

「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 (I～VI章)

## 目次

|                                      |    |
|--------------------------------------|----|
| I. 前書き                               | 1  |
| II. 「地震及び火山噴火予知のための観測研究計画」の基本的な考え方   | 2  |
| III. 「平成 23 年東北地方太平洋沖地震」             | 3  |
| 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. 今後の展望                             |    |
| 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     |    |
| 1. 主な地震                              | 7  |
| (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                            | 10 |
| (1) 桜島                               |    |
| (2) 霧島山 (新燃岳)                        |    |
| V. 観測研究計画の実施状況                       |    |
| 1. 地震・火山現象予測のための観測研究の推進              | 12 |
| (1) 地震・火山現象のモニタリングシステムの高度化           | 12 |
| (2) 地震・火山現象に関する予測システムの構築             | 15 |
| (2-1) 地震発生予測システム                     | 15 |
| (2-2) 火山噴火予測システム                     | 18 |
| (3) 地震・火山現象に関するデータベースの構築             | 20 |
| 2. 地震・火山現象解明のための観測研究の推進              | 22 |
| (1) 日本列島及び周辺域の長期・広域の地震火山現象           | 22 |
| (2) 地震・火山噴火に至る準備過程                   | 26 |
| (2-1) 地震準備過程                         | 26 |
| (2-2) 火山噴火準備過程                       | 31 |
| (3) 地震発生先行・破壊過程と火山噴火過程               | 33 |
| (3-1) 地震発生先行過程                       | 33 |
| (3-2) 地震破壊過程と強震動                     | 36 |
| (3-3) 火山噴火過程                         | 38 |
| (4) 地震発生・火山噴火素過程                     | 41 |
| 3. 新たな観測技術の開発                        | 44 |
| (1) 海底における観測技術の開発と高度化                |    |
| (2) 宇宙技術等の利用の高度化                     |    |
| (3) 観測技術の継続的高度化                      |    |
| 4. 計画推進のための体制の強化                     | 48 |
| 4. 1 実施状況及び成果                        | 48 |

|                      |     |
|----------------------|-----|
| 4. 2 今後の展望           | 5 1 |
| VI. 総括的評価            |     |
| 1. 現行計画策定までの経過       | 5 4 |
| 2. 平成 23 年東北地方太平洋沖地震 | 5 5 |
| 3. 現計画の成果と課題         | 5 7 |
| 4. 現計画の総括的評価と今後の展望   | 6 4 |
| 5. まとめ               | 6 7 |

## 1 I. 前書き

プレートの沈み込み帯に位置する我が国は、世界有数の地震火山国である。これまで多くのプレート境界地震や内陸地震が発生し、たびたび地震災害に見舞われてきたが、なかでも平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震では地震に伴って巨大な津波が発生し、多くの尊い人命が失われた。一方、火山噴火も有史以来しばしば発生し、地域社会に甚大な被害を与えてきた。先史時代にはカルデラを形成するような巨大噴火も発生している。

このため、地震及び火山噴火予知の実現とそれによる災害の軽減は社会的な要請であり、昭和40年度から地震予知計画が、また、昭和49年度から火山噴火予知計画が、それぞれ測地学審議会(現在の科学技術・学術審議会測地学分科会)の建議に基づき複数次の計画として実施されてきた。この間、平成7年(1995年)兵庫県南部地震による阪神・淡路大震災を契機に、地震防災対策特別措置法に基づき地震調査研究推進本部が発足し、地震防災に資する地震調査研究を政府が一元的に行う体制が整備された。その中で、地震予知のための観測研究は当面推進すべき施策の一つとして位置づけられた。また、前兆現象の検知のみに基づく地震予知は困難であるとの認識がなされ、平成11年度には、地震発生に至る全過程を理解することにより地震発生予測への道筋を開くことを基本方針とする「地震予知のための新たな観測研究計画」が策定され、平成20年度まで2回の5カ年計画として実施された。一方、火山噴火予知研究については、平成20年度までに計7回の5カ年計画が実施され、適切な観測体制が取られた火山では、噴火時期をある程度予測できるようになった。しかし、噴火の様式や規模等の噴火推移予測については経験則に基づく予測が成立する場合を除き困難である。

このような状況の中で、平成20年度に「地震及び火山噴火予知のための観測研究計画の推進について」が建議され、平成21年度から地震予知研究と火山噴火予知研究を統合した観測研究が新たに開始された。その基本的考え方は、II章で述べるとおりである。

ところが、この新たな研究計画の成果が上がりつつあった平成23年3月に東北地方太平洋沖地震が発生した。この地震はマグニチュード9.0の超巨大地震であったが、その発生を予測することはできなかった。また、この地震発生後は広域で顕著な余効変動が継続しており、列島規模の応力場の変化により新たな大地震や火山噴火が発生する可能性もある。これらを踏まえ、現在進行中の現象を的確に捉える観測研究をすみやかに実施して、超巨大地震の発生機構や超巨大地震の発生に起因する現象の解明を行うため、科学技術・学術審議会測地学分科会は、現行の「地震及び火山噴火予知のための観測研究計画」の見直しを行っている。

本レビューは、本来は現行計画を対象としたものであるが、東北地方太平洋沖地震の発生を踏まえて超巨大地震の発生予測の観点からも検討を行い、次期計画の策定を視野に入れて総括的自己点検評価を行うものである。このため、III章では東北地方太平洋沖地震について特別に取り上げ、その地震像についての現在の理解と今後に向ける課題をまとめる。また、IV章では、東北地方太平洋沖地震以外の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を述べる。前回のレビュー以降の実施状況とその成果については、研究計画の項目ごとに今後の展望も含めV章にまとめる。さらに、VI章では計画全体を総括的に評価し、今後の進むべき方向等を展望する。

測地学分科会地震火山部会の下に設置された観測研究計画推進委員会は、計画全体の進捗状況を把握し、関係機関における観測研究の成果を年次報告として取りまとめて公表してきた。今回のレビューは、平成19年度以降の地震予知研究と火山噴火予知研究の進捗状況について、同委員会で取りまとめを行った年次報告や関係各機関に対し提出を求めたレビュー資料等を基礎として、同委員会での検討を経て、地震火山部会が取りまとめたものである。

## II. 「地震及び火山噴火予知のための観測研究計画」の基本的な考え方

地震発生と火山噴火活動は、海洋プレートが日本列島下に沈みこむ際に生じる地殻・上部マントルの構造不均質と力学的・化学的不安定が原因である。このように、地震及び火山噴火は同じ地球科学的背景を持った自然現象であり、それぞれの現象に共通の場の理解を深める必要性が強く認識されるようになった。このため、地震予知研究と火山噴火予知研究のこれまでの成果に基づいて、新たに両研究が連携して実施できるように、二つの計画を統合した「地震及び火山噴火予知のための観測研究計画」が、平成21年度から平成25年度までの5か年計画として策定された。その基本的な考え方は以下のとおりである。

近年の研究の進展によって、海洋プレートの沈み込みと巨大地震の発生、マグマの発生と蓄積・移動、内陸の大地震の発生を、一連の現象として実証的に研究することがより現実的な課題となってきた。したがって、地震予知研究と火山噴火予知研究で共通の課題を設定して共同で観測研究を実施する。また、両者には、共通の測地学的・地震学的手法で観測して研究することのできる対象が多い。我が国には、世界に類を見ない高密度な地震・地殻変動の基盤的観測網が整備されており、これらの研究資源を地震及び火山現象のいずれの観測研究にも有効に活用する。

また、地震予知研究計画では、これまで、地震発生に至る全過程を理解するための研究を推進し、その成果に基づく地殻活動予測シミュレーションモデルとモニタリングシステムの開発を計画の基本としてきた。本計画でもこの方針を引き継ぎ、予測科学的視点をより重視する。地震と同じ地球科学的背景を持つ火山噴火についても、同様に予測科学的視点を取り入れた研究を推進し、「予測システムの開発」を志向する。

その一方で、地震予知研究と火山噴火予知研究では、対象とする現象が一方は岩石の脆性破壊、他方はマグマの流出と爆発的破壊であることから、発生予測の戦略や実現の到達度において各々異なる。したがって、両者を統合した本計画においても、これらの違いを踏まえて、効率的で効果的な研究を推進する。

上記のような基本的な考え方に基づいて、これまでの地震予知研究と火山噴火予知研究の成果を十分に生かしつつ、両者を発展的に統合した計画を推進することとした。その際、到達度の評価が可能な目標を設定し、その目標に向かって段階的に計画を進めることが必要である。さらに、予知の実現という最終目標に至る研究の過程で得られる知見も、地震や火山噴火に対する防災や減災に有益であることから、研究の成果は積極的に社会に発信していく必要がある。

このような考え方に従い、本計画では、「予測システムの開発」をより明瞭に志向した研究に重点を置くこととし、以下の4項目を柱として推進している。(1)地震・火山現象予測のための観測研究。(2)地震・火山現象解明のための観測研究。(3)新たな観測技術の開発。(4)計画推進のための体制の強化。このうち、(1)では、地震・火山現象のモニタリングシステムをさらに発展させ、そのデータを用いて地震・火山現象の推移予測を行うための予測システムを開発する。さらに、データベースを構築して情報の統合化を図る。(2)では、予測システムの開発の基礎となる、日本列島及び周辺域の長期・広域の地震・火山現象、地震及び火山噴火に至る準備過程、地震発生先行・破壊過程と火山噴火過程、地震発生・火山噴火素過程の解明のための観測研究を推進する。(3)では、地震・火山現象やその発生に至る過程に伴う地殻現象を高精度で検出するため、海底における観測技術の開発をはじめとして、地下の状態のモニタリングや噴火活動域における観測技術の高度化、宇宙技術等の利用の高度化を進める。(4)では、計画を一層効果的に推進できる体制の整備や、観測研究プロジェクトを立案・推進するための広く開かれた仕組みの整備を図る。また、成果を社会に効果的に提供するなど、地震・火山噴火災害軽減に関する社会的要請にこたえるよう努める。

### 1 III. 2011年(平成23年)東北地方太平洋沖地震

#### 3 1. 本震

4 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  
5 との境界の南北約500km、東西約200km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  
6 (M)9.0の「平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震」が発生した。この地震の規模は我が国  
7 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。  
8 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  
9 強を観測した。

10 この地震により、東北地方の太平洋岸は最大で約5m東に動き、また最大約1m沈降したことが  
11 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  
12 31m東南東に動き、また約5m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  
13 震震源近傍の海溝陸側斜面が東南東方向に約50m、上方に約7m移動したと推定されている。これ  
14 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  
15 レート境界浅部では最大50m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  
16 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。

17 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  
18 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  
19 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。

20 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  
21 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。  
22 津波の高さは場所によっては10mを超えたと推定されており、最大遡上高は約40mに達し、また  
23 海岸から内陸に最大約6kmまで浸水し、甚大な被害が発生した。

#### 25 2. 余震・誘発地震・余効変動

26 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  
27 (M7.4)と茨城県沖(M7.6)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  
28 た。また、4月7日に逆断層型地震(M7.2)と7月10日に横ずれ断層型地震(M7.3)がスラブ内で  
29 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。

30 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  
31 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  
32 のデータを解析したところ、本震前の剪断応力は20MPa程度と極めて小さな値が見積もられた。し  
33 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  
34 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  
35 さいことを意味する。

36 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)、  
37 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  
38 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  
39 活発化した。今回の地震に伴う応力変化は東北地方でも1MPa程度以下に過ぎないが、発生する地  
40 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  
41 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  
42 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  
43 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  
44 らに活発化する可能性がある。

1 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  
2 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  
3 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  
4 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  
5 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  
6 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。

### 8 3. 本震に先行した活動

9 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  
10 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  
11 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  
12 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  
13 ていた可能性がある。

14 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  
15 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  
16 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値は小さかったこともあり、特に異常  
17 と考えなかった。地殻変動観測と地震観測データの詳細な解析により、本震の破壊開始点に向かっ  
18 て前震の余効滑りが拡大したことが明らかになった。この前震の余効滑りはMw7.0相当とかなり大  
19 きいため、これが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  
20 ータで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  
21 発生し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  
22 グニチュード (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  
23 いることから、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。

24 前述のとおりこの前震活動を含む領域ではb値は常に小さいが、長期的に見て次第に減少してき  
25 た傾向が見られ、特に5年程前から明瞭に低下していた。また、この頃から地球潮汐による応力変  
26 化と地震活動に明瞭な相関が現れていた。これらのことから、本震の破壊開始点近傍にひずみが溜  
27 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。

28 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  
29 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  
30 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 (M9.1) や2010  
31 年のチリ地震 (M8.5) に適用すると同様の現象が見られた。

### 33 4. 過去の巨大地震とテクトニクス

34 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  
35 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)  
36 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  
37 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  
38 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  
39 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  
40 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  
41 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  
42 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  
43 が必要である。

44 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

1 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  
2 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、  
3 巨大地震のあとに、陸域の下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  
4 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  
5 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  
6 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  
7 らない。

## 9 5. マグニチュード9の地震規模に達した理由

10 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  
11 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  
12 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  
13 ろうか。

14 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  
15 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  
16 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  
17 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  
18 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  
19 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  
20 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  
21 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  
22 でいたとする考え方もある。

23 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  
24 も含めて、今後検討する必要がある。

## 26 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

27 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  
28 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  
29 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  
30 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  
31 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  
32 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  
33 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  
34 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。

35 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  
36 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  
37 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  
38 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  
39 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  
40 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  
41 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  
42 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  
43 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  
44 が困難であった。

1 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  
2 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  
3 ったのかのいずれかを示しているが、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  
4 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。また、  
5 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  
6 回のような地震の発生を予見できなかった理由である。

7 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  
8 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  
9 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  
10 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  
11 代的なデータだけでは不十分であった。

## 12 13 7. 今後の展望

14 自然災害は、ハザードとしての自然現象と社会の脆弱性の相乗効果として生じる。このハザード  
15 を正しく理解し、その予測を行うことが本研究の目指すところである。しかし、スマトラ沖や東北  
16 地方太平洋沖で超巨大地震が発生すると考えていた研究者は、世界的に見ても少数であり、データ  
17 も限られていたことから検証が十分ではなかった。このような状況を打破するためには、超巨大地  
18 震が生じる可能性の有無を、世界中のあらゆる沈み込み帯において十分に検討していかなければな  
19 らない。超巨大地震の発生ポテンシャルと発生サイクルを正しく評価し、減災に役立てるためには、  
20 まず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し、  
21 また過去の履歴調査や構造探査から特徴を抽出する必要がある。さらに今回の震源域以外の領域で  
22 も海溝付近の観測網を充実させて滑り欠損の状況を把握し、また地質調査により長期の地震活動履  
23 歴を明らかにしてゆく必要がある。津波被害の軽減のためには、海底津波観測網の充実が重要であ  
24 る。

### 25 (超巨大地震発生機構の解明)

26 今回の地震において海溝付近で50 mにも及ぶ巨大な滑りが生じた理由や、震源域が巨大となった  
27 理由について、いくつかの仮説が提案されている。これらの検証を今後進め、今回の超巨大地震の  
28 発生に至る過程を正しく理解する必要がある。この理解に基づき、これまでの単純なアスペリティ  
29 モデルに固執することなく、長期的な活動履歴を説明できるような柔軟なモデルを構築する必要が  
30 ある。具体的には、構造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  
31 実施し、観測データと比較することにより、プレート境界における地震の多様性や階層性について  
32 の理解を深めていくことが重要である。

### 33 (低頻度大規模地震の理解)

34 超巨大地震の準備過程は、地球物理学的データが得られている期間よりも長期に渡っている可能  
35 性が高いことに注意する必要がある。このような極めて低頻度で生じる現象の理解のためには、古  
36 地震調査をこれまで以上に充実させる必要がある。また、超巨大地震は、まれにしか発生しないた  
37 め、海外の超巨大地震について、国際協力に基づく研究を推進することが重要である。さらに、こ  
38 のような低頻度の現象を予測するための統計的手法の開発も行う必要がある。

### 39 (長期的な余効変動の解明)

40 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  
41 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  
42 可能性があるのかを推定するうえで重要な情報となる。特に地震発生直後は、変動速度が最も大き  
43 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  
44 行い、後年のデータと比較するための基礎データを取得することが必要となる。

1 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、  
2 現時点まででは深部の余効滑りが顕著ではない。このままでは海岸部が元の高さに戻りそうもない  
3 ことをどう理解すればよいのかが重要な問題となるため、海域及び陸域における地殻変動観測の充  
4 実は極めて重要である。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  
5 の地震の全貌を把握するためには、長期にわたるデータの蓄積が本質的に必要であることを認識し  
6 て観測を実施しなければならない。

#### 7 (誘発活動の解明)

8 今回のM9の地震の発生により、列島規模で応力場が変化し地震活動が広域に活発化した。このよ  
9 うな誘発された現象と、本震と余効すべりに伴うひずみと応力の変化を比較することにより、内陸  
10 の非弾性変形と地震発生過程を詳細に検討することは、内陸地震の発生モデルを発展させるうえで  
11 極めて重要である。

#### 12 (ひずみの蓄積・解消過程の解明)

13 今回、海溝付近で大きな滑りが生じたことが明らかになっている。このような地震時に大きな滑  
14 りを生じる可能性のある場所が他にも存在するかどうかを、海溝軸に沿った滑り遅れの分布から推  
15 定することが重要である。そのためにはまず、海溝軸近傍での海底地殻変動観測を多点で行うこと  
16 が極めて重要である。

17 海溝付近で滑り遅れが生じる原因と、ひずみエネルギーの解消過程を理解するためには、分岐断  
18 層の分布や滑り履歴調査も含めた多面的な研究が必要であり、このためには、特に浅部の高解像度  
19 構造探査ならびに多点ボーリング調査や、海溝軸近傍での深部ボーリング調査が有効であると考え  
20 られる。また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重要である。

#### 21 (先行現象の解明)

22 今回の地震では前震活動が見られ、その余効すべりが最終的な破壊のきっかけとなったと考えら  
23 れるが、これまで実験や数値シミュレーションで示されていたような、時間とともに加速していく  
24 破壊核形成過程は捉えられていない。これが今回の地震の震源域のように小地震活動も活発な領域  
25 で特有の現象なのか、それとも本質的に破壊核は小さいのか、それとも破壊核形成モデルが自然地  
26 震には適用できないのかについて、今後検討していく必要がある。前述の通り、今回の地震に先行  
27 した現象がいくつか見つかっているが、それらが超巨大地震の発生と因果関係があったかどうか  
28 について、他の超巨大地震の前の状況や何もイベントの無い時期のデータとの比較から十分に検討し  
29 ていかなければならない。また、こうした観測データの解析だけでなく、物理的メカニズムを明ら  
30 かにするための数値実験やアナログ実験、理論的考察なども重要である。

#### 31 (津波予測の高度化)

32 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  
33 必要である。特に、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  
34 有効であることが明らかになっており、海底観測の技術開発を一層推進する必要がある。さらに、  
35 得られたデータの即時処理を含め処理技術の高度化が重要である。

## 38 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

### 40 1. 主な地震

#### 41 (1) 2007年(平成19年)能登半島地震

42 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、  
43 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拡  
44 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

1 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  
2 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  
3 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  
4 の平均滑り量は 1.1 m、Mw6.6、破壊継続時間は約 9 秒であると推定された。

5 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  
6 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  
7 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  
8 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  
9 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  
10 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  
11 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  
12 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  
13 いることが明らかとなった。

14 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  
15 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  
16 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  
17 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  
18 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  
19 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  
20 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。

## 21 (2) 2007 年(平成 19 年)新潟県中越沖地震

22 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  
23 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  
24 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  
25 ータ・強震動記録による本震の滑り量分布の推定や、海陸合同の高密度な観測網による精密な余震  
26 分布や地下構造等の解析がおこなわれた。

27 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。  
28 多くの余震は南東に傾斜する面に沿って分布しているが、破壊開始点(震源域北東部)の近傍では  
29 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  
30 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、  
31 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  
32 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すること  
33 がわかった。また、海域での構造探査によると、震源域北西側には南東傾斜の逆断層運動によって  
34 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。

35 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  
36 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  
37 とが見出された。さらに、高密度な余震観測網により極めて高い空間解像度で推定された地震波速  
38 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  
39 いることが明らかとなった。

40 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  
41 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  
42 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  
43 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  
44 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

1 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、  
2 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。

3 地質調査や地震波トモグラフィ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  
4 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  
5 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。

### 6 (3) 2008年中国四川地震

7 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  
8 した。震源断層は、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-  
9 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  
10 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とは推定され  
11 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  
12 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~  
13 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  
14 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9mであると推  
15 定された。

16 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  
17 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  
18 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  
19 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  
20 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  
21 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  
22 形状や断層の滑り分布の推定に利用された。

### 23 (4) 2008年(平成20年)岩手・宮城内陸地震

24 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  
25 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、両市を中心に大きな被害が生じた。  
26 大学と防災科学技術研究所は、本震直後から震源域直上とその周囲の岩手県南部から宮城県北部の  
27 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  
28 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  
29 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  
30 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  
31 の結果は、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  
32 断層として再活動して今回の地震を生じさせた可能性を示している。

33 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  
34 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  
35 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  
36 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  
37 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  
38 厚さは17~31kmの範囲にある。

39 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  
40 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  
41 った。また、広域の地震波速度構造の探査から、震源域直下の下部地殻から最上部マントルに顕  
42 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  
43 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、  
44 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

1 ニズムを研究する上で、重要な成果である。

2 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  
3 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  
4 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、  
5 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  
6 収集された。

## 7 (5) 2009年駿河湾の地震

8 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、  
9 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  
10 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  
11 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  
12 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  
13 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  
14 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  
15 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  
16 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。

17

## 18 2. 主な火山噴火

### 19 (1) 桜島

20 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  
21 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  
22 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  
23 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  
24 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  
25 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  
26 月までは低下したと考えられる。

27 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  
28 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  
29 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  
30 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か所  
31 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  
32 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。

33 昭和火口から約2.4km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 $\mu$ galの  
34 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  
35 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。

36 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  
37 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  
38 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  
39 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  
40 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  
41 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  
42 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  
43 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  
44 明してゆくことが極めて重要である。

## 1 (2) 霧島山(新燃岳)

2 新燃岳(宮崎県・鹿児島県)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  
3 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  
4 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  
5 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、  
6 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  
7 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  
8 うえで極めて重要である。

9 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100~200mのボアホール型地震計と  
10 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  
11 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  
12 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  
13 移動の定量的な推定に極めて有用であった。

14 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、  
15 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  
16 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  
17 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  
18 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7~8kmの地下約10km  
19 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  
20 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  
21 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  
22 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  
23 いた。

24 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  
25 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  
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  
27 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  
28 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  
29 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  
30 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、  
31 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  
32 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  
33 万 $m^3$ のマグマが噴出したと見積もられた。

34 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  
35 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  
36 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  
37 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10kmのマグマ  
38 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  
39 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  
40 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  
41 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  
42 れる。

43 この一連の噴火は、他の火山も含めて異常現象や小規模噴火がしばしば発生している火山におい  
44 て、大規模噴火に至るか予測することや、火山防災・減災に役立てるために解決すべき問題を具体

1 的に明らかにした。最初に挙げるべき点は、マグマ蓄積から噴火に至るまでの火山噴火準備過程に  
2 ついての理解が不足していたことである。GPS 観測により 2009 年 12 月から始まった深部のマグマ  
3 蓄積は認識されていたが、噴火に至るのか、噴火するとすれば霧島火山群の多数の火山のうちどの  
4 火山かについての知見が不足していた。マグマ供給系の解明を含め、噴火準備過程に関する研究を  
5 一層推進すべきである。次に挙げるべき点は、火山学的な情報の評価が不十分であったことである。  
6 2010 年 5 月から 7 月の噴火にコックスステールジェットが伴っていたことから火口浅部に高温物質の  
7 関与が推定され、5 月の火山灰中にマグマの関与を示すガラスの存在が認められたことから、マグ  
8 マ噴火に移行する可能性を事前に捉えていたと言える。これらの情報に基づき、新燃岳の噴火様式  
9 と推移の予測を目指して事前に噴火シナリオを作成し、上記の観測結果やマグマ蓄積から噴火予測  
10 の試みを行う必要があった。更に挙げるべき点は、大規模マグマ噴火の正確な予測ができなくても  
11 現象の進行を着実に把握できる調査観測体制を事前に整備しておくことである。また、それと並行  
12 して、地元自治体が火山情報を受け取る体制を整備する必要がある。大浪池山頂の監視カメラの映  
13 像によって 1 月 26 日深夜から 27 日未明に発生した噴火の状況を把握できた。また、SAR 画像等に  
14 よって火口を溶岩が埋めていく状態を把握できたことによって、準プリニー式噴火のステージがほ  
15 ぼ終了したという認識を早期に得ることができた。こうした判断・情報は自治体の防災に大きく貢  
16 献している。更に、霧島では火山砂防事業に関連して自治体の防災関係者や火山専門家を交えた検  
17 討会が開かれていた。定常的に霧島の火山活動に関する情報を受け取っていたことで、比較的冷静  
18 にマグマ噴火に対応できたと考えられる。平時からのこのような対応が、火山防災・減災に有効で  
19 あることが明らかになった。

20 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  
21 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  
22 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  
23 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  
24 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  
25 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。

26

27

## 28 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

29

### 30 1. 地震・火山現象予測のための観測研究の推進

#### 31 (1) 地震・火山現象のモニタリングシステムの高度化

##### 32 あ. 目的

33 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  
34 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  
35 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  
36 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  
37 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  
38 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で  
39 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き  
40 な意味を持っている。

##### 41 い. 実施状況

##### 42 ア. 日本列島域

43 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  
44 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

1 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  
2 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  
3 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。

4 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  
5 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  
6 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  
7 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  
8 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  
9 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。

10 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、  
11 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  
12 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。

13 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  
14 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 (北海道)、吾妻山  
15 (山形県・福島県)、三宅島 (東京都)、硫黄島 (東京都)、九重山 (大分県)、霧島山 (新燃岳) 等  
16 の活動的な火山地域について SAR 干渉解析を実施した。産業技術総合研究所は、噴火の危険がある  
17 火山について衛星に搭載された高性能光学センサ (ASTER) を用いた観測を実施した。

18 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  
19 提供した。

#### 20 **イ. 地震発生・火山噴火の可能性の高い地域**

21 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について、堆積層補正や観測点  
22 補正を実施し、併合処理を行った。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  
23 理およ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・CO<sub>2</sub> 濃度等の観測を行  
24 う深層地下水変動観測網による観測を継続した。

25 国土地理院は、樽前山 (北海道)、有珠山、北海道駒ヶ岳 (北海道)、伊豆大島 (東京都)、富士山  
26 (山梨県・静岡県)、伊豆東部火山群 (静岡県)、浅間山 (群馬県・長野県)、霧島山において、GPS  
27 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 130 km の路線において  
28 水準測量を実施した。さらに、航空機 SAR センサーにより、新燃岳等で火口の地形測量を実施した。  
29 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した。気象庁は、雌阿寒  
30 岳 (北海道)、十勝岳 (北海道)、吾妻山、草津白根山 (群馬県・長野県)、三宅島、伊豆大島、阿  
31 蘇山 (熊本県) において全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  
32 析した。防災科学技術研究所は、有珠山、岩手山、浅間山、阿蘇山、霧島山に、孔井式地震計、傾  
33 斜計、広帯域地震計、GPS 観測装置を備えた基盤的火山観測施設を整備し、観測を開始した。大学  
34 は、阿蘇山において高精度・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。

#### 35 **ウ. 東海・東南海・南海地域**

36 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  
37 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  
38 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、  
39 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  
40 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、  
41 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  
42 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  
43 は、関係機関の観測データから提供を受け、東海地域の地殻変動の監視体制を一層充実した。

#### 44 **う. 成果**

## 1 ア. 日本列島域

2 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  
3 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  
4 速度変化を検出した。

5 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  
6 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  
7 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  
8 映像が得られた。

## 9 イ. 地震発生・火山噴火の可能性の高い地域

10 宮城県沖では、2005年に発生した M7.2 の地震前後に発生した地震の発震機構解から応力場の推  
11 定を行い、震源域周辺の応力場の空間的变化が小さいことを明らかにした。また、2年間の海底圧  
12 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  
13 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  
14 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  
15 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)  
16 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  
17 年末頃からプレート間の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  
18 基づく海溝軸周辺での滑りの加速にも対応している。

19 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  
20 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。

21 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  
22 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が観測され、地震活動の予測情報の  
23 発表が試行された。その後、この地域の地震活動の予測情報は気象庁から正式に発表されるよう  
24 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。

## 25 ウ. 東海・東南海・南海地域

26 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、  
27 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  
28 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回の短期的ゆっく  
29 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回の事例では、GPS 観測データから  
30 推定された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  
31 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  
32 分も含まれることが分かった。

33 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  
34 滑りが捉えられ、その滑り域が1997年、及び2003～2004年に発生した長期的ゆっくり滑りの領域  
35 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  
36 深部低周波微動の活動に関連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、  
37 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  
38 った。

39 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  
40 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。

41 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  
42 が計測された。

43 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  
44 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

1 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  
2 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  
3 分かった。

4 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  
5 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、プレート境界固着域縁辺部で発  
6 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。

## 7 え. 今後の展望

8 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  
9 進めてきた。

10 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  
11 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  
12 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  
13 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  
14 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。

15 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、南海トラフ等の沈み込  
16 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  
17 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  
18 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  
19 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  
20 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  
21 テムを構築する必要がある。

22 2011 年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  
23 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  
24 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  
25 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  
26 制の整備も重要である。

27 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  
28 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  
29 し、今後の活動の推移予測に役立てる必要がある。

30 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  
31 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  
32 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  
33 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。

## 35 (2) 地震・火山現象に関する予測システムの構築

### 36 (2-1) 地震発生予測システム

#### 37 あ. 目的

38 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  
39 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  
40 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。  
41 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  
42 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  
43 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  
44 妥当性を評価・検証する枠組みを構築する。

## 1 い. 実施状況

### 2 ア. 地殻活動予測シミュレーションとデータ同化

3 大学は、地殻マンツルの弾性-粘弾性構造、プレート境界面の三次元的形状、断層摩擦構成則の  
4 温度依存性等を考慮した地殻活動シミュレーションモデルを用いて、1968年十勝沖地震の準静的な  
5 応力蓄積から動的破壊及び波動伝播までの解析を実施した。また、準静的な地震発生サイクルシミ  
6 ュレーションを高速化するため複数の近似計算手法の適用について検討した。さらに、不均質粘弾  
7 性媒質でのシミュレーションを行う目的で有限要素法ソフトウェアの改良を行った。

8 大学は、測地データの逆解析手法を東北日本及び西南日本のGPSデータに適用し、それぞれ北米  
9 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ート境界の  
10 固着状態を推定した。また、測地データから推定される滑り欠損の蓄積速度の分布と、固着域の分  
11 布について定量的な検討を行った。

12 大学は、地殻変動の時系列データか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  
13 し、余効滑りやゆっくり滑りのデータに適用した。

14 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  
15 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  
16 成し、データ同化の数値実験を実施した。

17 防災科学技術研究所では、GPSデータから推定された滑り欠損の蓄積速度の分布を用いた地震の  
18 動的破壊伝播のシミュレーション、及び紀伊半島や東海地域を対象としたゆっくり滑りのシミュレ  
19 ーションを実施した。

20 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  
21 と東海及び豊後水道で発生する長期的ゆっくり滑りの再現を試みた。

22 大学は、地震観測に基づく情報を予測シミュレーションに取り込むことを目的として、小繰り返し  
23 地震の抽出手法の開発及び日本列島の各地における準静的滑りの速度分布を推定した。また、地  
24 震の発震機構解から地殻内の間隙流体圧の三次元的分布を推定する手法を開発し、2009年のラクイ  
25 ラ地震（イタリア）に適用した。

### 26 イ. 地殻活動予測シミュレーションの高度化

27 大学は、地震発生予測シミュレーションの高度化のため、断層面の間隙流体圧が断層の動的破壊  
28 や地震発生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。

29 大学は、媒質の不均質性が地震発生サイクルに及ぼす影響や、陸側プレート内部における断層帯  
30 形成過程を理解する目的で、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。

31 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  
32 (AE)の統計的な性質や断層の摩擦構成則の物理機構を研究した。

33 産業技術総合研究所は、内陸地震発生予測のためのシミュレーションを試行した。

### 34 ウ. 地震活動評価に基づく地震発生予測

35 大学は、地震活動予測アルゴリズムの妥当性を評価し検証する目的で、CSEP (Collaboratory for  
36 the Study of Earthquake Predictability) と国際連携を図り、地震の発生を統計的に予測する実  
37 験を実施した。また、各地域において一定のマグニチュード以上の地震発生数を予測するモデルや、  
38 地震発生時にそれが前震であるかどうかを確率的に評価する手法を開発した。

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

## 41 う. 成果

### 42 ア. 地殻活動予測シミュレーションとデータ同化

43 南海トラフで推定された滑り欠損の蓄積速度の分布に基づいて地震の動的破壊伝播シミュレーシ  
44 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。東南海地震や南海地震の連動

1 性の再現結果は、シミュレーションに用いる摩擦パラメータのわずかな変化に強く依存することが  
2 分かった。

3 速度・状態依存摩擦法則を用いた地震発生サイクルシミュレーションにより、三陸沖のプレート  
4 境界地震の繰り返しを再現するモデルを構築した。その結果、プレート境界面の非一様な摩擦特性  
5 を推定した。南海トラフでは、地震発生サイクルシミュレーションにプレート境界面の三次元形状  
6 を導入し、非一様な摩擦特性を仮定することで、過去の地震履歴を再現できることが分かった。ま  
7 た、長期的ゆっくり滑りを含む南海トラフの地震発生サイクル全体の特徴を再現可能な数値モデル  
8 も構築された。一方、釜石沖では、同じ場所で規模の異なる地震が繰り返し発生している現象が指  
9 摘されたが、アスペリティの階層性を導入することにより、そのモデル化に成功した。こうしたモ  
10 デルを大規模化するためにはシミュレーション計算の高速化が必要である。そのためいくつかの近  
11 似計算手法を検討した結果、半無限媒質モデルにも利用可能な計算手法を見出した。

12 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の逆解析手法を開発し、  
13 東北日本及び西南日本の 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  
14 滑り欠損分布が推定された。南海トラフでは、東海から四国にかけて西側ほど滑り欠損量が大きく  
15 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  
16 が示された。

17 摩擦パラメータは予測シミュレーションにおける重要な要素である。そこで、地殻変動の時系列  
18 データから摩擦パラメータを推定するデータ同化手法を開発し、余効変動を想定した数値実験に適  
19 用した。また、2003 年十勝沖地震の余効変動データにデータ同化手法を適用して摩擦パラメータを  
20 推定した。

21 地震活動データからプレート境界の準静的滑りや応力変化をシミュレーションに取り込むことも  
22 重要な課題である。小繰り返し地震は、プレート境界における準静的滑りの定量的指標であるが、  
23 これを利用して、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を推  
24 定し、この地域のプレート間固着が弱いことがわかった。

25 間隙流体圧の推定もデータ同化の重要な対象である。そこで新たに開発された逆解析手法により、  
26 2009 年ラクイラ地震の震源域周辺における間隙流体圧分布を推定された。その結果、この地震は流  
27 体によって誘発された可能性が示された。

#### 28 **イ. 地殻活動予測シミュレーションの高度化**

29 現在、地殻活動予測シミュレーションで考慮されているのは、震源域における物理過程の一部で  
30 ある。実際には、それ以外の要素が地震の動的破壊過程や発生サイクルに大きな影響を与える可  
31 性もあるため、これらのモデル化を含むシミュレーションの高度化に向けた研究を実施してきた。

32 断層の多様な滑り様式は、摩擦熱による断層帯内の流体圧の変化、流体や熱の拡散、滑りに伴う  
33 断層帯の空隙の変化を考慮することにより理解できることが明らかになった。地震時及び地震間の  
34 間隙流体圧変化は、地震時滑り過程だけではなく、地震発生間隔などサイクル全体にも影響を及ぼ  
35 す可能性がシミュレーションにより示された。

36 三次元的な熱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  
37 形集中帯の形成を再現することに成功した。また、日本列島規模で三次元粘弾性構造を有限要素法  
38 によりモデル化し、観測されているひずみ集中帯を説明できることを示した。

39 個別要素法による断層ガウジのせん断変形のシミュレーションにより、断層帯内の微視的変形過  
40 程や摩擦の滑り速度依存性について検討した。

#### 41 **ウ. 地震活動評価に基づく地震発生予測**

42 海域を含む日本全体、日本列島の全陸域浅部、関東地方という三つの領域を設定して、CSEP の地  
43 震発生予測実験がおこなわれた。3ヶ月予測実験においては、全陸域浅部の場合には、提案された  
44 モデルの3割について CSEP の評価基準を満足したのにたいして、関東地方の場合にはすべてのモデ

1 ルについて評価基準を満たすことはできなかった。1年予測実験においては、31のモデルが検証さ  
2 れたが、全陸域浅部や関東地方を対象とするモデルに比べ、日本全体を対象とするモデルで CSEP  
3 の評価基準を満たすものが非常に少ないことが分かった。

#### 4 え. 今後の展望

5 これまでの研究により、準静的過程から地震波動生成過程も含めた地震発生サイクル全体の計算  
6 が可能になり、大地震の発生に関わる最も本質的な一連の過程を計算機内で再現できるようになっ  
7 た。このようなモデルを用いて過去の地震発生等を再現する研究を行うことにより、地震発生サイ  
8 クルやプレート境界の摩擦や破壊特性の理解が深まることが期待できる。2011年東北地方太平洋沖  
9 地震の説明を試みるモデルが複数提案され、この地震の発生過程についての議論が活発に行われた。  
10 また、断層帯の変形や間隙流体圧の変化に着目して、地震の発生機構を解明するモデルも提案され  
11 た。このように、地震発生予測を目指して開発されたモデルは、地震発生やプレート境界のすべり  
12 過程の理解を進めるために非常に有効であり、観測結果をモデルから理解する研究は今後ますます  
13 発展させていく必要がある。

14 しかしながら、現象の理解に役立つモデルが直ちに地震発生予測に結びつくわけではない。観測  
15 事実を再現するモデルを構築できたとしても、有限の観測結果を説明できるモデルは多数存在する。  
16 つまり、1つの物理モデルに対しても観測を説明可能なパラメータの組み合わせは多数存在すると  
17 考えられるし、説明が可能な物理モデルも多数存在するであろう。これは、2011年東北地方太平洋  
18 沖地震の説明を試みる複数の異なるモデルが提案されていることから明らかである。このような  
19 状況を考えると、物理モデルに基づく地震発生予測への道程は遠いことは認めなければならない。

20 当面研究を推進すべき方向は、それぞれの物理モデルについて、観測結果を説明するパラメータ  
21 をできる限り狭い領域に絞り込むことである。本計画において、いくつかのデータ同化手法を用い  
22 て、摩擦パラメータを推定することに関して一定の成果を収めている。しかしながら、これはモデ  
23 ルを極度に単純化し、ごく少数のパラメータ推定を行ったものであり、現実的なモデルへの適用可  
24 能性については不明な点が多い。地震という現象は摩擦や破壊という非線形性が強い物理現象を含  
25 むことに加えて、断層セグメント間の相互作用のように自由度が大きいことに起因する非線形性も  
26 あるために、モデルが現実的なものになるにつれてパラメータ推定が極めて困難になることは容易  
27 に予想される。さらに、断層すべりの素過程については非常に多くのモデルが提案されているが、  
28 これらのうち本質的に重要なものを選択し、大規模な予測モデルに組み込んでいくことも大きな課  
29 題である。今後、モデルやデータ同化手法の開発を進めるとともに、様々な観測データとモデルを  
30 比較することにより、より説明力の高いモデルを選び取っていくことは重要である。また、地震発  
31 生の物理過程の適切なモデル化は、物理モデルに基づく予測に本質的に重要なことは論をまたない  
32 であろう。このような当面の課題の先に地震発生予測があるが、そこにいたるまでの道筋は明確に  
33 描けているわけではないことは肝に銘じるべきである。

34 一方、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発生予測は、現状でも一  
35 定の予測性能を持っており、そうした各種予測手法の検討も重要な課題である。今後、予測実験の  
36 項目を拡充し、国際共同研究で地域毎の比較などを行っていくことにより、一層の研究の進展が見  
37 込まれる。

### 38 (2-2) 火山噴火予測システム

#### 39 あ. 目的

40 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  
41 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  
42 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  
43 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  
44 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。

## 1 い. 実施状況

### 2 ア. 噴火シナリオの作成

3 大学等は、三宅島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  
4 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  
5 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、  
6 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  
7 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  
8 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  
9 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  
10 試みている。

### 11 イ. 噴火シナリオに基づく噴火予測

12 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  
13 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。

14 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  
15 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  
16 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  
17 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  
18 を試験的に開始した。

19 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  
20 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  
21 した。

## 22 う. 成果

### 23 ア. 噴火シナリオの作成

24 三宅島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  
25 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  
26 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、  
27 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  
28 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  
29 ベルを導入する際に、噴火シナリオを活用した。

### 30 イ. 噴火シナリオに基づく噴火予測

31 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  
32 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  
33 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  
34 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  
35 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  
36 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・  
37 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  
38 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。

39 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  
40 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  
41 を検出し、モデル化に成功した。また、霧島山（新燃岳）の噴火活動においては、傾斜計の地震動  
42 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、異常変動検知システムの高度化  
43 を図った。

### 44 え. 今後の展望

1 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  
2 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  
3 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  
4 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  
5 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  
6 度が低いため、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  
7 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。

8 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  
9 が明瞭になり、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。  
10 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  
11 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  
12 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  
13 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  
14 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  
15 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  
16 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。

### 17 (3) 地震・火山現象に関するデータベースの構築

#### 18 あ. 目的

19 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  
20 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  
21 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  
22 データベースを構築する。

#### 23 い. 実施状況

##### 24 ア. 地震・火山現象の基礎データベース

25 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  
26 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  
27 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  
28 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  
29 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  
30 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  
31 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  
32 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  
33 ている。

##### 34 イ. 地震・火山現象に関する情報の統合化

35 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  
36 ベースのプロトタイプ構築を進めている。また、地殻構造や地殻活動に関する情報を集積し、統  
37 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  
38 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  
39 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  
40 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  
41 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  
42 備し公表している。

#### 43 う. 成果

## 1 ア. 地震・火山現象の基礎データベース

2 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  
3 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  
4 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  
5 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  
6 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  
7 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  
8 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。

## 9 イ. 地震・火山現象に関する情報の統合化

10 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  
11 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  
12 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  
13 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  
14 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  
15 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  
16 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  
17 スの構築に向けた第一歩として重要な試みである。

## 18 え. 今後の展望

19 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  
20 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、  
21 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  
22 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  
23 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  
24 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・  
25 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  
26 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  
27 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。

28 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  
29 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  
30 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  
31 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  
32 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  
33 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  
34 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  
35 整えることが望ましい。

36 特に本計画の期間中に、2011年東北地方太平洋沖地震や2011年霧島山（新燃岳）の噴火が発生  
37 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  
38 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。

39 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  
40 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  
41 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  
42 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  
43 頭にに入れて検討する必要がある。

44

1  
2  
3  
4  
5  
6  
7  
8  
9  
10  
11  
12  
13  
14  
15  
16  
17  
18  
19  
20  
21  
22  
23  
24  
25  
26  
27  
28  
29  
30  
31  
32  
33  
34  
35  
36  
37  
38  
39  
40  
41  
42  
43  
44

## 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、地震の発震機構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三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手法の開発を行った。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

1 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  
2 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  
3 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。

#### 4 う. 成果

##### 5 ア. 列島及び周辺域のプレート運動、広域応力場

6 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  
7 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  
8 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、  
9 これを説明するためにはアムールプレートの運動以外の要因を考える必要がある。

##### 10 イ. 上部マントルとマグマの発生場

11 日本列島の三次元 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～  
12 400 km まで沈み込んでいることが明瞭にイメージされた。また東北地方のマントル上昇流は日  
13 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  
14 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。

15 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  
16 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  
17 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などの  
18 違いに起因すると考えられる。

19 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  
20 断層は海洋プレート内のマントルにまで達している、しかもこの領域でモホ面が不明瞭となってい  
21 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  
22 紋岩へと変化していることを示しており、マントルウェッジへの水の供給に堆積物と海洋地殻の  
23 みならず海洋マントル内の蛇紋岩も関係している可能性を示唆する。

##### 24 ウ. 広域の地殻構造と地殻流体の分布

25 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  
26 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  
27 ていることがわかった。地震発生層の下限の深さを詳細に求めたところ、上記の北海道や関東の低  
28 地殻熱流量域でこの下限が深くなっており、地震活動は、これらの特異な構造による温度分布に強  
29 く関連していることが明らかになった。

30 一方、地殻内大地震の発生域における三次元地震波速度構造を詳細に検討したところ、本震の震  
31 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  
32 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  
33 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  
34 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  
35 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  
36 めと考えられる。

37 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  
38 地殻の地下 10 km 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  
39 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  
40 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。

41 長野県西部地域において、地震を引き起こす応力場と地震波速度の空間不均質性を高分解能でマ  
42 ッピングして比較検討した結果、低速度域の中央部で水が豊富に存在していると考え、応力場  
43 の不均質性をうまく説明できることがわかった。

44 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

1 の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  
2 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・高ポアッソン比域となっていること  
3 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  
4 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  
5 なることが明らかとなった。

#### 6 **エ. 地震活動と火山活動の相互作用**

7 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、地震を引き起こす地殻  
8 内のひずみの大きさを規定するマグマの貫入量と群発地震の活動度が、多くの場合比例することが  
9 明らかにされてきた。この様な地震・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  
10 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  
11 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  
12 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  
13 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  
14 が明らかになった。

15 九州地域で高密度アレイ観測を実施し、三次元速度構造を推定した結果、深発地震面が折れ曲が  
16 る深さ 90 km 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  
17 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、  
18 構造探査で得られたデータも加えて三次元 P 波速度構造の解析を行った結果、深さ 8 km 断面の始  
19 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  
20 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  
21 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。

#### 22 **オ. 地震発生サイクルと長期地殻ひずみ**

23 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  
24 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おいて非対称リフトが形成され、その構  
25 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。

26 「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  
27 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  
28 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  
29 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  
30 活断層が認定されること等が明らかになった。

31 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  
32 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  
33 年ウルップ島沖巨大地震 (Mw8.5) の最大余震 (Mw7.2) の津波波形を解析したところ、この地震は  
34 海溝近くの 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  
35 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。

36 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  
37 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  
38 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。

39 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  
40 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。

41 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  
42 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  
43 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  
44 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

1 200 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。

2 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  
3 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  
4 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  
5 ほぼ同程度の規模であったことが明らかになった。

6 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  
7 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  
8 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  
9 世紀頃の年代を示す津波と隆起の痕跡が見つかった。

#### 10 え. 今後の展望

11 2011 年東北地方太平洋沖地震では、東西約 200 km、南北約 500 km に及ぶ巨大な断層が滑り、特  
12 に海溝付近では約 50 m の大きなすべりが集中していたことが明らかになった。この地震の発生によ  
13 り、数百年~千年という長い時間をかけてプレート境界にひずみを蓄積する過程があり、我々はこ  
14 のような極めて長い地震発生のサイクルについて、ほとんど知見を持っていなかった。長期の地震  
15 サイクルの解明には、地球物理学の知見だけでなく、地質学的情報も取り入れた研究を推進すべき  
16 である。また、この地震による津波は、波長の長いものと波長が短く波高が極めて高い二種類の津  
17 波が重畳し、被害を甚大にしたことが明らかになっている。このうち、短波長高波高の成分は海溝  
18 近くの大規模なすべりにより発生した。これまで、地震動に比べ大きな津波を発生する津波地震は高  
19 角の分岐断層のすべりであると理解されていたが、今回の解析結果を参考にしてこれまでの津波地  
20 震を再評価する必要がある。これまでの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  
21 次第に明らかになっていた。今後、北海道太平洋沖の超巨大地震の実像や、西南日本の超巨大地震  
22 の可能性について、地質学と地球物理学が連携して研究を推進する必要がある。

23 大規模な地震を引き起こす列島及び周辺域のプレート運動などの広域の力学場の理解は、長期に  
24 わたり継続して研究を推進する必要がある。本計画により、アムールプレートのユーラシアプレ  
25 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  
26 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  
27 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。

28 内陸地震や火山噴火の発生機構の理解に必要な海洋プレートからマントルウェッジへの水の供給  
29 とマグマ発生の関連については、スラブ直上の低地震波速度・低電気比抵抗領域から日本列島全域  
30 で解明されつつある。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  
31 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  
32 マの発生起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  
33 その原因があるとする説が有力になりつつある。今後、観測から得られる地震波速度や比抵抗の三  
34 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や数値シミュレーシ  
35 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  
36 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。

37 地震波及び比抵抗構造の推定が行われ、広域の地殻構造と地殻流体の分布の詳細が明らかになっ  
38 た。内陸地震は、地震波低速度・低比抵抗領域を避け、その近傍の高速・高比抵抗領域内で発生  
39 しているという共通の特徴が見いだされた。また、大地震の震源の直下に局所的に低速度・低比抵  
40 抗域が存在するという報告も増えている。さらに、地殻熱流量の分布と地震発生域の下限の深さに  
41 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  
42 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  
43 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  
44 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。

1 また、流体が地震発生に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  
2 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  
3 線応力が極端に減少すれば、条件付き安定すべり領域になり地震を起こしにくくなる。また、水の  
4 存在は塑性変形を加速し、地震を起こしにくくする。今後、流体と地震発生との関係を明確にするた  
5 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  
6 ある。

7 地震活動と火山活動の相互作用については、テクトニックな応力とマグマ貫入の両方の影響で火  
8 山周辺の起震応力場が作られ、地震の起こしやすさや地震活動の特徴は構造に規定されることが、  
9 定性的には明らかになった。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  
10 きたことは極めて重要な成果である。今後は、マグマ移動と地震発生との定性的な理解から定量的な  
11 理解への発展が不可欠である。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  
12 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、通常地震を起こしにく  
13 いくらい温度も高く、また高間隙水圧となって有効法線応力が低くなっていると推定されている。  
14 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  
15 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  
16 めることも重要であると考えられる。

## 17 (2) 地震・火山噴火に至る準備過程

### 18 (2-1) 地震準備過程

#### 19 あ. 目的

20 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  
21 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  
22 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  
23 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  
24 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  
25 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  
26 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  
27 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。

#### 28 い. 実施状況

##### 29 ア. アスペリティの実体

30 大学は、海域で構造探査を行い、プレート形状やプレート境界の反射係数、速度構造等を調査し、  
31 それらの物理量においてアスペリティ領域と非アスペリティ領域との違いを調べ、その関係性に  
32 ついて研究を行った。また、プレート境界近傍で発生した中小地震の発震機構解から応力場の推定を  
33 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  
34 用いた研究では、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  
35 と、北米及びフィリピン海両プレートが接する領域において、各プレート境界面におけるカップリ  
36 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、海底地震計による地震観測  
37 及び海底圧力計を用いた地殻変動観測を実施した。GPS データを用いた研究では、中部日本の地殻  
38 変動についてブロックの剛体運動とブロック内部の一樣ひずみ、そして断層における滑り遅れの影  
39 響の3種類に分解した解析を行い、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  
40 した。

41 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  
42 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。

43 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  
44

1 実施し、各種の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を  
2 詳細に調べ、1944年東南海地震の地震時滑りが大きい領域の構造の特徴を調べた。

3 海上保安庁は、宮城沖から四国沖に至る海域に設置された海底基準点について海底地殻変動観測  
4 を実施し、ユーラシアプレート安定域に対する変位速度ベクトルを求めた。

5 大学、海洋研究開発機構、気象庁は、2011年東北地方太平洋沖地震発生後4日目から、海底地震  
6 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  
7 実施した。

#### 8 **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**

9 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  
10 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  
11 低周波地震の震源過程解析を行った。また、長期的ゆっくり滑りの発生期間内における、深部低周  
12 波微動と浅部超低周波地震の活動について調査した。さらに、傾斜計データを用いて、短期的ゆっ  
13 くり滑りを自動検出する手法を新たに開発した。波形相関解析手法を用いて超低周波地震を効率良  
14 く検出し、それらのCMT解の推定を行った。

15 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。

16 産業技術総合研究所は、S波の振動方向を用いて深部低周波微動の発震機構解析を行った。

17 国土地理院は、GEONETによるプレート境界面上の滑りの検知能力を検討するとともに、滑り欠損  
18 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  
19 年の豊後水道ゆっくり滑りの時空間発展を推定した。

20 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世界速度構造について調査した。

#### 21 **ウ. ひずみ集中帯の成因と内陸地震発生の準備過程**

22 大学は、弟子屈・屈斜路カルデラ地域において震源分布・地殻構造・地殻変動・重力構造・地質  
23 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、  
24 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や発震  
25 機構解から起震応力場と地殻強度を推定し、地下の流体の間隙圧の分布を推定した。また、長町利  
26 府断層(宮城県)地域や1938年釧路地方北部の地震(M6.1)の震源域などで三次元比抵抗構造解析  
27 を進めた。さらに、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地  
28 殻構造モデルを構築した。濃尾地震震源域や跡津川断層周辺域において、総合集中観測が行われ、  
29 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解析、  
30 比抵抗構造探査、GPS観測などを実施した。観測で得られた構造をもとに断層の下部延長や両端の  
31 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  
32 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  
33 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。また、中国地方において下部  
34 地殻の不均質構造を推定するため、高密度に観測点を配置して微小地震観測を実施した。

35 産業技術総合研究所は、中越地域において三次元地質・物性値構造モデルを構築した。また、海  
36 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。

37 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  
38 調査した。また、新潟県柏崎一長岡間の測線において水準測量を実施した。さらに、SAR干渉解析を  
39 行い、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。

#### 40 **エ. スラブ内地震の発生機構**

41 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のデータをもとに、応力の  
42 中立面の位置の推定を行った。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  
43 について精査を行った。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  
44 決定及び発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

1 てトモグラフィ解析を行い、広い範囲において震源を高精度に求めた。また、変換波のデータも  
2 もとに、関東地方のフィリピン海プレートの形状の推定を行った。

### 3 う. 成果

#### 4 ア. アスペリティの実体

5 宮城県沖の非アスペリティ域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  
6 のに対して、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  
7 ことから、非ア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  
8 時の滑りに対してはバリアとなっている可能性が示唆されたが、2011年東北地方太平洋沖地震にお  
9 いては、マントルウェッジの  $V_p / V_s$  の大きな領域においても地震滑りが発生したことが判明した。

10 宮城県沖から福島沖では沈み込むスラブが折れ曲がり、この地域のアスペリティはスラブの屈  
11 曲点を避けるように浅い領域と深い領域の2列に存在していることが明らかになった。想定宮城県  
12 沖地震の震源域は、このうち深い領域のアスペリティに対応している。そこでは、応力テンソルイ  
13 ンバージョン法を用いて推定された最大主圧縮応力軸方向と、プレート境界面の法線方向のなす角  
14 が小さくなっており、相対的に固着が大きくなりやすいことが推定された。したがって、宮城県沖  
15 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均質構造とともに、プレート境  
16 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、2011年東北地方太平洋沖地震では、  
17 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と考えられ、規模の大きな  
18 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がも考えられる。

19 小繰り返し地震の研究から、アスペリティ域とそれ以外の領域で非地震性滑り速度の違いが認め  
20 られた。また、GPSデータでは検出できないM6クラスの地震発生後の余効滑りも、小繰り返し地震  
21 により検出できた。

22 宮城県沖では、海底地殻変動観測から得られた東北地方太平洋沖地震発生前の変位速度は福島沖よ  
23 りも有意に大きく、陸上観測に基づいて推定されたバックスリップモデルから期待される変位速度  
24 に比べても大きいことがわかった。このことから、この領域ではプレート間の固着が強く、ひずみ  
25 を蓄積していたことが示唆された。

26 中部日本のGPSデータから、東海地域では熊野灘と比較して滑り遅れが半分程度になること、深  
27 部低周波微動はプレート間固着がほぼ無くなる場所で発生していることがわかった。

#### 28 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

29 宮城県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  
30 体積ひずみ計でも観測されており、ゆっくり滑りによって説明できることがわかった。

31 西南日本における深部低周波微動の活動は、プレート境界の等深線に沿って浅部と深部の2列の  
32 帯状に集中していることがわかった。浅部側の活動は約半年毎に発生する短期的ゆっくり滑りを伴  
33 う大規模イベントであるのに対して、深部側の活動は定常的であることがわかった。豊後水道で  
34 2003年に発生した長期的ゆっくり滑りの場合も、同様であった。1996～1997年に発生した長期的  
35 ゆっくり滑りの滑り域の最深部と浅部低周波微動活動域は一致し、微動の分布域を境として、それ  
36 より浅部ではゆっくり滑りが発生し、深部では安定滑り域となっていると考えられる。

37 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  
38 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  
39 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  
40 検討する上で非常に重要な結果であると考えられる。

41 短期的ゆっくり滑り発生1～4日前に、深部側の低周波微動が活動を開始し、時間とともに浅  
42 部に移動して、ゆっくり滑り域に達するとゆっくり滑りが発生することが明らかになった。地震波  
43 3次元構造から、深部低周波微動発生域近傍ではP波速度が小さく  $V_p / V_s$  値が大きい傾向があり、  
44 この領域でのマントルウェッジが蛇紋岩化していると考えられ、深部低周波微動の発生にはプレ

1 トから脱水した流体が関与している可能性が示唆された。

2 房総半島沖の小繰り返し地震がフィリピン海プレート最上部に分布する火山性砕屑物・火山岩層  
3 (VCR 層) の下面に沿って分布することが判明した。このことから、現在活動的なプレート境界が  
4 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。

5 小繰り返し地震の解析から、太平洋プレートと北米プレート間、太平洋プレートとフィリピン海  
6 プレート間でカップリング率が顕著に異なることが分かった。これは、プレート境界面上盤側の  
7 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。

#### 8 **ウ. ひずみ集中帯の成因と内陸地震発生の準備過程**

9 2008年岩手・宮城内陸地震後の長期的余効変動から、下部地殻以深の粘性係数が推定された。ま  
10 た、余震の発震機構解から地殻内流体の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  
11 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  
12 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。

13 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結果、平時はひずみ  
14 集中帯でひずみ速度が大きい、東北地方太平洋沖地震に伴うひずみ変化は、他の場所とほとんど  
15 変わらないことが示された。このことは、ひずみ集中帯における大きな東西短縮が太平洋プレート  
16 の沈み込みによる単純な弾性変形では説明できないことを示唆しており、ひずみ集中帯の成因を考  
17 える上で重要な知見である。

18 濃尾地震震源域における断層近傍の3次元地震波速度構造から、破壊開始点の地震発生層深部に  
19 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  
20 存在し、そこでは地震活動度が低調であること、地表変位量が最大となる根尾谷断層の中央部でも  
21 地震活動度が相対的に低いことが示された。また、高速度体は深さ 10 km 以深に存在することなど  
22 から、これらの高速度領域において地震の破壊時に大きな滑りが発生する可能性が高いことが示唆  
23 された。

24 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説明可能で  
25 ある。一方、制御震源構造探査からは、顕著な反射帯が見出され、その位置は地震波低速度域とほ  
26 ぼ一致している。また、低比抵抗領域は、下部地殻からこの領域の主要な3つの活断層帯へと伸び  
27 ており、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、  
28 跡津川断層両端にせん断ひずみの集中が見られること、断層の南側では西半分だけにせん断ひずみ  
29 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変  
30 化が見られることから、各断層には独立したひずみエネルギー蓄積機構を持っていると考えられる  
31 が、これは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。

#### 32 **エ. スラブ内地震の発生機構**

33 東日本陸域下では、スラブ内で地震活動が二つの面に沿って分布しているように見えているが、  
34 この上面・下面の間に発生する地震(面間地震)も存在することが、詳細な解析によって確認され、  
35 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、海山地形が発達するプ  
36 レートが沈み込んでいると考えられることから、面間地震の発生にスラブの脱水反応が関係してい  
37 る可能性が示唆された。また、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  
38 が、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、  
39 その破壊域の広がりスラブ内の応力場で規定されていると考えられる。

40 アウターライズで発生した1933年三陸沖地震の震源域では、プレート上面から約15 kmを境に浅部  
41 側に正断層型、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地震発生はアン  
42 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。

43 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に大きく滑った領域  
44 の直下に位置しており、3次元地震波速度構造から、破壊の開始点や余震の並びに沿う領域は低速

1 度域に対応していることがわかった。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  
2 地殻ではなく、マントル内部で生じており、かつて海溝海側で正断層運動を起こした断層が再活動  
3 したと考えられる。

#### 4 え. 今後の展望

5 アスペリティモデルでは、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域に分かれ  
6 ていると考えられていたが、2011年東北地方太平洋沖地震では、M7クラスの地震の余効滑り域でも  
7 地震時滑りが発生し、これまで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  
8 浅部域においても50 mにもおよぶ地震滑りが発生した。これらのことから、少なくとも東北地方太  
9 平洋沖ではアスペリティとそれ以外の領域という単純な二元論では説明できないことが明らかにな  
10 った。

11 断層の摩擦特性は時間的に変化する可能性があることや、アスペリティの強度は必ずしも大きく  
12 ない可能性もあること等を念頭において、従来の単純なアスペリティモデルよりも柔軟で、かつ、  
13 上記のような観測事実も説明可能な地震発生モデルを追究することが重要である。このようなモデル  
14 に制約を加えるためには、この超巨大地震の実像を明らかにすることから始める必要がある。より  
15 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構造的な特徴等を明らかにして、  
16 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得ることが非常に重要である。ま  
17 た、本震の2日前にM7.3の前震が発生し、その後の余効滑りや余震の伝播現象があったことや、約  
18 3年前に本震時の滑りが大きかった領域内でゆっくり地震が発生していたことから、本震の数年前  
19 からM7クラスの大きさのゆっくり滑りが大規模化した可能性も考慮に入れる必要がある。これらは  
20 いずれも本震発生前の非地震性滑りに時空間変化があったことを示唆しており、これらの現象が本  
21 震発生とどのように関連しているかについて究明することが重要である。さらに、津波堆積物調査  
22 から他の地域を含めた巨大地震の発生間隔とプレート収束速度の関係なども調査する必要がある。  
23 同様の超巨大地震発生の可能性がある千島海溝沿いや南海トラフ～琉球海溝沿いにおいて、海底地  
24 殻変動観測からプレートの固着状態の時間変化を推定し、地震発生の準備過程について理解を深め  
25 ることが急務である。

26 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  
27 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  
28 つある。これらの現象についてさらなる詳細な解析を進め、超巨大地震発生との関連について検討  
29 を進める必要がある。

30 跡津川断層や濃尾地震断層周辺などのひずみ集中帯において実施された総合観測や、近年発生し  
31 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と考えられる  
32 地震波の高速域や、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捉えられた。  
33 内陸地震の震源断層への応力集中と地震発生はこれらの不均質構造に起因すると考えられ、単純な  
34 物理モデルも構築された。今後は、不均質構造の形状等をさらに精度良く把握し、ひずみ場や応力  
35 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。

36 2011年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、列島規模で応力状態が変  
37 化しており全国各地で誘発地震が多発している。内陸における総合観測を強化し、本研究計画で得  
38 られた成果を活用して、これら誘発地震の発生機構を解明し、今後の地震活動の予測に結びつける  
39 ことは新たな課題である。

40 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  
41 どによって理解が大きく進んだ。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  
42 構の解明に努め、プレート内の応力場に基づく規模の予測やプレート境界地震との相互作用の解明  
43 といった視点から研究を継続する必要がある。

## 1 (2-2) 火山噴火準備過程

### 2 あ. 目的

3 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  
4 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  
5 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  
6 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  
7 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  
8 りの発達過程の解明を目指す。

### 9 い. 実施状況

#### 10 ア. マグマ上昇・蓄積過程

11 大学では、桜島、阿蘇山、伊豆大島、雲仙岳（長崎県）、浅間山、草津白根山、岩手山（岩手県）  
12 などを対象に多項目観測と人工地震や電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  
13 積過程の解明を行った。噴火活動を継続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  
14 期にある桜島において、地震、地殻変動、重力、火山ガス等の多項目観測と人工地震及び電磁気探  
15 査を実施し、マグマ蓄積と火山噴火活動を調査した。阿蘇山において、地殻変動、重力、電磁気、  
16 熱観測等を行い、現在の火山活動を把握するとともに、レシーバ関数解析を用いて火山深部の構造  
17 を推定した。伊豆大島において、地震、地殻変動、電磁気、火山ガス観測等を行い、現在の火山活  
18 動を把握するとともに、人工地震による構造探査を行った。1990～1995年に活動した雲仙岳の地殻  
19 変動、地震観測データを再解析し、マグマ移動の把握を試みるとともに、マグマ蓄積による応力変  
20 化の検出を試みた。浅間山では、地震波干渉法による速度構造の推定を行った。草津白根山では、  
21 比抵抗構造と震源分布との関連を調査した。岩手山では、1998年活動初期のひずみ記録を再解析し、  
22 噴火と噴火未遂を分ける要因を考察した。世界のホットスポット火山について、地震波トモグラフ  
23 ィー手法を用いた深部構造や、マグマ生成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  
24 構造の推定を行った。

25 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、  
26 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、  
27 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、  
28 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。

29 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  
30 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。

31 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  
32 ために、伊豆大島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  
33 基づいた数値シミュレーションを実施した。

34 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。

#### 35 イ. 噴火履歴とマグマの発達過程

36 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  
37 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、  
38 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  
39 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、羊蹄山（北海道）、大  
40 雪山（北海道）、雌阿寒岳、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  
41 去の噴火活動について検討した。

42 産業技術総合研究所では、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  
43 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  
44 訪之瀬島（鹿児島県）の地質調査および桜島の過去の噴火活動の再検討を行った。

1 う. 成果

2 ア. マグマ上昇・蓄積過程

3 マグマ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  
4 によりマグマ供給系の理解が進んだ。

5 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  
6 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  
7 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  
8 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  
9 た、地震波トモグラフィにより、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  
10 直に広がっていることが明らかになった。さらに、水準測量やGPS観測により、深部マグマ溜まり  
11 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  
12 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  
13 する傾向が見出された。

14 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  
15 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、  
16 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、  
17 その発震機構解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  
18 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  
19 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  
20 再現した数値シミュレーションにより、山体の浸透率が大きく、地下水位はほぼ海水準に位置し、  
21 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降雨に  
22 伴う変化を明らかにした。

23 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  
24 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（ちぢわ）湾の地  
25 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  
26 ことを示すものである。

27 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。  
28 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  
29 とが噴火未遂に終わった原因であると解釈できた。

30 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  
31 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  
32 ことが明らかにされた。

33 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  
34 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、  
35 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、三次元比抵抗構造と火山性地  
36 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。

37 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  
38 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  
39 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  
40 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。

41 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  
42 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  
43 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  
44 飽和度が高い可能性がある。

1 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  
2 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。

3 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、有珠山、吾妻山、伊豆大島、  
4 三宅島、硫黄島、九重山、阿蘇山、雲仙岳、霧島山、桜島、口永良部島（鹿児島県）、諏訪之瀬島  
5 において火山活動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。

#### 6 イ. 噴火履歴とマグマの発達過程

7 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。  
8 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  
9 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  
10 噴出物については2種類の  $\text{SiO}_2$  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  $\text{CaO}$   
11 や  $\text{MgO}$  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、地形判読により四つの溶  
12 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  
13 らかにした。樽前山では、中～小規模な噴火の時期を挟んで大規模噴火が繰り返されており、最近  
14 の活動は中～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  
15 大規模な火砕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。

#### 16 え. 今後の展望

17 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  
18 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  
19 うに、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  
20 震活動や地殻変動以外に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  
21 グマ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  
22 の放出が同時に起こり、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。  
23 こ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  
24 大きく関与していると考えられる。

25 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、「火山噴火準備過程」  
26 を、マグマ蓄積過程、マ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  
27 有効であろう。この時、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  
28 の構造とその時間発展を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  
29 道が形成されている火山では、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対し  
30 て、マグマの放出率と供給率がどのような影響を及ぼすのかを明らかにする必要がある。

31 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  
32 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  
33 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。

34 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  
35 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、  
36 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  
37 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、  
38 より一層体系的に推進する必要がある。

### 39 (3) 地震発生先行・破壊過程と火山噴火過程

#### 40 (3-1) 地震発生先行過程

##### 41 あ. 目的

42 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  
43 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  
44

1 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  
2 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  
3 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  
4 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  
5 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)  
6 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  
7 するため、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。

## 8 い. 実施状況

### 9 ア. 観測データによる先行現象の評価

10 大学は、鉦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  
11 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  
12 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  
13 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。

14 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、  
15 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、  
16 観測手法の高度化と連続観測を実施した。

17 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  
18 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  
19 もに、観測装置の改造を行った。

20 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  
21 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  
22 た。

### 23 イ. 先行現象の発生機構の解明

24 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  
25 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。

26 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  
27 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。

28 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  
29 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  
30 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  
31 レーションを行った。

32 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  
33 構の理論的・実験的研究を進めた。

## 34 う. 成果

### 35 ア. 観測データによる先行現象の評価

36 南アフリカ大深度鉦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  
37 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  
38 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20m以内にあるひずみ計で、  
39 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  
40 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  
41 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、  
42 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  
43 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  
44 る必要がある。

1 2011年東北地方太平洋沖地震 (M9.0) に際し、地震発生の約40分前から東北地方上空で最大10%  
2 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  
3 ら推定されたものである。2004年スマトラアンダマン地震 (M9.1) や2010年チリ地震 (M8.5) で  
4 も、同様の異常が見られることが報告されている。一方で、東北地方太平洋地震の約10分後に大気  
5 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  
6 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  
7 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  
8 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  
9 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  
10 説明するモデルの構築を行うことが必要であろう。

11 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  
12 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。

13 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  
14 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  
15 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。

#### 16 イ. 先行現象の発生機構の解明

17 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  
18 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。  
19 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  
20 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。

21 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  
22 た、巨大地震発生前には、上記の固着度の低下に伴い、深部低周波微動の発生間隔が短くなる可能  
23 性が示された。

24 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  
25 起電力が発生する可能性が示された。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  
26 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  
27 に伴う顕著な地電位の変化が検出された。

#### 28 え. 今後の展望

29 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  
30 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、南ア鉱山での  
31 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  
32 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。  
33 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  
34 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  
35 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  
36 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  
37 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  
38 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  
39 向での一層の研究の深化を目指すべきである。

40 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  
41 観測される場合は、観測システムの特徴を正確に把握し、得られたデータの限界も明確にしながら、  
42 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  
43 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  
44 あったかどうかの検証を進めていくべきである。また、3月9日に発生したM7.3の地震の余震域が、

1 3月11日に発生した地震(M9.0)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  
2 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  
3 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  
4 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  
5 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  
6 いても一層推進すべきである。

7 「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  
8 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  
9 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  
10 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。

### 11 (3-2) 地震破壊過程と強震動

#### 12 あ. 目的

13 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  
14 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  
15 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  
16 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  
17 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  
18 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  
19 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  
20 できる強震動・津波の予測手法の開発を目指す。

#### 21 い. 実施状況

##### 22 ア. 断層面の不均質性と動的破壊特性

23 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  
24 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  
25 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  
26 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法を用いて、  
27 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。

28 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  
29 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  
30 の震源モデルの構築をした。

31 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  
32 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っ  
33 た。

34 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  
35 ムを高度化した。

36 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。

##### 37 イ. 強震動・津波の生成過程

38 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  
39 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  
40 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  
41 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  
42 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  
43 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。

44 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

1 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  
2 ブ内の速度構造の不均質性を推定した。

3 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  
4 ーションモデルを作成し、その妥当性を検証した。

5 気象庁は、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、その妥当性の検討  
6 を進めた。また、津波警報等の適切な解除に資するため、津波の高さの時間減衰を予測するための  
7 計算手法を開発した。

## 8 う. 成果

### 9 ア. 断層面の不均質性と動的破壊特性

10 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  
11 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  
12 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  
13 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  
14 た。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  
15 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  
16 を起こしたアスぺ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  
17 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  
18 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  
19 さ、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  
20 た。

21 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  
22 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、一次元の速度構造で平面の震源断  
23 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  
24 たほか、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。

25 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  
26 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き  
27 る可能性がある。

28 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と  
29 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  
30 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  
31 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  
32 の地震について震源過程を推定した。

33 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  
34 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、  
35 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。

### 36 イ. 強震動・津波の生成過程

37 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  
38 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  
39 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  
40 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  
41 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  
42 時に計算できるコードを開発し、その有効性を検証した。

43 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  
44 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

1 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  
2 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  
3 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。

4 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  
5 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  
6 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  
7 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  
8 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  
9 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  
10 し、耐震工学研究分野との連携による建造物の被害予測と災害軽減に向けた研究が加速した。

11 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  
12 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  
13 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  
14 が判明した。

#### 15 え. 今後の展望

16 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  
17 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  
18 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  
19 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  
20 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  
21 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  
22 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  
23 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  
24 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  
25 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  
26 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。

27 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  
28 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  
29 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  
30 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  
31 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  
32 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。

33 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  
34 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  
35 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  
36 実用化し、技術移転をはかる必要がある。

37 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  
38 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  
39 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  
40 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。

### 41 (3-3) 火山噴火過程

#### 42 あ. 目的

43 「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  
44 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

1 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  
2 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  
3 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  
4 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  
5 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  
6 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。

## 7 **い. 実施状況**

### 8 **ア. 噴火機構の解明とモデル化**

9 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  
10 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、  
11 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  
12 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  
13 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  
14 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  
15 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  
16 とそれに伴って発生する爆風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  
17 調査を行った。

18 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  
19 シミュレーションの手法開発を行った。

20 気象庁は、口永良部島、富士山においてGPS観測を継続し変動の把握を行った。

### 21 **イ. 噴火の推移と多様性の把握**

22 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  
23 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、  
24 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。

25 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  
26 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  
27 組成の変化と地殻変動の関係についても調査した。

28 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  
29 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  
30 の方法について検討した。

## 31 **う. 成果**

### 32 **ア. 噴火機構の解明とモデル化**

33 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  
34 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  
35 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  
36 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。

37 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  
38 構を解明した。VLPは火口直下の深さ100～200 mにある割れ目の膨張収縮によって説明でき、VLP発  
39 生後にはSO<sub>2</sub>の濃度が増加することが観測された。また、宇宙線（ミュオン）による火道透視結果  
40 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  
41 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  
42 り発生していると考えられる。

43 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  
44 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<sub>2</sub>の放出率が減少し、噴火後に

1 は増大することが明らかになった。

2 三宅島2000年噴火について、噴出物中の結晶中の包有物分析に基づき、脱ガス過程とマグマ供給  
3 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  
4 熱水系の長期的な高温化の傾向を把握した。

5 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  
6 要を解明した。それぞれのガス噴出の20～30秒前から山体膨脹が始まり、膨脹量が大きいほど噴火  
7 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  
8 ～300秒前に山体膨脹が加速的に進行し、その膨脹量が大きいほど爆発規模が大きいことが明らか  
9 になった。これらの観測事実は、噴火前の山体膨脹の大きさや時間発展から、噴火の様式や規模が予  
10 測できる可能性を示している。

11 個別要素法を用いて、三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  
12 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。  
13 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  
14 算できるシステムの実用化に目途をつけた。

15 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  
16 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  
17 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。

#### 18 **イ. 噴火の推移と多様性の把握**

19 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  
20 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  
21 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  
22 きたマグマが深さ120 m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50 m以浅の  
23 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  
24 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、  
25 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  
26 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。

27 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  
28 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  
29 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  
30 デラはその後約1300年間かけて火山噴出物で埋め立てられたことが明らかになった。このことから、  
31 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定できた。  
32 伊豆東部火山群について、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  
33 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  
34 部火山群火山災害対策計画に活用されている。

#### 35 **え. 今後の展望**

36 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  
37 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  
38 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  
39 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。  
40 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である。

41 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  
42 や広帯域地震計を適切に設置すれば噴火直前に山体膨脹が捉えられること、火山ガスのモニタリン  
43 グによりブルカノ式噴火直前に火口からのSO<sub>2</sub> 放出量が低下することなどが明らかになり、噴火直  
44 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

1 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。  
2 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  
3 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  
4 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  
5 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  
6 める必要がある。

7 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  
8 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  
9 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  
10 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、  
11 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  
12 様式や推移の多様性を明らかにする必要がある。

13 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。  
14 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  
15 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  
16 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  
17 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  
18 である。

#### 20 (4) 地震発生・火山噴火素過程

##### 21 あ. 目的

22 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  
23 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  
24 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  
25 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  
26 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  
27 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  
28 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  
29 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。

##### 30 い. 実施状況

##### 31 ア. 岩石の変形・破壊の物理的・化学的素過程

32 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  
33 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  
34 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  
35 等の挙動も考慮して、数値実験、試料の分析を行った。

36 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  
37 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  
38 する寄与を理論的に評価する研究を進めた。

##### 39 イ. 地殻・上部マントルの物性の環境依存性

40 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、  
41 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  
42 にするために理論・実験的研究を進めた。

##### 43 ウ. 摩擦・破壊現象の規模依存性

44 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

1 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  
2 活動についての室内実験結果と比較した。

### 3 **エ. マグマの分化・発泡・脱ガス過程**

4 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  
5 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  
6 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  
7 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  
8 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  
9 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  
10 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、  
11 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  
12 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  
13 った。

### 14 **う. 成果**

#### 15 **ア. 岩石の変形・破壊の物理的・化学的素過程**

16 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  
17 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  
18 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  
19 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  
20 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  
21 度に及ぼす影響など詳細な摩擦特性が明らかになった。

22 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  
23 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  
24 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  
25 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。

26 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  
27 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  
28 た新たな摩擦則が提案された。

#### 29 **イ. 地殻・上部マントルの物性の環境依存性**

30 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  
31 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  
32 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。

33 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  
34 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  
35 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。

36 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  
37 形成される深度を求めた。

#### 38 **ウ. 摩擦・破壊現象の規模依存性**

39 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  
40 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  
41 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  
42 世界初である。また、長さ 100 m に及ぶ M2.2 の地震の断層面の傾きが、室内実験で見いだされた破  
43 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  
44 て二次元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。

1 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  
2 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  
3 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  
4 与える可能性がある。

#### 5 **エ. マグマの分化・発泡・脱ガス過程**

6 マグマや火山性ガスの挙動を、地震・地殻変動・空振など、地球物理学的な観測データに結びつ  
7 けるモデルの開発・高度化を行った。モデルに基づいた数値計算の結果、地殻変動の時間・空間変  
8 化に対する火道内のマグマの流動様式や地形の影響が明らかになった。また、亀裂内や火道内での  
9 流体振動による弾性波放射についても、形状、火道壁や地表面との相互作用、流体の粘性が重要な  
10 影響を持つことが分かった。一方、室内モデル実験では、2011年1月に始まった霧島山（新燃岳）  
11 の噴火で発生した調和振動型の地震・空振の特徴を再現し、この地震・空振が、火口を満たした溶  
12 岩を通して火山ガスが抜けるときに発生した可能性を指摘した。

13 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砕する遷  
14 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  
15 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理  
16 モデルに反映させる道筋ができた。また、マグマの流動変形と脆性破壊によって、ガスの抜けやす  
17 さが変化することも噴火の爆発性を支配する素過程として注目されている。発泡マグマの剪断変形  
18 を高温高压下で実際に観察する実験を世界で初めて実現し、流動による気泡連結や固体的な破壊が  
19 脱ガスを促進することを実証した。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  
20 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  
21 無にあるという、新しい仮説を提案した。この仮説を検証するため、火山の模擬システムである間  
22 欠泉実験を行った。その結果、熱水だまりの過飽和度の均質性を決める加熱速度によって、噴出様  
23 式や噴出量が系統的に整理されることが明らかになった。また、実際の噴火に対して過飽和度の不  
24 均質性を評価するためには、多数の噴出物試料について元の揮発成分量を計測する必要があるが、  
25 そのための新しい分析手法を開発した。

#### 26 **え. 今後の展望**

27 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  
28 性波透過率の計測などにより、これまで概念的にしかり理解されていなかった断層の固着度に対して  
29 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  
30 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  
31 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  
32 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  
33 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  
34 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。

35 今後の課題としては、さらに広範囲の条件下でのデータの取得と、物性の基礎的理解の深化により、  
36 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。  
37 また、2011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  
38 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  
39 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  
40 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。

41 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  
42 であり、現在3年目となる。研究内容は、研究者の自由な発想に基づく研究成果の積み重ねの上に  
43 立つものである。多様な基礎研究の成果を火山活動の予測へ活用するため、自然現象の理解に基づ  
44 くモデルの構築だけでなく、モデルと観測データの関連づけを行うことが、火山噴火素過程研究の

1 役割である。研究が進められている火道浅部での揮発成分の発泡や破碎、物質変化、流動などの噴  
2 火の支配要因が、現在進行中の噴火に対してどのように作用しているかを観測から明らかになれば、  
3 火山活動の推移を支配する機構の解明につながると思われる。現在活動的な桜島火山や霧島火山で  
4 見られる現象に焦点を当てて研究を進めることが有効である。

### 5 6 **3. 新たな観測技術の開発**

#### 7 **あ. 目的**

8 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、  
9 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  
10 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  
11 を行う。

12 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  
13 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  
14 トセンシング手法の実現を目指す。

15 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  
16 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。  
17 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  
18 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、  
19 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。

#### 20 **い. 実施状況**

##### 21 **（1）海底における観測技術の開発と高度化**

#### 22 **ア. 海底地殻変動観測技術**

23 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  
24 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  
25 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  
26 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  
27 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  
28 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  
29 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。

30 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  
31 底に設置した。また、海底基準点を更新した。

#### 32 **イ. 海底地震観測技術**

33 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  
34 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  
35 域海底地震計を開発した。

#### 36 **ウ. 海底実時間観測システム**

37 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  
38 進め、観測機器の作成及び試験を実施した。

39 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、  
40 栗島（新潟県）の近海に設置した。

##### 41 **（2）宇宙技術等の利用の高度化**

#### 42 **ア. 宇宙測地技術**

43 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、  
44 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

1 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  
2 能にする手法を開発した。

3 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  
4 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、  
5 2008年岩手・宮城内陸地震に適用した。

6 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  
7 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。

8 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  
9 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。

#### 10 **イ. リモートセンシング技術**

11 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  
12 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  
13 た。

14 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。

15 気象庁は、気象レーダーのデータを用いた噴煙の解析をおこない、噴煙高度などを詳細に把握で  
16 きることを明らかにした。また、火山灰の移流拡散モデルの改良を進め、降灰及び火山灰拡散予測  
17 手法を高度化した。

#### 18 **(3) 観測技術の継続的高度化**

##### 19 **ア. 地下状態モニタリング技術**

20 大学は、宇宙線(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  
21 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。

22 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  
23 正を推定するシステムを開発した。

24 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、  
25 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。

##### 26 **イ. 地震活動や噴火活動の活発な地域における観測技術**

27 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  
28 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  
29 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  
30 た。

31 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  
32 よう通信システムの改良をした。

##### 33 **ウ. 大深度ボアホール計測技術**

34 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  
35 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  
36 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。

37 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  
38 試験観測を進めた。

#### 39 **う. 成果**

##### 40 **(1) 海底における観測技術の開発と高度化**

##### 41 **ア. 海底地殻変動観測技術**

42 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  
43 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。

44 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

1 で緊急観測を行い、最大31 m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  
2 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。

### 3 **イ. 海底地震観測技術**

4 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、  
5 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  
6 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。

### 7 **ウ. 海底実時間観測システム**

8 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  
9 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  
10 認した。

## 11 **(2) 宇宙技術等の利用の高度化**

### 12 **ア. 宇宙測地技術**

13 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  
14 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  
15 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  
16 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。

17 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  
18 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  
19 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  
20 地震による広範囲の地殻変動を推定した。

### 21 **イ. リモートセンシング技術**

22 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  
23 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  
24 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  
25 つことがわかった。

26 火山灰の移流拡散モデルを利用して、桜島や新燃岳、2009年の浅間山の噴火について降灰予報を  
27 発表した。また、東アジア及び北西太平洋地域について航空路火山灰情報を発表した。

## 28 **(3) 観測技術の継続的高度化**

### 29 **ア. 地下状態モニタリング技術**

30 いくつかの火山において宇宙線(ミュオン)を利用した観測によって火道形状が推定され、絶  
31 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。

32 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  
33 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。

### 34 **イ. 地震活動や噴火活動の活発な地域における観測技術**

35 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  
36 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。

### 37 **ウ. 大深度ボアホール計測技術**

38 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  
39 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。

### 40 **え. 今後の展望**

41 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  
42 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  
43 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  
44 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

1 も継続して進展させる必要がある。

2 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  
3 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  
4 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  
5 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。  
6 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  
7 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  
8 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。

9 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  
10 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  
11 のダイナミックレンジ拡大が行われたが、今後は、海底精密圧力計や傾斜計などの測器を用いた海  
12 底地殻変動観測が重要である。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  
13 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  
14 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、より長期の連続観  
15 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、  
16 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、海溝軸付近の地殻変  
17 動を把握することが必要である。今後は、水深10,000 mまで観測が行える深海型の観測システムが  
18 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  
19 後は多様な観測センサーを搭載可能で、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  
20 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  
21 行えるシステムの開発が期待される。

22 宇宙測地技術は、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  
23 されており、今後も解析技術の高度化が必要である。

24 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  
25 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  
26 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  
27 ムへの応用に向けた研究を推進する。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  
28 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。また、電離圏遅延が SAR 干渉画像  
29 に及ぼす影響の調査を進める必要がある。

30 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、  
31 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  
32 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  
33 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。

34 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、  
35 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  
36 が望まれる。

37 宇宙線（ミューオン）を利用した地下構造探査については、トモグラフィー等の結果との比較を  
38 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  
39 すすめることが重要である。

40 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  
41 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。

42 レーザー技術を応用した広帯域地震計や傾斜計については、高精度・高安定性を目指した取り組  
43 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  
44 頼性を有する計測手法の確立が引き続き重要である。

1 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、気象レーダーを用い  
2 た噴煙の検知、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  
3 実した。今後は、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  
4 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目指すべきである。

#### 7 4. 計画推進のための体制の強化

##### 8 4. 1. 実施状況及び成果

##### 9 (1) 計画を推進する体制の強化

##### 10 (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)

11 地震・火山現象を理解し、予測するためには、継続的に高精度の観測データを取得し、観測研究  
12 に活用する必要がある。国は、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  
13 網を整備した。そのうち、国土地理院はGPS 観測網を、防災科学技術研究所は高感度地震観測網を  
14 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、観測の高精度化に努め、観測デ  
15 ータの保管・公開をしている。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  
16 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  
17 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を整備  
18 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  
19 に提供した。大学は、既設の地震及び火山観測網の維持に努めた。このような役割分担を明確にし  
20 た継続的な観測により、本計画は推進された。

21 これまで別々に進められてきた地震予知のための研究計画と火山噴火予知計画を、平成 21 年度に  
22 統合して「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  
23 議会測地学分科会にあった地震部会と火山部会を統合して地震火山部会とした。地震火山部会の下  
24 に観測研究計画推進委員会を設置し、本計画の進捗状況を把握し、研究成果の取りまとめを毎年度  
25 行っている。東京大学地震研究所に設置されている地震・火山噴火予知研究協議会（以下、「予知協  
26 議会」）の企画部は、大学のみならず関係機関を含めた本計画の研究成果報告会の開催や、研究成果  
27 の取りまとめ作業等を行うことにより、観測研究計画推進委員会の活動に大きく貢献している。  
28 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  
29 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  
30 的な検討を行なうように審議方法が変更された。

##### 31 (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)

32 地震調査研究推進本部（以下、「地震本部」）の新総合基本施策では、本計画を「研究者の自由  
33 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、地震本部の行う調査  
34 研究は「地震防災・減災の実現に資するために国として行う戦略的な計画であり、建議に基づく基  
35 礎的研究（本計画）の成果を取り入れて推進すべきである」としている。また、本計画の観測研究  
36 は研究者の自由な発想に基づいた研究計画であるのに対して、地震本部の調査研究は国として行う  
37 トップダウン研究であるとしている。このように、本計画と地震本部の実施する調査研究は、シー  
38 ド研究と実用化研究の関係にあり、両者が両輪となって我が国の地震防災・減災に貢献するもので  
39 ある。

40 地震本部は本計画の成果を活用して「東海・東南海・南海地震の連動性評価研究」、「緊急津波  
41 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」、「海底GPS観測技術開発」、「ひ  
42 ずみ集中帯」、「首都直下地震防災・減災特別プロジェクト」等の研究を実施している。このよう  
43 に本計画の成果は、地震本部の施策に着実に反映されている。

##### 44 (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)

1 我が国の火山防災・減災のため、火山噴火予知連絡会は全国の火山の活動評価を定期的に行うと  
2 ともに、火山観測施設の長期的な整備計画の立案も行っている。火山噴火予知連絡会に設置された  
3 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  
4 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、  
5 遠望観測装置等の火山観測施設を整備し、監視体制を強化した。また、平成21～22年度に火山監視・  
6 情報センターのシステムを強化した。

7 また、火山噴火予知連絡会に設置された火山観測体制等に関する検討会では、平成20年に科学技  
8 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  
9 の進め方」に基づき、大学及び関係機関の役割を具体的に整理し、その役割分担を明確にした。気  
10 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を推進することを  
11 目的として、相互のデータを共有することとした。また、各機関が協力して観測網を維持・強化す  
12 ることにより、全国の火山観測体制を強化し、火山防災の強化と火山研究の推進を行うこととした。  
13 この方針に沿い、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  
14 の活動的な6火山に基盤的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  
15 ータ流通を行った。

16 火山噴火予知連絡会はコア解析グループを設置し、気象庁の観測点設置の際に得たボーリングコア  
17 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の解明研究を推進した。2011年  
18 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  
19 整に努めた。

## 20 (2) 基礎的な観測研究体制の強化

21 地震・火山現象を理解して予測の実現を目指すためには、広範で長期にわたる継続的かつ基礎的  
22 な観測研究が不可欠である。その主たる担い手である大学は、それぞれの特長を生かしながら研究  
23 成果をあげるだけでなく、単独の大学ではできない大規模な観測研究を協力・連携して実施する必  
24 要がある。しかしながら、国立大学の法人化により大学間の協力・連携は、これまでに比べて取り  
25 にくい状況になってきた。そのため、平成21年度に「地震・火山科学の共同利用・研究拠点」と認  
26 定された東京大学地震研究所は、共同利用・共同研究拠点の主旨に沿って予知協議会を強化し、全  
27 国の大学が連携して本計画を推進する体制を整えた。また、平成22年度に地震研究所の組織を改変  
28 し、2研究センターと3サイエンスマネージメントセンターにより本計画を推進するように体制を  
29 強化した。

30 京都大学防災研究所は、平成21年度に「自然災害に関する総合防災学の共同利用・共同研究拠点」  
31 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に関する共同研究を推進し  
32 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。

33 東北大学、東京大学、名古屋大学では、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  
34 れた。

## 35 (3) 計画を推進するための予算的措置

36 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、  
37 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。また、火山砂防や各地域の火山  
38 防災に協力することにより、国土交通省や地方自治体等からも観測点整備や維持のために経費を確  
39 保することに努めた。

40 本計画にかかわる全国の大学の研究経費は、これまで各大学が個別に予算要求していたが、平成21  
41 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、予知協議会の  
42 主導の下で東京大学地震研究所と各大学で共同研究契約を締結し、研究内容に従って各大学に経費  
43 を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  
44 題を計画的に調整し、本計画の成果を最大限に挙げられるように努力が払われている。

#### 1 (4) 人材確保、特に若手研究者の育成

2 本計画の継続的な推進のためには、人材の確保と育成が極めて重要である。各大学は、若手人材  
3 の育成や確保のため、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、  
4 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。予知協議会に人材育成ワーキンググル  
5 ープを設置し、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  
6 ャリアパスを全国的な視点から検討した。大学院生や若手研究者の取り巻く状況の把握、制度の問題  
7 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。

8 関係機関では、地震及び火山に関する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  
9 し、地震・火山分野の若手研究者の採用を進めた。各大学及び関係機関では、グローバルCOE制度、  
10 各省庁からの委託研究等の経費を用いて研究員の雇用し、若手研究者のポストの確保に努力した。  
11 さらに、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。

#### 12 (5) 国際共同研究・国際協力の推進

13 地震・火山現象に関する理解を深め、地震及び火山噴火予知研究を推進し、災害軽減に資するた  
14 めには、国内外の地震・火山活動に関する国際共同観測・比較研究などの国際共同研究や国際協力が  
15 重要である。そのため大学及び関係機関では、外国の研究機関と地震及び火山に関する共同研究  
16 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・火山に関する研究成果の交換、人材  
17 の交流、技術移転等を行った。

18 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、国際協力機構（JICA）  
19 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  
20 師派遣、研修生の受け入れを行った。名古屋大学は JICA と協力して「地震・津波・火山観測システ  
21 ム」を実施し、開発途上国の研究者・技術者の研修を行った。大学及び関係機関の研究者が参画す  
22 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  
23 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。

24 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  
25 との火山観測研究に関する国際協力を実施した。

26 海洋研究開発機構は、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  
27 テムに関する国際協力を実施した。また、国際共同研究である統合国際深海掘削計画で、「南海トラ  
28 フ地震発生帯掘削計画」を実施した。

29 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  
30 23 年度に第 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。  
31 また、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  
32 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し、国際共同研究を  
33 実施している。

34 気象庁は、国際地震センター、米国地質調査所、包括的核実験禁止条約機構、米国大学間地震学  
35 研究連合及び韓国と地震観測データの交換を継続した。さらに、北西太平洋津波情報センター及び  
36 インド洋津波監視情報関連の業務を引き続き行なった。気象庁東京航空路火山灰情報センターは、  
37 担当地域（日本国内及び北西太平洋、カムチャッカ半島）の火山で噴火が発生した際に、航空路火  
38 山灰情報を諸外国に発表するなどの国際的な責務を果たしている。

39 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 IGS データ  
40 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 衛星の精密軌道の決定に  
41 貢献した。さらに、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運  
42 動の基準となる ITRF 座標系の構築に貢献するとともに、次世代 VLBI 観測システム整備に向けた調  
43 査を実施した。アジア太平洋 GIS 基盤常置委員会の活動として、対象地域で GPS 連続観測・解析を  
44 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の構築に貢献した。

1 海上保安庁は、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  
2 有を行った。

### 3 (6) 研究成果の社会への還元

4 国民に対して、地震予知・火山噴火予知研究の成果を国民に本計画の研究成果をわかり易く、継  
5 続的に伝えることは、地震及び火山防災意識の向上に貢献するとともに、本計画の重要性と本計画  
6 を推進することへの理解を得るために重要である。そのような観点から、毎年度作成する本計画の  
7 「成果の概要」は、平易な表現に努めるとともに、研究成果をイラストで表現するように改めた。  
8 また、研究成果をホームページや講演会などで広く公開することにも努めた。地震活動や地殻変動  
9 等に関するモニタリング結果の情報交換の場である地震予知連絡会は、マスコミ関係者にも公開さ  
10 れ、地震の活動状況についてマスコミを通して広く国民に伝える役割を果たしている。

11 気象庁は、本計画で得られた知見を地震予知業務に取り入れるため、「東海地震の予知手法に関する  
12 勉強会」を開催した。また、平成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  
13 海地震観測情報」という名称を「東海地震に関連する調査情報」に修正した。また、火山防災の高  
14 度化を目指して、平成19年度から噴火警戒レベルを順次導入し、地域の防災対応に直接結びついた  
15 情報の発表を始めた。平成22年度末の時点で全国29火山に導入されている。噴火警戒レベルは、  
16 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、秋田駒ヶ岳、新潟焼山、焼岳  
17 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いる。青ヶ島（東京都）、秋田焼山（秋  
18 田県）、白山（岐阜県）の3火山についても、噴火シナリオの作成に取りかかった。さらに、本計画  
19 で詳細に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について、その規模、継続  
20 期間などを地殻変動の観測データをもとに予測する手法を地震本部の地震調査委員会がとりまとめ  
21 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  
22 た。また、この群発地震活動がマグマによる現象であることから、噴火警戒レベルの発表も連携し  
23 ておこなうこととした。

24 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  
25 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  
26 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  
27 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、東京大学地震研究所では広報  
28 アウトリーチ室を設置した。また、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  
29 て減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  
30 ターを設置した。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  
31 学校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。

## 32 4. 2. 今後の展望

### 33 (1) 計画を推進する体制の強化

#### 34 (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)

35 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、本計画で一部の基礎的研  
36 究が不足していたことを指摘し、研究計画を見直すように地震火山部会に提言した。これを受け地  
37 震火山部会は、本計画の見直し作業を行うことを決定し、測地学分科会に報告した。このように、  
38 超巨大地震が発生するという事態に際して研究計画をすみやかに変更できたことは、本計画の研究  
39 推進体制が良好に機能し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  
40 すべきである。

41 本計画において、大学及び関係機関の役割分担が明確になされており、それにより本計画が大学  
42 及び関係機関の連携により順調に推進されている。地震・火山噴火現象を理解し、その発生を予測  
43 するためには、継続的な観測と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  
44

1 が役割分担をしつつ、観測と体制の整備に努めることを期待する。

## 2 (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)

3 本計画と地震本部は、明確な役割分担のもとで互いに連携して調査研究を進め、地震防災・減災  
4 を目指してきた。地震本部が設置した基盤的調査観測網のデータは、本計画にとっても必要不可欠  
5 なものとなっている。特に、東北地方太平洋沖地震の発生により、海域における調査観測の重要性  
6 は増している。地震本部が整備する海底観測網も含め、基盤的調査観測網が今後も一層充実される  
7 ことを期待する。また、本計画の成果が、今後も地震本部の施策の立案等に積極的に取り入れられ、  
8 地震・津波防災・減災に活用されることを期待する。地震発生の予測は、研究途上であり実用化さ  
9 れていない。今後も、本計画によるボトムアップによる自由な発想による多様なアプローチと、地  
10 震本部が実施するトップダウンによる研究の推進が、ともに協調しながら進められることが重要で  
11 ある。

## 12 (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)

13 火山研究分野においては、地震本部のようなトップダウンによる研究推進の体制は存在していな  
14 い。そのため、火山噴火予知連絡会が、火山活動の評価だけにとどまらず、関係機関の役割分担の  
15 調整や、協力体制の構築の役割も担ってきた。これは地震本部が地震予知研究に果たしている役割  
16 に匹敵する極めて重要な機能である。しかし、火山噴火予知連絡会は気象庁長官の諮問機関と位置  
17 付けられており、責任や権限が明確ではなく、その活動に比べて体制は十分とは言えない。我が国  
18 の火山防災及び減災対策を充実するためには、政府として火山調査研究に関する総合的かつ基本的  
19 な施策の立案や、総合的な観測研究計画の策定などの取り組みをおこなう、トップダウンによる推  
20 進体制の確立が必要である。

21 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  
22 体制を考えると大きな前進と言える。今後も、火山の監視観測体制の強化が求められる。防災科学  
23 技術研究所は、6 火山に基盤的火山観測施設を整備したが、火山観測体制の充実のためには観測施  
24 設の増設が望まれる。また、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、火山  
25 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なども整える必要がある。大学は、法人化  
26 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。大学の観測点の一部は火口  
27 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している。これらの  
28 観測設備の更新及び高度化が急務である。さらに、観測研究の推進には、噴火活動に即応して機動  
29 的な観測を実施することも重要であり、その設備や人員の配置も望まれる。

30 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火山防災情報の高度化  
31 が強く求められている。関係機関が連携して、今後も火山観測及び研究体制の整備を進めることを  
32 期待する。

## 33 (2) 基礎的な観測研究体制の強化

34 本計画の主たる担い手である大学が連携して行う研究については、予知協議会が主導して実施し  
35 ている。特に、予知協議会企画部は、観測研究計画推進委員会に協力し、研究計画の策定や研究成  
36 果の取りまとめを行うなど、その活動の中核を担っており、その体制と機能の強化が望まれる。ま  
37 た、東京大学地震研究所が 3 つのサイエスマネジメントセンターを設置したことにより、全国  
38 の大学の連携の強化、大規模な観測の実施、研究の基盤となる観測データやデータベースの充実を  
39 実現する受け皿ができた。今後は、これらのセンターを活用することにより、地震・火山研  
40 究分野における我が国全体の研究活力が向上することを期待する。また各大学における部局附属の  
41 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、研究を進めることを期待する。

## 42 (3) 計画を推進するための予算的措置

43 防災科学技術研究所が運営する地震基盤観測網および基盤的火山観測網、国土地理院が運用する  
44 GPS 観測網は、本研究の推進のために極めて重要である。そのため、耐用年数を向かえる機器の更

1 新が遅滞なく行われることを含め、観測機器の精度維持・機能向上が堅持される予算措置を期待す  
2 る。また、両機関が維持管理しているデータの保管、流通、公開に関するサーバーシステムの耐震  
3 化や停電対策の向上を図り、安定した運用を期待する。2011年東北地方太平洋沖地震の発生で、海  
4 溝付近のプレートの固着や地殻構造、地震活動や地殻変動の研究が不足していたことが明らかにな  
5 った。この分野の研究を推進するため、海域における地震・地殻変動観測の充実を期待する。

6 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  
7 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  
8 続して打ち上げられるように予算措置を期待する。

9 大学の地震及び火山噴火予知の研究経費を、共同利用・共同研究拠点である東京大学地震研究所  
10 で一括して管理することにより、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  
11 まで単独の大学・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  
12 究計画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、今後もこのシステムを継続  
13 するとともに一層充実がはかれることを期待する。一方で、大学は、法人化以降予算面や人員面  
14 で厳しい状態が続くとともに、観測設備は老朽化し、研究環境が悪化している。特に、規模の小さ  
15 な大学の観測センターではこの問題が深刻である。東京大学地震研究所がこれに十分に配慮すると  
16 ともに、国や地方自治体が、地域防災への貢献が期待される大学の観測設備の整備や更新にも配慮  
17 することを期待する。

#### 18 (4) 人材確保、特に若手研究者の育成

19 大学は人材育成を積極的に行っているが、地震・火山研究分野の大学院生の数は長期的に減少す  
20 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問題  
21 もある。予知協議会の人材ワーキンググループの分析では、大学院生の減少は若手研究者の就職が  
22 困難であることに密接に関連していることが明らかになった。若手研究者の就職が困難であること  
23 を知った学生が、大学院に進学することに躊躇する傾向が顕著に現れている。つまり、若手研究者  
24 が就職するポストが増えないということが問題の根源である。これは他の研究分野でも共通の問題  
25 であり、解決には研究者のポストを増やす努力を続ける一方で、若手人材を社会のより広い分野へ  
26 積極的に送り出す努力が必要である。その第一歩として、大学院修了者を有期雇用研究者として雇  
27 用する場合には、人材育成の観点か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  
28 機会を与え、研究活動を支援することを推し進める必要がある。

29 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  
30 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ことも有効である。  
31 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、若手研究者を確保することを期待す  
32 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  
33 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  
34 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」  
35 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。

36 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  
37 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  
38 の人材が充実されることを期待する。

#### 39 (5) 国際共同研究・国際協力の推進

40 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  
41 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。  
42 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、  
43 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  
44 費やされてきたことを考えると、大きな損失であると言える。研究コミュニティー全体が協力し、

1 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。

2 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  
3 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、他の地域との比較研究や国際協力  
4 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  
5 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、  
6 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。

#### 7 （6）研究成果の社会への還元

8 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  
9 られるなど、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、2011年東北地方  
10 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  
11 できていなかった事もあると言われている。今後は、大学と関係機関は防災の専門家と連携し、住  
12 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、地震や火山の噴火による  
13 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  
14 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  
15 討に値する。内閣府が実施している「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  
16 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  
17 く継続的に伝えることは、国民の防災意識を高めることに貢献するので、地震や火山の噴火による  
18 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り、今後も色々な方法で努力する  
19 必要がある。

20 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・  
21 減災に役立てる社会実装への取り組みにも重要である。例えば、開発された即時的な津波予測シス  
22 テムを津波警報に反映させるなど、今後本計画の推進によって得られる最新の研究成果を広く国民  
23 に還元するなどの努力が必要である。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  
24 の社会実装にも配慮し、研究成果の還元に一層努力する必要がある。

## 25 VI. 総括的評価

### 26 27 1. 現行計画策定までの経過

28  
29 30 昭和40年度から始まった我が国の地震予知計画は、平成10年度まで第1次から第7次計画とし  
31 て推進され、段階的に整備された観測網による地震前兆現象の検出に基づく予知を基本としつつ、  
32 地震活動の諸特性などに関する多くの知見が蓄積された。しかし、これらの研究が進むにつれて、  
33 地震発生の時期、場所、規模を地震発生前に予測するという地震予知の目標の達成は、地震現象の  
34 複雑さのために、前兆現象の観測に基づく手法だけでは極めて難しいことがわかってきた。このよ  
35 うな中で発生した兵庫県南部地震を契機として、地震予知研究の基本方針が見直され、平成11年度  
36 から、地震発生に関する基礎的研究を重点的に推進し、地震発生に至る全過程を理解することによ  
37 り、地震発生予測への道筋をつけることを目指すことになった。この「地震予知のための新たな観  
38 測研究計画」（第1次新計画）では、地震の発生に関する基礎的研究を進め、それに基づいて地震発  
39 生に至る地殻活動をモデル化し、モニタリングとモデルに基づいて地殻活動の推移予測を目標とし  
40 た観測研究が推進された。また、平成16年度からの第2次新計画では、第1次新計画に引き続き、  
41 地震発生の準備過程の解明を進め、地殻活動予測シミュレーションモデルを開発することを目指し  
42 た。これらの研究により、プレート境界地震については、アスペリティモデルが提唱され、それに  
43 基づいて、プレート境界地震の発生場所と規模の予測について一定の見通しが得られたとの認識が  
44

1 なされるようになった。さらに、東海から西南日本にかけてのフィリピン海プレート深部境界で短  
2 期的ゆっくり滑りや低周波微動が発見され、また、プレート境界で発生する小繰り返し地震の研究  
3 が進み、プレート境界の固着状態の時空間変化の把握が進んだ。内陸地震についても、地殻の不  
4 均質構造に関する知見が蓄積され、地殻・マンツルの粘弾性・塑性変形により広域応力が特定の断層  
5 に集中していく機構の理解が進んだ。

6 一方、昭和49年度から始まった火山噴火予知計画では、年次計画により観測網の整備と実験観測  
7 の推進が図られ、活動的火山における観測の多項目化と高密度化、観測データの高精度化が段階的  
8 に進められてきた。その結果、いくつかの火山においては、噴火の前兆現象が検知され、それに基づ  
9 づく情報発信が可能になった。また、全国の大学合同による集中総合観測が主要活火山において年  
10 次的に実施され、火山噴火ポテンシャル評価や噴火予知手法の開発に大きく貢献した。第5次計画  
11 からは、制御震源等を用いた火山体構造探査が重点的な研究項目に加えられ、火山体の内部構造に  
12 関する理解が進んだ。これらの研究の進展や、GPS、SAR 干渉解析などの観測技術・手法の進歩等  
13 により、複数の火山においてマグマの上昇や貫入、蓄積などの火山噴火準備過程が捉えられるよう  
14 になった。さらに、電磁気学的観測、精密重力測定、火山ガス観測、地質学的調査・分析等の総合  
15 的な観測が実施された火山では、火山流体の挙動やマグマの発泡・脱ガス等の噴火過程について多く  
16 の知見が得られた。

17 このように、地震予知計画と火山噴火予知計画は、平成20年度までそれぞれ独立に実施され、実  
18 用的な予知の実現という最終目標にはまだ到達していないものの、学術的には着実に成果が上がっ  
19 ていると評価されてきた。しかしその一方で、いくつかの課題も明らかになってきた。例えば、地  
20 震発生には地下水やマグマ等の地殻流体の存在が関与し、その挙動が重要な役割を果たしており、  
21 地殻流体に関する研究を一層推進する必要があると認識された。また、火山準備過程の解明のため  
22 には、広域のテクトニクスやマグマ溜まりを含む火山深部構造に関する情報が必要である。我が国  
23 の主要活火山において火山体構造探査が実施されてきたが、探査深度が不足し火山体浅部の構造の  
24 把握にとどまっている。さらに、地震研究のために整備された広域の高密度観測網や海底観測技術  
25 などは、火山噴火予知研究に対しても有効である。これらのことは、地震予知研究と火山噴火予知  
26 研究の連携を一層密にして、互いに協力して実施することの必要性を示すものである。我が国にお  
27 いては、地震及び火山噴火は共に国民に大きな災禍をもたらす現象であり、これらは海洋プレート  
28 の沈み込みという同じ地球科学的背景を持つ。したがって、それぞれの現象に共通の場の理解を進  
29 むることが、地震発生及び火山噴火双方の解明と予測のために必要である。

30 このような認識のもとに、これまで別々に実施されてきた地震予知研究と火山噴火予知研究を統  
31 合した「地震及び火山噴火予知のための観測研究計画」が、平成20年度に策定され、平成21年度  
32 から実施されている。

## 35 2. 平成23年東北地方太平洋沖地震

36 これまでの研究により、プレート境界地震については、アスペリティモデルが提唱され、それに  
37 基づいて、プレート境界地震の発生場所と規模の予測について一定の見通しが得られたとの認識が  
38 あった。しかし、平成23年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震の発生により、本計画で  
39 はM9クラスの超巨大地震の発生の可能性については十分追究されていなかったことが明らか  
40 になった。すなわち、海溝軸付近のプレート境界浅部が数十メートル程度と大きく滑ったことや、こ  
41 れまでM7~8程度の地震を発生させていたアスペリティが通常の滑りより一桁程度大きく滑った  
42 ことなど、単純なアスペリティモデルでは説明できない現象が発生した。

43 このため、本計画で不足していた点を明らかにして、本計画を抜本的に見直し、今後の研究の方  
44 向を見出すことが必要である。このため、この地震の現時点における全体像をできるだけ詳細に明

1 らかにすることを試みた。以下に現時点における成果と課題を示す。

2 (成果)

3 東北地方太平洋沖地震の発生前から、日本列島には高密度の地震観測網と GPS 観測網が展開さ  
4 れ、さらに震源域周辺には海底地震計や海底地殻変動観測点が設置されていた。これにより、前震  
5 活動から本震発生に至るまでの過程を精度良く把握できた。超巨大地震の震源過程がこのように詳  
6 細に捉えられたのは世界で初めてである。

7 これまでは、海溝付近で高角な分岐断層が滑ることによって大きな津波が発生すると考えられて  
8 いたが、今回の地震では低角のプレート境界が大きく滑ることによって巨大な津波が発生した可能  
9 性が高いことが海底観測から明らかになっている。これは、過去の津波地震の発生機構に対して再  
10 検討を要請するものであり、非常に重要な意味を持つ。

11 また、本震発生前の地震および余震の発震機構解の解析により、プレート境界にかかっていたせ  
12 ん断応力のほとんどが本震発生によって解放された可能性が高いことが示された。このことは、地  
13 震発生前のプレート境界の強度が、地震の応力降下量と同程度のかなり小さな値であったことを意  
14 味しており、プレート境界地震の発生サイクルのモデル化にとって極めて重大な成果である。

15 地震発生に先行して時間と共に滑りが加速していくような破壊核形成は捉えられなかったものの、  
16 前震の余効滑りが本震の破壊を促進したことが明らかになった。このような連鎖反応的な地震発生  
17 モデルは今回の地震の前から提案されており、超巨大地震でもそのような発生過程をたどることが  
18 あることを明らかにしたことは、今後の他の地域での超巨大地震の発生予測にとって重要な成果で  
19 ある。

20 (課題)

21 今回の東北地方太平洋沖地震について、短期予知はおろか、そのポテンシャル評価すらできな  
22 かった理由は、下記の通り、プレート境界の固着状況について過小評価していたことと、アスペリテ  
23 ィモデルが抱えていた問題が根本にあったと総括される。

24 1) 固着状況の過小評価

25 今回の地震で海溝近くで約 50 m の大きな滑りが生じたことは、地震発生前に同程度の滑り遅れが  
26 蓄積していたことを意味している。このような巨大な滑り遅れを生じさせるほど、固着が強いとい  
27 うことが事前に判明していれば、今回のような地震の発生可能性を予見できたはずであるが、実際  
28 には以下の理由で過小評価していた。

29 東北地方太平洋沖では普段の地震活動が高く、約 100 年の測地測量でもプレート境界の上盤側に  
30 位置する陸域では大きなひずみが蓄積されていなかったことから、プレート境界の固着は弱く、M8  
31 程度の地震とその余効滑りでひずみは解消されると考えられていた。この地域で沈み込むプレート  
32 の年代は世界的に見ても非常に古く、プレートが重くて沈み込みやすいために陸側プレートとの固  
33 着はそれほど強くないと解釈されていた。さらに、太平洋プレートがもぐりこんだばかりの日本海  
34 溝近くでは、上盤からの圧力が小さく、また堆積物もプレートと一緒に沈み込んでいることが明ら  
35 かになってきたため、海溝近くでプレート境界の固着が弱いと考えられていた。また、この付近で  
36 は地震活動が低調であり、発生したとしても低周波成分が卓越する地震が多いことも、この考え方  
37 を支持していた。

38 2) アスペリティモデルに内在していた問題

39 非地震性滑りによってアスペリティでの応力の集中と蓄積が進み、やがて地震発生にいたるとす  
40 る単純なアスペリティモデルで、ほとんどのプレート境界型地震が説明可能であったため、アスペ  
41 リティモデルは長期予測の科学的背景となった。このようなモデルに基づき宮城県沖で大きな地震  
42 が発生する可能性が高いことは事前に指摘できていたが、その規模については、M8 程度と評価し  
43 ていた。今回の地震の現時点までの解析結果から、現行のアスペリティモデルに基づく予測の問題  
44 点は以下の 2 点に総括される。

1 ○短期間のデータからのアスペリティの推定の限界

2 地震の震源域を歴史記録から推定する場合には誤差が大きいと、地球物理学的観測データから  
3 の推定を重要視する傾向にあった。発生間隔が数十年程度の M7 級の地震であれば観測データでア  
4 スペリティの分布は把握できると考え、M8 級の地震も M7 級のアスペリティの複合破壊として説  
5 明できるものと考えていた。M9 の東北地方太平洋沖地震の主破壊域のように、数百年にわたって  
6 固着している領域が存在しているとは考えていなかったため、100 年程度の観測データでは把握で  
7 きなかつた。

8 ○非地震性滑り域の極度の単純化

9 断層滑りのモデル化に用いられる速度・状態依存摩擦構成則では、通常は非地震性滑り域であつ  
10 ても、限られた条件下では、地震性滑りを起こしうることが知られていた。このモデルを用いて実  
11 際の地震発生を説明してゆくうちに、次第にモデルが単純化されてゆき、アスペリティ以外では地  
12 震性すべりを起こさないモデルが支配的になっていった。既知のアスペリティの大きさから、この  
13 地域で発生する地震の最大規模を過小評価していた。

14 上記のような問題から、最大の地震を M8 級であると想定していたために、M9 クラスの超巨大  
15 地震の発生の可能性については十分追究されていなかった。また、海底の観測体制も M9 の地震に  
16 十分対応できるものにはなっていない。

17 これらの反省を踏まえ、超巨大地震を含む地震・火山噴火の予測を行うためには、以下の 3 項目  
18 の研究を直ちに推進する必要がある。

19 (1) 超巨大地震とそれに起因する現象の解明のための観測研究

20 超巨大地震の発生機構を理解するには、地震発生サイクル、震源域の大きさや滑り量について明  
21 らかにし、超巨大地震とこれまで知られている大地震の関係を解明する必要がある。このために、  
22 東北地方太平洋沖地震の震源過程の研究をより一層推進するとともに、幅広い規模にわたる地震の  
23 発生サイクルや震源域の時空間的な階層性についての研究を進める必要がある。また、超巨大地震  
24 発生に先行して現れた現象について調査研究を行うことも重要である。東北地方太平洋沖地震発生  
25 後は余震活動が活発であり、M7 クラスの余震も発生している。震源域付近ではプレートがゆっくり  
26 滑る余効的な地殻変動が継続し、新たな大地震の発生の可能性もある。超巨大地震の発生に伴い、  
27 日本列島の応力場が変化したことが原因と考えられる、内陸や火山周辺で地震活動が活発になる現  
28 象が見られており、これらを理解するための観測研究を推進する必要がある。

29 (2) 超巨大地震とそれに起因する現象の予測のための観測研究

30 超巨大地震やそれに起因する現象を予測するために、プレート境界ですべり遅れがどこで生じて  
31 いるか等の地殻活動の現状把握のためのモニタリングや過去の地震発生履歴の調査を強化する必要  
32 がある。超巨大地震は低頻度の現象のため、その発生予測には、新しい統計的な手法を用いた予測  
33 手法の開発を行うことが必要である。また、観測データの即時処理により、地震動予測のみならず  
34 津波予測を高精度で行うためのシステムの研究開発を進めることも重要である。

35 (3) 超巨大地震とそれに起因する現象の解明と予測のための新技術の開発

36 超巨大地震とそれに起因する現象を解明して予測するには、陸域からの観測だけでは精度が不足  
37 しており、海溝軸付近の地殻変動や地震活動等を即時的に精度よく観測する必要がある。深海底で  
38 の観測には、既存の海底観測技術を高度化するための技術開発が必要である。さらに、沈み込み帯  
39 で発生する超巨大地震の発生履歴を理解するためには、沿岸域での古地震調査だけでは限界がある。  
40 海溝軸付近の深海底で、地震活動履歴を明らかにすることのできる技術を開発する必要がある。

41  
42 **3. 現計画の成果と課題**

43 (1) 地震と火山噴火予知研究の統合

44 (成果)

1 我が国における地震と火山噴火の発生は、海洋プレートが日本列島下に沈み込み、そのために生  
2 じる地殻・上部マンツルの構造不均質と力学的・化学的不安定に起因するため、現行計画ではこれ  
3 ら地震と火山噴火現象に共通な場の理解を目指した。特に、島弧マグマの発生場や地震活動と火山  
4 活動の相互作用などについて、地震・火山共通の研究課題として取り組み、以下の成果を得た。

5 ○沈み込み帯におけるスラブからの水の供給とマグマの発生・上昇経路の解明

6 上部マンツルにおけるマグマの発生や地震発生に重要な役割を果たす、スラブからマンツルウェ  
7 ッジへの水の供給に関して、スラブの上の低地震波速度・低電気比抵抗領域が日本列島全域で確認  
8 され、その実態が明らかになりつつある。

9 また、島弧におけるマグマの発生場に関しては、広域の三次元地震波速度構造の解析により、背  
10 弧側深部への海洋プレートの沈み込みと、マンツルウェッジ深部からのマンツル上昇流に対応する  
11 速度分布が得られ、マグマの発生活源が日本海の深部にまで及んでいる可能性が高いことが示され  
12 た。また、電気比抵抗構造の解析からも、背弧側深部から火山フロント直下へのマグマの上昇が示  
13 唆されるなど、上部マンツルにおけるマグマの発生と上昇経路について理解が進んだ。

14 ○地震活動と火山活動の相互作用の解明

15 伊豆半島東方沖では、地殻変動を伴いながら有感地震を含む活発な群発地震が繰り返し発生して  
16 おり、これらの群発地震の活動様式と発生機構について詳細な研究がなされた。その結果、これら  
17 の群発地震はマグマの貫入に伴って発生し、マグマの貫入量と群発地震の活動度が比例することが  
18 明らかにされた。このことは、地殻変動観測からマグマの貫入量を見積もることにより、群発地震  
19 活動の推移をある程度予測できることを示している。この成果は、地震調査研究推進本部において  
20 「伊豆東部の地震活動の予測手法（平成22年9月9日）」として取りまとめられ、気象庁の地震情  
21 報に活用されることになった。

22 また、伊豆大島における地震及び地殻変動の解析から、広域応力とマグマ活動による局所的な応  
23 力の影響で火山周辺の起震応力場が作られ地震活動はその影響を受けることが示された。さらに、  
24 伊豆大島及び周辺海域で実施された構造探査実験等から、マグマ貫入とそれに伴う地震活動が地下  
25 構造によって規定されている可能性が高いことが明らかになった。

26 （課題）

27 スラブからマンツルウェッジへの水の供給やマグマの発生場及び上昇経路の解明は、地震や火山  
28 噴火の発生予測に直ちに役立つわけではないが、地震・火山現象の地球科学的背景の理解に基づく  
29 地震及び火山噴火に至る全過程の理解の深化にはきわめて重要である。今後は、観測から得られる  
30 スラブ及びマンツルウェッジの三次元構造と、岩石の脱水条件などの物質科学的な研究成果及び数  
31 値シミュレーションとの比較研究により、沈み込み帯におけるスラブからの水の供給とマグマの発  
32 生・上昇について総合的に明らかにしていく必要がある。

33 地震活動と火山活動の相互作用に関しては、マグマ貫入による局所的な応力場によって活発な地  
34 震活動が引き起こされること、さらに、マグマの貫入量と地震の活発化の関係が定量的に明らかに  
35 されて気象庁の地震情報に用いられるなど、火山活動が地震活動に及ぼす影響については顕著な成  
36 果が得られた。一方で、地震活動が火山活動に及ぼす影響については取り組みがまだ不十分である。  
37 2011年（平成23年）東北地方太平洋沖地震では、地震波の伝播による動的応力場の変動により、  
38 日本各地の火山直下や火山近傍で火山性地震が誘発され、巨大地震の発生が火山活動に影響を及ぼ  
39 す事例が確認されている。今までのところ、東北地方太平洋沖地震により誘発されたと考えられる  
40 火山噴火は発生していないが、震源域に近い東日本の火山では静的な応力場も変化していると考え  
41 られ、これらの研究に早急に着手する必要がある。また、上記のような弾性的な応力の変化を介し  
42 た地震・火山の相互作用だけでなく、今後は地殻深部の粘性緩和や、マグマや火山ガス、地下水な  
43 どの地殻流体の挙動なども考慮した時間遅れのある相互作用についても研究を進めることが必要で  
44 であろう。このためには、マグマや地下水などの分布や状態も含めた地下構造についてのより詳細な

1 知識が必要となる。

2 さらに、現時点では地震・火山分野共通で取り組む研究課題は、マグマの発生場や地震活動と火  
3 山活動の相互作用など一部の課題に限定されているが、今後は両分野共同で取り組む研究の範囲を  
4 広げていくことも必要である。マグマ近傍の火山性地震・微動活動は、高温・高間隙圧の条件下で  
5 生じていると考えられ、プレート境界深部の低周波地震・微動との類似性が認められる。今後、そ  
6 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。

## 7 (2) 地震予知研究

### 8 (成果)

9 ここでは、地震予知研究で得られた成果のうち、主だったものを列挙する。

#### 10 ○モニタリングの高度化

11 宇宙技術については、GPS データ解析のリアルタイム化と高精度化が進められ、日本列島の変位  
12 速度場が詳細にモニタリングできるようになった。これにより、たとえば今回の東北地方太平洋沖  
13 地震のような極めて大きな地震の際には、GPS データをリアルタイムで解析して断層モデルを推定  
14 する目途がたった。また、SAR 干渉解析の技術開発も進み、地震時の滑り域の詳細な推定に威力を  
15 発揮したのみならず、余効変動についても解析できるようになった。たとえば、新潟県中越沖地震  
16 発生後、震源断層から離れた場所の活褶曲において急速な変動が捉えられた。

17 海底観測についても高度化が進み、特に宮城県沖に設置された海底地殻変動観測により、東北地  
18 方太平洋沖地震前のプレートの固着状態を推定するための貴重なデータが取得できた。また、2日  
19 前に発生した前震の余効すべりが本震の破壊を促したことや、本震の滑りが海溝近くで 50m 程度  
20 にまでなったことを示すデータが得られている。さらに、海底水圧計には津波の特徴を示す水圧変  
21 化が明瞭に記録されている。

22 これらのデータは本震の地震像とその余効変動を理解する上で重要であるばかりか、津波予測の  
23 高度化にも役立つことが期待される。データ処理のリアルタイム化を図るなど、今後さらに発展さ  
24 せることが極めて重要である。

#### 25 ○地震発生サイクルの理解とシミュレーションの高度化

26 岩手県釜石沖のプレート境界において、繰り返し発生する M5 前後の地震の震源域の内部や端でい  
27 くつかのグループをなす M2-4 程度の小地震活動が見つかった。M5 の地震発生サイクルの中で、そ  
28 れらの小地震が規則性をもって発生していることがわかった。これにより、大きなアスペリティの  
29 中に、いくつかの小さなアスペリティが存在するという階層性を持つことが明らかになった。この  
30 ようなアスペリティの階層構造を導入したモデルを用いたシミュレーションにより、大きさの異な  
31 る繰り返し地震が共存して発生することの再現に成功した。東北地方太平洋沖地震の震源域は、  
32 1978 年の宮城県沖地震の震源域を内包しており、M9 の地震の震源域内で M7 の地震が繰り返して  
33 きたことになる。M9 の地震が生じた理由の一つとして、このような階層構造を考慮したシミュレ  
34 ーションは極めて重要である。今後、このような階層性も考慮した地震発生モデル化を行ってい  
35 く必要がある。

#### 36 ○プレート間滑りの多様性と相互作用

37 西南日本におけるプレート境界では、深さの違いによりいくつかの滑り様式があることが明らか  
38 になった。深さ約 30km 以浅では東南海・南海地震のような巨大地震が発生し得る強い固着状態にあ  
39 る。深さ約 30~50km の中深部では、短期的ゆっくり滑りと深部低周波微動が発生している。低周波  
40 微動の発生も浅いものほど発生間隔が長く、深くなるにつれて短くなる。浅部と中深部の間では長  
41 期的ゆっくり滑りも発生している。また、深さ約 50km 以深では定常的に滑っていると考えられる。  
42 つまり、浅部から深部に向かって固着が徐々に弱くなり、深部では安定滑りとなってプレートが沈  
43 み込んでいる。中深部で発生する短期的ゆっくり滑りと深部低周波微動はほぼ同期して発生する。  
44

1 これは短期的ゆっくり滑りの発生により小さなアスペリティに応力が集中し、深部低周波微動が  
2 生していると考えられている。長期的ゆっくり滑りの発生によっても同様な機構で深部低周波微動  
3 が発生している。さらに、長期的ゆっくり滑りの発生に同期して、海溝近くのごく浅い領域で超低  
4 周波地震が発生していることが明らかになってきた。このように、プレート境界では固着の程度に  
5 より、多様な滑りが起こり、それらが相互に作用していることが明らかになった。

6 ○地震発生に及ぼす流体の影響の解明

7 地震波速度構造と比抵抗構造を同じ地域で高精度に推定する観測研究を推進してきた。内陸地震  
8 の震源域直下では、明瞭な地震波低速度・高ポアッソン比、低比抵抗の領域が共通して見られる。  
9 これは地殻流体の存在を示唆し、それによって強度が局所的に低下するため、その上部に応力が集  
10 中して内陸の大地震が発生するという機構が考えられる。

11 また、東海地方のフィリピン海プレートの沈み込みに伴う長期的ゆっくり滑りによるモーメント  
12 解放量の最も大きな領域は、海洋性地殻内における顕著な低速度・高ポアッソン比域に対応してい  
13 る。これは、ゆっくり滑りの発生に流体の存在が関与していることを示唆するものである。

14 東北地方太平洋沖地震前後の地震の解析により、見かけの摩擦係数が極めて小さい可能性があり、  
15 プレート境界の間隙水圧が極めて高いと考えることもできる。また、本震の滑り量が極めて大きく、  
16 残留応力がほぼゼロとなる程度まで滑った理由として、摩擦熱によりプレート境界の間隙水が膨張  
17 し、その水圧が上昇したとする仮説が提案されている。

18 東北地方太平洋沖地震の後、内陸の一部の領域で応力場の主軸方向が回転したことが判明した。  
19 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  
20 生域は間隙水圧が高いためと考えられる。

21 (課題)

22 これまでアスペリティモデルを用いて、プレート境界の地震発生を理解してきた。東北地方太平  
23 洋側で発生するM8級以下の地震の滑り分布はおおむねこのモデルで説明でき、複数のアスペリ  
24 ティの連動という概念を導入することにより、規模の大きな地震の発生についても説明できると考  
25 えていた。さらに、過去の地震の滑り分布からアスペリティの位置と大きさは特定し、地殻変動観測  
26 や小繰返し地震の解析から固着度が見積もられていた。それにより、M8級以下の地震に関しては  
27 場所、規模の推定に関してはある程度の予測ができるものと考えていた。しかしながら、2011年東  
28 北地方太平洋沖地震では、M7の地震の余効滑り域でも本震時に滑りが発生し、これまで固着が弱く  
29 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で極めて大きな地震性滑りが発生し  
30 た。これらのことから、アスペリティモデルを抜本的に見直すと同時に、その他のモデルの可能性  
31 についても検討する必要がある。例えば、断層の摩擦特性の時間変化を取り入れる等のより柔軟な  
32 モデルを構築する必要がある。また、摩擦特性の時空間変化を物理現象や物性に結び付け、アスペ  
33 リティの実体を念頭に置いたモデルの高度化も必要である。

34 西南日本では、プレート境界の固着が深さとともに弱くなることにより、巨大地震、長期的ゆっ  
35 くり滑り、短期的ゆっくり滑り・深部低周波微動、安定滑りと変化してゆく。また、それらの発生に  
36 相互作用が働いていることが明らかになってきた。これらの現象を説明するモデルの構築を通じて、  
37 アスペリティモデルの高度化や新たなモデルの開発につなげてゆく必要がある。

38 内陸地震の理解のため、過去の大地震の震源域近傍で地震波速度や比抵抗構造の調査を行った。  
39 その結果、震源断層の深部では、地震波低速度・低比抵抗領域が広がっているという共通の構造的  
40 特徴が見出された。さらに、周辺で発生する地震活動は、高速度・高比抵抗領域内で高いことも明  
41 らかになった。震源断層直下では地殻流体の存在が示唆され、下部地殻の強度が局所的に低下し、  
42 その直上の上部地殻に応力が集中することにより、内陸地震が発生するという概念モデルが提案さ  
43 れた。今後は、地震波速度や比抵抗と物質とを結びつけ、地殻流体の移動や温度場の影響も考慮し  
44 たモデルの高度化が望まれる。

### 1 (3) 火山噴火予知研究

#### 2 (成果)

3 本計画では、観測を通じて火山下の地殻や上部マントルで進行している諸現象を把握し、その結  
4 果と噴火シナリオに基づき、火山現象の予測を行うことを目指している。このため、火山噴火準備  
5 過程、火山噴火過程および火山噴火素過程の解明のための研究を実施して火山現象の理解を深める  
6 とともに、モニタリングシステムを整備・高度化し、いくつかの火山において噴火シナリオの作成  
7 に着手した。また、火山現象のデータベースを整備して、情報の統合化を図った。さらに、これら  
8 の研究に必要な観測技術の高度化も併せて推進された。ここでは、火山噴火予知研究で得られた成  
9 果のうち、主だったものを列挙する。

#### 10 ○火山のモニタリングの高度化

11 火山のモニタリングシステムに関しては、気象庁により、全国の47火山において地震計・傾斜計  
12 等の観測施設の整備が行われたことに加え、防災科学技術研究所による孔井式の火山観測施設の整  
13 備も始まり、それらの観測データの共有化と流通が開始されるなど、大きな進展が見られた。また、  
14 衛星搭載の高性能光学センサ（ASTER）を用いた観測や、SAR干渉解析や地震波干渉法など、新しい  
15 技術や手法もモニタリングに取り入れられ、その高度化が図られた。さらに、宇宙線（ミュオン）  
16 による火山体内部の観測が複数の火山において実施されて火道形状が推定され、絶対重力連続観測  
17 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。

#### 18 ○火山噴火予測システムとしての噴火シナリオの作成

19 本計画では、火山噴火の予測システムの開発をより明瞭に志向しているが、現時点では物理・化  
20 学モデルに基づく定量的な噴火活動推移予測は困難である。そこで、火山噴火予測システムとして、  
21 まずは主に過去の噴火事例や地質学的情報に基づいて、三宅島と新燃岳の噴火シナリオが作成され、  
22 桜島においても噴火シナリオのプロトタイプが作られた。さらに、噴火活動中の新燃岳に新たに作  
23 成された噴火シナリオを適用し、噴火シナリオとモニタリングデータを用いて噴火予測が試行され、  
24 その有効性と課題が明らかになった。

#### 25 ○マグマ蓄積過程とその多様性の解明

26 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、マグマ供給経路の解明  
27 と火山浅部へのマグマの上昇・蓄積過程の理解が進んだ。また、マグマ噴火を繰り返しながらさらに  
28 規模の大きな噴火への準備過程にあると考えられる桜島と、静穏期を経て噴火に至る伊豆大島をモ  
29 デルケースとした観測研究から、マグマ蓄積過程の多様性についても重要な知見が得られた。

30 このうち、噴火を繰り返している桜島では、火道が開放状態にあると考えられる。人工地震を用  
31 いた構造探査により、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  
32 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が見いだされた。  
33 さらに、地殻変動や地震活動・発震機構解の特徴等から、深部マグマ溜まりと浅部マグマ溜まりを  
34 つなぐマグマ供給系が明らかになった。噴火活動は、浅部マグマ溜まりへのマグマの供給と火口か  
35 らの火山噴出物の放出の収支バランスに支配され、これが噴火の多様性につながっている。また、  
36 深部マグマ溜まりでは、浅部マグマ溜まりにマグマを供給しながら、さらに規模の大きな本格的噴  
37 火に向けてマグマ蓄積を継続していることが明らかになった。

38 一方、現在噴火活動を休止している伊豆大島においては火道が閉鎖状態にあり、約3年周期で間  
39 欠的に山体の膨張と収縮が観測されている。これは、マグマの火山浅部への上昇・蓄積と深部への還  
40 流が繰り返されていることを示している。また、火山体構造探査結果との対比から、マグマ蓄積場  
41 所の深度が地下の密度分布に支配されていることが示された。

42 このように、マグマ上昇・蓄積過程は火道が開放系か閉鎖系かによって違いが見られ、開放系の場合  
43 はマグマの収支バランスに支配され、閉鎖系の場合では地下構造が大きく関与している。

1 ○火山噴火の推移とその多様性の解明

2 爆発的噴火が頻発する桜島、諏訪之瀬島、スメル山などの火山において高精度の多項目観測が行  
3 われ、火口近傍で観測を実施すれば爆発的噴火の直前の山体膨脹を検知できることが示された。さ  
4 らに、諏訪之瀬島やスメル山では、噴火に先行する山体膨脹の速度と噴火規模に相関があることも  
5 明らかになった。また、火山ガスのモニタリングにより、いくつかの火山において噴火の発生直前  
6 に火山ガス放出量がいったん減少することが明らかになった。これらは、観測により爆発的噴火の  
7 発生時期と規模を直前予測できる可能性があることを示しており、火山噴火予測にとって大きな成  
8 果である。

9 一方、有珠山では、水蒸気爆発とマグマ水蒸気爆発の発生条件が、火山浅部の帯水層の深度によ  
10 って説明できることが示され、噴火の推移と多様性にはマグマの物性や状態のみならず、火道の周  
11 囲の構造や地下水などの環境も重要であることが明らかになった。

12 さらに、桜島の噴出物の分析から、玄武岩質マグマの関与の度合いが噴火規模を支配している可  
13 能性が高いことが示されるなど、マグマの発達過程と噴火規模・様式の関係についても重要な知見  
14 が得られた。

15 (課題)

16 本計画では、社会に対する火山噴火予知研究の成果として、火山噴火予測システムの構築を目指  
17 した。いくつかの活動的な火山において、火山噴火予測システムとして噴火シナリオが作成され、  
18 それを用いて噴火予測の試行が行われたことは、本計画の着実な進捗を示すものである。しかし一  
19 方で、火山噴火の発生頻度が低いため、過去の噴火事例についてのデータや情報が質・量ともに不  
20 足しており、噴火シナリオの作成と高度化は容易ではないことも認識された。現在の噴火シナリオ  
21 は、火山噴火予測システムとしては定性的で初歩的なものであり、今後、さらにボーリングなどの  
22 地質調査を組織的に行うなどして噴火履歴に関する情報の量と精度を上げるとともに、噴火現象解  
23 明研究の成果を取り入れながら、噴火シナリオの高度化に取り組む必要がある。噴火シナリオは、  
24 現在の火山学の知識を火山防災に効率的に役立てるものであり、この観点からも引き続きその作成  
25 と高度化を推進すべきである。

26 火山現象を予測するためには、上記のような予測システムの構築に加え、モニタリング能力の向  
27 上が不可欠である。火山現象を対象としたモニタリングには、地震現象の場合と異なり、火山ガス  
28 や赤外映像、可視映像などの多項目の観測が必要であり、火山観測に特化した基盤的観測網の整備  
29 を推進する必要がある。これらの火山基盤観測網の整備によりモニタリング能力の向上を図るとも  
30 に、地震の基盤観測網などの現有の資源も最大限に活用して各機関の観測網のデータの交換と共有  
31 も併せて進めることが必要である。また、モニタリングのさらなる高度化を目指して、新たな火山  
32 観測技術の開発にも引き続き取り組む必要がある。

33 火山現象の解明は、火山噴火予測システムを構築する際の基礎となり、噴火シナリオの中の事象  
34 分岐において判断基準を策定する際に必要である。このため、国内外の火山において観測研究が行  
35 われ、マグマ蓄積過程や噴火過程に関して解明が進むとともに、それらの多様性についても理解が  
36 深まった。今後も多くの火山における比較研究を推進して、これらの多様性を生じる機構の解明を  
37 目指すべきである。また、桜島のような重点観測研究火山を引き続き設定して、多項目観測や地質  
38 学的調査を集中的に実施し、マグマ溜まりにおけるマグマの蓄積と発達過程、火道の状態やマグマ  
39 が貫入する火道浅部構造や、上昇するマグマに含まれる揮発性物質の挙動などを明らかにし、火山  
40 現象のモデルの構築を目指す必要がある。さらにモデル化に際しては、マグマの分化・発泡・脱ガ  
41 ス過程などの素過程の理解が不可欠であることから、数値シミュレーションや室内実験などの研究  
42 も併せて推進する必要がある。

43 これらの研究を支援するものとして、データベースの構築も重要である。これまでの火山噴火予  
44 知計画において、火山地質図や火山地形図などの火山活動基礎資料が年次的に整備され、活用され

1 てきた。また、火山ハザードマップが作成され、噴出物の年代や化学分析値のデータベースが整備  
2 されるなど、火山防災のための基礎資料の充実も図られてきた。しかし、火山噴火予測システムの  
3 構築に資することを強く意識した統合データベースの整備は必ずしも十分ではなく、今後はその構  
4 築に向けた取り組みが必要である。また、現象解明研究を含め本計画の各課題で得られたデータ、  
5 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進めるべきである。

#### 6 7 (4) 計画推進のための体制強化

##### 8 ○地震本部と本計画との関係

9 地震及び火山の発生から逃れられない我が国の地学的な立地を考えると、地震や火山の研究を推  
10 進し、その成果を地震や火山の防災や減災に役立てることは、国の責務である。国の地震調査研究  
11 推進本部を進める調査研究と本計画が互いに補完して、国民の要求に応える必要がある。本計画は、  
12 研究者の自由な発想に基づくボトムアップによる研究であり、萌芽的な研究や基礎的な研究を推進  
13 するには適した研究体制である。一方、地震調査研究推進本部が行う調査研究はトップダウンで行  
14 い、大規模で組織的な研究を推進するには適した体制である。地震発生の予測方法が確立していな  
15 い現状を考えると、両者が役割分担し、協力して地震研究を推進すべきである。

##### 16 ○地震研究と火山研究の違い

17 一方、火山研究分野においては、地震調査研究推進本部のようなトップダウンによる研究推進  
18 の体制は存在していない。我が国の火山防災及び減災対策を充実するためには、政府として火山調  
19 査研究に関する総合的かつ基本的な施策の立案や、総合的な観測研究計画の策定などの取り組みを  
20 おこなう、トップダウンによる推進体制の確立が必要である。

##### 21 ○長期にわたる観測の継続と基盤的観測網の整備

22 地震・火山現象を理解し、予測するための研究には、継続的に高精度の観測データを取得し、観  
23 測研究に活用する必要がある。国が整備した基盤的調査観測網は、地震発生の予測を目指す本研究  
24 の推進に不可欠なものとなっており、今後も継続的に維持されることを期待する。陸域の地震やGPS  
25 の基盤的な観測網については整備が進んでおり、我が国は世界的に見ても極めて高度な観測網を有  
26 している。一方、海域は観測網の設置が困難であるため、その整備が遅れていた。国土の四方を海  
27 に囲まれ、海域で巨大地震が発生することを考えると、今後は海域の観測網を整備されることを期  
28 待する。また、陸域においても、観測点の設置が困難な火山周辺では整備が遅れている。火山噴火  
29 予知の高度化のためには、火山周辺に基盤的観測網を整備することが求められる。

30 地震や火山噴火の発生直後の観測データは、地震発生や火山噴火機構の解明に重要である。本計  
31 画において、内陸地震発生場や火山周辺の構造の特徴などについて、大学等は機動的な観測からい  
32 くつかの重要な研究成果をあげている。研究目標を明確にして、基盤的な観測網を補うような実験  
33 的観測を実施することは、地震や火山噴火現象の理解に有効であり、研究目標を明確にした機動観  
34 測を一層高度にすることが重要である。

##### 35 ○研究の推進体制

36 観測研究計画推進委員会は、大学の地震火山噴火予知研究協議会企画部と連携し、本計画の策定、  
37 研究の進捗状況の把握、研究計画の見直しを実施している。本計画の推進の中核としての機能は大  
38 変重要であり、今後もその機能を継続するとともに、大学と関係機関との連携強化のため、活動を  
39 強化する必要がある。

40 本計画の主たる担い手である大学においては、共同利用・共同研究拠点である東京大学地震研究  
41 所に設置された地震・火山噴火予知研究協議会の機能を利用し、連携を強化して計画を推進してい  
42 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ことにより、連携  
43 した計画の推進、大規模な観測の実施、研究の基盤となる観測データやデータベースの充実が期待  
44 できる。それと同時に、各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

1 った研究組織として、研究を進めることを期待する。

2 ○人材の確保

3 本計画の継続的な推進のためには、人材の確保と育成が極めて重要である。各大学は、若手人材  
4 の育成や確保のため、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、  
5 大学院生の研究環境の改善を目指した取り組みや必要である。また、大学や関係機関においても、  
6 研究者のポストの増員が望まれる。地震や火山災害から逃れられない我が国においては、防災機関  
7 に地震及び火山に関する専門知識が必要な職員が必要であり、それを社会に丁寧に説明しながら、  
8 人材の確保に努める必要がある。

9 ○国際交流

10 地震・火山現象に関する理解を深め、地震及び火山噴火予知研究を推進し、災害軽減に資するた  
11 めには、国内外の地震・火山活動に関する国際共同観測・比較研究などの国際共同研究や国際協力  
12 が重要である。特に、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、  
13 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、他の地域との比  
14 較研究や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。大学や関係機関は互いに協  
15 力して、国際交流を一層推進する必要がある。

16 ○成果の社会への還元

17 大学や関係機関では広報活動が活発に行われ、気象庁は地震や火山の防災情報の高度化をはかる  
18 ことにより、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  
19 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  
20 ていなかった事もあると言われている。今後は、大学と関係機関は防災の専門家と連携し、住民や行  
21 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  
22 のアウトリーチ活動を推進する必要がある。国民の地震及び火山災害を軽減するには、研究成果の  
23 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への取り組みも重要である。  
24 本計画に参画する研究者は、研究成果の公表だけでなく、その社会実装にも配慮し、研究成果の還  
25 元に一層努力する必要がある。

26

27

28 4. 現計画の総括的評価と今後の展望

29 (地震及び火山噴火予知研究の基本方針)

30 地震予知研究に関しては、平成11年度からの新計画でそれまでの「前兆現象の検出のための観測」  
31 を主体とした基本方針を転換し、基礎研究による地震発生プロセスのモデル化と、モデルとモニタ  
32 リングに基づく地殻活動予測を基本方針としてきた。また、火山噴火予知研究に関しては、これま  
33 で火山観測の強化と火山噴火予知高度化のための基礎研究の推進を両輪として実施されてきた。平  
34 成21年度からの現行の「地震及び火山噴火予知のための観測研究計画」においても、基本的には新  
35 計画の基本方針に沿っており、さらに予測システムの開発を明瞭に志向した計画になっている。そ  
36 のため、本計画では、計画の実施内容の4つの柱について、

- 37 1. 地震・火山現象予測のための観測研究の推進
- 38 2. 地震・火山現象解明のための観測研究の推進
- 39 3. 新たな観測技術の開発
- 40 4. 計画推進のための体制の強化

41 と定め、地震・火山現象予測のための観測研究を第一の柱としている。地震発生予測研究では数値  
42 シミュレーションとモニタリングを、火山噴火予知研究では、噴火シナリオとモニタリングをそれ  
43 ぞれ両輪として予測を目指している。さらに、予測の基礎となるモデルの構築には、現象解明のた  
44 めの観測研究や観測技術の開発が必要とされ、それらは上記両輪を支えるものとして位置づけられ

1 ている。

2 しかし、東北地方太平洋沖地震の発生は、海溝近傍で発生するプレート境界の超巨大地震につい  
3 てのわれわれの理解が極めて不十分であっただけでなく、その分野に関する研究体制も全く整って  
4 いなかったことを我々に認識させた。我々はこのことを真摯に反省し、研究戦略と研究体制の抜本  
5 的な見直しを行う必要がある。これまでの研究の蓄積によって、プレート境界ではゆっくり滑りと  
6 M8 以下の地震は別々の場所で発生するなど、プレート境界でのすべりの多様性についての理解が進  
7 んでいた。しかしながら、海溝軸近傍におけるプレート境界では固着が弱いと考えられていたため、  
8 超巨大地震の発生の可能性を指摘できなかった。また、ほとんどの観測網は陸上に限定されており、  
9 海溝付近の固着状態については把握できていなかった。さらに、近代観測が始まってたかだか 100  
10 年程度のデータから、発生サイクルの長い低頻度現象を予測しようとしていた。これらの反省を踏  
11 まえ、地震予知研究の現状を再度確認し、今後は、低頻度大規模現象理解のための観測研究を強力  
12 に推進し、予測の基礎となる新たな地震発生モデルを構築する必要がある。

13 また、火山噴火予知研究に関しても、「適切な観測体制が取られた火山では噴火時期をある程度予  
14 測できる」という現状認識であったが、300 年ぶり新燃岳の噴火については、活動の異常を検出し、  
15 噴火の可能性が高まってきたことは把握できていたが、噴火時期の正確な予測には至らなかった。  
16 このような現状を踏まえると、噴火に至るまでの現象の理解に基づく火山噴火のモデル化のための  
17 研究を推進する必要がある。

18 一方で、地震・火山現象の予測は本計画の最終的な目標であり、今後もその高度化を着実に進め、  
19 予測精度を上げる努力を継続することが重要である。さらに、地震・火山噴火の減災への貢献を志  
20 向した研究にも力を注ぐべきである。例えば、強震動、津波、降灰、火山ガスなどの地震・火山ハ  
21 ザードの評価のための研究や防災情報の高度化の基盤となる研究についても積極的に取り組む必要  
22 がある。

### 23 (地震予知研究計画と火山噴火予知計画の統合)

24 地震活動と火山活動はどちらもプレートの沈み込みという共通の地球科学的背景を有することか  
25 ら、地震予知研究計画と火山噴火予知計画を統合して共同で研究を進めることは、地震及び火山現  
26 象双方の理解に役立つと考えられる。また、研究効率の観点からも、両予知研究で共通の研究者や  
27 観測システムなどの研究資源を活用できるというメリットがある。このため、本統合計画では、長  
28 期・広域の地震・火山現象の研究について共同で取り組み、上部マントルとマグマの発生場や地殻  
29 構造と地殻流体の分布、地震活動と火山活動の相互作用などについて成果が得られつつあるなど、  
30 統合の効果が認められる。しかし、両予知研究の直接の研究対象の違い、例えば準備過程であれば、  
31 地震は応力集中プロセスであり火山噴火ではマグマ蓄積プロセスであることから、個別の研究課題  
32 の多くは現時点では別々に実施され、統合の効果はまだ限定的である。今後は、火山を応力が時空  
33 間的に急変するテストフィールドとして地震発生準備過程の研究を行うなど、地震・火山両分野が  
34 共同で取り組む研究対象を広げ、地震・火山現象の理解をさらに深めていくことが重要である。ま  
35 た、東北地方太平洋沖地震の発生は、広域の地震活動のみならず火山活動にも影響を与えており、  
36 巨大地震と火山噴火の相互作用の研究にも速やかに着手する必要がある。

37 なお、統合計画における研究項目については、地震予測と火山噴火予測の達成度や、それぞれに  
38 固有の課題や体制等にも配慮しつつ、統合の効果が最大限に得られるように、研究項目を再構成す  
39 る必要がある。

40

### 41 (低頻度大規模な地震及び火山噴火現象に対する基本戦略)

42 平成 23 年東北地方太平洋沖地震の発生により、本計画では超巨大地震や破局噴火のような低頻度  
43 大規模現象についての研究が、質的にも量的にも不足していたことが明らかになった。

44 低頻度で大規模な地震や火山現象の研究は、通常地震や火山現象に比べて事例や各種のデータ

1 が極端に少なく、また研究推進方法も確立していないため、短期間で結果が求められる競争的研究  
2 体制では成果が得にくいと考えられる。本計画のように、研究者の自由な発想に基づき研究推進方  
3 法を模索しながら、長期に継続して推進する体制でなければ、低頻度大規模現象の解明や発生予測  
4 の研究はなし得ないと考えられる。

5 本計画の中でこのような研究を行う場合には、過去の現象や世界の他の地域で発生する現象を研  
6 究することにより事例を増やし、理解を深める必要がある。そのためには、地球物理学的観測を主  
7 体とした研究だけではなく、地質学分野や考古学分野との連携が一層重要となる。また、国内の地  
8 震・火山噴火だけでなく、海外で発生した低頻度大規模現象についても、積極的に国際共同研究や  
9 比較研究を行う必要である。さらに、観測研究を補完する理論的研究やシミュレーション研究、科  
10 学掘削などの能動的調査研究も積極的に推進する必要がある。

11 現象が大規模であれば観測施設やデータ通信網に大きな被害が出ることも予想される。大規模低  
12 頻度現象が継続している期間やその直後の観測データは、それらの現象の発生機構を解明する上で  
13 きわめて重要であるため、モニタリング能力の維持とそのバックアップ体制を整備する必要がある。  
14 また、大規模な機動的な調査・観測を即時的に実施する体制の整備も考慮に入れる必要がある。大規  
15 模低頻度現象が発生した後の推移を正確に記録するため、超巨大地震による強震動や津波、広範囲  
16 かつ長期にわたって誘発される地震や火山活動に関する研究、巨大噴火により誘発される地震や津  
17 波、環境変化等の研究についても連携して推進することが必要である。

#### 18 19 (国際共同研究の推進)

20 国際的な共同研究により、国内の地震活動や火山活動と海外の多様な活動と比較研究を行うこと  
21 は、地震及び火山噴火予知研究の高度化のために有効である。そのため、これまでも海外で大きな  
22 地震などが発生した場合は、科学研究費補助金等により海外での調査研究を実施してきた。最近で  
23 は、JST-JICA 地球規模課題対応国際科学技術協力事業により、インドネシアやフィリピン等におい  
24 て国際共同研究がなされ、大きな成果を上げている。しかし、これらの多くはいずれも比較的短期  
25 間のプロジェクトであるため、研究内容も限られ、長期的な視野に立った観測研究を実施すること  
26 ができず、地震火山活動について十分理解を深めることは困難である。一部の大学では、相手国と  
27 の協定により国際共同研究を実施すると同時に人材育成に長期的に取り組んでおり、継続的な協力  
28 関係が構築され、円滑な国際共同研究が推進されている。このような取り組みを大学と関係機関が  
29 協力して組織的に推進し、相手国・機関との信頼関係や協力関係を長期間継続できる体制の整備が  
30 必要である。また、アメリカのように海外の地震や火山噴火に即応して観測支援や国際共同研究を  
31 推進する組織が我が国の地震及び火山噴火予知研究機関にないことも、国際化が進まない一因であ  
32 り、今後の体制整備とともに、在外公館の協力も望まれる。

#### 33 34 (火山噴火予知研究体制の問題点)

35 国立大学の法人化以降、予知計画の中核を担っている大学の観測体制の維持、人材及び予算の確  
36 保などが年々厳しい状況になりつつある。予知研究は、長期にわたる観測が不可欠であり、その観  
37 測研究基盤は国が責任を持って整備し維持する必要がある。特に、火山噴火予知研究においては、  
38 地震調査研究推進本部にあたる組織・体制がないことにより、研究基盤の整備が遅れている。観測  
39 研究の推進には火山に特化した基盤的観測網の整備が必要である。そこでは、地震、傾斜、GPS に  
40 加えて、空振、監視カメラ映像、磁力、熱、火山ガスなどの多項目観測を実施する必要がある。法  
41 人化した大学が独自にこれらの観測網を設置し、長期にわたり維持・更新していくことはきわめて  
42 困難であり、国による計画的な観測研究基盤の整備を着実に進めていくべきである。また、火山噴  
43 火予測の高度化のためには、全国の活火山における噴火履歴の調査などを実施する必要がある。こ  
44 れらを組織的・計画的に実施し、火山防災・減災を実現するためには、国が主導する組織・体制を

1 検討する必要がある。

2

### 3 (研究成果の社会への還元)

4 地震及び火山噴火予知研究の成果は、社会へ還元され防災・減災に役立てられなければならない。  
5 これまでは、地震・火山噴火の予測の実用化による災害の軽減を最終的な目標として観測研究計画  
6 を推進してきた。それに伴い地震・火山噴火現象の理解は格段に進み、シミュレーションによる現  
7 象の再現は可能になりつつある。しかし、物理モデルに基づく実用的な予測までの道程は、平成 23  
8 年東北地方太平洋沖地震の発生により、想定していたよりも遠いことが明らかになった。これまで  
9 の研究の成果を踏まえ、他分野との連携も含めた新たな研究項目を取り入れ、今後も予測のための  
10 観測研究を継続することが重要である。

11 一方、地震発生や火山噴火の予測の実用化で減災に貢献するだけでなく、現在の到達点における  
12 研究成果の還元にも、積極的に取り組むべきである。実際、本計画の成果は緊急地震速報や噴火警  
13 戒レベルなどの防災情報の基盤となる科学的根拠を提供し、その高度化に大きな役割を果たしてき  
14 きた。もともと、防災情報には誤差が含まれており、その低減を目指して本計画を推進することは地  
15 震火山防災を通じ社会への還元となる。今後は、防災情報の更なる高度化を意識した観測研究の推  
16 進を志向すべきである。

17

18

## 19 5. まとめ

20 本計画によって、地震発生予測及び火山噴火予測に関する観測研究の成果は順調に上がってきた。  
21 例えば、岩手県釜石沖のプレート境界において繰り返し発生する M5 前後の地震の震源域の内部や端  
22 でいくつかのグループをなす小地震活動が見つかり、M5 の地震発生サイクルの中でそれらの小地震  
23 活動が規則性をもって発生していることが明らかになった。これにより、大きなアスペリティの中  
24 に、いくつかの小さなアスペリティが存在するという階層性を明らかにした。また、内陸地震発生  
25 域では、震源断層下において流体を含むせん断帯が形成されていることが明らかになった。このせん  
26 断帯の変形が進行し、上部地殻内の断層面に応力が効率的に集中することによって、内陸地震が  
27 発生するというモデルが構築された。さらに、爆発的噴火が頻発する火山において、噴火直前の山  
28 体膨脹を検出し、噴火に先行する山体膨脹の速度と噴火規模の間に相関があることが明らかになっ  
29 た。これにより、爆発的噴火の発生時期と規模の直前予測の可能性が示された。

30 しかしながら、平成 23 年東北地方太平洋沖地震の発生により、本計画では M9 級の超巨大地震  
31 の発生の可能性については十分追究されていなかったことが明らかになった。この地震は、海溝軸  
32 付近のプレート境界浅部が非常に大きく滑ったことや、これまで知られていた M7~8 程度の地震  
33 を引き起こすアスペリティを含む領域が同時に滑ったことなど、これまでの認識を超える現象であ  
34 った。これはプレート境界の固着状況に関する知見が不十分であったことや、地震発生モデルを単  
35 純化しすぎていたことによるものと考えられる。これらの反省を踏まえ、地震・火山噴火予知研究  
36 の現状を再度確認し、今後は、超巨大地震のような低頻度大規模現象理解のための観測研究を強力  
37 に推進し、予測の基礎となる新たな地震発生モデルや火山噴火モデルを構築する必要がある。

38 本計画の成果は、地震・火山の防災・減災に役立てられることにより、社会に還元されなければ  
39 ならない。今後は、地震発生や火山噴火の予測の実用化だけによる災害の軽減を目指すのではなく、  
40 現時点の研究成果を社会に積極的に還元し、地震や火山の防災・減災に役立てることを志向し、防災  
41 情報の更なる高度化を意識した観測研究にも力を注ぐべきである。