

氏名	下條 賢梧		
学位の種類	博 士 (理 学)		
学位記番号	博 甲 第 8 5 5 0 号		
学位授与年月日	平成 3 0 年 3 月 2 3 日		
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当		
審査研究科	生命環境科学研究科		
学位論文題目	Nucleation Process of the 2011 <i>M_w</i> 6.2 Northern Nagano Earthquake (2011年長野県北部の地震 (<i>M_w</i> 6.2) の核形成過程)		
主査	筑波大学准教授	博士 (理学)	八木 勇治
副査	筑波大学教授	理学博士	林 謙一郎
副査	筑波大学准教授	博士 (理学)	氏家 恒太郎
副査	京都大学大学院准教授	博士 (理学)	Bogdan Enescu

論 文 の 要 旨

本論文は、2011年東北地方太平洋沖地震後に地震活動が活性化した長野県北部地域の一連の地震活動について研究したものである。東北地方太平洋沖地震後には震源域から十分に離れている地域で地震活動が活性化しており、これらの地震活動を東北地方太平洋沖地震による静的応力変化のみで説明することは難しい。本論文では、巨大地震後に日本列島で多発した中規模の地震の発生メカニズムを解明するために、データが豊富な長野県北部地域に着目して研究を行なっている。

長野県北部地域では、東北地方太平洋沖地震後に地震活動が活発化しており、東北地方太平洋沖地震から13時間後には *M_w* 6.2 の地震が発生している。同地域は、東北地方太平洋沖地震の震源域から十分に離れており、地震時の静的応力変化のみでこれらの地震活動を説明することは難しい。著者は予備的な解析として、防災科学技術研究所 Hi-net 地震観測網波形にマッチングフィルター法を適用して、同地域の東北地方太平洋沖地震から *M_w* 6.2 発生までの詳細な地震活動を調べている。その結果、*M_w* 6.2 の地震の震源周辺（北領域）と、その震源から南 20 km に位置する 2011 年 4 月 12 日に発生した *M_w* 5.4 の地震の震源域（南領域）で東北地方太平洋沖地震直後に地震活動が活性化していることを明らかにした。北領域と南領域を比較すると、南領域では東北地方太平洋沖地震の表面波通過直後より活発な群発地震活動が見られ、北領域では東北地方太平洋沖地震の数時間後から低調な地震活動が発生し、*M_w* 6.2 の発生前一時間以内に震源近傍で 2 個の前震が発生している。これらの解析結果のみからでは、東北地方太平洋沖地震と同地域で発生した *M_w* 6.2 の地震との関係性は明瞭ではなく、また、*M_w* 6.2 の地震の発生過程に関する情報はほぼないと言える。そこで著者は、*M_w* 6.2 の地震の破壊核形成過程と東北地方太平洋沖地震との関係を理解するために、同地域に展開されていた臨時の稠密地震観測網（ひずみ集中帯の重点的調査観測・研究プロジェクト）のデータを入手し解析を行った。

著者は、稠密地震観測網に高周波のフィルターを適用し、東北地方太平洋沖地震以降に周辺の地震活動が変化している観測点を同定し、*M_w* 6.2 の地震の震源近傍の観測点を含め 2 点の観測点で有意な地震活動の変化があったことを突き止めた。さらに、この 2 点の観測点の地震波形にマッチングフィルター法を適用し、東北地方太平洋沖地震から *M_w* 6.2 の地震発生までの詳細な地震活動を調べている。マッチングフィルター法に使用するプレート地震は、予備的な解析により発見された地震に加えて観測波形から目視や自動探索

によって発見した地震を用いている。

稠密地震観測網による観測点を用いることにより、285 個の前震を同定することができ、東北地方太平洋沖地震直後から M_w 6.2 の地震の断層付近で活発な前震活動が存在することを明らかにした。前震活動は、本震の震源近傍（震源クラスター）と震源から東側に約 5 km 程度離れた地点（東クラスター）で顕著である。東クラスターは M_w 6.2 の震源断層から外れて分布しており、東北地方太平洋沖地震後 1 時間以内より活発な群発地震活動を確認することができる。細かく見ると深さ 2 km 付近から活動が開始し、その後深さ 5 km 付近で活動が活性化している。一方、震源クラスターの震源は概ね M_w 6.2 の断層に沿って分布しており走行方向に約 2 km、傾斜方向に約 1 km の広がりを持つ。震源クラスターの地震活動は東北地方太平洋沖地震の約 24 分後に発生した余震の表面波通過直後から開始しており東北地方太平洋沖地震発生時から M_w 6.2 発生時までの間に 3 回活動が活性化し、断層の走向方向に沿って M_w 6.2 震源付近へ間欠的に移動している。

東クラスターの震源の時間変化に着目すると、群発地震の活動領域は浅い領域から深い領域に拡大しているように見える。しかし、深さ 2 km の領域に静岩圧の流体が存在したとしても深さ 5 km に移動して地震を誘発することは困難である。地震波トモグラフィによって推定されたホアソン比の分布と東クラスターの震源を比較すると、深さ 5 km 付近に流体が存在することが示唆される。つまり、東クラスターでは表層付近の流体の移動による地震活動と、深さ 5 km 付近の流体の移動による地震活動が混在している可能性が高い。震源クラスターでの震源の移動は、 M_w 6.2 の核形成過程に対応していると考えられ、 M_w 6.2 の震源の南西側から震源付近へ向かう流体流動もしくは非地震性滑りに対応すると考えられる。この二つのクラスターでは、東北地方太平洋沖地震の余震の表面波によって間欠的に地震活動が活性化する現象が確認できた。特に、 M_w 6.2 の震源付近の活動は余震の表面波によって著しく活性化し、その直後に M_w 6.2 の地震が発生している。これらの結果は、東北地方太平洋沖地震の影響のみでなく、その余震活動により引き起こされる動的応力変化が、長野県北部の一連の地震活動に影響を与えていることを示している。

審 査 の 要 旨

本論文は、これまで詳細に解析されていなかった臨時の稠密地震観測網で観測された地震波形を用いて、東北地方太平洋沖地震後に発生した長野県北部の M_w 6.2 の地震の前震活動を調べ、本地震の破壊核形成過程を明らかにした。半ば放置されていた臨時の稠密地震観測網の記録を丹念に調べることによって、東北地方太平洋沖地震の地震動ではなくその余震の地震動によって本領域の破壊核形成が間欠的に加速したことを明らかにした点で価値が高い研究と言える。

著者は、まず、データの入手が容易な防災科学技術研究所 Hi-net 地震観測網を用いた予備的な解析を行い、長野県北部地域の地震活動の概要を明らかにした。この研究では、長野県北部の M_w 6.2 の地震の前震活動について十分な結果を得ることができなかった。そこで、臨時の稠密地震観測網（ひずみ集中帯の重点的調査観測・研究プロジェクト）の地震波形にマッチングフィルター法を、プレート地震を更新しながら繰り返し適用することにより、多数の前震の同定に成功している。

解析結果で注目すべきは、活性化は東北地方太平洋沖地震の余震の表面波通過中に開始している点、活動領域が断層の走向方向に沿って M_w 6.2 震源付近へ移動する点であろう。この結果は、この前震領域の移動は流体の移動もしくはゆっくり滑り領域の移動を反映している可能性が高く、 M_w 6.2 の破壊核形成には、東北地方太平洋沖地震の地震動のみではなく余震の地震動も重要な役割を担っていることを示している。本論文の成果は、今後の核形成過程のシミュレーションの研究にとって重要な拘束情報を与えるものである。

以上から、本論文は、高い学術的価値を有し、博士論文としてふさわしい内容であると判断される。

平成 30 年 1 月 25 日、学位論文審査委員会において、審査委員全員出席のもとに論文の審査及び最終試験を行い、本論文について著者に説明を求め、関連事項について質疑応答を行った。その結果、審査委員全員によって合格と判定された。

よって、著者は博士（理学）の学位を受けるのに十分な資格を有するものとして認める。