

## 11 - 7 第 239 回地震予知連絡会重点検討課題「群発地震」の概要 Earthquake swarm

今西 和俊 (産業技術総合研究所)

Kazutoshi Imanishi (Geological Survey of Japan, AIST)

### 1. はじめに

群発地震とは、本震・余震の区別がはっきりせず、ある地域に集中して地震が頻発する地震活動のことをさす。通常地震のように大森公式による地震数の経時変化は見られず、活動域を拡大しながら、中には数年以上にわたり継続する場合もある。国内において最も知られている群発地震は、1965 年から数年に渡り活発に続いた松代群発地震であろう。地下からの大量の湧水が観察されるとともに明瞭な隆起変動も観測された。そのほかにも、伊豆半島東方沖や 2000 年の三宅島噴火に伴う活動などがあげられる。最近では能登半島北東部において複数の M5 クラスの地震を含む活発な群発地震活動が 2 年以上継続しており、今後の活動推移は社会的な関心となっている。

群発地震は火山や地熱地帯で多く報告されており、その発生にはマグマや地下水、構造的不均質などが関与していると考えられてきた。一方で、能登半島北東部の群発地震のように、火山地帯から離れた場所でも発生しており、その発生要因は必ずしも明らかになっていない。地震災害に関しては、群発地震は一般に地下浅部で起こることが多く、マグニチュードが 5 程度でも大きな被害につながる可能性もある。また、周辺に活断層がある場合は、群発地震から大地震へ繋がる可能性もある。2009 年ラクイア地震 (M6.3) はその一例である。

このような背景を踏まえ、第 329 回の重点検討課題では、これまで発生した群発地震や関連研究からの知見をレビューし、群発地震の発生メカニズムについて議論を行った。

### 2. 研究紹介と議論の概要

#### 2 - 1. 能登半島北東部で長期間継続する地震活動

金沢大学の平松良浩教授から、能登半島北東部における群発地震活動についてレビューしていただいた。この活動は 2020 年 12 月頃から地殻変動と同期して活発化し、能登半島北部珠洲市周辺で継続する地震活動は主に 4 つの領域で起こっている。北部、東部の活動域では、地震が複数の面で発生し、深部側から浅部側に震源が移動している。地震観測、測地観測、電磁気観測等で得られたデータの解析結果から、一連の地殻活動は流体が駆動している可能性が考えられることが報告された。

#### 2 - 2. 奥能登での群発地震活動発生域周辺の 3 次元比抵抗構造解析の現状

京都大学防災研究所の吉村令慧教授には、流体に敏感な物理量である電気比抵抗を臨時の MT 観測により推定した結果を紹介していただいた。3 次元比抵抗構造解析の結果、一連の地震活動が開始した南部クラスタから北部クラスタに沿って、電気を通しやすい領域 (低比抵抗域) が存在することが示された。地震活動は低比抵抗域の縁辺部に集中している傾向があり、深部より供給された流体が一連の地震活動の要因である可能性が示唆された。また現在、陸域・海域の補充観測データの解析が進められており、比抵抗構造推定の高解像度化や深部の推定確度の向上を目指していること、さらに MT の連続観測により、流体移動に伴う地下構造変化を検出する研究をできないかの可能性を追求する予定であることも報告された。

### 2-3. 2020 年長野・岐阜県境付近の群発地震活動

東京大学地震研究所の加藤愛太郎教授から、2020 年 4 月に始まった長野・岐阜県境付近の群発地震活動の詳細な解析結果について紹介があった。深層学習モデルにより走時データを用いてイベントを自動検出し、hypoDD による高精度な震源決定を実施、さらに再決定震源の波形記録をテンプレートとして、マッチドフィルタ法により連続データからイベントを再検出した。その結果、気象庁一元化カタログの約 6 倍に相当する 20 万個の地震カタログを作り出すことに成功し、この群発地震は主に東西走向もしくは北西-南東走向の高角傾斜の多数の断層面で発生していることが示された。また、活動初期には群発活動域の北方向への拡大が見られ、流体に駆動されたゆっくりすべりが関与している可能性が指摘された。

### 2-4. 北海道北部の群発地震活動と稠密 GNSS 観測から推定された浅部ゆっくりすべり

北海道大学の園真子准教授から、2012 年 7 月に北海道北部で発生した群発地震についてご紹介いただいた。この活動で興味深いのは、群発地震と同期して約 5.5 か月に及ぶ非定常な地殻変動が検出された点である。北海道大学では 2007 年からこの地域でオフラインの GNSS 観測を実施しており、GEONET データとの統合解析の結果、深さ 3km 付近でほぼ水平な逆断層のゆっくりすべり (Mw5.4 相当) が生じたと推定した。一方、2022 年 8 月には、2012 年の活動域の数 km 西側で同規模の群発地震が発生したが、顕著な非定常変動は見られなかった。この違いは何に起因するのか、詳細な地下構造等の情報が必要であることが言及された。

### 2-5. 室内実験における流体圧入で誘発される微小破壊の研究

京都大学防災研究所の直井誠助教には、流体圧入の室内実験による最新知見についてご紹介いただいた。紫外線をあてると発光する特殊な樹脂を用いて水圧破碎を行い、それによって生じる微小破壊を測定する室内実験を行った。

従来は難しかった AE の震源メカニズム、地震モーメントの推定を実現した。コーナー周波数推定とあわせて応力降下量に準じるパラメータを推定し、水圧破碎実験では低周波イベントが多発することを示した。震源域の高い間隙圧が原因である可能性がある。

## 3. 議論とまとめ

今回の発表では、高精度な地震波解析により精度の高い震源分布が得られるようになり、群発地震域内の微細構造 (面構造) が見られるようになってきた。これまでとは異なる群発地震の震源像が見えつつある。

群発地震の駆動源としては、従来から言われていた流体が、様々の観測結果を総合的に考えて有力と考えられる。それに加えて、ゆっくりすべりも影響を及ぼしていることも明らかになりつつある。一方、群発地震の時空間発展やいつ収束するのかという予測の観点では未だ課題が多いのは事実であり、観測、実験、数値シミュレーション等を有機的に連携させた研究が一層重要である。