12－８　予測実験の試行 04
#04 Trial for experiments of earthquake forecasting

堀　高峰　（海洋研究開発機構 地震津波海域観測研究開発センター）
Takane Hori, R&D Center for Earthquake and Tsunami
Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

１．はじめに

平成 23 年(2011 年)東北地方太平洋沖地震の発生を受けて，地震予知連絡会は将来検討 WG を設置し，予知連の今後の活動の方向性について議論を行った．平成 25 年 11 月に取りまとめられた報告書では，「モニタリングとして何が重要かを検討し，また，今の予測能力の実力を把握・提示するために，今後，予測実験の試行を行うことが有効であると考えられる．」ということを提言している．これを受けて，重点検討課題運営部会で議論がなされ，平成 27 年 8 月 21 日に開催された第 208 回地震予知連絡会で，重点検討課題として「予測実験の試行」を取り上げることとなった．これまで３回の「試行」は以下のような概要であった．（１）定式化された手法を過去のデータに適用して，現在までの状況を予測した事例が紹介された．具体的には，CSEP の地震活動予測，繰り返し地震の予測，前震活動による予測，および余効変動の予測が報告された．（２）前回発表時以降の地震発生や地殻変動について，実際の発生状況あるいは変動の進行がどの程度適合しているのかが紹介された．また，ある予測手法が「当たり前の予測」よりもどの程度優秀であるのかを示す拡張ブライアスコアの有用性についても解説された．（３）これまでのCSEP・繰り返し地震・前震活動に基づく地震の予測や東北地方太平洋沖地震の余効変動の予測が，その後一年間の実際のデータとどの程度適合していたのかを検討するとともに，直近に発生した大地震について，事前にどの程度の予測が可能であったのか検討した．今回は，地震活動や地殻変動のデータにもとづく地震の予測のうちで，次節のように，新たに取り組まれつつある手法を中心に扱った（詳細は本会報の各報告を参照されたい）．

２．研究紹介の概要

２−１．マグニチュードと時空間情報に基づく前震確率評価モデルの識別性能（野村）

地震群のマグニチュード差と時空間距離の情報から前震である確率を評価するモデルが提案され，2000年以前のデータから推定した評価式を2000年以降に適用すると，評価値とある程度整合する適中率を得たとの報告がなされた．予知率のマグニチュード依存性などが議論となった．

２−２．次の地震のマグニチュード予測と評価（尾形）

前震確率を例として, マグニチュード予測をCSEPのプロトコル扱えるようにすることが提案された. CSEPは様々な異常現象の前兆性を実際にチェックするために始めたプロジェクトでもあることから，今後は，警報型のアルゴリズムをはじめ，大地震の予測を評価するインフラを作るという観点で発展させていく方向性が提案された.

２−３．本震前に現れるG-R則からの逸脱と，その特徴に基づく地震予測モデルの提案（弘瀬）

GR則からの逸脱度合いを示すη値の変化を調べると，本震前はGR則から逸脱し，本震後に回復するパターンが見られる．そこでη値に閾値を設けて予測モデルをつくり，対象地震の規模に応じた余震域に対応する半径を用いると確率利得や予知率は高まるので，何も情報がないよりはましなモデルを提案できたとしていた.

２−４．b値にもとづく全地球規模の大地震発生予測のモデル（楠城）

全地球規模でＭ８以上の地震を対象として，ｂ値に基づいて予測が可能かどうかを検証するためにモデルづくりについて報告された. 今回は１年毎にb値にもとづいて警報を出すかどうかを判定するタイプの予測であり，有意な予測結果になる場合もあることが示された．今回は事後予測であったが，今後事前予測を試みたいとのこと.

２−５．Mw8.0以上の地震に先行した地震活動長期静穏化（勝俣）

全球規模でＭ８以上の20個の地震について調べたところ，その全てにおいて発生前に長期静穏化が見られ，静穏化と地震が１対１に対応していたケースも，20個中12個あったとの報告．この静穏化とη値変化との関係などが議論された.

２−６．経験則から期待される大地震発生の確率:相場のレビュー（中谷）

経験則から出すことのできる地震発生の確率の数字はどの程度のものかという相場感についてレビューが報告された．データは地震活動や電磁気現象，時間スケールも時間オーダーから年オーダーまで様々な現象が扱われた.

これらに加えて，以前の重点課題等で紹介されたことのある研究の中から，前震解析の予測成績（前田・他），北海道東部の有意な静穏化（松浦），東北地方太平洋沖地震後の潮汐相関（田中）の最近の状況を著者らに確認し，コンビーナから簡単に紹介した．具体的には，前震解析については，前回（2017年2月20日）の報告[1)]から加わったデータで行った前震解析の結果，適中は増えず，予知率や適中率が1-3%低下した（図１・２）．北海道東部の地震活動（図３）の相対的な静穏化は，根室半島沖の地域を含む北海道東部沖の千島海溝沿いで見られるもので[2)]，2009年から8年以上にわたり，地震発生率がそれ以前の1割以下に有意に低下した状態が続いている（図４）．また，大地震前に見られる潮汐相関[3)]については，東北地方太平洋沖地震後は，直後1,000日に震源域北部で相関が見られたものの，その後は周辺地域でも顕著な相関は見られていない．

３．議論とまとめ

従来の地震予知・予測の研究は，何らかの普段と異なる現象が大地震発生前に起こっていたかどうか（前兆現象の有無）を調べるということが中心であったが，今回の重点検討課題で取り上げたように，実際に予測に使ってみると，どの程度の予測能力があるのかを調べる研究，すなわち，予測実験の試行が進みつつある．

また，複数の現象について，多くの場合は独立に予測に使われることが多いが，お互いの関係やその物理的な意味を考えること，それを踏まえて複数の現象を合わせて確率を評価するとどうなるかといった検討を今後進める必要がある．

今回取り上げたような予測実験の試行を，重点検討課題としてだけではなく，普段のモニタリングに順次含めていくにはどういう条件が必要かを議論した．先行時間の長い（年オーダー以上の）現象，例えば，相対的静穏化やη値あるいはb値の変化などであれば，確率的な相場感を合わせて示すという条件のもとで，モニタリングに含めていくことができそうとの議論であった．少なくとも，今後，予測実験の試行の結果の中で，モニタリングに含められる現象かを検討することとなった．

参考文献

1)前田憲二・弘瀬冬樹（2017），群発的地震活動を前震活動と仮定して行う本震の発生予測手法：最近の活動事例による検証（3），予知連会報，98，465-469．

2)松浦律子（2014），根室沖を含む北海道東部沖広域で継続中の大きな相対的地震活動度の静穏化について，日本地震学会2014年度秋季大会講演予稿集，D21-03．

3)田中佐千子（2015），地震活動の潮汐相関にもとづく予測，予知連会報，94，424-425．

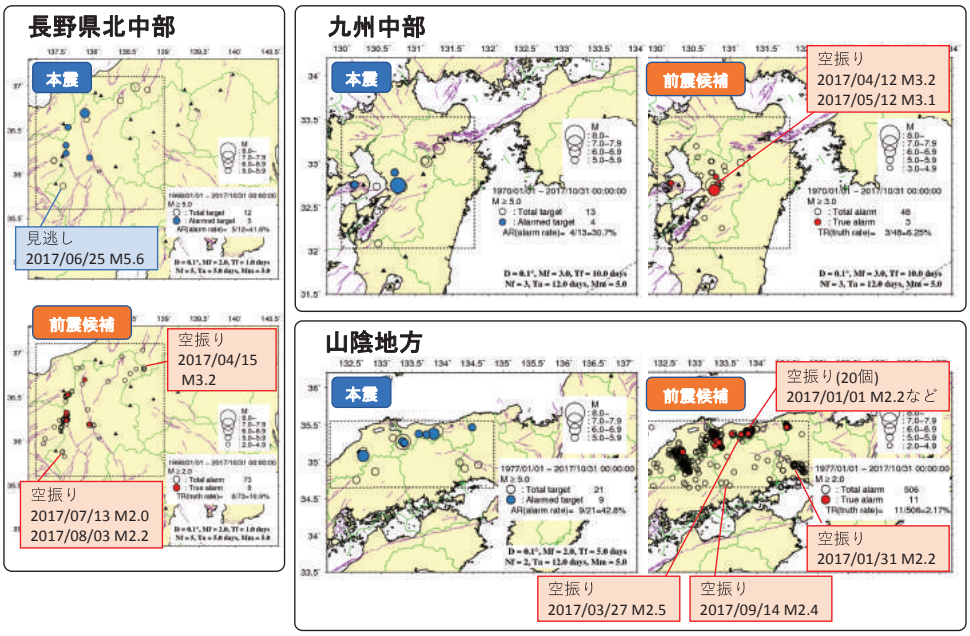
領域	期間	前震条件と本震M (D, Mf_0, Tf, Nf, Ta), Mm_0	予知率		適中率	
日本海溝３領域	1961年～*	0.5, 5.0, 10, 3, 4, 6.0	27%	(=13/48)	22%	(=17/77)
伊豆半島沖	1977年～*	0.2, 3.0, 3, 3, 5, 5.0	68%	(=44/65)	22%	(=44/197)
長野県北中部	1998年～*	0.1, 2.0, 1, 5, 5, 5.0	42% ↑ 45%†	(=5/12) ↑ 11†	11%	(=8/73) ↑ 70†
九州中部	1970年～*	0.1, 3.0, 10, 3, 12, 5.0	31%	(=4/13)	6% ↑ 7%†	(=3/48) ↑ 46†
山陰地方	1977年～*	0.1, 2.0, 5, 2, 12, 5.0	43%	(=9/21)	2%	(=11/506) ↑ 483††
		0.1, 3.0, 1, 2, 24, 5.0 （適中率≥5%を条件）	24%	(=5/21)	11%	(=4/37)
日本内陸 （参考値）	1998年～*	0.1, 2.0, 1, 5, 5, 5.0 （長野から援用）	9% ↑ 10%†	(=8/89) ↑ 84†	2%	(=10/507) ↑ 496†
	1977年～*	0.2, 3.0, 3, 3, 5, 5.0 （伊豆から援用）	12%	(=23/195) ↑ 190†	4% ↑ 5%†	(=30/669) ↑ 657†

* 2017年10月31日
† 2017年1月31日
†† 2016年12月31日

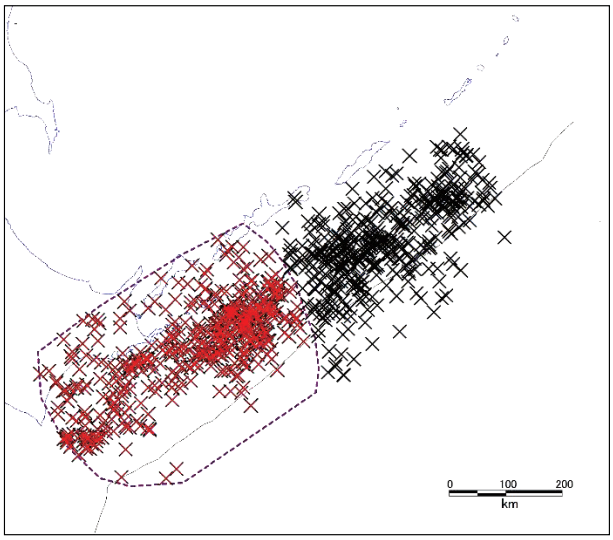
赤数字は，前回（2017年2月20日）報告時から値が変わったもの

・適中なし
・見逃し，空振りが増加

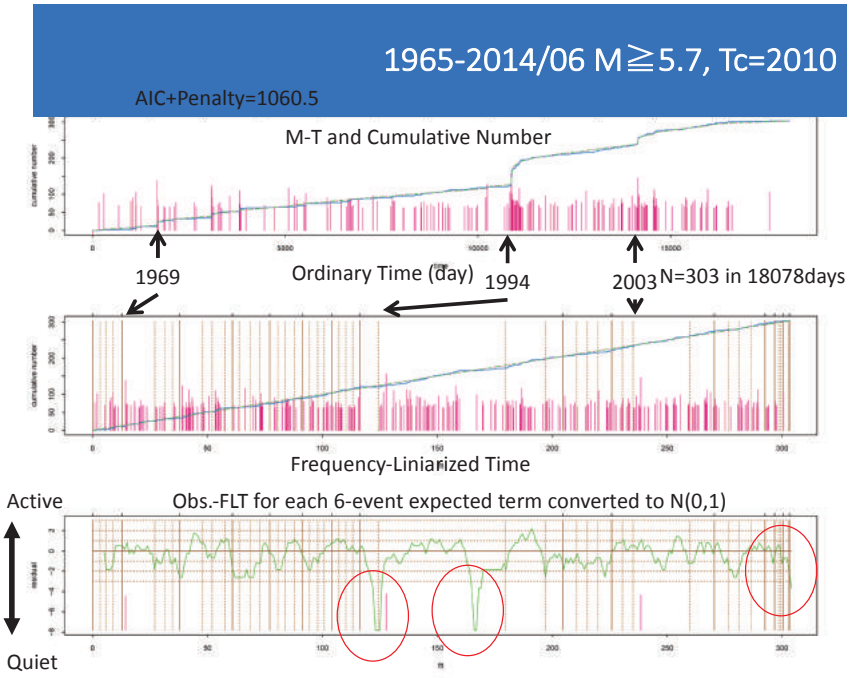
第 1 図　前震解析を行った地域の予測成績．（前田憲二，私信）
Fig. 1　Prediction score of foreshock analyses in each region. (Kenji Maeda, private communication, 2018)



第 2 図　前回報告時から値が変わった地域．（前田憲二，私信）
Fig. 2　Regions whose score has changed from the previous analyses. (Kenji Maeda, private communication, 2018)



第3図　解析に用いた地震の震央分布（検知能力の限界から黒印の地震は除いた．ただし，それらを加えても結論は変わらない）．（松浦律子，私信）
Fig. 3　Epicenter distribution used in the analyses. (Earthquakes shown in black closes are excluded because of the limitation of detectability although the conclusion does not change if we include them.) (Ritsuko Matsu'ura, private communication, 2018)



第4図　（上）M-T図ならびに積算個数．（中）ETASモデルを当てはめた結果から予測される積算個数が直線になるように変換した時間軸での表示．（下）ETASモデルからの予測と実際の積算個数との残差．（松浦律子，私信）

Fig. 4　(Top) M-T diagram and cumulative number. (Middle) Same as top but the horizontal axis is converted so that the cumulative number predicted from ETAS model becomes linear. (Bottom) Residual between the accumulated number predicted from ETAS model and the real accumulated number.　(Ritsuko Matsu'ura, private communication, 2018)