

資料(4)

科学技術・学術審議会測地学分会
地震部会(第15回)
H18.11.16

地震予知のための新たな観測研究計画(第2次)の実施状況等の レビューについて(草案)

科学技術・学術審議会
測地学分会地震部会
平成 年 月

目 次

I. 前書き	1
II. 「地震予知のための新たな観測研究計画（第2次）」の基本的考え方	3
III. 実施状況、成果及び今後の展望	
0. 近年発生した地震に関する観測研究	
(ア) 2003年（平成15年）十勝沖地震（M8.0）	5
(イ) 2005年（平成17年）宮城県沖の地震（M7.2）	7
(ウ) 2004年（平成16年）新潟県中越地震（M6.8）	8
1. 地震発生に至る地殻活動解明のための観測研究の推進	
1.1. 目的	9
1.2. 実施状況	
(1) 日本列島及び周辺域の長期広域地殻活動	10
(2) 地震発生に至る準備直前過程における地殻活動	11
(3) 地震破壊過程と強震動	16
(4) 地震発生の素過程	16
1.3. 成果	
(1) 日本列島及び周辺域の長期広域地殻活動	17
(2) 地震発生に至る準備直前過程における地殻活動	18
(3) 地震破壊過程と強震動	21
(4) 地震発生の素過程	22
1.4. 今後の展望	22
2. 地殻活動の予測シミュレーションとモニタリングのための観測研究の推進	
2.1. 目的	26
2.2. 実施状況	
(1) 地殻活動予測シミュレーションモデルの構築	26
(2) 地殻活動モニタリングシステムの高度化	28
(3) 地殻活動情報総合データベースの開発	32
2.3. 成果	
(1) 地殻活動予測シミュレーションモデルの構築	33
(2) 地殻活動モニタリングシステムの高度化	35
(3) 地殻活動情報総合データベースの開発	38
2.4. 今後の展望	39

3. 新たな観測・実験技術の開発	
3.1. 目的	42
3.2. 実施状況	
(1) 海底諸観測技術の開発と高度化	42
(2) ボアホールによる地下深部計測技術の開発と高度化	43
(3) 地下構造と状態変化をモニターするための技術の開発と高度化	43
(4) 宇宙技術等の利用の高度化	44
3.3. 成果	
(1) 海底諸観測技術の開発と高度化	44
(2) ボアホールによる地下深部計測技術の開発と高度化	45
(3) 地下構造と状態変化をモニターするための技術の開発と高度化	45
(4) 宇宙技術等の利用の高度化	45
3.4. 今後の展望	46
4. 計画推進のための体制の整備	
4.1. 実施状況及び成果	
(1) 計画を一層効果的に推進する体制の整備	47
(2) 地震調査研究推進本部との役割分担	47
(3) 情報交換等の場としての地震予知連絡会の充実	48
(4) 人材の養成と確保	48
(5) 火山噴火予知研究等との連携	48
(6) 国際協力の推進	48
(7) 研究成果の社会への効果的伝達	49
4.2. 今後の展望	
(1) 計画を一層効果的に推進する体制の整備	49
(2) 地震調査研究推進本部との役割分担	50
(3) 情報交換等の場としての地震予知連絡会の充実	50
(4) 人材の養成と確保	50
(5) 火山噴火予知研究等との連携	50
(6) 国際協力の推進	51
(7) 研究成果の社会への効果的伝達	51
IV. 総括的評価	
1. 「地震予知のための新たな観測研究計画」(新研究計画)の開始と 第2次新計画への継続	52
2. 「地震予知のための新たな観測研究計画(第2次)」の総括的評価	54
3. 今後の展望	59

1. 前書き

我が国は世界有数の地震国であり、これまで多くの地震災害に見舞われてきた。プレート境界域に位置する我が国で大地震が発生することは必然であり、適切な地震防災対策なくしては、これからも地震の被害を免れることは難しい。地震予知は、特に国民の生命を守るという観点からは究極の対策であるが、一般的に地震発生直前に警報を出せる精度で地震予知を行うことは、現時点でも困難である。1995年(平成7年)兵庫県南部地震による阪神・淡路大震災を契機に、地震防災対策特別措置法に基づき地震調査研究推進本部が発足し、地震防災に資するに地震調査研究を政府が一元的に行う体制が整備された。地震調査研究推進本部は、平成11年に「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―」を策定し、その中で、地震予知のための観測研究を当面推進すべき施策の一つと位置付けた。

このような状況の中で平成11年度から始まった「地震予知のための新たな観測研究計画」を引き継ぎ、平成15年度に「地震予知のための新たな観測研究計画(第2次)の推進について」が建議された。その基本的考え方はII章で述べるとおりである。この建議で指摘された目標に沿って、平成16年度から関係各機関による観測研究が進展している。III章で、これまでの主な成果を取り上げる。特にプレート境界域においては、滑りと固着の他にゆっくりとした滑りが進行する様子が明らかになり、地震予知の3要素のうち、位置と規模についての予測には、一定の見通しが得られた。つまり、固着領域への応力集中過程の具体的なイメージが描かれる段階に達し、数値シミュレーションによって、過去のプレート境界地震の発生の特徴を再現できるようになった。こうした成果を踏まえた、個々の課題に関する今後の進展等の展望についてもIII章で述べる。地震予知のもう一つの要素である時期に関しては、過去のデータに基づく長期予測の段階にあり、プレート境界の摩擦構成則に基づいて予測する研究は、緒に就いたばかりである。内陸地震については、歪速度の大きな領域の成因についての研究が進んだが、個々の活断層に応力がどのように集中していくのかという基本的問題は未解決であるなど、地震予知研究の課題は多い。IV章において、これらを「地震予知のための新たな観測研究計画(第2次)」の全体像の中で総括的に評価し、今後の進むべき方向等を展望する。

今回のレビューの目的は、更なる観測研究の進展と次期の地震予知観測研究計画の策定を視野に、総括的自己点検評価を行うことにある。平成16年4月に設置された測地学分科会地震部会観測研究計画推進委員会は、計画全体の進捗状況を把握し、平成16年度、平成17年度の関係各機関における観測研究の成果を年次報告として取りまとめて公表してきた。今回のレビューは、平成14年度以降の地震予知観測研究計画全般についての進捗状況について、同委員会で取りまとめを行った平成16年度、平成17年度年次報告及び関係各機関に対し提出を求めたレビュー資料等を基礎として、同委員会での審議を経て、地震部会が取りまとめたものである。

地震予知観測研究計画の成果は、広く社会に還元されなければならない。現在のところ、一般に地震発生直前に警報を出せる精度で地震予知を行うことは困難であるが、地震発生場所と地震規模の予測の高度化及び地震発生時期の長期的予測の精度向上などについては成果があがっており、それを社会に具体的に伝える必要がますます高まっている。これら

削除: さらに、

削除: 受け

削除: つき

削除: を

削除: する

削除: 。

削除: という現状認識を踏まえた上で、

削除: 、研究の具体的

は、地震調査研究推進本部が行っている日本列島における地震発生長期評価及び強震動評価の高度化や、政府が行っている地震防災・減災対策にも必要であり、この意味でも社会に貢献できる。地震予知観測研究計画の今後の更なる推進が望まれる。

II. 「地震予知のための新たな観測研究計画（第2次）」の基本的考え方

昭和40年度から始まった我が国の地震予知計画は、平成10年度まで第1次から7次計画として推進され、平成11年度から平成15年度までは「地震予知のための新たな観測研究計画」（以下、「第1次新計画」という。）として実施してきた。この間、プレート境界地震や内陸地震の発生場所、地震発生の繰り返し時間間隔、規模、断層面上の滑り量分布等の震源過程、地震発生場における地殻構造の不均質性などに関する知見が向上した。これまでの基礎的研究の成果を積極的に評価し、更に発展させることにより、地震予知への展望を開くべく、平成16年度から平成20年度までの5か年計画として、「地震予知のための新たな観測研究計画（第2次）」（以下、「第2次新計画」）が策定された。その基本的な考え方は以下のとおりである。

削除：に

第1次新計画は、地震予知を狭く地震発生直前予測と位置付けるのではなく、「地震発生に至る全過程を理解することにより、その最終段階で発現が予想される現象の理解を通して、信頼性の高い地震発生予測への道筋を開くことを現実的課題とすべきである」との基本認識の基に策定された。第2次新計画では、第1次新計画の考えを引き継ぎ、地震発生に至る全過程の理解のための研究と、それに基づく地殻活動予測シミュレーションモデルとモニタリングシステムの開発を計画の基本とした。つまり、地震の発生を定量的に予測するために、まず、長期にわたる地殻活動によってもたらされる広域応力が、特定の断層域に集中していく地震発生の準備過程を理解し、それに引き続く直前過程における地震断層域での応力の再配分機構を解明し、次に、観測を通じてこれらの過程を迅速に把握するという戦略がとられている。

削除：ク

削除：する。

この戦略のもと、第2次新計画では、以下の研究を推進することとした。まず、地殻・上部マントルの構造、広域のテクトニクス及び地殻活動の履歴・現状を明らかにする観測研究とともに、地震発生の素過程の理解を深める基礎研究を推進する。こうした観測研究及び基礎研究の成果に基づいて、複数の要素モデルで構成される日本列島及びその周辺域の地殻活動予測シミュレーションモデルを開発する。また、地殻活動の現状をモニターし、そのデータを地殻活動予測シミュレーションモデルに取り込むことで、大地震の発生に向けた地殻活動の推移予測を行う。さらに、シミュレーションによる予測結果と観測データとの比較を通じて、モデルの妥当性の検証を行い、実用化に向けた予測モデルの高度化を推進する。このような地殻活動の理解、モデル化、モニタリングを総合化したものとして、「総合予測システム」を構築し、「地震がいつ（時期）、どこで（場所）、どの程度の大きさ（規模）で発生するか」の定量的な予測を可能とすることが、地震予知研究の究極の目標である。

上記のような基本的な考え方に基づいて、達成可能な具体的目標を掲げ、全体計画との関わりを常に意識しつつも、個々の課題に取り組むこととした。例えば、日本列島全域に展開しているGPS観測網からのデータの解析により、地震発生準備過程で出現することが予想される地殻変動のゆらぎを検出し、そのモデル化を通して地震発生に関わる地殻深部で進行している過程を理解することは重要な具体的目標となる。すなわち、不均質に歪が蓄積して応力が集中している場所を観測によって特定し、その推移を把握することである。

削除：た

削除：プロセス

現在の地震予知研究は、上記目標への途上であり、時期の予測に関しては一般に長期予

測の段階にある。現状では、一般の地震の発生直前に、警報を出すことのできるような精度で地震予知を行う段階には達していない。この段階においても、地震に至る地殻の状態を常時観測により把握し、地殻活動の推移をシミュレーションすることによって、長期予測の誤差を段階的に小さくし、また、予想される地震により「地表がどの程度揺れるか」を予測し、地震災害軽減に寄与することは可能であると考えられる。このような研究を進めるには、到達度の評価が可能な具体的目標を設定し、その目標に向かって段階的に計画を推進することが必要である。また、地震発生場所と地震規模の予測の高度化及び地震発生時期の長期的予測の精度向上など、具体的成果を社会に伝えることも重要である。これらは、政府の行っている地震防災・減災対策や、地震調査研究推進本部が行っている日本列島における地震発生長期評価及び強震動評価の高度化にも必要であり、この意味でも地震予知研究の成果は社会に貢献できる。

削除: することを試みる。さらに

削除: を目指す

こうした考え方に従い、平成 16 年度から平成 20 年度の期間においては、以下の 4 項目について計画を推進している。(1) 地震発生に至る地殻活動解明のための観測研究。(2) 地殻活動の予測シミュレーションとモニタリングのための観測研究。(3) 新たな観測・実験技術の開発。(4) 計画推進のための体制の整備。(1) では、特に地震発生に至る地殻活動の全過程と、その過程に伴って現れる種々の地殻現象の発生機構を解明するための総合的観測研究、(2) では、地殻活動の推移予測を行うための地殻活動予測シミュレーションモデルの開発研究及び地殻の状態を実時間で把握する地殻活動モニタリングシステムの高度化のための観測研究、(3) では、地震発生に至る一連の過程に伴う地殻現象を高精度で検出するための新たな観測・実験技術の開発研究を推進する。さらに、これらの観測研究を効果的に推進して地震災害軽減に寄与するために、(4) では、本計画を一層効果的に推進できる体制の整備、観測研究プロジェクトを立案・推進するための広く開かれた仕組みの整備を図り、また、成果を社会に効果的に伝えるなど、震災軽減に関する社会的要請に応えるよう努めることとしている。

Ⅲ. 実施状況、成果及び今後の展望

0. 近年発生した地震に関する観測研究

(ア) 2003年(平成15年)十勝沖地震(M8.0)

2003年(平成15年)9月26日に北海道十勝沖でマグニチュード8.0の地震が発生した。この地震は、1952年(昭和27年)十勝沖地震(M8.2)の震源とほぼ同じところで発生したM8クラスのプレート境界地震であり、マグニチュードの大きさ、震源位置、発震機構などから、地震調査研究推進本部地震調査委員会が想定していたM8クラスの十勝沖の地震(想定M8.1前後)であると評価された。地震調査委員会は、平成15年3月24日公表の長期評価で、想定しているM8クラスの十勝沖の地震の発生確率は、2003年1月1日を起点にして、10年以内で10~20%、30年以内で60%程度であるとしていた。つまり、地震発生長期予測については事前に評価・公表された予測の範囲内で発生したと言える。一方、前駆的滑りは震源近傍の地殻変動観測点で観測されず、少なくともM6を超える滑りは発生しなかったため、直前過程の地殻活動を把握することは出来なかった。しかし、地震活動の静穏化・活発化など、地震発生の準備過程の進行を示す可能性のあるデータは得られ、震源過程と地震後の余効過程については、これまでに無い質と量のデータが蓄積され、プレート境界地震に関する理解が大幅に進展した。

まず、この2003年十勝沖地震発生直後に行われた海底観測によって、詳細な余震分布や本震発生前の地震活動が明らかにされ、震源断層が沈み込む太平洋プレートと陸側プレートの境界面に位置することが明らかにされた。また、本震の滑り分布は、従来からの地殻変動記録、津波記録、遠地の地震波記録、近地の強震動記録のほか、毎秒取得されるようになったGPSデータなども用いて推定され、測地学から地震学まで、極めて広い周波数帯域の高精度・高分解能の震源過程とその余効変動が明らかになった。その結果、地震時の主な破壊域は、1952年十勝沖地震の主な破壊域とほぼ一致することが明らかになり、本地震が、調査委員会が想定していた地震であるとする決め手となった。地震発生後の余効滑りの分布は、陸上のGPS観測点のデータや相似地震、震源域近傍に設置されていた海底圧力計のデータ等から明らかになり、地震時に滑りの大きかった領域を取り巻いて分布していることが分かった。余震も本震の主破壊域を避けるように発生している。さらに、翌2004年の11月29日には十勝沖地震の震源域と隣接する釧路沖のプレート境界でマグニチュード7.1の地震が発生した。この地震と1961年(昭和36年)に同地域で発生したM7.2の地震は、波形の相似性が高く、ほとんど同じ場所が滑ったと考えられる。2004年の地震の余震活動も、やはり本震の主破壊域を避けるように生じている。十勝沖と釧路沖の地震に関する観測結果は、プレート境界におけるアスペリティの繰り返し破壊を示しており、アスペリティモデルの正しさを裏付けている。

2003年十勝沖地震発生後から2004年の釧路沖の地震発生にかけて、ゆっくりとした地殻変動がGPSにより観測された。解析の結果、この変動は十勝沖地震から釧路沖の地震の震源域周辺にかけた地域のプレート境界におけるゆっくりとした滑りであることが判明した。このゆっくり滑りは、プレート境界面で発生している相似地震を用いてもとらえられた。相似地震はプレート境界の小アスペリティの繰り返し破壊であり、その滑りの積算はその周りのゆっくりとした滑りと一致するはずである。このような考え方のもと、GPSと

削除: 2003

削除: 3月4日

削除: (要確認)

削除: 的

削除: よく

削除: のほか

相似地震の解析結果を比較すると、両者はよく似た時空間分布を示すことが分かった。このように動的現象を扱う地震学的手法と静的現象を扱う測地学的手法を統合した点は、非常に重要である。なお、滑り量については、相似地震からの推定のほうが、GPS からの推定に比べて小さくなることが多いが、この点については、今後の詳しい研究が必要である。

削除: また、釧路沖の地震の震源域付近の滑りが、地震発生前に加速している様子も明らかになり、ゆっくり滑りの加速が釧路沖の地震の発生時期に影響を与えた可能性も考えられる。

(イ) 2005 年（平成 17 年）宮城県沖の地震（M7.2）

宮城県沖では、これまでに M7.5 前後の地震が約 37 年の平均再来間隔で発生していたため、今後 30 年以内に次の大地震が発生する確率が 99%にもなることが地震調査研究推進本部地震調査委員会から公表されていた。このような状況の中、想定されていた震源域内で 2005 年（平成 17 年）8 月 16 日に M7.2 の地震が発生した。この地震の破壊開始点も主破壊域も、1978 年（昭和 53 年）の宮城県沖地震（M7.4）の破壊開始点のごく近傍に位置している。また、今回の地震の余震分布は、1978 年の地震の余震分布の南部と重なることが判明した。震源過程の比較から、1978 年の地震は三つの主破壊域に分けられ、このうち破壊開始点に近い破壊域が 2005 年の地震時にも破壊したことが明らかになった。さらに、1930 年代に発生した 1933 年（昭和 8 年；M7.1）、1936 年（昭和 11 年；M7.4）、1937 年（昭和 12 年；M7.1）の三つの地震の余震の再決定を行ったところ、いずれも 1978 年の地震の余震域の中に含まれてしまうことから、1978 年の地震は 1930 年代の地震を生じさせた三つのアスペリティが同時に破壊した地震であった可能性が高くなってきた。2005 年の地震はこのうちの一つのアスペリティを破壊したことになり、残りの二つのアスペリティの破壊は数年以内となる可能性が高いと考えられるため、今後のモニタリングの高度化が重要となっている。

宮城県沖地震に関する最初の長期評価が、平成 12 年度に公表されたことを受けて、「宮城県沖地震に関するパイロット的な重点的調査観測」（文部科学省委託事業）が、平成 14 年度から実施されており、今回の地震の発生前から震源域とその周辺では、海底地震観測網が展開されていた。この観測によって、この周辺の詳細な構造が明らかになるとともに、この地震の本震や余震と構造との関係が高精度で明らかになりつつある。具体的には、沈み込んだ海洋性地殻が低速度層として明瞭にとらえられており、その上側境界面付近に本震と余震が位置していることが明らかになった。これは、速度構造から推定されたプレート境界に沿って確かに大地震が発生したことをとらえた画期的な成果である。一方、高精度の震源分布と発震機構解との解析から、余震の中にはプレート内部で発生したと考えられる地震がかなり含まれていることも明らかになった。この震源域直上では海底基準局が設置されており、地震発生に伴って東方へ約 10cm 動いたことが推定され、この結果は内陸の GPS 観測から推定された断層モデルから予想される変位とほぼ一致している。このことは海底地殻変動観測の信頼度を示しており、将来の大地震発生時における震源過程の解析や平時のプレートの固着状況の推定に、このような観測が大きな情報を今後与えてくれるものと期待される。

(ウ) 2004年(平成16年)新潟県中越地震(M6.8)

2004年(平成16年)10月23日に新潟県中越地方でM6.8の地震が発生した。この地震は、M6以上の余震を4個伴うなど、余震活動が活発でかつ余震分布が極めて複雑であった。本震と余震の多くは、北北東-南南西走向の逆断層型の発震機構解を示す。臨時観測データも含めた詳細な震源決定と構造推定により、本震の断層は、西に向かって傾き下がっており、西側浅部低速度域と東側深部高速度域の境界部に位置していることが明らかになった。また、本震の約40分後に発生した最大余震(M6.5)の断層は、本震の断層面と並行に約5km下側に位置し、一方、4日後に発生したM6.1の余震は、これらとはほぼ直交する東に傾き下がる断層面で生じたことが明らかになった。

本震の震源断層の傾きは、水平圧縮の卓越する応力場から期待される角度より高角度で、本震震源断層の強度が弱いことを示している。さらに、地質学的な考察によると、この地震は、日本海拡大の時期に生成された正断層が、現在は、当時の応力の向きが逆転して、逆断層として再活動することによって発生したと考えることができる。震源域には、大きな余震の震源断層に対応した不均質構造も明らかになり、詳細な構造調査が余震多発の原因を理解する上でも重要であることが示された。

この地震の震源域の周囲には、本震の断層面と同じ走向を持つ複数の活断層が存在している。しかし、今回の地震では、断層での滑りの大きな部分は、地表には到達しなかった。また、この地震に対応する活断層も地震発生前には認定されていなかった。一方、震源域直上では諏訪峠撓曲(とうきょく)を始めとする活構造が認められており、また上記のとおり周辺には本震と同様の走向を持つ活断層が分布している。さらに、地下には地震波速度の分布や、電気比抵抗の分布に著しい不均質構造が存在している。このことは、活断層に挟まれた活褶曲(しゅうきょく)地域では、たとえ活断層が認められなくても大地震が発生する可能性があり、M6.8程度の地震を発生させる可能性が他より高い地域を、変動地形学・地震学・電磁気学的手法を総合的に評価することによって、予め指摘できる可能性を示している。

削除: 定稿

削除: の

削除: ることを示している。

削除: したがって、活断層の認定が困難であっても、

削除: 、M6.8程度の地震を発生させる可能性が、他より高い地域を

削除: が

削除: ある

1. 地震発生に至る地殻活動解明のための観測研究の推進

1. 1. 目的

建議で設定された研究目的は以下のとおりである。

地震発生に至る地殻活動の全容を把握し理解するため、(1) プレート相対運動という外的要因と摩擦特性や構造不均質性という内的要因によってどのように歪が蓄積し応力が集中していくのかを明らかにし、(2) その応力集中から地震発生に至る準備過程から直前過程までの地殻活動を一連の過程として研究し、(3) また地震時の破壊過程や地下構造の影響を的確に評価することによって強震動予測の高度化を図り、(4) さらに地殻活動の予測シミュレーションの信頼度を高めるために、摩擦・破壊現象の物理・化学的素過程の研究や、実際の摩擦・破壊構成則パラメータを推定することを目指した実験的・理論的研究を推進する。それぞれの項目に対して、「日本列島及び周辺域の長期広域地殻活動」、「地震発生に至る準備・直前過程における地殻活動」、「地震破壊過程と強震動」、「地震発生の素過程」という四つの課題を設定し、研究を進める。

このうち「日本列島及び周辺域の長期広域地殻活動」の課題においては、日本列島及びその周辺に発生する大地震の繰り返し間隔の推定等に役立てるために、列島周辺のプレートモデルの検討を行って、これらのプレートの境界の位置とその相対運動速度を高精度で推定する。さらに、プレート境界の摩擦特性やプレートの構造と物性及び内陸活断層の強度等を調べ、これらと歪蓄積や応力集中との関係を明らかにする。

「地震発生に至る準備・直前過程における地殻活動」においては、まず、プレート間結合の空間的・時間的変動に注目して、プレート境界における歪・応力の集中機構を解明する。一方、内陸地震の発生に至る準備過程を理解するために、地殻から上部マントルに至る不均質構造と歪・応力集中機構との関係を明らかにする。また、十分に応力が集中した領域で発生する不可逆的な物理・化学過程（地震発生に至る直前過程）を解明するための観測・実験・理論的研究を実施する。さらに、地震発生時期や規模の予測に役立てるため、地震発生サイクルの多様性とその支配要因を解明する。

「地震破壊過程と強震動」については、震源域における破壊開始点やアスペリティ周辺の応力及び強度に関する特徴を明らかにするために、大地震の破壊過程を詳しく調べ、断層面上のアスペリティやその周辺の不均質な応力分布を得る。また、強震動生成域の分布の把握とともに、地下構造の影響を的確に評価することによって、強震動予測の高度化を図るために、震源過程の複雑さとともに、波動伝播への地下構造の影響を評価する。

「地震発生の素過程」では、アスペリティの実体、アスペリティの相互作用、非地震性滑り、摩擦・破壊現象のスケーリング則などについて理解を深めるため、摩擦・破壊現象の物理・化学的素過程を実験的に明らかにする。また、地殻活動予測シミュレーションモデルに十分な予測能力を持たせるため、摩擦・破壊現象を記述する基礎方程式（構成則）を明らかにするとともに、モデルに含まれる摩擦・破壊構成則パラメータ等の値を、観測可能なP波速度、S波速度、比抵抗などから推定するための実験・理論的研究を実施する。さらに、これらのパラメータの推定に制約を与えるため、地球深部掘削等によって地震発生域の物質科学的知見を得る。

1. 2. 実施状況

(1) 日本列島及び周辺域の長期広域地殻活動

ア. 日本列島及び周辺域のプレート運動

大学は、日本列島周辺のプレート運動の影響を調査するために、ロシアやモンゴル（北海道大学[課題番号：1001]、東京大学地震研究所[課題番号：1401]）でGPS観測を実施した。また、国土地理院は、南太平洋（国土地理院[課題番号：6002]）でGPS観測を実施するとともに、VLBI（超長基線電波干渉計）の観測を定期的に行った（国土地理院[課題番号：6001]）。さらに、海上保安庁海洋情報部は、地殻変動観測の基準点として下里でSLR（衛星レーザー測距）観測を実施した（海上保安庁[課題番号：8001]）。

イ. 列島規模のプレート内の構造と変形

防災科学技術研究所と大学は、Hi-net（防災科学技術研究所が全国に展開している高感度地震観測網）や大学の高感度地震観測データを用いたトモグラフィ解析や変換波解析により広域かつ詳細な三次元地震波速度構造や減衰構造の推定を行った（防災科学技術研究所[課題番号：3001]、東北大学[課題番号：1202]、京都大学防災研究所[課題番号：1802]、鹿児島大学）。

大学は、宮城県沖や十勝沖において構造探査実験を行いプレート境界域の詳細な構造を推定した（東京大学地震研究所[課題番号：1403]、北海道大学[課題番号：1004]）。

大学と海洋研究開発機構は、平成13年度に東海沖から中部地方にかけての測線で行われた大規模な海陸合同構造探査により得られたデータの解析を進め、さらに、平成14年度には四国・中国域から鳥取沖までの測線で大規模な屈折・広角反射法地震探査を行った（東京大学地震研究所、京都大学防災研究所、名古屋大学、鳥取大学、九州大学、海洋研究開発機構）。

防災科学技術研究所と大学及び気象庁は、深部低周波地震と低周波微動の時空間分布を詳細に調査し、また短期的ゆっくり滑りや長期的ゆっくり滑りとの関係についても検討した（防災科学技術研究所[課題番号：3002、3007]、気象庁[課題番号：7001]、名古屋大学）。

大学は、比抵抗構造探査を行い、西南日本に沈み込む海洋プレートを高比抵抗帯としてイメージングすることに成功した（東京大学地震研究所）。また、紀伊半島において沈み込むプレート周辺の比抵抗構造を推定した（京都大学防災研究所[課題番号：1802]）。

大学は、地殻の粘弾性的性質を見積もるために水準測量、三角測量のデータから1891年（明治24年）濃尾地震（マグニチュード（M）8.0）の余効変動成分を抽出することを試みた（名古屋大学[課題番号：1701]）。また、大学は、数値モデルを用いて、島弧内応力の時空間変化と地震発生場における歪エネルギーの蓄積と解放過程についての検討を行った（京都大学防災研究所[課題番号：1801]）。さらに、大学は、三陸沖北部の領域においてプレート境界地震のモーメント解放量の時空間変化を調査した（弘前大学[課題番号：1101]）。

国土地理院は、GEONET（国土地理院が全国に展開しているGPS連続観測網）の整備を行い、全国に20～25km間隔の観測点1200点の配置が完了した。また、ほとんどの観測点か

らのデータ取得をリアルタイム化しサンプリング間隔も1秒とした（国土地理院〔課題番号：6004〕）。大学は、このGEONETデータに基づき、新しい構成則逆解析の手法を用いて日本列島のポアソン比分布の推定を行った（東京大学地震研究所〔課題番号：1402〕）。

海上保安庁海洋情報部は、沿岸域における海底活断層調査のため周防灘、仙台湾、加賀一福井沖、櫛形山脈断層帯に平行する海域において表層音波探査を実施した（海上保安庁〔課題番号：8002〕）。

（２）地震発生に至る準備・直前過程における地殻活動

ア．プレート境界域における歪・応力集中機構

○地震発生に至る過程の理解のための各種観測の実施

2003年（平成15年）に十勝沖地震（M8.0）が発生したため、大学は、この地震の余震観測を実施し（北海道大学〔課題番号：1004〕、東北大学〔課題番号：1201〕、東京大学地震研究所〔課題番号：1403〕）、この地震の余効滑りについてGPSと相似地震による解析を行い（東北大学〔課題番号：1201、1203〕）、さらに本震前の地震活動の変化（北海道大学〔課題番号：1003、1004〕）について詳細に検討した。

大学は、この十勝沖地震の余効滑りと2004年（平成16年）に釧路沖で発生した地震（M7.1）の関係を検討した（東北大学〔課題番号：1201〕）。また、大学と気象庁は、この2004年の釧路沖の地震の余震活動を検討（北海道大学〔課題番号：1004〕）するとともに、1961年（昭和36年）に同地域で発生したM7.2の地震との波形の相似性を検討した（気象庁〔課題番号：7001〕）。大学は、さらに2004年釧路沖の地震前後に高精度絶対重力測定を実施し、その結果とモデル値とを比較した（東京大学地震研究所〔課題番号：1403〕）。

2004年（平成16年）紀伊半島南東沖の地震（M7.4）の際には、大学は、海底余震観測を実施し（東京大学地震研究所〔課題番号：1403〕）、また紀伊半島において臨時GPS観測を実施した（京都大学防災研究所〔課題番号：1802〕）。さらに、大学は、紀伊半島西部において超長周期地磁気地電流（ULF-MT）観測を、また紀伊半島南部において広域地磁気地電流観測（ネットワークMT）を実施した（京都大学防災研究所〔課題番号：1802〕）。

2005年（平成17年）には、宮城県沖でM7.2の地震が発生した。大学と海洋研究開発機構及び気象庁は、この地震の余震観測を行って詳細な震源分布を求め（東北大学〔課題番号：1201〕、東京大学地震研究所〔課題番号：1403〕、海洋研究開発機構、気象庁）、また宮城県沖における過去の地震との比較検討を行った（東北大学〔課題番号：1204〕、気象庁〔課題番号：7001〕）。海上保安庁海洋情報部は、宮城県沖の海底基準局のデータの解析を行って定常的な変位速度について検討するとともに、この宮城県沖の地震に伴う変動を明らかにした（海上保安庁〔課題番号：8003〕）。

大学は、関東から南海沖（東京大学地震研究所〔課題番号：1403、1406〕）及び日向灘から奄美大島域（鹿児島大学〔課題番号：2201〕）にかけての相似地震活動の特徴を調べ、さらに紀伊半島から豊後水道にかけてのプレート境界近傍で発生する地震の規模別頻度分布を表す b 値の空間分布を調べた（高知大学〔課題番号：2001〕）。また、日向灘において海底地震観測を行い、その結果を用いて陸上観測点の観測点補正値を求めることにより、過去の地震の震源再決定もを行い、得られた結果から日向灘における応力場を求めた（九州大学〔課題番号：2101〕）。さらに、奄美大島ートカラ列島域で臨時地震観測を行い、既設観

測点のデータも合わせて詳細な震源分布と発震機構解を求めた（鹿児島大学 [課題番号：2201]）。

大学は、差分干渉合成開口レーダー解析の新技术である定常散乱体干渉合成開口レーダー（PSInSAR）法を用いて、東海地方の1年分の面的な変位を導いた（東京大学地震研究所 [課題番号：1403]）。一方、海上保安庁海洋情報部は、東南海・南海地震の発生が想定される海域において海底基準局による海底地殻変動観測を継続した（海上保安庁 [課題番号：8003]）。また、大学は、紀伊半島を縦断する測線でGPS観測を毎年実施し、プレート境界面上の詳細な滑り欠損分布を推定した（京都大学防災研究所 [課題番号：1802]）。

○大地震・ゆっくり滑りと地下構造との関係の解明に向けた観測研究

大学は、三陸沖と宮城県沖の過去の海底地震観測結果の再解析を行って、広域の速度構造の特徴を抽出し（東北大学 [課題番号：1201]）、また、2003年（平成15年）十勝沖地震（M8.0）の震源域周辺の地下構造（北海道大学 [課題番号：1004]）の調査を行った。

海洋研究開発機構は、東海沖～中部日本に至る海陸統合地殻構造調査観測データを解析して地下構造と長期的ゆっくり滑りとの関係を検討し（海洋研究開発機構 [課題番号：4001]）、また東南海地震震源域の掘削予定海域（紀伊半島沖）において実施した事前調査で、地震予知計画に資する分岐断層周辺域の海底地形情報等を取得した（海洋研究開発機構 [課題番号：4002]）。さらに、「東南海・南海地震の想定震源域におけるプレート形状等を把握するための構造調査研究」（文部科学省委託事業）により南海トラフ沿いで構造探査と地震観測を実施して、大地震の発生過程を規定すると考えられる構造の特徴を抽出した（海洋研究開発機構 [課題番号：4001]）。また、四万十帯における断層岩の分析も行った（海洋研究開発機構 [課題番号：4001]）。

一方、大学は、「大都市大震災軽減化特別プロジェクト（大大特）」（文部科学省委託事業）と連携して、紀伊半島を横断する地殻構造探査を実施した（東京大学地震研究所 [課題番号：1403]）。また、大学と防災科学技術研究所は、地震波形データを用いて西南日本の中国・四国地域におけるS波速度不連続面の分布を推定した（京都大学防災研究所 [課題番号：1802]、防災科学技術研究所 [課題番号：3001]）。

○ゆっくり滑り・深部低周波微動と大地震の関係の解明に向けたモデルの構築

大学は、東海地域の長期的ゆっくり滑りの再解析を行い（名古屋大学 [課題番号：1702]）、また1944年（昭和19年）東南海地震（M7.9）の発生前後の水準測量データの再検討を行った（名古屋大学 [課題番号：1702]）。

海洋研究開発機構は、南海トラフ沿いでの構造探査の結果に基づき、南海トラフで発生する大地震の再現を目的として、地球シミュレータを活用した地震発生サイクルのシミュレーションを実施した（海洋研究開発機構 [課題番号：4001]）。

防災科学技術研究所と気象庁は、深部低周波微動と短期的ゆっくり滑りとの関係を検討した（防災科学技術研究所 [課題番号：3002]、気象庁 [課題番号：7001]）。また、大学は、この深部低周波微動域近傍の地震波速度構造（東京大学地震研究所 [課題番号：1404]）と比抵抗構造（京都大学防災研究所 [課題番号：1802]）を調べ、これらの構造と深部低周波微動との関係を検討した。この低周波微動の研究を進めるために、気象庁は、低周波地震及び微動の発生位置と発震機構を推定する新しい手法を開発し（気象庁 [課題番号：7001]）、また、大学は深部低周波微動の周波数構造を、平均散逸スペクトル法という新しい解析法

を開発・適用して調べた（東京大学地震研究所 [課題番号：1404]）。

イ. 内陸地震発生域の不均質構造と歪・応力集中機構

○内陸の断層への応力集中機構の理解のための観測研究

大学は、2000年（平成12年）鳥取県西部地震（M7.3）の余震域を中心とした西南日本における合同観測を2002年（平成14年）から2年間かけて実施した（京都大学防災研究所、東京大学地震研究所、他）。2003年（平成15年）宮城県北部の地震（M6.4）の発生に際して、大学は余震観測を行い（東北大学[課題番号：1202]）、また国土地理院はこの地震に伴う地殻変動データの解析を行った（国土地理院 [課題番号：6030]）。

大学は、九州の日奈久断層近傍において総合地殻構造探査を合同で行った（九州大学、東京大学地震研究所、他）。さらに、この断層周辺で臨時地震観測とGPS観測を行って、地震波散乱体分布と速度構造を推定し、断層の固着状況について検討を行った（九州大学 [課題番号：2102]）。また、活断層の浅層構造の解明のために、日本海東縁の歪集中帯に位置する庄内平野東縁断層帯において反射法地震探査を実施した（東京大学地震研究所 [課題番号：1404]）。

産業技術総合研究所は、跡津川断層で微小地震観測を実施し、得られた震源分布や速度構造、発震機構解等から跡津川断層の強度分布についての検討を行った（産業技術総合研究所 [課題番号：5001]）。大学は、平成16年度から5か年の計画で跡津川断層周辺とそれを取り囲む広域の地域で合同観測を実施している（東京大学地震研究所 [課題番号：1404]、京都大学防災研究所 [課題番号：1803]、名古屋大学 [課題番号：1703]、北海道大学 [課題番号：1005]、弘前大学 [課題番号：1102]、東北大学 [課題番号：1202]、東京工業大学 [課題番号：1601]、九州大学 [課題番号：2102]）。断層西部領域では、現地収録型記録装置を用いた稠密な自然地震観測と、発破を用いた制御震源地殻構造探査も行った（東京大学地震研究所 [課題番号：1404]）。また、立山カルデラにおいては、現地収録方式の地震観測を実施し、他のデータとも併せて詳細な震源分布を推定した（京都大学防災研究所 [課題番号：1803]）。さらに、防災科学技術研究所は、跡津川断層東部の断層ガウジ（断層帯内の細粒破砕物）を用いて、深さ7km程度に相当する高温・高圧下での摩擦実験を行った（防災科学技術研究所 [課題番号：3003]）。

大学、気象庁、国土地理院等は、2004年（平成16年）新潟県中越地震（M6.8）の余震観測やGPS観測、及び震源域近傍の地震波速度構造探査や比抵抗構造探査等を実施した（東京大学地震研究所 [課題番号：1404、1422]、東北大学 [課題番号：1202]、京都大学防災研究所 [課題番号：1803]、九州大学 [課題番号：2102]、北海道大学 [課題番号：1005]、弘前大学 [課題番号：1102]、東京工業大学 [課題番号：1601]、名古屋大学 [課題番号：1703]、鳥取大学 [課題番号：1902]、気象庁 [課題番号：7001]、国土地理院 [課題番号：6030]）。

大学は、2005年（平成17年）福岡県西方沖の地震（M7.0）の合同余震観測を実施した（九州大学 [課題番号：2102]、東京大学地震研究所 [課題番号：1403]、京都大学防災研究所 [課題番号：1803]、東北大学）。また、国土地理院は、この地震について地殻変動データの解析を行った（国土地理院 [課題番号：6030]）。

大学は、内陸で発生した大地震の余震観測データの解析や比抵抗構造再解析を行い、ま

た粘弾性要素モデルを用いて、下部地殻の局所的な変形による断層への応力集中という仮説の検証を行った（京都大学防災研究所[課題番号：1801]）。

○弾性歪と非弾性歪を区別するための応力と歪の測定

大学は、Hi-net の観測点のボーリングコア試料を用いた応力測定に基づき東北地方の応力場の特徴を抽出し（東北大学 [課題番号：1202]）、また、応力変化を反映すると考えられている全磁力の観測を伊豆半島北東部で継続した（東京工業大学 [課題番号：1603]）。気象庁は、日本列島全域における応力変化を全磁力からモニターする体制を構築するために、国内6か所において全磁力精密連続観測を継続した（気象庁 [新規]）。

防災科学技術研究所は、1995年（平成7年）兵庫県南部地震（M7.3）で活動した野島断層について、その近傍で地震直後に測定した応力データと地震時の断層滑りモデルを用いて、地震前の応力状態と断層強度を推定し、またこの状況での地震時の断層滑り過程を再現する数値実験を行った（防災科学技術研究所 [課題番号：3003]）。

国土地理院及び大学は、国内で大地震が発生するたびに、その大地震やその余効変動に伴う地殻変動の観測・解析を行った（国土地理院 [課題番号：6030]）。

○流体の分布・挙動・役割の推定

大学は、北海道弟子屈地域において重力探査と広帯域地磁気地電流（広帯域MT）観測を行い、得られた重力異常と比抵抗構造及び地質構造を比較した（北海道大学 [課題番号：1005]）。東北地方中央部で脊梁を東西に横断する長測線の比抵抗構造を求め、この結果を基に岩盤の含水率分布を推定し、また地震波速度構造や震源分布、歪速度分布等と比較した（東北大学 [課題番号：1202]）。さらに、1914年（大正3年）秋田仙北地震（M7.1）の震源域周辺（秋田大学 [課題番号：1301]）や島根県東部（京都大学防災研究所、鳥取大学、東京大学地震研究所、東京工業大学）でも広帯域MT観測を行って比抵抗構造を求めた。トルコ北アナトリア断層西部域で、長周期成分を重視した地磁気地電流観測を行い、浅部から深部までの比抵抗構造を求めた（東京工業大学 [課題番号：1602]）。紀伊半島において広域地磁気地電流（ネットワークMT）観測を行い、比抵抗構造と低周波微動との関係を検討した（東京大学地震研究所 [課題番号：1404]）。さらに、三次元比抵抗構造解析プログラムを開発し、三宅島で得られたデータの解析を行った（東京大学地震研究所 [課題番号：1404]）。また、糸魚川－静岡構造線断層帯南部（東京工業大学 [課題番号：1601]）において浅部比抵抗構造を推定した。防災科学技術研究所も、跡津川断層における浅部比抵抗構造を推定した（防災科学技術研究所 [課題番号：3003]）。

1995年（平成7年）兵庫県南部地震（M7.3）を発生させた野島断層において断層の強度回復過程を調べるために、大学は注水実験を始めとする各種実験観測を行った（京都大学防災研究所 [課題番号：1804]）。

ウ. 地震発生直前の物理・化学過程

○震源核形成・拡大過程の理解を深めるための観測研究

大学は、採掘に伴って生じる小規模な地震の発生前後に生じる現象を近傍でとらえるために、南アフリカ金鉱山において歪・地震等の総合観測を行った（京都大学防災研究所 [課題番号：1805]）。また、この金鉱山で実施されている、地震波解析から地震前の応力変化を推定する手法を日本の群発地震にも適用した（京都大学防災研究所 [課題番号：1805]）。

○地殻内流体の移動と地震発生の関係を探るための観測研究

防災科学技術研究所は、長野県西部で微小地震観測を継続して断層近傍の微細構造を推定し、流体と地震発生との関係を議論した（防災科学技術研究所 [課題番号：3004]）。

大学は、伊豆半島東部において地電位差、比抵抗、全磁力及び重力の観測を行って、群発地震の発生とこれらの変化を調べ（東京大学地震研究所 [課題番号：1405]）、また、2004年（平成16年）9月1日の浅間山の噴火後、地殻内流体の移動をとらえるために絶対重力の連続観測を実施した（東京大学地震研究所 [課題番号：1405]）。

大学は、地震発生前の電磁氣的異常現象の発現の有無を検証するために、2003年（平成15年）十勝沖地震の震源域周辺のえりも地域において広帯域地磁気地電流探査及び超長周期地磁気地電流観測を行った（北海道大学 [課題番号：1006]）。また、地震前にVHF波の散乱状況が変化するか否かを検証する観測も行った（北海道大学 [課題番号：1006]）。

大学と気象庁は、東海地方・伊豆地方においてプロトン磁力計による観測を行って、群発地震活動や東海地域でのゆっくり滑りと磁力変化との関係を検討した（東京大学地震研究所 [課題番号：1405]、気象庁 [課題番号：7002]）。また、気象庁は伊豆半島東部の磁力観測点近傍において自然電位の測定を行い、熱水対流系の存在について検証した（気象庁 [課題番号：7002]）。

エ. 地震発生サイクル

○大地震発生に関する統計学的モデルの高度化を目指した研究

大学は、1973年（昭和48年）根室半島沖地震（M7.4）と1894年（明治27年）根室沖地震の違いを明らかにするために、鮎川検潮所の記録の詳細な解析を行った（北海道大学 [課題番号：1007]）。また、産業技術総合研究所は、北海道の津波痕跡物の解析から、過去に発生した巨大地震の繰り返しについて検討した（産業技術総合研究所 [課題番号：5003]）。

大学は、別府湾で断層ごとに詳細な音波探査を行い、地震の発生時について検討を行った（東京大学地震研究所 [課題番号：1406]）。また、大分県佐伯市米水津（よのうづ）の間越（はごこ）龍神池において、南海地震履歴解明のためコア試料を採取して解析を行った（東京大学地震研究所 [課題番号：1406]）。さらに、三陸海岸や常磐海岸北部においても、過去の津波痕跡物を調査して巨大地震の繰り返しについて検討を行った（東京大学地震研究所 [課題番号：1406]）。産業技術総合研究所は、チリにおいて、1960年のような巨大地震が過去にどのように繰り返されてきたのかを調査検討した（産業技術総合研究所 [課題番号：5003]）。

産業技術総合研究所は、日本の主要活断層について、その分布と活動履歴に関する既存研究資料を整理し、活断層のセグメント区分を行い、従来の「起震断層」の考え方の妥当性を検討した。（産業技術総合研究所 [課題番号：5002]）。また、糸魚川ー静岡構造線活断層系の松本市付近において、詳細な地形判読とトレンチ調査を行い、さらにトルコの北アナトリア断層系における1943～1944年の地震断層及び中国の富蘊（Fuyun）断層系における1931年の地震断層において、地震断層の地表変位計測を詳細に実施し、微細なセグメント構造を解明した（産業技術総合研究所 [課題番号：5002]）。

○地震発生サイクルとその揺らぎを作り出す物理学的モデルの構築

大学は、「釜石沖の M4.8±0.1 の地震の再来間隔の揺らぎは、周囲のゆっくりとした滑りの擾乱によって生じる」という仮説の検討を行った（東北大学 [課題番号:1203]）。また、相似地震の震源位置について、様々な手法で検討を行った（東北大学 [課題番号:1203]）。さらに、大学と気象庁は、過去の大地震と最近発生した地震の波形や余震分布の比較を行った（東京大学地震研究所 [課題番号:1407]、気象庁 [課題番号:7001]、東北大学 [課題番号:1204]）。また、海洋研究開発機構は、近接した複数のセグメントが、ときには同時に破壊して大きな地震が発生したり、ときには別々に発生したりする状況について数値シミュレーションで再現することを試みた（海洋研究開発機構 [課題番号:4001]）。

産業技術総合研究所は、複雑な断層帯の破壊伝播を動的破壊シミュレーションで検討した。また、摩擦構成則に基づく応力-地震活動反応特性を用いた地震活動の時空間モデルの最適化手法を南カリフォルニアの過去の地震活動データに適用して、地震活動の予測可能性について検討した。また、その逆過程解析手法を東海地域の微小地震発生に当てはめ、ゆっくり滑りに伴う応力変化と微小地震活動の関係を検討した（産業技術総合研究所 [課題番号:5002]）。

（3）地震破壊過程と強震動

ア. 断層面上の不均質性

大学は、精度の高いアスペリティ分布を得るために、地下構造モデル及び断層形状をより現実的なものに改良するとともに、新たなデータとして毎秒取得される GPS データを用いた解析を行った。

大学は、滑りの不均質と断層面周辺の数値構造との関連を調べるために、二重差 (DD) トモグラフィにより速度構造を求めた。また、滑りの不均質と断層面周辺の強度及び応力状態との関係を調べるために、発震機構解の詳細な分布や b 値などの地震活動度の特徴を調べた。産業技術総合研究所は、断層滑りによる発熱を推定するために、ボアホール用温度測定装置の開発を行った。

産業技術総合研究所は、断層の形状を詳細に調べるために、制御震源及び自然地震による構造探査を実施した。

イ. 地震波伝播と強震動予測

大学及び産業技術総合研究所は、強震動生成予測の向上のために、計算手法の開発及びモデル化手法の改良を行った。

大学と海洋研究開発機構は、高精度の波動伝播と強震動シミュレーションの実用化のために、ベクトル・並列スーパーコンピュータに適合した大規模高速計算コードを開発した。また、産業技術総合研究所は、精密な平野の地下構造を考慮したシナリオ地震の地震波伝播シミュレーションを実施した。

防災科学技術研究所は、全国を概観する地震動予測地図を高度化するための研究を実施した。

（4）地震発生の素過程

ア. 摩擦・破壊現象の物理・化学的素過程

摩擦・破壊現象の物理・化学的素過程を解明するために以下の実験的研究を実施した。大学及び産業技術総合研究所は、高温高压下における摩擦・破壊構成則を求めるための実験を実施した。大学は、大変位及び高速滑りにおける摩擦溶融実験を実施した。また、震源核と地震モーメントのスケーリングに関する理論的研究を実施した。大学及び海洋研究開発機構は、弾性波照射による断層面のモニタリングに関する実験的及び理論的研究を実施した。

また、破壊と地殻内流体との相互作用の解明のため次のような研究を実施した。大学は、岩石破壊実験により微小破壊に伴うメタン等の放出を調べるとともに、実際の断層における放出ガスの化学的分析を行った。産業技術総合研究所は、破壊に対する溶存ガスの影響を調べた。また、大学及び産業技術総合研究所は、岩石の微小破壊に伴う電磁放射を調べた。

イ. 地殻・上部マントルの物質・物性と摩擦・破壊構成則パラメータ

地殻・上部マントルの物質・物性と摩擦・破壊構成則パラメータを得るために、次のような実験的研究を実施した。大学は、高温高压下における弾性波速度及び電気伝導度測定法の改良を行うとともに、蛇紋岩等の岩石の弾性波速度及び電気伝導度を測定した。産業技術総合研究所は、流体存在下における弾性波速度と透水係数の同時測定を、高温高压下でかつ間隙水圧を制御した状態で行った。大学は、高压下における亀裂内の水の挙動の実験的研究を実施した。また、震源域の構造を保存していると思われる断層帯の調査を実施した。

1. 3. 成果

(1) 日本列島及び周辺域の長期広域地殻活動

ア. 日本列島及び周辺域のプレート運動

GPS (北海道大学[課題番号: 1001]、東京大学地震研究所[課題番号: 1401]、国土地理院[課題番号: 6002]) や VLBI (国土地理院[課題番号: 6001])、SLR (海上保安庁[課題番号: 8001]) によって、日本列島周辺の詳細なプレート運動が明らかになりつつある。南太平洋地域に設置した GPS 観測点のデータに加えて、その他の国際協力観測点のデータも併せて解析したところ、太平洋プレート内部では有意な変形は認められないことも明らかになった (国土地理院[課題番号: 6002])。また、東アジアから南アジアにかけての既存の GPS データを統合し、複数のブロックの動きと変形によってモデル化したところ、アムールプレートはユーラシアプレートとは異なった動きをしていることが確かめられたが、南中国ブロックとの運動の違いは明瞭ではないことが明らかになった (東京大学地震研究所[課題番号: 1401])。

イ. 列島規模のプレート内の構造と変形

Hi-net や大学の地震観測網のデータを用いたトモグラフィや海陸の構造探査実験、及び変換波の解析により、沈み込むプレートの位置・形状が、速度構造境界として高精度で推定された (防災科学技術研究所[課題番号: 3001、3008]、東北大学[課題番号: 1202]、京

都大学防災研究所[課題番号:1802]、鹿児島大学、東京大学地震研究所[課題番号:1403]、北海道大学[課題番号:1004])、東京大学地震研究所、京都大学防災研究所、名古屋大学、鳥取大学、九州大学、海洋研究開発機構)。フィリピン海プレート内の地震は、場所によって海洋性地殻内で発生している地域と海洋マントル内で発生している地域があることが確認された(防災科学技術研究所[課題番号:3001]、東京大学地震研究所)。このことは、これまでのように単純に地震の震源分布からプレート境界の形状を推定してはいけないことを示している。

地震波速度・減衰構造の推定結果によれば、浜名湖付近では沈み込むプレート内で発生する地震活動の直上に V_p/V_s 比 (P波速度とS波速度との比)の大きな領域が存在し、その一部と深部低周波微動活動域が一致することが判明した。また、紀伊半島直下の比抵抗構造を推定した結果によれば、低周波微動震源域は低比抵抗となっている(京都大学防災研究所[課題番号:1802])。これらのことは、流体と深部低周波微動とに関係があり、低周波微動発生域では、沈み込むプレートから陸のプレートに流体が供給されていることを強く示唆する(防災科学技術研究所[課題番号:3001、3002])。

GEONET データに構成則逆解析の手法を適用して解析したところ、歪集中帯の生成原因として、その地域ではポアソン比が高い可能性が示された(東京大学地震研究所[課題番号:1402])。一方、下部地殻において局所的に弱い領域があれば、その上部に応力を集中させ、かつ地震発生間隔をプレート境界型地震の再来間隔よりもずっと長くできることが数値モデルから推定された(京都大学防災研究所[課題番号:1801])。このモデルはまだ極めて単純であるが、内陸の地震発生域への応力集中過程を説明できる可能性がある。

(2) 地震発生に至る準備・直前過程における地殻活動

ア. プレート境界域における歪・応力集中機構

2003年(平成15年)十勝沖地震(M8.0)の発生から14ヶ月遅れて、2004年(平成16年)に釧路沖でM7.1の地震が発生した。このM7.1の地震は1961年(昭和36年)のM7.2の地震と波形がよく似ており、同一のアスペリティの破壊による地震と推定され(気象庁[課題番号:7001])、2003年十勝沖地震の余効滑りが、釧路沖のM7.1の地震の発生を促進したと考えられる(東北大学[課題番号:1201])。このことはアスペリティ・モデルで説明可能であり、余効滑り等のゆっくりとした滑りをモニターすることが、地震予知にとって重要であることも示している。

宮城県沖に設置した海底基準局は、普段は約8cm/年の速度で西北西に移動しているが、2005年(平成17年)の宮城県沖の地震(M7.2)の発生に伴って、東方へ約10cm動いたことが推定された(海上保安庁[課題番号:8003])。この観測結果は、陸上のGPS観測データから推定された断層モデルからの計算値とよく一致しており、海底地殻変動観測の信頼度を示すものとなっている。

三陸沖から宮城県沖にかけて地震波速度構造を推定した結果、沈み込む海洋性地殻を低速度層としてとらえることに成功した(東北大学[課題番号:1201])。さらに、プレート境界型の大地震が発生する領域では、プレート境界直上の地震波速度が大きく(東北大学[課題番号:1201])、また、宮城県沖ではプレート境界の傾斜角が急変する場所が、プレート境界型地震のセグメント境界となっている可能性が高い(東京大学地震研究所[課題

番号：1403]) ことが示されるなど、速度構造と地震活動の関係が明らかになってきた。

紀伊半島沖の構造探査の結果、東南海地震と南海地震の震源域境界において、沈み込んだ海洋地殻が破碎されており、かつ上盤側に高速度・高密度のブロックが存在していることが明らかになった(海洋研究開発機構 [課題番号：4001])。一方、GPS 観測から、この紀伊半島の先端直下ではプレート境界の固着が小さいことが示された(京都大学防災研究所 [課題番号：1802])。これらの結果は、紀伊半島の先端に異常構造が存在しており、そのためにプレート間の固着の不均質が生じてセグメント境界となっている可能性を示している。また、このような固着の不均質やプレート境界の形状の不均質により、プレート境界の特定の場所に応力が集中しやすくなり、そこが破壊の開始点となりやすいこともシミュレーションによって示された(海洋研究開発機構 [課題番号：4001])。

深部低周波微動域は、地震性領域と非地震性領域の遷移域に位置しており、東海地域で観測された長期的ゆっくり滑りの滑り域の下端に位置していることが判明した(名古屋大学 [課題番号：1702])。この深部低周波微動は、一般に短期的ゆっくり滑りを伴っており、かつ微動も短期的ゆっくり滑りも約 10km/日程度の速度で移動する場合があることも明らかになった(防災科学技術研究所 [課題番号：3002])。低周波微動震源域近傍では、 V_p/V_s 比が大きく(東京大学地震研究所 [課題番号：1404])、また低比抵抗域となっている(京都大学防災研究所 [課題番号：1802]) ことが多い。これらのことは、微動の発生に流体が関わっていて、プレート境界における間隙圧が高い可能性を強く示唆する。

イ. 内陸地震発生域の不均質構造と歪・応力集中機構

跡津川断層の浅部で、地震活動が低調で、ゆっくりと滑っていると考えられていた領域は、実際は固着している可能性が高いことが GPS 観測から示された([名古屋大学 [課題番号：1703])。この地震活動度が低く地震発生域の下限が深い領域の少なくとも東半分は、高比抵抗(京都大学防災研究所 [課題番号：1803]) で、地震波速度も高速度(東京大学地震研究所 [課題番号：1404]) となっているため、この部分は現在は固着していて将来の大地震震源域となる可能性が高いと考えられる。一方、地震観測の結果、断層の深部延長では強度が小さくかつ低速度となっている可能性が高いことが分かってきた(産業技術総合研究所 [課題番号：5001]、東京大学地震研究所 [課題番号：1404]、東北大学 [課題番号：1202])。これまで、大地震震源域の深部延長の下部地殻は、局所的に周りより強度が小さくて変形しやすくなっているとする仮説が提案されていた(京都大学防災研究所 [課題番号：1801]、東北大学 [課題番号：1204]) が、上記の跡津川断層の観測結果はその仮説を支持している。

2004 年(平成 16 年)新潟県中越地震(M6.8)に際しては、その発生直後から臨時観測が行われ、震源分布と地震波速度構造及び比抵抗構造が詳細に調べられた(東京大学地震研究所 [課題番号：1404、1422]、東北大学 [課題番号：1204]、京都大学防災研究所 [課題番号：1803]、九州大学 [課題番号：2102])。本震の震源断層は、西北西に傾き下がり、その上盤側が低速度・低比抵抗、下盤側が高速度・高比抵抗となっており、その構造境界で本震が発生したことが明らかになった。本震の震源(破壊開始点)付近を境にして、速度構造は北と南でやや異なっており、余震の発震機構解の最大主圧縮軸方向も破壊の開始点付近で変化している(東京大学地震研究所 [課題番号：1404])。本震と余震域中央部の

大きな余震は破壊が深部から始まっているが、余震域北端と南端付近の大きな余震は浅部から破壊が始まっており（京都大学防災研究所〔課題番号：1803〕）、余震域の端付近では発震機構解もばらつきが大きくなっている（弘前大学〔課題番号：1102〕）。さらに、下部地殻の深さ 20km 付近に見られる地震波反射面は、本震が発生した辺りで浅くなっている（九州大学〔課題番号：2102〕）。以上の特徴は、断層の深部延長が弱面となっているとする従来のモデルに加えて、断層中央部の深部延長では特に強度が弱く、そのすぐ上の脆性領域で応力集中がしやすくなっていたために、そこから破壊が始まった、と考えると説明ができる（京都大学防災研究所〔課題番号：1801、1803〕）。

余震の発震機構解から推定された応力の主軸方向の分布から、1984 年（昭和 59 年）長野県西部地震（M6.9）の断層深部延長では、非地震性滑りを生じている可能性が高く、また 2000 年（平成 12 年）鳥取県西部地震（M7.3）の断層北部では、強度が大きい可能性が高いことが分かった（京都大学防災研究所〔課題番号：1801〕）。前者は、前述の震源域深部延長の局所的変形という仮説を支持している。この仮説に基づく粘弾性要素モデルによるシミュレーションを行ったところ、上部地殻の破壊強度が大きい領域ほど下部地殻の断層帯の変形速度が小さくなるという結果が得られた。このシミュレーション結果と、上記の鳥取県西部地震の断層北部の強度と併せて考えると、歪速度の小さな鳥取県西部のような地域で大地震が発生した理由が、上記の仮説でも説明できることになる（京都大学防災研究所〔課題番号：1801〕）。

ウ. 地震発生直前の物理・化学過程

南アフリカ金鉱山における地震・歪観測によって、ゆっくりとした歪ステップの前に前駆的な歪変化が発見された（京都大学防災研究所〔課題番号：1805〕）。これらは地震としては検知されていないことから、小さなゆっくり滑りの前駆的な滑りをとらえたことに相当すると考えられる。この前駆的な変化は摩擦構成則に基づく数値シミュレーションから得られる前駆的滑りに伴う挙動に極めてよく似ており、数値シミュレーションで予測されていた前駆的滑りが実際の場合でも生じている可能性が高いことが示されたことになる。また、この金鉱山では、地震波形解析に基づいて岩盤の応力変化を推定して地震発生予測が行われているが、その手法の日本の群発地震に適用したところ、規模の大きな地震に先立ち応力の低下が示唆される結果も得られている（京都大学防災研究所〔課題番号：1805〕）。

エ. 地震発生サイクル

2003 年（平成 15 年）十勝沖地震（M8.0）と 1952 年（昭和 27 年）十勝沖地震（M8.2）の震源過程の比較により、少なくとも 1952 年の破壊の前半部分と 2003 年の破壊域はよく一致していることが分かった（東京大学地震研究所）。このことはアスペリティ・モデルに基づく地震の再来の考え方が、基本的には正しいことを示している。

一方、1894 年（明治 27 年）に発生した根室沖の地震と 1973 年（昭和 48 年）根室半島沖地震（M7.4）について、津波波形データから比較解析を行ったところ、1894 年の地震の方が、1973 年の地震よりも規模が大きく、かつプレート境界深部にまで断層面が存在している可能性が高いことが分かった（北海道大学〔課題番号：1007〕）。宮城県沖についても、1978 年（昭和 53 年）の宮城県沖地震（M7.4）では、三つのアスペリティが同時に破壊さ

れたものの、1930年代には数年の間隔で順繰りに破壊された可能性が高いことが明らかになった（東北大学 [課題番号：1204]）。これらのことは、アスペリティの破壊の組み合わせが、必ずしも毎回同一とは限らず、ときには広域にアスペリティが連動破壊し、ときには単独で破壊する可能性があることを示している。

2004年（平成16年）のインドネシア・スマトラ島沖大地震（M9.0：米国地質調査所による）は、アスペリティが非常に広域に連動破壊した巨大地震であったが、このような連動型の巨大地震がチリや北海道（産業技術総合研究所 [課題番号：5003]）、三陸沖（東京大学地震研究所 [課題番号：1406]）でも、数百年～千年程度の間隔で繰り返し生じていたことが明らかになった。さらに、南海トラフでも、大津波を発生させた1707年の宝永地震と同様の地震が、500年程度の間隔で過去に発生していたことも明らかになった（東京大学地震研究所 [課題番号：1406]）。

（3）地震破壊過程と強震動

ア. 断層面上の不均質性

地震時の滑り分布の不均質性をより精密に解析するために、新たなデータの利用や地下構造モデルの精密化など、解析の高度化が進められた。データとしては、地震計のデータや測地データに加え、1秒間隔で取得されるGPSデータを利用した解析が行われた。また、解析手法においても、二次元や三次元構造を用いた地震波伝達関数（グリーン関数）を用いるとともに、非平面の断層面形状の導入がなされた。その結果、プレート境界の地震だけでなく、内陸の地震に関しても、従来より詳細に地震時の滑り分布が得られるようになった。

一方、2003年十勝沖地震で求められた滑り分布を基に強震動シミュレーションを行うと、実際の強震動記録より小さくなるなど、長周期地震波形のインバージョンから求められた震源モデルを、短周期の強震動評価に用いる場合の新たな課題が提起された。

また、断層面周辺の数値構造不均質及び余震のb値や発震機構解の解析による応力状態が得られ、地震時の滑り分布との比較検討が可能となった。滑りの大きい領域は地震波速度の大きな領域に位置している傾向が高いことが明らかになりつつあり、アスペリティ位置の推定の足がかりが得られようとしている。また、制御震源及び自然地震を用いた構造調査が進められ、活断層の詳細な形状が明らかになりつつある。

イ. 地震波伝播と強震動予測

地震波伝播計算コードの最適化を行い、地球シミュレータのベクトル化・並列化機能をほぼ極限まで活かした強震動の大規模計算が可能となった。その結果、精密な平野の地下構造を用いた強震動シミュレーションが可能となり、現実の強震動記録の特徴を再現できるようになった。また、広帯域かつ線形・非線形計算を用いた強震動予測計算を実施し、大阪平野の精密な地下構造を考慮したシナリオ地震による強震動予測地図が作られた。

震源における強震動発生予測に関しては、マルチスケール不均質を導入して震源モデルの改良が進められ、短周期地震動の放射特性を適切に表した現実に近い強震動計算が可能となった。このことは、多様なスケールを持つ構造物の被害に対応した広帯域強震動の評価のために、特に重要である。

(4) 地震発生の素過程

ア. 摩擦・破壊現象の物理・化学的素過程

地震発生におけるアスペリティの実体を解明するためには、断層の摩擦や破壊現象を理解する必要がある。やや深発地震の発生機構に関連していると考えられる蛇紋岩の変形実験を行い、地震発生領域に対応する高温高压下における脱水反応を伴う変形特性を明らかにした。また、高速・大変位滑りによる岩石の摩擦溶融実験が行われ、溶融開始から全溶融に至る過程を実現し、溶融に伴う摩擦特性の変化を明らかにしつつある。

一方、透過弾性波と摩擦強度との関連に関する研究が進められ、透過弾性波の振幅は摩擦強度を表す断層固着状態を反映していることが明らかになった。地震の直前予知のためには、地震発生に先行するゆっくりとした滑りである前駆的滑りの検出が重要であると考えられているが、前駆的滑りによる断層面の固着状態の変化を、歪だけではなく断層面を透過する弾性波の振幅によって検出できる可能性を示した意義は大きい。

地震直前の地殻活動に伴うガスの放出のメカニズムが実験的に調べられ、岩石の微小破壊により放出されるメタンなどのガスの組成は全岩組成と一致することが確認された。微小地震が多発している跡津川断層帯における測定で、水素が破碎帯から多量に発生していることが明らかになった。地震直前の地殻活動に伴う電磁気現象については、岩石内の微小破壊に伴う電磁放射の実験が行われ、電磁放射と含水の程度との関係は少ないこと、また石英等の鉱物と電磁放射との関係が解明されつつある。

イ. 地殻・上部マントルの物質・物性と摩擦・破壊構成則パラメータ

プレート境界の摩擦特性に大きな影響を及ぼしていると考えられている蛇紋岩の弾性波速度に関する研究が行われた。これまでの研究は、常温での測定であり、かつ低温型(クリソタイル、リザーダイト)なのか高温型(アンチゴライト)なのか区別されていない、という問題があった。常温での測定ではあるが、高温型と低温型を区別して、蛇紋岩化の程度の異なる多くの試料について系統的に V_p と V_s の測定を行った。また、アンチゴライトに関しては、1 GPa における P 波速度の温度依存性が得られた。蛇紋岩の電気伝導度については、変形度によって磁鉄鉱の連結が変わり、様々な値をとることが分かった。野外における断層物質の調査では、脆性・塑性遷移帯よりも深部で摩擦溶融岩(シュードタキライト)の形成を確認した。

1. 4. 今後の展望

(日本列島及び周辺域の長期広域地殻活動)

プレート運動については、モンゴルやロシアに設置した観測点のデータがようやく蓄積され始めたところであり、今後十分なデータが蓄積されれば、オホーツク海プレートやアムールプレートの存在の有無や境界位置、運動特性等について重要な情報が得られると期待される。これらのデータを、GEONET やその他の各宇宙技術によるデータとも統合し、日本列島のみならずその周辺の変位速度場を明らかにして、これらの周辺のプレート運動の中で日本列島を理解することにより、日本の地震発生シミュレーションモデルは更に高度

化できると考えられる。

列島規模のプレート内の構造と変形については、Hi-net や臨時的・機動的な高密度の地震観測網により、大局的な構造だけでなく、沈み込むプレートや陸のプレート内の詳細な構造も明らかになりつつある。GPS 観測データからプレート境界の固着状況を推定する場合にはプレート境界の位置・形状を仮定しているため、もし、この位置・形状が間違っていれば、推定された滑り欠損分布も信頼できないことになる（京都大学防災研究所 [課題番号：1802]）。さらに、プレート境界の位置・形状は、プレート境界型地震の発生過程に大きな影響をもたらすことが分かってきており（名古屋大学 [課題番号：1704]、海洋研究開発機構 [課題番号：4001]）、これらの情報は地震の長期予測において極めて重要である。今後はこのような構造推定の研究を推進するとともに、推定された詳細な構造を統合し、列島全体を俯瞰した構造及び変動の不均質性を詳細に調べ、内陸における応力・歪集中と構造の関係について共通点を抽出し、モデル化を推進する必要がある。

削除: 等

削除: 高密度な

一方、深部低周波微動と構造の関係も明瞭になってきており、その結果は深部低周波微動と流体との関係を強く示唆している。また、この低周波微動域が、地震性領域と非地震性領域の遷移域に位置していることは、プレート境界の地震性から非地震性への変化にも流体が関係していることを示唆している。この流体は、沈み込んだ海洋プレート内の岩石の脱水によって放出されたと考えられ、この脱水反応は、海洋プレート内の地震と密接に関わっていると考えられる（東北大学）。つまり、海洋プレート内部の地震活動とプレート境界の地震活動は、流体を介在して相互に関連している可能性がある。今後、そのような観点から海洋プレート内部の地震も研究対象に含めた研究を推進することが必要と考えられる。

（地震発生に至る準備・直前過程における地殻活動）

プレート境界においては、アスペリティの周囲のゆっくりとした滑りの進行によりアスペリティに応力が集中し地震に至るというアスペリティ・モデルの検証が進んだ。このゆっくりとした滑りの加速が大地震の発生を促進する事例も蓄積されてきており、この滑りの加速の検知が中期的・短期的予知にとって重要となってきた。このためには、GPS や相似地震、海底地殻変動観測及びそのデータ解析のより一層の高度化が必要である。

過去の大地震の記録が無ければ、このようなアスペリティの位置を推定することは困難であったが、三陸沖から宮城沖にかけての領域で見られたように、地震波速度構造とプレート境界のアスペリティ及び破壊の停止域との関連が明らかになりつつあり、このような研究を今後も推進する必要がある。また、紀伊半島沖が、固着状況やプレート形状の不均質により応力集中が生じて破壊の開始点になりやすい場所となっていることが示されたことにより、破壊の開始点も構造探査によりある程度推定できる可能性が出てきている。

内陸についても、断層の深部延長が弱帯となっているとするモデルの検証が進みつつある。さらに、弱帯の中でも最も弱い部分の直上で応力が集中して、そこから地震の破壊が開始する可能性も指摘された。つまり、大地震の発生位置だけでなく、破壊の開始点の位置も断層深部延長の強度に規定されている可能性が出てきた。今後、跡津川断層や新潟県中越地震震源域で行われたような、地震・GPS・比抵抗等についての総合観測を他の地域でも実施し、モデルの高度化を進める必要がある。

岩石実験や摩擦構成則による数値シミュレーションでは、地震の発生直前には震源核と呼ばれるゆっくりとした滑りが生じることが示されており、これが直前予知の可能性の根拠として位置付けられていたものの、この震源核を歪計によって明瞭にとらえた例はなかった。この意味で、南アフリカ金鉱山において、ゆっくり滑りではあるものの、その前駆的变化が歪計でとらえられたことは、地震の直前予知にとって極めて重大な意味を持つ。一方、通常の地震の前には、このような前駆的異常は検知されておらず、今後、この前駆的变化の特徴を解明していき、理論的な震源核と比較することによって、どのような条件の場合に前駆的異常が生じるのかを明らかにしていくことが必要である。

前述のとおり、少なくともプレート境界型地震の発生は、アスペリティ・モデルで説明可能であり、地震の発生位置や規模は決してランダムではないということが示されたのは地震予知研究の上で、大きな進歩である。しかし、地震時に破壊されるアスペリティの組み合わせは必ずしも毎回同一とは限らず、これが地震発生サイクルの揺らぎの原因となっていることも分かってきた。ときには非常に広域に連動破壊することも明らかになってきており、今後、実際の活動履歴を詳細に調べると同時に、どのような条件のときに、どのように連動するのかを、シミュレーション等から解明することも重要となっている。

（地震破壊過程と強震動）

地震の破壊過程の詳細を明らかにするために、現実的な三次元構造の導入、構造モデルの逆解析などの、地震波伝達関数の精度を高める様々な手法を開発するとともに、1秒間隔で取得されるGPS変位データ等、新しい種類のデータセットの導入が図られた。これら高精度化された解析手法によりアスペリティの詳細分布を得ることができるようになった。さらに、断層近傍の地震波速度や地震活動と滑り分布との関係が明らかになりつつあり、この関係から将来発生する地震のアスペリティを推定することによって、より高精度な強震動予測を実現する可能性が見いだされつつある。しかし、2003年十勝沖地震のように滑り量の大きなアスペリティと強震動生成域が、必ずしも一致しない場合も認められるため、今後も地下構造の不均質性や断層滑りの不均質性を含めた詳細な研究が必要となる。

強震動シミュレーションコードの改良によって、地震被害に強く結びつく短周期地震波を含むより現実的な強震動シミュレーションが可能になった。その結果、地下構造モデルの改良と相まって、特に堆積平野における強震動の特徴をよく再現することができるようになった。2004年新潟県中越地震などの近地大地震の強震記録が多数得られたことにより、強震動シミュレーションと観測データとの比較から地下構造モデルが改良された。これにより、将来発生が予想される大地震の強震動シミュレーションの高精度化が大きく前進することが期待される。これと平行して、強震動シミュレーションの高度化や震源モデルの高度化を踏まえた強震動予測手法が、2003年十勝沖地震や2005年宮城県沖の地震など近年の大地震や様々な想定地震に適用された。その結果、M8クラスの海溝型地震からM6クラスの内陸地震まで、幅広い規模の地震に用いることができる強震動予測手法の開発が視野に入ってきた。

（地震発生の素過程）

「地震発生の素過程」は第2次新計画から始まった研究計画であり、現在3年目となる。

建議で推進すべきとされている地震波速度、減衰、比抵抗など、複数の物理量の同時測定を含め、地震発生条件での力学・物性データが着実に得られてきた。また、個々の素過程のメカニズムが掘り下げられるとともに、規模依存（スケーリング）則を意識した研究も始められた。今後も更に研究を進め、アスペリティやゆっくり滑りの実体の解明を進めることが期待される。また、データを増やしてシミュレーションの精密化に役立たせるとともに、地震発生の素過程に関する新たなモデル構築まで進展していくことが期待される。

一方、断層面の状態を地震波によりモニタリング出来る可能性が、この「地震発生の素過程」研究から明らかになったことは重要である。今後は、現実の断層やプレート境界への適応性について検討を進めるとともに、断層面の状態変化のしくみを解明する必要がある。

2. 地殻活動の予測シミュレーションとモニタリングのための観測研究の推進

2. 1. 目的

建議で設定された研究目的は以下のとおりである。

地殻活動の推移予測を行うために、媒質の変形特性やプレート運動等に関する現実的な条件及び岩石の破壊・摩擦の物理を考慮した数値シミュレーションモデルを開発する。過去から現在までの様々な観測データを利用して、現実的なモデルとなるようモデルパラメータを調整し、観測されているプレート境界や断層の滑りの時空間変動を説明し、さらには予測を可能にするシステムの開発を目指す。また、現在稠密な観測が行われている特定の地域を対象にして、地震発生に至る地殻の準備過程が地震発生サイクルのどの段階にあるかを定量的に示すシミュレーションを試行する。

本計画では、地震調査研究推進本部が策定した基盤的調査観測としての高感度・広帯域地震観測及び GPS 観測といった日本列島全域を対象とした基盤的調査観測に加え、有用なその他諸観測を整備し、日本列島域の地殻活動モニタリングシステムの高度化を更に推進することを目指している。大地震発生が想定される特定の地域における地殻活動モニタリングの高度化も重要であり、高密度諸観測を一層整備する必要がある。特に、想定東海地震震源域及びその周辺、想定東南海・南海地震震源域及びその周辺は重要であるため、東海地域、東南海・南海地域については、その他特定の地域と区別して計画を実施する。

地殻活動予測シミュレーションモデルの開発の基礎となるデータベースを構築するために、日本列島域を対象として、これまで蓄積されてきた地形、重力、地殻構造、地殻変動、地震活動等の基礎データを整理・統合する。また、地殻活動モニタリングシステムからの大量で多項目のデータを処理して有効な情報を取り出すためには、効率的なデータ解析手法を開発し、ほぼ実時間で更新される日本列島域の地殻活動情報のデータベース構築を図る必要がある。このデータベースに一元化された情報は、データ同化の手法により地殻活動予測シミュレーションに取り込むことが必要である。また、こうしたデータをシミュレーション結果の検証においても活用する。

2. 2. 実施状況

(1) 地殻活動予測シミュレーションモデルの構築

ア. 日本列島域

大学は、新たに作成した日本列島域の三次元プレート境界面形状標準モデルと三次元地殻構造モデルを用いて、粘弾性滑り応答関数の計算を行い、日本列島域の地殻活動シミュレーションモデルの原型（プロトタイプ）を構築した。これを用いて、1968 年（昭和 43 年）十勝沖地震（M7.9）の震源域における、巨大地震発生予測シミュレーションを試みた。また、このモデルを用いて関東地域の長期地殻変動を計算し、地殻隆起速度の観測データと比較した。さらに、東北日本弧の地殻応力に関するシミュレーションを行い、第四紀の活断層運動から推定される地殻応力を説明できることを示した[1502]。

大学は、GPS データの逆解析により、日本列島周辺域の滑り遅れ分布（固着域の分布）を推定した。直接的及び間接的に得られている既知の情報を利用して地殻変動データを解

析する新しい逆解析手法を、関東地域の様々な時間スケールの地殻変動データに適用し、1923年（大正12年）関東地震（M7.9）の滑り分布など、相模トラフ沿いのプレート境界滑りについて調べた。CMT（セントロイド・モーメント・テンソル）データから応力場を推定する逆解析手法を開発し、東北地方の地震発生応力場を推定した[1502]。

イ. 特定の地域

大学は、プレート境界面を少数のセル（要素）で表現する不連続セルモデルを用いて南海トラフ沿いの巨大地震発生サイクルのシミュレーションを行い、ゆっくり滑りを含む多様な滑りの再現に成功した[1704]。大学と海洋研究開発機構は、現実的な摩擦構成則とプレート境界面形状を考慮し、南海トラフ沿い巨大地震発生サイクルのシミュレーションを行った。その結果、過去の巨大地震発生系列の特徴を再現するとともに、応力増加率が最大となる紀伊半島沖から破壊が開始しやすいことを示した[4001、1704]。国土地理院は、東海地域のプレート沈み込みモデルを作成し、有限要素法を拡張した計算手法でシミュレーションを行い、パラメータの適切な設定によりゆっくり滑り発生の再現に成功した。さらに、2000年の神津島・三宅島周辺の地殻活動のような擾乱がゆっくり滑りの発生に及ぼす影響を調べた[6005]。気象庁は、三次元モデルによる東海地震発生のシミュレーションを行い、摩擦パラメータの深さ方向の不均一性を導入することにより、長期的ゆっくり滑りを再現した。さらに、東海地震の想定震源域周辺で大地震が発生した場合に、それによる応力変化が東海地震の発生にどのような影響を及ぼすかをシミュレーションにより検討した[7008]。大学は、三次元粘弾性構造を考慮して、フィリピン海プレートの沈み込みによる西南日本の変形を有限要素法により計算し、内陸での応力の変動や、それが内陸地震発生に及ぼす影響について議論した[1704]。

削除: イベント

大学は、1968年（昭和43年）十勝沖地震（M7.9）と1994年（平成6年）三陸はるか沖地震（M7.6）の震源域を含むプレート境界面での地震発生サイクルシミュレーションを行い、地震発生サイクルや余効滑りの特徴の再現した[1411]。大学と海洋研究開発機構は、1952年（昭和27年）と2003年（平成15年）の十勝沖地震（それぞれM8.2とM8.0）の震源域を含む千島海溝南部のプレート境界における地震発生サイクルのシミュレーションを行った[4001、1411]。

大学は、岩石実験に基づく摩擦構成則を用いたシミュレーションにより、様々な時定数を持つ滑りを再現し、時定数を支配するパラメータを明らかにした。平面断層面上の複数のアスペリティの相互作用に関する数値シミュレーションを行い、相互作用が地震発生サイクルの不規則性に及ぼす影響等を調べた。二つのアスペリティが連動破壊するときの前駆的滑りの地震規模依存性について調べた結果、地震発生直前（数日）の前駆的滑りの規模は地震規模に依存しない場合があること、中期的（数年）な前駆的滑りについては地震規模依存性が見られることが分かった[1411]。

ウ. 予測シミュレーションモデルの高度化

大学は、二つの亀裂の相互作用や、主破壊の成長に伴う多数の小破壊発生を考慮した動的破壊の数値シミュレーションを行った。また、間隙流体圧変化が震源核の形成過程に及ぼす影響や、動的破壊時の間隙流体圧変化の影響を評価するためのシミュレーションを行

った[1412]。

大学は、断層破壊の数値計算によく用いられる境界積分方程式法の高速度計算手法の開発や精度評価、さらに、三角形の断層要素上の滑りに対する変位応答履歴・応力応答履歴の厳密解の導出を行った。破壊進展の数値解析に有効な粒子的変位場の離散化による定式化を用いた有限要素法を開発した。これを利用して、不均質な媒質中での面内せん断破壊の進展と破壊面の形成に関する理論的研究を行った[1412]。

大学は、GPS データからプレート境界面上の滑り・応力の時空間変化を推定し、それらの関係からプレート境界面の摩擦パラメータを推定した[1412]。

削除: 特性

(2) 地殻活動モニタリングシステムの高度化

ア. 日本列島域

地震活動に関しては、基盤的調査観測の整備及び観測データの一元化処理によるモニタリングの高度化を推進するために、各機関が次のような観測研究を実施した。

防災科学技術研究所は、基盤的調査観測として、高感度地震観測 (Hi-net)、強震観測 (K-NET、KiK-net)、広帯域地震観測 (F-net) を実施している。この間、新規に 98 か所の高感度地震観測施設と基盤強震観測施設、及び 7 か所の広帯域地震観測施設の整備を行うとともに、地表設置の既存高感度地震観測施設については観測井の新規掘削を含む改修を施し、観測方式の高度化を実現した。基盤強震観測施設については、平成 15 年度から新型 K-NET システム (K-NET02) への更新を進め、より効率的なデータの収集と処理が実現されるようになった。また、防災科学技術研究所は、Hi-net に併設されている高感度加速度計水平動成分データを用いた長周期地震 (超低周波地震) のモニタリングを全国的に行った。

気象庁は、陸域及び海域における一元化震源の精度の向上を目的として、観測点の高度補正及び海底地震計の堆積層補正の検討を行い、これによる震源決定精度の改善効果を評価した。また、P 波及び S 波の三次元速度構造を用いて、震源及び発震機構解を決定するプログラムの開発を行った。

震源や発震機構解などの実時間決定システムの開発に関連しては、大学、気象庁及び防災科学技術研究所において開発した高感度地震観測データ流通システムの運用が開始された。これにより、我が国の高感度地震観測データのほぼ全てが、全国どこでもリアルタイムで利用可能になった。気象庁では、初動発震機構解決定のため、自動処理を導入し業務の効率化と決定能力の向上を図った。大学では、衛星通信によってリアルタイム配信される広帯域地震波形データを用いて、太平洋プレート沿いの活動域のモニタリングのため長周期波動場の自動検出と発震機構解自動解析システム (GRiD MT) を開発した。

地殻変動に関しては、広域地殻歪の時空間変動を把握するため、国土地理院が基盤的調査観測として GPS 連続観測網 (GEONET) を運用している。平成 17 年度末までに全国 1231 点の電子基準点の整備が進み、全国で点間距離 20~25km の観測点密度が実現した。離島などの一部の観測点を除きほぼ全点のデータ取得間隔を 1 秒とし、実時間データ伝送を実現した。観測データは、広く公開されて多くの研究者に活用されている。実時間解析のシステム整備も行われた。また、VLBI 測量、高精度三次元測量 (水準測量)、高度地域基準点測量 (GPS 測量) 等を実施し GEONET による観測データを補完する詳細な地殻変動情報を取得し公開している。GPS 連続観測データについては、「GPS データクリアリングハウス」を作

成し、各機関が公開している連続観測データの所在情報の集約を開始した。

削除: を

海上保安庁海洋情報部は、同庁が運用している沿岸・離島の DGPS 局を用いた地殻変動監視を実施し、2005 年（平成 17 年）福岡県西方沖の地震（M7.0）に伴う地殻変動を検出するなど地殻変動解析結果の公表、及びデータの公開を行っている。また、銭洲等の伊豆諸島海域の島嶼・岩礁において観測を実施した。

大学では、GEONET データを用いた地殻変動モニタリング手法の高度化として、GEONET データの自動収集処理解析装置を整備し、状態空間モデルに基づく断層滑り速度の推定手法の改良を行った。

海底地殻変動観測については、海上保安庁海洋情報部及び大学が、GPS-音響測位システムを用いた海底地殻変動観測システムを開発し、宮城県沖、東海・東南海地震の想定震源域等での海底地殻変動観測を実施している。

また、海洋研究開発機構では、海底ケーブルで結んだ多数のセンサーからなるリアルタイム長期総合海底観測システムの研究開発を行い、室戸沖、釧路十勝沖の観測点において地震観測と津波観測を実施している。

地殻上下変動のモニタリングについては、国土地理院、気象庁及び海上保安庁海洋情報部が全国 122 か所の潮位観測施設で潮位連続観測を実施し、潮位データは各機関のウェブサイト等で公開されるとともに、海岸昇降検知センターのデータベースにアーカイブされている。

また、GPS 連続観測では十分な精度が得られない地殻の上下変動を監視するために、国土地理院では、全国の約 20000km の水準路線を対象に約 8 年周期で繰り返し水準測量を実施している。平成 17 年度には、9 回目の全国改測が完了し、10 回目の全国測量が開始された。

国土地理院は、絶対重力観測により 2003 年（平成 15 年）十勝沖地震時の帯広の上下変動及び 2004 年（平成 16 年）新潟県中越地震時の長岡の上下変動、御前崎の経年的な上下変動などの検出を行った。

その他の日本列島全体を対象とした諸観測として、地磁気の連続観測があり、気象庁、国土地理院、海上保安庁が実施している。

気象庁は、日本列島域における地磁気基準点（柿岡、女満別、鹿屋、父島）の観測を実施し地磁気変化観測装置の精度向上を進めた。また、年報の電子媒体化を行った。国土地理院は、全国 11 点の基準磁気点で地磁気連続観測及び絶対観測を行うとともに、全国の一等地磁気点での絶対観測等を実施し、観測データをホームページ等で公開している。海上保安庁海洋情報部では、伊豆諸島（八丈島）において地磁気全磁力、地磁気三成分の連続観測を行い、観測データを年報として刊行したほか、海洋情報部ホームページに掲載した。また、データは世界地磁気データセンターに送付し、同センターのホームページにおいても公表されている。

イ. 東海地域

東海地域においては、列島規模のモニタリングに加えて、より詳細な地殻活動モニタリングが実施されている（地震研 1414；防災科研 3008；産総研 5009；国土地理院 6011、6012；気象庁 7007、7008；海保庁、フォーマット 1）。また、この地域を対象として地殻活

動モニタリングの高度化や精度向上の観測研究計画が進められている。

気象庁は、既存の陸上観測点網及びケーブル式海底地震計による定常的観測に加えて、自己浮上式海底地震計観測を繰り返し行った。また、精密制御定常震源システム（ACROSS）の波形記録の解析を進めるとともに、新たな送信装置を整備した（気象庁 16、17 [課題番号：7008]）。東海地震の発生直前過程の把握のため展開されている歪計のノイズ軽減のため各種補正を新たに施すとともに、他機関から分岐されている地殻変動データについても各種補正パラメータの調整を進めた。さらに、地殻変動量からプレート境界における滑りの位置・規模を即時に推定する手法（気象庁 16、17 [課題番号：7007]、フォーマット 1）や、GPS の監視を面的に行う手法を開発した（気象庁 16 [課題番号：7008]）。

国土地理院は、GPS 観測や衛星 SAR を通して、東海地域での地殻変動の面的分布の把握を進めている。特に、2000 年後半頃から 2005 年頃まで続いた浜名湖周辺のプレート境界での長期的なゆっくり滑りの推移の監視が継続して行われた（国土地理院、フォーマット 1）。さらに、高精度三次元測量（水準測量）・絶対重力・800m 深井戸の歪計・傾斜計・長距離水管傾斜計等の連続観測を実施している（国土地理院 16、17 [課題番号：6011、6012、6014]）。SAR については、利用可能なデータとして ENVISAT 衛星が地殻変動検出に適していることを確認した（国土地理院、フォーマット 1）。

長期的ゆっくり滑りが継続している時期に、2004 年（平成 16 年）紀伊半島南東沖の地震（M7.1、M7.4）が発生したが、国土地理院と気象庁は、ゆっくり滑りの解析に与える影響について検討を行った（国土地理院 16 [課題番号：6010]、気象庁 17 [課題番号：7008]）。この長期的ゆっくり滑りに関しては、大学、防災科学技術研究所及び気象庁でも、国土地理院 GEONET データ、あるいは独自の観測網によるデータを用いた解析（東京大学地震研究所 16 [課題番号：1414]）や、過去の繰り返しについての検討が進められた（防災科学技術研究所 17 [課題番号：3008]、気象庁 16 [課題番号：7008]、防災科研フォーマット 2）。

防災科学技術研究所は、微小地震観測及び地殻変動観測を継続し、東海地震の固着域での状況の変化や長期的ゆっくり滑りのモニタリングを行っている。これらの観測に基づき、長期的ゆっくり滑りと地震活動変化の関係を考察し、東海地震の発生予測を目標とする研究を推進した（防災科研フォーマット 1）。

産業技術総合研究所は、地殻変動に伴う地下水位のモニタリングを続けている。地震に伴う地下水位変化メカニズムの考察を深め、前兆的地下水位変化検出システムを構築した。気圧変化に対する水位変化の周波数特性を求め、地下水位観測を用いたプレート境界の滑り検出能力を取りまとめる一方、データ転送のリアルタイム化を進めている（産業技術総合研究所 17 [課題番号：5009]、フォーマット 1）。

大学は、水温及び地下水中の化学成分の変化のモニタリングのために、地球化学観測を行った。循環型の地下水溶存ガス測定システムを開発し、地震に関連する地殻内の化学変化を地下水に溶解するラドンだけでなく他のガス成分の変化からも検知することを試みた。その結果、メタンを始めとして酸素や窒素などの地下水溶存ガスに潮汐応答が観測された（東大理学 [課題番号：1 次計画 0702]）。

第 1 次新計画では、東海地方を含む西南日本のフィリピン海プレートの沈み込みに沿って、低周波の地震や微動が発生していることが明らかになっている。本計画では、防災科学技術研究所と気象庁でその原因の解明が進められている。東海地域では、2005 年 7 月及

び 2006 年 1 月に愛知県東部において低周波地震や微動を伴う短期的なゆっくり滑りがあつたことをほぼリアルタイムで検知し、さらに、過去の同様な現象について調査した（防災科学技術研究所 17 [課題番号：3008]、気象庁 17 [課題番号：7007]）。

なお、気象庁は、東海から東南海の海域における地震活動のモニタリングの強化のため、既存のケーブル式海底地震計の西側に、新たなケーブル式海底地震計の整備を進めている（気象庁フォーマット 2）。

ウ. 東南海・南海地域

大学は、「東南海・南海地震等海溝型地震に関する調査研究」（文部科学省委託事業）により、平成 15 年度より東南海・南海地震の想定震源域において自己浮上式海底地震計による長期繰り返し海底地震観測を実施している（東京大学地震研究所 [課題番号：1415]）。気象庁は、地震活動によるプレートの詳細構造の解明のため、紀伊半島南東沖で実施した海底地震観測のデータについて、定常観測点のデータとの併合処理を行った（気象庁 [課題番号：7008]）。防災科学技術研究所は、南海トラフ沿いで発生する超低周波地震について、Hi-net に併設されている高感度加速度計水平動成分（傾斜計）及び F-net 観測波形記録の解析を行った（防災科学技術研究所 [課題番号：3009]）。また、紀伊半島から伊勢湾にかけて発生した深部低周波微動活動と同期した短期的ゆっくり滑り現象についても詳細な解析を行った。さらに、東南海地域のプレート形状に関して、変換波の波形解析結果等、新たに得られた情報の検討を行った（防災科学技術研究所 [課題番号：3008]）。

国土地理院は、東南海・南海地震の震源域周辺における GEONET 観測点の密度を東海地域と同程度までに高めることを目標として、紀伊半島から四国にかけての地域に電子基準点を平成 17 年度までに 31 点増設した。また、紀伊半島の東側と南部、及び室戸岬周辺で高精度三次元測量（水準測量）を実施した。御前崎において、800m 深井戸の歪計・傾斜計・長距離水管傾斜計等の連続観測を実施した（国土地理院）課題番号：6011、6012、6014。また、GEONET、測地測量、衛星干渉 SAR の観測結果について、統合した解析を実施した（国土地理院 [課題番号：6015]）。

産業技術総合研究所は、過去の南海地震において、繰り返し湧出量や水位の低下を生じてきた愛媛県道後温泉や和歌山県湯峯温泉で地下水の調査・観測を行った。

削除: の

削除: 切山観測点では長距離水管傾斜計の連続観測を実施した（国土地理院 [課題番号：6011、6012、6014]）。

エ. その他特定の地域

大地震の発生が想定されているその他特定の地域において、列島規模のモニタリングに加えて、より高度化された地殻活動モニタリングのための研究開発が実施された。

大学及び気象庁は、「宮城県沖地震に関するパイロット的な重点的調査観測」（文部科学省委託事業）と連携し、宮城県沖及びその周辺海域において自己浮上式海底地震計による長期繰り返し海底地震観測を実施した。気象庁は、過去の宮城県沖地震に対する余震の震源の再決定を行った。国土地理院は、有限要素法により宮城県沖のプレート境界域におけるプレート間結合状態の時間的変化をシミュレーションにより再現することを試み、牡鹿地区で水準測量を 107km 実施するとともに、牡鹿半島沖の網地島に GPS 連続観測点を設置し、観測を実施した。大学は、宮城県沖地震の発生機構の解明のために、GPS と相似地震の準リアルタイム処理システムを開発した。

気象庁及び防災科学技術研究所は、「糸魚川－静岡構造線断層帯における重点的な調査観測」(文部科学省委託事業)等の一環として、糸魚川－静岡構造線地域周辺に11観測点を新設し、大学等は地震活動調査、地震学的・電磁気学的地下構造調査を実施した。国土地理院は、糸魚川－静岡構造線地域において各年度1回ずつGPS繰り返し観測を実施し、また、衛星干渉SAR解析を実施して、地殻変動の検出を試みた。

大学は、「大都市圏地殻構造調査研究計画」(文部科学省委託事業)によって、房総半島に設置された多数の地震計(地震計アレイ)のデータを活用して、南関東とその周辺域の地震活動をモニタリングする手法を開発した。防災科学技術研究所は、関東平野において深さ2000m級の調査観測ボーリングを実施し、関東平野南部の基盤を構成する地層のP波・S波速度構造を計測し、基盤地質構造を解明した。さらに、そのボーリング孔を利用し、高感度地震観測施設(Hi-net)を整備した。茨城県つくば市南部においては、深さ1000m級の調査ボーリングを実施し、VSP検層等によって堆積層の物理特性を解明した。

国土地理院は、伊豆半島東部の川奈地区において、精密辺長測量(光波測距儀による測量)、多項目観測を実施した。大学は、伊豆半島東部の群発地震の活動と多項目観測データとの関連の把握を目的として、電話回線網を用いた面的な地電位変化連続観測、人工制御電流源を用いた比抵抗の連続観測、プロトン磁力計観測網を用いた全磁力連続観測を実施した。気象庁及び防災科学技術研究所は、2002年5月と2006年1月から4月に発生した伊豆半島東方沖の地震活動で、地震活動が活発化する数時間前から地殻変動を観測した。産業技術総合研究所でも、この地震前地殻変動によって生じたと考えられる地下水位変化を一部で観測した。

大学は、「東南海・南海地震等海溝型地震に関する調査研究」(文部科学省委託事業)により、青森沖(三陸沖北部)及び根室半島沖において1年弱の長期海底地震観測を実施し、震源決定を行った。国土地理院は、北海道東部にGPS連続観測点を設置し、観測を行った。

気象庁、大学及び海洋研究開発機構は、房総沖、三陸沖及び釧路・十勝沖において、海底ケーブルを用いた地震、津波等の観測を行った。国土地理院は、地殻変動機動観測として、特定観測地域及び重点地域の高精度三次元測量(水準測量)を、根室地区、松本地区(牛伏寺断層周辺)で実施した。変動地形調査として、活断層等における精密辺長測量やGPS辺長測量を、切山、跡津川(精密辺長測量)、浦河、牡鹿(GPS辺長測量)の各地区において実施した。大学は、平成17年度に走査型震源決定法を用いて、深部低周波地震の震源分布を推定することを試みた。

(3) 地殻活動情報総合データベースの開発

ア. 日本列島地殻活動情報データベースの構築

大学は、2000年までの地震の震源データ及び観測値データを収集して全国大学地震震源データベースを完成し、また古い地震の強震動記録と津波記録のデータベース作成を開始した[1417]。気象庁は、古い地震の紙記録のマイクロフィルム化[7012]、過去の地震の震源見直しによる全国地震カタログの改訂[7015]を進めている。また、一元化処理による全国震源カタログの作成を継続して行っている[7014]。防災科学技術研究所は、全国の高感度地震観測施設、広帯域地震観測施設、強震動観測施設から得られるデータを効率的に収集・処理・蓄積し、インターネットを通じて公開している[3011]。

大学は、重力データベースの整備を進め[1010]、気象庁は地磁気データベースの整備を進めている[7012]。産業技術総合研究所は、活断層データベースや地震に伴う地下水変化のデータベースを作成し、インターネットで公開している[5009、5010]。国土地理院は、都市圏活断層図を作成し公表している[6019]。

イ. 地殻活動データ解析システムの開発

国土地理院は、地殻活動モニタリングシステムからの GPS や各種測量等の大量の地殻変動データを有効処理するために地殻活動データ解析システムを開発した[6020]。

2. 3. 成果

(1) 地殻活動予測シミュレーションモデルの構築

ア. 日本列島域

日本列島域の三次元プレート境界面形状標準モデルを作成し、また、日本列島域の三次元地殻構造モデルに対する粘弾性滑り応答関数の計算を行った。これを動的破壊伝播モデルとシステム結合することにより、地震発生サイクル全過程のシミュレーションが可能になり、日本列島域の地殻活動シミュレーションモデルの原型(プロトタイプ)が完成した。このモデルを用いて、1968年(昭和43年)十勝沖地震(M7.9)の震源域における大地震発生予測シミュレーションを行った結果、小さな破壊が大地震になるか否かは震源域の応力状態によることが示された。また、北米、太平洋、フィリピン海の三つのプレートが相互作用する関東地域の地殻隆起速度の特徴的パターンが説明できること、太平洋プレートの収束運動の約1割が地殻内変形で解消されるとすると第四紀の活断層運動から推定される東北日本弧の地殻応力を説明できることが、数値シミュレーションの結果から分かった。

日本列島域のシミュレーションを行うためには、プレート境界面の固着状況の分布、広域応力場等の入力データが必要である。そのため、GPSデータの逆解析により、日本列島周辺域の滑り遅れ分布(固着域の分布)、1923年(大正12年)関東地震(M7.9)の震源域及びその周辺域の地震時滑り分布、地震間の滑り速度分布、短期的ゆっくり滑りの滑り分布を求めた。また、CMT(セントロイド・モーメント・テンソル)データから地震周辺の地震発生応力場を推定する新しい逆解析手法を開発し、太平洋プレートが北米プレートの下に沈み込む東北地方の地震発生応力場を推定した。

イ. 特定の地域

南海トラフ沿いや三陸沖など、M8級のプレート境界地震が繰り返し発生し、近年の地震・測地観測からも顕著なプレート境界滑りが推定されている地域については、岩石実験に基づく摩擦構成則を利用したモデルを用いて、地震・測地による観測データの細部まで説明できるようなシミュレーションを行った。

南海トラフ沿いについては、現実的なプレート境界面形状を考慮した三次元弾性体モデルを使って準動的な地震サイクルシミュレーションを行い、東南海地震と南海地震の発生の時間差や二つの地震の連動等、過去の巨大地震発生系列の特徴を再現することに成功した。また、沈み込み角度の違いによる固着域の幅の違いの影響で、紀伊半島沖では応力増加率

が高くなり、ここから破壊が開始しやすくなるという結論が得られた。南海トラフ沿いの巨大地震発生については、計算が容易で長期間の地震サイクルのシミュレーションが可能な不連続セルモデルを用いてもシミュレーションを行い、全てのセグメントが同時に破壊される場合や、東側のセグメントと西側のセグメントが交互に破壊される場合があることなど、長期的に見ると地震サイクルがより複雑である可能性が示された。1944年（昭和19年）の東南海地震の前駆的滑りは地震発生層よりも深部で発生したとの報告があるが、これは従来の前駆的滑りのモデルでは説明できない。摩擦の滑り速度依存性に臨界速度の存在を仮定すれば、地震発生層より深部での前駆的滑りが説明できることがシミュレーションで示された。東海地震想定震源域の深部延長域で発生した長期的ゆっくり滑りについても、摩擦パラメータの適切な設定により、シミュレーションで再現することができた。また、三次元粘弾性構造を考慮して、フィリピン海プレートの沈み込みによる西南日本の変形を有限要素法により計算し、内陸地震の発生を促す応力の変動、歪集中帯の生成メカニズムについて議論した。

三陸沖の地震サイクルのモデルについては、1968年（昭和43年）十勝沖地震（M7.9）と1994年（平成6年）三陸はるか沖地震（M7.6）を含むプレート境界面での地震発生サイクルシミュレーションを行い、二つのアスペリティでの摩擦パラメータを変えることにより現実とよく似た地震サイクルを再現することに成功し、1994年三陸はるか沖地震の余効滑りの特徴も再現することができた。また、1952年（昭和27年）と2003年（平成15年）の十勝沖地震（それぞれM8.2とM8.0）及び1973年（昭和48年）根室半島沖地震（M7.4）の震源域を含む千島海溝南部のプレート境界における地震発生サイクルのシミュレーションを行い、複雑な大地震繰り返しに関する理解を得た。

さらに、特定の地域を想定したモデルではないが、近年GPS観測等で検知されているゆっくりとした非地震性滑りに関連して、通常地震から地震波を放射しない滑りまでの様々な時定数を持つ滑りをシミュレーションで再現することができ、時定数を支配する物理量についての理解も得られた。また、余効滑りの発生と余震域の拡大を結びつけるシミュレーションも行われた。

削除: 特性

ウ. 予測シミュレーションモデルの高度化

日本列島域や特定の地域を対象とした大規模シミュレーションでは考慮されていない微視的な物理・化学過程を取り込んだモデルの開発や、シミュレーション結果と観測データを定量的に結びつける手法の開発により、現在の大規模シミュレーションモデルを改良して、次世代のより高度なモデルを構築することを目指している。

既存弱面をもたない物質での破壊発生をモデル化するために、破壊進展の数値解析に有効な粒子的変位場の離散化による定式化を用いた有限要素法を開発した。これを利用して、不均質な媒質中での面内せん断破壊の進展と破壊面の形成に関する理論的研究を行った。二つの亀裂の動的相互作用や主破壊と多数の小破壊の相互作用を考慮することで、より現実的な破壊成長過程のシミュレーションが可能になった。また、断層滑りによる摩擦熱が間隙流体に及ぼす影響を考慮したシミュレーションにより、断層全体の滑り継続時間よりも局所的滑り継続時間が顕著に短いパルス状の断層滑りが生じる場合があることが分かった。間隙流体圧変化が震源核形成過程に及ぼす影響について、断層帯内の間隙の発展方程

式を用いた準静的シミュレーションを行い、体積膨張による間隙流体圧の低下が原因で震源核は大きくなることが分かった。

2003年(平成15年)十勝沖地震(M8.0)の余効滑り及び東海地方の長期的ゆっくり滑りについて、GPSデータを用いてプレート境界面上の滑り・応力の時空間変化を推定し、応力と滑り、応力と滑り速度の関係を得た。その結果からプレート境界面の摩擦パラメータの推定を試みた。

削除: 特性

(2) 地殻活動モニタリングシステムの高度化

ア. 日本列島域

地震活動については、Hi-netとK-NETの高度化によりこれらのデータをモニタリングすることで、日常的な地殻活動に対する監視能力が飛躍的に高まった。その結果、深部低周波微動と短期的ゆっくり滑りの関連性や、その時空間分布の推移に関する詳細な知見が得られるとともに、海溝近傍で発生する超低周波地震活動の特徴等が明らかになってきた。また、全国の高感度加速度計水平動成分データを用いた長周期地震(超低周波地震)のモニタリングからは、既に微動の存在が確認されている西南日本のプレート境界の固着域より深部側以外では、新たな活動は見出されないことが明らかになった。

定量的地震活動解析としては、地震活動度の変化と応力変化を関連付けるパラメータの見積もり、地震活動の変化からの応力増減の推定、地殻内で発生する地震についての地震発生層の上限と下限の空間分布等に関する一元化震源を用いた調査など、新たに開発された手法による解析が行われ、これによって地殻内地震発生域の地域的な特徴が明らかにされた。

地殻変動に関しては、GEONET観測データが公開されて多くの研究者に活用されている(東海地域、東南海・南海地域、その他の地域の項目を参照)。GEONETデータを用いた地殻変動モニタリング手法の高度化としては、GEONETデータの自動収集処理解析装置の整備により、状態空間モデルに基づく断層滑り速度の推定手法の改良が行われ、これにより、プレート間のゆっくり滑りの時空間変化をより詳細に解明することが可能となった。また、広域応力場をモニタリングする手法として、応力の逆解析法と微小地震活動度を併せて広域応力場を推定する手法が開発された。また、DGPS局や海域の観測により、伊豆諸島域の変動傾向が三宅島噴火活動以前の活動にほぼ戻ったこと、2004年紀伊半島南東沖の地震(M7.1、M7.4)による銭洲の地殻変動方向の変化などが検出された。

削除: 項

海底地殻変動観測により、熊野灘沖の海底基準局において2004年の紀伊半島南東沖の地震に伴う地殻変動を検出し、震源断層モデルを推定する上での重要なデータを取得することができた。また、宮城県沖の海底基準局においては、2004年の宮城県沖の地震に伴う地殻変動を検出し、陸上のGPS観測により推定された断層モデルと整合する変動を検出することができた。

地殻上下変動のモニタリングでは、2004年新潟県中越地震の直後に行われた水準測量の結果、平成13年全国改測時の観測値と比較して断層付近の上下変動が詳細に明らかになった。重力測定については、絶対重力観測により2003年十勝沖地震時の帯広の上下変動及び2004年新潟県中越地震時の長岡の上下変動、御前崎の経年的な上下変動などの検出が行われた。

イ. 東海地域

東海地域においては、従来からの観測の継続、高度化や精度向上に加えて、より詳細な地殻活動のモニタリングに向け、新たな観測点の整備や臨時観測が行われ、これらにより地殻活動の把握が進んだ。

精密制御定常震源システム（ACROSS）からの信号は、送信点からの距離が約 80km 以内であれば P 波、S 波等の相がとらえられることが分った。これは、このシステムで東海地域のプレート境界の状態を把握できる可能性を示している。また、地下水溶存ガスの潮汐応答が観測されたが、これは、歪の蓄積を反映する変化が地下水溶存ガス成分に出る可能性を示している。

地殻変動観測では、2000 年後半頃から 2005 年まで続いた浜名湖周辺のプレート境界での長期的なゆっくり滑りの推移把握が行われ、2002 年には一時的に減速したが 2003 年には再び加速したこと、また、滑りの領域が、当初の浜名湖周辺から北東方向に移動したが、依然として東海地震の想定震源域には及んでいなかったこと、また、2004 年の紀伊半島南東沖の地震以後も継続していたことを明らかにした。また、同様な長期的ゆっくり滑りは、ほぼ 10 年の間隔をおいて繰り返してきたものであることが示された。

東海地方を含む西南日本のフィリピン海プレートの沈み込みに沿って発生している低周波の地震や微動に関して、この低周波微動の活発な時期には短期的なゆっくり滑りも発生していることが分かり、さらに、この現象の過去の繰り返しの推移が明らかになった。これは、プレート境界において応力・歪が集中していく過程を解明するうえで重要である。また、東海地震の発生直前過程の把握のため展開されている歪計でも、低周波地震・微動を伴うゆっくり滑りをほぼリアルタイムで検知したことは、モニタリングの観点から意義がある。

東海地震の発生直前過程の把握のため観測が続けられている地殻変動データのノイズ削減に関して、新たな補正やパラメータの調整が進められた。これらによって歪計の信号／雑音比が向上し、より微小な地殻変動の検知が可能となっている。また、三次元数値モデルによる東海地震発生シミュレーションでは、長期的ゆっくり滑りが再現できている。

ウ. 東南海・南海地域

東南海・南海地震の想定震源域における海底地震観測によって、海域に発生した地震の震源決定に関しては、陸域の観測網だけでは特に震源の深さ分解能が不足していることが明らかになった。また、気象庁一元化震源で深さ 30～40 km 付近に分布する潮岬沖の地震活動は、海底地震観測の解析により、実際は深さ 20～30 km で発生していることが明らかになった。これらの地震は、沈み込むフィリピン海プレート地殻からマントルで発生していて、プレート上面の地震活動は見られない。また、南海トラフ沿いの微小地震活動は他の地域に比べて活動度が低いことが明らかとなった。2004 年の紀伊半島南東沖の地震については、前震・本震が海洋性プレート上部マントル内で発生していたこと、及び余震の震源が二群（海洋性地殻内及び海洋性上部マントル内）に分かれていたことが明らかになった。一方、紀伊半島南東沖で実施した海底地震観測により、2004 年の紀伊半島南東沖の地震発生前の観測（5 月～8 月）では、この地震の発生地域における地震活動は低調であっ

たことが判明した。南海トラフ沿いで発生する超低周波地震については、CMT 解の解析により、震源の深さは非常に浅く、発震機構は高角の傾斜角を持つ逆断層であることが推定された。従って、これらの地震のほとんどは、トラフ陸側に厚く堆積する付加体内部で発生していると考えられるが、このことは反射法探査等から明らかになっている付加体内部の逆断層の発達とも整合する。また、2004年の紀伊半島南東沖の地震の発生後は、同震源域において超低周波地震が活発化したが、通常の地震活動域とは異なっているようにも見える。超低周波地震の発震機構解のほとんどは逆断層型であり、その断層面の走向は大局的には南海トラフに平行であるが、詳細に見ると海底地形の等深線によく一致していることが明らかとなった。陸側に向かって傾き下がる面を逆断層面だとすると、海溝軸より陸に向かうに従って、その傾斜角は次第に高角になるが、このことは、付加体内部の断層や分岐断層の幾何的形狀ともよく合い、付加体内部での応力状態を反映したものと考えられる。また、深部低周波微動活動に伴って発生する短期的ゆっくり滑り現象については、詳細な解析の結果、微動源の移動に伴って、ゆっくり滑り域も移動していることが分かった。一方、東南海地域のプレート形状に対しては、変換波の波形解析等の新情報に基づき、紀伊半島中部におけるプレート上面の傾斜が、従来のモデルよりゆるやかとなる新たなモデルを提示した。

GEONET と測地測量の統合解析により、2003年に豊後水道においてゆっくり滑りが発生し、その発生域が1996～1997年にゆっくり滑りが発生した領域とほぼ同一であることが明らかとなった。

地殻活動に伴う地下水位の観測については、愛媛県道後温泉での調査によって、1946年（昭和21年）南海地震（M8.0）の際の同温泉の水位低下は、地震時の体積歪変化で定量的に説明できることが分かった。また、和歌山県湯峯温泉での調査によって、同温泉における湧出量の激減は、1946年南海地震ではなく、1944年東南海地震によって生じた可能性が高いということが分かった。

エ. その他特定の地域

宮城県沖及びその周辺海域における自己浮上式海底地震計による長期繰り返し海底地震観測のデータに堆積層補正等を施して、高精度な震源分布を求めた。「宮城県沖地震に関するパイロット的な重点的調査観測」（文部科学省委託事業）で得られた観測データを陸上観測点のデータと併合処理し、三次元地震波トモグラフィ解析を行って、宮城県沖地震の震源域における地震波速度構造を解明した。過去の宮城県沖地震に対する余震の震源の再決定を行った結果、1936年（昭和11年）の宮城県沖地震とその余震について、震源決定法による震源の移動を確認した。1978年（昭和53年）の宮城県沖地震については、気象庁のデータを補完するため国立天文台水沢観測所の地震計の記象紙から験測を行い、これを含めて震源を再計算した結果、震源は気象庁カタログの震源に比べ、概ね西側に求められた。有限要素法によりプレート境界域におけるプレート間結合状態の時間的変化をシミュレーションした結果、1978年宮城県沖地震以降の余効的変動からプレート間の固着状態の復帰によるバックスリップへの移行を再現することができた。2005年（平成17年）に発生した宮城県沖の地震時の地殻変動及びその後の余効変動については、原因となるプレート間滑りの時空間的広がりとその時間変化を地殻変動観測データから解明した。GPS 観測

の準リアルタイム処理については、GEONET と東北大学の GPS 連続観測点を用いて半自動的に解析できるシステムが完成し、約 2 週間程度で北緯 36 度以北の全観測点の変位データが得られるようになった。プレート間滑り推定のための相似地震の準リアルタイム処理については、約 3 日後には解析結果が出せるようになった。

糸魚川－静岡構造線地域における新設観測点と既存観測網の統合処理を行った結果、糸魚川－静岡構造線地域周辺の詳細な地震活動が明らかになり、一元化震源に比べて浅い地震活動の存在が明らかになった。GPS 繰り返し観測の結果、糸魚川－静岡構造線地域における地殻変動の詳細な分布を明らかにした。5 年間の観測データを衛星干渉 SAR 解析した結果、糸魚川－静岡構造線地域の地殻変動速度を推定し、その分布から変形の集中する領域の存在等を確認した。糸魚川－静岡構造線地域周辺では、諏訪湖をはさんで北と南で構造が大きく異なることが分かった。また、活動度の高い活断層の周辺でも、大部分の微小地震活動は活断層活動に直接関係づけられないことが分かった。ただし、詳細な三次元速度構造を用いた解析を行うと活断層活動と関連付けられる微小地震活動のあることも示され、活断層の活動をモニタリングするためには、高精度の震源決定が重要であることが確認された。

南関東においては、房総アレイデータを用いた地震活動のモニタリングによって、沈み込む太平洋プレート、フィリピン海プレート、陸側のプレートの相互作用で発生する地震活動の詳細が明らかになった。2004 年から 2005 年に南関東地域で発生した地震の詳細な震源分布と発震機構解の分布の解析、観測された地震波形の後続相の解析、地震波速度構造の解析等から、南関東地域の新しいプレート形状モデルが提唱された。また、地震規模の長期的平均と短期的平均の差から、地震活動の指標となる b 値を用いて、南関東地域の地震確率が評価され、さらに、プレート境界の相似地震の分布が解明された。

伊豆半島東部の伊東市奥野で行っていた直流法を用いた比抵抗連続観測値に、群発地震にやや先行して比抵抗が低下するという興味深い現象が捉えられた。

北海道東部における GPS 連続観測の結果、2005 年以降の北海道太平洋側のゆっくり滑りのパターン変化を追跡し、余効滑りの時間的发展を解明した。

鳥取県西部地域の低周波地震を例に、走査型震源決定法の有効性を検証した結果、従来の震源決定手法により求められた震源位置とほぼ同様の点が震源尤度最大の点として推定されることが判明した。

(3) 地殻活動情報総合データベースの開発

ア. 日本列島地殻活動情報データベースの構築

地殻活動予測シミュレーションモデルの構築及びモデルの検証・改良のためには、日本列島の地殻・上部マントル構造及び過去から現在までの地殻活動に関するデータは欠かすことができない。特に地震サイクル全体をモデル化するためには近年のデータだけでは不十分なため、過去のデータの活用は重要である。過去に得られたデータの整理では、地震記録、津波記録の整理、大学による地震震源データベースの整備に進展があった。過去の地震の震源の見直しによる全国地震カタログの改訂の進展も重要な成果である。また、活断層データベース、重力データベース、都市圏活断層図、地磁気データベースの整備が進んだが、これらは地震発生の場合を理解するために有用なデータを提供する重要なもので

ある。一元化処理による全国地震カタログや高感度地震観測、基盤強震動観測、強震観測等のデータベースは、地震に関するモニタリングの結果を準リアルタイムにデータベースに取り込むシステムになっており、地殻活動の監視・現状評価にも有用である。一部のデータベースは、研究者だけではなくインターネット等により一般にも公開されており、研究の社会への還元という点からも重要な成果になっている。

イ. 地殻活動データ解析システムの開発

地殻活動に関する観測データをデータ同化の手法により地殻活動予測シミュレーションに取り込むためには、広域観測網からの新たな情報を取り込んで、日本列島域の地殻活動等に関する情報を実時間で更新していく必要がある。そのため、GPS や各種測量等の大規模な地殻変動観測データを、コンピュータネットワークを経由して利用し、データの表示、断層モデルの推定等を含む解析を行うことができる地殻活動総合解析システムを開発した。観測データを最新のものに更新するとともに、より使いやすいシステムになるように、毎年改良を重ねている。

2. 4. 今後の展望

地殻活動予測シミュレーションモデルの構築、地殻活動モニタリングシステムの高度化、地殻活動情報総合データベースの開発の3つの小項目で、それぞれ重要な成果があった。とくに、過去の巨大地震発生系列の特徴を再現するシミュレーションが可能になったことや、プレート境界の滑りをほぼリアルタイムでモニタリングできるようになったことは、モニタリングとモデリングに基づく地震発生予測を目指す本観測研究計画の目標に向かって進展していることを示している。しかしながら、シミュレーションモデルの構築と検証のために膨大なデータを有効に利用するための手法が確立しておらず、信頼できる予測シミュレーション実現への課題は多い。今後は、個々の小項目での研究の進展とともに、小項目間連携研究がより重要になるであろう。

(地殻活動予測シミュレーションモデルの構築)

日本列島域についても、特定の地域についても、摩擦・破壊構成則を利用した沈み込み域のプレート境界地震発生サイクルシミュレーションのための基本的なモデルは、ほぼ完成した。今後は、三次元粘弾性構造等も考慮して、プレート境界地震と内陸地震の相互作用を取り扱えるようなモデルに発展させることが必要である。現在の基本的なモデルを用いて、南海トラフ沿いの過去の巨大地震発生系列の特徴が説明可能であることなどの成果が得られている。また、シミュレーションと過去の地震サイクル・地殻変動データ等との比較から、プレート境界面上の摩擦パラメータの分布も推定されるようになった。

削除: 特性

シミュレーションから地震に先行する中短期の前駆現象に関する知見も得られたが、これらについては観測研究と連携して、実際にそのような現象がとらえられるかを調べる試みが必要である。地震発生予測のためのシミュレーションについては、いくつかの試みはあるものの、十分な信頼度を持つ予測シミュレーションができているとは言い難い。予測

シミュレーション実現のためには、プレート境界面上の摩擦パラメータの正確な分布と、初期条件として与える滑りや滑り速度の分布が不可欠である。GPS データからプレート境界面上の応力と滑り速度等の関係を計算し、これから摩擦パラメータを推定する研究などで進展があったが、プレート境界面上でのパラメータ、物理量推定に関する研究は、モニタリング等と連携して、より重点的に進めていく必要がある。さらに、破壊現象そのものに内在する非線形性に起因する現象の多様性を解明し、上に述べた予測の確からしさについての詳細な検討を進める必要がある。

シミュレーションの高度化研究の結果、流体と破壊の相互作用を含む断層破壊の詳細な過程の理解は進みつつあるが、これを日本列島域や特定の地域などを対象とした大規模なモデルに組み込むための手法については未解決な点が多い。大規模モデルの改良につながるという意識をより強くもって研究を進める必要がある。

(地殻活動モニタリングシステムの高度化と地殻活動情報総合データベースの開発)

本観測研究計画期間において、高感度・広帯域・強震観測網 (Hi-net、F-net、K-NET/KiK-net)、及び GPS 観測網 (GEONET) といった、調査観測に必要な基盤的施設の整備と拡充が行われたことに加え、これらの観測網から得られるデータをリアルタイムで研究機関間に流通する体制が確立されたことにより、日本列島全域を対象とする地殻活動モニタリングに関する各種の調査研究が飛躍的に進展した。例えば、大地震後の余効変動や、間欠的な長期的ゆっくり滑りや短期的ゆっくり滑り、さらには、深部低周波微動や超長周期地震などのような、様々な地学現象の時間的・空間的特徴が明らかとなってきた。今後は、こうした現象の発生メカニズムの解明に向けて、より高度な解析を実施していくためにも、本課題の重要性はますます増大していると言えよう。特に、将来にわたって安定した観測を継続し、良質なデータの生産と蓄積を行っていくことは、本観測研究計画全体にとって不可欠なことであり、地震調査研究推進本部によって進められている基盤的調査観測の役割は極めて重要である。

東海地域や、東南海・南海地域を始めとする、特定の地域における地殻活動のモニタリングについても、地殻活動の現状把握の高度化等を目指した、地震調査研究推進本部による各種の重点的調査観測によって、着実な進展がみられている。特に、各海域で実施されている自己浮上式海底地震観測や海底地殻変動観測に加えて、東南海地震の想定震源域に展開される地震・津波観測監視システムの整備事業は、本観測研究計画にとっても、極めて重要な知見をもたらすものとして期待されている。また、従来から行われている各種の地殻活動観測から得られるデータを解析する手法についても、新たな補正やパラメータの調整等が進められている。例えば、短期的ゆっくり滑りをほぼリアルタイムで把握することも可能となっており、今後とも、従来の地殻活動モニタリングの継続、解析手法の高度化と精度向上、さらには、新たなモニタリング手法の開発が重要である。

モニタリングシステムの高度化に伴い、観測されるデータの量が飛躍的に増加することで、注目すべき現象をその中から検出するための手法の開発・高度化が重要な課題となっている。特に、それらのデータに対する解析・検討が、広範な研究者によって円滑に実施されるようにするためには、基礎的な観測データだけでなく、モニタリングによって得られた様々な知見が、容易かつ効率的に参照・検索されるような地殻活動情報データベース

の充実に向けての取り組みが、いっそう重要性を増していると言えよう。

過去に得られた地殻活動に関するデータは順次整理されてきている。一部は、モニタリングシステムで得られているデータとともに、利用しやすいデータベースとして整備されており、インターネットなどを通じて一般にも公開され、研究成果の社会への還元に貢献している。

地殻活動モニタリングシステムによって得られる情報は、地殻活動情報データベースとしてその利用効率が飛躍的に高まり、地殻活動予測シミュレーションモデルの構築やシミュレーション結果の検証に利用されることで、地殻活動予測の実現に寄与するものである。しかしながら、現状は、モニタリングシステムで得られ、データベースに蓄積されている膨大な情報を、地殻活動予測シミュレーションモデルの構築に十分有効に活用していない。これら膨大な情報の中から、シミュレーションモデル構築に有効なデータを抽出し、モデルに取り込む手法の開発を進める必要がある。シミュレーション、モニタリング及びデータベースの各研究課題間、研究実施者間でのより密接な連携が今後とも不可欠である。

3. 新たな観測・実験技術の開発

3. 1. 目的

建議で設定された研究目的は以下のとおりである。

地震発生に至る一連の過程に伴う地殻現象を高精度で検出するための新たな観測・実験技術の開発研究を次により推進する。(1) 海溝沿いの大地震の準備・直前過程の解明のためには、陸域の観測網と連携して震源域である海底での観測を進めることが必要である。特に海底における地殻変動観測が重要であり、その技術は実用化されつつあるものの、陸域に比べて精度が不足している。このため、海底諸観測技術開発とその高度化、特に海底地殻変動観測技術の一層の高度化を進める。(2) ボアホールを利用した計測は、雑音の多い地表から離れることによって高分解能のデータを得るという点だけでなく、震源核に近づいて地殻応力状態や断層物質を直接測定するための重要な技術であり、更に高度化を進める。(3) 地震波速度構造、散乱体や地下流体の分布の変動などを、従来の技術よりはるかに高い分解能でモニターすることが重要であり、そのための新たな技術開発と一層の高度化を進める。また、(4) 近年の宇宙技術利用の飛躍的發展により、日本列島全域をほぼ均等に覆う GPS 観測網の構築が進み、広域地殻変動の常時モニタリングが十分に可能となりつつある。SAR 等による地殻変動の面的検出手法を高度化するとともに、地殻活動をより詳細に把握するために様々な誤差要因を除去して GPS 観測精度の一層の向上を図る。

3. 2. 実施状況

(1) 海底諸観測技術の開発と高度化

大学は、GPS-音響測距結合方式による海底測位の一層の高度化を進めるため、海上局・海底局及び曳航ブイを用いた計測手法の高度化、時空間変動する海中音速構造についての実測と不均質性を考慮した解析手法の開発、及びキネマティック GPS 解析プログラムの峻別による測位精度の向上を進めた。東北沖日本海溝の海側、岩手沖、福島沖及び駿河湾において繰り返し観測を実施した。また、宮城沖及び熊野灘においては、「宮城県沖地震に関するパイロット的重点的調査観測」(文部科学省委託事業)及び「東南海・南海地震等海溝型地震に関する調査研究」(文部科学省委託事業)により年複数回の繰り返し観測を実施し、2004年(平成16年)紀伊半島南東沖の地震(M7.1、M7.4)時には熊野灘の2地点で約18cmと約30cmの水平変動を観測した(東北大1207、名大1706)。海上保安庁海洋情報部は、海底基準点の充実を図るとともに、観測技術の開発・高度化を進めた(海洋情報部8003)。

気象庁は、地震に関連する海底下の地殻変動を実時間でとらえるための手法として、海底ケーブルを利用したレーザー計測式距離変化計及びソナー技術を検討した(気象庁7016)。海洋研究開発機構は、海底ケーブルを利用してプレート境界域における地震等の地殻変動及び深層流・地下水等の深海底環境変動を広域にわたり実時間観測するため、給電・伝送・同期技術、各種センサー及び水中着脱式コネクタの開発を進めた。開発した要素技術を十勝・釧路沖及び相模湾初島沖の観測システムに導入した(海洋研究開発機構4004)。

大学は、上下変動検出のための海底圧力観測を高度化するため、海面高観測用衛星軌道交点下の三陸沖の2地点で圧力観測を実施し、海洋変動の潮汐成分と非潮汐成分を評価した。宮城沖等において繰り返し圧力観測を実施すると共に、圧力センサーの腐食対策と長期ドリフトの低減を進めた。また、傾斜変動観測の高度化のため、坑内試験等により傾斜センサーの長期安定性の評価を開始した(東北大1207)。光干渉計測技術を利用した海底ボアホール設置型傾斜計を開発するため、光源の低消費電力化、半導体レーザーの波長安定化、干渉縞信号のリアルタイム処理による変位への変換等、海底設置時に必要となる要素技術の開発を進めた(地震研1418)。また、自己浮上式海底地震計の高度化を進め、広帯域観測及び一年間の長期連続観測を実用化した。また、海底地震観測のダイナミックレンジ拡大のため、加速度センサーを加えた海底地震計を開発し、茨城沖とインドネシア・スマトラ島沖で長期の試験観測を実施した(地震研1418)。

(2) ボアホールによる地下深部計測技術の開発と高度化

大学は、地殻応力測定の高度化のため、新たな水圧破砕法として高剛性水圧破砕法を考案するとともに、乾式破砕法としてボアホールジャッキ式応力測定プローブの開発を進め、従来型水圧破砕法との比較試験を実施した(地震研1419)。異なる深度での非破壊の応力測定を進めるため、小口径のインテリジェント型ボアホール歪計を開発して現場実験による測定を行った他、充電式ボアホール歪計を開発した(名大1707)。光ファイバー式広帯域地震計及び急激な変動に強いレーザー計測方式絶対歪計を開発したほか、基線長100mのレーザー伸縮計を開発して地下1000mにある神岡地下サイトで観測を開始した。

産業技術総合研究所は、東南海・南海地震予測精度向上のために、平成18年度に紀伊半島に2か所の地下水等総合観測施設を整備した。1か所について、ボアホール歪計・GPSも設置しリアルタイムでデータを取得するという機能集約型総合観測施設である。今後のデータの蓄積により、過去の南海地震前に繰り返し発生したとされる浅部地下水位低下と深部地下水変化・局所的～広域地殻変動との関係解明に努める。国土地理院と産業技術総合研究所は、茨城県つくば市の観測点や東海地方の旧浜岡観測点において、比高と周辺の地下水位との比較検討を行った。

防災科学技術研究所は、高ダイナミックレンジ・広帯域のセンサーを用いて信号対雑音比に優れたボアホールにおいて観測を実施することにより、様々な規模で様々な周波数帯域で出現する地球物理的現象を的確にとらえるため、ボアホール型でかつ長周期成分まで安定して記録可能な超長周期地震計の開発を「東南海・南海地震等海溝型地震に関する調査研究」(文部科学省委託事業)等により進めた(防災科学技術研究所3013)。

(3) 地下構造と状態変化をモニターするための技術の開発と高度化

大学は、精密制御定常震源システム(ACROSS)によるプレート反射波のモニタリングを実現するため、2001年東海中部地殻構造探査実験において強い波群が検出された地域に、観測点を設置した。東濃(土岐市)の精密制御定常震源から40~70kmの範囲に観測点を設けて約十ヶ月間の連続観測を実施し、約50km離れた震源からのP波及びS波の直達波とより深部から到来する後続波を検出した。瑞浪地殻変動観測壕に設置した地震計アレイの観測データを解析して、気温や降水が屈折波走時に及ぼす影響を評価した(名大1708)。

気象庁は、精密制御定常震源システムの波形記録の解析を進めるとともに、新たな送信装置を整備した。また、大学は、パルス波による精密制御定常震源システムを高度化するため、P波及びS波走時計測の一層の高精度化を進めた。検証試験は、岩手県、神奈川県及びフレンチアルプス観測壕の試験サイトにおいて実施した（地震研1420）。マントル起源のヘリウム放出量の時空間変化から地下深部の物質移動を調べるため、火山活動の影響が現れない活断層を対象として四国地方の中央構造線から放出されるマントル起源ヘリウムの調査を行い、連続測定に適した場所の選定を進めた。また、非揚水型多項目地球化学観測システムの開発を進めた（東大理1503、1505）。

気象庁は、安定化レーザーの発振周波数をスイープさせることによるマイケルソン干渉計による絶対長測定法を考察した。

（４）宇宙技術等の利用の高度化

国土地理院は、GPS 観測データについて、各種の誤差源を除去・補正することで、最終的に数 mm 程度の地球物理学的信号を検知可能な解析手法の確立に着手した（国土地理院6021）。SAR による地殻変動検出については ENVISAT 衛星によるデータの利用が可能であることを確認した。また、陸域観測衛星（ALOS/だいち）の観測データ処理に必要なシステムを設計・構築し、打ち上げ以前の試験データによる確認を行った。ALOS は、平成 17 年度に打ち上げられ、平成 18 年度には定常運用期間に移行したので、その観測データを用いて、高頻度観測地域や防災対応が必要な地域を中心に、干渉 SAR 手法による地盤変動解析を実施している。

防災科学技術研究所は、不均一な水蒸気に起因する GPS 測位誤差の低減を目指して、気象数値モデルを用いて大気遅延量を計算するための高速アルゴリズムの開発を進めた。また、気圧加重変動による地球変形を考慮した解析を実施した（防災科学技術研究所3014）。また、干渉 SAR 解析システムの処理時間を短縮した他、大気中の水蒸気による電波伝搬遅延に起因する誤差の軽減手法の開発を進めた（防災科学技術研究所3015）。

情報通信研究機構は、航空機等からの先端リモートセンシング技術（SAR 等）を用いた地表面変動の把握技術の開発を進めた（情報通信研究機構0101）。

大学は、干渉 SAR における水蒸気遅延ノイズの補正手法の開発とその手法の有効性の検証を進めた（地震研1421）。また、キネマティック GPS により、1 日より短い時定数をもつ変動を面的に高密度に観測する手法の開発を進めた（京大1811）。

大学は、次世代衛星テレメータシステムの開発を進めて、地球局の消費電力の低減と周波数帯域の効率的な利用法の確立など、テレメータ方式による機動的観測を高度化した。また、世界標準基準に準拠する低価格の受信装置で利用可能な衛星データ配信システムの開発を進めた（地震研1421）。

3. 3. 成果

（１）海底諸観測技術の開発と高度化

GPS-音響測距結合方式による海底測位は、繰り返し観測における精度 2～5 cm を達成すると共に、2004 年紀伊半島南東沖の地震及び宮城県沖の地震に伴う水平変動を検出し、

海底地殻変動観測手法としての有効性を端的に示した。海底圧力計測による上下変動観測は、海底設置型圧力計の信頼性が向上して長期間の安定した計測が可能となった他、十勝・釧路沖の津波計が 2003 年十勝沖地震時及びその余効変動による上下変動を検出し、海底圧力計測が地殻変動観測の手法として有効なことを示した。

海底ケーブル利用の実時間観測システムは、センサー設置手法及び水中着脱式コネクタを始めとする各種要素技術の開発が進み、海底ケーブル敷設後に地殻変動観測を追加するなど観測網の拡張に対応したシステムを技術的に設計することが可能となった。

海底ボアホール利用の歪・傾斜変動観測は、観測装置を海底設置する時に必要となるレーザー光源の長寿命化などの要素技術が進んだ。

海底地震観測の広ダイナミックレンジ化が図られたほか、1 年程度の長期海底観測が実用化した。

(2) ボアホールによる地下深部計測技術の開発と高度化

ボアホールによる地殻応力測定は、高剛性水圧破碎法の考案と乾式破碎法の装置開発が進み、従来型の水圧破碎法との比較試験が実施されるところまで到達した。ボアホール歪計の小口径化が達成されて、異なる深度でのオーバーコアリング法による非破壊応力測定が実施できるようになった。

基線長 100m のレーザー伸縮計が開発され、地下深部において 10^{-13} という超高感度歪観測が可能となったほか、絶対歪計、広帯域地震計、傾斜計など光計測技術を利用する装置開発が進んだ。

超長周期地震計の開発が進み、ボアホールによる地震・地殻変動観測技術が更に高度化した。

地下水位変化が GPS 観測点の比高に及ぼす影響を定量化することにより、GPS 測位の精度を向上した。

(3) 地下構造と状態変化をモニターするための技術の開発と高度化

地下構造と状態変化を高精度でモニターするための精密制御定常震源システムは、送信点からの距離が約 80km 以内であれば P 波、S 波の直達波を観測することが可能となった。波形の時間変化を検出したほか、約 50km 離れた観測点ではより深部から到来する後続波を検出した。また、屈折波走時に気温と降水が及ぼす影響の評価が進んだ。パルス波による精密制御震源を用いた P 波及び S 波走時の計測は、検証試験を実施して一層の高精度化が進んだ。非揚水型多項目地球化学観測システムの開発が進んだ他、マントル起源ヘリウムが中央構造線に沿って放出されること、深部低周波微動が見られる地域でもマントル起源ヘリウムが放出していることが発見された。

(4) 宇宙技術等の利用の高度化

GPS による地殻変動は、観測及び解析手法の高度化が図られた結果、各種の誤差源を除去・補正することで最終的に数 mm 程度の地球物理学的信号を検知可能となった。また、キネマティック GPS により 1 日より短い時定数をもつ変動を面的に高密度に観測する手法の開発が進んだ。SAR による地殻変動検出は、高頻度観測地域や防災対応が必要な地域を中

心にALOSの観測データを用いた干渉SAR手法による地盤変動解析が定常的に実施されるようになったほか、解析の高速化と精度向上が図られた。また、航空機等からの先端リモートセンシング技術（SAR等）を用いた地表面変動の把握技術の開発が進んだ。次世代衛星テレメータシステムの開発により機動的観測が一層高度化した他、新たな衛星データ配信システムの開発が進んだ。

3. 4. 今後の展望

（1）海底諸観測技術の開発と高度化

プレート境界域における大地震の発生に至る一連の過程に伴う地殻現象を高精度で検出するためには、陸域の観測網と連携して震源域である海底での観測を進めることが必要であり、海底における諸観測技術の開発と一層の高度化が重要である。海底地殻変動観測については、2～5cmの精度を達成したGPS—音響測距結合方式による海底測位の更なる高精度化と測定・解析の迅速化を進めることが必要である。また、上下変動観測のための海底圧力計測を更に高度化する必要がある。海底ボアホール観測に必要な光計測利用技術が進展したことから、実観測を視野に入れた傾斜計等の開発を進める必要がある。また、海溝軸近傍の水深6000mを超える海底における地震観測等を高度化するほか、海底における実時間観測の高度化のため、海底ケーブル等を利用するシステムの開発が重要である。

（2）ボアホールによる地下深部計測技術開発と高度化

深いボアホール及び地下深部の横坑等を利用することによって、地下水の影響などの雑音を低減して信号対雑音比に優れる高分解能の計測データを取得することができる。このため、ボアホールによる歪、応力、傾斜及び地震等の計測技術は、更に高度化を進める必要がある。破砕法による地殻応力測定については、最適な計測手法を確立することも重要である。

（3）地下構造と状態変化をモニターするための技術の開発と高度化

地震波速度構造、散乱体や地下流体の分布の変動などを高い分解能でモニターすることは重要であり、精密制御震源による測定技術の開発と高度化は更に進める必要がある。また、地球化学的手法の利用も重要である。

（4）宇宙技術等の利用の高度化

GPS観測による広域地殻変動の常時モニターは、数mm程度の地球物理学的信号をとらえることが可能となった。また、SARデータを用いた面的地殻変動検出手法は、定常的に地盤変動解析を実施するようになった。宇宙技術等の利用の高度化を更に進める必要がある。

4. 計画推進のための体制の整備

4. 1. 実施状況及び成果

(1) 計画を一層効果的に推進する体制の整備

平成16年度から、測地学分科会地震部会の下に、関係各機関からの委員で構成される観測研究計画推進委員会を設置し、研究上の連携を図っている。同委員会では、関係各機関における各年度の実施計画及び研究成果を取りまとめ、研究の評価を実施している。各年度の実施計画及び研究成果は、報告書としてまとめられ、文部科学省のホームページで公開されている。研究成果に係る報告書は、各機関の個別の成果をまとめた機関別報告書に加え、建議の計画に沿った成果を分かりやすくまとめた項目別報告書が作成されており、研究の評価だけでなく、国民に向けた研究成果の広報にも役立っている。また、成果を広く公開して議論をするため、関係各機関による地震予知研究の年次報告シンポジウムを毎年度末に開催している。

一方、国立大学法人では、全国共同利用研究所である東京大学地震研究所に設置した地震予知研究協議会を中心として研究計画や予算を策定し、研究上の連携を強化している。同協議会には企画部が常設され、地震研究所の専任教員のほか、地震研究所に数年の任期で採用した教員及び客員教員を加え、関係する全国の大学の視点での運営を行っている。さらに、同協議会に設置されている計画推進部には、大学以外にも独立行政法人等の研究機関に委員を委嘱し、研究者レベルでの交流と研究推進の役割を果たしている。

平成16年度からの国立大学の法人化後、各大学では、成果の積極的な公表を図るなど法人化の良い面が現れている。しかし、独立性の増した各大学法人であっても、連携して建議の研究計画を遂行する必要がある、そのための根拠として関係大学の部局間で協定を締結した。特別教育研究経費として地震予知事業費は確保されているものの、各大学の観測施設経費は、各大学の運営費交付金の内数となり、大学内での予算削減が進みつつある。また、特別設備費が交付されないため、各大学の観測器機の老朽化・陳腐化が進み深刻な事態を迎えつつある。

(2) 地震調査研究推進本部との役割分担

地震調査研究推進本部の役割は、政府として地震調査研究に関する総合的かつ基本的施策の立案、総合的調査観測計画の策定、地震活動の現状や将来に関する総合的な評価、評価結果の広報等を行うことにあり、一方、本計画では、ボトムアップ型の検討に基づいて地震発生に至る一連の過程を理解し、それを観測に基づいてモデル化し、定量的な地震発生予測の確度を逐次高めていくことを基本方針として、地震予知のための観測研究を組織的に進めることである。

今期間中に、地震調査研究推進本部の基盤的調査観測計画により高感度地震計、広帯域地震計、GPS、強震計、活断層調査結果などの地震関係データの流通や処理、公開がさらに進んだ。これらは、世界に類を見ない充実した観測網や調査結果であり、アクセスが容易になったことで、地震発生に至る一連の過程の理解やそれに基づくモデル化など、本計画の推進に大いに活用されている。この中で、大学の高感度地震計については、基盤的調査観測との調和を図りながら、臨時的・機動的な観測網へと、目的を絞った観測に重点を移

すことが行われ、これにより、大学における研究の高度化が進んだ。

また、本計画で得られた、プレート境界でのゆっくり滑りや深部低周波微動・地震などに関する新たな知見、さらに大地震直後の種々の解析結果は、逐次、地震調査研究推進本部に報告され、地震活動を評価する際や、地震調査・研究に関する政策決定の重要な資料となっている。

なお、平成 18 年 7 月に地震調査研究推進本部から出された「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―」の評価については、本計画と推進本部及び地震予知連絡会に関して、「これらの実態をよく見れば、相互の役割分担及び連携はなされているのであるが、外部からは、そのようなことがわかりにくい状況にある。」とまとめられている。

(3) 情報交換等の場としての地震予知連絡会の充実

本計画にかかわる観測研究機関の相互の連携のため、地震予知連絡会は、観測データに基づく地震予知研究に関する情報交換の場としてその役割を果たしている。特に、その時々注目されている地震予知観測研究に関する課題を選定して、掘り下げた議論をする時間を設けており、この 5 年間で 20 件近くの話題に関する報告と討論を実施し、その充実が図られている。

(4) 人材の養成と確保

大学においては、大学院学生の確保及び教育を行い、関係機関への人材を供給している。さらに、高校生や学部学生に対し、研究所公開や出張授業を行うなど積極的な人材発掘を図っている。各機関は、地震関連の教育を受けた人材の採用や、職員に対する研修を実施するなど、観測研究に従事する人材の養成・確保に努めている。

(5) 火山噴火予知研究等との連携

活火山周辺では顕著な地震活動が見られるなど、地震活動と火山活動は相互に密接に関連した地殻現象である。したがって、地殻活動を総合的に把握し予測の確度を高める上で、地震予知研究と火山噴火予知研究の連携が不可欠である。

本計画で得られた火山地域近傍での地震活動、地震波速度や異方性構造、地殻変動の解析とその結果を火山学会等で発表し、また火山噴火予知連絡会に提供するなど、火山噴火予知の研究者との連携強化を図っている。また、組織再編などを通して、地震と火山の研究分野の連携の強化が一層図られた。たとえば、大学における地震予知研究と火山噴火予知研究のさらなる連携を推進するため、地震予知研究協議会と火山噴火予知研究協議会を統合し、地震・火山噴火予知研究協議会が発足した。これにより、地震分野と火山分野の研究者が研究推進について議論する機会が増えている。

さらに、工学や社会科学など関連学問分野との連携を進め、各地域の地震対策協議会などに参加することにより、防災対策など社会的要請に応じている。

(6) 国際協力の推進

今期間では、2004 年スマトラ沖地震、2005 年パキスタン北部地震など、アジアでのプレ

ート境界域の巨大地震が発生し、これを契機とした関係国との観測データ交換、共同研究、研究交流の動きが活発化した。地球観測サミットの間では国際地球観測計画（GEOSS）の一環としてアジア太平洋地域における地震・地殻活動監視を目的とした観測網整備のために我が国が貢献する意志が示された。国全体としての組織化された国際協力体制が実現するには至っていないが、個別の課題においては、それぞれの大学、観測研究機関において広く共同研究が推進され、シンポジウム等での交流も行われた。

地震観測データの交換については、気象庁により国際地震センター（ISC）、米国地質調査所（USGS）、包括的核実験禁止条約機関（CTBTO）、韓国気象庁（KMA）との協力が行われており、防災科学技術研究所では、韓国気象庁、インドネシア気象庁（BMG）及び台湾の中央研究院地球科学研究所（IES）とのデータ交換も行っている。海洋底掘削調査に関しては、海洋研究開発機構が地殻活動・沈み込み帯のダイナミクス等の解明を目的とした統合国際深海掘削計画（IODP）を推進している。地殻活動監視については、国土地理院が国連アジア太平洋地域地図会議に参加している諸国との協力を進めている。

大学においては、先進諸国との連携強化による地震・火山研究の国際的な展開と、アジア・太平洋地域諸国の研究レベルの向上に資するために、全国共同利用である東京大学地震研究所に、国際地震・火山研究推進室を整備し、地震・火山に関する国際的調査研究が進められている。

人材育成の国際協力については、ODA ベースによる地震研究のための研修コース等が実施されている。

（7）研究成果の社会への効果的伝達

観測研究計画推進委員会は、各年度の実施計画及び研究成果を報告書としてまとめ、文部科学省のホームページに公開している。また、近年のインターネット環境の劇的な向上に対応し、ほとんどの機関がホームページによる観測結果や成果の公表、地震予知研究成果や科学的な知見に関する情報発信を行なっている。講演会・出前講座などを通じた普及活動も積極的に実施された。また、緊急時のみならず、平常時におけるマスメディアへの情報提供など地震防災の面でも積極的な活動が行われた。大学においてもアウトリーチのための組織を設置するなど、組織的な対応がなされている。

このような、直接的な情報発信以外にも、政府の各種委員会等を通じて研究成果が社会に活かされている。例えば、地震予知の最新の成果は、中央防災会議の各専門委員会に取り入れられ、防災対策に生かされている。東海地方の長期的及び短期的ゆっくり滑りについては、地震防災対策強化地域判定会での審議に貢献し、東海地震予測精度の向上に寄与している。また、千島海溝沿いに発生した過去の巨大地震の発見は、北海道の津波対策に取り入れられている。このように研究成果は、直接的・間接的に社会に伝えられている。

削除: に取り入れられ、気象庁が情報発表を行う際の判断に役立っている

4. 2. 今後の展望

（1）計画を一層効果的に推進する体制の整備

観測研究計画推進委員会は、設置後3年目ではあるが、各機関の密接な協力・連携を図るという機能を十分に果たしている。このような機能は長期継続することにより、次第に

綿密な連携がなされていくため、適切な委員の人選に留意しつつ、今後も継続的に運営していく必要がある。

国立大学法人化後も、部局間協定などにより連携は強化されたものの、予算や人員面では厳しい状態が続いている。各大学内での予算や技術職員などの人員の更なる確保が必要であるとともに、急速な老朽化・陳腐化が懸念される観測設備の維持・更新充実が急務である。

(2) 地震調査研究推進本部との役割分担

今後とも、本計画と地震調査研究推進本部及び地震予知連絡会の相互の役割分担及び連携を進めていく必要がある。地震調査研究推進本部の基盤的調査観測計画によるデータは、これからも本計画を進める上で必要不可欠なものであり、特に今後は海域における充実に期待する。また、本計画の成果が、地震調査研究推進本部が行う施策等の立案に際して積極的に活用されることを期待する。

大学の高感度地震計については、基盤的調査観測との調和を図りながら、臨時的・機動的な観測網へと、目的を絞った観測に重点を移すことが今後とも期待される。そのなかで、従来、大学が担ってきた最先端の研究・開発の重要性を再確認する必要がある。

本計画と地震調査研究推進本部との役割分担については、外部からも見ても分りやすくしていく努力とともに、更なる役割整理も必要である。

(3) 情報交換等の場としての地震予知連絡会の充実

本計画にかかわる観測研究機関の相互の連携の重要性に鑑み、地震予知連絡会のような定期的な情報交換の場は今後とも必要である。

地震予知に関わる連携体制は、これまでも基盤観測網の整備などの政策的な立案を地震調査推進本部が、研究の方向性に関わる提言を本計画が行い、それらに基づいて行われている観測・研究の情報交換については地震予知連絡会が担うと行った相互の役割分担が定着してきたところであるが、このような役割分担について、外部からも見ても分りやすくしていく努力がさらに必要である。

(4) 人材の養成と確保

大学においては、大学院生などの人材養成が積極的に行われているものの、教員数の割に十分な数の大学院生を確保できない大学がある一方、教育のための人員が充分でない大学もある。また、学生が博士号を取得した後、任期制の研究職に就いても、その任期終了後に身分の安定した職を得ることが難しく、地震学を修めた大学院生が、分野の異なる民間企業等へ流出したり、優秀な学生が博士課程への進学に躊躇する原因ともなっている。このように人材養成に関しては、大学院教育だけではなく、終了後の進路やキャリアパスの確保にも質と量のバランスを考慮する必要がある。

(5) 火山噴火予知研究等との連携

大学における地震予知研究と火山噴火予知研究の更なる連携を推進するため、二つの協議会を統合し、地震・火山噴火予知研究協議会が発足した。この統合された協議会を通し

て、地殻活動の総合的な把握と予測の精度向上の研究が、今後、更に推進されることが期待される。さらに、地震という自然現象をいろいろな角度から理解し、視野の広い研究を進めるためにも、工学や社会科学の関係者との連携を進めていく必要がある。研究成果を短期的に出すことを求められている現状において、いかに視野を広くする環境を整えるかが課題と言えよう。

災害発生時ばかりでなく、普段からも地域における防災アドバイザーとしての防災対策に参画することが、ますます必要となってくるであろう。個人の研究業績が強く求められている中で、地域の防災活動に積極的に参画していくための体制づくりが課題であろう。

(6) 国際協力の推進

地震予知研究における研究協力は、個別の研究機関間では進んだが、国際視野に立った組織的な連携・協力という観点からは、今後ますます積極的な取り組みが求められる。

総合科学技術会議による「地球観測の推進戦略」では、地震防災に貢献する地球観測として高精細な観測ネットワーク等我が国が有する観測基盤技術をアジア諸国へ移転することを例として挙げ、アジア太平洋地域における地震・津波発生メカニズムの解明等を推進するために、関係府省・機関の緊密な連携・調整の下、地球観測の推進、地球観測体制の整備、国際的な貢献策等を内容とする具体的な実施方針を策定するべきであるとしている。その連携調整のために必要な統合的推進組織を整える必要性が述べられており、観測と研究の一体となった国際的な連携を進めるという意味において、地震予知にむけての国際協力推進も、このような動きと連動していくことが重要である。

(7) 研究成果の社会への効果的伝達

ホームページなどを通じた研究成果の社会への伝達は、各機関とも積極的に行われている。しかしながら、地震予知研究に関する認識は、最近の研究の急速な進展を必ずしも反映しておらず、地震雲など根拠の薄い前兆現象に関する間違っただ情報が流布しているのが現状である。なお一層、地震予知研究に関する正確で分かりやすい知見や情報の発信が重要である。本計画を通じて、組織的に実施することが必要である。

IV. 総括的評価 (骨子)

1. 「地震予知のための新たな観測研究計画」(新研究計画)の開始と第2次新計画への継続

(地震予知計画と新研究計画の違い)

昭和40年(1965年)度から平成10年(1998年)度まで、第1次から第7次にかけて行われた地震予知計画では、全国的観測網から異常現象を捕捉し、地震の長期的予知、短期的予知を行うことを目指していた。これに対し、平成11年度より始まった「地震予知のための新たな観測研究計画」(新研究計画)では、地震予知を狭く地震発生直前予測と位置付けるのではなく、地震発生に至る全過程を理解することにより、その最終段階で発現が予想される現象の理解を通して、信頼性の高い地震発生予測への道筋を開くことを目指して研究が進められた。

(地震調査研究推進本部の地震調査研究と新研究計画の関係)

平成7年阪神・淡路大震災を契機に、全国にわたる総合的な地震防災対策を推進するため、地震調査研究推進本部(推進本部)が設置された。推進本部は、地震防災対策のための総合的かつ基本的な施策を立案し、その中で、当面推進すべき地震調査研究として、

1. 活断層調査、地震の発生可能性の長期評価、強震動予測等を統合した地震動予測地図の作成
2. リアルタイムによる地震情報の伝達の推進
3. 大規模地震対策特別措置法に基づく地震防災対策強化地域及びその周辺における観測等の充実
4. 地震予知のための観測研究の推進

が掲げられた。これらを実現させるために、推進本部は、基盤的な調査観測計画を策定した。この基盤的調査観測では、国民が地震現象を正しく理解し、地震に備えることができるよう、地震現象(地殻活動や地震動を含む)の把握、理解、評価に主眼が置かれている。

(全国的な観測網の実現)

昭和40年(1965年)度に始まった地震予知計画で目指した基本となる調査観測は、地震災害から国民を守ることを目的とした地震調査研究推進本部の主要事業である基盤的調査観測として、約35年後に、より充実した形で実現した。

(地震予知のための新たな観測研究計画(第1次新計画))

第1次新計画では、(1)地震発生に至る地殻活動解明のための観測研究の推進、(2)地殻活動モニタリングシステム高度化のための観測研究の推進、(3)地殻活動シミュレーション手法と観測技術の開発、(4)本計画推進のための体制の整備、を計画の四つの柱とした。

(第1次新計画と地震防災のための調査観測研究の推進に関連した組織)

科学技術・学術審議会測地学分科会地震部会（「新たな観測研究計画」の推進）、地震調査委員会（全国的な地震・地殻活動の評価）、地震防災対策強化地域判定会（東海地震に関する監視・評価）、地震予知連絡会（全国的な地震予知に関する学術的情報及び意見交換）及び大学の地震予知研究協議会（大学における基礎研究）が連携して地震防災のための地震調査観測研究を実施した。

科学技術・学術審議会測地学分科会と推進本部との役割分担を一層明確にすること等の必要性が提言された。

（第1次新計画の成果）

【地震発生に至る地殻活動解明】

第1次新計画では、地震発生直後から次の地震発生に至る歪蓄積過程を地震発生準備過程と位置付け、その進行状況を把握するための観測研究を基本とした。地震波形データの解析による大地震発生時の断層面上での滑り量分布に関する知見が蓄積され、断層面上での滑り量は一般的に不均一であることが分かってきた。滑り量の大きい領域は、地震発生前に断層面が固着していたところであり、アスペリティと呼ばれた。三陸沖で発生した幾つかの大地震では、同一のアスペリティが繰り返し破壊することが分かってきた。また、プレート間の摩擦特性の違いを反映して、定常的な滑りが進行する場合や固着と地震性滑りを繰り返す場合のほか、非地震性の間欠的滑りや地震後のゆっくりとした滑りが発生する場合など、様々な歪蓄積・解放形態の存在が見いだされ、地震発生に至る準備過程の多様性が明らかになった。

一方、内陸での地震発生の準備過程については、地殻の不均質構造に関する知見が蓄積し、幾つかの地域については、広域応力が特定の断層域へ集中していく機構の理解が進んだ。

【地殻活動モニタリングシステム高度化】

平成7年に設置された推進本部の下で、第1次新計画期間中に進められた基盤的調査観測においては、高感度・広帯域地震観測網とGPS観測網の整備が進んだ。高感度地震観測網については、気象庁、防災科学技術研究所及び大学のデータの一元化処理が行われるようになり、また、データの流通・公開体制も確立した。これらにより、2000年6月から始まった三宅島―新島・神津島の地殻活動、東海地方での浜名湖付近を中心とした顕著な広域地殻変動が検出され、その時間発展がほぼ即時的に捕捉されるなど、プレート境界域あるいは内陸における地殻活動のモニタリングシステムの高度化が進んだ。このほか、東海地域におけるモニタリングシステムについても、歪計の増設など進展が見られた。

【地殻活動シミュレーション手法と観測技術の開発】

また、断層摩擦構成則に基づく地震発生サイクルのシミュレーション等の結果を考慮して、監視能力の向上が図られた。モデル化及びシミュレーションにおいても、地震発生サイクルを構成する要素モデルの構築や、横ずれ型プレート境界での地震発生サイクルのシミュレーションが行われるなど、日本列島及びその周辺域の地殻活動予測のためのシミュレーションモデル構築の準備が進んだ。また、海底地殻変動観測のための技術開発が進み、

繰り返し観測が実施されるようになった。

2. 「地震予知のための新たな観測研究計画（第2次）」の総括的評価

第2次新計画では、第1次新計画に引き続き、(1)地震発生に至る地殻活動解明のための観測研究、(2)地殻活動の予測シミュレーションとモニタリングのための観測研究、(3)新たな観測・実験技術の開発、(4)計画推進のための体制の整備を推進した。第2次新計画では、(1)地震発生に至る地殻活動解明のための観測研究として、「地震発生の素過程」の研究に加え、「地殻活動予測シミュレーションモデルの構築」の研究計画を「地殻活動モニタリングシステムの高度化」と合わせ一つの柱とした。また、地殻活動解明のための観測研究では、準備過程と直前過程の研究を統合的にを行い、プレート境界地震と内陸の地震について新しい知見が得られた。

削除:

削除: 「地殻活動解明」計画に

削除: 研究

削除: った

(第2次新計画の成果の社会への貢献)

本計画の成果は、震災軽減に関する社会的要請にこたえた。地震調査推進本部地震調査委員会の評価に関して、2003年十勝沖地震が想定されていた地震であるとの評価を行った際や、2005年宮城県沖の地震が想定されていた地震ではないと評価する際に、本研究計画のプレート境界のアスペリティの研究成果が活用された。また、2004年新潟県中越地震の余震活動が異常に活発であった原因についての評価でも、本計画によって明らかにされた震源域の不均質構造に関する成果が利用された。

地震調査推進本部政策委員会が行った海溝型地震の調査観測計画や、重点的調査観測計画の策定に、本計画の成果が寄与した。例えば、プレート境界結合状態の研究計画を立案するために、本計画におけるアスペリティに関する知見が本質的な役割を果たした。

東海地方で検出された長期的ゆっくり滑り、南海トラフの短期的ゆっくり滑り及び深部低周波微動(地震)の地震予知における意義は、本計画の結果が不可欠であり、地震防災対策強化地域判定会委員打ち合わせ会での審議に貢献し、東海地震予測精度の向上に寄与している。

その他、本計画のプレート境界の結合状態に関する知見は、中央防災会議の各専門委員会(東海、東南海・南海、日本海溝、首都直下)の審議や、自治体の防災対策策定に貢献した。

○地震発生に至る地殻活動解明のための観測研究の成果

地震発生直後から次の地震発生に至る歪蓄積過程を地震発生準備過程と位置付け、その進行状況を把握するために、プレート運動に起因する広域的、長期的地殻活動を理解するための観測研究を基本とした。すなわち、応力集中する場所を観測によって特定し、その推移を把握することにより、地震サイクル全体の理解を目指した。その結果、十勝沖と三陸沖においては、新しい地震発生像が得られつつある。

削除:

また、地震発生直後から次の地震発生に至る歪蓄積過程を地震発生準備過程と位置付け、その進行状況を把握するために、プレート運動に起因する広域的、長期的地殻活動を理解するための観測研究を基本とした。すなわち、応力集中する場所を観測によって特定し、その推移を把握することにより、地震サイクル全体の理解を目指した。その結果、十勝沖と三陸沖においては、新しい地震発生像が得られつつある。

(プレート境界の結合状態の多様性の発見とアスペリティモデルの発展)

地震間に固着し地震時に大きく滑る領域（アスペリティ）と、定常的にゆっくり滑っている領域のほかに、地震後にゆっくりと滑る領域や、地震とは一見無関係に非定常的にゆっくりと滑る領域など、プレート境界の結合の仕方は、様々であることが分かった。

（摩擦パラメータの空間的な多様性と、時間的な定常性）

一方、結合の仕方は、場所ごとに時間的に変化せず、地震の大きさの多様性は、破壊するアスペリティの組み合わせの多様性によって理解されるようになった。これが正しければ、プレート境界の摩擦パラメータは、位置の関数ではあるが、数回の地震発生サイクルの間は時間とともに変わらない可能性がある。つまり、プレート境界の滑りの様子は、摩擦パラメータを正しく推定すれば、物理的なモデルによって再現可能であり、適切な初期条件と境界条件を与えると予測可能であることを示唆している。

（プレート境界の固着域と非地震性滑り領域の棲み分け）

プレート境界の結合状態は、地震時の滑り分布の解析、通常時の GPS による滑り遅れの観測、小繰り返し地震（相似地震）による非地震性滑りの観測などの手法の精度が向上したため、プレート境界の固着域や非地震性滑り領域などが空間的・時間的に高い分解能で分かってきた。（十勝沖地震、東海の長期的ゆっくり滑り）

（本震の滑り領域と、余効的滑り、余震分布との相補性）

本震の滑り量が大きい領域では、余震や余効滑りが少ない傾向にあるという特徴が見られる。地殻変動連続観測や GPS のデータから、三陸における大地震後に、時定数が数日以上に及ぶゆっくりした滑り起きたことが明らかになったが、2003 年十勝沖地震とその余効滑り、余震活動、小繰り返し地震の活動などの解析によって、この傾向が確かめられた。

（非定常的長期的ゆっくり滑りと、短期的ゆっくり滑り）

2000 年後半頃から 2005 年にかけて発生した浜名湖周辺の長期的ゆっくり滑りの領域は、想定東海地震の震源域の深部延長にある。また、低周波微動・低周波地震に伴って発生した短期的ゆっくり滑りの領域は、アスペリティ領域、長期的ゆっくり滑り領域とも異なることが明らかになり、これらの現象は、プレート境界の摩擦特性が場所によって異なっている可能性を示している。浜名湖周辺の長期的ゆっくり滑りは、2000 年以前にも発生していたことや、類似の現象が豊後水道でも発見されていることは、プレート境界のダイナミクスを理解する上で重要である。

（プレート境界域における不均質構造：固着の度合いの強さを決める要因）

プレート境界域における不均質構造に関しては、主として構造探査により、固着の度合いを決める要因の解明を目指した研究が進められ、アスペリティの実体解明を目指した（三陸沖、東海地震震源域、東南海地震震源域、南海地震震源域）。地震反射波の強度と微小地震活動の関係、過去の大地震の滑り分布との関係についても解析例が増えてきた。

（複数のアスペリティの連動破壊による巨大地震）

2004年のインドネシア・スマトラ島沖大地震は、アスペリティが非常に広域に連動破壊した巨大地震であったが、津波堆積物の調査により、北海道太平洋岸や南海トラフでも、数百年から千年程度の周期で、これに類似した巨大地震が発生していたことが示された。

(非地震性の変形による内陸震源断層面への応力集中モデル)

内陸地震でも、震源域周辺の非地震性の変形によって断層面へ応力が集中することが基本的な地震発生機構であると考えられるようになった。ただし、内陸では、プレート境界と異なり明確な弱面が存在しないので、震源域周辺の構造の三次元的な不均質性が重要である。

(新潟-神戸歪集中帯での合同集中観測の成果)

非地震性の変形の実体を解明するために、新潟-神戸歪集中帯での合同集中観測が実施された。その結果、跡津川断層周辺の地殻深部には、地震波速度と電気比抵抗が低い領域の存在が明らかになり、ここでは周囲に比べて被弾性変形しやすい状態になっている可能性がある。この非弾性変形が、歪の集中に寄与している可能性がある。

(東北地方の地殻構造の不均質性)

東北地方では、自然地震を用いたトモグラフィによって詳細な三次元速度構造、反射法探査によって活断層深部の形状が分かってきた。また、断層深部の地震発生域より深い下部地殻内にS波の反射面や散乱体、低周波微小地震が多数見つかっている。これらの結果は、下部地殻内での流体の存在を示唆し、これが非弾性変形を促進することにより、特定の断層への応力集中をもたらすと考えられた。

西南日本の横ずれ断層帯については、1984年(昭和59年)長野県西部地震(M6.9)の断層深部延長では、非地震性滑りを生じている可能性が高く、この断層深部延長の非地震性滑りが地震断層での応力集中の原因であると考えられる。新潟-神戸歪集中帯の一部である跡津川断層深部延長でも、同様な考えが適応できる可能性がある。2000年鳥取県西部地震(M7.3)では、地震発生の10年くらい前から断層面上において群発的な地震活動が発生したが、これは震源断層への応力集中を示すものかもしれない。

(強震動予測)

強震動予測についても現実的な道筋を示すことができるようになった。将来起こる可能性のある特定の大地震について、現実的な震源過程、構造を考慮した地震波伝播過程を数値計算し、予測される強震動を評価できるようになった。

(地殻内流体の分布・挙動)

地震波速度構造と比抵抗構造による水の分布の推定は、大局的にはよい一致を示す。しかし、詳細に検討すると、同じ量の流体が存在していても、流体の存在する間隙の形態や結合様式によって、地震波速度や、比抵抗は大きく変わる。また、両者への影響の仕方は異なる。したがって、地震波速度構造と比抵抗構造を統合して解析することにより、流体の量のみならず、その存在様式についての情報が得られる可能性がある。

削除: 内陸地震

削除: 断層面上での滑り量が不均一であることは、プレート境界地震と同様であることが分かった
(2003年宮城県北部の地震、2003年新潟県中越地震など)。また、

削除: 内陸地震においても

削除: (地表変形、地下の断層の動き、地下構造等の相互の関係)

削除: 内陸地震においては、2004年新潟県中越地震(M6.8)後の総合集中観測によって、地表変形、地下の断層の動き、地下構造等の相互の関係が明らかになった。

(新潟-神戸歪集中帯での合同集中観測の成果)
地殻の浅いところから深部にかけて、地震波速度と電気比抵抗の分

削除: (非地震性の変形による断層面への応力集中のモデル)

削除: において

削除: り、

削除: 3

削除: が明らかになってきた。

削除: からは、

削除: さらに、比抵抗構造と V_p/V_s 構造との対比なども可能となった

削除: (2)

削除: での地震発生モデル
断層の深部延長に歪が局在し、

削除: ており、

削除: が示唆された。1984年(昭和59年)長野県西部地震(M6.9)

（低周波地震の意義と発生メカニズム）

地震波の低速度域は、流体の存在によって形成されている可能性が高いことから、そのような領域から時々流体が移動する時に低周波地震を発生させるものと考えられる。低周波地震や低周波微動の震源域と、低比抵抗域とに関連が見られることも、この仮説を支持している。この仮説が正しければ、低周波地震は流体の位置のみならず、流体の移動の情報も我々に与えてくれることとなる。西南日本で最初に発見された低周波微動は、プレート境界の短期的ゆっくり滑りと連動することが明らかになった。

（群発地震 — 火山性の群発地震活動とマグマ等の流体移動）

伊豆諸島海底群発地震活動においては、三宅島のマグマ等の流体移動が強く関与していることを示す結果が重力測定から得られている。さらに、三宅島での連続観測から10マイクロガル程度の重力変動が、地下水位の変動及び火山ガス放出量の減少と同期していることが見いだされている。これらの結果は、地下の流体の移動を重力観測でとらえたことを示す重要な成果である。火山の噴火に先立つ地震活動の研究と連携していくことが重要である。

（前駆現象の研究）

前駆現象のデータを蓄積し、その発現形態を見極めることは、短期間では困難な課題である。また、前駆現象は、それが現われない場合も含めて複雑多岐にわたっているので、実際に大地震が発生するまでは因果関係を検証できない。2003年十勝沖地震では、少なくともM6程度の規模に相当する前駆的滑りが震源域で発生しなかったことが、地殻変動観測データから明らかになった。

（理論的・実験的研究の必要性）

したがって、単に経験主義的に事例を蓄積する手法には限界がある。「建議」に述べられているように、歪の蓄積・応力の集中過程の結果として出現する現象の発現機構の解明を観測的研究だけでなく、理論的・実験的研究などを通じて目指すべきである。

（前駆的滑りに伴う地殻変動は非常に小さい）

前駆的滑りに伴う地殻変動は非常に小さいと予想されており、現時点の技術で検知できるのはM8級の地震が陸域観測網直下で発生すると考えられている東海地域くらいである可能性が高い。M7級の浅発地震の前駆的滑り発生域の真上に、たまたま地殻変動観測点があれば検知が可能かもしれないが、1点の観測だけでは前駆的滑りによる地殻変動か否かの判定は難しいと予想される。

（鉱山における諸観測）

いずれにしても、野外において確実な前駆的滑りはまだ検出できておらず、また前駆的滑りの規模が震源域の大きさに比例するのかどうか完全には分かっていない。したがって、まず前駆的滑りの検出を実際のフィールドで行って、その特徴を抽出することが重要

である。南アフリカの金鉱山における諸観測によって、ゆっくりとした滑りの前駆的滑りに相当するデータが得られたことは、この観点から重要な成果である。

（断層固着状態の計測可能性）

岩石の滑り実験において、断層面に模した滑り面を透過する弾性波の振幅が、地震性滑りの発生に先行して減少する現象が見いだされた。透過弾性波の振幅は、摩擦強度を表す断層固着状態を反映していることが明らかになった。地震の直前予知のためには地震発生に先行するゆっくりとした滑りである前駆的滑りの検出が重要であると考えられている。前駆的滑りについては、地殻変動観測による検出が想定されてきたが、前駆的滑りによる断層面の固着状態の変化を、断層面を透過する弾性波の振幅によって検出できる可能性を示した意義は大きい。

（室内実験による岩石物性の測定）

構造探査から得られる地震波速度等からプレート境界面での摩擦特性を推定するためには、様々な岩石について、震源域と同じ温度・圧力条件で弾性波速度や摩擦特性を明らかにしておく必要がある。これまでに、低摩擦強度や非地震性滑りの原因とも考えられている蛇紋岩について系統的に弾性波速度の測定を行い、蛇紋岩の種類による弾性波速度の違いなどを明らかにした。

○地殻活動の予測シミュレーションとモニタリングのための観測研究の成果

（予測シミュレーションとモデル）

モデル化及びシミュレーションにおいても、現実的な摩擦構成則とプレート境界面形状を考慮した巨大地震発生サイクルのシミュレーションが可能になってきた。その結果、南海トラフ沿いの過去の巨大地震発生系列の特徴を再現するとともに、応力増加率が最大となる紀伊半島沖から破壊が開始しやすいことを示した。また、ゆっくり滑りの原因や地震発生層よりも深部で発生する前駆的滑りを理解するためのモデル、及びプレート沈み込みに伴う応力場形成に関するモデルも提案された。

（地殻活動モニタリングシステムの高度化）

（基盤的地震観測網と基盤的 GPS 観測網の整備）

基盤的地震観測網と基盤的 GPS 観測網の整備によって「地殻活動モニタリングシステムの高度化」が進展した。

（高感度地震観測網のデータの一元化とデータ流通体制の整備）

高感度地震観測網については、気象庁、防災科学技術研究所及び大学のデータの一元化が完成し、またデータ流通体制も確立しつつある。こうした高度化により、我が国の高感度地震観測データのほぼ全てが、全国どこでもリアルタイムで利用可能になった。多くの研究者が、地震波形データを利用できるようになった意義は大きい。

（東海地域における非地震性滑りのリアルタイム監視）

歪計のノイズレベルの詳細な検討により、異常判定基準の見直しがなされ、より小さな異常のモニタリングが可能な体制になっている。その結果、短期的ゆっくり滑りが、ほぼ実時間で検出され、その活動の推移が把握できるようになった。

(海底測位)

GPS と音響測距を組み合わせた海底測位システムの実用化が進み、海域において数 cm の地殻変動の検出が可能となりつつある。

(第2次新計画を推進するための体制)

第2次新計画を推進するための体制については、調査観測面で大学及び関係機関がそれぞれの役割を分担しつつ、協力・連携を図ってきた。特に、平成16年度に、測地学分科会地震部会に、観測研究推進委員会が設立され、観測研究計画の進捗状況及び成果の把握と実施計画・成果報告の取りまとめを行った。

地震予知連絡会は、大学及び関係機関の委員による地震予知に関する情報交換や学術的に深く掘り下げた意見交換を定期的に行っており、それを通じて各機関の観測研究の自己点検・評価や個別具体的な観測研究戦略の検討などを促し、第2次新計画の推進に貢献している。

大学においては、全国共同利用研究所と各大学の地域センター等で構成される地震予知研究協議会が中心となって、国立大学法人の関係部局間で協定を結び、連携を強化した。平成18年に、地震予知研究協議会は、火山噴火予知研究との連携を強化するために地震・火山噴火予知研究協議会に改組された。同協議会の企画部と計画推進部会が中心となって研究計画の立案、成果の取りまとめなどが行われている。また、同協議会は、外部評価委員会を設置して、評価を受けている(18年度中に評価を受ける)。

3. 今後の展望

プレート境界型地震の予測については、従来の統計学的モデルに、物理学的モデルを取り入れた高度な長期予測を目指している。そのためには、準静的滑りの状況をモニターしアスペリティへの応力集中過程を評価する手法を高度化する必要がある。プレート境界の摩擦・破壊構成則パラメータに関する研究をいっそう進め、予測シミュレーションモデルにデータを同化する手法を開発することが重要である。

プレート境界では、定常的な滑りと固着のほかに、様々な時定数を持つ非定常的な滑りが発生していることが明らかになった。また、地震前に震源域の深部延長域ないし浅部で準静的滑りの加速が生じていたことを示すデータも得られ、また数値シミュレーションにより準静的滑りの加速から地震に至る過程が再現されている。当面、様々な滑りの実体を明らかにすることが重要であるが、さらに、それらの滑りのデータをモデルに取り込み、

削除: 一

削除:

(第2次新計画の成果の社会への貢献)

地震調査研究推進本部地震調査委員会の評価に関して、2003年十勝沖地震が想定されていた地震であるとの評価を行った際や、2005年宮城県沖の地震が想定されていた地震ではないと評価する際に、本研究計画のプレート境界のアスペリティの研究成果が活用された。また、2004年新潟県中越地震の余震活動が異常に活発であった原因についての評価でも、本計画によって明らかにされた震源域の不均質構造に関する成果が利用された。

地震調査研究推進本部政策委員会が行った海溝型地震の調査観測計画や、重点的調査観測計画の策定に、本計画の成果が寄与した。例えば、プレート境界結合状態の研究計画を立案するために、本計画におけるアスペリティに関する知見が本質的な役割を果たした。

地震防災対策強化地域判定会(判定会)

東海地方で検出された長期的ゆっくり滑り、南海トラフの短期的ゆっくり滑り及び深部低周波微動(地震)の地震予知における意義は、本計画の結果が不可欠であり、判定会委員打ち合わせ会での審議に貢献し、東海地震予測精度の向上に寄与している。

その他、本計画のプレート境界の結合状態に関する知見は、中央防

6

地震発生の可能性を評価することを現実の課題とすべきである。例えば、プレート境界での滑り遅れの蓄積量が前回の地震の滑り量と同程度になった時点で、その周辺において非定常的滑りの加速が検知されれば、地震発生の可能性が高まったと評価することができる。

削除: (注意報)

ただし、これらの予測が正しいかを判断するためには、大地震の1サイクルを観測していなければならない。日本周辺のプレート境界型大地震の再来間隔を考えると、100年程度の経験を積み、上記のような評価を下せるような地震がいくつか発生することが期待できる。また、三陸沖では、M7級の地震の再来間隔は20~40年程度なので、もっと近い将来にこのような地震発生の評価を出せるかもしれない。

削除: 注意報を出せる

削除: 存在すると

削除: される

削除: 注意報

(前駆的滑り(震源核)の検知)

しかし、定常滑りの加速無しに、つまり外部からの擾乱が無くとも大地震が発生する場合もある。この場合、直前予知のためには前駆的滑り(震源核)を検知することが不可欠であり、それは現在の観測技術では、一般には困難である。この直前予知の隘路となっている前駆的滑りの検知については、能動的な手法も含め、技術開発を更に進める必要がある。アスペリティ周辺の非地震性滑りの時空間変化を更に詳しく調べるためには、陸上GPSデータの解析だけでは限界があり、海底地殻変動観測の高精度化に大きな期待がかかる。さらに、プレート境界の滑りの加速を検知することによって前駆的滑りを検知する試みだけでなく、境界を透過・反射する地震波からプレート間固着の時間変化を直接モニターする手法を野外においても試みることは重要である。

プレート境界地震の発生予測には、特に、以下に指摘する問題の解明が急がれる。

(1) アスペリティの実体の解明

第1次新計画に引き続いて、プレート間結合を支配する要因(境界面の形状、物質、温度、流体分布)の解明とアスペリティの空間スケールの把握に基づく、アスペリティの実体解明を進める。

(2) アスペリティの相互作用

地震の大きさは、幾つかの独立したアスペリティがどのように連動するかという問題に帰着される。その解明には、アスペリティの相互作用に関する実験的な研究や数値シミュレーションによる理論的研究が必要である。

(3) 大地震発生前の非地震性すべりの時間変化

定常的な滑りのほかに明らかになったゆっくりとした滑りの規模や発生間隔が、大地震の前にどのように変化するかを観測的・実験的・理論的に解明することが重要である。滑りのモニタリングのために、測地学的な手法のほかに、低周波微動・地震や、小繰返し地震を用いる手法を更に高度化する必要がある。直前過程の理解と、直前予知には、震源域の深部延長における非地震性滑りの加速の有無の検出が重要な課題となる。発生確率が高いと長期評価されている地震(宮城県沖地震、東海地震、東南海・南海地震など)について、地震発生前の非地震性滑りの変化を正しく把握することは、今後の研究にとって極

削除: -

めて重要である。

(4) 中小の地震活動とプレート間滑りの関係

2003年十勝沖地震では、検出可能な前駆的滑りが発生しなかったが、やや広域の地震活動には明瞭な変化（静穏化領域と活発化領域）が出現した。中小地震活動は、応力場に敏感であることは知られているが、プレート間の固着・滑りと、陸側プレート内の地震活動の関係を解明することは、地殻内の応力を把握することにつながり、中期的地震発生予測に貢献する。

(内陸地震の研究戦略)

内陸地震は、一般に規模が小さく、繰り返し間隔が長い。したがって、ある特定の地震について、1サイクル全体を調べることで観測データは期待できない。この点において、繰り返し間隔が比較的短いプレート境界地震とは異なった研究戦略が要求される。つまり、地震発生サイクルの種々の段階にあると考えられる多くの地震を、日本列島の代表的地域で事例集積することによって調査し、内陸地震の発生サイクルの一般性を抽出する戦略が必要である。

削除: は、プレート境界地震とは異なった研究戦略が必要

削除: することにより

内陸地震発生予測のためには、日本列島の代表的地域での事例の集積が必要である。

(歪集中帯の成因の解明と定量的なモデル化)

内陸地震については、プレート境界のように明確な弱面が存在しないために、応力集中過程の理解が難しい。広域的には、GPS観測網による日本列島の変位の全貌が明らかになり、さらに新潟-神戸歪集中帯など、歪の蓄積された領域も発見された。非弾性的な歪の蓄積が震源断層に応力を集中させるという、プレート境界と類似の過程を、更に定量的にモデル化する必要がある。

(地殻内流体)

地震波低速度領域、低比抵抗帯、地震波反射面、低周波微小地震には、地殻内流体が関係している可能性が高い。流体の存在は、岩石の破壊強度を低下させるので、地震学的・地球電磁気学的・地球化学的手法を総合して、地震発生層の下に存在すると思われる地殻内流体の実体解明とモデル化を早急に行う必要がある。これは、内陸地震の発生過程のモデル化に必須である。

流体の分布を推定できると考えられている地震波速度分布と、比抵抗の分布は、概ね一致している。しかし、詳細に見ると両者はかなり異なっていることが多い。どちらの推定値も空間分解能や解の一意性が十分ではないため、両者の結果の違いは単なる見かけ上の問題である可能性も残されており、今後、両者を同時に解析して、同一の流体分布で比抵抗と地震波の走時の両方を説明できるかどうか検証することが必要となっている。

(予測シミュレーションの推進)

「地震発生に至る過程を把握、理解し、その過程をモニターしつつ、地震発生準備過程のモデル化との連携による総合的地震発生予測システムを構築する」という視点からは、観測研究の成果を取り込んだ統合化モデルの構築には至っていない。観測で得られる地殻活動データを利用して、プレート境界面の摩擦パラメータやプレート境界の滑り等を推定し、予測シミュレーションのモデルパラメータや初期条件等を精度良く決定する手法、また、シミュレーションによる予測と観測とを比較することによりモデルを逐次的に修正するための手法を開発する必要がある。このような複雑な総合的な予測シミュレーションは、モデルパラメータが非常に多く、予測のためには不安定な面もあるので、この弱点を補うような、大規模な地殻活動の推移を概括的に把握するためのより単純なモデルを構築することも今後の課題である。

削除: へ引き渡す手法

(予知の実用化)

事前に警報を出せるような精度で行う地震予知の実現は、現時点では、プレート境界地震と内陸地震を問わず、一般には困難である(想定東海地震は、一定の条件が満たされているときに可能)。地震予知には解決すべき課題が多く、実用化は実現していない。前兆現象が明確に現われない場合を含めて、直前過程は複雑多岐である。信頼性のあるデータが蓄積されていないことから、一般的地震の直前予知を実用化するめどは、現在においても立っていない。単に観測体制や観測の精度の問題だけではなく、地震発生に至る直前過程や断層破壊の規模依存性の理解が未だ不十分であるからである。

削除: の実用化

我々は、前兆現象に依拠した経験的な地震予知の早期実用化というアプローチではなく、II章で述べたアプローチを採ることによって、地震予測精度を徐々に向上させることで別紙で述べる防災対策等への社会貢献を行いつつ「地震予知の実用化」に着実に近づくとしたところであり、今後もこうした方針を進めるべきである。

削除: 地震予知の実用化については、将来の課題としつつ、

(体制)

新たな観測研究計画を効果的に推進するための体制については、大きな転機を迎えようとしている。特に、本計画は、多くの基礎研究の積み重ねが重要であり、人材の育成を行いつつ推進して行く必要がある。国立大学が法人化したことにより、各大学の独自性が強まったが、地震予知のための観測研究においては、これまでと同様、各大学及び観測・研究機関の連携・協力は必須の条件である。これをいかに確保し、更に強固なものにしていくかが重要である。観測・研究情報交換の場として、地震予知連絡会のような場を活用していくことが望まれる。

(各大学の地震関連観測研究センターと全国共同利用研究所)

各大学の地震関連観測研究センターにおいても、法人化に際して、教育・人材養成という機能を確保しつつ、それぞれのセンターを地震予知観測研究のための全国的組織の一部として位置付ける必要がある。また、全国共同利用研究所の役割はこれまで以上に重要なものとなる。

(大学の地震・火山噴火予知研究協議会)

こうした位置付けの上で、大学の地震予知研究協議会が地震・火山噴火予知研究協議会に改組され、地震予知研究と火山噴火予知研究のいっそうの連携が図られた。今後は、同協議会の機能の継続、発展が期待される。大学の高感度地震観測網については、基盤的調査観測計画との調和を図りながら、大学が本来担うべき研究的な機動観測へ一層重点を移すことが期待される。

削除: 果たしてきた

削除: 調査

(推進本部の施策の中での位置付け)

現在、地震調査研究推進本部の発足により、国として地震防災に必要な地震調査研究は、同本部の方針の下に一元的に行われている。地震予知のための観測研究は、同本部の「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―」(平成 11 年 4 月)において、当面推進すべき地震調査研究の一つとして位置付けられている。今後、この観測研究計画の在り方や具体的な位置付けをどう考え、どのように推進していくかについては、十分検討を行っていく必要がある。

ページ 56: [1] 削除 inoue53 2006/11/15 21:51:00

内陸地震においては、2004 年新潟県中越地震 (M6.8) 後の総合集中観測によって、地表変形、地下の断層の動き、地下構造等の相互の関係が明らかになった。

(新潟-神戸歪集中帯での合同集中観測の成果)

地殻の浅いところから深部にかけて、地震波速度と電気比抵抗の分布に異常がある。地殻深部・最上部マントルの低速度領域における

ページ 56: [2] 削除 inoue53 2006/11/15 21:53:00

(非地震性の変形による断層面への応力集中のモデル)

(1) 東北脊梁山地での地震発生モデル：逆断層

ページ 56: [3] 削除 inoue53 2006/11/15 21:55:00

さらに、比抵抗構造と V_p/V_s 構造との対比なども可能となってきた。

ページ 56: [4] 削除 inoue53 2006/11/15 22:22:00

での地震発生モデル

断層の深部延長に歪が局在し、準静的滑りまたは流動を生じている可能性が高い。

例えば、

ページ 56: [5] 削除 inoue53 2006/11/15 22:23:00

が示唆された。1984 年 (昭和 59 年) 長野県西部地震 (M6.9) の断層深部延長では、非地震性滑りを生じている可能性が高く、新潟-神戸歪集中帯の一部である跡津川断層深部延長でも、同様な考えが適応できる可能性がある。

ページ 59: [6] 削除 inoue53 2006/11/15 22:35:00

(第 2 次新計画の成果の社会への貢献)

地震調査推研究推進本部地震調査委員会の評価に関して、2003 年十勝沖地震が想定されていた地震であるとの評価を行った際や、2005 年宮城県沖の地震が想定されていた地震ではないと評価する際に、本研究計画のプレート境界のアスペリティの研究成果が活用された。また、2004 年新潟県中越地震の余震活動が異常に活発であった原因についての評価でも、本計画によって明らかにされ

た震源域の不均質構造に関する成果が利用された。

地震調査推研究推進本部政策委員会が行った海溝型地震の調査観測計画や、重点的調査観測計画の策定に、本計画の成果が寄与した。例えば、プレート境界結合状態の研究計画を立案するために、本計画におけるアスペリティに関する知見が本質的な役割を果たした。

地震防災対策強化地域判定会(判定会)

東海地方で検出された長期的ゆっくり滑り、南海トラフの短期的ゆっくり滑り及び深部低周波微動（地震）の地震予知における意義は、本計画の結果が不可欠であり、判定会委員打ち合わせ会での審議に貢献し、東海地震予測精度の向上に寄与している。

その他、本計画のプレート境界の結合状態に関する知見は、中央防災会議の各専門委員会（東海、東南海・南海、日本海溝、首都直下）の審議や、自治体の防災対策策定に貢献した。