

陸上の基盤的な観測体制について (地震観測)

東北大学大学院理学研究科
地震・噴火予知研究観測センター
山本 希

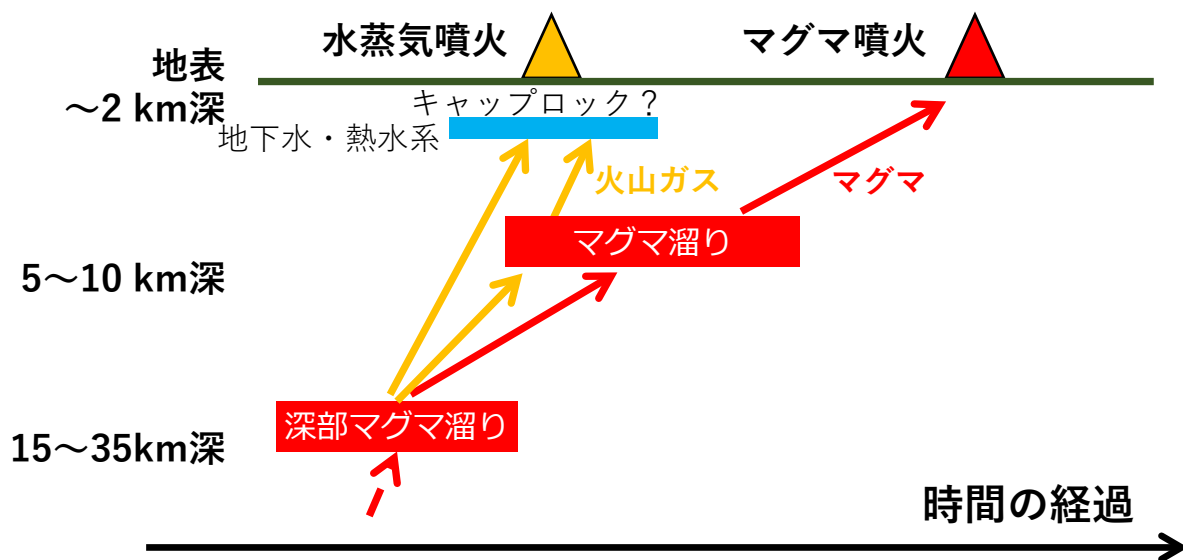
火山活動の評価・監視のための基盤的な観測体制

火山活動の評価・監視のためには、火山深部から地表に至るまでの物質やエネルギーの移動・状態の把握が不可欠。

⇔ 地震学的には、多様な振動現象（幅広い周波数帯域にわたる火山性地震・微動等）の時空間的発展・推移を捉える。

評価・予測に必要な事項

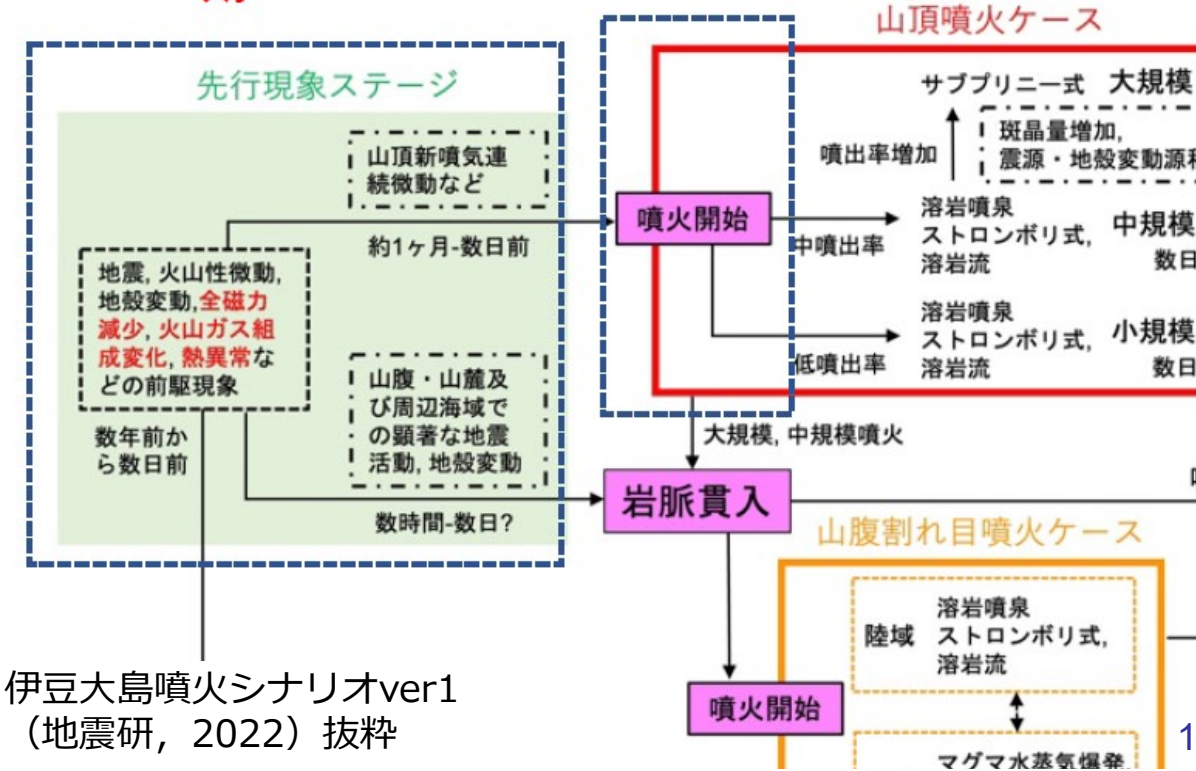
- 地震活動の検知（タイプ分け・計数）
- 震源位置の推定
- 震源メカニズムの推定：発生プロセス
- 構造や応力場の時空間変化の推定 など



火山PJ資料を改変

B. Unrest期

C. 噴火開始期



火山活動の評価・監視のための基盤的な観測体制

総合基本施策中間取りまとめにおいては、火山の地震に関する基盤観測網としてV-netと気象庁常時観測点が中心に位置付けられている

火山活動推移の各ステージにおける火山現象 と 評価・監視の対象

深さ	火山現象	評価・監視のための地震学的な観測対象
深部 (10km～30km)	・ 深部マグマ活動 ・ 地殻深部からのマグマ上昇	・ 深部低周波地震
マグマだまり (5km～10km)	・ マグマだまりへのマグマ供給/蓄積	・ マグマだまり周辺での地震活動 ・ マグマの移動に伴う長周期振動／超長期振動や微動など
浅部 (～5km)	・ マグマだまりからのマグマ上昇/貫入 ・ マグマ噴火の前駆現象/噴火過程	・ 火山性流体（マグマ・熱水）の移動に伴う地震活動 ・ 流体供給路の振動による微動などの振動現象
ごく浅部 (～1km)	・ 水蒸気噴火の前駆現象/噴火過程	・ 流体移動・応力変化に伴う地震波速度構造変化 ・ 噴火現象/表面現象

- ✓ 上記のような噴火期・unrest期における各種現象の時空間推移の把握とともに、静穏期における継続的な観測を行うことでバックグラウンドとなる知見を蓄積することも重要。
- ✓ 各種現象の理解のためには、構造などの場の情報も重要。

評価・監視のための地震の解析・観測

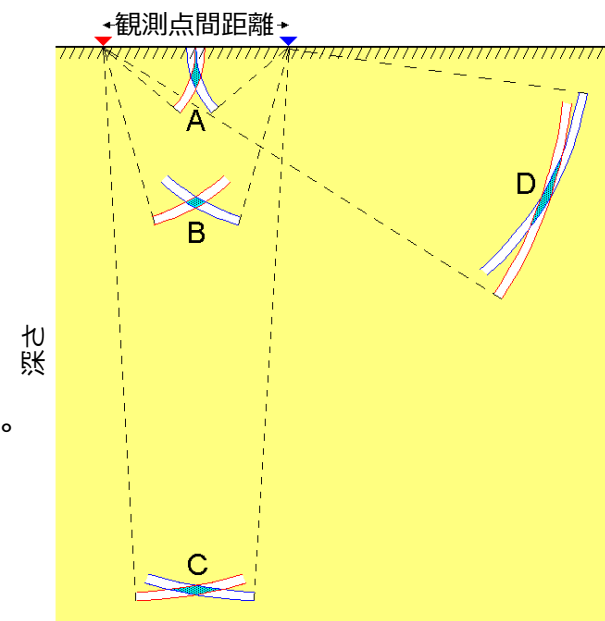
- **震源決定** … P波やS波の着震時を用いて、震源の位置・発震時刻を求めるのが基本。

⇒ 観測網の観測点間隔と震源の深さが同程度のときに決定誤差が小さくなる。

(e.g., Gomberg et al., 1990)

簡単な例として、S-P時間を使って2観測点で震源決定を行う
右図の例では、観測点間距離に対して

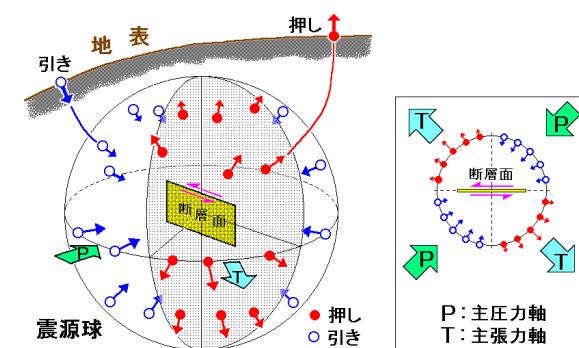
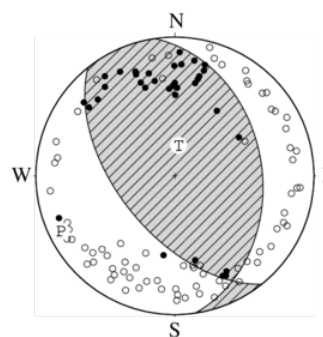
- ・ 浅い震源Aは、震央（水平位置）は決まるが、深さの誤差が大。
- ・ 深い震源Cは、震央が決まりにくい。
- ・ 観測網の外側の震源Dは、震央・深さともに決まりにくい。



- **震源メカニズムの推定**

- (a) P波初動の押し引きの情報を用いて推定。
- (b) 観測波形 と 近地項まで含めた理論波形 が一致するように震源メカニズムをインバージョンで推定。

⇒ いずれの方法でも、
震源を中心に距離・方位ともに偏りなく
観測点が配置していると推定誤差が小さくなる。



- **構造・応力場などの時間変化の推定**

常時微動を用いた地震波干渉法など

⇒ 観測網の空間密度が空間分解能に直結。

震源球の例（2025年6月3日・岩手山M3.1）

→ 東西圧縮の逆断層地震

<https://www.data.jma.go.jp/eqev/data/mech/ini/fig/mc20250603050009.html>

防災科研HPから

https://www.hinet.bosai.go.jp/about_earthquake/sec9.2.html
https://www.hinet.bosai.go.jp/about_earthquake/sec3.2.html

火山深部における現象

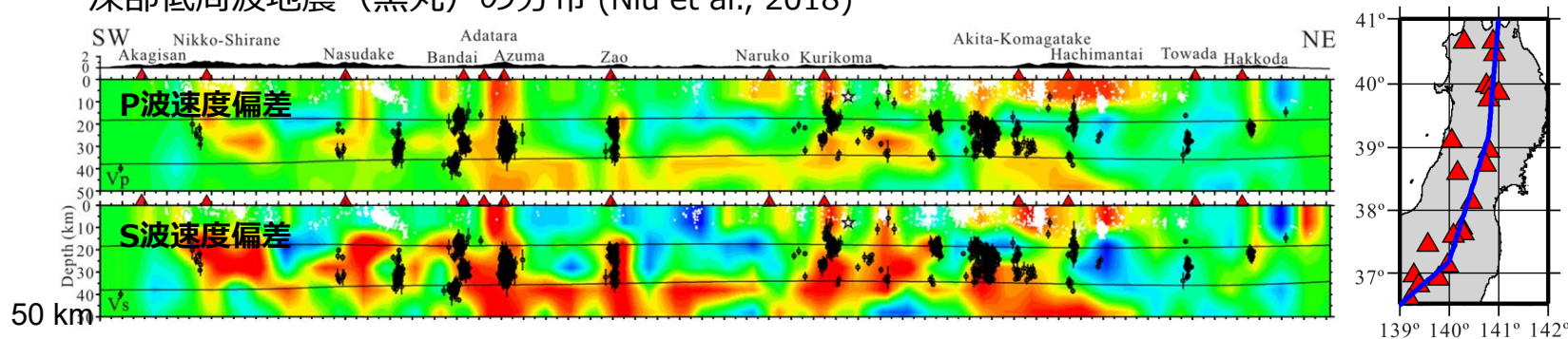
深部低周波地震： 活火山直下のモホ面付近～地殻下部で発生 → 火山深部でのマグマ活動を反映したものと考えられている

… ・ 中長期的（数か月～数年）の火山活動推移を反映する現象の一つ

・ 浅部における火山活動と連動する例も

(e.g., Shapiro et al., 2017, Kurihara and Obara, 2021, 高橋・宮村, 2009)

深部低周波地震（黒丸）の分布 (Niu et al., 2018)



✓ 深部低周波地震は、小規模（最大でもM2程度）な地震

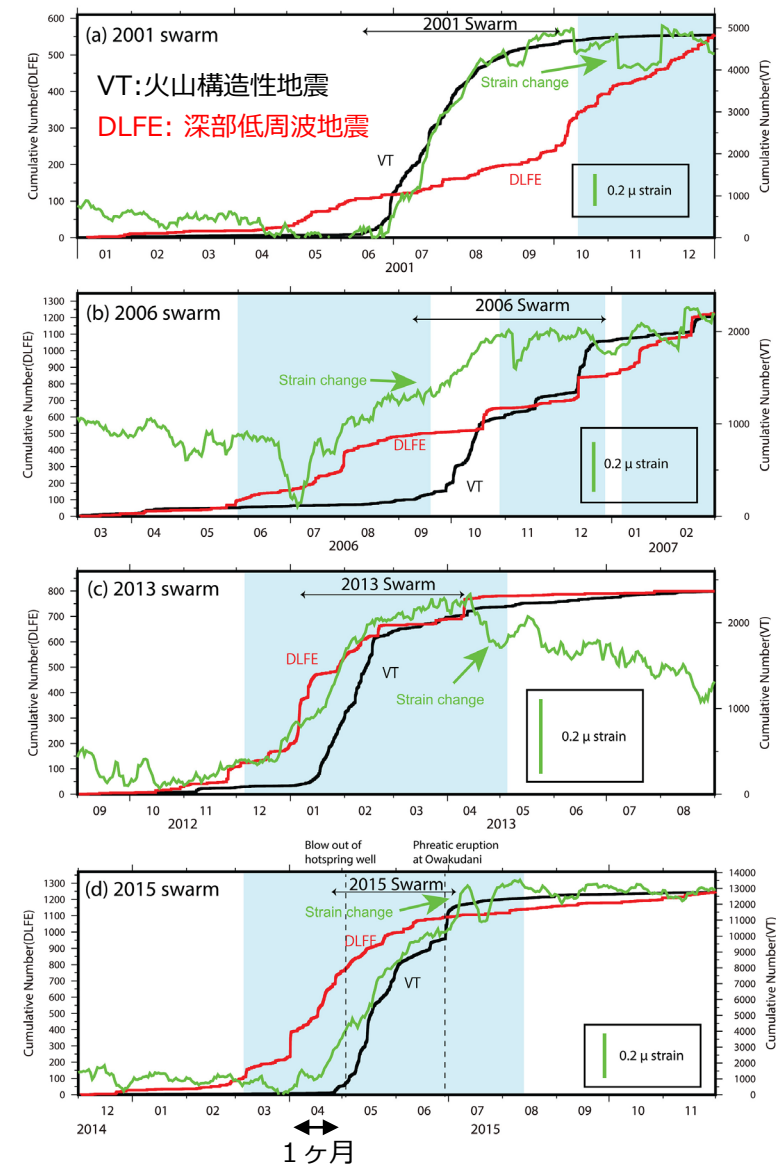
✓ 火山活動評価・監視のためには、活動推移の系統的な把握が最重要



火山から40km程度以内のノイズレベルの低い観測点（ボアホール・横壕）を用いることが、検出・震源決定の両面で有効

⇒ 方位力バレッジも比較的良好地震基盤観測網（防災科研Hi-netなど）を活用（震源メカニズムの推定のためには、必ずしも十分ではない）

箱根山における活動推移 (Yukutake et al., 2019)

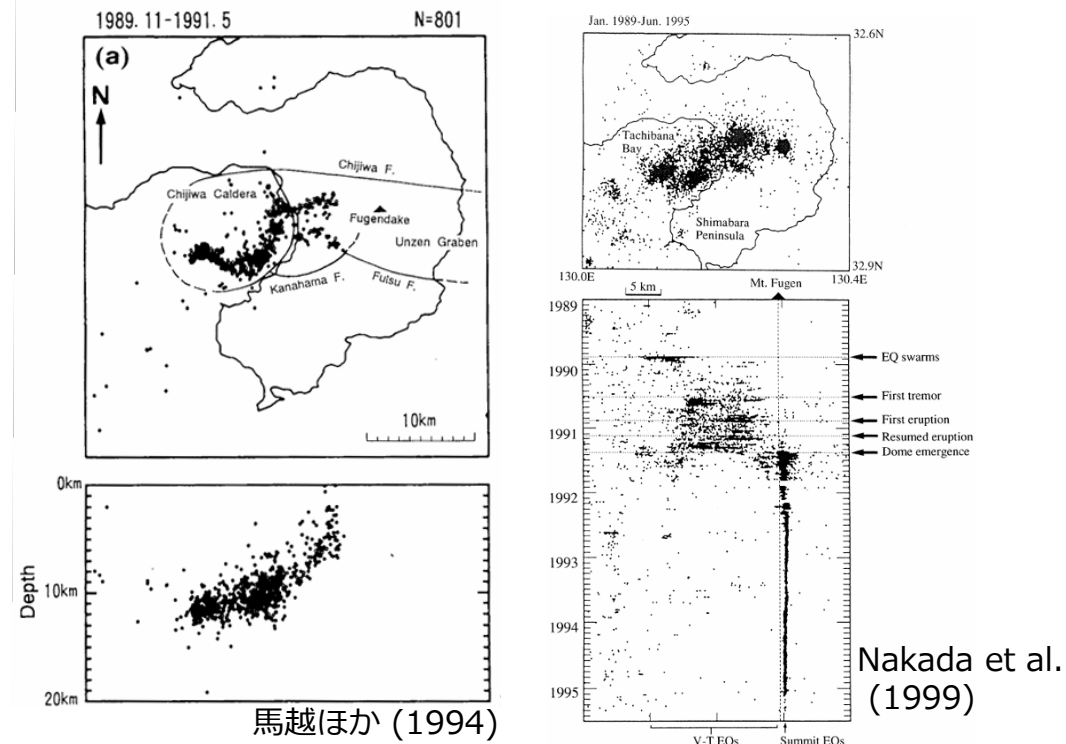


マグマだまり深度（約5～10km）における現象

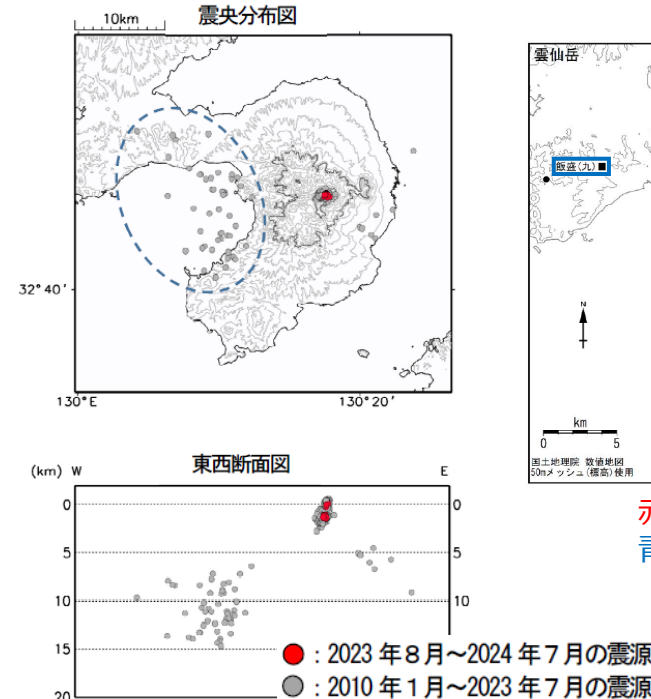
約5～10kmのマグマだまりの周辺（主に浅部側）で発生する火山性地震・微動

… 浅部供給系へのマグマの移動等を反映する現象の一つ

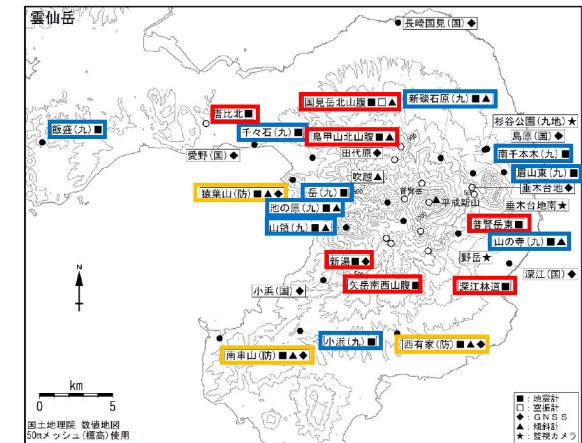
雲仙岳の地震活動（1989年～）



雲仙岳の最近の地震活動（2010年～）



観測点分布図



赤杵：気象庁, 橙杵：防災科研
青杵：九州大学

(図範囲内にHi-netは無い)

第3回火山本部調査委員会
気象庁資料から抜粋・加筆

✓ 火山活動評価・監視のためには、マグマの移動 や 貫入・滞留の状況の把握が最重要。



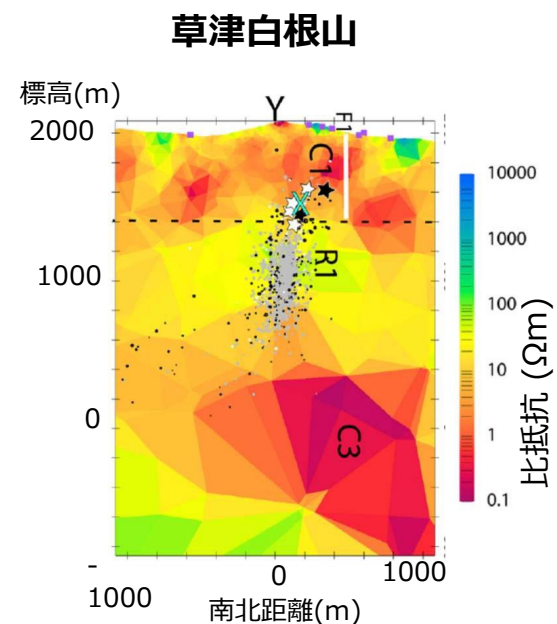
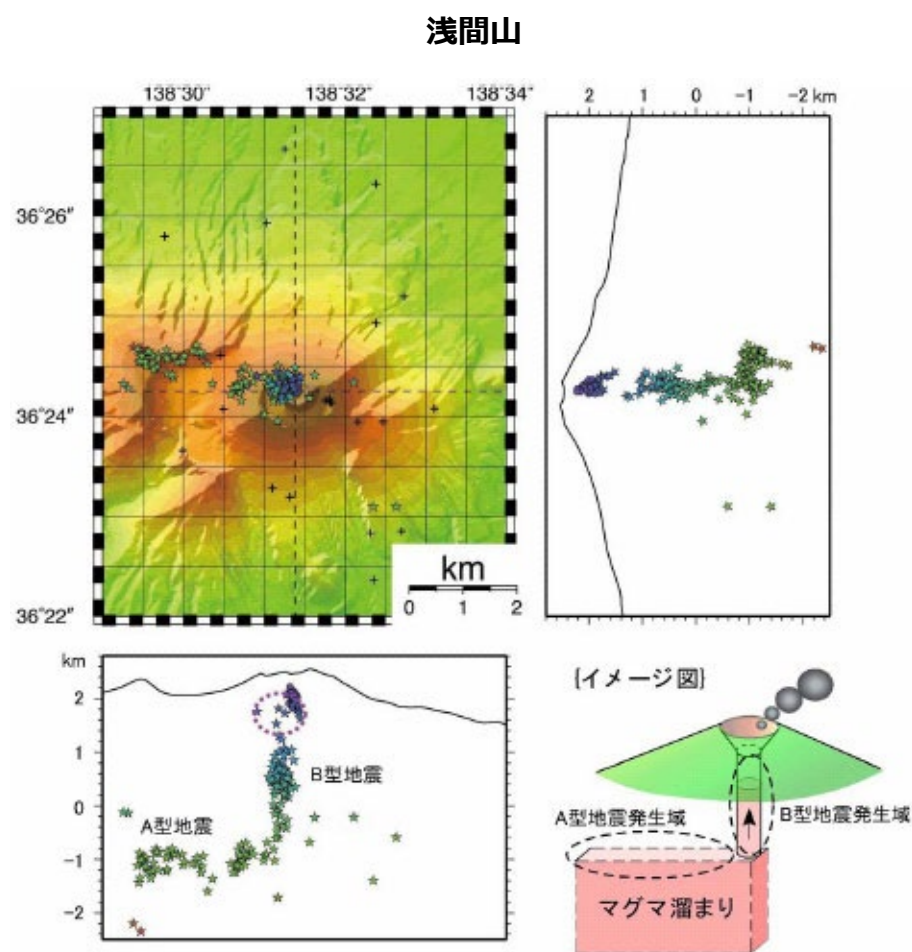
活動領域から15km程度以内に方位カバーレージが良い観測網があることが望ましい

⇔ 現在の基盤的観測網は、やや火山近傍域に偏り ⇒ 大学等の定常観測や機動的な観測も活用

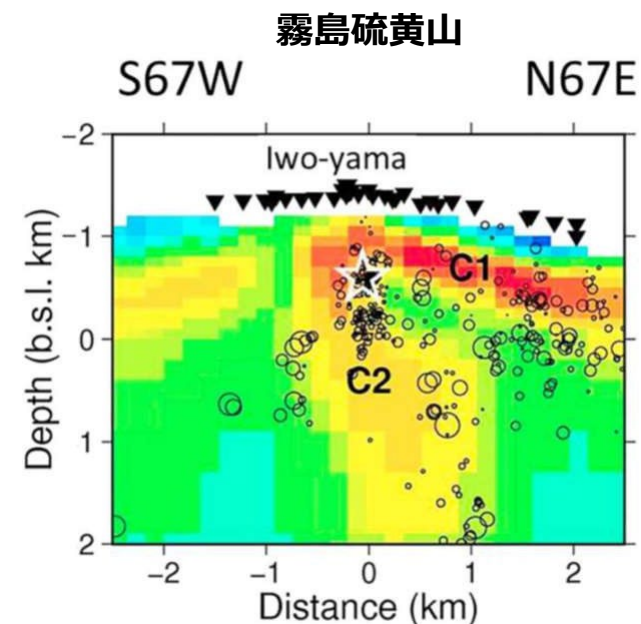
浅部（約5km以浅）における現象

浅部マグマだまり以浅で発生する火山性地震・微動

… 浅部供給系における火山性流体の移動を反映する現象の一つ



Tseng et al. (2020)



Tsukamoto et al. (2018)

✓ 帯水層やキャップロック構造との空間的位置関係も
噴火様式や噴火発生場所の予測のために重要



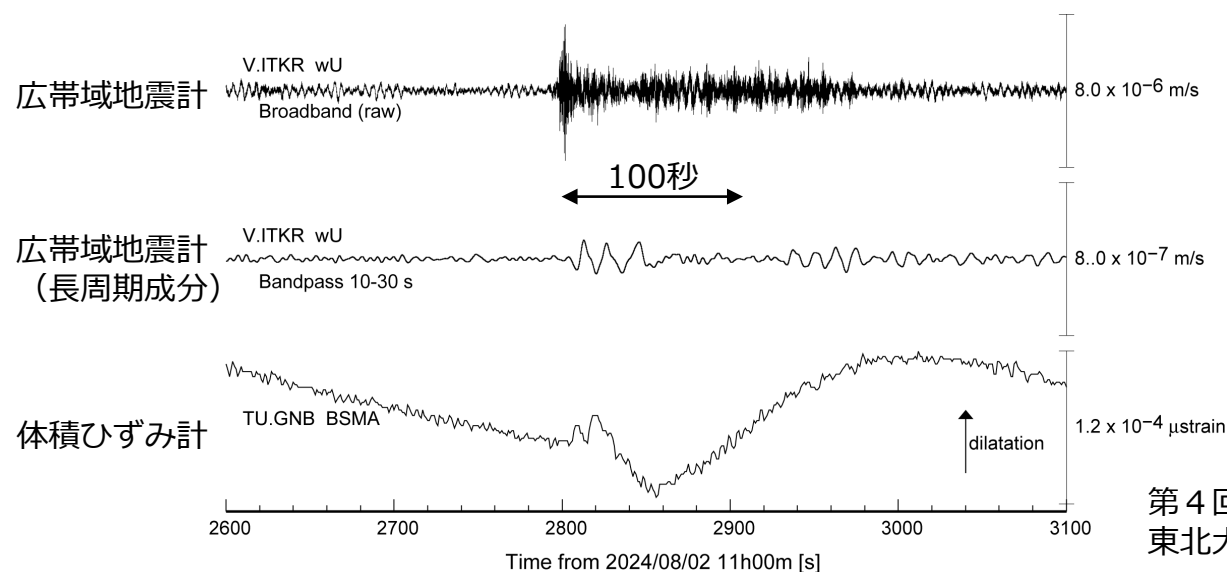
気象庁による山頂域の観測点の安定稼働とともに、
複数の観測点による冗長性を確保する整備が必要

浅部（約5km以浅）における現象

浅部マグマだまり以浅で発生する火山性地震・微動

… 浅部供給系における火山性流体の移動を反映する現象の一つ ⇒ 断層運動以外の多様な発生要因の振動現象

- ・微動：流体供給系の内部や火口におけるマグマ・熱水・ガス等の流動に伴う振動
- ・長周期地震・超長周期地震：流体経路・流体だまりの圧力変動による振動 など



物質の移動であるか、
系の内部における圧力伝播であるか
… 活動の評価に直結

第4回火山本部調査委員会
東北大学資料から抜粋・加筆

✓ 幅広い周波数帯域をもつ振動現象を捉え、評価に活用することが重要。



地殻変動や空振なども含めた多項目の観測を山頂域で行うことが望まれる。

… 気象庁の現状の基盤観測網では、現象の検知は可能であるが、発生要因に踏み込んだ評価にはデータが不足。

各深度における火山現象 と 火山活動の評価・監視のための観測網

深さ	評価・監視のための地震学的な観測対象	主な着目点	観測網		
			距離範囲	方位分布	
深部 (10km ～30km)	・ 深部低周波地震	・ 活動推移	～40 km程 度	○	Hi-net等の地震の基盤観測網を活用可
マグマだまり (5km ～10km)	・ マグマだまり周辺での地震活動 ・ マグマの移動に伴う長周期振動や微動など	・ 活動推移 ・ 震源移動 ・ 発震機構	～15km程度	◎	相対的な移動の把握に重点を置くので あれば、点数は限定的でも良いが、 方位分布は重要
浅部 (～5km)	・ 火山性流体（マグマ・熱水）の移動に伴う 地震活動	・ 活動推移 ・ 震源移動 ・ 発震機構	～8km程度	◎	・ 距離・方位ともに偏りの小さな配置 が理想 ・ 短周期／広帯域地震計・空振計など 幅広い周波数帯域をカバー
ごく浅部 (～1km)	・ 流体供給路の振動による微動などの振動現象 ・ 流体移動・応力変化に伴う地震波速度構造等 の変化 ・ 噴火現象/表面現象	・ 地震種別 や多様性 (周期等)	～5km程度	◎	・ 噴火等による損傷や平時の故障時に 系統的誤差を生まないように冗長性 も必要 ⇒ 想定される現象に対応する距離範囲 内に6～8点以上の定常観測点を整備 することが望ましい

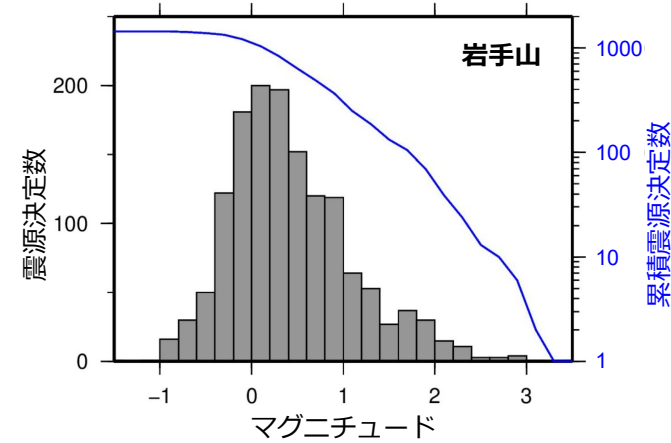
小振幅の地震等の検出限界は、信号処理や機械学習等の活用などの手法の高度化である程度は対応できるが、方位分布の偏りなどによる系統的な誤差・バイアスを抑えるように観測点配置は検討することが重要。

※地形的、地理的な条件により、必ずしも一定数の観測点を理想的な場所に整備できない場合があることに留意する必要。

観測網の具体的な検討への一案

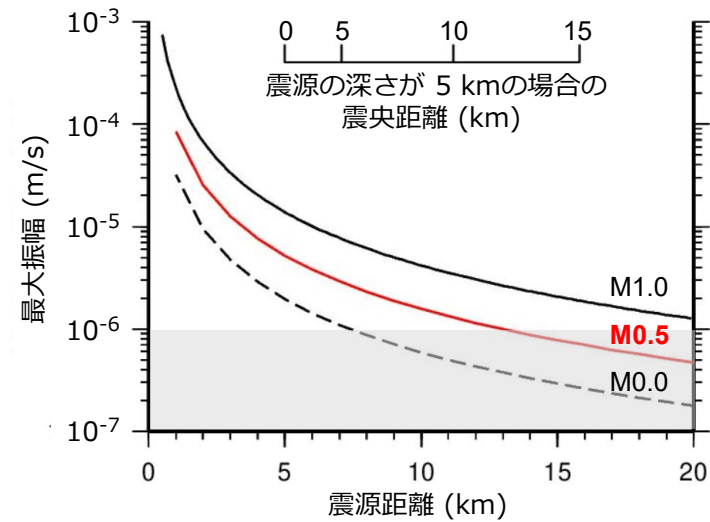
より具体的に検討を進めるためには： 震源分布とその時空間的推移を捉えんとすると

① 過去の活動を踏まえて、地震活動度の変化を評価するための数値の検討



	震源決定数（過去10年）	
M2以上	約50	活動度の推移をみることは難
M1以上	約250	年20-30回程度では、活動度の推移をみるには不十分
M0.5以上	約700	年70回程度
M0以上	約1200	年120回程度

② M0.5程度以上に着目するとして、ボアホール地震計で初動を検測できる震央距離範囲を検討



- ✓ 初動の立ち上がり：最大振幅の1/10程度
(左図の各Mに対する最大振幅は渡辺 (1971) の式から算出)
 - ✓ ボアホール地震計のノイズレベル： 10^{-7} m/s程度
- ⇒ 震源距離15 km（震央距離約10～12 km）以内の範囲に
6～8点の観測点を方位分布を考慮して配置 など。

網羅的に各火山の地震活動の調査を行ったうえで、震源決定精度等を考慮して観測点数と配置を検討することが望ましい。

地震観測における基盤的な観測網と機動観測

火山調査研究の推進について－火山に関する観測、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－
中間取りまとめ（令和7年3月28日本部決定） から引用：

- ・ 常時観測点（防災科学技術研究所V-net、気象庁常時観測体制、国土地理院GEONET）により、陸上の火山について、**噴火の場所や様式の予測等が可能となるような調査及び研究を一定の水準で推進するための調査観測**を実施する。調査及び研究を一定の水準で推進するためには、**地震活動や地殻変動、表面現象の観測により、地殻内の複数のマグマ・熱水だまりや開口割れ目の位置・形状等や、それらにおけるマグマや熱水の移動、地下温度の変化等を把握するための基盤的な調査観測体制が必要**である。

基盤的な観測網における地震観測：

- ・ 火山性流体（マグマ・熱水）の移動や応力変化に伴う地震の活動推移とその発生要因を把握・評価するための観測
 - ・ 火山研究・監視の基礎資料を蓄積するための継続性のある安定した観測
- ※基盤的な観測網は、気象庁による噴火警報等の的確な運用にも資する

一方で、より深く火山活動を総合的に理解し、火山対策に結びつく新たな観測手法・解析手法を研究開発するためには、機動的な調査観測も不可欠。

… 地震観測は、比較的即時的な観測点の展開も可能 ⇒ 対象を絞っての地震計アレイ観測など。