

## 地震調査研究における今後の方向性について

京都大学理学研究科 平原 和朗

地震調査研究についての全体的な計画等については、他の地震研究者が述べられると思われるので、特に地震発生シミュレーション研究に携わる者として、今後の方向性について私見を述べる。多くの方が述べているように、今世紀前半にその発生が危惧される南海トラフ巨大地震への対応を中心に考えたい。そこで、専門外な部分が多いが緊急に実施すべきと思い、以下の1)と2)をまず述べることから始める。

**1) 南海トラフ巨大地震発生による建物・人的・経済的被害の半減**

内閣府や多くの関係者の提案にあったように、地震防災戦略として、今後10年間で、次期南海トラフ巨大地震による家屋倒壊数、死者数そして経済被害額などを半減するため、具体的な年次計画をたてて実行することを支持する。

具体的な実施項目については、理学・工学・社会科学・経済学に及ぶ広い分野からの英知を結集するべきである。まず、この防災戦略を早急に立案し、特に、年次毎にその達成率を一般に公表していくことが重要であると考えられる。

**2) 緊急地震速報とリアルタイム波形情報による制震技術の開発**

①海底地震観測網を展開し陸上観測網と併せて、南海トラフ巨大地震に対応する緊急地震速報の精度向上を図ることに加えて、②都市部高層建築や大規模構造物の近傍の観測地震波形のリアルタイム情報を活用して構造物への入力波形を合成し、アクティブ制御（フィードバック・フォワードバックシステムを用いる）による制震技術の開発を進めて欲しい。（②は既に実用化されていて、対費用効果だけの問題なのかも知れないが）

次に、地震発生シミュレーション研究の現状と今後の方向性について私見を述べる。

**3) 地震発生シミュレーション研究の現状**

地震予知のための新たな観測研究計画の成果報告書に見られるように、プレート境界における固着とすべりの多様性が基盤観測網により見出され、非地震性すべりの進行により固着域（アスペリティー）に応力が集中し地震発生に至るというモデル（アスペリティーモデル）の有効性が検証された。一方、岩石実験から得られた断層の摩擦構成則に基づく地震発生シミュレーション研究は、観測から見出されたプレート境界面上でのすべりの多様性を、摩擦パラメータを分布させることで表現し、プレート運動が駆動する地震発生に至るプロセスを再現することに成功している。

**4) 地震発生シミュレーション研究の今後の方向性**

以上述べたように、過去の巨大地震発生時系列や最近の地震の余効変動データなどからプレート境界面上の摩擦パラメータ分布の特定が出来れば、自発的に地震を発生するシミュレーションシステムをコンピュータ上に構築することが可能である。さらに、各種データによるすべり・応力状態のモニタリングデータをシステムに取り込み（データ同化）、逐次的に将来の地震発生予測を行うシステムへの発展が期待されている。

推本が進めてきた過去の履歴に基づく地震発生長期予測に対して、物理モデルに基づく予測なので、過去のデータの再現はもちろん、地震発生に向けてリアルタイムで時間的に変化していく現象（例えば地殻変動や地震活動）（上記ではモニタリングデータと呼んでいる）を再現し、摩擦パラメータ分布を修正しながら予測精度を上げていく（データ同化）システムである点で大きな進歩と言える。実際、日本列島の地殻活動予測シミュレーションモデル

の原型が完成し、地域モデルとしては三陸沖や南海トラフにおける巨大地震発生サイクルの特徴を再現することに成功している。また、次期の地震予知研究計画でもこういった地震発生予測システム構築へ向けた研究を押し進めることとしており、この方向で研究を大いに進めるべきである。

## 5) 南海トラフ巨大地震発生サイクルシミュレーションに関して

最後に、1) に貢献するためにも、南海トラフ巨大地震発生に関するシミュレーションを、限られた時間の中で、どのように進めていくかについて私見を述べる。

現状のシミュレーションの枠組みに従うと、3次元形状を持つプレート境界面上での摩擦パラメータ分布を推定する必要がある。このため以下の①～③に示す、摩擦パラメータ分布の推定を階層的に行うことを提案する。(詳細は(参考)参照のこと。)

①長期に渡る地震発生サイクルシミュレーション(数千年～現在)

②昭和の東南海・南海地震前から現在に至る地震サイクルのシミュレーション(100年)

③最近20(または30)年からの現在までの精度の良い連続データによる、リアルタイムモニタリング+地震発生予測シミュレーションシステムの構築の試み(最近数十年～)

①—③への過程で、時間的にも空間的にも精度が粗いが長期に渡るデータから、徐々に期間は短くなるが精度を上げた連続データへと移行して、段階ごとに摩擦パラメータ分布の推定精度を上げていく戦略である。

次の南海トラフ巨大地震の発生が迫っている中で、③のシステム構築を急ぎつつ、①と②を5-10年で見通しをつける必要がある。1)への実際的な貢献には③のモニタリング+予測システムの構築が重要である、これには、東海地震とは異なり東南海・南海地震が海域に多くの震源域を持つゆえ、海底観測網の充実が必須で、最重要課題と言える。早急に海陸に及ぶ地震・地殻変動観測網の充実に取り組む必要がある。次の南海トラフ巨大地震に向けて発生する全ての現象をデータとして後世に残すとともに、プレート境界でのすべり発展をモニタリングするシステム、ならびにシミュレーションの立場からそれを追跡するシステムの構築を急ぐべきである。

少し話は変わるが、南海トラフ巨大地震発生前後に西南日本の内陸活断層での活動が活発化する。兵庫県南部地震のように、都市部で発生すると大変なことになる。現状ではまだ予備的であるが、南海トラフ巨大地震サイクルに合わせて、内陸大地震の発生確率が変動することをうまく定式化して、被害予測の精度向上に役立てる、という研究が行われ始めている。こういった研究の推進も重要であろう。

最後になるが、上記予測シミュレーションについては、注意が必要である。予測シミュレーションに関しては現状では十分な実績を有しているとは言えない。システムの構築を進めながら、予備的な予測実験を繰り返し、改善する試みが重要である。そのためには、再来間隔の短い宮城沖などを対象にしたモニタリング・シミュレーション研究も並行して行い、経験を積ませることが不可欠である。また、予測シミュレーションで用いている基礎方程式系は、近似的にはある程度有効なものではあるが、完全なものではない。断層のメカニクスに関する研究は非常に重要である。研究者間の役割分担を行い、現状の枠組みで、5)のシステム構築を進めるとともに、シミュレーションの高度化に資する基礎研究の推進にも取り組む必要がある。

このように、多くの困難は予想されるが、限られた時間の中で、5)のシステム構築、特に次期巨大地震発生に向けてのモニタリング・予測シミュレーションに挑みたい。

## (参考) 階層的南海トラフ巨大地震発生サイクルシミュレーション私案

### ① 長期に渡る地震発生サイクルシミュレーション (数千年～現在)

津波堆積物 (陸上・海底)、古文書、考古遺跡データ、震度、津波データから得られた、巨大地震発生間隔・セグメント間連動をデータとして摩擦パラメータを推定する。時間的にも粗く精度が劣るデータなので、かなりの幅をもった推定になる。次の巨大地震が連動するかどうか、いくつかのシナリオを示すことになる。

### ② 昭和の東南海・南海地震前から現在に至る地震サイクルのシミュレーション (100年)

験潮・測地測量から現在の GPS データまでの長期的地殻変動+地震活動 (応力場のモニタリング) をデータとして、①を引き継いで、プレート形状や摩擦パラメータ分布の高精度化を図る。特に昭和の地震前の変動を整理し、シミュレーションによる理解を試みる。また、拘束しきれない摩擦パラメータ分布の広がりによって生じる、次の巨大地震のセグメント間の連動/非連動に対して、複数の破壊伝播シナリオを提示する。

### ③ 最近 20 (または 30) 年からの現在までの精度の良い連続データによる、リアルタイムモニタリング+準動的 (+動的) 地震発生予測システムの構築の試み (最近数十年～)

海陸地震・地殻変動観測による地震活動・地殻変動や各種データをリアルタイムでモニタリングし、プレート境界におけるすべり発展や応力状態を準リアルタイムで追跡することで、②を引き継いで、プレート形状・摩擦パラメータ分布推定の精度向上並びに地震発生予測を目指す。特に、モニタリングデータとして、最近発見された長期・短期スロースリップ・長周期微動が、次の地震発生に向けてのシグナルとなりうるかについて早急にモデル化する必要がある。

繰り返しになるが、提案したシステムの重要な点は、むしろシミュレーションではなく、次期南海トラフ巨大地震発生に向けて、多くは海底に潜む震源域およびその周辺で進行するすべり等、出来るだけ多くの現象をリアルタイムでモニターすることである。これまでは、たとえ何かを捕らえたにしても解釈できないことが多かった。しかしながら、課題は多いとは言え、地震発生シミュレーションを通して、これらのモニタリングデータを、地下深部で進行する現象に焼き直し追跡し、現象の予測・モデルパラメータの修正を繰り返し、地震発生予測に挑むことになる。