

氏 名 野村 俊一

学位（専攻分野） 博士（統計科学）

学位記番号 総研大甲第 1505 号

学位授与の日付 平成 24 年 3 月 23 日

学位授与の要件 複合科学研究科 統計科学専攻  
学位規則第 6 条第 1 項該当

学位論文題目 Stochastic Models and Forecast for Recurrent  
Earthquakes

論文審査委員 主 査 教授 尾形 良彦  
教授 田村 義保  
准教授 庄 建倉  
名誉教授 松浦 充宏 東京大学  
教授 駒木 文保 東京大学

## 論文内容の要旨

地震は断層を動かす応力が蓄積されて閾値に達したときに発生する。いったん開放された応力は蓄積され再び地震を起こし、これを繰り返す。活断層において発生する大地震の長期予測確率は、このような仕組みを統計的に定式化し導出される地震の発生間隔の分布、すなわち Brownian Passage Time (BPT) 分布、に基づいて計算される。この更新過程モデルはプレート境界面の同じスポットで起きる中小の「繰り返し」地震にも優れて適用することができる。

野村君の博士申請論文は BPT 分布更新過程モデルの安定で現実的なベイズ予測と、これを拡張したベイズ型時空間モデルに関する研究であり以下の3つの章でのオリジナルな研究成果から成る。

### BPT 分布更新過程モデルのベイズ予測とその予測性能比較 (3章)

政府の地震調査委員会の長期予測では BPT 分布のパラメータ  $\mu$  と  $\alpha$  に推定値を代入 (plug-in) して確率を予測している。3章では BPT 分布のパラメータ  $\mu$  と  $\alpha$  は活断層ごとに異なる値としながらも、全体として或る事前分布から発生していると考えるベイズモデルを用いる。最適な事前分布の選択については赤池のベイズ情報量規準 (ABIC) に基づく。そして将来の地震確率をベイズ予測により計算する。少数標本シミュレーション実験によると、ベイズ予測が plug-in 予測よりも優れていることが示されている。提案の確率予測と地震調査委員会の確率予測を比較したところ多くは概ね符合するが、かなり異なるものもあり、その場合は明瞭に提案法の優越性を示している。

### 地震発生の不確定性を考慮した BPT 分布更新過程のベイズモデルと予測 (第4章)

断層の地質調査などによる発生時期は相当の不確定性や発生不明の不確実性を孕んでいる。さらに地震回数が絞れない場合などもある。4章ではこれらをモデル化し積分尤度を考慮し、BPT パラメータ  $\mu$  と  $\alpha$  の事前分布を最適に与える事後分布を絞り込んで、過去の地震発生時の分布と将来の地震発生確率の予測を同時に行っている。このような具体例として、立川断層帯、大分平野 - 由布院断層帯および雲仙断層群系について、計算結果を示して、地震調査委員会の予測結果と対比している。

### BPT 更新過程の時空間モデリングと「繰り返し」微小地震群への適用 (5章)

プレート境界面の各スポットで発生する「繰り返し地震」に対して、BPT 更新過程を拡張して、時空間階層ベイズモデルを開発し、これを San Andreas 断層の Parkfield 地域で特定された、「繰り返し」微小地震データに当てはめ、断層面における応力蓄積速度の時空間的变化の推定を行っている。ここで3次元 B-スプライン関数で位置、深さと時間による連続的な応力の変化を表現している。最適なベイズモデルは ABIC 最小化に従う。このようにして 2004 年 Parkfield 地震 (Mw 6.0) の前と後のそれぞれの特徴的な時空間変化を捉えている。

## 博士論文の審査結果の要旨

本審査委員会は野村俊一君の学位申請論文について、公開の論文発表会を開催し審査を行った結果、下記の理由により複合科学研究科の課程博士の学位を授与するに十分であると判断した。

地震調査委員会は、活断層の地震が小標本のため、BPT 分布のパラメータ $\alpha=0.24$ を固定して一律に全活断層で適用して長期地震予測している。その後のトレンチ調査などにより多数の活断層のデータが増え、 $\alpha=0.24$ を全活断層に適用する不具合が指摘されている。博士申請論文3章に提案されているベイズ予測は異なるパラメータ値を取る活断層に共通に適用しても安定した推定を得る現実的で優れた提案である。各活断層の $\alpha$ のベイズ推定値（事後分布の平均）は、日本列島における活断層系が密な中部日本で、大きな値となっている。これは中部日本で活断層地震間の応力変化の相互作用が強いことを示唆し、大変興味深い。3章の研究は既に固体地球物理学トップジャーナル(*Journal of Geophysical Research, Solid Earth*; 2011年4月)に掲載され、関係研究者の注目を浴びた(月間ダウンロード数11位48回)。

地震調査委員会の確率予測では発生時データとしては発生時推定間隔の中点を採用して計算されている。4章では、発生時の不確定性、生起の不確実性、欠測などを忠実に事前情報として量的に記述し考慮している。たとえば地震発生時刻の推定期間の一様分布を設定し、地震発生回数が不明な場合でも、それぞれの回数の事後確率や各地震の発生時点の事後分布を推定し、将来の地震発生確率はベイズ予測分布を用い、偏りが無く、信頼性を増す確率予測が期待できる。この分野への先駆的な貢献といえる。

一定期間を置いて殆ど同じ震源位置からの極めて相似な地震波が観測される地震が繰り返し起きる現象が発見されて以降、「繰り返し」地震の探索・特定が精力的に進められている。これは「繰り返し」地震の再来間隔などからその場所での断層面における応力場の時間的変化の測定に役立つからである。5章では、応力場の変動を伴う「繰り返し」地震の発生過程を表現する時空間 BPT モデルを提案し、「繰り返し」微小地震データを用いて、応力場の変化の推定を行った。このような「繰り返し」地震を解析する統計的時空間モデルはこれまでに存在していなかった。提案モデルは、GPS 観測が遠く及ばない沖合の海底下におけるプレートの境界での、応力場の変動を推定できる有力な統計的手法を与えた。