

(1) 実施機関名：

京都大学防災研究所

(2) 研究課題（または観測項目）名：

（和文）測地・地震観測データに基づく地殻内地震長期予測手法の高度化

（英文）Development of long-term forecast methods for crustal earthquakes using geodetic and seismicity data

(3) 関連の深い建議の項目：

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(1) 地震発生の新たな長期予測（重点研究）

イ. 内陸地震の長期予測

(4) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(3) 地震発生過程の解明とモデル化

(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

イ. 内陸地震

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(2) 地震発生確率の時間更新予測

ア. 地震発生の物理モデルに基づく予測と検証

イ. 観測データに基づく経験的な予測と検証

5 分野横断で取り組む地震・火山噴火に関する総合的研究

(4) 内陸で発生する被害地震

6 観測基盤と研究推進体制の整備

(1) 観測研究基盤の開発・整備

ア. 観測基盤の整備

イ. 観測・解析技術の開発

(5) 令和5年度までの関連する研究成果（または観測実績）の概要：

・GNSS観測に基づく長期予測について、西日本の地殻内地震を対象とした予測の試算を行い、7世紀以降の大地震やGNSS観測データよりも後の期間のM5以上の地震を用いて予測の有効性を実証した（Nishimura, 2022EPS）。また、北海道や東日本を対象とした試算も行われ、日本列島全域を対象とした地震発生確率の試算が行われている。

・地震活動データに基づく長期予測として、一定期間の地震活動を階層的時空間ETASモデルなどで表現して、それ以降あるいは以前の地震の発生分布の予測の統計的有効性を検証した。特に長期的な大地震の発生分布については、階層的時空間ETASモデルの常時地震活動の分布から予測したものが最も有効性が高いことを明らかにした（Ogata, 2022EPS）。これにより、日本列島の任意の場所において内陸大地震発生の定常確率が計算されている。

・大地震発生後の地震活動の予測に対しては、その地域の多数の地震メカニズム解の節面を用いてクーロン応力を計算し、速度状態依存摩擦則に基づく地震活動度変化の予測手法を改良した。米国ノースリッジ地震や東北地方太平洋沖地震などの実際の地震活動を非常に良く説明することが明らかとなり、また、周辺の断層帯などにおける地震発生確率の計算も行った（Toda and Stein, 2020BSSA, 2022NGEO）。このような手法の導入により、断層への载荷応力変化に応じた地震発生確率変化を定量的に評価することが可能となった。

・InSAR時系列解析手法では、長波長ノイズと変位時系列を分離し、基準点の仮定が不要な解析手法を開発した。これにより、有馬高槻断層帯周辺等での面的地殻変動分布を得ることに成功しており、ひずみ速度推定手法の高度化という目標は達成されている。また、観測点密度がひずみ速度推定に与える影響については、GNSSの観測点密度に応じて客観的な空間的平滑度でひずみ速度分布を計算する手法(Okazaki et al., 2021EPS)を採用することにより問題点が解決された。L-band SARに大きな影響をおよぼす電離層擾乱の影響を軽減する手法を開発し、跡津川断層・飛騨山脈北部の地震間速度場の検出に成功した。また予察的な解析からこれらの領域における3次元速度場および歪速度場も検出した。

(6) 本課題の5か年の到達目標：

現在、日本国内の地殻内地震の長期予測は主に活断層調査に基づく過去の地震発生履歴に基づいて行われているが、複数のデータや手法を統合した予測を行うことで、より高精度な地震長期予測モデルを構築できることが先行研究で示されている。このため、本研究では、地殻内地震の長期予測の高度化に寄与することを目指し、測地観測データ(GNSS及びInSAR)や地震活動データに基づく地殻内地震の長期予測手法について、日本列島における予測モデルの高度化を行う。活断層評価に基づく従来の長期予測を含む複数の予測モデルの結合方法を検討し、地震本部が提供する地震動予測地図の高度化に貢献することを目標とする。さらに、地震やスロースリップイベント等の地殻活動の時間変化を反映した中期予測について、複数の地域におけるシナリオを検討する。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

1. 測地データを用いた定常地震の予測の高度化

・時間変化しない(定常活動)地殻内地震の予測については、GNSSなどの測地データから計算されるひずみ速度を用いて地震発生確率を計算する手法の有効性を今期の観測研究計画で実証した。しかし、計算に用いるひずみ速度以外のパラメータにおいては、地域性が存在するものの、これらが十分に検討されていない。例えば、測地観測に基づくひずみのうち地震によって解放されるひずみの割合や、地震活動解析から推定されるマグニチュード分布などがそのパラメータとなる。これらの地域性を考慮に入れた予測の有効性を検討するとともに、項目4で実施する多様な測地データを用いたひずみ速度推定手法や地震発生確率計算手法の改良に継続的に取り組む。

・余効変動などの影響を含む長期間のGNSSデータを用いて変位速度を安定的に求める手法や観測されたひずみ速度からプレート間カップリングに伴う弾性変形や過去の大地震に伴う粘弾性緩和を補正する手法について標準的な計算手順を整備する。

・測地、地震活動及び活断層等の複数の手法に基づく長期予測結果を比較し、その解釈を試みる。また、複数の予測結果の結合方法について検討し、妥当性の検討を行う。

2. 地震活動データを用いた定常地震の予測の高度化

・地殻内地震のマグニチュード分布(グーテンベルグ・リヒター則のb値や最大マグニチュード)の地域性と時間変化を検討する。

・地震カタログにおける地震検出率の地域性と時間変化を検討する。

・リアルタイム震源データを取り入れてデータ同化・パラメータ最適化により予測精度の向上を図る。

3. 地殻活動の時間発展を考慮した地震予測の高度化

・多くの事例研究を通じた速度および状態依存型クーロンモデル(RSクーロンモデル)の改良。震源データの質・量ともに優れる2000年以降の日本列島の大地震と広義の余震活動の後ろ向き予測(retrospective forecast)を通じてパラメータの地域特性の解明を図る。

・GNSSデータに基づくひずみ速度(応力载荷レート)の時間変化を取り入れたRSクーロンモデルの改良。群発地震活動やスロー地震などともなう応力载荷レート-地震応答の関係をさぐり、上記地震時応力ステップモデルへの組み込みを行う。

4. 多様な測地データを用いた詳細ひずみ速度分布推定や活断層の活動性の検討

・地殻内地震の長期予測に用いられるひずみ速度分布の空間解像度は、現在国土地理院のGEONET観測点の密度である25km程度であるが、ひずみ集中帯や活断層の周辺ではより短波長の不均質なひずみ分布があることが想定される。これらの地域で独自のGNSS観測を行なって、ひずみ速度及び地震長期予測分布の空間解像度を向上させる。さらに、民間企業によって整備されたGNSS観測点網や研究機関による観測網のデータも可能な限り収集してGNSS観測点の速度を計算し、空間解像度の向上に努める。

・ALOS2やSentinel-1などの現行SARミッションのみならず、次期SAR衛星ミッション(ALOS4、NISARなど)を踏まえたInSAR時系列解析手法の向上を行なって、広域に面的な地殻変動速度分布を算出する。今期の計画において時系列解析や電離層および大気遅延ノイズ軽減の手法の個別要素の開発を行っていたが、次期の計画においては機械学習による新たなノイズ軽減手法を取り入れつつこれらを統合し、さらにGNSS変位データと融合させることで、広域で面的な3次元変位及び2次元ひずみ速度分布の高精度推定を行う。これと平行して、個別のノイズを原理的に軽減する手法を大規模化・高精度化する取り組みも行い、変位・歪の推定精度を高める。

・GNSSやSAR等の多様な測地データから得られた変位速度分布から、主要活断層帯の深部すべり速度、浅部固着率などの活動性を表すパラメータを推定し、地質学的や地震学的推定結果との比較とその解釈を行う。

各年度の実施計画は、令和6年度:各テーマにおける観測解析の実施及びデータの整理、令和7年度:、令和8年度:各テーマにおける観測解析の実施、令和9年度:各テーマにおける観測解析の実施、テーマ1-3間の予測の統合手法の検討、令和10年度:地震発生確率算出手法の標準化及び成果のとりまとめ。

(8) 実施機関の参加者氏名または部署等名:

西村卓也(京都大学防災研究所)

他機関との共同研究の有無:有

高橋浩晃(北海道大学大学院理学研究院),高田洋一郎(北海道大学大学院理学研究院),遠田晋次(東北大学国際災害研究所),福島洋(東北大学国際災害研究所),青木陽介(東京大学地震研究所),尾形良彦(統計数理研究所),伊藤武男(名古屋大学大学院環境学研究科)

(9) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等:京都大学防災研究所

電話:

e-mail:

URL:<https://www.dpri.kyoto-u.ac.jp/>

(10) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名:西村卓也

所属:京都大学防災研究所地震災害研究センター