

氏名	溜 淵 功 史		
学位の種類	博 士 (理 学)		
学位記番号	博 乙 第 2 9 1 5 号		
学位授与年月日	平成 3 1 年 3 月 2 5 日		
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 2 項該当		
審査研究科	生命環境科学研究科		
学位論文題目	Study on Real-time Monitoring System of Earthquakes (地震リアルタイム監視予測システムに関する研究)		
主査	筑波大学教授	博士 (理学)	八木 勇治
副査	筑波大学教授	博士 (理学)	角替 敏昭
副査	筑波大学准教授	博士 (理学)	藤野 滋弘
副査	東京大学地震研究所准教授	博士 (理学)	加藤 愛太郎

論 文 の 要 旨

緊急地震速報に代表される地震早期警戒システムは、全国に展開された地震計で地震の発生を検出し、そのデータを用いて直ちに震源等を推定して将来の揺れを予測するリアルタイム監視予測システムである。地震計のデータをリアルタイムに解析し、情報発表を迅速に行うため、このシステムではデータ収集、ノイズ識別、個々の地震の識別、震源・マグニチュードの推定、情報作成、情報発信、といった一連の処理が自動でなされている。地震の即時解析技術と通信技術の発達により、例えば平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震では、東北地方の広い範囲に強い揺れが到達する前に、緊急地震速報を発表することが可能となった。一方、その後は、広域で地震活動が活発となったために、複数の地点で捉えられた別々の地震による地震波を、1つの地震であると誤認識し、過大な揺れを予測する事例が多数発生するという課題が明らかになった。

本論文で著者は、まず緊急地震速報において同時多発地震を適切に識別するための、地震波を自動で分類し、震源推定を行うアルゴリズム(IPF法: Integrated Particle Filter法)を提案している。従来の手法では、地震の識別は検知時刻のみによって行っていたが、IPF法では、振幅も同時に考慮することによって識別性能を向上させている。また、IPF法では、震源パラメータの最尤値探索のために、ベイズ推定に基づくパーティクルフィルタを用いている。パーティクルフィルタは、震源の推定位置を事後確率密度分布としてパーティクルに近似し、ある時点までに得られたデータから、事前確率と尤度関数に基づきパーティクルの配置を時々刻々と更新していく手法である。著者はこの手法を、過去(2011年3月から4月及び2013年8月8日)に緊急地震速報を発表した72事例(うち全ての警報領域で最大震度2以下であった事例(誤報)は22事例)に適用し、迅速性は維持しつつ、誤報の回数を0回に減らすことに成功している。

また本論文で著者は、微小地震のカatalogデータ作成の迅速化、効率化のために、自動で多数の地震波(P波、S波の候補点)を検出し、それらを個々の地震に分類するアルゴリズム(PF法: Phase combination Forward search法)を提案している。PF法では、P波とS波の候補時刻と最大振幅を統合して使用して最尤値を探索している。著者はこの手法を日本周辺の地震に適用し、一元化震源(手作業で精査された震源)と比較して、平常時であれば内陸部の浅い地震でほぼ100%($M \geq 1.0$)の決定率を達成できることを示した。

PF法が気象庁に採用されることにより、一元化震源Catalogの検知下限をより小さくすることが可能になった。本論文では、検知下限が下がることによって、規模別頻度分布の傾きであるb値の時空間変化などの詳細な地震統計が可能になることに注目し、2016年の熊本地震の一連の地震活動の統計学的な解析を行った。その結果、2016年の熊本地震では、前震活動(4月14日、M6.5以降の地震)のb値は余震活動(4月16日、M7.3以降の地震)のb値よりも低かったことを明らかにしている。本論文では、さらに踏み込んで、他の前震活動においても、前震時のb値が低いかどうかを確認するため、一元化震源Catalogを系統的かつ客観的なクラスタリング(最近傍法)を行い、地震クラスタを作成し、客観的な前震、余震を抽出し、前震時における低b値が幅広い本震規模の範囲で頻繁に観測されることを明らかにしている。この結果は、応力変化または非地震すべりが本震の発生に寄与していることを示唆している。著者はさらに、本震と最大前震との規模差、震央距離、震源時間差が、べき乗則に従って減衰していることを明らかにしている。

審 査 の 要 旨

著者は、ビックデータ時代に対応する震源の同定、震源決定の新手法を開発し、新しい震源カタログを用いて地震活動の統計学的特徴を明らかにした。

著者が開発したIPF法は2016年12月に気象庁の緊急地震速報システム（EPOS：地震活動等総合監視システム）に導入されており、PF法は2016年4月から気象庁の地震観測システム（REDC：地域地震情報センターデータ処理システム）に導入されている。著者が提案した新手法により、緊急地震速報システムの精度が向上したのみではなく、地震カタログの質と量が向上した。例えば、気象庁がPF法を導入した直後に発生した2016年熊本地震では、4月14日から5月31日までの1か月半の間に70,000個近くの地震を検出（平常時は全国で10,000～15,000個/月）し、地震活動の監視、把握等に極めて有効であった点は特筆に値する。

また、新しい地震カタログから明らかになった前震活動の特性は、本震発生のリスクを理解し、評価する上で有益であろう。

平成31年2月4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学力の確認を行い、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。