

古地震と現在の地殻活動から地震を予測する： 地形・地質学と地球物理学の融合から目指す地震研究

岡村 行信¹⁾

1. はじめに

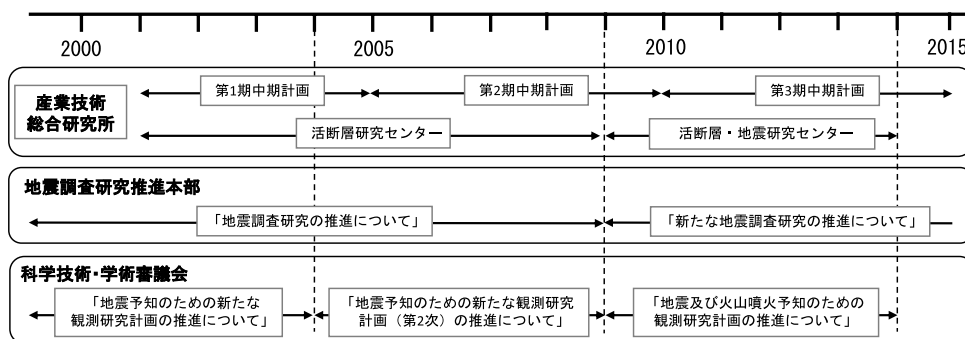
1995年の兵庫県南部地震以降、地震や活断層に関連した調査・観測が強化され、情報量が飛躍的に増加した。それ以降発生した地震からも多くの情報が得られ、1995年以前とは比べものにならないくらい地震に対する理解が深まり、活断層に関する情報も質量とも飛躍的に改善した。しかしながら、事前に的確に予測できた地震はまだ一つもない。地震を予測するには、まだ重要な問題が未解明のまま残されていることは理解されているが、一方で、空間的、時間的スケールの大きい自然現象であるため、その説明は容易でないことも認識されている。4月1日に設立された活断層・地震研究センターは、従来の調査・観測を継続していくと共に、地震予測を実現するために未解決の課題に対して、産業技術総合研究所（産総研）の総合力を活かしたアプローチで解決を試みる研究ユニットとしてスタートした。

新たな研究センターを紹介するため、7月2日に秋葉原コンベンションホールで公開のシンポジウムを実施した。この地質ニュース特集号は、そこでの発表内容を中心に構成している。

2. 新研究センターの設置

活断層研究センターは2001年の産総研の設立と同時に、7年間の期限付き研究センターとして設置され、その後1年間延長されたが、2009年3月31日に設置期間を終了した。それに代わって、4月1日には新たに活断層・地震研究センター（期限5年）が設立された（第1図）。新センターは、従来の活断層研究センターと、地質情報研究部門の中にあつた地震関連研究グループとが一体となり、一つの研究ユニットを構成している。

活断層研究センターの終了に先だつて、産総研が実施すべき地震関連研究の方向性を議論するため、2006年4月に産総研内の地震関連グループ、チームからのメンバーによって構成される「産総研地震研究将来検討委員会」（佐竹健治委員長を含め、12名の委員で構成）が設置され、約1年かけて議論が行われた。その結果2007年4月に、地質学を軸とする研究を展開すること、数十万年間の時間スケールの地殻変動と短時間の地震活動や地殻変動を総合的に考察すること、地形学・地球物理学・地球化学・地盤工学も融合させて地震像に迫りつつ、将来の地震を予



第1図 産総研の地震関連研究組織と国の地震関連研究計画の変遷。

1) 産総研 活断層・地震研究センター

キーワード：活断層, 物理モデル, 海溝型地震, 地震災害

測するという方向性を示した報告書を提出し、委員会の活動を終了した。その中では、今後進めていくべき研究課題を、内陸地震（陸域・沿岸域）の予測、海溝型地震の予測、及び地震災害予測に整理し、それぞれの内容を以下のようにまとめた。

- ・内陸地震の予測については、これまでの地質学的調査を主体とした履歴解明に加え、地殻活動のモニタリング、モデリングといった地球物理学的な研究を融合させることにより、物理的合理性のある長期予測（規模予測、時間予測）を目指す。
- ・海溝型地震の予測については、地質学的手法による地震履歴調査と地下水モニタリングによる短期予知を推進する。また、長期予測的時間スケール（過去1万年～数百年間）と中～短期予知的時間スケール（数十年間～数時間）の地殻変動を統一的に説明できるモデルの構築を目指す。
- ・地震災害の予測については、活断層・地下構造の地質情報や地殻変動・地震動等の地球物理学的観測データを活用し、内陸地震及び海溝型地震に伴う将来の地震動、津波及び地表変形の高精度な予測を目指す。

この「産総研地震研究将来検討委員会」の報告を基に、活断層と地震に関する研究を総合的に推進できる研究体制を再構成し、2008年9月に新研究センターの設置申請を産総研企画本部に対して行った。その後、企画本部でのヒアリングや外部委員を含む「活断層・地震研究センター（仮称）設計に係る諮問委員会」での審議などを経て、2009年2月に、活断層・地震研究センターの設置が正式に認められた。

一方、国の地震関連研究を統括する地震調査研究推進本部は、2008年までは「地震調査研究の推進について—地震に関する観測、測量、調査及び研究の推進についての総合的かつ基本的な施策—」（総合施策）に基づいて調査研究を進めてきたが、2009年度からの10年間の基本方針として、「あらたな地震調査研究の推進について—地震に関する観測、測量、調査及び研究の推進についての総合的かつ基本的な施策—」（新総合施策）をまとめている（第1図）。また、科学技術・学術審議会も「地震及び火山噴火予知のための観測研究計画の推進について（建議）」（2009-2013）をとりまとめている。活断層・地震研究センターの設置期限は5年間で、これらの国の地震関連研究の施策や研究計画の期間に同期し、歩調を合わせて

研究を進めていく予定である。

3. 内陸地震の予測

活断層の活動によって発生する内陸地震評価・予測の重要性は1995年兵庫県南部地震によって日本社会に広く認識され、地震後に設置された地震調査研究推進本部が全国で主要な110断層を選定し、それらの調査と評価を進めてきた。しかしながら、1996年以降に活断層の活動によって発生した主要な地震は、事前に調査・評価された活断層からは発生していない。このことは、日本列島にはまだ調査されていない多くの活断層が存在することを示している。また、すでに調査・評価が終わっている活断層についても、過去の活動履歴だけに基づいた地震発生確率の推定精度は十分とは言えないと指摘されている。

しかしながら、地震発生確率の推定精度を向上させることは容易でない。精度を向上させるためには、地震が発生する前に何か変化し、何かのきっかけがあると期待したいのであるが、世界でも類を見ない質と量の地震計やGPS観測網を整備しても、それを解明し、検出することにはまだ成功していない。

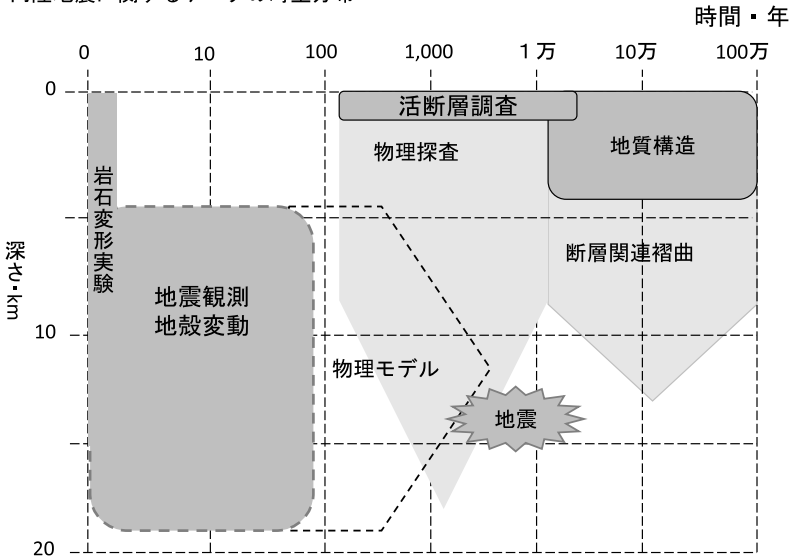
地質学的な調査に基づいた地震の発生履歴の解明だけでも、活断層周辺の地震や地殻変動などの地球物理学的な観測だけでも、活断層の活動を精度良く予測することが困難というのが現状である。

4. 地質学と地球物理学の融合

地質学（地形学も含めて）は地形や地質構造を観察し、数千年以上の期間における断層活動の履歴や地殻変動の累積を解明する（第2図）。この手法によって検出できるのは大地震に関連した地表に明瞭な変形を残す断層運動や地殻変動で、小規模な地震活動を地質学的手法で解明することはほとんど不可能である。一方、地球物理学は現在の地震活動や地殻変動を詳細に観測し、その原因やメカニズムを解明する。観測データはせいぜい最近100年間しかないが、精度の高いデータを収集できる。

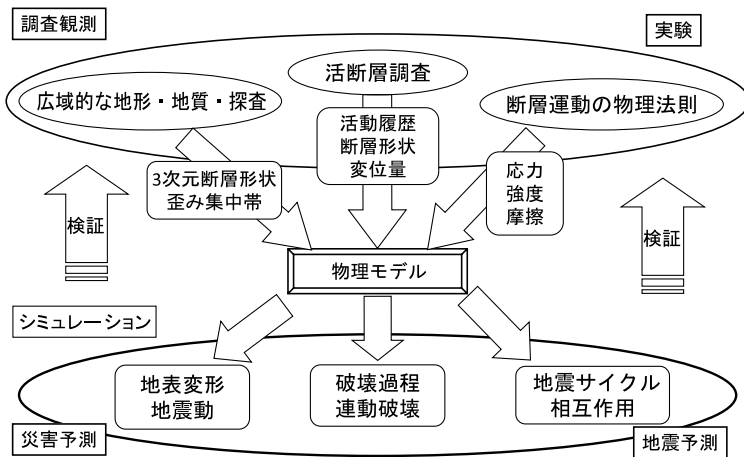
このように、地質学と地球物理学は全く異なる時間スケールで地殻変動を観察している（第2図）。また、空間スケールでの観測精度も大きく異なっている。お互いに異なるものを見ているようであるが、実

内陸地震に関するデータの時空分布



第2図 地形・地質学的情報と地球物理学的情報の時間・空間スケールの違い。

内陸地震の予測



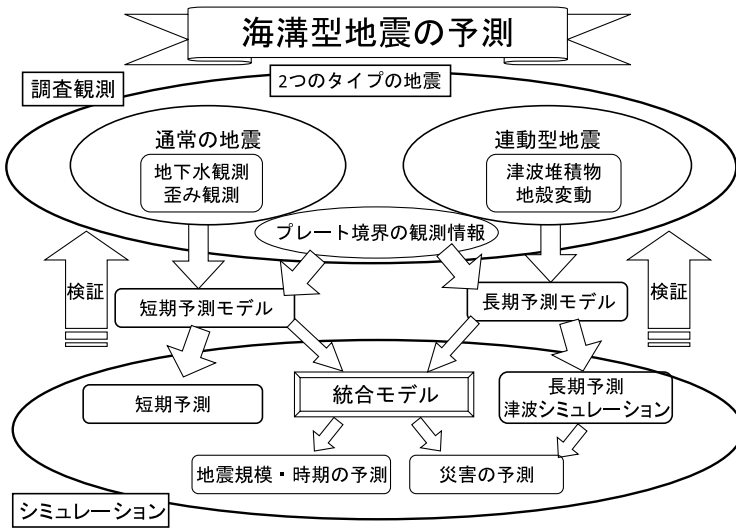
第3図 地形・地質学と地球物理学を融合させた内陸地震研究のイメージ。

は同じ現象、一連の現象を見ているはずである。数千年に一度しか活動しない活断層の、活動時の変動だけ見ているだけでは地震を事前に予測することは困難であるし、活動間隔のごく一部に過ぎない100年間の観測だけでも予測は困難であると考えられる。しかしながら、両者の研究内容を結びつけ、お互いに足りない部分を補うことができれば、予測の可能性を高めることができると期待される。

時間スケールの異なる情報を持ち寄るだけでは、互いの研究を融合させることは困難であろう。融合す

るためのプラットフォームとして期待しているのが、「物理モデル」の構築である(第3図)。「物理モデル」は、地殻の力学的な性質、応力場や歪み速度などの地球物理学的な観測情報と地下の断層形状などの地質学的情報を用いて構築する。「物理モデル」の最大の特徴は、活断層の活動間隔に対して地球物理情報の時間的な空白を、シミュレーションによって埋めることができることである(第2図)。

物理モデルから導き出される地震活動は、地質学的な調査によって解明される過去の断層活動の履歴



第4図
短期予測と長期予測を目指す海溝型地震
研究のイメージ。

を再現できる必要がある。また、物理モデルによって期待される断層活動から、地質学的調査で見逃されていた断層活動が新たに見つかることがあるかもしれない。

また、隣接する断層の間の相互作用や、断続的な断層の連動破壊など、内陸地震の発生時期や規模を評価する上で欠かせない検討を、定量的に行うことができる。それらのシミュレーション結果の信頼性を上げ、検証を確実にやっていくことが、活断層・地震研究センターの重要な目標の一つである。その目標を達成するために、従来の断層活動履歴の解明や、断層とその周辺の物理学的な研究もレベルアップしていく必要があることは言うまでもない。

このように、「物理モデル」とはいいながら、地質学的な情報も活用してモデルは構築されていくし、そのモデルの正しさは地質学的手法で得られる情報で検証されなければならない。地質学的研究と地球物理学的研究からの要求に応えるモデルを作ることによって、地震の予測精度を上げることができると期待している。

5. 海溝型地震の予測

海溝型地震については、内陸地震に比較して、活動履歴や地震動分布、被害状況など多くの情報があり、長期的な予測精度も高い。また、地球物理的な観測も、精度に差はあるものの、地震間を通じた情報

が蓄積されている。しかしながら、東海地震を除いて、地震の予知が可能状況にはなっていない。海溝型地震は規模が大きく、広範囲に強い揺れが発生し、さらに津波も伴うことから、地震発生はかなり前に地震動や津波を精度良く予測して防災対策を行うことと、できるだけ短期的な予測を行うことが求められている。また、最近の研究によって、地震毎にその規模が大きく異なることが明らかになってきた。従って、次の地震の規模を予測することも重要となっている。このような未解決の課題について、焦点を絞った研究を進めていく予定である(第4図)。

東海地震の予知は、本震発生前に前兆すべりが発生し、それを観測網によって検出するというシナリオが想定されている。前兆すべりは、ひずみ計や地下水位の観測、GPSによる地殻変動観測網などによって監視されている。最近注目されている深部ゆっくりすべりは、前兆すべりに似た現象で、東海・東南海・南海地震の震源域よりやや深い場所で発生している。産総研が整備を進めている地下水等観測施設では、それらの深部でのゆっくりとしたすべりを検出することに成功しており、東海地震或いは東南海・南海地震の前兆すべりを検出できる能力があることを示している。今後、深部すべりの観測と解析によってプレート境界で何が起きているのかを明らかにし、前兆すべりや本震とどのように結びついていくのかを考察することができれば、予測精度の向上が可能となる。

一方で、海溝型地震はいつも同じ規模で発生する訳でなく、まれに複数の破壊領域が同時に破壊して異常に大規模な地震となり、巨大津波を発生させることがある。このような連動型地震の発生間隔は歴史記録の期間を超えることが多いことから、長期予測も十分な精度では行われていない。しかしながら、連動型地震は地形・地質学的な記録を残すことから、過去の発生履歴を解明することが可能である。南海トラフ沿いでは宝永地震が、日本海溝では西暦869年の貞観の地震が、千島海溝では歴史記録にはないが、地質学的証拠から17世紀の巨大津波が連動型地震によるものと推定されている。このような地震がなぜ発生するのかを解明し、より精度良く発生時期を推定することが必要である。

6. 地震災害の予測

地震の直接的な被害は地震動によって発生するので、地震動の大きさをあらかじめ予測できれば、被害を最小限にするための対策を講じることが可能となる。地震動の予測は震源断層と地盤構造に関する情報が重要である。地震調査研究推進本部は、震源断層を活断層のタイプと地表トレスから推定し、地盤構造についても全国規模の情報を整備しつつあり、その結果に基づいて全国の地震動予測を進めている。しかしながら、逆断層の場合、地表トレスから単純に断層形状が推定できないこと、地盤モデルについても、詳細な地質情報が完全には明らかになっていないことなどから、今後も改善していく必要がある。

複数の震源断層やプレート境界の震源域が同時に破壊する連動型地震も、今後の研究課題である。複数の断層がどのように連動破壊し、それによって地震動がどのくらい大きくなるのかについても、不明な点が多い。連動型地震が海底で発生した場合には、巨

大津波を発生させる。過去の巨大津波の規模を津波堆積物などから推定することができれば、津波の規模や到達時間、浸水域の広がりなどをシミュレーションによって計算できる。

また、内陸の活断層の活動で大きな災害の原因となり得るのが地表変形である。特に、厚い堆積物に覆われる逆断層は、地表付近で幅広い変形帯を形成することが知られている。地盤の変形は構造物に大きな被害を与えると考えられることから、地質情報に基づいた過去の変形様式の解明と、堆積層の変形シミュレーション技術を組み合わせることによって、将来の地表変形を予測する手法を検討する予定である。

7. 終わりに

活断層・地震研究の最終的な目標は地震災害の軽減である。そのためには、地震の発生時期、場所、規模を予測することが必要で、地震の発生メカニズムに関する研究、地質情報の整備と活用、地震工学との連携など、基礎から応用まで幅広い研究と情報収集を行っていく必要がある。内陸地震と海溝型地震の予測に関する研究の成果は、地震の発生時期を予測することだけでなく、震源断層の形状や、震源域の推定、地表での断層活動の調査など、地震災害の軽減に必要な情報を数多く含んでいる。さらに災害予測に必要な地質・地球物理学的な情報取得を内陸地震や海溝型地震研究に求めることも必要になるかもしれない。活断層・地震研究センターは、多様な人材が集まる特長を活かして幅広い研究活動を推進すると共に、全体として目標を共有する一体感のある研究組織として活動することによって、地震災害の軽減に貢献できると考えている。

OKAMURA Yukinobu (2009) : Earthquake study based on integration of geomorphology, geology and geophysics.

<受付: 2009年9月1日>