

氏 名 郭 振 琪

学位（専攻分野） 博士(学術)

学 位 記 番 号 総研大甲第241号

学位授与の日付 平成9年3月24日

学位授与の要件 数物科学研究科 統計科学専攻

学位規則第4条第1項該当

学 位 論 文 題 目 Statistical Analyses of Aftershocks for the
Relations Between Their Models in Time, Space,
and Magnitude

論 文 審 査 委 員 主 査 教 授 田村 義保
教 授 伊藤 栄明
教 授 尾形 良彦
教 授 種村 正美
教 授 島崎 邦彦（東京大学）

論文内容の要旨

The correlation between characteristic parameters of statistical models, such as the b value of the *Gutenberg and Richter*[1954]relation, the p -value of the modified Omori formula [Utsu, 1961], the p and α value of the Epidemic Type Aftershock Sequence(ETAS) model [Ogata, 1992], and the fractal dimension D of the hypocenter distribution, is analyzed for 34 aftershock sequences in Japan from 1971 to 1995. All the parameters are estimated using maximum likelihood methods with their error assessments except the fractal dimension of hypocenter distributions are estimated by both the least squares and maximum likelihood methods.

For the majority of the aftershock sequences, the ETAS model has a smaller AIC value than the nonstationary Poisson models with the modified Omori intensity function, which suggests existence of clusters within the aftershock sequence. Most of the scatterplots between the maximum likelihood estimates of the characteristic parameters are seen to be either positively or negatively correlated. Clear positive correlations between the parameters of b , p of the modified Omori formula, and the fractal dimension D which are estimated by the least square method, are seen for the intraplate earthquakes, but that was not clear for interplate events except(b, D).

On the other hand, we estimated the P values using the ETAS model, and the fractal dimension D by the maximum likelihood method. Thus, we investigated correlations between P and α value of the ETAS model, b , and the fractal dimension D . The contrasting correlation patterns are revealed between the estimated parameters for the intraplate and interplate earthquakes, except for the two pairs (b, D) and (α, p) in which similar correlation patterns are found.

We then focus our attention on these patterns as a source of interesting contrasts between the two earthquake groups, i.e. the intraplate and interplate events. In particular, the significant dependence of these parameters on the depth appears a key to understand the correlation pattern for interplate aftershocks, while a different interpretation is made for intraplate aftershocks because no dependence on depth is observed.

論文の審査結果の要旨

本委員会は郭振王其氏の論文について、数物科学研究科における課程博士の授与に係わる論文審査等の手続き等に関する規定に基づき、公開の論文発表会を開催し審査を行った結果、博士の学位を授与するのに十分な内容と形式を備えているものと判断した。理由は以下の通り。

1) 論文の概要

地震活動に於ける統計的法則の中で、余震減衰に関する改良大森公式や地震マグニチュードの頻度に関する Gutenberg and Richter の法則、および震源の空間配置のフラクタル（自己相似）構造は、それぞれ、余震活動の時間変化、放出エネルギー及び空間的な性質をしめす、最も基本的な経験法則である。それらの各特徴的パラメータは地球物理学的情報量として数多くの顕著な地震について求められている。これらの法則の背後にある物理学的メカニズムの解明を目指して各種理論モデルが展開されている。しかしながら、殆どのモデルはまだ仮説の域を出ず、実証のためのデータ解析もほとんど無いのが現状である。

本論文は、震源位置、とくに深さに関しての精度が向上した最近のデータに基づいて、時間、空間とマグニチュードの特徴パラメータの相関を調べ、余震発生過程のモデルの実証的な研究を行っている。論文の概略を示す。

1.1) 改良大森公式の p 値と他の特徴パラメータと相関性：

日本における最近約 20 年間に発生した 34 個の余震系列のデータに基づいて、マグニチュード分布の b 値と余震減衰のパラメータの改良大森公式の p 値を最尤法で、フラクタル次元 D を最小二乗法で求め、プレート内に発生した余震のパラメータに互いに正の相関性を見いだしている。プレート境界のパラメータの相関については、 b と D にみられるが、ほかの場合は相関がはっきりしない。観測データに基づくこれらの解析結果と従来の各種数理モデルから導かれた関係式と比べることによって余震発生各数理モデルの妥当性の是非を実証的に論じている。

1.2) ETAS (Epidemic Type Aftershock Sequence) モデルによる余震活動の研究：

ETAS モデルは、いかなる余震もさらに余震を引き起こすという分枝過程のような地震活動のための点過程モデルで、考慮している地域の地震活動の特徴を示すためのものである。中でもパラメータ p_e は余震活動の減衰を示す係数で、 α は余震のマグニチュードが引き続く第二次余震の発生率におよぼす程度を示す。各データに基づく求められた p_e 値は改良大森公式の p 値におおよそ等しいか、やや大きめであった。AIC によるモデルの比較によると 34 例の余震系列のうち 25 例について、ETAS モデルの方が改良大森公式（非定常ポアソン過程）より適合が良かった。改良大森公式の方が適合の良かった残りの 9 例については、殆ど $p_o = p_e$ が成立して α 値が大きくなっている事が判り、改良大森モデルと ETAS モデルは同様であることを示している。いずれにしても ETAS モデルが詳細な余震活動のモデルとしても適切であることが分かった。

1.3) 震源の 3 次元的点配置のフラクタル次元 D の推定：

相関積分の増分について最小二乗法によって D を推定し、その標準誤差を求めている。その後、震源間相互距離をそのまま三次元非定常ポアソンと見て、Palm 型 intensity モデルによって最尤法で求め、ヘッセ行列によって標準誤差も得ている。

1.4) ETAS モデルの p_e 値、 α 値と他の特徴パラメータ間の相関性：

ETAS モデルのパラメータの推定誤差間にはある程度の相関性があることは統計学的に自明であるが、このことを考慮しても、余震系列データで推定されたパラメータ間には、それ以上の地球物理学的に有意な相関が見られることを示している。例えば、 α と p_e の相関についてはプレート境界の余震と内陸型のプレート内の余震の相関では、相異なったパターンを発見している。さらに p_e 値と b 値、及び p_e 値とフラクタル次元 D に関しては、プレート内余震には正の相関、プレート境界型には負の相関があった。フラクタル次元 D と b 値はプレート内とプレート境界のいずれの余震も正の相関であった。この様に改良大森の p_0 値ではっきりとプレート境界余震の相関を見出すことができなかつたが、ETAS モデルの p_e 値では有意に見ることができた。同様に、 (α, b) 及び (α, D) について、プレート境界の余震とプレート内の余震とは異なった相関パターンが見られた。以上のようにプレート内の余震と境界の余震では余震の発生様式が異なることが判明し、その物理的メカニズムについての議論に対する定量的根拠を与えた。

1.5) 震源の深さと特徴パラメータ間の相関性：

p -値や b -値は熱流量の地域差に関係することが知られている。他方、プレート間の p や b のみ強く深さに依存することが判明した。これらの観察と、力学的摩擦モデルによる、これまでの研究で知られているシミュレーション実験の結果にもとづいて、申請者は、プレート境界の余震の場合は発生域の流体間隙圧分布の非一様性の程度が、プレート内の余震の場合は熱流量の地域差による温度の違いが、それぞれの相異なったパラメータの相関パターンを説明する重要な影響要素であると考察している。

2) 論文の評価

郭氏は、余震活動に関する時間的減衰（改良大森公式）、空間分布（自己相似フラクタル現象）そしてエネルギー分布（マグニチュードの Gutenberg-Richter 法則）の、それぞれの領域における経験法則間の相互関係についての研究している。従来の余震活動の研究では、これらの経験的法則が時間・空間・エネルギー（マグニチュード）の各領域で個別に論じられていた。これらを統一的に、相互関係に注目し、組織的かつ綿密なデータの解析に基づいた実証的研究は無かつた。特に、点過程 ETAS モデルを余震活動を測る物差しとして有効に使うこと、およびプレート境界型余震とプレート内余震を分けて解析することによって明確な新知見を得ている。この分野に重要な貢献をしたと認めることができる。

成果の一部が 1995 年 5 月に国際的地球物理学会速報誌 (Geophysical Research Letters) に掲載されている。また、最近のまとまった結果が国際的地球物理学会誌 (Journal of Geophysical Research) に近く掲載される予定である。統計学上の優れた実証的研究として評価されるだけでなく、地震活動の時間、空間およびエネルギーの各領域間の相関性に注目し、地震学上の新しい知見を得た点が高く評価される。

数物科学研究科における課程博士の授与に係わる論文審査等の手続き等に関する規定第 9 条に基づいて口頭試問による試験を実施した結果、出願者は統計科学に関して学位を授与するに十分な学識を有するものと判断し、合格と判定した。