

# 物質科学分析の中核拠点具体化について —噴火時の噴出物機動解析体制—

下司信夫

九州大学 理学研究院 地球惑星科学部門

# 噴出物を用いて行うべき調査・研究の基本目標

総合基本施策・調査観測計画部会による、当面10年間に推進する火山に関する総合的な調査観測に関する事項において、物質科学分析体制の構築が掲げられており、その基本目標として基盤的・機動的な調査観測のための物質科学分析体制の構築が設定されている

「当面10年間に推進すべき火山に関する調査及び研究のうち物質科学的に進めるべきこと」に示された6つの項目

- ①噴火事象系統樹の高度化、階段ダイアグラムの高精度化、及びそれらの作成手順の標準化
- ②岩石鉱物学的手法に基づく熱水・マグマ蓄積条件の高精度推定に関する研究
- ③噴火の規模や様式を即時把握する手法の開発
- ④火山ガス・噴出物データに基づく火山活動の評価手法の標準化
- ⑤火山灰等の降下火砕物の把握及びその試料の分析手法の標準化
- ⑥噴火の規模や様式の即時把握、降下火砕物の把握及びその試料の分析手法の標準化

# 噴出物を用いて行うべき調査・研究

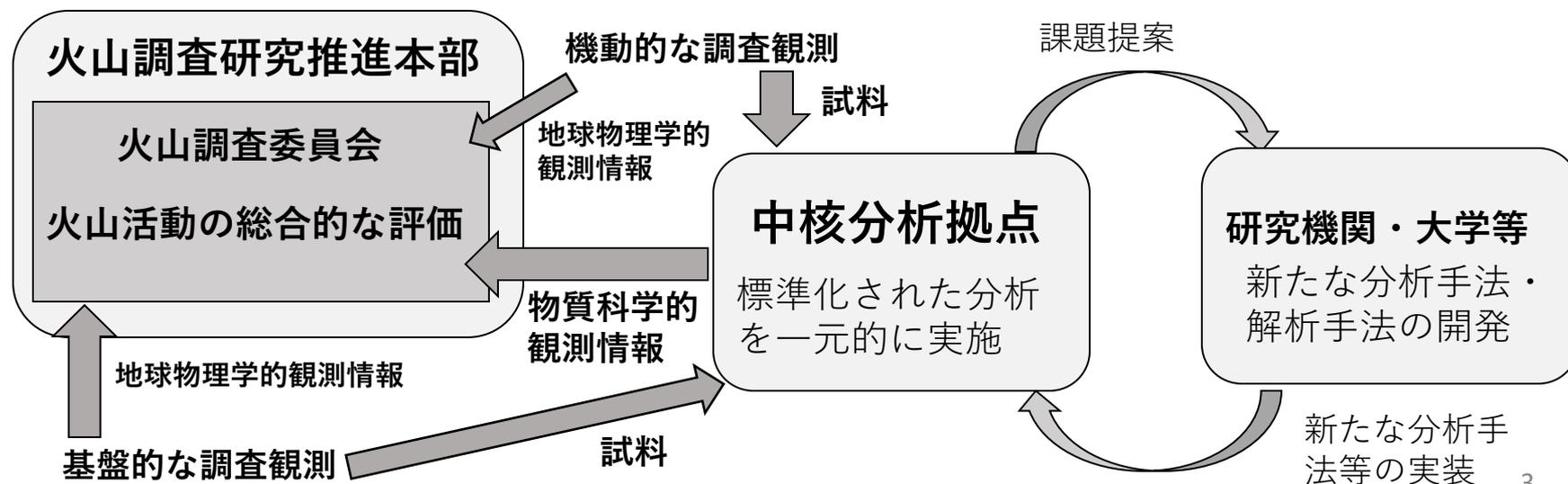
## 「物質科学分析体制構築」により達成すべき「目標」

- 噴火発生時における噴火種類の判別とそれによる**噴火推移予測** 「項目」③④⑤⑥
- 噴火継続時に噴火様式の変化の把握とそれによる**噴火推移予測** 「項目」③④⑤⑥
- 噴火推移予測のため、対象とする火山の状態（火山の時間・空間的、活動状態などの条件）の把握、**データベース整備** 「項目」①②

そのための手段として噴火時および平時の「物質科学分析体制の構築」を実施する

## 物質科学的な中核分析拠点が求められる機能

- 噴火発生時に火山に関する物質科学的分析を一元的且つ継続的な体制で実施できること
- 地球物理学的観測データとの両輪による多項目データ解析が可能なこと



# 国内の噴火即応体制事例

## 事例1：1990年－1991年雲仙普賢岳

水蒸気噴火からマグマ噴火への移行

- 1990年11月噴火水蒸気噴火、
- 1991年2月からのマグマ水蒸気噴火  
本質物の放出は確認されたが防災に資するような共通見解は出せなかった
- 1991年5月末からの溶岩ドーム噴出。

## 事例2：2000年三宅島

水蒸気噴火からマグマ噴火への移行

- 2000年6月海底割れ目噴火
- 7月～8月にかけて山頂陥没カルデラからのマグマ水蒸気噴火  
マグマ噴火の推移把握へ繋がる本質物の放出の認定で混乱

## 事例3：2008－2011年霧島新燃岳

水蒸気噴火からマグマ噴火への移行

- 2008年水蒸気噴火噴出物にわずかな本質物、二酸化硫黄放出の確認
- 2010年後半からの二酸化硫黄放出量増加
- 2011年1月、準プリニー式噴火の1週間前に発泡したマグマ物質放出開始　マグマ噴火への移行の事前把握　→　実際の準プリニー式噴火開始には情報共有が間に合わず

火山灰構成物の肉眼顕微鏡観察による変化の追跡に頼っている

本質物等の噴火推移マーカーの認定方法の未確立

噴出物のモニタリングとそれによる噴火推移把握の情報収集・発信体制の未確立

# 海外の噴出物の即時解析による噴火解析事例

## 事例 1 : 2018年米国ハワイ州キラウエア火山噴火

イーストリフトゾーン下部へのダイク貫入、割れ目噴火、ハレマウマウカルデラの陥没と水蒸気爆発

**米国地質調査所Hawaii Volcano Observatoryが主導**して、噴出するマグマの組成などを継続的に観測

- 初期に噴出した分化した安山岩質マグマから、噴火後期の大量の未分化な玄武岩質マグマの噴出への変遷をほぼ即時に把握
- 噴火の爆発性の評価（初期はより爆発的）
- マグマ供給メカニズムを考慮した噴火推移の予測  
(Neal et al. 2018 Natureほか多数)

全岩分析：即時にはほぼ現地でのエネルギー分散XRF

のちにthe Hamilton Analytical Lab, Hamilton College, New York.のWD-XRFで精査

⇒爆発性の評価・溶岩挙動等の即時評価による住民避難などに活用

# 海外の噴出物の即時解析による噴火解析事例

## 事例2：2019年イタリア ストロンボリ火山突発噴火

ストロンボリ山頂火口からの突発噴火

**国立地球物理学火山学研究所 Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia が主導**して、噴出するマグマの組織・組成などを迅速に解析  
(Andronico D. et al. 2021 Nature Commほか多数)

- 微細石基組織・結晶化学組成解析から、結晶量の低い新鮮・高温マグマの注入を検出
- 噴火映像・地震・空振等の記録と合わせて、突発噴火の数週間前からの火道システムの不安定化を検出

→入山規制・住民避難準備などの対策に反映

岩石学的解析：

INGVのエトナ火山観測所（カタールニア）で粒度分析、ピサ支所およびローマ本部の分析システムにてSEM, EPMA, XRFによる化学組成解析を実施

→迅速に噴火状況の情報を発信、Civil Defenceなどに提供

Andronico, D. et al. 2021, Uncovering the eruptive patterns of the 2019 double paroxysm eruption crisis of Stromboli volcano. Nature Comm, 12, 4213

# 海外の噴出物の即時解析による噴火解析体制

イタリア国立地球物理学火山学研究所 **Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia**

## 噴火時に噴出物を解析するルーチン体制を確立

噴出するマグマの組織・組成などを迅速に解析  
(Andronico D. al. 2021 Nature Comほか多数)

エトナ山麓のエトナ火山観測所にて噴出物の特徴（組織・化学組成など）の連続的な調査体制をとっている

噴火発生時に、試料採取を行う職員および基本的な解析を行う職員を割り当てており、ほぼ即時に噴出物の特徴等を把握できる体制をとっている。

ストロンボリ山の噴出物の特性もエトナ火山観測所の所掌であるが、離島火山であり島内のアクセスも容易ではないことから、物質科学的観測の網羅性はエトナ火山に比べると劣っている。

⇒Civil defense、自治体などに即座に情報提供

⇒入山規制・住民避難準備などの対策に反映

⇒エトナ火山観測所には150人以上の職員

# 海外の噴出物の即時解析による噴火解析体制

Re et al. 2021による世界の火山観測機関における噴出物解析体制のレビュー論文

権利の関係で掲載不可

権利の関係で掲載不可

日本は噴出物の解析を観測項目として組織的に行っていないとみなされている

Re, G. et al. 2021, Petrological monitoring of active volcanoes: A review of existing procedures to achieve best practices and operative protocols . JVGR, 419, 107365

権利の関係で掲載不可

主要な火山観測施設では、噴出物解析・解釈のための研究者の人員配置がなされている

Fieldwork: 機動観測

Laboratory: 分析拠点

に相当する。両方にまたがる人員も多い

**研究者・技術者の配置・共同の重要性**

Re, G. et al. 2021, Petrological monitoring of active volcanoes: A review of existing procedures to achieve best practices and operative protocols . JVGR, 419, 107365

## Re et al. 2021が提案する噴出物解析の流れ

権利の関係で掲載不可

- 即時に解析できることから、より前処理や分析に時間がかかる項目への作業の流れ
- 必要性・緊急性との関連

**噴火時に即時に必要な情報と、より時間をかけて解析できる情報の整理が必要**

# 目的③～⑤のために噴火時の噴出物解析に求められること

## 噴火現状把握と推移予測

### 噴火開始

- 直接的にマグマが噴出する噴火か？
- 地下熱水の間接的な活動か？

最初のサンプルの  
迅速評価が必要

### 噴火継続

- 活動変化の迅速把握

マグマ上昇速度、噴出率変化  
水蒸気噴火からマグマ噴火への移行

噴火時の迅速かつ継続的な  
噴出物モニタリングが必須

## 想定される推移予測情報

### マグマ 噴出の 有無

熱水変質物のみ→水蒸気噴火  
短時間終息の可能性

御嶽山2014、草津白根2017

マグマ物質あり→マグマ噴火  
マグマ上昇の継続によっては  
噴火の拡大ありうる

雲仙岳1990-1995

三宅島2000、新燃岳2008-2018

### 噴出物 時間変化

マグマ上昇速度変化

プリニー式⇔溶岩溢流の推移

桜島1914、新燃岳2011、2018

マグマ上昇による噴火様式変化

雲仙岳1990-1995

新燃岳2008-2011

三宅島2000

# 我が国における噴出物解析体制の課題

## ● 噴火発生時の噴出物分析に生じている問題点

- 実施判断が研究機関・大学等の都合に依存（一貫性・網羅性の問題）
- 分析品質・客観性（分析者・機関の技術・経験に依存）
- 防災情報としての一貫性（分析者の学術的な興味に依存）
- 予算措置の不在（責任性）

我が国の噴出物解析体制の現状は

「個々の研究者・機関の興味による統一性のない場当たりの品質保証のない情報発信」

研究集会での研究発表のような情報発信が続いている

→ 行政としての防災対応に混乱を招く

## ● 設備・体制の問題

研究機関等が別目的で整備している分析設備・機器・人材を用いている

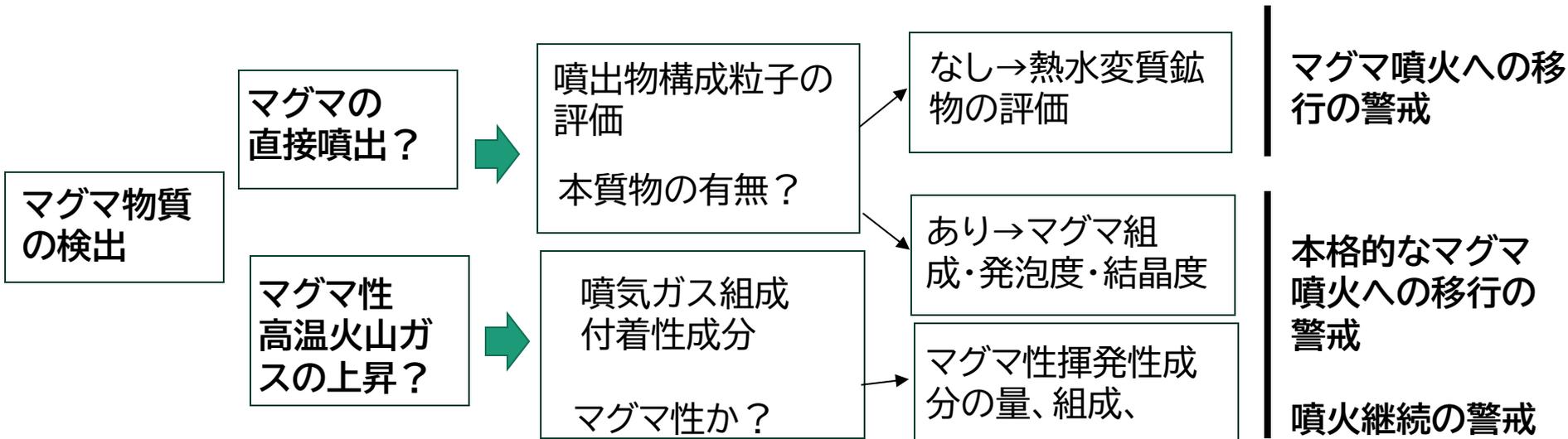
- 他業務とのコンフリクト、噴火即応の困難性  
→ 外部資金により導入された設備を噴火対応に用いることが困難
- 必要な機器の導入・運用コストの確保の困難性  
→ 導入費用・運用費用・スペース確保に課題
- 技術の維持向上の困難性  
→ 実働する分析技術者の確保・次世代の教育に課題

火山噴火観測のための噴出物解析を事業として実施する責任機関が必要

# 噴火開始時の即時評価

マグマ噴火かどうか即時に判断できない場合

(事例: 三宅島2000山頂、新燃岳2011、2017-18、御岳山2014、草津白根2017など)



- 火山灰構成粒子解析  
特に「本質物質」の検出を目的とする
- 噴出ガス成分観測  
火山灰付着性成分の解析

**噴火開始時、態勢が整わない状態でも迅速な情報取得・共有できるシステムが必要**

## 迅速な試料前処理装置

光学顕微鏡(デジタル顕微鏡)  
簡易型の走査電子顕微鏡

ガスクロマトグラフ

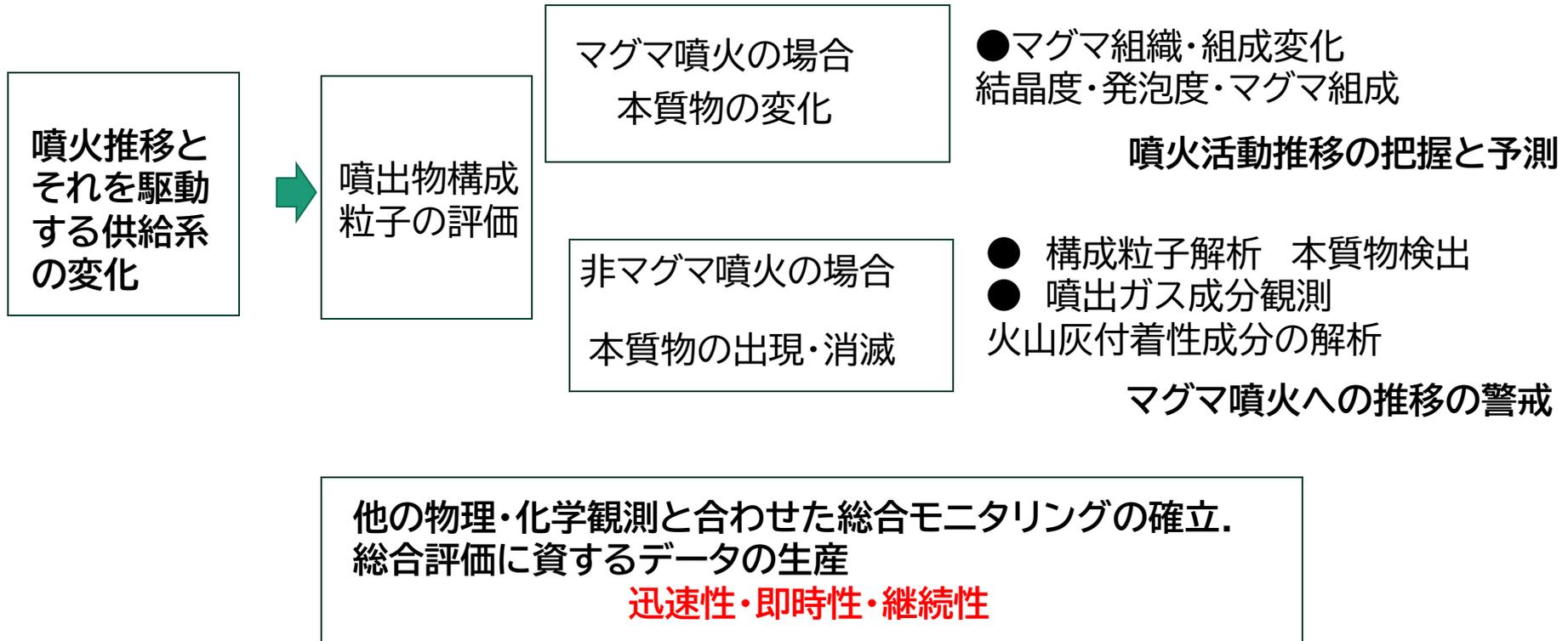
デジタル屈折計 硫酸・希硫酸濃度計

簡単に  
迅速に

- 迅速にデータ取得
- デジタル化による画像データ共有による迅速な情報共有
- AI技術を活用した自動抽出

# 噴火継続中

継続的な監視・評価による噴火推移の予測  
噴火拡大—噴火様式変化—終息の兆候の把握



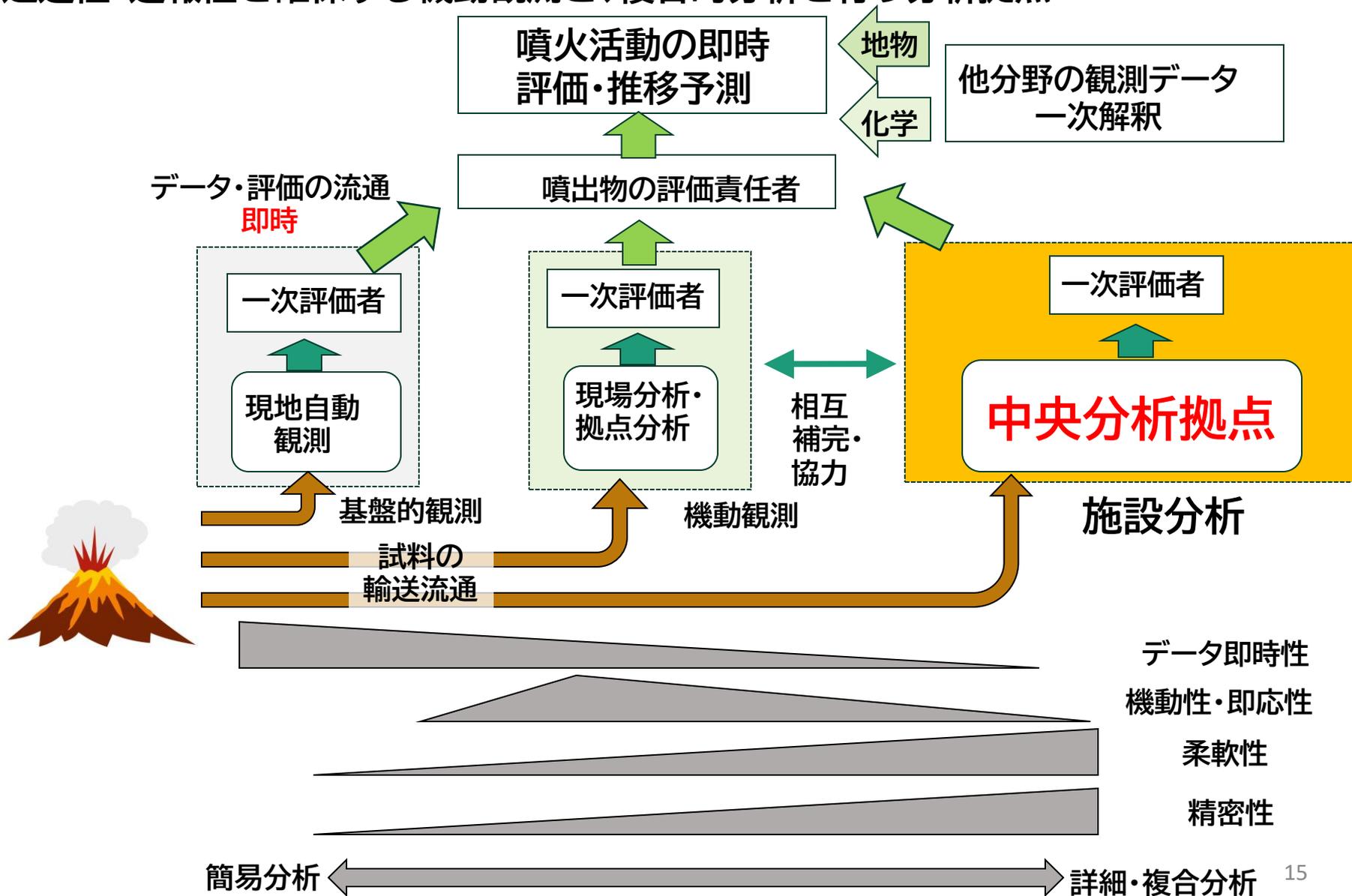
噴火進行に沿って、速やかに情報取得・共有できるシステムが必要

簡易・迅速な情報取得から、より高度な分析による詳細解析まで

時間稠密で簡便な分析と、時間的にはまばらでも精密な詳細分析の両立

# 機動観測と分析拠点との役割分担・連携

迅速性・速報性を確保する機動観測と、複合的分析を行う分析拠点



# 過去データ・理論的データの整備

## 当該火山、あるいは類似火山の過去の活動状況との比較のための火山物質科学データベース整備の必要

- 噴火活動履歴に沿ったマグマ組成の時間変化、どんなマグマがこれまで活動しているか
- マグマの蓄積深さ、マグマ温度、揮発性成分量など
- 熱水系の温度、深さ分布、組成

噴火推移・噴火履歴に紐づけられた物質科学的パラメータの蓄積  
→ 噴火発生時に過去事例との比較を可能とする

## 理論的な裏付けによる噴火推移予測

- マグマ揮発性成分量、発泡度やその時間変化と噴火メカニズムの関連  
→ 地質学的情報に基づく、過去事例に偏った「噴火事象分岐」から、論理的な裏付けのある推移予測へ

過去に発生していないような事例への対応を可能とする

分析拠点生産のデータに限らず、  
大学・研究機関における研究成果を集約する必要



予算削減により、大学・研究機関などの設備整備・維持・更新が困難に

★ 共同利用等による分析機関設備の活用推進

# 噴出物から取得すべき情報

## 発信すべき情報

マグマ噴火か水蒸気噴火か  
マグマ噴火への移行可能性

下記すべて

## 必要な物質科学的情報

• 火山灰粒子構成物  
(マグマ粒子の有無、熱水変質粒子の量(半定量))

## 必要となる設備

デジタル顕微鏡・簡易SEM  
ハンディXRF、可搬型エネルギー分散XRF、可搬型LIBS

↑より機動観測的

分析拠点による解析が主↓

爆発的マグマ噴火の  
発生可能性

マグマ上昇・供給状況  
の監視と予測

熱水上昇・供給状況の  
監視と予測

過去事例に基づく噴火  
推移予測

• マグマ粒子発泡度・結晶量

• マグマ破碎度

• マグマ含水量・揮発性成分組成

• 付着水溶性成分組成

• 熱水鉱物組み合わせ・組成

• マグマ組成

• 斑晶鉱物組成・組織

デジタル顕微鏡、簡易SEM, FE-SEM, レーザスキャナ体積計、MF-X-CT,

レーザー粒度系、カムサイザー

SEM-EDX, 顕微Raman分光、FT-IR

ガスクロマト

LIBS, 顕微Raman分光、XRD

XRF, ICP-MS

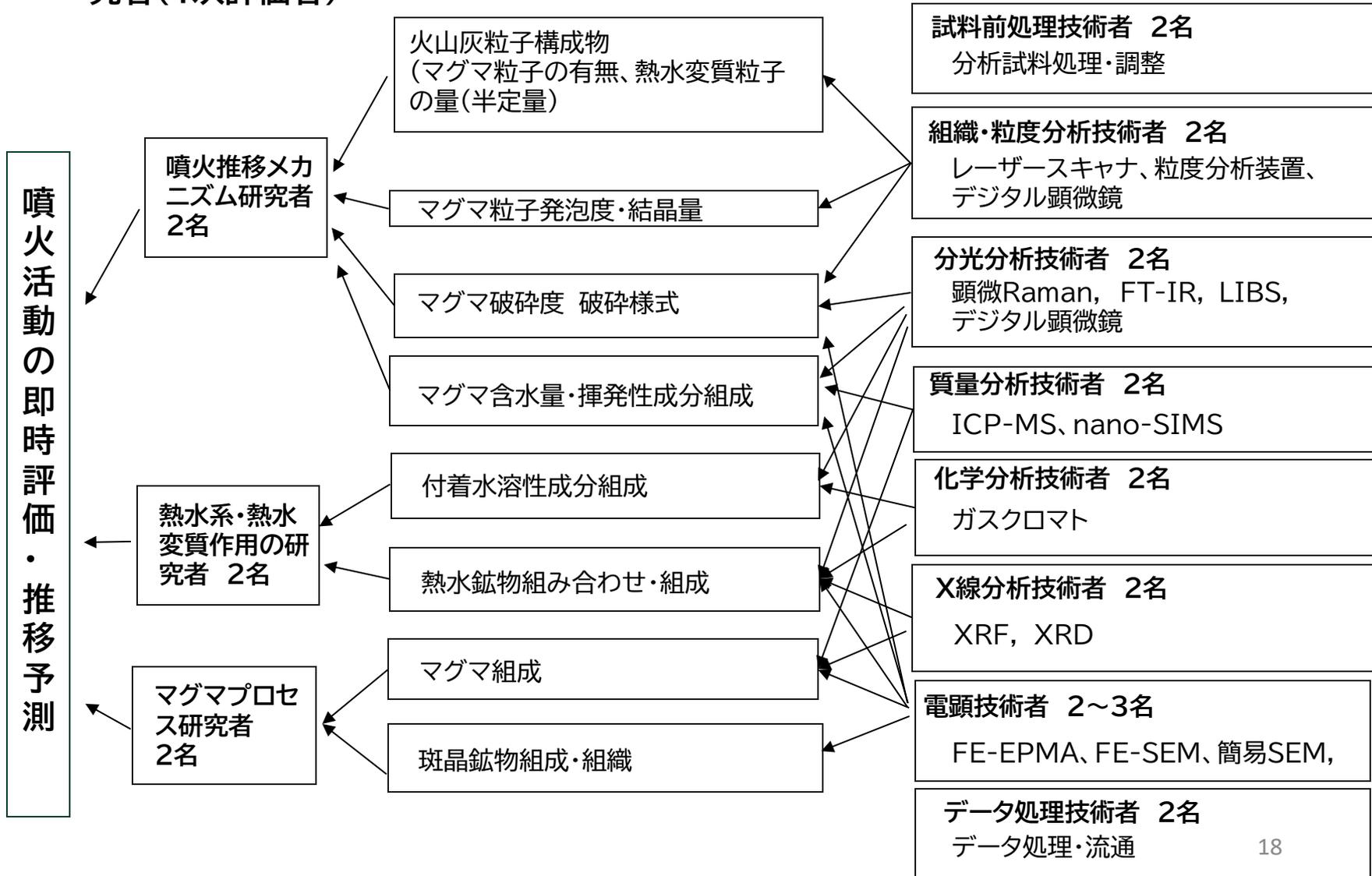
FE-EPMA 微小部XRF

# 必要な人員配置

## 最低限必要な研究者(1次評価者)

## 必要な物質科学的情報

## 管理運用に最低限必要な技術者



# 分析施設に必要な体制

## 関連設備の確保

- 分析試料の前処理設備の必要 処理の自動化
- データ解析設備、処理の自動化・AI化
- 十分なスペース・分析設備として十分な堅牢性をもつ建屋・設備・インフラ
- 分析と前処理に必要な排水、排気、空調設備

## 専門人材の配置

- 分析装置運用のための専門性のある技術者の確保（前処理も含む分析技術者）
  - 装置の維持・適切な分析の実施による品質確保
  - 企業などとの連携 コンサル・分析会社などの活用も検討する必要あり

## 機動観測や地球物理観測との連携

- 現地あるいはオンサイトでの即応分析 - 中央の分析センターにおける高度な分析の連携
  - 機動観測と拠点との間の機材等の適切な配置・運用
  - 共通・類似機器の運用・保守管理などを共通にすることで効率的な運用
- 地球物理観測との連携による噴火活動の即時評価と推移予測

## 次世代技術者の育成

- 分析技術等の継承・発展、人材確保のための教育体制—大学・次世代人材育成事業などとの連携

以下を考慮すると、防災科学技術研究所内に設置・運営し、共同利用設備とするのが望ましい。

・既存の火山研究組織を有する・機動的な調査観測解析グループを運営・基盤的な地球物理観測網を運営・火山データを共有する仕組み(JVDNなど)を運営・大学連携の実績・比較的中央に近く全国からのアクセスが良い