

次期計画検討シンポジウム

講演要旨集

開催日・場所:平成 29 年 5 月 1, 2 日東京大学武田先端知ビル内・武田ホール
主催:東京大学地震研究所地震・火山噴火予知研究協議会

次期計画検討シンポジウム

主催： 東京大学地震研究所地震・火山噴火予知研究協議会

共催： 東京大学地震研究所、京都大学防災研究所

日時： 5月1日（月）9：00～5月2日（火）12：50

場所： 東京大学武田先端知ビル内・武田ホール

5月1日（月）

開始時刻（分）	標題	発表者
9:00（3）	主催者挨拶	清水 洋（副議長）
9:03（10）	趣旨説明	清水 洋（副議長）
全体的な提言		
9:13（7）	1. 次期計画がはじめをつけるべき3点の重要課題	ロバート・ゲラー（東大理）
9:20（10）	2. 地震調査研究推進本部地震調査委員会が期待する基礎研究	平田 直（地震調査研究推進本部地震調査委員長）
9:30（10）	3. 建議に基づく火山観測研究の目指す方向－委託研究との協力	森田裕一（文科省委託研究事業課題代表者）
計画推進部会からの提言		
9:40（15）	4. 海溝型地震観測研究による災害軽減計画への貢献	西村卓也（海溝型地震）
9:55（15）	5. 次期計画での内陸地震研究にむけて	松本 聡（内陸地震）
10:10（15）	6. これまでの火山噴火予知・予測研究と今後の展望	大倉敬宏（火山）
10:25（15）	7. 経験則による地震発生確率の予測	中谷正生（地震先行現象・地震活動評価）
10:40（10）	8. 歴史地震研究の前進に向けて	榎原雅治（史料・考古）
10:50（10）	9. 次期計画におけるデータベースの公開と共有について	鶴岡 弘（データベース・データ流通）
11:00（10）	10. 技術開発研究コミュニティからの提言	渡辺俊樹（技術開発研究コミュニティ）
11:10（30）	討論	
11:40（60）	（昼休み）	

研究機関からの提言

12:40（7）	11. 北海道の地震津波火山災害軽減に向けた観測研究	北大院理・北大院工・北大院文・北海道立地質研（高橋浩晃）
12:47（7）	12. 地震発生ポテンシャル及び震源断層モデルの地震学的評価	小菅正裕（弘前大）
12:54（7）	13. 東北大の次期計画案（1）火山研究	東大理・災害研・環境・東北アジア（山本希）
13:01（7）	14. 東北大の次期計画案（2）内陸地震研究	東大理・環境・災害研（岡田知己）
13:08（7）	15. 東北大の次期計画案（3）海域における観測研究	東大理・災害研（太田雄策）
13:15（7）	16. 海域観測による房総半島沖相模トラフと北部伊豆小笠原海溝におけるプレート間滑りの把握	東大地震研・海域観測グループ・他（篠原雅尚）
13:22（7）	17. 観測・調査と理論の融合による火山の理解	大湊隆雄（東大地震研・火山噴火予知研究セ）
13:29（7）	18. 地下水中の地殻深部ガスの計測にもとづいた断層帯周辺における地殻状態の推移評価	角森史昭・森俊哉（東大理・地殻化学実験施設）
13:36（7）	19. 海底活断層と火山噴火の学際的観測研究による災害軽減	東大・大気海洋研・海底災害観測研究グループ（佐野有司）
13:43（7）	20. 地球物理・地球化学観測による水蒸気噴火場の理解に向けて	小川康雄・野上健治・神田径・寺田暁彦（東工大）
13:50（7）	21. 名古屋大学の次期研究計画に対する取り組み	名大（伊藤武男）
13:57（7）	22. 阿蘇山における観測研究の現状と今後の狙いについて	宇津木充（京大・院理）
14:04（7）	23. 内陸地震の空間ポテンシャル評価に向けて	九大（相澤広記）
14:11（29）	討論	
14:40（10）	休憩	
14:50（7）	24. 航空機搭載合成開口レーダーによる地震・火山の災害状況把握	久保田実・航空機SAR開発チーム（情通機構）
14:57（7）	25. 国土地理院における地震・火山観測研究	矢来博司（地理院）
15:04（7）	26. 地震・津波予測技術の戦略的高度化研究プロジェクト	松澤孝紀（防災科研・地震津波予測技術開発プロジェクト）
15:11（7）	27. 巨大地震の実態解明と災害軽減:多様な発生シナリオとモニタリング能力評価	齊藤竜彦（防災科研・巨大地震発生メカニズム研究プロジェクト）
15:18（7）	28. 近年の気象庁地震津波業務の進展	尾崎友亮（気象庁）
15:25（7）	29. 海域広域変動観測プロジェクト	海洋研究開発機構（小平秀一）
15:32（7）	30. GPS-A海底地殻変動観測のこれまでの進展と今後の展望	石川直史（海上保安庁）
15:39（7）	31. 地方自治体研究機関としての火山防災研究	吉本充宏（山梨県富士山科学研）
15:46（34）	討論	
16:20（10）	休憩	

研究グループ・個人からの提言

16:30	(7)	32. 音波解析法による地震火山予知を防災に活かす方法論	多田恵蔵 (TADA地震火山予知研究所)
16:37	(7)	33. 断層破砕帯の厚さと地震規模	山本清彦
16:44	(7)	34. 東京大学大学院理学系研究科の次期計画への展望	井出 哲・安藤亮輔・河合研志 (東大・院理)
16:51	(7)	35. リアルタイムGNSSデータによる地震規模・津波即時推定手法の開発とその社会実装	太田雄策・日野亮太 (東北大)・高橋浩晃 (北大)
16:58	(7)	36. 中国・四国地方の基盤的比抵抗構造研究を災害の軽減に繋げる	塩崎一郎 (鳥取大)・飯尾能久 (京大・防災研)
17:05	(7)	37. これからの火山構造探査	火山構造探査グループ (筒井智樹)
17:12	(7)	38. 物質科学的研究による火山活動評価と予測	栗谷 豪・吉村俊平・中川光弘 (北大・院理・岩石学火山学研究グループ)
17:19	(7)	39. 古地震に関する地質情報の信頼性向上	西村裕一 (北大)
17:26	(7)	40. 前近代における地震の家屋倒壊率と史料	矢田俊文 (新潟大)
17:33	(7)	41. 史料を地震・火山噴火予測に利用するために	山中佳子 (名大)
17:40	(7)	42. 測地観測に基づく地震・火山現象の解明	地殻変動・重力研究グループ (三浦 哲)
17:47	(7)	43. 日向灘-南西諸島北部域における地震発生場の理解の深化	日向灘-南西諸島北部域地震・地殻変動観測研究グループ (八木原寛・中尾茂・山下裕亮・清水洋・馬越孝道・中東和夫・木戸元之・篠原雅尚)
17:54	(7)	44. 国際共同研究の積極的展開の重要性: メキシコにおける地震・津波災害軽減に向けた研究を例として	伊藤喜宏 (京大・防災研)
18:01	(7)	45. 国際協力に基づく海域調査・観測による多様なプレート境界すべり運動に関する比較研究	望月公廣・篠原雅尚・山田知朗・悪原岳・塩原肇・小原一成 (東大地震研)・日野亮太・木戸元之 (東北大)
18:08	(7)	46. 南アフリカ大深度金鉱山での震源断層掘削	伊藤喜宏 (京大・防災研)
18:15	(7)	47. 地震研究とオープンサイエンス	加納靖之 (京大・防災研)
18:22	(7)	48. 次期計画に対する京大防災研内での検討	京大・防災研・地震研究者有志 (西上欽也)
18:29	(7)	49. 予測にもとづいて災害の軽減に貢献するためのいくつかの提案	堀 高峰 (海洋研究開発機構)
18:36	(7)	50. 地表地震断層ごく近傍での強震動の実態把握の必要性	香川敬生 (鳥取大)
18:43	(37)	討論	
19:20			

5月2日 (火)

開始時刻 (分)	標題	発表者	
計画推進部会・総合研究グループ・拠点間連携等からの提言			
9:00	(10)	51. 地震動・津波等の事前予測・即時予測部会の展望	香川敬生 (地震動・津波等の事前予測・即時予測)
9:10	(15)	52. 巨大地震災害の軽減に向けて	松澤 暢 (東北地方太平洋沖地震総合研究グループ)
9:25	(10)	53. 次期計画における南海トラフ巨大地震総合研究の必要性	澁谷拓郎 (南海トラフの巨大地震総合研究グループ)
9:35	(10)	54. 首都直下地震の総合研究で足りないもの	酒井慎一 (首都直下地震地震総合研究グループ)
9:45	(10)	55. 桜島 (+) 火山総合研究グループ	井口正人 (桜島火山噴火総合研究グループ)
9:55	(15)	56. 次期計画における拠点間連携共同研究の役割	松島信一 (拠点間連携共同研究推進WG)
10:10	(7)	57. 地震時地すべりの発生ポテンシャル評価手法の確立と適用	千木良雅弘 (京大・防災研)
10:17	(7)	58. 計算科学・計算機科学的なアプローチの地震学・防災科学での展開へ向けて	市村 強 (東大地震研・巨大地震津波災害予測研究セ)
10:24	(36)	討論	
11:00	(10)	休憩	

次期研究計画検討WGにおける検討・総合討論

11:10	(3)	次期研究計画検討WGの設置と次期研究計画の検討の取り組み	谷岡勇市郎 (企画部戦略室長)
11:13	(15)	59. 次期地震研究計画検討ワーキンググループによる次期地震研究計画に向けての提案	加藤愛太郎 (地震研究計画検討WG)
11:28	(15)	60. 次期建議計画における火山噴火予知研究の構想	橋本武志 (火山研究計画検討WG)
11:43	(15)	61. 災害科学に資する学際研究と人材育成～災害部会が目指すもの	木村玲欧 (地震・火山災害/災害研究計画検討WG)
11:58	(15)	62. 次期研究計画検討WGの議論における大枠の提案	谷岡勇市郎 (企画部戦略室長)
12:13	(37)	総合討論	
12:50			

会場： 東京大学 武田先端知ビル 5階武田ホール

東京メトロ 千代田線 根津駅 (C14) 1番出口より 徒歩5分

東京メトロ 南北線 東大前駅 (N12) 1番出口より 徒歩10分



次期計画がけじめをつけるべき3点の重要課題

ロバート・ゲラー（東大理）

(bob@eps.s.u-tokyo.ac.jp)

本シンポジウムの募集要項によれば、「現計画への参加の有無にかかわらず、(次期計画)の趣旨をご理解いただき、建設的な提言をいただける大学・(略)・研究者個人のご参加を募集します」とある。筆者は研究者個人として、建設的な提言をするべく、本稿を投稿する。

そもそも、次期計画、現計画、……、第2次地震予知計画の前身は1965年度～68年度の「地震予知研究計画」であり、1962年に公表した「ブループリント」(正式名称:「地震予知一現状とその推進計画」)の提言に基づくものであった。本シンポジウムが対象とする次期計画が防災・減災及び地震学の発展に貢献するためには、1962年当時からこれまで、やり残した以下の3つの重要課題に対してけじめをつけないといけない。

(課題1) 予知の実現性はあるのか: ブループリントでは以下のように述べられている:「地震予知がいつ実用化するか、即ちいつ業務として地震警報が出されるようになるか、について答えられない。しかし、本計画のすべてが今日スタートすれば、10年後にはこの問いに十分信頼性をもって答えることができるであろう」。ブループリント公表時から既に55年がすぎた。次期計画では、まず、この問いに端的に答えることが重要課題である。

(課題2) 「東海地震」、「南海トラフ巨大地震」などは“リアル”な地震なのか: 周期説に基づいて、政府及び多くの地震学者は1970年代以降「東海地震」がさし迫っていると発言し続けている。さらに、2000年前後からは、議論の対象は「南海トラフ巨大地震」にシフトし、30年以内に発生確率が7割程度と述べられている。しかし、これまでの40年間で南海トラフ近辺に顕著な地震活動はなかった。逆に、実際に発生したのは2011年の東北地方太平洋沖地震だった。また、頻繁に言及されている「首都直下地震」はいまだ発生せず、去年4月には熊本で震度7の直下地震が起きた。「南海トラフ巨大地震」や「首都直下地震」が起きるべきとする説(周期説)が科学的に正しいのか、否か、けじめをつけることも重要課題である。

(課題3) 「注意報」発令を裏付ける科学的根拠は存在するのか: 近年、政府関係者からは、地震の正確な予知はできないが、「南海トラフで異常が観測された時には、しかるべき機関が何らかの情報を発信すること自体は混乱防止のためにも必要」との意見が頻繁に出されている(引用は今年4月4日静岡新聞による)。このような「注意報」を発令することは、当然、社会に大きな影響を与える。そのため、注意報の発令体制を構築する以前に、何が「異常」なのか明確に判定できる科学的な根拠が絶対に必要である。具体的には、少なくとも、科学的に信頼できるような複数の観測事例が必要であり、同時に、特定の地震の前兆を識別する理論とその統計学的裏づけも必須である。このような科学的な根拠が示されないまま、「注意報」を設けることはできないし、すべきではない。異常を判定する科学的根拠と理論があるのかどうか、けじめをつけることも次期計画の重要課題である。

次期計画では、上記の3つ重要課題についてけじめをつけ、その結果を査読付き一流国際誌に掲載することを提言する。これは、次期計画の科学的基盤を盤石にするものと確信する。

地震調査研究推進本部・地震調査委員会が期待する基礎研究

平田 直（地震調査研究推進本部・地震調査委員長、

科学技術・学術審議会 測地学分科会長、東京大学地震研究所）

(hirata@eri.u-tokyo.ac.jp)

地震調査研究推進本部（以下、地震本部）は、1995年（平成7年）1月の阪神・淡路大震災の後、地震防災対策特別措置法（同年6月制定）に基づいて設置された。地震本部の目的は、地震防災対策の強化のための行政施策に直結すべき地震に関する調査研究の責任体制を明らかにし、政府として一元的に地震による被害の軽減に資する地震調査研究の推進を図ることである。これを実現するために、政府全体の地震調査研究の方針となる「総合的かつ基本的な施策」が、概ね10年毎に地震本部の下の「政策委員会」によって定められている。現行の「総合的かつ基本的な施策」は、2009年（平成21年）4月に、「新たな地震調査研究の推進について―地震に関する観測、測量、調査及び研究の推進についての総合的かつ基本的な施策―」（以下、「新総合基本施策」）として策定された。これは、当時の地震調査研究の進展状況を踏まえ、今後10年間の基本方針として策定されたが、その後、2011年に発生した東日本大震災を受け、2012年（平成24年）7月30日の第33回地震本部・本部会議で見直され、同年9月6日の第31回中央防災会議の議を経て、地震本部決定となった。

この新総合基本施策（2012年改定）で、建議に基づく研究が、以下のように述べられている：『第2章 基本理念と「新たな地震調査研究の推進について」

2. 「新たな地震調査研究の推進について」の位置づけ

（2）「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」（建議）との関係

地震調査研究は、平成7年に地震本部が発足して以降、基盤観測網の整備等により飛躍的な進展を遂げてきたが、これは旧文部省測地学審議会（現在の科学技術・学術審議会測地学分科会）の「地震予知計画」や「地震予知のための新たな観測研究計画」に基づき、大学等の研究者を中心に、それまで30年以上にわたって着実に進められてきた基礎的研究の積み重ねがあつて、初めて生み出されたものである。また、現行の総合基本施策の成果についても、基礎的研究の進展なしには達成し得なかったと言える。（中略）ここで示す基本目標の達成に向けては、科学技術・学術審議会測地学分科会における議論の上で、策定された学術的な観測研究計画である「地震及び火山噴火予知のための観測研究計画」等に基づく大学等における基礎的研究の成果を取り入れて推進していくことが必要である。また、計画でも示されているように、地震及び火山現象は共通する地球科学的背景を持つことから、地震に関する調査研究を実施する場合には火山研究にも配慮することとする。』（下線は、引用者）

現行の「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画」は、上述の建議に基づく観測研究計画である。本講演では、地震本部・地震調査委員会が期待する基礎研究について提言する。

参考文献

地震調査研究推進本部（2012）、新たな地震調査研究の推進について―地震に関する観測、測量、調査及び研究の推進についての総合的かつ基本的な施策― <http://www.jishin.go.jp/main/suihon/honbu12c/suishin120907.pdf>

建議に基づく火山観測研究の目指す方向—委託研究との協力

森田 裕一（火山 PJ 課題代表者：東大地震研）

(morita@eri.u-tokyo.ac.jp)

建議に基づく火山観測研究と文科省委託事業

2014年9月に発生した御嶽山噴火を受けて、国は活動火山特別措置法（活火山法）を改正し、全国の活動的な50火山に「火山防災協議会」を設置することを地方自治体に義務付けた。火山防災協議会には火山専門家も加わり、対象火山において科学的な知見に基づく火山防災に関するアドバイスを求められこととなり、火山研究者に対する国民からの期待は一層大きなものになった。その様な背景のもとに、文科省の委託事業「次世代火山研究・人材育成総合プロジェクト」（以下、「火山PJ」）が開始された。従来の建議による火山観測研究と火山PJの相乗効果により、火山災害の軽減に向けた科学的な噴火予測研究の発展が望まれている。

火山災害は多様で、規模も大小様々であるが、科学的な知見で災害軽減に貢献できるのは、当面は噴火発生予測と発生後の推移予測の一部であろう。約40年継続してきた火山噴火予知研究により、火山性地震活動、地盤変動、地温上昇（熱消磁）や噴気（火山ガス）増加など、噴火前の異常現象については多く知られるようになり、火山PJ立案の基礎となっている。個別の火山における異常の検出、異常検出手法の高度化、ハザードマップ作製のための噴火履歴調査などは、火山PJや気象庁の監視観測に任せ、建議に基づく火山観測研究では、これまでより一歩進めて、噴火前、噴火中にいくつかの火山で共通に見られる諸現象、及び各々の現象の相互関係やその時間変化についての科学的理解を追求し、建議で最終目標とされている噴火過程、噴火準備過程の物理・化学過程の科学的な理解に基づく噴火予測手法の開発を目標に据える時期に来ている。

経験則から科学的予測へ：学術的基盤の構築

具体的な例で説明する。火山性地震は火山活動を監視するための経験的指標として重用され、今後も火山防災協議会で活動を評価する重要な手段となるであろう。このための基礎的な火山性地震の観測データの取得は、今後は、気象庁の監視観測や観測体制が不十分な火山では火山PJで実施する機動観測が中心となるであろう。研究者は火山性地震の起こり方から、今後の火山活動の推移を科学的に洞察する力が求められている。建議に基づく観測研究では、火山性地震の群発現象を捉えることに留まらず、その原因に迫る研究成果が求められる。2014年口永良部島噴火、御嶽山噴火では、火山性地震活動の異常が認識されていたにも拘らず、十分な噴火予測に繋がらなかった。個々の火山の枠を越えて多数の火山で見られる共通の現象に着目すると、揮発性成分の上昇と地震活動の関係が示唆され、揮発性成分の上昇度合いや時間変化から、他の火山での噴火予測にも応用可能で、噴火事象系統樹の事象分岐の機構解明（噴火推移予測）にもつながる可能性が見えてくる。

現在の国家財政を考えると、法人化された国立大学では観測点整備は資金的に困難となりつつある。今後は、火山PJや気象庁が観測を強化し、データを共有することが適切であろう。火山PJの推進によって観測や調査が不十分な火山での機動観測や噴火履歴調査等により得られたデータを副次的に、かつ積極的に活用し、火山災害の軽減に資する火山研究を加速することが、これからの建議による火山観測研究に求められている。

海溝型地震観測研究による災害軽減計画への貢献

西村卓也（「海溝型地震」計画推進副部長、京都大学防災研究所）

(nishimura.takuya.4s@kyoto-u.ac.jp)

平成 28 年度から始まった「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画」（以下、現計画）において「海溝型地震」計画推進部会に登録されている課題数は、平成 28 年度で 27 課題、公募研究はのべ 5 課題あり、これらの研究課題を通して、海溝型地震に関連するさまざまな現象の解明と理解が着実に進んでいる。例えば、スロー地震の観測・研究により西南日本では短期から長期のスロースリップイベント（SSE）や浅部低周波微動が発見され、日本海溝付近では周期的な SSE と大地震の関連性も明らかにされた。スロー地震現象のモニタリングは、Obara and Kato(2016)が指摘するように、通常の地震との相補的分布や現象の類似性、その場所の応力計として役割などが期待され、特に通常の地震活動が低調な南海トラフ沿いでは海溝型巨大地震の地震像を明らかにする上で重要である。また、海底観測技術の発展により南海トラフ沿いの海底変動や東北地方太平洋沖地震の余効変動、房総半島沖やニュージーランド沖の SSE などが精度良く捉えられ、各地での地下構造研究や海底掘削試料を用いた断層物質の摩擦特性の解明や地震サイクルシミュレーションを用いた SSE を含む大地震のシナリオやデータ同化による摩擦パラメータの検討も進められて、成果が挙がっている。よって、次期計画でも、引き続き海溝型地震に関する理解を深めるための研究課題を推進する必要がある。現建議では、地震現象の解明と予測だけでなく地震動や津波などの災害誘因の予測を通して災害軽減につなげることが柱となっており、これまでも、津波堆積物や海岸の隆起・沈降などの過去の巨大地震の発生履歴に関する研究成果が地震本部の長期評価に貢献するなど、一部では直接的に社会貢献を果してきた。しかし、海溝型地震部会だけで災害誘因の研究と連携することの難しさもこの 3 年間で明らかになってきたため、現計画における総合研究グループでの検討や拠点間連携課題として芽が出始めている両者の連携体制をさらに進め、次期計画においては災害誘因予測研究と地震現象の理解・予測研究との間でニーズとシーズを積極的に調整する体制を持つことが望ましい。

参考文献 Obara K. and A. Kato, 2016, *Science*, 353, 253-257.

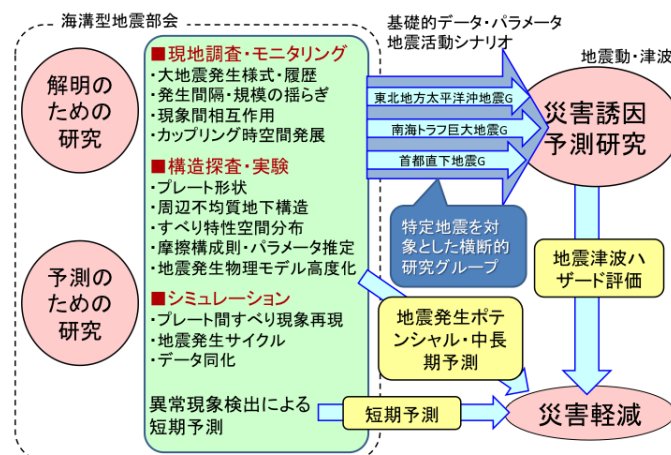


図 1 海溝型地震部会における個々の研究と災害軽減との関係

次期計画での内陸地震研究にむけて

松本 聡 (内陸地震部会・九州大学)

(e-mail: matumoto@sevo.kyushu-u.ac.jp)

内陸地震部会では今期計画において、内陸地震発生メカニズム解明を進め、予測に向けての研究を進めてきた。その柱として、1) 地殻応答による断層への応力载荷過程の解明と予測、2) 内陸地震発生の物理モデルの構築、3) 地震・火山噴火発生場と地震火山相互作用の解明、4) 日本列島広域統合コミュニティモデルの構築を挙げ、観測・実験・シミュレーションなどを総合的に行う課題を中心に推進してきた。特に、2011年東北地方太平洋沖地震後の地殻応答モデルと日本列島基本構造モデルの構築を重要な出力と考えた。これらについては着実に進められ、成果として発信している。たとえば、

東北日本弧のレオロジーモデルの進化

地球物理学的に推定できるパラメータと物質との関係解明

詳細な応力場推定と時空間的变化検出

比抵抗構造、間隙流体圧推定など強度不均質の検出

断層の微細構造把握

弾性・非弾性変形検出

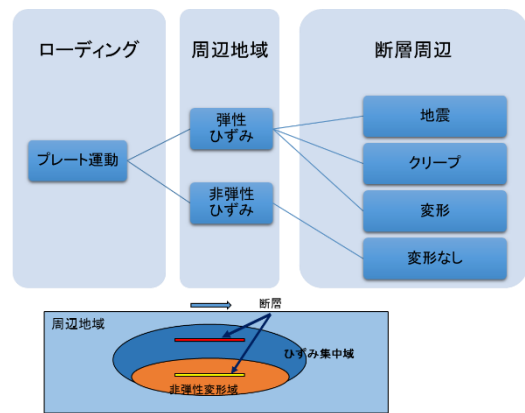
プレート、モホ、震源断層モデルの構築

をはじめとして多くの要素が内陸地震発生メカニズムの理解の深化へ寄与している。

また、これらの成果を用いることで地震動即時予測研究や地震活動評価実験との連携も進めている。さらに、2016年熊本地震発生をうけた観測研究も迅速に進め、着実に成果が上がっている。次期計画においては、これらを踏まえて内陸地震研究をさらに一歩進められる段階であると考えられる。内陸地震はその複雑さから時空間的な予測が難しいが、発生の空間ポテンシャル推定のための研究を今後は進めるべきである。たとえば、図に示すように地震発生ポテンシャルを評価するための枠組みを考え、以下のような研究テーマによって総合的な課題研究を進めると同時に、構造共通モデルを進化させ、発生予測や災害誘因予測との連携を深めることをめざす。

- 広域応力場の推定 (プレート境界ー内陸までのモデリング)
- 弾性・非弾性変形の分離 (断層帯・火山との相互作用)
- 応力集中域検出
- 断層形状推定
- 断層強度 比抵抗構造・間隙流体圧分布
- 活断層と地震断層の関係解明

→総合的に解釈し、ポテンシャルの評価の試行



プレート境界を含めたローディングの検討と震源断層の応答
→弾性体+矩形断層モデルから弾性・非弾性体+現実的断層モデルへ

これまでの火山噴火予知・予測研究と今後の展望

火山計画推進部会

(発表：京大・理・阿蘇：大倉敬宏、bonkura@aso.vgs.kyoto-u.ac.jp)

火山噴火予知・予測研究の目標は、観測データと噴火の物理化学モデルに基づき、噴火の時期、場所、規模、様式及び推移の予測をすることである。

昭和 49 年に開始され 5 カ年ごとに第 7 次まで実施された火山噴火予知計画により、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段階に到達した。また、複数の火山に対して活動度把握に基づく火山活動レベル（現在の噴火警戒レベル）が導入された。しかし、噴火の規模や様式、活動推移の予測が可能になるまでには、火山噴火現象の理解は進まなかった。

そこで、平成 21 年開始の「地震および火山噴火予知のための観測研究計画」（前計画）においては、噴火規模・様式・推移の予測のためには噴火前駆現象や噴火活動推移を網羅した火山噴火事象系統樹（噴火シナリオ）作成が有用であるとの認識のもと、噴火履歴の解読や近年の地震・地殻変動データに基づき、三宅島や桜島、霧島山新燃岳、インドネシアのシナブン火山などにおける噴火シナリオの作成および高度化が図られた。これと並行して火山噴火事象系統樹作成に資するため、マグマ蓄積過程や噴火機構のモデル化などの基礎的な研究が実施されている。作成された噴火事象系統樹は、火山活動の推移を俯瞰的に理解して防災・減災対策を立てる際に役立てられ地域防災計画の中で活用されるなど、一定の成果が既にえられている。

平成 26 年に開始された「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画」（現計画）では、火山灰や溶岩の噴出など（災害誘因）の予測に基づき火山災害の軽減をすることが最終的な目標である。火山災害の軽減に貢献するためには、火山噴火現象を解明すること、火山噴火の発生場所・規模・時期を予測することおよび火山噴火現象の発展段階に応じた災害の推移を予測することが重要である。火山計画推進部会では、火山噴火予測の基礎となる火山噴火の仕組みを自然科学的に解明し火山現象をモデル化するとともに、発災の原因である火山噴火を科学的理解に基づき予測する手法の開発を進めている。火山噴火の発生が予測できれば、防災・減災への効果は大きい。

火山噴火予測のためには、起こり得る火山現象を網羅的に示した噴火事象系統樹を作成するにとどまらず、個々の事象が発現する機構の理解の積み重ねと、それに基づいて事象分岐論理を解明することが重要である。そのためには噴火事象を支配している物理・化学過程を、観測データや火山噴出の解析結果および理論的研究などから明らかにすることが求められる。現計画では、火山事象分岐の判定方法を加えた新たな噴火事象系統樹の原型（プロトタイプ）を作成することを最終的な目標としている。火山現象のモデル化と火山噴火予測とからなる枠組みは前計画のものと大きな差はない。いずれも中長期的な展望の下で実施されており、予測の実現のためには息の長い取組が必要である。「第二次 災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画」のもとで継続していくべき内容であろう。

経験則による地震発生確率の予測

中谷 正生（「地震先行現象・地震活動予測」計画推進部会長、東大地震研）

(nakatani@eri.u-tokyo.ac.jp)

本部会では、地震発生プロセスにおける位置付けが不明な現象であっても、それらを経験的に用いて地震予測を行う、すなわち地震発生レート $\lambda(t>0, x; M)$ に濃淡をつけることをめざしている。その第一歩は、時空間を網羅的に走査して地震の前兆かもしれないと思われる現象(いわゆる異常)を客観的に同定し、一定のルールで予測を作ってみて成績を評価することで、現計画の重点はそこにある。本質的な評価事項は、「その現象があると地震がおこりやすい」という傾向の強さ(ゲイン $G = \text{予知率}/\text{警報分率} = \text{警報オン時の地震発生レート}/\text{地域の平均的地震発生レート}$)と、十分な量の経験で裏打ちされているか(p 値)である。

電磁気的な現象については、数十分-二週間程度先行する $G=2-20$ 程度で p 値の低いものが確認された。短期予測でこの程度の G では、警報期間(Δt)中に地震が発生する確率 $\lambda \Delta t$ の絶対値が小さ過ぎ、生活の役には立たなさそうだが、複数項目の G の掛け算[尾形,2015]で予測能力が実際に上るかを試してみる価値はあるだろう。また、低 G でも予知率の高いものには別の価値がある。例えば、ULF 磁気異常[Han ら, 2017]は、警報分率 22%で予知率 46%を達成している。 G は低いが、 $(46-22)=24\%$ の地震に磁気異常が先行していたことになり、地震発生の物理シナリオを考える上で無視できない。 $M8.3$ 以上に対して 100%出現した 1 時間前の TEC 異常[Heki&Enomoto, 2015]は、ほとんどが太陽起源のノイズによる警報分率 5%を丸々さっぴいても、巨大地震のほとんど(95%)に先行したことになり、また、振幅が M に依存している。これを説明できぬ地震発生シナリオは失格だろう。逆に、発生の仕組みがわかれば観測手法の改善につながる。

一方で、現状 G が高いのは、地震活動の短期的クラスタリングによる予測である。大森のクラスタリングを認めるだけで $G \sim 100$ の予測ができる [Helmstetter ら 2013]し、ETAS に前震識別法を組み合わせると RI に対して $G \sim 3.8$ 万を達成した Lippiello ら [2012]では、多くの $M6$ 地震の前に $0.04-0.4/\text{day} \cdot 10\text{km}$ というような高い λ が出ている。本計画でも $\lambda(M6) = 0.3/5\text{day} \cdot 30\text{km}$ を出せる $G=380$ の前震識別法[前田・弘瀬, 2016]がある。これらは、 $\lambda \Delta t$ が生活の参考になりうるレベルであり、社会学的検討に値する。また、静穏化等に基づいた 1-10 年の中期予測でも $G=3-10$ が有意に示されたものがあり、同様に $\lambda \Delta t \Delta x$ が高い。一方、物理的にもっともな気もする潮汐同期、 b 値減等に関しては、網羅的な検出と評価が望まれる。

現計画で検出能力が飛躍的に向上したスロースリップは大地震のトリガになりうるし、固着剥れのサインにみえる場合もある。物理モデルあるいは経験則による予測能力を評価すべきだ。長期予測は弾性反発という物理モデルに基づいた評価がされているが、単なる経験則である RI と成績を比較すべきだ。弾性歪み蓄積レートによる等の新手法も、成績評価から始めるべきだろう。

全ての道は、とにかく予測「してみる」ことから始まるのではないだろうか。

参考文献：尾形,2015, 統計数理 64, 3-27; Han ら, 2017, doi: 10.1093/gji/ggw404 ; Heki&Enomoto, 2015, doi:10.1002/2015JA021353 ; Helmstetter ら 2013, doi:10.1029/2002JB001991, 2003; Lippiello ら, 2012, doi:10.1038/srep00846; 前田憲二・弘瀬冬樹, 2106, 地震予知連絡会会報第 96 巻 2016b, 12-4.

08 歴史地震研究の前進に向けて

東京大学史料編纂所 榎原雅治（史料・考古部会）

ebara@hi.u-tokyo.ac.jp

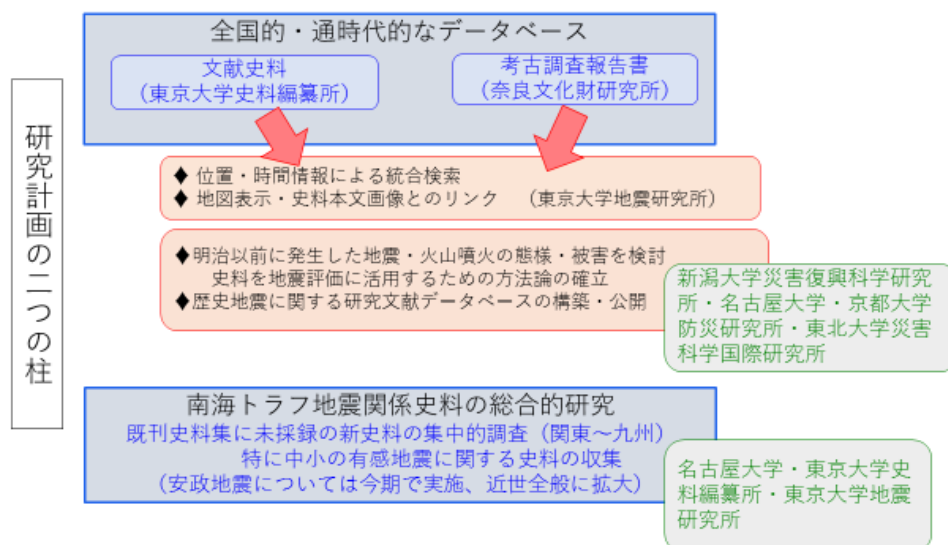
講演要旨本文（報告時間 10分）

今期計画において、前近代の地震の研究に取り組むために、地震学、歴史学、考古学が連携する枠組みができたことは大きな成果である。特に、考古学的に得られた災害痕跡情報を歴史地震研究に活用する組織的な体制が作られたことは画期的なことである。また文献史料分野において、従来の歴史地震研究の方法や既刊史料集の構成について検討し、その問題点について共通認識ができたことも重要な成果である。

次期計画においては、今期計画の中間レビューを踏まえ、二つの研究計画の柱を設ける。

第一は、今期計画の基幹事業である文献・考古資料のデータベース化の継続的な推進である。今期計画においては、文献史料と考古資料を地震研究に用いるために、既刊歴史地震史料集と考古調査報告書をデータベース化するためのシステムを構築した。ただし現時点ではデータベースに収録できた資料は一部にとどまっている。次期計画においてはスピードアップも図りつつ、この事業を継続する。また、すでに公開中の歴史地震史料集検索システムに個々の地震ごとの研究文献情報を付加し、歴史地震史料情報を、より広く活用できる形で提供する。また史料内容を分析して、史料を地震評価に活用するための方法論を錬磨する。今期計画に参加している研究機関以外の研究者にも参加を求めて、地震・火山噴火の被災・復興に関する文理融合研究に取り組む。

第二は、前近代の南海トラフ地震に関係する史料の総合的な研究である。既刊史料集に採録されていない地震史料は相当数存在するが、特に被害の生じていない中小の地震については、原則として採録されていない。これは著名な大地震であっても、余震も含んだその地震の全体像を把握するうえでの障害となっている。次期計画においては、関東から九州の太平洋側の地域を対象に、既刊史料集に未採録の地震史料を収集し、前近代の南海トラフ地震及びその前後の地震活動のより正確な理解に資するための研究を行う。



次期計画におけるデータベースの公開と共有について

鶴岡 弘 (東京大学地震研究所)

(tsuru@eri.u-tokyo.ac.jp)

災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画により、生成されるデータベースは多種多様であり、リアルタイムに集配信される地震波形データについてはかなりのデータ量となってきた。GNSS データについてもリアルタイムでの流通を進めることが今後の即時解析やモニタリング研究に重要と考えられる。データ毎にフォーマットが異なるので、統一的な利用のためには、フォーマットの策定から行う必要がある。フォーマットの Protokol としては、XML などがあり得るが、一般ユーザまでが容易に利用できるレベルではないために、なかなか統一できないというジレンマもある。

公開すべきデータは膨大と思われる。しかし、これまでににおいてもデータ公開はなかなか進んでいなかった。これは、データの公開のコストが安くはないということと関連していると思われる。また、データ公開のシステムは、セキュリティとの兼ね合いがあり、その時々テクノロジーを追わないといけないという事情もある。一方、時代は、オープンデータの方向であり、手間暇（しかもコストを）をかけずにデータ公開を実現できる仕組みを早急に構築する必要があると思われる。

上記の制約のもとに、次期計画におけるデータベースのあり方についてこれまでの問題点や今後対応すべき課題等を考慮して以下の提案を行いたい。

- 関連機関が構築したデータ・データベースの所在情報をまとめたポータルサイトについては、引き続きメンテナンスを実施する。
- 本計画において、研究成果流通システムの構築のために新設したサーバについて次期計画においても活用方法を検討して、最大限活用する。
- 上記サーバについては、DropBox と同等の機能を有するオープンソースの OwnCloud(<http://owncloud.jp>)のアプリをインストールして、部会を超えた個人を対象とした共有ファイルサーバの運用を実施する。

データ流通・データベース部会におけるデータベース開発は、これまで部会としての開発が行われておりましたが、以前提案があったように戦略室の積極的な推進のもとでの構築を検討したほうが次期計画においては効率がよいと思われます。

技術開発研究コミュニティからの提言

渡辺 俊樹 (名古屋大学)

(watanabe@seis.nagoya-u.ac.jp)

これまでの経緯

観測・解析技術の開発は、現建議において、研究を推進するための基盤と位置づけられている。これまでの計画では計画推進部会の一つに技術開発に特化した部会を設けていたが、現計画では、技術開発コミュニティの基本的なスタンスを「目的指向の各計画推進部会の中で、ユーザーとの連携を密にした技術開発を実施し、重要なデータの収集や解析に貢献する」として、関連の深い計画推進部会の中に技術開発課題を位置づけて推進している。一方で、技術開発に共通する情報交換や技術に特化した議論の場も必要であるため、技術開発コミュニティでは隔年で研究集会を実施するなど部会を横断した活動も行っている。本提言はコミュニティでの議論を経てまとめたものである。

成果

現計画において多くの技術開発の成果が上がっているが、例えば、海域における観測（地殻変動観測、新しい海底地震計や海底ケーブルシステムの開発）、SARなどの衛星測地観測で技術的進展が見られた結果、実用段階に達し、観測の成果が科学的な成果に結びついた。このように、ユーザーのニーズが原動力となり、機器開発からデータ取得、解析から科学的成果へとつながる開発の方向性が明確になった。一方で、技術開発者間の連携がやや弱くなったという意見もある。

将来に向けた提言

技術開発コミュニティがこれから目指す技術や方向性を以下にあげる。

- 難観測地域・極限環境における観測技術の開発、特に深海域と地球深部（ボアホール）、火山における観測・データ取得・転送技術の開発。
- 観測点の空間密度と時間分解能の向上。多種、多点、広域、連続、リアルタイムのデータ取得とそのデータ解析技術の開発。モニタリングとデータ同化に資するデータの提供。
- 地震の帯域から測地の帯域まで欠落のない広帯域のデータ取得。
- これまで地震火山研究で用いられていなかった新しい技術や発想の導入。
- 隠れたセンサー（例えばスマートフォンやタブレット、写真や映像）やIoT技術の活用とビッグデータの的アプローチの導入。
- 災害時の情報伝達へのヒューマン・インタフェース・デバイスの活用などソフトな技術開発。

技術開発関連課題ではこれまでハードウェアの技術開発が主流であったが、今後はソフトウェア技術やシステム化技術も重要な課題となる。技術開発と利用を促進する観点から観測機器等の共通プラットフォーム化、共通仕様化も必要である。

推進体制として、ユーザーと技術開発者が連携できる体制、例えば、技術開発のニーズとシーズをマッチングさせる仕組みや、ユーザーの技術開発を支援する仕組みがあることが望ましい。特に、技術開発に携わる人材の育成は非常に重要な問題であり、組織的な取り組みを検討する必要があると思われる。

北海道の地震津波火山災害軽減に向けた観測研究

北海道大学大学院理学研究院・北海道大学大学院工学研究院
北海道大学大学院文学研究院・北海道立総合研究機構地質研究所
(発表：北海道大学理学研究院 高橋浩晃, hiroaki@sci.hokudai.ac.jp)

1. 千島海溝 500 年間隔巨大地震津波の総合研究

北海道太平洋沿岸では、過去 6500 年間に約 500 年間隔で繰り返し発生している巨大地震津波対策が喫緊の課題であり、関係部局や機関が連携し、震源特性・即時予測・避難計画までを総合的に結び付けることで、社会実装までを見通した総合研究を推進する。津波堆積物や液状化痕跡から古地震・古津波の履歴を明らかにし、震源域の現況評価を GPS/A やプレート境界状態把握（東北大と共同）・地震活動指数・固着状態等から評価・モニタリングする。スラブ内地震を含めた多様な震源特性を S-net 等を用いて検討し、地盤ボーリングデータ等も活用して強震動予測の高度化を図る。震源特性や過去の地震性斜面崩壊・液状化などの先験情報と、GIS による冬季積雪期を含めた避難行動研究に基づき、S-net 水圧計波形による即時津波浸水予測から避難スキームを即時的にカスタマイズするシステムを自治体等と協力して開発することで津波災害の軽減を目指す。

2. 内陸地震・地震火山相互作用・日本海東縁・長期広域変動場

札幌都市圏や日本海沿岸には活断層が存在し、スローイベントや中規模地震の活動が見られる。日本海東縁部にはアムールプレート運動が関与し、2011 年東北沖地震のアジア北東地域の広域余効変動から得られる応答特性は内陸の長期ローディング機構の時空間変動解明に重要な知見となる可能性がある。火山周辺など内陸地殻活動域のひずみ集中機構に関する観測を進めるとともに、地震が誘発した可能性のある火山噴火について物質科学的に検討する。過去の地殻活動履歴の整理から経験的な事象系統樹の作成を検討する。熊本地震の前震のように、中規模地震でも甚大な被害が見られることから、任意の規模や時間の地震発生確率を評価できる手法の開発も必要である。内陸直下型地震では、都市部の長大構造物や谷埋め盛土、泥炭地等に作用し地盤災害に対するリスクがあるため、断層近傍地震動特性の検討を行う。

3. 閉塞火道型火山の比較研究

整備が進む噴火事象系統樹を実際の噴火で活用するには、地殻活動をリアルタイムで把握しイベント分岐を即時的に判断する必要がある。噴火を繰り返す桜島や浅間山などでは知見の蓄積が進んでいるが、それらが、火道が閉塞状態にある多くの火山の活動に対しても、そのまま役立つとは限らない。閉塞火道型火山に適した手法の開発を目指し、有珠山を中心に観測のリアルタイム化の強化や解析の即時化を推進しつつ、道内火山での観測研究を継続する。さらに、近年大幅に整備が進んだ気象庁や防災科研の観測網を含めたデータを一元的に解析するとともに、火山性地震・微動の震源や地盤変動の力源などを即時的に推定するシステムの開発を目指す。分岐条件の物理的背景の理解を深めるために、一元的データを用いた火山間の比較研究をより定量的に試みる。また、過去の噴火事例において各火山で観測・報告されている事象を抽出し、物質科学的知見もあわせて分岐条件判定の鍵となる現象の分析を行う。

地震発生ポテンシャル及び震源断層モデルの地震学的評価

小菅 正裕 (弘前大学理工学研究科)

(mkos@hirosaki-u.ac.jp)

現計画では、地震・火山噴火の現象理解と予知を目指すこれまでの方針に加え、災害軽減に貢献することを大きな目標に掲げた。弘前大学では、この計画のレビューにおいて挙げられた今後の課題の中から、構造不均質性などから応力集中機構を解明して内陸地震や海洋プレート内地震が発生しやすい場所を特定すること、地震・火山噴火に関する史料・考古データ・地質データの統合解析を可能にするシステムを構築すること、災害軽減のために地震・火山噴火の知識を効果的に発信する手法を研究することに対応する以下のような研究課題を提案したい。

(1) 地震発生ポテンシャル評価

現計画までの成果として、3次元地震波速度構造はほぼ日本列島全域に渡って求められ、地域によっては、臨時観測によって詳細な地震波速度構造あるいは比抵抗構造の推定が行われてきた。その結果、内陸地震発生域の下に低速度・低比抵抗領域が存在する例が多く、地殻流体が被害地震発生に寄与したことが示唆されているが、低速度・低比抵抗領域は震源域以外にも存在するため、これらの構造を基に将来の地震発生域を特定するには至っていない。そのため、微小地震の応力テンソルインバージョンによる応力場推定、地震波の反射・散乱波の解析による地殻内の短波長不均質構造の分布と波形の時間変化、高サンプリング地震観測による地殻内異方性の時間変化等を通して、地震発生ポテンシャルが高い領域を絞り込む研究を行う。

(2) 震源断層モデルの地震学的評価

現計画において、深部構造探査のデータを加えて、東北日本・日本海東縁・関東地域の震源断層モデルの更新が行われた。これらの断層構造の地震学的な評価や、過去地震による被害との比較研究は、史料・地質データの統合解析に向けての一步となる。そこで、東北日本北部の断層について、変換波を用いての断層深部構造及び基盤の深さ分布の推定、地震波干渉法による浅部構造推定、実測からの表層地盤増幅率の推定を行う。次に、これらの構造と震源モデルに基づいて3次元波動伝播シミュレーションを実施し、地表での地震動を推定する。それを歴史記録から推定された震度分布と比較して、断層モデルの改良を行う。この過程において各地で想定すべき地震動が把握できることは、災害軽減の観点からも重要である。

(3) 地震・火山噴火の知識を災害軽減につなげる研究

地震・火山噴火の知識の普及活動は従来から行われてきたが、その効果の検証は難しいのが実情である。弘前大学では、理工学部地球環境防災学科への改組に伴い、「地震防災学」「火山防災学」の授業を新設した。それらの授業を通じて、地震・火山噴火の知識をどのように伝えることが効果的なのかについて実証的な検討を行う。

東北大の次期計画案（1）火山研究

東北大学 理・災害研・環境・東北アジア（発表者：山本 希）

（東北大）(mare.yamamoto@m.tohoku.ac.jp)

火山災害軽減のためには、観測データ・物理化学モデル・過去の噴火事例等に基づいて噴火の発生可能性や活動推移を予測するとともに、研究成果の社会への還元・社会実装を進めることが必要である。以下では、次期計画において東北大学が取り組む火山研究の課題について提案する。

1. 噴火事象系統樹の高度化・実用化に資する研究

現計画においては、噴火シナリオ・噴火事象系統樹の試作が個々の火山について行われており、頻繁に噴火を繰り返す火山においては観測に基づいた仮説検証が進められている。しかし、地下の構造や状態・マグマ物性といった事象分岐の判断条件に関する知見、特に、静穏期が長い火山においてのそれらの知見や地震火山相互作用等の比較的長期的な予測についての知見は依然として必ずしも十分ではなく、噴火の発生場・先行現象の観測及び物理化学モデル化の検討を多角的に進めることは噴火事象系統樹の高度化・実用化のために重要である。

このような観点から、次期計画では、比較的静穏な火山における噴火準備過程において発生する諸現象を高精度で捉え、噴火発生場・先行現象及びその中長期的な推移把握を目指す。具体的には、蔵王山・吾妻山・秋田駒ヶ岳等において、地球物理（地震・地殻変動・電磁気等）と地球化学の多項目連続観測を実施し、火山浅部の速度構造・比抵抗構造の詳細を明らかにし、地表噴火現象を支配する発生場の把握を行う。また、応力場・重力・全磁力や火山性流体の化学的特性等の時空間変化を明らかにし、他火山での事例との詳細な比較を行うことにより、火山活動の現状判断に資する観測・解析手法を検討する。更に、マルチスケールのトモグラフィにより広域・深部の地震学的・電磁気学的構造を明らかにし、マグマ供給源の詳細を解明するとともに、世界各地の沈み込み帯における事例との比較研究により地震火山相互作用に関する知見を蓄積し、深部低周波地震活動との関係等についての研究を進める。これらの研究を通じて、火山噴火発生ポテンシャル評価に資する知見の提供を目指す。加えて、比較的浅部におけるマグマ上昇に伴う減圧脱水と結晶作用によるマグマ粘性変化の定量化等の物質科学的研究を進め、火道流モデルへの反映・統合を進めることにより、噴火／噴火未遂の判断や噴火タイプの予測等の事象分岐の高度化に資する知見の提供を目指す。

2. イージーアクセス火山における啓蒙・防災対策に資する研究

蔵王山や吾妻山、栗駒山といったハザードマップ上の想定火口内または極近傍まで軽装のままアクセスできる活火山において、突然噴火活動が始まった際の情報発信や取り得る避難行動等について研究を実施し、災害軽減に資することが重要である。そこで、次期計画においては、各種解説情報や観測データ等を表示できるシステムを山頂周辺のレストハウスやビジターセンター等に設置し、平時には観光客の防災リテラシーの醸成を図るとともに、異常現象等が発現したときにはリアルタイムで情報を受信し、避難行動等につなげられる方策を災害部会と連携しつつ、社会科学的観点も含めて検討し、現業・行政機関等に対しての提案を行うことを目指す。

東北大の次期計画案（2）内陸地震研究

東北大学 理・環境・災害研（発表者：岡田知己）

（東北大）(okada.t@tohoku.ac.jp)

1. 方針

東北大における内陸地震研究は、これまでに引き続き、東北地方太平洋沖地震（以下、東北沖地震）後の内陸地震活動および地殻変動のモニタリングを継続し、地震後変動のモデル化をさらに進め、長期的な断層活動度評価の高度化を目指す。そのために以下の観測研究を提案する。

2. 研究計画

2.1. 陸域地震観測網の整備 東北沖地震前後に展開した大学合同観測などの臨時観測網を、今後10年以上の長期にわたって継続するための観測網の整理・整備を行う。S-netの活用や日本海PJによる構造探査実験との連携により、沿岸付近の地震活動・構造や、火山と地震の相互作用についても検討を進める。また、これまで観測・理解が手薄だった領域の強化を行う。例えば、東北地方中南部の断層群（例えば、長町・利府断層帯～福島盆地西縁断層帯、会津盆地西縁・東縁両断層帯、双葉断層帯など、火山としては蔵王山や吾妻山）が対象例として挙げられる。

2.2. 応力場・強度の時空間変化を把握する手法の高度化 低密度観測でも多数のメカニズム解を推定可能な手法開発を行う。応力と強度の時空間変化を捉えるインバージョン手法の高度化を行う。その場観測による絶対応力測定との比較から、地震観測による起震応力場が絶対応力とどのような関係にあるか明らかにする。

2.3. 地下の3次元不均質構造に基づく地震発生ポテンシャルの評価 地震波トモグラフィ法により、内陸地震とプレート境界近傍の3次元地震波速度構造・減衰構造・異方性の詳細なイメージングを行う。これを歴史的な大地震の震源分布と比較することで、今後大地震の震源域となり得る場所を推定する。

2.4. 測地観測網の整備 現在展開している測地観測網を整備・継続し、東北沖地震発生後10年強の期間における内陸域の地殻変動の時空間変動を明らかにする。

2.5. 東北沖地震後の内陸変動のモデル化 レオロジー構造モデルにプレート境界でのすべりを与えて内陸のひずみ場・応力場の時空間変化の再現を試みる。レオロジー構造の制約に必要な岩相・流体分布・温度構造の推定に引き続き取り組む。特に、重点領域や秋田北部・南部の東北沖地震後の誘発地震震源域を対象とし、今期で目標とした島弧スケールから、断層程度のスケールまで、モデルをマルチスケール化する。地殻内での流体の分布と存在形態を観測と実験から推定し、地震発生と流体の関わりを強度や不安定性の観点から明らかにする。

2.6. ハザード予測への貢献

2.6.1. ハザード事前予測 地震活動・応力・ひずみ・構造の情報から断層のセグメンテーションや端の特徴を明らかにし、活断層の長期評価に貢献する。

2.6.2. ハザード即時予測 応力場・メカニズム解や構造などの観測情報を取り込むなど、緊急地震速報やGNSS即時断層モデル推定の高度化に取り組む。地震波干渉法等による基盤構造の推定により強震動の予測の高度化に貢献できる可能性がある。これらを組み合わせることにより、地震後に速やかに震度分布を推定することに貢献できる。

東北大学の次期計画案（3）海域における観測研究

東北大学 理・災害研（発表者：太田雄策）

（東北大）(yusaku.ohta.d2@tohoku.ac.jp)

1. 海陸地震・測地データを用いた日本海溝・千島海溝におけるプレート間固着の実体解明

2011年東北地方太平洋沖地震（東北沖地震）にともなう地震時・地震後の地殻変動は、広域かつ長期にその影響を及ぼしている。特に東北沖地震の震源域に隣接するプレート境界への応力載荷を定量的に見積もることは、これら領域の地震発生ポテンシャルを評価する上で喫緊の課題である。また、東北沖地震の震源域直上の海底地震・測地観測にもとづく固着回復過程の把握は、希にしか発生しないプレート境界型巨大地震の発生過程の全貌を理解する上で重要である。さらに、東北沖地震はプレート境界浅部での大すべりがその特徴の一つであるが、こうした特徴が他の沈み込み帯でも普遍的なのかを、多角的な視点で検討を進めることは、プレート境界型巨大地震の特徴抽出のために重要である。

このような観点から、次期計画では日本海溝に加えて、海底地殻変動観測網の空白域となっている十勝～根室沖の、特に海溝軸近傍における海底地震・地殻変動観測の増強を北海道大学等と共同で進め、プレート間固着の実体把握を行う。また、日本海溝では既存稠密 GPS/A 観測点における繰り返し観測を継続し、固着回復過程の把握を進めるとともに、繰り返し地震の高精度解析で見出された周期的スロースリップを海底地殻変動で実測し、その特徴把握を行う。また、海底下構造探査によって、特に千島海溝の海溝軸に沿った構造の詳細把握を行う。さらに、より広域の地震学的構造を地震波トモグラフィーによって明らかにする。これら海底下構造探査および地震波トモグラフィーによって得られた知見を世界各地の沈み込み帯と比較することによって、巨大地震発生域における地震学的構造と地震時すべりの特徴についての比較研究を行う。さらにこうした海底地震観測、および海底間音響測距や圧力計を含む海底地殻変動観測をより高度化するための技術開発も並行して進める。これらの観測研究を通じて、日本海溝～千島海溝における地震発生ポテンシャル評価に資する知見を提供することを目指す。

2. 津波浸水即時予測システムの高度化のための要素技術開発

東北大学がこれまでに進めてきた、リアルタイム GNSS データおよび津波のその場観測にもとづく地震・津波規模即時推定手法の高度化を継続して進める。特に複数観測量を複合的に用いることで各センサーの利点を最大限引き出すシステムのプロトタイプ開発を進める。さらに得られた要素技術を社会実装するために必要な事項についても整理を行う。こうした技術開発によって、津波浸水被害軽減に活用できる技術の提示を現業・行政機関等に対して行うことを目指す。

3. リアルタイムプレート間カップリングモニタリングシステムの開発のための技術開発

国土地理院と東北大学で開発を進めているリアルタイム GNSS 解析システム（REGARD）によって、プレート境界における「地震時」すべりの実時間監視が可能になりつつある。一方で地震後に急速に進展する余効変動等を実時間でモニタリングすることは、地震の推移予測をする上での重要な基礎情報になり得る。よって比較的短い時間帯域（1日以下）を含んだプレート間カップリングモニタリングシステムのプロトタイプ開発を目指した技術開発を実施する。

16 海域観測による房総半島沖相模トラフと北部伊豆小笠原海溝におけるプレート間滑りの把握

篠原雅尚・望月公廣・山田知朗・悪原岳・塩原肇・川勝均（東大地震研）・村井芳夫（北海道大学）・日野亮太・太田雄策（東北大学）・佐藤利典（千葉大学）・中東和夫（東京海洋大）・伊藤喜宏・山下裕亮（京大防災研）・八木原 寛（鹿児島大学）・小平秀一（JAMSTEC）
(mshino@eri.u-tokyo.ac.jp)

2011年東北地方太平洋沖地震（東北沖地震）の発生により、その周辺部における地震発生リスクの変化が想定されており、北部伊豆小笠原海溝および房総半島沖相模トラフは、これらのうち、震源域南部に接している。古典的な「比較沈み込み帯論」では、沈み込み帯をチリ型・マリアナ型で分類し、後者は、巨大海溝型地震は発生しない非地震性の沈み込み帯であるとしている（古典的モデル）。しかしながら2004年のスマトラ地震(M9.1)発生、2011年東北沖地震(M9.0)の発生など、このような古典モデルでは説明できない例外があることがわかってきた。東北沖地震を引き起こした日本海溝の南隣に位置する北部伊豆・小笠原弧は、古典的モデルでは非地震性の沈み込み帯とされ、発生する地震の最大規模は、M7程度とされているが、巨大地震発生可能性は、沈み込みの理解といった学術的重要性を持つだけでなく、災害の想定などに重要な意味を持つ。巨大地震発生リスクの考察には、地震発生帯である浅部プレート境界付近の地殻活動を把握する必要があるが、この領域を対象とした海域観測はあまり行われておらず、特にプレート間滑りの把握は十分ではない。一方、房総半島沖相模トラフでは、過去に関東地震などの大地震の発生が知られている他、ほぼ一定の時間間隔でスロースリップが発生しており、本研究計画でも海底水圧計によりスロースリップに伴う海底上下変動が検出された。この領域でも、東北沖地震発生による地震発生リスクの考察のためには、引き続き、長期にわたる高精度の地殻活動の把握が必要である。

本研究提案は、以上のような背景から、房総半島沖相模トラフおよび北部伊豆小笠原海溝のスロー地震を含む地震活動、スロースリップに代表される地殻変動などの地殻活動を、現在の海底観測技術による長期のモニタリングにより、明らかにすることである。さらに、必要ならば技術開発も行う。最終的には、起こりうる地震の最大規模、プレート運動による歪みの蓄積量などを推定し、さらに他の沈み込み帯と比較することにより、沈み込み帯における巨大地震の発生の理解のために新たな枠組を提案することをめざす。

北部伊豆小笠原海溝域では、制御震源を用いた構造探査実験により、地震発生帯である浅部プレート境界の形状と構造、地震発生の様式とその深さ変化、地震発震機構解の決定、さらには、広帯域観測により、様々なスロー地震の検出を行う。さらに、海底水圧計による上下観測、可能であれば、GNSS/A観測を行い、地震帯域から測地帯域にわたる幅広い帯域でのモニタリングを実施することにより、プレート間滑りを把握する。さらに、海溝域が大水深であることから、7,000m以深で観測可能な超深海型海底測器を実用化して、観測に利用する。一方、房総半島沖相模トラフでは、近年ケーブル観測システムが整備されたことを考慮して、機動的な海底観測測器によるケーブル観測点の補間を行い、高密度観測により、より高度化な地殻活動の把握を実施する。

観測・調査と理論の融合による火山の理解

大湊隆雄（地震研・火山噴火予知研究センター）

(takao@eri.u-tokyo.ac.jp)

火山噴火予知の現状 火山に関する災害の軽減のために火山研究者が貢献できることは、噴火現象の発生や推移の予測を科学的根拠をもって社会に発信することである。科学的根拠をもった予測には、1) 観測データの有意な変化に基づく予測、2) 観測データと過去の噴火履歴に基づく統計的予測、3) 観測データと火山内部で起きる現象の物理的理解に基づく予測などが考えられる。観測網が充実していればタイプ1の予測は可能であり、近年の観測強化により対象火山は増えつつある。ある程度の観測網が稼働しかつ過去の噴火事例が多い火山においては、タイプ2の予測が可能だが、国内では限られる。タイプ3の予測については、様々な分野の研究者が実現に向けた観測、履歴調査、火山内部物理学の理解などを進めているが、実現は将来的な課題であろう。

大学の役割 火山噴火予知研究における大学の役割は多岐にわたっており、これまで上記3タイプの予測に向けた取り組みの全てにかかわってきた。しかし、近年、気象庁による観測の強化が進み、また、大学の予算・人員の問題もあって、タイプ1の予測に関する大学の役割は変わりつつある。火山を広域かつ多項目で観測する役割は気象庁等に譲り、火口近傍観測の強化や新しい観測量の取得などへターゲットを変えつつある。また、タイプ2、3の予測実現に向けて、観測・調査と実験・理論の融合にも力点を移しつつある。

地震研の取組 地震研の重点項目の一つとして、火口近傍観測が挙げられる。浅間山や伊豆大島、霧島新燃岳においては、火口に最も近い観測点を維持しており、例えば、2009年の浅間山噴火では噴火の1時間ほど前に火口近傍観測点において火口上がりの変化が捉えられた。近年、気象庁は火口近傍観測を重視しつつあるが、その背景には既存の火口近傍観測によってシグナルを顕著に捉えられた事例の蓄積があり、大学発の研究が生かされた例の一つと言える。観測の継続のみならず、衛星データの利用や火口近傍観測に必要な新たな技術の開発も並行して進めている。現地調査や物質科学的な研究も重要である。噴火直後の各種調査やサンプル採取は、噴火推移の把握、マグマの性質やマグマ溜まりの状態の理解につながることからタイプ2の予測実現への寄与が大きい。また、タイプ3の予測に繋がる重要なデータを蓄積する手段でもある。今後比重を高めていくべき第3の重点項目として、実験・理論に基づいて火山現象の理解を目指す取り組みを挙げたい。火山内部現象の物理的理解なくしてはタイプ3の予測実現はあり得ない。マグマの性質・振る舞い・火道内部現象等、それらを支配する物理法則の理解はまだ十分ではなく、実験・理論はこれに迫る唯一の手段であり、かつ、大学が最も力を発揮できるアプローチである。

次期計画への期待 大学は予測に対する「科学的根拠」の質を上げる様々な取り組みを行ってきた。次期計画においても、この取り組みを継続することが火山噴火の予測を通じての災害軽減という目標への最短の道筋と考えている。一方、火山の基盤的観測は気象庁等が行い、特定の観測量に着目した重点観測や比較研究、実験・理論を通じた物理的意味の追求は大学が行うという、役割分担は今後も次第に進むと考えられる。次期計画の策定にあたっては、研究の継続性を重視するとともに、参加機関の間で役割分担が変化しつつある現状を念頭に置く必要がある。

地下水中の地殻深部ガスの計測にもとづいた 断層帯周辺における地殻状態の推移評価

角森史昭・森俊哉（東大理・地殻化学）

(eqpred@gmail.com)

深層地下水に含まれる地殻深部ガスの混入量を計測し、地殻深部ガスが上昇する速度の見積もりにもとづいて、地殻の状態推移を評価することを目指す。

地殻深部ガスが断層破碎帯を上昇する速度は、破碎帯内部における流体の透過性によって大きく支配されている(Dogan et al. (2006))。破碎帯内部の流体透過性は、破碎帯を含む地殻の応力状態によって変動を受ける(Umeda et al. (2013))ので、地上部で観測される地下水中の地殻深部ガスの混入率の推移は、地殻の応力状態を評価する指標となる。

提案者は、これまで四重極質量分析計を用いた観測システムで、地下水中の溶存ガスを連続的に評価する方法を確立した(Tsunomori and Notsu (2008))。また、深部地下水のラドン濃度にもとづいて、破碎帯の存在を確認する方法を示してきた(Tsunomori et al. (2017))。さらに、現観測研究計画において、跡津川断層の地下水に含まれるヘリウム・窒素・アルゴンの三成分比が、深部起源ガス・大気起源ガス・沈み込み堆積物起源ガスの混合状態(Giggenbach and Poreda (1993))を示す可能性があることを突き止めている(図 1)。

次期研究計画では、跡津川断層に加えて神奈川県西部・紀伊半島中部などのいくつかの断層帯において観測を実施し、それぞれの破碎帯周辺の地殻の状態(空隙率など)がどのように推移するかを評価したい。これにより、地震発生前後の地殻変動を化学的な指標で評価することが可能になると期待される。

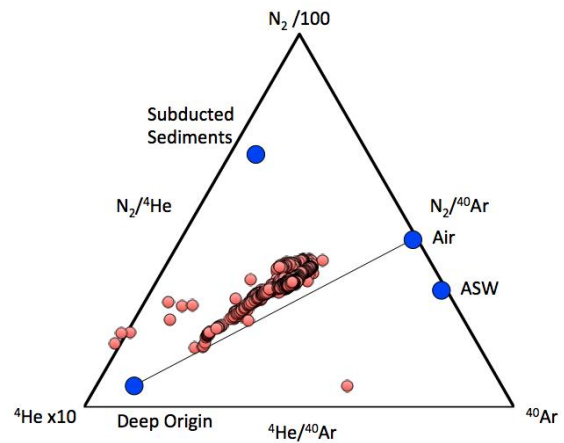


図 1. ヘリウム・窒素・アルゴン三成分比の時間推移。2年間のデータをプロットしたもので、時間とともに3つの端成分が混合する比率が推移していることが示された。

Dogan T., Sumino H., Nagao K. and Notsu K (2006) Release of mantle helium from forearc region of the Southwest Japan arc. *Chemical Geology*, 233, 235-248.

Giggenbach W.F. and Poreda R.J. (1993) Helium Isotopic and Chemical Composition of Gases from Volcanic-Hydrothermal Systems in the Philippines. *Geothermics*, 22(5/6), 369-380.

Tsunomori F. and Notsu K. (2008) Simultaneous monitoring of gas concentration and groundwater level at the Omaezaki 500-m well, central Japan: Spike-like concentration change of methane. *Geochemical Journal*, 42, 85-91.

Tsunomori F., Shimodate T., Ide T. and Tanaka H. (2017) Radon concentration distributions in shallow and deep groundwater around the Tachikawa fault zone. *Journal of Environmental Radioactivity*, 172, 106-112.

Umeda K., Asamori K., and Kusano T. (2013) Release of mantle and crustal helium from a fault following an inland earthquake. *Applied Geochemistry*, 37, 134-141.

海底活断層と火山噴火の学際的観測研究による災害軽減

佐野有司*・小畑元・高畑直人・鹿児島渉悟・朴進午・山口飛鳥・清家弘治・芦寿一郎

(東京大学 大気海洋研究所 海底災害観測研究グループ)

(*E-mail address: ysano@aori.u-tokyo.ac.jp)

日本は地震や火山噴火の発生頻度が高く、これまでに多くの災害に見舞われてきた。東日本大震災や御嶽山火山噴火をはじめとして近年の頻発する地震火山災害に対し、オールジャパンの体制で観測の強化が行われつつある。しかしながら陸上に比べて海底に起因する災害に関しては、費用対効果の面から包括的・学際的な海底観測研究が極めて不足し、海底地震計や津波計の設置等、主に地球物理学的研究が主体となっている。

東京大学大気海洋研究所の海底災害観測研究グループは、海底活断層による地震、海底地すべり、海底火山噴火など、海底表層から海底下深度数 km までの範囲で生じる固体地球の変動によりもたらされる自然災害（海底に起因する災害）に特化した観測・研究を行う。これら固体地球変動のメカニズムを解明するとともに、災害発生情報を社会へ提供し防災・減災に資することで、持続可能な社会の構築に役立てることを目指す。そのために、研究船による海洋観測を実施し、地学・化学・生物学的アプローチを組み合わせた調査（音波探査、採水、採泥、生物採取など）を行う。特に、国が大規模地震（M9 級）・津波災害を想定している南海トラフや、過去に海底火山噴火が繰り返し生じている九州南方などを重点海域として設定し、繰り返し観測を実施することで、地震・火山噴火現象に重要な役割を果たすと考えられる地殻流体を物理的・化学的にモニタリングして、将来の災害発生ポテンシャルを定量的に評価する。

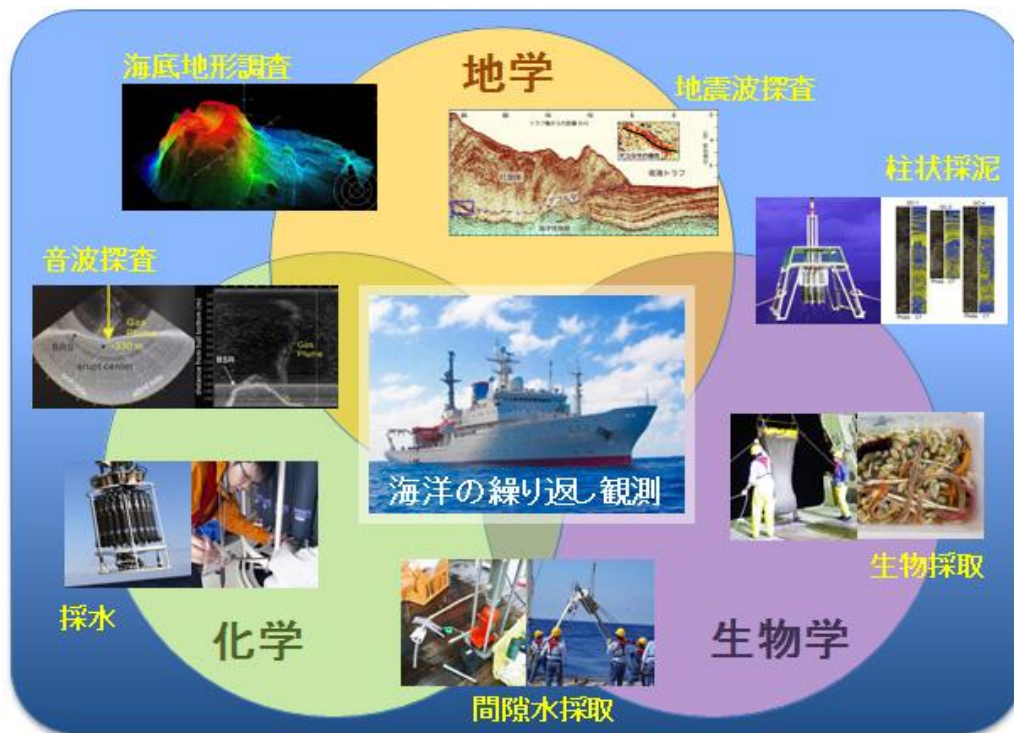


図1 海底活断層と火山噴火の学際的観測研究の模式図

地球物理・地球化学観測による水蒸気噴火場の理解に向けて

小川康雄・野上健治・神田径・寺田暁彦（東京工業大学理学院火山流体研究センター）

(oga@ksvo.titech.ac.jp)

草津白根火山は、水蒸気噴火を繰り返してきた火山で、水蒸気噴火の **model field** として位置づけられている。東京工業大学では、1970年代より地球化学的な繰り返し観測がおこなわれており、2001年からは湯釜・水釜火口に近接したボーリング孔を用いた微小地震観測、地殻変動観測システムが整備され、モニタリング観測が開始された。2014年3月からの火山活動の活発化については、地球物理・地球化学観測からその推移を捉えることに成功した（東京工業大学, 2017）。本講演ではそれら観測データをレビューし、さらに今後の研究の課題を挙げる。

2001年以降、火山活動が静穏な状態が続いていた。ところが、2014年3月に湯釜火口周辺の微小地震活動が高まるとともに、湯釜火口浅部周辺を中心とする山体膨張が始まった。また、火山ガス中の硫化水素の濃度の急激な低下が観測され、これは1976年に発生した水蒸気噴火の前と同様の傾向であった。2014年5月からは、湯釜火口湖の水温上昇や、熱消磁による山体磁化の減少が観測された。山体の膨張変動は2015年10月まで継続したが、以後は停滞し、現在は収縮に転じている。地震発生頻度も2014年3月以前のレベルに低下している。湯釜火口湖の水温も、2016年8月以降は平年の値に戻っている。硫化水素濃度も活動活発化以前の値に近づいている。更に、既存の3次元比抵抗構造解析結果と照合すると、山体膨張イベントの圧力源の中心は、湯釜火口下の釣鐘状の不透水粘土キャップの内側にあることが明らかとなった(Ogawa et al., 2016)。さらに詳細な地殻変動と微小地震の解析から詳細なクラックモデルが提唱されている。このように、活動活発化を通じて浅部地下構造と流体蓄積に関する理解が進んだ。

次期計画においては、従来の微小地震、地殻変動観測、全磁力、火山ガス、地表面温度分布、湖水の温度・化学成分のモニタリング等を継続・高度化することで、熱水蓄積領域の位置や流動経路と、地表における噴気・温泉活動とを対応づける。特に以下の研究を推進する。(1)水蒸気爆発場のキャップロックとなる粘土鉱物は重要であり、その強酸性環境下におけるシール特性の検討を行う。(2)化学については、2014年以降、湯釜火口湖で急増した硫黄オキシ酸イオン生成のメカニズムを探る。(3)火口近傍において2016年に掘削した観測井を用いた地下水モニタリングを実施する。(4)電磁気観測については、より深部の超臨界水の貯留構造とその変動の解明を目指す。(5)また、これら物理・化学データの変動を定量的に説明できる熱水数値シミュレータの構築を図る。

参考文献

東京工業大学、第137回火山噴火予知連絡会資料、2017。

Ogawa et al. Three dimensional magnetotelluric modeling of Kusatsu-Shirane volcano and its implications for recent volcanic unrest, AGU Fall meeting, 2016.

名古屋大学の次期研究計画に対する取り組み

名古屋大学 地震火山研究センター [発表者：伊藤 武男 (名大)]

(takeo_ito@nagoya-u.jp)

日本列島では複数のプレートが相互に影響し複雑な地殻活動が発生している。このような複雑な地殻活動の発生について理解し、予測するためには、海溝付近から背弧域までを含めた相互作用の系として総合的に捉える必要がある。これらの理解に必要な地震発生サイクルはテクトニック応力の蓄積、地震発生時の応力解放とそれに伴う地震波の放射、地震発生後のアセノスフェアの粘性応力緩和とそれに伴うリソスフェア内の応力再分配、そして、断層の固着に伴う強度回復の諸過程から成ると考えられている。これらの諸過程は連続的に進行することから、長い時間スケールの中で地殻活動をシームレスに扱い、時空間的に進行する地殻活動を統一的に扱う必要がある。これらの考えに基づき、名古屋大学では、南海トラフ域と御嶽山周辺領域に着目した次期研究計画を提案する。

南海トラフ域の地震発生予測に重要なテクトニック応力の蓄積は、プレート境界面の一部が固着し、定常的なプレート相対運動からすべり遅れることにより生じる。この応力の蓄積過程は時空間的に不均質に進行することから、観測から推定することが重要であり、主な地震発生領域が海底下にある南海トラフ域では、海底での地殻変動観測が非常に有効である。また、これらのすべり遅れの推定は、プレート境界面の幾何学形状に強く依存するため、中部地方のようなプレート境界面上での地震活動が比較的低い場所では、構造探査手法によるプレート境界の同定が重要になる。さらに、近年の海底地殻変動の観測結果から東海地方沖の伊豆マイクロプレートの存在が示唆されていることから、海底地殻変動によって伊豆マイクロプレートの動きを直接観測する必要性や、沈み込むプレート側も含めた運動学的なフレームワークの見直しも必要である。つまり、伊豆マイクロプレートの存在は、プレートすべり遅れの状態の推定への影響だけでなく、伊豆マイクロプレートが日本列島に衝突に起因するプレート内変形とそれにともなう応力蓄積、海洋プレートの沈み込み方向の変化による内陸断層系への影響、歴史地震の見直しも懸念され、それらのモデル化と再評価を目指す。

一方、御嶽山周辺域では、有史以降の4回の水蒸気噴火（1979年、1991年、2007年、2014年）に加え、山麓域でも1984年の長野県西部地震（M 6.8）や微小な群発地震活動（1976年～）が継続して発生しており、地震と火山の相互作用の解明が重要な課題となっている。これまでに、2014年の噴火に伴い、山頂直下の火山性群発地震のメカニズム解が大きく変化したことがわかっている。火山性地震の発生には、火山活動に対応した間隙流体の状態変化が重要な役割を果たしていると考えられることから、御嶽山とその周辺域の多項目観測を強化・継続し、応力場や間隙流体圧場を介して地震と火山の相互作用を理解することを試みる。そして、得られた知見を自治体に還元し、登山者等への情報発信などを積極的に行うための仕組みを構築することを目指す。

阿蘇山における観測研究の現状と今後の狙いについて

宇津木 充 (京都大学大学院理学研究科)

(utsugi.mitsuru.5c@kyoto-u.ac.jp)

阿蘇山では、これまで 10～20 年おきに本格的なマグマ噴火活動を繰り返しており、一連の活動の中期～終息期は、マグマ水蒸気噴火・水蒸気噴火へと遷移する。2014 年 11 月から発生した約 20 年ぶりの噴火活動でも、2016 年末までの活動終息にかけての一年ほどはマグマ水蒸気噴火・水蒸気噴火が頻発した。阿蘇山で繰り返されてきた一連の噴火活動の規模はそれほど大きくないため、火口近傍での観測が可能である。このような特色を生かし、京都大学では、特に電磁気学的手法、地震学的手法、測地学的手法に力を入れた多項目観測研究を、静穏期から継続して実施してきた。これらに関する最大の成果の一つは、浅部流体のモニタリングを連続的に行うことが出来たことにある。特に上述の噴火活動に先行する異常現象や、噴火活動中の火口浅部熱水系の動態を把握することができた事の意義は大きい。例えば、火口近傍に展開した広帯域地震観測網により 2014 年 11 月および 2015 年 9 月の噴火に先行して長周期微動の卓越周期の時間変化が観測された。この変化は草千里下のマグマだまりをはさむ GPS 基線変化と対応しており、マグマだまりの増圧により火道へ流れ込む流体の温度・物性が変化した事を示唆している。火口近傍で行われた電磁気観測からは、2014 年 11 月の噴火に伴うマグマ上昇で地下水の分布、状態が変化したことが明らかになった。しかしマグマ水蒸気噴火・水蒸気噴火に関しては、どのような物理条件下で、どのような過程を経て発生しているかについてまだ未解明な部分も多く、現状では定量的な議論に十分に踏み込めていない。マグマ水蒸気噴火・水蒸気噴火発生場の物理モデルを構築する事は、戦後最悪の人的被害を出した 2014 年御嶽山の噴火以降、社会的にも切に求められている。

阿蘇でのこれからの数年間は、噴火によって破壊された熱水系が回復する時期にあたり、次期噴火への準備期として位置付けることができる。過去約 20 年間のデータ蓄積から静穏期における地下熱水系について多くの情報が得られているが、活動的な状態から静穏な状態にどのように推移するかを見る事で、静穏期における熱水系についての知見を深める事が出来ると期待される。また同時に、2014 年噴火開始後のマグマ水蒸気噴火・水蒸気噴火を頻発させた不安定な状況がどのような物理条件下にあったかを明確にすることにつながる。こうした事は、水蒸気噴火発生場のモデル化に大きく資することが期待される。以上から、現在実施している多項目総合観測を継続し、引き続き火山体浅部構造の時間変化、浅部熱水系の物理状態を把握する事を目指す。同時に、過去の静穏期の観測データの精査・再検討から熱水系の卓越する環境下における噴火活動発生理解を深め、噴火シナリオ・事象系統樹の成果検証へと発展させたい。また草千里地下のマグマだまりの収縮は 2017 年 4 月現在も再開しておらず、近い将来再び噴火活動が始まる可能性も示唆される。ひとたび噴火活動が再開された場合は、マグマ噴火～水蒸気噴火への遷移過程に着目し、浅部熱水系の変容との因果関係を明らかにする。これらの研究内容は、熱水系卓越型他火山の活動評価や比較研究の指標になりえる重要なものであることから、総合研究課題への発展性も視野に入れている。以上の研究を、他機関と積極的に連携しながら進めてゆく。

内陸地震の空間ポテンシャル評価に向けて

九州大学地震火山観測研究センター

(発表：九大地震火山観測研究センター：相澤広記, aizawa@sevo.kyushu-u.ac.jp)

M7 クラスの内陸地震の危険性が高い場所を予測し、地震が発生した場合の強震動予測ができれば災害軽減に生かせる情報になりうる。こうした観点で地表の活断層に注目して調査が成されているが、顕著な活断層が知られていない地域でも被害地震が発生している。従来の活断調査に、① 地下構造の情報、② 応力場からの情報、③ 強度の情報を加えることが有望と考える。

場所予測について

10 km 程度の空間解像度で推定された地震波速度構造と比抵抗構造から、M7 クラスの内陸地震の震源域近傍にスポット状の低速度—低比抵抗が存在するという事例が次々に報告されている。また、上部地殻において低速度—低比抵抗の領域の地震活動は低い。これらの経験則が真に利用できるものかどうか、現在の地震活動にとらわれず人口密集地域も含め、広域で一様な空間解像度で地下構造を推定し検証していくことが必要である。さらに、得られた地下構造を用いて、広域応力場の下で応力が蓄積されやすい領域を計算によって見出すことが可能となるであろう、その位置と実際の地殻変形や微小地震活動などから得られる情報（強度や非弾性変形）を合わせこむことで応力が蓄積領域を見出し、より精度の高い場所予測につながる。

規模予測について

2008 年岩手—宮城内陸地震、2016 年熊本地震など、低速度—低比抵抗の領域が破壊の進展を止めたように見える研究例がある。また前述のように内陸地震は経験的に低速度—低比抵抗の近傍で発生する。このため広域かつ高空間解像度な地下構造は、場所予測だけでなく、規模予測にも利用できる可能性がある。加えて、断層帯や火山などの構造や応力に対する応答特性・相互作用を把握することで、信頼度を向上させることができると考える

場所と、大まかな規模の絞り込みが可能であったとして、さらにすべり分布予測が出来ればポテンシャル評価にかなう。これまで M7 クラスの内陸地震のアスペリティは高速度—高比抵抗の領域であるという報告が多いが、アスペリティは「面」であり、断層破碎帯のような微細構造との関連も検討していく。断層破碎帯は反射法地震探査や、稠密な広帯域 MT 探査でイメージングされることがあるため、テストフィールドで両者の探査を実行し断層破碎帯の実体を推定し、すべり分布との関係を検証する。また、高分解能の応力場推定法開発により、熊本地震では広域応力場から期待される地震時滑り方向が実際に本震すべりで観測された。これは想定断層に対する地震時すべり評価を高度化させうることを示している。断層の構造、応力場の両者を詳細に求めることで、現在の矩形断層モデルでの評価から次世代の空間ポテンシャル評価の試行を進めていく。

空間ポテンシャル評価の利用について

上述のような方法により内陸地震の空間ポテンシャル評価ができるとしても、それは人間の一生をはるかに超える期間での評価である。こうした情報をどのように災害軽減に生かせるか検討していく必要がある。

航空機搭載合成開口レーダーによる地震・火山の災害状況把握

久保田実、航空機 SAR 開発チーム（国立研究開発法人情報通信研究機構）

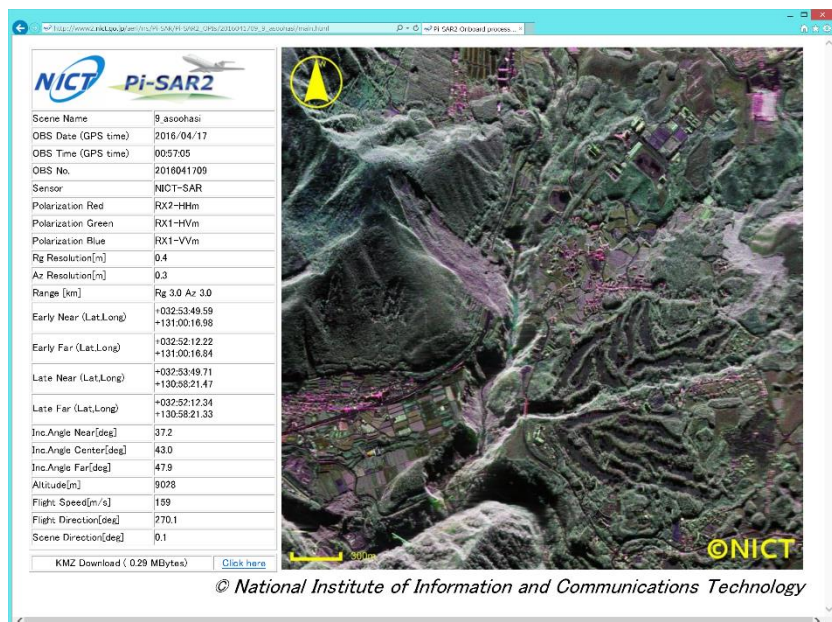
(e-mail: mkubota@nict.go.jp)

航空機や衛星から地表の様子を撮像する合成開口レーダー（以下、SAR）は、航空写真に比べてより広い範囲を、分解能を落とさずに、天候や昼夜によらず観測できるという特徴がある。その用途は、社会インフラの維持管理、植生の調査、資源探査等幅広く、また上記の特徴から、地震や火山噴火等の災害発生時の有効な情報収集手段となり得るため、先進各国において研究開発が進められている。情報通信研究機構（以下、NICT）では 1980 年代に SAR の研究開発を開始し、1997 年に国内初となる航空機搭載 SAR（以下、航空機 SAR）が完成。以降一貫して航空機 SAR 技術の高度化に取り組んできており、ここで得られた技術は、現在国内で活躍する航空機や衛星搭載 SAR の基礎となっている。

現在 NICT では、2008 年に完成した第 2 世代の航空機 SAR（以下、Pi-SAR2）を用いて、観測技術やデータ分析技術の高度化に取り組んでいる。Pi-SAR2 は X バンドと呼ばれる波長約 3cm の電波を用い、撮像の分解能は 30cm。1 回のスキャンで飛行経路に沿った幅約 8km×長さ数 10km の範囲のデータを取得し、1 日のフライトの中でこれを 10 回から 20 回行う。約 10km の高高度を飛びながら、ななめ横をスキャンするため、悪天候や火山噴火などの状況下でも観測を行うことが可能。Pi-SAR2 による飛行観測は、通常年間数日程度実施されるが、大規模な地震災害等が発生した場合、データを災害対応機関に提供するために緊急観測を実施しており、近年では、平成 26 年の御嶽山噴火、平成 28 年の熊本地震の際に緊急観測を実施した（図 1）。

本講演では、緊急観測で得られたデータを示しながら、また、現在 JAXA が運用している衛星搭載 SAR（ALOS2）の特徴との比較や、諸外国で開発・運用されている SAR の事例なども示しながら、NICT で開発を進めている航空機 SAR の特徴を詳しく解説する。災害発生時の航空機 SAR の利活用については、費用の面やデータ処置・分析の特殊性など解決すべき課題がまだ残っているが、一方で、省庁連携で利活用を進める取り組みなども始まっている。我々は様々な機会を活かして、実際に災害対応にあたる方々の意見に基づいた観測・解析手法の改善に取り組むたいと考えており、このあり方についても議論したい。

図 1 熊本地震緊急観測中に公開した速報画像の例（阿蘇大橋周辺の崩落箇所）



国土地理院における地震・火山観測研究

矢来博司（国土地理院）

(e-mail: yarai-h96rq@mlit.go.jp)

国土地理院は、地震・火山現象を研究する上で基礎的なデータとなる GNSS 連続観測や干渉 SAR、水準測量等による地殻変動監視や、重力、地磁気観測等の地球物理学的観測を着実に実施してきた。また、都市圏活断層図や火山土地条件図などの地形学的調査も着実に実施してきた。加えて、これらの観測技術をさらに向上させるための研究や、得られたデータを用いて地震・火山現象を理解するための研究も実施している。

近年は、特に GNSS や SAR などの宇宙測地技術の発展が目覚しく、国土地理院においても、それらの新技術を取り入れた観測・解析技術の高度化を進めている。

GNSS に関しては、電子基準点などの GNSS 連続観測システム (GEONET) のマルチ GNSS 観測化を実施するとともに、定常解析についても最新の知見を取り入れた解析の高度化を進めている。また、電子基準点の観測データをリアルタイムにキネマティック解析を行い、地殻変動を検出する「電子基準点リアルタイム解析システム」の開発も進めている。2016 年に発生した熊本地震や鳥取県中部の地震、福島県沖の地震に伴う地殻変動をこのシステムでリアルタイムに捉え、震源断層の自動的な推定を行うことに成功している。さらに、リアルタイム性を多少犠牲にする代わりに、より高い測位精度でキネマティック解析を行い、現在の GEONET の定常解析では迅速性や時間分解能が不足するような、熊本地震のように規模の大きな地震が頻発する場合や、急激に変化するような火山活動においても迅速に高い時間分解能で地殻変動を把握するための研究開発も進めている。

SAR に関しては、2014 年に打ち上げられた「だいち 2 号」を用い、地震・火山活動に伴う地殻変動の把握や、地盤沈下などの地表面変動の把握を目的として、「だいち 2 号」データの定常的な解析を行うとともに、地震発生や火山活動の活発化の際には緊急的に解析を行い、結果を公表している。例えば 2015 年箱根山の活動に伴う地殻変動や 2016 年熊本地震に伴う断層周辺の地殻変動などが記憶に新しい。この「だいち 2 号」の後継として、先進レーダ衛星のプロジェクトが進められている。先進レーダ衛星では、観測幅が「だいち 2 号」の 4 倍 (200km) に拡大され、14 日ごとの観測が可能となる。そのため、これまで弱点であった時間分解能が改善されると共に、干渉 SAR 時系列解析の適用可能範囲の拡大が期待される。時系列解析では微小な変動速度の地殻変動現象の面的な把握が可能となるため、これまで把握できていなかった変動現象が見出される可能性もある。そのため、国土地理院では干渉 SAR 時系列解析の高度化に関する研究等も行っている。

このように、GNSS や SAR など宇宙測地技術のさらなる発展により、近い将来、時間・空間分解能の高い地殻変動データが高精度で得られるようになることが予想される。このような地殻変動データを活用することにより、地震・火山現象についての理解がさらに進展することが期待される。また、地殻変動の迅速な把握による震源断層の即時推定や火山の力源の逐次推定を通じた防災対応への貢献も期待され、この分野での研究をさらに進めていくことが重要である。

地震・津波予測技術の戦略的高度化研究プロジェクト

松澤孝紀（防災科学技術研究所 地震・津波予測技術開発プロジェクト）

(e-mail address: tkmatsu@bosai.go.jp)

防災科学技術研究所（以下、防災科研）では防災科学技術に関する基礎研究と基盤的研究開発の推進を中長期目標に掲げている。国民の安全・安心を確保するために、災害を予測・察知してその正体を知る技術、早期に被害状況を把握し国民の安全な避難行動に資する技術、迅速な復旧を可能とする技術及び災害情報を共有し利活用する技術等の実現を目指している。ここで示す地震・津波予測技術の戦略的高度化研究プロジェクトは、その中でも災害をリアルタイムで観測・予測するための研究開発として位置付けられている。日本海溝海底地震津波観測網（S-net）や南海トラフ域に展開される地震・津波観測監視システム（DONET）を含む海陸の基盤的地震観測網等の観測データと大規模シミュレーションを活用して、地震動・津波即時予測のための研究開発を通して迅速かつ高精度な地震や津波の早期警報及び直後の被害を予測する。また、将来発生し得る大規模な地震に関する地殻活動等の把握や地震発生の長期評価等の高度化に関する研究にも取り組み、地震調査研究推進本部等の施策にも貢献する。防災科研では多くの観測を運用しており、次世代火山研究プロジェクト等の他プロジェクトや、被害予測や情報発信を担当する他部署との連携も進めている。これらの成果を実装すべく、地震・津波災害の軽減に向けてステークホルダーとの協働を進める。防災科研では、運営費交付金による地震・津波予測技術の戦略的高度化プロジェクトにおいて、以下の3つのテーマを中心に研究開発を実施する。

まず、地震動の即時予測のシステム開発があげられる。「揺れ」から「揺れ」の直接予測システムの実現のため、不均一な強震観測データから即時予測に必要な時空間のグリッド値をリアルタイムに得るための強震動即時補間システムや、巨大地震の確実な検知のため、広帯域地震観測網データに海外データ等を合わせて用いるCMT解析システムを開発する。強震モニタAPI及び長周期地震動予測システムを構築し社会実装する。「揺れ」から「揺れ」の予測システムには海域の強震観測データを積極的に利用する。

次に津波即時予測のシステム開発を行う。津波到達時刻、津波高、浸水エリア等の予測に向けて、データベース方式やリアルタイム計算を用いた津波予測手法に基づき、水圧観測データと地震観測データを統合的に活用して迅速かつ高精度に津波予測を行う技術を開発する。水圧観測データを活用して、後続の津波による危険性や津波収束の予測するための技術開発を行う。遠地津波を海溝軸外側の前線で検知し上記の津波予測に導入する。

最後に大地震発生の長期予測である。海陸の観測網データを用いて、様々なタイプの地震活動や応力分布の推移変化を随時可視化することが重要である。海陸観測網データを統合的に用いて、地震活動や地殻変動等の地殻活動の現況をリアルタイムかつ高精度で把握する手法を開発し、地殻活動総合モニタリングシステムを構築する。高機能な震源カタログの整備、高精度な地下構造モデルの構築を通して、データ駆動型の研究を推し進めるとともに、シミュレーション駆動型の防災科研の別研究プロジェクトと連携し、大地震発生の長期予測への道筋をつける。

巨大地震の実態解明と災害軽減：

多様な発生シナリオとモニタリング能力評価

防災科学技術研究所 巨大地震発生メカニズム研究プロジェクト

(e-mail address: saito-ta@bosai.go.jp)

巨大地震発生の想定が充分でない、あるいは、地震規模即時推定等のモニタリング能力を誤って認識していると、地震発生時の初期対応を誤る恐れがある。観測データと理論に基づき低頻度巨大地震の実態を解明し、巨大地震がどこでどのように発生し得るか、発生の多様性を反映したシナリオを想定することが重要である。また、多様な発生様式に応じて、現在の観測態勢で検知できる・できないものを、事前に正しく認識しておくことが、災害軽減には必要である。防災科研 巨大地震プロジェクトでは、地震現象理解と災害軽減に向け、以下の研究開発に取り組む。

測地観測記録から日本列島の変形を把握し、プレート境界の固着域とそのすべり欠損レートを推定する。すべり欠損レートと前回の巨大地震からの経過時間から、すべり欠損量を推定し、プレート間巨大地震に対する応力蓄積モデルを構築する。さらに、発震機構解カタログを併せて解析することで、内陸大地震を引き起こす応力蓄積モデルを作成する。これら応力蓄積モデルは地震発生場の定量モデルであり、破壊シミュレーションの初期条件や地震発生ポテンシャルの評価に利用できる。

推定した応力蓄積分布から、多様で現実的な断層破壊過程をシミュレートすることが可能となった。例えば Hok et al. (2011) は、応力蓄積分布と地形等をもとに設定した摩擦パラメータを用いて、1944年東南海・1946年南海型の地震、東海から南海までを一度に破壊する地震等を、破壊開始点を変えることによって再現した。さらには、摩擦パラメータを調整することで、高速破壊から比較的ゆっくりとした破壊まで、つまり、巨大地震や津波地震の多様な破壊様式を再現可能である。応力蓄積分布モデルや室内実験で得られる摩擦則を高度化することで境界条件を狭めつつ、多様かつ現実的な発生シナリオを構築していくことが重要である。

多様な巨大地震発生シナリオから得られる断層すべり分布から、波動伝播シミュレーションを実施することで、模擬観測記録を合成する。従来は、地震波と津波シミュレーションは独立に実施されていたが、海域観測を有効に使うためには、地震波と津波が共存する波動場を計算することが重要になる (Saito and Tsushima 2016)。仮に、海底水圧計が震源域直近にある場合、地震発生時には、地震波による圧力擾乱が大きく、津波による圧力変化を捉えることが困難となる。現在の我々のモニタリングの限界を知るために重要な注意点となる。

Hok, S., Fukuyama, E., & Hashimoto, C. (2011). Dynamic rupture scenarios of anticipated Nankai-Tonankai earthquakes, southwest Japan. *J. Geophys. Res.*, 116(B12).

Saito, T., & Tsushima, H. (2016). Synthesizing ocean bottom pressure records including seismic wave and tsunami contributions. *J. Geophys. Res.*, 121(11), 8175-8195.

近年の気象庁地震津波業務の進展

尾崎友亮（気象庁地震火山部管理課）

(tozaki@met.kishou.go.jp)

気象庁は地震・火山等、自然現象に関する防災気象情報を、防災関係機関にオンラインで迅速に伝達するとともに、テレビ・ラジオやインターネット等を通じて広く国民に発表しており、地震や津波に関しては、緊急地震速報、津波警報、震度速報、震源・震度に関する情報等を迅速に発表している。

近年の気象庁の地震津波業務の進展の主なものとして、①緊急地震速報の高度化、②海底津波計の津波警報への活用、③自動震源の導入による震源決定能力の向上、を挙げる。

緊急地震速報は、平成 19 年 10 月の運用開始以降、観測点の追加や手法の改善等を通じ、精度向上を図ってきた。観測点については、気象庁において緊急地震速報計算処理機能を有する多機能型地震計の整備を拡充してきたほか、国立研究開発法人防災科学技術研究所の Hi-net を活用するとともに、平成 27 年 3 月には同研究所の DONET 及び KiK-net の地震計データの緊急地震速報への活用を開始した。手法の改善については、同研究所で開発された着未着法を活用しているほか、平成 28 年 12 月に、同時に複数の地震が発生した場合の識別をより適切に行う IPF 法（Integrated Particle Filter 法：京都大学防災研究所の協力を得て開発）を導入した。

海底津波計については、平成 24 年 3 月から津波警報更新への活用を開始し、平成 28 年 7 月からは防災科学技術研究所の S-net 及び DONET2 のデータの活用を開始した。現在、沖合での津波波形を逆解析して初期水位分布を推定し沿岸の津波を予測する手法の導入を目指している。

気象庁は地震防災対策特別措置法に基づく地域地震情報センター業務として、大学や防災科学技術研究所等関係機関から地震波形データを一元的に収集し、全国で発生した地震の震源を日々決定し地震カタログを作成している。平成 23 年 3 月の東北地方太平洋沖地震以降、その余震域を中心に地震の発生数が著しく増加し、従来の処理手法の限界を超えたこと等を背景に、東北地方太平洋沖地震以前と同等程度の地震の検知能力を維持しつつ、自動処理で検知され地震と判断されたものすべてについて地震カタログに掲載するべく、ベイズ推定を用いた自動震源推定手法を平成 28 年 3 月に導入した。これにより、より迅速な震源決定処理が可能となり、熊本地震等、その後の大地震に際して最新の地震活動の状況をより早く把握、提供できるようになった。

気象庁が発表する即時的な予測・観測等の防災情報には、24 時間 365 日の安定稼働や適切なリアルタイム処理を前提とした高い信頼性が求められる。こうした防災情報の改善に資する基礎研究の発展を期待したい。

海域広域変動観測プロジェクト

海洋研究開発機構（代表・発表者 小平秀一）

e-mail: kodaira@jamstec.go.jp

東北地方太平洋沖地震の発生以降、広域なプレート・地殻の変動による内陸型を含む日本周辺域での地震や火山活動が活発化している。次の南海トラフでの巨大地震の発生が切迫しているとされており、当該海域を含む震源域でのプレート・地殻活動の高精度モニタリングは喫緊の課題である。

海洋研究開発機構は中期的な取り組みとして、これまでに確立した技術をベースに機構のファシリティを活用した、機構内に表題に示す組織横断型の観測プロジェクトを立ち上げ、今年度より開始したところである。このプロジェクトは大きく3つのプログラム（①連続リアルタイム海底地殻変動観測技術の開発・展開、②海底活断層の高精度広域調査、③①と②で得られた情報を取り込んだより現実的な地殻活動の推移予測）から構成される。

これまでに蓄積された海底ケーブルや海底での計測技術、坑内観測技術を基本にして、想定される南海トラフ巨大地震の震源域をカバーする広域且つ高精度な地殻変動の計測と常時モニタリングや安定的な稼動を実現するネットワークの構築を目指す。安定した地殻変動の計測に優位な掘削坑内の観測点の拡充も重要な要素である。計測データの精密な校正技術、海底での傾斜計測を実現するセンサーの開発や設置手法などの要素技術の確立もこのプログラムに含まれる。スロースリップなどの微小な地殻変動やプレート間の固着状態とその時間変動を得ることにより地殻活動の現状の把握を目標としている。

プレート境界形状の把握は海域巨大地震の解明に向けた最も基礎的な情報である。また分岐断層や上盤側に発達した活断層、更にアウターライズ地震に対応した断層群の位置や規模の把握はプレート内部の変形過程の把握、巨大プレート間地震との相互作用の検討や津波予測などへの基礎データとなる。昨年、新たな研究調査船「かいめい」が就航し、従来よりも大規模、高精度また3次元地下構造調査が可能となり現在本格的な調査に向けて準備が進められている。得られた断層、プレート境界形状や境界構造の情報はシミュレーション研究に取り入れられる事を想定している。また巨大地震のセグメント境界の3次元的な構造の把握もこのプログラムでの主要な課題である。

プレート境界すべりを対象にした地殻変動データに同化する手法を、得られたプレートや断層の形状モデル、また観測される高精度なリアルタイム地殻変動データに対して適用しプレート境界の巨大地震の準備過程やその後の固着状況の把握を目指すシステムの開発と評価を行う。プレート内部や沈み込み帯の変形過程の解明や南海トラフの巨大地震の長期評価の改善、さらに巨大地震（特に連動型地震）の発生予測の高精度化に寄与が期待される。またその予測に基づくより現実的な津波浸水予測への応用、自治体への情報提供も検討されている。

GPS-A 海底地殻変動観測のこれまでの進展と今後の展望

石川直史（海上保安庁）

【はじめに】

プレートの沈み込み境界に近接し、海溝型地震の脅威にさらされている日本にとって、プレート境界の固着状態をより高解像度で推定するために、海底における地殻変動観測の実現は防災上極めて重要であり、1990年代ごろから技術開発が進められてきた。2000年台に入って、GPS-音響測距方式（GPS-A）による本格的な海底地殻変動観測が開始され、現在では、海上保安庁、東北大学、名古屋大学が中心となり、主に日本海溝及び南海トラフにおいて世界でも類を見ない海底測地観測網が構築されている。

【これまでの進展】

これまでの技術開発の成果によって、海洋プレートの沈み込みに伴う定常的な地殻変動、海域で発生した地震に伴う変動とその後の余効変動を海底において高精度に捉えられるようになってきた。

日本海溝では、東北地方太平洋沖地震時の変動や、地震後の余効変動を海底で捉えることに成功し、陸上 GPS 観測のみでは捉えることが出来ない重要な結果が得られている。余効変動については、地震時の大すべり域にあたる領域では陸上とは逆向きの西向きの変動が見られるなど、余効変動が空間的に不均質であることが海底の観測によって明らかにされた。この結果は、余効変動においてマンツルの粘弾性的な振る舞いが重要な役割を果たしていることを示している。

南海トラフにおいては、想定震源域全体をカバーするように観測点を配置し、フィリピン海プレートの沈み込みに伴う定常的な地殻変動の観測を行っている。これまで得られた変動速度場からプレート境界のすべり欠損速度の推定を行った結果、陸上の地殻変動データのみを使用した推定では見えていなかった固着の不均質性が見えるようになった。

【今後の展望】

このように、海底における地殻変動の把握は海溝型地震の本質に迫るために決定的に重要な役割を果たしており、今後も観測の継続が望まれる。一方で、陸上の GPS 観測と比べ、観測点密度、測位精度、時間分解能のいずれも低く、技術的には発展途上の段階にある。海陸で同等の観測成果が得られるようにするためには、さらなる技術開発及び観測点の展開が必須であり、以下のような観点で推進していくことが考えられる。

- ・現状では 10 年程度のデータの蓄積しかなく、測地学的なスケールと比べごく一部の短い期間のスナップショットを見ているに過ぎないため、今後も継続的に観測を実施し、長期間のデータを蓄積。
- ・陸上 GPS 観測網に比べると観測点密度が低く、推定される固着の分布の詳細はモデルのスミージングパラメータ等に大きく依存してしまうため、分布の詳細についてより正確な情報を得ることが必要となる地域における観測点の高密度化。
- ・限られた観測リソースを有効に活用するため、重点的に観測することが求められる地域における短期集中的な観測の実施の検討。
- ・千島海溝、南西諸島海溝等の海域における観測データがほとんど無く、固着状態の詳細が不明な地域への観測点の展開。
- ・SSE のような短期の微小な変動を海底で捉えるため、また東北地方太平洋沖地震の余効変動の今後の推移を正確に把握するための測位精度・時間分解能の向上。
- ・観測頻度を上げ、時間分解能を向上させるための、係留ブイや自航式ボートといった無人機による連続観測を目指した技術開発の推進。

地方自治体研究機関としての火山防災研究

山梨県富士山科学研究所 火山防災研究部

(山梨県富士山科学研究所火山防災研究部, 吉本充宏, myoshi@mfri.pref.yamanashi.jp)

山梨県富士山科学研究所は、火山防災研究を強化するため、前身の環境科学研究所を改組して富士山に関する研究を総合的に実施する機関として2014年4月に発足した。このような地方自治体が所有する火山に関する研究所は、神奈川県温泉地学研究所、北海道の地方独立行政法人北海道立総合研究機構地質研究所、そして山梨県の富士山科学研究所（以下、富士山研）だけである。富士山研は富士山に関する事象の研究を目的とし、火山防災研究部、自然環境部、共生部の3研究部と、研究成果を発信するための広報交流部からなる。ここでは、おもに火山防災研究部の実施している研究と次期建議における実施事項案について紹介する。

富士山研では、地方自治体の研究所として地域色を生かした研究を通して火山研究に貢献しようと考えている。一方で、県民のためになる研究も求められており、現行建議のタイトルにあるように「災害の軽減に貢献するための観測研究」や防災対応が求められている。そのため、富士山研では以下の観測研究等を実施している。富士山は最近3000年だけでも100以上の噴火堆積物が確認されており、その層序やマグマ供給系の変遷など理解されていないことが多い。そのため、地道な地質調査をとおして詳細な噴火履歴の研究を実施している。また、富士山の山体形成史の研究や岩石古地磁気を使用した噴火年代測定方法に関する研究も実施している。観測としては、火山活動の監視を目的として地下水観測、地震観測を実施している。また、情報発信として観測データの情報発信や災害情報の伝達方法の検討を行っている。火山防災に関することとしては、噴火履歴の研究結果や既存の研究データを収集してハザードマップ等の基礎資料の収集や作成、噴火シナリオ、事象系統樹の作成を実施し、各種防災協議会や委員会に参加し防災に関するアドバイスを行っている。さらに噴火時の関係者が適切な行動を取れるように防災教育として、火山防災行政担当者や教育関係者への研修や一般市民、子供たちへの防災教育や理科教育の支援を実施している。また、富士山に異常が検出された場合、当研究所の研究員は、富士山の火山活動に関するデータの収集、各種データの解釈および情報発信、防災関係機関への防災行動に対するアドバイス、マスコミ対応を行わなければならない。

次期の研究計画としては、噴火履歴、山体形成史、噴火年代に関する研究を継続実施し、事象系統樹の高度化を図る。また、富士山では火口がどこに形成されるか分かっていない。火口の位置情報や噴火年代から火口の出現確率を検討して、火口のできやすい場所を統計的手法を用いて検証することを試みる。観測研究としては、地下水の観測の継続と新たに重力観測を開始する。また、2~4年毎に異動のある火山防災行政担当者により効率的に火山及び防災の知識を定着させるための、自治体が持続可能な火山防災行政担当者研修プログラムを作成し、その実証実験を実施する。また、個々の課題に対し、協議会に係る大学・機関等と共同研究を実施し、災害の軽減に貢献するための観測研究を継続していきたいと考えている。

音波解析法による地震火山予知を防災に活かす方法論

TADA 地震火山予知研究所 代表 多田 恵藏

yqh00732@yahoo.co.jp

既に3年間の観測を行い、データを収集したうえで、日本地震学会の2015年秋季大会にてポスター発表した「電波により搬送された音波の観測による地震予知」を元に観測を行ったところ、2016年度のマグニチュード6.0を超える地震の的中率は、国内が85.7%、国外が98%（予知期間の超過が一週間以内を含む）という高確率で、地震予知の定理である「いつ」（予知期間）「どこで」（震源域）「どのくらい」（マグニチュード）を予知すること出来たのである。

震源域（どこで）に於いては、これまでの周波数と距離の関係に加え、アンテナの改良を行い、搬送波となる電磁波の電界強度の差による波高値の差や、停滞時間の比較により、電磁波の発生源となる震源域を捉えることに成功したことで、国内の震源方向を明確にすることに成功したのである。2015年の秋季大会では、2か所の観測点で同時観測したことで周波数の誤差から南海トラフの震源域から搬送されている電波と断定したが、現在では、2つの観測手法を駆使することにより、捕捉している予兆が「南海トラフ」の震源域ということが確定したのである。地震の発生期間（いつ）に於いては、予兆となる音波波形を捕捉している間は岩盤（金属物質を含むもの）の擦れ合いにより電磁波が発生すると考えられる為、波形が現われなくなった後に、プレートの停止、若しくは、負圧の引きはがされ効果により地震発生が考えられるのである。マグニチュード（どのくらい）に於いては、観測データの統計により、大きな地震の前には大きな予兆となる反応（音）が発生していることが分かっている為、観測データの波高値の比較に伴い、おおよそのマグニチュードを示す事ができるが、「海溝型」の大きな地震の直前には100Hzピッチの等間隔の波形が現われ、「直下型」（活断層型）地震の発生前には、同一周波数の停滞が見られることが分かっているのである。

2012年から始めた4年間の観測では、全世界で死傷者の発生した大規模地震災害の予兆を100%捉えており、累計で約一万人の大切な命が犠牲となった。「熊本地震」では地震発生5日前に、個人ブログにて「警戒警報」を配信することに成功した。現在、1拠点で観測を行っているが、観測点を増設することにより、震源域に近いほど、大きな反応が現われることから、観測精度が高まることが分かっており、火山に於いては、各「活火山」の噴火に影響を受けない場所へ観測点を設置することで、火山の噴火前に予兆を「桜島」の観測実験により掴むことが出来ることが分かったのである。波形観測から予知情報配信までの手法としては、捕捉した波形を数値化することで、誰もが少ない誤差で簡単に予知情報として配信することが可能だが、精度を高めるためには、観測網の設置やシステムの改良、維持管理に多額の資金が必要となるため、これを是非、公の機関で管理し多くの国民に配信することが出来れば、信頼できる情報源として受け取り「防災」に役立てることが出来ると考えているのである。

断層破碎帯の厚さと地震規模

山本 清彦 (個人)

fwiz8233@nifty.com

すべり面に沿って生じているプロセスゾーンの厚さは断層長に比例している¹⁾。ここでは、その中のポストフェイリュア状態にある領域を断層破碎帯と呼ぶ。その厚さがプロセスゾーンの厚さに比例しているとする、破碎帯厚も断層長に比例する。破碎帯厚がわかれば、断層長と地震規模の経験則から、その断層で発生する地震規模の予測が可能である。断層トラップ波を使って破碎帯厚が推定されている。その破碎帯厚から推定される地震の規模は、過去にその断層で発生した地震の規模を近似している²⁾。

「破碎帯断層模型」³⁾では、「断層帯」が破碎帯領域とアスペリティー (AS) 領域からなるとし、破碎岩は完全に緩和しているとする。「断層帯」を挟む面が断層面である。地震は、AS の破壊による急激な断層運動に伴って発生する。AS の破壊はその弾性歪が臨界値に達した時に起こる。すなわち、断層面間に生じている変位が臨界値 (臨界変位) に達した時に起こる。臨界変位は、臨界歪が定数であれば、「断層帯」厚 (破碎帯厚) に比例する。したがって、断層面間の変位の時間増加率が一定のとき、破碎帯厚が大きいくほど、地震発生の繰り返し時間間隔は長くなる。

以上から、プレート境界の地震では破碎帯厚とプレートの収斂速度、内陸地震では破碎帯厚と2地点間の変位の時間変化率がわかれば、地震規模と繰り返し時間間隔の推定が可能である。

破碎帯厚は地震発生予測にとって測定すべき基本的な量と考えられる。「破碎帯断層模型」から、AS 領域が断層面に占める面積の割合は2%以下と見積もられるが、測定では、破碎帯領域とAS領域の区別に注意が必要である。破碎帯の特徴は、弾性波速度が小さくかつ異方性があり、また、断層面近傍での主応力軸の方向は断層面にほぼ垂直である。AS領域の特徴は、弾性波速度は母岩のそれに近く、また、応力の主軸は断層面に斜交していることである。

海域にあるプレート境界では、プレート境界域にある低速度層が破碎帯の役割をしている可能性がある。東北地方太平洋沖地震の場合、破碎帯厚は平均約800mと推定される。この厚さは構造探査でセディメント層とされる低速度層の厚さ⁴⁾に近い。過去に起こった地震の震源周囲での探査によって、低速度層の厚さと地震規模の比較をすることが当面の課題になろう。

参考文献

- 1) 例えば、Vermilye, J. M., and C. H. Scholz, The process zone: A microstructural view of fault growth, *J. Geophys. Res.*, **103**, 12,223 – 12,237, 1998.
- 2) Yamamoto and Yabe, Damage zone thickness as a factor for the potential magnitude of earthquakes on a fault, 7th General Assembly of ASC and SSJ, 2008 Fall meeting, Tukuba, Japan, 24 – 27, Nov. 2008, X3 – 013, 2008 (<http://kymmt.la.coocan.jp/REFERENCE/reference.htm> 24.)
- 3) Yamamoto and Yabe, A fault zone model to relate the source parameters of earthquakes with the physical structure of faults, 2009 (Draft: <http://kymmt.la.coocan.jp/REFERENCE/reference.htm> 23.)
- 4) Tsuru et al., Along-arc structural variation of the plate boundary at the Japan Trench margin: Implication of interplate coupling. *J. Geophys. Res.*, **107**, ESE11-1 – ESE 11-15, 2002.

東京大学大学院理学系研究科の次期計画への展望

井出哲、安藤亮輔、河合研志（東京大学大学院理学系研究科）

(e-mail address ide@eps.s.u-tokyo.ac.jp)

東京大学大学院理学系研究科では、地震発生プロセスの基礎的理解を基礎とした地震予測能力向上を目指して研究計画を推進するとともに、今後の地震火山分野の研究を支える人材育成のために学部レベル教育を一層充実させる。

現計画で実施中の「地震発生場の階層性を考慮した地震活動予測」において、潮汐などの小さな擾乱によって観測限界ぎりぎりの低速変形が影響され、さらにそれが地震活動に影響する可能性が高いことがわかってきた。次期計画ではその具体的なメカニズムを推定し、適切な定式化を試みる。引き続き東北沖を中心に、地震活動と波形解析によって明らかになった具体的な階層構造を念頭にモデル化をすすめる。さらに他の研究計画で進行中の世界各地の沈み込み帯における研究成果を取り入れて、階層構造と地震発生確率変化のより普遍的な描像を求め、予測能力向上に貢献する。

近年定常的微小地震活動を用いた応力場解析によって、大地震発生以前の広域応力場推定の有効性が実証されつつある。次期計画ではテクニクな事前情報を大地震の予測可能性向上に役立てる方法を開発する。これまでに開発した非平面断層形状を高精度・高効率に扱うことのできる「高速領域分割・動的境界積分方程式法」による大規模シミュレーションと高精度観測データを両輪にして、内陸地震の動力学的特徴の再現性を系統的に調べる。その結果から強震動の予測計算に用いる震源モデルに一定の拘束を与えることを目指す。

地中の岩石中のクラックおよび熱水やマグマなどの流体の分布や形状(以下、クラック分布)の情報は地震や火山噴火プロセスの理解に重要である。しかし、有限の大きさのクラックおよび流体を含んだ効率の良い地震波動伝播計算手法がこれまで確立していなかったために、波の到達時刻などの2次データだけではない、観測波形全体の持つ情報を活用できなかった。そこで、我々は、エネルギーを厳密に保存する差分法をクラックおよび流体を含んだ場合に拡張し、無限小の摂動理論を用いない計算手法およびそのソフトウェアの開発を行う。そして、様々なクラック分布に対して理論波形を計算することによって、地下のクラック分布と波動伝播特性の関係を量的に見積もり地下の地震・火山活動に対する新たな知見を得る。

これらの研究と並行して、東京大学理学部地球惑星物理学科、地球惑星環境学科において、地震火山観測のための演習を充実させる。特に地震火山現象発生地域近傍での実習を取り入れ、災害軽減のための科学研究への早期動機づけを目指す「臨床地球惑星科学実習」の開講を目指す。

リアルタイム GNSS データによる地震規模・

津波即時推定手法の開発とその社会実装

太田雄策, 日野亮太 (東北大学), 高橋浩晃 (北海道大学)

(e-mail: yusaku.ohata.d2@tohoku.ac.jp)

現建議は、災害の軽減に貢献する災害科学の一部として計画を推進することが求められている。すなわち、災害軽減に資する数多くの基礎研究の成果の迅速な社会実装が、その出口戦略としてきわめて重要である。こうした観点から、次期計画ではそれら基礎研究の成果の社会実装を効率よく目指すことを目的とした、計画内における体制の整備が必要であると考え。本講演では、そのような体制整備のための議論の一助になればと考え、東北大学において進められたリアルタイム GNSS による震源断層推定に関する基礎的な研究と、その社会実装に至る道筋を紹介する。

1. リアルタイム GNSS データによる地震規模推定手法の開発とその国土地理院への技術移転

GNSS は地震計と比較して、その感度こそ低いものの、変位自体を計測していること、大変位に対しても対応が可能なことなどから、M8 を大きく超えるような巨大地震の規模とその広がりが高い精度で推定することが可能である。東北大学ではこれまで、高頻度サンプリング GNSS データを活用した、地震規模即時的推定手法 (RAPiD) の開発を進めてきた (e.g., Ohta *et al.*, (*JGR*, 2012), (*IAGS*, 2014)). 2012 年 9 月以降、これら手法の技術移転とその高度化を目的とした共同研究協定が国土地理院と東北大学との間で締結され、電子基準点 (GEONET) リアルタイム解析システム (REGARD) (e.g., Kawamoto *et al.*, (*EPS*, 2016), (*JGR*, 2017)) の開発が進められ、リアルタイムでの地殻変動監視のためのシステムとしてその運用が進められている。

2. 津波浸水・被害予測へのリアルタイム GNSS データの活用

REGARD の開発と並行して、東北大学大学院理学研究科 (太田, 日野) は、東北大学災害科学国際研究所の越村俊一教授を筆頭とするリアルタイム津波浸水予測に関する研究会に参画し、大学のみならず企業体とも連携をしつつ、リアルタイム GNSS データを高空間分解能の津波浸水予測に活用するための検討を進めた。これらの検討は、総務省 G 空間シティ構築事業「リアルタイム津波浸水・被害予測・災害情報配信による自治体の減災力強化の実証事業」を通じて実データを含めて実証され、リアルタイム GNSS データによって推定された震源断層モデルが、巨大地震発生時の津波浸水予測に有効であることが示された。

その後、2017 年 3 月に新たな地理空間情報活用推進基本計画が閣議決定され、その中の重点的に取り組むべき施策として、「津波浸水被害推計システムの運用」が挙げられた。その後、当該システムは内閣府のシステムとしての構築が決定し、上で述べた研究会を母体とする東北大学を中心とするコンソーシアム (代表:越村俊一, 日野, 太田も参画) によって現在、当該システムの構築が進められ、社会実装の道筋が付けられつつある状況である。

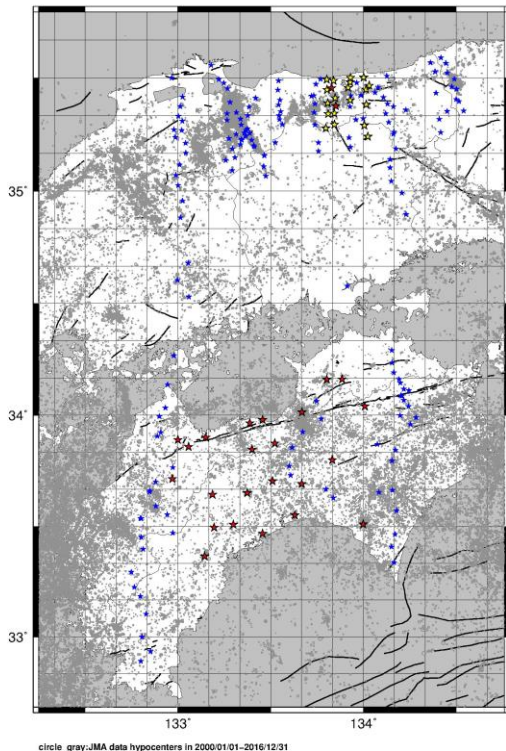
ここで示した例は、基礎研究による「シーズ」と社会からの「ニーズ」の両方が存在し、その両者が結びついた事例である。「シーズ」と「ニーズ」の両方がどのように繋がられていくべきか、議論を深める必要がある。

中国・四国地方の基盤的比抵抗構造研究を災害の軽減に繋げる

鳥取大学大学院工学研究科 塩崎一郎・京都大学防災研究所 飯尾能久

(e-mail address : shiozaki@cv.tottori-u.ac.jp)

中国地方の日本海側では、この僅か 100 年ばかりの間に M7クラスの内陸大地震が数個も発生した。このような内陸の地震活動の活発化と南海トラフ沿いで発生する陸海プレート境界型の巨大地震との関連が指摘されている一方で、松田(1989)によると中国地方は顕著な活断層はほとんどなく、日本海側の地震活動は低調なはずだという地質学的予想があること、また、四国地方では中央構造線は M8を超える巨大地震を平均およそ 1000 年間隔で派生させていたと推測されるにもかかわらず、過去約 1000 年間はそのような巨大地震の記録がないこと、が記されている。一見すると矛盾する事象を読み解くことが中国・四国地方の地震・火山活動を理解する上で重要であり、これを解く鍵の一つは西南日本弧で発生する地震や火山に密接に関連すると考えられる水や流体の分布の解明であると考えた(塩崎, 地震及び火山噴火研究の将来構想シンポジウム, 2012)。



本事業による測点分布図：赤星印で 2014-2016 年度の測点分布を示す。2013 年度以前の既存の測点を青星印、他事業費で測定した地点を黄星印で示す。

筆者らは、この水や流体の分布に関連する物理量である比抵抗の不均質構造の水平方向の拡がり解明すべく、課題番号 1907「横ずれ型の内陸地震発生の物理モデルの構築」のもと、四国地方において、中央部を中心とした調査空白域での面的な広帯域 MT 観測を行い、既存研究から指摘された四国東部と西部の間にみられる比抵抗構造の明瞭な差異に関する空間的特性を、また、中国地方では、他研究経費(例えば、鳥取県環境学術研究事業等)の交付をもとに、主に山陰地方から脊梁部の観測空白域を中心に面的な観測網を設定し、比抵抗構造と地震活動帯と空白域、深部低周波地震発生域の流体の有無との関連を、明らかにする基盤的比抵抗構造研究を進めている。

この基盤的比抵抗構造研究はまだ緒についたばかりであるが、既に、四国地方では、MTL や地殻地震と関連が示唆される構造や、山陰地方では 2016 年 10 月 21 日鳥取県中部の地震発生場の特徴が比抵抗不均質構造として浮かびあがってきた。

次期観測研究計画においては、基盤的観測網を持たない比抵抗研究ではあるが、災害の軽減に貢献するための研究対象となる活構造等の規模に即した観測研究計画をたてることにより、特定地域の詳細な構造調査の実施はもとより、背景となる地域の比抵抗データを基盤的構造データとして取得、研究成果の本コミュニティでの共有、地域への情報提供を行う。この知見をもとに将来の地震発生や火山噴火の前に、より正確な理解のもと軽減に繋がる方向を議論することに意義があると考えている。

これからの火山構造探査

火山構造探査グループ・筒井智樹（秋田大学国際資源学研究所）

(tomoki@gipc.akita-u.ac.jp)

今後の本計画における火山構造探査の方向付けについて提言する。

本計画とその前身の計画のもとで火山構造調査のための探査が過去 23 年にわたって続けられ、これまでに 15 火山で調査が実施された。その成果を要約すると、1) 火山体とその周辺における地震波速度構造の把握、2) 火山体内部の構造の特徴の把握、3) 火山活動にともなう構造変化の把握の 3 点である。噴火予知連絡会によって策定された「火山防災のために監視・観測体制を強化すべき火山」50 カ所のうち、噴火災害が想定される 35 カ所の火山が未調査のまま残されている。

2016 年に論文発表された桜島火山の火山活動に伴う構造変化の検出は、上部地殻内のマグマ滞留深度の候補を提示し、また時間とともにその場所の物性が変化していることを示した(Tsutsui et al., 2016)。このことは日本の火山構造探査の到達点の一つであり、火山観測に能動的な手法を繰り返し用いることで、地下の物性の現況の手がかりが得られることを示している。火山活動に伴う構造変化の検出は、多項目観測が充実している桜島に国内の火山観測機関の結集があったからなし得た成果である。

今後、他の火山への展開により火山活動に伴う構造変化の一般的な姿に関する知見を蓄積し、噴火時の火山の地下活動のより高度な理解につなげて、地下の構造変化の情報を火山噴火災害の早期警戒に役立つものにする必要がある。しかしながら、桜島で行った手法はそのまま直ちにこの手法を他の火山に適用できるものではない。今後は構造変化検出手法を持続可能なコンパクトな方法にする必要がある。

一方、国内の大部分の火山は構造に関する基礎的な情報が不足しており、噴火活動あるいは噴火準備活動の把握と理解が初歩的な段階にとどまっている。桜島以外の火山のうち 12 火山は比較的観測およびデータの蓄積が充実しており、準備次第で構造変化検出を目的とした探査ができる可能性がある。これに対して残りの 36 火山はこれから観測の充実が行われるべき火山である。これらの火山では構造調査の成果により火山性地震観測の精度が上がり、来る噴火活動にともなう災害の軽減に貢献することができると考えられる。

今後の計画の中では、1) 継続可能な構造変化検出手法の実施、2) 火山内部構造の把握を目的として構造探査の実施、の 2 つに取り組む必要があると考えられる。

参考文献(9 ポイント)

TSUTSUI, T., M. Iguchi, T. Tameguri, and H. Nakamichi, 2016, "Structural evolution beneath Sakurajima Volcano, Japan, revealed through rounds of controlled seismic experiments." *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 315, 1-14, DOI: 10.1016/j.jvolgeores.2016.02.008.

物質科学的研究による火山活動評価と予測

栗谷豪*・吉村俊平・中川光弘（北海道大学大学院理学研究院）

(*kuritani@sci.hokudai.ac.jp)

1. 大規模噴火に関わるマグマプロセスの時間スケール

カルデラ噴火のような大規模な噴火において、マグマはどのような速さでマグマ溜まりに蓄積されるのか、マグマはどのくらいの期間マグマ溜まりに停留するのか、そして噴火を引き起こす準備プロセスはいつから始まるのか、といった時間スケールを明らかにすることは、噴火予測において極めて重要である。そこで本課題では、ウラン系列放射非平衡を用いた物質科学的研究を実施する。特に U-Th 放射非平衡は、現在から遡って数万年前から 20 万年前頃までの時間情報を比較的良い精度で与えることから、支笏、洞爺、阿多、阿蘇の各カルデラを主な解析対象とする。同手法を適用するにあたっては、マグマ供給系を含めたマグマプロセスについての事前的検討が不可欠であるため、各火山において詳細な地質調査、採取試料の岩石学的・地球化学的解析を行い、マグマの蓄積プロセスや分化プロセスを詳細に明らかにする。

2. 活火山における長期的噴火活動ポテンシャル評価

火山から噴出する物質は玄武岩質～流紋岩質と多様であるが、本質的にはこれらの物質はマントルで生成した初生マグマが地殻内で分化したものか、もしくは初生的なマグマが熱源となって地殻物質を融かし、二次的に生成したものである。このように、マントルにおけるマグマ生成率は火山からの長期平均的なマグマ噴出率を支配することから、火山の活動ポテンシャルの指標となるはずである。そこで本課題では、世界で初めての試みとして、活火山下のマントルの温度構造およびスラブ由来流体のフラックスを決定することによってマントルにおけるマグマ生成率を推定し、各活火山における長期的な噴火活動ポテンシャルを評価することを目指す。5 か年の研究期間では、東北本州弧～千島弧の火山を対象とした物質科学的研究によって本手法の有効性を確認し、その後、対象地域を全国に拡大する予定である。

3. 揮発性成分の分析に基づく噴火分岐メカニズムの解明

噴火事象の分岐は、火道上昇中のマグマの発泡・脱ガス現象の起こり方の違いに起因すると考えられている。すなわち、発泡が卓越しマグマ浮力が高まれば爆発的噴火となり、開放系脱ガスが卓越しガスが失われると非爆発的噴火に至るといえる。しかし、火道内脱ガス過程の実態は不明であり、噴火分岐の根本的要因は未解明である。本課題では、火山噴出物の揮発性成分の分析と脱ガス実験を行い、噴火分岐の要因を明らかにすることを目指す。まず、対象火山として、①観測データが揃っており、②将来の噴火が危惧され、③爆発性の高い安山岩～流紋岩質マグマを噴出する桜島火山・浅間火山・有珠火山などを選定し、噴火様式ごとに火山噴出物を採取し揮発性成分組成の特徴を明らかにする。次に、室内実験でマグマの発泡・脱ガス・圧密を再現し、試料の揮発性成分の特徴を明らかにする。そして、天然と実験を比較し、火道内でどのような脱ガス過程が起きたかを解読する。読みだされた脱ガス過程と噴火様式の間関係を検討し、噴火分岐の仕組みを実証的に明らかにする。

古地震に関する地質情報の信頼性向上

西村裕一（北海道大学）

(yns@sci.hokudai.ac.jp)

津波や地殻変動の痕跡は古地震に関する一次情報である。これらを基に構築される波源モデルや将来予測の精度や信頼性は、基本的にこのデータの質で決まる。地質データはまた、計器観測データと違い研究者の見解が反映されることがあり、一般には評価が難しく扱いにくいという性質を持つ。東北地方太平洋沖地震対応臨時委員会（2012）は、地震研究者およびそのコミュニティに対し「研究者が健全な批判精神を持って現状を認識すること」及び「学会の内外におけるコミュニケーションを深めること」の2点が特に重要であると結んだ。ここではこの点をあらためて認識し、すでに利用されているものも含めて地質データ・手法を次の3方向からチェックし、信頼性の高い一次情報を蓄積することを提案したい。

1. 研究者／機関によるクロスチェック

例えば、よく知られている「千島海溝の500年間隔巨大地震」の痕跡である十勝から根室地方に分布する津波堆積物についても、実はまだわかっていないことが多い。よって新たな調査を加え、イベントの年代、頻度、規模を再検討する。南海トラフ沿いや日本海側についても同様の課題を洗い出し、必要な調査を敢行する。拠点間連携課題で現在進められている「津波堆積物の高精度年代決定」もこの一環として継続したい。

2. 新たな手法によるクロスチェック

海外の研究者が進めている地球化学的、生物学的手法による津波堆積物の認定手順を、国内ですでに報告されている津波堆積物（1の対象も含む）やその候補に応用する。これは結果に加え手法のチェックにもなる。地殻変動については、南西諸島や四国の沿岸に生息する珊瑚の骨格に残された痕跡を系統的に調べる。珊瑚骨格の調査研究は、現計画で2年間にわたり公募研究として進められ、成果が見込まれる分野である。

3. 繰り返し調査によるクロスチェック

近年の津波堆積物を繰り返し調査する。対象となる場所／イベントは、青森県三沢市／2011年津波、インドネシアスマトラ島／2004年津波、ロシア沿海州／1993年津波などがあげられる。古津波の認定基準に地表に形成された堆積物の特徴が使われていたが、この限界や環境による違いを風化しつつある津波堆積物で確認する。なお、こうした調査は手順や技術のチェックにもなり、経験を積む場を提供するという波及効果も期待できる。

本提案は、海外の研究者も含めた多機関による多項目調査である。津波堆積物の分野では、北海道大、東北大、筑波大、新潟大などは共同でゼミや調査を進めている。調査の形としては旧火山噴火予知計画の「特定火山の集中観測」や「火山体の構造探査」をイメージしている。また、調査地点情報や結果に加え、採取した試料の一部、分析サンプル、剥ぎ取り標本、軟X線画像なども後の再チェックや利活用のために管理、公開する方策も検討する。

前近代における地震の家屋倒壊率と史料

矢田俊文（新潟大学災害・復興科学研究所）

(yata@human.niigata-u.ac.jp)

1. 前近代における地震の家屋倒壊率と史料

歴史地震の規模を導き出す家屋倒壊率について、従来の研究は〔(全潰戸数) + 0.5 × (半潰戸数)] を全戸数で除したものをパーセントで示し、これを家屋被害率としている。しかし、これは半潰がどのような被害の状態を示すのかについて検討した上で提案されたものではない（矢田 2016a）。また、一つの文書に村の家数と潰家数が記載される良質の史料であっても、半潰の軒数について明確に記されない場合がある。たとえば、村数 52 か村の被害状況を示した良質の被害報告書である安政 2 年（1855）10 月付けの「大地震ニ付潰家其外取調書上帳 幸手領村々」では半潰の被害項目がない。半潰の被害項目がはじめからない史料と半潰の被害項目がある史料を同じ基準で被害率を求めると、地震規模は不正確となり、歴史地震を正しく評価することができなくなる。これまでの安政江戸地震の検討は史料解釈に無理があり、分析や評価は正しくない。

中村・松浦 2011 によると、安政江戸地震の中心は江戸中心部と武蔵国葛飾郡幸手領（埼玉県幸手市とその周辺地域）の 2 つに分かれている。しかし、幸手領の家屋倒壊率（家屋全壊率）は 0.3 パーセントであり、幸手領を安政江戸地震の中心地のひとつと理解することはできない。広域の地震被害を検討するときには、家屋倒壊率を導き出すためのものとして半潰軒数は使用しない方がよい。家屋半壊率を含めず家屋全壊率のみをもって家屋倒壊率を考えることが妥当であると考える。

2. 前近代の地震史料と被害数

『新収日本地震史料』等の既刊地震史料集のみに依拠して史料分析を行うことは危険である。安政江戸地震の幸手領の場合は、既刊地震史料集に未収載の埼玉県立文書館所蔵の史料検討を行えば 1 のような無理な解釈をしなくても正確な史料解釈ができた。既刊地震史料集の地震史料がすべてではなく、それ以外にも正確な被害数や被害率が導き出せる良質な史料が多くある。前近代の地震史料の収集と保存が重要である。また 1855 年安政江戸地震の翌年の安政三年八月二十五日には台風が江戸周辺を襲っている。『新収日本地震史料』には武蔵国川崎領（神奈川県川崎市・横浜市）関係の史料として「安政三年領中村々潰家江施入名前書留」という史料が収められているが、この史料は安政 3 年台風の被害関係史料である（矢田 2016b）。1855 年安政江戸地震の川崎領の家屋全壊率は 1.1 パーセントで、1856 年台風の家屋全壊率は 22 パーセントである（矢田 2017）。川崎領の家屋全壊率でみる被害は台風のほうがはるかに大きい。史料の原本調査など基本的な研究抜きには地震の研究はできない。

中村操・松浦律子、2011、1855 年安政江戸地震の被害と詳細震度分布、歴史地震、26、33-64

矢田俊文、2016a、一八五八年飛越地震の史料と家屋倒壊率—飛騨国を事例として—、災害・復興と資料、7、1-30

矢田俊文、2016b、安政 2 年江戸地震と安政 3 年台風、シンポジウム「災害史研究と資料保存」講演要旨集、1-3

矢田俊文、2017、1855 年安政江戸地震における家屋倒壊率の再検討—武蔵国幸手領・川崎領—、資料学研究 14、

史料を地震・火山噴火予測に利用するために

山中佳子（名古屋大学大学院環境学研究科）

(sanchu@seis.nagoya-u.ac.jp)

講演要旨

現行計画の史料・考古データの課題として、「データベースの構築が進められているが、その成果を地震・火山噴火予測に利用するための手法開発が必要」といわれている。これまで宇佐美らが多くの史料を収集し『新収日本地震史料』等として刊行していることからこれらを読めばいいと思われるかもしれない。しかし膨大な量であるため間違いも多く、理系が確認しながら利用を検討することは難しい。最終的には史料編纂所で行っている DB 化を待ちたい。

地震史料の中には観測機器がない明治以前の地震の地震波形として読むことができるものがある。たとえば「世直し草紙」（高力猿猴庵著）[文政近江地震の名古屋の様子を書いたもの]には「初めの程はさもなかりしが、長々ゆりて次第に強く...（略）七寺の塔、大きにゆすりて甚だあやうかりし由、初めの程は南北へゆりしが後にはくるくると回るように見えて...」と書かれている。もっと揺れの違いを擬音で表現した史料も見受けられる。津波については到達時間や波の強さを表現したものもある。こういったものを使うことで単なる震度分布や津波波高よりも踏み込んだ活用ができると思う。史料からこのような判断していくことは理系でなければ難しいだろう。ただし、現代の地震データのように計算機に入れば結果が出るわけではないのでかなり時間を要する。従って DB 化された史料を地震・火山噴火予測に活かすには、多くの理学系研究者に参加してもらわない限り難しい。

史料を読むことには抵抗がある場合、手軽に調べることができるのが『自治体史』である。『自治体史』は各自治体から刊行されている。文系の研究者等によって精査された史料のみを使っているのである程度信頼ができる上、我々には読みやすい。ただし、災害として扱っているところだけでなく、様々な所に地震に関する事項が出てくるので注意が必要である。私は地方で講演を頼まれたとき、必ずその地域の自治体史を読んでから伺っている。災害にはやはり地域毎の特徴があり、繰り返し同じような災害に襲われている。また自分たちの地域の災害の話は身近であり聴衆も親近感があるはずである。ただし、地方史はその地方の県立図書館でないとそろっていない。東京都立中央図書館および国会図書館にはかなりの量の自治体史をそろえているので、まずはここで調べるが、実際に歴史地震を研究する場合には各県立図書館に通っている。それぞれの地域の研究者であれば調べやすいので是非多くの方々にも参加してほしい。

現在史料編纂所で作られている DB にはこのような自治体史は含まれていないことから、今後自治体史の DB も別途構築する予定である。主な歴史地震を簡単に知るにはこの方が使いやすかもしれない。また史料には地震での被害などの様子が書かれているが、被害を判断するには表層地盤構造など現在の知識を合わせながら判断することも必要である。地名も現在と違うことが多いので、現在のどこの被害であるのか地図上でわからないと地震像は見えてこない。従って地震・火山噴火予測に利用するために次期計画では、単に DB にするだけでなく GIS などを用いて様々な情報と合わせながら史料をみる「見える化」が必要であろう。

測地観測に基づく地震・火山現象の解明

地殻変動・重力研究グループ [発表：三浦 哲 (東北大)]

(miura3104@tohoku.ac.jp)

基盤的観測網である GEONET は、大地震に伴う地殻変動やその後の余効変動、長期的・短期的 SSE 等の研究において重要な貢献をしてきたが、平均的観測点間隔が 20~25km であることから、M6 クラスの内陸地震や火山活動に伴う地殻変動を詳細に調査するには不十分であるため、大学等の研究機関がそれを補う形で緊急観測や臨時観測を実施し、地震・火山研究において重要な役割を果たしてきた。また、重力観測は、地下の密度分布の変化を直接捉えられるため、GNSS とは独立の情報をもたらす。重力の絶対値を $1\mu\text{Gal}$ の精度で決定できる絶対重力計を基準として可搬型の相対重力計で多点を測定する「Hybrid 重力測定」や、超伝導重力計を基準とすることにより測定頻度の制約をなくしてさらに高精度を達成した「Super-hybrid 重力測定」は、面的な重力変化が得られるため、火山活動や SSE、東北沖地震後の余効変動に関連する変動を捉えてきた。このような測地観測が重要となる地震・火山現象は今後も発生すると考えられる一方で、野外観測には長時間を要すること、基盤的観測網により得られるデータや解析結果が容易に入手できること等から、自らの手で観測を行って得られたデータを解析する努力を惜しむ傾向にある。また、測地観測に限ったことではないが、大学の博士課程進学者の減少傾向が顕在化しており、当該分野を担う若手研究者を増やし育成する体制の構築も急務である。

次期計画では、東北沖地震後の余効変動、西南日本の地殻活動のメカニズムや内陸地震の発生機構、火山噴火の準備過程等の解明が引き続き重要なテーマとなるが、それを着実に実施していくことが重要である。そこで、測地観測技術を次世代に継承するとともに、得られたデータを高精度で解析するための共通ツールを開発して共有する。観測技術の継承については、新潟-神戸歪集中帯北部の中越地方や伊豆東部火山群周辺、活発化が見られる火山周辺等の既存の基準点網において、GNSS、水準測量、Hybrid 重力測定等を実施する。実施に際しては、次期研究計画の課題や次世代火山研究・人材育成プロジェクト等との綿密な連携を図る。また、得られたデータについては、データベース化して公開する。重力測定については、より小型で高精度の観測機器や量子論/相対論的原理に基づく新技術等の開発が進められており積極的な導入を検討する。

以上のような体制を構築しておくことにより、内陸での大地震発生や火山活動活発化に際して速やかに観測網を展開して、イベント発生直後の貴重なデータが取得可能となり、地震・火山現象の解明に役立てられる。

日向灘—南西諸島北部域における地震発生場の理解の深化

八木原 寛・中尾 茂（鹿児島大学）・山下裕亮（京大防災研）・清水 洋（九州大学）・
馬越孝道（長崎大学）・中東和夫（海洋大）・木戸元之（東北大）・篠原雅尚（東大地震研）

yakiwara@sci.kagoshima-u.ac.jp

日向灘—南西諸島北部域では、九州南部や有人離島における中長期的な微小地震観測から、日向灘ではプレート境界固着域の深部側が浅部側よりカップリングが相対的に強いこと（Yamashita et al., 2012）、1911年喜界島地震（M8.0）の震源域（奄美大島北東沖）ではカップリング率が60%を超えると推定されたこと、GNSS観測データを用いた地殻変動モデリングにより南西諸島北部域のカップリング率が30%と推定されたこと等から、プレート間固着は必ずしも弱くないことが示唆された。一方で、日向灘以南は陸域が孤立型小規模離島に限定されるため、沈み込みに伴う地震面の形状やプレート間の固着域・固着率についての精度の良い推定は困難である。さらに背弧側に位置する沖縄トラフの拡大の効果やプレートの剛体運動を考慮しなければ、プレート間固着を正確に評価することはできない。日向灘以南のプレート間固着状態をより正確に把握することは、南海トラフ沿いの巨大地震の想定震源域西端部（南端部）を考える上でも重要な知見であり、南海トラフ沿いの巨大地震に関する現象解明、現象予測、災害誘因予測を進める上でも重要である。

これらの問題の解決のためには、前弧側の海底での「定点観測」による長期かつ高精度な地殻活動の把握が必要不可欠である。本グループでは、現計画において南西諸島北部域に設けた6点の海底地震観測点と、島嶼域での地震・GNSS観測により、南西諸島北部域でのスロー地震を含む地震活動と地殻変動についての観測データを蓄積し、モニタリングを実施してきた。従来よりも震源決定精度は向上し、スロー地震活動が見られることも明らかとなってきたが、スロー地震と通常地震との時空間的な関係性など、現状の観測網では解決出来ない新たな課題も浮上してきた。日向灘と南西諸島北部域の接続領域に関する知見も不足しており、海底ケーブル式の海底観測網の設置も当分見込めないため、現計画における海底観測機材による観測の継続および拡大が必要である。

以上から、本グループでは、日向灘から南西諸島北部にかけての領域において、長期の海底観測を提案する。ここでは、スロー地震・通常地震の検知能力向上のために約15~35km間隔に観測点密度を向上させた地震観測網とする。特に、日向灘では約30年周期で発生する宮崎市沖M7級のプレート境界地震、南西諸島北部域では1911年M8地震の震源域周辺での観測を強化する。海底地震計と海底圧力計を用いた広帯域地震・地殻変動観測により、本領域で活動が活発なスロー地震とM7~8級の地震を含む通常地震との関係を調査する。海底地震観測と並行して、島嶼域に網羅的に展開しているGNSS観測を維持しつつ、GPS/A観測の実施についても計画期間中に当該領域において観測を開始する。前弧側でのGPS/A観測は、沖縄トラフ拡大の効果やプレートの剛体運動を考慮した地殻変動モデリングをより精度良く行う上で必要不可欠である。これらの観測と得られたデータの解析により、プレート境界の固着域・固着率の精度向上や時間発展の把握が期待される。後者においては、これまで継続してきた島嶼域地震観測データを用いた相似地震解析による準静的すべり速度の時間変化も含めて検討する。これらの結果は他の沈み込み帯での観測結果を比較し、地域的な特徴や沈み込み帯の普遍的性質を明らかにし、当該領域の地震発生場についての理解を進展させる計画である。

国際共同研究の積極的展開の重要性：

メキシコにおける地震・津波災害軽減に向けた研究を例として

伊藤喜宏（京都大学防災研究所）

(ito.yoshihiro.4w@kyoto-u.ac.jp)

地震発生に至るモデルの構築および災害軽減に向けた調査研究において、日本のみならず多くの沈み込み帯で実施される総合的な調査研究が極めて重要となる。特に地震サイクルが100-1000年の巨大地震に対しては、日本のみを対象地域とした観測・研究の推進には自ずと限界が見える。ここでは、メキシコですでに実施中の地震・津波災害軽減に向けた国際共同研究を紹介することで、次期計画における国際共同研究の積極展開の重要性について述べる。

メキシコ合衆国の太平洋沿岸部は、ココスプレートがアメリカプレートの下にもぐり込む、「沈み込み帯」に位置し、世界的に見ても巨大地震・津波に伴う災害リスクが高い地域のひとつとして知られている。特にゲレロ州沖合では1911年以来、M7以上の大地震が発生していない地震の空白域（ゲレロ地震空白域）の存在が指摘されており、巨大地震の発生の切迫度が高い地域として特に注目されている。また、メキシコ太平洋沿岸部では過去250年の間に55回の津波が記録されている。特に、1900年初期には波高が10mを超える津波が2回観測されており、ゲレロ空白域においても、同様の津波災害への対応が急務である。さらに、ゲレロ州沿岸部のアカプルコは、想定震源域の直上に位置するため本震時の強震動による災害に加えて、地震発生から津波到達までの時間が5-6分程度と極めて短いことも問題視されている。

このような現状を踏まえて、我々は国立研究開発法人科学技術振興機構(JST)と独立行政法人国際協力機構(JICA)が共同で実施する地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム(SATREPS)の枠組みを利用し、地震・津波災害軽減に向けた国際共同プロジェクト(5カ年)を、メキシコ国立自治大学地球物理学研究所を中心とするメキシコ側研究グループと平成28年度より5日年間で実施している。本プロジェクトでは主として次の3つの課題に取り組む。(1) ゆっくり地震観測に向けた新たな観測網の構築。(2) 新たな知見に基づく地震・津波シナリオの構築。(3) 現地需要に即した地震・津波減災教育および避難プログラムの構築。

メキシコにおけるプロジェクトの枠組みは、現行計画と類似した枠組みを採用しつつ、研究対象をメキシコとしたものである。同様の地震・津波災害の軽減に向けた国際的且つ学際的な取り組みは、すでに4-5ヶ国で実施されている。これらの成果を積極的に次期計画に取り入れ、これらのプロジェクトと積極的に連携することで、他地域で得られた災害軽減の研究成果を日本の事例に応用することが可能となる。また、得られた成果を日本の地震発生域と比較検討することで、100-1000年間隔で発生する巨大地震の様々なステージの観測データを短期間で集約できる可能性が考えられる。これらの知見は将来の南海トラフの巨大地震の災害軽減に資するものである。以上のことから、次期計画では現行計画以上に国際展開に積極的に取り組むことを提案する。

45 国際協力に基づく海域調査・観測による多様なプレート境界すべり運動に関する比較研究

望月公廣・篠原雅尚・山田知朗・悪原岳・塩原肇・小原一成（東大地震研）・日野亮太・木戸元之（東北大学）・伊藤喜宏（京大防災研）

(kimi@eri.u-tokyo.ac.jp)

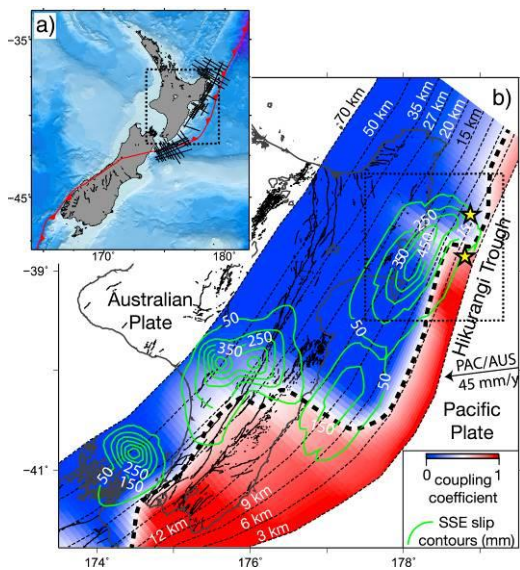
通常地震やスロースリップなどのプレート境界における多様なすべり運動、およびプレート境界の物性・構造的要因を詳細に把握し、その相互関係を明らかにすることは、地震発生メカニズムや断層破壊過程の理解に重要な貢献をなす。したがって、日本周辺に限らず、すべり運動と構造の双方の把握に適切な場所を選択し、調査・観測を通して詳細に解明することが有効である。

ニュージーランド北島東方沖のヒクランギ沈み込み帯では、太平洋プレートがオーストラリア・プレート下に年間4~6 cmの速度で沈み込んでいる(図)。太平洋プレート上には、厚さが通常の1.5倍の海洋性地殻をもつヒクランギ海台があり、その浮力によって沈み込みは非常に浅い。ニュージーランド北島では陸上の地震・GPS観測網が整備され、ヒクランギ・トラフに沿った地震活動に加え、プレート間固着強度分布や、スロースリップの発生が明らかとなってきた。

プレート間固着領域のプレート境界の深さに沿った分布は、ヒクランギ・トラフ沿いの中央部で大きく変化しており、北側では深さ6 km程度までの固着領域が、それよりも南側では直ちに深さ20 km程度まで広がっている(図)。その固着領域の深部限界に沿うようにスロースリップが発生しており、北部での代表的な浅いイベントはその周期が2年弱と短く、短期的スロースリップの性質を示す。発生領域のプレート境界も浅く、繰り返し過程の把握に好都合であることから、日本を含めた国際協力による調査・観測が集中的に行われている。一方、固着強度が大きく変化する中部の遷移領域から南部では約6年間隔で長期的スロースリップが発生している。固着強度遷移領域が海域に位置するため、国際協力による構造調査に加え、海域地震活動・地殻変

動観測を通じた固着強度決定要因の解明が今後の重要な課題である。2016年11月にはKaikoura地震の発生によって、ヒクランギ・トラフ全域でスロースリップがトリガーされるなどの興味深い現象もみられ、断層すべりの類似した多様性をもつ南海トラフとの比較検討研究などを通して、断層すべり現象の理解に大きな貢献ができるものと期待される。

ここで示したヒクランギ沈み込み帯における海域調査・観測は、多様なプレート境界すべり運動の理解に向けた国際協力に基づく研究の一例である。日本周辺における地震発生メカニズムを理解するための比較検討を行うために適切な対象領域を選択し、国際協



く調査・観測を行うことにより、プレート境界の多様なすべり運動の発生過程解明へ貢献することが必要不可欠である。

図 ニュージーランド周辺のテクトニック・セッティング、スロースリップの積算すべり量とプレート間固着強度分布。北部の黄色星印は、1947年に2回にわたって発生した津波地震の震央。

力に基づき、プレート境界における比較検討をしていく

南アフリカ大深度金鉱山での震源断層掘削

矢部康男 (東北大学), 小笠原宏 (立命館大学), 伊藤高敏 (東北大学),
南アフリカ金鉱山半制御地震発生実験グループ
(yasuo.yabe.e2@tohoku.ac.jp)

南アフリカ大深度金鉱山では、日常的に人が出入りする坑道や採掘域周辺の岩盤内で M2 級の地震が発生するので、比較的短距離の掘削で震源域に到達できる。そのため、適切な手法を用いた孔内計測やコア試料解析により、従来、困難であると思われていた震源断層周辺の応力場の定量的な推定も可能である。このような利点を生かして、震源断層の微細構造や応力場を解明することを目的とした南アフリカ金鉱山での断層掘削計画 (DSeis) が国際陸上科学掘削計画 (ICDP) により採択された。DSeis では、ヨハネスブルクの西南西約 40km にある Cooke 4 金鉱山 (深さ約 1km)、同約 70km にある Savuka 金鉱山 (SV 鉱山, 同約 3.5km)、ヨハネスブルクの南西約 150km にある Moab Khotsong 金鉱山 (MK 鉱山, 同約 2.8km) の 3 つの鉱山で掘削を行う。

2014 年 8 月 5 日に Orkney 地区で発生した M5.5 の地震 (以下, Orkney 地震) の震源は、稼働中の MK 鉱山とその南にある廃鉱山の水没域の境界直下で、採掘域よりも有意に深い、地表から約 4.5 km の深さに求められ、その余震域は、MK 鉱山最深部から数百 m 下にまで広がっている。発震機構解は、通常の鉱山誘発地震に典型的な正断層ではなく、横ずれ型である。DSeis では、MK 鉱山の最深部から、Orkney 地震の余震域上端に達する 700 - 800m の掘削を行い、発震機構解の違いをもたらした応力場の深さ変化を明らかにする。また、掘削後には断層帯にある地下水やガスの分析を定期的に行い、それらと余震活動の時間変化の関係を明らかにする。そのため、この掘削の成果は、震源域の応力場だけではなく、地震発生に水がどのようにかかわるのかを理解する手がかりになるであろう。さらに、余震域直上の地表強震計 17 点や採掘深度にある地震計 46 点で記録された本震と余震の波形は、掘削の結果とともに The Earthquake-Source Inversion Validation (SIV) Project に提供され、Inversion 技術の向上に貢献する。

SV 鉱山の深さ約 3.5km では、2016 年 4 月 30 日に M3.5 の地震が発生し、その約 20 分後には、約 140m 南で M2.9 の地震が発生した。前者の余震域は BV78 ダイクの中にあり、後者のそれは、BV78 とほぼ平行な既存断層に沿っている。両余震域の間には明瞭な空白域が確認できる。これらの地震により採掘域に通じる坑道が損傷を受けたため、現在、震源域周辺では採掘がおこなわれておらず、地震直後の応力状態が保存されている。被害を免れた坑道では、鉱山会社による応力測定が行われており、さらに、震源域に向けた長さ約 150m の小孔径掘削も行われている。DSeis では、(i) M3.5 の震源、(ii) M3.5 の余震域南端と M2.9 の余震域北端の間の空白域、(iii) M3.5 の余震域北端をターゲットとして、一回り大きな孔径の掘削を行い、断層の微細構造や応力場が互いにどのように異なるのかを明らかにする。また、鉱山会社が運用する地震観測網で記録された余震の地震波形から起震応力場を推定する、この結果と掘削によって測定された震源域の応力場との比較は、起震応力場とは何か、を理解する手がかりとなる。

このように、DSeis と連携して南アフリカ大深度金鉱山で発生する地震の解析を行うことにより、地震の準備・発生過程を理解する上で重要な知見をえられると期待される。

地震研究とオープンサイエンス

加納 靖之 (京大防災研)

(kano@rcep.dpri.kyoto-u.ac.jp)

「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画」に、オープンサイエンスの考えを導入すれば、地震・火山現象の解明のみならず、人材育成や社会との共通理解の醸成をより進めることができるのではないかと。ここでは、市民科学およびオープンデータの視点を紹介する。

1. 市民科学の観点

「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画」の課題 1901 と平成 28 年度公募課題 2945 では、2017 年 1 月に地震史料の市民参加型オンライン翻刻プロジェクト「みんなで翻刻」をリリースし、同年 4 月までに東京大学地震研究所図書室所蔵の石本文庫のうち 114 点の翻刻をほぼ完了した。また、「満点計画」では実際の観測を小学生や市民ボランティアが担当し、その観測データを研究に用いており、教育プログラムとしての研究もなされている(京都大学防災研究所, 2015)。

「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画」多数の課題のなかには、市民科学の観点を導入することのできるものが存在するのではないだろうか。過去には、地震や地殻変動などの観測を、地域の学校や企業等に委託していたことを思い出せば、地震観測や関連する研究は、じゅうぶんに市民科学として成立すると考えられる。しかしながら、単に観測あるいはデータ収集の補助として市民の力を活用するという考えだけではうまくいかないだろう。「みんなで翻刻」でも「満点計画」でも、コミュニティの形成等にそれなりの力を注いでおり、研究計画としての設計に工夫が必要である。

2. オープンデータの観点

近年、研究データへの doi 付与や data report (たとえば PEPS) がすすんでいる。また、行政でも公的データのオープン化の流れがあり、地質情報などのオープン化が進んでいる。

地震波形記録であれば、FDSN の取りくみなどが先行している (Evans et al., 2015)。大学などでの観測網の維持にかけられる資源は今後減ることはあっても増えることはないと思われる。このようななかで、観測を維持する動機のひとつとして、観測データ doi 付与により、かけた労力を「可視化」し、観測研究への動機づけのひとつとすることができるようになるのではないかと。

参考文献

Evans, et al., 2015, Why Seismic Networks Need Digital Object Identifiers, EOS, doi:10.1029/2015EO036971. P

林, オープンサイエンスをめぐる新しい潮流 (その 5) オープンな情報流通が促進するシチズンサイエンス (市民科学) の可能性, 科学技術動向研究, 150, 21-25. <http://hdl.handle.net/11035/3097>

京都大学防災研究所, 2015, 『満点計画』による防災学習プログラム, http://www.soc.i.kyoto-u.ac.jp/renewal2015/wp-content/uploads/2015/04/manten_pamphlet.pdf

次期計画に対する京大防災研内での検討

京都大学防災研究所 地震研究者有志

京都大学防災研究所は、現研究計画に至るまで一連の計画に深い関わりを持ってきている。そのため、測地学分科会で策定されることが決定した次期計画の検討に関し、所内の主として地震学に関わる研究者が集まって議論した。本発表では、その議論の内容について紹介する。

・ 現計画についての認識

現計画において、計画の初年度より本所が実施機関となっている研究課題は 15 課題ある（但し拠点間連携研究、公募研究を除く）。本計画から、それまでの地震や火山噴火予知の実現が災害の軽減に貢献するという考えを変え、「地震・火山の観測研究計画は、国民の生命と暮らしを守るための災害科学の一部として、計画を推進」（建議より）することを基本的方針としている。つまり災害誘因の予測に基づき災害の軽減に貢献することを最終的な目標としており、理学、工学、人文・社会科学などの研究分野が学際的かつ総合的に計画を進めている。このことに対応する本所の課題として、歴史資料に基づく大地震調査や、地震による地すべりのポテンシャル評価が挙げられる。この他の地震に関する理学的研究課題については、他機関の実施課題を含め、個々には所期の成果を挙げつつも計画の基本方針が十分理解されておらず、研究課題間のインプット／アウトプットの相互関係が明確でないため一見して独立な研究であり、単なる過去の計画の延長に留まっているように思える。従って、関連する研究課題の集まった総合研究グループのまとまりが弱く、極めて近い研究分野との連携しかない縦割り体制のままである。

・ 次期計画に向けて

上記のような現計画の認識と反省に基づき、次期計画を策定すべきと考える。但し、現計画から行った「災害の軽減に貢献」する方向へ切った舵は戻さないが、成果の活用のされ方を明確に意識しながら行う必要がある。研究体制についても改善が必要で、拠点間連携研究や総合研究グループを中心とする総合課題に参加する計画が望ましいという意見もあった。特に京大防災研としては、研究成果が本計画内に留まらず、所内の他研究にも活用されるあり方を考えた研究を考える必要がある。

予測にもとづいて災害の軽減に貢献するためのいくつかの提案

堀 高峰（海洋研究開発機構）

(horit@jamstec.go.jp)

本計画は、「災害を引き起こす地震や火山噴火の発生予測とともに、それらによる災害誘因の予測の研究も行い、地震・火山噴火に関連する災害の軽減に貢献する」という考えのもとに立案されている。ここでは、地震の場合に、予測にもとづいて災害の軽減に貢献するために必要と思われる要素や考え方について提案する。

まず、発生も災害誘因も、予測をすることが必要である。力学にもとづくものであれ、過去の経験から導かれた統計的特性にもとづくもの（機械学習も含まれる）であれ、広い意味で、何らかの数理モデルに、観測されたデータを入力して予測結果を得る。数理モデルの重要なポイントは、予測結果が定量的なものであり、観測によって検証可能な形で与えられることである。また、地震の発生から弾性波の伝播・地盤の揺れ、地殻変動を介して津波の発生・伝播・遡上に至るまで、定量的に接続することができるので、数理モデルをベースにすることで、様々な研究の知見の統合が可能と言える。その意味で、予測のために現象を解明する研究では、観測データを解析する際にどのような数理モデルを用いているかを明確にした上で、モデルのパラメタを最適化したり、モデルを改善したり、新たな数理モデルを作るための知見を得ることが、柱になる必要がある。これにより、現象解明の研究の知見が、着実に予測性能の改善に役立つことになる。例えば、3次元不均質構造を列島スケールから地盤スケールまでの様々なスケール、ならびに長周期から高周波までの広帯域で、より正確に推定することで地震動の予測性能改善になる。ただし、構造モデルの誤差の定量化、その先の解析（グリーン関数を使った震源過程解析等）での誤差の評価といったことが、予測の確からしさを評価するためにも不可欠である。

発生予測については、プレート境界での固着・すべりの数理モデルは存在するので、豊富な観測データから見出される多様な現象をモデルで再現するとともに、モデルから期待される現象を予測して観測で検証する研究も重要である。一方で、地震の発生予測は、力学的な数理モデルで直接行うのではなく、天気予報での「翻訳ルール」にあたるものが必要である。翻訳ルールは、雨など天気を決める要素の原因となる物理量（気圧や水蒸気量）から、降水確率等の天気を示す数値を割り出す数理モデルであり、天気予報では過去の豊富なデータを学習することで、予測性能の高いモデルがあり、日々性能をさらに向上させている。地震の場合、ゆっくりすべりの加速が見られた際や地震活動静穏化の際に、大地震発生に至る確率が普段よりどのくらい高いかを求めるといったモデルである。予測のための研究では、様々な翻訳ルールを提案し、シミュレーション結果を含むデータを学習し、予測を試行し、モデルを検証・改善していくことが重要である。

最後に、程度の差はあれ不確かさを伴うこうした予測情報にもとづいて、どのような減災対策が可能かを考えることが不可欠である。そのためには、実際に減災対策をする立場の人たちに、具体的な予測情報にもとづいて、何ができるかを考えてもらう必要がある。予測情報にもとづいて減災対策を考える場を小規模ながらも設け、それを災害軽減のための研究として、今からでも始めることが重要であり、次期建議にはそれを育てていく枠組みを組み込む必要がある。

地表地震断層ごく近傍での強震動の実態把握の必要性

香川敬生 (鳥取大学)

(kagawa@cv.tottori-u.ac.jp)

2016年熊本地震では、益城町から南阿蘇村にかけて地表地震断層が確認され、これら断層の周辺で大きな被害が生じ、大振幅の強震観測記録が得られている。しかし、これら地表地震断層出現地点の大半では、断層変位そのものによって引き裂かれた建物被害は見られるものの、強震動に起因する被害は小さいと考えざるを得ないものが見受けられた。このような現象は、1995年兵庫県南部地震(松田, 1995)、2011年福島県浜通り地震(久田・他, 2012)、2014年長野県北部の地震(久田・他, 2014)など、国内外における過去の地表地震断層近傍でも見られている。

地表地震断層が出現する場合とそうで無い場合で同規模の地震でも地震動特性に有意な差があり、地表断層を生じた方の地震動が有意に小さいことが報告されている(Somerville, 2003)。2016年熊本地震による地震動も、断層ごく近傍では大振幅かつやや周期が長く永久変位を伴う記録が得られているが、これらを除いた広域の地震動は平均よりも小さい(吉田・他, 2017)。

また、2016年熊本地震の地表地震断層直近では、建物被害が顕著な地域に比べて常時微動観測による地盤の卓越周期が見え難い傾向があることが報告されており(香川・他, 2017)、地表地震断層を生じる場所の地下構造が地震動に及ぼす影響も示唆されつつある。

これら観測事実を総合すると、2016年熊本地震の地震動は、やや離れた場合は平均よりも小さく、断層近傍では非常に大きく大被害をもたらしたものの、地表地震断層が明瞭に見られるごく近傍ではそれほど大きくはなかった、と推測することができる。このような複雑な現象について、震源断層の破壊過程、それによる断層ごく近傍への強震動生成、また地表断層出現部の地下構造とその影響を含めて総合的に検討し、震源断層ごく近傍の強震動の実態を把握することは、地震被害の軽減において重要なテーマのひとつと考える。次期計画では、このように被害に直結する地表地震断層ごく近傍の強震動の詳細検討を提案したい。

参考文献

- 久田嘉章, 久保智弘, 松澤佳, 松本俊明, 田邊朗仁, 森川淳: 2011年福島県浜通り地震の地表地震断層近傍における建物被害調査, 日本地震工学会論文集, 第12巻, 第4号(特集号), pp. 104-126, 2012.
- 久田嘉章, 石川理人: 2014年11月22日長野県北部地震での地表地震断層近傍での建物被害(速報), 2014, <http://kouzou.cc.kogakuin.ac.jp/Open/report/2014-11-Nagano-EQ-hisada.pdf>.
- 香川敬生・吉田昌平・上野太士: 2016年熊本地震で生じた地表地震断層ごく近傍の強震動について, 土木学会論文集A1, Vol. 73, No. 4(地震工学論文集第36巻), 2016(印刷中).
- 松田磐余: 1995年兵庫県南部地震の地震断層と地形から見た被害状況, 総合都市研究, 第57巻, pp. 5-18, 1995.
- Somerville, P. G.: Magnitude scaling of the fault ruptures directivity pulse, *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 137, pp. 201-212, 2003.
- 吉田昌平・香川敬生・野口竜也: 日本内陸における地表及び潜在断層地震の地震動特性に関する基礎的検討, 土木学会論文集A1, Vol. 73, No. 4(地震工学論文集第36巻), 2016(印刷中).

地震動・津波等の事前予測・即時予測部会の展望

地震動・津波等の事前予測・即時予測部会 部会長 香川敬生（鳥取大学）

(kagawa@cv.tottori-u.ac.jp)

本部会では、広帯域かつ高解像度な地震動の事前予測と、そのために必要となる広帯域の震源・地下構造モデルの高度化に向けた研究を継続している。本研究期間に発生した 2016 年 4 月の熊本地震では、複雑な断層帯における震源破壊過程と断層ごく近傍域における長周期地震動、また地盤の局所的な特性による強い地盤増幅が改めて確認され、本震による甚大な木造家屋被害の原因解明と災害予測・軽減に向けた新たな課題として着目された。今期から加わった地震動による地すべりの研究テーマでは、熊本地震で発生した地すべりや斜面崩壊の調査から、地形を鍵とした事前評価の可能性が示唆され、降下火砕物（軽石層）が関与する場合と、堆積岩・変成岩のトップリグ斜面が地震動に弱いことが整理された。また計算技術の高度化により、これらハザードのみならず、構造物の被害までを予測する手法にも大きな進展が見られた。予測の観点からは個々の予測モデルの高度化を今後とも継続することに加え、これらを災害軽減に活かす観点からは、各種構造物被害、津波、地すべりなどの災害の誘因となる周期帯域に着目した効果的な研究推進が求められ、被害予測の専門家との連携がさらに重要となる。なお、これらの成果を社会に適切に還元するために、予測の精度やばらつきを受け容れた上で社会が適切に活用できるよう、災害情報の発信に関する社会科学の専門家との深い意見交換が必要とである。

本部会のもうひとつの重要テーマとして即時予測がある。地震動の即時予測として気象庁では緊急地震速報が運用され、また地殻変動を活用した即時震源断層解析（Rapid システム）、そして tFISH システムによる津波の即時予測など、研究成果は既に現業に活用されている。また、新たな研究項目として火山灰拡散の即時予測が試みられている。これら即時予測を高度化する鍵として、データ同化がそれぞれの研究項目で取り入れられており、その活用による精度の向上と迅速化を一層図ることが今後の課題である。そして、これら即時情報の発信方法とタイミングは、社会の要請に対応したものであるべきであり、社会科学分野との連携が重要となる。

事前予測は「的確な備えに役立つ情報」、即時予測はその時の「最善の行動に繋がる情報」として社会に発信されるべきであると考えている。そのためには、社会がこれらの情報にどう対応しているのか、またどういう形態の情報が求められているのか、適切なフィードバックを受けることが必要である。研究成果を社会に発信する方向だけではなく、その成果をどう活用できたか、あるいは出来なかったか、フィードバックを受け容れて、PDCA（Plan, Do, Check, Action）の輪を回して行くことが、研究成果の社会への還元にもっと近い本部会の展望として求められる。

なお、本部会は地震・火山の基礎研究を踏まえて、地震動、地殻変動、地すべり、津波、火山噴火といった社会へ与えるインパクトの大きい自然現象の事前・即時予測を高度化することを目的としている。したがって、次期計画においてもこのような調査観測は継続されるべきであると考えられる。一方で、観測研究手法やアプローチの仕方が部会内でも多岐にわたっていることから、今期から始まっている総合研究の場を利用して他の計画推進部会課題とも情報共有を進め、より効果的に災害軽減に貢献したい。

巨大地震災害の軽減に向けて

松澤 暢（東北大学・東北地方太平洋沖地震総合研究グループ）

(toru.matsuzawa.c6@tohoku.ac.jp)

東北地方太平洋沖地震のような巨大地震災害を軽減するにはどうしたらよいか、また、この地震によって引き起こされる可能性のある次の災害にどう対応すべきか、これまでの3年間、東北地方太平洋沖地震総合研究グループで議論してきたことを踏まえ、展望を述べたい。

（1）今後の巨大地震災害の軽減

東北地方太平洋沖地震は、これまでのところ世界で最も詳しく調べられている巨大地震となっているが、これがM9の地震の典型例とは限らない。そのことに注意しながらも、今回の経験を最大限生かし、今後の巨大地震災害の軽減をはかるためには、以下が重要であると考えられる。
巨大地震災害が起こる可能性の推定：世界中の沈み込み帯について地質学・考古学・地球物理学および社会科学的見地から比較を行い、巨大地震災害が起こるか否かの二者択一ではなく、可能性の大小を検討する。

巨大なハザードの予測に役立つ観測研究：巨大災害をもたらした地震動や津波の性質とその生成機構を詳細に調べ、それがどのような場合に生じやすいのかを明らかにする。

巨大地震の発生予測に役立つ観測研究：巨大地震の発生がどのくらい切迫しているのかを明らかにする研究を推進する。特に巨大地震の発生サイクルを理解するために、今回の地震の余震と余効変動を海陸で長期的に追跡してその全体像を明らかにする。

脆弱性の理解、情報・知見の発信・流通、社会との連携：低頻度巨大災害特有の問題について明らかにし、社会と連携しながら対策を考える。

リアルタイム・ハザード予測：様々な観測情報を活かし、さらにロバストなシステムにしていく。

2) 「次の災害」の軽減

東北沖地震の後、日本列島にどのような災害が起こりうるのかを明らかにするため、生じうるハザードと脆弱性を洗い出すことが重要である。今後数十年は、大きな余震や隣接域での大地震の発生の可能性が高い状態が続くと考えるべきであり、その場所を絞り込むためにも、地震活動や余効変動の推移を海陸で継続的に追跡していくことが特に重要である。

3) 内陸の災害軽減

東北沖地震以後の内陸の応答を調べて地震発生・火山噴火予測につなげることが重要である。そのためには余効変動の詳細な観測とモデル化を今後も継続し、どこで応力・歪が集中しやすくなっているのかを明らかにする必要がある。また、内陸の地震活動を詳細に調べて、地殻の強度の時空間変化とその原因について詳細に明らかにしていく必要がある。

4) 他の地震への教訓

東北沖地震発生前と発生時に何が起こったのかを明らかにすることは、他の地震災害の軽減のために重要であり、今後もこの解明の努力を継続する必要がある。具体的には、社会の脆弱性や曝露性の進展過程の解明や、強震動や津波といったハザードの生成過程、および本震の発生に至る過程の解明が今後も重要である。

次期計画における南海トラフ巨大地震総合研究の必要性

澁谷拓郎（南海トラフ巨大地震総合研究グループリーダー、京都大学防災研究所）

(shibutani.takuo.4r@kyoto-u.ac.jp)

◇ 南海トラフ巨大地震総合研究グループの目的

本研究グループは、「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画」において、海溝型地震部会、データベース・データ流通部会、地震動・津波等の事前予測・即時予測部会、地震・火山災害部会、史料・考古部会、地震先行現象・地震活動評価部会等で行われている南海トラフ巨大地震に関する研究を、部会を横断する形でまとめ、総合的に推進することを目的とする。さらに、東京大学地震研究所と京都大学防災研究所の拠点間での連携共同研究における参加者募集型研究として実施される「巨大地震のリスク評価の精度向上に関する新パラダイムの構築」による南海トラフ巨大地震のリスク評価についての研究とも連携を図って、「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画」による南海トラフ巨大地震の現象解明、発生予測、災害誘因予測を目指した研究と拠点関連携共同研究のリスク評価の研究との橋渡しを模索することも本研究グループの目的である。

◇ 今期の取り組み

本研究グループでは、南海トラフ巨大地震の災害軽減に資する研究のスキームとして、地震の発生、地震波の伝播という事象の時間経過およびそれらに伴う情報の伝達の方向性に従い、「震源・地震像」、「地殻構造・波動伝播」、「強震動・津波予測」、「地盤構造・地すべり」、「被害予測（建築物・構造物）」、「リスク評価」という研究項目が並び、これらを「基盤観測・データ流通・データベース・モニタリング」が支え、各研究項目から情報が社会に向かって発信されるという構図を考え、南海トラフ巨大地震に関連する研究課題の成果を整理した。

また、研究集会を開催し、トピック的な研究成果を異なる研究項目に属する研究者が共有するとともに、研究項目間でコミュニケーションを活性化することの必要性を確認した。

◇ 次期計画における必要性

部会、研究項目、あるいは研究者個人が関わる研究をその方向に深く掘り下げていくことは、本来的であり、必要なことである。問題は、研究の断片化（fragmentation）である。これを防ぐためには、部会や研究項目を跨いだ研究者間のコミュニケーションの活性化を図らなければならない。

次の南海トラフ巨大地震に近づく次期計画においても部会横断型の本研究グループの活動は必要であろう。計画案策定の段階においては、部会や研究項目を跨いだ研究者間のコミュニケーションの活性化を進めていけるような本研究グループの体制についても議論する必要がある。

首都直下地震の総合研究で足りないもの

酒井慎一（東京大学地震研究所）

(coco@eri.u-tokyo.ac.jp)

現計画実施期間に災害科学の発展に着実に貢献できることや、発生した場合の社会への影響の甚大さを考慮して作られた4つの総合研究グループの一つとして、首都直下地震総合研究グループは作られた。優先して推進されるべき課題であるということは、みなが認めているところではあるが、首都直下地震を直接のテーマにした課題は6課題しかない。さらに、その解明や予測を網羅的に研究した課題はなく、甚だ不十分な状況であると考えている。次期計画において、総合研究グループとして推進させるのなら、首都直下地震を対象とした課題を増やした上で、個別課題の進捗に気を配る仕組みを作り、それら同士を有機的に結びつけることで、首都直下地震の被害をいかに減らせるかを考えていく総合的なグループ研究体制が必要である。

首都直下地震と言っても、どこで発生するどんな地震なのか、その地震像は統一されていない。首都圏で発生する地震には、地殻内の浅い地震と2つの沈み込むプレートに関係する地震があり、その発生過程は多様である。例えば、房総沖のプレート境界部分で発生する地震に関しては、地震活動や地殻変動を詳細に観察することによって、プレート間カップリングをモニターしようとする試みがなされてきた。ただ、首都直下地震として想定される震源域は、房総半島沖だけではない。首都圏で発生する他の地震についても研究を進め、地震像を明確にする必要がある。

首都直下地震の実像が不明確なため、それによる災害やその被害の軽減という視点の研究課題が足りない。首都圏は丘陵地帯を切り拓いて作った造成地に多くの住居があり、そのような地域の増幅特性には、大きな問題を孕んでいる。さらに首都圏は、河川沿いの低地や海岸近傍の埋め立て地など、堆積層が厚い地域が広がっていて、強固な地盤はほとんど存在しない。様々な地盤構造をもち、そこに様々な建築物が密集する首都圏において、短周期・長周期の地震動がどのような挙動を示し、地表での被害にどんな影響が及ぶのか、より詳細な研究を進める必要がある。

一方、首都圏は、徳川幕府の開幕から400年以上の歴史があるため、歴史時代に発生した地震災害に関する史料が数多く残されている。それらを検討し、現代とは異なる社会状況の下で発生した災害の対応から、今後の防災・減災施策や復興計画などの検討に資する材料を提示することができる。史料に基づく地震災害の研究は、地震計による地震観測が始まる以前の活地震活動を知らることができ、地震発生サイクルを考える際の重要な情報になりうる。

いくつかの課題で部分的に進展がみられるが、総合研究としての進捗は全く不十分である。首都圏という人口の密集地・経済の中心地での大地震が、どんな複合的な被害を引き起こしてしまうのか、首都圏が被災するということが、どのように日本全体に影響するのかといった視点での課題もスコープに入れるべきであろう。まずは、首都直下地震の地震像を解明する研究、首都直下地震を予測するための研究、首都直下地震による災害誘因の予測のための研究の3つを統合して推進するための仕組みを作る必要がある。その中で、これまでに成果を上げつつある課題を進展させると共に、不十分な研究分野を拡充する課題を提案し、理学だけでない様々な研究分野を総合的に推進させるような体制づくりが必要である。

桜島（＋）火山総合研究グループ

井口正人（京都大学防災研究所）

(iguchi.masato.8m@kyoto-u.ac.jp)

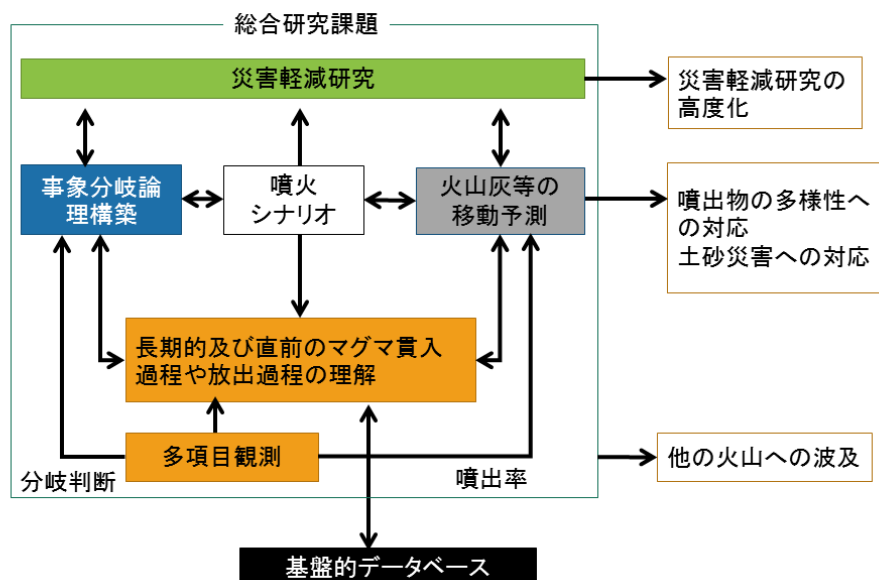
桜島火山では 2006 年に始まった昭和火口における噴火活動が 2009 年から 2015 年前半まで活発化し、2015 年 8 月には極めて高速のマグマ貫入イベントが発生した。さらに、桜島の主マグマ溜まりがある始良カルデラではマグマの蓄積が進行し、1914 年噴火に匹敵する大規模噴火の発生が予想される。

現計画においては桜島噴火総合研究グループを構成した。これは、桜島で発生する事象を定量化することによりマグマ性噴火を理解するための研究、低頻度大規模事象、物質科学的研究、機器開発などに加え、火山灰拡散の即時予測と地域連携を視野に入れた災害軽減研究を行うものである。活火山法の改正により火山防災協議会の設置と協議会の構成員として学識経験者の参加が必須とされており、防災協議会において応えられるだけの総合研究の必要性は高い。

次期計画においても同様に総合研究を推進する。中核となる研究は、やはり多項目観測に基づく長期的及び直前のマグマ貫入過程や放出過程の理解のための研究であるが、観測量をより直接的に噴火発生予測と災害予測に結び付ける必要がある。強化のポイントは以下の通りである。

- (1) 火山観測データに基づく噴火の規模（噴出率の時間関数予測を含む）と様式の予測研究
- (2) 事象分岐論理の高度化
- (3) VEI4～5 級大規模噴火に至るプロセス予測研究
- (4) 火山灰以外の噴出物についての即時予測，直前予測研究
- (5) 土砂災害発生予測研究
- (6) 噴火シナリオに基づく火山災害影響評価とリカバリーに関する研究
- (7) 桜島以外の火山での総合研究の構築

そのために、総合研究課題の設定（グループは残してよいが）、拠点間連携における「火山枠」を設定することを提案する。



次期計画における拠点間連携共同研究の役割

拠点間連携共同研究推進 WG 松島信一（京都大学防災研究所）

(matsushima@sds.dpri.kyoto-u.ac.jp)

□研究体制の枠組みの発展的見直し

拠点間連携共同研究・参加者募集型総括研究では、南海トラフ沿いで発生する地震による地震リスク評価を行っている。一方、南海トラフ巨大地震総合研究グループでは現象理解、現象予測、災害誘因についての部会から適宜研究者が集まって研究を行っている。拠点間連携共同研究による地震リスク評価を高度化するためには、総合研究グループのように、部会で得られた知見を直接利用出来るようにすることが必要である。そのため、拠点間連携共同研究の研究体制の枠組みを見直し、現行の参加者募集型研究総括研究と特定分科研究を統合して1つのプロジェクト指向研究として位置付け、総合研究グループと融合する体制とし、研究計画全体の方法に倣い、予め決めたテーマ（南海トラフ地震、西日本の内陸地殻内地震）に沿った参画メンバを事前に募る方法に改める。拠点間連携共同研究を総合研究として行うための予算措置が必要となる。一方、研究課題は明確であるものの、関連する分野が広く、参画メンバが確定できないものについては、コアメンバを中心として、補強メンバを一般公募により募る、必要な研究課題について参加者募集型研究を立ち上げる（現行の参加者募集型研究の様式）。さらに、新たな研究課題の洗い出しや新規の参画メンバの発掘のために、現行の課題募集型研究に該当する一般募集研究課題を設ける。ただし、前出の2項目を最優先し、採用数は最小限に制限する。

□研究内容

・確率論的強震動予測・確率論的津波予測による災害リスク評価

南海トラフ地震を含む大地震（プレート境界、内陸地殻内）が連続した際の災害リスク評価を行うため、強震動予測のための震源すべりモデルをコミュニティモデル・広域予測モデルを考慮して構築し、さらに津波予測震源すべりモデルと統合する。震源モデルを構築する際には、南海トラフ地震の連動性や海溝型巨大地震のひずみ蓄積過程における内陸地殻内地震の発生危険度についても考慮する。また、地盤・建物の非線形応答評価にも取り組む。

・火山噴火災害リスク評価

噴火、土砂、火山灰、噴煙、噴石などの災害誘因に関する研究を推進するとともに、それらに基づく災害リスク評価を行うための課題の洗い出しと課題の解決のために新しい分野から研究者の参入を募集し、現象発生から災害リスク評価までの一連の火山噴火災害リスク評価を行う。

・被害想定 の 使い方

被害想定 の 目的、ユーザーに 応じた 想定精度、被害想定 の ありかた の 検討し、被害想定 の 幅の 明確化 を 行う。また、得られた 成果 について、内閣府 などの 被害想定 の 結果 と の 比較 から 対応関係 を 整理する。

・防災対応 の 最適化 の ための 研究

地震前、地震中、地震後、それぞれのフェーズにおいて、統合的な視点から災害対応のどこに力点をおき、どうリソースを分配するのが効果的かを判断するための研究を行う。

地震時地すべりの発生ポテンシャル評価手法の確立と適用

千木良雅弘（京都大学防災研究所）

(chigira@slope.dpri.kyoto-u.ac.jp)

2016年の熊本地震は、膨大な数の地すべりを発生し、甚大な被害を生じた。特に特徴的だったのは、ほとんど危険視されていなかった緩傾斜斜面の降下火砕物の流動的な地すべりであった。将来の地震災害軽減のためには、強震動によってどこで、どのような地すべりが発生するのかを評価し、備えることが必須である。私たちのグループでは、平成26年度からの「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画」の課題番号1912において、強震動による地すべりの発生ポテンシャル評価手法の確立に向けて、次の2テーマの研究を実施してきた。

- 1) 地域的多様性を考慮したハザード評価手法の構築—過去の事例の地質・地形的要因の調査・分析とハザードマップ作成手法の構築—
- 2) 観測・実験・シミュレーションによる災害発生メカニズムの検討—斜面内での地震動の観測、及びそれが引き起こす地下水と斜面変位への影響の解明—

その主要な研究成果は以下のとおりである。

- 1) 従来の地震による地すべりは、地質と地形の特徴によって分類が可能であり、特に地震動に対して脆弱なタイプを特定し得る。
- 2) 降下火砕物以外の場合には、航空レーザー計測による詳細地形から発生危険場所を発見できるとみられる。
- 3) 降下火砕物ですべり面となりうる地層の特定方法の見通しを得た。
- 4) 都市地盤においては、造成に伴う地形改変を正確に把握することが重要である。
- 5) 都市の表層地盤が地震時にすべるか否かは、特に盛り土の（時に異常な）応答と地下水の応答が重要である。
- 6) 山地の重力変形した斜面、海岸地すべり、盛土斜面にかかわらず、地すべりを駆動する地震波の特徴的な周波数帯が地すべりごとに存在するとみられる。

これらの成果に基づき、

「地質・地形→構造→地震時応答→安定性評価」

を一連のものとしてとらえ、観測・実験・理論に裏付けされた地震時の地すべりのハザードマップ作成手法を確立する。さらに、防災科学技術研究所で展開中の地震ハザードステーション（JSHIS）のような共通情報基盤などと連携することにより、地震災害軽減に大きく貢献することができる。

研究グループ

千木良雅弘，釜井俊孝，王功輝，土井一生，松四雄騎

計算科学・計算機科学的なアプローチの

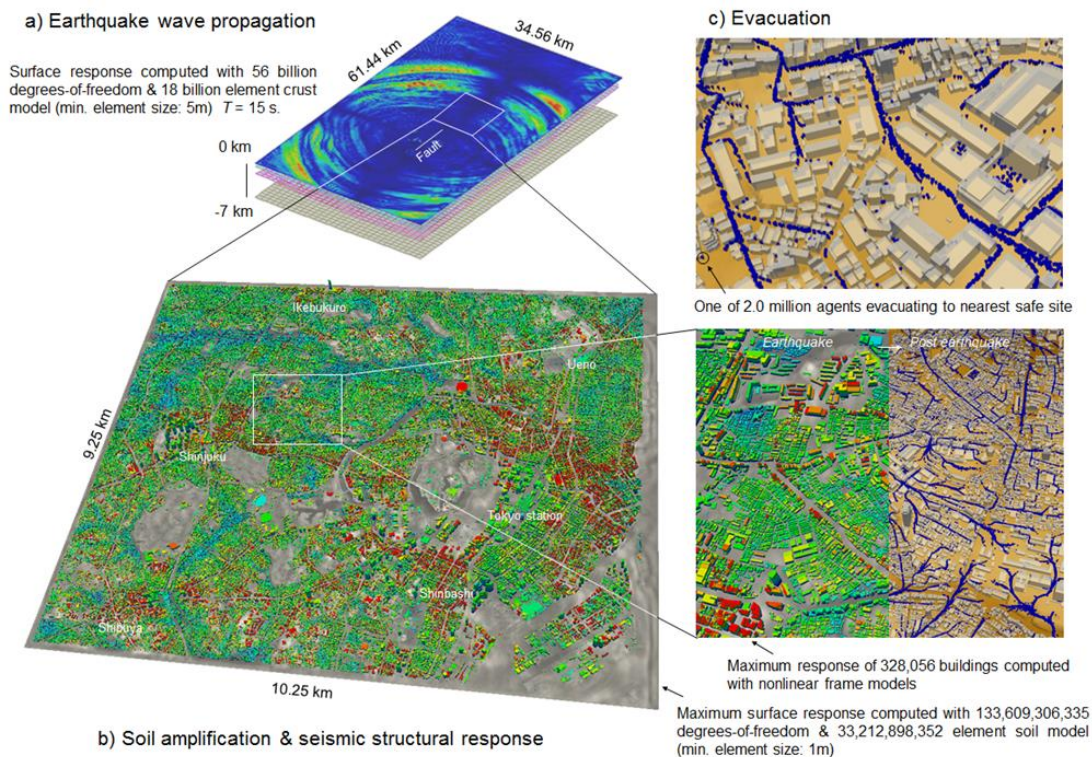
地震学・防災科学での展開へ向けて

市村強（東京大学地震研究所）

(ichimura@eri.u-tokyo.ac.jp)

多種多様な貴重な観測データの蓄積がすすんでいる。一方、計算科学・計算機科学の進展も著しいが、現状ではその展開には十分でない点が見られる。本講演では、京コンピュータ等で行われている、地震学・防災科学に関する研究について紹介し、このような計算科学・計算機科学的なアプローチの地震学・防災科学での展開へ向けた可能性について議論する。

観測データから構築された高詳細なモデルを用いて簡素化せずにそのまま数値シミュレーションすることを考えると、対象とする領域が広大であり、また必要とされる分解能も高いため、大規模問題となることが多い。例えば、列島規模の列島の co-seismic, post-seismic な挙動を解析するためには、100 億自由度級の有限要素モデル構築とそれを用いた粘弾性挙動解析が候補となる。また、首都圏全域の構造物被害想定を行うためには、1000 億自由度級の有限要素モデル構築とそれを用いた非線形地盤増幅解析、及び数十万を超える構造物個々の非線形動的応答解析が候補となる。昨今の計算科学・計算機科学の進歩により、このような解析が可能となりつつある。



参考文献 Tsuyoshi Ichimura, Kohei Fujita, Pher Errol Balde Quinay, Lalith Maddeggedara, Muneo Hori, Seizo Tanaka, Yoshihisa Shizawa, Hiroshi Kobayashi and Kazuo Minami, Implicit Nonlinear Wave Simulation with 1.08T DOF and 0.270T Unstructured Finite Elements to Enhance Comprehensive Earthquake Simulation, SC15: International Conference for High Performance Computing, Networking, Storage and Analysis, 2015. doi: 10.1145/2807591.2807674

次期地震研究計画検討ワーキンググループによる

次期地震研究計画に向けての提案

次期地震研究計画検討ワーキンググループ（発表：加藤愛太郎（東大地震研究所）

(e-mail address akato@eri.u-tokyo.ac.jp)

地震災害の軽減に貢献するために、地震発生に関連する研究分野において今後重点的に推進を図るべき研究内容・体制のあり方について議論を重ねてきた。それに基づいて以下の提案を行う。

1. 地震発生の予測に向けた基盤的研究：地震現象に関する史料、考古データ、地質データ等の収集と整理を継続しつつ、低頻度大規模地震現象の発生履歴を明らかにする。また、近年の高精度な観測研究によって示された断層への応力载荷過程と地震発生の関係、連鎖的な断層破壊を支配する要因の理解、断層帯の摩擦・変形特性の解明、といった地震発生過程そのものの根本的理解を深める。更に、プレート境界地震と内陸・プレート内地震の発生場を一つのシステムとして捉え、包括的な視点で研究を進める。地震が火山に与える影響評価や、火山現象がもたらす断層への応力载荷に関する研究など定量的なモデリング研究にも取り組む。上記の地震発生場の解明から得られる成果を、海陸統合地震波速度構造・地震波減衰構造・応力場・定常変形場・比抵抗構造などの構造共通モデルの構築へと繋げ、構造共通モデルの充実化を進めていくことが重要である。

2. 地震発生予測に向けた実践的研究：史料・考古・地質データ等のデータベースの活用、内陸の歪み集中帯と地震活動に基づく内陸地震の予測モデル研究、数理モデルに基づくプレート境界地震の予測モデル研究の推進によって、新たな長期評価手法の構築に着手する。また、プレート境界の固着と滑りの時空間発展の把握と推移予測、海陸統合データを用いた地殻活動のモニタリング技術の高度化、地震活動評価に基づく地震発生予測・検証実験、事象系統樹による地殻活動の推移予測、を通してリアルタイムデータに基づく地殻活動予測を試行する。更に、様々な先行現象に基づいて大地震の切迫度を確率的に評価する研究や予測手法の開発を進展させる。

3. 地震災害誘因予測のための研究：強震動・津波・地震動による斜面崩壊等の地震災害誘因の事前評価手法の高度化に取り組む。また、地震災害誘因が災害素因に与える作用の研究を通して、地震災害リスク評価の進展を図る。更に、地震動・津波・津波浸水・長周期地震動の即時予測手法の高度化技術の開発を進める。2. から出力される大地震の切迫度評価に関する不確実性の大きな事前情報の有効性についての検討を、災害情報科学分野の研究者と共同で行う。また、上述の地震災害リスク評価に基づき、防災対応の準備を最適化するための研究を始める。

4. 研究を推進するための体制の整備：基礎的な研究によって得られた成果（例えば、ハザード即時予測）を社会実装するための機能を有するインターフェースの整備が必要である。また、陸域と海域の統合データの活用、リアルタイムデータの可視化技術の開発、観測データ処理系の一元化処理など、観測基盤の整備を実施する。更に、海底・陸域地殻変動観測の精度向上などの技術開発、データ解析手法、数値シミュレーション手法の新規開発に加え、地震データベースの作成とデータ流通を継続的に振興することが、地震研究分野の将来発展において重要である点はある。言うまでもない。

上記の大項目を繋げる分野横断型の総合研究グループを形成し、地震現象の解明から地震発生予測を経て地震災害誘因予測へとシームレスに研究成果を発信することを目指す。総合研究グループとして、南海トラフ沿いの大規模地震と西日本弧の内陸地震、日本・千島海溝沿いの大規模地震と東日本弧の内陸地震、首都直下地震、の3つの研究グループを提案する。また、研究課題間の連携を深めるためにも、研究計画全体を俯瞰して成果を融合する機能を戦略室内に強化することを強く望む。

次期建議計画における火山噴火予知研究の構想

次期計画検討火山 WG

(発表：北大理：橋本武志, hasimoto@sci.hokudai.ac.jp)

過去にも述べられてきたように、噴火予知の達成段階は、①観測から火山活動の異常を検出して噴火の可能性を警告できる段階、②観測データ・過去の噴火事例に基づいて、火山の状態を把握し、噴火の発生や推移を定性的に予測できる段階、③物理化学モデルに基づいて噴火の開始や推移を予測できる段階、に分けることができる。本研究計画は、災害軽減への貢献が大目標となっており、研究成果の社会実装を指向することは当然必要であるが、噴火予知の実力を高めるための研究は、ハザードを的確に予測するという意味で災害軽減に貢献するものである。噴火予知の技術は依然として未熟な段階にあることを認識しつつ、上記の整理に基づいて現状を分析し、次期計画で取り組むべき課題について提言する。

観測網が充実した火山では、噴火前に何らかの異常現象が捉えられることが多く、①または②の段階に達している場合がある。しかし、①を確実に達成できるだけの十分な観測網が整備されている火山は今日においても限られている。②については、長期間にわたる観測データや噴火履歴の知見が集積されている火山について、観測データの解釈、噴火シナリオ・噴火事象系統樹の試作が行われてきた。ただし、予測は経験則に依拠するところが依然として大きい。③については、噴火中に進行する現象に対しては適用可能なモデルが開発されており、ある程度現実的なシミュレーションも可能になってきている。一方で、地下の構造や状態もしくは噴出してくる物質に関する知見が不足していることと、噴火の開始に関わる決定論的モデルが欠如しているため、この手法で噴火開始を予知のスキームに乗せるは難しいのが現状である。

近年の観測網整備の進展により、これまでは捉えられなかった噴火直前の先行現象が火口近傍で検出される事例や、非噴火時において各種観測量に顕著な長期的変動が見られる事例が報告されるようになってきている。多項目観測の充実は、特に①や②の裾野を広げる強力な推進力であり、引き続き関係機関が協力して効率的に推進していくべきである。

噴火を頻繁に繰り返す火山では、観測・仮説・検証を通じて知見が蓄積される。重点火山でこのプロセスを推進しつつ、噴火頻度の低い火山、長期間噴火していない火山における予知にも知見を活用できることが望ましい。そのために、現計画でも取り組んでいる噴火事象系統樹の高度化は、引き続き主要な目標とすべきである。本研究計画では、個々の火山に対する系統樹ではなく一般化された系統樹の高度化に注力する。一般化された事象系統樹に想定される構成要素には、噴火現象のほかに、噴火の発生場、先行現象、災害誘因がある。これらをどのように取り入れ、どのように表示するかの研究が必要である。このような系統樹は、噴火現象や災害の多様性を認識し、現在の状態がどの位置にあるかを理解しやすくする。事象分岐の判断根拠となる情報が足りない部分は、個々の研究課題で取り組むことが望ましい。

②や③の底上げを図るには、火山間の比較研究をこれまで以上に積極的に推進する必要がある。そのためのデータ共有や解析手法の共通化を促進するにあたり、次世代火山PJで構築が進められるデータ共有・流通のプラットフォームを活用すべきである。

災害科学に資する学際研究と人材育成～災害部会が目指すもの

木村玲欧（兵庫県立大学）

(rkimura@shse.u-hyogo.ac.jp)

現行計画（平成 26 年～）での「地震・火山部会」の誕生と推移

地震・火山災害部会は、災害科学の確立に資するため「災害」現象の解明に焦点が置かれた部会で、平成 26 年からの研究計画で初めて設置された部会である。防災・減災に対する社会の要請を意識しながら、理学、工学、人文・社会科学の研究者が連携することによって、地震・火山噴火の災害事例の実証、地震・火山噴火の災害発生機構の解明、地震・火山噴火の災害軽減のための情報の高度化、研究者、技術者、防災業務・防災対応に携わる人材の育成などを目指した研究を行っている。

これまでの研究計画では、自然現象としての災害誘因の研究に中心が置かれていた。しかし今回の計画は「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画」として「災害科学」を強調しています。つまり、災害誘因の研究に加えて、地域の強さ・弱さといった災害素因の研究も推進しなければならない。そのためには地震・火山学の研究者と防災に関する工学や人文社会科学の研究者の連携が必要であり、計画開始以降、徐々に進んでいる。

次期計画に向けての学際的な連携強化と、防災リテラシー向上のための人材育成手法の開発

平成 29 年 1 月に発行された『「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画」の実施状況等のレビュー報告書』では、「地震や火山噴火の発生を防ぐことは不可能であるため、これらが災害を引き起こす過程の理解に基づいて、災害軽減のための方策を検討する研究は今後も重要である。また、災害誘因予測結果などの災害情報の適切な提供の仕方も、地震学・火山学の成果を効果的に災害軽減に役立てるためには重要であることは明らかである」とされ、また「防災に関する人文・社会科学研究者の参加により、地震・火山研究の成果を国民や関係機関に広く知らせるための効果的な方法の検討も進められた。このような研究は、研究成果を災害軽減につなげるためには、今後ますます重要になるであろう。」（中長期的な展望）とされている。

今後は災害現象の解明について、部会間の連携を深めていき、災害誘因発生予測、災害素因への影響、人間・社会の対応といったそれぞれのシナリオの整合性をとりながら、社会の要請に応じたアウトプットの導出に努めていきたい。またアウトプットとなる情報の発信手法の検討と効果測定、もしくは防災リテラシー向上のための一般市民（園児・児童・生徒含む）・災害対応従事者災害に対する防災教育手法についても研究を進めていく必要がある。

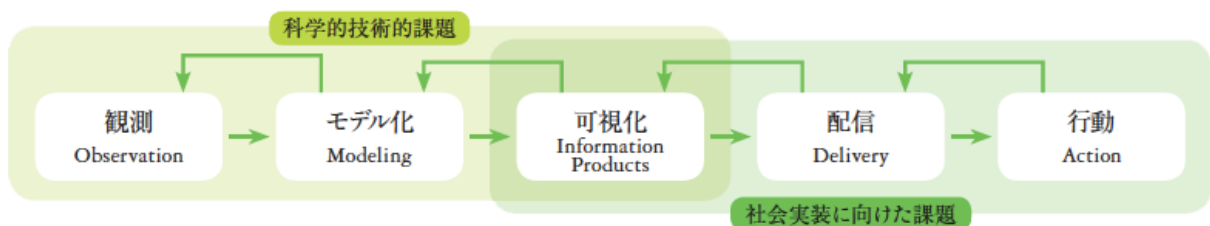


図 質の高いリスクコミュニケーションの構成要素（現研究計画パンフレットより）

次期研究計画検討 WG の議論における大枠の提案

谷岡勇市郎（北海道大学、企画部戦略室）

(e-mail: tanioka@sci.hokudai.ac.jp)

地震・火山・災害の次期計画検討 WG でそれぞれ議論されている研究課題をとりまとめるにあたり、全体を統合する大枠について提案する。現地震火山観測研究計画では、「1.地震・火山現象の解明のための研究」「2.地震・火山噴火の予測のための研究」「3.地震・火山噴火の災害誘因予測のあめの研究」を柱として「4.研究を推進するための体制整備」が下支えする枠組みで研究計画を実施してきた。レビューでは、地震活動の推移予測や発生予測につながる成果、火山活動および噴火の予測につながる成果、地震動・津波・火山噴火による降灰等を予測する研究成果等は高く評価されている。さらに拠点関連連携共同研究を開始し、災害リスク評価に向けた研究成果も上がりつつある。また、地震学・火山学の研究者と防災に関する人文・社会科学の研究者との連携研究も開始され、今後のさらなる連携の進化が期待されている。

このような現計画の評価に加え、地震・火山・災害の個別次期検討 WG での検討中間とりまとめを踏まえて現計画を進化させた次期研究計画の大枠を次に示すこととする。

- I. 地震発生・火山噴火の予測に向けた基盤的研究
- II. 地震発生・火山噴火の予測に向けた実践的研究
- III. 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究
- IV. 地震・火山噴火による災害リテラシー向上のための研究
- V. 研究を推進するための体制整備

分野横断型特別研究

1. 南海トラフ沿いの大規模地震と西日本弧の内陸地震について
災害リスク評価まで含めた総合研究
2. 日本・千島海溝沿いの大規模地震と東日本弧の内陸地震について
東北地方太平洋沖地震の長期変動の推移予測を含めた総合研究
3. 首都直下型地震について プレート間巨大地震から災害リスク評価まで含めた総合研究
4. 桜島など特定火山について、現象理解から災害予測まで総合研究

拠点間連携共同研究

I には、地震発生過程の理解や地震発生を支配する発生場の解明やモデル化、火山噴火発生過程の理解や火山噴火を支配するマグマ供給系の構造とその上昇・蓄積の把握、さらには地震活動と火山活動の相互トリガー作用の理解が主な課題となる。II は、予測に向けた実践的な研究で、地震・火山噴火の長期予測手法の研究や地震活動・火山噴火の推移予測手法の研究を含む。III は、これまでの災害誘因の事前予測や即時予測研究をさらに進めるもので、IV は災害誘因と脆弱性を解析し、発生する災害を知る研究を含む。

また、分野横断型の4つの特別研究を推進することで、特定の場所で地震・火山活動の予測から災害誘因事前評価や災害リスク評価まで総合的に研究する。