

論文紹介

Maeda, Y., Watanabe, T. (2023)

**Seismic structure and its implication on the hydrothermal system
beneath Mt. Ontake, central Japan.**

Earth Planets Space 75, 115. <https://doi.org/10.1186/s40623-023-01870-z>

前田 裕太

名古屋大学大学院環境学研究科附属地震火山研究センター

はじめに：御嶽山の概要

1

【大局的な活動履歴】

78～39万年前 古期御嶽

<30万年の休止期>

10万年前～現在 新期御嶽(灰色)

【近年の火山活動】

1979年 水蒸気噴火(VEI=2)

1984年 山麓で地震(M6.8)

1991年 水蒸気噴火(VEI=0)

2007年 水蒸気噴火(VEI=0)

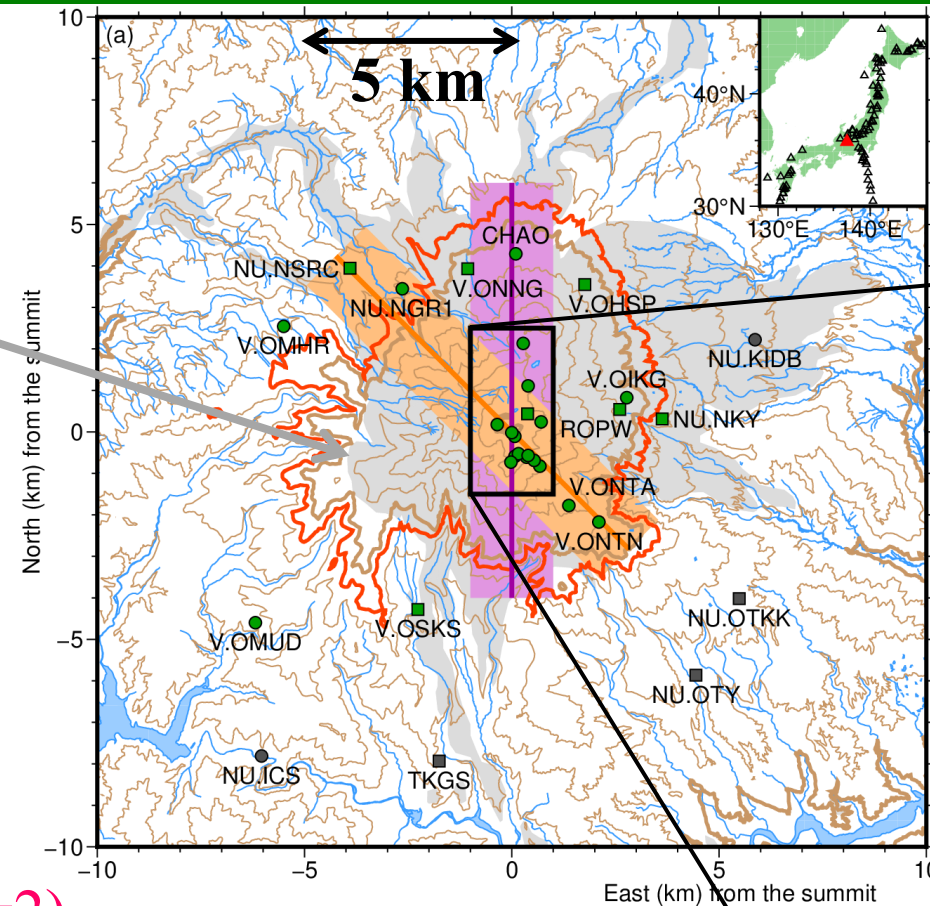
2014年 (マグマ?)水蒸気噴火(VEI=2)

死者・行方不明者63名(戦後最悪の火山災害)

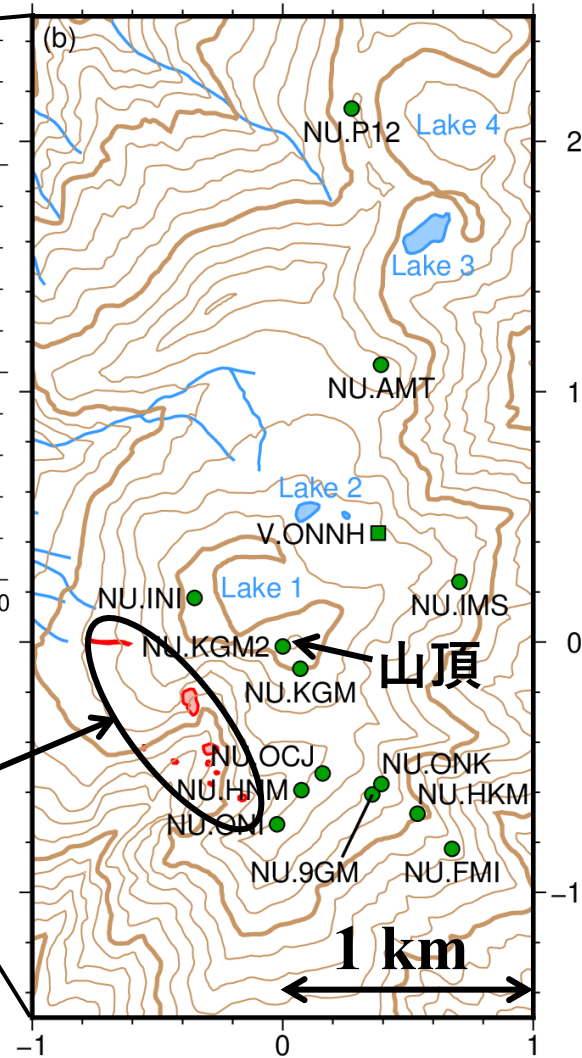
2017年 山麓で地震(M5.6)

2022年 unrest(山頂域で地震活動活発化)

近年の活動は全て山頂の南西側で発生



2014噴火口(赤)



①中部日本の広域的な地下構造研究

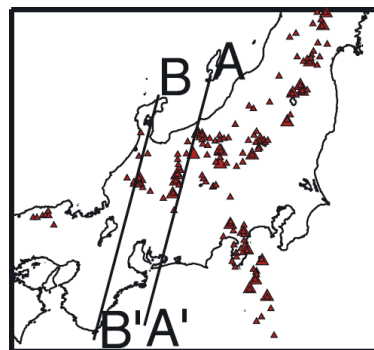
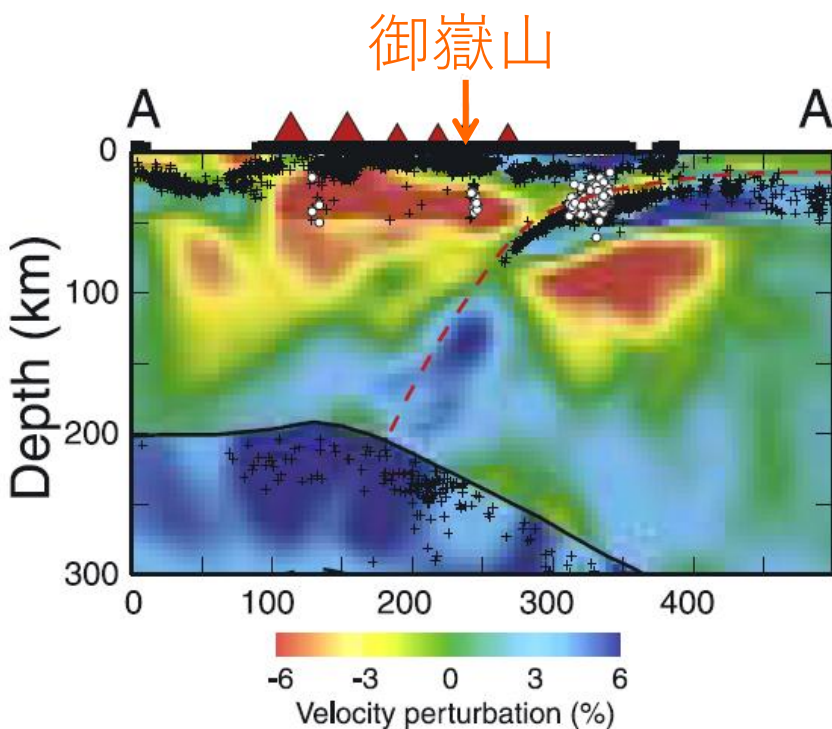
Ikami et al. (1986), Hirahara et al. (1989),
Nakajima and Hasegawa (2007), Hirose et al. (2008), etc.

御嶽山も対象領域に含まれてはいる

but 御嶽山に注目していない

空間解像度10 km前後

個々の火山の細かい議論はできない



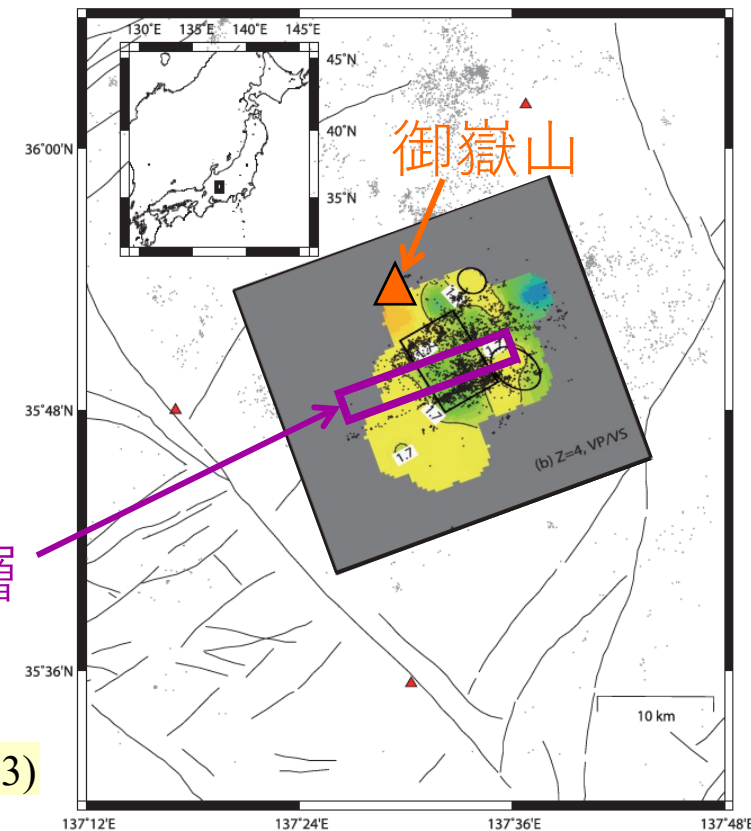
Nakajima and
Hasegawa (2007)

②山麓の地震発生域の地下構造研究

Hirahara et al. (1992)
Ikami et al. (1992)
Inamori et al. (1992)
Kosuga (1992)
Doi et al. (2013)
Ichihara et al. (2018)
etc.

1984震源断層

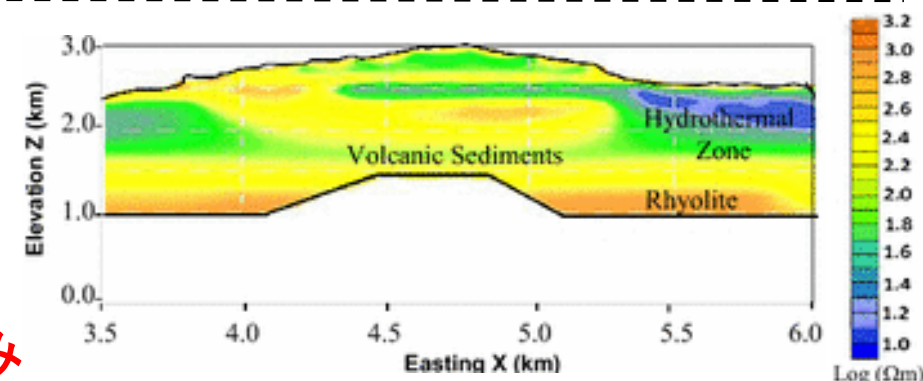
Doi et al. (2013)



③電磁気学的手法による 山頂域の地下構造研究

Abd Allar and Mogi (2016)

山頂域浅部の地下構造研究で
論文化されているのはこれのみ



はじめに：御嶽山の地震活動の特徴

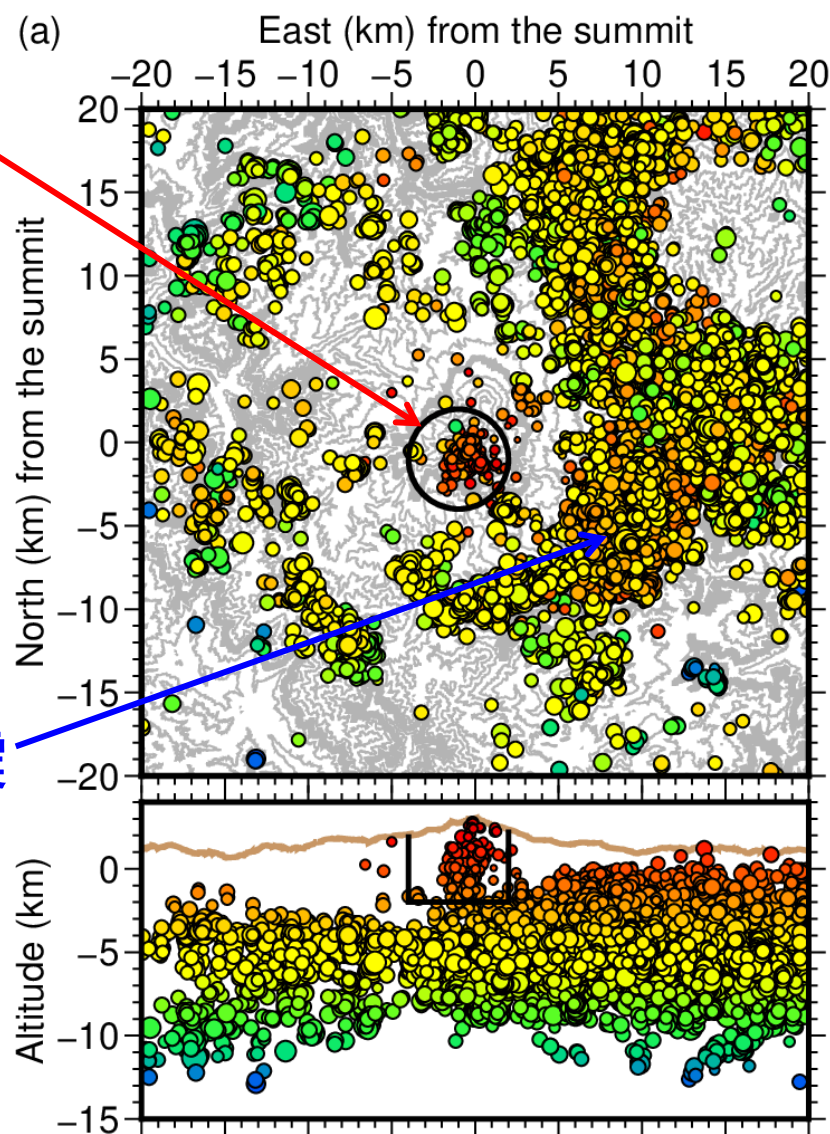
3

空間的に3つの領域に分けられる

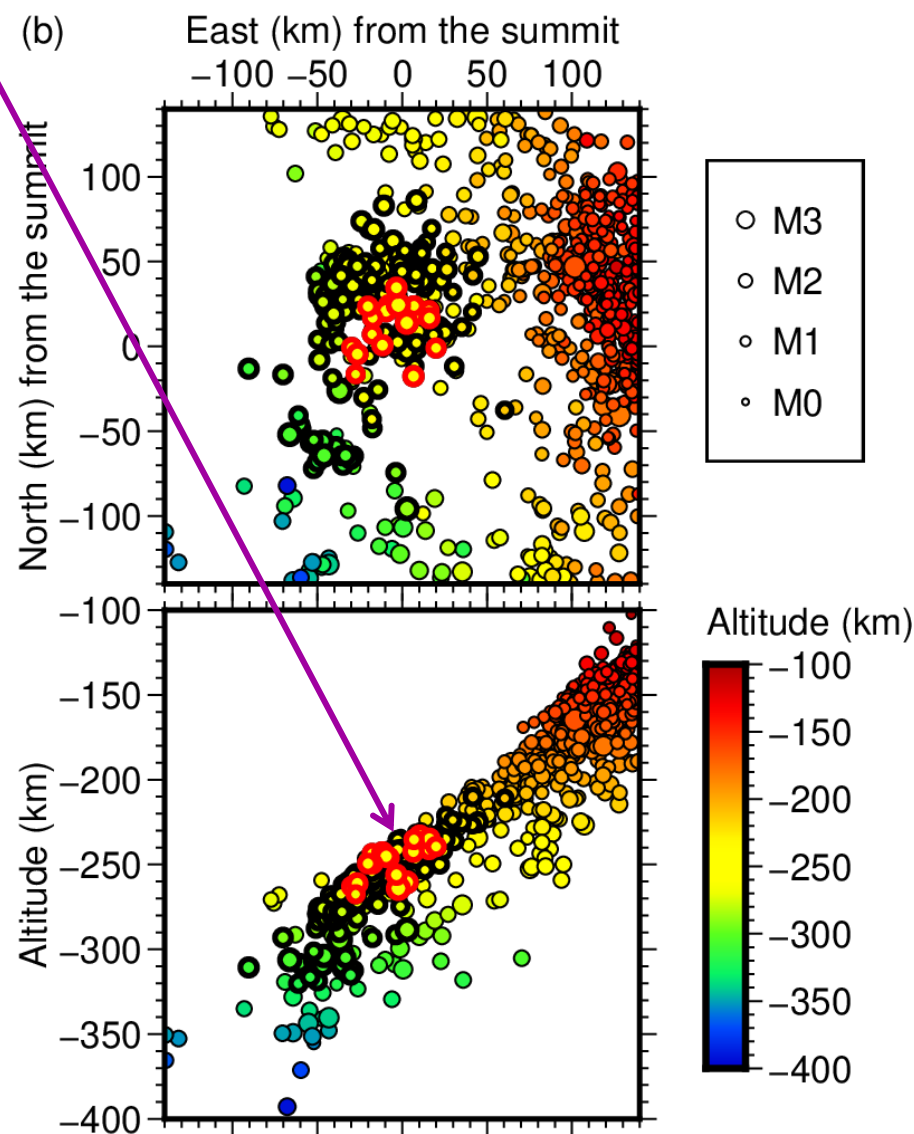
③太平洋プレート沿いの地震(深さ約250 km; IDE)

①山頂域浅部の地震(SVE)

②山麓域の地震

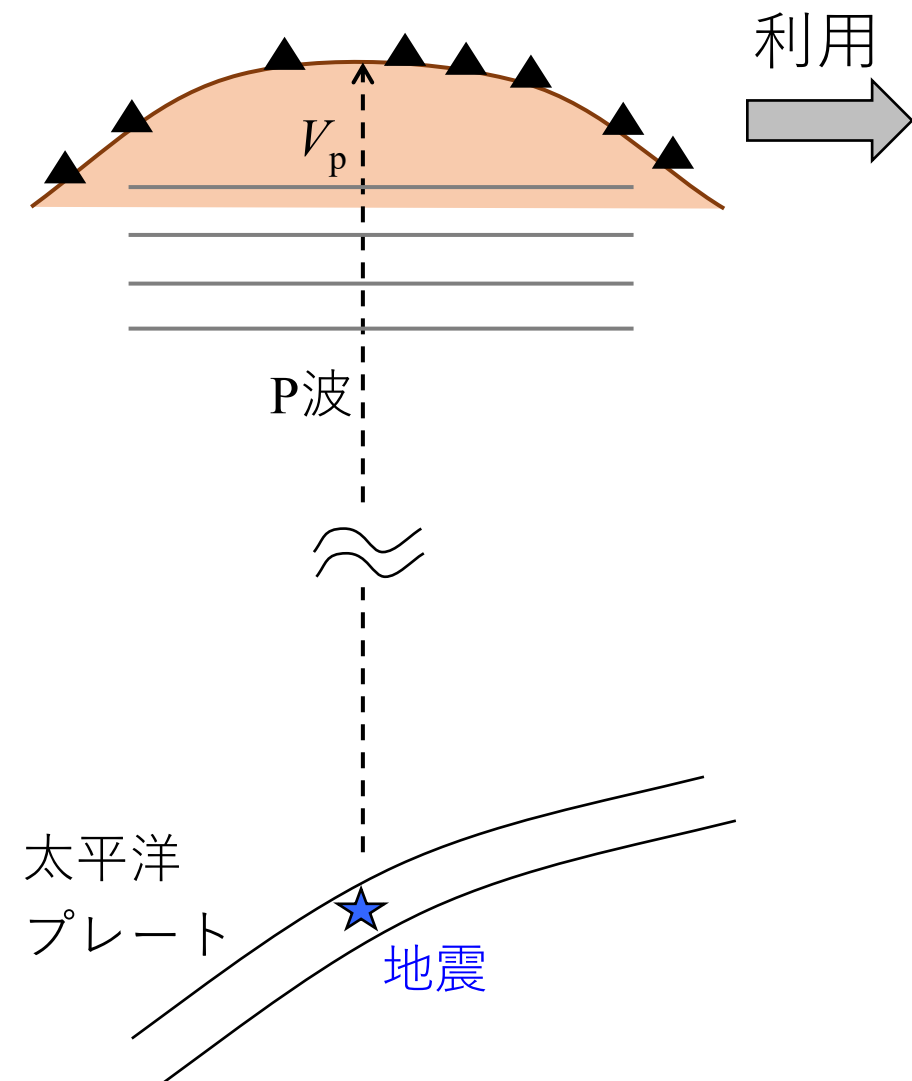


名大カタログ(2017/11-2021/12)

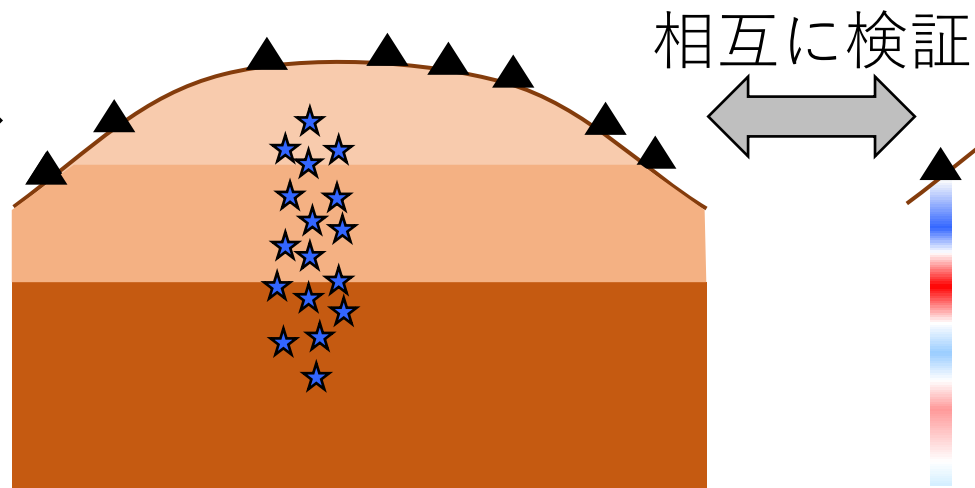


気象庁カタログ(2017/11-2021/12)

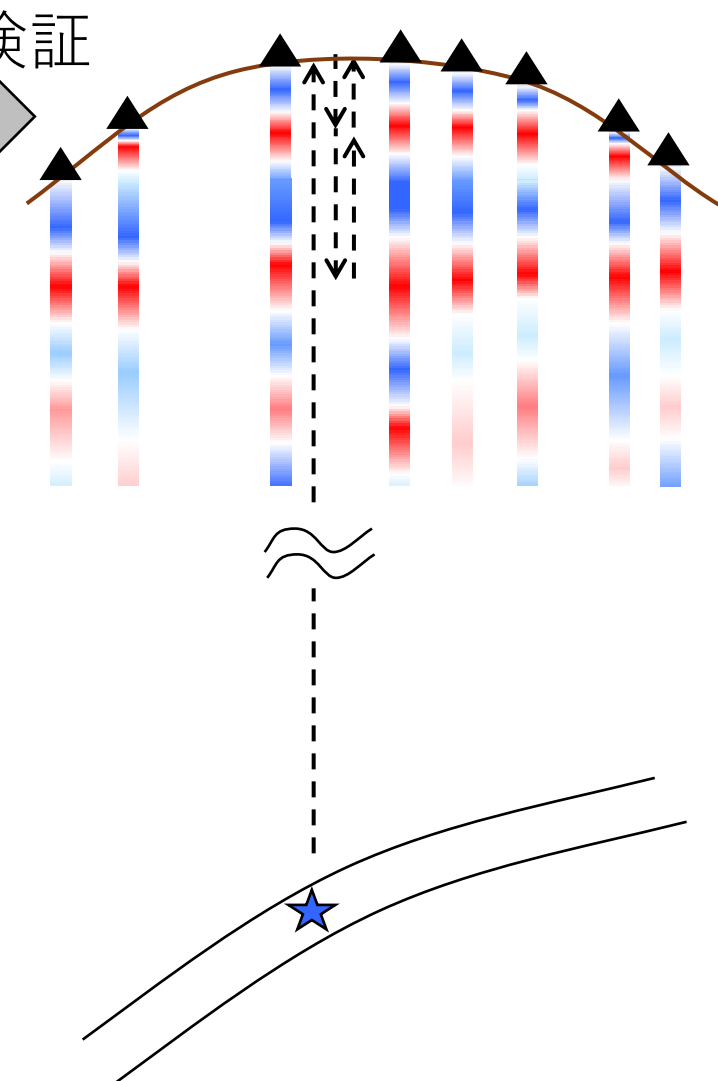
①山頂域の典型的なP波速度
太平洋プレート沿いの地震を使用



②水平成層構造
山頂域浅部の地震を使用



③反射面(観測点直下)
太平洋プレート沿いの地震を使用



①山頂域の典型的なP波速度の推定(手法)

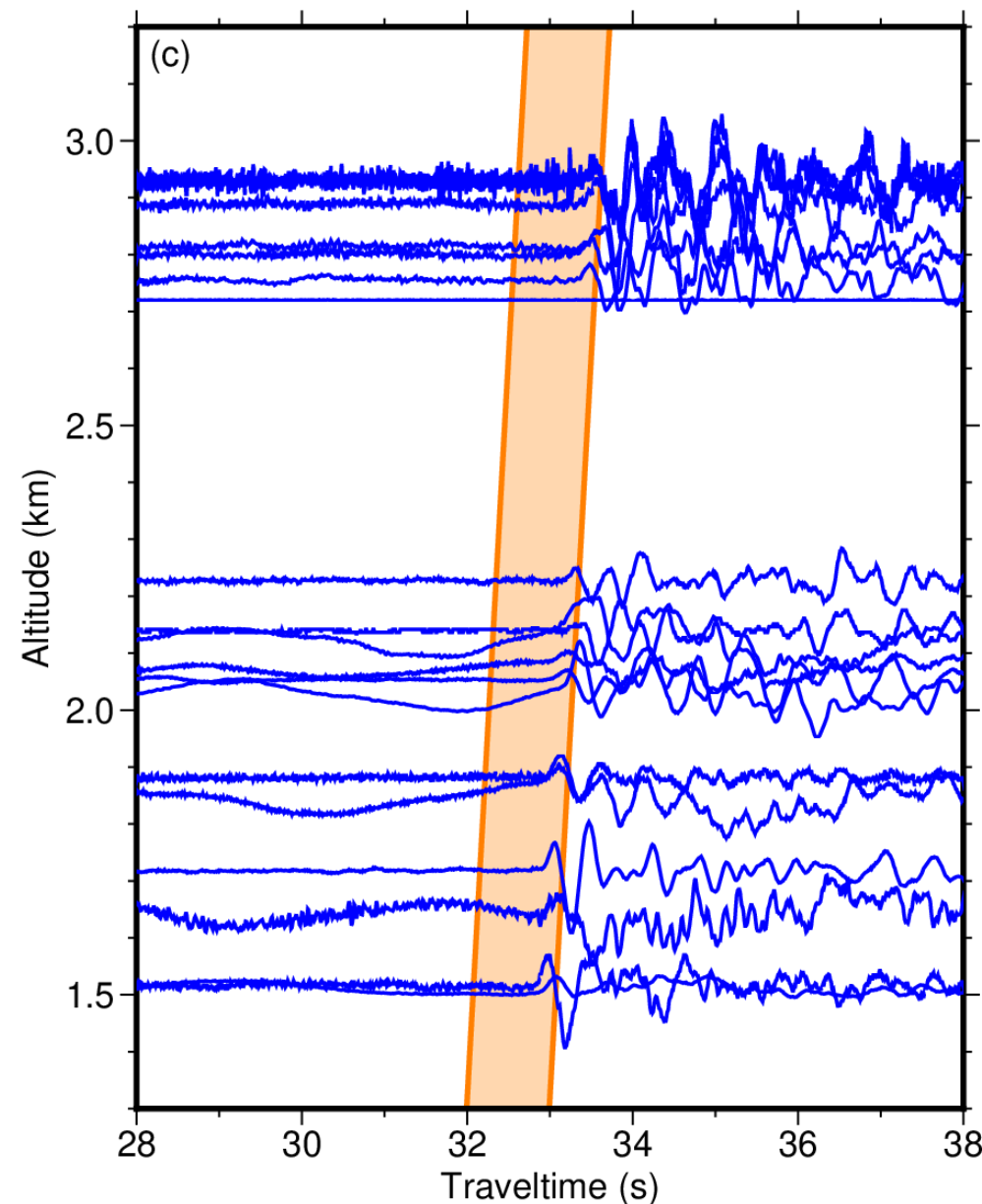
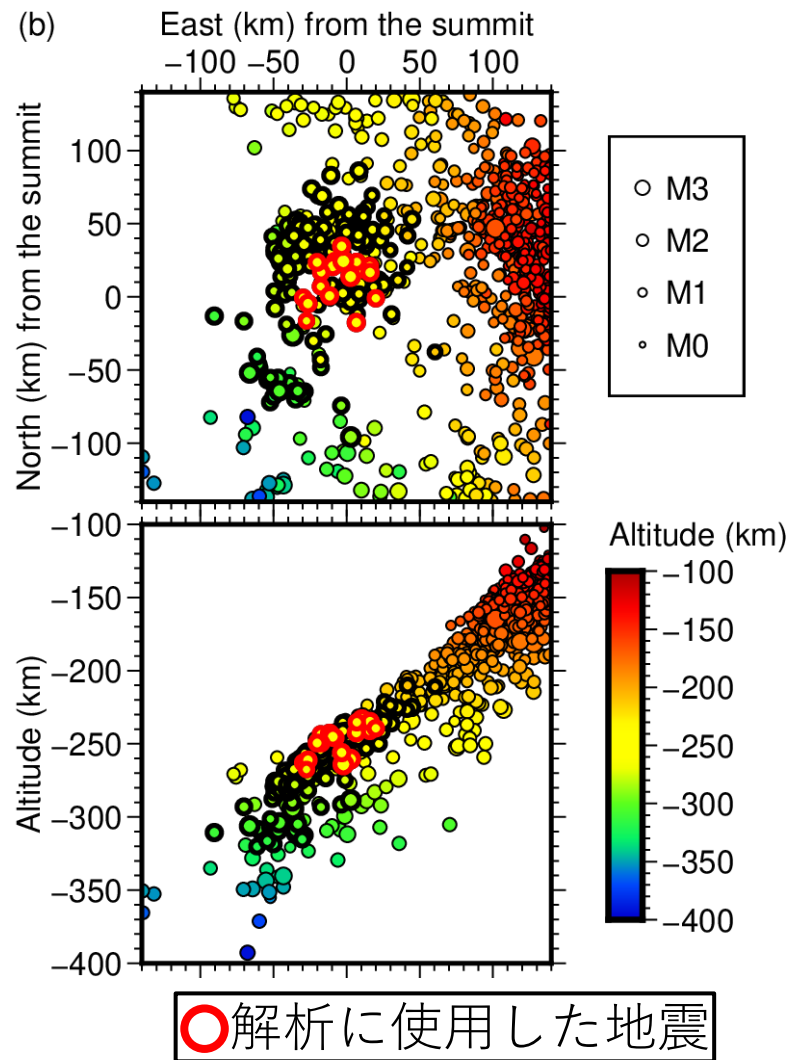
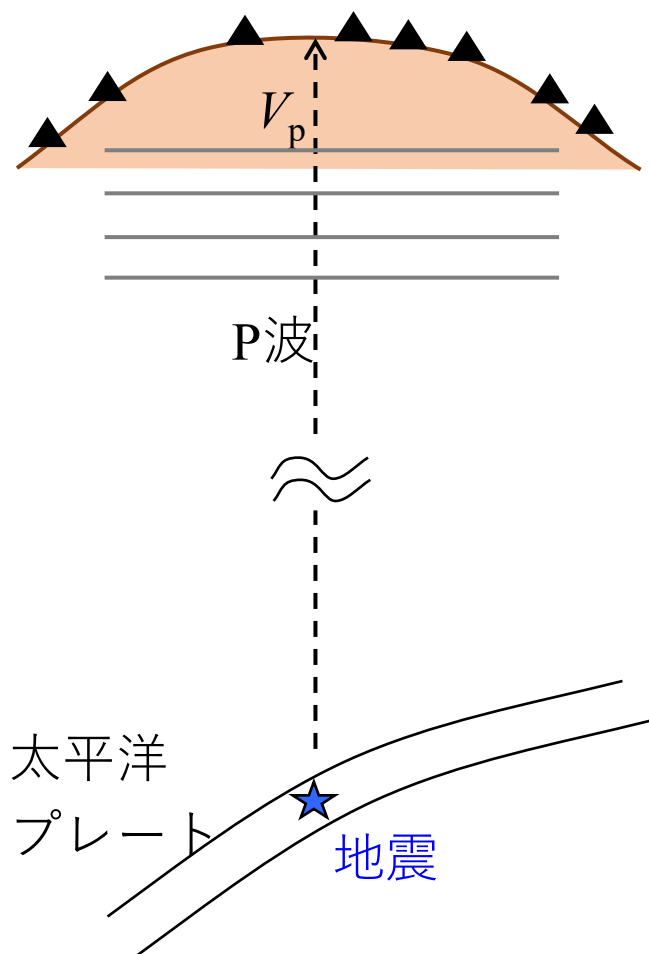
6

御嶽山のほぼ真下で発生した太平洋プレート沿いの地震を使用

→地震波は**ほぼ真下から到来**(入射角 $<5^\circ$ のものを使用)

標高の低い観測点から高い観測点へ伝播する

その伝播速度を推定

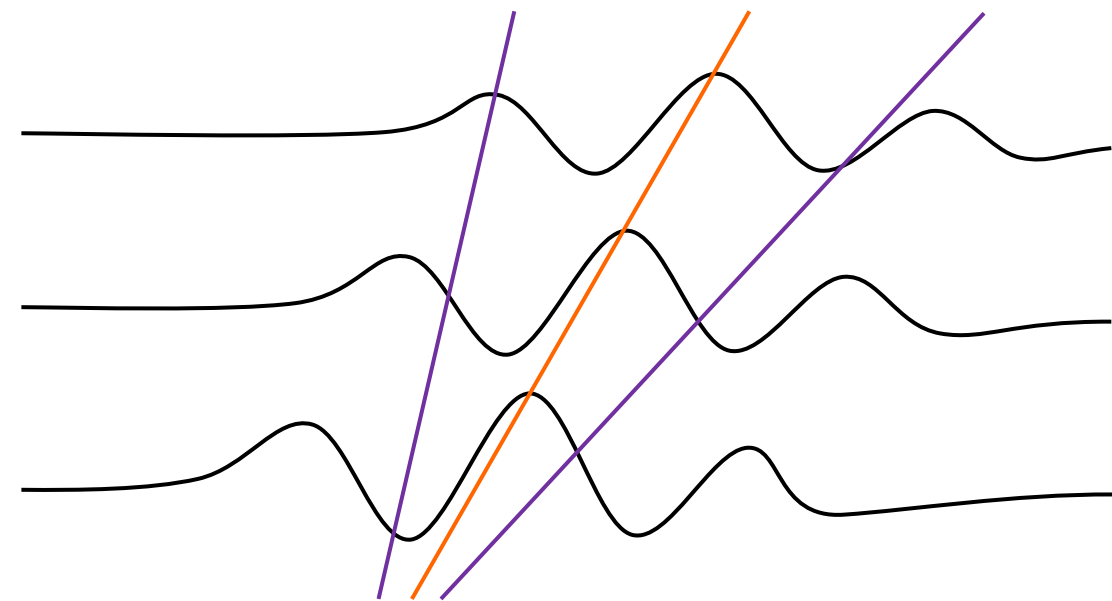


①山頂域の典型的なP波速度の推定(結果)

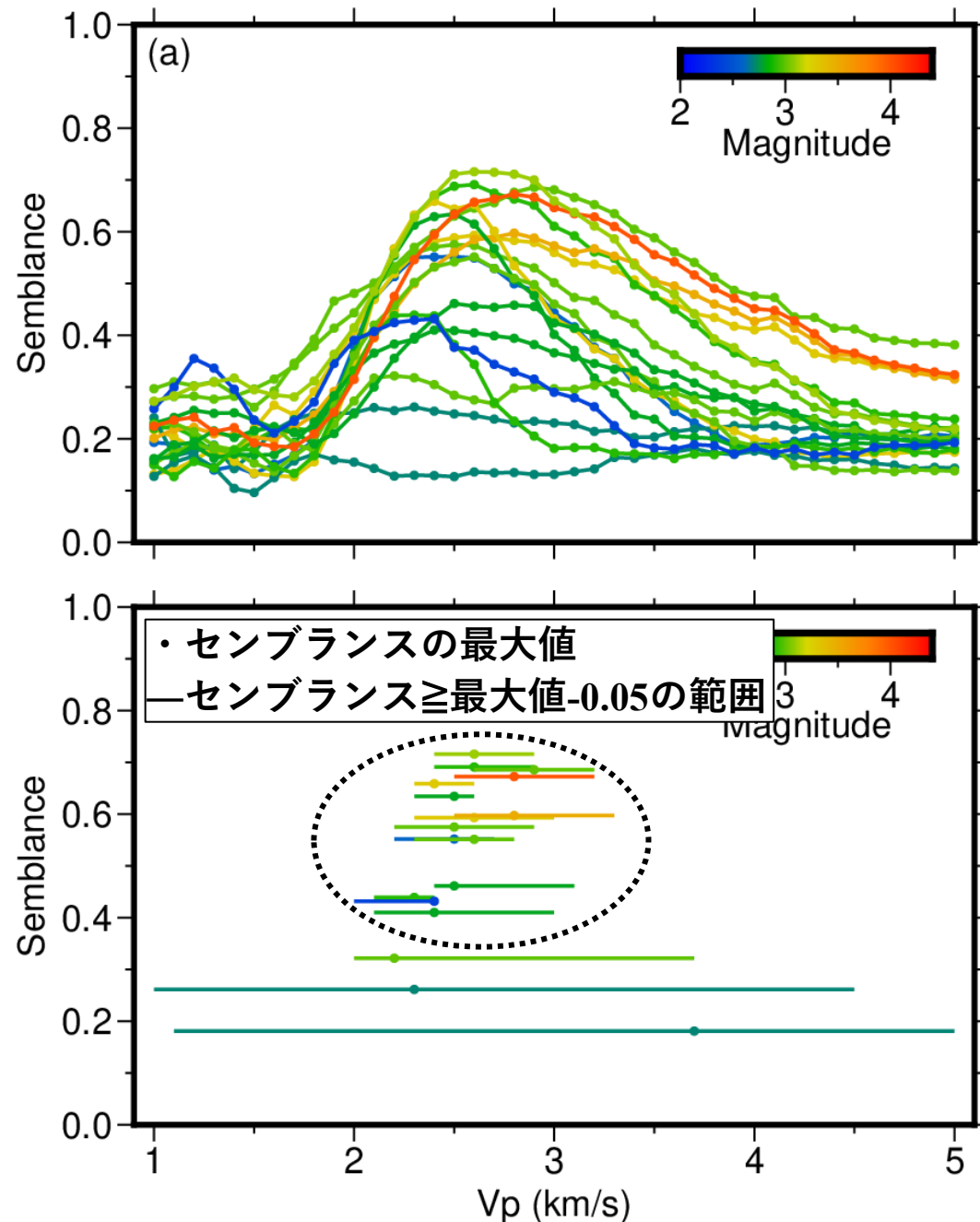
7

様々な伝播速度を仮定して時刻をずらしたときの
波形の類似具合(センブランス値)を計算
(波形が似ているほどセンブランス値が大きい)

間違った 正しい 間違った
伝播速度 伝播速度 伝播速度
を仮定 を仮定 を仮定



この結果から、山頂域(標高 ≥ 1500 m)の
平均的なP波速度を**2.6 km/s**と推定



◎データ

・山頂域の地震の初動時刻(P波, S波)

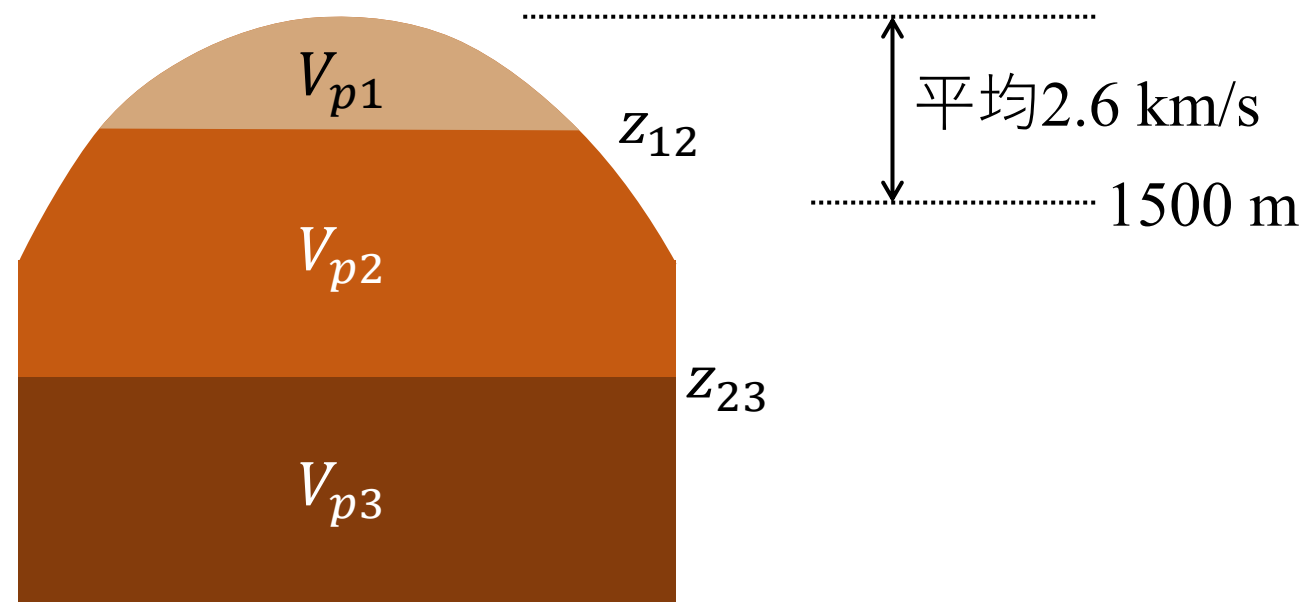
を読み取って使用

- ・自動震源が山頂域、 $M \geq 0$
- ・山頂から10 km以内の観測点
- ・読みやすい波形のみ使用

⇒地震数89

P波初動2369個

S波初動1723個



◎解析手法

- ・水平1-3層を仮定

初動時刻を最も良く説明する z_{12} , z_{23} , V_{p2} , V_{p3} を探索 (グリッドサーチ)

- ・ V_{p1} : 標高1500 m以上の平均速度が2.6 km/s (解析①)になるように決定
- ・ S波速度 = P波速度の $1/\sqrt{3}$
- ・ 各地震の震源位置も探索 (グリッドサーチ)

②水平成層構造の推定(結果)

9

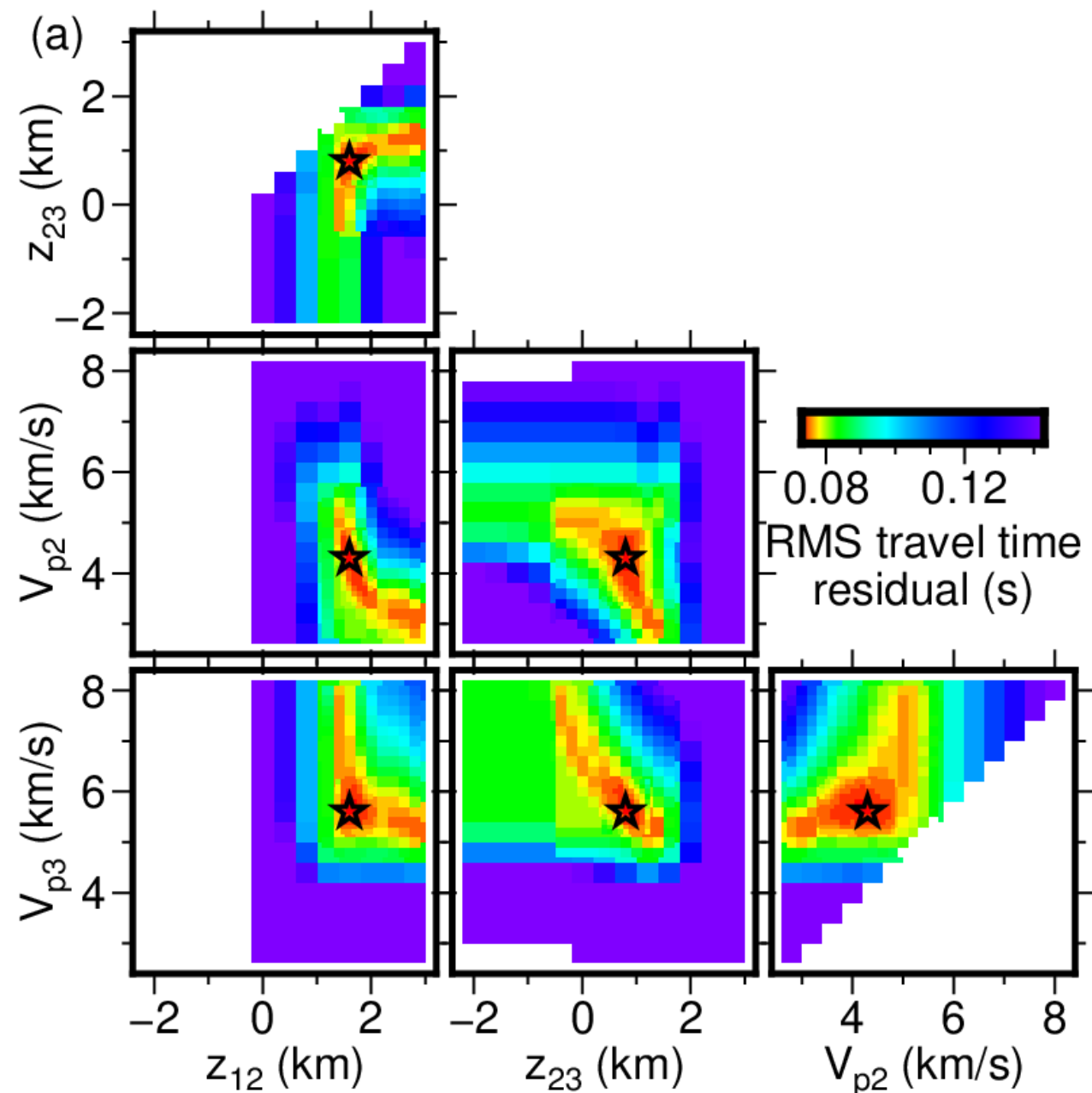
- 1層や2層よりも**3層がbetter**

モデル	走時残差	AIC
1層	0.4626 s	-5775
2層	0.0804 s	-20092
3層	0.0733 s	-20844

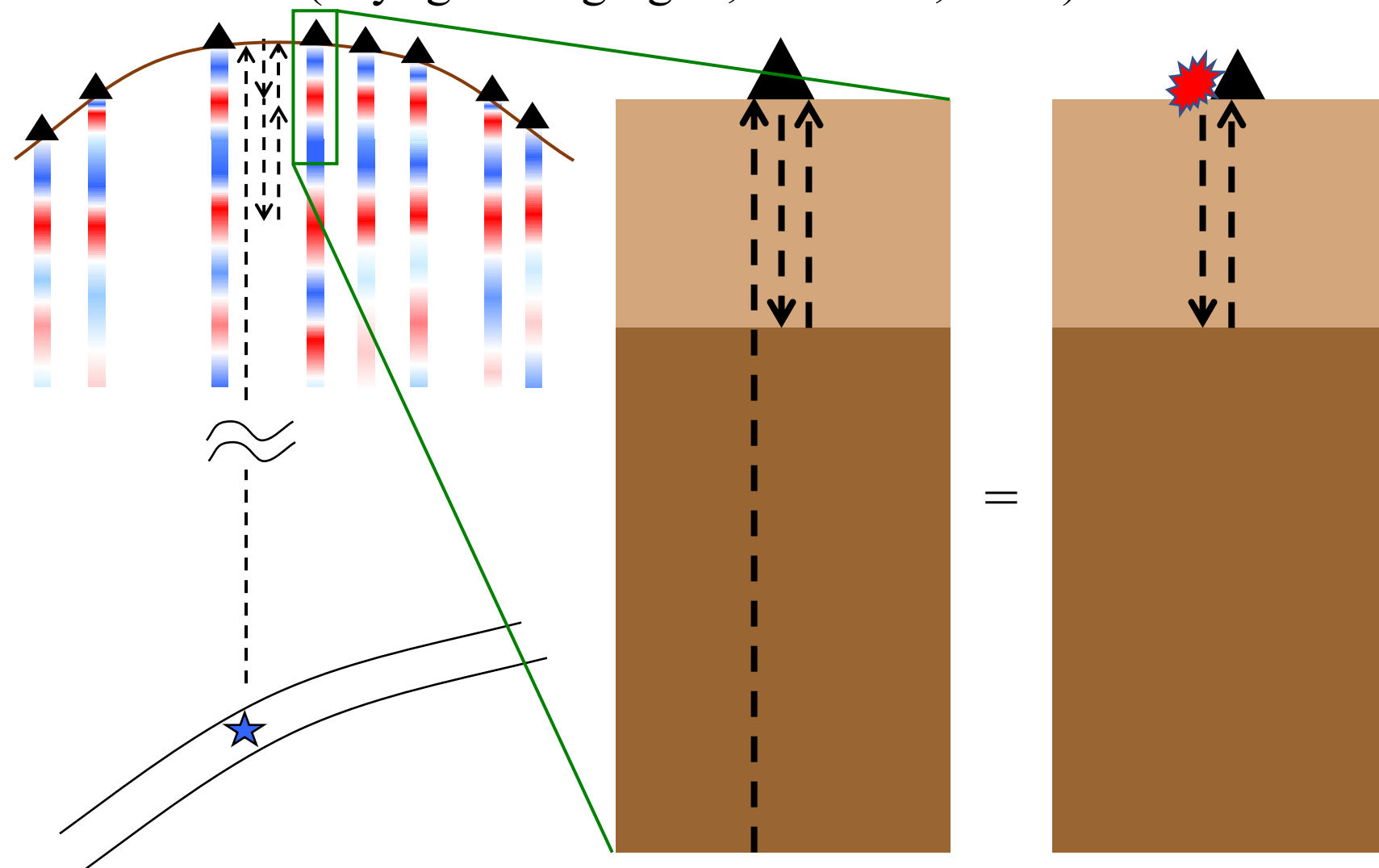
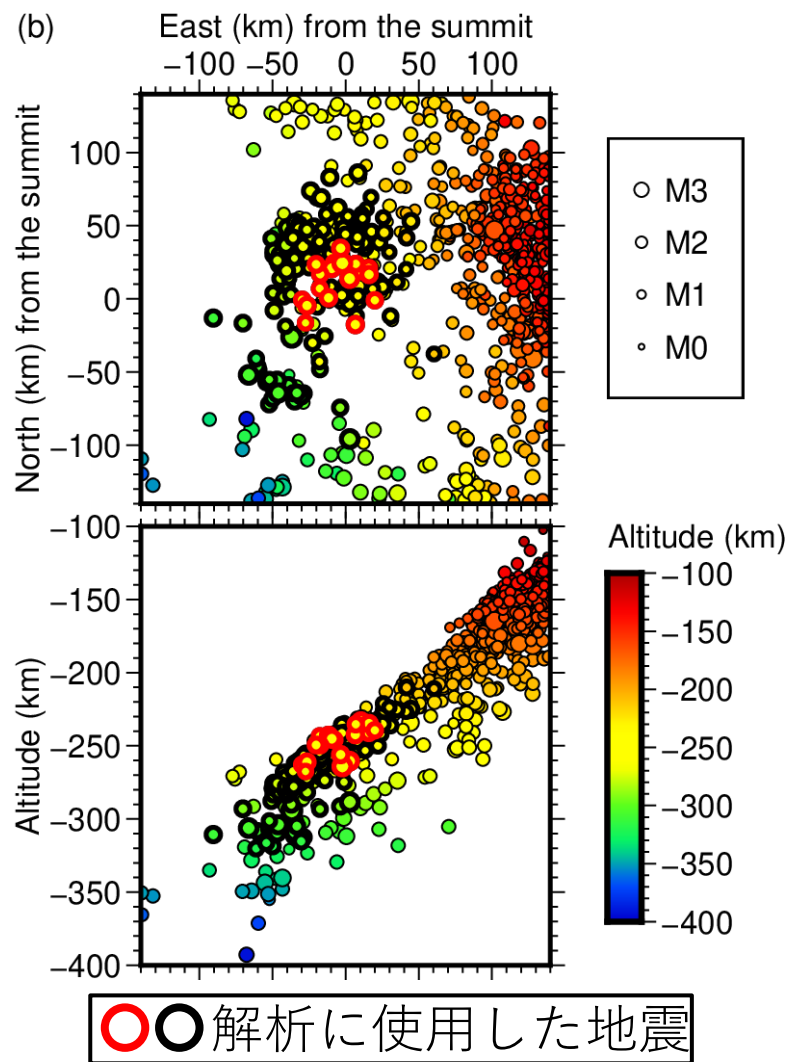
- 最適解(☆)：

標高範囲	P波速度
≥ 1600 m	2.5 km/s (自動)
800-1600 m	4.3 km/s
≤ 800 m	5.6 km/s

- パラメータ間にトレードオフ
解は十分に制約できない



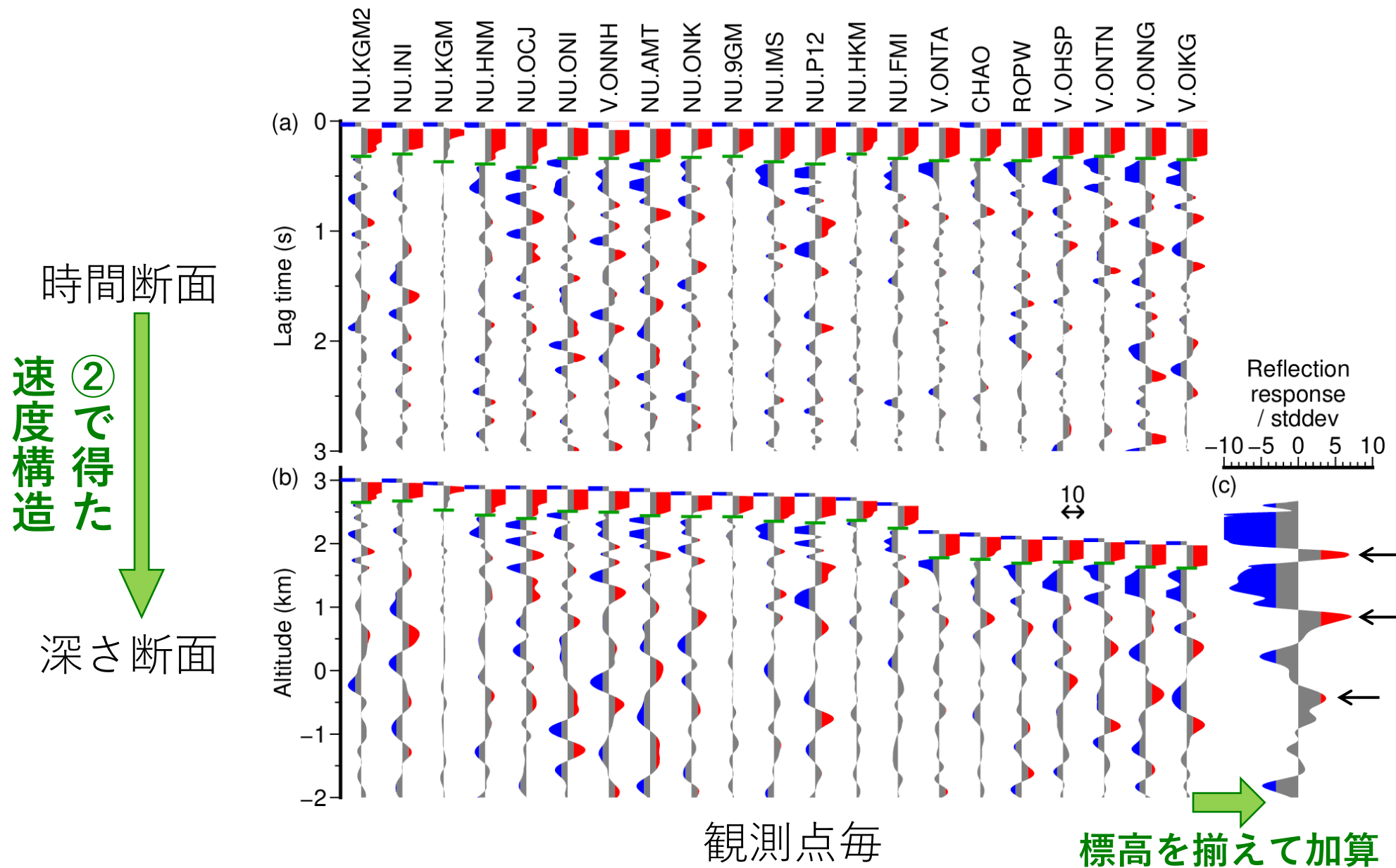
- ・ 目的：解析2と半ば独立な解析による層境界の検証
- ・ 御嶽山のほぼ真下で発生した太平洋プレート沿いの地震を使用
- ・ P波の自己相関関数により反射波を抽出(daylight imaging法; Clarbout, 1968)



③反射面の推定(結果)

11

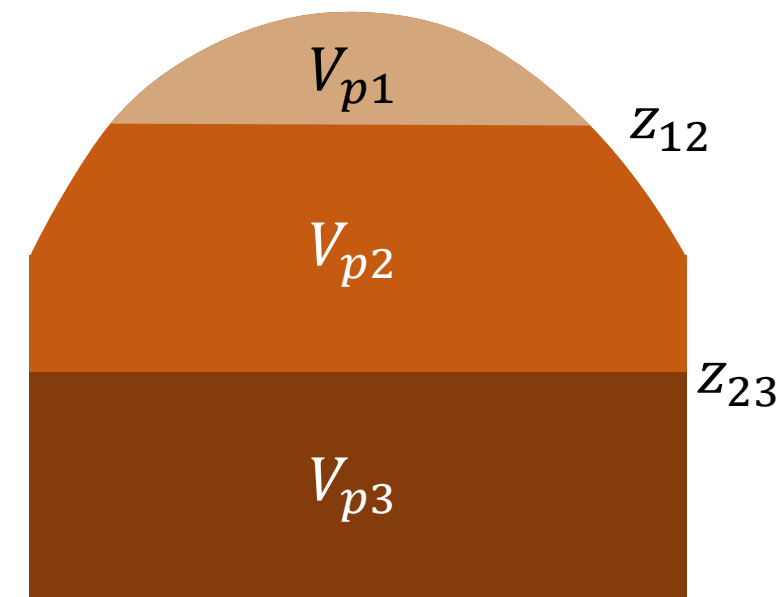
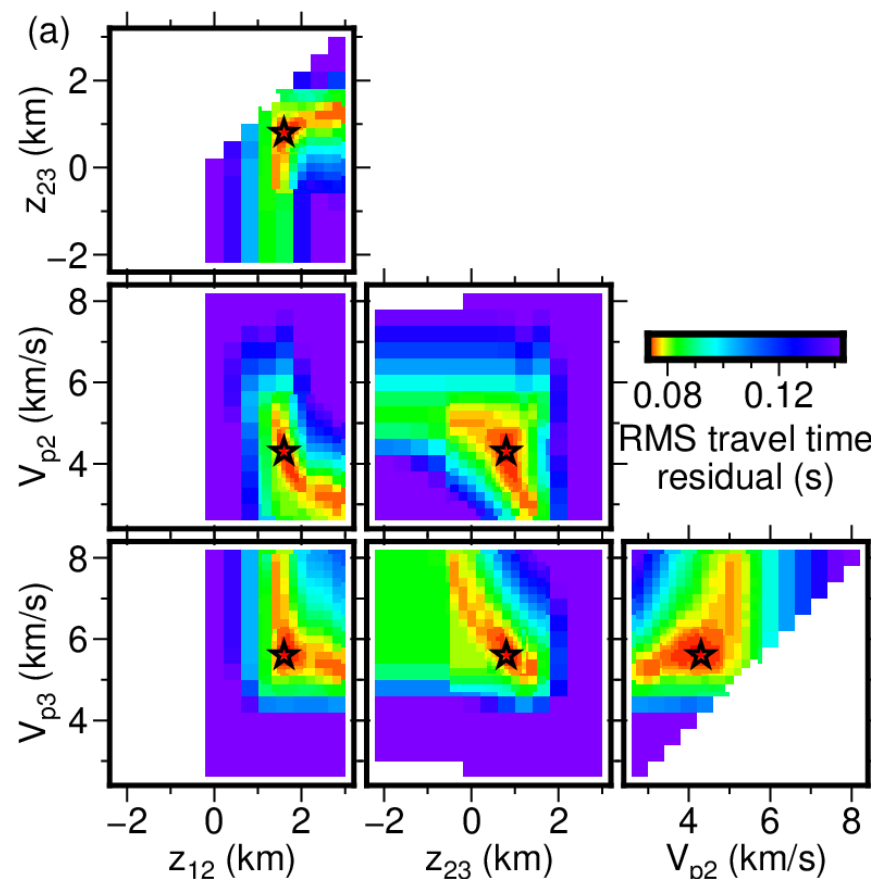
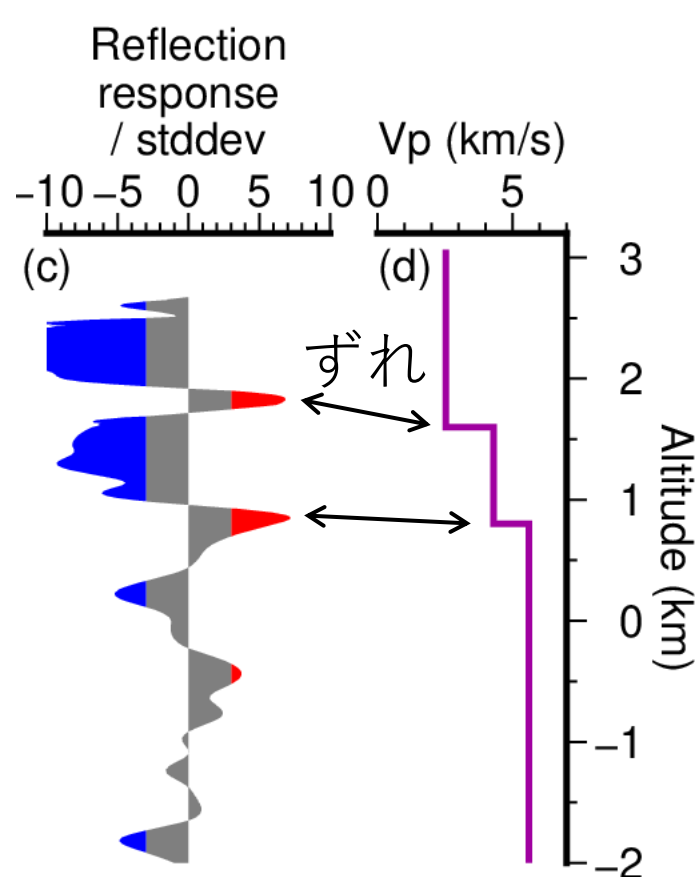
- 3つの深さに反射面が得られた



②→速度不連続面
③→反射面 } どちらも媒質境界を表すので一致すべき

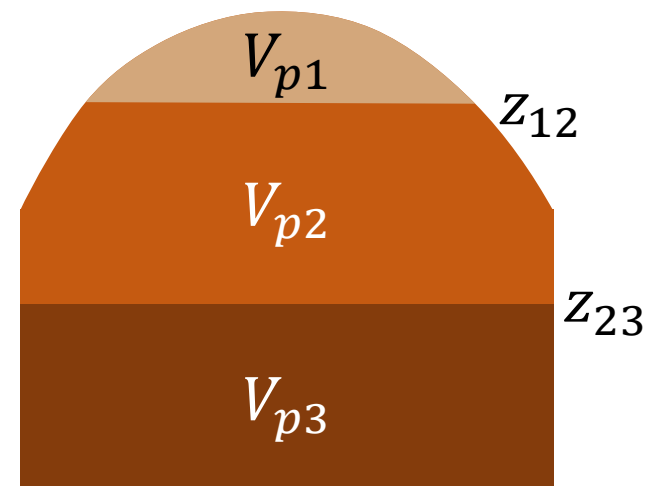
解析結果を見ると標高にややずれがある

②の解を十分に制約できていないためと解釈

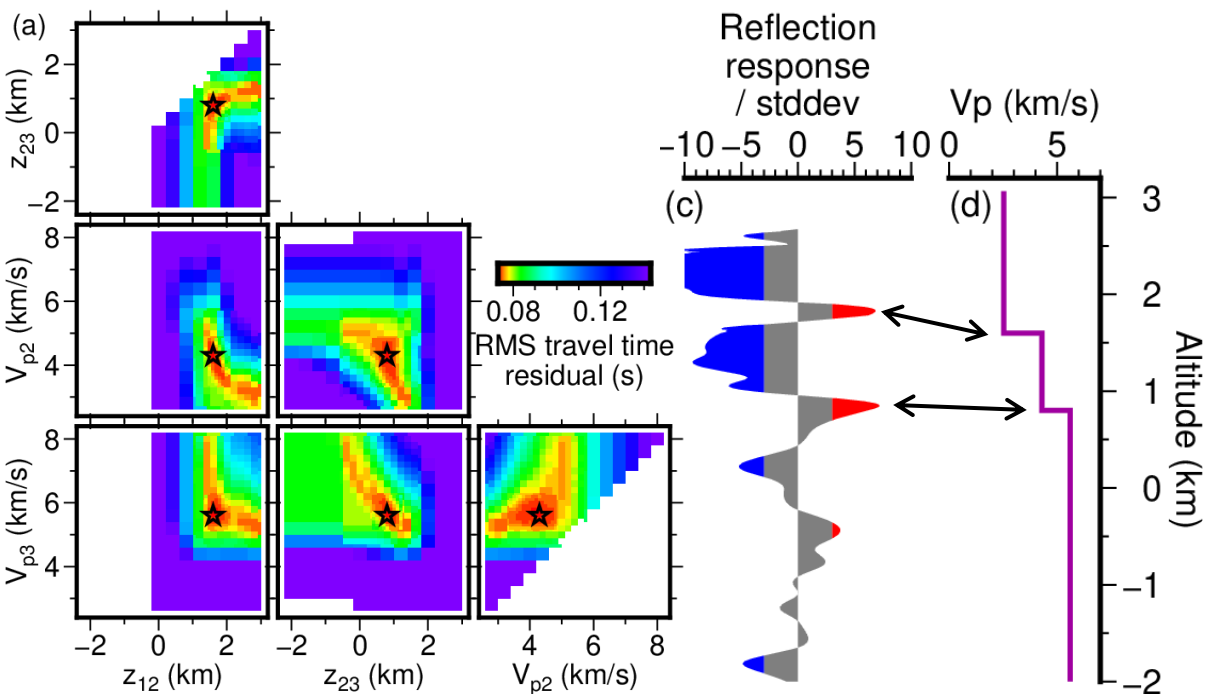


②と③の結果が一致する $z_{12}, z_{23}, V_{p2}, V_{p3}$ の組の中で
残差最小のものを探索(final model)

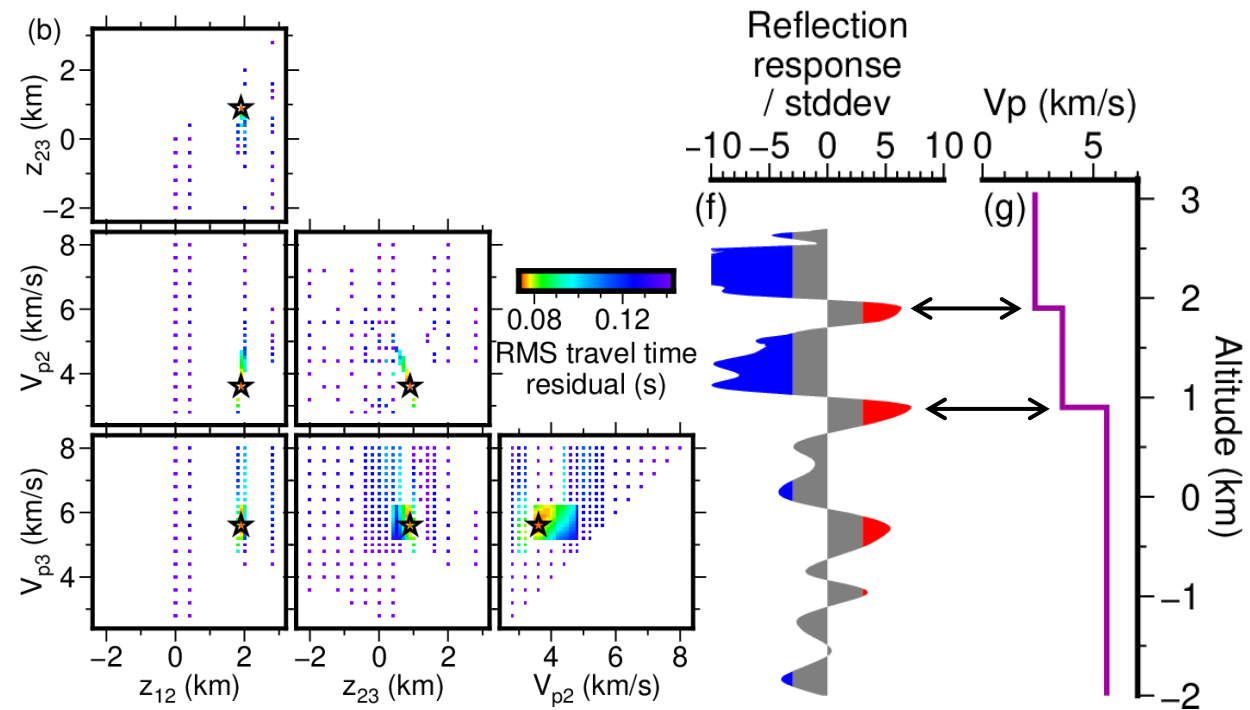
→全ての $z_{12}, z_{23}, V_{p2}, V_{p3}$ の組の中で
残差最小のもの(global minimum model)と比べても
遜色ない走時残差



【global minimum model (残差 : 0.0733 s)】



【final model (残差 : 0.0746 s)】

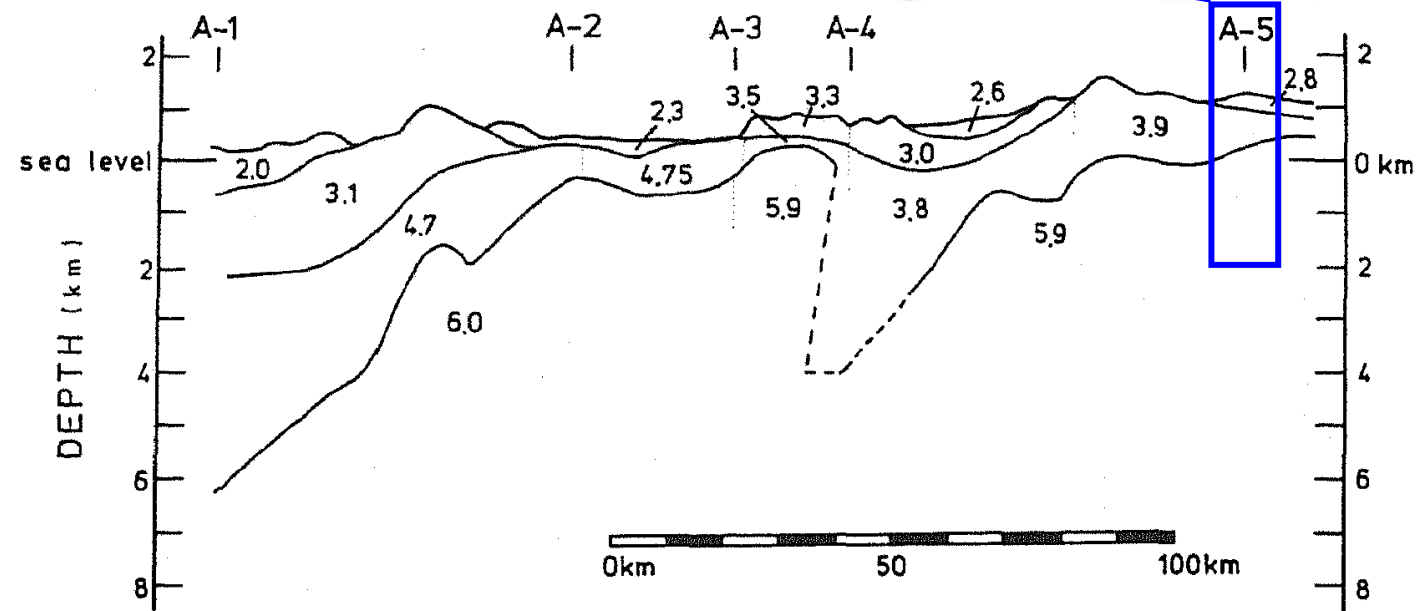
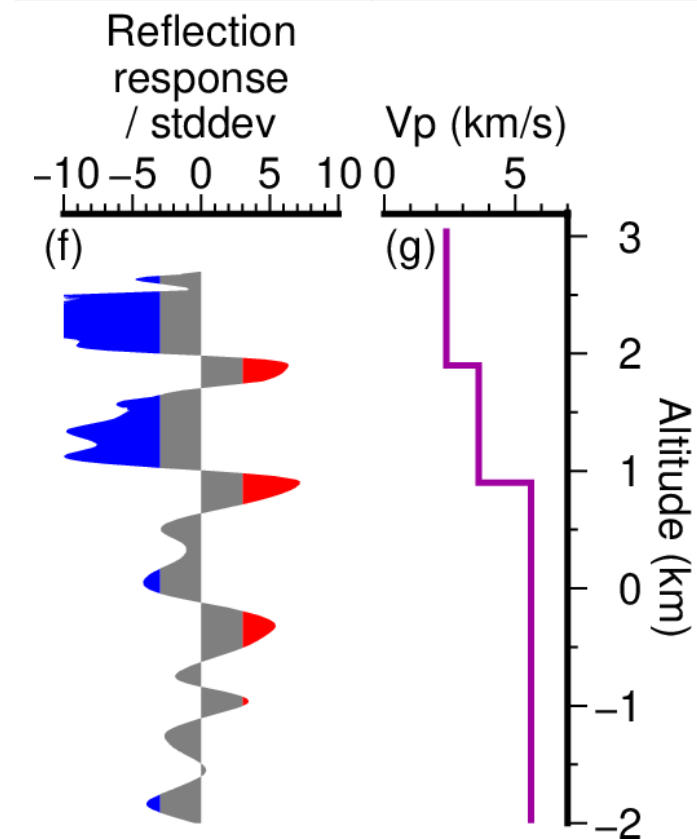


【本研究】

標高範囲	P波速度
≥ 1900 m	2.4 km/s (自動)
900-1900 m	3.6 km/s
≤ 900 m	5.6 km/s

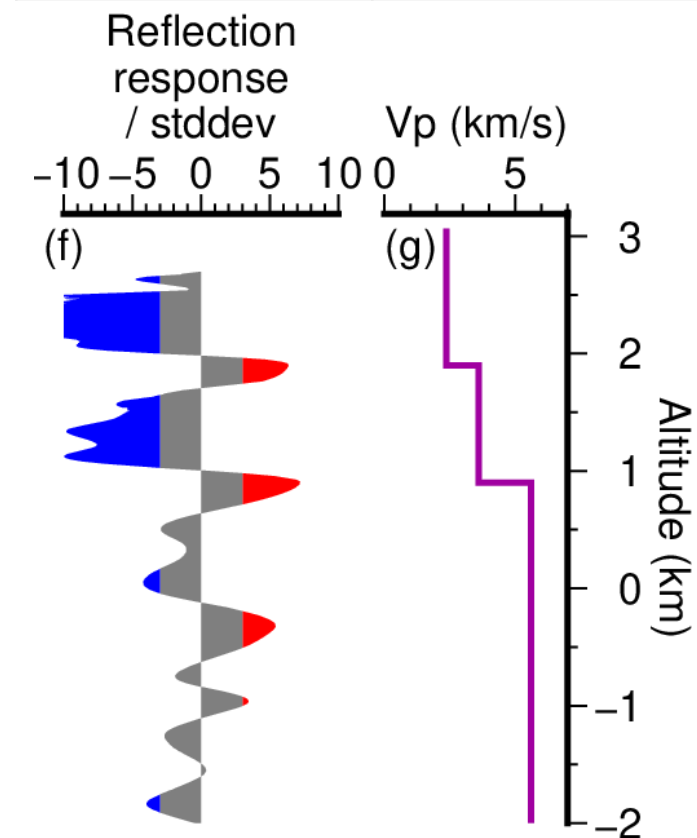
【Ikami et al. (1986)】

本研究で得られた地下構造は
広域的な屈折法地震探査
(Ikami et al., 1986)で得られた
御嶽山南東麓の構造と調和的



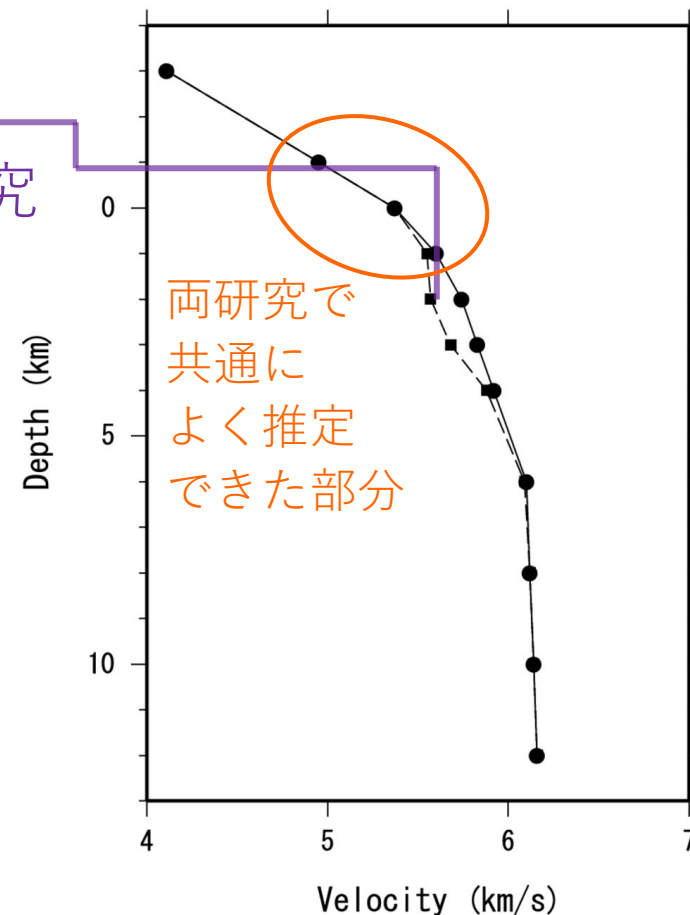
【本研究】

標高範囲	P波速度
≥ 1900 m	2.4 km/s (自動)
900-1900 m	3.6 km/s
≤ 900 m	5.6 km/s

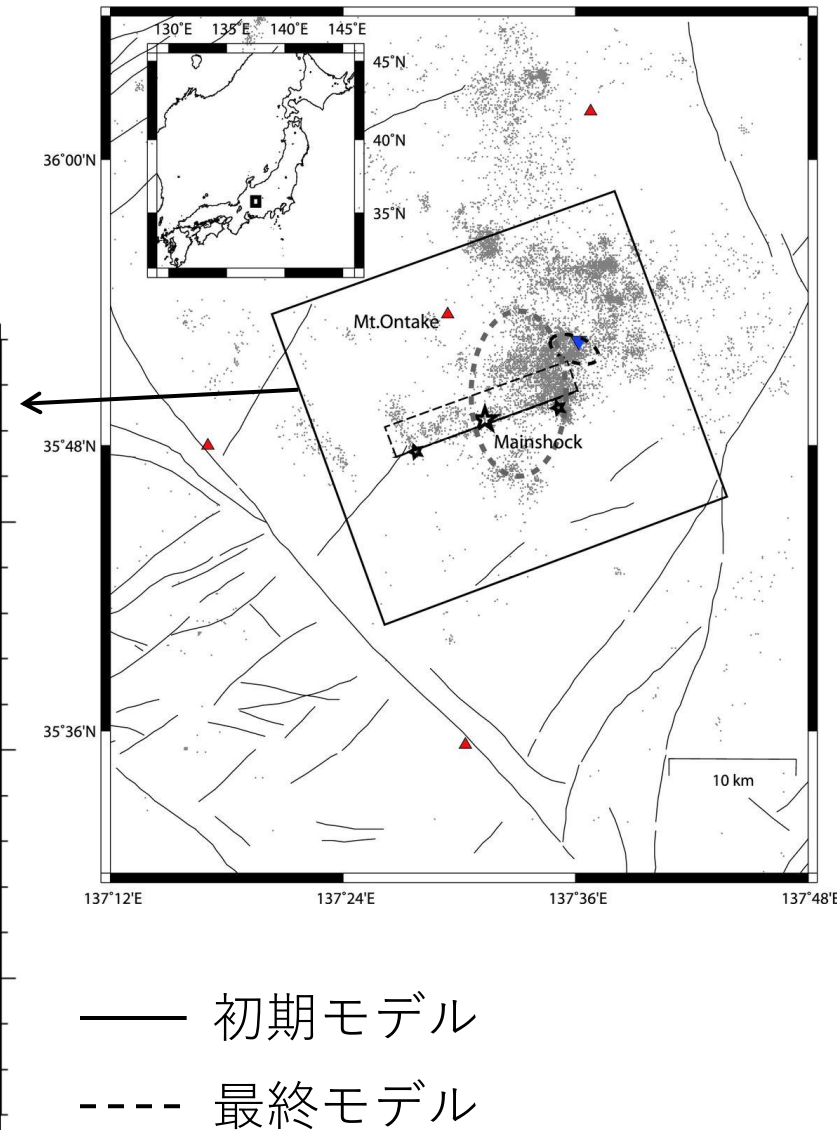


御嶽山南東麓での
トモグラフィ結果
(Doi et al., 2013)とも
矛盾はしない

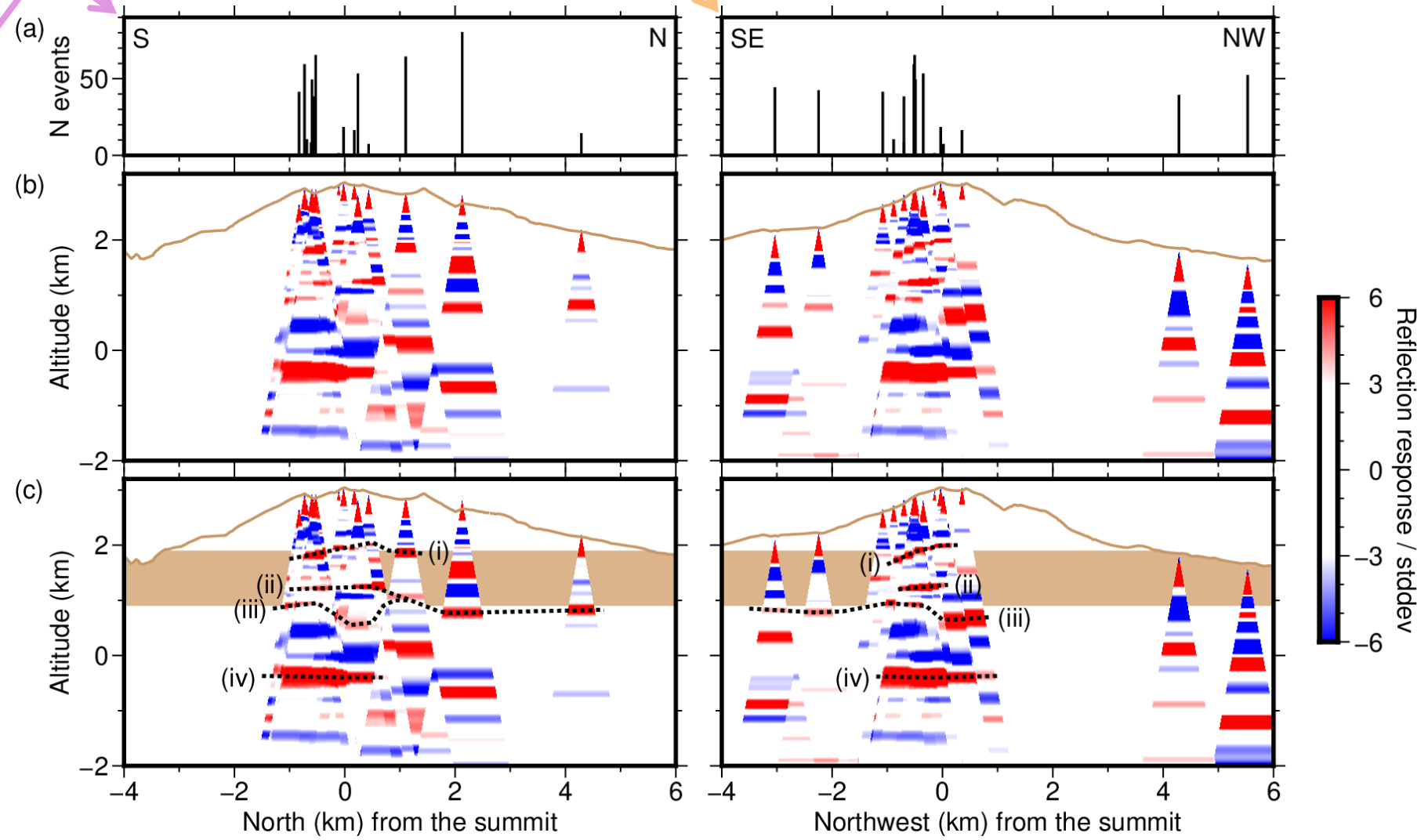
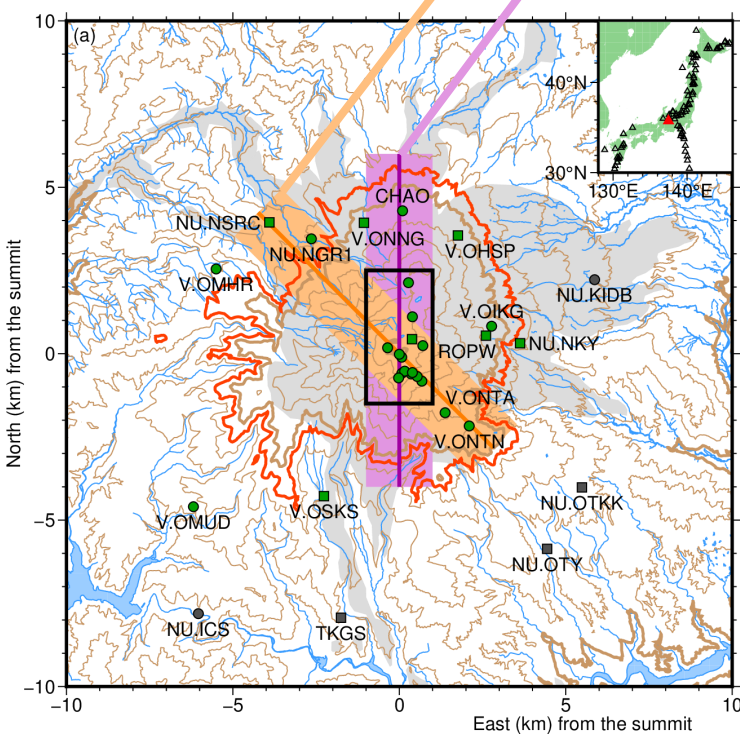
本研究



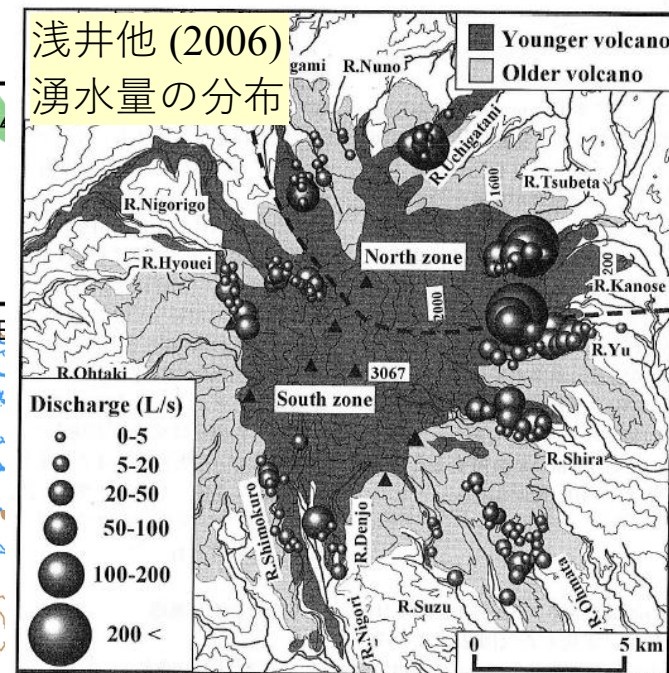
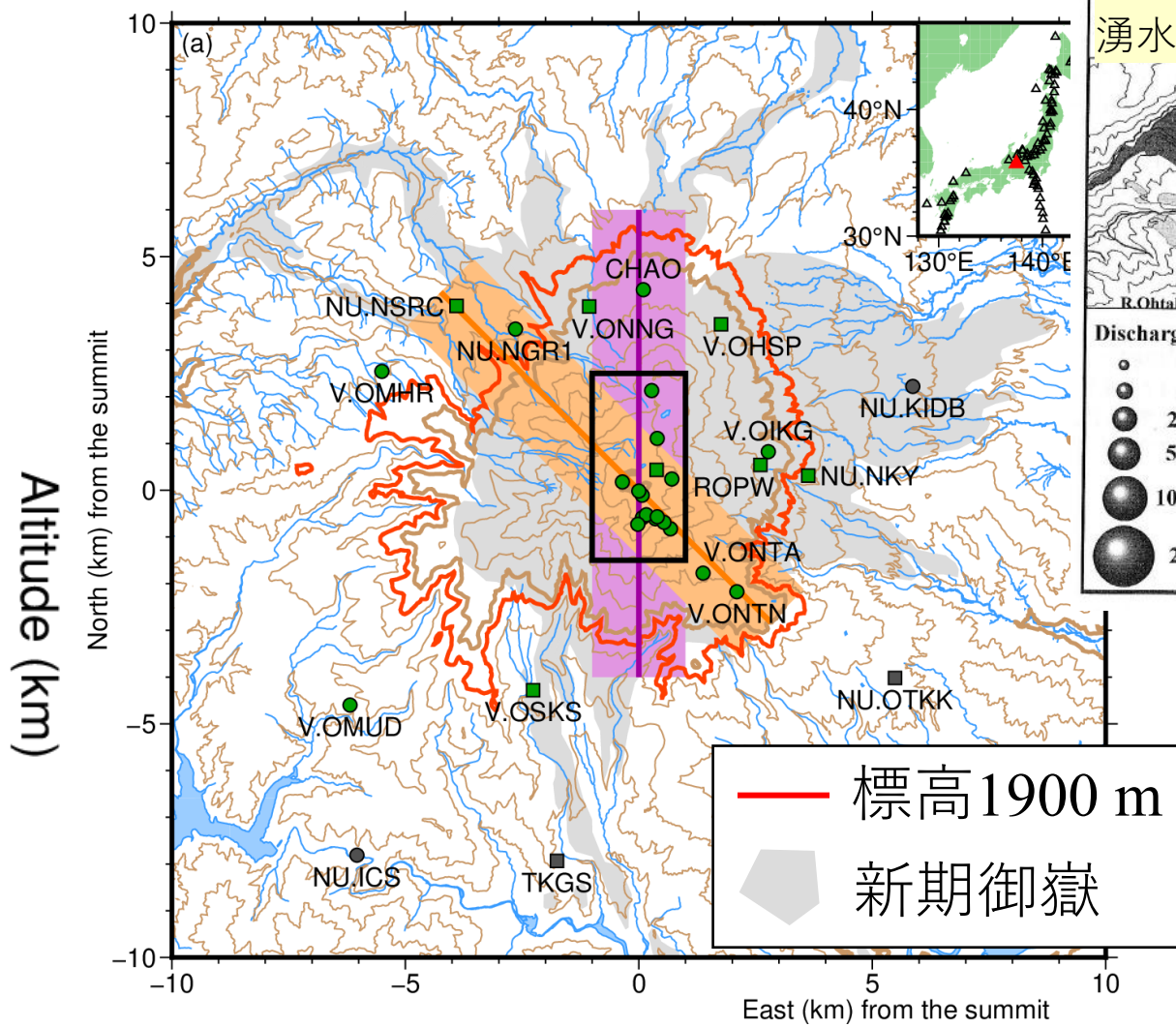
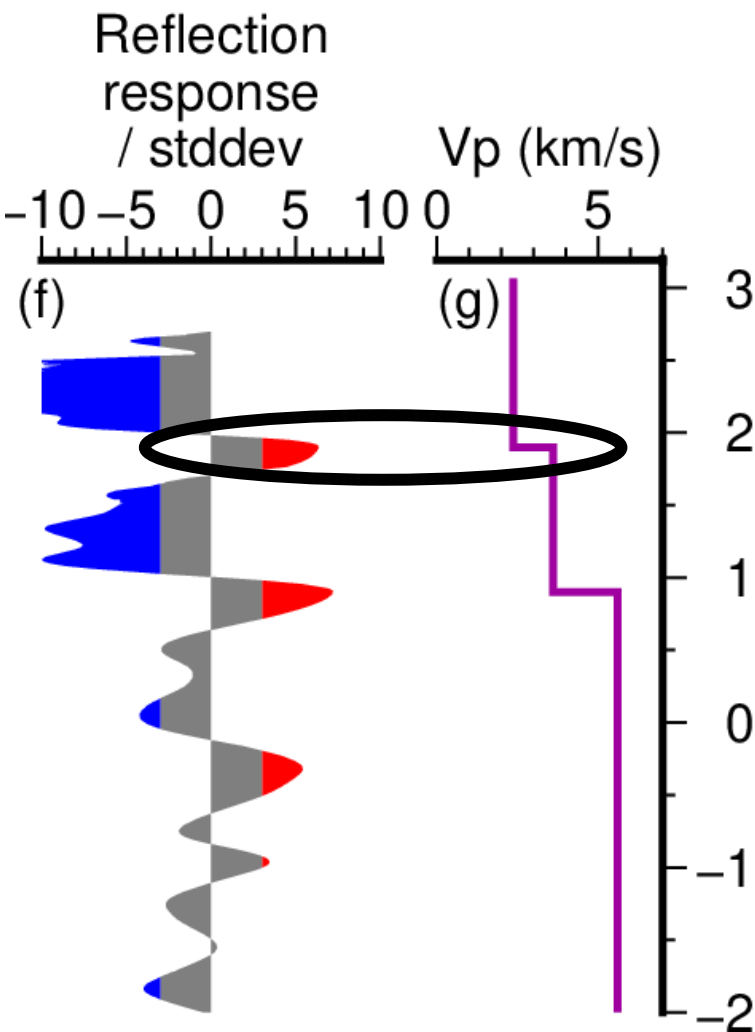
【Doi et al. (2013)】



- (i) : 標高1900 m付近
- (ii) : (iii)から分岐？
- (iii) : 標高900 m付近
- (iv) : 山頂直下のみ

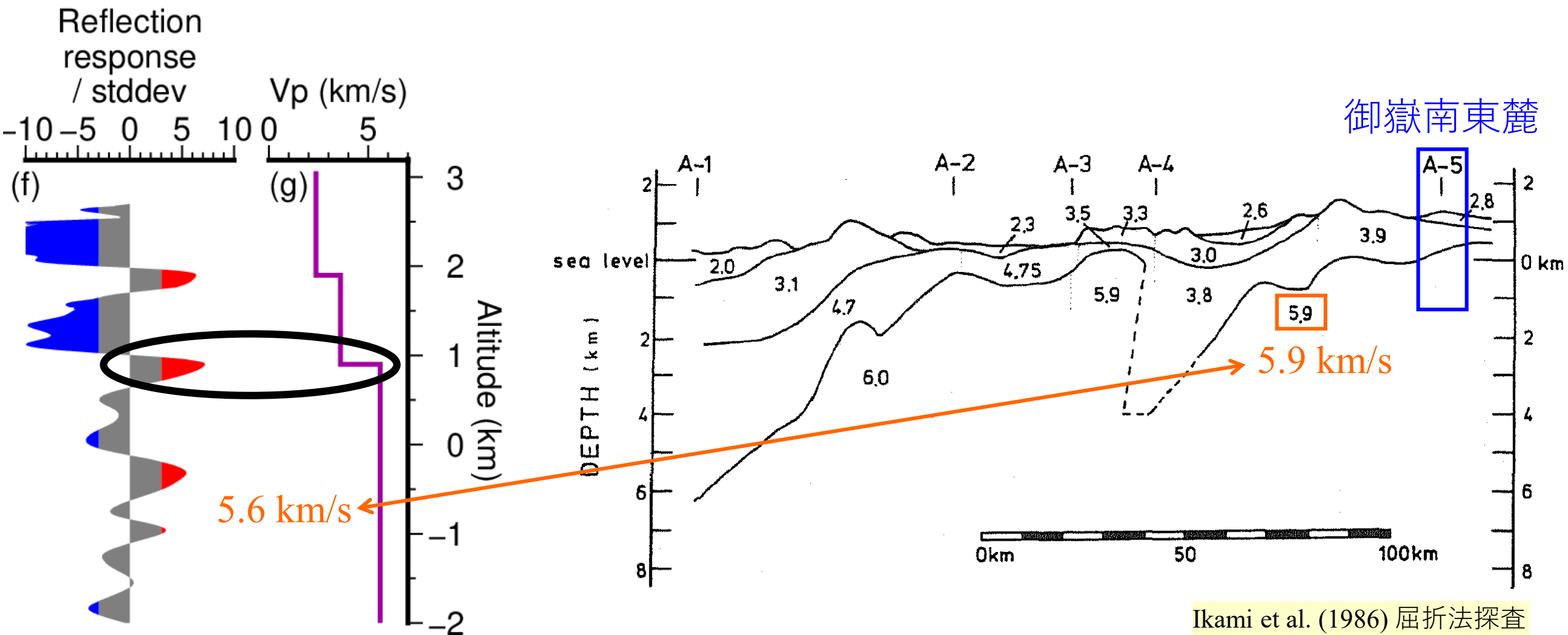


- ・ 新期御嶽(Y)－古期御嶽(O)境界の標高に近い ⇒ **Y-O境界と解釈**
- ・ 30万年間の休止期に古期御嶽が圧密されて新期御嶽よりも高速度になったと解釈
- ・ Y-O境界に沿った地下水流動(浅井他, 2006)とも整合的



- ・ 古期御嶽(O)の下に想定される媒質は基盤岩(B)
- ・ 推定した3層目のP波速度はIkami et al. (1986)が基盤岩と解釈した層の速度に近い

⇒O-B境界と解釈



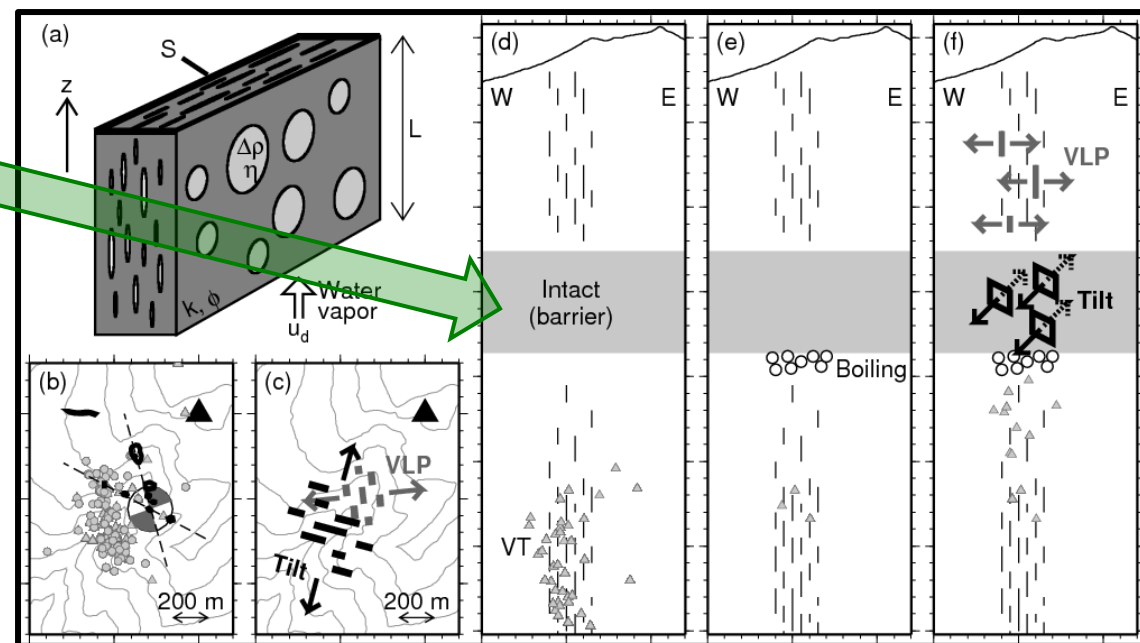
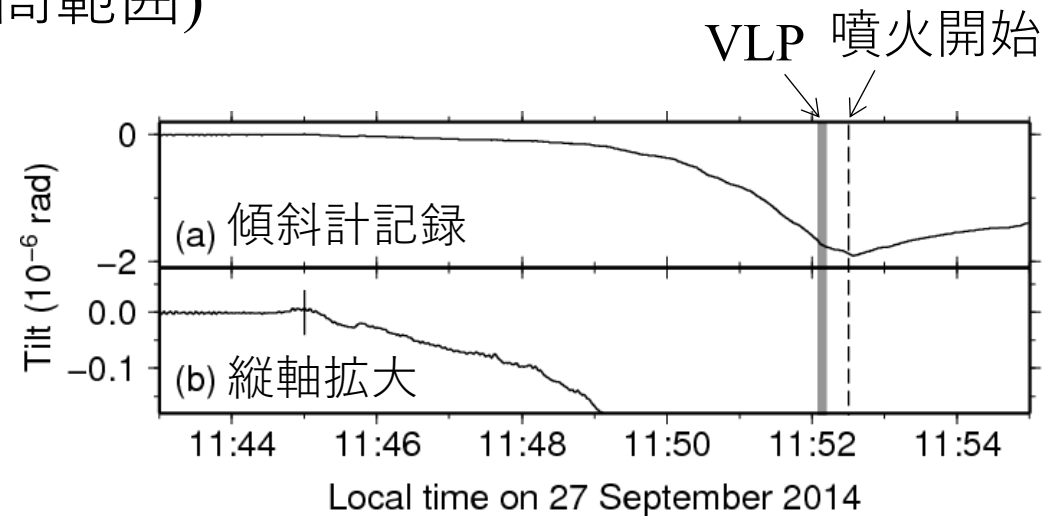
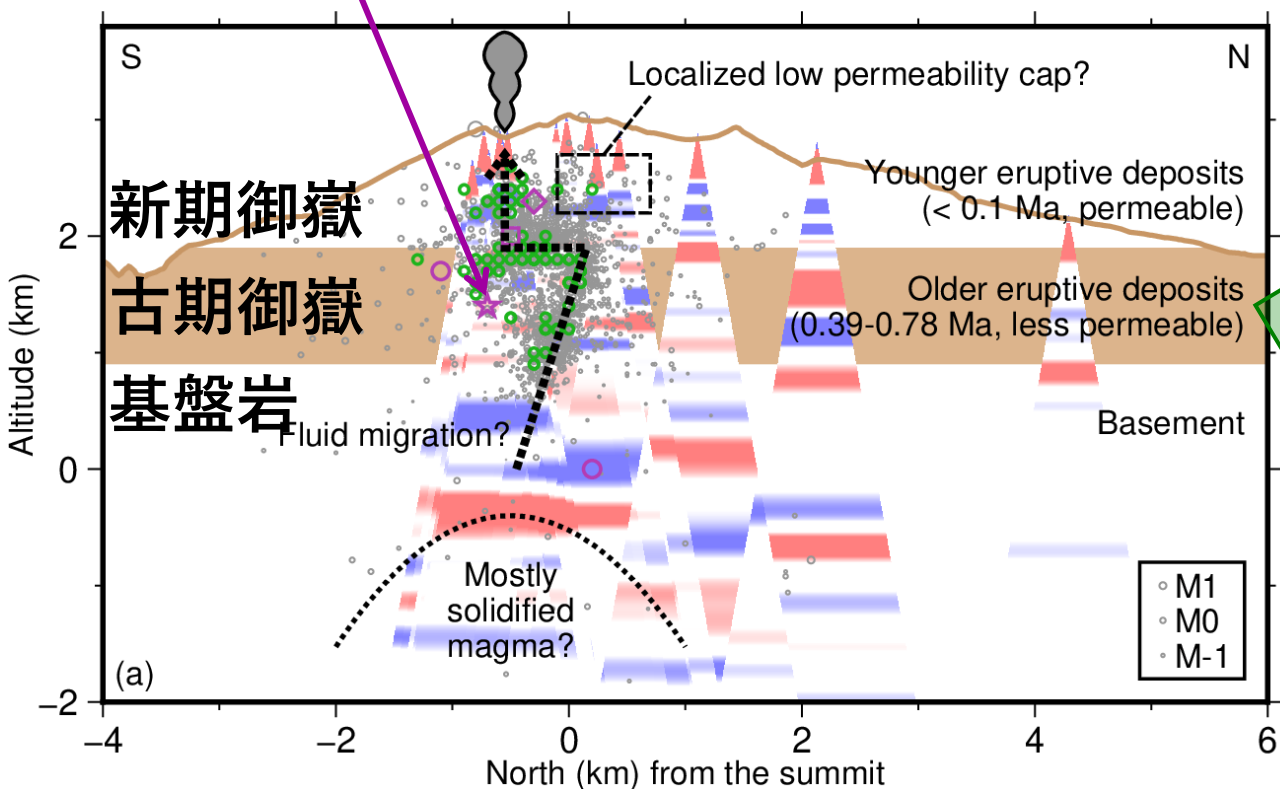
- Maeda et al. (2017) : 2014年噴火開始直前の傾斜変動を解析
 - 力源は標高1440m (本研究で得た古期御嶽の標高範囲)
 - 流体がバリアを破壊して上昇と解釈

【Maeda et al. (2017)】

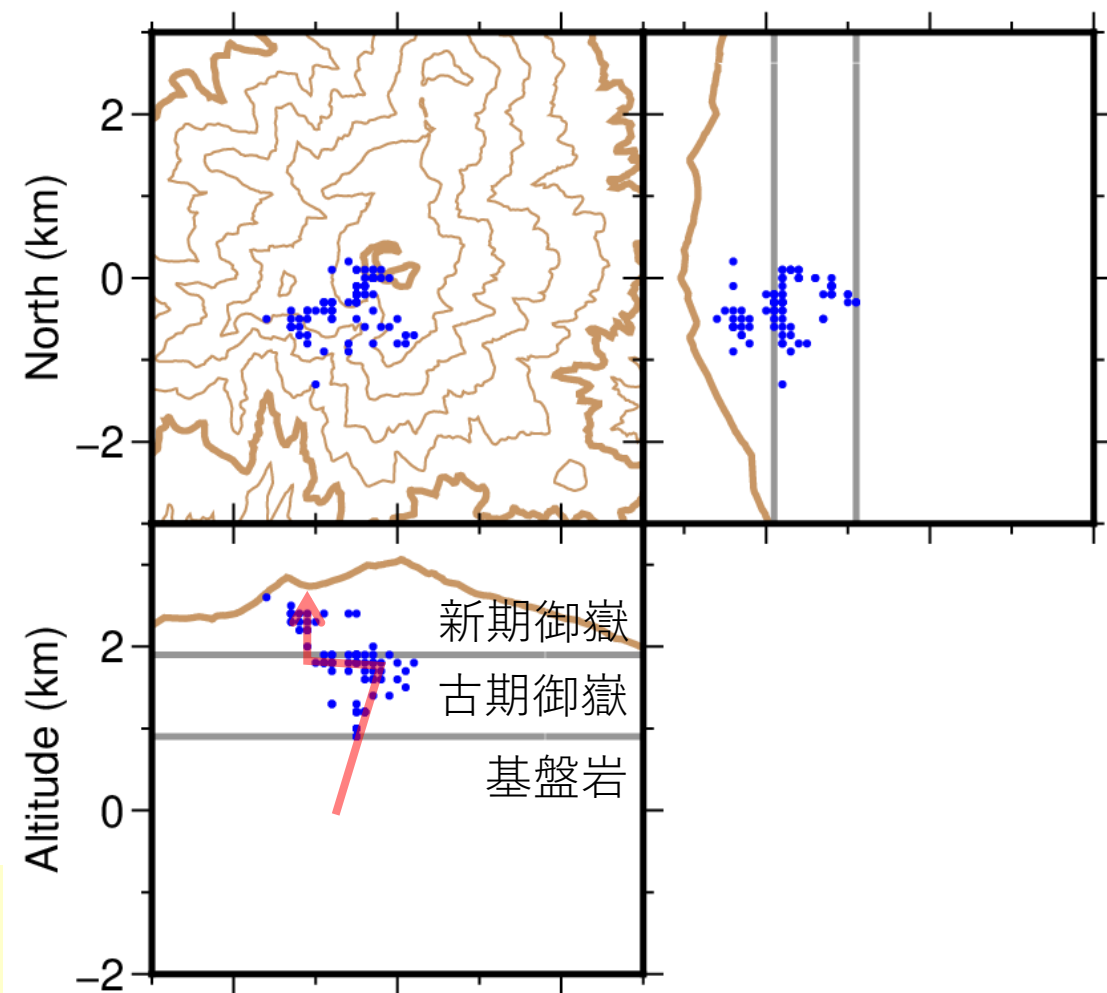
⇒噴火前は**古期御嶽がバリア**として作用した

傾斜変動源

【本研究】

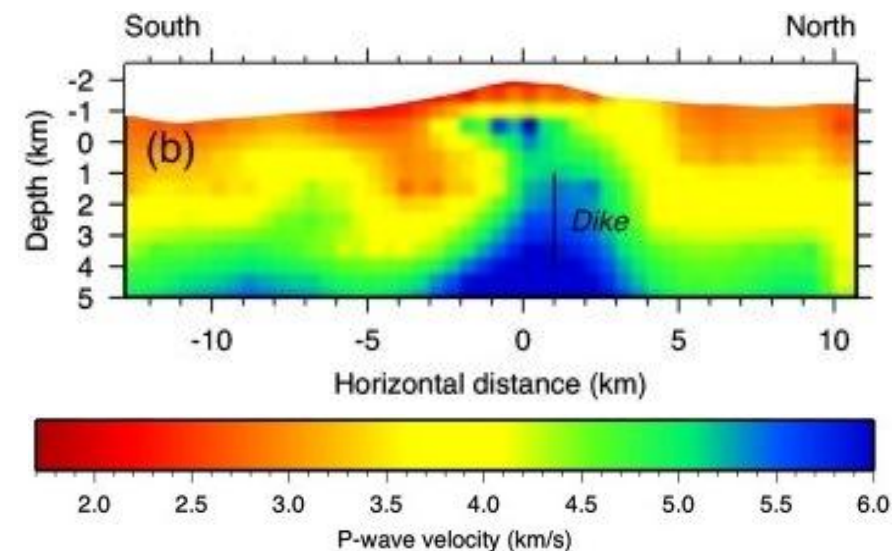
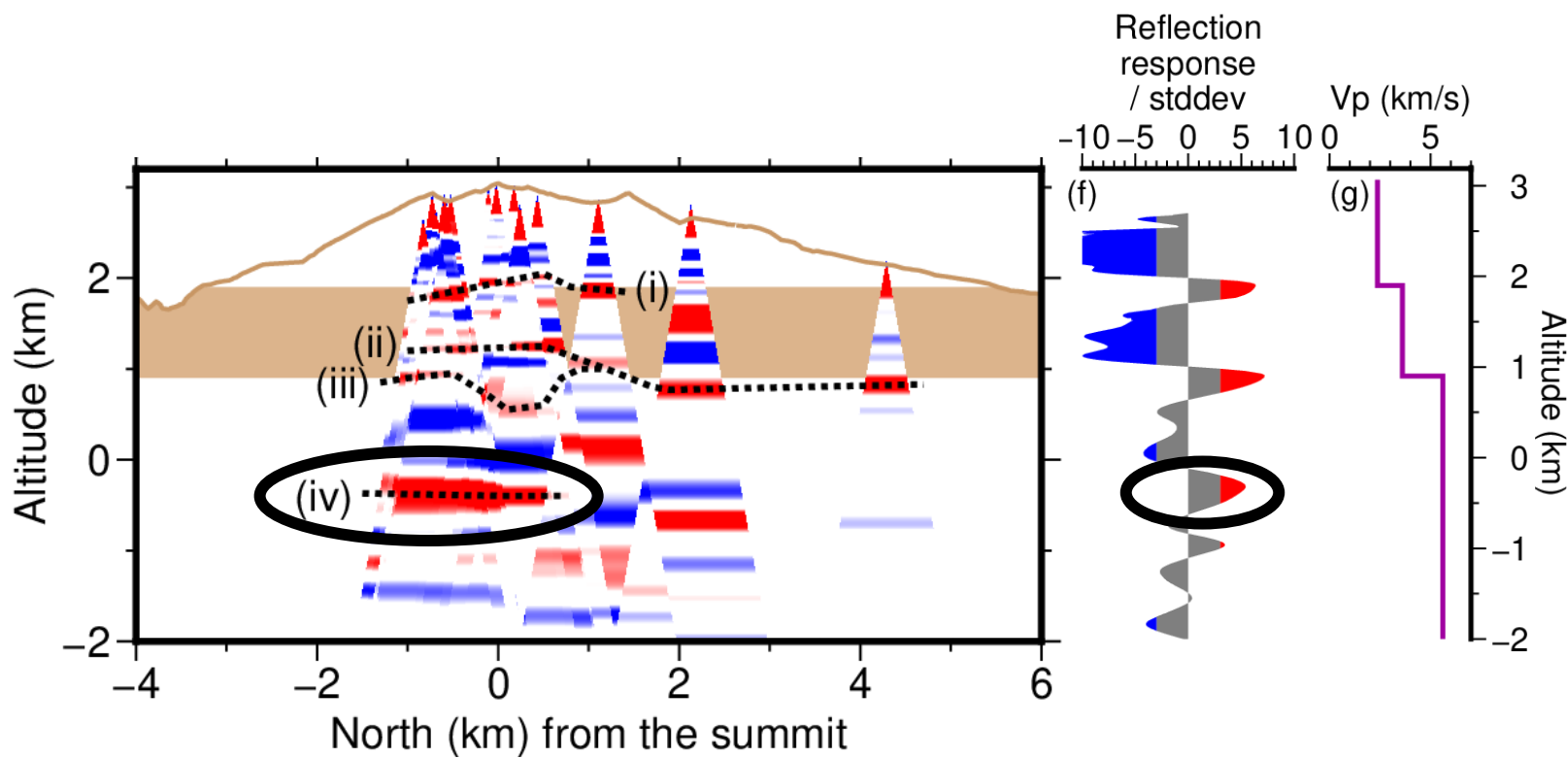


- 地震活動が間隙流体圧上昇で起きているとすれば**震源分布が流体移動経路**を表す
 ※2017年11月以降の震源なのであくまで**噴火収束後**の流路
- 水の由来として天水起源の地下水(Y-O境界に沿って流動; 浅井他, 2006)が考えられる
 しかし、古期御嶽を貫く震源分布の特徴から考えて深部由来の水もありそう
- なぜ震源がY-O境界に沿って折れ曲がるか?
 新期御嶽内に局所的な低浸透率領域? 今後の課題



推定した地震波速度構造モデルを用いて
再決定した震源分布

- ・ 山頂域の下でのみ見られる
 - ・ 正(赤色)の反射面なので下側が高速度
 - ・ 他火山の高速度域(古い固結したマグマと解釈されてきた)と深さや空間スケールが類似
- ⇒御嶽山の反射面(iv)は**固結したマグマの上面**と解釈できる？
- しかし ... **完全に固結してしまうと活動を起こせない**
- ⇒**半固結のマグマ？** 高速度になる程度に低温だが結晶化・2次沸騰は進行中と推測

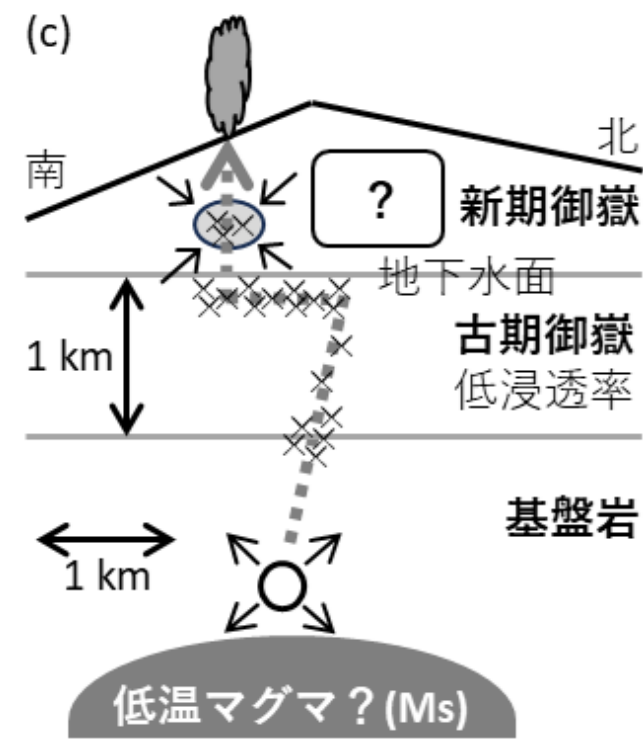
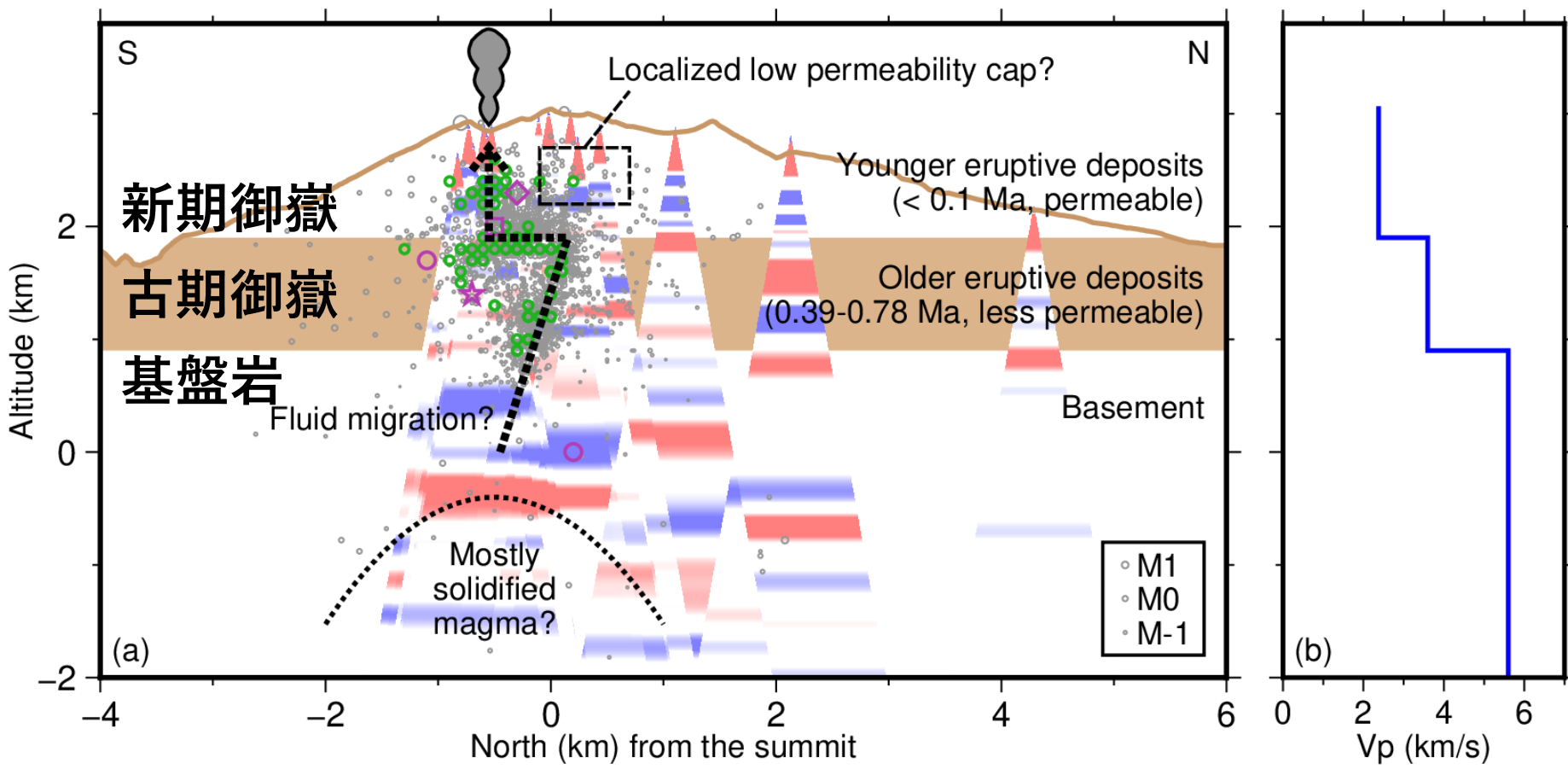


Aoki et al. (2009)

人工地震探査により推定された
浅間山の地震波速度構造

まとめ

- 御嶽山山頂域浅部の地震波速度構造を3種類の方法で推定(&震源決定)
- 新期御嶽(≥ 1900 m)、古期御嶽(900-1900 m)、基盤岩(≤ 900 m)の3層構造
- 30万年の休止期を経て圧密された古期御嶽が流体移動に対してバリアの役目
- 噴火後の現在は古期御嶽を貫通する流体の流れ　なぜかY-O境界で曲がる
- 海拔下300 mを上端とする半固結マグマが流体供給源？



単純化した模式図