

(1) 実施機関名：

産業技術総合研究所

(2) 研究課題（または観測項目）名：

（和文）高分解能地殻応力場の解明と造構造場の研究

（英文）Study on high-resolution crustal stress fields and seismotectonics in the Japanese Islands

(3) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(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

イ. 内陸地震

(4) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(3) 地震発生過程の解明とモデル化

(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

ア. プレート境界地震と海洋プレート内部の地震

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

(4) 内陸で発生する被害地震

(5) 本課題の 5 か年の到達目標：

将来発生する地震の最大規模や発生様式の評価を行うため、現計画に引き続き、可能な限り小さな地震の発震機構解を推定し、高い空間分解能を有する地殻応力マップを整備する。現計画では日本列島陸域の地下20kmまでを推定したが、関東地域の深さ20km以深及びプレート境界にも対象を広げ、首都圏直下のやや深い地震や海溝型地震の評価に繋げる。さらに、大量で高精度な発震機構解から時間変化の抽出にも取り組む。様々なデータから地殻応力の時空間不均一の成因を明らかにし、数値シミュレーションを併用した連動性評価や活動性評価手法を提案する。

(6) 本課題の 5 か年計画の概要：

・ S-netやDONETのデータ解析により微小地震の発震機構解を推定し、日本海溝および南海トラフ沈み込み帯の応力マップを作成する。陸域においては、Hi-netの整備以後蓄積されている定常観測網のデータ解析により、関東地域の深さ20km以深の応力マップを作成する。この解析には大規模な地震データ処理を伴うことから、深層学習による自動処理化（Uchide, 2020）を行う。さらに相対モーメントテンソル法（Dahm, 1996; Imanishi and Uchide, 準備中）を用いて発震機構解の推定精度を向上させるとともに、推定可能なマグニチュードの下限を大幅に下げる。

・ 大量で高精度な発震機構解から地殻応力の微小な時間変化の抽出にも取り組む。特にこれまでほとんど報告されていない大地震発生前の時間変化に着目する。

・ 代表的な活断層帯を対象に、歪み場、3次元地殻構造、地質構造、応力降下量や地震活動の特性も含めて地殻応力の時空間不均一の成因を特定し、断層帯毎の応力載荷モデルを構築する。さらに、応力載荷モデルを組み込んだ数値シミュレーションにより、連動性評価や活動性評価手法を提案する。

・ 取り纏めた応力情報は産総研の地殻応力場データベース（<https://gbank.gsj.jp/crstress/>）において公開する。

(7) 令和6年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

(1) 海域の応力マップ試作に向けたS-netデータの活用

応力マップの対象地域を海域に広げるため、日本海溝海底地震津波観測網 (S-net) に搭載された高感度速度型地震計のデータを活用し、微小地震の発震機構解を高精度で推定することを試みた。微小地震の発震機構解は、P波初動極性を用いる方法が一般的であるが、地震規模が小さくなるとP波初動の押し引きを認識できる観測点が限られ、一意に決定することが困難となる。そこで本研究では、P波とS波の振幅値も併用する手法を適用することにした。しかしながら、S-netに搭載された速度計の固有周波数は15Hzと高いため、発震機構解推定に重要な低周波側の振幅が減衰している問題点がある。例えば、M2程度の地震の場合、2Hz付近の振幅値は100倍近く小さくなっている。多数の地震データを検証した結果、このように減衰が非常に大きい場合であっても、地震計の周波数特性を適切に補正（デコンボリューション）することで、S-net観測点の速度計記録から真の振幅値を復元できることがわかった。

今年度は手始めに、福島県沖や茨城県沖で発生した地震について震源決定と発震機構解の推定を行った。その結果、S-netデータを加えることで解の精度が向上し、少なくともMj2.0までの微小地震の発震機構解を推定できることを確認した。また、Imanishi et al. (2012) が茨城県沖で示唆した、プレート境界から陸側に向かって延びる分岐断層に関連する地震活動が、S-netデータを用いた解析でも確認され、分岐断層周辺の応力場が正断層すべりを促進する状態にあることも明らかになった。今後は、日本海溝全域にわたる網羅的な発震機構解推定を進めるとともに、速度構造や地震活動、音波探査結果などの多様な情報を統合し、テクトニックな解釈を行う予定である。

(2) 2024年能登半島地震の解析

2024年能登半島地震の余震分布の全体像を明らかにすることを目的として、3次元地震波速度構造を考慮した震源位置の再決定を実施した（椎名ほか, 2024; Shiina et al., 2024）。解析では、Nakajima (2022)の3次元速度構造を仮定し、マルコフ連鎖モンテカルロ法を用いた震源位置と観測点補正值の同時推定を行った。解析期間とした本震発生から約1か月間に発生した余震は概ね10~15 kmよりも浅い深さで発生していることが明らかになった。特に能登半島北東の沿岸域では、気象庁カタログに比べて5 km程度浅い震源分布が得られた。このような海底直下の余震の分布範囲は津波域(例えば、Fujii and Satake, 2024)と整合しており、本震発生時に海底直下の断層ですべりが生じたことを支持する。

また、本震の破壊過程を調べるため、地震予知総合研究振興会が新潟県長岡地区に展開している観測網（AN-net）をアレイと見なし、バックプロジェクション解析を行った（今西ほか, 2024ab; Imanishi et al., 2024）。推定された破壊域や継続時間は先行研究と概ね調和的であるが、能登半島の南西端から北東端の浅部をP波速度近くで伝搬する高速破壊（supershear破壊）を伴う結果が得られた。supershear破壊は、能登半島地震による広域の甚大な被害と関係している可能性がある。

そのほか、発震機構解を用いた間隙流体圧の時空間分布の推定を行ったほか（山本ほか, 2024; Yamamoto et al., 2024）、観測で制約した断層形状と広域応力場をモデル化し、3次元動的破壊シミュレーションにより本震の破壊過程を再現することに成功した（安藤ほか, 2024ab; Ando et al., 2024）（詳細はUTS_04）。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

応力マップの対象地域を海域に広げるため、S-netを用いた発震機構解推定に着手した。今後は、整備した応力マップを活用した数値シミュレーション手法を開発し、最大規模評価や活動性評価を行っていくことが重要である。

(8) 令和6年度の成果に関連の深いもので、令和6年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

・学会・シンポジウム等での発表

安藤亮輔・福島洋・吉田圭佑・今西和俊, 2024a, Effects of the 3D fault geometry, regional stresses and earthquake history on the 2024 Noto Peninsula earthquake: Insight from dynamic rupture simulations, 日本地球惑星科学連合2024年大会, U16-P06

安藤亮輔・福島洋・吉田圭佑・今西和俊, 2024b, 動的破壊シミュレーションが明らかにした2024年能登半島地震の滑り及び地殻変動分布における非平面断層形状の効果, 日本地震学会2024年度秋季大会, S22-14

Ando, R., Y. Fukushima, K. Yoshida, and K. Imanishi, 2024, Non-planar Fault Geometry Controls the Distributions of Slip and Uplift of the M7.6 2024 Noto Peninsula, Japan, Earthquake, AGU 2024 Fall meeting, T32A-05

今西和俊・椎名高裕・浦田優美・関根秀太郎, 2024a, AN-netアレイを用いた2024年能登半島地震のバックプロジェクション解析: 縦ずれ断層におけるsupershear破壊の可能性, 日本地球惑星科学連合2024年大会, U15-P26

今西和俊・椎名高裕・浦田優美・関根秀太郎, 2024b, 近地アレイ記録のバックプロジェクションによる2024年能登半島地震の複雑な破壊進展のイメージング, 日本地震学会2024年度秋季大会, S22-13

Imanishi, K., T. Shiina, Y. Urata, and S. Sekine, 2024, Imaging complex rupture evolution of the 2024 Mw7.5 Noto Peninsula earthquake by the back-projection of near-field array records: Possibility of supershear rupture on oblique-slip faults, AGU 2024 Fall meeting, S41G-3380

椎名高裕・堀川晴央・佐脇泰典・寒河江皓大・今西和俊, 2024, 2024年能登半島地震震源域周辺の震源分布とその不確実性の検討, 日本地球惑星科学連合2024年大会, U15-P12

Shiina, T., H. Horikawa, and K. Imanishi, 2024, Relocations of earthquake hypocenters in and around the source area of the 2024 Mw 7.5 Noto Peninsula earthquake, Japan, by Bayesian inference, EGU 2024 General Assembly, EGU24-14903

山本朱音・大坪誠・高下裕章・今西和俊, 2024, 能登半島での発震機構解を用いた間隙流体圧の時空間変化, 日本地球惑星科学連合2024年大会, U15-P04

Yamamoto, A., M. Otsubo, H. Koge, and K. Imanishi, 2024, Spatio-temporal variation of pore fluid pressure from focal mechanism solutions around seismogenic zone of 2024 Noto Peninsula Earthquake, Japan, AGU 2024 Fall meeting, S42B-04

(9) 令和6年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報:

(10) 令和7年度実施計画の概要:

今年度着手したS-netデータを用いた発震機構解推定をさらに進め、日本海溝の応力マップの試作を行う。また、陸域で推定した大量の発震機構解カタログ (Uchide et al., 2022) を用いて、応力場の微小な時間変化を検出する手法開発に取り組む。2024年能登半島地震の解析結果の論文化を進める。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名:

今西和俊 (産業技術総合研究所 活断層・火山研究部門), 内出崇彦 (産業技術総合研究所 活断層・火山研究部門), 椎名高裕 (産業技術総合研究所 活断層・火山研究部門), 浦田優美 (産業技術総合研究所 活断層・火山研究部門)

他機関との共同研究の有無: 有

安藤亮輔 (東京大学大学院理学系研究科), 大谷真紀子 (京都大学理学研究科)

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等: 産業技術総合研究所 活断層・火山研究部門

電話:

e-mail :

URL :

(13) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：今西和俊

所属：産業技術総合研究所 活断層・火山研究部門