

## 12 - 1 第 187 回 地震予知連絡会 重点検討課題「地震活動について」概要 Summary of intensive discussion subject for “Seismic activity”

尾形良彦（統計数理研究所）

Yosihiko Ogata (The Institute of Statistical Mathematics)

### 1. はじめに

地震の震源やマグニチュードなどを記載した震源カタログは地球物理データの中でも収録が最も長い期間にわたり、不均質性はあるが検知能力の及ぶ限り地域を選ばず記録されている点で貴重である。特に一元化後の震源カタログは検知力および精度が格段に上がり、収録地震数も飛躍的に増えている。Hi-net によって全国の発生地震をほぼリアルタイムで把握でき、F-net などの発震機構を含むデータは地殻のストレス変化の議論に重要な役割を占めてきている。これらのデータソースから地震活動の詳細な研究が進むことが期待されている。しかし、震源要素をプロットしたり地震を数えたりするだけで地震活動を議論するのでは、通常地震活動のシミュレーションによる再現性も盡ならず、多くの微妙な異常現象について議論が難しく、主観性が大きく関与し、限られた典型的な異常しか認知できなかつた。

最近、大量のデータを前にして、標準的な地震活動を捉えるモデルの開発を促し、それらの性能を予測の観点から比較検証する国際的なプロジェクト、Collaboratory for the Study of Earthquake Predictability (CSEP)、が主要地震国で連携して進められている。同時にこれは、これまで提案されてきている、地震活動の様々な異常性による各種の地震予測法の有意性と確率利得を評価できるインフラ（共通基盤）を整備することでもある。わが国では、科学技術・学術審議会測地学分科会の建議や地震・火山噴火予知研究協議会の中でもこの課題を取り組むことが定められ、具体的に CSEP の日本版実験への参入が広く呼びかけられ実施されている。この取り組みについて、我が国の実情と特徴を中心に紹介し、議論を深めた。

他方、従来から報告されている地震活動の静穏化や活発化などの異常の研究について、標準的な地震活動と対比することなどの定量的な議論を試みた。そこで、異常性の物理的な考察やモデリング、それらの異常性を手掛かりとした大地震（大余震）の予測可能性と有意性の検証、それらの予測が確率利得の向上につながるかの検討、これらも CSEP 日本プロジェクトの将来的な課題となる可能性があり、これらについても議論した。

### 2. 議論の概要

地震活動の標準的予測モデルの提案を促し、それらの性能を検証する CSEP 研究プロジェクトの関連の研究の我が国に於ける取組みについて、CSEP 日本のテストセンター（地震研究所内）とモデル提案者などに紹介してもらい議論した。さらに、地震活動における静穏化や活発化などの種々の異常現象の検出法、前震の事前識別のための定量化や、それによる大地震予測の確率利得を向上させる方策について何件かを報告してもらい議論をした。

#### 2-1. 東京大学地震研究所「CSEP 日本の取組みについて」

日本における CSEP での第一回地震発生予測検証実験が 2009 年 11 月から開始され、これに応募した実験モデルの説明がなされた。実験領域は全日本、内陸および関東地域で、実験期間は日別、

3 か月及び1年である。中間報告として、各実験モデルによる第1回目の3か月予測の結果の性能評価の報告がなされた（平田直教授等の報告参照）

#### 2-2. 気象研究所「G-R 則および改良 G-R 則を用いた地震発生予測モデル－MGR モデル－」

内陸の深さ 30km 以浅における M5.0 以上の地震が1年間に発生する確率の推定に、マグニチュードの上限值を設定する MGR モデルを適用したところ、従来の G-R 則を用いる場合と比べて、地震発生率の過大評価を避けて適切に評価できることが報告された（弘瀬冬樹研究官等の報告参照）

#### 2-3. 統計数理研究所「位置に依存する $b$ 値と時空間 ETAS モデル」

主に日別予測のためにパラメタ値が地域ごとに違うような時空間 ETAS モデルやマグニチュード分布  $b$  値の推定法とそれらの結果の資料が提出された（2009 年 8 月予知連会報<sup>1)</sup>参照）。1 年予測や3か月予測には常時地震活動（background activity） $\mu$  値と  $b$  値の地域性を本質的に使う。

#### 2-4. 名古屋大学「実用的な地震予測：利用に向けた知見とガイドラインの状況；市民保護のための国際地震予測に関する検討委員会（概要）」

2009 年 5 月イタリア・ラクイラで行われた国際地震予測委員会による実用的な地震予測についての検討内容およびイタリア・市民保護部（DPC）への勧告に関する報告がなされた（山岡耕春教授の報告参照）

#### 2-5. 京都大学防災研究所・防災科学技術研究所「CSEP 日本版クーロンモデル」

CSEP 日本版へ最適化した応力伝播・地震活動時間発展モデルを 1980 年以降の地震に適用した結果が紹介された。応力蓄積速度が遅い列島内陸域では、現在の地震活動は過去の大地震による影響を引きずっていることが報告された（遠田晋次准教授と Bogdan Enescu 研究員の報告参照）

#### 2-6. 統計数理研究所「地震活動の短期中期予測と警報型地震予測の評価」

15 年前に提案された M4 以上の前震の事前識別による短期予測のその後の実施結果とその評価、および余震活動の相対的静穏化による中期予測の確率利得について説明がなされた。また、M8 などの警告型予測に対する評価手法として提案された Gambling score が紹介され、これによって、中国地震局などが試行している 13 年に渡る全中国の各地域の大地震の予測結果を評価した（尾形良彦教授および庄（Zhuang）助教等の報告参照）

#### 2-7. 北海道大学「2003 年十勝沖地震前の静穏化」

2003 年十勝沖地震前の地震活動静穏化に関して報告がなされた。ソフトウェア ZMAP の Z 値を用いた地震活動静穏化の統計的有意性を数値シミュレーションから評価した結果が報告された（勝俣啓准教授の報告参照）

#### 2-8. 防災科学技術研究所「地震活動特有パタンの再現と固有地震」

茨城県沖、十勝沖における地震活動の時空間変化を調べたところ、アスペリティ周辺の地震活動が固有地震の発生前に類似のパターンを示すことが、他の時期に比較して高い自己相関係数によって、示された。同様に、東海・東南海地域の最近の地震活動パターンが、1944 年の東南海地震

前の状態と類似していることが報告された（松村正三研究参事の報告参照）。

#### 2-9. 気象研究所「前震による確率予測」

前震活動を利用した本震の予測について報告がなされた。北日本の太平洋海域の地震を対象に検証した結果、茨城県沖や宮城県沖などの限られた領域に絞ると、M5以上の前震活動によるM6以上の本震の予測に有効である可能性が示された（前田憲二研究室長等の報告参照）。

#### 2-10. 気象庁「地震活動の予測的な評価手法の検討について」

群発地震の性質等から地震活動の推移について評価する手法が、地震調査委員会の特別小委員会で検討されていることが報告された。伊豆東部の群発地震活動が検討対象の1つになっており、この活動においては活動初期の段階で体積ひずみ計の変動によってマグマ貫入量を推定し、群発地震活動の規模や活動期間を予測可能であることが報告された（気象庁地震予知情報課の報告参照）。

#### 2-11. 東京大学「房総半島周辺の群発地震活動の統計分析と東京湾のゆっくりすべりの可能性検討」

地震活動にETASモデルの拡張版を適用して、スロースリップに伴う群発地震を検出する研究が紹介された。その結果、東京湾の群発地震はスロースリップを伴っている可能性があることが指摘された（奥谷翼さんと井出哲准教授の報告参照）。

#### 2-12. 産業技術総合研究所「注水誘発地震の統計的な特徴」

中国栄昌天然ガス田での注水実験による誘発群発地震の統計的な特徴が説明された。ある統計的な解析で比較的大きめの地震を予測できるということと、群発地震から推定したETASモデルの常時地震活動成分の変動率を注水に伴う間隙圧の変動量と解釈して、応力の状態を推定できる可能性が報告された（雷興林主任研究員の報告参照）。

### 3. まとめ

イタリア・ラクイラ地震に関わる告訴事件は地震予測の現状とあり方に少なからぬ課題を投じた。地震発生の仕組みの研究は着々と進み、地震予測につながりそうな研究が多様に進んでいる。しかし、有望な知見が出て、それらが確率予測につながる定量化やモデリングが伴わないと困る。地殻内部断層やストレス分布の複雑性や地域的な多様性によると思われる数多くの想定外(予測の失敗)やその可能性を考えれば、確率予測が現実的であり、市民にも受け入れ易いと考えられる。

本重点課題では、我が国におけるCSEP関連の取組や最近の地震活動研究について議論した。CSEPプロジェクトで世界の各地域に適合した標準的な地震活動モデルの改訂が進むであろう。それらとの比較で、警報型予測を含む、幅広い様々な地震予測の評価ができるであろう。それらは、予測尤度や情報量規準などの様々な統計量で客観的に測り比較することができる。

大地震を高い確率利得で予測し、予測の進歩を示す良い評価を得るためには、言うまでもなく、地震発生の仕組みや観測異常現象の包括的な研究が不可欠である。異常現象の大地震発生への切迫性や不確定性をみるためには数多くの研究例をこなさなければならない。地震発生過程の多様性に適応するためには地域限定のモデルも考慮していく必要がある。それらの知見をどの様に組み込んで、標準的な地震活動モデルの予測を超える確率予測を実現するのか、そのための地震活動の研究は煉瓦を積むように着実に進められなければならない。

因みに、アメリカ合衆国では、USGS, SCEC, CGS 合同で第3次全カリフォルニア地震予測<sup>2)</sup> (UCERF3; Uniform California Earthquake Rupture Forecast, Version 3) の検討が始まったが、CSEP の目的に沿ったものが反映されているように読める。

最後に、GPS やひずみ計傾斜計や地震メカニズムデータなどを使った地殻変動や応力場の変化と地震活動予測との関係の研究は極めて重要と考えているが、この場でまとまった報告を組織できなかった。これらが将来の重点課題となれば幸いである。

#### 文献

1. 統計数理研究所. 予知連会報, **83**, 5-8.
2. UCERF3, [http://www.wgcep.org/sites/wgcep.org/files/UCERF3\\_Project\\_Plan\\_v34.pdf](http://www.wgcep.org/sites/wgcep.org/files/UCERF3_Project_Plan_v34.pdf)