

## 研究計画の概要

**研究課題名：**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

**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月頃からさらなる活発化を見せ、有感地震数が増加する中、2021年9月16日にはマグニチュード5.1、最大震度5弱の地震が発生した。有感地震数は2022年3月から4月にかけて一層増加し、2022年6月19日にはマグニチュード5.4、最大震度6弱の地震が発生し、負傷者5名、鳥居やブロック塀の倒壊、水道管の破裂等の被害を生じた。また、2020年12月頃からの地震活動の活発化に同期するような珠洲市を中心とした局所的な非定常地殻変動が観測された。これまでの研究から、珠洲市付近の地震活動や地殻変動には地下深部に存在する流体の圧力増加やその浅部への移動が関与する可能性が示唆されているが、そのモデルの特定には至っていない。また、珠洲市周辺にはマグニチュード7クラスの地震を起こしうる活断層が存在するが、それらの活断層と現在進行中の地震活動との関係性は不明である。終わりが見えない地震活動の中、その原因の特定に至らない地震活動に対する住民の不安感が高い。現在起きていることを正確に把握するとともにこの地震活動の原因を解明し、また周辺地域の活断層との関連性を解明することが、社会的に強く要請されている。また、この地震・地殻変動の発生過程を理解することは、珠洲市およびその周辺地域の地震防災に資するのみではなく、日本各地での今後の地震防災に貢献することが期待される。そこで具体的には、以下の7つのテーマについて研究を実施する。

「テーマ1. 陸域地震観測による群発地震発生メカニズムの解明」においては、群発地震活動を構成する地震クラスター群の正確な把握と地震活動の高精度モニタリングを行う。そのため、検知能力と震源位置・モーメントテンソルの決定精度の向上を目的とした高密度臨時地震観測を、群発地震発生域直上や周辺で実施する。また、群発地震や地殻変動の原因として推定される流体だまりなどの把握のため、直線状の稠密オフライン地震計アレイ観測を実施する。

「テーマ2. 測地観測による地殻変動の調査」においては、臨時GNSS観測と民間GNSS観測点の活用を含むGNSS観測データの統合解析と干渉SARの時系列解析を用いて珠洲市付近の詳細な地殻変動の時空間発展を明らかにし、地殻変動源の位置・形状及びその時間変化を推定する。さらに、推定された地殻変動源に基づく周辺領域での応力変化及び摩擦則に基づく地震応答モデルを用いた地震活動への影響評価を通じて、地殻変動源と群発地震活動の関係を明らかにするとともに、周辺の活断層への影響を評価することを目指す。

「テーマ3. 電磁気観測による地下電気比抵抗構造の解明」においては、比抵抗構造を明らかにすることで、地震活動域や地殻変動源周辺の流体の存在の有無、存在する場合にはその分布を詳細に描像することを目指す。現在の地震活動域のみならず、周辺の不均質構造との違いの有無を解明する。また、流体の移動が地震活動に関与するならば、比抵抗構造の時間変化に現れる可能性があるため、電磁場連続観測によりその検出を試みる。

「テーマ4. 重力観測による地殻流体挙動の解明」においては、震源域周辺における地震活動・地殻変動の発生過程に地殻深部に存在する流体がどのように関わっているのか解明することを目指す。流体の圧力変化や浅部への移動は地下の質量分布を変化させるため、地表重力の時空間変化を引き起こす。そこで、高精度な計測機器を用いて重力の変化を検出し、その結果と地震活動、地殻変動等のデータを同時に説明できるようなモデルを構築することで、モデルの特定に貢献する。

「テーマ5. 温泉成分測定による流体起源の調査」においては、地震活動域およびその周辺地域で温泉水・地下水試料を定期的に採取し、それらの化学組成や、溶存ガスに含まれる希ガスの同位体組成を測定することによって、地下流体に含まれるマントル・地殻起源成分の混合率などを調査する。地下流体の成分・起源およびその時間変動を明らかにして、能登半島における地下流体の状態と地震活動・地殻変動との関係性を評価することを目指す。

「テーマ6. 活構造調査による長期間地殻変動の解明」においては、能登半島北東部に広く分布する中期

更新世以降の海成段丘面等を対象に、離水年代推定・変動地形解析等の活構造調査を行い、長期間地殻変動像を解明する。さらに、得られたデータと MCS など周辺の活断層の資料を取り纏め、地震活動と活断層の関連性の解明に資することを旨とする。

「テーマ 7. 強震観測による被害状況の調査」においては、2022年6月19日の地震で震度6弱が観測された珠洲市正院町の高震度生成メカニズムと被害状況の対応を明らかにすると共に、能登半島の地震被害地域を中心とした地盤震動調査を行い、被害と地盤震動特性の関係を検討することにより地震被害の生成要因を解明し、今後の地震対策に資することを旨とする。また、継続する地震活動や活断層に対して想定される強震動や被害について調査する。

これらのテーマを実施することにより、現在進行中の地震活動や地殻変動のモニタリングの精度向上、地震・地殻変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）の起源や分布・移動の高精度の推定、地震活動と周辺に分布する活断層との関係や不均質な震度分布の生成メカニズムの解明が進み、今後の地震活動推移予測の高度化や地震災害の軽減に役立つ知見が得られる。

## 研究内容：

### テーマ 1. 陸域地震観測による群発地震発生メカニズムの解明

#### (1) 群発地震の活動推移把握とモーメントテンソルの推定

確認されている 4 つのクラスター上のそれぞれにテレメータシステムによる臨時地震観測点を設置して高精度な震源分布や震源域の構造を得ることで、群発地震活動を構成する各クラスターと活断層や地質境界断層との関係を明らかにすると共に、地震活動推移の即時把握を行う。既存の定常観測点から 10 数 km~20km 離し、観測点の隙間をうめる場所に臨時観測点を 2 か所設置し、モーメントテンソルを推定する。

#### (2) 流体を起源とする地殻内反射面の推定

群発地震活動域やその近傍に、測線長が 10 km、観測点間隔が 200m 程度の稠密アレイ観測測線を 2 本設定する。観測される自然地震のコーダ波形から、地下深部に推定されている流体を起源とする地殻内反射面の把握を試みる。

### テーマ 2. 測地観測による地殻変動の調査

#### (1) 地殻変動詳細分布の解明と地殻変動源モデルの推定

想定される変動源近傍の既存観測網の空白域に 2 点のGNSS臨時観測点を設置し、概ね10km毎に設置された民間のGNSS観測点等のデータを統合解析して、地殻変動の時空間発展を明らかにする。また、干渉SARデータの時系列解析により、地殻変動分布の時空間発展を明らかにする。さらに、得られた地殻変動データから地殻変動源の位置や形状とその時間変化を推定する。

#### (2) 地殻変動源による地震活動への影響評価

(1)で推定された変動源によるクーロン応力変化や摩擦状態の非線形特性を考慮した応力伝播—地震応答モデルを用いることにより、群発地震活動や周辺活断層への影響の評価を試みる。

### テーマ 3. 電磁気観測による地下電気比抵抗構造の解明

#### (1) 3次元比抵抗構造モデルの高度化

同地域での地震活動の活発化を受けて 2021 年度に陸域において広帯域電磁場観測を実施した。この解析により明らかになりつつある 3次元比抵抗構造の空間分解能ならびに 10km 以深の推定確度を向上させるために、それぞれ陸域および海域において補充観測を実施し、既存データと統合して逆解析を行う。

#### (2) 電磁場の長期連続観測の実施

1 年程度の電磁場の長期連続観測を複数点で実施し、流体の移動に伴って生じる比抵抗構造の時間変化の検出を試みる。

### テーマ 4. 重力観測による地殻流体挙動の解明

珠洲市及びその周辺で絶対重力計、相対重力計を用いた混合観測を実施する。流体の挙動を解明するため、取得した重力データ及び地震・地殻活動等のデータを用いて流体圧変動モデル、流体移動モデルをそれぞれ構築し、どちらのモデルが観測結果を説明しやすいか明らかにすることでモデルの特定に寄与する。微小な重力変化のデータを最大限に生かすため、新技術であるファイバ計測の活用も試みる。従来がない空間分解能で取得した、群発地震に伴う局所的な地震・地殻活動のデータを用いて、重力測定におけるノイズを低減するとともに、上記モデルをより強く拘束することを目指す。

#### テーマ5. 温泉成分測定による流体起源の調査

珠洲市および能登町において定期的に野外調査を実施し、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。これらの化学データをもとに、水試料に含まれるマントル・地殻起源成分の混合率等を推定し、地下流体の起源とその時間変動を明らかにすることによって、能登半島における地下流体の状態と地震活動・地殻変動や地質構造との関係性を評価する。

#### テーマ6. 活構造調査による長期間地殻変動の解明

持続的な地震活動が見られる能登半島北東部には、中期更新世以降に形成された海成段丘面群が広範囲に発達する。これらは過去数十万年間の長期的な地殻変動を記録しており、旧汀線高度分布および形成年代を推定することによって当地の10万年スケールの上下地殻変動速度を推定することが期待される。そこで、海成段丘面構成層の地質試料を採取し、火山灰分析等によって離水年代を推定する。また、空中写真判読・数値地形データを用いた変動地形解析によって段丘面の傾動・撓曲などの活構造を抽出する。以上から能登半島北東部の長期間地殻変動像を明らかにする。

#### テーマ7. 強震観測による被害状況の調査

##### (1) 高震度生成メカニズムの解明

強震観測あるいは微動観測に基づく地盤震動調査により、高震度領域の広がりを把握すると共に、大きな震度が観測されたメカニズムを解明する。

##### (2) 被害状況との対応調査

被害状況の調査を実施する。被害分布と(1)によって評価された高震度領域の広がりを比較して被害の成因を検討する。能登半島を中心とした継続する地震活動や活断層に対して、想定される強震動や被害について調査する。

#### 研究経費：

39,780 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	(地震学)	統括

##### (研究分担者)

氏名	所属・職名	(専門分野)	役割分担
----	-------	--------	------

<p>蔵下 英司 酒井 慎一 飯高 隆 勝間田明男 岡田 知己 吉田 圭佑</p>	<p>東京大学地震研究所・准教授（地震学） 東京大学大学院情報学環・教授（地震学） 東京大学大学院情報学環・教授（地震学） 富山大学 学術研究部都市デザイン学系・教授（地震学） 東北大学理学研究科・准教授（地震学） 東北大学理学研究科・助教（地震学）</p>	<p>(テーマ1) ・陸上臨時地震観測による群発地震活動様式の把握と地殻構造解明</p>
<p>西村 卓也 太田 雄策 木下 陽平</p>	<p>京都大学防災研究所・准教授（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）</p>	<p>(テーマ2) ・GNSS 臨時観測、地殻変動源推定及び応力変化モデルに基づく地震活動への影響評価 ・民間 GNSS 観測点を用いた地殻変動の調査 ・干渉 SAR 解析による地殻変動分布の調査</p>
<p>吉村 令慧 後藤 忠徳 笠谷 貴史</p>	<p>京都大学防災研究所・教授（地球電磁気学） 兵庫県立大学理学研究科・教授（物理探査学） 海洋研究開発機構海洋機能利用部門・グループリーダー（地球電磁気学）</p>	<p>(テーマ3) ・陸域電磁気観測の実施・解析 ・海域電磁気観測の実施・解析</p>
<p>田中 愛幸 宮澤 理稔</p>	<p>東京大学理学部・准教授（測地学） 京都大学防災研究所・准教授（地震学）</p>	<p>(テーマ4) ・重力観測による地殻流体挙動の解明</p>
<p>森下 知晃 鹿兒島涉悟</p>	<p>金沢大学理工研究域地球社会基盤学系・教授（岩石学） 富山大学学術研究部理学系・特命助教（地球化学）</p>	<p>(テーマ5) ・温泉成分調査に基づく地下流体の状態と地震活動・地殻変動や地質構造の関係性の評価</p>

<p>石山 達也 安江 健一 廣内 大助 松多 信尚</p>	<p>東京大学地震研究所・准教授（変動地形学） 富山大学都市デザイン学部・准教授（地質学） 信州大学教育学部・教授（変動地形学） 岡山大学教育学部・教授（変動地形学）</p>	<p>（テーマ6） ・活構造調査による長期間地殻変動の解明</p>
<p>大堀 道広 村田 晶 岩田 知孝</p>	<p>福井大学附属国際原子力工学研究所・准教授（地震工学） 金沢大学理工研究域地球社会基盤学系・助教（地震工学） 京都大学防災研究所・教授（強震動地震学）</p>	<p>（テーマ7） ・強震観測による地盤震動調査および被害調査 ・被害調査 ・強震観測による地盤震動調査</p>