

資料 調9－（8）

「海域火山の地下構造・噴火履歴等の基礎情報調査」

令和7年度 実施報告

国立研究開発法人海洋研究開発機構

第9回火山調査委員会

調査目的・調査測線

調査目的

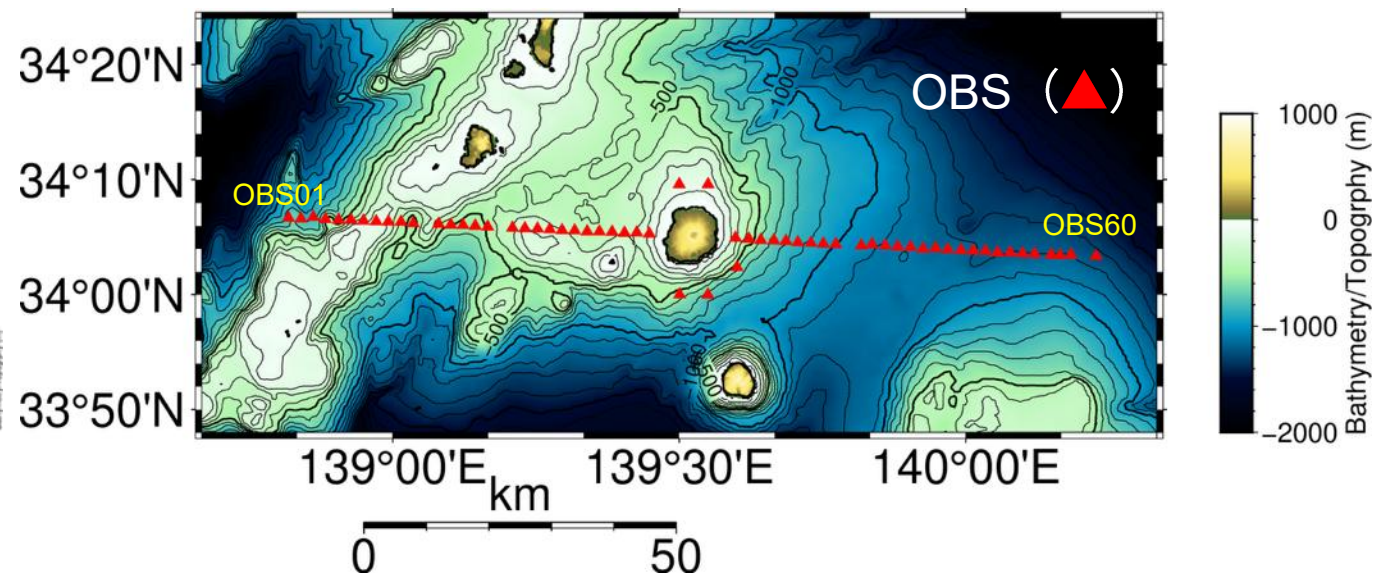
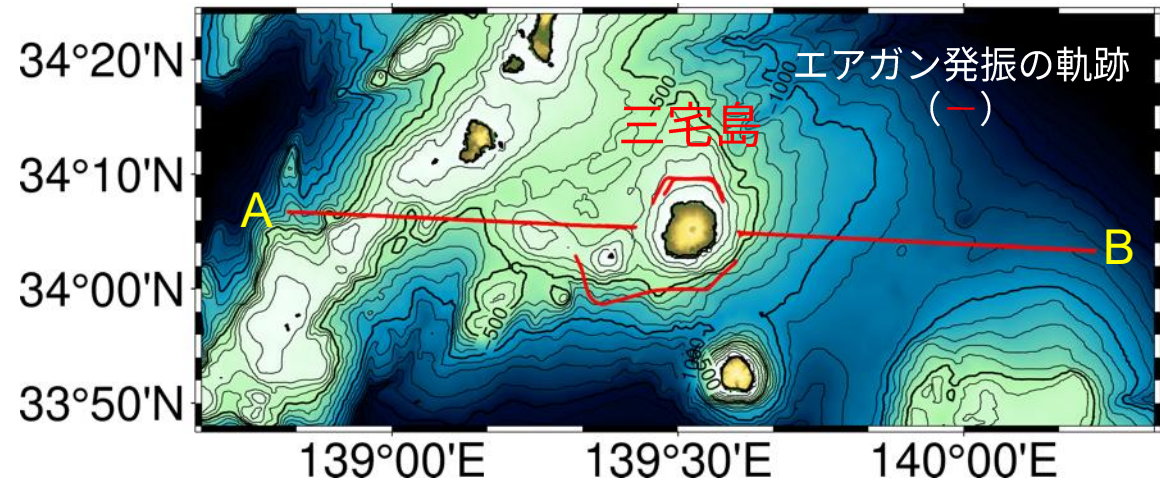
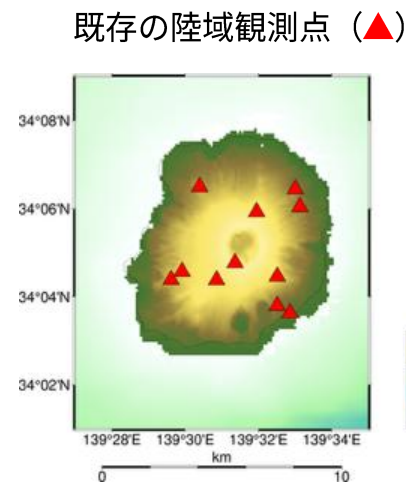
島外の海域から島内や山頂などの火山体の中心を含む構造を明らかにするような人工地震探査を実施。カルデラ形成という稀有な現象が生じた2000年噴火以降のマグマ供給系に関する重要な基礎情報を得る。

成果目標

三宅島中心部直下における地下0～8 kmにいたる2次元地震波(P波)速度構造、深さ20km程度までの1次元地震波(P波)速度構造を推定。

業務方法

地点AとBを結ぶ測線における屈折法構造探査と速度構造解析



調査概要

航海期間

2025年10月10日 – 10月21日

委託事業 内容・仕様

使用船舶 「かいめい」

屈折法構造探査

海底地震計(OBS)-大規模エアガン使用

- OBS：65台設置・回収
- サンプリング周波数：250Hz
- エアガン発振間隔：200m

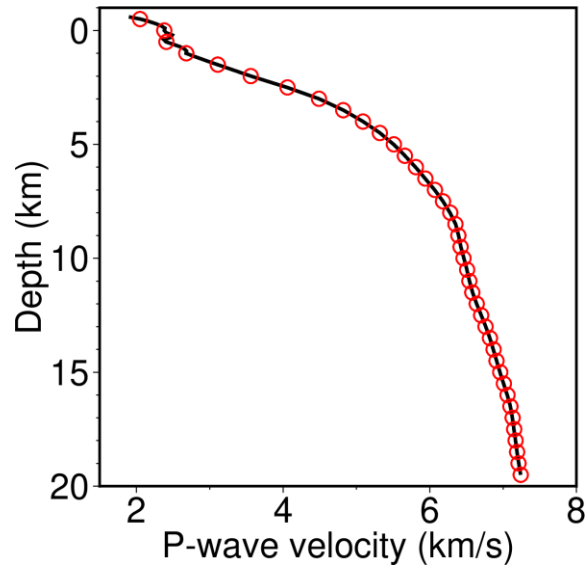
日程	実施内容	備考
10/10	横須賀出港	10/8,9 荒天待機
10/10-10/12	OBS設置	10/13 荒天待機
10/14-16	エアガン発振	
10/17-20	OBS回収、航走観測など	
10/21	横須賀帰港	

解析手法

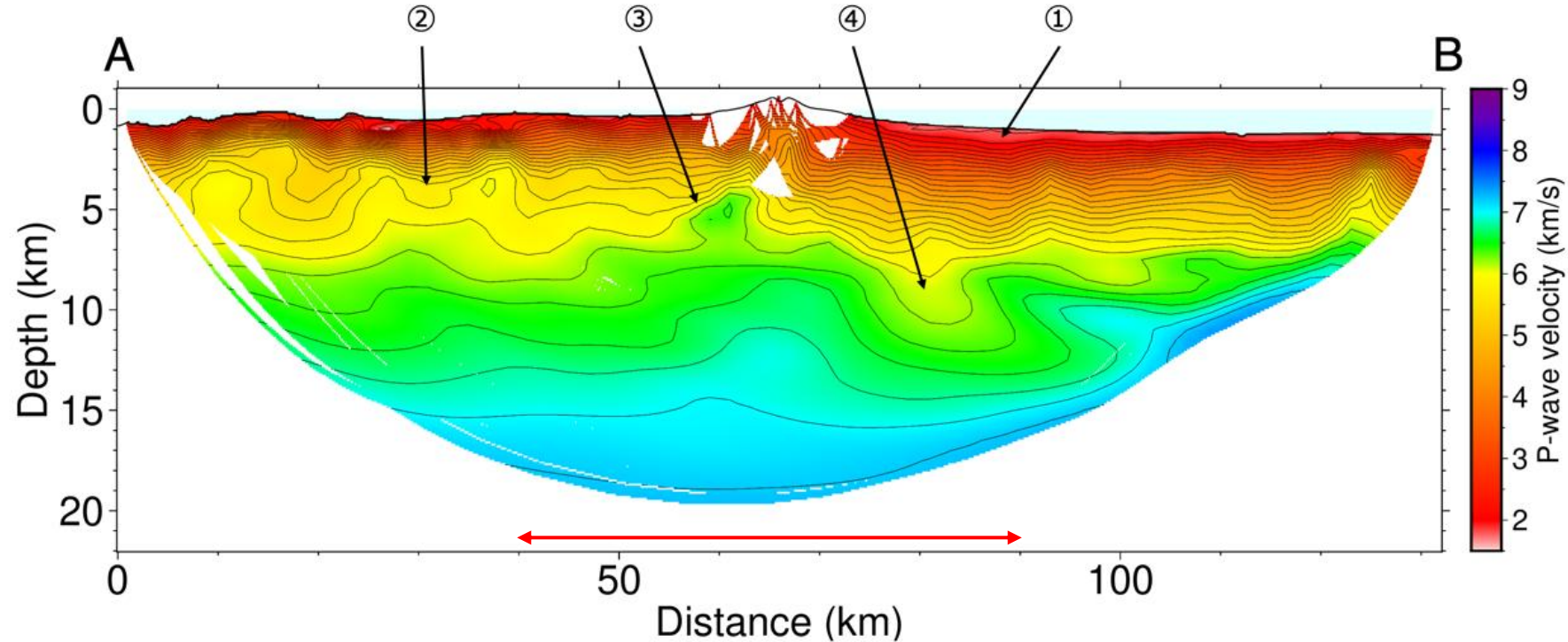
- 初動走時トモグラフィー
(Fujie+ 2006)

- データ：初動走時67,665個
- 速度を与える格子間隔：水平2 km, 鉛直0.5 km
- 走時計算の格子間隔：水平鉛直とも0.05 km
- イタレーション：10回
- 走時残差rms：396.8 → 37.9 msec

2次元P波速度トモグラフィー結果



A地点（P2地図参照）からの距離40~90km（右図の赤矢印の範囲）における平均的1次元P波速度構造（黒線）。赤丸は深さ0.5km毎に間引いた値



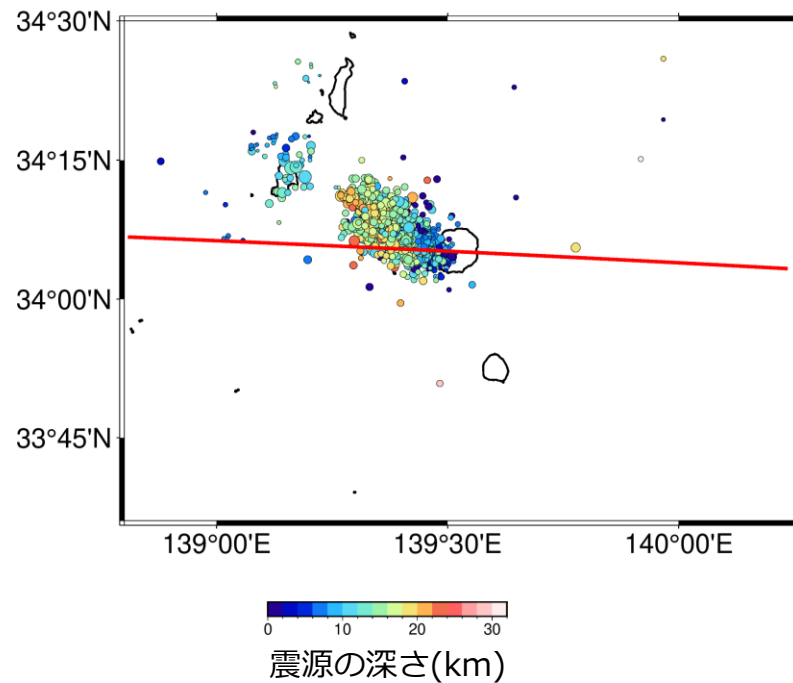
A地点とB地点（P2地図参照）を結ぶ2次元P波速度構造。波線密度が0の領域をマスクした。等値線の間隔は0.2km/s。特徴的な構造は以下の通り。

- ①三宅島東方沖の低速度の厚い表層。
- ②三宅島西方沖の高速度域の盛り上がり。
- ③三宅島西側沿岸下深部（深さ約6 km）から島の中央部にかけて伸長する高速度域。
- ④三宅島雄山山頂約15km東方深さ約8~10kmの低速度域。

赤矢印の範囲を平均して1次元速度構造を推定。

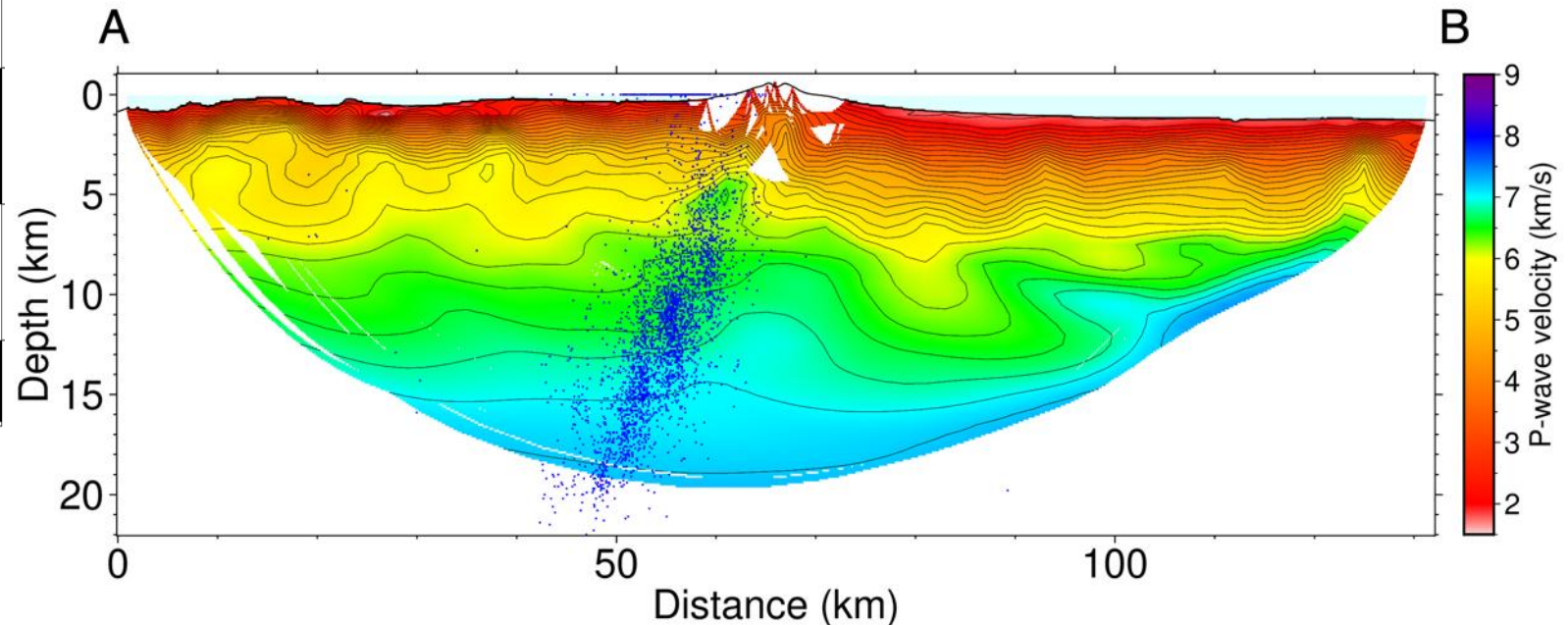
2000年活動時の震源との比較

・ 気象庁一元化震源 2000年6月



気象庁一元化震源による2000年6月に発生した地震の震央。地震の深さを色で示す。赤線は構造調査の測線。

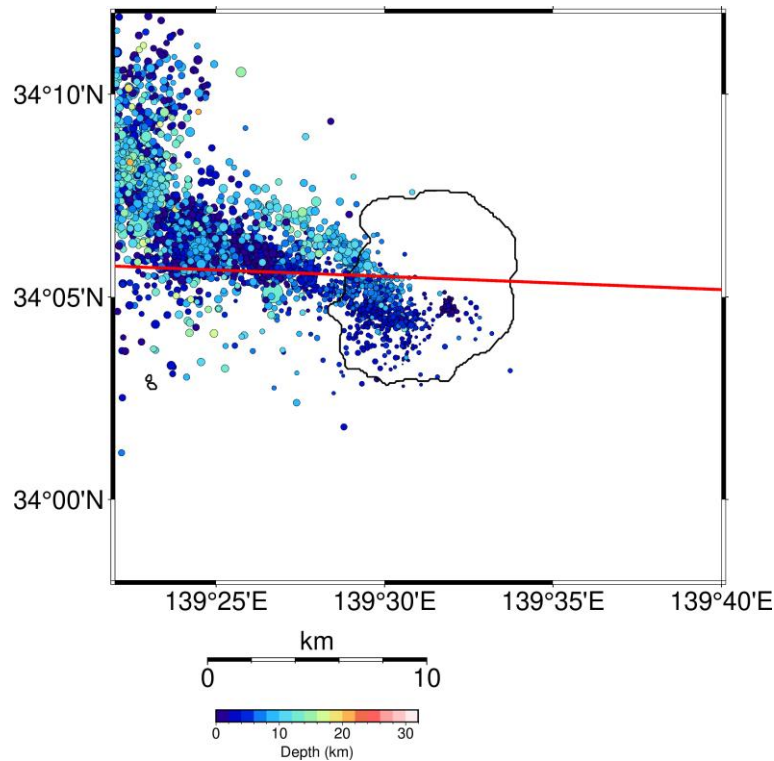
2000年6月28日から30日にかけて、三宅島の中央部で始まった地震活動が西方へ、さらに神津島の方に拡大し始めた。測線AB断面から10km以内の距離にある地震の震源を断面に投影すると、三宅島中央部から西海岸下に伸びるP波高速度域に沿って、震源が分布しているように見える。ただし、気象庁が震源決定に用いた地震波速度構造は、本事業で得られた構造と異なり、西側海域に地震観測点がない時に求められたものであるため、深さの信頼度は低い。



測線AB断面から10km以内の距離に発生した地震の震源（青点）

2000年活動時の震源との比較

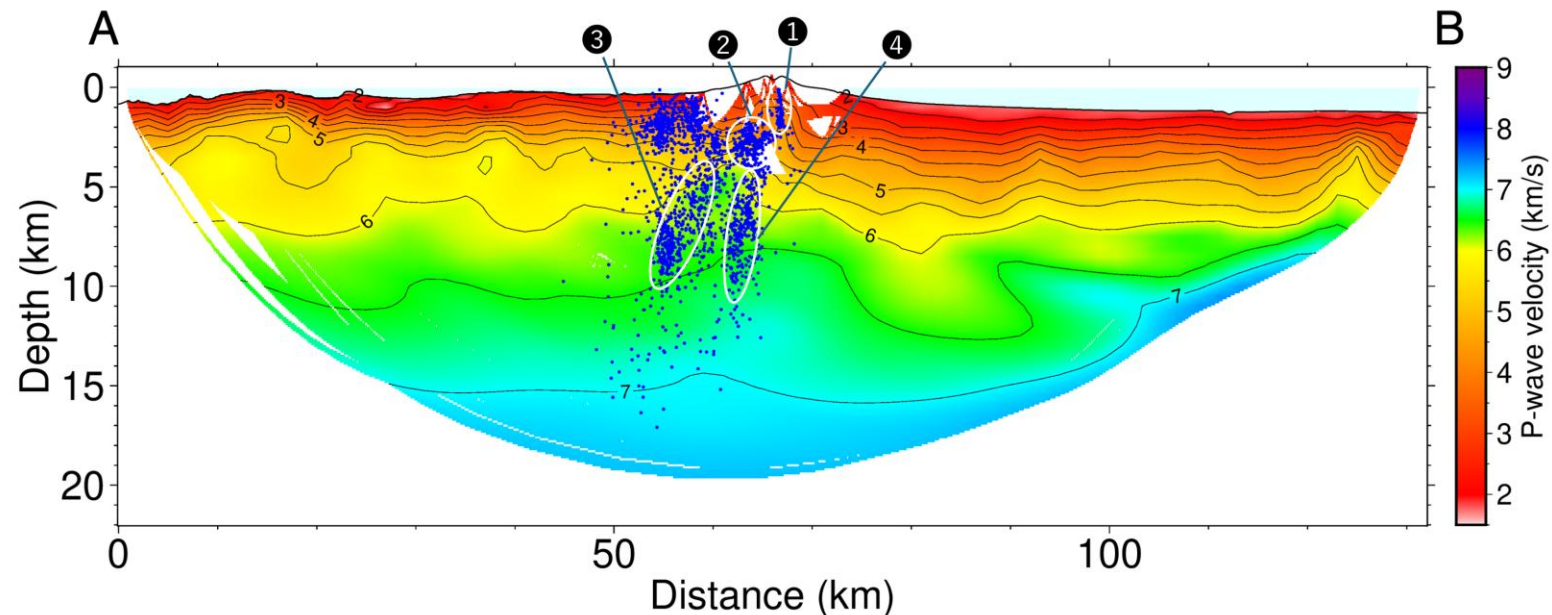
- 松山(2014)による精密な震源
- 2000年 6月26日～30日



松山(2014)による2000年6月26～30日に発生した地震の震央。地震の深さを色で示す。赤線は構造調査の測線。

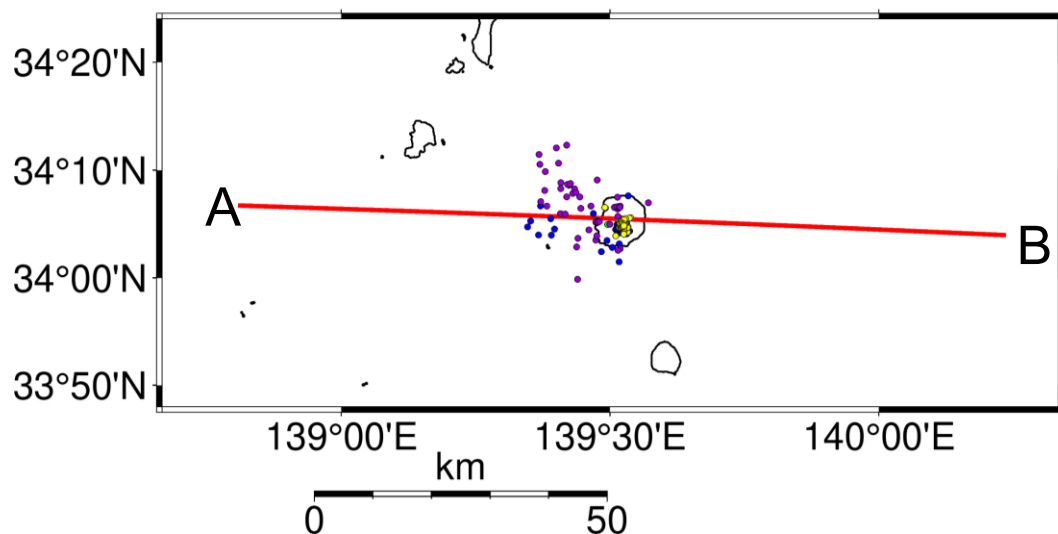
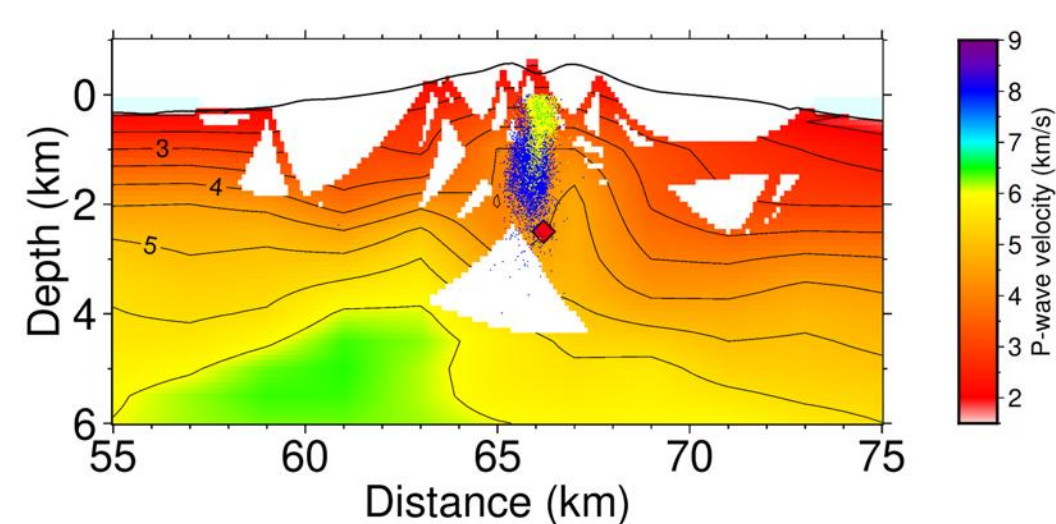
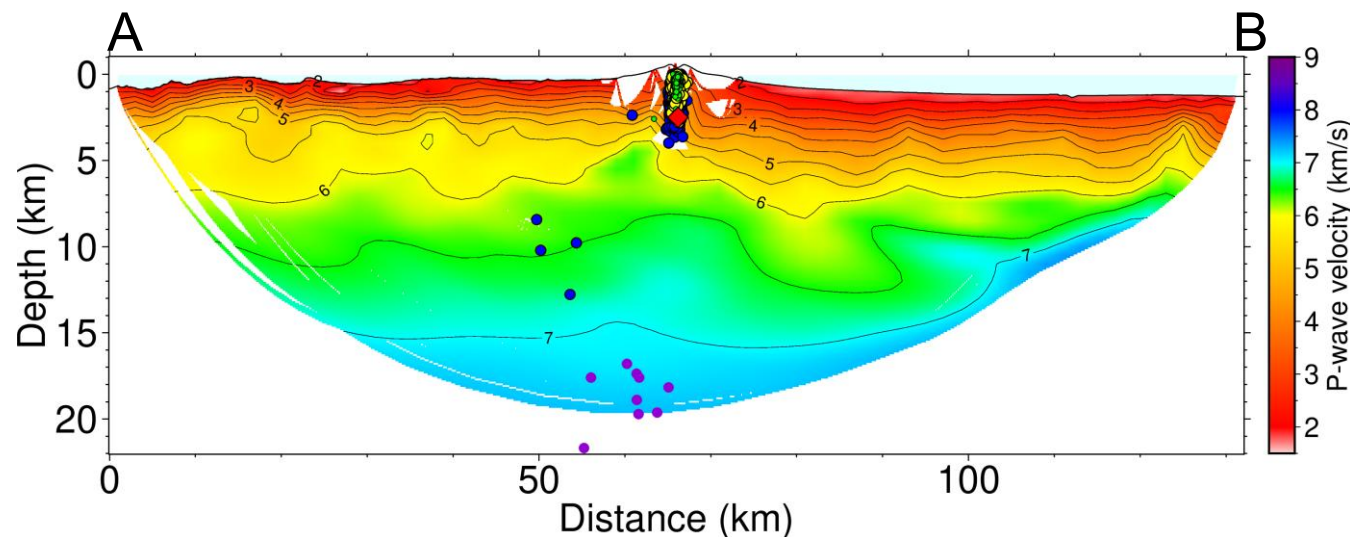
測線AB断面に投影した震源分布の特徴
(測線ABからの距離が2km以内)

- ①山頂直下深さ 2 kmより浅い地震
- ②山頂直下すぐ西、深さ 2～4 km、
P波速度 6 km/s等値線直上の地震群
- ③、④山体西側、深さ 4 km以深、
高速度域を挟んだ二つの地震群



三宅島における2018年～2026年の活動との比較

測線AB（地図中の赤線）の断面から2km以内の距離に発生した地震の震源



- 高周波地震
- 低周波地震
- やや低周波地震
- 深部低周波地震
- ◆ 地殻変動源

震源データ (2018年-2026年)

<https://jvdn.bosai.go.jp/>より

地殻変動源

火山調査委員会資料より

震源分布の特徴

- 高周波地震：盛り上がったP波高速度域の上部 (P波速度3.5～4.5km/sの等値線が盛り上がった部分)に分布。
- やや低周波地震、低周波地震：震源域が徐々に浅くなって火口に近づいていく。
- 地殻変動源：高周波地震の震源域のほぼ真下、P波高速度域の内部

まとめと今後の課題

まとめ

- 三宅島周辺海域において、東西方向に走る測線を設定し、エアガン-(OBS+既存の観測点)による2次元屈折法探査を実施した。
- 初動走時を用いた2次元P波速度トモグラフィーによって以下の特徴が明らかになった。
 - ①三宅島東方沖の厚い堆積層、
 - ②西方沖の高速度域の盛り上がり、
 - ③三宅島西側沿岸下深部から島部中央部に伸びる高速度域、
 - ④東方沖深さ約10kmの低速度域等を検出した。
- 2000年噴火時や最近の地震の震源分布が、地下の構造と関連することが分かった。

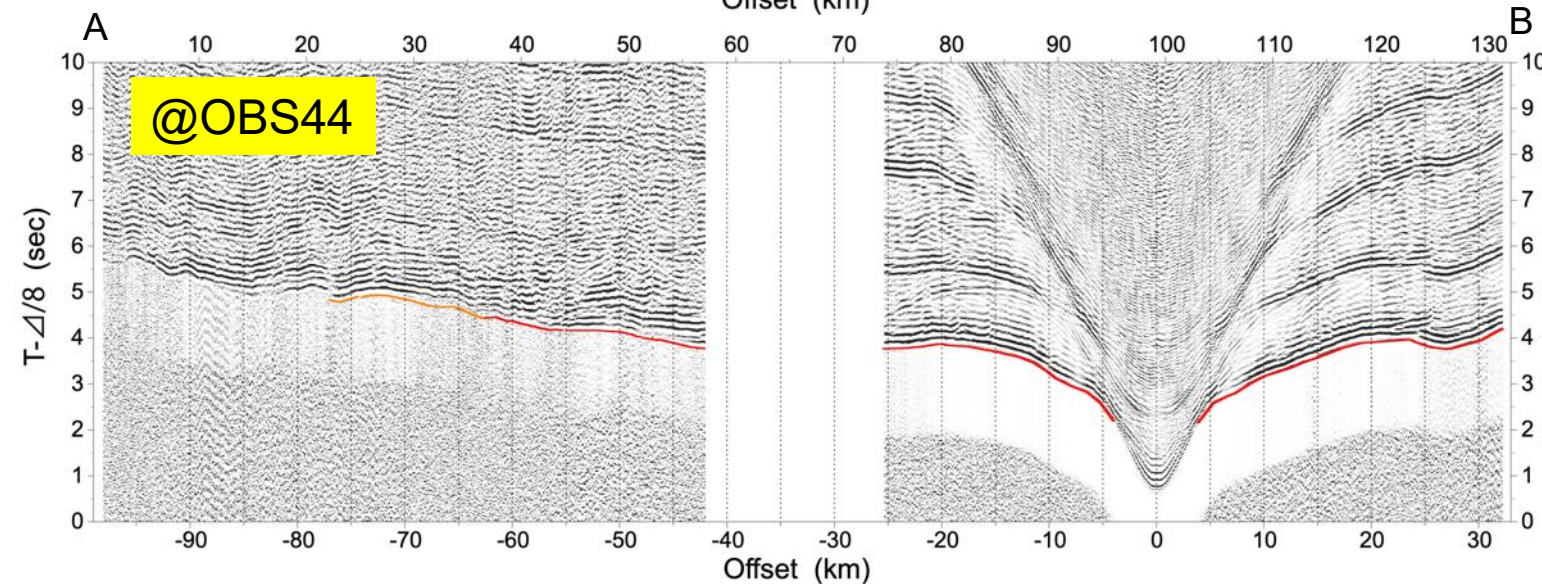
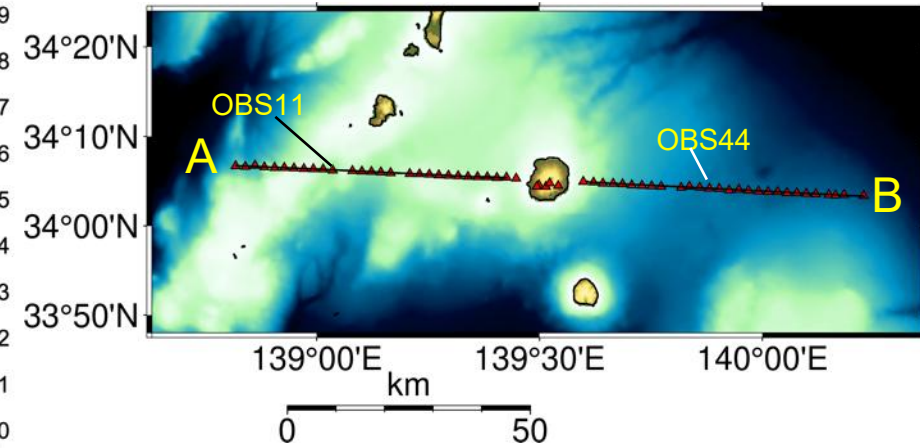
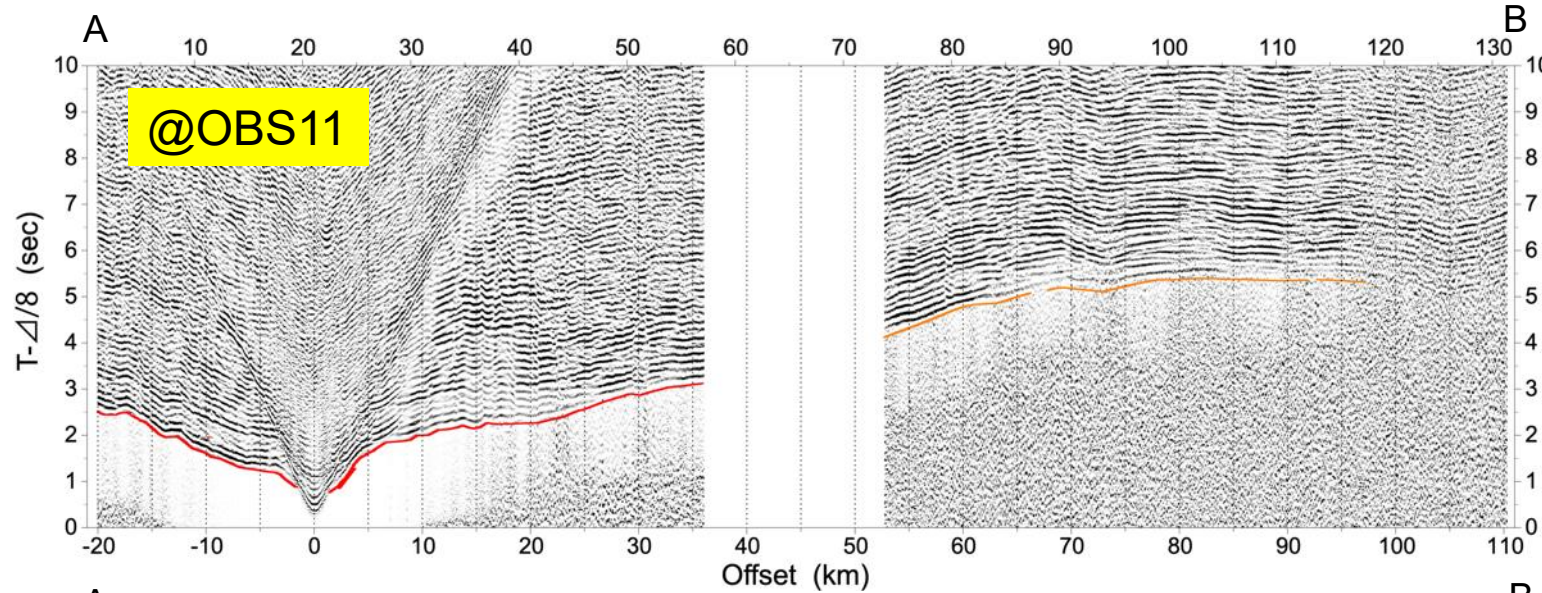
今後の課題

- 2次元速度構造解析において、島の中央部直下深さ3～4kmに波線の空白域が生じた。
- 島の中央部深さ1kmより浅い部分の空間分解能が十分ではない。
- 沿岸部を含む陸域観測点と陸域発振源を増やし、陸域と海域調査が連携した3次元構造解析を推進していく必要がある。

JAMSTEC

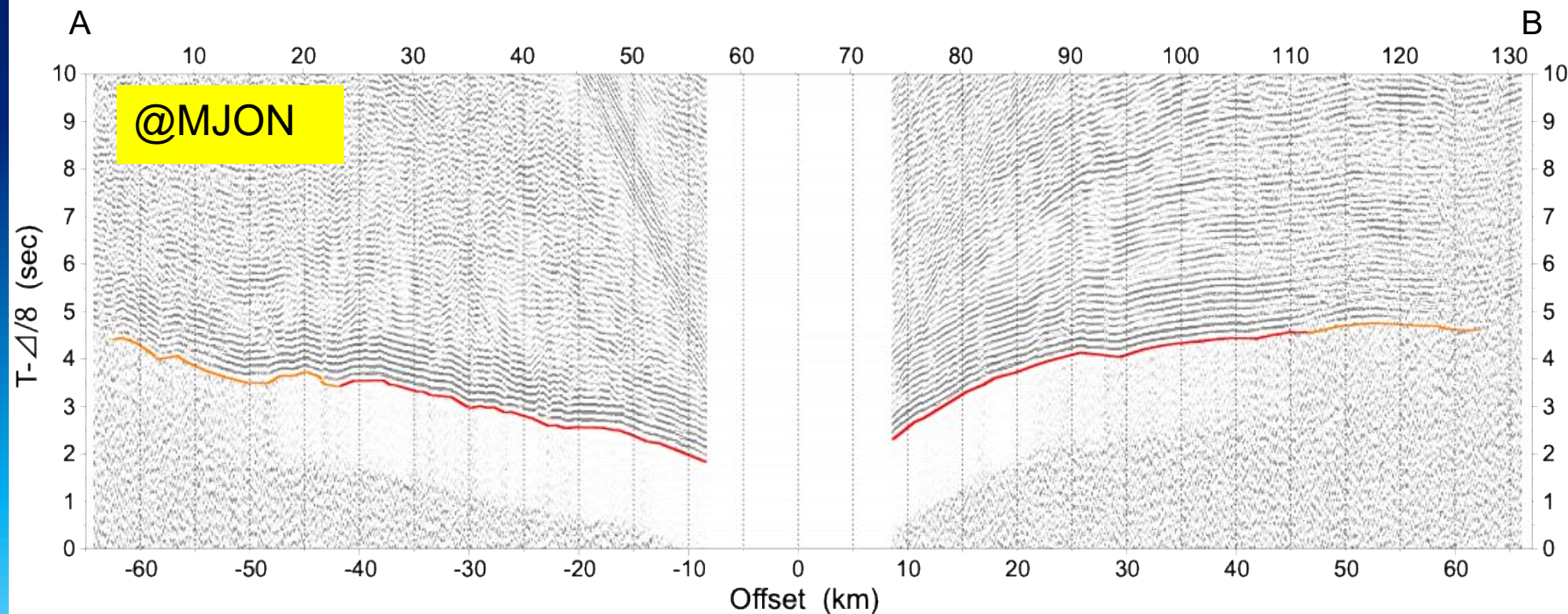
参考資料

レコードセクションと初動走時@OBS

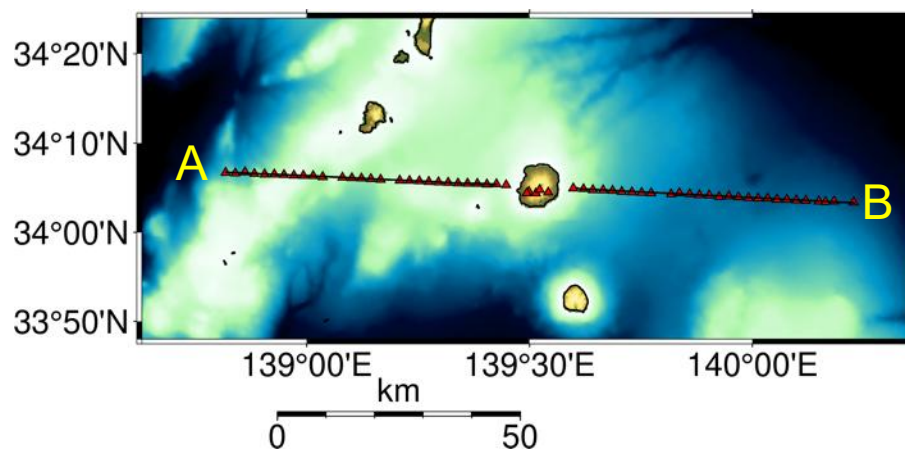


測線ABの西側観測点OBS11、OBS44（地図参照）における記録断面と初動読み取り位置（赤い点）。横軸の下辺の数字は観測点からの距離、上辺の数字は測線西端の地点Aからの距離。縦軸は見かけ速度8 km/sを減じた走時。

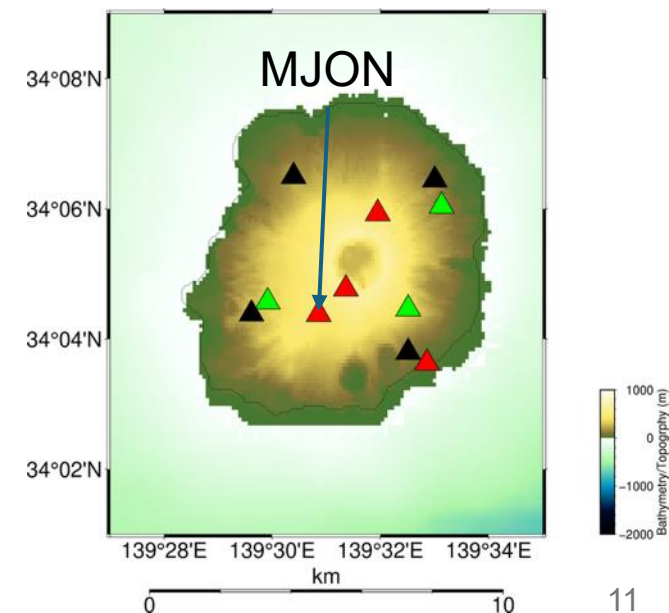
レコードセクションと初動走時@陸域既存観測点



観測点MJON（地図参照）における記録断面と初動読み取り位置（赤い点）。横軸の下辺の数字は観測点からの距離、上辺の数字は測線西端の地点Aからの距離。縦軸は見かけ速度 8 km/s を減じた走時。

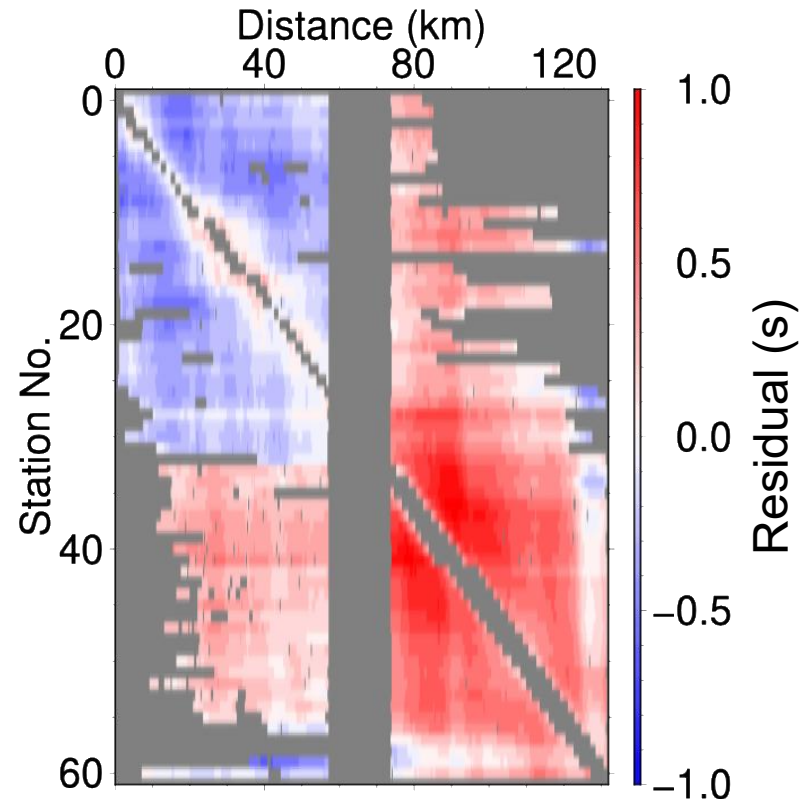


- 気象庁
- ▲ 防災科研
- ▲ 東京都



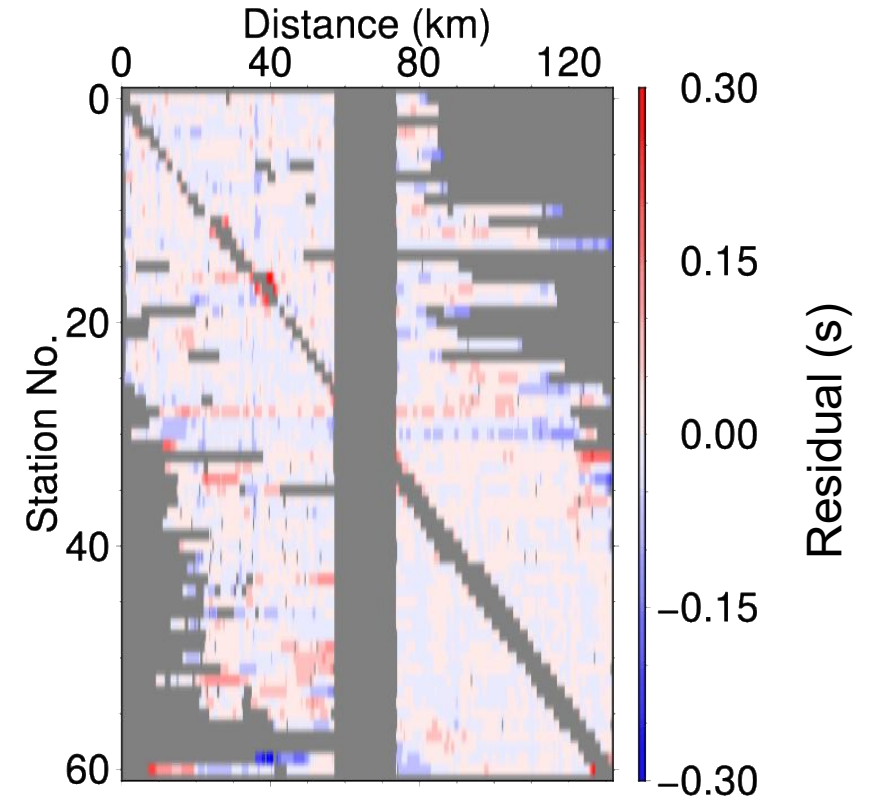
走時残差 (2次元トモグラフィー)

- 初期モデルの残差分布



走時残差rms : 396.8 ms

- 最終モデルの残差分布

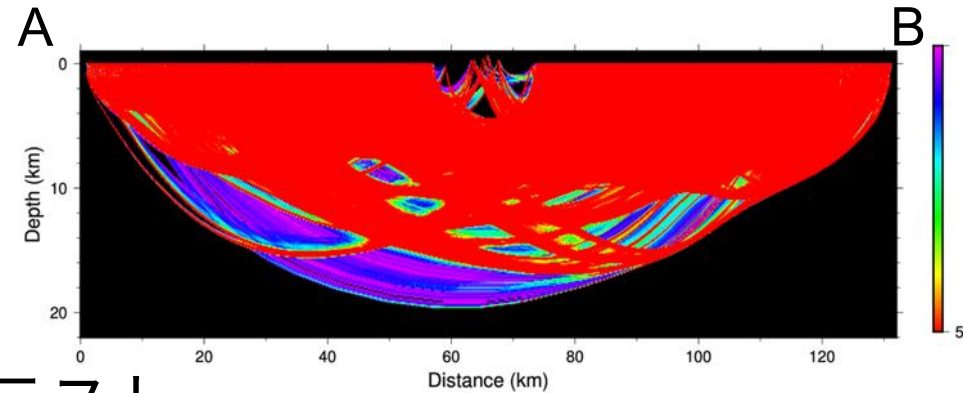


走時残差rms : 37.9 ms

観測点ごとの走時残差。横軸は測線西端Aからの距離。(左)初期モデル、(右)インバージョン後の残差分布。
 観測点番号(Station No.)は西端のOBS01 (観測点番号 0) からの通し番号。
 観測点番号28から32は既存の陸域観測点に対応。

信頼度 (2次元トモグラフィー)

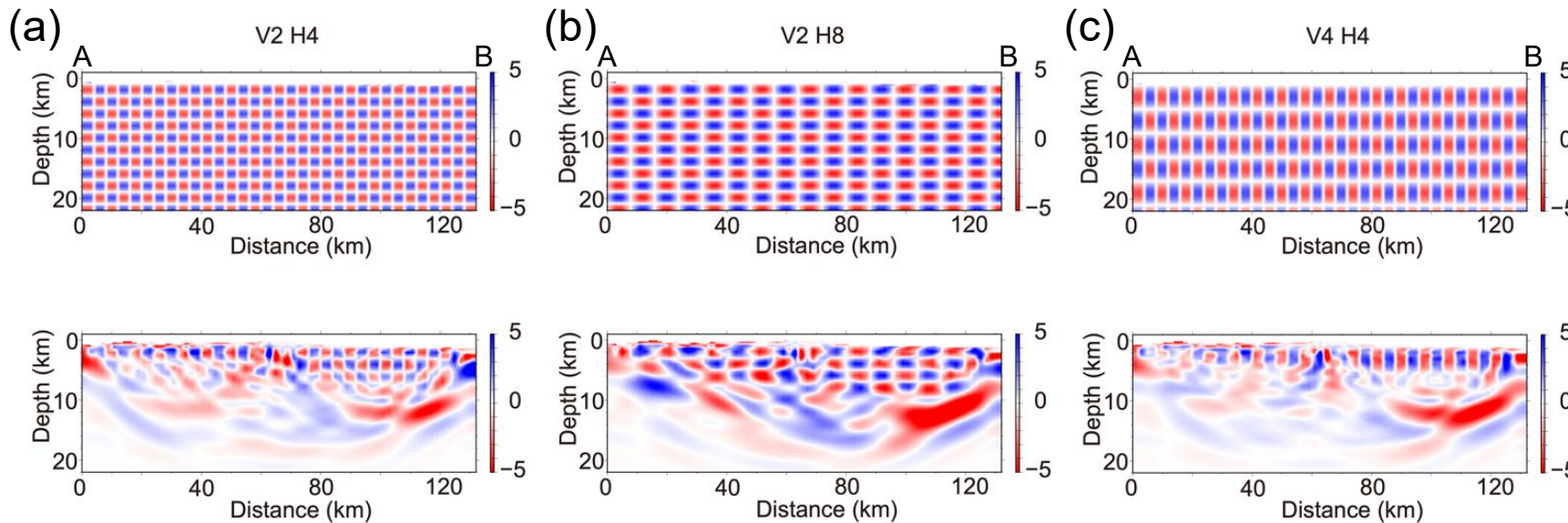
• 波線密度



単位面積(0.01km²)あたりの波線セグメント密度。セグメント数が50以上の場合は飽和させた。

島の東西沿岸と島の中央部直下深さ3～4 km付近には波線が通過していない。

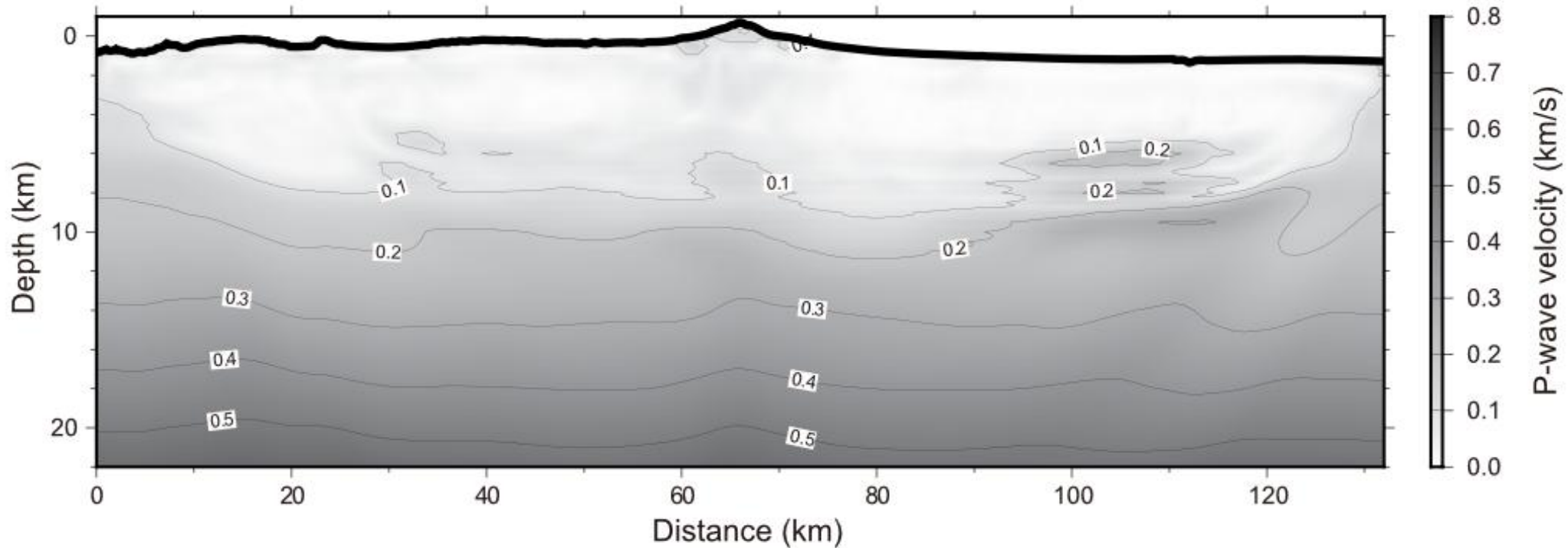
• チェッカーボードテスト



(b)に示すように、速度異常の空間スケールが水平方向に8 kmあれば、縦方向のスケールが2 kmと小さい場合でもこのインバージョンによって、三宅島の直下では深さ約10kmまで入力したパターンが再現される。

チェッカーボードテスト。(上段) 入力パターン、(下段) インバージョン結果。チェッカーボードパターンのスケールは、(a)鉛直2 km、水平4 km、(b)鉛直2 km、水平8 km、(c)鉛直4 km、水平4 km。

不確定性解析 (2次元トモグラフィー)

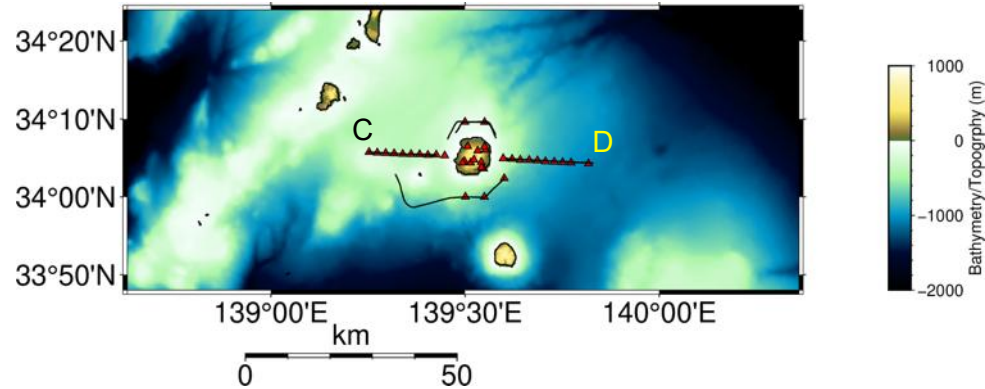


深さ 8 km より浅い部分におけるP波速度のばらつきの標準偏差は、測線下の大部分で 0.1 km/s 以内である

初期モデルの違いによる解の不確定性。等値線とグレースケールはP波速度のばらつきの大きさ（標準偏差）を示す。等値線の間隔は0.1 km/s。

走時データを約半分に間引く。500個の初期モデルを作成した。
インバージョン後に速度勾配の逆転などで計算が破綻せず、カイ自乗が1.5以下だった約300個のモデルの標準偏差

3次元P波速度解析の試み



島の観測点全点、島の南北と島に近い測線のデータを使用。

初動走時：23,342個

FMTOMO (Rawlinson et al., 2006)を使用。

走時場計算用のグリッド間隔：鉛直約50m、

水平約100m

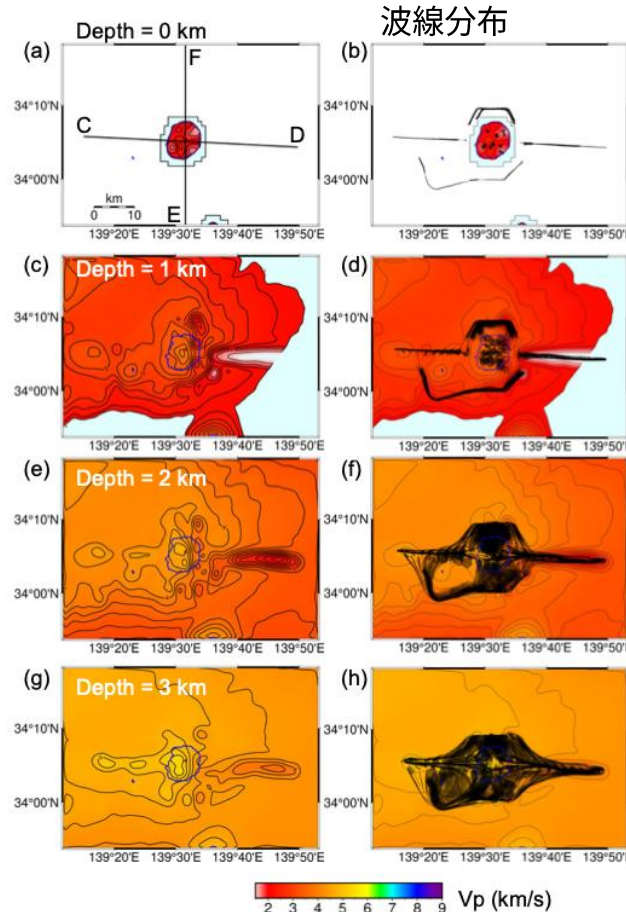
速度構造グリッド：鉛直約0.5km、水平約1km

初期残差 495.98ms、最終残差 84.58 ms

3次元P波速度構造の特徴

三宅島の東側約三分の一は西側より低速度。

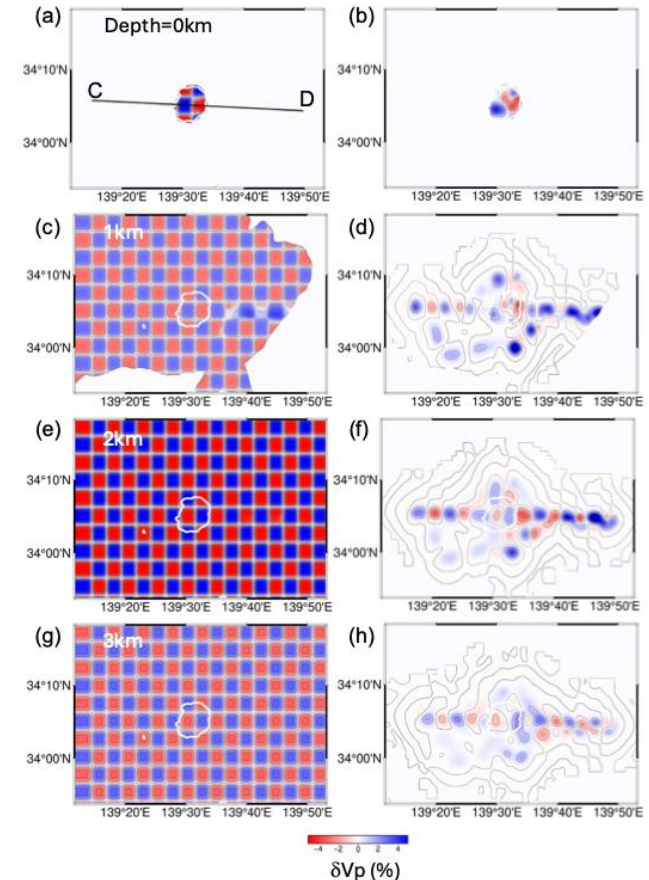
高速度域のピークは雄山山頂の西側に存在。



各深さにおけるP波速度構造の水平断面（左）と深さ断面の±0.5kmの範囲の波線の分布（右）。(a)深さ0 km、(b)1 km、(c)2 km、(d)3 km。

チェッカーボード
入力パターン

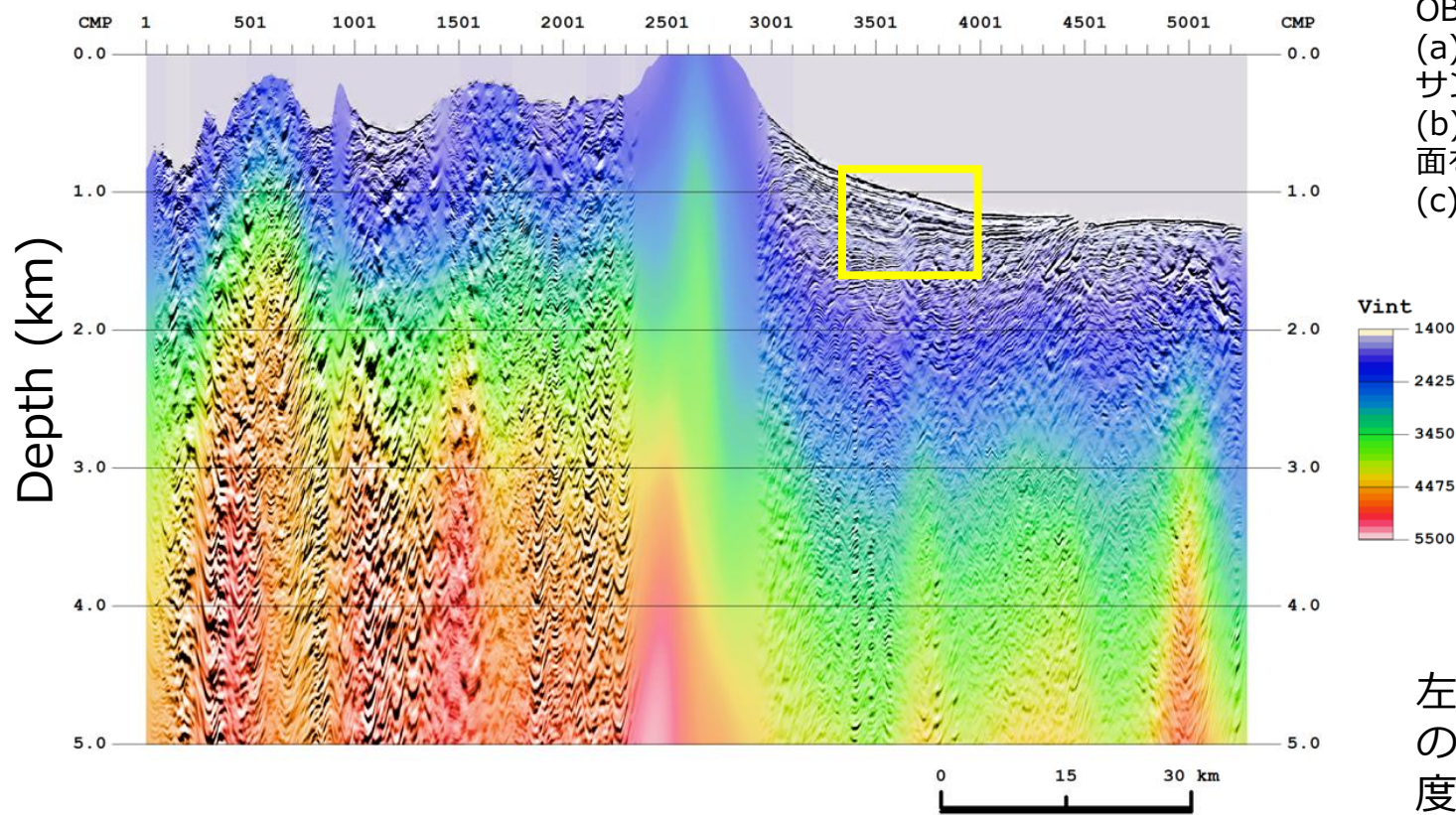
チェッカーボード
インバージョン結果



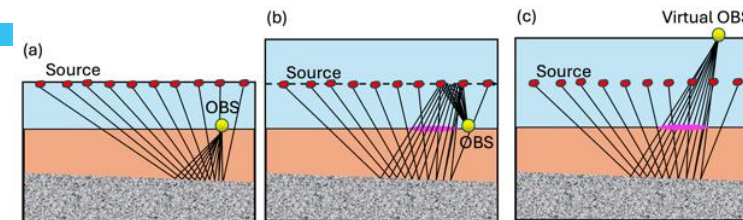
各深さにおけるチェッカーボードテストの結果。水平約4 km、鉛直2 km毎に±5%の速度異常を与え、再現性を確認した。（左）入力パターン、（右）トモグラフィ結果。(a)深さ0 km、(b)1 km、(c)2 km、(d)3 km。

OBSデータによる反射法解析の試み

- ミラーイメージングによる
海底下浅部構造の解明



重合前深度マイグレーションによる反射断面図。背景は深度に変換する際に使った速度構造（速度異方性を考慮した）。

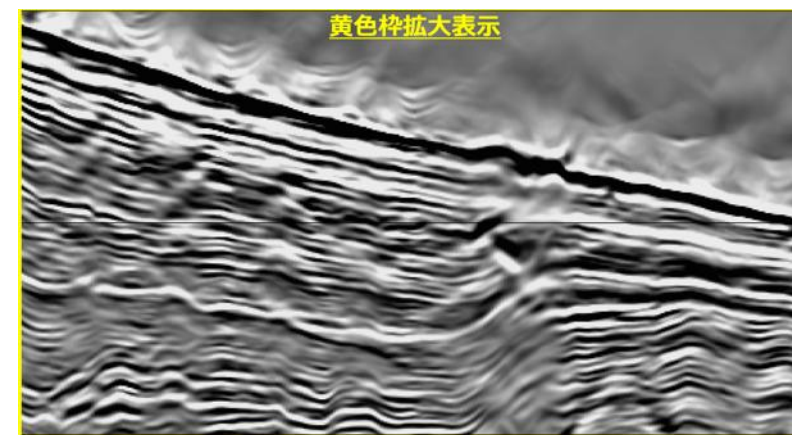


OBSイメージングとミラーイメージングの概念図。

(a) OBSで反射波を観測する（OBSイメージング）。海底面はサンプルしない。

(b) OBSで海面からの反射波も観測する。ピンクで示した海底面をサンプルする。

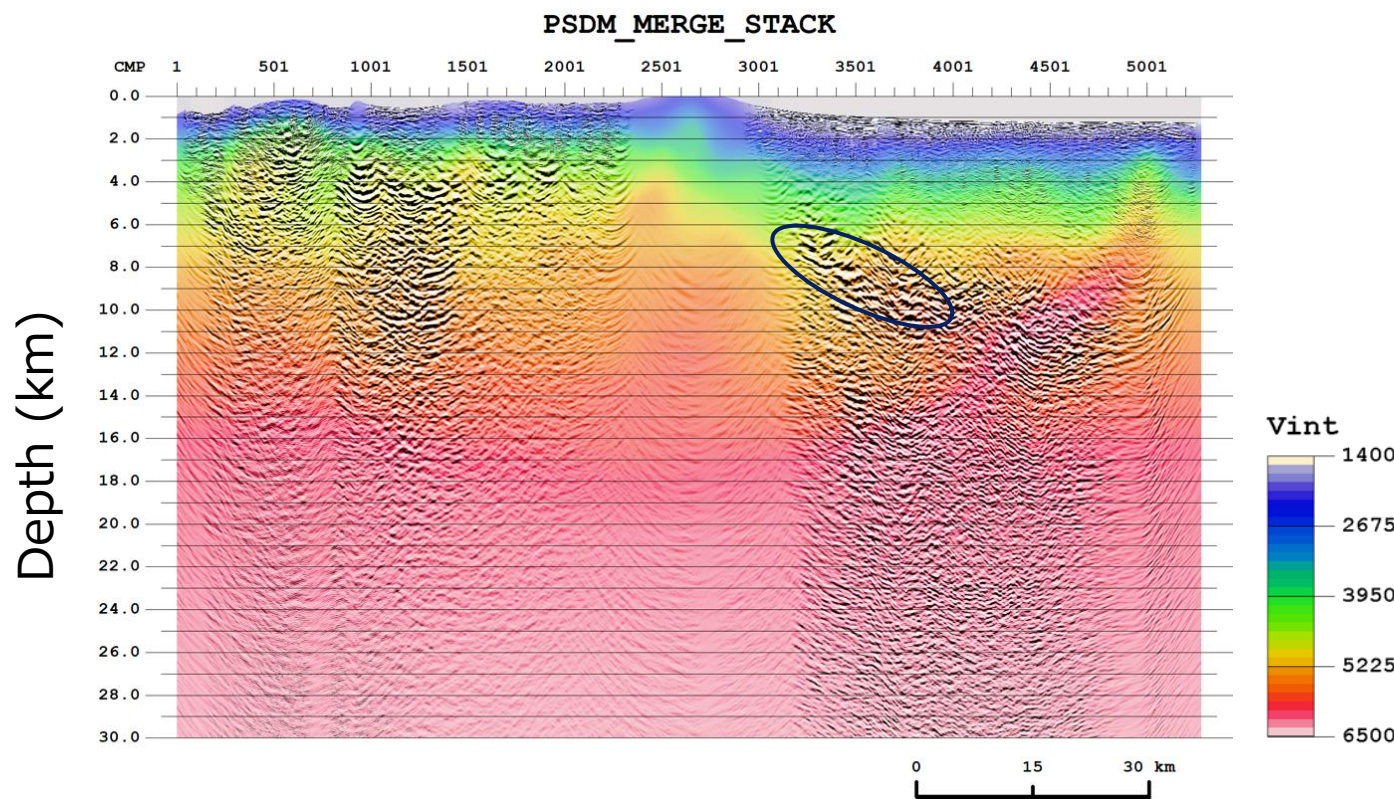
(c) 仮想的なOBSによる反射波の観測（ミラーイメージング）。



左図の黄色い枠の拡大図。厚さ約200mの成層の下に東側が持ち上がるような変形を確認。速度構造においても直下で高速度域が盛り上がっている。過去に深部地殻が変形したイベントを反映しているものと解釈される。

OBSデータによる反射法解析の試み

- 深度領域 統合PSDM 断面図（ミラーイメージング＋近地波動場＋遠地波動場）
＋背景（速度構造）



より深部の反射イメージを得るために、近距離で水中音響直達波の直後の近地波動場、地下での屈折・反射を経て遠方で水中直達波より先に到達する遠地波動場を用いて、通常のPSDM処理を施す。

異方性を考慮した85%の速度構造を基に、ミラーイメージングによる浅部、近地波動場によるやや深部、遠地波動場による深部のPSDMイメージを統合。

遠地波動場によるPSDMによって、三宅島東方沖の深さ8～10kmに東下りで連続して分布する反射イベントが確認された。また、この反射イベントの位置は、④（スライド3ページ）の低速度域の上に見られる高速度域と良く一致する。

ミラーイメージング、近地波動場、遠地波動場によるPSDMを統合して得られた深度断面図。背景は深度変換する際に用いたP波速度構造。三宅島東方沖の深さ8～10kmに東下りで連続して分布する反射イベントを楕円で示す。