平成24年度年次報告

課題番号：1446

（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：

超巨大地震のグローバル長期評価手法の確立

（３）最も関連の深い建議の項目：

5. 超巨大地震に関する当面実施すべき観測研究の推進

（2） 超巨大地震とそれに起因する現象の予測のための観測研究

イ． 超巨大地震の長期評価手法

（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

ウ． 地震活動評価に基づく地震発生予測

（５）本課題の５か年の到達目標：

M9の超巨大地震である東北地方太平洋沖地震の再来周期が数百年かそれ以上であることが，これまでの研究により知られており，また，観測史上世界的にみてもM9クラスの地震は6例しかない．そのため，希な超巨大地震をもれなく調査することには限界があるため，その物理・化学的過程を完全に理解し，その知識で超巨大地震の予測可能性を議論するのは不十分である．このような場合，地震統計的観点からも検討して発生予測の精度を上げることに資する研究が必要である．従来のアプローチは，中・小地震の起こり方から外挿して，大地震の発生を予測することであり，大地震の発生様式（地震の規模別頻度分布）と中・小地震のそれとが相似であることが大前提となっている．しかし，相似性が成り立つことが必ずしも保証されているわけではない．

そこで本課題では，新視点のアプローチを導入する．それは，希にしか起きない現象を取り扱う極値理論の概念を活用することである．極値理論は，標本または確率過程の極値（最大値や最小値）の漸近挙動を問題にする．すでに大規模な洪水の発生確率や，ある地点における強風の年最大値の確率を評価して，対策を立てるために用いられている．そこで，この理論を用いてM9の東北地方太平洋沖地震をパイロットケースとして解析し，超巨大地震の発生確率を算出する方法を確立する．本課題では世界で起きた他のM9クラスの超巨大地震，及び，世界・日本で起きたM8+クラスの巨大地震を評価して，テクトニクス環境の異なる場所で発生する地震の長期評価が統一的に理解できるかを明らかにする．その課題を通して，本当の将来を長期予測するグローバル手法の高度化に貢献することを目指す．

（６）本課題の５か年計画の概要：

1. 平成24年度計画

極値理論で用いられる超過確率（exceedance probability: 変量がある値を超過する確率）が巨大地震の発生確率の算出に適用可能であるように定式化する．次に，東北地方太平洋沖地震を含む日本のM8+

クラスの地震及び，世界中で起きたM8+クラスの地震について，超過確率を算出する．結果を比較することから，テクトニクスの違う沈み込み帯やプレート内で起きる地震の長期予測が，統一的に理解できるかを解明する．

このような長期予測の妥当性を検証するためには，使用するデータの品質評価し，データの全部またはその一部を取捨選択して使用できるように整理する必要がある．例えば，グルーバルな地震データでは，Global CMT 解，USGS PDE カタログ，The database of finite-source rupture models などが考えられ，日本のリージョナルなデータでは，気象庁一元化震源カタログ，Hi-net 自動処理震源リスト，F-net 広帯域地震観測網データ，GPS 連続観測システム（GEONET），地震断層パラメータなどがある．また，超過確率に基づく予測結果を客観的に評価する手法を開発し，研究基盤も整える．

本課題を効果的に推進するためには，他国のテクトニクスやグローバル・リージョナルデータに関する情報収集及びデータ交換，更には研究成果の共有が必要である．そこで，国際共同研究や国際会議での講演などを通して，CSEP と GCSEP との連携を強化する．また成果の速報を国際学術誌でも公表していく．

2. 平成 25 年度計画

本年度は，前年度までに整備したソフトウエアやデータの品質管理を有機的に結合して研究環境を整える．そしてそれらを活用して，日本だけではなく全世界を研究対象とした長期評価のアルゴリズムが妥当であるかを客観的に検証する．この検証結果から，時空間的な分解能の向上かつアルゴリズムの高性能化に必要なヒントを得るだけではなく，実装面でのソフトウエアの改良の必要性が見えてくる．このことから，将来に起きる巨大地震のための長期評価の向上に資する手法を確立する．

前年度に引き続き，情報・データの収集や，研究成果の共有を目的として，CSEP と GCSEP との国際共同研究及び国際会議等で講演を行う．また，成果のまとめを国際学術誌で公表する．

3. 計画の妥当性

本課題の実施期間が２年であるので，効率良い研究の遂行が必要である．

（I） 参加者を２チームに分けて役割分担を明確にすることで，効率的に進めることができる．

・アルゴリズム構築チーム：アルゴリズムの開発とソフトウエアの整備を行う．さらに，必要に応じて地震データの品質管理を行う．

・予測実験運用チーム：地震データの品質管理やソフトウエアの有機的な結合を行い，長期評価と検証を可能にする．評価結果をもとに，総合報告をまとめる．

（II） その一方で，プロジェクト進行の停滞を防ぐために，定期的なミーティングを開催する．両チーム間で分業がなされるため，チームごとの成果は出やすいが，チーム間の連携を推進する目的でミーティングを開き，一つのシステムとしての長期評価手法の確立を目指す．

（III） また，最も関連の深い項目「1.(2)(2-2) ウ　地震活動予測に基づく地震発生予測」と連携して，既存の検証実験の枠組みを活用する．そのため，インフラ整備を一から始める必要がないので，検証に要する時間を短縮でき，妥当な時間配分で研究を遂行できる．

4. 成果の重要性

世界に類を見ないグローバルなスケールで，本当の将来を事前に予測する手法を確立できる点が重要である．今まで，全世界規模で M8+クラスの地震の長期予測を試みた研究グループはあるが，事後予測を行って成功したと主張する論文がほとんどである．GCSEP の先行研究に当たるカルフォルニア CSEP では，現在 M5 程度の中規模地震をグルーバル予測する手法の開発を進めている．対照的に本課題では，全世界規模での M8+クラスの巨大地震の長期評価を見据えたアルゴリズムを構築し，更に事前予測が継続して行える研究環境を整備する．また日本を含む様々な国で行っている巨大地震の長期評価と，本課題で得られる結果との違いが明らかになるので，評価手法の改良を検討するための基礎的結果を提供することが可能となる．本研究を世界に先駆けて進めることで，今後始まる国際プロジェクト GCSEP を主導的にけん引することが可能になる．

5. チャレンジ度

水文学や工学の分野及び，環境や金融の分野でリスク管理に応用・研究されてきた極値理論を超巨大地震の発生確率の算出に適用した例は，まだない．本課題の根底にあるアイデアは，小・中地震と大地震の予測方法は分けた方がいいのではないかということである．このアイデアは，現行の「小・中地震の発生様式の延長上に大地震の発生様式がある」とは違う．よって，新規性が高い．本課題で極値理論が大地震の発生予測に有望だということが明らかになれば，それは小・中地震と大地震の発生様式は異なることを示唆するものであり，今後の地震学に新しい視点を与える可能性を秘めている．現行の地震長期評価の課題は，限られた期間（または領域）で得られたデータを利用して，与えられた長期間（または広領域）でのデータの取り得る最大値を予測することである．従来の長期評価ように，得られたデータの最大値で長期間のそれを予測することに加えて，極値理論に基づいてデータの外挿を行うことが必要である．

（７）平成 24 年度成果の概要：

１．地震カタログデータベースの整備

超巨大地震のグローバル長期評価手法の確立のためには，地震カタログの整備とその性能評価が必須であるので，グローバルな地震カタログをデータベース化した．なるべく最新のデータを取り込み，長期間のデータセットとなるようにした．データベース化を行ったのは，GCMT，ISC，ISC-GEM カタログの 3 データベースである．これらのデータベースを時間，領域，マグニチュード等で簡単に検索・解析ができるソフトウエアを整備するとともに，カタログの性能評価を実施した．GCMT カタログのコンプリートネスマグニチュードは，5.4 であることを確認した．ISC，ISC-GEM カタログについては，1920 年，1960 年頃を境に大きくコンプリートネスマグニチュードの差異があることも確認した．

２．Relative Intensity モデルによる NW-Pacific テスト領域の地震発生予測検証実験

地震統計を基礎とする地震発生予測モデルの一つである Relative Intensity (RI) モデルを用いて，3.11 の東北地方太平洋沖地震を含む 2011 年の地震予測結果とそれ以前の予測結果の比較を行った．地震カタログとしては，学習および評価に GCMT カタログを使用した．地震の予測は，マグニチュード 6 以上，領域としては，経度 (109.75-169.75E)，緯度 (-0.25-60.25N) の範囲，空間 CELL の解像度は，0.5x0.5 で実施した．予測の評価には，CSEP の標準テストである N, S, L, CL-テストを実施した．2009 年および 2010 年の予測結果は，すべてのテストをパスしたが，2011 年の予測結果は，S と CL テストをパスしたが，N と L テストはパスしなかった．このテスト結果は，2011 年の予測においては，空間予測は悪くなかったが，地震発生数の予測がおよそ半分であり地震数の予測ができなかったことを示している．図１にその予測マップと実際に発生した地震の震央を示した． RI モデルにおいては，モデルパラメータは，学習期間，下限マグニチュード，b 値，平滑化半径の４パラメータである．そのうち平滑化半径を 50km から 1000km まで変化させ，その対数尤度の比較をおこなったところ，2009,2010,2011 年のすべての予測において，150km の平滑化半径がベストの値をとることがわかった．さらに，領域の空間 CELL の解像度を変えて，予測モデルの空間期待値マップがほぼ解像度によらないことも確認した（図２）．解像度を細かくすることにより極め細かい予測マップが構築できる一方，テストに時間がかかるというデメリットがあることも確認した．

（８）平成 24 年度の成果に関連の深いもので、平成 24 年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

K. Z. Nanjo, S. Sakai, A. Kato, H. Tsuruoka, and N. Hirata, Time-dependent earthquake probability calculations for southern Kanto after the 2011 M9.0 Tohoku earthquake, Geophys. J. Int., in press.

Nanjo, K. Z., H. Tsuruoka, S. Yokoi, Y. Ogata, G. Falcone, N. Hirata, Y. Ishigaki, T. H. Jordan, K. Kasahara, K. Obara, D. Schorlemmer, K. Shiomi, and J. Zhuang, Predictability study on the aftershock sequence following the 2011 Off the Pacific Coast of Tohoku, Japan, earthquake: First results, Geophys. J. Int., 191, 2, 653-658, 2012.

（９）平成 25 年度実施計画の概要：

平成 25 年度は，前年度までに整備したソフトウエアやデータの品質管理を有機的に結合して研究環境を整える．そしてそれらを活用して，日本だけでなく全世界を研究対象とした長期評価のアルゴリズムが妥当であるかを客観的に検証する．この検証結果から，時空間的な分解能の向上かつアルゴリズムの高性能化に必要なヒントを得るだけではなく，実装面でのソフトウエアの改良の必要性から，将来に起きる巨大地震のための長期評価の向上に資する手法の確立を試みる．

情報・データの収集や，研究成果の共有を目的として，CSEP と GCSEP との国際共同研究及び国際会議等で講演を行う．

（10）実施機関の参加者氏名または部署等名：

鶴岡　弘・平田　直・佐竹健治・石辺岳男・横井佐代子

他機関との共同研究の有無：有

遠田晋次（東北大），尾形良彦・岩田貴樹・庄　建倉（統数研）

（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：03-5841-5712

e-mail：yotikikaku@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

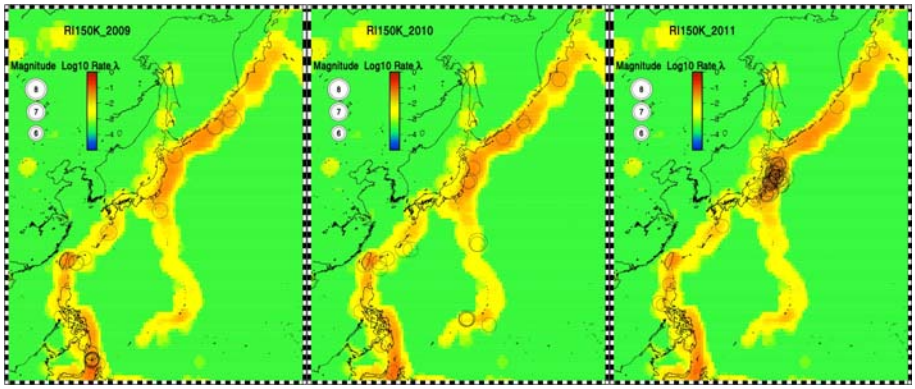

図１．

RI150K による 2009 年，2010 年，2011 年の予測結果．○は実際に発生した地震の震央である．

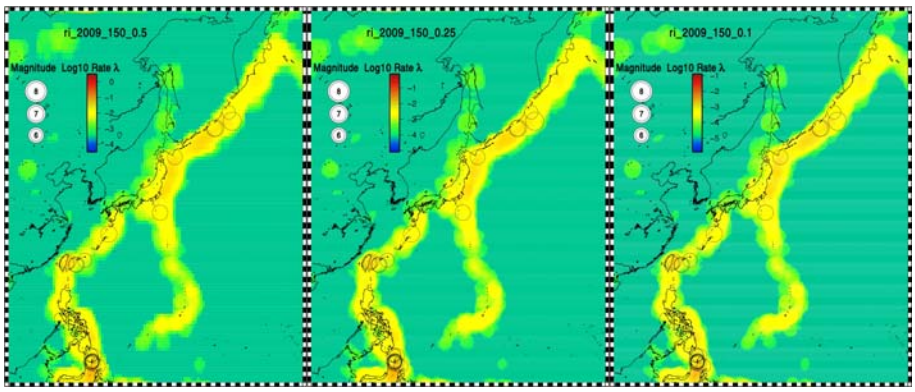

図２.
空間 CELL の解像度を変えた際の予測結果．左から，0.5 度，0.25 度，0.1 度，モデルは RI150K を採用した．