

### 3. 顕著な地震に関して得られた重要な成果

#### 3-1. 大阪府北部の地震

2018年6月18日7時58分に、大阪府北部の深さ13 kmでマグニチュード(M)6.1の地震が発生した。この地震により大阪府の複数地点で最大震度6弱を観測し、人的被害・構造物被害を伴った。震源過程に関する理解を深めるため、強震動記録の解析、震源の再決定、余震の追加検出及び活動解析を実施したところ、破壊は北北西-南南東走向の東側傾斜(約45度)の逆断層\*(断層面F1)で最初に生じ、約0.3秒後に東北東-西南西走向の高角傾斜の横ずれ断層\*(断層面F2)に乗り移り、その後は同時に断層運動が起きていたことが明らかになった(図13)。断層面F2では、南西の浅い側に向かって破壊が伝播していたこともわかった。今回の地震は、有馬-高槻断層帯の数km南側に平行して存在する微小地震の線状配列の東の延長で発生した。断層面F2はこの線状配列の走向と整合的で、且つ、地表に明瞭な痕跡は現れていないため伏在断層の一部(伊丹断層の東部延長)が活動したと考えられる。1987年には、上記の線状配列に沿って右横ずれ型の地震( $M_{\text{JMA}}4.2$ )が起きている<sup>[1903]</sup>。一方、断層面F1と上町断層帯(活断層)の深部延長との詳細な関係は不明であるが、断層面F1の滑りが上町断層帯などの東側傾斜の逆断層に与える応力変化を計算したところ、断層運動を促進する方向に約0.1MPaの応力変化を引き起こしたことがわかった。水平圧縮応力場が卓越する近畿圏においては、逆断層と横ずれ断層が同時に活動することで、1つの地震になる場合があることが示された。地震ハザード評価において2つのタイプの断層の連鎖的破壊も考慮することが今後必要である。また、震源域の北部延長では、地震活動が遅れて活発化しており、その領域の背景地震活動度は時間とともに徐々に増加する傾向を示した。このことは、本震によって震源域の北部延長(地殻内)で非地震的な変形が引き起こされた結果だと解釈できる。

この地震では、北東から南西方向に沿う震度5強以上の強い揺れに加えて、複雑な後続波が観測された。観測された大阪平野の3次元地震波速度構造モデルを用いた強震動シミュレーション(周波数2Hzまで)を行ったところ、上記の震度分布や複雑な後続波の生成は、2つの断層面での破壊過程と大阪盆地北部の地盤構造が主な要因であることが示された。特に、堆積層内の多重反射波や、盆地端部及び平野下の活断層における基盤段差構造によって生じる表面波が複雑な後続波の要因になったと考えられる<sup>[1911]</sup>。大阪平野の3次元地震波速度構造モデルの妥当性が確認され、地震動の事前評価手法や即時予測手法の高度化に繋がる成果である。

人的被害としては、関連死を含めてこの地震による死者は6名であった。うち2名は倒壊したブロック塀の下敷きに(高槻市と大阪市東淀川区)、3名は家の中でたんすまたは本棚(もしくは大量の本)の下敷きに(高槻市、茨木市、大阪市東淀川区)、1名は持病の悪化(箕面市)が原因である。建物の構造的被害による死者はいない。いずれの被害も震央より南西方向の大阪府内に集まっていることがわかる。大きな加速度が観測されたにもかかわらず、建物の構造的被害が少なかったが、これは強震動の卓越振動数が3Hz程度と建物の固有周期よりも有意に短く共振がほとんど起きなかったためと推定される。一方、屋根瓦など一部損壊の被害が多く、復旧に時間を要している。大都市域の直下で発生した地震であったため、震度5強以上地域内人口が比較的多く、公共交通機関の運転見合わせやライフラインの停止及び復旧までに時間を要したことによる大きな影響があった。このように、例えばマグニチュードがM6程度であっても、都市部で一定以上の揺れになる場合は、日常生活に支障を来すことが明らかとなった。このような地震が発生する頻度は、M7以上の大地震が発生する頻度に比べて約10倍高く、早期復旧のための点検・修理方法を検討することは喫緊の課題であると考えられる。

## 2018年大阪府北部の地震の震源断層モデル

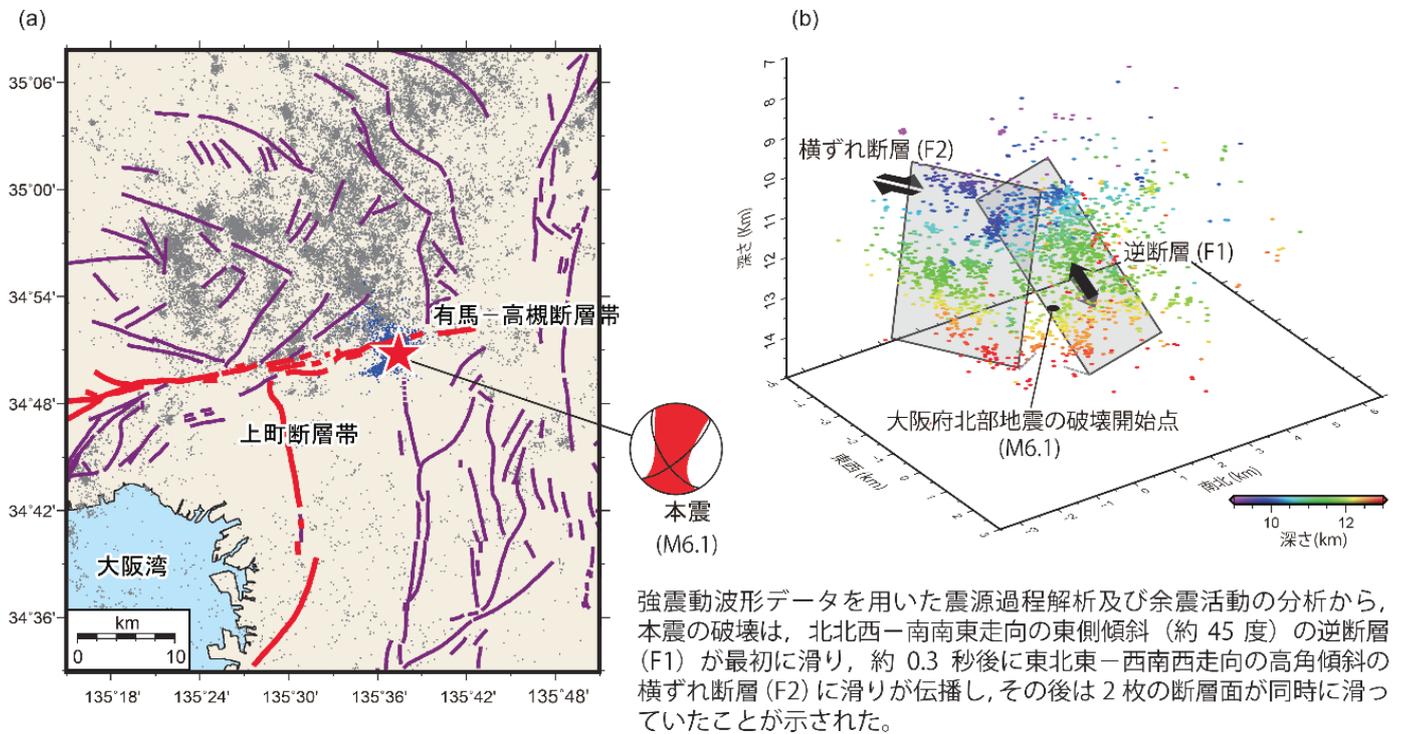


図1.3 . 2018年大阪府北部の地震の震源断層モデル

(a)大阪府北部の地震（2018年6月18日，M6.1）の震央と、活断層の分布を示す。灰色の点と青色の点は、それぞれ大阪府北部の地震の発生前と発生後の地震活動の分布を表す。上町断層帯と有馬高槻断層帯を赤い太線で示す。(b) 大阪府北部の地震の震源断層モデル。色のついた点は、大阪府北部の地震の余震分布を表しており、色は深さに対応する。逆断層（F1）と横ずれ断層（F2）に対応する面状の分布が確認される。

### 3-2. 平成 30 年北海道胆振東部地震

2018 年 9 月 6 日午前 3 時過ぎ、北海道胆振地方中東部を震源とする平成 30 年北海道胆振東部地震が発生した。この地震のマグニチュードは 6.7、深さは 37km と、陸域で発生する地震としては非常に深かった。厚真町鹿沼で震度 7 を観測したほか、安平町追分の K-NET 追分観測点で 1,796 ガル（三成分合計）の最大加速度を記録するなど、北海道中南部を中心に広範囲で強い揺れを観測した。震央から約 70km 離れた札幌市東区でも震度 6 弱となった。震源距離が 50km 以内の観測点では、一般的な距離減衰式よりも大きな最大加速度が記録されている（Dhakal et al., 2019）。

この地震では、震源に近い厚真町を中心に同時多発斜面崩壊が発生した。今回の地震では 41 名の直接死の人的被害が出たが、うち 36 名は厚真町で発生した斜面崩壊による。震源に近い石炭火力発電所の損傷を発端とした電力供給の不安定が発生し、地震発生約 18 分後には北海道全域が停電となるブラックアウトが発生した。木造家屋の被害が集中したむかわ町市街では、地盤の影響で周期 1.5 秒程度の地震波が増幅されたことが明らかにされている（Takai et al., 2019）。札幌市内では、谷埋め盛り土の軟弱地盤が原因と考えられる大規模な宅地の液状化が発生した。

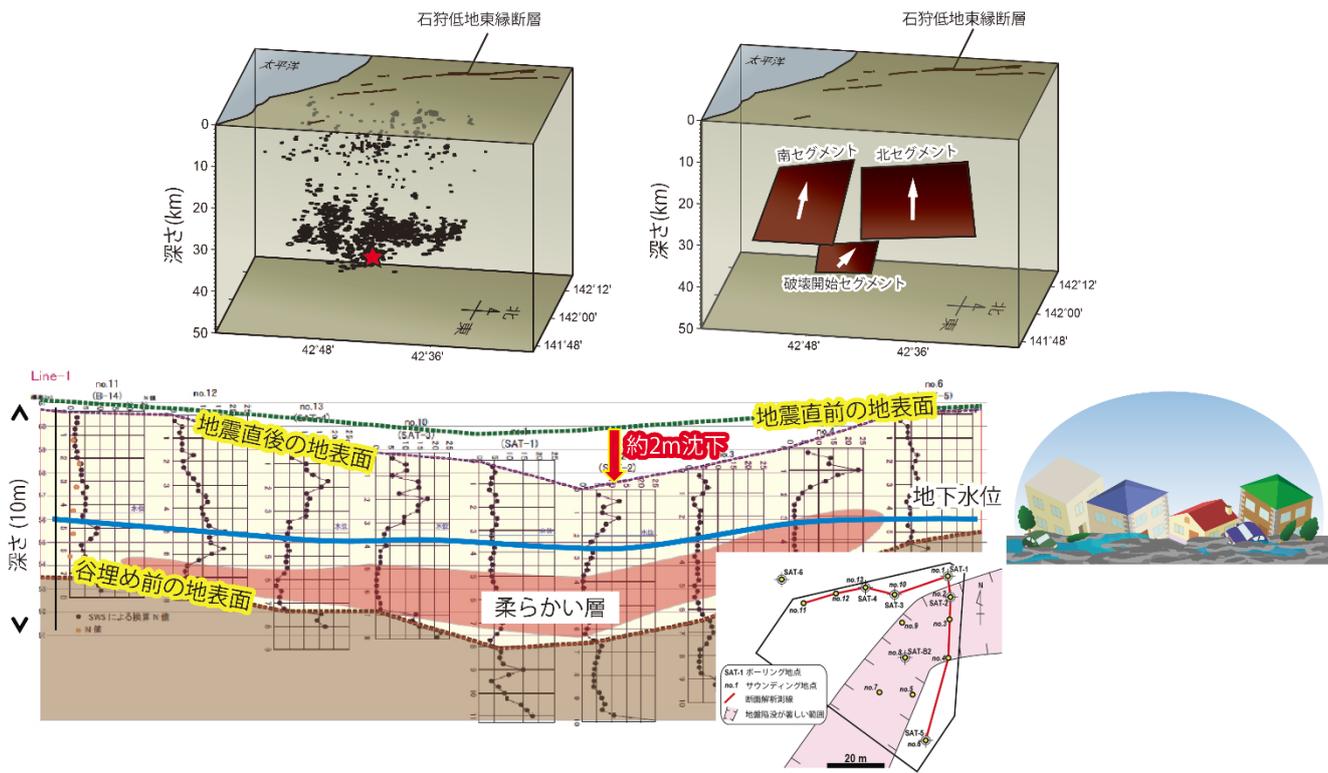
地震のメカニズム解は、東北東 西南西方向に圧力軸を持つ逆断層型である。余震域は、南北約 30km 程度で、深さは 15-40km で高角な面状を呈しており、InSAR を用いた地殻変動観測の結果からも、約 70 度の傾斜角をもつ高角の節面が断層面と推定される（Katsumata et al., 2019; Kobayashi T. et al., 2019）。余震域の約 10km 西側には、国が主要活断層と位置付けている石狩低地東縁断層帯が存在するが、余震分布の形状は想定されている低角の断層面とは一致しない。

本震の震源は余震域の最深部に位置している。また、深さ 20-25km には、余震活動が低調な領域が見られる。今回の地震は、深さ 37km 付近から初期破壊が始まり、浅部に破壊が伝播したものと推定される（Kobayashi H. et al., 2019）。P 波初動解と防災科学技術研究所などのモーメントテンソル解との比較から、断層深部で横ずれで始まった初期破壊が、徐々に逆断層が卓越する浅部での主破壊に進展したものと考えられた（Katsumata et al., 2019）（図 14）。地殻変動データの解析によると、今回地震が発生した石狩低地帯はひずみ集中帯となっており、周辺より一桁大きいひずみ速度が観測されていた（Ohzono et al., 2019）。

大きな人的被害を出した厚真町の同時多発斜面崩壊は、最近数万年に表層に堆積した樽前山や恵庭岳の降下火砕物の底面を滑り面としていた。滑り面からは摩擦を低下させる粘土鉱物が検出されている。斜面崩壊は、地震動とほぼ同時に発生したと見られ、避難する時間はほとんどなかった可能性が高い。日本では、降下火砕物が堆積する地域が広く存在し、地震による斜面災害リスク対策は大きな課題である。また、400m 程度の移動量をもつ大規模な岩盤すべりの発生も確認されている。

北海道の胆振地方中東部から日高地方にかけては、1982 年浦河沖地震など、震源が深い地震の発生が知られる。今回の地震の震源は上部マントルに相当する可能性がある。日高山脈の地下は、中期中新世に始まった東北日本弧と千島弧の衝突による複雑な構造が知られているが、今回の地震のような深い地震の発生との関係は良く分かっていない。

# 平成30年北海道胆振東部地震の余震分布と流動化発生個所の地盤断面図



上図：余震は深さ10～40km付近の、主に3つのセグメントで発生。  
 下図：地盤の沈降量の大きい場所では、含水量の多い火山灰層が存在。

図14 平成30年北海道胆振東部地震の余震分布と流動化発生個所の地盤断面図

上図：臨時余震観測により高精度に推定された平成30年胆振東部地震の余震分布。余震は深さ10～40km付近に分布している。下図：ボーリング調査で明らかになった液化に伴う流動化発生個所の地盤断面図。沈降量の大きな部分では含水量の多い特に柔らかい火山灰層が存在していた。

## 4．平成 30 年度の成果の概要

### 4－1．地震・火山現象の解明のための研究

地震・火山噴火現象の解明から発生予測や災害の軽減を実現することを目指して、史料・考古・地質データ等を含めた長期間の地震・火山噴火現象に関する研究や、地震や火山噴火の発生場や発生機構の理解を目指した観測・実験を、以下のように実施した。

#### (1) 地震・火山現象に関する史料、考古データ、地質データ等の収集と整理

長期間にわたる地震・火山噴火現象の解明と、それらに起因する災害の実態解明を目指し、史料・考古データ、地質データの収集とデータベース化、各種データの分析について、次のような研究を実施した。

##### ア．史料の収集とデータベース化

既刊地震史料を簡易データベース化することで、効率的に校訂作業を行えるスキームを開発し、データベース化の作業を加速的に進める見通しを得た<sup>[2601]</sup>。日記史料有感データベースと気象庁の震度データベースの比較から、前近代に発生した中・小規模地震の震源決定を試みた<sup>[1501]</sup>。日本語歴史史料の整理に適した軽量プログラミング言語を開発し、市民参加型翻刻プラットフォームに実装した<sup>[2911]</sup>。

##### イ．考古データの収集・集成と分析

全国の発掘調査報告書から災害痕跡データの抽出を継続し、被災エリアの可視化や災害発生時期の特定を試みた。災害痕跡データベースと日本地震関連史料データベースとの連携機能として、検索システムや情報入力機能の拡充を進めた<sup>[9001]</sup>。

##### ウ．地質データ等の収集と整理

津波堆積物の年代を統一的に求める手法を適用し、北海道太平洋沿岸での広域比較を行ったところ、苫小牧以西では 1640 年駒ヶ岳津波、苫小牧からむかわでは 1611 年慶長三陸地震津波、十勝地方から釧路地方にかけては 1611 年より後の津波イベントによる堆積物が分布している可能性が示された<sup>[1002]</sup>。

鉱物温度圧力計<sup>\*</sup>を用いてマグマ溜まりの深度を精密に決定することにより、過去の富士山の噴火様式とマグマ溜まりの温度やマグマの含水量の関係を明らかにした。新たなマグマ注入の有無など、マグマ溜まりからマグマが上昇する際の条件の違いが噴火様式の違いとして表れていることを示唆する<sup>[1502]</sup>。

#### (2) 低頻度大規模地震・火山現象の解明

近代観測データと前近代の地震・火山噴火の史料・考古資料を総合して、低頻度で大規模な地震・火山噴火現象の理解を目指した次のような研究を実施した。

##### ア．史料、考古データ、地質データ及び近代的観測データ等に基づく低頻度大規模地震・火山現象の解明

古文書の調査と津波堆積物データから、日本海溝で室町時代に発生が指摘されていた巨大地震が 1454 年の享徳地震である可能性が高いことが明らかにされた(図 2)<sup>[5004]</sup>。試作版地震関連資料データベースを活用し、これまで 2 つの発生日が考えられていた 1596 年文禄豊後地震の検討を進め、別府湾に津波被害をもたらした地震が発生したのは閏 7 月 9 日であると確定された。1854 年嘉永東南海地震の日記史料から、この地震の発生前に山陰地方や近畿地方北部で有感地震の記録が増加していることが明らかになった<sup>[2601]</sup>。

東京大学地震研究所が所蔵する明治期の文献資料である「地震学及地理学研究材料 測候所郡役所組合事務所報告」の分析から、福島県楢葉町の慶長年間の海嘯<sup>\*</sup>の伝承などの検討を行った[2903]。震度の多次元距離減衰式の再現性を検証し、史料データから歴史地震の震源域を推定を行える可能性を示した<sup>[2912]</sup>。

放射性炭素年代測定から、志摩半島沖の海底活断層が1万年前以降に1回以上の活動を行い、この期間での上下方向の累積変位量は10mに達する可能性が示された。この海底活断層は陸域に近いため、津波が沿岸に短時間で到達する可能性がある<sup>[1703]</sup>。

表層地質調査と噴出物採取、ボーリングやトレンチ調査を実施し、約7000年前の摩周カルデラ形成噴火では、先行現象が確認されないこと、噴煙柱形成、マグマ水蒸気爆発、カルデラ形成の3フェーズで推移したことが明らかとなった<sup>[1001]</sup>。1792年に発生した雲仙岳の眉山崩壊は、山麓付近の岩石中岩石中の間隙水圧上昇が要因となったことを支持する史料が得られた<sup>[1001]</sup>。桜島大正噴火の際の大地震の震源要素の再解析を行った<sup>[1902]</sup>。

#### イ．プレート境界巨大地震

日本海溝域で、海底地震観測と陸上観測データから詳細な地震カタログを作成し、プレート境界面付近の地震活動を解析した結果、地震に伴う応力変化とプレート境界面の摩擦状態変化が原因と考えられる地震活動の変化が、東北地方太平洋沖地震の前後でみられることが明らかにされた<sup>[1503]</sup>。

東北地方太平洋沖地震後7年間の変位時系列データを用いて、プレート境界の摩擦特性やマントルウエッジの粘性率など複数のパラメータを同時推定する手法を開発し、余効変動の時空間パターンを説明することに成功した<sup>[1803]</sup>。

### (3) 地震・火山噴火の発生場の解明

地震・火山噴火の発生場における地下構造や応力場の時空間的な特徴を明らかにするとともに、断層面における摩擦特性や流体の影響、地震と火山噴火の相互作用に関する、以下のような観測や実験的研究を行った。

#### ア．プレート境界地震

東北地方で粘性構造を入れた地殻変動場の時間変化シミュレーションを実施し、地震の再来周期が600年と非常に長い場合には、本震後に前弧域の隆起が約200年続くが、その後は沈降に転じ転じ、次の巨大地震の発生に至るといふモデルが提案された<sup>[1203]</sup> (図15)。茨城県南西部のフィリピン海プレート上面付近では、繰り返し地震が1年周期で活発化し、それに同期してプレート境界直上の地震波の減衰が大きくなり、数か月遅れで浅い地震活動が活発化することが明らかにされた。この現象には水の移動が関与している可能性がある<sup>[1510]</sup>。紀伊半島で稠密地震観測等を実施した結果、深部低周波微動の活動が沈み込むフィリピン海プレート内の構造不均質と関連している可能性が示された。また、深部低周波微動の発生域に存在する地下流体が、微動活動を規定している可能性が示唆された<sup>[1509]</sup>。



であること、大すべり域は低比抵抗域に挟まれた高比抵抗域であることが明らかになった<sup>[2201]</sup>。

東北地方太平洋沖地震前後の東北地方前弧域の上盤側応力を再現する有限要素法モデリングから、東北地方太平洋沖地震後のプレート境界の摩擦力は5-11MPa程度であり、プレート境界の強度は30MPa程度以下である可能性が示された<sup>[1203]</sup>。

御嶽山の2007年噴火に前後して発生した火山性地震のメカニズム解を調べた。その時間変化から、これまで詳細がわかっていなかった噴火開始時刻が推定できた<sup>[1907]</sup>。

東北地方太平洋沖地震の震源に近くに位置し、この地震の発生以来火山活動が活発化している蔵王山で、多項目の総合観測を行った結果、山頂火口浅部で熱消磁域が存在すること、気泡を含む熱水により長周期地震が発生していることがわかった<sup>[1202]</sup>。

#### (4) 地震現象のモデル化

地震の断層すべりや、プレート境界での多様なすべり様式の理解を進め、地震発生予測のシミュレーションやハザードの予測を効率的に行うために、標準構造モデルの構築や、断層の物理モデルの高度化を目指して、以下のような研究を実施した。

##### ア．構造共通モデルの構築

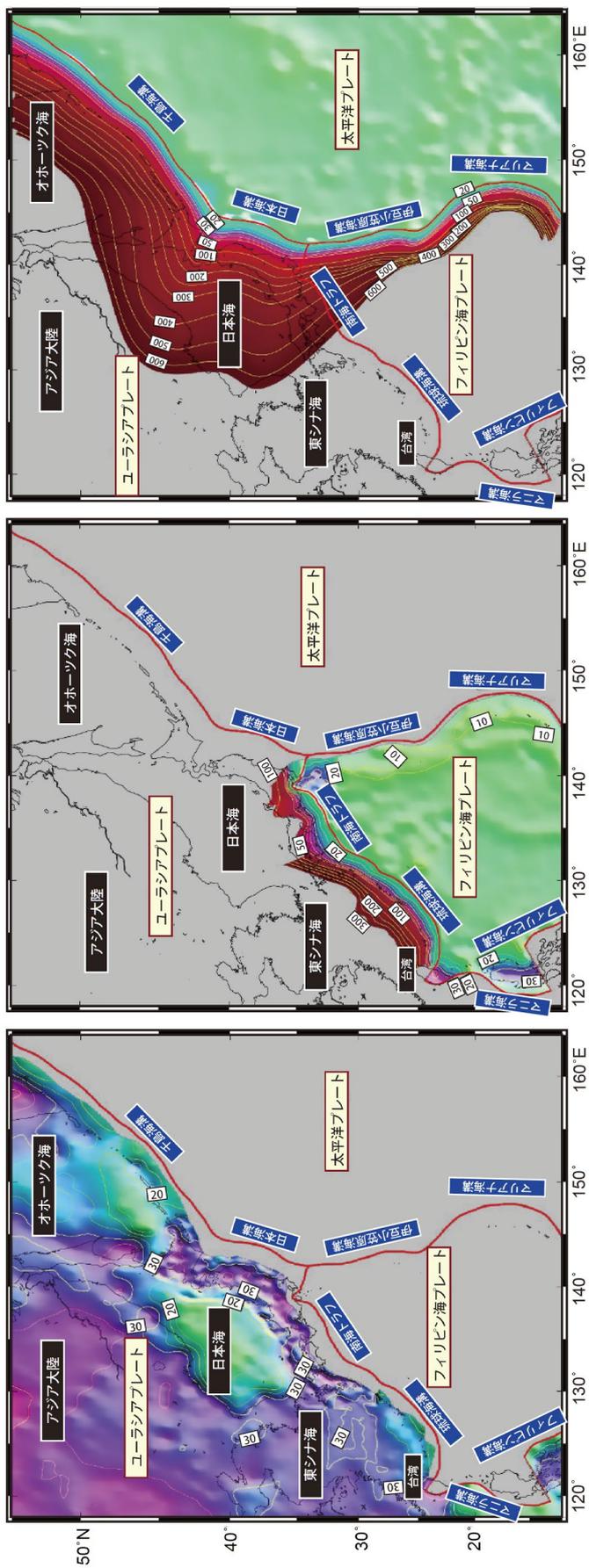
プレート境界の位置の修正、及びフィリピン海プレートと太平洋プレートとの接合部の形状モデルの検討を行った。関東域における構造探査を元に、同地域の複雑なフィリピン海プレート形状の再定義を試みた。リージョナルおよびグローバルなモホ面モデルを滑らかに接続し、日本列島周辺域全体にわたるモホ面モデルを構築し、公開した<sup>[1505]</sup> (図16)。

##### イ．断層滑りと破壊の物理モデルの構築

大型振動台を利用した岩石摩擦実験を実施し、通常の高速破壊イベントに加え、弾性波速度より高速で伝播するゆっくり滑りが発生していることが明らかになった。ガウジを挟んだ実験では、摩擦パラメータは断層長サイズには依存しないものの、滑り距離によって変化することが確認された<sup>[3001]</sup>。

粗い断層面を仮定したシミュレーション実験を実施し、地震性高速滑りの発生前に非地震性の遅いすべりが発生することが見出された。また、断層面の粗さが一定以上となると、地震性滑りを起こせなくなることが示された<sup>[1507]</sup>。長期的スローリップ領域での摩擦特性推定には、固着域の滑り欠損速度も同時推定が必要であることが示された<sup>[1801]</sup>。

## 日本列島周辺域基本構造モデルの構築



さまざまなデータを統合して構築した日本列島周辺域の基本構造モデルを公開。

図 16. 日本列島周辺域基本構造モデルの構築

これまでに得られているさまざまなデータを統合し、日本列島周辺域の基本構造モデルを構築した。左図：地殻構造モデル。地殻とマントルの境界であるモホ面の深さを等深線で表示。中央：フィリピン海プレートの形状モデル。プレート上面の深さを等深線で表示。右図：太平洋プレートの形状モデル。プレート上面の深さを等深線で表示。（深さの単位はいずれも km。）

## (5) 火山現象のモデル化

### ア．マグマ噴火を主体とする火山

桜島の火砕流を伴う噴火について、噴火活動期の縮退期に発生しやすいことや、噴火発生1時間ほど前から周波数の高い火山性地震が発生し、山体膨張が停止するケースが多く見られることが明らかとなった<sup>[1908]</sup>。霧島新燃岳の2018年3月中に発生した多数の爆発的噴火に伴う地盤の傾斜変動を調べた結果、平均して、噴火の約30分前から膨張が始まり10分前から若干収縮し、噴火に至ることがわかった<sup>[1508]</sup>。連続的な噴煙活動と溶岩流出が起こった3月上旬の噴出物と、それ以降の間欠的な爆発が続いた時期の噴出物から、火口内マグマの滞留による結晶化の進行プロセスを推察した<sup>[5006]</sup>。

噴出物の結晶サイズを解析することにより、桜島の歴史時代のプリニー式噴火ある大正・安永・文明噴火のいずれにおいても、軽石・火山灰として爆発的に噴出したマグマは、噴火の直前に、深さ約10 kmのマグマ溜りから桜島直下の深さ1~3 kmの火道に移動していたことが明らかとなった。これにより、大規模噴火は上昇開始からごく短時間で噴火を開始する可能性があることがわかった<sup>[1205]</sup>。

### イ．熱水系の卓越する火山

口永良部島、阿蘇山、御嶽山、弥陀ヶ原、箱根山、焼岳、十勝岳、雌阿寒岳、霧島硫黄山等において、測地測量や地震観測、電磁氣的観測およびそれらのデータ解析、火山ガスや噴出物等の化学的、岩石学的調査が行われ、各火山の活動が定量的に調べられた。また、海底火山の活動評価のため海水分析などが行われた<sup>[1003, 1008, 1403, 1802, 2802, 2949, 1909, 9102]</sup>。

草津白根山・本白根山の2018年噴火においては、様々な観測・解析から噴火の実態が明らかになりつつある。例えば、傾斜計データ解析からは本白根山鏡池北火砕丘の直下の開口クラックが噴火直前に膨張し、噴火とともに収縮したことがわかった<sup>[1601]</sup>。噴出量は約3.6万トンと推定され、全岩化学組成分析から鏡池北火砕丘と同じ組成を持つ岩塊が放出されたことが推察された<sup>[2942, 1601]</sup>。火山灰に付着した水溶性成分の分析から、高温マグマ起源のガスの関与が示唆された<sup>[1601]</sup>。無人ヘリを用いた空中磁気測量から、湯釜火口北東域では温度上昇が起きていたが、本白根噴火の火口域の地磁気変化は温度変化ではなく噴火による地形変化によるものと推察された<sup>[1003]</sup>。

熱水系の特徴が噴出物の分析から調べられた。十勝岳ではマグマ貫入が頻繁に繰り返され、強酸性の環境で岩石の変質が進んでいること、吾妻山では大穴火口形成噴火（1331年頃）を境に熱水系の状態が大きく変化したことが明らかになった<sup>[1003]</sup>。

## 4-2．地震・火山噴火の予測のための研究

地震や火山噴火現象の科学的理解に基づき、地震活動や火山活動の予測研究を行った。地震発生予測では、長期評価手法の高度化、モニタリングによる地震活動予測及び先行現象に関する研究を行った。火山活動予測では、火山噴火の規模、推移、様式の予測のために、噴火事象系統樹の高度化に関する研究を進めた。

### (1) 地震発生長期評価手法の高度化

南海トラフ沿いの海溝型巨大地震の動的破壊過程及び内陸地震への影響を調べるために、モデリング研究を実施した<sup>[3001]</sup>。GNSSデータからプレート境界の応力蓄積速度分布を推定し、それを境界条件として与えることで動的な破壊シミュレーションを行い、今後発生しうる地震のシナリオを複数作成した。また、プレー

ト間の固着が作り出す内陸域の剪断歪みエネルギーの増減分布と、地震活動の分布との間には、有意な相関があることが示された。

北海道太平洋岸に沿った地質調査により、1611年慶長三陸津波の堆積物は苫小牧市からむかわ町にかけて分布するが、十勝地方から釧路地方に分布する津波堆積物は1611年より後年のイベントによる可能性が高いことが示された<sup>[1002]</sup>。また、2014年に長野県北部の地震が発生した神城断層の活動履歴調査により、複数の地震タイプが併存していることが明らかにされ、地震のタイプごとに変位が生ずる断層が異なる可能性が指摘された<sup>[1702]</sup>。

## (2) モニタリングによる地震活動予測

物理モデルに基づく数値シミュレーションと地震活動や測地データ等の観測データを比較することにより、プレート境界滑りの時空間発展機構を包括的に理解する研究を実施した。さらに、プレート境界滑りを予測する手法の開発を進めた。また、地殻応力の変動を断層滑りや、広域応力場、変形場の時空間発展を基に推定する手法を開発し、地震活動を評価した。統計的モデルを用いて地震活動の予測実験を行うとともに、その予測性能を評価した。

### ア． プレート境界滑りの時空間発展

東北地方太平洋沖地震の震源域南側となる福島県沖に設置した海底地震計アレイ観測により、低周波微動活動を検出した<sup>[1503]</sup>。微動は移動を示すとともに、低角逆断層型のメカニズム解で記述できることが示された。微動の発生域は、東北地方太平洋沖地震後の余効滑り領域内に位置し、比較的狭い領域で余効滑りとスロースリップが共存していると考えられる。

東北地方太平洋沖地震後に発生頻度が増した岩手県釜石沖の繰り返し地震発生域において、地震サイクル後半に小地震活動が活発化する傾向が保たれていたことが明らかとなった<sup>[1501]</sup>。小地震活動の静穏化・活発化が釜石沖地震の繰り返し間隔に依存しないという結果は、地震活動が固着域内部での応力状態や階層的な構造等の場の性質に支配されている可能性を示唆する。

GNSS-音響測距結合方式海底地殻変動観測により、紀伊水道沖において2017年末頃から2018年の初め頃にかけて、南向きの非定常地殻変動を複数の地点において観測した<sup>[8001]</sup>。海底地殻変動観測点で得られた変位ベクトルを基に、紀伊水道沖のプレート境界浅部においてスロースリップが起きていたことが初めて明らかとなった。

海域の3次元地下構造の影響を考慮したCMT解の推定手法を開発し、陸域で取得された長期間の波形データに適用することで、紀伊半島南東沖で発生する浅部超低周波地震が総じてプレート境界の滑りを反映する低角逆断層となることが示された<sup>[3001]</sup>。

琉球海溝南西部八重山諸島近傍において、およそ半年周期で繰り返し発生するスロースリップの滑り速度の時空間変化がイベント毎に異なることが明らかになった<sup>[1803]</sup>。また、イベント毎に摩擦パラメータの分布が異なることも示され、プレート境界周辺の流体分布や摩擦の性質が時間変化している可能性が示唆される。

### イ． 地殻ひずみ・応力の変動

東北地方太平洋沖地震後に活発化した秋田県中部において、地震発生後の約8年間、領域全体の応力場は顕著な時空間変化を示さなかった。しかし、震源域が徐々に拡大した南端では逆断層型の応力場が確認され、この地域の応力場の不均質性が明らかになった<sup>[1203]</sup>。

山陰ひずみ集中帯において、東北地方太平洋沖地震前後の地殻変動の短波長・長波長成分の分布の特徴について分析したところ、東北地方太平洋沖地震による応力擾乱の影響をほとんど受けていないことが明らかに

なった<sup>[1907]</sup>。

2000年鳥取県西部地震域の余震のメカニズム解から、本震断層周辺域の応力場の不均質性の評価及び本震時の静的応力変化に基づいた絶対応力場の推定が行われた<sup>[1905]</sup>。間隙流体圧をパラメータとした絶対応力場のモデル化手法が開発され、1992年ランダース地震震源域の絶対応力場が推定された<sup>[1907]</sup>。横ずれ断層が数多く分布する西南日本の内陸地震発生域における応力場の推定へつながる成果である。

#### ウ． 地震活動評価に基づく地震発生予測・検証実験

東北地方太平洋沖地震以降に国内で発生した本震－余震系列を示す地震活動を分析したところ、余震継続時間がマグニチュードに依存しないこと、余震継続時間と活断層（一部プレート境界）の変位速度に負の相関があることが見いだされた<sup>[1206]</sup>。

中規模繰り返し地震に関して、その発生確率を事前に予測し、事後の発生状況から平均対数尤度等を用いて予測モデルの優劣を評価した。その結果、発生間隔が対数正規分布でベイズ統計に基づくモデルで予測を行うと最も予測成績は良く、一方、BPT分布に基づくモデルに地震本部の採用するパラメータを用いて予測を行うと予測成績は予測したモデルの中で最も悪かった<sup>[7006]</sup>。

国際的な地震活動予測可能性共同実験（CSEP）に継続して参加し、今年度も多くのモデルの検証実験を実施した。予測と検証の繰り返し経験が蓄積したので、関東地方においてM4以上の地震に対する予測モデルのパラメータの最適条件を探索し、それによる予測性能を事後的に調べた。その結果、最適パラメータの探索期間が1年程度になると予測性能が頭打ちになるとともに、予測期間が長くなるほどその予測性能が劣化する点もわかった<sup>[1511]</sup>。

#### （3）先行現象に基づく地震活動予測

釧路沖、那珂沖のM5程度の繰り返し地震グループについて詳細な震源すべり分布を求めることで、これらの地域ではM5、M4、M3程度に相当する階層的な構造が存在することが示された<sup>[1402]</sup>。さらに、異なる規模の地震でも、地震の始まり方が同じである例が発見された。この観測事実は、地震の始まり方だけを見ても最終破壊サイズを予測できないことを意味する。

地震活動の特徴を抽出するために、気象庁一元化処理震源カタログに対して最近傍法による客観的かつ自動的なクラスタリング処理を行い、前震・本震・余震の分類を行った。その結果、前震のb値がわずかに小さいこと、前震の発生率が本震の広いマグニチュード範囲において概ね30～40%程度であるなどの特徴が明らかになった<sup>[1206]</sup> <sup>[7006]</sup>。

イタリアの地震活動に数理統計モデルを適用することで、M2.9以上の地震に対して、約61%が誘発型地震に分類された。また、2005年～2016年に発生した6つの大地震のうち5つは誘発型に分類され、イタリアでは前震の出現率が高いことが示された<sup>[1206]</sup>。

四国地方において、プレート間の滑り欠損速度と深部低周波微動の発生レートとの間に時間的相関のある場所が見つかった。すなわち、微動発生率がゼロになると、滑り欠損速度がプレート収束速度に近くなることが示された<sup>[5007]</sup>。このことは、微動がプレート境界の滑り速度の指標になり得ることを示唆する。

低速な滑りと高速な滑りの関係を考察するために、透明なゲルシートを使った摩擦実験を行った。その結果、低速な滑りと微動が同期して発生することで、滑りが共振して加速する様子が捉えられた<sup>[1512]</sup>。

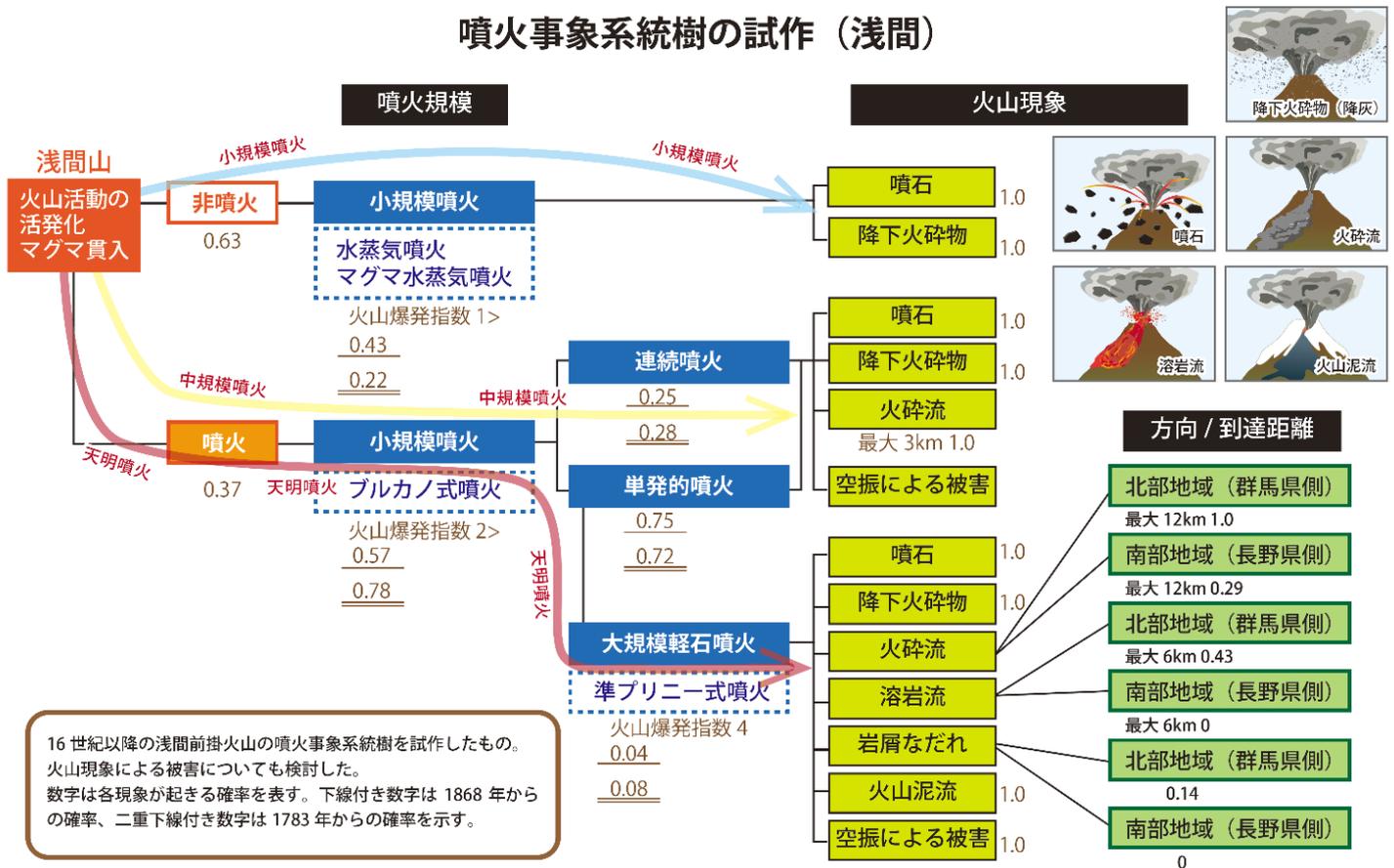
#### （4）事象系統樹の高度化による火山噴火予測

十勝岳、阿蘇山の噴火事象系統樹を作成するとともに、2018年1月の本白根山の噴火を受けて、草津白根火山の噴火事象系統樹の作成に着手した。また、浅間山の噴火開始と噴火未遂の評価手法および事象分岐確率

の算出手法を検討し、同火山の事象系統樹を改訂した(図17)<sup>[1004]</sup>。

事象分岐の条件や論理を導き出すため、非噴火期の火山活動事象のうち特に熱水系の関与と考えられる事象を収集した。火山性圧力源や熱源の深度と強度の関係を散布図に整理し、深度と強度が浅い方向へ偏差する事例と噴火発生状況の比較をもとに火山噴火発生度を統計的に評価するための基礎資料を作成した<sup>[1003]</sup>。また、火山ガス放出率や組成の連続観測を実施し、噴火発生や活動推移との関係を網羅的に調べ、火山ガス放出率とマグマ上昇率の間に比例関係があること、火山ガス中のCO<sub>2</sub>/SO<sub>2</sub>の増加がマグマ中の気泡の増大ひいては大規模噴火の発生に繋がる可能性があること、などを示した<sup>[1208, 5006]</sup>。

### 噴火事象系統樹の試作（浅間）



火山現象を網羅的に時系列に沿って示す「噴火事象系統樹」の高度化として、作成手法を一般化し過去の噴火事例に基づく分岐確率を示した。浅間山においては中小規模の噴火が一般的であり、天明噴火クラスの大噴火は稀である。

図 17 . 噴火事象系統樹の試作（浅間）

火山現象を網羅的に時系列に沿って示す「噴火事象系統樹」の高度化を進めた。多くの火山において系統樹を作成することができるように、作成手順の一般化を進めた。また、過去の噴火事例に基づいて枝分かれの確率を示した。例えば、上図の赤・黄・青の太線はそれぞれ、天明噴火クラスの大規模軽石噴火、中規模噴火、小規模噴火のたどる推移を示す。火山現象の確率が1.0となっているのは、該当する現象が必ず起きることを示している。

#### 4-3. 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

##### (1) 地震・火山噴火の災害事例の研究

「地震・火山噴火の災害事例の研究」においては、1) 近代的観測開始以前の史料、2) 近代的な観測や調査データ、から、地震発生から災害対応に至るまでの過程を解明した。

1) においては、「江戸大地震之図」(島津家文書、東京大学史料編纂所蔵)を分析したところ、1855年安政江戸地震による「江戸市中(薩摩藩芝屋敷北の一町)での被害と復興の様子」を知ることができ、同時に「(江戸は平時から大火が多く)地震に起因しない火災からの復興の様子」を知る上でも活用できる可能性を示した<sup>[1513]</sup>。

2) においては「ゆれの情報をいかに被害軽減並びその後の復旧・復興の実現に還元するか」という点に着目し、柏崎市(2007年新潟県中越沖地震)、益城町(2016年熊本地震)、茨木市(2018年大阪府大阪北部の地震)における生活再建の基盤となる罹災証明書発行の日別件数について分析を行った結果、地震災害の特徴・被害量に関わらず、発行傾向には、発行を開始してから一定期間発行が集中し、その後低い発行量で推移するという同様のパターンが見られた。このパターンをモデル化し、強震動分布などをもとに推算される建物被害棟数に対してこのモデルを適用することで、罹災証明発行の集中時期、発行量、撤収時期が導出されるため、応援職員派遣・要請に必要な資源量を見積もることができる<sup>[2702]</sup>。

##### (2) 地震・火山噴火の災害発生機構の解明

地下構造モデルが得られていない場合の簡易的な強震動予測のために、観測記録の水平動と上下動の比を用いた補正、震源放射特性係数の補正、経験的グリーン関数法の活用などの手法開発を行い、台湾・インド-ブータン等のヒマラヤ前縁・アルジェリア等の国外の堆積平野・堆積盆地を対象に過去の被害地震の強震動を評価した。その結果、平均値としては、各々の国で工学的に用いられている地震動予測式と調和的な結果が得られ、良質な地下構造モデルが構築されるまでの過渡期に有効な計算手法として代替利用が可能であることを確認した<sup>[1515]</sup>。

桜島大規模噴火による降灰リスク分析を、噴火と気象シナリオに応じ推定し、降灰量に応じた社会システムへの影響度分析を行った。また、1914年の大正噴火規模を仮定し、3890日分の気象シナリオによる降灰ハザードデータベースを構築し、降灰分布の予測計算にはPUFFモデルを用い、火山灰輸送シミュレーションを実施した。偏西風や強い風を条件に用いた降灰分布確率から桜島大規模噴火における要避難人口を求めたところ、いずれの年でも5月から10月までの平均は10万人を超え、避難困難が予想されることがわかった<sup>[1914]</sup>。

東日本大震災の被災経験に基づいて、コミュニティの災害脆弱性評価のための指標を検討した。今年度は、宮城県津波被災地5市5町のコミュニティにアンケート調査を実施した。特に、震災後の移転(空間の変化)が生活環境条件に及ぼした影響を分析したところ、移転した地区によって、有意な差が生まれていることがわかった<sup>[1704]</sup>。

##### (3) 地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化

地震動の事前評価に関しては、2018年大阪府北部の地震( $M_{\text{JMA}}6.1$ )についての強震記録の分析と地震動シミュレーションより、震央の南西に広がった強震動域は放射特性、破壊伝播の指向性効果、堆積地盤による増幅が重なって生じたことが明らかになり、大阪盆地堆積層構造モデルの妥当性も確認された<sup>[1903;1911]</sup>。秋田県横手盆地において微動観測に基づき地盤構造モデルを作成し、これを用いて1896年陸羽地震の震動シミュレーションを実施したところ、同地域で地盤が深いために被害域が南に延びたことがわかった<sup>[2963]</sup>。2019年1月3日に発生した熊本県熊本地方の地震( $M5.1$ )で震度6弱を観測した熊本県和水町で、直達S波の後に地盤の影響と

考えられる周期0.5秒程度の長い波群が確認された。この周期帯の波は計測震度を大きくするが、木造家屋の倒壊を起こす周期帯(1~2秒)より短いため、被害が限定的であったと考えられる<sup>[1516]</sup>。

地震動による災害リスクの事前評価に関して、木造建造物被害の将来時点の予測をおこなうために、固定資産課税台帳および住民基本台帳から抽出されたデータを用いて、木造戸建住宅の棟数および築年数分布を予測する方法を検討した<sup>[2362]</sup>。災害リスク評価のばらつきを理解するため、震源モデルや強震動予測モデルについて複数のモデルを用いて災害リスクを評価し、評価結果のばらつきを容易に理解できるような表示システムを構築した。また、ばらつきのある災害リスク評価結果の中からハザードシナリオ選択する際の考え方として、「命を守る」または「業務・生活・地域を守る」など異なる達成目標に応じて選ぶ方法について検討した<sup>[2351]</sup>。

地震による地滑りの事前評価に関して、2008年中国ブン川地震、2015年ネパールゴルカ地震による斜面崩壊を分析した結果、谷の侵食加速による谷中谷<sup>\*</sup>に数多くの崩壊が集中したことがわかった。我が国でも特に西南日本外帯には谷中谷が広く分布しており、南海トラフ地震時に要注意である。2018年北海道胆振東部地震によって発生した壊滅的な地滑りでは、風化した軽石およびその直下の火山灰土に滑り面が生じたことが明らかになり、このような地層が地震時地すべりに対して最も危険であることが再認識された<sup>[1912]</sup>。斜面崩壊に伴う地震動の特徴を分析し、概ね1-10Hzが卓越すること、イベントの長さを反映する継続時間は概ね30~200秒であること、特に崩壊域が数百m四方にわたるような大規模崩壊では周期10秒以上の長周期信号が見られることがわかった<sup>[2394]</sup>。

火山噴火による火山灰や溶岩噴出の事前評価に関して、大規模噴火を想定した降灰シミュレーションを実施した。富士山で宝永規模の噴火が起きた場合に都心で10cm以上の降灰になる確率は3.3%、桜島で大正規模の噴火が起きた場合に鹿児島市街で1cm以上の降灰になる確率は7.8%と試算された<sup>[7010]</sup>。

#### (4) 地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化

地震動の即時評価に関して、“揺れから揺れを予測する” PLUM法<sup>\*</sup>の高度化、地震波の散乱や減衰構造の精緻化、地盤増幅特性の適正化に取り組み、予測精度を向上させることができた。また、地震動の伝播方向をリアルタイムで推定する方法を考察した<sup>[7008]</sup>。PLUM法の改良として、震度の距離減衰、メッシュ状の震度予測点を2次震源とする波動伝播、P波による震度予測を導入し、迅速かつ精度の高い準リアルタイム震度分布の予測を可能にした。観測点における震度情報から周辺の非観測点での震度を予測するため、常時微動を用いた地盤震動特性の稠密に把握し地下構造モデルを構築した<sup>[2001]</sup>。さらに、大地震の際に平野で発生する長周期地震動の即時予測の実現に向け、観測データとの同化に基づく地震動シミュレーションを試みた。2007年新潟県中越沖地震や東北地方太平洋沖地震の関東平野の地震動をターゲットに、3次元差分法計算により長周期(2.7秒以上)地震動を計算し、現時点で地震波伝播速度の8倍の速さでの予測が可能となっている(図10)。これにより、データ同化による長周期地震動の即時予測の可能性を示すことができた<sup>[1516]</sup>。利用者が多い大規模建物や災害拠点となる施設を対象として、固有周期や立地条件が異なる個別の建物の、建物入力地震動のリアルタイム分類、揺れ継続時間の予測、に取り組んだ<sup>[2958]</sup>。

津波の即時評価に関して、日本海溝・千島海溝に沿って設置された津波計(圧力計)の利活用方法の検討として、地震発生後500秒の圧力観測波形の形状のみを利用して海溝型巨大地震による津波発生域(隆起域)および地震規模を推定する手法を開発した<sup>[1005]</sup>。

破壊継続時間が通常地震よりも長いスロー地震タイプの津波地震に対する気象庁マグニチュードの精度を評価するため、過去に観測された津波地震の震源スペクトルを模した理論波形を合成して気象庁マグニチュードを計算したところ、津波地震のマグニチュードは1以上過小に推定される可能性があることがわかった。この問題に対処するため、新たな規模推定法を開発した<sup>[7009]</sup>。津波生成磁場の解析手法を改良し、鉛直分力が非常に小さい磁気赤道付近でも、陸上の磁場観測により津波生成磁場を検出できる可能性を示した

[7007]

GNSS 搬送波位相データから断層滑りを直接推定する手法を、2011年3月11日に茨城県沖で発生したMw7.8の地震に対して適用し、強震データから推定された滑り分布と調和的な結果が得られた。ここで、GNSS 衛星の軌道暦として International GNSS Service が提供する精密暦(最終暦)と、GNSS 衛星から直接送信される放送暦とを解析に用いたところ、両者の結果がよく一致したことから、外部情報に依拠しない地震時滑り分布推定が可能であることが示された<sup>[1209]</sup>。GEONET による日本全国のリアルタイム地殻変動データを用いて地震発生時に矩形断層モデル及びプレート境界面上の滑り分布を即時推定する技術を開発し、電子基準点リアルタイム解析システムに実装した<sup>[6004]</sup>。

火山灰や溶岩噴出の即時予測に関しては、XバンドMPレーダーによる噴煙観測を霧島、桜島、薩摩硫黄島、口永良部島、諏訪之瀬島において継続し、2018年において噴火が発生したいずれの火山においても噴煙を検出した。噴火に伴う地震動の振幅と地殻変動から推定される圧力源の体積変化量の線形結合から火山灰放出量を評価する手法を開発した。この手法で評価された火山灰放出率から即時的に火山灰の拡散および降下量を予測することが可能となった<sup>[1913]</sup>。航空路火山灰情報(VAA)業務で収集分析された火山灰雲の情報を火山灰の移流拡散の予測計算に取り込むことにより、多くの事例で火山灰雲領域の過大予測が抑制され、予測精度が改善された<sup>[7010]</sup>。

#### (5) 地震・火山噴火の災害軽減のための情報の高度化

積雪寒冷地の地域特性を考慮した災害時の避難を検討し、高精度避難ナビゲーションシステムを構築・実装した。また、都市開発が地震・津波災害の災害リスクや社会的脆弱性を増大させる可能性を論じ、地理空間情報活用による津波からの避難行動対策の有効性を検討した。さらに、地域・自治体防災担当者対象に防災教育・地域貢献を実施する等により、効果的な研究成果の普及手法を検討した<sup>[1006]</sup>。

2014年御嶽山噴火にともない、火山災害情報のあり方に関する意識調査を、長野県側(木曾町・王滝村)住民と噴火時の登山者に実施した。事前の噴火リスクの認識においては地域差は見られないこと、および噴火から3年が経過した時点においても噴火の経験者には未だに大きな心理的ストレスがあることがわかった。また、岐阜県、長野県で実施した調査結果と比較分析を実施した。<sup>[1706]</sup>

2016~17年度に大きな地震があったイタリア、ニュージーランド、台湾と、サンアンドレアス断層の地震活動で影響を受ける可能性のあるサンフランシスコ湾岸地域の住民に社会調査を行った。リスク推定値の不確実性を専門家が明示的に認めることで、専門家は誠実で率直であるという確信が高まり、大きな信頼が得られることがわかった<sup>[1517]</sup>。

地方公共団体が火山災害の発生の可能性について総合的に把握し、的確な防災対応を行うことを支援するシステムを目指し、火山情報などの防災情報に結びつくインターネットで入手可能な各種観測情報を様々な関係機関から準リアルタイムで収集・統合して表示するシステムを構築し、北海道内の地方公共団体に設置してその効果を検証した。胆振東部地震を契機に、地震・震度情報の取得・表示機能を組み込んだ。さらに、高解像度降雨レーダー画像の取得・表示機能も追加した。釧路市が、観光客や登山者などに火山防災情報をリアルタイムで提供することを目的として、このシステムを集客施設に設置した<sup>[1009]</sup>。

### 4-4. 研究を推進するための体制の整備

#### 推進体制の整備

本研究計画の適切かつ効果的な推進のため、地震火山部会において年次計画の立案、成果の取りまとめを行い、年次報告(成果の概要)を作成し、印刷及びホームページで公開した。長期間噴火活動を休止してい

る火口 / 山体における今後の調査研究及び監視のあり方について検討を行い、結果を公表した<sup>[7013]</sup>。

#### 拠点間連携共同研究

総括研究（拠点間連携研究 [ 課題番号：2975 ] ）は「巨大地震のリスク評価の精度向上に関する新パラダイムの構築」と題し、平成29年度に引き続き、(1)震源過程、(2)伝播・深部地盤構造、(3)強震動予測、(4)浅部地盤構造、(5)構造物被害予測、(6)リスク評価の研究グループに分かれ、それぞれの分野におけるリスク評価の不確かさの要因についての検討を進めるとともに、これらの知見を統合するための(7)プラットフォーム構築グループおよび(8)ステークホルダの参画に関する研究グループにおいて、リスク評価およびその不確かさに関する検討を行った。

#### 研究基盤の開発・整備

##### ・地震・火山現象のデータベースとデータ流通

地震カタログ作成にあたって、自動震源採用に伴う発破イベント混入に対応するため、波形相関による発破抽出手法を開発し、カタログの質的改善を図った<sup>[7019]</sup>。

電子基準点リアルタイム解析システムにおいて、精密単独測位法を導入し、試験運用を実施した<sup>[6012]</sup>。S-net の観測データについては、海底地震津波観測網データダウンロードページより公開を開始し、JDXnet についても準備を進めた。DONET<sup>®</sup>の観測データについては、強震計及び広帯域地震計に加え、水晶水圧計のデータについても海底地震津波観測網データダウンロードページより公開を開始した。首都圏地震観測網<sup>®</sup>（MeSO-net）の運用を継続するとともに、ホームページによる観測データの公開を開始した<sup>[3004]</sup>。海域火山基礎情報図調査を西之島等で実施し、海域火山データベースに反映させた<sup>[8003]</sup>。

研究成果共有サーバにおいて、データ共有のためのオープンプラットフォームの owncloud の利用を進めた。地震連続波形データの解析のための大規模解析システムにおいては、過去の地震波形データの保存をさらに進めた<sup>[1519]</sup>。GNSS・地殻変動連続観測等の多項目観測データを全国にリアルタイム流通させるシステムを開発し、データの流通・収集・管理・解析を一元的に実施した<sup>[1009]</sup>。コミュニティ・モデルの一つであるプレート境界形状モデルに関して、プレート境界位置の修正及びフィリピン海プレートの、太平洋プレートとの接合部の形状モデルの検討を行い、Web サイトで公開した（図 16）<sup>[1506]</sup>。

##### ・観測・解析技術の開発

海溝軸を跨ぐ形での海底間音響測距において、各基線の中程に中継器を用いる方式を導入し、音響パス確保の困難さを解決した<sup>[1210]</sup>。

火山測地学的技術の高度化を進めた。小型絶対重力計に対する地面振動の影響を補正する技術を開発し、蔵王火山で動作確認を行った<sup>[1506]</sup>。小型単発機に搭載可能なカメラ型センサデータの処理手法を開発し、温度・放出率等の推定を行った<sup>[3005]</sup>。火山監視情報システムにおいて、傾斜データに対する降水補正機能を導入した<sup>[7004]</sup>。

噴火等、火山の表面活動を把握するための手法開発も進められた。二酸化硫黄放出率を従来よりもはるかに簡単に測定できるようにすることを目的として開発した、シングルボードコンピュータ付きの小型紫外分光装置<sup>®</sup>を用い、口永良部島火山の噴火に先行するガス放出の変化をとらえた<sup>[1403]</sup>。気候変動観測衛星「しきさい」による赤外画像データの処理システムを開発し、正式運用を開始した<sup>[1520]</sup>。火山噴出物の分析において、新たに開発した帯磁率測定手法を用いることにより、霧島火山における噴火推移を反映している帯磁率変化をとらえた<sup>[1205]</sup>。Lバンド航空機 SAR<sup>®</sup>を用いた 3 次元地殻変動分布の推定手法を開発した<sup>[1008]</sup>。ミュオグラフィ自動解析システムによる高画素画像出力の時間短縮化を進めた<sup>[1523]</sup>。

- ・ 社会との共通理解の醸成と災害教育

津波浸水想定 の 時間発展 と避難訓練参加者の行動軌跡とを合わせて可視化する避難訓練支援システムを開発し、実証実験とフィードバック学習を行うことでシステム運用の効果と課題を明らかにした(図18)<sup>[1006]</sup>。地方公共団体の的確な防災対応を支援するために構築した準リアルタイム火山情報表示システムが、十勝岳を有する美瑛町と雌阿寒岳を有する釧路市により、観光客や登山者など集客施設に設置された<sup>[1009]</sup>。

- ・ 国際共同研究・国際協力

ニュージーランドのヒ克蘭ギ沈み込み帯において、日本、ニュージーランド、米国で共同して設置された海底地震計の観測記録の解析を進め、海洋性地殻内の応力と間隙水圧がスロースリップの発生前後に変化していることを明らかにした<sup>[1524]</sup>。



#### 4-5. 優先して観測研究を推進する対象の地震・火山噴火

##### ・東北地方太平洋沖地震

日本海溝沿いのGNSS-音響測距結合方式\* (GNSS-A) による海底地殻変動観測<sup>[8001]</sup>、東北地方太平洋沖地震の震源域北部における海底地震観測<sup>[1503]</sup>などにより、地殻変動や地震活動の様相が本震発生直後とは異なっていることがわかった。東北地方太平洋沖地震後の2012年に設置されたGNSS稠密観測網磐越測線の余効変動プロファイルを用いて、3次元不均質粘弾性構造モデルを推定した。また、地温勾配分布等に基づいて島弧走向方向の不均質性も考慮したモデルにより面積ひずみ分布を計算したところ、観測データを概ね再現することがわかった<sup>[1203]</sup>。

##### ・南海トラフの巨大地震

豊後水道周辺、四国南部、東海地域で発生している長期的および短期的SSEを詳しく調べ、滑り速度や規模などについて比較研究を実施した<sup>[1509]</sup>。また、GNSS-音響測距結合方式による海底地殻変動観測により浅部のスローリップに起因すると考えられる非正常地殻変動を観測した(海上保安庁, 2018)。

##### ・首都直下地震

大地震の際に平野で発生する長周期地震動の即時予測の実現に向けた、高速計算環境による観測データと高速シミュレーション同化の実現可能性を数値実験により評価した<sup>[1516]</sup>。臨時観測を実施し、揺れの大きさの分布と近傍のボーリングデータと比較をしたところ、揺れの大きさは、浅部の地質構造との関係が深いことが明らかになった。揺れの推定には、より稠密な地盤構造の違いを考慮する必要がある<sup>[1514]</sup>。

##### ・桜島火山噴火

桜島における火砕流の発生は、マグマからの脱ガスが進行した一連の活動期の後半にあたる地殻変動の収縮期に多いことがわかった。2015年8月15日の開口割れ目へのマグマ貫入に伴う火山性地震について、震源域の深部への延伸と開口割れ目に対応するメカニズム解が得られた。XバンドMPレーダーによる口永良部島などでの噴煙観測事例が増えつつある。大規模噴火を想定した際の要避難人口は、設定する状況や避難者の意向などに大きく依存することが明らかになった。

## 5. まとめ

平成 26 年度から 5 か年計画で推進されてきた「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画」では、地震・火山噴火現象の理解とそれに基づいた発生予測に加え、それらによる災害誘引の予測の実現を目指し、過去も含めた地震・津波・火山噴火とそれに随伴する自然現象と社会対応に関する研究を行った。

この 5 か年間の日本列島における地震活動や地殻変動は、2011 年東北地方太平洋沖地震による影響下にあったが、この分析からプレート境界だけではなく内陸で発生する地震についても、その発生場の特徴や発生機構に関する理解が大きく進展した。巨大地震が与えた応力状態の変化に対する応答として内陸での地震活動を捉えることにより、地殻内での応力不均質、地下流体の地震発生への関与や断層強度が非常に小さいことが示された。その一方で、2011 年以前から歪速度が大きかった内陸のひずみ集中帯では、巨大地震による擾乱の影響は小さい。いずれも内陸での地震発生機構の理解に向けて重要な知見である。地震観測による地殻内応力の推定技術が向上し、空間不均質とともに時間変化も捉えられるようになり、地下の状態評価に有望な手段となるだろう。

東北地方における粘弾性構造の解明とそれにもとづく海溝型巨大地震の発生サイクルのモデル化においても重要な成果が得られた。粘弾性を考慮することで、巨大地震発生前の継続的な沈降と発生後の隆起の時空間変化が合理的に説明された。こうしたモデル構築は海溝型地震発生の長期評価に重要である。2011 年東北地方太平洋沖地震の震源域周辺の海域では地殻変動や地震活動に時間変化が現れはじめており、こうした活動推移を継続して捉えることにより、モデルの検証・改良が進むものと期待される。

南海トラフでは、海底地殻変動観測によりプレート境界浅部におけるすべり欠損分布が捉えられ、それを考慮したシミュレーションを通じて今後発生しうる南海トラフ巨大地震の多様な姿を予測できることが示された。プレート境界浅部でも、多様なスロー地震現象がしばしば起こっていることが明らかになりつつあり、こうした活動の詳細な理解は、南海トラフ巨大地震の発生に至る過程の解明に不可欠である。

大地震に先行する多様な現象と実際に発生した大地震と関連を統計的に評価した結果、前震活動を用いた評価は、格段に高い地震発生予測の確率利得を示すことがわかった。現時点では、大地震が発生する前に「前震活動」と識別することはできないが、前震活動の特徴抽出にむけた研究が進展しつつある。

火山現象については、「噴火事象系統樹の高度化」と「火山活動の分岐条件の解明」を共通の目標として取り組んだ。集約的な成果のひとつは、いくつかの個別火山について実施した、噴火堆積物の調査・分析に基づく事象系統樹の整備である。従来よりも高度化された点は、系統樹に「噴火未遂」事象を加え、地震や地殻変動等の観測データを参照することによってその確率を求める手順を導入したことである。これとは別に、観測や理論から得られる知見を事象分岐条件に取り入れ、噴火履歴が未詳の火山にも適用することを念頭に置いたプロトタイプ事象系統樹の作成にも取り組んだが、現状では研究手法別に文献調査を行った段階にとどまっている。今後は、確率を付与したプロトタイプ系統樹の作成に向けて、情報を整理していく必要がある。

山体崩壊等の低頻度大規模火山現象は、事象系統樹では初期段階の分岐事象のひとつとされることが多い。本計画では、実事例の少ないこうした現象の履歴を詳しく調べる研究にも取り組んだ。特に、カルデラ形成噴火については、直前の火山活動の有無や規模・様式について知ることが、予測という観点から重要である。本計画では、トレンチやボーリングによる地質調査で、先行噴火の痕跡を欠く事例があることや、噴火開始後の活動推移には多様性があることが明らかにされた。また、前計画で開発した分析手法を用いて過去の噴出物を系統的に調べたことで、いくつかの大規模噴火イベントについては、マグマだまりの含水量や温度圧力の変遷を明らかにできた。こうした成果は、大規模噴火に先行する現象を想定する上で重要であり、モニタリング観測にも指針を与える。

火山現象のモデル化に関しては、噴出物分析とフィールド観測の両面で進展があった。噴出物中の微細な結

晶を最先端の撮像技術で解析することにより、火道浅部で起きるマグマの結晶化と噴火様式との関係が明らかになってきた。物理観測との連携による現象理解とモデル化に今後の展望を開く成果といえる。一方で、熱水系卓越型の火山では、微小地震の群発、地殻変動、消帯磁等の現象が、数ヶ月から数年程度の時間スケールで非噴火期に間欠的に起こっている事例が多いことも見いだされた。今後、様々な時間スケールで火山現象のモデル化をさらに進めて予測を目指すべきであるが、その際に欠かせないのが多項目の情報である。その観点から、本計画で InSAR 解析手法の高度化、二酸化硫黄放出率の自動測定装置の実用化等の技術開発が進展したことの意義は大きい。また、平成 28 年度から文部科学省の次世代火山プロジェクトが始まったが、その中で取り組まれている新たな観測手法の開発や地下構造探査との連携も、相互に大きな効果をもたらした。

2011 年に東北地方太平洋沖地震が発生したことを受け、本研究計画では、低頻度大規模の巨大地震や大規模噴火についても、長期予測の精度を向上させるための研究に取り組むこととなった。それには、史料、考古データ、地質データ等の活用が不可欠である。そこで、歴史学、考古学分野の研究者にも本計画への参画を呼びかけ、データの収集、データベース化、分析を進めた。歴史地震研究の基盤である各種地震史料のデジタルデータ化と校訂作業を進め、新たに地震関連史料データベースを構築した。また、全国各地の遺跡発掘調査報告書から、考古遺跡に残された災害痕跡の記事を抽出・分析し、災害痕跡データベースの作成に取り組んだ。一方、既刊地震史料を簡易データベース化することで効率的に校訂作業を行えるスキームの開発や、市民参加型翻刻プラットフォームの構築など、データベース化の作業を加速させる取り組みも平行して行った。津波堆積物の調査も着実に進められ、浸水範囲の推定や広域比較による発生年代の検討が進んだ。これらの新たな取り組みは、膨大な作業を伴うため、5 カ年計画の実施期間で完了するものではなく、全体の枠組みを構築してその一部が整備された段階に過ぎないが、これらが重要な研究基盤となりつつあることは間違いない。今後、蓄積されたデータに基づいて、過去の被害分布と近年の観測の比較による個々のイベントの再評価、イベント発生履歴の再整理、さらには将来予測の精度向上に向けて、より具体的な成果が期待される。

地震や火山噴火の発生予測の研究は着実に進展しているが、短期間に予測の精度や信頼性を大きく向上させるのは簡単ではない。現在持っている科学的知見を最大限に利用して、地震動、津波、降灰等の災害誘因の予測研究を強化することで、少しでも地震・火山災害の軽減に貢献することが必要である。そこで、災害科学、人文社会科学の研究者にも本計画への参画を呼びかけ、災害軽減に役立てるための研究を推進する体制を構築した。

災害誘因の予測では、海陸に整備された稠密な観測網と高速数値計算の組み合わせによる即時予測の分野で重要な成果が挙げられた。長周期を含む強震動の予測では、データ同化計算の高度化と高速化により、地震動が伝わるよりも早く、現実に近い強震動予測波形が得られるレベルに到達し、津波においてもデータ同化にもとづく浸水計算手法が開発された。事前予測では、震源から強震動や津波浸水を被る構造物への影響に至るまでの各要素に関する専門家がチームとなって、地震がどのような被害につながるのかを科学的に評価する取り組みが始まった。これにより、予測の各要素の不確かさを反映した不確実性をリスク評価に付加できると期待される。リスク推定の不確実性を明示することが専門家の評価に対する信頼を高めるとの研究報告があり、こうした取り組みは重要である。また、事前予測の結果を地理空間情報として可視化し、避難訓練に活用することが適切な避難行動を促す上で有効であることがわかり、理学的予測を災害軽減につなげるための方向性を例示する重要な成果である。

本計画期間中にも、災害をもたらす地震・火山噴火がいくつも発生した。2014 年には長野県北部の地震 (M6.x)、2016 年に熊本地震 (M7.3)、2019 年に大阪府北部 (Mx.x) と北海道胆振東部地震 (Mx.x) が発生し、いずれも震源を中心とした地域に人的物的な被害をもたらした。直後の調査観測により、各地震の震源となった断層の性状の詳細が明らかになった一方で、地震現象の多様性とその予測の難しさも示された。長野県北部の地震は既知の活断層の一部のみを破壊したものの、熊本地震と大阪府北部の地震は複数の活断層の複合破壊であった。こ

うした実際の地震が示す破壊様式の複雑さを事前に評価することは極めて難しい。長野県北部の地震と熊本地震は本震の発生に先行して顕著な地震活動があり、大地震の前駆的地震活動の重要な事例となった。地震による被害では、強震動による被害のほかに、大規模な斜面崩壊によるものが熊本地震と北海道胆振東部地震で顕著であった。これらの地震による斜面崩壊では降下火砕物層が滑り面となっている点が共通であり、地盤災害予測の観点で注目される。大阪府北部の地震は震源が大都市域にあったため規模の割に広域に被害が発生した。北海道胆振東部地震では、地震後に発生した広範囲での電力のブラックアウトや、軟弱地盤による地盤の液化が震源から離れたところでも起こるなど、単純に地震の規模や震源の場所だけから、地震災害の規模を予測することが難しいという問題点が浮き彫りになった。

2014年に御嶽山で発生した水蒸気噴火は、多数の登山者に人的被害を与える火山災害となった。これ以外にも、一般に先行現象に乏しく予知の難易度が高いとされる水蒸気噴火が、口永良部島(2014年)、箱根山(2015年)、草津本白根山(2018年)、霧島硫黄山(2018年)などで相次いだ。火口近傍の観測データに共通の特徴がいくつかの事例で確認されたことから、将来には、噴火直前の警報で登山者・観光客に緊急退避を促せるようになる可能性が示されたが、理学だけでは解決できない問題も多く残されている。水蒸気噴火については、噴火直前だけでなくやや長い時間スケールも含めた火山活動の比較研究をさらに進めることが、現象理解・予測のいずれにも重要である。このため、引き続き着実にデータを蓄積していく努力が不可欠である。一方、口永良部島の2015年再噴火、阿蘇山の2014年以降の一連の噴火、2017年~2018年の霧島新燃岳再噴火、2013年以後継続中の西之島噴火など、マグマの関与が明瞭な噴火も多発した。これらの噴火では、無人機等も活用した多項目観測による状況把握と現象・災害の予測が行われた。加えて、総合研究課題として取り組んだ桜島については、全島避難を伴った2015年のマグマ貫入イベントも含め、豊富な噴火・観測事例を活かして、マグマの貫入速度と噴火様式・規模の対応を整理し、さらには避難対応までを分類した。

## 用語解説

### 液状化

地震による振動により、地盤が液体状になる現象。地上の建造物は沈下や傾斜し、地中の水道管などが浮き上がったりする。

### 応力

岩盤等の物体内部に考えた仮想的な面を通して及ぼされる単位面積当たりの力を応力という。震源域の応力が岩盤の破壊強度より高くなったときに地震が発生すると考えられている。

### 応力載荷

地震の発生などにより応力場が変化したときに、近傍の構造にそれに伴う応力を作用させること。

### 応力擾乱

地震の発生や潮汐などによって、応力場に乱れが生じること。

### 応力場

物体内部の応力の向きや大きさの空間的な分布の状態を応力場という。

### 海嘯

河口に入る波の前面が高い垂直な壁となり、砕けながら川上に進む現象。

### 海底間音響測距

海底に設置された複数の音響トランスポンダー（観測点）で、それぞれの観測点間の距離を音波を用いて測定する方法。一定期間、繰り返し測定することによって観測点間の距離の変化がわかり、海底の水平方向の地殻変動を把握することができる。

### ガウジ

断層運動にともなう破碎によって生じた細粒・未固結の物質からなる層。

### 確率利得

無作為に発生していると仮定した場合に予測的中する確率に対する、実際の予測的中率。

### 火山性地震

火山活動に伴って起こる地震。火山内部の応力場や流体の状態を反映をしていると考えられている。

### ガル

CGS 単位系における加速度の単位。1 ガル = 1 cm/s<sup>2</sup>。

### 間隙水圧

土や岩石中の粒子間のすきま（間隙）に入り込んだ水などの流体にかかる圧力。

干渉 SAR

「SAR」参照。

岩盤すべり

岩盤を移動層とする地すべり。

既往スケーリング則

ある物理量の大きさを与えれば，そのほかの物理量の大きさも決めることができるスケーリング関係について，過去の事例を参照して決められたもの。

企画部

建議に基づく研究全体を円滑に実施するため，研究計画の企画，立案，調整を行う，地震・火山噴火予知研究協議会の下に設けられた組織。

軌道暦

GNSS 衛星の任意の時間の位置を計算するためのデータ。

逆断層

断層面に沿って主として上下方向にずれた断層のうち，浅い側の岩盤がずり上がる場合を逆断層という。

拠点間連携共同研究

個々の大学の枠を超えて，大型の研究設備や大量の資料・データ等を全国の研究者が利用したり，研究を行うための施設として認定された拠点が，互いの得意分野を生かして関連分野の研究を遂行するため，連携して進めている共同研究。

距離減衰式

地震の揺れの強さと断層面からの距離との関係を式に表したもの。過去に発生した数多くの地震の観測データを統計的に処理して作成された経験的な式である。地震動予測式とも呼ばれる。

経験的グリーン関数法

大きな地震の揺れに関して，同一の断層面で発生した小さい地震では伝播経路，観測点近傍の地盤構造も同じと仮定し，その小地震の実地震観測記録をグリーン関数（ある点に力を加えたときの別の点での応答）として大地震時の地盤の揺れを合成する手法。

広域応力場

物体内部の応力の向きや大きさの空間的な分布の状態を応力場といい，その広域的な特徴のこと。

降下火砕物

空から降ってくる火山噴出物。

航空機 SAR

航空機に搭載した SAR システムを使用した調査・解析。 「SAR」参照。

鉱物温度圧力計

岩石中の鉱物の結晶構造や化学組成から、その岩石が地下で置かれていた温度・圧力状態を推定する研究手法の通称。温度圧力の推定に利用できる鉱物そのものをこのように呼ぶこともある。具体的には岩石試料の室内分析であり、野外に持ち出して測定するための「鉱物温度圧力計」という特定の装置があるわけではない。

谷中谷

一つの大きな谷の中にさらに小さい谷が入り込んでいるもの。

コミュニティ・モデル

地震や火山噴火を含む多様な地殻活動を定量的に理解することを目的として、これまで蓄積された日本列島の沈み込み構造に関する知見を統一的に集約し、統合的に構築した共通モデル。

固有周期

構造物が振動しやすい周期のこと。固有周期で構造物を揺らすと「共振」という現象が起きて、他の周期で揺らした場合に比べて大きく揺れるという特徴がある。

災害素因

災害誘因を受けた際に生じる被害・損失の規模、様態を左右する、地形・地盤などの自然環境の脆弱性（自然素因）や、構造物・人間社会の脆弱性（社会素因）のこと。

災害誘因

災害をもたらす原因（加害力、外力）のこと。英語ではハザードという。地震や火山噴火による災害は災害誘因である地震動、津波、火山灰や溶岩の噴出などの外力が災害素因に作用することで引き起こされる。

最近傍法

巡回セールスマン問題（全ての都市をちょうど一度ずつ巡り出発地に戻る巡回路のうちで総移動コストが最小のものを求める）を解くのに使われる組合せ最適化アルゴリズムの1つ。

最大せん断

岩盤等の物体内部に考えた仮想的な面について、面に平行な単位面積あたりに働く力をせん断応力と呼び、それが最大になる方向。

三成分合計

地震計では上下動1成分、水平動2成分の合計3成分を観測している。加速度地震計の3成分で観

測された記録を合わせた振幅。

#### 山体膨脹

山体が地震や火山噴火などによって大きな崩壊を起こす現象。

#### 紫外分光装置

対象物からの紫外領域の光の強度を周波数の関数として解析し、対象物の物性を調べる装置。

#### 事象系統樹

火山活動に伴う事象（イベント）を網羅的に列挙し、それら相互の関係と時間発展（事象分岐）を樹形図（イベントツリー）として整理したもの。それぞれの分岐には、地質学的情報、観測データ、理論などに基づいて確率が付与されることもある。

#### 地震火山部会

文部科学大臣の諮問に応じて、科学技術の総合的振興に関する重要事項及び学術の振興に関する重要事項を調査審議し、または文部科学大臣に意見を述べる科学技術・学術審議会のうち、測地学および政府機関における測地事業計画に関する事項を扱う測地学分科会のもとで、地震・火山に関する事項を扱う部会。

#### 地震・火山噴火予知研究協議会

科学技術・学術審議会（測地学分科会）による建議に基づく地震及び火山噴火の観測研究に関して、関係機関の連携を緊密にして観測研究計画を協議し、研究の有効な推進を図ることを目的として東京大学地震研究所に設置されている組織。

#### 地震発生長期評価手法

主要な活断層で繰り返し発生する地震や海溝型地震を対象に、地震の規模や一定期間内に地震が発生する確率を予測したもの。

#### 社会素因

生命、財産、社会・経済活動、環境など、社会・組織にとって価値があり、防災力によって災害誘因から守られるべきもの。

#### 社会誘因

災害誘因のうち、地震・火山などの自然現象以外のもの。例えば、火災、テロ、感染症の蔓延、停電、断水等。

#### 首都圏地震観測網

首都圏地震観測網(Metropolitan Seismic Observation network)、通称 MeSO-net(メソネット)。首都圏地域で発生する地震の研究と、その被害軽減を目的に、首都圏の約 300 力所(東京都、茨城県、神奈川県、千葉県、山梨県、埼玉県)で、人間活動による首都圏の大きなノイズや温度変化を避けるため約 20m の縦孔の底に設置された地震計による観測網。

### 準プリニー式噴火やブルカノ式噴火

火山の噴火様式。マグマ噴火のうち大量の軽石・火山灰を噴き上げる大規模な噴煙柱を伴う噴火をプリニー式噴火と呼ぶ。噴煙柱は成層圏に達することもあり、広範囲に降下物による被害をもたらす。プリニー式噴火よりもやや規模の小さい準プリニー式噴火では、数時間程度継続する噴煙柱を伴う。継続時間の短い爆発的噴火をブルカの式噴火と呼び、火山弾など弾道性の噴出物を放出することが多い。

### 震源インバージョン解析

地震観測データから、震源の位置や断層面上のすべりを推定する解析手法。

### 震源過程

地震は震源域において断層面が滑ることによって生じるが、このとき断層面上で滑りが伝播する過程のことを震源過程という。断層面上の滑りの速度や方向の時空間変化を運動学的に表したものを指し、破壊や摩擦の物理法則と連続体力学を用いて断層の滑り伝播過程を動学的に記述する「動的破壊過程」とは区別されることが多い。観測された地震波や地殻変動等のデータを説明できるような震源過程のモデルを震源断層モデルという。

### 滑り欠損

プレート境界の変位を考えた時、プレートの収束運動から期待される量から、実際に生じているずれの大きさを減じた量。欠損が大きいとはプレート間が固着していることを意味する。

### スロー地震

通常の地震のように断層が急激にすべること無く、ゆっくりと滑ることによって蓄積されたひずみエネルギーを解消させる現象。

### 精密単独測位法

搬送波位相を使用することで、基準観測点を必要とせず、単独観測点のみで測位を行う高精度な測位法。

### 精密暦（最終暦）

GNSS 衛星の位置情報について、後処理の精密な解析によって求められたもの。

### 石基

火山岩を構成する組織の一つ。火山岩中の非常に細かい鉱物粒子からなる緻密な組織を石基といい、比較的大きな粒である鉱物結晶を斑晶と呼ぶ。

### 節面

震源を中心とする仮想的な球面上で、断層運動によって生じる押す力と引く力の領域を分ける直交する二平面。このうちの 하나가断層面に対応する。

#### 相転移

物質が、温度や圧力などの外的条件の変化に伴ってその様相が変化すること。温度・圧力の変化により岩石の結晶構造・密度が変化するのも相転移の一種である。

#### 卓越振動数

地震動は異なった振動数（単位時間あたりの振動回数）の波動の重ね合わせで表せるが、そのうち卓越したエネルギーを持つ振動数。

#### 地殻変動

地震などの断層運動や火山活動などの地下の活動によって地表に生じた変位やひずみ、傾斜の変化。

#### 長周期地震動

規模の大きな地震が発生した場合に生じる、ゆっくりとした揺れのこと。高層ビルは固有周期が長く長周期地震動により影響を受けやすい。

#### 地理空間情報

空間上の特定の地点又は区域の位置を示す情報、およびそれに関連付けられた情報。

#### 津波堆積物

津波によって運ばれた砂や礫などが堆積したもの。これらの調査により、過去の津波の発生年代や浸水規模を推定することができる。津波によって運ばれた砂や礫などが堆積したもの。これらの調査により、過去の津波の発生年代や浸水規模を推定することができる。

#### ディストロメータ

気象観測における降水の粒径、落下速度をレーザー光により測定するセンサー。これを火山灰の粒径と落下速度の観測に利用することによって、降灰のリアルタイム把握に適用した。

#### 同化

複雑な現象の高精度予測のために、数値シミュレーションの結果として得られる物理量が観測データをなるべく再現できるように、適切な初期値や境界値、各種パラメータを推定すること。

#### 熱消磁

磁鉄鉱などの磁性鉱物を含む岩石の磁化（磁性の強さ）が低下、または失われることを消磁といい、特に高温化による消磁のことを熱消磁という。マグマが地表へ近づくなどの原因により火山体内の温度が上昇することで、熱消磁が起こることがある。消磁領域の周辺では磁場（磁界）が変化する。

#### 熱水系

地熱地帯や火山の地下で形成される、熱水が貯留・循環している領域のこと。

#### 粘弾性

加えられた力に応じて変形し力を除くと原形に戻る弾性的性質と、加えられている力に応じた速度で時間とともに変形が進行する粘性的性質を併せもつ性質。

#### 搬送波位相

受信機で復調した GNSS 測位信号の搬送波位相角を連続的に測定したもの。精度の高い測定が可能のため、精密測位に使用される。

#### ひずみ集中帯

測地観測や地形から推定された地殻ひずみが大きい領域。

#### ひずみ速度

単位時間あたりのひずみの変化率。

#### 表面波

地表面に沿って伝わる地震動。地表が波の進行方向に対して直交方向に水平に振動して伝播するラブ波と、地表が上下方向に楕円を描くように伝播するレイリー波とがある。

#### プレート

地球表面は、地殻と十分に冷却して固くなっている最上部マントルとを合わせた、厚さ 100km 程度の複数の固い岩石の層で覆われている。この岩石層がプレートとよばれ、隣り合う 2 つのプレートの境界がプレート境界である。プレート境界においてはしばしば大きな地震が発生する。

#### 放送暦

測位信号中の航法メッセージに含まれる GNSS 衛星の軌道情報。

#### マグマ溜まり

火山の地下でマグマが蓄積している場所。その位置や形状、マグマの蓄積状態については未だに不明な点が多い。

#### 摩擦構成則

岩石の破壊強度や断層面上の摩擦強度を滑り量や滑り速度などの関数として記述したもの。

#### 摩擦パラメータ

摩擦構成則で用いられる媒介変数で、これらが摩擦強度の速度依存性などの摩擦の特性を表す。

#### メカニズム解

地震時の断層運動を断層面の向き（走向、傾斜角）と相対滑りの向き（滑り角）によって表現したものをいう。地震波の放射パターンなどから求められ、震源域の応力場を知る手がかりとなる観測データである。

#### モホ面

モホロビッチ不連続面の略称。地球の地殻とマントルとの境界であり，そこでは地震波速度が不連続となっている。

#### 余効滑り

地震の後に震源域周辺の断層面で起こる滑り。

#### 余効変動

地震の後に震源域あるいはその周囲で発生する地殻変動。

#### 横ずれ断層

断層面に沿って主として水平方向にずれた断層。断層を挟んで他方の岩盤を見たときに，右向きにずれていれば右横ずれ断層，左向きにずれていれば左横ずれ断層という。

#### ライダー観測

レーザー光を対象物に照射して戻ってきた光を分析することで，対象物までの距離や対象物の性質を調べるための装置（ライダー：Light Detection And Ranging）を用いた観測。

#### BPT 分布

Brownian Passage Time 分布。主要活断層や海溝型で発生する地震は繰り返し発生し，その発生間隔は BPT 分布に従うと考えられている。

#### DONET

Dense Ocean floor Network system for Earthquakes and Tsunamis（地震・津波観測監視システム）。南海トラフの地震および津波を常時観測監視するため，熊野灘沖東南海震源域に設置された地震・津波観測監視システム（DONET1）。平成 22 年度から，新たに潮岬沖から室戸岬沖の南海地震震源域にも整備された（DONET2）。

#### G 空間情報

地理空間情報に同じ。

#### GIS

地理情報システム（Geographic Information System）の略。地理的位置に関する情報を持ったデータ（空間データ）を総合的に管理・加工し，視覚的に表示し，時間や空間の面から分析できる技術である。

#### GNSS

全球測位衛星システム（Global Navigation Satellite System）の略称。位置や時刻同期を目的とした電波を発射する人工衛星群，地上の支援システム，および電波を受信して三次元的な地球上の位置や正確な時刻を知る目的で使用する利用者群の総称。アメリカ合衆国が構築した GPS，ロシアの GLONASS や，ヨーロッパ連合（EU）の Galileo などのシステムがある。

#### GNSS-音響測距結合方式

海底における地殻変動を観測するための手法の一つ。海上の船舶やブイの位置を GNSS によって精度よく決定し、それらと海底に設置された基準点（観測点）との距離を、海中音波を用いて測定することにより、海底の基準点の位置を推定する。長期にわたり繰り返し測定して、海底の変動を求める。

#### InSAR

干渉 SAR 「SAR」を参照。

#### JDXnet

全国地震観測データ流通ネットワーク（Japan Data eXchange network）。日本列島に展開されている地震観測点のデータの全国規模のリアルタイム流通ネットワーク。

#### Lバンド航空機 SAR

航空機に搭載された SAR システムのうち、Lバンドの電波帯を用いるものを指す。Lバンドはマイクロ波の周波数帯域の名称のひとつで、0.5 から 1.5 ギガヘルツの帯域。この帯域の電波は木の枝や葉による反射を受けにくいので、植生のある地域での地殻変動観測に適している。また、人工衛星 SAR と異なり、航空機 SAR では飛行経路を自由に設定できるため、様々な方向から対象を観測することにより三次元で地殻変動を捉えることが可能である。

#### Matched Filter 法

既知の地震の波形と類似の波形を連続波形データからパターン検索することで、未検出の地震を検出する方法。小さな地震を検出するのに有効である。

#### PLUM 法

Propagation of Local Undamped Motion 法。震源や規模の推定は行わず、地震計で観測された揺れの強さから直接震度を予想する新しい手法。巨大地震が発生した際でも精度良く震度が求められる。

#### PUFF モデル

航空航路への警報を目的として 1998 年にアラスカ大学で開発された火山灰の軌跡計算モデル。複雑な 3 次元の風の動きを考慮することができる。

#### SAR

SAR は Synthetic Aperture Radar（合成開口レーダー）の略。レーダーを搭載する人工衛星や航空機が移動中に得たデータを合成することで移動方向の開口面を大きく拡大し、大型アンテナと同等の高い分解能を実現したレーダーシステム。干渉 SAR (Interferometric SAR, InSAR) は、同じ場所を撮影した時期の異なる 2 回の画像の差をとる（干渉させる）ことにより地表面の変動を詳細に捉える手法である。

#### XバンドMPレーダー

従来よりも短波長のXバンド（波長約3cm）を用いた高分解能なレーダー。さらに水平偏波と垂直偏波の2種類の電波を同時に送信・受信するマルチパラメータ（MP）方式によって精度の良い観測が実現される。

#### Xバンドレーダ

従来よりも短波長のXバンド（波長約3cm）を用いた高分解能なレーダー。

災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画 実施機関

総務省	国立研究開発法人情報通信研究機構
文部科学省	国立大学法人等
	北海道大学大学院理学研究院
	弘前大学大学院理工学研究科
	東北大学大学院理学研究科
	秋田大学大学院国際資源学研究科
	東京大学大学院理学系研究科
	東京大学地震研究所（共同利用・共同研究拠点）
	東京大学大気海洋研究所
	東京大学史料編纂所
	東京工業大学火山流体研究センター
新潟大学災害・復興科学研究所	
名古屋大学大学院環境学研究科	
京都大学大学院理学研究科	
京都大学防災研究所（共同利用・共同研究拠点）	
鳥取大学大学院工学研究科	
高知大学理工学部	
九州大学大学院理学研究院	
鹿児島大学地震火山地域防災センター	
立命館大学総合科学技術研究機構	
東海大学海洋研究所	
	国立研究開発法人防災科学技術研究所
	国立研究開発法人海洋研究開発機構
	独立行政法人国立文化財機構奈良文化財研究所
経済産業省	国立研究開発法人産業技術総合研究所地質調査総合センター
国土交通省	国土地理院
	気象庁
	海上保安庁
都道府県	地方独立行政法人北海道立総合研究機構環境・地質研究本部地質研究所
	山梨県富士山科学研究所

災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画 平成 30 年度研究課題一覧

実施機関名	番号	研究課題名	研究代表者
情報通信研究機構	0101	先端リモートセンシング技術による地震及び火山の災害把握技術の開発	中川勝広
北海道大学	1001	地質および物質科学的データに基づく低頻度大規模火山現象およびその準備過程の研究	中川光弘
	1002	北海道沖低頻度大規模地震の総合的理解とそのモニタリングへの基礎的研究	谷岡勇市郎
	1003	多項目観測に基づく火山熱水系の構造の時空間変化の把握と異常現象の検知	橋本武志
	1004	噴火履歴及び観測事例に基づく噴火事象系統樹の試作	中川光弘
	1005	津波浸水域の即時予測手法開発のための研究	谷岡勇市郎
	1006	地理空間情報の総合的活用による災害に対する社会的脆弱性克服のための基礎研究	谷岡勇市郎
	1007	地殻変動等多項目観測データ全国リアルタイム流通一元化解析システムの開発	高橋浩晃・大園真子・山口照寛
	1008	Lバンド航空機 SAR による革新的火山観測手法の開発	村上亮
	1009	準リアルタイム火山情報表示システムの開発	大島弘光
弘前大学	1101	地殻流体と地震活動の関係及び過去地震の災害誘因の解明	小菅正裕
東北大学	1201	スラブ内地震の発生メカニズムの解明	東龍介
	1202	蔵王山周辺の総合観測	三浦哲
	1203	地殻応答による断層への応力載荷過程の解明と予測	松澤暢
	1204	地震断層すべり物理モデルの構築	松澤暢
	1205	岩石組織に基づく火道浅部プロセスの推定手法の開発	中村美千彦
	1206	地震活動の時空間パターンと断層および地震サイクルとの関係	遠田晋次
	1207	地震に先行する大気中ラドン濃度変動に関する観測	長濱裕幸
	1208	観測事例及び理論予測に基づく噴火事象系統樹の分岐条件の検討	西村太志
	1209	トランジェント現象リアルタイムモニタリングのための複合測地データ利用の高度化	太田雄策
	1210	海溝軸近傍で観測可能な海底地殻変動観測技術の開発	木戸元之
東京大学理学系研究科	1401	地殻流体の連続化学観測にもとづいた地殻の状態評価システムの開発	角森史昭
	1402	地震発生場の階層性を考慮した地震活動予測	井出哲
	1403	噴火推移モニタリングのための火山ガス観測装置の開発	森俊哉
東京大学地震研究所	1501	地震・火山災害の関連史資料に基づく低頻度大規模災害の調査	佐竹健治
	1502	揮発性成分定量による活火山爆発力ポテンシャル評価とマグマ溜まり深度の再決定	安田敦
	1503	日本海溝・相模トラフプレート境界で起こる多様なすべり現象の包括的モデル構築	篠原雅尚
	1504	内陸地震発生の理解と予測に向けて	飯高隆
	1505	日本列島基本構造モデルの構築	岩崎貴哉・佐藤比呂志
	1506	小型絶対重力計を用いた火山監視技術の開発	新谷昌人
	1507	次世代プレート境界地震発生モデル構築のための実験的・理論的研究	中谷正生
	1508	地球物理・地球化学統合多項目観測および比較研究によるマグマ噴火を主体とする火山の定量化とモデル化	大湊隆雄
	1509	プレート境界すべり現象モニタリングに基づくプレート間カップリングの解明	小原一成
	1510	相似地震再来特性の理解に基づく地殻活動モニタリング手法の構築	五十嵐俊博
	1511	地震活動に基づく地震発生予測検証実験	鶴岡弘

	1512	地震活動パラメーターと地震発生場の応力間に成り立つ定量的関係式	波多野恭弘
	1513	歴史時代に発生した地震・火山などの災害に関する多角的な研究	佐竹健治
	1514	首都圏に被害を及ぼす地震の解明およびその被害の実像	酒井慎一
	1515	堆積平野・堆積盆地における地震災害発生機構の解明	三宅弘恵
	1516	広帯域・高解像度強震動シミュレーションに基づく大地震の強震動評価の高度化	古村孝志
	1517	地震動・津波誘因の長期予測情報コミュニケーション	瀧藤一起
	1518	データ流通網の高度化	鶴岡弘
	1519	研究成果共有システムの構築	鶴岡弘
	1520	衛星赤外画像による噴火推移の観測と類型化に関する研究	金子隆之
	1521	海底での地震・地殻変動観測に向けた観測技術の高度化	塩原肇
	1522	光技術を利用した大深度ポアホール用地震地殻変動観測装置の開発	新谷昌人
	1523	素粒子ミュオンを用いた火山透視技術の可用化プロジェクト	田中宏幸
	1524	日・米・NZ 国際協力によるスロースリップでのプレート境界面断層滑りメカニズムの解明	望月公廣
東京工業大学	1601	水蒸気爆発場の物理・化学状態の把握と火山流体の挙動	小川康雄
	1602	海底火山活動の評価手法開発に関する研究	野上健治
名古屋大学	1701	古文書解読による南海トラフ巨大歴史地震像の解明	山中佳子
	1702	地表面地震断層および活断層の地表形状・変位量データにもとづく直下型大地震の規模・頻度予測手法の高度化—LiDAR 等の高解像度 DEM を用いた検討	鈴木康弘
	1703	南海トラフ域における巨大地震断層域の力学・変形特性の把握	山岡耕春
	1704	地震・津波被害に対する地域社会の脆弱性測定に基づくボトムアップ型コミュニティ防災・減災に関する文理融合的研究	室井研二
	1705	精密制御震源システムの標準化と、ポアホール・海域への設置に関する研究	山岡耕春
	1706	火山災害情報およびその伝達方法のあり方	山中佳子
京都大学理学研究科	1801	地震サイクルシミュレーションの高度化	宮崎真一
	1802	水蒸気噴火後の火山活動推移予測のための総合的研究・御嶽・口永良部・阿蘇	大倉敬宏
	1803	実観測データに基づく断層面の摩擦パラメータと地殻活動の状態推定のためのデータ同化手法の構築	宮崎真一
京都大学防災研究所	1901	史料の収集・翻刻・解析による過去の大地震および自然災害の調査	西上欽也
	1902	近代観測以降の大噴火時の観測データの整理と低頻度大規模噴火予知に寄与する情報の抽出	中道治久
	1903	プレート境界巨大地震の広帯域震源過程に関する研究	岩田知孝
	1904	南海トラフ巨大地震の予測高度化を目指したフィリピン海スラブ周辺域の構造研究	澁谷拓郎
	1905	日本列島変動の基本場解明:地殻とマントルにおける物性,温度,応力,流動—変形	飯尾能久
	1906	注水実験による内陸地震の震源断層の詳細な構造と回復過程の研究	西上欽也
	1907	横ずれ型の内陸地震発生物理モデルの構築	飯尾能久
	1908	桜島火山におけるマグマ活動発展過程の研究	井口正人
	1909	焼岳火山の噴火準備過程の研究	大見士朗
	1910	短スパン伸縮計等を活用した西南日本における短期的 SSE の観測解析手法の高度化	西村卓也
	1911	プレート境界巨大地震等の広帯域強震動予測に関する研究	関口春子
	1912	強震動によって発生する地すべり現象の発生ポテンシャル評価と事前予測手法の高度化	千木良雅弘
	1913	桜島火山におけるマグマ活動発展過程の研究—火山灰拡散即時予測	井口正人
	1914	桜島火山におけるマグマ活動発展過程の研究—地域との連携	井口正人
	1915	歴史記録の電子化	飯尾能久

鳥取大学	2001	自治体震度計を用いた地震速報の高度化	香川敬生
高知大学	2101	四国前弧域から中央構造線北方にかけての観測高度化による地震発生場の研究	大久保慎人
九州大学	2201	地震・火山相互作用下の内陸地震・火山噴火発生場解明およびモデル化の研究	松本聡
鹿児島大学	2301	海域と島嶼域における地震・地殻変動観測による南西諸島北部のプレート境界域テクトニクスの観測研究	八木原寛
立命館大学	2401	南アフリカ金鉱山の地震発生場における応力・強度・ひずみ変化の現位置計測	小笠原宏
	2402	大規模地震・破壊に先行する極微小な前震活動の発生様式の特徴の解明	川方裕則
東海大学	2501	電磁気的地震先行現象の観測と統計評価による他種の先行現象との比較	長尾年恭
東京大学 史料編纂所	2601	文献史料による歴史地震に関する情報の収集とデータベースの構築・公開	佐藤孝之
新潟大学	2701	日本海沿岸地域を中心とした地震・火山噴火災害関連史料の収集と分析	矢田俊文
	2702	過去の災害事例に基づく減災科学に係る研究	田村圭子
東京大学 大気海洋 研究所	2801	津波地震を励起する浅部プレート境界断層の実態解明と物性変動モニタリング	朴進午
	2802	地球物理・化学的探査による海底火山および海底熱水活動の調査	佐野有司
防災科学 技術研究 所	3001	巨大地震による潜在的ハザードの把握に関する研究	山下太
	3002	基盤地震観測等データのモニタリングによる地殻活動の理解と予測技術の開発	松澤孝紀
	3003	噴火予測システムの開発に関する研究	藤田英輔
	3004	基盤的地震・火山観測網の整備・維持及び超大容量の地震・火山観測データの効率的流通システムの構築	松原誠
	3005	火山活動把握のためのリモートセンシング観測・解析技術に関する研究	小澤拓
海洋研究 開発機構	4001	先端的掘削技術を活用した総合海洋掘削科学の推進	山田泰広
	4002	海域地震発生帯研究開発	小平秀一
産業技術 総合研究 所	5001	津波浸水履歴情報の整備	穴倉正展
	5002	活断層データベースの整備	吾妻崇
	5003	地質調査に基づく火山活動履歴調査とデータベース整備	石塚吉浩
	5004	海溝型巨大地震の履歴とメカニズム解明	穴倉正展
	5005	地震時変位量に基づく連動型古地震像復元手法の研究	近藤久雄
	5006	火山性流体と噴出物の解析に基づく噴火推移過程のモデル化	篠原宏志
	5007	地下水・地殻変動観測による地震予測精度の向上	松本則夫
	5008	高分解能地殻応力場の解明と造構造場の研究	今西和俊
	5009	アジア太平洋地域地震・火山ハザード情報整備	宝田晋治
国土地理 院	6001	内陸の地殻活動の発生・準備過程の解明	矢来博司
	6002	火山地域のマグマ供給系のモデリング	矢来博司
	6003	プレート境界面上の滑りと固着の時空間変化の広域的な把握	矢来博司
	6004	GNSSを用いた震源メカニズム即時推定技術の開発	矢来博司
	6005	GNSS連続観測(GEONET)	矢来博司
	6006	地形地殻変動観測	矢来博司
	6007	物理測地観測	矢来博司
	6008	宇宙測地技術による地殻変動監視	矢来博司
	6009	火山基本図・火山土地条件図整備	矢来博司
	6010	都市圏活断層図整備	矢来博司
	6011	地殻活動データベース整備・更新	矢来博司
	6012	GNSS観測・解析技術の高度化	矢来博司
	6013	SAR観測・解析技術の高度化	矢来博司

気象庁	7001	火山現象に関する基礎データの蓄積と活用	井上和久
	7002	自己浮上式海底地震計観測による宮城県沖の地震活動	尾崎友亮
	7003	地殻変動観測による火山活動評価・予測の高度化に関する研究	小久保一哉
	7004	火山活動に伴う地殻変動の把握及び評価	木村一洋
	7005	地球電磁気学的手法による火山活動監視の高度化	山崎明
	7006	地震活動・地殻変動監視の高度化に関する研究	小林昭夫
	7007	陸上電磁場観測における津波生成磁場の検知	山崎明
	7008	緊急地震速報の予測手法の高度化に関する研究	干場充之
	7009	海溝沿い巨大地震の地震像の即時的把握に関する研究	勝間田明男
	7010	大規模噴火時の火山現象の即時把握及び予測技術の高度化に関する研究	徳本哲男
	7011	津波の予測手法の高度化に関する研究	山本剛靖
	7012	地震・津波・火山防災情報の改善に係る知見・成果の共有	長谷川安秀
	7013	火山活動の総合判断	宮村淳一
	7014	地震観測, 地殻変動観測	尾崎友亮
	7015	潮位観測	市川真人
	7016	地磁気精密観測	山際龍太郎
	7017	全国における火山観測の強化	宮村淳一
	7018	地殻活動・火山活動のための地磁気基準観測, 全磁力精密観測のデータベース化	飯野英樹
	7019	全国地震カタログの作成	上野寛
	7020	防災・減災に関する知識の普及啓発	長谷川安秀
海上保安庁	8001	海底地殻変動観測	石川直史
	8002	海洋測地の推進	山田裕一
	8003	海域火山観測	新村拓郎
	8004	地殻変動監視観測	山田裕一
	8005	駿潮	林王弘道
	8006	海域における地形・活断層調査	福山一郎
奈良文化財研究所	9001	考古資料および文献資料から見た過去の地震・火山災害に関する情報の収集とデータベースの構築・公開	小池伸彦
北海道立総合研究機構	9101	日本海沿岸域における過去最大級津波の復元	川上源太郎
	9102	地球科学的総合調査による火山のモニタリングと熱水系のモデル化	高橋良
山梨県富士山科学研究所	9201	富士山における地下水観測	内山高
	9202	富士山の噴火事象系統樹の高精度化のための基礎研究	吉本充宏
公募研究	2901	宏観異常現象の検証- 漁獲量と地震との関係を中心に-	織原義明
	2902	多種の地震活動度解析による大地震先行的地震活動変動の検知	上田誠也
	2903	「地震学及地理学研究材料報告」に基づく歴史津波の痕跡調査	蝦名裕一
	2904	白山火山の最近 5000 年間の噴火履歴解明	川崎一雄
	2905	北海道中央部, 大雪火山, 御鉢平カルデラ噴火を対象とした噴火推移とマグマ供給系の変遷の解明	佐藤鋭一
	2906	後屈斜路カルデラ期の摩周火山及び中島火山の噴火履歴とマグマ供給系	和田恵治
	2907	北海道摩周における火山活動の化学的調査	鹿児島涉悟
	2908	火山性湖沼における地下熱水流動系の解明: 噴火予測への新たな指標	知北和久
	2909	蔵王山, 御釜を火口とする活動の噴火推移の解明	伴雅雄
	2910	地震先行 VLF 帯電磁波強度減少研究のための超小型衛星のブレードボードモデルの開発	児玉哲哉
	2911	歴史災害研究のオープンサイエンス化に向けた検討	橋本雄太

	2912	史料中の有感地震記録を用いた歴史地震研究の新展開	石辺岳男
	2941	富山県弥陀ヶ原火山・地獄谷内での重力探査と地形および地温計測による地熱・火山活動のモニタリング	楠本成寿
	2942	草津白根火山の完新世噴火履歴解明(総括)	石崎泰男
	2943	地震先行 VLF 帯電磁波強度減少の統計的評価と発生メカニズムの解明	鴨川仁
	2948	南アフリカ大深度金鉱山における M5.5 地震震源域の応力場直接推定	伊藤高敏
	2949	地球化学的観測手法を用いた箱根山等における熱水系の構造解明, 地震活動評価, および火山ガスの化学的連続観測技術の高度化	大場武
拠点間連携共同研究	2951	ばらつきのある被害リスク評価をふまえた防災計画の検討	牧紀男
	2952	将来時点でのエクスポージャ予測のためのデータ解析とモデル化手法の構築	西嶋一欽
	2953	歴史被害地震の活動セグメントの推定とそれを考慮した強震動・建物被害シミュレーションに基づく震源破壊過程の推定に関する研究	松島信一
	2954	歴史地震評価のための振動計測と引き倒し実験による伝統木造建造物の耐震性能評価	川瀬博
	2955	強震動評価のための浅部地盤と深部地盤の統合モデル化に関する研究	山中浩明
	2956	地震による被災から回復までの個人世帯生活被災度時間関数の構築	岡田成幸
	2957	地震随伴火災の経時的な発生予測モデルの開発と出火防止対策の有効性評価	西野智研
	2958	建物個別の応答予測と揺れ継続時間のリアルタイム情報配信	倉田真宏
	2975	巨大地震のリスク評価の精度向上に関する新パラダイムの構築	森田裕一・川瀬博
	2990	巨大地震時における地盤増幅率の予測手法の高精度化	上田恭平
	2991	震源モデルに着目した巨大地震に伴う強震動予測の高度化	宮澤理稔
	2994	地震時の斜面災害軽減を目的とした地震波動伝播シミュレーションの利活用	土井一生