

氏 名 庄 建 倉

学位（専攻分野） 博士(学術)

学 位 記 番 号 総研大甲第648号

学位授与の日付 平成15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 Some Applications of Point Processes in Seismicity
Modelling and Prediction

論 文 審 査 委 員 主 査 教授 種村 正美
教授 尾形 良彦
教授 田村 義保
教授 島崎 邦彦 (東京大学)
教授 間瀬 茂 (東京工業大学)

論文内容の要旨

The idea of probability prediction was quite difficult to be accepted at the beginning by geophysicists and physicists. People become more and more interested in probability prediction, because they found after so many year's research that the causes of earthquakes are very complicated and the occurrences of precursors and earthquakes are not a simple one-to-one relationship. Some earthquakes occurred after we observed a certain kind of anomaly phenomena, but some earthquakes occurred without these precursors observed, or no earthquakes occurred after we observed the same anomalies.

In this paper, the central topic is on the development of point process models to describe and to predict the earthquake risk based on the previous observation, including earthquake occurrences and precursors.

The conditional intensity is used for the model specification, which has a natural form for prediction. Several models are given in the paper including the Poisson model, the stress release model, the self- and mutual-excitation process and the epidemic type aftershock sequence (ETAS) model.

The ETAS model is discussed in more detail. First, its properties, its criticality and moments are analyzed.

The technique, called stochastic declustering, is concerned with an objective estimation of the spatial intensity function of the background earthquake occurrences from an earthquake catalogue which includes numerous clustered events in space and time, and with an algorithm of producing declustered catalogues from it, and also the reconstruction of the catalogue into the explicit clusters. It is shown that the background intensity function can be evaluated if the total spatial seismicity intensity and the branching structure are estimated. Or, the whole space-time process can be practically split into two sub-processes, the background and the clustered ones. Specifically, in the paper, a space-time epidemic type aftershock sequence (ETAS) model is adopted to describe the branching structure of earthquake occurrences. This algorithm combines a parametric maximum likelihood estimation for the clustering structures in the space-time ETAS model and a non-parametric approach to the density estimation of the background seismicity, which is called a weighted variable kernel method. As a demonstration of the presented methods, we estimate the background seismic activities in the central New Zealand region and in the central western Japan region to produce the catalogues of background events.

For the prediction purposes, we give the simulation procedures for Poisson models and ETAS models. Besides Ogata's thinning method, we propose another faster method, called the composition method, for the simulation of the ETAS model.

An example is also given for modeling the relationship between precursors and an earthquake. The precursor data are the signals from four stations monitoring the ultra-low frequency components electric field in the vicinity of Beijing, and are used as

explanatory variables in forecasting the occurrence of events with magnitude $M \geq 4$ within 300 km circle centered on Beijing. The model used is a version of Ogata's LIN-LIN algorithm for examining the influence of an explanatory signal on the occurrence of events in a stochastic point process. The explanatory effect is shown to be highly significant, and greatly superior to the explanatory effect of the same signals applied to a randomized version of the earthquake data. All four stations show significant explanatory power, although in combination the two most effective tend to dominate the forecasts. The results are stable against perturbations in the time period or region of observation. The predictions appear to be most effective for events with $M \geq 5$, and for events closer to the observing stations, although some of the smaller events appear to produce detectable signals at distances of over 100 km from the source. Probability gains over the simple Poisson process are in the region up to 3 – 4 for the events of magnitude 5 or larger. A special study is made of predicted and unpredicted events in the region around the M 7.8 Tangshan earthquake of 1976, to reveal the common spatial pattern of the classified events corresponding to all individual stations.

論文の審査結果の要旨

申請者の博士申請論文の主要成果は地震活動に対する2つの統計的方法の提案と、それぞれの方法に関する地震学的に意義のある計算結果の提示から成る。一つは地震活動の時空間点過程モデルを用いた確率的除群法の提案で、二つ目は地震の前駆性の統計的有意性を吟味し、確率予測を行うためのモデルの提案である。いずれにも計算アルゴリズムを与え、地震データの実例に対して提案方法の有用性を示している。

論文は主に三部からなる。第一部では地震活動のモデル化と予測のために用いる点過程が概括される。議論されるのはポアソンモデル、応力解放モデル、伝染型余震列 (ETAS) モデル等である。第二部では時空間 ETAS モデルの定義と性質及びその効率的計算アルゴリズムの提案、そして地震カタログから常時地震活動の空間強度を推定するための確率的除群法が核 (カーネル) 関数を用いた時空間 ETAS モデルを通して提案され、計算アルゴリズムの提案及びその実用性の検証がなされる。第三部では前駆現象に基づく地震発生の予測の問題が扱われる。ここでは時系列データからの因果的関連性の有意性を検証する点過程モデルとその計算アルゴリズムが提案され、このモデルを使って地電位の異常変化の中規模地震発生に対する前兆性の統計的有意性が示唆されて、推定モデルによる確率予測とその評価による実証がなされる。

論文で提示された「核 (カーネル) 関数による常時地震活動の空間強度の推定法」及び「時系列と点過程の統計的因果関係を記述するモデル」はいずれも統計学的に独創性のあるもので実用的なアルゴリズムを与えたものと評価できる。時空間点過程モデルによる確率的除群法は地震活動研究に有力な方法を与えたものと認められる。統計的因果関係を記述するモデルでは地電位データに基づいた中規模以上の地震発生の確率的予測の有意性を示した。さらに、地殻の歪み変化など他の地震発生前駆候補の多変量時系列を入力とした点過程モデルによる定量的な複合的地震予測への実用化に向けて展望を開いたと評価できる。

出版の状況として、時空間モデルによる確率的除群法の成果が 2002 年 6 月にアメリカ統計学会誌 (JASA) に掲載され、地電位関係の研究結果は国際的地球物理学会誌 (Pure and Applied Geophysics) に投稿中である。この他に博士申請論文に含まれていないが ETAS モデルを適用した地震活動に関する結果の査読付き論文が 4 編ある。

以上により、申請者の博士申請論文は統計科学専攻の課程博士に値すると判断された。