

## 12 - 5 第 233 回地震予知連絡会重点検討課題「予測実験の試行 08 - 試行から実施への移行」について」の概要

### Summary of “Trials of experimental forecasts of crustal deformation and seismicity #08: Moving towards the prospective tests

遠田晋次 (東北大学災害科学国際研究所)・堀 高峰 (海洋研究開発機構)  
Shinji Toda (International Research Institute of Disaster Science, Tohoku University),  
Takane Hori (Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology)

当重点検討課題は、「地殻活動・地震活動のモニタリングとして何が重要かを検討し、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」という平成 25 年度将来検討 WG からの提言を踏まえて始まった。その後、約 6 年間に 7 回にわたって実施され、延べ 40 人による発表が行われた。

過去 8 回のキーワード別の話題提供回数は、前震・群発地震 (8)、余震・ETAS (7)、検証・評価法 (7)、物理モデル・発生メカニズム (5)、東北沖余効変動・地殻変動 (4)、b 値変化 (3)、静穏化 (2)、震度予測 (2)、異常組み合わせ (2) である。話題提供数に表されるように、前震・群発地震、ETAS モデル、余効変動モデルなどについては、相応に確立された予測手法であり、後ろ向き予測 (retrospective forecast) だけではなく一部は今後半年～1 年間の予測 (prospective forecast) とその後の評価・検証が「試行」されてきた。同時に、物理モデルや新手法、既往モデルの課題や改善案などの提案もあり、最善のモデルを追求する前向きな議論も続けられてきた。

以上を踏まえ、令和 3 年 2 月に行われた運営検討部会では、「ある程度確立された手法は、「実験試行」からモニタリング同様に定期的な「実験実施」に移行してはどうか」という意見が出され、実用化へ一歩前進することになった。今回では、次回以降のルーチン化への移行を見定めることを主目的とし、各手法の現状評価と課題抽出、改良への提案等についても議論した。

#### 1) 地殻変動予測：東北沖地震の余効変動

国土地理院の宗包浩志氏からは東北地方太平洋沖地震の余効変動に関する後ろ向き予測 (retrospective forecast) に関しての報告があった。2015 年 1 月までは Tobita (2016) の手法で指数関数項と対数関数項、定常変動項の足し合わせで予測できていたが、2015 年 2 月～7 月に広域で何らかの事象が生じ、従来の設定では予測できないことが示された。しかしながら、2015 年 2 月移行は補正項を追加することでその後の地殻変動の予測精度の向上がみられるという。一方で、2021 年 3 月、5 月の宮城県沖の地震の影響によって、牡鹿半島周辺および福島・宮城県・山形県では予測から外れる現象も生じており、地域的事象によって残差が大きくなる。これらは 2021 年地震の余効変動であることが明確だが、予測トレンドからのズレも何らかの異常を検知できるという意味で重要と考えられる。

#### 2) 気象庁震度データベースを用いた地震予測と 2015-2021 年の予測の評価

滋賀県立大学の小泉尚嗣氏からは、2001 年以降の気象庁震度データベースを用いた都道府県別のプロスペクティブ予測とその評価についての紹介があった。2001 年～2010 年の都道府県別の震

度 4 以上の平均的な地震発生間隔を用いて 2020 年 1 月～9 月の発生状況を予測すると、結果的に適中率（確率 70% 以上で実際に揺れが記録された都道府県数 / 70% 以上の全都道府県数）が 100% となることが示された。予知率（70% 以上の予測で揺れが記録された都道府県数 / 実際に揺れが記録された全都道府県数）も 74% と高かった。地震活動期間を予測年の前 3 年間にした場合も同様にスコアは良い。特に地震が発生しないことを予測する「安心率」（確率 30% 以下）のスコアが高いことが重要で、巷の科学的根拠に基づかない予測では再現できないと思われる。きわめてシンプルな予測手法にも関わらず、通常地震活動を用いることにより、ある程度の地震発生予測が可能であることが再度強調された。一方で、予測期間を 3 ヶ月に短縮すると、スコアが低下する場合もありばらつきが大きくなることも紹介され、あくまでも平均的な地震発生の相場観からの予測であることが確認された。短期では地震発生の相場観が反映されないのかもしれない。

### 3) 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 (6) : これまでの取りまとめと今後の課題

気象研究所の前田憲二氏からは、前震活動に基づく本震発生予測について、過去 2 期間に遡っての予測能力評価に関して紹介があった。一定期間内に一定規模以上の地震が設定個数以上発生した場合（顕著な前震活動）、その後の予測期間内に本震（内陸は  $M \geq 5$ 、海溝は  $M \geq 6$ ）が発生する確率を過去の地震活動から最適化しアラームを鳴らすという手法である。日本列島で群発的地震活動が卓越する 7 地域を選定しているが、予測成績は対象領域や期間によって変化し、全体的に適中率 5 ~ 28%、予知率 22 ~ 68% となった。全体として予測成績はそれほど良いわけではないが、余震トリガー効果に基づく ETAS モデルよりも優れており、今後ルーチンのかつプロスペクティブに予測を続けるに十分と思われる。ただし、上記本震  $M$  のため実際にはアラームを出すには地震数が必要である。毎年の評価には地震活動が比較的活発な地域でも 1 年では短すぎるかもしれないが、プロスペクティブ予測を公表し続けることが重要で、上記 ETAS モデルとの比較のように他の予測手法との比較もモデルの改良や総合評価に役立つと考える。

### 4) 階層的時空間 ETAS モデルなどによる短期・中期の地震確率予測と検証評価

統計数理研究所の尾形良彦氏からは、ETAS モデルによる内陸地震の予測とその評価結果が示された。ETAS パラメータ決定に 1885 年～1923 年  $M \geq 6$ 、1923 年～2018 年  $M \geq 4$  地震を用い、2019 年～2021 年 9 月までの 2 年 9 ヶ月を予測するというものである。具体的には、常時地震活動度  $\mu$  と余震生産性強度  $K$  だけを地域変化させる HIST-ETAS- $\mu K$  と、それ以外の 3 つのパラメータも地域変化させる HIST-ETAS-5pa の 2 つのモデルを提案し予測を行っている。ポアソンモデルも比較のために検討した結果、対数尤度スコアで ETAS モデルがポアソンモデルを圧倒し、そのなかでも HIST-ETAS-5pa が一番優れていたことが示された。ただし、今後定期的な予測能力評価を実施するうえでは、上記前震活動予測と同様、地震数不足の問題を解決する必要がある。

### 5) 能登半島北部の地震活動と地震テクトニクス

金沢大学の平松良浩氏からは、地震活動、地殻変動に加え、古地震や地形・地質学、地球化学、重力異常などを考慮した総合的評価の観点から、現在進行中の能登半島北部珠洲市周辺の群発地震

活動について紹介があった。活発化は 2018 年 6 月頃から始まり、特に 2021 年以降に顕著になり、その活動は主として 4 領域に集中している。2021 年の地震活動とほぼ同時に非定常的な地殻変動も観測されている。今回の活動域の北方沖には、輪島沖セグメント、珠洲沖セグメントの活断層が分布し、歴史的にも近傍で M6～7 程度の地震も発生している。地殻変動を説明する茂木モデル(膨張源)を仮定するとこれらの活断層への  $\Delta$  CFF は増加となることから、これまでの近傍での大地震にも注意しなければならないと締めくくられた。

以上の報告を受け、45 分間の総合討論を行った。現状では、上記 1～4 に関して、今後 1 年間のプロスペクティブ予測と過去 1～数年間の評価を定期的実施していくことは可能であることを確認した。しかし、実施体制が必ずしも整っていない手法もあることもわかった。予測成績の評価に関しては、CSEP のように地震規模や予測期間、地域選定など予測対象やルールが明確に定まっておらず各手法に任せられている面がある。モデル改良や新たな手法の提案のためには多少の自由度が必要であるが、対象が異なることの結果として、相矛盾する予測になる場合も十分ありえる。予測実験におけるルールの明確化も今後の課題である。なお、今後の「予測実験の試行」の実施・報告については、来年 2 月の重点検討課題運営部会の方で検討をする予定である。

#### 参考文献

- 1) Tobita (2016), *Earth Planets Space*, **11**, 22-33. Combined logarithmic and exponential function model for fitting postseismic GNSS time series after 2011 Tohoku-Oki earthquake.