

12-9 第219回地震予知連絡会重点検討課題「地震と水」概要 Earthquakes and Fluids

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

地震の発生には、地下の流体が何らかの形で関与していると古くから考えられてきた。例えば、アメリカのコロラド州デンバーでは、1962年に軍の施設が化学廃液を地下に注入したところ、まもなく周辺の地震活動が活発になった。注水を中断すると地震は減少し、再開すると地震がまた増加することも確認され、地下への水の注入が地震を誘発していることが明らかになった。この現象の基本的なメカニズムは、間隙水圧の増加による断層の強度低下、もしくは応力変化による断層滑りの促進、として解釈可能である。一方、テクトニックな地震発生にも流体が関与したことを示唆する事例がある。1965年から数年に渡り活発に続いた松代群発地震がその顕著な例であろう。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、地震発生との関係が議論されてきた。

近年の基盤観測網の整備により、地震発生域における流体の存在が地殻構造の異常として高い空間分解能で捉えられるようになってきた。また、高精度な震源分布に基づき流体移動を強く示唆する震源の拡散的な移動現象を見出すとともに、メカニズム解の情報から流体圧の時空間分布を推定するなど、流体の定量的な解釈も進みつつある。そのほか、数値シミュレーションにより沈み込むスラブの脱水による地殻流体の発生と地震発生との関係を説明することも試みられている。物質科学的な側面から、岩石変形に対する水の効果についての研究も大きな進展を見せている。さらにシェールガス開発に伴う誘発地震が大きな社会問題となっていることを受け、観測・実験・シミュレーション研究が集中的に行われ、テクトニックな地震発生機構の理解の深化へフィードバックし得る知見が蓄積されている。

このような背景を踏まえ、第219回の重点検討課題では、地震と水に関する最新の知見を共有し、地殻流体が地震発生過程に果たす役割の理解を深め、今後の進展について議論を行った。

2. 研究紹介と議論の概要

2-1. 地震発生への水の役割

東京大学の加藤愛太郎准教授から、時間スケールの違いから見た水の役割について紹介していただいた。長期的な時間スケールに関しては、断層の深部延長に流体が局在化している場合、近傍の岩石の変形が促進され、既存断層への応力集中をもたらす役割を果たすことが示された。一方、短期的な時間スケールに関しては、間隙水圧の増加（断層強度の低下）や地下水のくみ上げ等の表層荷重変化（断層にかかる応力の変化）が地震活動に影響を与えているという観測事実が紹介された。

2-2. 地震の発生における応力と流体の役割

名古屋大学の寺川寿子講師には、地震のメカニズム解から地殻内の間隙流体圧の時空間変化を推定する手法とその適用事例について紹介していただいた。独自に開発した手法を注水実験による誘発地震データ（スイスのバーゼル）に適用し、多くの誘発地震の発生は間隙流体圧の上昇による断

層強度低下として説明可能であることが報告された。一方、最大地震の震源域では強度低下では説明できない地震も発生しており、強度低下は地震発生のきっかけになるものの、大地震に成長するかどうかは震源域周辺の応力状態に依存するという興味深い示唆もあった。

2-3. 箱根火山における群発地震と地殻流体の関係

神奈川県温泉地学研究所の行竹洋平主任研究員には、2009年の箱根群発地震活動と流体の関係について紹介していただいた。群発地震はほぼ鉛直な面上に分布し、活動域は時間とともに拡散的に拡大していることが示され、断層破砕帯中を高压流体が拡散する過程で群発地震がトリガーされたという可能性が指摘された。さらに、地震波トモグラフィーに基づく速度構造の特徴から、マグマ起源の地殻流体が群発地震の発生に影響を与えていることが報告された。

2-4. 長期・短期注水による誘発地震に関する研究

産業技術総合研究所の雷興林研究グループ長には、中国四川盆地における注水誘発地震から得た知見について紹介していただいた。誘発地震は余震をトリガーする能力が非常に低いこと、発生頻度は注水履歴に強く依存すること、多くは注水ターゲット層、その上部と下部の脆性的な堆積層中の既存断層に集中して発生していることが示された。また、誘発地震の規模を支配する要素として、注入圧と注入量の他に、既存断層の密度、規模、成熟度、応力場のレベルがあげられた。

2-5. 地震波速度・電気伝導度から推定される地殻内の流体分布

富山大学の渡邊教授には、含水岩石の弾性波速度・電気伝導度の実験結果をもとに考察された地殻内の流体分布について紹介していただいた。地球物理観測から推定されている電気伝導度及び地震波速度の変化を説明するためには、地殻内のクラックはほぼ閉じており、開口の大きな部分が連結を維持している必要があることが報告された。さらに、10S/m程度の高伝導度領域には、飽和状態の塩水が体積分率10%程度存在している可能性も報告された。

2-6. 関東下における海洋プレートの温度・脱水分布と微小地震の発生の関連性について

神戸大学の吉岡祥一教授には、3次元熱対流沈み込みモデルにより推定された関東下の温度構造モデリングと含水量分布推定、そして微小地震発生との関連性について紹介していただいた。太平洋プレートの地殻内地震は、岩石の相転移に伴う脱水域とよく対応していることが報告された。フィリピン海プレートが太平洋プレートに接触する領域ではより深部で地震が発生しているが、プレート接触域での温度低下により含水鉱物の相転移が遅れ、より深部に運ばれた流体が脱水することで説明できることが報告された。

3. 議論とまとめ

地震の発生に流体が影響することは疑いようがなく、関連性を示唆する研究も多い。今回の発表では、間隙流体圧の時空間分布を推定できるようになってきたり、地球物理観測結果と室内実験結果を組み合わせることで流体の分布量を推定したり、数値シミュレーションで流体の発生と地震活動の関連を議論できるようになってきたことが報告され、従来の定性的な議論から定量的な議論に移行できる段階になりつつある印象を受けた。一方、予測（特に時間）という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より一層重要である。