

(1) 実施機関名：

東京大学地震研究所

(2) 研究課題(または観測項目)名：

地震発生予測のための地震活動評価手法の基盤構築

(3) 最も関連の深い建議の項目：

1. 地震・火山現象予測のための観測研究の推進

(2) 地震・火山現象に関する予測システムの構築

(2-1) 地震発生予測システム

ウ．地震活動評価に基づく地震発生予測

(4) その他関連する建議の項目：

1. 地震・火山現象予測のための観測研究の推進

(2) 地震・火山現象に関する予測システムの構築

(2-1) 地震発生予測システム

ア．地殻活動予測シミュレーションとデータ同化

イ．地殻活動予測シミュレーションの高度化

(3) 地震・火山現象に関するデータベースの構築

ア．地震・火山現象の基礎データベース

イ．地震・火山現象に関する情報の統合化

2. 地震・火山現象解明のための観測研究の推進

(3) 地震発生先行・破壊過程と火山噴火過程

(3-1) 地震発生先行過程

ア．観測データによる先行現象の評価

(5) 本課題の 5 か年の到達目標：

地震発生に至る地殻の物理的素過程が明らかになったとしても、来るべき地震の時期、場所や大きさが決定論的に予測できるようになることは考えづらい。これは、地震を含む破壊現象には非線形的な要素が少なからず含まれていると考えられるからである。地震発生予測の進展のためには、統計モデルや物理モデルに基づく地震活動予測アルゴリズムを時空間的に高分解能かつ高精度化する必要がある。また、それらのアルゴリズムの妥当性を評価・検証する仕組みの構築も必然である。これらを効率的に実施していくためには、基盤構築が急務であり、そのための地震データの品質管理や地震活動予測アルゴリズムを備えたソフトウェアの有機的な結合を継続的に行っていく必要がある。本課題では上記を実現するため、地震活動予測に関するインフラ整備を実施するとともに、地震活動予測の実験を行って予測手法の妥当性を検証する。

(6) 本課題の 5 か年計画の概要：

平成 21 年度は、先行して同種の研究が実施されているアメリカ・ヨーロッパ等のプロジェクト CSEP (Collaboratory for the Study of Earthquake Predictability) と国際連携を図り、CSEP と同様のソフトウェアをインストールし、日本の地震活動に適した地震活動予測モデルの募集や予測対象領域を決定し、地震活動予測モデルの検証を開始する。また、地震活動を正当かつ客観的に評価するために、気象庁一元化震源に対するコンプリートネスマグニチュードの時間変化を解析し地震活動の予測実験に活用する。

平成 22 年度は、地震活動予測モデルを広く募集し、テストクラス(1 日, 3 ヶ月) に対するモデル比較を行う。

平成 23 年度は、テストクラス(1 年) に対するモデル比較を行う。

平成 24 年度は、日本の地震活動に適した地震活動予測モデルの高精度化に取り組む。

平成 25 年度は、テストクラス(3 年) に対するモデル比較を行うとともに、全体の成果を取りまとめる。

(7) 平成 22 年度成果の概要：

平成 22 年度においては、第 1 回地震発生予測検証実験の 3 か月予測結果 (予測期間：2009/11/1-2010/2/1) を地震研究所テストセンターの研究基盤を用いて得るとともに、各地震発生予測モデルの評価を実施した。さらに、11 月 1-2 日にかけて、京都大学防災研究所において、研究集会 ”地震活動の評価に基づく地震発生予測システム：標準予測モデルの構築へ向けて” を実施した。それらの成果の概要を以下に示す。

1. 第 1 回地震発生予測検証実験の 3 か月予測結果について

本地震発生予測検証実験の目的は、日本における地震活動を地震統計学の見地から予測するモデルを公募し、そのモデルの予測精度を競い合う比較研究を通して、地震活動評価に基づいた地震発生予測モデルを構築することである。さらに、その予測モデルの標準化のプロセスを通して、物理的モデルとの融合・統合を図ることにある。

この地震発生予測検証実験を遂行するために、地震研究所は、2006 年より T.H. Jordan 教授 (南カルフォルニア地震センター：SCEC) をリーダーとして推進されている地震発生予測とその結果を評価する世界的な研究プロジェクトである、 “ Collaboratory for the Study of Earthquake Predictability ” (CSEP : <http://www.cseptesting.org/>) と国際連携を図り、地震研究所内に、客観的かつ透明性のある地震発生予測実験を実行できる研究基盤 (テストセンター) を構築した。現在テストセンターのソフトウェアのバージョンは、10.10.0(2010 年 10 月リリース) を導入した。

本検証実験のルールは、原則的に CSEP のプロジェクトルールに従っており、予測領域と予測期間は、実験参加者の相互理解と議論により以下のように決定された。予測領域は (a) 海域を含む日本全体 (深さ 100km 以浅) (b) 陸域部だけの日本全体 (深さ 30km 以浅) (c) 関東深さ 100km 以浅) の 3 領域である (図 1)。この領域を経度 - 緯度 0.1 °毎の格子 (約 10km 四方) に区切り、予測期間内に発生するマグニチュード 4 以上の地震の数をマグニチュード 0.1 刻みで予測する。予測期間は、1 日、3 ヶ月、1 年、3 年の 4 クラスを設定した。ただし (c) 関東領域では格子間隔は 0.05 °とし、予測期間が 1 年と 3 年の検証実験ではマグニチュード 5 以上の地震を対象とする。地震カタログは気象庁による確定震源リスト (気象庁一元化震源) を用いた。ただし、厳密な評価を実施するため、震源が確定するまで (具体的には 6 カ月) は評価が実施されない。地震予測モデルの予測結果と観測結果との検定には、やはり CSEP で採用されている尤度に基づく N テスト、L テスト、R テスト、S テスト、M テストの 5 つのテストを用いた。N テストは、地震数の評価、S テストは、地震発生位置の評価、M テストは、地震発生規模頻度が GR 則に従っているかの評価であり、L テストは、N-、S-、M- テストの総合的な評価指標である。R テストは実際の地震発生に対するモデル間の優劣を評価する指標である。

第 1 回の予測検証実験においては、3 予測領域・4 予測期間の計 12 のクラスに合計 91 の地震予測モデルがエントリーした。図 2 に陸域部だけの日本全体・3 か月予測にエントリーされたモデルの発生予測マップを示し、表 1 にその検定結果を示す。9 つの予測モデルのうち、全てのモデル評価テストにパスしたのは 3 つの予測モデル (MARFS, MARFSTA, RI10K) であった。パスできなかった 6 つの予

測モデルのうちの3モデル (EEPAS, PPE, Triple-S-Japan) は、予測数が少な過ぎたり、多過ぎたりして不合格となり、残りの3モデル (RI30K, RI50K, RI100K) は予測した地震と実際に発生した地震の空間分布が合わずにパスできなかった。関東領域に対する結果は、すべての予測モデルが評価テストにパスできなかった。

第1回検証実験の検定結果から、予測モデルの確からしさを知るためには、この実験を何度も繰り返して検証することが必要であるとともに、評価手法に対する正確な理解も必要であることがわかった。さらに、さらなる予測モデルの提案の増加に対応するため、テストセンターの増強も継続して行うことが重要であることもわかった。

2. 研究集会 ”地震活動の評価に基づく地震発生予測システム：標準予測モデルの構築へ向けて“ の実施

11月1-2日にかけて、京都大学防災研究所において、国内外から地震発生予測検証実験に関わる研究者約30名が参加して、今後の地震発生予測研究で基準となるような、いわゆる“標準予測モデル”構築へ向けた議論を活発に行った。また、予測モデルの性能を評価するシステムの重要性を指摘する昨今の研究について理解を深め、理論・実験・観測・シミュレーション等との融合についても積極的な議論を行った。

(8) 平成22年度の成果に関連の深いもので、平成22年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

- K. Z. Nanjo, H. Tsuruoka, N. Hirata, and T. H. Jordan, Overview of the first earthquake forecast testing experiment in Japan, *Earth Planets Space*, 2011 (in press)
- K. Yamashina and K. Z. Nanjo, An improved relative intensity model for earthquake forecast in Japan, *Earth Planets Space*, 2011 (in press)
- Tsuruoka, H., N. Hirata, D. Schorlemmer, F. Euchner, K. Z. Nanjo, T. H. Jordan, CSEP Testing Center and the first results of the earthquake forecast testing experiment in Japan, submitted to *Earth Planets Space*
- K. Z. Nanjo, T. Ishibe, H. Tsuruoka, D. Schorlemmer, Y. Ishigaki, and N. Hirata, Analysis of completeness magnitude and seismic network coverage for Japan, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 100, 6, 3261-3268, 2010.
- Yokoi S., K. Z. Nanjo, H. Tsuruoka, N. Hirata, D. Schorlemmer, F. Euchner, CSEP-Japan: Report on prospective evaluation test of the 3-month testing class, 2010 SCEC Annual Meeting, Palm Springs (USA), 2010年9月11日 - 15日, 2010.
- Yokoi S., K. Z. Nanjo, H. Tsuruoka, N. Hirata, Application of an analytical testing method to improving the RI forecasting model, 日本地震学会2010年秋季大会, 広島市, 2010年10月27日 - 29日, 2010.
- Yokoi S., K. Z. Nanjo, H. Tsuruoka, N. Hirata, Application of an analytical testing method to improving the RI forecasting model, 2010 AGU Fall Meeting, San Francisco (USA), 2010年12月13日 - 17日, 2010.
- K. Z. Nanjo and N. Hirata, Collaboration among science, engineering, and social science: Earthquake risk mitigation in the Tokyo Metropolitan area, Southern California Earthquake Center 2010 Annual Meeting, Palm Spring, USA, 11-15 September, 1-039, 2010.
- K. Z. Nanjo, T. Ishibe, H. Tsuruoka, D. Schorlemmer, Y. Ishigaki and N. Hirata, Analysis of the completeness magnitude and seismic network coverage of Japan, Southern California Earthquake Center 2010 Annual Meeting, Palm Spring, USA, 11-15 September, 2-123, 2010.
- K. Z. Nanjo, H. Tsuruoka, S. Yokoi, D. Schorlemmer, N. Hirata, T. H. Jordan, The first earthquake forecast testing experiment in Japan: Scope and recent progress, China-Japan Joint Workshop on Inland Earthquakes: Toward understanding on occurrence mechanism of inland earthquakes, Earthquake Research Institute, University of Tokyo, Tokyo, Japan, 24-25 November, 50-51, 2010.
- H. Tsuruoka, K. Nanjo, N. Hirata, D. Schorlemmer, F. Euchner, CSEP-Japan: Testing earthquake forecasts based on seismicity data, Japan Geoscience Union Meeting 2010, Makuhari Messe, Chiba, Japan, 23-28 May, SSS022-03, 2010.

K. Nanjo, T. Ishibe, K. Yamashina, and H. Tsuruoka, A modified model for forecasting aftershocks , Japan Geoscience Union Meeting 2010, Makuhari Messe, Chiba, Japan, 23-28 May, SSS022-10 , 2010.
K. Nanjo, Earthquake forecast models based on the RI algorithm for Italy , Japan Geoscience Union Meeting 2010, Makuhari Messe, Chiba, Japan, 23-28 May, SSS022-P03, 2010.

(9) 平成 23 年度実施計画の概要 :

平成 23 年度は , テストクラス (1 日 , 3 か月) に加え , テストクラス (1 年) に対するモデル比較を行う . 効率的なテスト手法の開発や , 3 次元テスト領域などの検討も行う .

(10) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

東京大学地震研究所 鶴岡弘・平田直・佐竹健治・楠城一嘉・石辺岳男
他機関との共同研究の有無 : 無

(11) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 東京大学地震研究所
電話 : 03-5841-5691
e-mail : tsuru@eri.u-tokyo.ac.jp
URL :

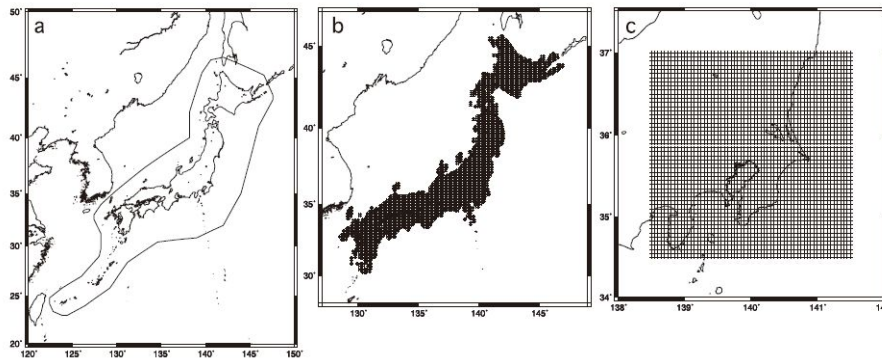


図 1 . テスト領域 .

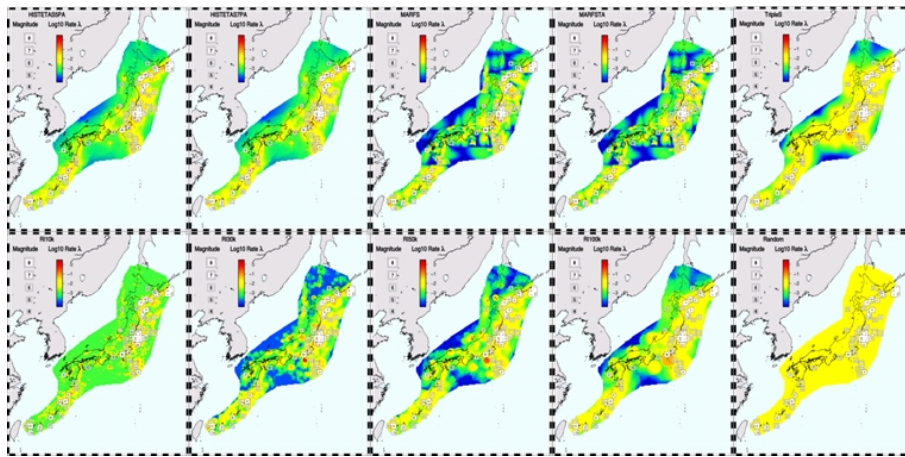


図 2 . 陸域部だけの日本全体・3 か月予測にエントリーされたモデルの発生予測マップ .

Mainland	Model	L-test	N-test		M-test	S-test	Forecast number	Forec / Obs in number
		γ	δ_1	δ_2	κ	ζ		
	EEPAS	0.000	0.000	1.000	0.914	0.684	3.27	0.22
	MARFS	0.361	0.271	0.810	0.809	0.235	12.45	0.83
	MARFSTA	0.374	0.297	0.787	0.825	0.236	12.73	0.85
	PPE	0.999	0.999	0.001	0.635	0.686	30.79	2.05
	RI10k	0.683	0.770	0.312	0.767	0.027	17.68	1.18
	RI30k	0.641	0.770	0.312	0.767	0.000	17.68	1.18
	RI50k	0.685	0.770	0.312	0.775	0.001	17.68	1.18
	RI100k	0.788	0.770	0.312	0.766	0.012	17.68	1.18
	Triple-S-Japan	0.999	0.999	0.003	0.967	0.149	29.45	1.96
	RANDOM	0.426	0.535	0.568	0.000	0.000	15.00	1.00

表 1 . 陸域部だけの日本全体・3 か月予測にエントリーされたモデルに対する検定結果 .