通理解を促進する。さらに、長期的な視点に立って、次世代を担う若手研究者や技術者、

防災業務・防災対応に携わる人材を継続的に育成するとともに、専門職ポストの確保、多様なキャリアパスの開拓、幅広い知識や技能を身につける教育等を進め、地震・火山に関する専門教育を受けた人材が行政、企業、教育等の社会の様々な分野で活躍できる環境の形成に努める。

（１）観測研究基盤の開発・整備

②実施状況と成果

ア．観測基盤の整備

防災科学技術研究所は、陸海統合地震津波火山観測網（MOWLAS）の安定的運用を行い、関連施設の整備・更新及び観測データの共有と利用促進を進めた。MOWLASをはじめとする基盤的な観測網の運用により、高品質なデータの取得・蓄積が継続されるとともに、通信回線やデータ処理・蓄積システムの更新を進め、安定的なデータ提供を継続した。また、南海トラフ海底地震津波観測網（N-net）の整備・運用が進み、既存の陸域・海域観測網と合わせて、海域を含む地震・津波現象をより高密度に把握する観測基盤が強化された。これらの観測データは、地震活動や地震の震源過程の把握、CMT 解析、地震動の評価、海域における微動のモニタリング等に幅広く利用されており、令和6年能登半島地震や日向灘の地震等の評価に活用された。MOWLASに加えて、首都圏地震観測網（MeSO-net）の安定的な運用を継続した。MeSO-net の稠密な地震波形データは、首都圏の地震活動・地下構造の解析、震源イメージング、長周期地震動の即時予測手法の開発等に活用された。基盤的火山観測網（V-net）のデータは、火山観測データ一元化共有システム（JVDN システム）で公開され、火山活動推移予測に資する研究や技術開発に活用された。

気象庁は、防災情報発表のために全国に展開している地震計・震度計・ひずみ計等の観測を継続した。文部科学省と協力し、大学、防災科学技術研究所、海洋研究開発機構など関係機関の地震観測データを一元的に処理し、その結果として構築した一元化震源カタログを大学や関係機関に提供した。また、精密な地磁気観測を継続した。常時観測火山において、地震計、空振計、GNSS、傾斜計、監視カメラ等による多項目の常時観測及び機動観測を実施した。これらの観測基盤を継続的に運用することにより、全国の地震・火山活動を安定して把握し、得られた観測成果を地震・津波及び火山に関する防災情報の発表や活動評価に活用した。火山については、常時観測火山 50 火山の連続的な監視観測を継続するとともに、GNSS 繰り返し観測、熱観測、火山ガス観測等の機動観測を実施した。噴火の発生や火山活動に変化が認められた火山では、関係機関と連携した上空からの観測やドローンによる可視・熱赤外観測等を実施し、火口近傍を含む火山活動の状況把握と評価に活用した。これらの監視・観測成果は、噴火警報、火山の状況に関する解説情報、火山活動解説資料等の防災情報・資料として公表するとともに、地震火山月報等に取りまとめて公表し、常時観測火山の観測データについても公開・共有を進めた。また、気象庁は全国の検潮所における潮位の連続観測を継続し、観測データの安定的な取得・提供を行った。観測回線の光回線化や集約サーバの保守・更新等を進め、欠測リスクの低減と潮位観測基盤の安定運用を図った。

国土地理院は、全国の GNSS 連続観測点を維持するとともに、データ解析手法の高度化を図った。衛星 SAR 観測データの解析を定常的に実施したほか、火山地域で航空機 SAR 観測を実施した。標高基準の精度向上のため航空重力測量を実施するとともに、地上重力や地磁気、潮位、VLBI 等の観測を継続した。GEONET による日本列島全域の地殻変動及び火山活動のモニタリングを継続し、地震時地殻変動、地震後の余効変動、火山活動等に伴う地殻変動を把握するとともに、得られた結果を速やかに公表し、地震調査委員会や火山調査委員会等に報告した。衛星 SAR による全国を対象とした定常解析及び地震・火山活動時の緊急解析も継続し、GNSS による点での地殻変動観測と SAR による面的な地殻変動把握を相補的に利用する観測基盤を維持・高度化した。

大学は、全国の陸域、海域及び火山周辺に設置された地震・地殻変動などの多項目観測を維持するとともに、観測網から得られるデータを即時的に流通させるシステムを運用した。大地震や火山噴火時の機動的な観測や、構造探査等を実施するための機材や人的資源を共有する体制の整備を行った。大学間及び関係機関間では、高速ネットワーク網を用いた地震観測データの全国的なリアルタイム流通を安定的に維持し、多数の観測点のデータが研究や監視業務に利用された。大地震や火山活動の活発化等が発生した場合には、共同利用機材等を用いて臨時地震観測、海域観測、地殻変動観測等を迅速に展開した。令和6年能登半島地震に際しても、既存の基盤観測網と機動観測を組

み合わせた観測が実施され、震源域の地震活動や地殻変動を詳細に把握するためのデータが取得された。このように、平時の長期連続観測と、大規模現象発生時に迅速に展開する機動観測を組み合わせる体制が継続して機能した。地域的な観測基盤についても継続的な整備・運用が行われ、例えば弥陀ヶ原火山では、既存の水準測量に GNSS 観測等を組み合わせ、火山活動に伴う地殻変動をより多面的に把握するための観測が進められた。

産業技術総合研究所は、東海から四国に至る地域で、地下水、ひずみ、地震等の観測を継続するとともに、観測施設の新設・更新を進め、地下水・地殻変動観測施設を計 20 観測点とする観測網の構築を進めた。これらの観測データを気象庁等にリアルタイムで提供することにより、南海トラフ沿いの短期的ゆっくりすべり等の地殻活動の監視・把握に活用した。また、ボアホールひずみ計の更新等を進め、長期的に安定した観測の継続と観測精度の維持・向上を図った。

山梨県富士山科学研究所は、一等重力点を新たに整備し連続重力測定を開始した。その後も、富士山における火山性地震のモニタリングとともに、重力の多点連続観測及び地下水観測を継続し、火山活動に伴う地殻流体の移動を捉えるための観測基盤として運用した。多点連続重力観測を継続することにより、時間変化を安定して捉えるためのデータを蓄積し、富士山の火山活動監視に利用するための基礎データの蓄積を進めた。

北海道立総合研究機構は、雌阿寒岳、十勝岳等において熱や地球化学的な観測を継続した。これらの火山において、噴気・温泉水等を対象とした地球化学的観測、地殻変動、重力、地下水位等を含む複数項目の観測を継続し、火山活動の変化を把握するための長期観測データを蓄積するとともに、観測データを気象庁や大学等と共有した。これにより、地震・地殻変動等の物理観測だけでは捉えにくい熱・地球化学的变化を含めて火山活動を多面的に把握する地域観測基盤が維持された。

海上保安庁は、海域の測地観測について、下里水路観測所における SLR の国際共同観測及び GNSS アンテナと SLR 望遠鏡不動点とのコロケーション測量を継続し、日本周辺を含む広域のプレート相対運動決定に資するデータを取得・提供した。また、日本海溝沿い及び南海トラフ沿いにおける GNSS 一音響測距結合方式による海底地殻変動観測を継続し、東北地方太平洋沖地震後の余効変動や南海トラフ沿いのプレート間固着に伴う地殻変動の把握を進めた。さらに、全国の常設験潮所における験潮観測を継続し、得られた潮位データを関係機関と共有するとともにリアルタイムで公開した。海洋測地・海底地殻変動観測と陸域の測地観測を補完する長期連続観測基盤として、験潮観測を安定的に維持した。

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、大学の地震等定常観測点の将来像を検討するため、「定常観測点検討ワーキンググループ（定常観測点 WG）」を設置し、大学、気象庁、防災科学技術研究所等が維持する定常観測点の現状について情報共有を行うとともに、今後の定常観測のあり方について検討を進めた。その結果、予算の減少により予察的な観測研究の実施が制約されていることや、長期的な観測データの蓄積が困難になっていることに加え、国内の観測機器メーカーの衰退など、観測基盤の持続的な維持・発展に関わる課題が明確となった。

イ. 観測・解析技術の開発

大学及び海洋研究開発機構は、これまでに開発した広帯域海底地震観測や海底傾斜・圧力観測等の技術を実観測に適用するとともに、長期化、高精度化、省電力化及び安定運用に向けた改良を継続した。海域における地震・地殻変動の直接観測が可能となったことにより、陸上観測だけでは十分に捉えることのできないプレート境界近傍の地震活動や地殻変動を把握するための観測手段が拡充された。また、海底光ケーブルを利用した観測技術については、光ファイバーをセンサーとして用いる分布型音響センシング（DAS）を含む海域地震観測・解析技術の開発が進み、既設・新設の光ケーブルを利用して高密度な地震波動場を把握するための技術開発と実観測への適用が進展した。さらに、従来の自己浮上式海底地震計では観測が難しい沿岸浅海域を対象として、浅海用係留ブイ方式海底地震計等による地震活動モニタリング技術が開発され、実際の地震発生後の機動観測にも適用された。これにより、陸上観測網と沖合の海底観測網の間に残る観測空白域を補完する技術基盤が拡充された。

大学は、火口域での多点連続地震観測手法の高度化、人工電磁信号を利用した火山の比抵抗モニタリングシステムや宇宙線を用いた観測手法の開発を行った。新たな無線通信帯域や、携帯電話通

信網と地上情報ネットワークを連携させたデータ伝送システムを開発した。衛星技術や無人ヘリなどを用いた観測困難地域での観測手法の高度化と実証観測を実施した。これらの技術開発を継続し、火口近傍等の立入り困難地域における観測の安全性と継続性を高めるとともに、ドローン等による可視・熱赤外・磁気等の観測も進展した。火山の地下構造や熱・流体活動を複数の物理量から把握するための観測技術が拡充され、機動観測や火山活動評価への適用が進んだ。火山ガス観測では、複数の自動測定装置を用いて火山性 CO₂ 放出率を連続的・面的に把握する観測システムの開発が進められ、国内外の火山における実観測への適用が進んだ。観測データ伝送技術については、小電力・小型のテレメータ開発を基礎として、4G/LTE 等の携帯電話通信網を利用した小電力・軽量小型テレメータへと高度化し、機動観測や多点観測に適したデータ伝送技術の実用化を進めた。

気象庁は、地震動・津波の即時予測の高度化に必要な地震動データの同化手法や津波波源推定など解析技術の高度化を進めた。海底地震観測網を含む多様な観測データを即時処理に取り込むことで、地震・津波に関する情報の迅速化・高精度化を進めるための解析基盤が強化された。火山についても、GNSS 等による地殻変動観測、多項目観測データの統合、変動源解析等を用いて火山活動を定量的に評価する解析技術の高度化を進めた。火山ごとの観測条件やノイズ要因を考慮した解析手法の改良を進め、火山活動評価への適用を図った。

国土地理院は、地殻変動を即時的・高時間分解能で把握するため、キネマティック解析システムを含む電子基準点リアルタイム解析システムの高度化を行った。その後も GEONET の解析戦略及びリアルタイム解析の高度化を継続し、日本列島の地殻変動を安定して高精度に把握する技術基盤を強化した。衛星 SAR についても時系列解析等の高度化を進め、地震・火山活動に伴う面的な地殻変動をより詳細に把握するための解析技術を発展させた。また、電子基準点等の GNSS データを用いて、地震後の余効変動や短期的ゆっくりすべり等の影響を考慮しつつ、プレート境界におけるひずみの蓄積・解放やプレート間すべりを継続的に推定する解析技術の高度化が進められた。

大学は、GEONET を補完する観測・解析技術として、民間 GNSS 観測点や臨時 GNSS 観測点を活用した超稠密地殻変動観測の研究を進め、内陸地震や火山活動等に伴う局所的な地殻変動をより高い空間分解能で把握するための基盤が整備された。

海上保安庁、大学及び海洋研究開発機構は、海溝型巨大地震の発生が想定される海域において、GNSS-A や海底間音響測距、海底圧力観測による海底地殻変動観測を継続するとともに、測位精度向上に必要な観測・解析技術の高度化を行った。GNSS-A 観測では、MCMC 法を用いた解析や数値シミュレーションによる誤差評価などが進められ、測位精度向上に向けた解析技術が発展した。海底圧力計については、精密校正の技術開発を行った。定期的な海底での校正器との繰り返し比較観測により海底面の上下変動の長期的推移の抽出をした。さらに、無人海上プラットフォームについては、Wave Glider 等を用いた GNSS-A 観測の実証・高度化が進められ、船舶観測を補完して海底地殻変動観測を高頻度化・省力化するための技術基盤が整備された。これらにより、日本海溝沿いの余効変動や南海トラフ沿いのプレート間固着に伴う地殻変動の把握が進んだ。

防災科学技術研究所及び海洋研究開発機構は、三次元地震波速度構造を用いた震源・発震機構解析や、地下構造の不確かさを考慮した断層すべり推定等の高度化を進め、より現実的な地下構造を考慮した地震活動・地殻変動解析が可能となった。

海洋研究開発機構は、海底面下での孔内歪観測システムの開発し、南海トラフに設置して通信回線との接続により常時観測を実現した。また、海底光ケーブルを活用した DAS 技術等による広帯域な観測の開発と計測を行った。南海トラフにおける微小地震や微動の他、津波を検出できることを確認した。

大学は、観測データの解析を支える共通基盤として、複雑な地下構造中の地震波動伝播を高精度に計算するシミュレーション手法とコミュニティコードの開発・高度化を進め、地震波形解析や地下構造研究で広く利用可能な解析基盤の整備を図った。また、地震動観測点における観測環境やノイズ特性の時間変化を定量的に把握し、観測点の健全性評価、維持管理、移設候補地の選定等に利用する解析手法の検討・開発が進められた。地表変位を面的に計測する技術としては、地上設置型合成開口レーダー（GB-SAR）を用いた変位観測について、大気中水蒸気等に起因する誤差の補正を含む高精度化が進められ、地すべり・火山等の地表変動把握への適用が進んだ。

情報通信研究機構は、次世代航空機搭載合成開口レーダー Pi-SAR X3 の開発と試験観測体制の整備を進め、地震・火山災害時の地表変化を広域かつ高分解能で把握するリモートセンシング技術の

高度化を図った。Pi-SAR X3 については、装置開発・性能確認の段階から試験観測・実証観測を経て、火山等を対象とする実観測と解析技術の高度化へと展開し、高分解能航空機 SAR を災害状況把握に利用するための技術基盤が発展した。

大学は、地震波形データの流通・解析を支える情報技術として、従来の WIN システムを基礎としつつ、新たなデータ伝送プロトコルやマルチプラットフォームで動作する次世代 WIN システムの開発を進めた。観測機器・計算機環境・通信網の変化に対応し、大容量化する地震波形データを安定して流通・処理するための基盤技術の更新が進められた。また、大規模計算機とリアルタイム観測データを直接連携させる解析環境の整備が進み、情報科学・計算科学を活用したリアルタイム解析へ発展する基盤が形成された。

ウ. 地震・火山現象のデータ流通

大学は、GNSS や地殻変動観測など多項目観測データを全国に流通させるシステムを運用しデータの収集、共有、公開と解析機能の強化を行った。全国規模の地震波形データ流通及びデータ処理で用いられているプログラムの機能強化を図った。その後も、全国の陸域、海域及び火山周辺の各種観測網から得られるデータを即時的に流通させる観測データ流通網 JDXnet の安定運用と高度化を継続した。防災科学技術研究所、気象庁、大学等の機関間のデータ交換を行う防災科研 Tokyo Data Exchange (TDX) の移転対応、京都大学防災研究所宮崎観測所の SINET6 への新規接続、長野・松江データセンターの機器更新等を進め、広域災害時にも観測データを継続的に収集・中継できる流通基盤の維持・強化を図った。多項目観測データの全国流通については、リアルタイム流通だけでなく、長期間にわたるデータの蓄積・公開・アーカイブを一体的に扱うオープンデータ基盤へと発展し、新規観測点・観測項目への対応、解析機能の追加、サーバ・ストレージの更新、過去データの整理等を進めた。JDXnet では、新たなデータ交換方式として MQTT プロトコル等の試験・負荷テストを進め、観測データ量の増大や接続機関・観測項目の拡大に対応できる流通方式の検討を行った。また、東京大学情報基盤センターの大規模並列計算機を JDXnet に接続し、リアルタイム地震データを大規模計算資源で直接解析するための開発を継続した。これにより、データ流通を単なる転送基盤としてだけでなく、リアルタイム解析と一体化した研究基盤へ発展させる取組が進んだ。データ流通ワークショップも継続的に開催し、運用上・技術上の課題や新たな流通技術に関する情報共有を進めた。多項目データについても、全国規模での収集・統合・流通・公開が継続された。地震波形に加えて、GNSS、ひずみ、地殻変動等のデータを共通基盤上で利用できる環境の整備が進められ、長期間の連続観測データを効率的に解析するためのサーバや解析機能の強化が図られた。これらは、地震・火山現象のリアルタイム監視だけでなく、長期的な地殻活動の把握や大規模データ解析の共通基盤として利用された。

防災科学技術研究所は、火山観測データを共有・利活用できるシステム (JVDN) の運用を通じて、関係機関が保有する火山観測データや火山活動・火山災害に関する情報を集約・共有し、研究及び火山活動評価に利用できる環境の整備を進めた。気象庁は、常時観測火山の観測データの公開・共有を進め、JVDN 等を通じた機関間での火山観測データの利用環境の充実を図った。また、大学は、過去に取得された火山観測一次データの収集・整理、刻時補正やメタデータ整備等を進め、JVDN との連携を見据えたデータの集約・共有に取り組んだ。これらにより、機関を越えた火山観測データの共有・利活用基盤が拡充された。さらに、大学等が長年にわたり取得してきた火山観測 1 次データについて、旧式の記録媒体や独自形式を含む過去データを調査・集約し、刻時情報の確認・補正、再解析可能な形式への整理、メタデータ整備等を進めた。これらを JVDN 等を通じて共有・再利用可能とすることにより、過去の火山観測資産を将来の火山活動研究・評価に活用するためのデータ流通基盤の整備が進んだ。

エ. 地震・火山現象のデータベースの構築と利活用・公開

大学は、公開された解析ソフトウェアやデータ、データベースに一元的にアクセス可能なポータル機能をもったデータベースを拡充・運用した。その後、観測研究で取得・作成されたデータ、解析結果、ソフトウェア等のメタ情報を整理し、研究成果共有システムの運用を継続した。部会内・部会間及び総合研究グループ間の連携を支える共有オンラインストレージや WIKI 等も運用し、複数のデータベースを連携して研究成果を検索・共有・再利用するための仕組みの検討を進めた。ま

た、DOI 等の永続的識別子を含むデータ管理、メタデータフォーマット、データ規格、長期的なサーバ運用等について検討し、観測研究成果を継続的に保存・公開する基盤整備を進めた。全国の多項目観測データについては、流通・蓄積・公開・アーカイブを一体化したシステムの運用・高度化が進められ、新規観測点・観測項目への対応、過去データの収集・整理、サーバ・ストレージの更新等を通じて、長期観測データを継続的に保存・公開する基盤が強化された。

気象庁は、全国地震カタログの整備、初動発震機構解・CMT 解等の作成と公開を継続し、長期間にわたる地震活動を解析するための基礎データを蓄積した。地磁気については、柿岡、女満別、鹿屋、父島等における精密観測データを継続してデータベースに登録・公開し、国際的なデータセンターにも提供した。過去のアナログ地磁気記録のデジタル化も継続し、長期的な地磁気変動を解析可能なデータの拡充を進めた。火山についても、常時観測及び機動観測で取得したデータを蓄積し、防災情報や火山活動解説資料等に活用するとともに、JVDN 等を通じた公開・共有を進めた。火山防災協議会での観測成果の共有を継続した。

産業技術総合研究所は、地質や地球物理情報の整理を継続し、地質図やデータベースとして公開した。活断層、津波堆積物、地殻応力場等のデータベースについて新規データの追加や機能強化を継続し、研究及び防災で利用可能な基盤情報を拡充した。活断層データベースでは、調査地点や活断層線の位置精度向上を進め、詳細活断層図の追加・公開を行った。火山については、火山地質図や日本火山図等の整備・公開を継続し、噴火履歴や火山地質に関する基盤情報を拡充した。

国土地理院は、GEONET 等の測地観測データの公開を継続するとともに、火山基本図、火山土地条件図、活断層図等の地理空間情報を整備・更新し、地震・火山活動の評価や防災対策の基盤情報として提供した。

海上保安庁は、海域火山の定期巡回監視及び海域火山基礎情報整備を継続し、情報を海域火山データベースに反映した。海域火山の地形・変色水・噴火等に関する観測情報を継続して蓄積・更新することにより、海域火山活動の長期的な把握と活動評価に利用できる基盤情報を維持した。

前回までに、オープンデータに関する議論を通じて、永続的識別子やデータジャーナル等を用いた地震・火山現象データのオープン化に向けた可能性と課題が整理された。その後は、観測データそのものに加えて、解析ソフトウェア、共通構造モデル、調査・観測のメタ情報等を研究成果として保存・共有する取組が進み、データの発見可能性、再利用性及び研究成果の追跡可能性を高める方向へ発展した。

情報通信研究機構は、航空機 SAR についても Pi-SAR X3 等によって取得・蓄積された観測データの公開を進め、地震・火山災害の研究や解析技術開発に再利用可能なリモートセンシングデータ基盤の整備を進めた。

これまでに整備された富士山等の火山地質図、20 万分の 1 日本火山図、雌阿寒岳・草津白根山等の火山基本図、浅間山・箱根山等の火山土地条件図、糸魚川－静岡構造線断層帯・濃尾断層帯等の活断層図に加え、プレート境界デジタルデータ、日記史料有感地震データベース、臨時 GNSS 観測データ、地震活動解析ソフトウェア等の公開・共有を継続した。これらの多様なデータベース・データ・ソフトウェアは、長期間にわたる地震・火山現象の比較・解析、新たな解析手法の適用、異なる研究分野間でのデータ統合を可能とする研究基盤として利用されている。

東京大学地震火山史料連携研究機構により、歴史地震・歴史噴火に関する資料については個別の史料データベースの整備に加えて、文献史料、考古資料、地質情報等の異なる分野の情報を横断的に利用するためのデータベース及びコミュニティカタログの構築が進められた。これにより、長期的な地震・火山活動履歴を分野横断的に検討するための研究基盤の拡充が図られた。

③今後の展望

関係機関が整備・維持している基盤的観測網は、本観測研究計画の推進をはじめ、我が国の地震・火山防災施策に必要不可欠なインフラであり、そのデータは国内外の研究者にも広く利用されている。高感度地震観測、強震観測、広帯域地震観測、海底地震・津波観測、GNSS 連続観測、火山観測等について、長期間にわたり均質で高品質なデータを取得し続けること自体が極めて重要である。一方、地火協の定常観測点 WG 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の実施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が課題として明確になった。観測施設・機器の老朽化、通

信・計算基盤の更新，人員・運用経費の確保を長期的視点から検討し，既存観測網を安定的かつ持続可能な形で維持・更新するとともに，新たな観測研究を展開できる余力を確保する必要がある。

観測密度が十分でない地域，特に海域や火口近傍等の観測困難地域では，引き続き観測空白を縮小する取組が必要である。一方で，限られた人的・財政的資源の下では，単純に観測点数を増加させるのではなく，各機関が維持する観測点の役割や長期データとしての価値を共有しつつ，既存観測網をより効率的に運用する視点が重要である。固定観測と機動観測，陸域と海域，現地観測と衛星・航空機・無人機観測を効果的に組み合わせるとともに，大地震や火山噴火発生時に迅速に臨時観測を展開できるよう，共用機材，人員，輸送，通信，データ流通までを含めた機動観測体制を平時から維持する必要がある。

海底観測，GNSS-A，海底圧力・傾斜・電磁気観測，無人海上プラットフォーム，衛星・航空機 SAR，無人航空機，火山ガス・比抵抗・宇宙線観測等，新たな観測技術の開発・実用化を継続する必要がある。特に，観測の自動化・省力化，低消費電力化，長期連続化，リアルタイム化を進めることにより，従来は継続観測が困難であった場所・現象を研究対象に含めることが期待される。一方，定常観測点 WG では，国内の観測機器メーカーの衰退も観測基盤の持続性に関わる深刻な課題として指摘されている。観測装置や部品の安定的な調達，保守・修理，技術継承を含め，研究機関とメーカー等が連携して観測技術を長期的に維持・発展させる取組が必要である。新技術については，従来観測との整合性や測定精度を十分に検証し，長期データの連続性を確保しながら導入することが重要である。

観測データの急速な大容量化・多様化に対応するため，数理学，情報科学，計算科学との連携をさらに強化する必要がある。機械学習等による自動処理・イベント検出・品質管理，大規模数値シミュレーション，データ同化等を高性能計算環境と結びつけ，観測から解析・現象把握・予測までの時間を短縮することが期待される。一方で，解析アルゴリズムの再現性，精度評価，学習データの品質等を担保し，研究成果を長期的に検証可能な形で残す仕組みも必要となる。

データ流通については，JDXnet 等の既存システムを安定的に維持しながら，観測機器・観測項目の増加，データ量の増大，通信技術の変化に柔軟に対応する必要がある。災害時の通信障害や急激なトラフィック増加を想定した冗長化・分散化，蓄積・再送機能，バックアップの強化を進めるとともに，新たな標準プロトコルやクラウド・高性能計算環境との連携を検討する必要がある。地震波形だけでなく，GNSS，地殻変動，火山，海域等の多項目データを機関横断でリアルタイムに利用できる環境をさらに発展させることが望まれる。

データベースについては，活断層，津波堆積物，地殻応力，火山地質，火山基本図・土地条件図，歴史地震，プレート境界等の各種データベースを継続的に更新し，長期的な利用を保証することが必要である。加えて，観測データだけでなく，解析結果，共通構造モデル，ソフトウェア，調査資料等を適切なメタデータとともに保存し，FAIR 原則も意識しながら再利用可能な形で公開する仕組みを充実させることが重要である。特に，長期観測データは一度中断・喪失すると後から再取得できないため，観測の継続とデータの保存・公開を一体として支える体制を確保する必要がある。DOI 等の永続的識別子の付与を拡大し，データ作成・維持に携わる研究者・技術者の貢献が適切に引用・評価される仕組みを整えることも，観測研究基盤を持続させる上で重要である。

観測基盤の整備からデータ流通，アーカイブ，データベース，解析ソフトウェア，高性能計算環境までを個別に整備するのではなく，「観測—流通—解析—蓄積・公開—再利用」を一体のオープンな研究基盤として設計・運用する視点が一層重要となっている。研究計画や個別プロジェクトの終了後も持続可能な基盤とするため，技術面だけでなく，観測点の維持・更新方針，運用主体，費用負担，データポリシー，人材配置，観測機器・部品の安定的な供給等を含む制度設計が必要である。そのためには，大学，気象庁，防災科学技術研究所等の関係機関が観測基盤の現状と将来像を継続的に共有し，個々の機関・課題を越えて中長期的な方針を検討する枠組みが重要である。また，観測・データ基盤を包括的にディレクションできるデータサイエンス・研究基盤の専門人材を確保・育成するとともに，観測基盤の維持・整備やデータ公開に携わる研究者・技術者のインセンティブを確保することが重要である。

観測研究基盤の継続的な開発・整備なくして，本観測研究計画のみならず，我が国の地震・火山調査研究及び防災施策を持続的に進めることは困難である。今後は，限られた資源の中で既存の観測網と長期観測データを確実に継承することを基礎としつつ，予察的・挑戦的な観測研究を可能と

する環境を維持し、新しい観測技術、情報科学、データ共有・公開の仕組みを積極的に取り込む必要がある。観測点、観測機器、人材、データ及びそれらを支える技術を一体として次世代へ継承し、国内外の研究者が利用できる持続可能で発展性のある観測研究基盤を構築していくことが求められる。

（２）推進体制の整備

②実施状況と成果

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を踏まえた計画の推進に努め、学術的な研究の動向にも配慮しつつ、各年次の全体計画の立案、進捗の把握、取りまとめを行い、各年度の観測研究の成果を年次報告「成果の概要」として公表している。また、計画の進捗と成果について地震本部や火山本部と情報交換し、将来を展望した新たな地震や火山調査研究の方針を示すために策定された「地震調査研究の推進について―地震に関する観測、測量、調査及び研究の推進についての総合的かつ基本的な施策(第3期)―」と「火山調査研究の推進について―火山に関する観測、測量、調査及び研究の推進についての総合的かつ基本的な施策―」の整合性を確認している。さらに、行政機関や地震本部・火山本部等の関係機関との技術的・制度的な連携を進め、観測研究計画による研究成果や観測・解析技術が災害軽減に貢献できるよう、災害・防災対策に係る行政や社会のニーズを踏まえ、計画を推進している。

地火協は、観測研究計画に参加するすべての機関からの委員により構成され、密接に情報交換をしながら計画を推進している。予知研究協議会には企画部が設置され、専任教員が研究の進捗状況の把握や研究者間の連絡調整に従事している。また、企画部は大地震や火山噴火発生時に、臨時観測を含む緊急の研究計画の立案を行っている。企画部内の戦略室では、観測研究計画全体の方向性について検討し、研究成果の取りまとめを行っている。地火協には研究内容で分類した8つの計画推進部会を設置し、すべての研究課題はいずれかの計画推進部会に所属し、情報交換を行いながら研究を進めている。研究者間の連携及び情報共有を図るため、計画推進部会やそれに属する研究課題、分野をまたがる総合研究グループごとの研究集会を単独または合同で随時実施している。年度末には地火協主催で成果報告シンポジウムを開催し、観測研究計画全体の進捗状況を確認するとともに、情報交換を行っている。また、観測研究体制の強化と研究の加速を図るため、新たな研究機関の参画も進み、研究分野・機関の広がり確保しながら計画を推進している。こうした研究集会や成果報告シンポジウムは、個別課題の成果を計画全体で共有し、異なる研究分野・機関の研究者が相互に成果や課題を把握する機会として機能している。

災害科学として重要であり分野横断で行うべき総合的研究6つの柱が設定されており、地火協は、担当者へのヒアリングの実施や予算上の配慮をおこなうことにより、それらの研究をサポートしている。総合的研究については次節で詳しく述べる。

地震学・火山学の研究成果を災害軽減につなげる目的で、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科学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実施している。地震研究所と防災研究所が共同で設置した拠点間連携共同研究委員会において重点推進研究のテーマを設定するとともに一般課題研究の審査を行い、観測研究計画の方針に沿った研究を推進している。対象期間には、巨大地震のリスク評価に含まれる不確実性を扱う研究など、地震・火山科学と災害リスク研究を結びつける課題が継続して実施され、災害軽減を意識した分野横断的研究の推進に寄与した。具体的には、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が継続して実施され、理学的な地震研究と防災研究を横断する共同研究が進められた。

国土地理院が事務局を担当する地震予知連絡会は、モニタリング手法の高度化に資する役割を担うため、年4回定期的に会議を開催し、地震活動・地殻変動などに関する関係各機関のモニタリング結果の情報共有とそれに対する意見交換を行っている。また、注目すべき地震や地震予知研究における重要な問題などを「重点検討課題」として集中的な検討を行っている。重点検討課題の一つとして、地震活動の予測手法の現状について議論を行った。

国土地理院による GEONET 等のモニタリングでは、地震に伴う地殻変動に加えて、四国中部や紀伊半島西部・四国東部、九州南部におけるプレート間ゆっくりすべりや、硫黄島・桜島周辺の火山活動に伴う地殻変動が検出され、その結果が地震調査委員会や火山噴火予知連絡会等へ報告された。このように、定常的な観測研究の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た。

気象庁が事務局を担当する火山噴火予知連絡会は、2024 年 11 月に終了するまで、火山防災や火山噴火予知研究の推進に資する役割を担うため、定例会において全国の火山活動の総合的な評価を実施した。定例会の検討結果は報道発表を行うとともに、気象庁の「火山の状況に関する解説情報」で発表、気象庁ホームページでも公表した。火山調査研究推進本部が設置された 2024 年度からは、火山調査委員会における火山の総合的な評価に資するため、気象庁は同委員会に観測成果の報告を行っている。さらに、火山の評価結果を各地の火山防災協議会にも提供して防災・減災活動を支援している。この体制移行により、従来の火山噴火予知連絡会を中心とした情報共有・評価の蓄積を踏まえつつ、観測研究の成果を国としての火山調査研究と火山活動評価に結びつける新たな枠組みが整備された。火山活動が活発化した際にも、大学・研究機関等の観測成果を集約し、最新の研究成果を踏まえて活動評価を行う枠組みが維持されてきた。

③今後の展望

災害軽減に著実につながる研究成果を得るためには、地震・火山災害軽減のための課題を整理した上で、研究成果が災害軽減につながるまでの道筋を明確に意識して研究を進める必要がある。そのためには、地震・火山災害軽減のための課題に直面している地震本部や行政機関等のみならず他省庁や工学分野と連携し、課題の抽出や研究成果の活用についての情報交換を行い、基礎研究の成果を発展させた応用研究・開発研究の可能性や成果の社会実装について引き続き検討すべきである。地震本部が策定した基本施策で定められている当面 10 年間に取り組むべき地震調査研究との整合性を意識して研究を実施することで、観測研究計画から得られる基礎研究の成果がそれらの調査研究の進展に貢献することが期待される。同様に、火山調査研究推進本部が策定した基本施策との整合性も意識し、観測研究計画で得られる基礎研究の成果を火山に関する調査研究や防災施策へ効果的に反映するとともに、行政・防災上の課題を研究側へ還元する双方向の連携を強化することが重要である。

地火協は、計画参加機関が連携して効率的に計画を推進するために適切に機能しているか絶えず確認しつつ、計画参加機関の意向を踏まえて観測研究が実施しやすい推進体制の維持（と高度化？）が必要である。企画部戦略室を中心に、合同研究集会などの分野間連携のための企画などを行うとともに、総合研究グループの位置づけを明確にすることによって分野間連携をより推進しやすい体制を整えており、災害軽減を意識した研究成果の創出が促進することが期待される。また、大地震・火山噴火発生時の緊急の研究計画の策定は、予算面の対応も含め、企画部を中心に迅速に行われている。今後も、関係機関との連携をさらに緊密にして観測研究計画を協議し、計画の有効な推進を図ることが重要である。特に、大地震や火山活動の活発化等に際して、参加機関が迅速に情報を共有し、必要な観測・研究を機動的に実施できる体制を平時から維持・検証していくことが求められる。

東京大学地震研究所と京都大学防災研究所の拠点間連携共同研究は、拠点間連携共同研究委員会で決定された方針に従い、効率的に実施されている。地震発生・火山噴火が災害誘因となる事象を含む災害に関して共同研究を推進し、複合学術領域としての地震・火山噴火に関する災害科学の発展のために、拠点間連携共同研究を継続する必要がある。「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）」までの間に、地火協と直接関わりがなかった研究者・研究機関が拠点間連携共同研究を通じて災害軽減を目的とした研究課題に取り組んで多くの研究成果を出している一方、地震研究所をはじめ「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画」よりも前の計画から参画している研究者の積極的な関与が課題である。今後は、拠点間連携共同研究で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設定を行う仕組みを充実させることが望まれる。

地震予知連絡会は、地震活動・地殻変動などに関するモニタリング結果や地震の予知・予測のための研究成果などに関する情報交換を行うことにより、モニタリング手法の高度化に資する役割等を引き続き担うことが重要である。

（３）関連研究分野との連携強化

②実施状況と成果

研究分野間の連携を進めて地震・火山研究の成果を災害軽減に役立てるために、理学、工学、人文・社会科学などの関連研究分野間の相互理解に努め、連携をより一層強化した。歴史学・考古学との連携は前計画に引き続いて強化が図られており、近代観測以前に発生した地震・火山も含めて低頻度大規模地震・火山噴火現象の規模、発生頻度、発生機構等を明らかにするための研究がすすめられてきた。これまでに、相模トラフの巨大地震（関東地震）の発生確率推定などの成果につながっている。また、近年発展の著しい数理学・情報科学・計算科学等の分野との連携も進められた。個別の研究課題にもこれらの分野の研究者が参画しており、地震連続波形データから地震関連現象を系統的・網羅的に検出する技術が開発されるなどの成果が得られている。文部科学省が主導する「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。令和7年度まで）」及びその後継の「情報科学を活用した地震活動・地震動評価技術の高度化（STAR-E NEXT プロジェクト）」や「火山ハザード対策に向けた研究・人材育成プロジェクト（V-LEAD プロジェクト）」とも有機的に連携することで、本計画における基礎研究の効果的な推進と発展が図っている。

本計画内に設けられた部会やグループ相互の連携を進めるため、各種イベントが開催された。6つの総合研究グループ間の連携強化を進めるため、日本自然災害学会学術講演会においてスペシャルセッションを開催し、分野横断型の総合的研究の6つの課題間での情報や問題を共有するとともに、共通の課題の解決に向けた課題間連携の必要性を参加者間で確認した。この講演会には本計画に参加していない災害科学研究者も多数参加していたため、計画関係者のみで閉じることなく幅広い情報共有が実現された。また、高リスク小規模噴火総合研究グループと史料・考古計画推進部会との合同勉強会を開催し、人文地理学の専門家による巡検も行われた。近年の歴史資料オンラインデータベース化により、火山に関する未調査の絵図等が多数確認されていることが認識され、その成果の一部は論文として公表された。

組織間連携を進めるため、地火協には、現行計画の開始に合わせ、地域防災に関わる機関を含む6機関があらたに参加した。これによって、文理融合研究が一段と拡充された。地震火山研究協議会が設置されている東京大学地震研究所には、地震・火山災害の軽減にむけての産学官連携を進めるための教員ポストが現行計画開始と同時に設定された。官庁より派遣された1名がこのポストについており、本計画から生まれる研究成果を気象庁・国土地理院などの業務に反映させるとともに、これらの現業機関のニーズを研究計画にフィードバックすることで、本計画の災害軽減に向けての実効性向上に貢献している。

③今後の展望

前々計画、前計画から進めている関連分野との連携強化は着実に実を結びつつある。理学のみで閉じていた過去の研究計画と比べて、わかりやすい形で地震火山災害の軽減につながる成果を創出していることは明らかであり、この方針を続ける意義は大きい。一方で、研究ネットワークの拡大に伴い組織や計画が複雑化し、予算や人員が限られる中で作業コストが増大していることも無視できない。多様性を持たせたいうえで、本研究を長期にわたって持続して推進し発展させるためには、今後、拡大と連携の在り方を再検討する必要もあるかもしれない。

（４）国際共同研究・国際協力

②実施状況と成果

大学や研究機関は、日本と同様に沈み込み帯での地震活動、火山活動が活発な海外の諸国を中心として国際共同研究を実施した。前計画までに形成された研究者間・機関間の連携を基盤として、海外での調査・観測やデータ解析に加え、長期観測網の共同運用、観測機器・データ・解析技術の共有、現地への技術移転や防災研究への展開を進めた。特に、ニュージーランド、メキシコ、台湾、

中国、韓国、インドネシア、南アフリカ、トルコ等において、地震学、測地学、電磁気学、地球化学、地質学及び防災科学にまたがる共同研究を行った。

大学は、津波地震とゆっくりすべりの発生場であるニュージーランドのヒ克蘭ギ沈み込み帯において、ニュージーランド及び米国の研究機関と、海域地球物理観測を継続した。取得したデータから、スロースリップイベントに伴う微小地震、低周波地震、テクトニック微動及びスラブ内地震活動を解析し、機械学習やテンプレートマッチングを用いて、定常観測網では十分に捉えられなかった微小な活動を明らかにした。さらに、スロースリップイベント後に沈み込んだ海山近傍でスラブ内地震活動が活発化したことを示し、プレート境界のゆっくりすべりが周辺の応力状態に影響を及ぼすことを明らかにした。南島では、複雑な断層系で発生した 2016 年カイコウラ地震後の地震活動や応力場の研究を継続するとともに、アルパイン断層沿い約 450 km に稠密地震観測網を展開し、微小地震活動、流体の関与、断層状態及び強震動に関する研究を進めた。その結果、微小地震活動及び応力場の不均質と、地震破壊の区間境界との関係が明らかになった。一部の観測機器の管理・運用を現地側へ移行するなど、観測基盤の現地定着も進めた。

大学は、メキシコ・ゲレロ地震空白域において海底地震・測地観測を継続し、浅部スロー地震、テクトニック微動及び海溝付近の地震活動を解析した。海底地震計記録と海底下音響探査を統合し、含水未固結堆積層に起因する低速度・高減衰構造や観測点増幅特性を定量化するとともに、海溝付近の地震が長い震源継続時間と小さな規格化エネルギーを有するなど、津波地震と共通する性質を示すことを明らかにした。メキシコ、ペルー、エルサルバドル等との連携では、防災教育やリスクコミュニケーションを通じ、研究成果を現地の地域防災へ還元する取組も進めた。

大学は、南アフリカの大深度金鉱山において、震源断層掘削、掘削コア解析、孔内検層、微小地震観測及び三次元反射法地震探査を組み合わせ、震源近傍の試料採取と高分解能観測を実現した。精密に再決定した余震分布と地下地質構造との対応から、地質構造の不均質が地震発生を規定していることを明らかにした。また、トルコの東アナトリア断層系では、地震時変位量と活動履歴を調査し、長大活断層の連動破壊に関する知見を、日本の中央構造線断層帯等における地震規模や発生様式の評価へ結び付ける比較研究を進めた。

大学は、台湾、中国、韓国及びイタリア等との共同研究により、地震電磁気衛星、GNSS による電離圏全電子数、イオノゾンデ、地磁気、孔内ひずみ、衛星熱赤外及び超伝導重力計等の多項目データを解析した。地震に伴う電離圏変動や先行現象候補の事例解析と統計的評価を進めた。

大学は、インドネシアのメラピ火山、ケルト火山等において、地震、地殻変動及び噴出物等のデータに基づく火山活動推移モデルの構築を進めた。さらに、日本で開発した火山防災教材を現地の社会・教育環境に適合させるため、現地関係者への聞き取りや教材の試作を行い、理学的研究から防災教育への展開を図った。桜島では、ハンガリー、イタリア、英国、チリ等の研究機関との共同により、宇宙線ミュオグラフィ、衛星 SAR、火山ガス及び地殻変動を統合し、火道内部の密度変化と噴火活動との関係性を評価した。

地震・火山観測データの国際化及び情報科学技術に関する国際交流も進んでいる。海外の定常・臨時観測網のデータと日本側が取得した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・共有が進められた。共同観測で取得したデータを論文や国際会議で公表するだけでなく、観測機器の現地管理、データ処理技術の移転、国際ワークショップやオンライン会議を通じた情報共有により、現地機関が継続的に観測・解析へ参画できる体制の構築が進められた。

気象庁は、国際地震センター、米国地質調査所、包括的核実験禁止条約機構、米国大学間地震学研究連合及び近隣国等との地震観測データ交換を継続した。また、東京航空路火山灰情報センター及び北西太平洋津波情報センターの国際協力業務として、航空路火山灰情報及び北西太平洋地域の各国に対する津波情報を提供した。

国土地理院は、国際 GNSS 事業の解析センターとして精密暦を継続的に提供し、国際基準座標系の維持及び GNSS 解析精度の向上に貢献した。また、国際 VLBI 事業の観測計画に基づく国際協働観測と全球解析を実施した。海外で発生した大地震については、衛星 SAR による緊急解析を行い、地殻変動情報を公開した。

海上保安庁は、下里水路観測所において国際レーザー測距事業に基づく衛星レーザー測距観測を継続し、観測データを国際的に提供した。これにより、日本周辺を含む広域的なプレート相対運動の把握及び国際地球基準座標系の維持に貢献した。

産業技術総合研究所は、トルコ等の海外研究機関との共同により、長大活断層系の地震時変位量及び活動履歴に関する調査を進め、国外の断層系から得られた知見を国内活断層の運動性評価へ活用した。

大学や研究機関は、海外との情報共有を進めるため、国際シンポジウム、研究集会、国際セッション及びオンライン会議を企画・開催するとともに、海外研究者の招聘や研究者・学生の相互交流を通じて、国際共同研究の促進と人材育成を進めた。また、海外の研究機関や防災関係機関と共同して観測・解析を実施し、観測機器の整備・運用、データ解析及び防災対応に関する技術や知見を共有するとともに、国際共同観測で得られたデータや解析結果を地震・火山現象の国際比較に活用した。このように、本計画では、海外での調査・観測やデータ利用にとどまらず、長期観測網の共同運用、観測機器の共同整備・再配置、異なる観測手法によるデータの統合等を通じて、継続的かつ双方向的な国際共同研究が進展した。

③今後の展望

国内だけでなく海外で発生する地震・火山噴火や、それらに伴う災害に関する知見を幅広く集約し、比較検討することは、発生頻度の低い地震・火山現象の特徴や多様性を把握し、災害研究を進める上で重要である。本計画期間には、新型コロナウイルス感染症の流行、国際情勢の不安定化、航空運賃・輸送費の上昇や円安の進展等により、海外での観測・調査、研究者の往来、観測機器の輸送及び国際研究集会の開催が大きな影響を受けた。こうした状況においても、現地研究機関との役割分担、オンライン会議、現地研究者による観測機器の整備・運用、観測データの共有等を組み合わせることにより、国際共同観測や研究交流を継続した。ここで得られた経験を生かし、機関間の協力関係と人的ネットワークを維持しながら、国際環境の変化に柔軟に対応できる持続的な国際共同研究を進めることが望まれる。

地震・火山現象の研究に加え、観測・解析から得られた知見を、各地域の防災対応や防災教育へ結び付ける取組をさらに進めることが重要である。本計画では、海外の研究機関や防災関係機関との連携を通じて、災害事例や観測・解析技術の共有が進められたほか、日本で開発した火山防災教材を現地の社会・教育環境に適合させる取組など、研究成果を地域の実情に応じて活用する試みも進展した。今後は、国内外の災害対応に関する知見を、研究者だけでなく行政機関や防災関係者とも共有し、それぞれの地域で活用可能な知見として蓄積することが望まれる。このような取組は、国際共同研究の成果を現地社会へ還元するとともに、日本における災害対応の改善にも資するものである。

（５）社会への研究成果の還元と防災教育

②実施状況と成果

各実施機関は、本計画で得られた新しい知見や研究成果を社会に還元し、社会との共通理解の醸成を図るために、講演会やシンポジウム、地域の防災活動支援といった地震・火山噴火現象及び関連災害に関するアウトリーチ活動を継続的に実施した。また、社会や組織、地域におけるリスクの正しい理解に基づく対応・対策へ展開するため、リスク・コミュニケーション活動にも積極的かつ組織的に取り組んだ。また、新しい情報技術や多様なメディアを活用し、地震・火山噴火の予測研究の現状や、最新の研究成果、地震・火山災害に関する基本的な知識等を社会に効果的に発信した。

地火協は、第3次計画を支える8つの計画推進部会の紹介に加え、本計画の特徴である6つの総合研究グループに焦点をあて、研究のアプローチや重要ポイントを説明するパンフレットを作成し、広報活動に活用した。また、東京大学地震研究所広報アウトリーチ室と共同で、報道関係者等を対象とする地震・火山噴火予測研究のサイエンスカフェを開催するなど、地震・火山噴火の予測研究や研究活動の現状を社会に広く理解してもらうための取り組みを継続的に行った。

大学は、地震・火山噴火の科学的な知見、最新の研究成果を理解し、防災・減災にかかる取り組みに活かしてもらうために、小中高生、地域住民、行政等の防災に携わる各主体に対して、公開講義やセミナーなどを行ったほか、報道関係者向けの情報共有・懇談の場を開催した。さらに、各メディアでの解説や広報誌での情報発信、ジオパーク活動など、幅広くアウトリーチ活動を実施した。

気象庁は、関係機関と連携し、地域の状況にあった様々な手段を用いて地震・津波及び火山に関する知識や防災行動についての普及啓発に継続的に取り組み、基本的な知識や防災行動に関する知識の普及に貢献した。具体的には、地方自治体等と連携した防災訓練への助言・協力、報道機関と連携した防災番組への協力、火山防災協議会を通じた普及・啓発などを行った。

③今後の展望

専門性の高い学術研究への社会の理解の困難性に対し、社会側の実情を理解し、適切な場・手法・コンテンツをもって社会に成果を還元することは、広く理解されるとともに高く評価されている。特に、情報発信の主体となる報道機関に対しては、新しい知見の正確な理解と、各情報の適切な活用を着実に推進するために、サイエンスカフェに代表されるような、科学的知見を共有し、理解を深める場を継続的に運用することが重要である。さらには、防災関係者、地域の防災の担い手や市民など幅広い主体に対して、公開講義やセミナー、ワークショップなどを開催し、継続的に社会発信・社会還元を行うことが望まれる。

社会への知見の還元においては、防災リテラシーの向上にかかる計画推進部会があることから、同部会を中心とした合理的な知識の体系化と効果的な手法を用いることが必要である。特に、各機関が得た研究成果を防災リテラシーの知識体系の中に位置づけ、関連性を理解し、社会的期待に応じて提示できる枠組みを検討する必要がある。また、様々な情報技術を利用した共通基盤を通しての社会還元を推進するとともに、多様な主体や場に応じた効果的な防災教育のあり方を体系立てて整理し、実践的で標準的な型を追求することも重要である。さらには、災害事例を通じた検証を可能とする枠組みを整え、社会還元や防災教育の効果測定と、改善・強化策の検討が循環することで、社会全体の防災リテラシーが継続的に向上することが重要である。そのためにも本計画に関わるすべての機関が相互協力する体制を維持し、推進することが望まれる。

（６）次世代を担う研究者、技術者、防災業務・防災対応に携わる人材の育成

②実施状況と成果

大学や研究機関は、次世代を担う若手研究者や技術者、防災業務・防災対応に携わる人材を継続的に育成するため、それぞれにおいて若手教員や研究員等の専門職ポストの確保・充実の努力、情報収集や交流を通じた多様なキャリアパスの開拓、幅広い知識やスキルの教育、大学院進学者を増やす活動など、長期的な視点に立った取組を幅広く行った。また、本計画に参画する大学や国の研究機関、行政機関は、計画の推進にあたり自治体等との連携や成果の共有・還元を通じて、防災行政に携わる人材の育成・確保にも貢献した。地震・火山等の専門教育を受けた修士課程・博士課程を修了した学生は、大学、国立研究開発法人や気象庁などの研究職、専門職のみならず、行政機関、自治体、コンサルタント業界等へも就職しており、社会や防災行政に携わる場も就職先の選択肢として定着しつつある。また、行政機関や自治体職員、ジオガイド等を対象とした防災リテラシー向上のための専門的・実践的な教育・研修の場を設けることにより、専門知識を持った人材育成も行われている。さらに、高校生を対象とした研修・研究活動を行うなど、若年層の防災人材育成にも貢献した。専門技術についても、全国の大学等に勤務する地震火山観測に従事する技術職員を対象に職員研修会を毎年実施し、これらの技術職員の技能の向上を通して、全国における地震火山観測研究の発展に貢献している。東京大学地震研究所・気象庁・防災科学技術研究所の観測業務に従事する職員間では、地震・火山観測業務に係る情報共有会を毎年開催している。

火山研究分野においては、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（V-LEAD）」等とも連携し、次世代の火山研究者の育成が進んでいる。参画する大学や研究機関は、火山研究者を志す全国の大学院生に対して実習や講義など、総合的な教育メニューを提供し、若手育成に取り組んでいる。

地火協（旧 地震・火山噴火予知研究協議会）でも各年度 1～2 名の特任研究員を雇用しており、その後の大学や研究機関への就職につながるなど、人材育成の一端を担っている。観測研究計画の成果を公表する成果報告シンポジウムを毎年開催し、地球科学の専門家の研究推進や、防災業務の改善、次世代の研究者育成に資する情報を提供している。シンポジウムには、多くの研究者、学生、

関係者、一般の参加があり、成果の共有が行われている。特に、次世代の研究者育成の一環として、参加旅費の支給を通じてシンポジウムへの学生の参加を積極的に支援し、地震・火山観測研究が災害の軽減に果たす役割への理解等を深めることに努めている。また、大学の地震等定常観測点の将来像を検討するための「定常観測点検討ワーキンググループ（定常観測点 WG）」を設置し、大学・気象庁・防災科学技術研究所等が維持している定常観測点の現状に関する情報交換を行っている。今後の定常観測に関する検討を進めるなかで、大学や関係機関において観測研究を企画する研究者が減少していること、観測研究に関わる人材の不足により技術継承や観測計画の立案や観測網の設計を担う人材の育成が困難となっていることを体系的に整理した。これにより、今後の人材育成や体制整備の重要性を再確認するとともに、その必要性が明確化された。

③今後の展望

大学や研究機関はそれぞれが若手教員や研究員等のポストの確保に努めている。地火協でも、数としては多くはないものの、前計画から継続して特任研究員を雇用できる予算を確保し、大学や研究機関における研究者としてのキャリア形成を支援する役割の一端を担っている。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。一方で、大学院において地震・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、省庁の研究職や専門職へ就職する者ばかりではなく、行政機関や自治体、コンサルタント会社等に就職し、防災に携わる立場になる者もいる。こうした現状を踏まえて、大学においては、より多様な観点に立った教育や、キャリアパスの多様な選択肢の提示などを通じて、地震・火山観測研究に関わる人材を増やし、分野全体の裾野を広げる努力が必要である。また、行政機関や自治体職員等を対象とした専門的・実践的な教育は、我が国全体の防災リテラシーの向上に大きく貢献することから、博士課程への受け入れも含め、こうした教育機会の提供を今後ますます充実させる必要がある。

火山分野においては、平成 28 年度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が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、毎年の成果報告会には多くの受講生が参加している。このような関連事業とも引き続き協力し、特に若手の人材育成を促進することが重要である。