

別紙 4

報告番号	※	第	号
------	---	---	---

主 論 文 の 要 旨

論文題目 Transient rheology model of the oceanic asthenosphere inferred from the 2012 Indian Ocean earthquake using a finite element method

(有限要素法を用いて 2012 年インド洋地震から推定した海洋アセノスフェアの非定常レオロジーモデル)

氏 名 Cecep Pratama

論 文 内 容 の 要 旨

プレートテクトニクスは地球のダイナミクスと進化に大きな役割を果たし、地球上の地質学的プロセスの大部分を支配すると一般に考えられている。しかしながら、プレートテクトニクスにおけるプレート運動は海洋リソスフェアとアセノスフェアのレオロジー特性に大きく影響されるにも関わらず、海洋下のレオロジー構造は未解明な部分が多い。よって、海洋下のレオロジー構造を明らかにすることは、プレートテクトニクスの本質的な理解にとって重要である。

本論文では、海洋下のレオロジー構造を明らかにするために、2012 年インド洋地震 (M_w 8.6) の余効変動の解析を行った。インド洋地震は 2012 年 4 月 11 日にスマトラ島の約 400 km 西方沖のインド洋プレート内で発生した横ずれ地震であり、その 2 時間後に M_w 8.2 の余震も発生した。この地震は観測史上最大のプレート内地震であり、 M_w 8.6 および M_w 8.2 の地震はそれぞれ 1.2×10^{22} Nm および 0.2×10^{22} Nm の地震モーメントを解放した。このような海洋プレート内の巨大地震は非常に稀であり、海洋下のレオロジー構造を調べるには最適な地震である。本研究では、2012 年インド洋地震後の 2 年間 (04/11/2012-04/10/2014) の地殻変動を解析し、地震発生直後の 2 ヶ月間の GNSS 観測から、一時的で急激な地殻変動 (トランジェント地殻変動) が得られた。このトランジェント地殻変動の時間変化をモデル化し再現するために、海洋プレートの沈み込みを考慮した 3 次元球面有限要素モデルを構築し、海洋アセノスフェアにおける非定常レオロジーモデルの必要性を検討した。

本研究では 3 つのレオロジーモデルを構築し、系統的なグリッド探索により、海洋アセノスフェアの粘性率と海洋リソスフェアの厚さを評価した。第 1 のレオロジーモデルでは、先行研究で仮定されてきたマックスウェルのレオロジーモデルを用いて海洋アセノスフェアの粘性率をモデル化した。解析の結果、海洋アセノスフェアのマックスウェル粘性率と海洋リソスフェアの厚さはそれぞれ $5 \times 10^{17} \text{ Pa} \cdot \text{s}$ と 70 km と推定された。しかし、マックスウェルのレオロジーモデルでは、観測値を過小評価し、トランジェント地殻変動を説明できない。第 2 のレオロジーモデルでは、海洋のアセノスフェアが短期間で粘弾性緩和するケルビンレオロジーモデルと長期間で粘弾性緩和するマックスウェルレオロジーモデルを合わせたバーガーズレオロジーモデルを構築した。解析の結果、バーガーズレオロジーモデルは、トランジェント地殻変動の水平成分をよく説明し、ケルビン粘性率、マックスウェル粘性率および、海洋リソスフェア厚さの最適値はそれぞれ $5 \times 10^{16} \text{ Pa} \cdot \text{s}$ 、 $1 \times 10^{18} \text{ Pa} \cdot \text{s}$ 、および 75 km が得られた。しかし、バーガーズレオロジーモデルで予想される地震後の 1 年間程度の地殻変動の上下変動成分は、観測データを過大評価し、観測値を説明できない。この過剰な隆起変動は余効滑りに起因する可能性を示唆している。第 3 のレオロジーモデルでは、第 2 モデルに加えて、地震時の応力変化で駆動する余効すべりを組み合わせたモデル化を行った。解析の結果、ケルビン粘性率、マックスウェル粘性率および、海洋リソスフェア厚さの最適値はそれぞれ $1 \times 10^{17} \text{ Pa} \cdot \text{s}$ 、 $3 \times 10^{18} \text{ Pa} \cdot \text{s}$ 、および 75 km が得られた。このモデルは GNSS 観測結果をよく説明し、第 2 モデルと比較して残差が 37 % 改善された。この解析結果は余効滑りを仮定した先行研究 (Masuti *et al.*, 2016) と良い一致を示し、トランジェント地殻変動と隆起変動の特徴をよく説明できる。

推定された海洋リソスフェアの厚さとアセノスフェアの粘性率からプレート運動に起因する海洋プレート内の剪断応力を推定すると約 0.03 MPa であった。この剪断応力は海洋リソスフェア内地震の解析から推定される応力状態の上限値 (Wiens and Stein, 1985) や、重力異常から推定される流動応力の上限値 (Richter and McKenzie, 1978) と整合的である。さらに、推定された海洋リソスフェアの厚さ (75 km) は、熱構造研究から推定される $40\text{-}60 \text{ Myr}$ の海洋プレートの厚さと整合的である (McKenzie *et al.*, 2005)。

海洋プレートの直下に位置する海洋アセノスフェアは地震学および、測地学的データが乏しいため、定量的なレオロジーモデルは皆無である。本研究では、地震時の応力変化で駆動する余効すべりとバーガーズレオロジーモデルを組み合わせたモデルを提唱し、2012 年インド洋地震によるトランジェント地殻変動と長期的な地殻変動の両方を説明した。また、本モデルから予想される海洋プレート内の剪断応力は先行研究と整合的であり、プレート運動の駆動力を維持するための潤滑層の定量的な議論を可能にするという意味において本研究は重要である。