

地震予知のための新たな観測研究計画(第2次)の実施状況等に関するレビュー草案

● 全般的な事項に対する意見 (渡辺委員)

- ・ 調査観測の実施年を毎年度、記述するか。
→ 原則記述しない。ただし、文脈的に判断して記載することも可。
- ・ 命名されていない地震(福岡県沖など)の名称の統一。
→ 気象庁、地震調査委員会で使用している名称に統一。
- ・ 地震発生日を月日まで記載するか。
→ 原則は年単位で記述。ただし、文脈的に判断して記載することも可。
- ・ 「モニター」と「モニタリング」の違いは、違いがないのであれば統一。
→ 名詞及び形容詞は「モニタリング」、動詞は「モニター」に統一。
- ・ 地震のマグニチュードを毎回記載する必要はあるか。
→ 各大項目ごとの初出の箇所のみ記載。
- ・ 文章の過去形と現在進行形の使い分けはどうか。
→ 文脈ごとに判断。

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 (松澤委員)

→ 目的については、書き方を検討中。案として、「1.」全体の目的を記載したパラグラフに続き、各項目の内容を記載したパラグラフを記載する。

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事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」、「地震発生過程と強震動」、「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。

(3) 地震破壊過程と強震動 (山岡委員)

大地震発生に先立って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。

(4) 地震発生の素過程 (山岡委員)

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・破壊現象のスケール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、実験的・理論的研究により、観測可能なP波速度、S波速度、比抵抗などから推定する。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 (松澤委員)

ア. 日本列島及び周辺域のプレート運動

日本列島周辺のプレート運動の影響を調査するために、大学は、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(超長期線電波干渉計)の観測を定期的実施した(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(2001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の解析を進め、さらに、平成14年度(2002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年濃尾地震(マグニチュード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])。このGEONETデータに基づき、大学は、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、楯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(松澤委員)

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)9月26日に十勝沖地震(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)11月29日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、さらにこの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)の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(UHF-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)8月16日には、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、さらにその結果を用いて陸上観測点の観測点補正値を求める事により、過去の地震の震源再決定も行い、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、既設観測点と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手法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2000年(平成12年)度より毎年実施し、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])。

○大地震やゆっくり滑りと地下構造との関係の解明にむけた観測研究

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])、また南海地震震源域の掘削予定海域(紀伊半島沖)での地質調査等を行った(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、得られた構造に基づき、地震発生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])。

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])。

○ゆっくり滑りや深部低周波微動と大地震の関係の解明にむけたモデルの構築

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

コメント [i1]: 「南海掘削」が突然出てくるので唐突な感じがする。少し説明が必要。(干場委員)→修文済み。

削除: 南海掘削

削除: により

学 [課題番号：1702])。

海洋研究開発機構は、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シミュレーション研究を行った (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])。

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])。

削除：) 7月26日の

大学は、九州の日奈久断層近傍において合同総合地殻構造探査を2003年(平成15年)12月に行った(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、また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、2004年(平成16年)度から5ヶ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た(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(断層体内の細粒破砕物)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殻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〕）。

削除: 3月20日に

削除: で発生した

大学は、最近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、またバネ・ダッシュポット・スライダー要素によるモデルを用いて、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シナリオの検証を行った（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おいて、地震時の断層滑りモデルとその近傍で地震直後に測定した応力データを用いて、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、歪速度分布と比較した（東北大学〔課題番号：1202〕）。さらに、1914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）でも広帯域地磁気地電流観測を行って比抵抗構造を求めた。トル

コメント [12]: 8ページで、「トルコ北アナトリア」と記述されているので、前出のここで「トルコ」を明記し、8ページの「トルコ」は削除。（干場委員）→修文済み

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、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]）。

削除: 推定

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を、2002年（平成14年）から継続している（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年根室半島沖地震（M7.4）と1894年根室沖地震の違いを明らかにするため、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、産業総合技術研究所は、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の間越龍神池において、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]）。また、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、松田（1990）による「起震断層」の考え方の妥当性を検討した。さらに、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（産業技術総合研究所 [課題番号：5002]）。また、糸魚川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、さらに北アナトリア断層系 1943～1944年地震断層及び中国富蘊断層系 1931年地震断層において、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]）。

削除：トルコ

○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が、周囲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、多重応力変化と速度状態依存摩擦構成則を考慮した応力-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（山岡委員）

ア. 断層面上の不均質性

精度の高いアスペリティ分布を作るため、大学は、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の GPS データを用いた解析を行った。

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、大学は、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、大学は、詳細な発震機構や 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では、ボアホール用温度測定装置の開発を行った。

断層の形状を詳細に調べるため、産業技術総合研究所は、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

強震動生成予測の向上のため、大学及び産業技術総合研究所は、計算手法の開発及びモ

デル化手法の改良を行った。

強震動伝播計算を高度化するため、大学と海洋研究開発機構は、ベクトル化・並列化による大規模強震動計算を可能にした。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 (山岡委員)

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・科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。大学と産業技術総合研究所は、高温高压下における破壊・摩擦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。大学は、震源核と地震モーメントサイズのスケージ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を調査した。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、岩石サンプルの微小破壊に伴う電磁放射を調べた。

削除: 核

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、高压下におけるき裂内の水の挙動の実験的研究を実施した。大学は、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。海洋研究開発機構は、深部掘削に向けた準備を行った。

削除: 測定

1. 3. 成果

(1) 日本列島及び周辺域の長期広域地殻活動 (松澤委員)

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形状が明らかになってきた（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、例えば紀伊半島北部では低速度の海洋地殻内に発生しているのに対して南部で海洋マントル中に発生しているなど、場所によってプレート内部の地震の発生様式が異なる事が確認された（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 （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]）。また、この低周波微動域は、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）。

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、その地域では剛性率が低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（松澤委員）

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）の後に、2004年（平成16年）11月29日に釧路沖で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の地震と波形が良く似ており、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・モデルの正しさを示すと同時に、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おり、2005

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捉える事に成功した (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が折れ曲がっているところが、プレート境界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、破碎された海洋地殻が沈み込み、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弱い事が示された (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 シミュレーションの結果 示された (海洋研究開発機構 [課題番号: 4001])。

東海地域の間欠的ゆっくり滑りは、固着域の深部縁辺域で生じていることが明らかになった (名古屋大学 [課題番号: 1702])。この領域では、深部低周波微動が生じているが、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 (P 波と S 波の速度比) 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る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

跡津川断層で行われた地震観測の結果、断層の深部延長で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])。一方、跡津川断層の浅部で、地震活動が低くて、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]) となっており、この部分がアスペリティとなっている可能性が高くなってきた。これまで、大地震が同じ場所で繰り返し発生することを説明するために、震源域の深部延長の下部地殻が局所的にまわりより強度が小さくなっているとするモデルが提案されていた (京都大学防災研究所 [課題番号: 1801]、東北大学 [課題番号: 1204]) が、この跡津川の結果はそのモデルの正しさを支持している。

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、詳細な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])、この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なっていて、そのすぐ上の脆性領域で応力集中がしやすくなっていてそこから破壊が始まったと説明ができる(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、2000年(平成12年)鳥取県西部地震(M7.3)の断層北部での強度が大きい可能性が高く、また1984年(昭和59年)長野県西部地震(M6.9)では断層の深部延長で非地震性滑りを生じている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])。この後者と山陰地方の地震帯直下の下部地殻には低比抵抗帯が系統的に確認されていることは、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シナリオと矛盾しない。さらに、このシナリオに基づくバネ・ダッシュポット・スライダー要素モデルによるシミュレーションでは、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ことが予想されており、上記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も大地震が発生し得る理由が説明できることになる(京都大学防災研究所[課題番号:1801])。

本計画当初には「大地震の発生域では断層の深部延長の下部地殻が局所的に弱くなっていて、それが浅部の応力集中を生み出す」という仮説が提示されていたが、上記の観測結果はこの仮説と矛盾しておらず、このことは内陸の地震発生予測にとって大きな前進であると考えられる。

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滑りが実際の場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、時には非常に広域に連動破壊する可能性があることを示している。

削除: 明示

2004年（平成16年）のインドネシア・スマトラ沖大地震（M9.0：米国地質調査所による）は、そのような非常に広域にアスペリティが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、過去に繰り返し、数百年間隔で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、約500年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]）。

コメント [13]: 「宝永地震」が突然出てくるのは唐突なので多少の説明が必要。「南海トラフでは、大津波を発生させた1707年の宝永地震」ではどうか。（干場委員）→修文済み

（3）地震破壊過程と強震動（山岡委員）

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秒間隔の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も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年の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ことが分かった。

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り、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認められた。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、活断層の詳細形状が明らかになりつつある。

削除: 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した。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・非線型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、より現実に近い強震動計算が可能となった。

(4) 地震発生の素過程 (山岡委員)

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。摩擦・破壊特性に大きな影響を与えると見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 (800MPa、700 度) 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、溶融にともな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滑りの検出が重要であると考えられているが、前駆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、また石英等の鉱物や滑り面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

プレート境界に存在し、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 V_p と V_s の測定を行い、様々な蛇紋石化の程度の多くの試料について系統的に明らかにした。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(シユードタキライト)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) (松澤委員)

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 等の高密度な地震観測網により列島規模の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])、プレート境界の位置・形状の情報は極めて重要である。

今後はこのような構造推定の研究を推進するとともに、これらの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。内陸においても下部地殻における局所的な非地震性の変形・滑りがその浅部の地震性領域に応力を集中させていくという考え方の検証が進められている。一方、プレート境界での応力集中モデルについては、「地震発生に至る準備・直前過程における地殻活動」においてアスペリティ・モデルとして取り上げられているが、これも非地震性の滑りが地震性領域に応力を集中させるとするモデルであり、両者には共通点が多い。今後、両方のモデルに関する研究の相互交流が重要であろう。

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、このプレート内の岩石の脱水反応はプレート内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、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) (松澤委員)

プレート境界においては、ゆっくりとした滑りの蓄積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。

このようなアスペリティの位置やバリアの位置は、大地震の記録が無いと事前に推定することは困難であったが、紀伊半島沖や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バリア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、紀伊半島沖は、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破壊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、この破壊核を歪変化として明瞭にとらえた例は無かった。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、理論的な破壊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事が必要である。

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事も分かってきた。ときには非常に広域に連動破壊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) (山岡委員)

地震の破壊過程の詳細を明らかにするため、地震波伝達関数の精度を高める様々な方策(現実的な三次元構造の導入、構造モデルの逆解析等)を開発するとともに、1秒間隔のGPS 波形データ等、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、今後も構造を含めた詳細な研究が必要となる。

削除: 近代的観測で

コメント [14]: 「確実な例は無かった」あるいは「例は少なかった」くらいではどうか。不確かなものまで含めるといくつか報告はあると思う。(干場委員) →修文済み

計算コードの改良によって、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。また、こうした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、いろいろ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) (山岡委員)

「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複数パラメータの同時測定を含め、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着実に進展した。さらに、断層面の状態をリモートセンシングする萌芽的研究も進んだ。今後は、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、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。

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（平田委員）

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実施状況及びその成果をレビューする。

削除: その他

削除: 内容

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（平田委員）

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・三宅島周辺のイベント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]。

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（M7.5）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。平面断面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

ばす影響や、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特性を推定した[1412]。

(2) 地殻活動モニタリングシステムの高度化 (堀委員、今給黎委員、干場委員、渡辺委員)

ア. 日本列島域 (今給黎委員)

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と、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った。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、震源及び発震機構を決定するプログラムの開発を行った。

震源や発震機構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の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を集約した。

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。**海上保安庁海洋情報部は、新しい音響解析や局位置計算のソフトウェアの開発、改良を行った（海上保安庁、8003、フォーマット1）。**

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 20,000km の水準路線を対象に約 10 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。

重力測定については、絶対重力観測により平成 15 年（2003 年）十勝沖地震時の帯広の上下変動及び平成 16 年（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（干場委員）

大地震の発生が予測されている東海地域においては、列島規模のモニタリングに加えて、

コメント [i1]: 「ア. 日本列島域」にまとめて書いた方が適切なので、「イ. 東海地域」から移動。（渡辺委員）→修文済み

コメント [i2]: 地殻変動観測ではなく、正しくは地震と津波の観測。（金田委員）→修文済み

削除: 地殻変動観測

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 9 月 5 日に紀伊半島南東沖の地震が発生したが、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動き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、過去の地震前後における地下水変件事例のデータベース化を進めるとともに、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）。

大学では、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

削除：で

コメント [i3]: シミュレーションに関しては、「2. (1)地殻活動予測シミュレーションモデルの構築」の所で記述することにしたためここでは削除。(干場委員) → 修文済み

削除：東海地震の直前過程の把握に活かすために、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を実施している(気象庁 17 [課題番号：7008]、フォーマット 1)。

削除：で

コメント [i4]: (のデータ…案 1、干場委員)、(によるデータ…案 2、渡辺委員) → 修文済み

削除：で

削除：で

削除：—

削除：を

削除：—する

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の伴った地殻深部で、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っ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、気象庁では、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（堀委員）

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、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の実施、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]）。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。

エ. その他特定の地域（渡辺委員）

大地震の発生が予測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、平成14年度以降、「宮城県沖地震に関するパイロット的な重点的調査観測」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、平成14年度に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、平成17年度に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

コメント [i5]: 海上保安庁の記述については、「ア. 日本列島域」へ移動。（渡辺委員）→修正済み

削除: 海上保安庁海洋情報部は、海底地殻変動観測を継続して行うとともに、新しい音響解析や局位置計算のソフトウェアの開発、改良を行った（海上保安庁、8003、フォーマット1）。

コメント [i6]: この部分は成果の箇所、記述するのが妥当ではないか。（渡辺委員）→修正済み

削除: 繰り返しの推移を明らかにした

コメント [i7]: 潮位観測は、日本列島域にあるので削除。（干場委員）→修正済み

削除: また、国土交通省、国土地理院、気象庁、海上保安庁は、連携して、潮位観測を継続している。

削除: 文部科学省の委託事業

コメント [i8]: 「深部低周波微動」について、草案に書き漏れていたもので追加。（堀委員）→修正済み

コメント [i9]: 産総研の記述がなかったので追加。（堀委員）→修正済み

GPS 連続観測点を設置し、観測を実施した。大学は、平成 16 年度に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、「糸魚川ー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、平成 18 年度までに糸魚川ー静岡構造線地域周辺に 11 観測点を新設した。国土地理院は、糸魚川ー静岡構造線地域において各年度 1 回ずつ GPS キャンペーン観測を実施し、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。大学等は、糸魚川ー静岡構造線地域周辺において、「糸魚川ー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、平成 14 年度から平成 18 年度に地震活動調査、地震学的・電磁気学的地下構造調査を実施した。

削除: -

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、平成 15 年から 18 年度に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、関東盆地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、平成 16 年度に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、平成 16 年度に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。

コメント [i10]: 産総研の記述がなかったので追加。(渡辺委員)→修文済み

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 16 年度から平成 18 年度にかけて、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。

削除: 7

削除: 繰り返し

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、平成 16 年度に地殻変動機動観測として、特定観測地域/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(平田委員)

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、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を作成し、インターネットで公開している[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 (平田委員)

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年の東南海地震の前駆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（M7.5）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特性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イベントに関連して、通常の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イベント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。

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。

削除: を

削除: したり

削除: を

削除: すること

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の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破壊核形成域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特性の推定を試みた。

（2）地殻活動モニタリングシステムの高度化（堀委員、今給黎委員、干場委員、渡辺委員）

ア. 日本列島域（今給黎委員）

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。

海底地殻変動観測の成果としては、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。

削除: 手法の開発としては、

削除: の

削除: の

削除: を地震活動の変化から

削除: すること

削除: の、

削除: を

削除: て

削除: し

コメント [11]: 「・・・の開発としては、・・・が明らかにされた」という文には違和感がある。(渡辺委員) →修文済み

削除: (平成16年)

削除: 平成16年8月

削除: 平成17年8月

地殻上下変動のモニタリングでは、平成 16 年(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平成 15 年(2003 年)十勝沖地震時の帯広の上下変動及び平成 16 年(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。

削除: では

イ. 東海地域 (干場委員)

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、歪み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、

削除: を示した

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地殻深部で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り、さらに、この現象の過去の繰り返しの推移について明らかになった。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 (堀委員)

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

地域に比べて地震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、従来モデルとは異なって、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、測地測量、衛星干渉 SAR の統合解析により、2003年に豊後水道においてスロースリップイベントが発生し、その発生域が1996-1997年にスロースリップイベント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年南海地震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。

コメント [i12]: 「深部低周波微動」について、草案に書き漏れていたもので追加。(堀委員) → 修文済み

コメント [i13]: 産総研の記述がなかったもので追加。(堀委員) → 修文済み

エ. その他特定の地域 (渡辺委員)

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」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-

削除: は
削除: について

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8月に発生した宮城県沖の地震時の地殻変動およびその後の余効変動については、原因となるプレート間その時空間的広がりと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。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。

削除: 16日

削除: の地震

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キャンペーン観測の結果、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の詳細が明らかになった。平成16年から17年度に南関東地域で発生する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、平成17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、余効滑りの時間的発展を解明した。

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 (平田委員)

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、日本列島域の地殻・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（平田委員）

→今後の展望については、書き方を変更。「2.」全体の今後の展望の記載に続き、「地殻活動予測シミュレーションモデルの構築」及び「地殻活動モニタリングシステムの高度化及び地殻活動総合データベースの開発」という二つの小見出しを設けた。

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、プレート境界のすべ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、断層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特性の分布も推定されるようになった。

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げ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 GPS 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

削除: おり、

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。

削除: 今後は、

削除: 予測精度のさらなる向上に

削除: 役立てるという点では課題が残る

4. 計画推進のための体制の整備（山岡委員、今給黎委員、干場委員）

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（山岡委員）

平成16年度から、測地学分科会地震部会の下に観測研究計画推進委員会を設置し、情報通信研究機構、国立大学法人、防災科学技術研究所、海洋研究開発機構、産業技術総合研究所、国土地理院、気象庁、海上保安庁が参加し、研究上の連携を図っている。本委員会により、各年度の実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。**また、成果を広く公開して議論をするため、上記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年度末に開催している。

コメント [1]: 報告書のことを強調する。「(7) 研究成果の社会への効果的伝達」に記述した方が良いか。(平田委員) → 検討中

一方、国立大学法人では、全国共同利用機関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。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、地震研の流動的教員及び客員教授に学外の教員を採用し全国の大学の視点での運営を行っている。さらに協議会に設置されている計画推進部会には、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。

削除: 研究

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大学の部局間協定を締結した。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（干場委員）

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。

削除: るが

削除: が

削除: てきたが

削除: 成果の生産性が向上した

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 一地震に関する観測、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一”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。

コメント [I2]: 地震調査研究推進本部として、この表現でよいか。
(平田委員) →検討中

削除: など

(3) 情報交換等の場としての地震予知連絡会の充実 (今給黎委員)

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 (山岡委員)

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。気象庁は、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。

コメント [I3]: 「積極的に」は、他の業務との関係もあるので削除。
(干場委員) →修文済み

削除: を

削除: 積極的に行ったり

削除: 行う

コメント [I4]: 気象庁だけのことではないので、主語は「各機関は、」として、「人材の採用を行い」→「人材の採用に努め、また、」という方が良いのでは。(干場委員) →検討中

削除: を行っ

(5) 火山噴火予知研究等との連携 (干場委員)

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 (今給黎委員)

今期間では、スマトラ沖大地震(2004年)、パキスタン北部地震(2005年)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

削除: この5年間

(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 (山岡委員)

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。

コメント [15]: 報告書のことを強調する。「(1) 計画を一層効果的に推進する体制の整備」に記述する方が良いか。

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 (山岡委員)

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 (干場委員)

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 (今給黎委員)

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 (山岡委員)

大学においての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十分でない大学もある。また、~~学生が博士号を取得した後、短期契約の研究職についても、その契約期間終了後の身分を得ることが難しく、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 (干場委員)

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、地域の防災活動にどのように積極的に参画していくかが課題であろう。~~

コメント [i6]: 箇条書きになっていたのが、文章に修正。(渡辺委員)
→修文済み

書式変更 : 箇条書きと段落番号

削除: 今後は、

削除: 逆に

削除: が

削除: 事業の重要性を見極めておく

削除: 及び地震予知連絡会の相互の

削除: 、

削除: 一方では、一体化すべきとの意見もある。

削除: てPDのポジションを得ても、

削除: ポストやそのための財源の確保に限界があり、

コメント [i7]: 箇条書きになっていたのが、文章に修正。前向きな表現に変更。(干場委員) →修文済み

削除: ・

削除: ・しかし、

削除: では、

削除: 視野を広くするのが難しい環境といえる

削除: ・

削除: ・一方で、

(6) 国際協力の推進 (今給黎委員)

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、国際視野にたった組織的な連携・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。

コメント [i8]: 途中で文章が終わっている。(事務局) →検討中

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。

削除: では

削除: のために

(7) 研究成果の社会への効果的伝達 (山岡委員)

ホームページなどを通じた研究成果の社会への伝達は、各機関ともに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。

コメント [i9]: この表現で良いか。(平田委員) →検討中