

12-10 第186回地震予知連絡会重点検討課題「プレート境界の固着とすべりのシミュレーションーモニタリングによって何が検知されると期待されるのか？」概要 Summary of the intensive discussion subject for "Numerical simulations for the stick-slip on the plate boundaries - What phenomena are expected to be detected by the monitoring?"

松澤 暢 (東北大学大学院理学研究科)

Toru Matsuzawa (Graduate School of Science, Tohoku University)

1. はじめに

現在の「アスペリティ・モデル」では、プレート境界は地震性すべりが卓越する領域（アスペリティ）と非地震性すべりが卓越する領域（準静的すべり域）の二つに大別される。しかし実際のすべりの挙動はもっと複雑であり、この両者の中間の現象としてスローイベントも生じる。最近の速度・状態依存摩擦構成則に基づく数値シミュレーションでは、これらのプレート境界型地震やスロースリップイベント（SSE）が良く再現されるようになってきている。さらに、周囲の状況や過去の履歴によって、同じ場所がときには地震としてすべり、ときにはSSEとしてすべる場合もあることがわかってきている。

これらのプレート境界における多様なすべり状況をシミュレートして、実際の状況と比較することにより、摩擦パラメータや間隙水圧の情報が得られ、より実際の状況に近いシミュレーションができるようになると期待される。このようなデータ同化に基づく地震発生予測のためのシミュレーションを実施することが現在の地震予知研究の重要な柱となっているが、そのためには比較すべきデータが重要であり、その意味でモニタリングの果たす役割は極めて大きい。

しかしながら、そもそもどのような現象がどのくらいの大きさで生じるのかを知らなければ、モニタリングのための観測の設計は困難であるため、まずは第ゼロ近似のモデルでスタートして、生じることが期待される現象のおおよその特徴を把握することが重要である。さらに、大地震発生の前に特殊な現象が生じることが数値シミュレーションから予言されれば、そのために最適な観測・データ解析手法開発を行うことにより、短期予知にむけたモニタリングの高度化につながれると期待される。

このような観点から、今回の重点検討課題は「プレート境界の固着とすべりのシミュレーションーモニタリングによって何が検知されると期待されるのか？」と題して、様々な検討が行われた。

2. 議論の概要

今回は、まず、プレート境界に関するシミュレーションについて、気鋭の若手研究者4名の方に発表していただき、どのような仮定のもとにシミュレーションを行うと、どのような現象が生起するのかを解説していただいた。その後、各機関でのモニタリングの現状について説明していただいた。その概要は以下のとおりである。

2-1. アスペリティの階層構造と破壊の連動性

海洋研究開発機構の堀高峰氏より、釜石沖の繰り返し地震を例として、内部構造を持ったアスペリティによって生じる地震の発生間隔や規模の変化とすべり様式の多様性について解説をしていた

だいた。釜石沖の繰り返し地震では、5年半程度の再来間隔で M4.9 程度の地震が繰り返し発生しているが、その地震間には一回り小さな地震が本震の震源域の内部で生じている。これを説明するために、a-b が負の領域の中に特徴的すべり量が桁違いに変化する不均質性があるモデルを仮定してシミュレーションを行った結果、小さな地震と大きな地震が共存する系が再現できた。実際の大地震においても、普段より一回り大きな大地震が生じる場合があるため、このようなアスペリティの階層構造はもっと大きな規模でも成立している可能性がある。

2-2. 東海の割れ残りとスローイベントとの関係

気象研究所の弘瀬冬樹氏に、南海トラフ沿いの地震と東海スローイベントのシミュレーションの解説をしていただいた。プレートの3次元的形状を再現したモデルで数値シミュレーションを行うと、紀伊半島の先で常に破壊が開始するが、東海地域がすべる地震とすべらない地震が交互に生じるモデルが作り出された。このモデルでは、東海スローイベントは、東海地域がすべり残ったイベントの後にだけ顕著に見られるため、前回の1944年の地震で東海地域がすべり残ったことが、東海スローイベントが生じた要因となっていると考えられる。また、最終破壊の1月くらい前から破壊開始点付近でプレスリップが生じ、それは現在のGPSでも検知可能かもしれない。

2-3. 南海トラフ沿いの巨大地震発生前のスローイベントの挙動の変化

防災科学技術研究所の松澤孝紀氏に、大地震発生サイクル中の長期的・短期的SSEの挙動の変化について解説をしていただいた。カットオフ速度を含むすべり速度・状態依存摩擦構成則を仮定して、南海トラフ沿いの巨大地震と長期的・短期的SSEを想定したシミュレーションを行ったところ、巨大地震の発生前に固着の剥がれが深部から進行していくに伴い、長期的・短期的SSEのどちらも発生間隔が短くなっていく傾向が見られた。

2-4. 様々なイベント間の相互作用と大地震前後の周囲の活動変化

海洋研究開発機構の有吉慶介氏に、繰り返し地震やスローイベント、余効滑り等の間の相互作用と、大地震前後の周囲の活動の変化について解説をしていただいた。小繰り返し地震は小さな速度弱化域における繰り返し地震性すべりとして表現できるが、大きな余効滑りが押し寄せた場合には、いつもと違う滑り過程となって波形の相似性が落ちたり、地震ではなくてスローイベントが生じる場合がありうる。一方、プレート境界浅部の小さな速度弱化域では、普段はスローイベントが繰り返し生じていて、大きな余効滑りが近傍で生じた時だけ地震性すべりを起こしやすい。さらに、多数の小さな速度弱化域が連鎖破壊することにより、短期的SSEと超低周波地震のサイクルと移動現象を再現できた。大地震の発生前になるとこの移動速度が速くなり、かつ再来間隔が短くなることが示された。

2-5. 気象庁

歪計による短期的スロースリップイベントの検知能力について、気象庁から説明をしていただいた。S/Nを考えると、約5 nstrain程度が各観測点での検出限界であり、かつ、降水による影響が無い期間に、低周波地震の発生があって、複数観測点で同期的変化があった場合にのみ、変化があったと判定される。Mw5前半程度が検知限界と考えられる。

2-6. 国土地理院

GPSによるスローイベントの検知能力について、国土地理院から説明をいただいた。検出できる閾値としては5mm程度と考えられ、少なくとも3点は検知できなければスローイベントがあったと判定することは困難であることを考慮すると、西南日本でおおむねMw6.0以上、東北日本でおおよそMw6.5以上のスローイベントでなければ検出は難しいことがわかった。

2-7. 防災科学技術研究所

短期的スローイベントと微動の準リアルタイムでの検知能力について、防災科学技術研究所から説明をいただいた。傾斜計による短期的スローイベントの検知能力はおおむねMw5.5程度であり、またその検知の自動化も進められている。深部低周波微動の検知の自動化については、微動エンベロープの相対時間差に加えて振幅の空間分布を考慮したハイブリッド法と、その平均化処理に基づくクラスタリング処理により検知の信頼度と精度の向上がなされた。深部超低周波地震についても検知の自動化が進められ、Mw3.3～3.7のイベントが捉えられている。

3. まとめ

異なる摩擦構成則を用いて、南海トラフ沿いの大地震とSSEとに関するシミュレーションを行ったところ、両者に共通の性質として、大地震の発生前にSSEの発生間隔が短くなることがわかった。また、SSEのすべり速度や移動速度も本震の前には大きくなっていく。これらはいずれも、大地震のアスペリティ深部から少しずつ固着の剥がれが生じていることが原因となっていると考えられる。固着の剥がれ自身を捉えることは難しいかもしれないが、それに伴うSSEや低周波微動・超低周波地震の発生間隔や移動速度のモニタリングは可能であり、このような変化が実際に生じれば、中長期的な地震予知に極めて有効と考えられる。東南海・南海の連動型巨大地震の場合には、紀伊半島付近を慎重にモニターしていれば、GPSデータからでも1月くらい前からプレスリップを検知できる可能性がある。一方、東北日本については、同じ規模のプレスリップが生じたとしても現状では検知は困難である。また、西南日本に見られる短期的SSEや深部低周波微動も東北日本では見つかっていないため、固着の剥がれを検知するためには、海底地殻変動観測により浅部の固着の剥がれをモニターしたり、小繰り返し地震の観測でプレート境界のすべり速度をモニターすることが重要と考えられる。

一方、釜石沖の繰り返し地震のシミュレーションに見られるように、最近発生している地震よりも一回り大きな地震が生じる可能性があるということに注意が必要である。特に、普段はスローイベントや余効すべりしか起こさないように見える場所が、時には一回り大きな地震の破壊域となってしまう可能性があるため、このような場所でのすべり欠損のモニタリングとプレート境界面の摩擦パラメータの推定は極めて重要である。