

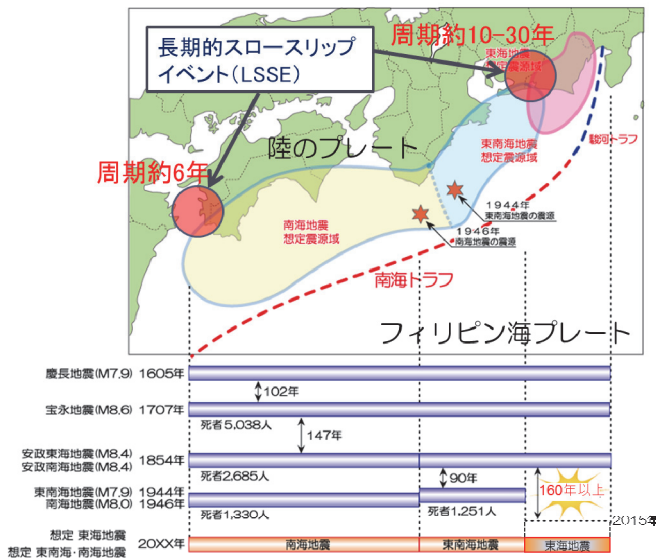
南海トラフ沿い巨大地震は予知できるか？

—地震発生シミュレーションからの知見—

弘瀬 冬樹（地震津波研究部）

1. はじめに

南海トラフでは、陸のプレートの下にフィリピン海プレートが沈み込んでいる。このプレート運動によって、巨大地震がおおよそ90～150年間隔で過去幾度となく発生しており（第1図）、今世紀中にもその再来が懸念されている¹⁾。特に東海地域では、前回の1854年安政東海・南海地震から160年以上が経過し（第1図）、1944年の東南海地震ですべり残った領域は、いわゆる想定東海地震として、いつ地震が発生しても不思議ではないという指摘もある。



第1図：南海トラフ沿い巨大地震の発生履歴。

プレート境界型地震の挙動は、しばしばバネ・ブロックモデルに例えられる。バネとブロックを繋いだものを机の上に置き、バネの端を引っ張ってみる。最初のうちはブロックと机の間に生じる摩擦によってブロックは動かないが、バネが十分伸びたある瞬間にブロックは急速にすべる。この時の高速すべりが地震に対応する。地震発生シミュレーションは、バネとブロックを無数に繋いだ場合のブロックの振る舞いをプレート境界面でのすべりの様子で見做して数値的に解く手法である。

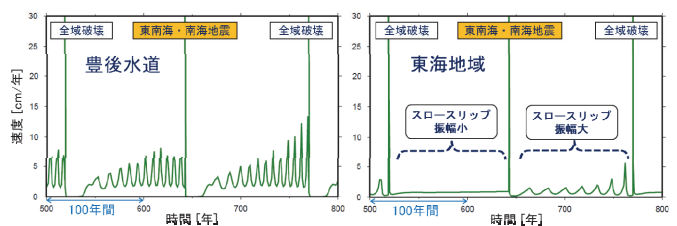
南海トラフ沿い巨大地震を予測するためには、過去の巨大地震の発生パターンは勿論のこと、地震の発生に影響を与える可能性がある擾乱—例えば、プレート境界における数年にわたるゆっくりとしたすべり（長期的スロースリップイベント：LSSE、第1図）—をも再現するシミュレーションモデルの構築

が不可欠である。また、短期予測の観点では、前兆すべり（地震直前のすべり）の観測体制の整備とモデル化が重要である。そこで、南海トラフ沿い巨大地震の予測の可能性について、気象研究所で開発した地震発生シミュレーションの結果から明らかになった事柄を紹介する。

2. 南海トラフ沿い巨大地震とLSSE

本研究では、宝永地震タイプのように全域が破壊するパターン、昭和地震タイプのように東海地域が割れ残るパターン、そして地震間に繰り返し発生するLSSEを再現するモデルを構築した。その際、①過去の大地震の平均繰り返し間隔が約110年であること、②沈み込むフィリピン海プレートの形状が3次元的に複雑な形状をしていること²⁾、③東海地域に沈み込んだ海嶺が存在すること、④浜名湖の北側や豊後水道の下部のプレート境界付近に流体の存在が示唆されていること²⁾、⑤陸に対するフィリピン海プレートの沈み込み速度が東で小さく（1.5 cm/年）西で大きい（6.5 cm/年）こと、などを考慮して各種条件を設定した^{3, 4)}。

その結果、紀伊半島沖を破壊開始点として全域が破壊するパターンと東海地域が割れ残るパターンが約120年間隔で交互に発生するモデルを作成することができた（第2図）^{3, 4)}。さらに地震間には、東海地域で約15-18年、豊後水道で約6-10年の周期を持つLSSEの発生も再現した（第2図）^{3, 4)}。シミュレーションではLSSEの周期は時間とともに短くなり、規模は大きくなる傾向を示した（第2図）^{3, 4)}。東海LSSEについては、東海地域が割れ残った後にその振幅が大きくなる傾向を示している（第2図）。このことは、近年発生している大規模なLSSEについて、1944年の東南海地震で東海地域が割れ残ったことと関連があることを示唆している。



第2図：プレート間すべり速度の時間変化^{3, 4)}。

（左）豊後水道、（右）東海地域。

与える条件によっては、豊後水道のLSSEが加速し、そのまま南海トラフ沿い巨大地震が発生するパターンも現れた³⁾。このとき、紀伊半島沖から破壊が開始する場合と豊後水道からの場合で、地震前のLSSEの様子に大きな差は見られない。このことは、LSSEの変化から、地震が紀伊半島沖と豊後水道のどちらから起きるかの予測ができないことを示している。

ところで、本シミュレーションでは東海地震は単独で発生せず、東南海地震と連動して発生するのみである。東海地域のフィリピン海プレートの沈み込み速度が小さいため、東海地域を単独で壊す地震(東海地震)は本来発生しづらい。今後研究が進み、新たな物理モデルの導入や想定する各種条件の設定の変更により、発生パターンが変わる可能性があるが、東海地震が東南海地震と連動することや巨大地震の破壊開始点が紀伊半島沖以外となる可能性も防災上視野に入れていく必要がある。

3. 前兆すべりの検知の可能性

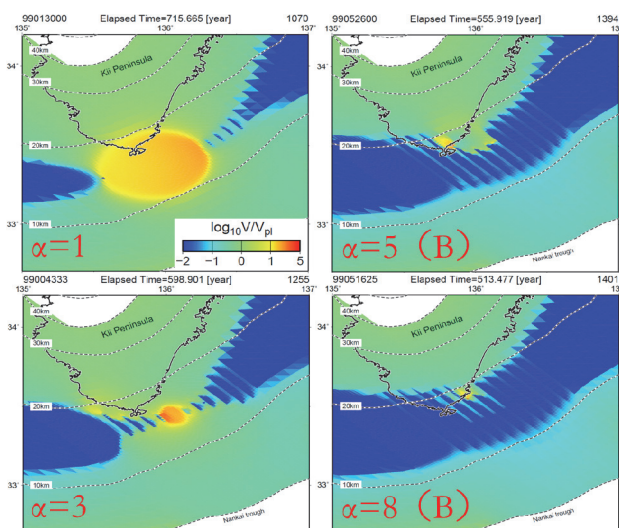
地震直前には震源周辺ですべり(前兆すべり)が生じると考えられている。短期予測の成否は、前兆すべりを観測できるかどうかにかかっており、気象庁では想定東海地震の前兆すべりを24時間監視している。ここでは、南海トラフ沿い巨大地震の場合について、前兆すべりの現れ方のシミュレーション結果を紹介する。

近年、シンプルな2次元モデルを用いて、これまで考えられていたよりも小さな前兆すべりから巨大地震になる場合があるという報告がなされた⁵⁾。このモデルは、大きなアスペリティ(プレート境界が強くつついている領域)の中に小さなアスペリティが存在していた場合、小アスペリティが壊れた瞬間に大アスペリティも壊れる(小地震の発生に連鎖して大地震が発生する)場合があるというものである。これはカスケードアップ型の地震と呼ばれる。

気象研究所の基本的なシミュレーションモデルでは、フィリピン海プレートの傾斜が急な紀伊半島沖から前兆すべりが開始して巨大地震になるというパターンが多く現れる^{4, 6)}。そこで紀伊半島沖に小アスペリティを設定し、複雑な3次元形状を持つプレート境界面でもカスケードアップ型の地震が起こり得るのか、その際の前兆すべりの挙動はどうなるのかについて調査した。色々な特性の小アスペリティを設定したところ、カスケードアップ型の地震が発生する場合があり、前兆すべりの大きさは小アスペリティの大きさが小さく(大小アスペリティの大きさの比 α が大きくなる)ほど小さくなった(第3図)⁷⁾。

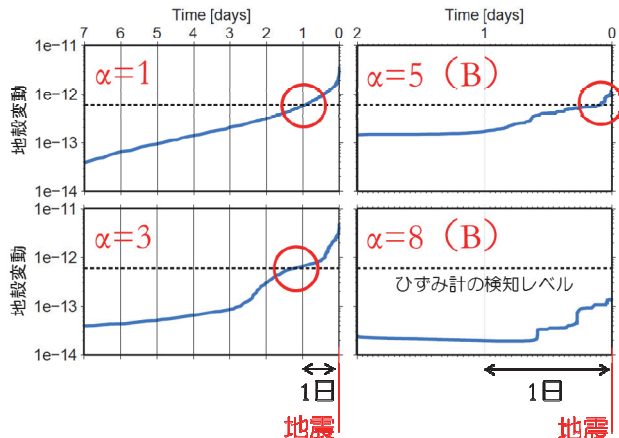
仮想的な観測点での地震発生前の地殻変動を計算したところ、小アスペリティのサイズが相対的に小さい(例えば $\alpha=8$)と前兆すべりを陸上観測点で検知できないまま、巨大地震

が発生する可能性もあることがわかった(第4図)⁷⁾。しかし、南海トラフ沿いの普段の小さな規模の地震活動は東北沖と比べて極めて低調なため、小アスペリティの分布密度は東北沖と比べると南海トラフでは高くはないと考えられる。したがって、南海トラフ沿い巨大地震の前兆すべりは東北沖に比べると大きく現れ、観測で捉えられる可能性は否定できない。



第3図: 前兆すべりの大きさの比較⁷⁾。

前兆すべりの大きさ(暖色で表される)は、大小アスペリティの大きさの比 α に反比例する。



第4図: 陸上で期待される地殻変動量と検知レベル⁸⁾。

地震の1日前($\alpha=1, 3$ とした場合)や2時間前($\alpha=5$ とした場合)に検知レベルを超える場合もあるが、プレスリップが小さいと検知できないまま地震に至る場合($\alpha=8$)もある。

参考文献

- 1) 地震調査研究推進本部地震調査委員会 (2013), 南海トラフの地震活動の長期評価(第二版)について。
- 2) Hirose, F., J. Nakajima, and A. Hasegawa (2008), J. Geophys. Res., 113, B09315, doi:10.1029/2007JB005274.
- 3) 弘瀬冬樹・前田憲二 (2012), 予知連会報, 87, 504-506.
- 4) Hirose, F., and K. Maeda (2013), J. Geophys. Res., Solid Earth, 118, 1-18, doi:10.1002/jgrb.50287.
- 5) Noda, H., M. Nakatani, and T. Hori (2013), J. Geophys. Res., 118, 2924-2952, doi:10.1002/jgrb.50211.
- 6) 高山博之・前田憲二・弘瀬冬樹 (2008), 地震, 2, 60, 279-284.
- 7) 弘瀬冬樹・前田憲二・藤田健一 (2015), 予知連会報, 93, 印刷中.
- 8) 山本剛靖 (2011), 気象研究所技術報告, 63, 186-196.