

(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 23 年度成果の概要：

平成 23 年度においては、1 日予測テストクラスを 92 ラウンド、3 ヶ月予測テストクラスを 7 ラウンド、1 年予測テストクラスに対して 3 ラウンドの検証結果を得るとともに、平成 22 年 7 月 12-13 日にかけて気象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：標準予測モデル構築へ向けて(2)」を開催した。

1. 地震発生予測検証実験結果について

以下、異なるテストクラスの検証実験結果から得られた地震活動予測モデルの性能およびテストアルゴリズムの評価について述べる。1 日予測テストクラスは 92 ラウンド (2009/11/1-2010/1/31) を実施した。実施期間中に、AllJapan では、62 ラウンド、Mainland では 9 ラウンド、Kanto では、7 ラウンドで地震が発生した。実験期間のほぼ中程で伊豆地方で群発地震が発生した。1 日予測テストクラスの結果において、地震が発生しなかったラウンドにおいては、すべてのモデルがテストをパスするということがわかった。このことはつまり地震が発生していない時には、モデル間の比較ができないことを意味する。また 1 日予想クラスは余震を考慮したモデルが強いと考えられるが、このテストクラスに投稿されたモデルは ETAS モデルあるいはその派生モデルであったが、地震の予測数についてはモデル間で差があることがわかった。ただしこの差の定量的な評価は地震が発生したラウンド数での評価を重ねる必要がある。

1 年予測テストクラスの各地震活動予測モデルの検証実験結果を図 1 - 2 に示す。実験期間は、2009 年 11 月 1 日から 2010 年 10 月 31 日まで、マグニチュード 5 以上の地震を予測している。テストからモデル間の比較ができなかった例として 1stround AllJapan を(図 1)、比較ができた例として 1stroundKanto の結果(図 2)を示す。1stround AllJapan の RI100K モデルは、CL, L, N, M, S test を全てパスしたが、R test はパスすることができなかった。一方、1stroundKanto においては、HISTPOISSON モデルと RI10K モデルは R test を含むすべてのテストをパスした。今回の実験においては、他のモデルより有意に優れた予測ができたことを意味する。期待値の低い場所で複数回地震が起き、空間予測の検証(S test)で棄却されたモデルが多くみられた。また、N test で棄却されたモデルは全て地震の発生回数を実際より多めに予測していた。

3 ヶ月予測テストクラスの 6 ラウンドと 1 年予測テストクラスの 3 ラウンドは、2011/3/11 に発生した東北地方太平洋沖地震を含んでおり、すべての地震活動予測モデルは、地震発生数を過小評価している。当然テストもほぼパスしていない結果が得られた。モデル間の比較は、このラウンドの前後で行う必要があると考えられる。

2. 共通評価基盤のソフトウェアアップデートおよび処理性能アップのためのシステム構築

本家の CSEP においては、評価基盤ソフトウェアは、3 ヶ月に一度バージョンアップがなされているが、日本の評価基盤ソフトウェアについては、平成 21 年度に評価基盤の構築がなされた後バージョンアップを実施していなかった。予測モデルを評価するテストの大幅なバージョンアップがあり、テストの実施に支障が出ることから 10.10.0 から 11.7.0 へバージョンアップをはかった。また、CSEP のス

タンダードなインフラストラクチャーは、4サーバから構築されるが、日本においては、投稿されたモデルの総数が91あること、テスト領域とテストクラスの組み合わせとして12の環境があり、テストに必要な計算機環境を一つのサーバで実施することが非常に困難になってきたため、新たに3サーバを購入し計算処理性能を大幅に向上させた。

3. 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：標準予測モデル構築へ向けて(2)」の実施

7月12-13日にかけて、気象研究所内において、国内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、標準予測モデル構築の実現に向けた議論を活発に行った。また、本研究集会に先立ち地震統計モデルETAS (Epidemic Type Aftershock Sequence)の生みの親である尾形良彦教授(統計数理研究所)によるETASの実践的講習会を開催し、余震の統計モデルとして世界標準となりつつある地震活動解析手法を実際的な観点から学んだ。

(8) 平成23年度の成果に関連の深いもので、平成23年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

Hirata, N., H. Tsuruoka, K. Nanjo, S. Yokoi, Overview of Japanese CSEP Testing Center and its Performance for the Earthquake Forecast Testing Experiment, International Union of Geodesy and Geophysics, Melbourne (Australia), 28 June ? 7 July, 2011.

Tsuruoka, H., K. Nanjo, S. Yokoi, N. Hirata., Japanese Testing Center of Collaboratory for the Study of Earthquake Predictability, International Union of Geodesy and Geophysics, Melbourne (Australia), 28 June ? 7 July, 2011.

Yokoi, S., H. Tsuruoka, K. Nanjo & N. Hirata., Report on prospective evaluation of the 3-month and 1-day CSEP-Japan earthquake forecasts, International Union of Geodesy and Geophysics, Melbourne (Australia), 28 June ? 7 July, 2011.

Hirata, N., CSEP Testing Centre and the first results of the earthquake forecast testing experiment in Japan, 7th International Workshop on Statistical Seismology, Santorini (Greece), 25 - 27 May, 2011.

Yokoi, S., H.Tsuruoka, N.Hirata, D. Schorlemmer, F.Eucher, M.Liukis, K.Z.Nanjo, T.H.Jordan Report on prospective evaluation of the 1-day, 3-month and 1-year classes earthquake forecasts in Japan STATSEI7 May 2011 Greece Santorini

Hirata, N., (1) Earthquake Prediction Research program and CSEP activity in Japan, (2) Special Project for Earthquake Disaster Mitigation in Tokyo Metropolitan Area, Seminar on East-Asia Earthquake Studies, Beijing (China), October 19-21, 2011.

Sayoko Yokoi, Hiroshi Tsuruoka, Kazuyoshi Nanjo, Naoshi Hirata, CSEP-Japan: The Japanese node of the collaboratory for the study of earthquake predictability, 2011 Fall Meeting, AGU, San Francisco (USA), 5-9 Dec., AGU, S34A-01, 2011.

(9) 平成24年度実施計画の概要：

テストクラス(1日, 3ヶ月, 1年)のモデル比較を引き続き実施し, 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。

(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・横井佐代子・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 :

(12) この研究課題 (または観測項目) の連絡担当者

氏名 : 鶴岡 弘

所属 : 東京大学地震研究所

1st round AllJapan 2009.11.1-2010.10.31

Model	LL	CL-test		L-test		N-test		M-test		S-test		Forecast number	Fore/Obs in number
		x	y	δ1	δ2	κ	ζ						
MARFS	-454	0.076	0.995	0.999	0.002	0.826	0.000	0.005	0.001	0.000	79.1	1.5	
MARFSTA	-455	0.060	0.994	0.999	0.002	0.839	0.002	0.002	0.002	0.002	77.6	1.5	
R10K	-457.3	0.109	0.833	0.901	0.124	0.585	0.012	0.585	0.012	0.012	62.6	1.2	
HISTPOISSON	-459.48	0.073	0.927	0.978	0.030	0.530	0.009	0.530	0.009	0.009	68.6	1.3	
DBM	-463.4	0.689	1.000	1.000	0.000	0.357	0.546	0.357	0.546	0.357	83.0	1.6	
R10K	-464.6	0.223	0.860	0.901	0.124	0.613	0.020	0.613	0.020	0.020	62.6	1.2	
R110K	-465.4	0.009	0.639	0.901	0.124	0.610	0.000	0.610	0.000	0.000	62.6	1.2	
HISTETAS7PA	-466.91	0.025	0.901	0.972	0.038	0.486	0.004	0.486	0.004	0.004	67.7	1.3	
R100K	-471.4	0.548	0.901	0.901	0.124	0.584	0.134	0.584	0.134	0.134	62.6	1.2	
TRIPLE-S	-476	0.994	1.000	1.000	0.000	0.888	0.169	0.888	0.169	0.169	92.4	1.7	
HISTETAS5PA	-477.79	0.003	0.840	0.972	0.382	0.472	0.000	0.472	0.000	0.000	67.7	1.3	
JALM	-490.7	0.345	1.000	1.000	0.000	0.951	0.002	0.951	0.002	0.002	129.2	2.4	

R-test	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1.MARFS	0.680	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005	0.001	0.000
2.MARFSTA	0.074	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.002	0.000
3.R10K	0.000	0.000	0.000	0.000	0.182	0.000	0.000	0.016	0.070	0.003	0.000	0.000
4.HISTPOISSON	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.050	0.003	0.014	0.458	0.000	0.000
5.DBM	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005	0.011	0.015	0.039	0.000	0.000
6.R10K	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.038	0.096	0.000	0.000	0.000
7.R110K	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000
8.HISTETAS7PA	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.983	0.000	0.000
9.R100K	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003	0.000	0.000
10.TRIPLE-S	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
11.HISTETAS5PA	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
12.JALM	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

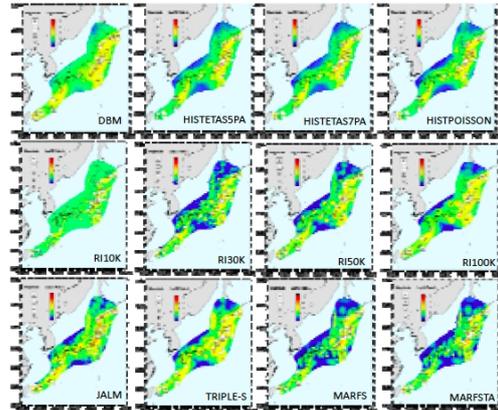


図 1 . 1st round AllJapan の空間予測図と実測値.

1st round Kanto 2009.11.1-2010.10.31

Model	LL	CL-test		L-test		N-test		M-test		S-test		Forecast number	Fore/Obs in number
		x	y	δ1	δ2	κ	ζ						
HISTPOISSON	-32.4	0.948	0.937	0.924	0.164	0.942	0.838	0.942	0.838	0.838	7.1	1.8	
R110K	-32.8	0.926	0.490	0.522	0.672	0.923	0.513	0.923	0.513	0.513	3.8	0.9	
R10K	-36	0.882	0.501	0.522	0.672	0.928	0.281	0.928	0.281	0.281	3.8	0.9	
R100K	-36.6	0.911	0.495	0.522	0.672	0.931	0.233	0.931	0.233	0.233	3.8	0.9	
R110K	-38.1	0.822	0.507	0.522	0.672	0.941	0.076	0.941	0.076	0.076	3.8	0.9	
HISTETAS7PA	-38.9	0.385	0.846	0.928	0.156	0.945	0.016	0.945	0.016	0.016	7.2	1.8	
HISTETAS5PA	-40.4	0.191	0.842	0.928	0.156	0.994	0.005	0.994	0.005	0.005	7.2	1.8	
TRIPLE-S	-41.9	0.971	1.000	1.000	0.000	0.931	0.694	0.931	0.694	0.694	19.1	4.8	

R-test	1	2	3	4	5	6	7	8
1.HISTPOISSON		0.182	0.581	0.640	0.658	0.998	0.997	0.730
2.R110K	0.052		0.793	0.749	0.818	0.869	0.916	0.325
3.R10K	0.001	0.000		0.632	0.794	0.623	0.875	0.061
4.R100K	0.003	0.005	0.111		0.890	0.400	0.774	0.043
5.R110K	0.001	0.000	0.011	0.021		0.131	0.346	0.006
6.HISTETAS7PA	0.000	0.000	0.013	0.022	0.071		0.985	0.038
7.HISTETAS5PA	0.000	0.000	0.000	0.001	0.017	0.001		0.018
8.TRIPLE-S	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.003	0.004	

【表の見方】

- 赤字は、有意水準 (0.025) 以下のスコアを示し、rejectを意味する
- 黄色いラインは、CL, L, N, M, S-testを全てパスした あるいは R-testで全てパスしたことを示す
- R-test表上段の番号は、表の左側の各モデルの番号を示す。例えば、Kantoで 1.HISTPOISSON 対8(青い四角)は 黒字である。 HISTPOISSONは8より優れている と読む。
- LLは対数尤度を示す

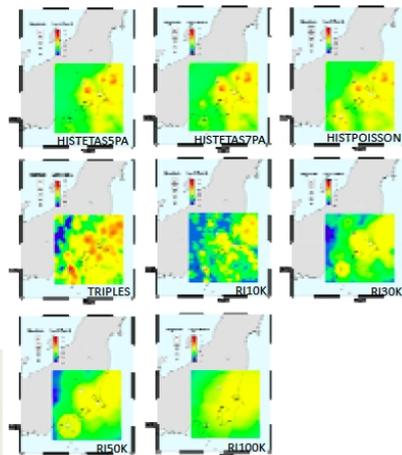


図 2 . 1st round Kanto の空間予測図と実測値 .