

研究計画の概要

研究課題名：2023年5月5日の地震を含む能登半島北東部陸海域で継続する地震と災害の総合調査

研究代表者：平松良浩 金沢大学理工研究域地球社会基盤学系 教授

研究目的：

能登半島北東部に位置する珠洲市付近では2018年6月頃から地震数が増加し、2020年12月頃からさらなる地震活動の活発化と局所的な非定常地殻変動が観測され、地震活動は現在も高いままである。この一連の地殻活動の中で、2021年9月16日にはマグニチュード5.1、最大震度5弱、2022年6月19日にはマグニチュード5.4、最大震度6弱、そして2023年5月5日にはマグニチュード6.5、最大震度6強の地震が発生し、石川県では死者1人、負傷者47人、住家全半壊106棟、一部破損636棟（2023年5月26日現在）の被害が生じた。令和4年度の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」による地震・測地等の臨時観測を通じて、一連の地殻活動に流体の移動が関与するモデルの提案に至ったが、マグニチュード6.5の地震後の地震活動域は、それまでと異なり広く海域に拡大している。能登半島北東部で続く地殻活動への関与が考えられている流体とマグニチュード6.5の地震との関係性やこの地域の構造や地形発達におけるマグニチュード6.5の地震の位置付けを、海陸と陸域での臨時観測等を通じて解明することは、この一連の地殻活動の全体像の理解のために必要であり、海域に広がった地震活動域に存在する活断層帯でのさらなる大地震の発生の可能性を検討する上で重要である。また、過疎高齢化が著しい珠洲市を襲ったマグニチュード6.5の地震により生じた被害の要因や社会的影響の解明は、過疎高齢化の進む日本各地における地震防災体制の構築や震災からの復旧・復興に必要な知見を与え、今後の地震防災に貢献することが期待される。そこで本研究では具体的に以下の10テーマを設け、研究を実施する。

「テーマ1. 陸域地震観測による震源域の断層帯および流体供給系の分布・挙動の解明」においては、昨年度に構築した臨時地震観測システムを活用し、テーマ2の海域と陸域における臨時地震観測と連携しながら、詳細な震源分布の推定、S波スプリッティング解析・実体波地震波トモグラフィを実施する。また、新たに常時微動の地震波干渉法に基づく表面波トモグラフィを実施し、震源域及びその直下における異方性を含むS波速度構造を推定する。マグニチュード6.5の地震の断層上の小繰り返し地震を調べることにより、マグニチュード6.5の地震前後の断層上の非地震性すべりの進行状態を把握する。

「テーマ2. 海陸統合臨時地震観測による群発地震活動の把握」においては、マグニチュード6.5の地震後に海域に広がった地震活動の震源位置決定精度を向上させるために、群発地震活動域の直上にあたる海域と陸域で同時期に臨時地震観測を実施する。テーマ1の既存陸域地震観測網と連携し、新規に得る海陸統合地震観測データによってマグニチュード6.5の地震の震源断層の広がりや傾きを高精度で把握し、珠洲市の北岸沖に存在する活断層との関係性を明らかにする。

「テーマ3. 測地観測による地殻変動メカニズムの解明」においては、国土地理院・大学・ソフトバンクのGNSS観測データの統合解析とSentinel-1及びALOS2衛星を用いたSAR干渉解析及び多数の干渉画像を用いた時系列解析を行い、能登半島北東部の詳細な地殻変動の時空間発展を明らかにする。大学観測点の解析・作図の自動化により地殻変動モニタリングの準リアルタイム化を行うとともに、今まで得られた非定常変動の観測データを用いて、2020年12月頃の活動開始当初からマグニチュード6.5の地震及びその後までの流体移動や非地震性・地震性すべりの時空間発展を連続的に推定する。また、推定された流体移動やすべりと今まで発生したマグニチュード5以上の地震を含む群発地震の関連性に関する評価を試みる。

「テーマ4. 群発地震域～M6.5地震破壊域における流体分布把握のための海陸電磁気観測」においては、珠洲市北岸沖合において海底電磁気観測を強化し、M6.5の地震・群発地震と流体の関連性を明らかにする。2021年度及び2022年度に実施した電磁気観測の結果から、地下10～20kmに分布する低比抵抗層（流体層）の上端部で群発地震が活発である可能性が示唆されるが、海域のデータが圧倒的に不足している。珠洲市北岸沖合の2地点で海底電磁気測定装置を1ヶ月程度設置し、また陸上でも並行して電磁気測定装置を設置する。これまでに得られたデータを加えた海陸統合解析を実施することにより、群発地震や2023年のM6.5地震の震源域と比抵抗構造の関係を解明し、M6.5の地震・群発地震と流体の関連性を明らかにす

る。

「テーマ5. 超高感度地殻活動観測による地殻流体挙動の解明」においては、通常の観測では捉えられていない微小かつ広帯域の地殻活動を高精度で観測し、群発地震活動の詳細及び地殻内流体の群発地震活動への寄与を解明する。昨年度、これらの目的に対するファイバーセンシング及び重力観測の有効性が一定程度、確認できた。今年度は、この知見に基づいて、ファイバーセンシングの測定形態を増やすとともに最新の測定手法の適用も試みる。加えて、重力観測とファイバーセンシングの連携をより強めるために新たな重力測定点を設けるとともに、重力データのより詳細な評価を行う。

「テーマ6. 温泉水の化学分析による能登半島の物質循環像の調査」においては、能登半島の深部—表層における物質循環像の解明を目的として、地震活動域およびその周辺地域で温泉水・地下水試料を採取し、それらの化学・同位体組成を測定して比較を行う。物質循環像を明らかにして、能登半島における地震活動・地殻変動と深部流体起源物質の表層への供給過程との関係性を評価し、地震発生メカニズムの解明に貢献する。

「テーマ7. 活構造調査による震源域の古地震活動像の解明」においては、2023年5月5日のマグニチュード6.5の地震震源域周辺における海岸地形調査により、マグニチュード6.5の地震による隆起量分布を解明する。また、航空レーザー測量データによる高解像度数値標高データの変動地形解析やこれに基づく地質調査により、震源域および周辺の古地震活動の時期やこれによる地殻変動と震源断層像を推定する。

「テーマ8. 震源過程と強震観測に基づく高震度生成過程調査」においては、他テーマで得られる知見を参考にして、M6.5の地震の強震記録を用いた波形インバージョンを行って震源過程を求める。このモデルを参考に、広帯域強震動を説明する震源モデルを推定する。令和4年度に実施した調査で判明した珠洲市市街地の地盤震動特性を踏まえ、強震観測や地盤震動観測を実施し、珠洲市正院町における震度6強の高震度生成メカニズム、及び地震被害地域の強震動の特徴を解明する。

「テーマ9. 震災による被害状況の調査と再建に関する検討」においては、構造物や地盤変状等の被害状況の調査を実施し、過去の地震被害と比較して今回の地震の被害の特徴や過去の同地区での被害状況との相違を抽出する。被害地点や構造物における震動特性調査を行い、被害発生の要因を検討する。特に建築構造物の場合、一度塑性破壊・損傷が生じるとその後の地震活動に伴い被害状況が悪化することや、補修等により被害状況を確認することが困難となるため、速やかに被害状況を調査する。また、被害程度を包括的に調査することで地震外力と被害との関係性を評価することが可能となり、地震活動および震動特性の解明に寄与できる。被害状況を調査することで過疎高齢化が進んでいる本研究対象地区に合った再建方法が提案できる。合成開口レーダー観測により地盤変動の詳細と地形・地質の特性を調査し、地震による小変位の地すべり変動が発生する環境を明らかにする。これらを目的として、調査研究を実施する。

「テーマ10. 社会的脆弱性による災害時の地域への影響調査」においては、少子高齢化と人口減少の進展に伴う社会の脆弱性が災害時に地域に与える影響の実態調査を行い、災害時要支援者の避難行動と支援体制、被災および復興に関わる地方財政学、学校における避難所の開設・運営および学校防災体制、発生が危惧される津波に対する住民意識と準備態勢、における問題点や課題を解明し、過疎高齢化が進む地域での地震津波防災・減災に貢献することを目指す。

これらのテーマでの調査研究の実施により、現在進行中の地殻活動のモニタリングの高度化と、地殻活動の原因と考えられ、地下深部から供給されている可能性がある流体(水)の分布・移動の高精度な推定、物質循環、周辺に分布する活断層に与える影響や地殻構造、地形発達における2023年5月5日のマグニチュード6.5の地震の位置付け、不均質な震度分布の生成メカニズムの解明、地震被害の実像とその要因や社会的影響の解明が進み、今後の地震活動推移予測の高度化や過疎高齢化が進む地域における地震災害の軽減に役立つ知見を得ることが期待できる。

研究内容：

テーマ1. 陸域地震観測による震源域の断層帯および流体供給系の分布・挙動の解明

臨時地震観測データを用いた断層帯および深部流体供給系の微細構造の解明を行う。臨時地震観測を実施し、実体波地震波速度トモグラフィ・方位異方性(スプリッティング)の空間分解能向上と鉛直異方性(常時微動表面波)の空間分布の推定を行う。相対震源決定法の改良による長期間の地震活動の微細構造と流体分布との関係の解明を行うとともに、非地震性すべりの進行状態を把握する。

テーマ2. 海陸統合臨時地震観測による群発地震活動の把握

M6.5の地震後に広がった地震活動域の直上にあたる海域と陸域に臨時地震観測点を設置する。また、昨年度に設置した陸域臨時テレメータ観測点を維持する。これらで得られる海陸統合地震観測データを用いて、マグニチュード6.5の地震後に広がった群発地震活動域での高精度な震源分布や震源域の地震学的構造を得ることで、地震活動と活断層や地質境界断層との関係性を明らかにする。

テーマ3. 測地観測による地殻変動メカニズムの解明

1) GNSS観測による地殻変動の準リアルタイムモニタリング

6か所におけるGNSS臨時観測を継続し、ソフトバンク独自基準点や国土地理院電子基準点を含めた統合解析を行なって、各種の図示も自動化することで、非定常地殻変動の準リアルタイムモニタリングシステムを構築する。

2) 複数SAR衛星データを用いた面的地殻変動分布の解明

Sentinel-1衛星搭載SARデータの干渉画像の時系列解析に加えて、ALOS-2衛星搭載SARのデータも用いた干渉解析を行なって、山間部も含む面的な非定常地殻変動の詳細分布を明らかにする。

3) 流体移動及び非地震性すべりの時空間発展推定と地震トリガリング機構の解明

(1)と(2)による地殻変動データに基づき、地下での流体移動や非地震性・地震性すべりの時空間発展を推定する。さらに、変動源によるクーロン応力変化や摩擦則に基づく応力伝播—地震応答モデルなどを用いて、今まで発生したマグニチュード5以上の地震を含む群発地震の発生への影響評価を試みる。

テーマ4. 群発地震域～M6.5地震破壊域における流体分布把握のための海陸電磁気観測

海底での電磁気観測はこれまでに沿岸付近の3地点で実施されているが、新たに珠洲市北岸沖合の3地点に海底電位差磁力計を設置して電磁気観測を実施する。海底では磁場3成分・水平電場2成分を約1ヶ月間連続して観測する(8月末～10月上旬を予定)。装置は兵庫県立大学・海洋研究開発機構の所有機器を使用し、傭船を用いて装置の設置・回収作業を実施する。また、海底電磁気データのノイズ除去および海陸統合データ解析を行うために、陸上でも数カ所で並行して電磁気観測を実施する(京都大学の所有機器を使用)。これらの新規データと既存データに地磁気地電流法(MT法)を適用して、M6.5地震の震源域やその周辺の3次元比抵抗構造解析を実施する。

テーマ5. 超高感度地殻活動観測による地殻流体挙動の解明

ファイバーセンシングについては、珠洲市と能登町間に敷設されたNTT西日本の光ファイバーケーブルを活用した約5000点における超高密度震動観測を行い、群発地震活動に伴う震動分布を明らかにする。さらに、珠洲市役所裏のトンネル内において、分布型センサーを用いた光ファイバー歪み観測を新たに行うとともに、光ファイバー歪計に対する環境温度変化の影響を低減することによって低ノイズの広帯域観測を実現し地殻活動の解明を行う。重力観測については、これらのファイバー近傍における測定点を増やすことで局地的な地殻変動の重力観測に対する影響を調査するとともに、地震活動が特に活発化している北側クラスタでの絶対重力観測を継続する。海洋等の変動によるノイズを評価する手法を開発し、重力データと測地観測から得られた断層モデルとのより詳細な比較を通じて、2023年5月5日のマグニチュード6.5の地震を含めたこれまでの地震活動における流体の寄与を見積もる。

テーマ6. 温泉水の化学分析による能登半島の物質循環像の調査

珠洲市および能登町において野外調査を実施し、温泉水・地下水試料を採取する。陰イオン濃度や水の水素・酸素同位体比を測定するとともに、溶存ガスを抽出・精製することにより、希ガス同位体組成等を測定する。得られる化学データをもとに、能登半島の地下深部に存在する流体が能登半島表層に与える影響について、以下の事項を調査する。

- 1) 地下深部から表層に対して、定常的にどのような物質が供給されているかを調査する。
- 2) 地震活動・地殻変動や地質構造に応じて、温泉水の化学・同位体組成および温泉水への地下深部流体

起源物質の影響がどのように変動するかを調査する。
上記を組み合わせるにより、能登半島における地震活動・地殻変動と深部流体起源物質の表層への供給過程との関係性を評価し、地震発生メカニズムの解明に貢献する。

テーマ7. 活構造調査による震源域の古地震活動像の解明

2023年5月5日のマグニチュード6.5の地震の震源域周辺において海岸地形調査を行い、岩石海岸地形や生物遺骸の分布高度等からこの地震による隆起量分布を解明する。また、能登半島北部の航空レーザー測量データから高解像度数値標高データを生成し、これを用いた震源域周辺の完新世の離水岩石海岸地形や中～後期更新世の海成段丘面を対象とした変動地形の解析を行う。さらに、地質調査による離水年代の推定等により、震源域および周辺の古地震活動の時期やこれによる地殻変動と震源断層像を推定する。

テーマ8. 震源過程と強震観測に基づく高震度生成過程調査

他のテーマで得られる知見も参考にし、M6.5の地震の震源メカニズム解、余震分布等に基づいて震源断層面を仮定し、強震記録を用いた波形インバージョン解析により震源過程を推定する。推定された震源過程を参考に、多様な種類の構造物被害に影響する地震動の生成要因を検討するため、経験的グリーン関数法等を用いた広帯域強震動震源モデルを推定する。これらの解析に従い強震動に寄与する震源過程の特徴を抽出する。令和4年度に実施した強震観測、微動観測で判明した珠洲市市街地の地盤震動特性を踏まえ、強震観測や地盤震動観測を実施し、地震被害地域における浅部地盤構造の空間的特徴など地盤震動特性評価を精緻化する。これらの震源過程と地盤構造に基づき、珠洲市正院町における震度6強の高震度生成メカニズム、及び地震被害地域の強震動の特徴を解明する。

テーマ9. 震災による被害状況の調査と再建に関する検討

一般家屋を含む構造物、及び地盤変状等の被害状況の調査を実施する。2022年6月19日の地震および1993年能登地震などの過去の地震被害と比較して今回の地震の被害の特徴や過去の同地区での被害状況との相違を抽出する。被害地点や構造物における震動特性調査を行い、構造物の固有周期分析を踏まえ、被害発生の要因を検討する。石川県珠洲市は建築年の古い木造建物の割合が高い上、古い木造建物を増築して居住している住民が比較的多く、また過疎高齢化の進展が著しく、高齢者のみで構成されている世帯割合が高い。そのため建物の損傷の進展により、修繕や再建をあきらめる住民が増えると、地域コミュニティの存立が困難になる。上記調査を通じて、地域住民が安心して住み続けられるように、現地の実情に合った建物修復方法や現地のコミュニティの中核を成す社寺、文化財の修復方法について検討する。なお、上記研究の遂行に当たっては（一社）日本建築学会北陸支部の協力を得ることとしている。航空レーザー測量による精密数値地形モデルの分析と地表踏査による現地調査を実施し、地震発生前の地すべり地形と発生後の地形および地盤変動の特徴をその地形地質特性とともに調査・分析する。

テーマ10. 社会的脆弱性による災害時の地域への影響調査

超高齢化が典型的に進展する珠洲地域における住民と地域社会の被災の実相を調査する。住民に対する郵送・Webアンケート、自治体や自主防災組織、学校に対するヒアリングにより、住民相互の支援体制の状況、および社会的サービスの提供状況を把握することに加え、2007年能登半島地震時の過去データや、石川県加賀地方・東北地方など、他地域で得られているデータと比較することにより、超高齢化社会がもたらす災害に対する脆弱性を分析する。さらに、住民アンケートにより、発生が危惧される津波に対する認識や準備状況についても把握する。具体的には下記の5項目の調査を実施する。①インクルーシブ防災の観点から少子高齢化地域における個別避難計画や災害ケースマネジメントの導入可能性について検討する。②財政負担や財源調達について国や県との関係や類似条件の過去事例との比較から検討する。③少子化に伴って人的資源の縮小、施設の老朽化が進む学校を避難所として利用・運用する上での課題や学校と地域社会との関係性について実態調査を行う。④津波の発生可能性に対する意識、被災想定認知、避難準備状況について調査する。⑤住民の被災実態に加え、事前の備えや支援に対する評価意識についても調査する。

研究経費：

29,640 千円

研究組織：

(研究代表者)

氏名	所属・職名	(専門分野)	役割分担
平松 良浩	金沢大学理工研究域地球社会基盤学系・教授	(地震学)	統括

(研究分担者)

氏名	所属・職名	(専門分野)	役割分担
岡田 知己 高木 涼太 吉田 圭佑	東北大学大学院理学研究科・准教授 (地震学) 東北大学大学院理学研究科・助教 (地震学) 東北大学大学院理学研究科・助教 (地震学)		(テーマ1) ・陸域地震観測による震源域の断層帯および流体供給系の分布・挙動の解明
篠原 雅尚 酒井 慎一 蔵下 英司	東京大学地震研究所・教授 (地震学) 東京大学大学院情報学環・教授 (地震学) 東京大学地震研究所・准教授 (地震学)		(テーマ2) ・海陸統合臨時地震観測による群発地震活動の把握
西村 卓也 太田 雄策 木下 陽平 宮崎 真一	京都大学防災研究所・教授 (測地学) 東北大学大学院理学研究科・准教授 (測地学) 筑波大学システム情報系・助教 (測地学) 京都大学大学院理学研究科・教授 (測地学)		(テーマ3) ・測地観測による地殻変動メカニズムの解明
後藤 忠徳 笠谷 貴史 吉村 令慧	兵庫県立大学大学院理学研究科・教授 (物理探査学) 海洋研究開発機構海洋機能利用部門・センター長代理 (地球電磁気学) 京都大学防災研究所・教授 (地球電磁気学)		(テーマ4) ・群発地震域～M6.5地震破壊域における流体分布把握のための海陸電磁気観測
田中 愛幸 宮澤 理稔 荒木 英一郎	東京大学大学院理学系研究科・准教授 (測地学) 京都大学防災研究所・准教授 (地震学) 海洋研究開発機構海域地震火山部門・グループリーダー (地震学)		(テーマ5) ・超高感度地殻活動観測による地殻流体挙動の解明

鹿児島 涉悟 森下 知晃	富山大学学術研究部理学系・特命助教（地球化学） 金沢大学理工研究域地球社会基盤学系・教授（岩石学）	(テーマ6) ・温泉水の化学分析による能登半島の物質循環像の調査
石山 達也 立石 良 安江 健一 廣内 大助 松多 信尚 穴倉 正展	東京大学地震研究所・准教授(変動地形学) 富山大学学術研究部都市デザイン学系・准教授（地質学） 富山大学学術研究部都市デザイン学系・准教授（地質学） 信州大学学術研究院教育学系・教授（変動地形学） 岡山大学学術研究院教育学域・教授（変動地形学） 産業技術総合研究所・地質調査総合センター・研究グループ長（変動地形学）	(テーマ7) ・活構造調査による震源域の古地震活動像の解明
岩田 知孝 浅野 公之 大堀 道広	京都大学防災研究所・教授（強震動地震学） 京都大学防災研究所・准教授（強震動地震学） 滋賀県立大学・環境科学部・教授（地震工学）	(テーマ8) ・震源過程と強震観測に基づく高震度生成過程調査
村田 晶 石川 浩一郎 山岸 邦彰 須田 達 山崎 新太郎	金沢大学理工研究域地球社会基盤学系・助教（地震工学） 福井大学学術研究院工学系部門・教授（建築構造学） 金沢工業大学建築学部・教授（建築構造学） 金沢工業大学建築学部・教授（木造建築学） 京都大学防災研究所・准教授（応用地質学）	(テーマ9) ・震災による被害状況の調査と再建に関する検討
青木 賢人 林 紀代美 武田 公子 田中 純一 井口 克郎 佐々木 大輔 原 裕太 吉田 浩	金沢大学人間社会研究域地域創造学系・准教授（自然地理学） 金沢大学人間社会研究域地域創造学系・准教授（人文地理学） 金沢大学人間社会研究域経済学経営学系・教授（地方財政論） 北陸学院大学社会学部・教授（災害社会学） 神戸大学大学院人間発達環境学研究科・准教授（社会保障論） 東北大学・災害科学国際研究所・准教授（国際防災学） 東北大学・災害科学国際研究所・助教（農村計画学） 東北大学・大学院経済学研究科・教授（加齢経済学）	(テーマ10) ・社会的脆弱性による災害時の地域への影響調査