

高知市・仙台市を対象として都市モデルを構築し、, 統合地震シミュレーションを行っている。複合災害として重要な課題であることが再確認された津波に対して、新しい解析手法を構築し、都市モデルに適用することを試みている。この解析手法も「京」計算機で利用することも予定しており、並列化性能の検討を重ねている。津波から円滑な避難を進めることは大きな課題である。避難過程のエージェントシミュレーションを高度化し、有効な避難行動の分析や円滑化を検討している。このエージェントシミュレーションも「京」計算機で利用する予定である。

3.9.3 シミュレーション室の運営

計算科学と地震学・火山学の融合を促進するため、シミュレーション室の運営を担当している。シミュレーション室は、計算理論の構築と計算手法の開発とともに、地震・火山に関わる現象を大規模計算を使ったシミュレーションによって再現・予測することを研究する。昨年度の GPU 計算機に続き、今年度もインテルファイ計算機を購入し、高速化・大規模化のためのアルゴリズム開発を進めた。

3.9.4 全学自由研究ゼミナールの開催

本センターの教員を中心に、2011 年と 2012 年度の冬学期に「東日本大震災の科学」という全学自由研究ゼミナールを開催した。情報学環・工学系研究科と地震研究所の教員、計 8 名が担当したゼミナールである。ゼミナールの成果の一つとして、「東日本大震災の科学」(佐竹健治・堀宗朗編)が 2012 年に東大出版会から発刊された。

3.10 地震火山噴火予知研究推進センター

教授	森田裕一(センター長), 三浦 哲, 吉田真吾, 中田節也(兼務)
准教授	飯高 隆, 加藤尚之
助教	福田淳一, 加藤愛太郎
特任研究員	光藤哲也
学術支援専門職員	西山昭仁(地震火山情報センター ~ 2012 年 11 月)
客員教授	井口正人, 高橋浩晃
大学院生	松山諒太郎 (M1)

全国の 14 大学 17 部局及び行政機関、研究開発法人が参加して実施している「地震及び火山噴火予知のための観測研究」は、地震や火山現象の科学的理解に基づいた地震発生や火山噴火の予測の実現を目指した全国共同研究である。この共同研究計画は、地震や火山の分野の研究者の意見を取り入れて策定され、平成 20 年 7 月に科学技術・学術審議会において文部科学大臣及び関係大臣に建議され、平成 21 年度～平成 25 年度の 5 ヶ年の予定で実施してきた。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によって、現行の研究計画に加えて新たな研究を開始する必要性が生じたため、平成 24 年 11 月に研究計画の見直しを行い、超巨大地震に関する研究を開始した。本センターは、地震研究所に設置された地震・火山噴火予知研究協議会の企画部として、全国の研究者が連携・協力して推進するこの共同研究の企画、計画の策定、研究の進捗状況の把握、研究成果の取りまとめなどを行っている。また、平成 24 年度に行われた総括的自己点検評価書の作成や、その外部有識者による評価作業のための資料作成等の実務を担い、この共同研究の推進に大きく貢献している。

このようなサイエスマネージメントを行う他、本センターに所属する個々の教員は地震及び火山噴火予知研究の研究課題に取り組んでいる。教員の多くは、地震予知または火山噴火予知研究センター等と兼務しており、当該教員の研究成果の一部は、他の研究センターの成果として記載されている。ここでは、当センターが行っている地震・火山噴火予知のための観測研究の推進についてと、所属する教員が実施している研究のうち、他のセンターと重複しない研究成果について取り上げる。

3.10.1 地震及び火山噴火予知のための観測研究の推進

(1) 地震及び火山噴火予知のため観測研究計画(建議)

海洋プレートの沈み込みの直上に国土を持つ我が国においては、常に地震や火山噴火の災害に直面している。地震研究所は関東大震災を契機として1925年に設立され、「本所永遠の使命とする所は地震に関する諸現象の科学的な研究と直接又は間接に地震に起因する災害の豫防並に軽減方策の探究とである」と言う理念のもと、設立から88年になろうとしている。この間、地震学や火山学をはじめ固体地球科学は学術的に目覚ましく発展したが、それには1965年から始められた地震予知計画と1974年から始められた火山噴火予知計画に負うところが大きい。両研究計画は、開始当時はほとんど整備されていなかった全国規模の高感度地震観測網、火山観測網の整備、地震及び火山研究体制の整備から始められた。現在では、地震及び火山噴火現象の科学的理解の深化を目指した研究を行い、究極的には予測の実現を目指した学術研究計画となっている。両計画の開始当初から地震研究所は計画の中核となっており、地震や火山噴火に関する科学的な研究成果を防災・減災に役立てることにより社会に還元することに努めてきた。平成20年7月には、それまで別々に進められてきた地震予知研究と火山噴火予知研究が統合され、「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」(平成21年度～平成25年度)が策定され、文部科学大臣等の関係大臣に建議された。この研究計画に基づき、全国の大学、独立行政法人、政府機関が連携・協力し、地震や火山噴火の予測に関する研究、地震や火山現象の理解の深化を目指した研究、地震や火山噴火の観測技術の高度化に関する研究、地震や火山研究体制の強化を4本の柱として、包括的に研究を推進している。地震研究所は「地震及び火山科学の共同利用・共同研究拠点」として、下記の地震・火山噴火予知研究協議会の活動を通して、全国の大学が協力・連携して実施する予知研究の推進の中核を担うと同時に、大学以外の機関との連携にも重要な役割を果たしている。

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震(M9.0)は、世界的に見ても史上4番目の規模の極めて大きな地震であり、東日本の広い地域に甚大な被害をもたらした。このような極めて大きな地震の発生は非常にまれであり、多くの地震研究者は東北地方の日本海溝沿いでこのような超巨大地震が発生する可能性についての十分に追究をしてこなかった。地震発生直後から、このような超巨大地震がなぜ海溝軸近くで発生したか、これまで東北地方のプレート沈み込み域で発生してきたM8級の地震とどのような関連があるかなど、全国の研究者と協力して超巨大地震に関する研究を緊急に開始すると同時に、現在の研究計画の中ではこのような超巨大地震の発生機構に関する基礎研究が不足していたことから、研究計画の一部を見直した。この研究計画の見直しにあたっては、広く社会からの意見を取り入れるため、パブリックコメントや関連学協会、海外の著名な研究者からの意見聴取を行い、これらの意見を取り入れて研究計画の見直しを行い、2012年11月に文部科学大臣をはじめ関係大臣に建議された。現在は、この見直し計画に沿って、従来からの研究に加え、超巨大地震に関する研究を推進している。

2012年の4月には「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」(平成21～25年度)の前半3年間の実施状況と、その前身である「新たな地震予知のための観測研究計画(第2次)」(平成16～20年)と「第7次火山噴火予知計画」(平成16～20年)のうちの後半2年間の実施状況について、総括的自己点検を行ない、外部の有識者による第三者評価を行った。この評価においては、この研究計画によって科学的な研究成果が多数上げられていることや地震予知研究と火山噴火予知研究を統合したことを高く評価する一方で、研究成果が地震や火山噴火の防災・軽減に十分に貢献できていないという課題も指摘された。これらの指摘や研究計画の見直しを踏まえ、2014年度から開始予定の次期研究計画が策定される予定である。

(2) 地震・火山噴火予知研究協議会・企画部

平成21年度に地震予知研究計画と火山噴火予知計画の両計画が統合されて「地震及び火山噴火予知のための観測研究計画」(以下、「予知研究」)が開始されるのに先立ち、これまで別々に活動していた地震予知研究協議会と火山噴火予知研究協議会が統合され、東京大学地震研究所に地震・火山噴火予知研究協議会(以下、「予知協議会」)が設置された。この組織は、全国の研究者が協力・連携して予知研究を推進するための協議機関である。地震や火山噴火に関する研究には、単独の大学で実施できない大規模な実験観測や継続的な観測が必要なことから、法人化によって独立性の高くなった大学間の連携を強化するため、予知協議会の役割は重くなっている。大学間の連携を強化して、より高度で大規模な研究を行うため、これまで各大学が個別に予算要求していた予知研究の研究経費を、平成21年度から共同利用・共同研究拠点である地震研究所が一括して要求し、予知協議会による審議を経て各大学に研究費を配分する仕組みを作り上げた。これにより、戦略的に年度ごとに経費を集中する研究分野を選択でき、全国の研究者が連携して効率的に研究を実施する体制が整備できた。

予知協議会の活動を円滑に進めるため、予知協議会には「大学の地震・火山噴火予知研究の全体計画を予知協議会に提案し、計画の進捗状況を常時把握し、もって地震・火山噴火予知研究の推進を図る」企画部、「大学の地震・火山噴火予知研究計画を、広範な研究者の参加の下に円滑に推進する」計画推進部会、及び「地震・火山噴火予知研究の予算の原案を協議会に提案する」予算委員会が置かれている。予知協議会企画部の機能を強化するため、予知研

究の中核である当研究所に当センターが設置され、企画部として予知協議会の運営や活動に大きく貢献している。

2012年に予知協議会の平成18年度～平成23年度の期間における活動についての外部評価が行われ、地震研究所が共同・共同研究拠点として、法人化されて独立性が高くなった全国の大学や研究機関と協力・連携して実施する予知研究の推進に大きな役割を果たしていることを高く評価された。

(3) 地震・火山噴火予知研究計画の推進

予知研究の内容を大別すると、地震発生・火山噴火予測手法の開発研究、地震及び火山噴火現象の解明研究、新たな観測技術開発研究の3つからなり、総計約200の研究課題が実施されている。このうち約110の研究課題が全国の14大学で実施されている。更に研究のすそ野を広げるため、研究計画に参加していない大学や研究機関の研究者を主な対象とし、地震研究所の共同利用の仕組みを利用して地震及び火山噴火予知に関連する研究を毎年公募している。平成23年度は12件、平成24年度は5件の研究を採択した。

当センターは予知協議会企画部として、予知研究の個々の課題研究の進捗状況を日常的に把握するとともに、研究計画全体を推進するため各種ワークショップ、シンポジウム、勉強会等を中心となって企画・実施している。毎年度末には、文部科学省後援のもとに研究成果報告シンポジウムを開催し、1年間の予知研究の成果発表をおこなっている。このシンポジウムには、大学だけでなく研究計画に参加している全ての研究機関の研究者が集まって研究成果が発表され、研究の高度化のための情報交換や今後の研究計画の方向に関する議論が行われている。

科学技術・学術審議会測地学分科会では、年度毎に全ての研究課題の成果報告書を取りまとめているが、当センターはその実務を担当している。平成23年度の成果は、個別の課題毎には「平成23年度年次報告(機関別)」にまとめられ、研究計画全体は、予知協議会の計画推進部会と協力して「平成23年度年次報告(成果の概要)」にまとめた。この成果の概要は、作成年度の全体の研究成果の概況を、専門分野以外の研究者や行政担当者にも理解できるように平易な表現やイラストを用いてまとめている。これらの報告書は文部科学省のホームページに掲載されるとともに、印刷物として関係機関に配布されている。

平成24年7月5～6日に、次期の研究計画の策定の準備として「地震及び火山噴火研究の将来構想シンポジウム」を公開で開催した。64件の提案発表のほか、「社会は地震や火山の研究に何を期待しているか」について、防災研究者、行政官庁、地方自治体、マスコミの方々からの意見も伺い議論した。

(4) 地震・火山噴火予知研究の成果の概要

地震・火山噴火予知研究の各研究課題の成果は、先に述べた年次報告書にまとめられている。ここでは、最近1年間の主な研究成果の概要を述べる。

今年度も長期に継続的に運営されている観測網から得られたデータを活用した地震活動、地殻変動及び火山活動のモニタリングが進められた。さらに、諸観測網の高密度化及び多項目化といった整備・強化、新たな観測・解析手法の導入、観測データの実時間処理システムの開発と運用といったモニタリングシステムの高度化を図る研究も進められた。宮城県沖では総合的なモニタリングが重点的に行われており、東北地方太平洋沖地震の前震から本震に至る過程、その後の余震活動の記録が得られ解析を始めた。海底圧力計アレイによって観測された平成23年3月9日の東北地方太平洋沖地震の最大前震前後の地殻上下変動データを用いて推定された余効滑りは、最大前震時の滑り域の南東側で発生しており、前震後の地震活動の南側への拡大傾向は、この余効滑りの拡大に対応していると考えられる。これらは今後の研究の高度化や、防災情報の発信に重要な成果である。

地震発生とその準備過程の物理的理解に基づく地殻活動予測シミュレーションによる予測の実現を目指して、東海・東南海・南海沖のプレート境界における三次元動的破壊シミュレーションを行った。その結果、破壊開始点の位置に応じて、南海沖のみが破壊される地震、東南海沖のみが破壊される地震、南海沖と東南海沖の両方が破壊される地震を再現できた。これは観測データを取り込んだ地殻活動予測シミュレーションが、巨大地震の発生ポテンシャル評価に活用できる可能性を示すものであり、今後の発展により地震発生の長期的な予測の実現につながることを期待される。

火山噴火予測システムの開発については、桜島の過去の噴火様式に着目して、噴火シナリオの検討を開始した。また、霧島山(新燃岳)については帯水層の有無、マグマ上昇速度や脱ガス効率の違いによる噴火形態の違いを考慮して噴火シナリオを改訂した。伊豆東部火山群では、過去数十年間にわたる約50回の群発地震の解析データを用いて、群発地震発生時の推移予測を示し噴火シナリオを作成した。これらの噴火シナリオは、事前に噴火の推移及び現象の分岐を示したもので、火山噴火推移の科学的な解明の研究目標を明確にすることによって研究の高度化に資するとともに、一部は火山周辺の自治体の防災・減災対策に有用な情報として活用されている。

日本列島及びその周辺域で、上部マントルにおける流体の供給・循環過程及び島弧の発達過程を支配するマグマの生成・上昇機構に関する理解が進んだ。伊豆小笠原諸島を含む地殻変動データの解析を行い、伊豆弧において背

弧拡大が現在も約 9mm/年の速度で進行していることが、測地学的データから初めて実証された。伊豆大島及び周辺海域の構造探査実験の解析により、マグマ貫入によって火山周辺に起震応力場が作られ、地震活動の特徴は地下構造の影響を受けていることが明らかになった。これらの研究は、地震や火山噴火現象を理解するための基礎的な研究である。

内陸地震発生域においては、地殻とマントル構造に共通の特徴を有することが明らかになってきた。内陸地震発生域直下の地殻とマントルに応力が集中し地震発生に至る過程が明らかになりつつある。また、GPS データ解析から、北海道東部の屈斜路カルデラから阿寒カルデラにかけての地域が、「ひずみ集中域」となっていることが判明した。これらは、将来の目標である内陸地震の予測のために必要な基礎的な研究成果である。プレート境界の中長期的なゆっくり滑り (SSE) は、これまで房総半島南東沖、東海地方、豊後水道の 3 領域に限られていたが、新たに日向灘においても少なくとも 2005 年以降約 2 年間隔で繰り返し発生していることが明らかとなった。東海・東南海・南海地域において、ひずみデータと傾斜データを統合して解析することによりプレート境界の短期的ゆっくり滑り (短期的 SSE) の検出精度が向上し、紀伊半島において遠地地震によって誘発された短期的 SSE を見いだした。ゆっくり滑りの分布と発生は、プレート境界での滑りの多様性を示すものであり、プレート境界地震の発生予測の基礎となる研究である。

より信頼性の高い地震発生モデルを構築するために必要な、地震発生の各過程を支配する破壊現象や摩擦構成則の素過程を理解するための実験的・理論的研究も行われた。花崗岩試料を用いた一軸圧縮破壊試験において、観測された AE の S 波のスペクトルから地震モーメントとコーナー周波数を推定したところ、地震モーメントはコーナー周波数のマイナス 3 乗にほぼ比例することがわかった。この特徴は自然地震と同じであり、自然地震と実験室の AE が同じ物理過程に従って発生することを示唆する結果である。これらの成果は、地震現象の本質を知るうえで重要である。

宇宙線ミュオン粒子を利用した火山体内部透視装置の改良が進められている。センサーの改良によってバックグラウンド・ノイズの大幅な低減を実現し、内部密度画像を得るまでの観測時間がおおよそ 1/3 に短縮された。さらに、センサーの面積を倍増することによって、時間効率を 2 倍向上させられることがわかった。ミュオンによる観測は火口直下の構造を可視化でき、将来的には噴火様式を支配する要因を解明するために重要な情報として活用されることが期待される。

なお、企画部や計画推進部会の活動は、随時地震研究所のホームページを通じて公開されている。(http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/YOTIKYO/index.htm)

(5) 東北地方太平洋沖地震

過去に起きた大地震の中には、本震に先立ち中小地震の活動 (前震活動) が発生する事例があるが、前震から本震発生に至るプロセスには未解明な部分が多い。2011 年東北地方太平洋沖地震前のおおよそ 1ヶ月間の連続地震記録に対して地震波形の相互相関処理を行うことで、前震活動の詳細な時空間分布を推定した。その結果、本震の破壊開始点へ向かう震源移動現象が、本震発生の約 1 か月前の 2 月中旬と、3 月 9 日の最大前震 M7.3 の発生後の 2 回もほぼ同じ領域で起きていたことを検出した。この震源移動を伴う前震活動には、プレート境界面上のほぼ同じ場所で繰り返し発生する「小繰り返し地震」が含まれていた。小繰り返し地震は、ゆっくり滑りの指標と考えられており、2 度の震源移動は本震の破壊開始点へ向かってゆっくり滑りが伝播したことを意味する。つまり、ゆっくり滑りの伝播が、本震の破壊開始点へ応力の集中を引き起こし、本震の発生を促した可能性がある。巨大地震発生に至るプレート境界での滑りの挙動 (地震の直前過程) に関する知見を深めるうえで、とても重要な成果が得られた。

東北地方太平洋沖地震の数値シミュレーションを行い、プレート境界の浅部において固着が相対的に強かったと仮定することにより、巨大地震が数百年間隔で発生し、地震発生域深部では M7 級地震がそれより頻繁に繰り返し発生することなどを再現した。そのシミュレーションでは、1978 年の宮城県沖地震などの M7 級地震を引き起こすアスペリティでは巨大地震の直後から固着が開始し、周囲で起こる余効すべりにより次の M7 級地震が早められるという予測をした。仮定した速度及び状態依存摩擦則では非常に速く強度が回復するためである。しかし、GPS データの解析によると M7 級地震のアスペリティで発生後 1 年経っても固着が見られないという報告もある。まだ M7 宮城県沖地震は起こっておらず、固着の開始が正しく評価されてなかった可能性がある。そこで、室内実験で示されている物理化学プロセスに固有のカットオフタイムを導入し、固着開始がどのように遅れるか数値シミュレーションで調べた。実験によればカットオフタイムは 10 桁程度変わりうる。数値計算の結果、カットオフタイムが長いと確かに固着開始は遅れるが、同時に最大すべり速度も遅くなり、地震性の高速すべりを起こせるような場合には、固着開始は 1ヶ月程度しか遅れないことがわかった。実際の地震では強度回復に異なる 2 種類以上の素過程が関与していると考えられている。異なるカットオフタイムを有するふたつの素過程に基づく摩擦則を定式化し、更に検討を進めた。最大すべり速度は短い方のカットオフタイムで支配され、全体的な固着の遅れは長い方のカットオフ

タイムの影響を強く受けるため、結果として、ひとつの素過程を仮定した場合に比べ、高速すべりの後に大きな固着遅れが生じることがわかった。

(6) 地震サイクルシミュレーション

地震の破壊開始点における破壊エネルギーは、地震発生や震源核の規模を支配する重要な物理パラメータである。沈み込み域の地震サイクルシミュレーションを行うことにより、プレート境界地震の破壊開始点の破壊エネルギーを推定した。プレート境界の固着域の端では周囲の非地震性すべりにより応力集中が生じている。応力集中の大きさは非地震性すべり量に比例し、応力集中とともに増大するエネルギー解放率が固着域での破壊エネルギーに等しくなったときに固着域が破壊される。非地震性すべり量はプレート相対運動速度と時間の積から得られるため、プレート相対運動速度と地震の再来周期から破壊開始点の破壊エネルギーが推定できる。この理論の妥当性をシミュレーションで検証し、破壊エネルギーを推定するための関係式を導いた。この関係を使い、南海トラフのM8級地震と2011年東北地方太平洋沖地震の発生を支配していた高強度領域の破壊エネルギーを推定したところ、それぞれ、 $0.1\text{--}1\text{MJ/m}^2$ 、約 10MJ/m^2 の値を得た。

(7) 内陸地震合同観測研究

東京大学地震研究所は、京都大学防災研究所をはじめとする全国の大学・関係機関と共同で、1891年に発生した国内最大規模の内陸地震である濃尾地震の断層域において地球物理的総合観測を実施した。今年度は、その総合観測の一環として11月15日-16日の日程で、京都府福知山市から長野県伊那市に至る全長約280kmの測線において地殻構造探査をおこなった。これまでの内陸地震の研究から、内陸地震の発生に関しては地表近傍の構造だけでなく、地殻下部(深さ約15km以深)の構造や地殻の下に沈み込んでいる海洋プレートから供給される流体の影響が大きいことがわかってきた。また、現在実施している総合観測によって、濃尾地震の断層域近傍でも、断層下のフィリピン海プレートから上部地殻へとつながる低速度域が検出された。構造探査の結果、プレート上面やモホ面と考えられる境界面からの明瞭な反射波の存在が確認され、今後の解析によって、その低速度域の性質が明らかになっていくものと期待される。

(8) 霧島山(新燃岳)噴火

霧島山(新燃岳)で2011年に発生したマグマ噴火は新燃岳としては300年ぶりのものであった。1月26,27日の準プリニー式噴火に引き続き、火口に溶岩が蓄積しブルカノ式噴火を繰り返した。噴火活動は同年9月まで続いた。この噴火に代表されるような、長い休止期間を持つ火山の噴火予測技術を向上するためには、このマグマ噴火の総合的な観測研究が不可欠であった。すなわち、過去の噴火観測の経験がない火山において、今回の噴火の総合的な観測調査から、マグマ噴火の開始と推移、および、終息の仕方についてどのように理解し、噴火シナリオを作成して、噴火に備えるかが重要である。この噴火については、2010～2011年度の科学研究費「特別研究促進費」に基づいて、地震火山噴火予知研究協議会の下、全国火山研究者の連携によって総合的な観測研究が実施された。なお、この観測研究は2012年度以降も継続している。

この噴火の前兆現象は、水蒸気爆発の繰り返し、地殻変動や周辺地震活動の高まりにとして捉えられ、本格的噴火の前に火山体地下へのマグマ蓄積が進行していたことが、約1年前から明らかになっていた。より明確なマグマ噴火の開始予測は、1月26、27日の最盛期噴火に1週間先行した小噴出の噴出物中に軽石が認められたことであった。噴火の推移については、地震、地殻変動、電磁気、重力、火山ガスなどの総合観測研究の結果から、噴火前後のマグマの蓄積位置、噴火の進行に伴うマグマ溜まりの膨張・収縮や消磁現象の進行・停滞、噴火時のマグマの移動による微動発生源位置や絶対重力値の変化、噴火直前の火道閉塞による火山ガス放出停止などが明らかになった。特に、地下のマグマ溜まりの変動(マグマの出入り)が地上での噴火現象を直接左右していることがこの噴火では明確になった。また、噴火活動が停止に向かうプロセスも今回の観測から明確に把握され、今後、もし活動再活発化が起これば、現在の観測網から予測可能であることが示唆された。

噴出物の岩石学的研究からは、噴火前に複数回にわたってマグマ混合が発生していたことや、混合したマグマの蓄積深度や混合過程についてのモデルが提案された。さらに、この噴火中に新燃岳の噴火シナリオが作成、改定され、浅間山や外国のブルカノ式噴火・プリニー式噴火を繰り返す火山についての基本的な噴火シナリオが試作された。以上の研究成果はEarth, Planets and Spaceの新燃岳特集号として2013年に掲載が予定されている。

3.11 観測開発基盤センター

教授

岩崎貴哉(センター長)、加藤照之(兼任)、額額一起(兼任)、森田裕一(兼任)、中井俊一(兼任)、小原一成、篠原雅尚、歌田久司(兼任)