

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 5 月 28 日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2016

課題番号：25750149

研究課題名(和文)地震先行現象に基づく予測モデルの検証システムの構築

研究課題名(英文) Construction of the evaluation system for earthquake forecasting models based on preseismic phenomena

研究代表者

横井 佐代子 (YOKOI, Sayoko)

東京大学・地震研究所・特任研究員

研究者番号：70434842

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：地震と相関する現象を観測し発生を推測するモデル(先行モデル)による地震予測の精度を向上させるための基盤構築を行った。具体的には、先行モデルが事前予測を提出するプラットフォームを提供し、予測の成績を公正に検証するシステムを作った。これにより、これまで事後予測同然で公表されていた先行モデルへの疑い - 地震が起きた後にモデルの作成者によって予測情報が改変されたのではないかと - が払拭され、先行モデルの本当の予測能力を知ることができるようになった。先行モデルの作成者は、本システムを使って事前予測と評価を繰り返すことにより自身が作成した先行モデルの成績を把握し、改良につなげられる。

研究成果の概要(英文)：We built a system to improve the accuracy of earthquake forecasting model based on observing the phenomena correlated with the earthquake and estimating the earthquake occurrence (preceding model). Specifically, the system provides a platform for prospective forecasting based on preceding models, and a fairly evaluations of the score of the preceding models. As a result of this, suspicion of the preceding model which had been publicly announced as a retrospective forecasting - the prediction was modified by the modeler of the preceding model after the earthquake occurred - was dispelled. Then, we became able to know the real forecasting abilities of the preceding models. The modelers can grasp the ability of their models by repeating the submission and evaluation of their predictions using this system. This system leads to improvement of models.

研究分野：地震学

キーワード：地震先行現象 検証方法

1. 研究開始当初の背景

2006年までは、地震予測の方法（以下、予測モデル）の検証はモデルの作成者（モデラー）が各々の方法で行っていた。たいていの場合は過去の地震に対して予測と検証を行う「事後予測」なので、モデラーが予測の答えを知っていることによる予測のチューニングの可能性が付きまとっていた。これらの問題を解消し、モデルの高度化を促す目的で2006年にアメリカで地震発生予測検証実験が始まった（Collaboratory for Study of Earthquake Predictability（以下、CSEP「シーセップ」）。CSEPでは、モデラーから独立した第三者（CSEPテストセンター）が予測期間より前に世界中から予測を受け付け、予測期間終了後にCSEPのルールに従って評価する。これにより、本当の事前予測が実現し、モデルの公平公正な検証・評価が向上した。その後CSEPは世界展開を図り、その評価方法は世界共通ルールになった（Schorlemmer *et al.*, 2007）¹⁾、（Schorlemmer *et al.*, 2007）²⁾、（Werner *et al.*, 2010）³⁾。

日本では、東京大学地震研究所内にCSEPテストセンターが置かれ、2009年11月1日から実験が始まった（URL: <http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/ZISINyosoku/wiki.jp/wiki.cgi>）（平田ら, 2011）⁴⁾。申請者は、2010年7月からテストセンターで検証業務を行っている。実験に参加しているのは過去の地震の発生様式を統計解析し未来に外挿する予測モデル（以下、統計モデル）のみであり地震と相関する現象を観測し発生を推測する予測モデル（以下、先行モデル）は参加していない。CSEPの検証システムが統計モデルによる確率予測を前提に作成されており、先行モデルはCSEPが求める全域的予測情報を提出するのが困難だからである。統計モデルは余震やマグニチュード4から5程度の予測の成績は良いが、マグニチュード6.5以上の地震を予測するには今以上のモデル

の高度化が必要であり、その候補としていわゆる本震を予測しようとする先行モデルの概念が期待される。先行モデルの例として2011年東北地方太平洋沖地震の前の地震活動の静穏化があるが、このような決定論的事象を使った事前予測（任意の場所・規模・期間）について検証を行う手段はなく事後報告にとどまっている（Katsumata, 2011）⁵⁾。中には先行モデルを使って事前予測を行っている例もあるが（Okada *et al.*, 2012）⁶⁾、検証もモデラー自身が行っている。そして、予測は検証結果とともにモデラーから公表されることになり「事後予測」同然の扱いになっている。この問題を解決するためには、先行モデルにふさわしいテストセンターが必要であるが、適切な検証方法は自明ではない。

2. 研究の目的

先行モデルの事前予測と客観的に検証を行うテストセンターを考案・構築することを本研究の目的とする。具体的には、下記の2項目を実施する。

- (1) プラットフォームの作成：先行モデルの事前予測を受け付け、検証を行う土俵を作る。
- (2) 検証方法の確立：先行モデルの予測を公平公正に評価する検証方法を定める。

3. 研究の方法

(1) プラットフォームの作成

先行モデルは、CSEPのように予測領域、空間分解能、予測期間、規模の分解能をあらかじめ規定することができない。このような先行モデルの予測表現を加味した予測提出フォーマットにすること、事前予測しか受けつけないこと、予測と検証結果を誰にでも理解しやすい表現（図やグラフ）で示すことに主眼をおく。

(2) 検証方法の確立

第1案としてCSEPの検証方法の概念を応

用できないか、先行モデルの予測方法と付き合わせながら検討する。CSEP では「地震は点過程である」というポワソン過程の下に検証を行っているが、先行モデルが対象とする大規模地震はある大きさの断層が動くことによって引き起こされるので、ポワソン過程と見なすことでどれだけ不都合が起きるか見極めることがポイントとなる。適用が厳しい場合には、他案の探索・模索を行う。これらの検討を基に検証方法の仮定条件を定め、実際の検証計算で使えるようコーディングを行う。

4. 研究成果

(1) プラットフォームの作成

先行モデルの事前予測の提出に適したプラットフォームの主要機能の要件を下記のように定義し、ウェブ上で運営できるようサーバ機に実装した。

- ・ 予測領域は日本地図上へのプロットができるように、予測期間と規模は予測の誤差が表現できるような入力形式にした。
- ・ 事前予測しか受け付けないように入力制限を設けた。
- ・ 予測領域と予測期間の登録を先行現象の予測情報に沿うよう行えるようにした。
- ・ 事前予測の登録を証明する目的で登録内容をメールで自動送信するようにした。
- ・ 予測と検証結果をウェブに表示できるようにした。

事前予測を公平、公正、かつ持続的に行えるようにするための具体的な整備を行うことができた。先行モデルは統計モデルと違い、地震予測領域、空間分解能、予測期間、規模の分解能をあらかじめ規定することができないので、予測情報の表現形式を先行モデルに合わせたフォーマットにすることによっ

て先行モデルの研究者に事前予測を実施する場所を提供できるようになる。また、このプラットフォームによって、CSEP が行っている地震発生予測実験の「事前予測」を先行モデルでも行えるようになった。具体的には、このプラットフォームでは、モデラーは将来の予測情報しか登録することができない。また、モデラーが地震先行現象に基づく予測モデルの予測情報を登録すれば、モデラーにその内容がメールで自動送信され、登録内容がウェブ上に公開される。よって、登録内容はモデラーが本当に「地震が起きる前に予測をした（事前予測）」ことの第三者的証明となり、これまで事後予測同然にしか公表されなかった先行モデルに付きまっていた問題「モデラーによる予測のチューニングの可能性」が払拭されることになり、科学的信頼性が得られることになる。そして、予測期間後の予測モデルの検証結果は「とにかく予測が当たったか当たらなかったか」を客観的に判断する直接的な情報となる。

今後の展開としては、本当の事前予測を実現する便利なツールとして活用してもらえようアウトリーチを行っていく。

(2) 検証方法の確立

CSEP の検証方法の概念を応用できないか、先行モデルの予測方法と突き合わせながら検討した。先行現象の予測情報を地震発生確率で表現するのは困難であり、CSEP の検証方法 (Schorlemmer *et al.*, 2007) ¹⁾ で扱うのは難しいという結論に至った。そして、さらなる調査の結果、別の方法 (Zechar *et al.*, 2008) ²⁾ が使用できそうであるという見通しが立ったので、予測の成績を定量的に評価できるようにした。

今回の検討で有望とした検証方法が日本の地震予測に使用されたことはない。日本の地震予測にも適用すれば、論文に掲載されているカリフォルニアの結果と比較すること

が容易になる。このことによって予測法改良のヒントを得やすくなると考えられる。予測の手法にかかわらず同一の方法で予測の成績を測れるので、予測の評価に客観性を持たすことができるようになった。

(3) 先行モデルの調査

本プラットフォームで事前予測と評価を行うのに適切な先行モデルを選定する目的で、いくつかの先行モデルの調査を行った。

ある先行モデル（潮汐の変化を利用した地震予測）は、モデラー自身が予測と検証を行い、その実績をウェブ上で公開している。本調査では、先行モデルのモデラーとは別の方法で先行モデルが予測情報として有用なものかを検証した。また、別の先行モデル（GPSを利用した地震予測）については、その予測方法と予測期間を詳細に調べて先行モデルを理解することと、予測の成績の評価方法の検討を行った。両方法ともに検証する価値があるという結論に至った。

<引用文献>

- 1) Schorlemmer D., Gerstenberger M. C., Wiemer S., Jackson D. D. and Rhodes D. A., Earthquake Likelihood Model Testing, Seismological Research Letters, 78 (1) , 2007, 17-29.
- 2) Schorlemmer D. and Gerstenberger M., RELM testing center, Seismological Research Letters, 78 (1) , 2007, 30-36.
- 3) Werner M. J., Zechar J. D., Marzocchi W. and Wiemer S., the CSEP-Italy Working Group, Retrospective evaluation of the five-year and ten-year CSEP-Italy earthquake forecasts, Annals of Geophysics, 53 (3) , 2010, 11-30.
- 4) 平田直, 鶴岡弘, 楠城一嘉, 横井佐代子, 「地震予報」ができるかも?, なみふる, 84: 3, 2011, 1-3.

- 5) Katsumata K., A long-term seismic quiescence started 23 years before the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake (M = 9.0), Earth Planets Space, 63 (7) , 2011, 709-712.
- 6) Okada M., N. Uchida and S. Aoki, Statistical forecasts and tests for small interpolate repeating earthquakes along the Japan Trench, Earth Planets Space, 64, 2012, 703-715.
- 7) Zechar J. D. and T. H. Jordan, Testing alarm-based earthquake predictions, Geophysical Journal International, 172, 2008, 715-724.

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 0 件)

[学会発表] (計 0 件)

[図書] (計 0 件)

[産業財産権] (計 0 件)

○出願状況 (計 0 件)

名称 :

発明者 :

権利者 :

種類 :

番号 :

出願年月日 :

国内外の別 :

○取得状況 (計 0 件)

名称 :

発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

[その他]

ホームページ等

6. 研究組織

(1)研究代表者

横井 佐代子 (YOKOI, Sayoko)

東京大学・地震研究所・特任研究員

研究者番号：70434842

(2)研究分担者

()

研究者番号：

(3)連携研究者

()

研究者番号：

(4)研究協力者

岡田 正実 (OKADA, Masami)