

12 - 1 第 232 回地震予知連絡会重点検討課題「地震発生予測に向けた沈み込み帯での地震準備・発生過程の物理モデル」の概要

Physical models of preparation and generation processes of megathrust earthquakes in subduction zone aiming for their forecast

堀 高峰 (海洋研究開発機構)

Takane Hori (Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology)

1. はじめに

地震発生予測のためには準備段階からの全過程の理解が必要との考え方のもと、1990 年前後から「地震発生の物理」の中で物理モデルの研究が進められてきた。その間、2000 年代に入り、地震・地殻変動観測網の発達に伴って、沈み込み帯深部での低周波微動の発見に始まり、沈み込み帯における大地震前後の多様な振る舞いが明らかになってきた。こうした複雑・多様な現象を説明するために、様々な物理・化学過程やランダム過程を取り入れた多種多様なモデルが提案されている。このように、ゆっくり地震を含めて、地震発生の全過程の理解は確実に進んできたが、これらの理解を地震発生予測に活かすという、「地震発生の物理」の当初の観点での進展は十分とは言い難い。そこで、ゆっくり地震を含めた地震発生過程の複雑さ・多様性を踏まえて、予測に活かす観点で物理モデルを見直し、今後のモニタリングと地震発生予測に活かす道を探るための議論を行うこととした。論点は以下の通りである。

- ・地震発生の複雑さ・多様性を踏まえると、どのような地震発生予測が実現可能か？
- ・地震発生予測の観点では、どのような物理モデルが有効といえるか？
- ・物理モデルを地震発生予測に活かすために、今後、どのような研究が特に必要か？

2. 研究紹介と議論の概要

2 - 1. エネルギー収支を考慮した地震発生シナリオ構築の新手法

地震発生シナリオ構築の新手法 Energy-based method を提案した。本手法では低い計算コストで地震シナリオ（すべりモデル）を作成した上で、エネルギーバランスにより地震シナリオの実現性を評価する。エネルギーバランスの評価のため、新たなパラメータ Residual energy を導入した。正の Residual energy を示すシナリオは、地震発生の必要条件を満たしている。最初 Residual energy は負の値を示すが、時間の経過によりエネルギーが蓄積すると Residual energy が増加して正の値となり、地震が発生する必要条件が満たされるようになる。より現実的なシナリオ構築のためには、過去の地震履歴を考慮した応力蓄積モデルが必要となる。パラメータの不確定性により決定論的な議論は難しいが、地震発生ポテンシャルが時間の経過に従い高まっていく様子を可視化できた。今後、観測データに基づいたモデル更新により、地震シナリオの精度向上を図ることが重要である。

2 - 2. 南海トラフ周辺におけるスロースリップイベントと地震発生準備過程の数値モデリング：近年の観測研究を踏まえて

近年の観測研究の進展により明らかになった、南海トラフの様々な場所での長期的スロースリップイベント（SSE）の発生を、3次元のプレート形状を導入した数値シミュレーションで再現した。長期的 SSE の地域的な特徴について、東海、豊後水道、日向灘地域でみられるようなある程度

周期的に発生する長期的 SSE と、四国中部、紀伊水道、紀伊半島北部地域でみられる不定期で間隔の長い長期的 SSE を、摩擦パラメータの分布を仮定することで、ある程度説明できることを示した。モデリング結果から、後者の長期的 SSE については、そのすべり域が地震発生準備過程の後半になるにつれて浅くなる可能性が示唆された。

2-3. SSE 後の沈み込み帯地震の発生確率に対する単純な物理モデルでの評価：ヒ克蘭ギ巨大地震への適用

2016 年 11 月 14 日に Mw7.8 Kaikoura 地震がニュージーランドで発生した。その後、余効すべりだけでなく、固着域の周辺で SSE も発生したため、政府から巨大地震発生可能性を定量的に評価することが GNS サイエンスに求められた。様々な統計モデルに加えて、地震や SSE 等による応力変化を考慮した物理モデルでの確率評価が実施された。地震時の応力降下量と地震の再来間隔が、仮定した確率分布に従うように長期間の地震発生カタログをシミュレーションで生成した。それに対して、今回の地震・余効すべり・SSE による応力変化を様々なタイミングで与えた場合に、地震が誘発される確率を算出した。尤もらしい 1 つの結果よりも、これは「無い」という範囲から上限・下限を示すことが、政策判断への活用には重要ということで、応力降下量等の範囲に応じたばらつきも考慮した。結果として、統計モデルのばらつきの範囲内に物理モデルのばらつきも収まった。

3. 議論とまとめ

地震発生の複雑さ・多様性を踏まえると、どのような地震発生予測が実現可能か？という点については、地震発生のシナリオの想定や長期評価の高精度化としての発生時期の予測を確率分布化することの重要性が指摘された。また、固着・すべりの変化や SSE の繰り返し過程の再現・予測も対象となりうることや、シンプルな地震発生モデルで周辺現象の影響を評価する可能性も示された。

物理モデルを地震発生予測に活かすために、今後、どのような研究が特に必要か？という点では、応力蓄積過程モデルと摩擦モデル（地震・SSE を含む）等の高度化の必要性が指摘された。そこでは、初期応力や構造不均質の導入も重要となる。また、海域に広げたり、過去に遡ったりするなど、観測データの充実も必要となる。さらに、確率を用いた定量化をすることが、予測のためにも、その結果を他分野も含めて活用するためにも必要となる。

地震発生予測の観点では、どのような物理モデルが有効といえるか？という点では、複数モデルで並行して比較検討することの重要性が指摘された。その意味で、今回紹介されたもの以外でどのようなモデルがあるか？という問いについては、長期間・大規模シミュレーション結果を学習したサロゲートモデルなど、物理シミュレーションと AI・機械学習等のデータサイエンスの融合も重要であるとの指摘があった。