

資料 1－1

科学技術・学術審議会
測地学分科会地震火山部会
観測研究計画推進委員会（第 11 回）
H 2 3 . 1 2 . 2 6

「地震及び火山噴火予知のための観測研究計画」の実施状況等 の レビュー草案（Ⅲ章、Ⅳ章、Ⅴ章）

目次

Ⅲ. 「平成 23 年東北地方太平洋沖地震」	1
1. 本震	
2. 余震・誘発地震・余効変動	
3. 本震に先行した活動	
4. 過去の巨大地震とテクトニクス	
5. マグニチュード 9 の地震規模に達した理由	
6. マグニチュード 9 の地震の発生可能性を事前に指摘できなかった理由	
7. 今後に向けて	
Ⅳ. 近年発生した地震および火山現象に関する重要な観測研究成果	5
1. 主な地震	5
(1) 2007 年（平成 19 年）能登半島地震	
(2) 2007 年（平成 19 年）新潟県中越沖地震	
(3) 2008 年中国四川地震	
(4) 2008 年（平成 20 年）岩手・宮城内陸地震	
(5) 2009 年駿河湾の地震	
2. 主な火山噴火	7
(1) 桜島	
(2) 霧島山（新燃岳）	
Ⅴ. 観測研究計画の実施状況	9
1. 地震・火山現象予測のための観測研究の推進	9
(1) 地震・火山現象のモニタリングシステムの高度化	9
(2) 地震・火山現象に関する予測システムの構築	1 2
(2-1) 地震発生予測システム	1 2
(2-2) 火山噴火予測システム	1 5
(3) 地震・火山現象に関するデータベースの構築	1 7
2. 地震・火山現象解明のための観測研究の推進	1 9
(1) 日本列島及び周辺域の長期・広域の地震火山現象	1 9
(2) 地震・火山噴火に至る準備過程	2 3
(2-1) 地震準備過程	2 3
(2-2) 火山噴火準備過程	2 8
(3) 地震発生先行・破壊過程と火山噴火過程	3 1
(3-1) 地震発生先行過程	3 1
(3-2) 地震破壊過程と強震動	3 3
(3-3) 火山噴火過程	3 6
(4) 地震発生・火山噴火素過程	3 8
3. 新たな観測技術の開発	4 1
(1) 海底における観測技術の開発と高度化	4 1
(2) 宇宙技術等の利用の高度化	4 2
(3) 観測技術の継続的高度化	4 4
4. 計画推進のための体制の強化	4 5
4. 1 実施状況及び成果	4 5
4. 2 今後の展望	4 8

Ⅲ. 2011 年（平成 23 年）東北地方太平洋沖地震

1. 本震

2011 年 3 月 11 日 14 時 46 分に、宮城県沖を破壊の開始点として太平洋プレートと陸のプレートとの境界の南北約 500 km、東西約 200 km の巨大な領域を約 3 分間かけて破壊したマグニチュード (M) 9.0 の地震が発生した。この地震の規模は我が国の観測史上最大であり、また 1900 年以降に世界で発生した地震でも 4 番目に大きな地震であった。最大震度は宮城県栗原市の震度 7 であり、宮城、福島、茨城、栃木の 4 県に及ぶ広い範囲で震度 6 強を観測した。

この地震により、東北地方の太平洋岸は最大で約 5 m 東に動き、また最大約 1 m 沈降したことが GPS 観測により明瞭に捉えられている。また、宮城県沖における海底地殻変動観測では、最大で約 31 m 東南東に動き、また約 5 m 隆起した観測点もあった。さらに、詳細な海底地形調査により、本震震源近傍の海溝陸側斜面が東南東方向に約 50 m、上方に約 7 m 移動したと推定されている。これらの海底地形調査と地殻変動観測データから、本震の破壊開始点付近から海溝にかけての領域のプレート境界浅部では最大 50 m 程度の滑りを生じたと考えられる。深部でも 1978 年宮城県沖地震の震源域では同じ深さの別の領域より大きな滑りを生じた。

さらに、地震波の解析でも上記の滑り分布の特徴が支持される。短周期の地震波はプレート境界深部の陸に近いところから多く放出され、強震動を引き起こした。福島県沖と茨城県沖の境界付近の領域でも短周期の地震波が放出されたことが確認されている。

以上のように、この地震では広大な断層面が大きく滑り、波長の長い津波を発生させた。さらに海溝近くでの特に大きな滑りによって短波長で極めて波高の高い津波を重畳させたと考えられる。津波の最大波高は場所によっては 10 m を超えたと推定されており、最大遡上高は約 40 m に達し、また海岸から内陸に最大約 6 km まで浸水し、甚大な被害が発生した。

2. 余震・誘発地震・余効変動

M7 以上の余震は 2011 年 10 月末までに 6 回発生している。本震発生後、1 時間以内に岩手県沖 (M7.4) と茨城県沖 (M7.7) のプレート境界型地震と海溝軸外側で正断層型地震 (M7.5) が発生した。また、4 月 7 日に逆断層型地震 (M7.1) と 7 月 10 日に横ずれ断層型地震 (M7.3) がスラブ内で発生した。一方、内陸では、4 月 11 日に福島県南東部で正断層型地震 (M7.0) が発生している。

また、プレート境界型の余震の多くは、滑りの大きな領域の周辺部に集中している。プレート境界の上盤・下盤のプレート内では正断層型の余震が卓越している。本震前と後の地震の発震機構解のデータを解析したところ、本震前の剪断応力は 20 MPa 程度と極めて小さな値が見積もられた。しかもその大部分が今回の地震で解放されたことが明らかになった。プレート境界の摩擦係数が通常の岩石と大きく変わらない場合、この結果は、プレート境界の有効法線応力が静岩圧よりも一桁小さいことを意味する。

本震の直後から、日本の広い領域で地震活動が変化し、3 月 12 日の長野県北部の地震 (M6.7)、3 月 15 日の静岡県東部の地震 (M6.4)、4 月 11 日の福島県浜通りの地震 (M7.0) 等の被害地震が発生した。東北地方では応力場が変化したことにより、これまで活動度が低かった場所で地震活動が活発化した。今回の地震に伴う応力変化は東北地方でも 1 MPa 程度以下に過ぎないが、発生する地震の発震機構解は大きく変化しており、プレート境界と同様に、内陸地震断層の強度もかなり低いと推定される。また、全国の約 20 火山周辺において地震活動が活発化した。過去には 869 年の貞観地震の後、871 年に鳥海山 (秋田県・山形県) が噴火している。1896 年の明治三陸地震 (M8.2) の 2 ヶ月後に内陸で陸羽地震 (M7.2) が発生した事例もあり、今後、内陸の地震活動と火山活動がさらに活発化する可能性がある。

本震の滑り量は主として宮城県沖の海溝軸近傍で大きかったが、余効滑りは岩手県南部から宮城

コメント[国土地理院1]: 「長野県・新潟県境付近」にへんこうしてはいかがうか。

コメント[事務局2]: 気象庁発表の地震情報で統一する。

コメント[高木専門家3]: 気象庁の正式発表は「13」ではなかったか。

コメント[事務局4]: 気象庁に確認したところ、火山噴火予知連絡会資料には「13」で提出しているが、「約」を付加したこと、数時間程度で定常の活動に戻った火山もあることから「20」でよい。

1 県にかけての海岸線のすぐ沖や千葉県沖で顕著である。今回の震源域の北隣りには1994年三陸はる
2 か沖地震（M7.6）や1968年十勝沖地震（M7.9）の震源域があり、南隣りの房総沖では1677年に延
3 宝地震（M8.0）が発生したことが知られている。今回の地震とその余効滑りによってこれらの震源
4 域への応力集中が進むと、これらと同程度の地震が生じる可能性がある。また、海溝軸外側におい
5 ても本震直後の余震（M7.5）よりも大きな余震が起こる可能性がある。

3. 本震に先行した活動

8 2005年の宮城県沖の地震（M7.2）のあと、宮城県沖から茨城県沖にかけて発生したM6.5以上の
9 プレート境界型地震は大きな余効滑りを伴うことが多かった。特に福島県沖で2008年7月19日に
10 発生したM6.9の地震と2010年3月14日のM6.7の地震では、地震時よりも大きなモーメントの余
11 効滑りを伴っており、これらの活動は、本震に先行するプレート境界での「固着のはがれ」を示し
12 ていた可能性がある。

13 本震の破壊開始点の東から北東側では、2011年2月中旬から下旬にかけてM5クラスの4回の地
14 震を含む群発的活動があり、その後3月9日のM7.3の地震（前震）に至った。この地震の余震のb
15 値は極めて小さかったが、通常この付近で発生する地震のb値は小さいため、特に異常と考
16 えた。前震の余効滑りはMw7.0相当とかなり大きく、本震の破壊開始点に向かって前震の余効滑り
17 が拡大し、本震の破壊を励起した可能性が高いと考えられる。陸上のひずみ計や傾斜計のデータで
18 は前震の余効滑りは捉えられているものの、本震の直前に加速する滑り（プレスリップ）が発生し
19 たことを示すデータは得られておらず、プレスリップが発生していたとしてもモーメントマグニ
20 ュード（Mw）は6.3以下と考えられる。ただし、前震活動域は本震の震源域の中に含まれているこ
21 とから、前震活動とその余効滑りを含めて震源核形成過程を見ていたとする考え方もある。

22 この前震活動を含む領域で、5年程前から地球潮汐による応力変化と地震活動に明瞭な相関が現
23 れており、また長期的に見てもb値もこの頃から値が低下していた。これらのことから、本震の破壊
24 開始点近傍にひずみが溜まり、大きな地震が起こりやすくなっていた可能性がある。

25 そのほか、本震に先行した現象の例として、東北地方上空の電離圏において、本震発生の約40
26 分前から最大1割近くに達する総電子数（TEC）の正の異常が報告されている。TECの異常の原因と
27 本震の因果関係は不明であるが、同じ解析を2004年のスマトラアンダマン地震（Mw9.0）や2010
28 年のチリ地震（M8.8）に適用すると同様の現象が見られた。

4. 過去の巨大地震とテクトニクス

31 三陸地域は、1896年明治三陸地震（M8.2）や1933年昭和三陸地震（M8.1）等によって、過去に
32 何度も大きな津波に襲われてきた。宮城県南部以南でも、869年貞観地震や1611年慶長地震（M8.1）
33 などによって大きな津波が押し寄せたことが知られている。津波堆積物調査により、これらも含め
34 て450～800年に一度程度、大きな津波があったことがわかっているが、津波の規模や発生時期につ
35 いては、そのほとんどがよくわかっていない。ただし869年貞観地震については、津波堆積物の分
36 布が比較的詳細に調べられている。その結果、宮城県南部の津波の浸水域が今回の地震の浸水域と
37 類似しており、少なくとも宮城県沖から福島県沖にかけては今回の地震と同程度の滑りが生じてい
38 た可能性が高いことが明らかになった。1611年慶長地震については三陸で大きな津波があったこと
39 は知られているが、津波堆積物の分布はよくわかっておらず、震源域の推定のためには更なる調査
40 が必要である。

41 地質学や地形学的知見として、東北地方太平洋岸は十万年程度の期間では隆起ないしほぼ中立的
42 な状況であった。一方、数十年間の測地学的観測では地震時も含めて経年的に沈降していた。この
43 ため、この沈降を解消するようなプレート境界面の滑り等がいつかは生じると考えられ、例えば、
44 巨大地震のあとに、陸域の下部の深部プレート境界で巨大な余効滑りが生じて海岸が隆起する可能性

コメント[斎藤専門委員5]: 通常b
値が高い地域であれば、本震前に
前震と判断できたように読めるが、
他の地域でもb値が小さくなるだ
けで前震と判断することはできな
いのではないかと。

コメント[棚田専門委員6]: 追記を
希望する。

コメント[事務局7]: 理科年表を参
照した。

が指摘されていた。しかし、今回の地震については、今のところ深部の余効滑りがそれほど大きくはなく、このままでは海岸が地震前の高さに戻るには非常に長い時間が必要となる。沈降現象を短期間で解消するためには、深部プレート境界で大きな地震またはゆっくり滑りが発生しなければならない。

5. マグニチュード9の地震規模に達した理由

今回の地震の余震活動を利用して推定されたプレート境界の強度は、20 MPa 程度と極めて小さかったにもかかわらず、最大で50 m程度の滑りを生じM9の地震が発生した。これは50 mの滑り遅れを蓄積しうる摩擦強度があったことを意味している。このことはどのように考えればよいのであろうか。

今回の震源域の幅は200 kmもあったので、最大50 m程度の滑り量があったとしても応力降下量はせいぜい20 MPa 程度であったと考えられる。つまり、20 MPa 程度の強度であっても、残留剪断応力がゼロになるまで滑れば、今回のような大きな滑りは説明できる。実際、余震の発震機構解からは、広域のプレート境界の残留剪断応力がほぼゼロになるまで大きく滑ったと考えられる。このような地震は極めてまれであるが、そのメカニズムとしては、摩擦発熱による間隙圧上昇や、滑りが海底まで達したこと等が考えられる。海溝近くで特に大きく滑った理由として、この領域の強度が周辺より大きかった可能性がある。また、滑り域が広大になったのは、条件付安定領域（通常はゆっくり滑りが発生するが、大きな応力擾乱を受けた時には高速滑りが生じる領域）が広域に及んでいたとする考え方もある。

現時点では、まだどの地震発生モデルがより真実に近いのかは明らかになっておらず、別のモデルも含めて、今後検討する必要がある。

コメント[事務局8]: 表現及び追記について要検討。

6. マグニチュード9の地震の発生可能性を事前に指摘できなかった理由

東北地方のような古くて冷たいプレートが沈み込んでいるところでは、プレートが重いために沈み込みやすく、プレート境界の有効法線応力が小さくなって剪断強度も小さくなるために、大きな地震は生じにくいとする考え方が1970年代に提唱されて、広く受け入れられてきた。一方、1990年代末から2000年代初頭にかけてのGPS観測により、東北地方は毎年2 cm程度ずつ短縮していることが判明し、これを元にプレート境界の滑り遅れを推定したところ、宮城県沖から福島県沖にかけての広い領域で滑り遅れが生じていることが明らかになった。このため、将来、この領域で巨大な地震が発生する可能性を指摘した研究もあった。また、スマトラアンダマン地震以降、あらゆる沈み込み帯において超巨大地震が発生するという研究もあった。

しかしながら、東北地方では（1）普段の地震活動が活発で、とくに小繰り返し地震活動が極めて活発である、（2）大地震の余効滑りが地震時滑りと同程度以上の規模となることが多い、という観測結果はプレート境界の固着が小さいことを示唆していた。また、約100年間の三辺三角測量の結果でも、東北地方の太平洋側では、宮城県北部沖等の大地震があったところを除いて、固着を示唆する東西方向の短縮がほとんど見られないことも指摘されていた。一方、宮城・福島県沖では1997年から2002年頃にかけてGPS観測で大きな滑り遅れが検知されており、この時期は大きな地震も発生していなかった。2008年からは、福島県沖で大きな余効滑りを伴う地震が続けて発生し、蓄積されていた滑り遅れはかなり解消されたように見えた。このように固着の状態は時間的に変化が大きく、短期間の観測データだけでは長期的なプレート間の滑り遅れの蓄積状況を正確に推定することが困難であった。

今回の地震で大きな滑りが生じた海溝近くのプレート境界では、普段の地震活動が低調で、小繰り返し地震も発生していない。このことは、プレート境界がゆっくり滑っていたか、固着が大きかったのかのいずれかを示している。海溝付近のプレート境界の浅部の物性から、この領域では地震

は発生せず、ゆっくりと滑っており、50 m もの滑り遅れを蓄積できないと考えられていた。この領域は陸から離れているため陸域の GPS 観測では固着の状況が把握できなかった。これらが今回のような地震の発生を予見できなかった理由である。

さらに、モデル化に用いられたのは近代的なデータに偏っていて、これらが地質学的な時間の中ではごく短期間に過ぎないということを考慮した検討が不十分であったことも問題であった。例えば、単純なアスペリティモデルでは、貞観地震のような低頻度の巨大地震を説明できなかったにもかかわらず、その検討が十分ではなかった。また、M9 の地震を発生しうる領域を特定するには、近代的なデータだけでは不十分であった。

7. 今後に向けて

東北地方で M9 の地震が生じたことは、世界中のあらゆる沈み込み帯において M9 の地震が生じる可能性があることを意味する。その M9 の地震発生ポテンシャルを正しく評価し減災に役立てるためには、今回の地震の発生に至る過程と地震時の震源過程、および地震後の地殻活動を正しく理解する必要がある。

特に、地震後の余効変動は、今回の地震像を明らかにするうえで重要なだけでなく、地震サイクルの全体像を明らかにするうえでも重要であり、さらにどこで大きな余震や誘発地震、火山噴火が起こるのかを予測するうえで重要な情報となる。特に地震発生直後は、その変化速度が一番大きいと予測されるため、なるべく早い段階で詳細な測地測量・地殻変動観測・地震観測・火山観測を行い、後年のデータと比較するための基礎データの取得を行うことが必要となる。地震前と地震時に生じた海岸部の沈降は陸域深部の余効滑りで解消されると考えられていたが、現時点まででは深部の余効滑りが顕著ではなく、海岸部が元の高さに戻りそうもないことをどう理解すればよいのか重要な問題となるため、海域及び陸域における測地測量の充実が極めて重要である。

また、今回の M9 の地震の後、地震活動が広域に活発化したが、このような誘発された現象の発生メカニズムを詳細に検討する必要がある。

一方、このような巨大な地震の発生はまれなため、その再現性を検証するためには、古文書や津波堆積物の調査をこれまで以上に充実させる必要がある。また、これまでのアスペリティ（＝地震性領域）とそれ以外の領域（＝非地震性領域）という二元論的アスペリティモデルに固執することなく、より柔軟なモデルを構築し、空間不均質性の効果や、摩擦発熱などの動的効果を考慮したシミュレーションを進展させ、長期的な活動履歴を考慮したプレート境界における地震の発生様式についての理解を深めていく必要がある。

また、今回、海溝付近で大きな滑りが生じた領域は一部にすぎないが、海溝軸に沿って地震時に大きな滑りを生じる可能性のある他の場所が無いかどうかを調べる必要がある。そのためには、海溝付近でのひずみエネルギーの解消様式について多面的な研究が必要となる。分岐断層の分布や滑り履歴も含め広範な構造調査を行うとともに、このような大きな滑り量の領域が海溝付近で生じた理由を理解するために、海溝軸近傍での深部ボーリング調査が有効と考えられる。また、海溝軸近傍での海底地殻変動観測を多点で行い、滑り遅れの分布を求めるとともに、海溝付近の超低周波地震によるひずみの解消速度の推定も必要である。また、海底水圧計観測による連続監視は、海岸における津波の高精度推定にも極めて有効であることが明らかになっており、その展開も重要となっている。さらに、これらの海底観測の技術開発をさらに推進する必要がある。

なお、今回の地震の余効変動は数十年にわたって継続すると予想され、M9 の地震の全貌を把握するためには、数十年以上のデータの蓄積が本質的に必要であることを認識して観測を実施しなければならない。

今回のような超巨大地震は稀にしか発生しないため、統計学的な予測手法も十分には明らかになっておらず、このような観点からの研究も推進する必要がある。また、津波予測の高度化も重要な

問題であり、今後、予測手法の開発と高度化に有効な観測網の構築が必要である。

IV. 近年発生した地震及び火山現象に関する重要な観測研究成果

1. 主な地震

(1) 2007 年（平成 19 年）能登半島地震

2007 年 3 月 25 日に 2007 年能登半島地震(M6.9)が発生し、石川県北部で最大震度 6 強を観測し、能登半島周辺に大きな被害をもたらした。この地震の余震は陸域のみならず能登半島西方沖にも広がって発生し、震源域は海域から能登半島の内陸にまで広がっている。SAR 干渉解析によってこの地震に伴う陸域地殻変動が面的に得られ、震源断層面の推定に大きく貢献した。本震の震源断層の走向は東北東－西南西方向で、傾斜角 65 度であり、能登半島西岸の深さ約 10 km の地点から破壊が開始し、そこから浅い方に滑りの大きな領域が広がっていることがわかった。また、この地震断層の平均滑り量は 1.1 m、Mw6.7、破壊継続時間は約 9 秒であると推定された。

この地震では特徴的な前震活動がふたつあった。ひとつは、本震の約 12 分前に本震破壊開始点のごく近傍で M2.2 の地震が発生したことであり、もうひとつは主要破壊開始 0.6 秒前に、本震の初期破壊過程と思われる M4.4 の地震が発生したことである。地震波トモグラフィーの結果からは震源域近傍は速度が遅い領域であることが、また、電磁気探査からは本震の震源直下に低比抵抗領域が存在していることが明らかにされた。低比抵抗領域は余震域の下に広がり、断層北東端の余震活動が低調である領域は高比抵抗である。これらは、この地震の発生に地殻流体が関与している可能性を示唆するものである。さらに、発震機構解の分布から断層面上においても応力場が変化していること、また、断層面上の浅部では横ずれ型の応力場であるが、深部では逆断層型の応力場へ変化していることが明らかとなった。

能登半島とその周辺では、これまで 1600 年以降 M7 を超える地震が発生したことは知られていなかったが、能登半島西方沖には、北東－南西方向に延びる長さ 20 km の逆断層型の活断層があることが知られていた。精度よく再決定した余震分布と活断層の位置を比較すると、能登半島地震の震源断層とこの海底の活断層の深部延長が一致し、この海底活断層が能登半島地震の震源断層であることが明らかになった。これは将来起こりうる内陸地震の規模を推定する際、陸上の活断層だけでなく沿岸の海底にある活断層についても調査することが必要であり、陸上の断層と海底の断層が同時に滑る可能性も考慮する必要があることを示している。

(2) 2007 年（平成 19 年）新潟県中越沖地震

2007 年 7 月 16 日に新潟県中越沖地震(M6.8)が発生し、新潟県と長野県の一部で最大震度 6 強を観測した。震源は 2004 年（平成 16 年）新潟県中越地震(M6.8)から北西に約 30 km 離れた場所に位置する。本震の発震機構解は、西北西－東南東方向に圧力軸を持つ逆断層であり、地殻変動データ・強震動記録による本震の滑り量分布の推定や、海陸合同の稠密観測による精密な余震分布や地下構造等の解析がおこなわれた。

この地震の特徴は、単一の断層面の破壊ではなく、複雑な震源断層の形状をしていることである。多くの余震は南東傾斜の面状に分布しているが、破壊開始点（震源域北東部）の近傍では北西傾斜の分布をしている。地殻変動データの解析から、南東傾斜の断層に加えて北西傾斜の断層も存在するモデルが、データをより良く説明できることがわかった。震源近傍の強震動観測点では、滑り量の大きな領域から放射されたと考えられる明瞭な 2 つのパルス状の地震波（卓越周波数が約 1 Hz）が観測された。これらのパルスの発生源は、破壊開始点付近と断層の南西部に位置し、破壊の伝播方向の特徴により南側で大きな強震動が観測されたことがわかった。また、海域での構造探査によ

コメント[斎藤専門委員9]: 震度と被害について記載がある場合とない場合が混在している。統一した記載が望ましい

コメント[事務局10]: 公文書では使わない単語。

コメント[事務局11]: 広辞苑にない単語。代替を検討中。

コメント[事務局12]: 表現がわかりにくいので、成果発表者に要確認。

ると、震源域北西側には南東傾斜の逆断層運動によって形成された震源断層とほぼ同じ方向に延びる活断層や活褶曲構造が見られた。

本震発生後には、断層の浅部と深部で余効滑りが生じていた。また、SAR 干渉解析により、震央から 15 km 内陸側の西山丘陵西側斜面で、急速な活褶曲の成長を示す地殻変動が地震後に生じたことが見出された。さらに、稠密余震観測により極めて高い空間解像度で推定された地震波速度構造によると、日本海拡大時に形成されたリフト構造が中越地域の分厚い堆積層の下に埋もれていることが明らかとなった。

これらのことから、この地震と 2004 年新潟県中越地震は、共に過去の日本海拡大によって造られた正断層が、現在のプレートの沈み込みによる圧縮場により逆断層として再活動した可能性が高いことが示唆される。さらに、二つの地震の震源域直下には低速度域が局在し、電磁気探査の結果から低比抵抗領域が広がっていると推測される。また、広域の地震波速度トモグラフィーの解析によれば、低速度域は最上部マントルの深さまで延びていることが示され、この地域で採取された地下水のヘリウム同位体比にもマントル起源物質の特徴が見られることから、深部からの流体が上昇し、それが両地震の発生に関与している可能性が高いことが示された。

地質調査や地震波トモグラフィー解析に基づいた三次元地質構造・物性値モデルを用いて、断層運動のシミュレーションを行った。その結果、下部地殻の粘性変形の効果により、2004 年新潟県中越地震が 2007 年新潟県中越沖地震を誘発した可能性があることがわかった。

(3) 2008 年中国四川地震

2008 年 5 月 12 日に中国四川省において M7.9 の四川地震が発生し、震源域に甚大な被害をもたらした。地震を発生させた断層は、四川—雲南活動帯のチベットブロックと南中国ブロックの境界である鮮水河—安寧河—小江断層帯から、北東に派生した北東—南西の走向を持つ龍門山断層帯に位置する。GPS 観測から、この断層帯を境界とするブロックは数 mm/年の速度で相対運動を行っていることが推定されており、四川地震はこれらブロックの相対運動によるひずみの蓄積が原因となって発生したものと考えられる。ブロックの相対運動速度と地震時の滑り量を考慮すると、同程度の規模の地震は千～三千年程度の繰り返し間隔で発生する可能性があると考えられる。遠地地震波形と強震動波形を用いた震源過程解析から、震源域の南西部に滑りが大きい領域があり、最大滑り量は 9 m であると推定された。

SAR 干渉解析では、数メートルを超える変動を捉えることは困難であるため、四川地震による断層近傍の大きな変位を正確に推定することは難しい。地震前後の SAR 強度画像から地表変位を計測する方法を用いて、四川地震の断層周辺の大きな変位の分布を、高い空間解像度で推定した。この解析から、滑りは断層の北東部では右横ずれ、南西部では右横ずれと逆断層の成分を持ち、北東部では一枚の断層が、南西部では複数の断層が活動したことが分かった。さらに、この解析と通常の SAR 干渉解析を組み合わせると、四川地震に伴う広域の地殻変動が高解像度で求められ、震源断層の形状や断層の滑り分布の推定に利用された。

(4) 2008 年（平成 20 年）岩手・宮城内陸地震

2008 年 6 月 14 日に、岩手県と宮城県の内陸県境付近で 2008 年岩手・宮城内陸地震（M7.2）が発生した。岩手県奥州市と宮城県栗原市では震度 6 強を観測し、震源域に大きな被害をもたらした。大学と防災科学技術研究所は、本震直後から震源域を含む岩手県南部から宮城県北部の広い領域で緊急の余震観測及び GPS 観測を実施し、詳細な余震分布と三次元地震波速度構造を推定した。本震断層に対応すると考えられる西傾斜（傾斜角約 40 度）の余震の分布と、震源域中央から南部にかけて東傾斜の 2 つの傾斜方向の異なる余震分布が明らかになった。また、本震の震源付近では西傾斜の余震の分布に対し上盤側が下盤側に比べて地震波伝播速度が低いことがわかった。この結果は、この地震断層はかつて日本海拡大時に生成された正断層が、1500 万年経過した現在の応力場により、逆断層として再活動した可能性を示している。

コメント[事務局13]: 公文書では使わない単語。

コメント[事務局14]: 震源断層か地震（地表）断層か不明。

GPS観測から地震発生後に北上低地西縁断層帯の南端である出店断層等で余効滑りが発生していたことが明らかになった。本震の断層面上での滑り分布と比較したところ、地震時は震源断層の深い領域、余効滑りは浅い領域で滑り量が大きく、地震時の滑りと余効滑りの場所が異なっていることがわかった。長期の観測データによると、主要な余効滑りは本震後約1ヶ月で終わり、その後の変動は、弾性層の下に粘弾性層のある二層構造の粘性緩和現象で説明できる。推定された弾性層の厚さは17～31 kmの範囲にある。

広帯域MT観測からは、本震の震源域東部の深さ5km付近に顕著な低比抵抗領域が見出された。断層面及び余震分布域は高比抵抗領域にあり、地震波速度の高速度域に対応していることが明らかになった。また、広域の地震波速度構造の探索から、震源域直下の下部地殻から最上部マントルに顕著な低速度域が存在していることが明らかになっており、比抵抗構造と地震波速度構造から、地殻流体の分布がこの地震の発生に密接に関与していることが示唆された。これらは2004年中越地震、2007年中越沖地震、2007年能登半島地震と共通の特徴であり、日本で発生する内陸地震の発生メカニズムを研究する上で、重要な成果である。

この地震は、事前に活断層の存在が指摘されていない場所で発生したが、地震直後の大学や国土地理院の調査により活断層の証拠が見つけられ、航空写真やSAR干渉解析等によってその活断層と推定地震断層との関係が明らかになった。また、この地震の震源断層近傍で得られた強震波形からは、表層地盤の非線形挙動が見られ、卓越周波数や増幅率の変化等の非線形応答特性に関するデータが収集された。

(5) 2009年駿河湾の地震

2009年8月11日に、駿河湾の深さ約25kmのフィリピン海プレート内で、M6.5の地震が発生し、静岡県で震度6弱を観測した。発震機構解は、圧力軸が北北東-南南西方向で、横ずれ成分をもつ逆断層型であった。余震は、北西側では北東傾斜、南東側では南東傾斜の2枚の面状に分布することが明らかになった。これらの2面からなる震源断層を仮定して強震動記録を解析した結果、滑り量の大きな領域が2つの面が接する場所に分布していたことが明らかになった。さらに、本震の滑り量を仮定して、想定東海地震の震源断層上において静的応力変化を計算した結果、応力が増加した場所においてプレート境界面で発生したと考えられる微小地震活動が活発化したという研究結果も示された。この地域では、巨大なプレート境界地震の発生が危惧されている。プレート境界の応力蓄積や固着強度と、このプレート内地震の発生の関連について、研究を推進する必要がある。

2. 主な火山噴火

(1) 桜島

2006年6月に噴火活動が再開した桜島（鹿児島県）の昭和火口では、2009年7月に爆発回数が増え、2009年9月から2010年5月にかけて山体膨張を伴いながら爆発的噴火活動が活発になった。2010年6月中旬から10月までは活動の様相が変化し、地殻変動が山体収縮に転じて爆発頻度と火山灰噴出量が低下した。始良カルデラ直下の深部マグマ溜まりから桜島直下のマグマ溜まりへのマグマ供給量は、桜島直下のマグマ蓄積量と火山灰の噴出量の総和から推定され、これが2009年7月頃から増加し始めた。その後、2009年12月から2010年3月にピークに達したが、2010年7月から2010年10月までは低下したと考えられる。

詳しくみると、2009年7月には、桜島東部の黒神観測井で計測している H_2 及び CO_2 ガス濃度が急増した。これは、マグマの先行物質である火山ガスが上昇し、その一部が地表近くまで達したことを示すものであり、今後の活動推移を予測する上で火山ガスの計測が有用であることを示す重要な成果である。火山ガスの上昇・移動は地下の比抵抗変化としても捉えられた。桜島の東西2カ所で行ったMT連続観測により、見かけ比抵抗で20%、位相で2%の変動が検出され、マグマに含まれる火山ガスの浅部地下水への混入が比抵抗の変動を引き起こしていると考えられた。

昭和火口から約 2.4 km 離れた地点で、2009 年 7 月初旬及び 10 月の 2 回にそれぞれ 10 μ gal の重力の急減が観測された。この時期は桜島直下へのマグマ供給が増加し、爆発活動が段階的に活発化した時期に対応しており、火道中のマグマの頭位の上昇を捉えている可能性がある。

桜島周辺の水準測量によると、始良カルデラ直下の深部マグマ溜まりは 1974 年～1992 年頃の期間において蓄積がほぼ停止、または放出する状態にあったが、1993 年以降蓄積を再開し、1914 年大正噴火直前の蓄積量に近づいていると考えられる。一方、桜島直下にある浅部マグマ溜まりは、深部マグマ溜まりからの供給と噴火によるマグマ物質の放出の収支により蓄積量を変化させる。桜島の複雑な活動推移は、このような深部と浅部の 2 つのマグマ溜まりからなる系に起因していることが明らかになりつつある。現在の桜島の噴火活動を、今後起こると予測される大規模噴火の準備過程であると捉え、多項目観測からそれを明らかにすることにより、多様な火山の噴火準備過程を説明する知見が得られる可能性が高い。今後も観測研究を進め、その背景にある物理・化学過程を解明してゆくことが極めて重要である。

(2) 霧島山 (新燃岳)

新燃岳 (鹿児島県・宮崎県) では、2011 年 1 月 19 日から小規模な噴火が始まり、26 日午後には高い噴煙を連続的に上げる噴火 (準プリニー式噴火) を始め、27 日 18 時頃までに 3 回の準プリニー式噴火があった。その後、溶岩が火口に蓄積されはじめ、1 月 31 日まで溶岩が火口をほぼ埋めるまで成長した。2 月 1 日以降は間欠的に噴石を飛ばす爆発的噴火 (ブルカノ式噴火) を繰り返したが、その後噴火の頻度は次第に減少した。新燃岳の本格的なマグマ噴火は 1716～17 年以来、約 300 年ぶりの現象であり、今回の噴火準備過程や噴火過程の解明は休止期間の長い噴火活動を予測するうえで極めて重要である。

霧島山では基盤的火山観測網の整備等により、噴火前に深度 100～200 m のボアホール型地震計と傾斜計を併設した 4 観測点の他、広帯域地震、GPS、傾斜等の観測網を整備していたため、火山現象解明に有用な観測データが取得された。また、火口内の溶岩量の増加を、人工衛星や航空機の SAR 画像などにより高精度に計測できた。これらの観測データはマグマ溜まりから山頂火口へのマグマ移動の定量的な推定に極めて有用であった。

今回の噴火に先行する現象として、霧島山周辺部の地震活動が 2006 年頃からやや活発化し始め、それにほぼ同期して GPS で観測される山体のわずかな膨張が始まったことが挙げられる。2008 年 8 月 22 日には小規模な水蒸気爆発が発生したが、この活動の際に噴出した火山灰には、新たなマグマの関与が認められず、高温の火山ガスが地下深部から供給され、水蒸気爆発を引き起こしたと考えられる。2009 年 12 月下旬からは山体膨張の速度が急増し、新燃岳北西 7～8 km の地下約 10 km にマグマの蓄積が顕著になった。この山体膨張は 2011 年 1 月の準プリニー式噴火の開始直前まで続き、マグマの蓄積速度はほぼ一定であった。2010 年 3 月から 7 月の間に小規模な水蒸気爆発が 6 回発生した。5 月下旬に放出された火山灰の中に、マグマ起源の火山ガスの泡を含む黒色のガラス質成分がわずかに確認され、極めて少量ではあるが新鮮なマグマ物質が混じり始めた可能性を示していた。

2011 年 1 月 19 日に発生した小規模な噴火では、火山灰の中に含まれる新鮮なマグマ物質の割合が顕著に増加した。この約半日前から火山性の連続微動が発生し始め、連続微動の振幅は 1 月 26 日 8 時頃から少し大きくなった。14 時 49 分に最初の準プリニー式噴火が始まると同時に振幅が一層大きくなり、大きな振幅の火山性微動が 4 時間程度継続した。準プリニー式噴火は、翌 27 日 1 時頃と 15 時頃にも発生した。噴火時の傾斜計記録から、準プリニー式噴火によりマグマ溜まりが急激に収縮し、噴火活動が弱まる時には収縮が停滞する様子が明瞭に捉えられた。これら 3 回の準プリニー式噴火で放出された軽石と火山灰の量は **マグマ換算** で約 1,000 万 m^3 と見積もられた。さらに、1 月 28 日 21 時頃から 31 日 18 時頃にかけて、マグマ溜まりの収縮がゆっくり継続し、この間に山頂火口に溶岩が蓄積された。その蓄積量は 2 月 1 日の時点で約 1,400 万 m^3 と推定され、合計約 2,400

1 万 m^3 のマグマが噴出したと見積もられた。

2 2011 年 6 月中旬まで、新燃岳では小規模なブルカノ式噴火が間欠的に発生した。これらの噴火前
3 には山体浅部の膨張を示す傾斜変動が観測され、火山性地震の発生回数が増加した。噴火後は膨張
4 した山体は元に戻り、地震数も減少した。この一連の活動は火口直下浅部でマグマが発泡し、高圧
5 の火山ガスが火口を覆う溶岩を噴き飛ばす現象であると推定される。一方、深さ約 10 km のマグマ
6 溜まりでは、2009 年末以降蓄積していたマグマの体積が 1 月 26 日から 31 日の噴火により四分の一
7 まで減少したが、その後、噴火前とほぼ同じ速度でマグマの蓄積が続いている。2011 年 6 月下旬か
8 らは、粒子の細かな火山灰が噴出されるようになり、マグマやその周辺の岩石が噴出前に細かく破
9 砕されている可能性が高く、この頃にブルカノ式噴火からマグマ水蒸気爆発に移行したものと思わ
10 れる。

11 今後の活動推移については、噴火シナリオを作成し、現在進行している噴火活動の予測がどの程
12 度可能であるかを、実時間で検証することを試みている。具体的には、準プリニー式噴火（爆発的
13 噴火）が再度発生する、爆発的噴火を伴わずに溶岩流出が起こる、さらに大きなマグマ水蒸気爆発
14 が発生する、などが想定される。進行中の噴火活動に対して、発現の可能性のある噴火事象を整理
15 した噴火シナリオを準備し、観測・監視に基づいてそれを検証することは、噴火の準備過程・噴火
16 過程の理解の観点からも火山噴火予知研究の重要な課題と言える。

17 18 19 20 **V. 地震及び火山噴火予知のための観測研究計画の実施状況**

21 22 **1. 地震・火山現象予測のための観測研究の推進**

23 24 **（1）地震・火山現象のモニタリングシステムの高度化**

25 **あ. 目的**

26 地震現象と火山現象の予測精度を向上させるためには、日本列島域を対象としたモニタリングシ
27 ステムに加え、大地震の発生が予想される特定の地域や火山噴火の可能性の高い地域における地
28 震・火山現象モニタリングが重要である。そのため、高密度かつ多項目の諸観測を一層整備すると
29 ともに、既存の観測網の着実な維持・更新を行う必要がある。こうした地域では、活動の予測に有
30 用な情報を数多く収集することが必要であり、より詳細かつ定量的な活動の把握と評価を行うこと
31 ができるよう、モニタリングシステムの高度化を推し進める。地震発生の可能性が高い地域の中
32 でも、東海・東南海地域は、その切迫性が極めて高く、社会的要請にこたえるという観点からも大
33 きな意味を持っている。

34 **い. 実施状況**

35 **ア. 日本列島域**

36 国土地理院は、GPS 連続観測網(GEONET)のデータ解析において、大気遅延勾配推定やアンテナ絶
37 対位相特性モデルに基づく新しい解析手法を用いて、系統的な誤差を大幅に低減し、地殻変動の検
38 知能力を向上させた。GEONET 1 秒データのリアルタイム解析の試験運用を行い、M7 以上の地震時に
39 緊急地震速報を用いて地震時地殻変動の迅速な検出と断層モデル推定を行う手法を開発した。地殻
40 上下変動の精密監視のため、全国約 20,000 km の水準路線において、10 回目の全国改測を実施した。

41 防災科学技術研究所は、日本列島全域に展開された基盤的地震観測網の整備を継続した。気象庁
42 は、関係機関より収集した観測データを用いて、震源決定を行うとともに、その精度の向上、地震
43 活動異常の定量的な評価、CMT 解と震源過程の推定の高精度化を図った。大学は、地震データ流通
44 システム(JDXnet)上のデータ相互交換システムの改良及び多項目化について検討を進めた。具体

1 的には、データのチャンネル情報管理システムの改良、地殻変動連続観測データ等の流通試験、公
2 衆パケット通信網と連携した機動的な地殻変動観測システムの構築を行った。

3 気象庁は、火山噴火予知連絡会により中長期的に観測体制の充実が必要とされた 47 火山に対し、
4 地震計・傾斜計等の観測施設の整備を行った。気象庁、大学、防災科学技術研究所は火山のモニタ
5 リングを促進するために、地震計・傾斜計・空振計等の観測データの共有化と流通を開始した。

6 各機関は、国内外で顕著な地震・火山活動が発生した際、**陸域観測技術衛星「だいち」(ALOS)**に
7 より取得されたデータを用いて SAR 干渉解析を実施した。国土地理院は、有珠山、吾妻山、三宅島、
8 硫黄島、九重山(星生山)、霧島山(新燃岳)等の活動的な火山地域について SAR 干渉解析を実施し
9 た。産業技術総合研究所は、噴火の危険がある火山について衛星に搭載された高性能光学センサ
10 (ASTER)を用いた観測を実施した。

11 気象庁は、地震及び火山噴火予知研究に関する電磁気観測の基準となる高精度の地磁気データを
12 提供した。

13 イ. 地震発生・火山噴火の可能性の高い地域

14 大学と気象庁は、宮城県沖における海底と陸域の地震観測データの併合処理において、**堆積層補
15 正**や観測点補正を実施した。大学は、長期観測型海底地震計による繰り返し観測の記録の整理およ
16 び震源決定を行った。産業技術総合研究所は、水位・水温、ラドン・CO₂濃度等の観測を行う深層地
17 下水変動観測網による観測を継続した。

18 国土地理院は、樽前山、有珠山、北海道駒ケ岳、伊豆大島、富士山、伊豆東部火山群、浅間山、
19 霧島山において、GPS 火山変動リモート観測装置による連続観測を行った。また、有珠山周辺の約
20 130 km の路線において水準測量を実施した。さらに、航空機 SAR センサーにより、新燃岳等で火口
21 の地形測量を実施した。国土地理院と気象庁は、伊豆大島において自動測距装置による観測を継続
22 した。気象庁は、雌阿寒岳、十勝岳、吾妻山、草津白根山、三宅島、伊豆大島、阿蘇山において全
23 磁力の連続および繰り返し観測を実施し、火口地下の熱活動の経過を分析した。防災科学技術研究
24 所は、有珠山、岩手山、浅間山、阿蘇山、霧島山に、**孔井式地震計**、傾斜計、広帯域地震計、GPS
25 観測装置を備えた基盤の火山観測施設を整備し、観測を開始した。大学は、阿蘇山において高精度・
26 高時間分解能の比抵抗連続観測システムを設置し観測を行った。

27 ウ. 東海・東南海・南海地域

28 気象庁は、新たに東海地震の想定震源域及びその西方に多成分ひずみ計を整備した。気象庁、国
29 土地理院、防災科学技術研究所、大学は、体積ひずみ計、多成分ひずみ計、レーザー式伸縮計、傾
30 斜計、GPS 等の総合的な観測を継続した。気象庁、国土地理院、大学、海上保安庁は、海底地震、
31 海底地殻変動、海底地形、地磁気、絶対及び相対重力、精密制御震源を用いた構造探査等、多項目
32 の調査及び観測を実施した。産業技術総合研究所は、地下水と地殻変動の観測を継続するとともに、
33 新たに地震観測を加えた総合観測施設を 14 点整備した。産業技術総合研究所と防災科学技術研究所
34 は、データを共有して、短期的**ゆっくり滑り**を高精度にモニターするシステムを構築した。気象庁
35 は、関係機関の観測データの提供を受け、東海地域の地殻変動の監視体制を一層充実した。

36 う. 成果

37 ア. 日本列島域

38 地震波形連続データを用いて地下構造の変化をモニタリングする新しい手法である地震波干渉法
39 により、2000 年三宅島噴火や、2004 年新潟県中越地震、2008 年岩手・宮城内陸地震に伴う地震波
40 速度変化を検出した。

41 有珠山、吾妻山、三宅島、硫黄島、九重山(星生山)、霧島山(新燃岳)等の活動的な火山地域に
42 おける SAR 干渉解析により火山性地殻変動を捉えた。また、航空機 SAR により新燃岳火口内及び周
43 辺の地形変化が捉えられた。衛星に搭載された ASTER データからは新燃岳等の噴火について詳細な
44 映像が得られた。

コメント[事務局15]: 初出であれ
ば全部書く。以後は「ALOS」でよ
い。要確認。

コメント[事務局16]: 「ゆっくり
滑り」と「スロースリップ」の混
在。どちらかに統一。

イ. 地震発生・火山噴火の可能性の高い地域

宮城県沖では、2005 年に発生した M7.2 の地震前後の発震機構解から応力場の推定を行い、震源域周辺の応力場の空間変化が小さいことを明らかにした。また、2 年間の海底圧力連続観測データから、年周変化と経年的増圧変化を見いだした。この経年的変化は、陸上 GPS 観測に基づくプレート間固着モデルから計算される変化量とよく一致していることから、この地域でのプレート間固着のモニタリングが可能であることが示唆された。また、陸上 GPS 観測から推定された変位速度の空間勾配の短期的時間変化から、2005 年宮城県沖の地震や 2003 年十勝沖地震 (M8.0) の余効滑りが捉えられた。また、長期的な時間変化からは、福島県沖から茨城県沖までの領域で 2008 年末頃から固着が弱化したことが明らかになった。これは、小繰り返し地震の解析に基づく海溝軸周辺での滑りの加速にも対応している。

2011 年 1 月に噴火した新燃岳においては、火山周辺の多数の多項目観測において活動に伴う地殻変動や地震活動等が捉えられ、それに基づき噴火警戒レベルが発表された。

伊豆東部ではマグマ貫入量の時間変化に基づく地震活動の予測手法が開発された。2009 年 12 月の群発地震活動では、それに先立つ地下水位の変化や地殻変動の観測データから地震活動予測情報の発表が試行された。その後、この地域の地震活動予測情報は気象庁から正式に発表されるようになり、これと連携して伊豆東部火山群の噴火警戒レベルが導入された。

ウ. 東海・東南海・南海地域

東海地域では、ひずみ解析で使用する GPS 観測点を約 30 点増やして高解像度の解析を行った結果、ゆっくり滑り発生中と終了後でひずみの空間分布が明らかに異なることが判明した。GPS 観測データから短期的ゆっくり滑りを検出する手法が開発され、2006 年の 1 月と 8 月の 2 回のゆっくり滑りによる 2～3 mm 程度のステップが検出された。これら 2 回の滑り域と低周波微動発生域とは必ずしも一致しなかった。また、紀伊半島の低周波微動の発震機構解を個々に求めたところ、ほとんどが比較的高角な逆断層型であり、東部では横ずれ成分も含まれることが分かった。

GPS 観測データの解析により、豊後水道付近で 2009 年秋頃から 2010 年秋頃まで長期的ゆっくり滑りが捉えられ、その滑り域が 1997 年、及び 2003～2004 年の滑り域とほぼ同一であること、滑りの中心が西に移動すること、ゆっくり滑りの発生と豊後水道南東側の深部低周波微動の活動に相関があることが明らかになった。水準測量と潮位データの解析からは、豊後水道のゆっくり滑りが 1980 年代からほぼ一定間隔で繰り返し発生していたことが明らかになった。

東海地域における地殻変動の監視においては、ひずみ計の観測データを重ね合わせることでデータに含まれるノイズを軽減する手法を開発し、想定東海地震の前兆滑りの検知能力を向上させた。

駿河湾および熊野灘における海底地殻変動観測から、2009 年の駿河湾の地震発生に伴う地殻変動が計測された。

精密制御震源装置を用いたモニタリングでは、P 波と S 波の速度増加が発振点から 30 km 以内で検出された。これは、圧縮応力の増加によると推測できる。また、10 点の高感度地震観測点でプレート境界面からの反射波が観測され、その時間変化を捉えた。また、走時の変化と気圧・気温・降水量など気象要素との相関を調べ、走時の時間変化は降水量の影響によって説明可能であることが分かった。

ALOS による SAR 干渉解析と GPS 観測データの解析を統合処理することにより、長波長ノイズが除去され広範囲で微小な地殻変動の検出を可能にした。これにより、固着域周辺で発生するゆっくり滑りや低周波微動等に伴う微小地殻変動を精度よく捉えられることを示した。

え. 今後の展望

本計画では、観測網の高密度化および多項目化に重点を置き、モニタリングシステムの高度化を進めてきた。

本計画の推進のためには、現有の資源を最大限に活用して各機関の観測網のデータを交換・共有

するとともに、関係機関の連携をさらに進め、検知能力を高めることが必要である。さらに、観測の多項目化を一層推進し、詳細かつ定量的な地震及び火山活動の把握を目指すべきである。これにより、データベースや予測シミュレーションシステム、地震及び火山噴火現象解明の研究に役立てるとともに、これらの研究のニーズを取り入れたモニタリングの高度化を図るべきである。

2011年3月の東北地方太平洋沖地震の発生により、千島海溝、日本海溝、南海トラフ、琉球海溝等の沈み込み帯では、今後同じような巨大地震の発生が危惧される。それを念頭に置いて、モニタリングシステムを強化することが急務である。東北地方太平洋沖地震の滑り量分布については、使用するデータの違いや、震源域直上での海域の観測点が不足していたことにより、多様なモデルが提案されており、その全貌はいまだ明らかになっていない。したがって、現在、不十分な海域での観測網を整備し、プレート境界での固着状況の把握や超巨大地震発生機構の解明に役立つモニタリングシステムを構築する必要がある。

東北地方太平洋沖地震発生直後には、地震及び地殻変動観測点やデータ収集システム等に甚大な被害や障害が発生した。重要なデータを取り逃がすことが無いように、通信や解析システムの冗長化も含めた障害への耐性の向上を図り、迅速な復旧が可能な観測システムの構築が必要である。また、大地震や火山噴火発生後、すみやかに地震や地殻変動等の臨時観測を実施するための体制の整備も重要である。

この地震発生後は顕著な余震や余効滑りのみならず、誘発地震の発生や火山周辺での地震活動の活発化も見られることから、現在、日本列島とその周辺で進行している現象を正確にモニタリングし、今後の活動の推移予測に役立てる必要がある。

今回の超巨大地震に伴う津波によって、多くの尊い人命が失われたことの重大さを考えると、本研究計画で得られた成果から防災や減災に活用可能な技術を社会に還元する努力も重要である。例えば、GPS観測データのリアルタイム解析によって地震時地殻変動を早期に把握するための技術開発を早急に行い、地震規模の即時的推定や津波警報の高度化への応用を目指す必要がある。

(2) 地震・火山現象に関する予測システムの構築

(2-1) 地震発生予測システム

あ. 目的

地震発生に至る物理・化学過程の理解に基づいて、プレート境界の応力・ひずみ等の推移を予測するシミュレーションモデルを構築する。常時モニタリングシステムによって得られる観測データを予測シミュレーションモデルに取り込む手法を開発してデータ同化実験を行い、予測を試行する。同時に、これらのシミュレーションを継続的に高度化していくために、地震発生の物理・化学過程に関する基礎的なシミュレーション研究を推進する。統計モデルや物理モデルに基づいて地震活動を評価し、時空間的に高分解能な地震活動評価を行う手法を確立するために、地震活動予測手法の妥当性を評価・検証する枠組みを構築する。

い. 実施状況

ア. 地殻活動予測シミュレーションとデータ同化

大学は、準静的な応力蓄積と断層の動的破壊モデルをシステム結合することにより、地殻マントルの弾性-粘弾性構造、プレート境界の三次元構造、断層摩擦構成則の環境依存性等を考慮した地殻活動シミュレーションモデルのプロトタイプモデル(CAMPモデル)を構築した。さらに、このモデルを用いて、1968年十勝沖地震の応力蓄積から動的破壊及び波動伝播を連成させた解析を実施した。このモデル開発を進めるとともに、準静的な地震発生サイクルシミュレーション計算を高速化するため高速多重極法、階層型行列の適用について検討した。また、不均質粘弾性媒質を扱う目的で有限要素法ソフトウェアの改良を行った。

1 大学は、測地データインバージョン解析手法を東北日本及び西南日本のGPSデータに適用し、そ
2 れぞれ北米プレートと太平洋プレート、ユーラシアプレートとフィリピン海プレートが接するプレ
3 ート境界の固着・滑り状態を推定した。また、測地データから推定される滑り欠損分布と固着域の
4 分布について定量的な検討を行った。

5 大学は、アジョイント法及びマルコフ連鎖モンテカルロ法を用いて、地殻変動の時系列データか
6 ら断層面の摩擦パラメータを推定するデータ同化手法を開発し、余効滑りやスロースリップのデー
7 タに適用した。

8 海洋研究開発機構は、階層的なアスペリティモデルを仮定したシミュレーション研究を実施する
9 とともに、仮想的な東南海地震発生後、南海地震発生に至るまでの海底地殻変動の模擬データを作
10 成し、データ同化の数値実験を実施した。

11 防災科学技術研究所では、GPS から推定された滑り欠損速度分布を用いた地震の動的破壊伝播の
12 シミュレーション及び紀伊半島・東海地域を対象としたスロースリップのシミュレーションを実施
13 した。

14 気象庁は、東海・東南海・南海地震の想定震源域のシミュレーションモデルを開発し、巨大地震
15 と東海及び豊後水道で発生する長期的スロースリップの再現を試みた。

16 大学は、地震学的な観測情報を予測シミュレーションに取り込むため、小繰り返し地震抽出のた
17 めの手法開発及び日本列島域の各地における滑り速度の分布を推定した。また、地震活動カタログ
18 を整備するために関東及び東海・東南海地域で発生したM3.4以上の地震及びマグニチュードを均一
19 な手法・観測点分布で再決定した。さらに、地震のメカニズム解から地殻内の流体圧分布を直接推
20 定する地震メカニズムトモグラフィー法を開発し、2009年イタリア・ラクイラ地震に適用した。

21 イ. 地殻活動予測シミュレーションの高度化

22 大学は、地震発生予測シミュレーションの高度化のため、断層面の間隙圧が断層の動的破壊や地
23 震サイクルに及ぼす影響に関する理論的考察及び数値シミュレーションを実施した。

24 大学は、不均質媒質の地震サイクルに対する影響や、陸側プレート内部における断層帯形成過程
25 を理解する目的で、有限要素法のモデル構築やシミュレーション研究を実施した。

26 大学は、個別要素法によるモデル化を通して岩石の剪断変形時のアコースティックエミッション
27 (AE)の統計性を研究した。

28 産業技術総合研究所は、日本列島の内陸部に関する物理モデルを構築し、内陸地震発生予測のた
29 めのシミュレータを試作した。

30 ウ. 地震活動評価に基づく地震発生予測

31 大学は、地震活動予測アルゴリズムの妥当性を評価・検証する目的で、CSEP (Collaboratory for
32 the Study of Earthquake Predictability) と国際連携を図り、地震発生予測実験を実施した。ま
33 た、地域における地震の発生数を予測するモデル、前震かどうかの確率を与えるモデルを開発した。

34 気象庁及び防災科学技術研究所は、地震活動に基づく発生予測モデルを構築・改良し、予測性能
35 の検証を行った。

36 う. 成果

37 ア. 地殻活動予測シミュレーションとデータ同化

38 従来の地震サイクルシミュレーションモデルは、準静的な応力蓄積から動的破壊までのプロセス
39 までを扱っていたが、破壊後の応力状態を引き継いで2サイクル目のシミュレーションを行い、サ
40 イクルとしての大地震発生過程のモデル化に成功した。2サイクル目では粘性緩和及び粘性応力に
41 より駆動される余効滑りの影響で1サイクル目よりも急速に応力が蓄積し、地震発生間隔が短縮さ
42 れる。さらに、南海トラフで推定された滑り欠損速度分布に基づいて地震の動的破壊伝播シミュ
43 レーションを実施し、東南海地震や南海地震を再現するモデルを構築した。条件設定を少し変えるだ
44 けで2つの地震が連動し、摩擦パラメータの設定が重要であることが分かった。

コメント[事務局17]: 専門用語が
やや多すぎるので書きぶりについ
て修正案をお願いします。用語解
説との併用についても飯高学術調
査官とご相談願います。

コメント[森田臨時委員18]: 現象
解明のためのシミュレーションも
記載願いたい。

速度・状態依存摩擦法則を用いた地震サイクルシミュレーションにより、三陸沖のプレート境界地震の繰り返しを再現するモデルを構築し、摩擦特性の不均一性に関する知見を得た。南海トラフでは、地震サイクルシミュレーションにプレートの三次元形状を導入し、摩擦特性のうち特徴的滑り量に不均一を与えることで、過去に発生した地震履歴を再現可能であることが分かった。階層的なアスペリティモデルを仮定することにより、釜石沖で観測される、同じ場所で規模の異なる地震が起きる複雑な地震発生サイクルのモデル化に成功した。こうしたシミュレーションコードを高速化するため、無限媒質中の問題に高速多重極法を適用し、計算時間やメモリーを自由度に比例するレベルに効率化できることを示したが、半無限媒質への適用には問題のあることが分かった。一方、階層型行列はこうした問題が無く、自由度 N に対して $O(N)$ ないし $O(N \log N)$ に効率化できることが分かった。

また、長期スロースリップを含む南海トラフの地震サイクル全体の特徴を再現可能な数値モデルが構築され、東海・紀伊半島・四国地方で発生するスロースリップの再現に成功した。

日本列島の内部変形やアセノスフェアの粘性緩和を考慮した測地データインバージョン解析手法を開発し、東北日本の及び西南日本の GPS データに適用した。東北日本では、過去の大地震の震源域に対応する滑り欠損分布が推定され、南海トラフでは東海から紀伊半島、四国にかけて西側ほど滑り欠損量の大きくなることが分かり、宝永地震のような連動型の地震の震源域が従来の想定より西側へ延びる可能性が示唆された。1946 年南海地震前後の地殻変動データ解析からは、地震時滑り、余効滑り、豊後水道のスロースリップが違いに相互的な空間分布を持つことが明らかになった。

滑り欠損と固着域の定量的な比較から、測地データから推定した滑り欠損分布から想定される地震モーメントの蓄積速度は過大評価となる可能性があること、また、滑り欠損分布の重心は、実際の固着域の重心と一致しないことが示された。

地殻変動の時系列データから、アジョイント法で摩擦パラメータを推定する手法を開発して余効変動データに適用し、摩擦パラメータを正しく推定するには、シミュレーション変数の初期値を同時に推定することが必要なことが分かった。また、2003 年十勝沖地震の余効変動データにマルコフ連鎖モンテカルロ法を適用して摩擦パラメータ (L , $a\sigma$, $(a-b)\sigma$) を推定したところ、観測データと適合する摩擦パラメータの値は、室内実験で得られる値と桁で異なることが分かった。粒子フィルターを用いた逐次データ同化手法を東南海・南海の連鎖発生時を想定したデータに適用し、データの増加とともに 2 つの地震の発生間隔の推定誤差が減少することが示され、データ同化による的確な予測を行える可能性が示された。

小繰り返し地震からは、データ解析手法を工夫してより効率的に繰り返し地震のクラスターを抽出できるようになるとともに、日向灘から八重山諸島沖の沈み込み帯においてプレート境界面の滑り速度が推定され、この地域のプレート間固着の弱いことが推定された。また、関東及び東海・東南海地域の震源再検測の結果、2000 年から 2005 年 7 月にかけて東海スロースリップに同期した静穏化を見出した。地震メカニズムトモグラフィー法を 2009 年ラクイラ地震のデータに適用して震源域周辺の流体圧分布を推定し、この地震が流体によって誘発された可能性を示した。

イ. 地殻活動予測シミュレーションの高度化

断層滑りの多様な挙動が、3 つの無次元パラメータによって表されることが分かった。一方、地震時の摩擦発熱による間隙流体圧上昇を考慮すると、考慮しない場合に比べて地震発生間隔が長くなる影響のあることが分かった。また、圧力溶解で生じる沈殿により間隙体積が減少することで、断層の安定化と見かけ滑り速度の増加が生じることが分かった。このメカニズムは、2011 年東北地方太平洋沖地震の大きな地震滑りをもたらしたメカニズムの候補としても注目されている。

3 次元的热構造の不均質を考慮した有限要素法のシミュレーションにより、奥羽脊梁山脈と変形集中帯の形成を再現することに成功した。

離散要素モデルによる AE のモデル化から、ジャミング転移点と呼ばれる臨界密度において AE の

1 大きさ・頻度分布がべき則に従うことを見出した。

2 日本列島規模で3次元粘弾性構造を有限要素モデルで作成し、東西短縮を与えることでひずみ集
3 中帯と調和的な計算結果を得た。

4 ウ. 地震活動評価に基づく地震発生予測

5 CSEP の地震発生予測実験により、日本全体域を対象とする地震予測モデルの検証を実施した結果、
6 陸域部の3ヶ月予測結果では9つのモデル中3つが有意な予測性能を持つと判断されたが、関東地
7 方を対象とする予測ではすべてのモデルが評価をパスできなかった。1年予測結果では、3つの地
8 域カテゴリー合計で31のモデルが試された。その結果、日本列島全域の陸域浅部や関東地方を対象
9 とするモデルに比べ、海域を含む日本全体に関するモデルでCSEPのテストをパスするものが非常に
10 少ないことが分かった。こうした実験を通して地震活動モデル毎の特徴や特性が明らかになった。
11 今後、各モデルの改良すべき点も明らかになってくるものと思われる。

12 え. 今後の展望

13 これまでの研究により、プレート境界で準静的に応力が蓄積した結果、断層が動的破壊を起こし、
14 周囲に地震波動が伝播する一連の過程、さらに動的破壊後に次の地震へ向けて応力蓄積が再開する
15 過程がシミュレーションできるようになり、地震発生サイクルの計算が可能になった。このことは、
16 我々が大地震の発生に関わる本質的な現象を計算機内で再現できるようになったことを意味する。

17 一方、本研究で目指している地震発生予測は、こうしたシミュレーションとは次元の異なるもの
18 である。すなわち、計算機内で再現される地震サイクルは、現実の地震サイクルそのものではなく、
19 たとえそれが過去の地震発生履歴を良く再現するモデルだとしても、実際のプレート境界で起きる
20 大地震に対して何ら予測性能を持ち合わせていない。あるシミュレーションモデルが過去の事象を
21 良く説明するとしても、それは同様な能力を持つ無数のモデルの1つに過ぎない。現時点で可能性
22 を有する無数のモデルは、今後取得される観測データとの整合性チェックを通して淘汰され、その
23 過程を生き残ったモデルが将来予測に供される。このデータ同化解析こそが地震発生予測を行う上
24 での最重要となる要素である。

25 地震発生予測実現へ向けての課題の一つは、実用的なデータ同化解析手法の開発である。本研究
26 で、アジョイント法、マルコフ連鎖モンテカルロ法、粒子フィルター等の方法により摩擦パラメー
27 タの最適化が行われ、一定の成果を収めているが、現実的な非常に自由度の高いモデルと大量の観
28 測データをどのように扱うかという点において、最終的な目標地点はまだ見えていない。もう一つ
29 の重大な課題は、現在、地震発生サイクルやリソスフェアの応力状態に関して利用可能なモデルが、
30 非常に単純化されたごく少数のモデルに限定されている点である。そうした限界を持った物理モデ
31 ルだからこそ、候補となるモデルは常に多数存在し、データ同化によって順次淘汰される状況を作
32 る必要がある。そのように考えると、本項目の達成にはいまだ解決すべき課題が数多く、進展の途
33 上である。今後、研究コミュニティを拡大し、多くの物理モデルやデータ同化手法が競い合う状
34 況を作っていくことが喫緊の課題である。

35 物理モデルに基づく予測とは別に、地震の統計的な性質に基づく予測は、現状でも一定の予測性
36 能を持っており、そうした各種予測手法の検討も重要な課題である。CSEP による予測実験では、多
37 数のモデルで比較検証が行われており、上記の物理モデルに基づく予測システムと比較するとはる
38 かに健全な状態で研究が進んでいる。今後、予測実験の項目を拡充し、国際共同研究で地域毎の比
39 較などを行っていくことにより、一層の研究の進展が見込まれる。

41 (2-2) 火山噴火予測システム

42 あ. 目的

43 わが国の主要な活火山について、噴火シナリオ（予想される火山活動の推移を網羅した噴火事象
44 系統樹）を作成する。そのため、地震・火山現象に関するデータベースを活用するとともに、地質

コメント[高木専門家19]: 予測システムが本計画の目玉のひとつであり、ネガティブな表現は避けるべき、との意見が出た。

調査・解析によって明らかにされた噴火履歴を参照する。また、過去の噴火時の観測データの再検証や研究成果を取り入れて噴火シナリオを高度化する。活動的な火山について、観測データと噴火シナリオに基づき、火山活動の現状を評価し推移予測を試行する。

い。実施状況

ア。噴火シナリオの作成

大学等は、三宅島（東京都）の過去の噴火の履歴と観測データから明らかになった噴火事象を抽出し、発生確率を推定して噴火シナリオ（噴火事象系統樹）を作成した。また、桜島の噴火シナリオの作成を開始した。桜島は、日常的に小規模噴火が発生する中で、低頻度の大規模噴火に至る可能性があり、過去の事例の少ない大規模噴火をシナリオにどのように取り入れるかを検討した。また、2011年1月26日から本格的なマグマ噴火を開始した新燃岳では、噴火推移を予測するために、過去の新燃岳の地質学的研究や、国内外の類似火山の噴火様式を参考にして、噴火の開始直後に噴火シナリオを作成した。さらに、実際の噴火の推移に合わせて継続的に変更を重ね、すみやかな噴火推移予測を試みている。

一方、気象庁は、秋田駒ヶ岳（秋田県）、新潟焼山、焼岳及び伊豆東部火山群について、それぞれの火山の噴火履歴を考慮し、防災対応に資する噴火シナリオ（想定噴火推移）を作成した。また、青ヶ島（東京都）、秋田焼山（秋田県）、白山（岐阜県）の3火山についても、噴火シナリオ（想定噴火推移）の作成に取り掛かった。

イ。噴火シナリオに基づく噴火予測

大学等は、本計画で作成した三宅島噴火シナリオについて、過去や現在の観測データから、事象分岐の数値的根拠や、カルデラ形成などの低頻度事象の予測確率の妥当性を検討した。

防災科学技術研究所は、異常変動を自動で検出し、リアルタイムで変動源モデルを自動推定するシステムを構築し、富士山、伊豆大島、三宅島、伊豆東部火山群に適用した。さらに、過去の観測データを用いてシステムの信頼性を検証した。また、平成21年度に火山観測施設が整備された有珠山、岩手山、浅間山、阿蘇山、霧島山について同システムを導入し、他機関のデータも併せた処理を試験的に開始した。

気象庁は、火山噴火予知連絡会を開催し、全国の火山活動の状況についての検討を行った。検討結果は、「全国の火山活動の評価」として取りまとめ、報道機関や気象庁ホームページを通じて公表した。

う。成果

ア。噴火シナリオの作成

三宅島（東京都）の噴火シナリオと過去の噴火事例との対比により、ひとつの噴火事象から次の事象が発生するまでの時間や各現象の継続時間の範囲を推定した。また、桜島の低頻度大規模噴火に至るシナリオについて、過去100年間におよぶ観測研究から、検出する先行現象の整理を行うとともに、極大規模噴火と大規模噴火の事象分岐の経験式を導出した。これらにより、桜島の噴火シナリオの基本的枠組みを作成した。また、気象庁は、関係自治体及び防災機関と協力・協議して噴火警戒レベルを導入する際に、噴火シナリオを活用した。

イ。噴火シナリオに基づく噴火予測

霧島山（新燃岳）では、進行中の噴火に対して噴火シナリオを急遽作成し、監視・観測データに基づき、噴火シナリオの作成の手法や考え方に、段階的に改訂を加えることができたことは大きな成果である。はじめに、新燃岳の過去の噴火の地質学的研究に基づいて噴火シナリオの第1版を作成し、地質学的には読み取られていなかった進行中の噴火現象に対応して変更を加えた。次に、今回の新燃岳の噴火と同様に、火口に溶岩が蓄積してブルカノ式噴火を繰り返した類似の活動（浅間山の1973年や2004年噴火、コロンビア・ガレラス火山の1991年以降の噴火、及び北マリアナ諸島・アナタハン火山の噴火）との共通点を抽出して第2版を作成した。これらの作成をとおして、噴火

コメント[森田臨時委員20]: 「実効的な噴火シナリオ」の意味が不明。「噴火想定避難計画」の意味か。本計画の中の「噴火シナリオ」と混同されやすいので、表現に工夫が必要である。

コメント[斎藤専門委員21]: 内閣府を中心に検討・作成した「噴火時等の避難に係る火山防災体制の指針」など防災分野で“普通”に使われており浸透しているので気象庁としては「噴火シナリオ」を使いたい。そもそもイベントツリーとシナリオを区別する必要があるのか。

1 の推移予測のために必要とされる噴火シナリオの高度化の方向性が明らかになった。

2 防災科学研究所は、変動の異常を自動検出し変動源モデルを自動推定するシステムにより、2010
3 年6月頃及び12月頃に始まった伊豆大島のマグマ溜りの膨張と収縮によると推定される地殻変動
4 を検出し、モデル化に成功した。また、霧島山新燃岳噴火活動においては、傾斜計の地震動による
5 ステップ変動やノイズ除去のためのデータ処理法を改善し、異常変動検知システムの高度化を図っ
6 た。

7 え. 今後の展望

8 これまでの火山噴火予知計画では、火山噴火の時期と場所の予測については、ある程度見通しが
9 立っていたが、より困難な噴火の規模、様式、推移の予測に向けての取り組みが十分とは言えな
10 かった。本計画では、地震発生と火山噴火の予測システムの開発をより明瞭に志向しており、火山噴
11 火予測システムとして、噴火シナリオの作成と高度化に取り組み始めた。しかし、地質学的な情報
12 は規模の大きな火山噴火に限られ、噴火の歴史的記載にも曖昧さがある。また、火山噴火の発生頻
13 度が低い場合、近代的な観測データは少なく、質・量ともに情報が不足している。このようなこと
14 から、噴火シナリオの作成と高度化はそれほど容易ではない。

15 一方で、噴火シナリオを作成することにより、噴火事象の分岐機構を解明する際の課題や問題点が
16 明瞭になり、噴火準備過程研究や噴火過程研究などの噴火現象解明研究の新たな目標を提示する。
17 また、噴火現象解明研究による多様な噴火現象の理解が噴火シナリオの高度化につながる。このよ
18 うに噴火現象解明研究と噴火シナリオの高度化は密接に関連しており、一体化して研究を推進する
19 必要がある。噴火事象分岐の機構が一層明らかになれば、経験に基づく予測から観測とモデルに基
20 づく予測に近づき、定量的な火山噴火予測への道筋をつけるものと期待できる。このため、より多
21 くの火山について噴火シナリオを作成し、現実起こった噴火事象の分岐に関する体系的な情報を
22 収集することが重要である。また、噴火シナリオは、現在の火山学の知識を火山防災に効率的に役
23 立てるものであり、この観点からも噴火シナリオの作成と高度化は推進されるべきである。

26 (3) 地震・火山現象に関するデータベースの構築

27 あ. 目的

28 関係機関が長期にわたり蓄積してきたデータや観測研究で新たに得られたデータを集積すること
29 により、地震現象・火山現象の予測に必要な基礎データベースを構築し、データの流通により研究
30 の進展を図る。さらに、基礎データと研究成果を統合して、体系的な地震・火山現象に関する統合
31 データベースを構築する。

32 い. 実施状況

33 ア. 地震・火山現象の基礎データベース

34 防災科学技術研究所は、高感度地震観測網、広帯域地震観測網、強震地震観測網による地震波形
35 データを統合し、日本周辺で発生した地震についての統合地震波形データベースの構築を行ってい
36 る。気象庁は、全国の地震カタログを作成するとともに過去の地震のデータベースの改良を進めて
37 いる。国土地理院は、GPS 観測データや潮位観測データの整備・更新を行っている。大学は、古い
38 地震記録を電子化し、データベースの構築を進めている。大学等は、ひずみ計や傾斜計などで得ら
39 れた地殻変動連続観測のデータベース構築・データ流通を進めている。気象庁は、全国の活火山の
40 過去の活動について資料の再調査を行い、活火山データベースを構築している。国土地理院は、火
41 山基本図や火山土地条件図の整備を行っている。気象庁は、地磁気永年変化データベースを構築し
42 ている。

43 イ. 地震・火山現象に関する情報の統合化

44 大学は、日本列島各地域の地殻構造に関する研究成果の数値化を行い、日本列島地殻構造データ

コメント[事務局22]: わかりやす
い表現にしてください。>防災科
研に依頼する。

削除: 関する観測データの蓄積に
より明らかになったマグマシステ
ム及び特性を考慮して、同システ
ムを高度化した。傾斜計の地震動
によるステップ変動やノイズ除去
のためのデータ処理法を改善した。

ベースのプロトタイプの構築を進めている。また、地殻構造や地殻活動に関する情報を集積し、統一フォーマットでのデータベース化と可視化を試みている。防災科学技術研究所は、地震波速度構造、減衰構造、地殻熱流量、地質構造等の統合データベースの構築を進めている。産業技術総合研究所は、地殻応力場、活断層、地下水、活火山、火山衛星画像等のデータベースを統合し、地震や火山活動に関する地質情報データベースの構築を進めている。国土地理院は、水準測量、GPS、潮位等の地殻変動データによる地殻活動総合解析システムを運用している。また、都市圏活断層図を整備し公表している。

う. 成果

ア. 地震・火山現象の基礎データベース

地震、地殻変動、火山、地磁気等に関して基礎データベースの整備が進んだ。地震サイクル全体のモデル化や低頻度の大規模火山噴火の予測のためには、近年のデータだけではなく、過去のデータの活用は重要である。過去の地震・火山活動に関する基礎データベースの構築が進められていることは重要である。遅れていた大学等のひずみ計や傾斜計観測のデータベース化、データ流通が開始されたことは有意義である。また、一元化処理による全国地震カタログや高感度地震観測網、広帯域地震観測網、強震地震観測網による観測データは前計画から引き続き広く利用され、地震・火山研究の進展に貢献するだけでなく、地殻活動の監視にも役立っている。

イ. 地震・火山現象に関する情報の統合化

地殻活動シミュレーションや強震動シミュレーションを行うためには、日本列島の地殻構造データは不可欠であり、これに関するデータベース構築が進められていることは重要である。地震・火山活動や地殻変動、及びこれらに関連する地殻構造、地質等の情報を含んだ統合データベースが開発されている。複数のデータを総合的に評価することにより、地震・火山活動に関する理解が進むことが期待される。また、地震・火山噴火予知研究計画データベースとして、本研究計画で構築されたデータベースのポータルサイトが開設された。現状は個別のデータベースを羅列したものであるが、各種データベースの閲覧が容易に行えるようになっている。今後の本格的な統合データベースの構築に向けた第一歩として重要な試みである。

え. 今後の展望

地震発生予測システム・火山噴火予測システムを構築するためには、その基礎となるデータは必須である。これらに関する基礎データの蓄積及びデータベース化は着実に推進されてきた。とくに、モニタリングシステムで得られている地震や地殻変動のデータは、過去に得られているデータとあわせてデータベース化され、多くの研究に利用されている。しかし、個々のデータベースを有機的に統合し、地震・火山噴火の予測システムの構築に資するデータベースの統合という目標を考えると達成度は十分とはいえない。これは、各機関で統合データベース構築が進められたが、地震発生・火山噴火予測システム構築に資するという考え方が十分に浸透していなかったことが原因であると考えられる。また、統合データベースは、地震発生や火山噴火の現象解明のための研究の高度化への波及効果も大いに期待されるが、そのような視点で統合データベースが構想されてこなかった。

本計画で構築されるデータベースは、予測システムの構築や、地震・火山現象の解明に必要であり、本計画推進のために極めて重要な位置を占めるので、今後も研究を推進する必要がある。データベースの利用者である予測システムの研究者だけでなく、データベースの素材を提供する研究者とも十分な連携を取りながらデータベースを構築する必要がある。この時、予測システムの研究者からは必要なデータベースは何かというニーズを、地震・火山現象解明を行う研究者からはそれぞれの研究成果を、積極的にデータベースに還元するなどして、データベースの研究者だけに負担を負わせるのではなく、本計画にかかわる研究者が皆で、統合データベースの構築に貢献する体制を整えることが望ましい。

特に本計画の期間中に、東北地方太平洋沖地震や霧島山（新燃岳）の噴火が発生し、発生間隔が

長い現象のデータベースが不足していることが明らかになった。今後は、地震発生や火山噴火の履歴に関する地質学的情報の充実にも力を入れる必要がある。

計画全体で統合データベースをどのように構築するかを再度検討するとともに、現象解明研究を含め本計画の各課題で得られたデータ、研究成果等を容易に閲覧、利用できるようなデータベースの構築も検討すべきである。また、本計画におけるデータベースの重要性を考えると、各研究機関が協力して推進するとともに、大学においては共同利用・共同研究拠点の機能を活用する方策も念頭に入れて検討する必要がある。

2. 地震・火山現象解明のための観測研究計画の推進

(1) 日本列島及び周辺域の長期・広域の地震・火山現象

あ. 目的

長期的あるいは広域の地震・火山現象を解明するために、日本列島及びその周辺域で、長期的なプレート運動とそれに伴う応力場を明らかにし、上部マントルにおける水の供給・輸送過程とマグマの生成・上昇機構を明らかにする研究と、地震活動と火山活動の相互作用に関する研究を推進する。また、地震現象の予測精度向上に不可欠な地震発生サイクルに関する理解を深めるために、アスペリティやセグメントの破壊様式についての過去の活動履歴を明らかにするとともに、長期的な内陸の地殻ひずみの時空間分布を解明する。

い. 実施状況

ア. 列島及び周辺域のプレート運動、広域応力場

日本列島及びその周辺域のプレート運動を理解するために、大学は、モンゴルやロシアでGPS観測を実施し、国土地理院はVLBI（超長基線電波干渉計）国際・国内観測及びアジア・太平洋地域でのGPS連続観測を、海上保安庁海洋情報部はSLR（衛星レーザー測距）国際共同観測を実施した。また、大学はプレート内部の広域応力場を推定するために、地震のメカニズム解の詳細な解析を実施した。

イ. 上部マントルとマグマの発生場

大学はスラブから地表に至る流体の移動経路の解明とマグマ生成・上昇モデルの高度化を行うために、地震波速度構造や減衰構造、異方性構造の推定を行った。さらに大学は沈み込み帯の温度構造、流動・変形、物質循環に関する統合モデルを構築するために、地殻変動とテクトニクスとの関連の推定、火成岩と熱水の調査、高温高压実験等を行った。また、海洋研究開発機構は島弧地殻の進化と大陸地殻の形成過程に関する知見を得るために、成熟度の異なる沈み込み帯において、地殻物質・マグマの岩石学的・地球化学的特性の解釈と地震探査データに基づく島弧-背弧システム全体の3次元地下構造の推定を行った。

ウ. 広域の地殻構造と地殻流体の分布

大学は、日本列島下の地殻について、地震波形を用いた解析により、モホ面などの地震波速度不連続面の形状や上部・下部地殻の三次元地震波速度構造に加え、短波長不均質構造の詳細な空間分布を高精度で推定した。さらに大学は地殻流体の分布に敏感と考えられる比抵抗の分布の推定を北海道、秋田県、蔵王山周辺、長町利府断層近傍、跡津川断層域、和歌山地域、鳥取県中西部～島根県東部、九州等の様々な地域で行った。また、防災科学技術研究所は構造的特徴と地震の起き方の関係の理解とそれに基づいた地殻変形モデリングを行うために、地震波速度・減衰の詳細な構造と温度構造の推定を行った。

エ. 地震活動と火山活動の相互作用

大学は、マグマ移動に伴う火山性地震や群発地震の活動度の高いフィリピン海プレート北縁の伊

豆大島、伊豆東部、富士山等の地域の構造を、地震・電磁気・重力探査から推定した。さらに大学は、別府-島原、日向灘、南九州における地震と火山の相互作用を解明するために、地震・電磁気探査と地殻変動観測を行った。また、防災科学技術研究所は、発生が懸念される東海・東南海・南海地震と連動した富士山の噴火可能性の定量的評価を行った。

オ. 地震発生サイクルと長期地殻ひずみ

大学は、千島海溝沈み込み帯で発生するプレート境界巨大地震の発生過程を調べ、また津波による砂の浸食・運搬・堆積をモデルに取り込んだ津波数値計算法の開発を行った。また、産業技術総合研究所及び大学は、過去の連動型巨大地震についての津波堆積物の調査を行った。

大学は、会津盆地西縁の活断層帯において高精度浅層反射法地震探査を行うとともに、島弧の長期的な変形過程の検討を行った。さらに大学は、詳細な数値標高モデル等も用いて活断層によると考えられる地形を同定し、さらに詳細な調査に基づく活断層の活動度の推定を行うとともに、将来発生する大地震のモーメントマグニチュードの推定を試みた。

う. 成果

ア. 列島及び周辺域のプレート運動、広域応力場

VLBI と GPS 観測データを統合処理して広域の変位速度場を算出した結果でも、またロシア沿海州における GPS 観測に基づく解析結果でも、アムールプレートの運動は当初予想よりもかなり小さいことが示唆された。一方、サハリンや北海道北部と沿海州の間には明瞭な収束運動が見られており、これを説明するためにはアムールプレート運動以外の要因を考える必要がある。

イ. 上部マントルとマグマの発生場

日本列島の3次元P波速度構造を推定した結果、西南日本下のフィリピン海スラブは深さ300-400 km まで沈み込んでいることが明瞭にイメージングされた。また東北地方のマントル上昇流は日本海下の深部でも存在することがわかった、さらに北海道や九州においてもこのような背弧側深部から火山フロント直下へのマグマの供給を示唆する電気比抵抗構造が得られた。

第四紀火山岩の岩石学的・地球化学的データに関する調査・データ解析を行った結果、5つの島弧（千島、東北、中部、伊豆-小笠原、琉球）によってスラブ由来流体の量と組成が異なることが分かった。この原因は、それぞれの弧におけるスラブの沈み込み角度・速度とスラブの年齢といったテクニクセッティングの違いに起因すると考えられる。

沈み込みの屈曲を示すアウターライズ（海溝外側の地形的な高まりが生じている領域）に生じる断層は海洋プレート内のマントルにまで到達していて、しかもこの領域でモホ面が不明瞭となっていることがわかった。このことは海洋プレートがアウターライズにおいて加水され、かんらん岩が蛇紋岩へと変化していることを示しており、マウントルウェッジへの水の供給に堆積物と海洋地殻のみならず海洋マントル内の蛇紋岩も関係していることを意味する。

ウ. 広域の地殻構造と地殻流体の分布

関東と北海道で温度検層データから推定された地殻熱流量は、関東においてはフィリピン海プレートの沈み込みと、北海道においてはスラブ直上に地殻物質が厚く分布している領域とよく対応していることがわかった。地震発生層の下限の深さ（D90）を詳細に求めたところ、上記の北海道や関東の低地殻熱流量域でこの下限が深くなっており、これらの特異な構造が温度分布を規定し、この温度分布が地震活動を規定していることが明らかになった。

一方、地殻内大地震の発生域における3次元地震波速度構造を詳細に検討したところ、本震の震源域の下に明瞭な低地震波速度・高ポアッソン比の領域が存在するという共通の特徴が見られることが明らかになった。このことは、局所的に流体の存在によって強度が低下することによって、その上部に応力が集中して大地震発生に至ることを示唆している。また、2011年東北地方太平洋沖地震の後、内陸の応力場の主軸方向が回転したことが判明した。このことは内陸の地震発生域の強度がかなり小さいことを意味しており、その原因としては地震発生域で間隙水圧が高くなっているた

コメント[高澤専門委員23]: 非常に読みにくい文章である。

めと考えられる。

このように地下に流体があれば電気比抵抗が低くなることが期待される。秋田県南部では、上部地殻中部に相当する地下 10km 前後で低比抵抗、下部地殻が高比抵抗、最上部マントルが低比抵抗となっていることがわかった。地震活動はこの上部地殻中部の低比抵抗領域の上または下で生じ、低比抵抗領域の中心では地震は発生していない。同様の特徴は和歌山地域や鳥取県や島根県東部でも見られた。

長野県西部地域において、応力場と地震波速度の空間的な不均質性を高分解能でマッピングして詳細に比較検討した結果、低速度域の中央部で水が豊富に存在していると考ええると、応力場の不均質性をうまく説明できることがわかった。

さらに、東海地域で実施した高密度地震アレイ観測のデータ解析の結果、フィリピン海プレート沈み込みに伴う長期的スロースリップイベント (SSE) によるモーメント解放量の最も大きな領域は、海洋性地殻内における流体の存在を示唆する顕著な低速度・高ポアソン比域となっていることがわかった。長期的 SSE 域と低周波地震・微動域は、どちらもプレート境界面上に位置するものの、上盤が前者は地殻、後者は蛇紋岩化したマントルウェッジとなっていて構成岩石種が大きく異なることが明らかとなった。

エ. 地震活動と火山活動の相互作用

伊豆半島東方沖では、マグマの貫入した先端で群発地震が発生しており、マグマの貫入量と群発地震の活動度が比例することが明らかにされてきた。このような地震・火山噴火予知研究で得た成果に基づき、地震調査研究推進本部で「伊豆東部の地震活動の予測手法（平成 22 年 9 月 9 日）」が取りまとめられた。伊豆大島及び周辺海域で実施された構造探査実験により得られた地震波速度構造と地震活動とを対比させて詳細に検討した結果、マグマ貫入とそれに伴う地震活動が地下構造によって規定されている可能性が高いこと、また下部地殻と考えられる層が、火山体である伊豆大島直下で浅く盛り上がっていることが明らかになった。

九州地域で高密度アレイ観測を実施し、3 次元速度構造を推定した結果、深発地震面が折れ曲がる深さ 90km 以深では、海洋地殻がもはや低速度でなく、海洋地殻に含まれていた「水」はこの深さまでにほぼ脱水してしまうことが示唆された。また、始良カルデラ周辺で臨時地震観測を行い、構造探査で得られたデータも加えて 3 次元 P 波速度構造の解析を行った結果、深さ 8km 断面の始良カルデラ中心部においてマグマ溜りと考えられる低速度域が見つかった。さらに、桜島を含む南九州地域の ALOS/PALSAR 画像から SAR 干渉解析を行ったところ、桜島北部でカルデラ地下のマグマ溜りにおける増圧に起因すると考えられる地盤隆起が検出された。

オ. 地震発生サイクルと長期地殻ひずみ

反射法地震探査から得られる地下の地質構造をもとに、東北日本弧の背弧域における地殻変形過程を検討した結果、当該地域には中新世の日本海拡大時に非対称リフトが形成され、その構造が鮮新世～現在に至るこの地域の変形様式を強く支配していることが分かった。

「糸魚川－静岡構造線断層帯における重点的な調査観測」において、平均変位速度・地震時変位量の推定から将来の大地震の規模を見積もった結果、気象庁マグニチュード換算で 8.2～8.3 という値が得られた。2008 年岩手・宮城内陸地震は事前に活断層の存在が指摘されていない場所で発生したが、地震前後のデータを詳細に検討した結果、北北東－南南西走向の 15 km 程度の範囲に推定活断層が認定されること等が明らかになった。

1958 年択捉沖地震について津波波形解析をおこなった結果、スラブ内地震モデルから計算された津波波形が観測波形をより良く説明することがわかり、この地震の規模は Mw8.1 と推定された。1963 年ウルフ島沖巨大地震 (Mw8.5) の最大余震 (Mw7.2) の津波波形インバージョンを行った結果、この地震は海溝近く 300 km もの長いプレート境界域を破壊し、地震波から求められた Mw よりはるかに大きい Mw8.0 という値が得られたことから、この最大余震は津波地震であったと考えられる。

津波堆積物分布から巨大津波を発生させた地震の震源過程を評価するために、津波遡上高のみならず、その津波による砂移動までもモデル化して津波堆積物分布を計算し、実際のデータと比較したところ、津波堆積物分布データからある程度すべり量を推定できることが示された。

千島海溝沿いの臨海低地において野外調査をおこない、津波堆積物層序を検討した結果、過去3000年間に、浦幌で8回、根室で7回、色丹島で6回の津波があったことが分かった。

茨城県日立市において採取した柱状試料から869年貞観津波より後に堆積した津波堆積物を少なくとも2層検出した。これらのデータから貞観津波のように広域に影響する津波が450～800年間隔で発生していたと考えられる。またこれまでの津波堆積物調査で解明された貞観津波の浸水域に基づいて断層モデルの改良を行い、宮城県沖から福島県沖にかけてのプレート境界で少なくとも長さ200 km、幅100 kmの断層が滑ったMw8.4以上の地震であると推定した。

2011年東北地方太平洋沖地震に伴う津波によって運ばれた堆積物は仙台平野や石巻平野において海岸線からおよそ3～4 kmまで達し、さらに津波の水自体はそこから1～2 km内陸まで達していた。海岸線の移動も考慮しながら貞観地震における津波堆積物の分布と比べると、両者の津波はほぼ同程度の規模であったことが明らかになった。

三重県志摩市で得られたコア試料についてより詳細な年代の分析を行い、過去4500年間に9層の津波堆積物を検出した。特に上位3層は1498年、1196年、684年の歴史地震にそれぞれ対応する可能性が指摘された。和歌山県串本町では津波石と隆起海岸の調査を行い、1707年宝永地震と12-14世紀頃の年代を示す津波と隆起の痕跡が見つかった。

え. 今後の展望

日本海溝中央部から南部にかけては単純なM8のアスペリティの複合破壊でM9の超巨大地震を説明することは困難であり、通常のサイクルで発生する地震よりも大きな地震を発生しうるモデルの研究を推進しなければならない。その際には、地球物理学の知見だけに頼るのではなく、地質学的情報も十分に考慮し、内陸の長期のひずみ場も説明できるようなモデルを構築することが必要である。また、過去の津波堆積物の研究は重要であり、その地震像を絞り込む際に、地球物理学的研究が有効となる。この5年間で津波堆積物の調査等により、過去の超巨大地震の地震像が次第に明らかになってきた。今後、北海道の超巨大地震の実像や、西南日本の超巨大地震の可能性について、地質学と地球物理学の共同のもとで十分な研究を推進する必要がある。

今回の東北地方太平洋沖地震の津波堆積物の観察から、堆積物の到達距離よりも海水はさらに1～2 km先まで入り込むことがわかった。この事実は、堆積物から推定された過去の津波の浸水域よりも、実際にはもっと内陸まで浸水していた可能性が高いことを示唆する。今後、今回の津波浸水データに基づいて、貞観地震等の過去の津波浸水域及び震源断層モデルの再評価を行う必要がある。

列島及び周辺域のプレート運動、広域応力場については、アムールプレートのユーラシアプレートに対する相対運動速度がそれほど大きくないことが示された。この問題は、日本の内陸の地震活動のモデル化においても重要であり、東北日本弧と千島弧の帰属先がどのプレートなのかという問題もあわせて、日本列島周辺のプレートモデルを明らかにしていく必要がある。

上部マントルとマグマの発生場の問題については、スラブ上の低地震波速度・低電気比抵抗領域が日本列島全域で明らかになりつつある。今後、この低速度・低比抵抗域を定量的に説明するモデルの構築が重要であり、そのためには、海洋性プレートの加水・脱水過程について明確にする必要がある。一方、マグマの発生源が日本海の深部にまで及んでいる可能性があり、大陸内の火山も沈み込むプレートにその原因があるとする説が有力になりつつある。今後、観測から得られる3次元構造と、実験から得られる岩石の脱水条件、地表で見られる岩石の組成及び数値シミュレーションから得られる温度とマントル物質の流れの分布を、相互に比較検討することにより、沈み込み帯におけるマグマの発生の全体像を明らかにしていく必要がある。

広域の地殻構造と地殻流体の分布に関しては、地震は低地震波速度・低電気比抵抗領域を避けて、

その近傍の高速・高比抵抗域中で発生している、という特徴が見いだされ、また、大地震の震源の直下に局所的に低速度・低比抵抗域が存在するという研究報告も増えている。さらに、地震波速度構造と温度構造と地震発生域の下限の深さに良い相関があり、地震の発生は温度に強く依存していることがより明瞭となった。これらは、水や高温の影響で塑性変形している場所の周囲の脆性的領域で応力集中を起こして地震発生に至る、という当初考えていたモデルの妥当性を示すものである。今後は、散乱や異方性といった別の情報も利用して流体の分布と形態について明確にしていく必要がある。

また、流体の与える影響の整理も必要である。一般に、間隙水圧が増加すれば、有効法線応力が減少することにより摩擦抵抗が下がって地震活動が活発化すると考えられるが、有効法線応力があまりに減少すれば、不安定領域が条件付き安定領域になってしまつて地震を起こしにくくなる。また、水の存在は塑性変形を加速するはずで、これもまた地震を起こしにくくする。ただし、塑性変形が加速している領域の近傍に脆性領域があれば、そこでは応力集中を起こして地震が発生しやすくなる。今後、流体と地震発生の関係を明確にするためには、低速度・低比抵抗域と地震活動域との相対位置関係についてより高精度に推定する必要がある。

地震活動と火山活動の相互作用については、テクニクな応力とマグマ貫入の両方の影響で火山周辺の起震応力場が作られ、地震の起こしやすさや活動の特徴は構造に規定されることが明らかになってきた。逆にこれを利用して、群発活動に基づく火山活動予測が実用の域に達してきたことは極めて重要な成果である。また、火山浅部のマグマ近傍の地震活動は、高温・低圧の条件下で生じている。フィリピン海プレートの低周波微動が生じているあたりは、通常の地震を起こしにくいくらい温度も高く、また高間隙水圧となつて有効法線応力が低くなっていると推定されている。つまり、火山で生じる群発的な活動や浅部の微動活動の理解が、プレート境界深部の低周波微動の理解に役立ち、その逆もありうることになる。今後、そのような観点から、両方の研究の交流を進めることも重要であると考えられる。

(2) 地震・火山噴火に至る準備過程

(2-1) 地震準備過程

あ. 目的

地震発生の準備過程を解明するために、応力が特定の領域に集中し地震発生に至る過程を明らかにする観測研究を実施する。プレート境界地震に関しては、アスペリティ分布や、アスペリティ域に固有な構造的特徴の研究を進めることにより、アスペリティモデルの高度化を図る。さらに、非地震性滑りの時空間変化を高精度に把握するとともに、アスペリティ間の相互作用について理解を進める。内陸地震に関しては、上部地殻と下部地殻・最上部マントルの不均質とその変形の空間分布を把握し、ひずみ集中帯の形成・発達と地震発生に至る過程に関する定量的なモデルの構築を目指す。また、スラブ内地震の発生機構を解明するため、スラブ内の震源分布や地震波速度構造を詳細に明らかにすることにより、スラブ内流体の分布と挙動の解明を図る。

い. 実施状況

ア. アスペリティの実体

大学は、海域での構造探査からアスペリティと、プレート形状、プレート境界の反射係数、速度構造等との関連について調査を行った。また、プレート境界で発生した中小地震の発震機構解から応力場の推定を行った。沈み込んだ海山とアスペリティとの位置関係について詳細に検討した。小繰り返し地震を用いた研究としては、プレート間における準静的滑りの時空間変化を調査した。また、太平洋プレートと、北米及びフィリピン海両プレートが接する各プレート境界面におけるカップリング係数の違いについて調査を実施した。宮城沖の海溝陸側斜面では、海底地震計及び圧力計

を用いた広帯域地殻変動観測を実施した。GPS データを用いた研究では、中部日本についてブロック断層モデルを用いた運動学的な解析を行い、ブロックの剛体運動とその内部で一様なひずみ、断層における滑り遅れの3成分に分解したうえで、東海・東南海地域のプレート境界における滑り遅れ分布を推定した。

防災科学技術研究所は、深部低周波微動の検出・微動源決定手法の改良を行った。また、短期的ゆっくり滑りの時間発展解析を実施し、滑り域と微動源の移動について調査した。

海洋研究開発機構は、熊野灘沖南海トラフにおいて、地球深部探査船「ちきゅう」による掘削を実施し、各種の精力的な調査観測を実施した。また、構造探査データの解析を進め、海洋地殻の微細構造と1944年東南海地震の地震時滑りが大きい領域との位置関係を調べた。

海上保安庁は、海底地殻変動観測により宮城沖から四国沖に至る海域に設置された海底基準点のユーラシアプレート安定域に対する速度ベクトルを求めた。

大学、海洋開発研究機構、気象庁は、東北地方太平洋沖地震発生後4日目から、海底地震計の設置を開始し、本震発生以前から設置されていた海底地震計と併せて、総計121点での観測を実施し、余震分布を正確に求めた。

イ. 非地震性滑りの時空間変化とアスペリティの相互作用

防災科学技術研究所は、ゆっくり滑りの時空間発展逆解析手法及び振幅情報を加えたエンベロープインバージョン手法を開発し、深部低周波微動や短期的ゆっくり滑りに同期して発生する深部超低周波地震の震源過程解析を行った。長期的ゆっくり滑りの発生期間内の、深部低周波微動と浅部超低周波地震の活動について調査した。また、傾斜計データにより、短期的ゆっくり滑りを自動検出する手法を新たに開発した。超低周波地震を波形相関解析によって効率良く検出し、それらのCMT解の推定を行った。

大学は、ボアホールひずみ計により、深部低周波微動に伴うひずみ変化を検出した。また、宮城県沖の海溝陸側斜面で海底地震計及び圧力計を用いた広帯域地殻変動観測を実施した。

産業技術総合研究所は、S波の振動方向による発震機構解の解析手法を、深部低周波微動に適用した。

国土地理院は、GEONETによるプレート境界上の滑りの検知能力の検討を行うとともに、日本列島周辺のプレート境界面上の滑り欠損分布を定常的に推定するシステムを構築した。また、2003年十勝沖地震後の余効滑り分布や、2010年の豊後水道ゆっくり滑りの時空間発展を推定した。

気象庁は、火山地域や活断層の下で発生する深部低周波地震周辺の速度構造の特徴について調査した。

ウ. ひずみ集中帯の成因と内陸地震発生の準備過程

大学は、弟子屈・屈斜路カルデラ地域において高密度・高精度な震源分布・地殻構造・地殻変動・重力構造・地質地形・熱構造の解析を行った。また、2008年岩手・宮城内陸地震(M7.2)後の長期的余効変動から、上部地殻の厚さと下部地殻以深の粘弾性構造を推定した。さらに、多数の余震の卓越周波数を求めて高周波地震と低周波地震の空間分布の違いを調査し、メカニズム解の空間分布と揺らぎを用いて、起震応力場と地殻強度から地下の流体の間隙圧の分布を推定した。長町利府断層(宮城県)地域や1938年釧路地方北部の地震(M6.1)の震源域などで3次元比抵抗構造解析を進めた。東北日本弧において、熱構造や非線形粘弾塑性を考慮した有限要素法によるモデル化を行った。濃尾地震震源域や跡津川断層周辺域で総合集中観測を行い、地震活動や発震機構解に関する調査、制御震源構造探査、応力逆解析、地震波トモグラフィー解析、比抵抗構造探査、GPS観測などが実施された。観測で得られた事実をもとに断層の下部延長や両端の不均質構造を考慮した有限要素モデルを作成した。野島断層周辺では、注水実験に基づき岩盤の透水係数とその経年変化、自然電位変動を調べた。また、同断層近傍に設置されたアクロス震源の長期連続運転が行われ、P波、S波の走時や振幅の時間変化を調査した。中国地方において、下部地殻の不均質構造を推定するため

コメント[高木専門家24]: 気象庁命名地震ではないので、ルール(震央領域名+「の地震」)に基づいて修正した(調査班と気象庁に要確認)。

1 の高密度微小地震観測を実施した。

2 産業技術総合研究所は、中越地域において3次元地質・物性値構造モデルを構築した。また、海
3 底調査により、2007年中越沖地震の震源断層に関連する活背斜構造を発見した。

4 国土地理院は、新潟県から福島県に至る測線上のGEONETデータを用いてひずみ速度の時間変化を
5 調査した。また、新潟県柏崎-長岡間の水準路線において水準測量を実施した。SAR干渉解析を行い、
6 西山丘陵西側斜面における活褶曲の成長を示す地殻変動を見出した。

7 エ. スラブ内地震の発生機構

8 大学は、北海道を含めた東日本において、スラブ内地震の発震機構解により、応力の中立面の位
9 置の推定を行った。また、スラブ内の上面・下面間で発生する地震の活動の空間分布等について精
10 査を行った。東北日本前弧域においては、海陸統合データにより、海溝下の地震の震源決定及び発
11 震機構解の推定を行った。一方、紀伊半島沖の東南海・南海地震震源域境界周辺においてトモグラ
12 フィー解析を行い、広域で高精度の震源を求めた。また、変換波のデータをもとに、関東地方のフ
13 ィリピン海プレートの形状の推定を行った。

14 う. 成果

15 ア. アスペリティの实体

16 非アスペリティ域の直上のマントルウェッジでは相対的に低速度で V_p/V_s が大きいのにに対して、
17 アスペリティ域直上では V_p/V_s が小さく高速度になっている傾向が見られた。このことから、非ア
18 スペリティ領域直上においては、マントルウェッジが蛇紋岩化しているために地震時滑りに対して
19 はバリアとなっていることが示唆されたが、三陸沖では、そもそもアスペリティの定義自体が問題
20 であり、東北地方太平洋沖地震においては、マントルウェッジの V_p/V_s の大きな領域でも地震滑り
21 が発生したことが判明した。

22 想定宮城県沖地震の震源域は、スラブが折れ曲がる領域を避けて分布しており、同時にその領域
23 は、スラブが陸側の地殻に接する部分とマントルに接する部分の境界付近に位置していることが明
24 らかとなった。また、震源域内では、応力インバージョンにより推定された主応力軸方向と、プレ
25 ート境界面の法線方向のなす角が小さくなっており、相対的に強度が大きくなっていることが推定
26 された。したがって、宮城県沖におけるプレート間固着の空間変化には、マントルウェッジ内の不
27 均質構造とともに、プレート境界面の形状が影響を及ぼしている可能性が指摘された。ただし、東
28 北地方太平洋沖地震では、アスペリティ域と非アスペリティ域の両方の領域が地震滑りを起こした
29 と考えられ、規模の大きな地震断層の摩擦特性は、M7クラスの地震の場合とは異なっている可能性
30 が考えられる。

31 小繰返し地震に関する研究では、アスペリティとそれ以外での非地震性滑り速度の違いや、M6
32 クラスの地震発生後の余効滑りによる加速が認められた。また、測地学的推定結果と比較したとこ
33 ろ、余効滑りを過小評価している可能性が示された。

34 海底地殻変動観測から得られた東北地方太平洋沖地震前の宮城沖における変位速度は、陸上観測
35 から期待される変位速度や福島沖の変位速度に比べて有意に大きく、プレート間の固着が強く、ひ
36 ずみを蓄積していたことが示唆された。

37 中部日本の陸域GPSデータに基づいた推定では、熊野灘と比較して東海地域では滑り遅れが半分
38 程度と小さくなること、深部低周波微動はプレート間の固着がほぼ無くなる場所で発生しているこ
39 とが分かった。

40 イ. 非地震性滑りの時空間変化とアスペリティの相互作用

41 宮城沖の海底圧力計により観測されたプレート境界地震に先行する非地震性地殻変動は、陸上の
42 体積ひずみ計でも観測されており、ゆっくり滑りモデルで説明できることがわかった。

43 西南日本では、プレート境界の等深線に沿って帯状に浅部側及び深部側に2列の深部低周波微動
44 活動集中域が存在し、浅部側では約半年毎に発生する短期的ゆっくり滑りを伴うような大規模な微

コメント[事務局25]: III章の7「今
後の展望」でのアスペリティとの
整合についてご確認願います>三
浦委員

コメント[宮澤専門委員26]: III章
7と、本章本項「え」に比べて随
分否定的であるが、未解明である
ことを主張するために、「釜石沖で
の小繰返し地震の例を除けば、
アスペリティの概念がそのまま適
用できず」

動エピソードとして活動するのに対して、深部側の活動は定常的である。また、豊後水道では2003年に長期的ゆっくり滑りが発生しているが、その期間中には浅部側のみで微動が活発化し、深部側に変化はなかった。さらに、浅部側の微動列は、1996-7年に発生した長期的ゆっくり滑りの滑り域の北縁部に一致する。したがって、微動の分布は短期的ゆっくり滑りの発生域を規定し、その下端部は安定滑り域との境界、上端部は長期的ゆっくり滑り域との境界に対応するものと考えられる。

短期的ゆっくり滑りの周辺では、深部低周波微動が1-4日先行して活動を開始し、時間とともに移動して、ゆっくり滑り域に達すると活発化することが明らかになった。トモグラフィー解析との比較により、低周波地震発生域近傍ではP波速度が小さく V_p/V_s 値が大きい傾向が示されたことから、低周波地震の発生にはフィリピン海プレートから脱水した流体が関与しており、その領域でマントルウェッジが蛇紋岩化している可能性が示唆された。

2003年、2010年に豊後水道で発生した長期的ゆっくり滑りでは、滑り領域内での微動と、足摺岬沖で発生する浅部超低周波地震とが、同時に活動したことが分かった。この領域が1946年南海地震の震源域の西隣に位置していることを考慮すると、海溝型巨大地震の破壊過程の評価や準備過程を検討する上で非常に重要な結果であると考えられる。

房総半島沖の相似地震がフィリピン海プレート最上部に分布する火山性碎屑物・火山岩層(VCR層)の下面に沿って分布することが判明したことから、現在活動的なプレート境界がVCR層の下面に概ね一致し、海洋プレートの底付け作用が捉えられたと考えられる。一方、相似地震発生域浅部側は、平均6年間隔で繰り返し発生している房総ゆっくり滑り発生域に対応していることから、底付け作用の進行が間欠的であることが示唆された。

太平洋-北米プレート間、太平洋-フィリピン海プレート間の境界における小繰り返し地震の解析から、フィリピン海プレートの先端を境にしてカップリング率が顕著に変化することが分かった。これは、プレート境界面の上盤側の物質の違いが、プレート間の固着状態に大きな影響を及ぼすことを示す重要な結果である。

ウ. ひずみ集中帯の成因と内陸地震発生準備過程

2008年岩手・宮城内陸地震後の長期的余効変動の解析から、下部地殻以深の粘性層の構成則が非線形である可能性が示唆された。また、余震の発震機構解に基づいて間隙圧の分布を推定した結果、地殻下部に間隙圧が高い領域があることが推定された。この流体が本震を引き起こし、さらに本震時滑りや余効滑りに伴って周囲に拡散することにより、複雑な余震活動が生じた可能性が考えられる。

新潟県から福島県に至る測線上において、GPS観測によるひずみ速度を調べたところ、太平洋側では海溝型地震の発生と余効滑りにより顕著に変化したが、ひずみ集中帯ではほとんど変わっていないことが示された。このことは、ひずみ集中帯での東西圧縮が太平洋プレートの沈み込みとは直接関係していないことを示唆しており、ひずみ集中帯の成因を考える上で重要な知見である。

濃尾地震震源域における断層近傍の地震波トモグラフィー解析によると、破壊開始点(震源域北西部)の地震発生層深部に低速度域が存在し、地殻内流体の存在を示唆する結果が得られた。その直上には顕著な高速度域が存在し、そこでは地震活動度が低調であること、地表変位量が最大値を示す根尾谷断層の中央部でも地震活動度が相対的に低く、高速度体は深さ10 km以深に存在することなどから、これらの高速度体が、アスペリティに相当する可能性が高いことが示唆された。

跡津川断層帯直下の下部地殻は周囲に比べ低速度になっており、流体の存在によってこの速度低下が説明可能である。制御震源構造探索からは、顕著な反射帯が見出され、その位置はトモグラフィー解析と調和的であった。比抵抗構造探索からは、下部地殻から牛首断層、跡津川断層、高山-大原断層帯へと伸びる三つの低比抵抗領域が推定されており、反射帯や低速度域と対応していることから、下部地殻における流体の存在と強く関係していることが明らかになった。GPS解析からは、跡津川断層両端にせん断ひずみの集中が見られること、同断層の南側では西半分だけにせん断ひず

1 みの集中が見られることが明らかにされた。また、周辺の各断層の地表トレースに対応してひずみ
2 変化が見られることから、各断層には独立した応力蓄積機構を持っていると考えられるが、これは、
3 各断層の深部延長で変形集中が生じているとするモデルと整合的である。

4 エ. スラブ内地震の発生機構

5 東日本陸域下では、スラブ内の上面・下面の間に発生する地震（面間地震）の活動が明瞭に見出
6 され、特に集中している東北地方中央部～南部の前弧側、北海道東部前弧域では、海山地形が発達
7 するプレートが沈み込んでいいると考えられることから、**面間地震**の発生に岩石の脱水反応が関係し
8 ている可能性が示唆された。東北地方・北海道両地域ではスラブ内における応力の中立面の深さが、
9 有意に異なっていることが明らかとなった。スラブ内大地震の余震域は中立面を越えておらず、そ
10 の破壊域の広がり、スラブ内の応力場により規定されていると考えられる。

11 1933年三陸沖地震の震源域でも面間地震が発生しており、プレート上面から約15 kmを境に浅部側
12 に正断層型、深部側に逆断層型が分布していることから、海溝近傍プレート内の二重浅発地震面が、
13 アンベンディングモデルによって説明可能であることを示している。

14 2011年4月7日のM7.1の宮城県沖スラブ内地震は、東北地方太平洋沖地震時の大滑り領域の直下
15 に位置しており、トモグラフィの結果からは、破壊の開始点や余震の並びに沿う領域は低速度域
16 に対応している。この地震は二重深発地震面の上面に属するが、破壊は海洋性地殻ではなく、マン
17 トル内で生じており、かつて海溝海側で正断層運動を起こした断層が再活動したと考えられる。

18 え. **今後の展望**

19 「アスペリティモデル」においては、プレート境界は非地震的に滑る領域と地震時にのみ滑る領
20 域の両極端に分かれており、アスペリティとそれ以外の領域での強度のコントラストが極めて大き
21 いと考えられていた。つまり、アスペリティと非地震性滑り域は基本的に別物であり、アスペリ
22 ティの空間分布を構造探査等で明らかにするとともに、非地震性滑りの時空間変化を小繰り返し地震
23 等の解析で高精度に把握することにより、「アスペリティモデル」の高度化を図ろうとした。しか
24 し、2011年東北地方太平洋沖地震においては、M7クラスの地震の余効滑り域でも地震時滑りが起き、
25 従来固着が弱く滑り遅れの蓄積は小さいと考えられてきたプレート境界浅部域において、50 mにも
26 およぶ地震滑りが発生した。以上のことから、少なくとも東北地方太平洋沖ではアスペリティと非
27 地震性滑り域という2元論では片づけられないことが明らかになった。断層の摩擦特性は時間変化
28 する可能性があること及びアスペリティの強度は必ずしも大きくないことなどの可能性を念頭にお
29 いて、**従来の「アスペリティモデル」の検証を行い、上記のような観測事実を説明可能な地震発生**
30 **モデルを追求することが重要である。そのためには、まず、この地震の実像を明らかにする研究が**
31 **必要不可欠である。今後は、より正確な地震時滑りの時空間分布、プレート境界浅部の固着状況や**
32 **構造的な特徴等を明らかにして、50 mもの滑りを起こした原因を解明し、摩擦特性に関わる情報を**
33 **得ることが決定的に重要である。また、本震の2日前にM7.3の前震が発生し、その地震後に余効滑**
34 **り現象や余震の伝播現象が報告されている。また、約3年前に大滑り域内でゆっくり地震が起こっ**
35 **ていた可能性や、本震の数年前からM7クラスの地震の余効滑りが大規模化した可能性も指摘されて**
36 **いる。これらはいずれも本震発生前の非地震性滑り特性の時空間変化を示唆しており、本震発生と**
37 **の関連について究明することが重要である。その際、海底地殻変動観測とともに、海域のプレート**
38 **境界における滑り現象のモニタリングに欠かせない小繰り返し地震については、滑り量の推定精度**
39 **の向上を図ることが重要である。そして、応力集中が発生していると考えられる東北地方太平洋沖**
40 **地震の周辺地域に加えて、同様の超巨大地震発生のある千島海溝沿いや、南海トラフ～琉**
41 **球海溝沿いの地震準備過程について理解を深めることが急務である。**

42 西南日本では、深部低周波微動や短期的・長期的ゆっくり滑り、浅部超低周波地震などの多様な
43 プレート境界上の滑り現象が捉えられており、これらの相互作用についても次第に明らかになりつ
44 つある。さらに詳細な解析を進めて、巨大地震発生との関連について検討を進める必要がある。

コメント[斎藤専門委員27]: 表現
が難しいので、表現について要検
討。

コメント[事務局28]: III章の7「今
後の展望」でのアスペリティとの
整合についてご検討願います。

コメント[松澤臨時委員29]: 「従
来の2元論的なアスペリティモデ
ルよりも柔軟なモデルを構築して
いく」くらいでいかがでしょうか。

1 跡津川断層や濃尾地震断層周辺といったひずみ集中帯において実施された総合観測や、近年発生
2 した内陸地震の震源域周辺等における観測により、内陸地震のアスペリティに対応する高速度域や、
3 断層深部延長の下部地殻に局在する低速度域などの不均質構造が系統的に捉えられた。内陸地震の
4 断層への応力集中と地震発生はこれらの不均質構造によって規定されていると考えられ、単純な物
5 理的モデルも構築された。今後は、不均質構造の拡がりや形状等をさらに精度良く把握し、ひずみ
6 場や応力場を再現できるより高度な物理モデルの構築が必要である。

7 東北地方太平洋沖地震発生やその後の大規模余効変動によって、列島規模の応力状態の変化が進
8 行しており全国各地で誘発地震現象が多発している。内陸における総合観測を強化し、本研究計画
9 で実施されてきた内陸地震に関する研究で得られた知見等を総動員して、これら誘発地震の発生機
10 構を解明し、今後の地震活動の予測に結びつけることは新たな課題であると考えられる。

11 スラブ内地震の発生機構については、高精度震源決定や発震機構解、高分解能トモグラフィーな
12 どによって大きく理解が進んだ。今後も新たな解析手法を取り込みながら、スラブ内地震の発生機
13 構の解明に努め、最大規模の予測やプレート境界地震との相互作用の解明といった視点から研究を
14 継続する必要がある。

16 (2-2) 火山噴火準備過程

17 あ. 目的

18 観測に基づき火山活動の現状を評価し、噴火の時期と規模の予測を目指して、マグマの上昇過程
19 や蓄積過程の多様性の理解とモデル化に関する研究を推進する。また、マグマの上昇過程や蓄積過
20 程を支配する火山体直下の構造や、水蒸気爆発の準備過程の理解に不可欠な浅部の地下水構造を解
21 明する。噴火間隔、規模、様式の規則性や時間的変化を理解するため、全国の活火山で地質調査や
22 岩石学的研究を実施し、噴火履歴の解明に努めるとともに、マグマの分化や混合などのマグマ溜ま
23 りの発達過程の解明を目指す。

24 い. 実施状況

25 ア. マグマ上昇・蓄積過程

26 大学では、桜島、阿蘇山（熊本県）、伊豆大島（東京都）、雲仙岳（長崎県）、浅間山（群馬県・長
27 野県）、草津白根山（群馬県・長野県）、岩手山（岩手県）などを対象に多項目観測と人工地震や電
28 磁気学的手法を用いた探査により、火山体構造とマグマ蓄積過程の解明を行った。噴火活動を継続
29 しながらも今後想定される大規模噴火に向けてマグマ蓄積期にある桜島において、地震、地殻変動、
30 重力、火山ガス等の多項目観測と人工地震及び電磁気探査を実施し、マグマ蓄積と火山噴火活動を
31 調査した。阿蘇山において、地殻変動、重力、電磁気、熱観測等を行い、現在の火山活動を把握す
32 るとともに、レシーバ関数解析を用いて火山深部の構造を推定した。伊豆大島において、地震、地
33 殻変動、電磁気、火山ガス観測等を行い、現在の火山活動を把握するとともに、人工地震による構
34 造探査を行った。1990～1995年に活動した雲仙岳の地殻変動、地震観測データを再解析し、マグマ
35 移動の把握を試みるとともに、マグマ蓄積による応力変化の検出を試みた。浅間山では、地震波干
36 渉法による速度構造の推定を行った。草津白根山では、比抵抗構造と震源分布との関連を調査した。
37 岩手山では、1998年活動初期のひずみ記録を再解析し、噴火と噴火未遂を分ける要因を考察した。
38 世界のホットスポット火山について、地震波トモグラフィー手法を用いた深部構造や、マグマ生成
39 域であるプレート沈み込み帯のマントルウェッジの速度構造の推定を行った。

40 気象庁では、マグマ蓄積過程を明らかにするため、霧島山、伊豆大島、浅間山でGPS、傾斜計、
41 光波測量、重力による地殻変動観測を行い、マグマ蓄積による圧力源の位置を明らかにした。また、
42 全国92火山についてSAR干渉解析を行い、火山性地殻変動の検出に努めた。気象庁および大学では、
43 草津白根山の噴気活動、火山性微動、地殻変動の関連を調査した。

44 防災科学技術研究所では、高周波数振幅を用いた震源決定によって、エクアドルのトゥングラワ

コメント[事務局30]: 用語解説が
必要

火山で発生した爆発的噴火に伴う地震の震源が火口へ向かって1.6 km/secで上昇する過程を捉えた。
産業技術総合研究所では、火山活動に伴う熱水系の変動予測と、その原因を求める手法の確立の
ために、伊豆大島火山にて自然電位の分布調査、AMT 法による比抵抗構造調査およびそれらのデー
タに基づいた数値シミュレーションを実施した。

削除、フィリピン、インドネシア
の研究機関と協力して、これらの
国の火山で観測を実施し、そのデ
ータを解析した。

国土地理院では、全国の火山の地殻変動を GPS データ等から解析し、マグマ蓄積量を推定した。

イ. 噴火履歴とマグマの発達過程

大学は、活動的な火山の噴火履歴を解明するため、桜島でボーリングとトレンチ調査を行い、主
要なテフラ層の層序を推定するとともに、火山噴出物の全岩化学組成と鉱物化学組成の測定を行い、
その組成の変遷を調査してマグマ溜まりの発達過程を推定した。伊豆大島の20世紀の噴出物の詳細
な試料採取を行い、全岩化学組成と鉱物化学組成の測定を行った。有珠山（北海道）、羊蹄山（北
海道）、大雪山（北海道）、雌阿寒岳（北海道）、岩木山（青森県）、蔵王山（宮城県）等におい
て地質調査を行い、過去の噴火活動について検討した。

産業総合研究所では、噴火の規則性を明らかにするために、十勝岳および樽前山の積算噴出量と
噴火時期を示した階段図を作成するとともに、噴火様式の時間的変化を明らかにするために諏訪之
瀬島の地質調査および桜島火山の過去の噴火活動の再検討を行った。

う. 成果

ア. マグマ上昇・蓄積過程

マグマ性噴火が発生する火山では地震観測や地殻変動観測に火山体の構造調査を組み合わせること
によりマグマ供給系の理解が進んだ。

昭和火口で爆発的噴火が頻発するなど火山活動の活発化が見られる桜島（噴火活動に関する成果
はIV章を参照）では、人工地震による構造探査を行い、始良カルデラ及び桜島直下の基盤深度を明
らかにするとともに、始良カルデラのマグマ溜まり（深部マグマ溜まり）と桜島直下のマグマ溜ま
り（浅部マグマ溜まり）を結ぶ場所に、マグマの通路を示唆する地震波低速度域を見いだした。ま
た、地震波トモグラフィーにより、深部マグマ溜まりに対応する低速度域は、マントルまでほぼ垂
直に広がっていることが明らかになった。さらに、水準・GPS 観測により、深部マグマ溜まりでは、
蓄積速度を変化させながらも、依然として蓄積が継続していることが示された。一方、浅部マグマ
溜まりでは、時期によって膨張の卓越方向が異なり、南北方向の膨張後に噴火活動が活発化する傾
向が見出された。

伊豆大島においては、約3年周期で間欠的に山体の膨張と収縮が観測されており、カルデラ内の
深さ数 km の領域でマグマの上昇による蓄積と深部への還流が繰り返されていると考えられる。また、
マグマの蓄積に伴ってカルデラ内のごく浅部と伊豆大島の沿岸部の深さ数 km で地震が発生するが、
その発震機構は周辺の広域応力場とマグマ貫入により生じた応力場に強く影響を受けている。マグ
マが蓄積するのは、伊豆大島直下の上部地殻の P 波速度 5.5~6.0 km/s 層内に限られ、マグマ蓄積
が地下の密度分布に大きく支配されていることが示された。比抵抗分布および自然電位の分布を再
現した数値シミュレーションにより、山体の浸透率は大きく、地下水位はほぼ海水準に位置し、顕
著な熱水系は発達していないことが明らかになった。自然電位の連続観測により静穏期の経時変化
を明らかにした。

雲仙岳では、応力テンソル解析により A 型地震の起震応力場を推定した。その結果、千々石湾下
の深部マグマ溜まりから、雲仙岳浅部へマグマが上昇を開始した時期に、千々石湾の地下の応力場
が変化したことがわかった。これは地震の発生はマグマ溜まりの圧力変化と関係があることを示す
ものである。

岩手山では、噴火未遂に終わった 1998 年の活動について、活動初期のひずみ記録を再解析した。
理論研究との比較から、マグマ上昇の途中で気泡の成長がなく、十分な浮力を獲得できなかったこ
とが噴火未遂に終わった原因であると解釈できた。

1 浅間山では、地震波干渉法により速度構造が推定され、深部マグマ溜まりに相当すると考えられ
2 る低速度域が見つけられた。この低速度域の速度は2008年8月の噴火前に、徐々に低下していった
3 ことが明らかにされた。

4 熱水活動が卓越している火山では比抵抗構造と熱活動や地震活動等の関係から浅部熱水系につい
5 て明らかにされつつある。草津白根山では、湯釜東壁から放出される火山ガスの水素成分が増加し、
6 噴気活動の活発化がマグマ由来であることが明らかになった。また、3次元比抵抗構造と火山性地
7 震の震源分布の対比から、熱水系の構造と地震発生機構の関連について理解が進んだ。

8 阿蘇山では、地殻変動観測から山体深部のマグマ溜まりの存在が推定され、この位置は地震波の
9 低速度域に一致する。山頂火口の湯だまりからの熱放出量が多いが、噴火活動が静穏な時は、マグ
10 マ溜まりが収縮していることが明らかになった。これは、熱的活動が卓越する火山の噴火準備過程
11 の把握には、湯だまりの熱収支の定量的評価が重要であることを示している。

12 桜島、霧島山、三瓶山（島根県）、大山（鳥取県）の下では、下部地殻から最上部マントルに至
13 る大規模な低速度域が存在し、深部のマグマ供給系の描像が得られた。特に、霧島山では低速度で
14 高ポアソン比の異常域が下部地殻に広く分布し、クラックの密度が高く、その内部では地殻流体の
15 飽和度が高い可能性がある。

16 エクアドルのトゥングラワ火山における爆発的噴火に伴う地震の解析から、マグマ火道深部の圧
17 力変化とその上方への移動速度が爆発的噴火のトリガーとして重要であることを明らかにした。

18 SAR干渉解析の手法を用いて、全国の火山の活動を把握した。十勝岳（北海道）、有珠山、吾妻山
19 （山形県・福島県）、伊豆大島、三宅島（東京都）、硫黄島（東京都）、九重山（大分県）、阿蘇
20 山、雲仙岳、霧島山、桜島、口永良部島（鹿児島県）、諏訪之瀬島（鹿児島県）において火山活動
21 に伴う地殻変動を捉え、マグマ蓄積の多様性に関する知見が得られた。

22 イ. 噴火履歴とマグマの発達過程

23 噴火履歴の調査と岩石学的分析や年代測定により、マグマの発達過程が明らかになりつつある。
24 例えば、桜島の南岳活動期以降の噴出物については、大正噴火と同様に玄武岩質マグマの関与が認
25 められ、その度合いが噴火規模を支配している可能性が高いことが示された。伊豆大島の20世紀の
26 噴出物については2種類の SiO_2 量の異なるマグマの混合により形成され、斜長石斑晶は、より CaO
27 や MgO に富んだマグマから晶出したことが明らかになった。岩木山では、地形判読により4つの溶
28 岩ドームの生成順序を推定するとともに炭素年代測定により噴火時期の推定を行い、噴火履歴を明
29 らかにした。樽前山では大規模噴火が時間間隙を伴って繰り返されており、最近の活動は中規模～
30 小規模な噴火が繰り返される時期である事が推定された。諏訪之瀬島では一万年前に大規模な火砕
31 噴火が卓越する時期から、現在と同様の活動に推移した事が明らかとなった。

32 え. 今後の展望

33 いくつかの火山では、噴火活動の静穏期であっても、地下のマグマ蓄積によると推定される地殻
34 変動が明瞭に観測された。これを火山噴火準備過程から分類すると、（1）霧島山（新燃岳）のよう
35 に、休止期のあとマグマ蓄積の開始からそのまま噴火に至る活動、（2）伊豆大島のように、地震活
36 動や地殻変動以外の噴火の兆候を示す現象が観測されていない静穏期にある火山で、地下でマグマ
37 の上昇と還流が周期的に繰り返す活動、（3）桜島のように、マグマの蓄積と噴火によるマグマの放
38 出が同時に起こり、マグマの収支バランスに支配される活動、の3種に大別できると思われる。こ
39 れらの噴火準備過程の相違は、火道の状態、マグマの物性やマグマ蓄積の深度における環境が大きく
40 関与していると考えられる。

41 したがって、「火山噴火準備過程」を、火道が閉塞している火山については、マグマ蓄積過程、マ
42 グマ上昇による火道形成過程、噴火直前過程に分けて研究を進めることが有効であろう。この時、
43 マグマの蓄積においては山体直下の密度構造が大きく関与するので、地下の構造とその時間発展を
44 調査する必要がある。また、桜島のように頻繁に噴火が発生し、すでに火道が形成されている火山

削除: コトパキシ火山と

削除: 観測網のデータから、少ない観測点でも火山性地震の震源、火山性微動の発生源を推定する方法を開発し、海外における火山監視と研究の高度化に貢献した

では、マグマの放出率と供給率の違いが噴火に至る過程や噴火様式に及ぼす影響を明らかにする必要がある。

一方、現状では新たなマグマ蓄積は確認されていないが、熱水系が存在し、水蒸気爆発やマグマ水蒸気爆発が懸念される火山もある。これらの火山については、既存の熱水系の発達過程やマグマ貫入に伴う熱水系の変化についての研究を推進する必要がある。

また、マグマ溜まりでのマグマの発達過程が噴火様式に与える影響の大きさについては、桜島における火山のマグマ成分の変遷より明らかになった。今後も同様の研究を他の火山についても行い、それを噴火様式の変遷と関連づけて推進する必要がある。さらに活動的な火山における噴火履歴の研究は、マグマ発達過程の解明や噴火予測のための噴火シナリオの作成に極めて重要であるので、より一層体系的に推進する必要がある。

(3) 地震発生先行・破壊過程と火山噴火過程

(3-1) 地震発生先行過程

あ. 目的

地震発生予測の時間精度を高め、短期予測を可能にするためには、地震発生の直前に発生する非可逆的な物理・化学過程（直前過程）を理解して、予測シミュレーションモデルにそれらの知見を反映させ、直前過程に伴う現象を的確に捕捉して活動の推移を予測する必要がある。これまでの研究によって、地震に先行して発生する現象は多種多様であり、地震発生準備過程から直前過程にまたがって発生する現象の理解を進める必要性が認識されている。このために、1)地震に先行する地殻活動等の諸過程を地震発生先行過程と位置付けて研究し、2)そのメカニズムを明らかにして、特定の先行過程が地震準備過程や直前過程のどの段階にあるかを評価し、3)数値モデルを作成し、4)モデルを予測シミュレーションシステムに組み込む必要がある。地震発生予測システムの研究に資するために、地震発生先行過程に関する研究では、上記の1)と2)を実施する。

い. 実施状況

ア. 観測データによる先行現象の評価

大学は、鉱山の採掘に伴って発生する地震の震源域ごく近傍で地震・地殻変動を観測し、地震やゆっくり滑りの先行過程について調べた。また、日本全域の応力場を推定するために、国立大学観測網地震カタログ（JUNEC）のP波初動極性を用いて、1985年7月から1998年12月までに日本で発生した約14,000個の地震の発震機構解を推定し、カタログ化した。

大学は、巨大地震前にGPS観測で得られる総電子数（TEC）の異常が現れるかを検証した。また、地震発生に先行してVHF帯の電波が見通し外に伝播する異常現象（地震エコー）を検出するために、観測手法の高度化と連続観測を実施した。

大学は、大気ラドン濃度連続データから、気象由来の変動成分を評価することによって、地殻応力に起因する変動を推定するモデルを作成した。また、地下水溶存ガスの連続観測を継続するとともに、観測装置の改造を行った。

大学と気象庁は、地殻構造の時間変化を監視する新しい手法として、地動の雑微動記録に地震波干渉法を適用し、観測点間の相互相関に基づいてプレート境界からの反射波を検出する試みを行った。

イ. 先行現象の発生機構の解明

大学は、室内実験データの詳細な検討により得られた新しい摩擦則を用いて、地震活動の消長から応力変化を推定するための理論モデルを構築し、地震サイクルのシミュレーションを行った。

大学は、1995年（平成7年）兵庫県南部地震などの前後に微小地震活動度が大きく変化したことが指摘されている北近畿の丹波山地において、高密度の多項目観測を実施した。

防災科学技術研究所及び海洋研究開発機構は、西南日本における深部低周波微動と、その浅部延長にあるプレート境界巨大地震のアスペリティを載荷する深部の準静的滑りとの関係を明らかにするために、プレート境界深部の準静的滑り域の中に、多数の微小なアスペリティを仮定したシミュレーションを行った。

大学は、電磁気現象と地震発生との関連を明らかにするため、電磁場が応力によって変動する機構の理論的・実験的研究を進めた。

う. 成果

ア. 観測データによる先行現象の評価

南アフリカ大深度鉱山内で震源ごく近傍に設置したひずみ計では、従来からゆっくり滑りに相当するイベントについてはプレスリップが発生する事例が多数あったが、地震のプレスリップはこれまで見つけられていなかった。今回、M0.3の地震について、震源から20 m以内にあるひずみ計で、明瞭なひずみ変化が6.5時間前から開始した事例が見つかった。このことは、実験室以外でプレスリップが世界で初めて捉えられた可能性が高い。ただし、室内実験や数値シミュレーションで示されているような、地震発生が近づくにつれプレスリップが加速する現象は観測されなかった。また、このようなプレスリップが、より大きな地震に先行して観測されなかった事例も多数確認されている。今後は、どのような場合にプレスリップが起こるのか、良質なデータを増やして十分に検討する必要がある。

2011年東北地方太平洋沖地震 (M9.0) に際し、地震発生約40分前から東北地方上空で最大10%程度の総電子数(TEC)の正の異常の報告があった。これは、GPS衛星が送信するマイクロ波の解析から推定されたものである。2004年スマトラアンダマン地震 (Mw9.0) や2010年チリ地震 (Mw8.8) でも、同様の異常が見られることが報告されている。一方で、東北地方太平洋沖地震の約10分後に大気音波が電離層に到達し、その後数10分続くTECの減少も観測されている。地震前のTECの正の異常と地震後の負の異常が連続して発現しているため、観測データの解釈には注意が必要であり、さらに精査する必要がある。大地震による大気音波の擾乱が電離層に到達して生じる変動のうち、周期数百秒の振動成分についてはモデルが提案されているが、数10分間継続するTECの減少機構はわかっていない。地震前にTECに正の異常が生じる機構を解明するとともに、地震後のTECの変動を定量的に説明するモデルの構築を行うことが必要であろう。

M4以上の地震に対して地震エコーが観測された事例が、50以上収集できた。さらに、地震エコーの継続時間の総和と発生する地震のマグニチュードの間に関係があることが報告された。

新たにカタログ化された発震機構解を用いると、静的クーロン応力変化と地震活動変化の相関が明瞭になり、応力場解析に有効であることが示された。また、地震波干渉法によりモホ面や地殻内反射面からの信号が認められ、地殻構造の時間的変化検出の可能性が示された。

イ. 先行現象の発生機構の解明

新たに提案された摩擦則を用いて、単一バネ - ブロックによる地震サイクルのシミュレーションを行った結果、従来の摩擦則に比べてサイクル後半の固着がより一層小さくなることが示された。さらに、固着度の低下はサイクルの後半約1/3の期間で著しく加速するため、なんらかの方法で固着度を観測できれば、地震サイクルの中でどの段階にあるかを、推定できる可能性がある。

シミュレーションにより、西南日本の深部低周波微動の活動域が移動する現象が再現できた。また、巨大地震発生前には、その発生間隔が短くなる可能性が示された。

微小破壊を伴わない条件で岩石試料を加圧する室内実験を行い、正孔電荷キャリアの拡散により起電力が発生する可能性を示した。また、伊豆諸島の電位観測では、地震の発生場所により地電位異常の極性が決まることがわかった。2011年東北地方太平洋沖地震が発生した際、地震波の到来に伴う顕著な地電位の変化を検出した。

え. 今後の展望

実験や数値シミュレーションにより確認された地震先行現象のうち、その物理機構がわかってい
るものについては、自然界での検出を試みることは極めて重要である。その意味で、南ア釧山での
誘発地震を用いた研究は、先駆的なアプローチである。プレスリップが見つけられた一方で、顕著
なプレスリップを伴わない地震が発生した例も多く、プレスリップの加速現象も見出されていない。
今後は事例を増やして、プレスリップの発生率がどの程度であるか、なぜプレスリップを伴わない
地震があるのか、なぜプレスリップの加速が見られなかったのか、等について戦略的な調査を検討
すべきである。また、実験室では可能な固着度のモニターが自然界でもできれば、地震発生前の固
着状態の時間変化が直接観測でき、地震先行現象の理解が進むと期待できる。自然地震、人工震源
を用いたフィールドでの実験観測を開始することが望ましい。さらに、シミュレーションにより巨
大地震発生前のクリープ現象の指標となる微動活動を再現できたことは重要な進歩であり、この方
向での一層の研究の深化を目指すべきである。

現在は発生機構がわかっていない事象であっても、自然界で地震に先行すると思われる例が多数
観測される場合は、観測システムの特性を正確に把握し、得られたデータの限界も明確にしながら、
発生機構の解明に努める必要がある。例えば、2011 年東北地方太平洋沖地震前に見られた TEC 異常
や地震エコーの現象については、多面的な研究や事象を増やすことにより、地震に先行する現象で
あったかどうかの検証を進めていくべきである。また、東北地方太平洋沖地震の 2 日前に発生した
M7.3 の地震の余震域が、東北地方太平洋沖地震の震源に近づくように拡大したことが報告されてい
る。大地震前の地震活動の特徴を明らかにし、このような一連の地震活動が、本震に先行した理由
を解明するとともに、観測から実時間で先行現象と判別する方法についても研究を進めていくべき
である。地震発生数の時間変化が何を反映しているのかについては、断層の力学的相互作用を考慮
したシミュレーションなどによって、今後理解が深まる可能性もあるので、地震活動の変化に着目
した研究についても一層推進すべきである。

「地震発生先行過程」は平成 21 年度からの本予知研究計画により始まった。上述した他にも、多
くの課題で予察的な結果が得られはじめているが、今後はその有意性を統計的に検証した上で先行
現象であるか否かを判断する必要がある。規模の大きな地震の頻度は高くないので、可能なもの
については発生頻度の高い現象を中心として研究を推進すべきであろう。

(3-2) 地震破壊過程と強震動

あ. 目的

大地震の断層面の不均質性と動的破壊特性及び強震動・津波の生成過程を理解するために、震源
解析及び震源物理に基づく破壊過程の研究を推進する。プレート境界のアスペリティ分布及び内陸
活断層やスラブ内地震の強震動生成域を事前に推定するために、強震動生成域と地震活動や地殻不
均質構造等との関連性を調査する。短周期強震動の生成に関わる、断層滑りの動的特性とアスペリ
ティ内の微細構造との関連を重点的に調査する。不均質な地下構造や詳細な海底地形及び断層破壊
の動的特性を正しく評価した震源モデルを用いて、強震動及び津波の大規模数値シミュレーション
を行い、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・津波の予測手法の開発を目指す。

い. 実施状況

ア. 断層面の不均質性と動的破壊特性

大学は、プレート境界地震及び内陸地震やスラブ内地震の強震動生成域の事前推定を目指し、地
震波形インバージョンなどの震源過程解析手法や高精度震源決定法を用いてアスペリティ領域の高
精度マッピングを行い、過去の大地震の解析事例を増やした。また、断層面上の強震動生成域と地
殻不均質構造及び微小地震活動との関係を解明するため、二重時間差トモグラフィー法を用いて、
近年発生した大地震の震源断層周辺の詳細な地震波速度構造を求めた。

1 大学は、震源断層パラメータの高精度な推定をめざして、三次元地下構造を仮定した地震波伝達
2 関数を用いた震源過程の解析手法の開発を行うとともに、これを用いてプレート境界や内陸の地震
3 の震源モデルの構築をした。

4 産業技術総合研究所は、断層面における反射強度の分布と強震動生成域及び破壊過程との関係の
5 解明を目指して、反射法人工地震探査の手法を用いて断層面の不均質性を検出する実験をおこな
6 った。

7 防災科学技術研究所は、地震波形データの取得から震源過程解析までを即時的に処理するシステ
8 ムを高度化した。

9 気象庁は巨大地震の発生から数分以内に震源過程を把握する手法の高度化を行った。

10 イ．強震動・津波の生成過程

11 大学は、津波の即時予測の高度化に向けて、沖合津波計による津波波源の解析の高度化と津波予
12 測手法の検討を進め、即時的に得られる津波波形データを取り込んで、逐次的に津波波源の推定精
13 度を改善していく新しい津波予測手法の開発をおこなった。また、津波予測のリアルタイム性の向
14 上を目指し、陸上 GPS や海底津波計などの観測データを統合的に用いて逆解析を繰り返す、津波波
15 源の解析の新しいアルゴリズムの開発を進めた。また、大学は、強震動や津波の高精度予測にむけ
16 て、地震動、水中音波、地殻変動、津波を同時に計算できる新しい手法の開発をおこなった。

17 大学は、周期 1 秒以下の短周期地震動を高精度に予測するため、S 波コーダ部分を用いた表層地
18 盤の増幅特性（サイト増幅特性）の解析を行った。深発地震に見られる異常な震度分布から、スラ
19 プ内の速度構造の不均質性を推定した。

20 大学は、平野部の長周期地震動の予測精度を向上させるため、軟弱地盤構造を考慮したシミュレ
21 ーションモデルを作成し、その妥当性を検証した。

22 気象庁は現地調査や津波観測データから発生メカニズムの解析や津波伝播の減衰過程についての
23 計算手法を開発するとともに、沖合津波観測データを用いた沿岸津波波高予測手法の開発を行い、
24 その妥当性を検討した。

25 う．成果

26 ア．断層面の不均質性と動的破壊特性

27 1995 年兵庫県南部地震、1997 年（平成 9 年）鹿児島県薩摩地方の地震（M6.6）、2000 年（平成 12
28 年）鳥取県西部地震、2001 年（平成 13 年）芸予地震、2003 年宮城県北部の地震、2004 年（平成 16
29 年）新潟県中越地震等の解析の結果、他の内陸地震やスラブ内の地震と同様に、地震の滑り量の
30 大きな領域は地震波速度の低速度域を避けて、比較的高速度な領域に分布していることが確認された。
31 一方、破壊開始点は、低速度域内部あるいはその周辺に位置していることが分かった。また、2003
32 年の福島沖の地震（M6.8）の解析では、滑り域と海底地形の比較から、沈み込んだ海山がこの地震
33 を起こしたアスベリティの成因である可能性が示唆された。茨城県沖では約 20 年に一度の割合で
34 M7 クラスの地震が規則的に発生している。このうち、1982 年と 2008 年に発生した地震の詳細な震
35 源過程解析を行い、2つの地震は強震動生成域が 10km 程度以内の精度で重なり、その震源の大きさ、
36 滑りの立ち上がり時間、破壊伝播速度などが良く一致し、プレート境界地震の再現性を確認した。

37 曲面断層の滑りによる地震波形の計算手法の開発をおこない、三次元の不均質地下構造の効果も
38 併せて 2003 年宮城県北部の地震の解析をおこなった。その結果、一次元速度構造で平面の震源断
39 層を仮定した従来の結果に比べて、前震・本震・最大余震の滑り量分布の棲み分けが明瞭になった
40 ほか、地殻変動データとの矛盾も解消されるなど大きな進展があった。

41 2003 年宮城県北部の地震の震源域で実施した反射法人工地震探査により、地殻深部の断層面から
42 と考えられる反射波が明瞭に検出された。その反射波を用いて断層面上の不均質性を明らかにで
43 ける可能性がある。

44 F-netによるモーメントテンソル解を自動取得する機能を震源過程解析システムに追加すると

コメント[事務局31]: 具体的な記述に修正してください。

コメント[事務局32]: 「津波波高の減衰」ではないでしょうか。

コメント[斎藤専門委員33]: 気象研究所の津波研究成果のうち、沖合津波観測データを用いた沿岸津波波高予測を追記。

もに、三次元波動伝播可視化ソフトに断層面を表示する機能を追加し、断層形状モデルの構築に要する時間の短縮を図った。また、曲面断層モデルに基づいた震源インバージョン手法を開発し、複雑な断層面形状が示唆されている2008年7月24日岩手県沿岸北部の地震及び2009年8月11日駿河湾の地震について震源過程を推定した。

即時的に断層破壊過程を推定するための手法として、規格化短周期波形エンベロープを用いた震動源探索手法（改良SSA法）を開発し、数値シミュレーションでその有効性を検証するとともに、1994年三陸はるか沖地震や2003年十勝沖地震などを解析した。

イ. 強震動・津波の生成過程

釜石沖の2台の海底津波計で記録された2005年宮城県沖地震のデータを用いて、津波波源（海面変動）の逐次的な逆解析を行い、その沿岸津波の即時予測に有効であることを確認した。2004年紀伊半島南東沖の地震は、地震波形解析からは地震断層面を確定できなかった。室戸沖海底津波計の観測波形を用いて津波の分散性を考慮した計算手法により震源断層面を確定できた。地震動と津波データを有効に活用して詳細な震源過程を解析するため、地震動、水中音波、地殻変動、津波を同時に計算できるコードを開発し、その有効性を検証した。

周期1秒以下の強震動の予測精度の向上を目指し、全国のK-NET/KiK-net強震観測点で記録された地震波のS波コーダ部分を用いた表層地盤の増幅特性の解析を行い、全国の観測点における周波数毎のサイト増幅係数を精度よく推定した。深発地震に見られる異常震域の成因として、スラブが高速度・低減衰であることに加え、短周期の地震波がプレート内の散乱体の中を伝播する際に広角多重散乱を起こして遠方まで導かれる「散乱トラップ」効果が重要であることがわかった。

2004年紀伊半島南東沖の地震の長周期地震動のシミュレーションをおこない、全国の強震観測波形を再現するように地下構造モデルを修正した。こうして高度化された地下構造モデルを用いて再現した1944年東南海地震の長周期地震動を、大手町（東京都）や東金市（千葉県）に設置されていた機械式強震計記録により検証した。想定される南海トラフの地震において、関東平野で長周期地震動を強く励起する伝播経路の特性や、平野での増幅特性などの理解が大きく進んだ。これを他の地域にも適用することにより、濃尾平野や大阪平野など日本各地の広帯域強震動の予測精度が向上し、耐震工学研究分野との連携による構造物の被害予測と災害軽減に向けた研究が加速した。

東南海地震を想定した合成津波波形を用いて、沖合津波波形の逆解析に基づく津波予測手法が津波波源域から離れた沿岸地域に対する津波予測には極めて有効であることを確認した。また、波源近傍の沿岸地域に対しては、沖合津波データだけでなく測地データとの併合処理が必要であることが判明した。

え. 今後の展望

大地震の破壊過程の詳しい理解を通じて、強震動発生域の繰り返し性とその階層性や連動発生条件等を知り、強震動や津波の予測に生かすことが重要である。近年、高密度強震観測データだけでなく、高サンプリングGPS観測データや海底津波計データを併合した広帯域地震動解析手法の開発を進めてきた。その結果、大地震の破壊過程がより詳しく判るようになり、高周波地震動を放射する場所、滑り量の大きな場所、津波を生成する場所の位置関係に関する議論が開始された。また、これまでの研究により得られた詳細な地下構造モデル、震源モデル、観測点サイト特性を利用し、過去に発生した地震の地震動からその震源過程を再評価して、大地震の発生間隔の規則性や不規則性についても研究が進められている。今後、これらの研究を一層推進させるためには、詳細な反射法地震探査や地震波トモグラフィーによる震源断層近傍の構造解明や、微小地震活動と発震機構解による応力状態の推定が重要である。また、地震発生予測シミュレーションとの連携など、本計画の他の項目で進められている最新の研究成果との連携も必要である。

2011年東北地方太平洋沖地震の解析では、データの周波数帯域、構造モデルや解析手法などの違いによって震源断層面での滑り分布が異なることが示されている。これはデータ処理や計算手法に

コメント[廣藤専門委員34]: 将来的に、津波予測（や強震動予測）に関する研究も積極的に本計画の中に取り込んで推進していこうとするのであれば、それを明確にするため、例えば、以下の一文のようなものを追記してはどうか。

- ・これまでの地震予知計画等では、地震発生予測を主眼とした研究を推進し（、実施して）きた。今後は（、被害軽減のため）、地震発生後の強震動予測や津波予測に関する研究の推進する努力も必要である

コメント[事務局35]: 本項目に含むもの含まないもの線引きが必要。また追記する場合はどの部分に挿入するか要検討。

よるモデル解像度の違いに加え、高周波地震動を放射する場所、滑り量の大きな場所、津波を生成する場所が、それぞれ異なるという震源過程の本質を示している可能性がある。こうした震源過程の複雑さは、強震動予測の高度化を目指す際の重要な課題となるので、この地震の震源過程の研究成果を、強震動予測の高度化に活用する研究の推進が求められる。

また、この地震において、人的被害軽減のため、より精度の高い津波の予測が極めて重要であることが改めて示された。本研究で、沖合津波計データの有効性と、リアルタイム観測データの逐次解析による高精度津波予測の可能性が再確認された。今後は、津波予測精度の向上を進めて早期に実用化し、技術移転をはかる必要がある。

近年進歩のめざましい超大規模コンピュータシミュレーション技術を利用することにより、短周期から長周期までの広帯域の強震動予測の実現にある程度目途が付きつつある。複雑な震源破壊過程の理解と表層地盤を含む詳細な地下構造モデルの高度化をはかり、シミュレーションの更なる精度の向上と、リアルタイム津波予測を目指した観測－計算融合研究の一層の努力が必要である。

(3-3) 火山噴火過程

あ. 目的

「火山噴火過程」については、火山噴火の爆発性を支配する要因を理解するため、火山浅部でのマグマの上昇と火山爆発現象のモデル化を行うことを目指す。そのために、繰り返し発生する噴火を対象として集中的な地球物理・物質科学的観測を行い、火道浅部におけるマグマの上昇・移動に伴う諸現象と噴火現象を高時空間分解能で定量化することにより、先行現象と噴火現象の関係を明らかにする。また、マグマ上昇と爆発現象のモデルと実際の観測データとを比較し、発泡・脱ガス過程などに伴うマグマの物性変化との関連性を明らかにし、噴火の推移を支配する物理・化学的要因を理解する。また、新たに噴火した火山において、地球物理学・地球化学・物質科学的観測を実施する。噴火推移を予測するため、噴火シナリオの高度化を目指した研究を行う。

い. 実施状況

ア. 噴火機構の解明とモデル化

大学は、ブルカノ式噴火が頻発する桜島、諏訪之瀬島、スメル火山（インドネシア）を対象にして地震、測地、電磁気及び地球化学などの観測を行った。これらの多項目の観測データを解析し、噴火に先行するマグマ上昇過程や火山ガス活動の時間的変化、爆発的噴火やガス噴出の機構を明らかにするとともに、噴火規模と先行現象の関係を調べた。また、2004年浅間山噴火の際の広帯域地震観測データを解析し、噴火の際に発生する長周期振動の励起過程のモデル化に成功した。2011年1月に噴火した霧島山新燃岳においては、地震、地殻変動、重力、電磁気、火山ガス等の多項目観測を行い、噴火機構の解明と噴火推移予測を目指した研究を推進した。そのほか、水蒸気噴火とそれに伴って発生する**ブラスト現象**や山体崩壊についての理解を深めるため、1888年磐梯山噴火の再調査を行った。

防災科学技術研究所は、ダイク貫入やマグマ発泡等のマグマの挙動を理解するため、マグマ移動シミュレーションの手法開発を行った。

気象庁は、口永良部島、富士山（静岡県、山梨県）においてGPS観測を継続し変動の把握を行った。

イ. 噴火の推移と多様性の把握

大学は、噴火後の火山流体の移動を把握するため、2000年に噴火した有珠山において空中磁気測量を行った。また、貫入マグマによる圧力源、水蒸気爆発の発生源を明らかにするため、水準測量、重力測量、SAR干渉解析を行うとともに、温泉井のデータなどをもとに浅部火山構造を調べた。

産総研は、火山ガスの起源や、ガス成分変動の原因を研究する目的で、火山ガスを連続測定するシステムを開発し、浅間山、雌阿寒岳、口永良部島、阿蘇山に設置して観測した。また、火山ガス

組成の変化と地殻変動の関係についても調査した。

大学、産業技術総合研究所、気象庁、防災科学技術研究所は、伊豆大島、三宅島、伊豆東部火山群、シナブン火山（インドネシア）の噴火シナリオを作成するとともに、その事象分岐の確率推定の方法について検討した。

う. 成果

ア. 噴火機構の解明とモデル化

小規模なブルカノ式噴火や火山灰噴出を頻繁に引き起こす諏訪之瀬島で、マグマ上昇過程と噴火現象の関連性の解明を目指し、火口近傍で傾斜、地震、GPSの観測を行った。その結果、小爆発の約1分前に、火山灰噴出に伴う微動が停止し、同時に山体膨張し始めることを明らかにした。このような噴火前に起こる現象を捉えることにより、噴火発生の直前予測が可能になることがわかった。

浅間山では、火口近傍に設置した多数の広帯域地震計で記録された長周期パルス（VLP）の発生機構を解明した。VLPは火口直下の深さ100～200mにある割れ目の膨張収縮によって説明でき、VLP発生後には SO_2 の濃度が増加することが観測された。また、**ミュオンラジオグラフィ**による火道透視結果によると、VLPの発生源は低密度領域にあることが示された。これらのことから、VLPは深部からの火山ガスの流入によって割れ目が膨張し、それに続いて火山ガスが放出され収縮に転じる機構により発生していると考えられる。

噴火に伴う火山ガスの放出現象を明らかにするため、浅間山、桜島、諏訪之瀬島、霧島山（**新燃岳**）において噴火前のガス挙動を定量化した。噴火の発生直前に SO_2 の放出率が減少し、噴火後には増大することが明らかになった。

三宅島2000年噴火について、噴出物中のオリビン中のメルト包有物分析に基づき、脱ガス過程とマグマ供給モデルを構築した。口永良部島、吾妻山において、火山ガス組成の繰り返し観測を実施し、地下の熱水系の長期的な高温化の傾向を把握した。

ガス噴出が短時間で繰り返し発生するスメル火山で、地震及び傾斜観測を実施し、その活動の概要を解明した。それぞれのガス噴出の20～30秒前から山体膨張が始まり、膨張量が大きいほど噴火に伴う地震の規模が大きくなる。一方、ブルカノ式噴火を繰り返していた2007年には、噴火の200～300秒前に山体膨張が加速的に進行し、その膨張量が大きいほど爆発規模が大きいたことが明らかになった。これらの観測事実は、噴火前の山体膨張の大きさや時間発展から、噴火の様式や規模が予測できる可能性を示している。

個別要素法を用いて、3次元応力下でのマグマ移動シミュレーションを実施した。気体粒子の属性を組み込み、その拡散と浸透流による移動を考慮し、静的・動的な応力による効果を見積もった。

また、従来別々に計算しなければならなかった溶岩流と火砕流のシミュレーションに対し、同時計算できるシステムの実用化に目途をつけた。

空振と地震の記録の相互相関をとることにより、通常検出が困難な微噴火活動を正確に捉えられることがわかった。また、桜島や諏訪之瀬島では、映像記録や地震記録の解析から爆発的噴火発生約1秒前に火口底が隆起し、それにより空気振動が励起されることを見出した。

イ. 噴火の推移と多様性の把握

有珠山において水蒸気爆発とマグマ水蒸気爆発の発生条件を明らかにするために、水蒸気爆発からマグマ水蒸気爆発に推移した1943～1945年の噴火活動について考察した。既存資料や温泉井のデータから推定されている帯水層と不透水層の深度と噴火推移を比較したところ、深部から上昇してきたマグマが深さ120m以浅の帯水層を通過する際に水蒸気爆発が発生し、その後、深さ50m以浅の不透水層である溶結凝灰岩層に達した頃からマグマ水蒸気爆発が発生したと推察できた。2000年噴火域である新山周辺で、空中磁気測量、地上全磁力観測、地殻変動観測（水準測量、精密重力測量、SAR干渉解析）を行い、貫入マグマによる帯磁源や圧力源の位置を求めた。その結果、マグマは**有珠山西麓のNB火口**付近の深さ400～500 mまで貫入したと推定された。

コメント[事務局36]: 表現について要検討。

削除: また、共通の汎用インターフェースを用いた溶岩流と火砕流のシミュレーションシステムの実用化に目途をつけた。

コメント[宮澤専門委員37]: 説明が必要ではないか。

国内の代表的な活火山において過去の火山活動の推移や噴火履歴を精査し、噴火シナリオの事象分岐の確率推定の方法を検討した。例えば、2000年にカルデラ形成を伴う噴火を約2500年ぶりに引き起こした三宅島について、噴出年代と噴出量積算の階段図から、約2500年前に形成されたカルデラはその後約1300年間で埋め立てられたことが明らかになった。このことから、今後発生する噴火は、噴出量が多いか、より短い時間間隔で発生する可能性が高いと推測できた。伊豆東部火山群（静岡県）について、1978年から約50回発生した群発地震と1989年の海底噴火時の観測事実から、噴火シナリオを作成し、おおよその事象分岐の確率を推定した。この成果は、静岡県伊豆東部火山群火山災害対策計画に活用されている。

え. 今後の展望

多様な火山噴火の予測を目指して、火道の状態やマグマが貫入する火道浅部構造の特性、上昇するマグマの物性と噴火様式や規模との関連性を系統的に理解し、それに基づいた噴火現象の普遍的なモデルの構築を行う必要がある。また、活動的火山における調査や観測により実際に起きているマグマ上昇や噴火現象を把握し、モデルとの対比を通じて観測データを理解することが重要である。このことを念頭に研究を推進し、現在の噴火過程の理解や予測手法の高度化が必要がある。

本計画により、規模の小さな爆発的噴火や火山ガス噴出においても火口近傍に傾斜計、ひずみ計や広帯域地震計を適切に設置すれば噴火直前に山体膨張が捉えられること、火山ガスのモニタリングによりブルカノ式噴火直前に火口からの SO_2 放出量が低下することなどが明らかになり、噴火直前の先行現象を、複数の異なる観測手法で高精度・高分解能で捉えられることが実証できた。さらに、いくつかの火山では、噴火に先行する山体膨張の速度と噴火規模との関係も明らかになった。これらの観測事実は、特定の噴火様式ではあるが、爆発的噴火の発生時期と規模の直前予測が実現できる可能性を示しており、今後も観測事例を増やし、より広範囲に噴火規模や様式との関係を明らかにすることが重要である。また、噴火時の火山ガスの定量的な観測の高度化をめざし、噴火様式を支配する揮発性物質の挙動、マグマの貫入や火道内上昇過程の多様な現象についての理解を深める必要がある。

また、まだ少ない事例ではあるが、火山浅部の地下水環境が、水蒸気爆発からマグマ水蒸気爆発への変化など、噴火様式の推移に大きく関与している可能性が示された。これは、噴火予測にはマグマが上昇する地下水環境の理解も不可欠であることを示唆している。今後、多くの活動的火山において帯水層や不透水層などの空間分布や熱水系の時空間変化等の火山体浅部構造を、地震学的、電磁気学的、測地学的な観測とボーリング探査などにより把握し、異なる地下水環境のもとで噴火様式や推移の多様性を明らかにする必要がある。

現実の噴火の発生頻度を考えると、限られた観測データからモデルを普遍化するには限界がある。そのため、過去の噴火事例から多様な噴火事象を系統的に整理し、火山学的知見に基づき噴火の推移を支配する物理・化学過程を理解することや、多数の火山における噴火現象の比較から普遍的な噴火モデルの構築をめざすことが重要であろう。また、数値シミュレーションによるマグマ貫入や噴火現象の再現は、多様な噴火現象を理解するうえで有効であり、今後力を入れるべき研究の方向である。

（４）地震発生・火山噴火素過程

あ. 目的

地球構成物質の変形・破壊の特性を、広い条件範囲にわたって実験的に明らかにする。地下深部の岩石の変形・破壊特性を推定するために、地震波速度や比抵抗等の地球物理学的観測による推定が可能な物理量と変形・破壊特性との定量的関係を室内実験により解明する。地震発生モデルで利用するために、変形・破壊の物理・化学的素過程を理解して、実験結果の実験条件範囲外での適用

可能性について検討する。様々な規模の地震破壊を至近距離で観察できる鉱山の誘発地震等を用いて、変形・破壊現象の規模依存性を明らかにするための実験・観測研究を行う。さらに、火山噴火においては、変形・破壊以外に、マグマの性質と挙動を理解することが不可欠であるので、噴出物の分析・解析や室内実験を行うとともに、それらの結果を考慮した噴火過程の検討を行う。

い. 実施状況

ア. 岩石の変形・破壊の物理的・化学的素過程

大学、防災科学技術研究所及び産業技術総合研究所は、地殻から上部マントルでの温度・圧力等の環境下で幅広い変形速度等の条件における岩石及びマグマの破壊・変形特性を明らかにするために室内実験を行った。その物理・化学的素過程を物性理論により理解するために、摩擦溶融や粉体等の挙動も考慮して、数値実験、試料の分析を行った。

大学及び産業技術総合研究所は、岩石の変形に伴う微小破壊活動や化学反応、物性、岩石組織の変化等についての室内実験及び試験観測を行った。また、種々の物理・化学過程の地学的現象に対する寄与を理論的に評価する研究を進めた。

イ. 地殻・上部マントルの物性の環境依存性

大学、防災科学技術研究所、海洋研究開発機構及び産業技術総合研究所は、弾性波速度・減衰、透水性などの物性の温度・圧力・構成鉱物・内部構造・含有流体などへの依存性を定量的に明らかにするために理論・実験的研究を進めた。

ウ. 摩擦・破壊現象の規模依存性

大学は、岩石破壊過程の規模依存性について理解を得るために、鉱山の採掘で誘発される地震に伴う地震波やひずみ変化を震源の至近距離で観測し、岩石の巨視的破壊に伴う応力変化や微小破壊活動についての室内実験結果と比較した。

エ. マグマの分化・発泡・脱ガス過程

地球物理学的観測量からマグマの性質と挙動を推定するため、以下の研究を実施した。繰り返し噴火を行う開口型火道内のマグマ上昇過程のモデル化と数値計算を行い、火口近傍での測地学的観測量との対応関係を調べた。また、火道内や亀裂内の流体移動から生じた地震波動場の解析・解釈のための固体と液体の相互作用を考慮した数値計算、及び噴火に伴う空振の発生メカニズムを理解するための室内実験を行った。一方、噴火の推移や多様性の支配要因として、マグマの発泡・脱ガスと流動—脆性破壊の遷移が考えられているが、その素過程を理解するため、発泡したマグマの剪断変形実験、噴火前のマグマ中に溶け込んでいる揮発性成分の量を推定する新しい分析方法の開発、および、流体の破壊に関する理論的研究を行った。また、噴火様式の多様性は、マグマの過飽和度の空間不均質にあるという新しい考え方を検証するため、噴出物の構造解析と室内モデル実験を行った。

う. 成果

ア. 岩石の変形・破壊の物理的・化学的素過程

南海トラフの深さ約 270 m の掘削で得られた粘土質断層試料、アラスカのコディアック島のメランジ（海洋と陸域の多様な種類や起源の細粒岩石からなる混合構造をもった地質体）で採取した付加体泥岩、多数のガラスビーズからなる模擬ガウジ層などを用いて幅広い速度範囲で摩擦実験を行った。摩擦の滑り速度依存性、粒径や組成などが摩擦特性に及ぼす影響の速度依存性、垂直応力とガウジ層の膨張の関係、摩擦発熱の摩擦強度への寄与、摩擦溶融時における垂直応力変動が摩擦強度に及ぼす影響など詳細な摩擦特性が明らかになった。

断層面を透過した弾性波により時々刻々変化する摩擦面の固着状態を定量的にモニターする室内実験により、載荷せん断応力がピーク値に達するより前に物理的な固着のはがれはほぼ完了することが分かった。透過した弾性波によるモニターは、ガウジ層（断層帯内の細粒破砕物）をはさむ模擬断層を使った研究に発展し、ガウジ層の応力場評価に関する理解が深まった。

地震サイクルのシミュレーションなどに用いられている従来の摩擦則には、どのようなタイプの実験にも共通する系統的なずれがあったが、室内実験データの詳細な検討によりこのずれを解消した新たな摩擦則が提案された。

イ. 地殻・上部マントルの物性の環境依存性

高温型蛇紋岩の弾性波速度を、地震発生場と同様の高温・高圧条件で計測した。トモグラフィーで求められた沈み込み帯等における低い弾性波速度は、高温型蛇紋岩自体の弾性波速度だけでは説明できず、間隙水が存在していることが必要であるとの結論を得た。

上部マントルにある岩石のアナログ物質として有機物多結晶体を用いて、地震波の減衰に対する流体（メルト）や温度の影響やヤング率の周波数・温度・粒径依存性などを明らかにし、また、多結晶体の非弾性特性は物質によらない普遍性がある可能性を示した。

地殻内の流体からの鉱物析出に関するシミュレーションを行い、断層内で流れを妨げるシールが形成される深度を求めた。

ウ. 摩擦・破壊現象の規模依存性

室内実験と自然地震の間には、時空間的に規模が数桁異なっているため、スケーリング則が成り立つかを検討するために、南アフリカ大深度金鉱山において、断層直近での地震観測を行った。観測できたAEの最小震源サイズは約15 mmである。このように小さなAEを野外観測でとらえたのは世界初である。また、長さ100 mに及ぶM 2.2の地震の断層面の傾きが、室内実験で見いだされた破壊則で説明できることを明らかにした。更に、その地震の余震群のb値を求め、本震破壊面に沿って2次的に分布するクラスターのみが高いb値であることを示した。

数値シミュレーションにより、高速域で剪断速度を変化させた時の摩擦抵抗の変化は、低速域で見られるような特徴的滑り距離ではなく、特徴的時間で規定されることを示した。このことは、自然地震で推定される臨界滑り量が、地震の規模とともに大きくなることに対して、ひとつの説明を与える可能性がある。

エ. マグマの分化・発泡・脱ガス過程

地震・地殻変動・空振など、地球物理学的な観測データから、マグマや火山性ガスの挙動を読み取るための重要な知見が得られた。火道内のマグマ上昇と地殻変動を結びつけるモデルを高度化し、マグマの流動様式の違いや地形の効果を取り入れた計算を行った。また、亀裂内や火道内での流体振動による弾性波放射についても、数値計算法を改良し、様々な形状、火道壁や地表面の影響、流体粘性の影響を取り入れることができるようになった。その結果、これらの効果を考慮することは、地殻変動や地震波から流体挙動を推測する際に不可欠であることが示された。また、2011年1月に始まった霧島山新燃岳の噴火で見られた、調和振動的な地震・空振波形の特徴を再現するモデル実験を行い、火口を満たした溶岩を通してガスが抜けるときに発生した可能性を指摘した。

噴火の多様性を支配する要因についても、理解が進んだ。流動するマグマが脆性的に破碎する遷移現象は、爆発的噴火の重要な素過程である。固体力学の枠組みで定式化されていた脆性破壊を流体力学に拡張した。その結果、限られた条件で行われる噴火モデル実験の結果を爆発的噴火の数値モデルに反映させる道筋ができた。また、噴火の爆発性を変化させる要因として、マグマの流動変形と脆性破壊によって、ガスの抜けやすさが変化することが考えられている。この考え方は、現在、世界で最も受け入れられているものであるが、発泡マグマの流動―破壊を高温高圧下で実際に観察する実験を世界で初めて実現し、その実態を明らかにした。一方、過去の大噴火について、噴火様式の遷移と噴出物の変化の対応関係を調べ、噴火様式の遷移が、マグマ溜まりにおける揮発性成分の過飽和度の不均質の有無にあるという、新しい考えを提案した。その考え方に基いて間欠泉実験を系統的に行い、噴出様式と噴出量が過熱速度によって統一的に整理できることを明らかにした。熱水だまりの過飽和度の均質性は、加熱速度に依存しているはずであるので、この結果は、上記の仮説を支持している。

え. 今後の展望

地震の素過程研究では、広範囲の条件下での摩擦特性が明らかになってきた。また、断層面の弾性波透過率の計測などにより、これまで概念的にしか理解されていなかった断層の固着度に対して物理的解釈を与えられるようになりつつある。近年、構造探査等で詳細にわかっている弾性波速度についても、物質科学的な解釈を与えられるようになってきた。アナログ物質を使った実験も興味深い成果をあげている。適切なアナログ物質を使えば、岩石では大がかりな装置が必要になる温度や圧力等の条件下でのレオロジーを、比較的簡便な装置で測定することができる。天然の断層は、室内実験で用いられる人工断層面とは異なる不均質をもつので、天然の断層における摩擦構成則を直接明らかにするために、鉱山地震の断層直近観測が有効である。

今後の課題としては、さらに広範囲の条件でのデータの取得と、物性の基礎的理解の深化により、天然の条件への知識の適用の妥当性を、様々な項目において適切に判断していくことがあげられる。また、2011年（平成23年）東北地方太平洋沖地震の解析から、プレート境界浅部の強い固着域が示唆されているが、そのような固着域が生成されるメカニズムについて、実験的・理論的研究を進めるべきであろう。さらに、素過程研究を地震発生予測につなげるためには、摩擦関連は地震発生予測システム研究との連携、媒質の物性や破壊現象については先行過程研究との連携を推進する必要がある。

火山噴火素過程は、地震予知研究と火山噴火予知研究の連携に際して、新たに始まった研究項目であり、現在3年目となる。研究内容は、長年にわたって純粋な科学的興味から行われていた研究成果の積み重ねの上に立つものであるが、観測データへの関連づけや、火山活動推移予測への活用が着実に進められている。本計画では、地震発生の素過程と火山噴火の素過程の観測研究は同一の項目で進められている。科学的興味としては共通の問題も確かに存在するが、素過程研究を実現へ有効に結びつけるためには、むしろ、火山噴火準備過程・火山噴火過程等の研究分野との連携が重要である。すでに、いくつかの連携研究は行われており、今後、さらに推進する必要がある。

コメント[小泉専門委員38]: 人材確保についても記載が必要。

コメント[平田委員39]: 地震の素過程についても記述が必要。

3. 新たな観測技術の開発

あ. 目的

日本列島周辺の海域では多くのプレート境界地震が発生し、活動的な火山島等も存在するため、海底地殻変動等の各種観測データを安定して取得するための技術開発が重要である。海底地殻変動観測技術及び地震観測技術の高度化と、海底諸観測のデータを実時間で利用できるシステムの開発を行う。

宇宙技術等の利用の高度化については、GPSや衛星搭載合成開口レーダー（SAR）等の解析技術の高度化を図る。地震や火山活動をより高い精度で面的に把握する人工衛星や航空機を用いたリモートセンシング手法の実現を目指す。

種々の地殻・火山活動現象のモニタリングのために、地下の状態をモニタリングする技術、センサー技術、観測ネットワーク技術、精密制御弾性波震源、宇宙線等を用いた技術の高度化を図る。山間地・離島・火山近傍等の電源・通信事情の不十分な場所において、効率的にデータを取得するためのセンサー技術やネットワーク技術の高度化を図る。また、気象擾乱や人工的な雑音から離れ、高品質のデータを取得するため、大深度ボアホールにおける計測技術の開発を行う。

い. 実施状況

（１）海底における観測技術の開発と高度化

ア. 海底地殻変動観測技術

大学は、GPS－音響測距結合方式による海底地殻変動観測（GPS/A）の高精度化を目指して、水中

コメント[斎藤専門委員40]: 今後の展望のところだけでも良いと思うが、「TEC」に関する記述はなくて良いのか？

音速構造の影響を軽減するための新しい解析アルゴリズムの開発や、海底局の最適配置、海中音速の実測に基づく補正方法などを検討した。また、将来の海底地殻変動連続観測に向けて係留ブイによるシステムを新たに開発し、従来の曳航ブイ観測と比較した。また、海底圧力計による上下変動連続観測手法の開発を進めた。主なノイズ源である海洋変動の影響を除くため、海洋変動数値予測モデルを構築した。さらに、次世代型の広帯域海底地震計を用いて傾斜変動を検出する試験を行った。海底における音響測距観測を実施し、変動検出限界を調べた。

海上保安庁は、GPS/Aの測線の最適化や効率的なデータ取得のために、音響送受波器を測量船の船底に設置した。また、海底基準点を更新した。

イ. 海底地震観測技術

大学は、地震動と水圧変化を同時に観測できる広帯域海底地震計を開発した。また、底層流によるノイズを低減するため、センサー部をデータ収録部から分離して海底に埋設する次世代型の広帯域海底地震計を開発した。

ウ. 海底実時間観測システム

海洋研究開発機構は、熊野灘（三重県）における地震・津波観測監視システム（DONET）の開発を進め、観測機器の作成及び試験を実施した。

大学は、センサー部を小型容器に収納した低価格な次世代ケーブル式海底観測システムを開発し、栗島（新潟県）の近海に設置した。

（２）宇宙技術等の利用の高度化

ア. 宇宙測地技術

国土地理院は、数値気象モデルを用いて大気荷重効果や水蒸気による大気伝搬遅延量を推定し、GPS観測およびSAR干渉解析の高精度化の手法を開発した。また、GPS観測ではマルチパスによる誤差を補正する手法を開発した。気象庁は、さらに１日以内の準リアルタイムに大気伝播遅延補正を可能にする手法を開発した。

大学は、1秒サンプリングのGPS観測データを用いて、即時的に変位を推定するリアルタイムキネマティック解析手法の高度化を進めた。また、それを用いて地震時の変位を検出する手法を開発し、2008年岩手・宮城内陸地震に適用した。

大学等は、通常のSAR干渉解析が適用できないような大変形について、ピクセルオフセット解析法により地殻変動を求めた。また、SAR干渉解析を併用して断層モデルを推定する手法を開発した。

防災科学技術研究所等は、干渉画像を従来の約５倍まで拡張できる新たな干渉解析技術を開発した。防災科学技術研究所は、SAR干渉解析を使った火山性地殻変動の時間変化検出手法を開発した。

イ. リモートセンシング技術

大学は、噴火活動中の火山の火口近傍に、小型無人ヘリコプターを用いて、設置回収可能な地震計等の観測システムを開発した。また、衛星を用いたリアルタイム赤外画像観測システムを開発した。

防災科学技術研究所は、航空機による赤外多波長観測データの解析手法を開発した。

気象庁は、噴煙の解析を行い、力学的予測モデルを構築した。また、火山灰の移流拡散モデルの改善を進め、降灰及び火山灰拡散予測手法を高度化した。

（３）観測技術の継続的高度化

ア. 地下状態モニタリング技術

大学は、ミュオン粒子による火山体内部の観測を開始した。低消費電力化を進めるとともに通信機能も加えて火山体に設置できる可搬型システムを構築した。

防災科学技術研究所は、GPSデータのリアルタイム処理を目指して、準リアルタイムで大気遅延補正を推定するシステムを開発した。

大学及び気象庁は、東海地域の３ヶ所のアクロス震源からの信号の解析を継続して進めた。また、

コメント[事務局41]: 大気伝搬遅延量の補正手法についての記述は各機関でまとめてよい。

低周波帯域の信号を効率的に送信できる直線加振装置の実験を行った。

イ. 地震活動や噴火活動の活発な地域における観測技術

大学は、高精度で可搬性に優れた小型絶対重力計を開発し、市販の絶対重力計との並行観測により、性能評価を行った。また、携帯電話を用いて、地震計、GPS、傾斜計等の観測データの伝送システムを開発した。VSAT衛星通信を用いた地震観測用の低消費電力テレメータシステムの開発を行った。

国土地理院は、機動型GPS火山変動リモート観測装置の電源部と、GPS以外のデータも伝送できるよう通信システムの改良をした。

ウ. 大深度ボアホール計測技術

大学は、レーザー干渉型広帯域地震計や傾斜計の開発を行った。また、3 km以深にも適用できる地殻応力測定手法を考案し、試験観測に成功した。ボアホールにおける間隙水圧の連続観測を継続し、大気圧応答、理論地球潮汐や地震波に対する応答を詳しく解析した。

防災科学技術研究所は、地下深部の高温環境下で安定動作する地震計、傾斜計、強震計の開発と試験観測を進めた。

う. 成果

(1) 海底における観測技術の開発と高度化

ア. 海底地殻変動観測技術

海底地殻変動観測において、海洋変動の数値シミュレーションに基づく水中音速の補正や、海底局の配置、音響送受波器の取り付け方法等の改良が精度の向上に有用であることを示した。

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震による海底地殻変動を計測するため、7観測点で緊急観測を行い、最大31mにも及ぶ変位を捉え、陸上観測からは明瞭に捉えられなかった海溝付近におけるプレート境界の滑りが極めて大きかったという重要な事実を決定的にした。

イ. 海底地震観測技術

2008年茨城県沖の地震(M7.0)の震源域の直上で、加速度計を加えた多数の海底地震計により、前震一本震一余震に至る一連の活動を広帯域で観測することに成功した。また、広帯域海底地震計に搭載した高精度水圧計により、2010年2月27日のチリ地震(Mw8.8)の津波波形を捉えた。

ウ. 海底実時間観測システム

地震・津波観測監視システム(DONET)を実用化し、本格的な運用を開始した。次世代ケーブル式海底観測システムを開発して栗島の近海に展開し、データを準リアルタイムで転送できることを確認した。

(2) 宇宙技術等の利用の高度化

ア. 宇宙測地技術

GPS時系列データから地震時の変位を自動的に検出する手法を、2008年岩手・宮城内陸地震や2011年東北地方太平洋沖地震に適用した結果、一定の精度で震源断層モデルが即時的に推定できることがわかった。特に2011年東北地方太平洋沖地震の場合には、地震発生から約4分で地震の規模を確定値(M9.0)に近いM8.7と推定できたことから、津波警報システムなどへの応用の目途がたった。

ピクセルオフセット解析やInSAR時系列解析、ScanSARデータ解析により、2008年四川地震、2008年岩手・宮城内陸地震、2011年東北地方太平洋沖地震、三宅島の地殻変動などの多くの大地震による広域な地殻変動や火山性地殻変動を捉えた。また、ScanSAR干渉解析手法を開発し、2010年チリ地震による広範囲の地殻変動を推定した。

イ. リモートセンシング技術

桜島南岳火口周辺や、新燃岳などの火山噴火活動中の立ち入り制限地域において、計測器の設置や回収に産業用小型無人ヘリコプターが有用であることを示した。また、衛星や航空機による赤外

コメント[事務局42]: 津波体積物調査についての記載は不要か。成果 or 展望。

画像により熱異常や噴煙、火山ガス濃度の時空間分布の観測が可能になり、火山活動の評価に役立つことがわかった。

降灰予報が桜島や新燃岳、2009年の浅間山の噴火について発表され、地域防災に貢献した。

(3) 観測技術の継続的高度化

ア. 地下状態モニタリング技術

いくつかの火山においてミュオン観測によって火道形状が推定され、絶対重力連続観測等との並行観測が火山のモニタリングに有用であることが示された。

マントル起源の揮発性物質であるヘリウムガスの浸出量を、四国地方の中央構造線やアナトリア断層（トルコ）において調査した結果、 $^3\text{He}/^4\text{He}$ が断層上で高いことがわかった。

イ. 地震活動や噴火活動の活発な地域における観測技術

本計画で開発された小型絶対重力計において、約 $2\mu\text{gal}$ の再現性が得られた。携帯電話や衛星テレメータシステムを使った観測ネットワーク技術の実用性を確認することができた。

ウ. 大深度ボアホール計測技術

開発されたレーザー干渉型広帯域地震計を既存の広帯域地震計（STS-1型）と比較した結果、二つの地震計は 0.004 Hz 以上の周波数帯域で同等の性能を有することがわかった。

え. 今後の展望

2011年東北地方太平洋沖地震では、日本海溝近傍のプレート境界浅部で数十mに達する非常に大きな滑りがあったことが、多項目のデータから示唆されている。このような海域で発生する地震時滑りや余効滑り、地震間の定常的な地殻変動などの諸現象を陸域の観測網から高精度で捉えることは限界があり、海底観測技術の重要性が改めて示された。したがって、海底諸観測の高度化は今後とも継続して進展させる必要がある。

海底地殻変動観測技術では、GPS/Aによる繰り返し観測はすでに実用化されているが、測位精度や時空間分解能の向上が急務である。測位精度向上のためには、キネマティックGPS解析の精度向上や水中音波速度構造の時空間変動の推定に基づく補正方法の高精度化が重要である。また、時空間分解能の向上のためには、海底基準局を高密度に展開するとともに高頻度で観測する必要がある。多数の専用調査船の配備が必要であると同時に、各機関の観測システムの互換性を持たせる体制を確立する必要がある。また、海溝近傍での観測のためには、大深度でも使用可能な海底基準局の開発も重要である。一方でGPS/Aの連続観測システムの開発も重要であり、引き続き推進する。

自己浮上式海底地震計等のオフライン海底観測システムについては、広帯域地震計による観測帯域の拡大、加速度計による大振幅地動の記録、地震計センサーの埋設によるノイズ低減などの観測のダイナミックレンジ拡大が行われたが、今後は、精密水圧計や傾斜計などの測器を用いた測地帯域への拡大をはかることが重要である。海底精密圧力計による津波観測や海底上下変動観測については、成果が現れ始めているが、今後は長期ドリフトの影響を取り除き、より長い周期での高精度化が必要である。観測期間については、現在1年以上の連続観測が可能となっているが、測地帯域への観測帯域の拡大に対応して、より長期の連続観測が可能となるような技術開発も必要である。また、現在のオフライン海底観測システムの多くは、海溝域などの大水深での観測が難しい。今回の地震で明らかになったように、今後は水深10,000mまで観測が行える深海型の観測システムが重要である。海底実時間観測システムは、近年多点で多項目の観測が可能となってきているが、今後はより多種多様な観測センサーを搭載可能で、より空間的に高密度な観測が可能なシステムを開発すべきである。そのためには、システムのコストの問題を解決すると共に、システムの展開及び回収が容易に行えるシステムの開発が期待される。

宇宙技術は、地震や火山活動に伴う諸現象をモニターするのに極めて有効であることが実証されており、今後も解析技術の高度化が必要である。

GPSやSAR等のマイクロ波に基づく宇宙測地技術においては、大気中の水蒸気による電波伝搬遅

コメント[事務局43]: 文章表現について要検討。

延による誤差を低減する必要がある。数値気象モデルに基づく補正法などの高度化が引き続き望まれる。SAR においては数百 km の空間スケールにおける経年的な地殻変動やその時間変化等を捉える解析手法の高度化が望まれる。GPS のリアルタイム解析に基づく震源断層モデルの即時的推定については、津波予測システムへの応用に向けた研究を推進する。

我が国の陸域観測技術衛星 ALOS は、国内外の多くの地震や火山活動に伴う地殻変動現象を捉え、重要な貢献をしてきた。しかし、現在は運用期間を終えており、次の陸域観測技術衛星の早急な運用開始が待たれる。それが開始された暁には、引き続き同様の解析を継続するとともに、さらなる高精度化に向けて研究を継続できるように準備しておく必要がある。

能動的精密制御震源を用いた研究については、長期間の運用などについて実績を積んでいるが、今後も解析手法の高度化などを通じて有用な情報の抽出に努めるとともに、火山観測技術への応用が望まれる。

ミュオン透過撮像による地下構造探査については、地震波トモグラフィーの結果等との比較を行うなどにより信頼性の評価を行うと共に、時間変化の把握も目指して観測及び解析手法の開発をすすめることが重要である。

開発が進められている小型絶対重力計については、既存の絶対重力計と同等の高い精度を有することが確認され、今後は実用化に向けた取り組みが求められる。

光技術を用いた広帯域地震計や傾斜計については、レーザー技術を応用することにより、高精度・高安定性を目指した取り組みが重要である。また、大深度ボアホールや火山地域での応用を実現するため、高温下でも高い信頼性を有する計測手法の確立が引き続き重要である。

新燃岳噴火に際しては、SAR データ解析等による火口内の溶岩蓄積過程や、気象レーダを用いた噴煙・火山ガスの検知、噴火推移予測システム、無人ヘリを用いた観測装置の設置や回収等、本研究計画による新たな技術開発が結実した一面もあるが、より詳細な火山活動状態を把握するためのセンサーやモニタリング技術などの高度化に加え、危険地帯における安全な観測方法とネットワーク技術の確立を推進する。

4. 計画推進のための体制の強化

4. 1. 実施状況及び成果

(1) 計画を推進する体制の強化

(観測研究計画推進委員会の充実及び関係機関の役割の明確化)

国は、国民の地震防災・減災に資するため、全国に測地観測網と高感度地震観測網を整備した。そのうち、国土地理院は測地観測網を、防災科学技術研究所は高感度地震観測網を管理し、両機関はそれぞれの観測網を安定的に運用するとともに、観測データの保管、観測データの公開を行った。海上保安庁は、海底地殻変動、潮位等の観測を実施し、目視調査及び航空磁気測量等による海域火山の監視、海域火山基礎情報図整備のための調査を実施した。海洋研究開発機構は、既存のケーブル式海底観測網の維持を行うとともに、熊野沖に海底観測網 DONET を整備した。気象庁は、地震及び火山の観測データを処理し、防災情報を発表に利用するとともに研究者に提供した。大学は、既存の地震及び火山観測網の維持に努めた。これらの観測データは、本計画の研究推進のために活用された。

地震予知研究計画と火山噴火予知研究計画を平成 21 年度に統合し、「地震及び火山噴火予知のための観測研究計画」とした。これに伴い、科学技術・学術審議会測地学分科会にあった地震部会と火山部会を平成 21 年に統合して地震火山部会とした。地震火山部会の下に観測研究計画推進委員会

を設置し、本計画の研究成果の取りまとめや研究計画の策定などを行うこととした。観測研究計画推進委員会は、研究成果を毎年度取りまとめるとともに、毎年度末に成果報告シンポジウムを開催し、研究成果を広く公開している。

地震予知連絡会は、地震・地殻変動のモニタリング結果の情報交換を行ない、関係各機関の情報の共有を行っている。注目すべき地震や地震予知研究に重要な問題等を「重点検討課題」とし、集中的な検討を行なうよう審議方法が変更された。

大学は、連携して基礎的な観測研究を推進するため、地震・火山噴火予知研究協議会の機能を強化し、観測研究推進委員会の活動に貢献した。

（地震調査研究推進本部が策定する新しい総合的かつ基本的な施策への反映）

地震調査研究推進本部の新総合基本施策では、建議を「研究者の自由な発想に基づいた議論の上で策定された学術的な観測研究計画」と位置付け、本計画と新総合基本施策は、国民の地震防災・減災のために互いに補完するもので、共に国として推進すべきものであるとしている。このように、地震調査研究推進本部と本計画の役割分担は明確にされている。

本研究で実施された研究を一層発展させるため、地震調査研究推進本部は「東海・東南海・南海地震の連動性評価研究」、「緊急津波速報に係るシステム開発」、「日本海溝地震津波観測網の整備」等の研究を実施している。このように本研究の成果は、地震調査研究推進本部の施策に着実に反映されている。

（火山観測網の整備と火山観測研究の充実、火山噴火予知連絡会の機能強化）

火山噴火予知連絡会は、国民の火山防災及び減災のため、全国の火山活動の評価を定期的に行うとともに、火山観測の長期的な整備計画の立案に携わっている。火山噴火予知連絡会に設けられた火山活動評価検討会では、火山活動の監視を強化すべき火山として全国の47火山を選定した。気象庁は、平成21年度補正予算等により、47火山にボアホール式地震計・傾斜計、及びGPS、空振計、遠望観測装置等の火山観測施設を整備した。また、平成21～22年度に火山監視・情報センターのシステムを強化した。

火山噴火予知連絡会の火山観測体制等に関する検討会では、平成20年の科学技術・学術審議会測地学分科会火山部会で取りまとめた「今後の大学等における火山観測研究の当面の進め方」に基づき、気象庁は火山活動の監視と防災情報の発表、大学及び研究機関は火山噴火予知研究の推進とする役割分担を明確にした。また、それぞれの機関が協力して観測網を維持・強化することにより、全国の火山観測体制を強化し、火山の調査・研究を推進することとした。防災科学技術研究所は、有珠山、岩手山、浅間山、阿蘇山、霧島山、草津白根山の活動的な6火山に基盤の火山観測施設を整備し、火山活動の監視と火山噴火予知研究のためにデータの提供を行った。

火山噴火予知連絡会はコア解析委員会を設置し、気象庁の観測点設置の際に得たボーリングコアの解析を行ない、火山噴火予測と火山防災・減災に必要な噴火履歴解明研究を推進した。2011年霧島山（新燃岳）噴火時には総合観測班を設置し、関係機関が連携して観測体制を強化するよう調整に努めた。

（２）基礎的な観測研究体制の強化

法人化された各大学が、それぞれの特長を生かしながら研究成果をあげるとともに、単独の大学だけではできない大規模な観測研究を連携して実施して研究成果をあげることが、本計画の推進には不可欠である。東京大学地震研究所は、「地震・火山科学の共同利用・研究拠点」と認定され、その機能を活用して、全国の大学や関係機関が連携して実施する本計画の中核の役割を果たしている。同研究所に設置された地震・火山噴火予知研究協議会は、本計画の大学が実施する研究の企画及び立案を行なっている。また、平成22年度に研究所の組織を改変して2つの研究センターと3つのサイエスマネジメントセンターで本計画を推進する体制とした。

京都大学防災研究所は、「自然災害に関する総合防災学の共同利用・共同研究拠点」と認定され、全国の大学や研究機関と連携を強化した自然災害及び防災の共同研究を推進している。この中で、地震及び火山研究に関する共同研究を推進している。

東北大学、東京大学、名古屋大学で、他分野と連携して地震防災研究を推進する取り組みが行われた。

（３）計画を推進するための予算的措置

大学及び関係機関は、本計画を予定どおり進捗するため、運営費交付金等の財源の確保に努力し、研究に必要な観測網の整備及び維持や、研究の推進に努めてきた。

本計画にかかわる全国の大学の研究経費は、これまで個々の大学が個別に予算要求していたが、平成 21 年度より共同利用・共同研究拠点である東京大学地震研究所が一括して予算要求し、経費を研究内容に従って各大学に配分する仕組みに変革した。このような取り組みにより、年度ごとに強化する研究分野や研究課題を計画的に調整し、本計画の成果を最大限に挙げるよう、努力を払っている。

（４）人材確保、特に若手研究者の育成

各大学は、地震及び火山研究分野の学部学生、大学院生の教育に力を入れるとともに、大学院生の研究環境の問題について組織的な検討を始めた。地震・火山噴火予知研究協議会に人材育成ワーキンググループを設置し、全国の地震・火山分野の大学院生数の推移や、学位取得後の若手研究者（ポスドク）のキャリアパスを全国的な視点から検討した。現状の把握、制度の問題点、その解決の方策等について報告書にまとめ、ホームページで公開した。

関連機関では、地震及び火山の専門知識が必要な職員の採用に当たり、選考採用制度を活用し、人材の確保に努めた。各大学及び関連機関では、グローバルCOE制度、各省庁からの委託研究等の経費から、研究員の雇用し、若手研究者のポストの確保に努力した。各大学では、総長裁量の定員再配分制度等を積極的に利用し、人材の確保に努めている。

（５）国際共同研究・国際協力の推進

大学及び関連機関では、外国の研究機関と地震及び火山に関する共同研究を実施するとともに、国際ワークショップ等を開催し、地震・火山研究の成果の交換、人材の交流、技術の交換等を行った。大学では、留学生や研修生を受け入れ、国際的な人材育成に貢献した。また、JICA と建築研究所が実施する国際地震学研修、JICA と砂防地滑りセンターが実施する火山砂防研修へ講師派遣、研修生の受け入れを行った。名古屋大学では JICA と「地震・津波・火山観測システム」を実施し、開発途上国からの研修生の研修を行った。

大学及び関連機関の研究者が参画する地球規模課題対応国際共同研究「インドネシアにおける地震火山の防災策」や「フィリピン地震火山監視能力強化と防災情報の利活用推進」は、本研究との連携で推進されている。防災科学技術研究所は、アジア及び太平洋における地震観測網を整備するとともに、エクアドルとの火山観測研究に関する国際協力を実施した。海洋開発機構では、台湾気象庁やイタリア地球物理学・火山学研究所と海底ケーブル観測システムに関する国際協力を実施した。国際共同研究である統合国際深海掘削計画（IODP）で、「南海トラフ地震発生帯掘削計画」を実施した。産業技術総合研究所は、環太平洋地域の地震及び火山噴火危険度の周知と被害軽減のため、平成 23 年度末に第 1 回アジア太平洋大規模地震・火山噴火リスク対策ワークショップを日本で開催した。米国地質調査所、中国地質調査局、韓国地質資源研究所、ニュージーランド地質・核科学研究所、トルコ鉱物資源調査開発総局、台湾成功大学等との共同研究契約の締結または締結準備中で、今後も国際共同研究を計画している。気象庁は、国際地震センター（ISC）、米国地質調査所（USGS）、

1 包括的核実験禁止条約機構（CTBTO）、米国大学間地震学研究連合（IRIS）及び韓国と地震観測デー
2 タの交換を継続。北西太平洋津波情報センター及びインド洋津波監視情報関連の業務を引き続き行
3 なった。東京航空路火山灰情報センターは、諸外国に担当地域（日本国内及び北西太平洋、カムチ
4 ャッカ半島）の火山で噴火が発生した際に、航空路火山灰情報を発表するなどの国際的な責務を果
5 たしている。国土地理院は、国際 GNSS 事業（IGS）に参加し、IGS 観測局を運用してそのデータを
6 IGS データセンターへ提供し、プレート運動や地殻変動の高精度の観測に必要な GPS 衛星の精密軌
7 道の決定に貢献した。国際 VLBI 事業に参加し、VLBI 国際共同観測を実施して地殻変動やプレート
8 運動の基準となる ITRF 座標系の構築に貢献した。次世代 VLBI 観測システム（VLBI2010）整備に向け
9 た調査を実施した。アジア太平洋 GIS 基盤常置委員会（PCGIAP）の活動として、対象地域で GPS 連続
10 観測・解析を実施し、広域地殻変動監視及びアジア太平洋測地基準座標（APREF）の構築に貢献した。
11 海上保安庁では、国際レーザー測距事業（ILRS）に引き続き参加し、レーザー測距データの情報共
12 有を行った。

13 14 （６）研究成果の社会への還元

15 国民に本計画の研究成果をわかり易く伝えるため、毎年作成する「成果の概要」は、平易な表現
16 に努めるとともに、研究成果をイラストで表現するものに改めた。また、研究成果をホームページ
17 などでも広く公開することに努めた。地震活動や地殻変動等に関するモニタリング結果の情報交換の
18 場である地震予知連絡会は広く公開され、地震の活動状況についてマスコミを通して国民に伝える
19 役割を果たしている。

20 東海地域の地殻活動の状況を検討する地震防災対策強化地域判定会で、本計画で得られた知見を
21 地震予知業務に取り入れるため、気象庁は「東海地震の予知手法に関する勉強会」を開催した。平
22 成 21 年 8 月の駿河湾の地震（M6.5）が発生した際の教訓から、「東海地震観測情報」という名称を
23 「東海地震に関連する調査情報」に修正した。

24 気象庁は、平成 19 年度から噴火警戒レベルを順次導入し、これまでの火山噴火活動の情報から地
25 域の防災対応に結びつけた情報を発表し始めた。平成 22 年度末には全国 29 火山に導入されている
26 噴火警戒レベルは、本計画で解明された火山噴火現象に関する知見を活用するとともに、秋田駒ケ
27 岳（秋田県）、新潟焼山、焼岳および伊豆東部火山群で作成した噴火シナリオも利用されて策定され
28 ている。海上保安庁は、船舶の安全航行確保のための航行警報による情報提供を行っている。

29 本計画で解明されたマグマ貫入により発生する伊豆東部の群発地震活動の規模、継続期間などを
30 地殻変動の観測データをもとに予測する手法を地震調査研究推進本部地震調査委員会がとりまとめ
31 た。これに基づき、気象庁はこの地域における地震活動に関する予測情報を発表することを開始し
32 た。また、マグマが関与する現象であることから、噴火警戒レベルの発表も連携しておこなうこと
33 とした。

34 大学及び関係機関は、それぞれの研究成果を、一般公開、講演会、ホームページで積極的に公開
35 し、研究成果の社会還元を行っている。また、小・中学校や高校への出前授業や、スーパーサイエ
36 ンスハイスクール事業への協力を行い、地球科学の知識普及だけでなく、地震防災・火山防災に関
37 する知識普及も行っている。北海道大学では地域防災情報支援室を設置、東京大学地震研究所では
38 広報アウトリーチ室を設置し、名古屋大学では、地域の地震等の災害軽減に貢献する組織として減
39 災連携研究センターを設置した。防災科学技術研究所では、アウトリーチ・国際研究推進センター
40 を設置した。海洋研究開発機構では、地震津波・防災研究プロジェクトを立ち上げ、地域の中学校
41 や高校への出前授業等アウトリーチ活動によって地震防災に関する知識の普及を行っている。

42 43 4. 2. 今後の展望

44 （１）計画を推進する体制の強化

1 (観測研究計画推進委員会の充実及び関係機関の役割の明確化)

2 観測研究計画推進委員会は、2011 年東北地方太平洋沖地震の発生後に、本計画で不足していた基
3 礎的研究を提示し、研究計画を見直すように地震火山部に提言した。地震火山部は、その提言
4 を踏まえ、測地分科会に報告し、本計画の見直しが行われた。このように、超巨大地震が発生する
5 という有事に際して研究計画を速やかに変更できたことは、本計画の研究推進体制が良好に機能し
6 ていたことを示している。今後もこの体制を維持し、その機能を一層強化すべきである。平成 21
7 年度より、地震予知研究と火山噴火予知研究を統合したため、観測研究計画推進委員会が行う研究成
8 果の取りまとめ等の作業が倍増した。しかし、委員会の陣容は地震予知研究のみを対象としていた
9 平成 20 年度までとそれほど変わっていない。同委員会の体制の強化が必要である。

10 本計画において、大学、研究機関、官庁の役割分担が明確になされており、それにより本計画が
11 順調に推進されている。地震・火山現象を理解し、その発生を予測するためには、継続的な観測と
12 それを実現する体制の整備が引き続き必要であり、今後も関係機関が役割分担をしつつ、観測と体
13 制の整備に努めることを期待する。

14 本計画の基礎的な観測研究を全国の大学が連携して実施するためには、地震・火山噴火予知研究
15 協議会の機能が不可欠であり、引き続きその機能の充実をはかる必要がある。特に、地震予知研究
16 と火山噴火予知研究が統合され、ひとつの研究計画としては参加する研究者数が増え、研究課題も
17 増加したことから、地震・火山噴火予知研究協議会の役割が一層重要となっている。

18 (地震調査研究推進本部が策定する新しい総合的かつ基本的な施策への反映)

19 本計画と地震調査研究推進本部及び地震予知連絡会は、今後も明確な役割分担のもとで、互いに
20 連携を強める必要がある。地震調査研究推進本部の基盤的調査観測網とそのデータは、本計画に必
21 要不可欠なものである。今後も、その一層の充実がはかられることを期待する。特に、海域におけ
22 る観測の充実を切に期待する。また、今後も本計画の成果が、地震調査研究推進本部の施策の立案
23 等に積極的に活用されることを期待する。

24 地震発生や火山噴火の予測は、研究途上であり実用化されていない。今後も、本計画によるボト
25 ムアップ研究による自由な発想による多様なアプローチと、地震調査研究推進本部が実施する有望
26 な研究へのトップダウンによる推進が、ともに協調しながら研究を推進することが重要である。

27 (火山観測網の整備と火山観測研究の充実、火山噴火予知連絡会の機能強化)

28 火山噴火予知連絡会は、火山活動の評価だけにとどまらず、関連機関の役割分担の調整や、関連
29 機関の協力体制の構築の役割を担っている。これは地震調査研究推進本部が地震予知研究に果たし
30 ている役割に匹敵する極めて重要な機能である。しかし、現在は気象庁長官の諮問機関と位置付け
31 られ、その活動に比べて体制は十分とは言えない。我が国の火山防災及び減災対策を充実するため、
32 その体制と機能を一層強化することが必要である。

33 火山活動の監視が当面必要な 47 火山に、気象庁が観測施設を整備できたことは、これまでの観測
34 体制を考えると大きな前進と言える。今後も監視観測体制の強化が求められる。防災科学技術研究
35 所は、6 火山に基盤的火山観測施設を整備したが、火山観測体制の一層の充実のためには観測施設
36 の増設、整備後 10 年以上経過した観測機器の更新、電源や通信機能強化など一層の観測体制の充実
37 が必要である。また、火山データの流通及び公開に関わるシステムの維持管理体制を整える必要が
38 ある。大学は、法人化以降予算面や人員面で厳しい状態が続き、観測設備は老朽化している。その
39 観測点の一部は火口近傍に設置され、研究面だけでなく防災面においても極めて重要な役割を果た
40 しているので、観測設備の更新及び高度化が急務である。また、観測研究の推進には、噴火活動に
41 即応して機動的な観測を実施するとも重要であり、その設備や人員の配置も望まれる。

42 火山災害の軽減のため、火山噴火予知研究の推進とその成果を取り入れた防災情報の高度化が求
43 められる。そのため、観測体制の一層の強化が必要である。関係機関が連携して、今後も火山観測
44 体制の整備を一層進めることを期待する。

1
2 **（２）基礎的な観測研究体制の強化**

3 本計画のうち、全国の大学が連携して行う研究については、地震・火山噴火予知研究協議会が主
4 導して実施している。東京大学地震研究所が３つのサイエンスマネジメントセンターを設置した
5 ことにより、全国の大学の連携の強化、大規模な観測の実施、全国規模での観測データの流通によ
6 り、地震・火山研究分野における我が国全体の研究活力の向上を目指すことが期待される。また各
7 大学における部局附属の研究センター等においても、それぞれ特色を持った研究組織として、研究
8 を進めることが期待される。

9
10 **（３）計画を推進するための予算的措置**

11 防災科学技術研究所が運営する Hi-net、F-net、K-NET、KiK-net の地震基盤観測網および基盤的
12 火山観測網、国土地理院が運用する GPS 観測網である GEONET は、本研究の推進のために極めて重要
13 である。そのため、耐用年数を向かえる機器の更新が遅滞なく行われることを含め、観測機器の精
14 度維持・機能向上が堅持される予算措置を期待する。また、両機関が維持管理しているデータの保
15 管、流通、公開に関するサーバーシステムの耐震化や長期間の停電対策などを図り、安定した運用
16 を期待する。

17 2011 年東北地方太平洋沖地震の発生で、海溝付近のプレートの固着や地殻構造、地震活動や地殻
18 変動の研究が不足していたことが明らかになった。この分野の研究を推進するため、海域における
19 地震・地殻変動観測の充実を強く期待する。

20 陸域観測技術衛星 ALOS は耐用年限が経過し、その機能を停止した。この衛星による観測は、本計
21 画の推進に大いに活用されてきた。早急に新たな地球観測衛星の運用が開始され、今後も衛星が継
22 続して打ち上げられるように予算措置を期待する。

23 大学の地震及び火山噴火予知の研究経費を、共同利用・共同研究拠点の機関で一括して管理する
24 ことになったことにより、年度ごとに研究費を重点的に配分する研究課題を調整でき、これまで単
25 独の大学・機関では困難であった大型研究が実施できるようになった。このような柔軟に研究計画
26 に対応できる予算システムは研究の推進には極めて有効であり、今後も継続するとともに一層充実
27 することが期待される。

28 大学は、法人化以降予算面や人員面で厳しい状態が続くとともに、観測設備は老朽化し、研究環
29 境が悪化している。特に、規模の小さな大学の観測センターではこの問題が深刻である。本研究の
30 中核となる共同利用・共同研究拠点がこれに十分に配慮するとともに、地域防災の観点から、国や
31 地方自治体も、地方にある大学の観測センターの観測設備の更新に配慮することを期待する。

32
33 **（４）人材確保、特に若手研究者の育成**

34 大学では人材育成が積極的に行われているが、地震・火山研究分野の大学院生の数は長期的に減
35 少する傾向にある。また、大学院を修了した若い研究者が、すぐには恒久的な職に就けないと言う
36 問題がある。地震・火山噴火予知研究協議会のワーキンググループの分析では、大学院生の減少は
37 若手研究者の就職が困難であることを知った学生が進学することに躊躇することに起因し、若手研
38 究者の就職問題と密接に関係している。つまり、若手研究者が就職するポストが増えないというこ
39 とが問題の根源にある。これは他の研究分野でも共通の問題であり、解決には研究者のポストを増
40 やす努力を続けることは勿論である。一方で、若手人材を社会のより広い分野へ積極的に送り出す
41 努力が必要である。また、大学院修了者を有期雇用研究者として雇う場合には、人材育成の観点か
42 ら職務専念義務を弾力的に運用し、若手研究者に自由な研究の機会を与え、研究活動を支援するこ
43 とを推し進める必要がある。

44 国民の地震及び火山災害の軽減のためには、国の防災機関、研究機関だけでなく地域防災に関わ

る地方自治体に、地震及び火山に関する高度の知識を有する専門家を配置する必要がある。そのため、防災機関や研究機関では、選考採用制度を活用し、若手人材を確保することを期待する。また、特徴的な地形や地質構造を実地で地学教育することを目指した「ジオパーク」では、その地形や地質の形成に結びついた地震や火山の防災教育も大きな柱となっている。そのため、地震学及び火山学の専門教育を受けた若手人材は、その担い手として期待されている。「ジオパーク」の活動を支援するとともに、そこに若手人材を送り込む努力も必要である。

2011年東北地方太平洋沖地震の発生により、海域での地震及び地殻変動観測と研究の重要性が再認識された。今後は、海域観測施設の整備に併せて、研究者だけでなく技術者を含めて、この分野の人材が充実されることを期待する。

(5) 国際共同研究・国際協力の推進

個々の大学や関係機関で共同研究、国際協力は進んでいるが、大学及び関係機関を越えて日本の地震及び火山研究者全体の組織的な連携・協力という観点で、一層積極的な取り組みが求められる。特に、大学等で行われている国際共同研究の多くは、研究者間の個人的なつながりで行われており、その研究者が異動や退職すると、共同研究も途絶えることが多い。協力関係の構築に長年の努力が費やされてきたことを考えると、国家的な損失であると言える。研究コミュニティ全体が協力し、長期的な国際共同研究や国際協力を推進する仕組みと、それを支援する仕組みの確立が急がれる。

2011年東北地方太平洋沖地震のようなプレート境界で発生する超巨大地震や、カルデラ形成を伴う極大噴火などの低頻度大規模現象を正確に把握するためには、国際協力によるグローバルな観測と研究体制が不可欠である。国際測地学協会（IAG）が進める全地球測地観測システム（GGOS）や国際VLBI事業が進めるVLBI2010のような次世代のグローバル測地観測体制に、震災を経験した我が国が率先して取り組んでいく必要がある。

(6) 研究成果の社会への還元

大学や関係機関では広報活動が活発に行われ、気象庁でも地震や火山の防災情報の高度化がはかれるなど、各機関は研究成果の社会への還元には努力している。しかしながら、東北地方太平洋沖地震で大きな被害を生じた要因のひとつに、地震及び津波予測の限界を社会に十分に周知できていなかった事もあると思われる。今後は、大学と関係機関は防災に関する専門家と連携し、住民や行政機関と向き合い、地震や火山の研究の現状を説明するとともに、地震や火山の災害について一層のアウトリーチ活動を推進する必要がある。研究成果や防災対策をわかり易く継続的に伝える人材として、知識と経験が豊富な定年後の研究者に協力をお願いする制度の設立も検討に値する。国が実施している「火山防災エキスパート」制度を参考に、多様な広報活動の手段を常に模索してゆくべきである。国民に対して、地震予知・火山噴火予知研究の成果をわかり易く継続的に伝えることは、地震や火山災害から逃れられない我が国の立地を考慮すると、極めて重要である。

国民の地震及び火山災害を軽減するには、研究成果の公開にとどまらず、その成果を実際の防災・減災に役立てる社会実装の取り組みにも一層努力すべきである。例えば、緊急地震速報は今回の超巨大地震でその有効性が実証されたが、その限界も示された。国により同様のシステムを津波警報に導入する取り組みも進められている。本計画の最新の研究成果を取り入れて、これらを一層高度化することで国民に成果を還元するなどの努力を怠ることは許されない。本計画に参画する研究者は、研究成果の公表だけでなく、その社会還元にも一層努力する必要がある。