

火山観測研究の今後のあり方について

－火山観測研究 5.0を目指して－

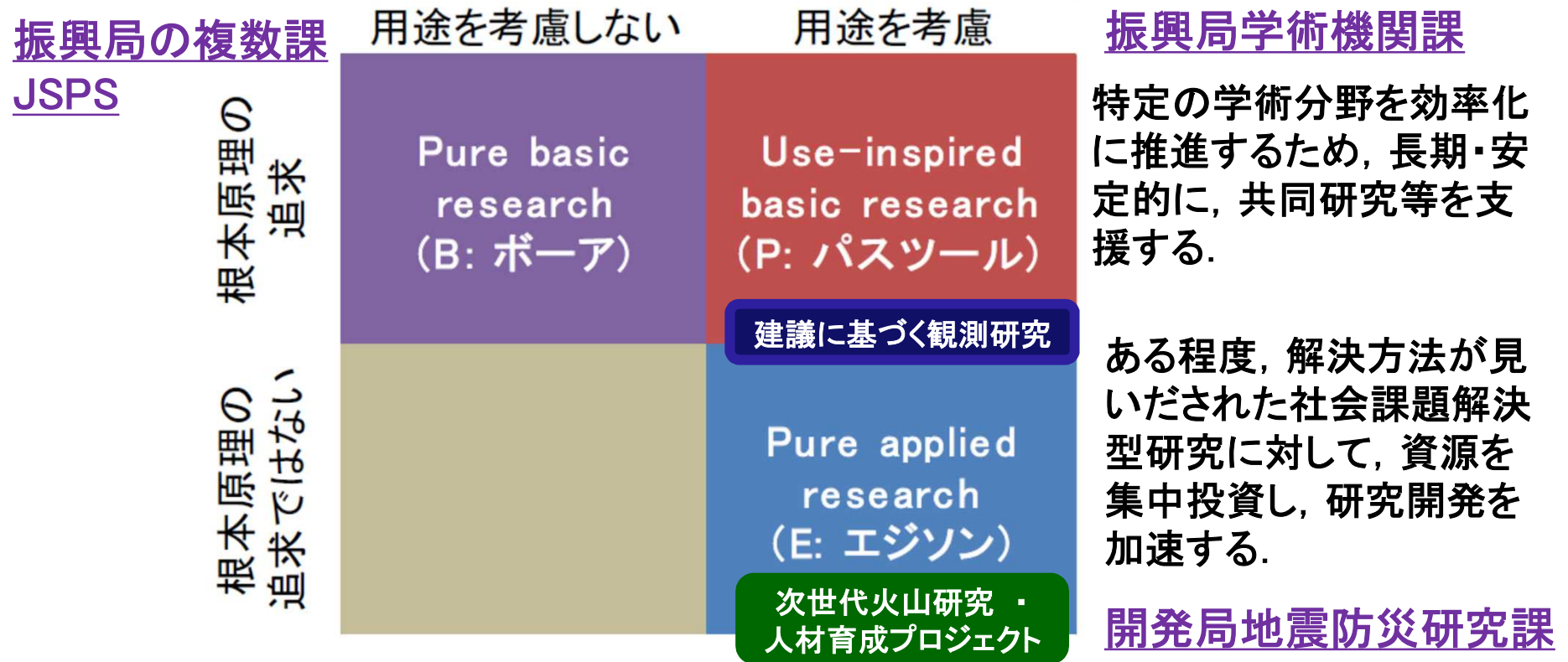
東京大学地震研究所

森田 裕一

火山観測研究の立ち位置

火山観測研究の現在の危機をどう乗り越え、どう発展させるか

(参考) ストークスによる研究の分類



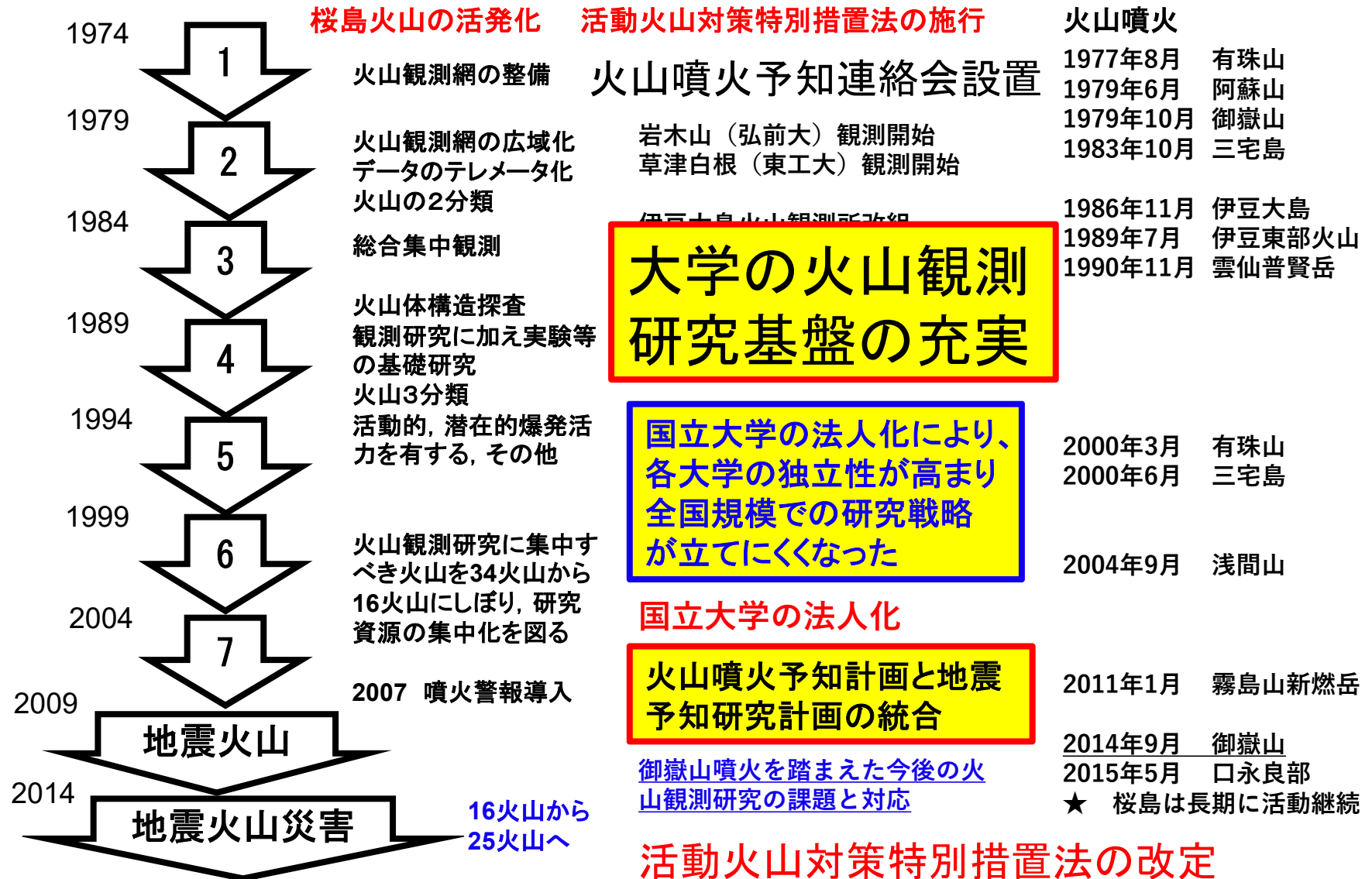
火山災害の軽減に資する研究

地震・防災研究課にもできるとできないことがある
できることを考えて議論しましょう: 「科学官」経験者としての助言

火山観測研究の歴史

火山観測の始まり 1910年有珠山噴火 → 火山地震観測の有効性を証明

1928年阿蘇火山観測所(京大理), 1933年浅間火山観測所(東大地震研), 1959年伊豆大島観測所(東大地震研), 1960年桜島火山観測所(京大防災研), 1962年島原火山観測所(九大), 1964年霧島火山観測所(東大地震研)



火山観測研究における直面する危機（財政）

- 老朽化した観測網維持の困難さ
- 年々厳しくなる運営費交付金
- 年々厳しくなる人員（研究者・技術支援者）
- 火山観測網整備の長期ビジョン構築が困難
- 火山活動発生頻度の少なさ⇒費用対効果

高等局予算 T大学Z研究所

2009(H21) 1.0
 施設経費 1.0
 維持費 1.0

2014(H26) 0.68
 施設経費 0.72
 維持費 0.49

2019(R01) 0.62
 施設経費 0.63
 維持費 0.56

研究振興局予算 予知事業費（火山）

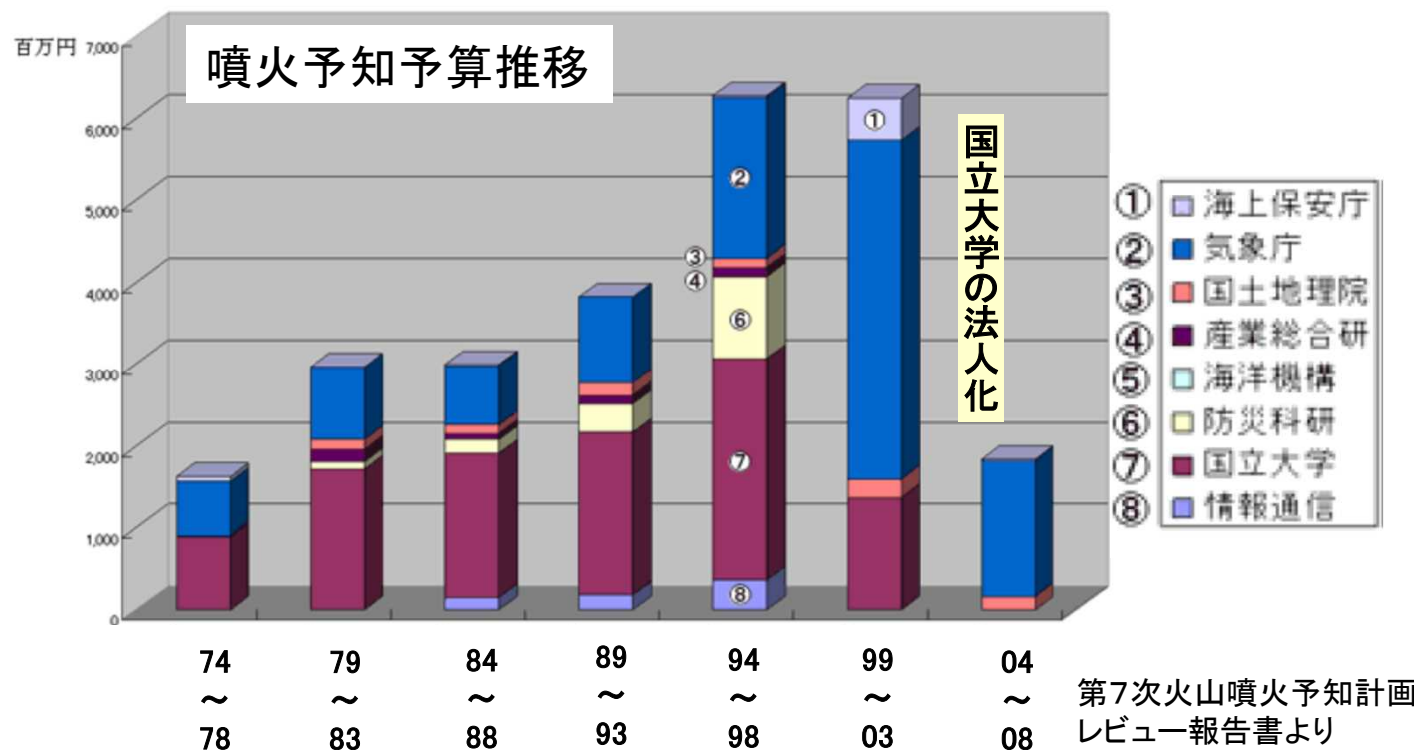
2009（H21） 1.0
 火山関連全機関合計

2014（H26） 1.30

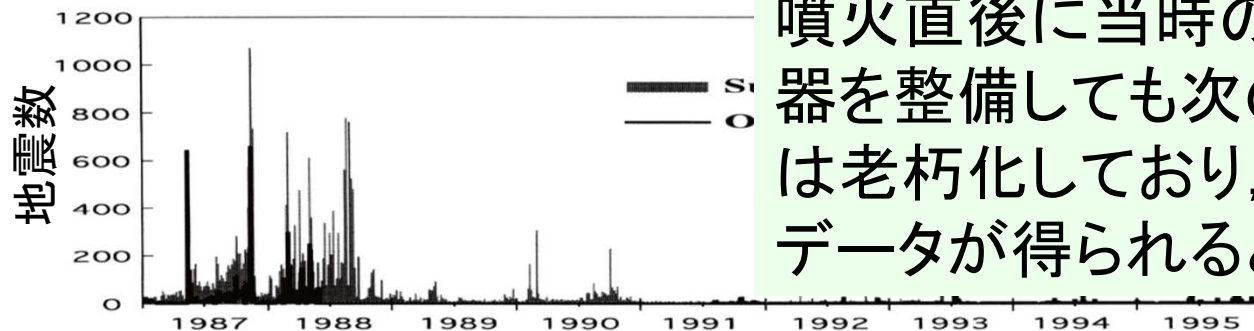
同上

2019（R01） 1.10

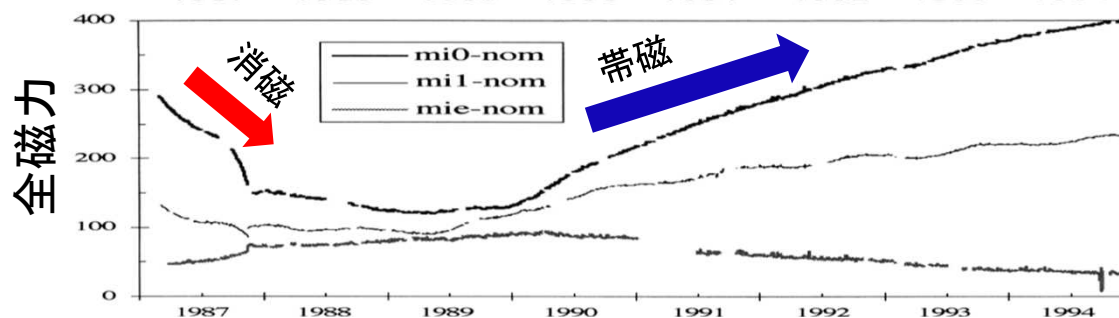
同上



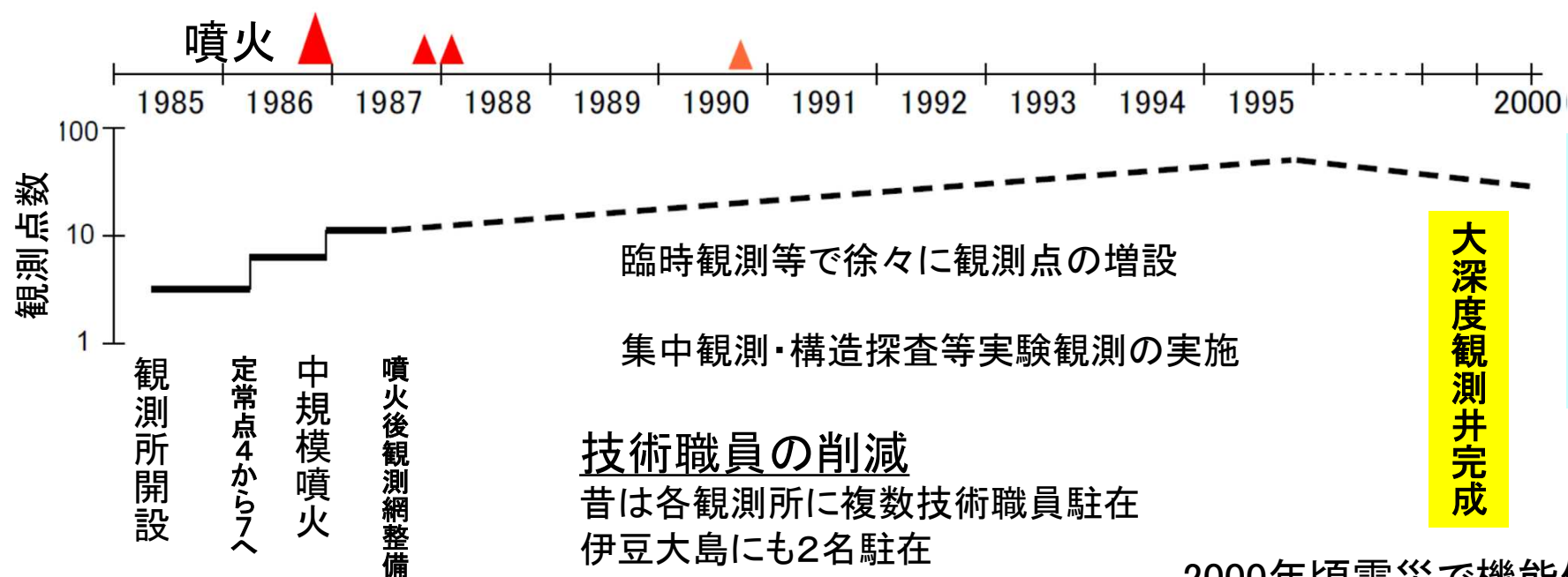
火山観測網の整備例：伊豆大島



噴火直後に当時の最新鋭の機器を整備しても次の噴火の時には老朽化しており、十分な観測データが得られるとは限らない



最充実していたのは噴火と噴火の間頃？



火山噴火予知計画と地震予知研究計画の統合

- ・ 第7次火山噴火予知計画レビュー
平成19(2007)年1月

Ⅱ. 実施状況

1. 火山観測研究の強化
2. 火山噴火予知高度化のための基礎研究の推進
3. 火山噴火予知体制の整備
4. 特定火山の評価
 - (1) 浅間山
 - (2) 三宅島

火山毎(期間内に発生した噴火事象)に焦点

建議の記述内容・成果が火山噴火予知連の活動そのもの

2007年 気象庁噴火警報導入

- ・ 地震及び火山噴火予知のための観測研究レビュー

事象の解明を目標
研究の体系化へ志向

2. 主な火山噴火

- (1) 桜島
- (2) 霧島山(新燃岳)

V. 実施状況

1. 地震・火山現象予測のための観測研究成果
 - (2-2) 噴火予測システム(噴火シナリオ)
2. 地震・火山現象解明のための観測研究の推進
 - (2-1) 火山噴火準備過程
 - (3-3) 火山噴火過程
 - (4) 地震発生・火山噴火素過程
3. 新たな観測技術の開発
4. 計画推進のための体制の整備

火山噴火予知連絡会

• 設置経緯

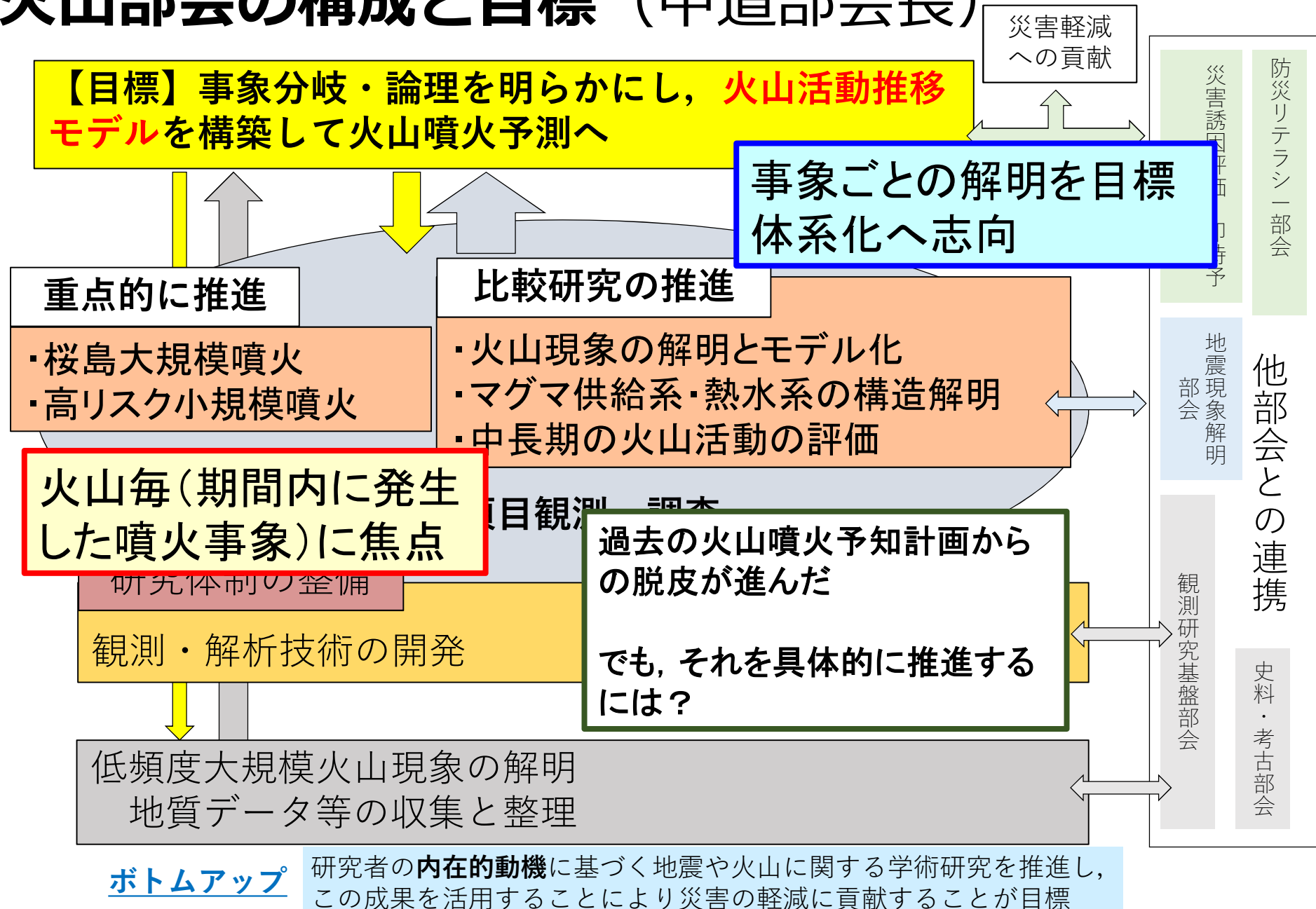
火山噴火予知計画(文部省測地学審議会(現文部科学省科学技術・学術審議会測地学分科会)の建議)により、関係機関の研究及び業務に関する成果及び情報の交換、火山現象についての総合的判断を行うこと等を目的として、昭和49年に火山噴火予知連絡会が設置された

審議会整理で、「予知連」は気象庁長官の私的諮問機関になった。
現在の予知連は、ほとんど任務2に専念している。(噴火警報が重要)
現今の火山観測研究体制危機について予知連は効力がない。

• 任務

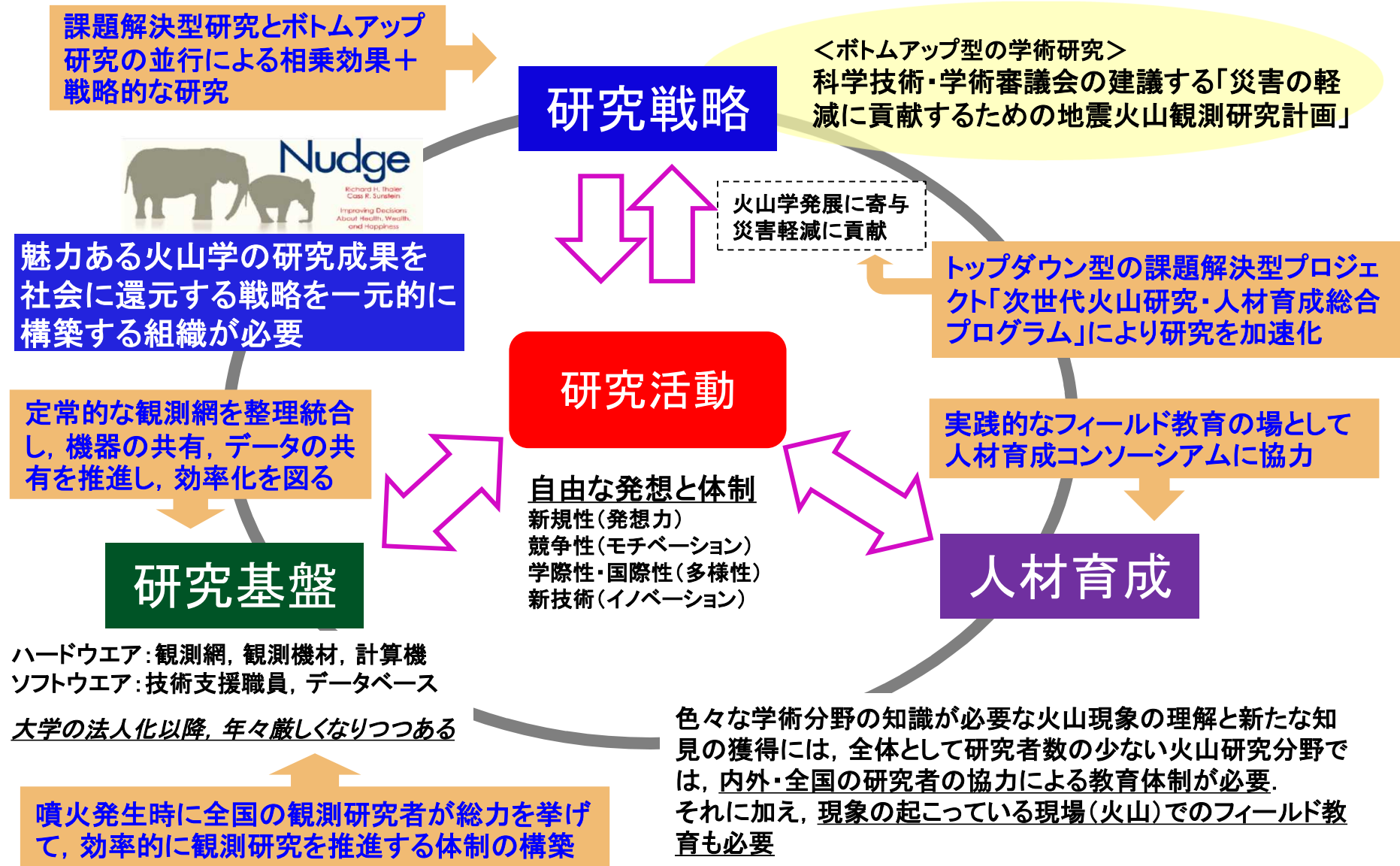
1. 関係諸機関の研究及び業務に関する成果・情報を交換し、各機関における火山噴火予知に関する研究及び技術の促進を図る
2. 火山噴火の際して、噴火現象について総合判断を行い、火山情報の質の向上を図ることにより防災活動に資する
3. 火山噴火予知に関する研究および観測の体制の整備のための施策について総合的に検討する

火山部会の構成と目標（中道部会長）



望まれる火山観測研究体制：火山プロジェクト構想時考えたこと

火山国である日本における火山学は、ダイナミックな自然現象を対象とする魅力的な学術分野であると同時に、災害の軽減に貢献するという社会の要請と期待を受けた学術分野である。



火山観測研究体制の問題点

- 運営費交付金の漸減, 定常的観測網の老朽化, 技術支援職員の漸減, 若手研究者の減少等により, 非常な困難に面している.
- 国家財政を考えると, これまでのスタイルのままです予算や定員の増額は望めない.
- 多くの大学・研究機関が地元の火山中心に研究を進めている現状で, 大きな噴火現象が起きた時に対応できるか

根本的な改革を志向する必要がある

→ コロナ禍の東大総長のメッセージ

Society 5.0

→ 内閣府「火山研究連携機構(仮称)」

新型コロナウイルス感染症に関連する対応について

2020年5月12日

東京大学の学生・教職員のみなさん

外出の自粛が続いていますが、みなさんは元気に過ごしておられるでしょうか。

新型コロナウイルス感染症（COVID-19）の世界的な拡大によって、これまでにない規模での被害や生活の変化が生まれています。病と闘う最前線の医療の現場では、日々過酷な業務が続いています。新型コロナウイルス感染症医療に従事されている教職員のみなさんに、心からの敬意と感謝の意をお伝えしたいと思います。

まだ治療における特效薬は模索中で、3密（密閉・密集・密接）の危険性を意識した人びとの自発的な行動変容が、感染拡大と被害を低減させる唯一の道となっています。その中で、国の緊急事態宣言と東京都の緊急事態措置は、5月31日まで延長されました。この措置は、研究・教育の場としての大学の基本機能を厳しく制限するもので、人と人とのコミュニケーションが重要な役割を担う大学にとって、大変つらい状況が続くことを意味します。しかし、教職員・学生のみなさんのみならず、社会全体の人びとの安全に関わることで、東京大学としても、これまでの行動制限レベル3を国の緊急事態宣言と東京都の緊急事態措置が解除されるまで延長することと致しました。

感染症との戦いは長期化しますが、この困難と向かいあい克服を模索する期間は、新しい形の研究教育のあり方を創り出す、貴重な実験の期間でもあります。新しい形での友人たちとのコミュニケーションを育み、同じ危機と闘っている世界に視野を広げる、絶好の機会でもあるのです。学生のみなさんには、東京大学としてできるかぎりの経済支援や学習環境の整備をいたしますので、不安や焦りにとらわれることなく、前向きに取り組んでください。教職員・学生がともに知恵を出しあって、新しい東京大学とより良い社会をつくるためにがんばっていきましょう。

すでに東京大学はこの緊急事態に対し、学生のみなさんの勉学研究の機会を確保するため、新学期の講義をすべてオンラインへと転換しました。学生のみなさんには、家で受講できるように、ルーターやPCの貸し出しを行っています。それにより、オンライン学習の環境はかなり整い、多くの講義がオンラインで開講できています。もちろん不自由なことも多いのですが、学生のみなさんからは、多様な講義を取りやすくなった、復習がやりやすいというような感想も聞いています。オンラインの講義は、多くの教員にとっても新しい経験で、そこでの発見もありました。個別の学生のみなさんとのやりとりがむしろ通常の教室でよりやりやすくなったという声も聞きます。

しかし、研究や自習に不可欠の図書館は基本的に閉鎖した状態であり、対面でのコミュニケーションやキャンパスの実験施設の利用が欠かせない実習などはまだ始めることはできていません。特に新入生のみなさんは、心待ちにしていた東京大学キャンパスでの学びがはじまらず、東京大学の学生としての実感をまだ持てていないかもしれません。新学期に再び仲間たちとの勉学や課題活動を楽しんでいたみなさんも、残念な気持ちでいるでしょう。

一方で、このコロナ禍は少なからず学生のみなさんの生活環境を変えています。特に、経済的に苦しくなるよう、支援のプログラム*を整えました。是非、遠慮せずに積極的に活用してください。外出自粛の時に友人たちとのネットを通じた交流を深めるなどして、一人で悩みを抱え込まないことが大切です。東京大学の教職員のみなさんも、多くの方が在宅での仕事を余儀なくされ、身近な同僚やスタッフとすぐに相談や議論しておられると思います。この状況はさらにしばらく続くことになりませんが、どうかこうした環境のポジティブに思っています。強いられた在宅の時間は、視野を広げる絶好の機会となるかもしれません。

コロナ禍をチャンスととらえ、
新たな社会を作りましょう

今私たちは、コロナ禍と戦う中で、テレワーク、オンラインでの授業や診療といった新しい取組をすすめています。じつはこれらは、すべてSociety5.0という新しい社会に向けた準備ともなっています。

私がこれまでいろいろなところで述べてきたように、現代社会は今、大きな転換点に立っています。バーチャルな世界の融合が急速にすすんでいます。知識や情報が社会経済の価値の課題を乗り越え、多様な人びとがそれぞれ個性を活かして社会に貢献できる包摂的な社会をつくる。わち、私たちはコロナ感染症拡大への対処のなかで、サイバー空間の積極的な活用を推進しているように、コロナ禍が終息した後の世界は、デジタル革新がもたらす技術の活用が高まると期待されています。そこでは、サイバー空間の活用によって、リアルな空間とつながれた研究教育の環境の中で、デジタル技術を積極的に活用した優れた取り組みの情報を共有し、イメージを膨らませていただけたらと思います。

コロナ禍によりSociety5.0への
転換を知らず知らずのうちに進
めている（遠隔授業・在宅勤務）

緊急事態宣言が継続される一方で、少し明るい兆しもあります。日々報告される感染者数は、着実に減少しています。安全を確保しつつ、対面での教育や研究室での活動を限定的ではありますが、行えるようになる日が視野に入ってきました。その状況になってもなお、感染拡大防止を最優先にしなければならないことは変わりません。いわゆる3密（密閉・密集・密接）の回避を維持しながらどのように活動すれば良いのか、今から良く検討しておく必要があります。

感染症との共生は、行動の単なる制限ではなく、より良い社会の構築に必要です。困難な時代ではありますが、希望をもち、

コロナ禍が終われば新しい
明るい未来が待っている

みなさんの創意と努力の積み重ねは、Society5.0が掲げるインクルーシブで地球規模な社会を実現するために、全力で支援していきます。

東京大学総長
五神 真

第5期科学技術基本計画

ICTの進化等により、社会・経済の構造が日々大きく変化する「大変革時代」
国内外の課題が増大、複雑化する中で科学技術イノベーション推進の必要性

新たな社会 “Society 5.0”

5.0



1.0
Society 1.0 狩猟

2.0
Society 2.0 農耕

3.0
Society 3.0 工業

4.0

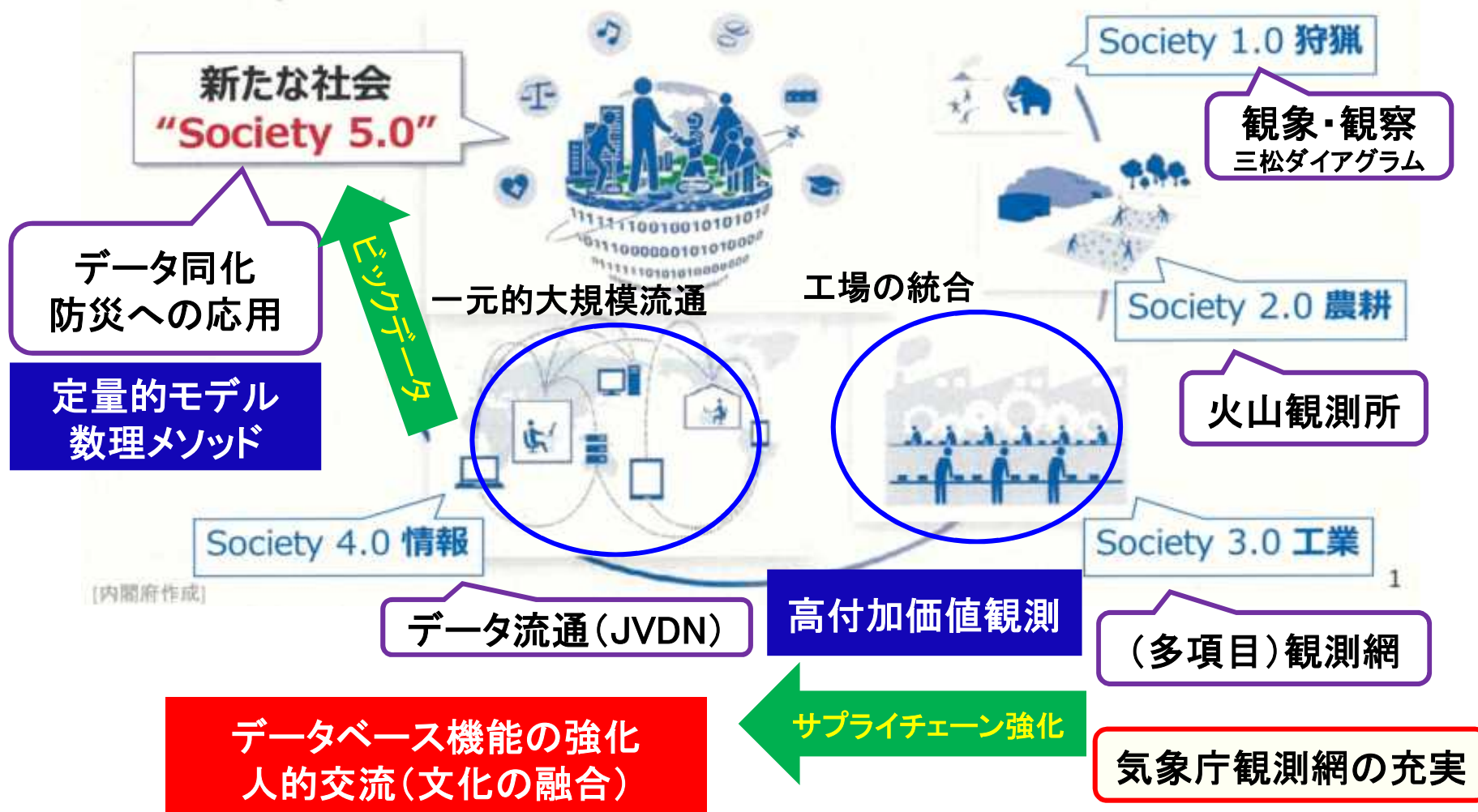
Society 4.0 情報

内閣府資料

Society 5.0とは

サイバー空間とフィジカル（現実）空間を高度に融合させたシステムにより、
経済発展と社会的課題の解決を両立する、
人間中心の**社会（Society）**

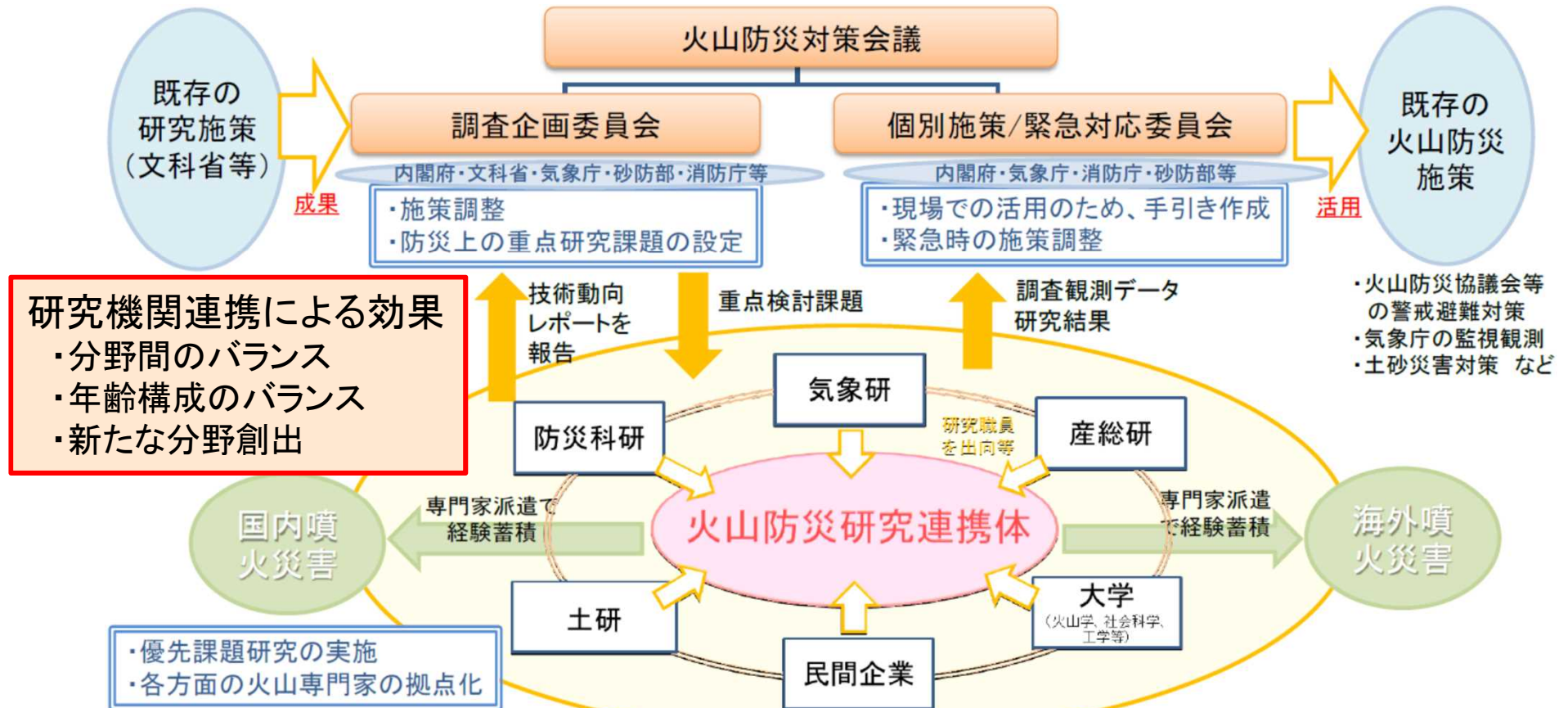
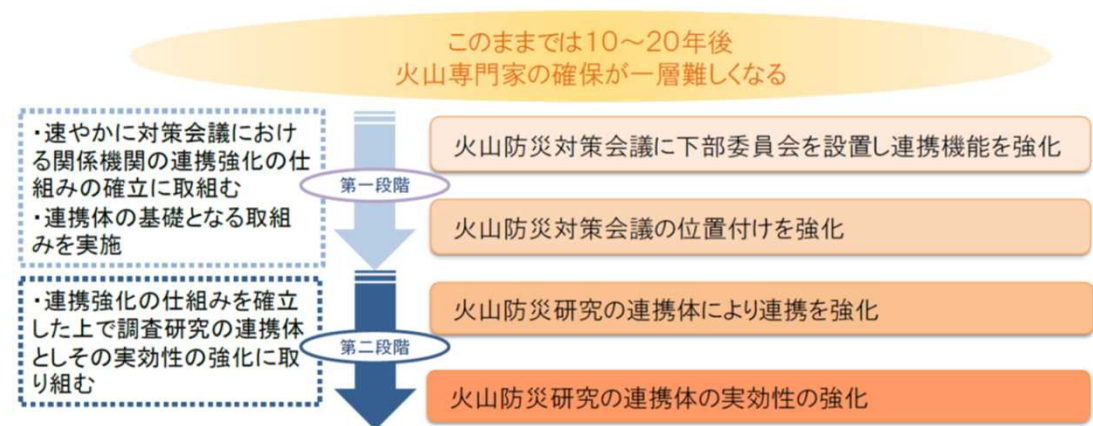
目指せ火山観測研究5.0



内閣府 火山対策会議

「あるべき火山防災体制」

- 火山監視に最新の研究成果を取り入れやすい体制
- 火山専門家の持続的な確保・育成
- 充実した観測体制の下，先端的な基礎研究の推進



The 2018 rift eruption and summit collapse of Kīlauea Volcano

C. A. Neal^{1*}, S. R. Brantley¹, L. Antolik¹, J. L. Babb¹, M. Burgess¹, K. Calles¹, M. Cappos¹, J. C. Chang¹, S. Conway¹, L. Desmither¹, P. Dotray¹, T. Elias¹, P. Fukunaga¹, S. Fuke¹, I. A. Johanson¹, K. Kamibayashi¹, J. Kauahikaua¹, R. L. Lee¹, S. Pekalib¹, A. Miklius¹, W. Million¹, C. J. Moniz¹, P. A. Nadeau¹, P. Okubo¹, C. Parcheta¹, M. R. Patrick¹, B. Shiro¹, D. A. Swanson¹, W. Tollett¹, F. Trusdell¹, E. F. Younger¹, M. H. Zoeller², E. K. Montgomery-Brown^{3*}, K. R. Anderson³, M. P. Poland⁴, J. L. Ball⁵, J. Bard⁵, M. Coombs⁶, H. R. Dietterich⁶, C. Kern⁵, W. A. Thelen⁵, P. F. Cervelli⁶, T. Orr⁶, B. F. Houghton⁷, C. Gansecki⁸, R. Hazlett⁸, P. Lundgren⁹, A. K. Diefenbach⁵, A. H. Lerner¹⁰, G. Waite¹¹, P. Kelly⁵, L. Clor⁵, C. Werner¹², K. Mulliken¹³, G. Fisher¹⁴, D. Damby³

In 2018, Kīlauea Volcano experienced its largest lower East Rift Zone (LERZ) eruption and caldera collapse in at least 200 years. After collapse of the Pu'u 'Ō'ō vent on 30 April, magma propagated downrift. Eruptive fissures opened in the LERZ on 3 May, eventually extending ~6.8 kilometers. A 4 May earthquake [moment magnitude (M_w) 6.9] produced ~5 meters of fault slip. Lava erupted at rates exceeding 100 cubic meters per second, eventually covering 35.5 square kilometers. The summit magma system partially drained, producing minor explosions and near-daily collapses releasing energy equivalent to M_w 4.7 to 5.4 earthquakes. Activity declined rapidly on 4 August. Summit collapse and lava flow volume estimates are roughly equivalent—about 0.8 cubic kilometers. Careful historical observation and monitoring of Kīlauea enabled successful forecasting of hazardous events.

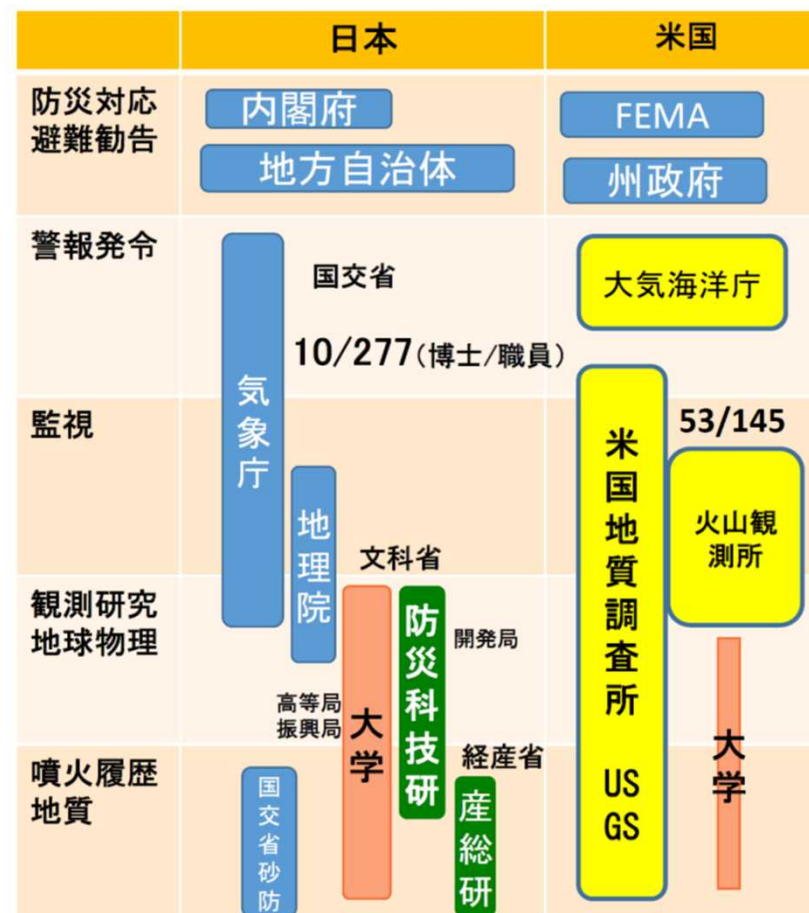
観測計画の策定： 自由な発想と高い学識
 観測の実施： 行政機関としての組織力
 情報の発表： 行政機関としての責任感

大規模な観測を実施し、それを社会に発信するには、専門性と組織力が必要。職員の1/3が博士号を取得者であるような専門性の高い行政機関は日本に存在しない

2018年ハワイ噴火に際しては、国の行政機関であるUSGSが、防災上も学術上も目覚ましい成果を上げた

アウトリーチも素晴らしかった

火山ハザードに関する調査・研究体制



内閣府火山対策会議(第6回)H29.6.23 資料 一部改変

諸外国では多くの研究者が集結し、魅力ある研究を組織的に推進している
これは Hazard Research Program

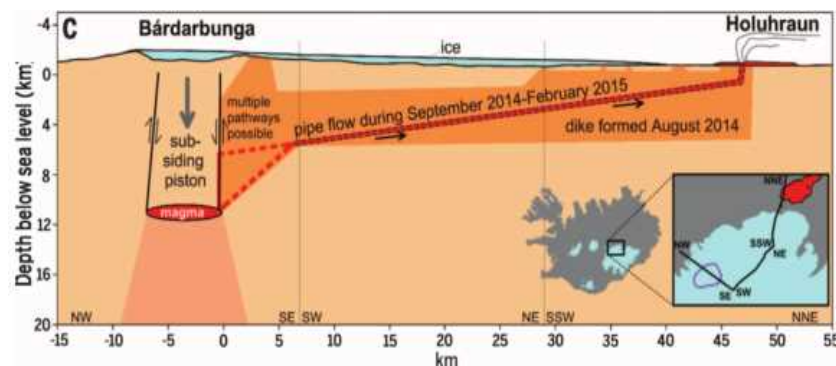
RESEARCH ARTICLE SUMMARY

VOLCANOLOGY



Gradual caldera collapse at Bárðarbunga volcano, Iceland, regulated by lateral magma outflow

Magnús T. Gudmundsson, * Kristín Jónsdóttir, Andrew Hooper, Eoghan P. Holohan, Sæmundur Ari Halldórsson, Benedikt G. Ófeigsson, Simone Cesca, Kristín S. Vogfjörð, Freysteinn Sigmundsson, Thórdís Högnadóttir, Páll Einarsson, Olgeir Sigmarrson, Alexander H. Jarosch, Kristján Jónasson, Eyjólfur Magnússon, Sigrún Hreinsdóttir, Marco Bagnardi, Michelle M. Parks, Vala Hjörleifsdóttir, Finnur Pálsson, Thomas R. Walter, Martin P. J. Schöpfer, Sebastian Heimann, Hannah I. Reynolds, Stéphanie Dumont, Eniko Bali, Gudmundur H. Gudfinnsson, Torsten Dahm, Matthew J. Roberts, Martin Hensch, Joaquín M. C. Belart, Karsten Spaans, Sigurdur Jakobsson, Gunnar B. Gudmundsson, Hildur M. Fridriksdóttir, Vincent Drouin, Tobias Dürig, Guðfinna Aðalgeirsdóttir, Morten S. Riishuus, Gro B. M. Pedersen, Tayo van Boeckel, Björn Oddsson, Melissa A. Pfeffer, Sara Barsotti, Baldur Bergsson, Amy Donovan, Mike R. Burton, Alessandro Aiuppa



FUTUREVOLC is a **26-partner project funded by FP7 Environment Programme of the European Commission**, addressing topic “Long-term monitoring experiment in geologically active regions of Europe prone to natural hazards: the Supersite concept”. The project started 1 October 2012 and has duration of 3.5 years. The supersite concept implies integration of space and ground based observations for improved monitoring and evaluation of volcanic hazards, and open data policy. The project is led by University of Iceland together with the Icelandic Meteorological Office.

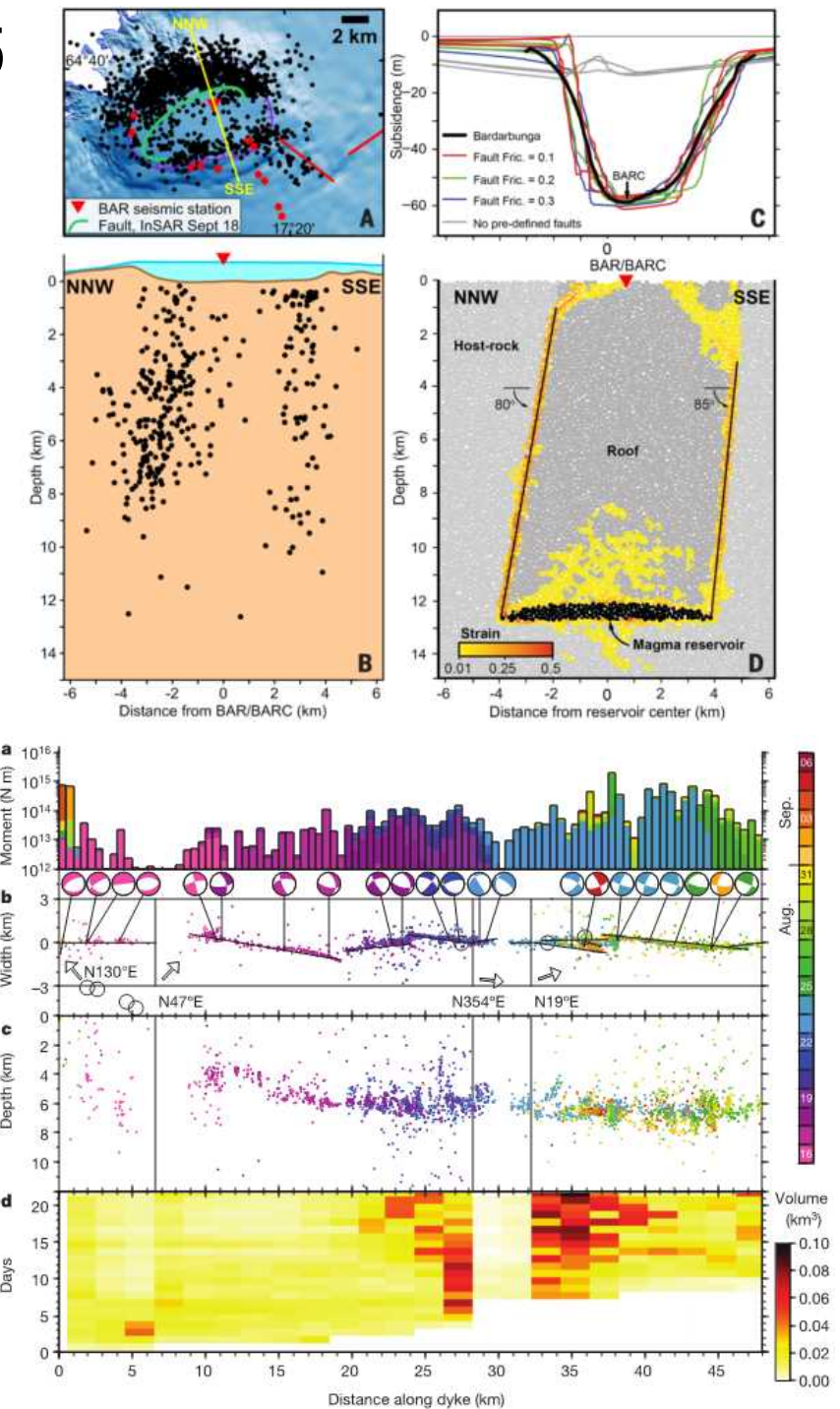
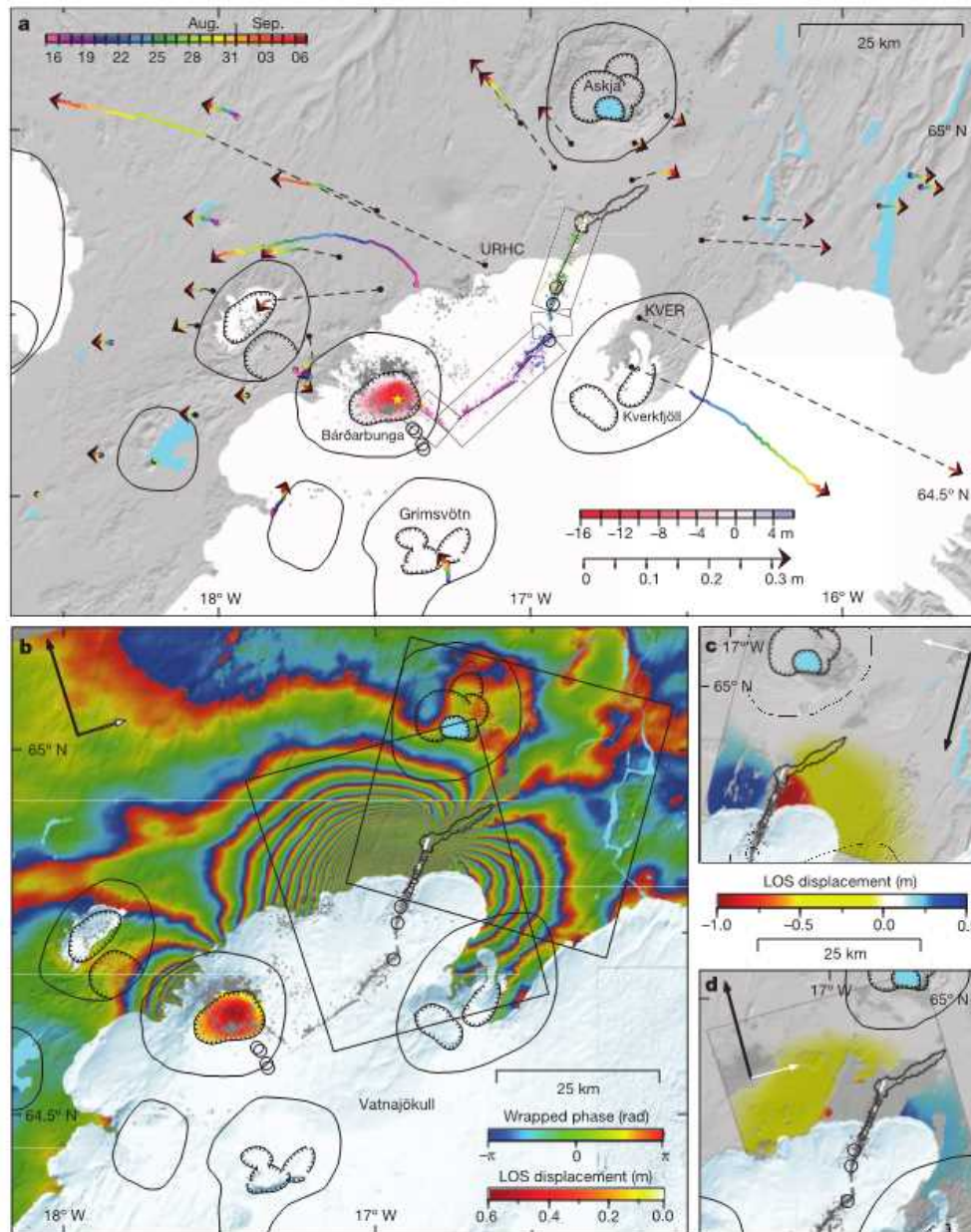
The study area includes the most active volcanoes in Iceland including **Bárðarbunga, Grimsvötn, Askja, Hekla, Katla and Eyjafjallajökull**

Following this award, a considerable amount of satellite data was made available for both past and future satellite acquisitions, including new X-band images and historic C-band images. Satellite data awarded includes new COSMO-Skymed, TerraSAR-X and Radarsat-2 images.



Bardarbunga volcano 2014–2015

多数の学術成果



噴火時の大規模観測：普段の活動計画も重要

噴火時の高度な研究活動の実施には普段から組織的研究が必須

○計画的な観測研究（「比較研究」を系統的に行う）

例：標準モデル構築を念頭にした観測（場所、観測密度をデザイン）

○これまでと異なった手法による観測、これまでなかった観測量：システム開発

例：新たな観測手法、これまでにない精度の観測の志向

レーダー・SAR干渉解析（リモート）、ドローン・ロボット（無人化）、ガス連続観測、稠密多項目観測

○新たな解析手法に適した観測

例：長周期地震動（2000年頃）、Infrasonic、地震波干渉法、レーダ画像処理、AIによる処理

これらを実現するには、観測の“高度工業化”：工場の統合

個人商店から企業体へ（永続できる組織体、特定の個人に依存しすぎない）

本社機能：研究戦略の立案

データ一元化とベースの充実→生産性向上への活用

工場機能：機材の整備、メンテナンスのシステム化

観測支援体制の充実

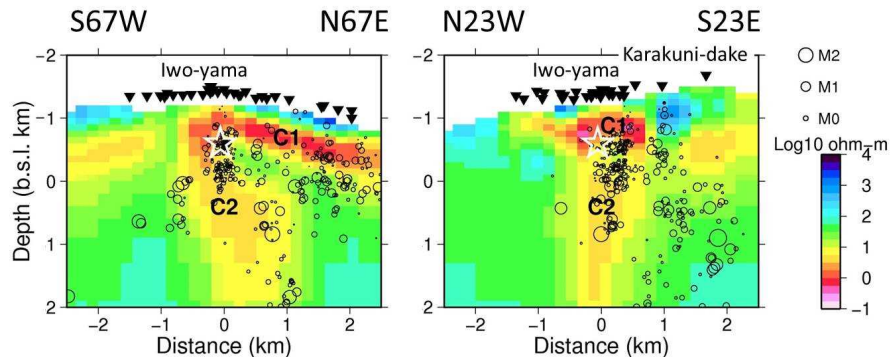
普段の活動の例(個人的な構想): 皆様も独自で考えてほしい 私の構想: 比較研究をどのように具体的に進めるか

比較研究は構造や火山活動の類似点と相違点に注目する

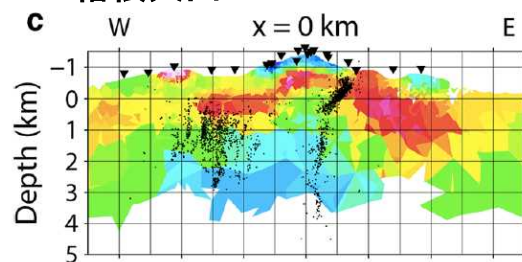


標準モデル

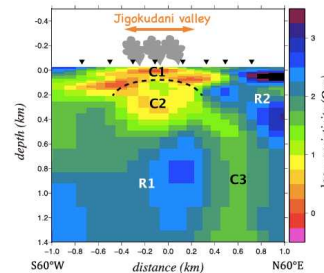
霧島山硫黄山の地下比抵抗構造と震源分布



箱根火山



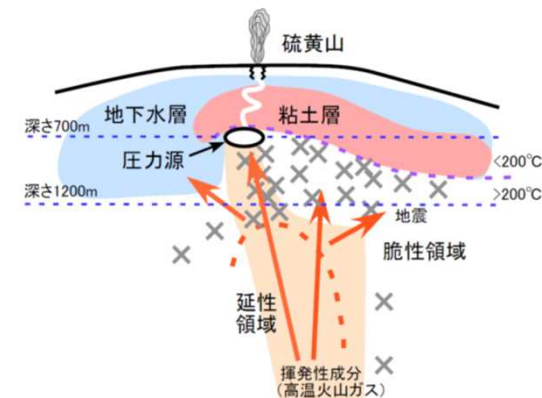
弥陀ヶ原(立山)



火山PJ 課題Bサブテーマ4中間評価

水蒸気噴火の準備過程標準モデル

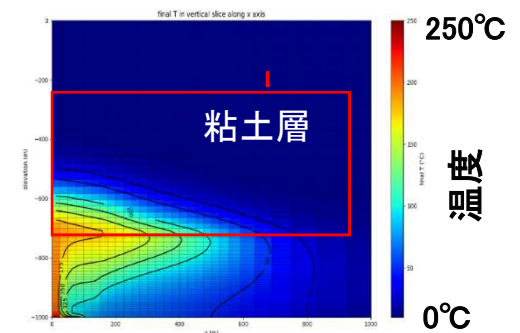
1. 地下に熱水を蓄積しやすい山体構造
2. 事前に深部でマグマ供給(広域地盤変動)
3. 浅部地震活動の活発化
4. 噴気・火山ガスの発生
5. 直前に浅部での増圧(局所的地盤変動)

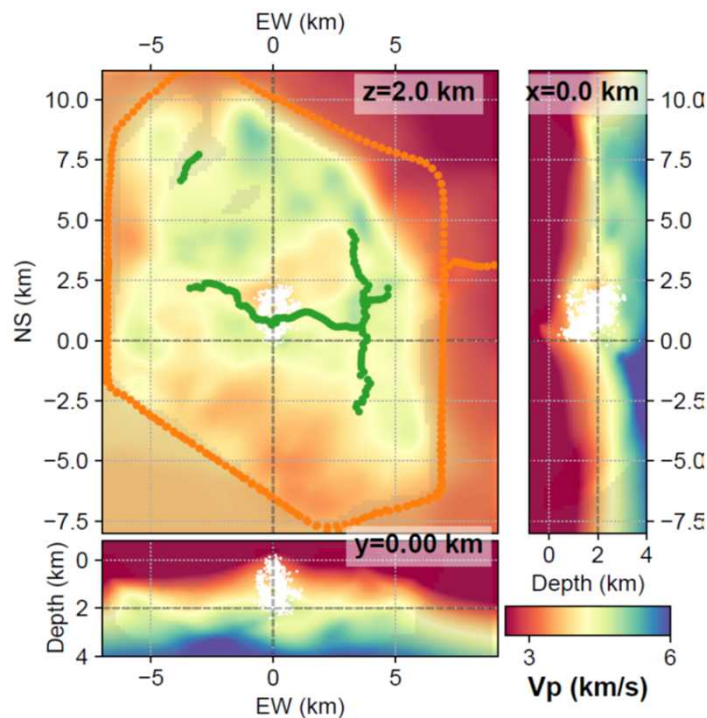


水蒸気噴火発生場について、共通に見られる浅部の地下比抵抗構造(粘土層と思われる低比抵抗層の広がり)が見られることが確認できた。しかし、低比抵抗=粘土層とは限らない。下部に熱水の存在の確認が必要。

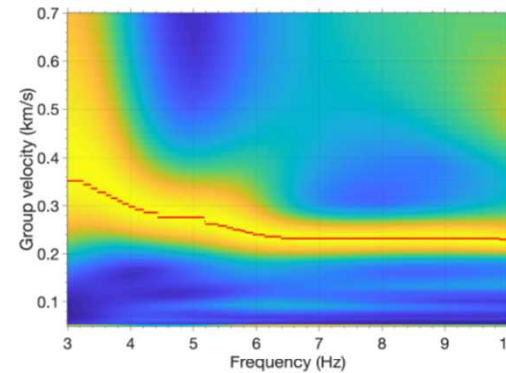
同程度の空間分解能で地震波速度分布の推定が必要

透水率(比抵抗を反映)、弾性率(地震波速度を反映)のマルチパラメーターで地下状態をモニターし、シミュレーションによる温度場の推定(右図)を合わせることで、水蒸気噴火の理解と噴火切迫性評価の高度化につながる。



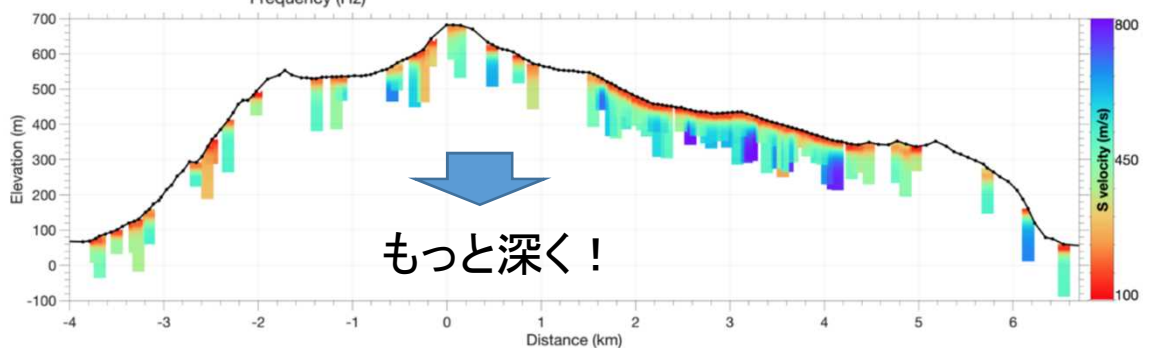


Noise correlation Dispersion



地震計: 4.5Hz 速度計
解析時間: 約72時間

Ambient Noise解析で
詳細な構造が出そう



新型地震計 = 広帯域加速度計



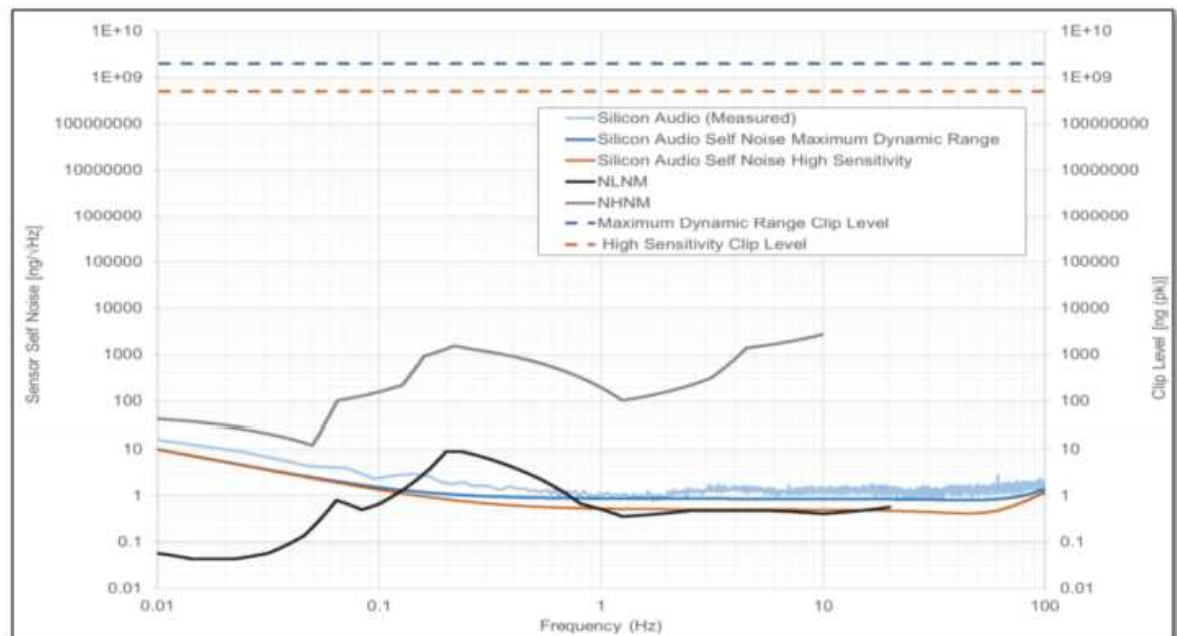
レーザー干渉計
による振子計測
⇒高分解能

小型 直径8cm
高さ12cm
低消費電力
低価格

周期10秒までの
信号取得可能

深さ~5km程度

加速度計であるため
設置取り扱い容易



まとめ

- これまでのシステムや考え方を継続することは財政的、人的資源の点から不可能・不可逆
- 建議による観測研究計画も「個別火山」中心から「比較研究(火山現象解明)」中心に路線変更(10年前～現在)
- 新たな価値観の創成に向けて、今こそ火山観測5.0を目指すべき : 大規模な機動観測, 一元的データ流通充実

これまで観測網構築(工業化)で学術をリードしてきたが、気象庁の観測網の整備が進んだので、将来の火山防災に資する新たな学術を創出する方向に転換すべき時期

- 単独機関で実施困難な点も多いので緩やかな統合
- 既存のデータも活用しながら、新たなデータの取得
- 目的を明確にした組織的体系的観測研究
- それを支える仕組・体制

火山観測3.0を生きてきた者からの遺言