

(1) 実施機関名：

名古屋大学

(2) 研究課題（または観測項目）名：

（和文）地震の発生における応力と間隙流体圧の役割

（英文）Roles of stress and pore-fluid pressure in earthquake generation

(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

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）

ア. プレート境界巨大地震の長期予測

イ. 内陸地震の長期予測

(5) 本課題の5か年の到達目標：

本研究では、御嶽山のテクトニック環境と名古屋大学の地震観測成果を活かし、地震の発生における応力と流体の役割を理解することを目的とする。個々の地震の発生において、応力と流体の役割は多様性を示す可能性が高い。本研究では、クラスター解析により、地震活動を単独地震と前震・本震・余震型や群発地震型などのクラスター地震に分類し、応力の指標となる地震と間隙流体圧等の影響を受ける地震に分け、地震の発生における応力と間隙流体圧の役割を定量的に評価することを目指す。

また、過去に繰り返し巨大地震の震源域となってきた南海トラフ周辺域等の応力場についても、長期間の地震データから、安定的にテクトニック応力場とその時空間変化を推定することも検討する。

(6) 本課題の5か年計画の概要：

R6年度においては、CAMPスタンダードモデル（Hashimoto et al., 2004）による2つのプレート上面の情報を用いて、御嶽山周辺域の地震を（名大カタログ及び気象庁の一元化震源カタログ）、太平洋プレート内地震、フィリピン海プレート内地震、（それ以外の）陸のプレート内地震に分類する。特に陸のプレート内地震について、クラスター解析を用いて、単独地震とクラスター地震に分類する。

この結果を受けて、R7年度においては、単独地震と本震をデータとし、御嶽山周辺域の応力場の推定を行うとともに、2017年の中規模地震（M5クラス）前後の応力変化を評価する。

R8年度においては、R7の結果を直接的先験情報とし、余震のデータから応力場を推定する。この解析により、本震・単独地震と余震のメカニズム解の系統的な違いを調べる。

R9年度においては、R7年度の応力場の向きの情報から、実効摩擦係数をパラメータとして絶対応力場をモデル化し、弾性歪エネルギーに基づく地震破壊規準DEFSにより、余震活動の発生予測と実際の地震活動を比較し、地域の絶対応力レベルを考察する。

R10年度には、群発地震型のクラスターについて、発生場所、継続時間、規模等の情報を整理する。

また、群発地震型から本震・余震型へと発展したクラスターがあるかどうか調べる。更に、御嶽山周辺域の応力場や間隙流体圧場との比較を通じ、断層の強度低下と応力集中に着目しながら、群発地震の発生メカニズムを考察する。能登半島の群発地震活動との比較研究も行う予定である。

(7) 令和6年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

御嶽山は太平洋プレートとフィリピン海プレートが沈み込む複雑なテクトニック環境にあり、火山活動をはじめ、内陸大地震、微小群発地震、深部低周波地震など、多様な地殻活動が観測される。御嶽山周辺域の多様な地殻活動を理解するために、名古屋大学を含む諸機関の定常地震観測で得られた連続地震波形データに対し、WINシステムのイベント自動検出機能を利用した手動波形読み取り処理を行い、震源分布を把握すると共にデータを蓄積してきた。今年度7月からは、名古屋大学独自の御嶽山山頂連続地震観測網でとらえられた地震データを本システムに取り入れることを始め、特に、御嶽山直下で発生する火山性地震の活動を従来よりも5倍程度多く検出できるようになった。更に、山麓域で発生する深部低周波地震等の検出精度を高めるために、山麓域の観測網の強化も行った。

御嶽山周辺域の地震活動のクラスター解析

これらの観測網及び観測システムの整備の下、2024年1月～2024年12月において、6135個（暫定）の地震の震源を決定することができた（図1）。本研究計画初年度のR6年度は、これまで名古屋大学が求めてきた御嶽山周辺域の約71000個の地震（2012年5月～2025年1月処理分まで）を、CAMPスタンダードモデル（Hashimoto et al., 2004）によるプレート形状を参考に、ユーラシアプレート（EU）の上部地殻の地震、下部地殻の地震、太平洋プレート（PA）内の地震、フィリピン海プレート（PHS）内の地震に分類した。地殻内の地震に関しては、深さ15 kmより浅いものを上部地殻、深いものを下部地殻の地震と簡易的分类した。この結果、解析したデータセットの99 %がEUの上部地殻の地震であり、下部地殻の地震が0.5 %、PHS内の地震が0.3 %、PA内の地震が0.1 %となった。下部地殻に分類された地震の中には、震源決定精度の精査が必要なものや、上部地殻の厚さの不均質などの影響を受けているもの等もあると考えられる。また、PHS内の地震の深さは60 kmよりも浅いものがほとんどであり、御嶽山直下には分布していない。一方、PA内の地震は、御嶽山直下の深さ250～300 kmのところで発生しており、スラブからの脱水と火山活動の形成メカニズムの関係や、御嶽火山活動におけるPHSの役割の解明など、興味深い課題が見えている。

次に、EUの上部地殻内の地震を対象に、クラスター解析（Zaliapin & Ben-Zion, 2013）を実施し、地震を単独地震とクラスター地震に分類した。クラスター地震については、1つのクラスターの中で最も規模の大きいものを本震とし、それより前に発生した地震を前震、後に発生した地震を余震とした。また、最大余震の規模は本震のマグニチュード-1.2となること、これは本震の規模に依らないことが経験的に知られている（Bath, 1965）。これを参考に、クラスターのタイプを（前震・）本震・余震型と群発地震型に分類した。具体的には、本震と最大余震の規模が1以上のときは（前震・）本震・余震型、1より小さいときは群発地震型とした。

この地域の M_c が0～1程度であることを考慮すると、 M 2.5以上の規模の地震は、概ね正しく分類できていると考えられる。 M 2.5以上の地震594個のタイプを調べてみると、単独地震は36個、本震は310個、前震は33個、余震は215個となった。本震の規模が2.5以上となる310個のクラスターは、本震・余震型が134個、前震・本震・余震型が68個、群発型が108個となった。これらのクラスタータイプの空間分布を調べると、御嶽山の北麓～東麓にかけて群発型の地震活動が集中する領域があることがわかった（図2）。詳しく見ると、この領域は北麓域（緯度36.05度付近）と東麓域（緯度35.90度付近）の2つに分けられる。この期間の最大地震は、2017年6月25日に発生した長野県南部の地震（ M 5.4）である。この地震と一連の地震活動は、本震・余震型ではなく群発型のクラスターをなしており、東麓域にある群発地震発生領域の南西端で発生した。一方、近代的な地震観測網が整備された1980年以降、この地域で発生した最大地震は1984年長野県西部地震である。この地震の震源域は、群発地震発生域からはずれたところに位置しており、2017年長野県南部の地震は、1984年長野県西部地震の震源域の東端にあたることがわかった。

2024年12月以降の御嶽山の火山活動

御嶽山直下の火山性地震活動は、2014年噴火以降減少傾向にある中、2024年12月9日ごろより活発

化した。2025年1月16日には、御嶽山噴火警戒レベルが1から2へと引き上げられ、1月21日には傾斜変動を伴う火山性微動が観測された。名古屋大学では、2024年7月より独自の山頂連続地震観測網のデータを取り入れた準リアルタイム震源決定システムを整備したところで、この成果として、2024年1月～2025年1月において、（2025年2月4日処理分まで）1376個の火山性地震の震源を決定することができた（図3、地震数は赤い点線の範囲内で数えた）。このうち、2024年12以降の地震数は1069個である。

2024年1月～11月までの火山性地震は、古期・新規御嶽の構造境界（海拔2000 m付近）より浅部で発生していたが、2024年12月以降の活動はこの浅部の領域に加え、よりも深い、海拔0 m 付近で活発化したところが特徴的であった。これらの震源分布は2つのクラスターをなしているように見え、深部での活動は1月21日の火山性微動発生前まで維持された（図4）。火山性微動発生当日とその翌日には地震活動度が一時的に大きく上昇したが、その後地震活動は一気に低下すると共に、震源が浅部に移動する様子も捉えられた（図5）。

また、御嶽山では、2014年噴火前後で、火山性地震のメカニズム解が東西伸長の正断層・横ずれ断層型から東西圧縮の逆断層に正反対に変化したことがわかっている（Terakawa et al., 2016）。2024年の活動でも、火山性微動の発生を境に地震活動の様子が大きく変化したことから、メカニズム解のタイプの時間変化がみられる可能性がある。このことを確かめるため、2024年11月以降の火山性地震のメカニズム解の推定を進めており、これまでに154個のメカニズム解が得られている。

・「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

プレート境界から離れた内陸域にありながら活発な地震活動が継続している御嶽山をフィールドに、地震データを単なる震源の集合ではなく、地震間の因果関係を定量的に測ることによりクラスターに分類することを試みた。これにより、一連の地震活動（1つのクラスター）内の地震の発生の時間発展やクラスターそのものの時空間分布を議論することができるようになり、これは大地震発生を支配する場の解明に貢献するものと考えられる。また、この解析は、山麓の地震活動と御嶽山の火山性地震の関連を議論するためにも役立ち、火山活動の理解にも貢献する。将来的には、観測データを説明するモデルを組み合わせることで、災害の軽減にも結び付けてゆきたい。

(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

Terakawa, T., K. Asano and Y. Urata, 2025, Constraint on the background stress in the source region of the 2016 Kumamoto earthquake sequence based on temporal changes in elastic strain energies and coseismic stress rotation, *Geophys. J. Int.* 240, 174–188.,査読有,謝辞有

・学会・シンポジウム等での発表

村岡宏亮・寺川寿子, 豊後水道におけるスロースリップ震源域直下のスラブ内間隙流体圧の時間変化, 日本地球惑星連合大会, 千葉, 2024.5.26.

寺川寿子・浅野公之・浦田優美, 余震の弾性歪エネルギーの変化に基づく2016年熊本地震震源域の背景応力場の考察, 日本地球惑星連合大会, 千葉, 2024.5.26.

寺川寿子・浅野公之・浦田優美, 弾性歪エネルギーと応力場の時間変化に基づく2016年熊本地震震源域の絶対応力場の考察, 日本地震学会秋季大会, 新潟, 2024.10.23.

(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：

名古屋大学を含む諸機関の定常地震観測で得られた連続地震波形データを活用し、御嶽山周辺域の地震の震源決定とメカニズム解の推定解析を実施し、データの蓄積を進める。R6年度に実施した地震のクラスター解析の結果に基づき、応力場の情報を持っていると考えられる単独イベントと本震のメ

カニズム解から、CMTデータインバージョン法 (Terakawa and Matsu'ura, 2023) により御嶽山周辺域の応力場を推定する。この地域では、2017年6月25日長野県南部の地震 (M 5.4) が発生している。この地震を境に応力場が時間変化したかどうかについて、この手法の特徴を活かし、過去の観測データを用いた解析結果を直接的先験情報として取り入れた解析を実施し、定量的に応力場の時間変化を調べる。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

寺川寿子 (名古屋大学大学院環境学研究科附属地震火山研究センター), 山中佳子 (名古屋大学大学院環境学研究科附属地震火山研究センター), 前田裕太 (名古屋大学大学院環境学研究科附属地震火山研究センター), 堀川信一郎 (名古屋大学大学院環境学研究科附属地震火山研究センター)
他機関との共同研究の有無：無

(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：名古屋大学大学院環境学研究科附属地震火山研究センター
電話：052-789-3046
e-mail：terakawa@seis.nagoya-u.ac.jp
URL：

(13) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：寺川寿子
所属：名古屋大学大学院環境学研究科附属地震火山研究センター

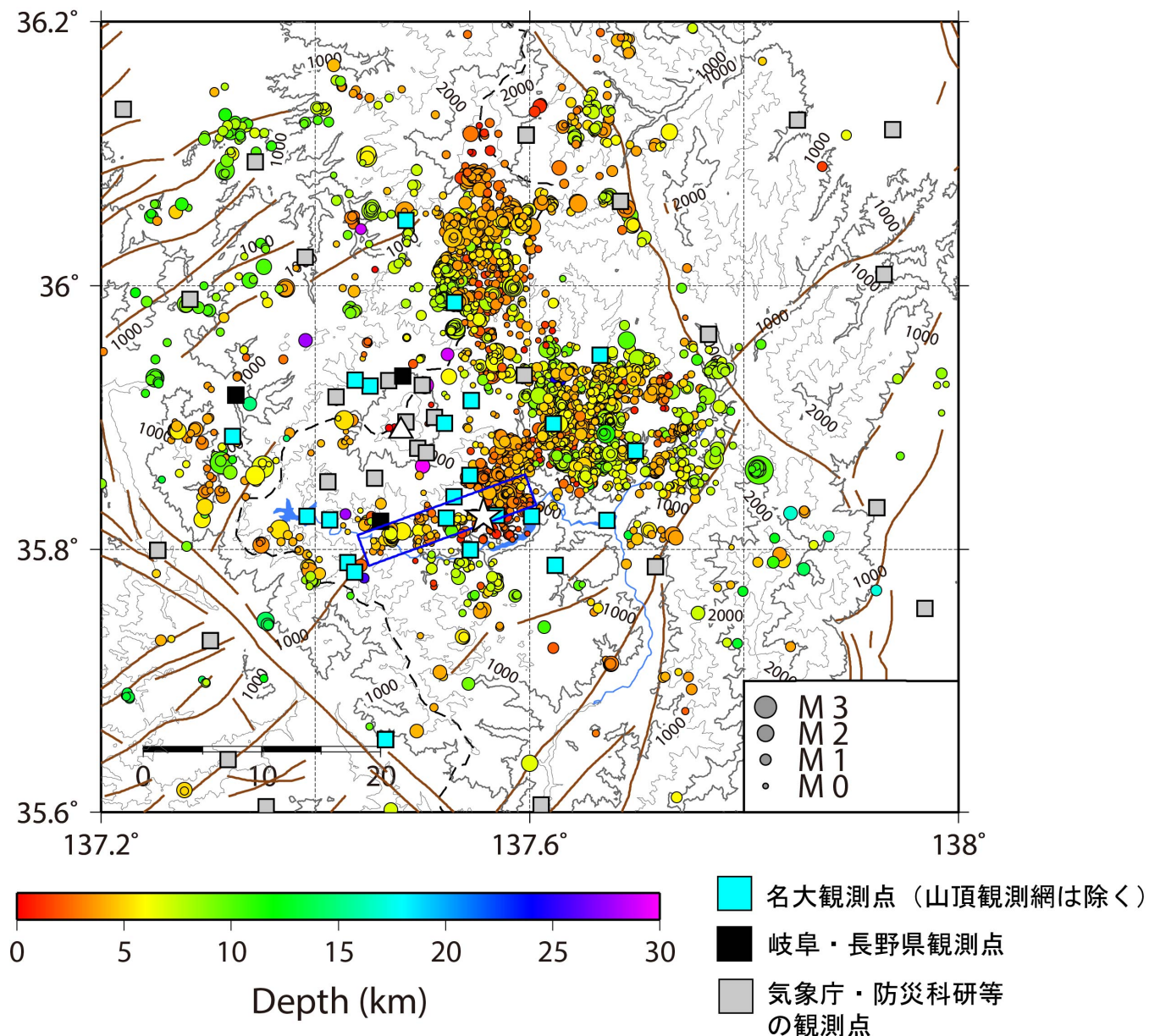


図1：御嶽山周辺域の地震活動（2024.1-2024.12）と観測点分布。
△は御嶽山，☆と青線の矩形は1984年長野県西部地震の震源と震源断層。

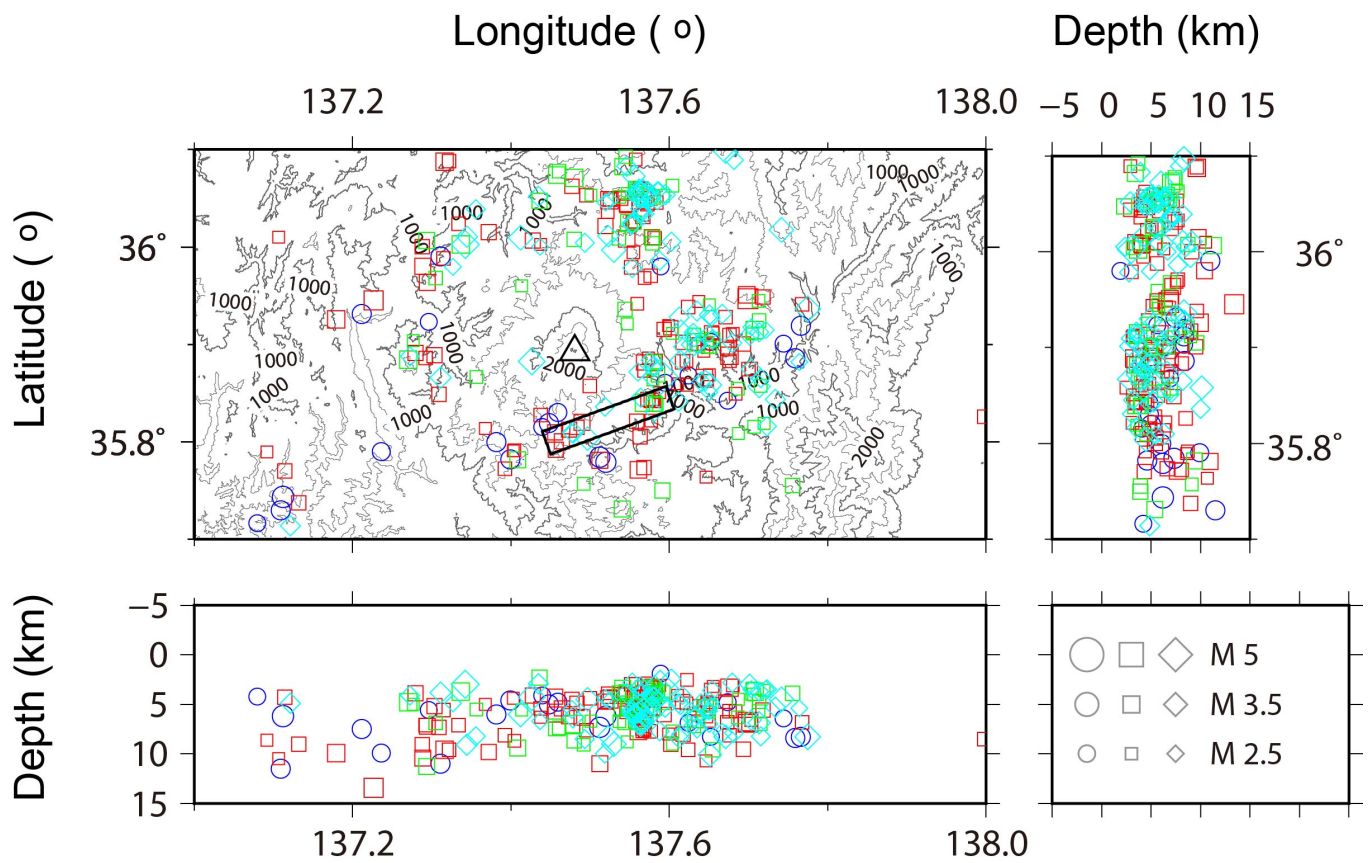


図2：御嶽山周辺域で発生した地震のクラスター解析。

図は、本震・単独地震の規模が2.5以上のものを示している。△は御嶽山、矩形は1984年長野県西部地震。青い○は単独地震、赤い□は本震・余震型の本震、緑の□は前震・本震・余震型の本震、水色の◇は群発地震の中で最も規模の大きい地震を示す。

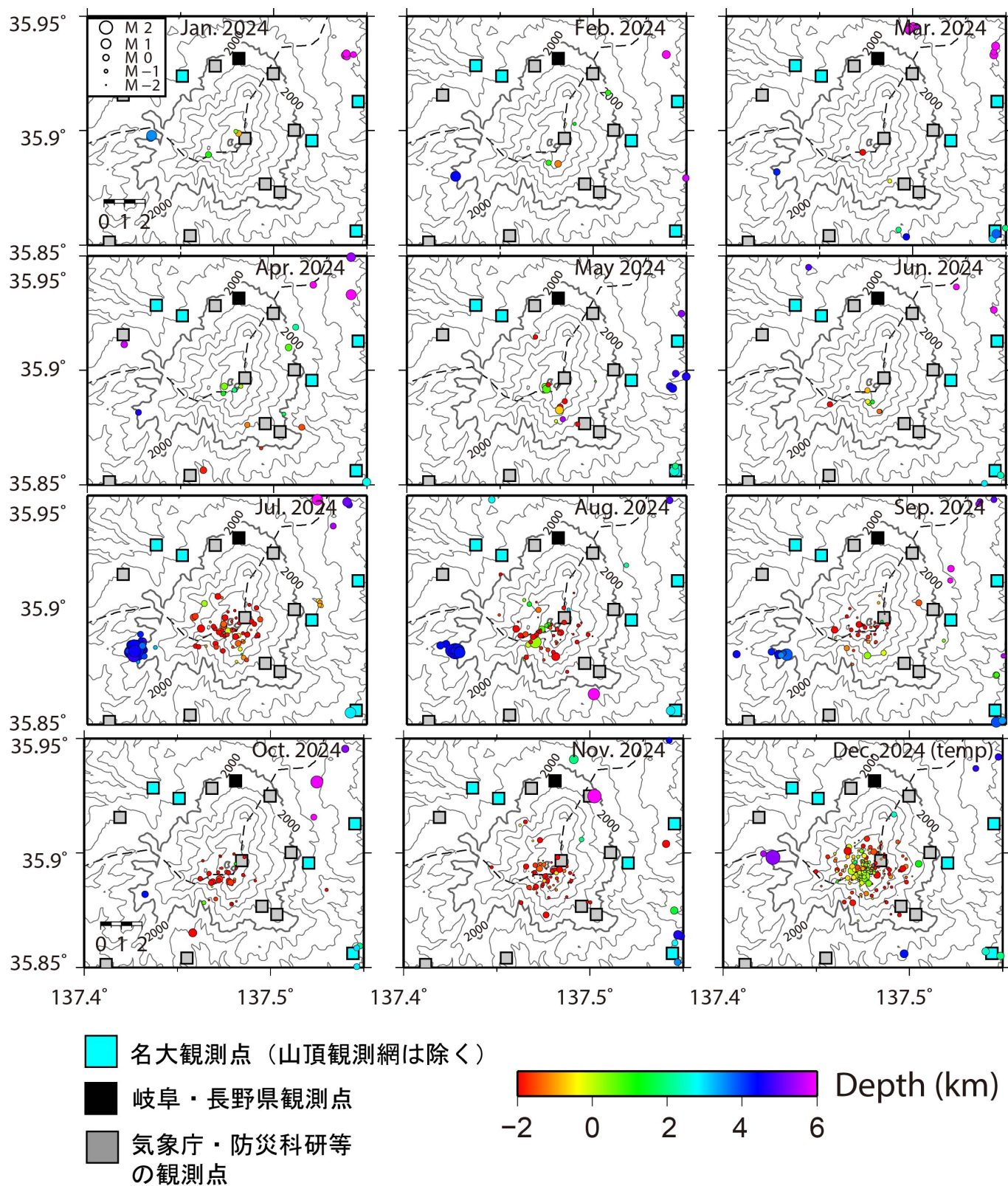


図3：御嶽山直下で発生した火山性地震の震源分布（2024年1月～12月）。観測点の記号は図1と同様。

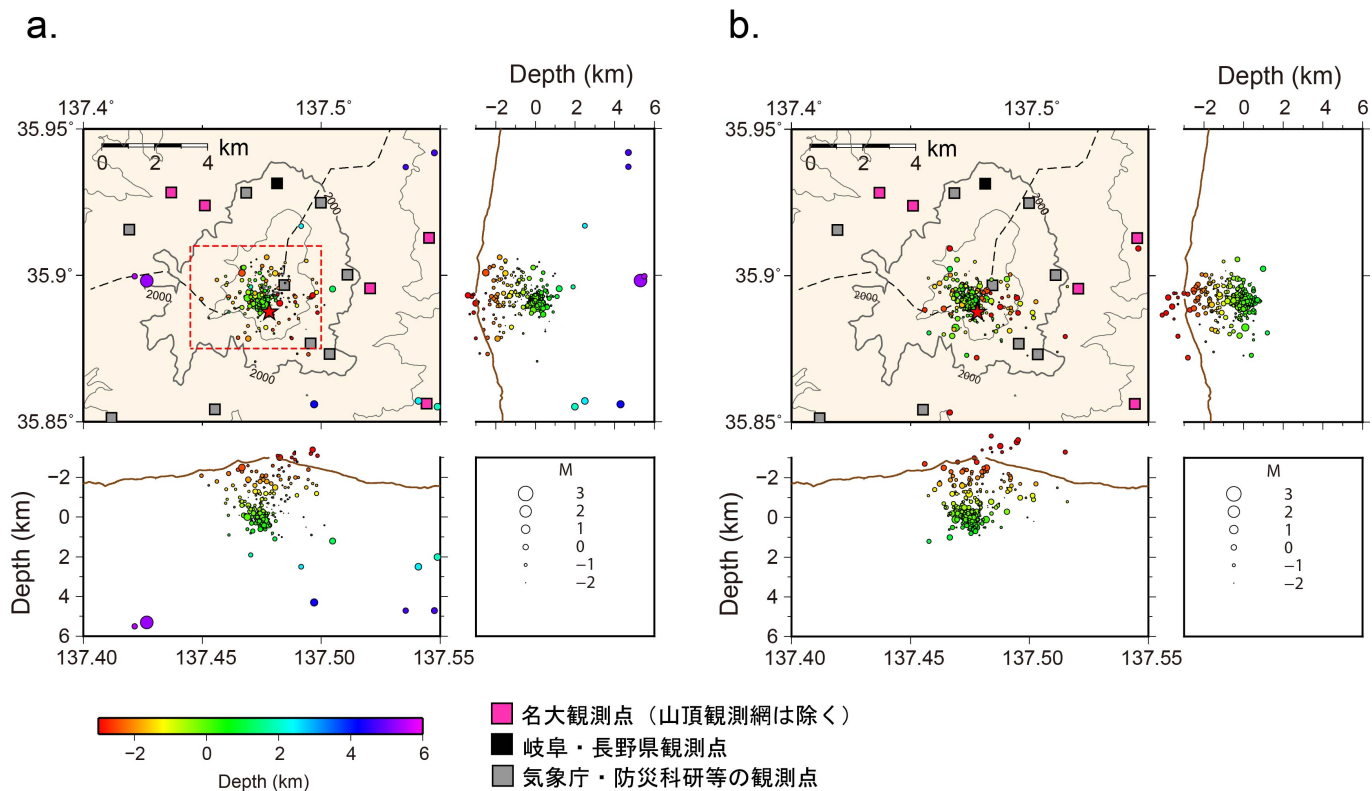


図4：御嶽山山頂付近の3次元震源分布．a. 2024年12月の地震．b. 2025年1月1日～21日12:00までの地震．火山性地震の発生している領域をaの赤い点線の□で示している．☆の位置は，1月21日の火山性微動発生後に噴気活動が再開した場所．

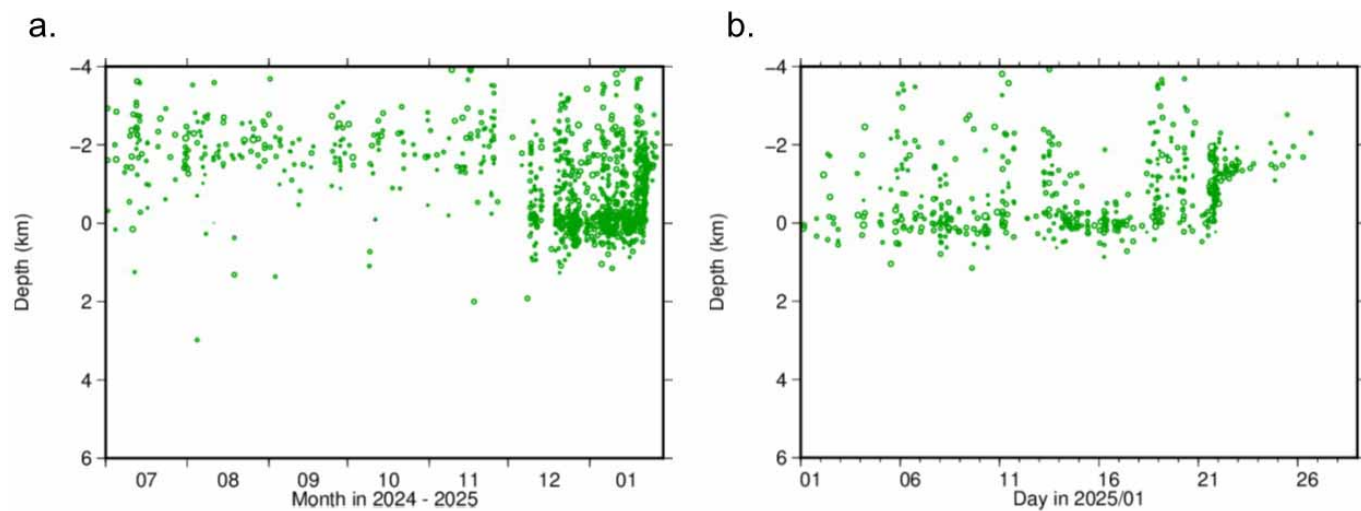


図5：震源深さの時間変化（暫定）．a. 2024年7月～2025年1月の地震．b. 2025年1月の地震．データは，図4aの赤点線内のものをまとめた．