

海底地震計を用いた緊急観測による 令和6年能登半島地震の余震活動

調403-(3)-8



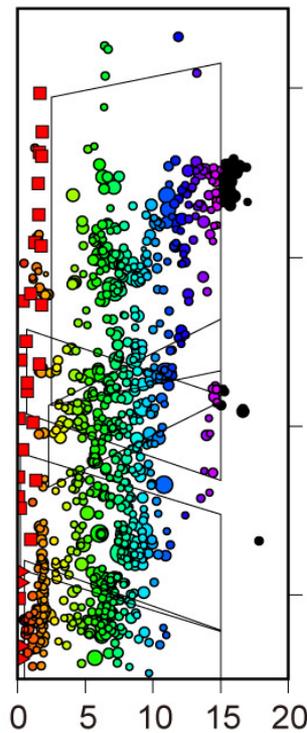
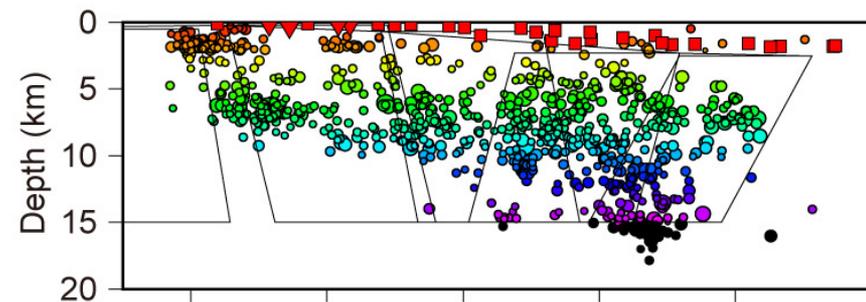
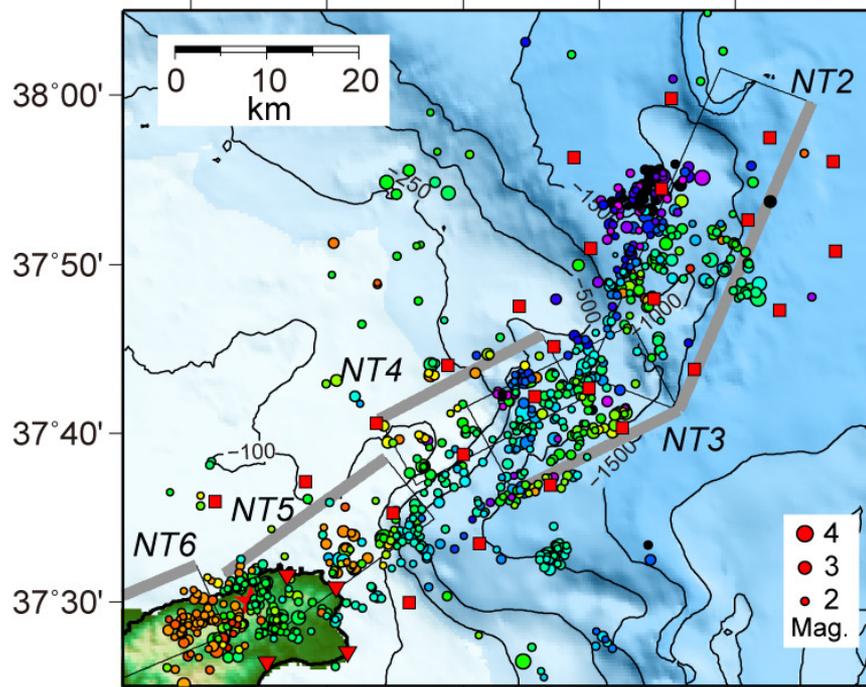
東京大学地震研究所・東北大学大学院理学研究科・
海洋研究開発機構・京都大学防災研究所・
北海道大学大学院理学研究院・千葉大学大学院理学研究院・
東京海洋大学学術研究院海洋資源エネルギー学部門・
東海大学海洋学部・鹿児島大学大学院理工学研究科

第403回地震調査委員会 2024年7月9日(火)

本調査観測は、科学研究費助成事業(特別研究促進費)、災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画(第2次)経費、および参加各機関の運営交付金により実施しました。

観測・解析結果

137°10' 137°20' 137°30' 137°40' 137°50' 138°00'



OBS DD relocation
2024 Jan. 24 - 2024 Feb. 22
M > 1.7, N=881

一元化イベント(M \geq 1.7,
881個)を検測・再決定
(1次元速度構造・DD法)

短周期OBS 26点(2月回収)
陸上観測点 4点

○震央分布

・日本海地震津波プロジェクトによる断層モデルに沿うように分布

○震源深さ分布

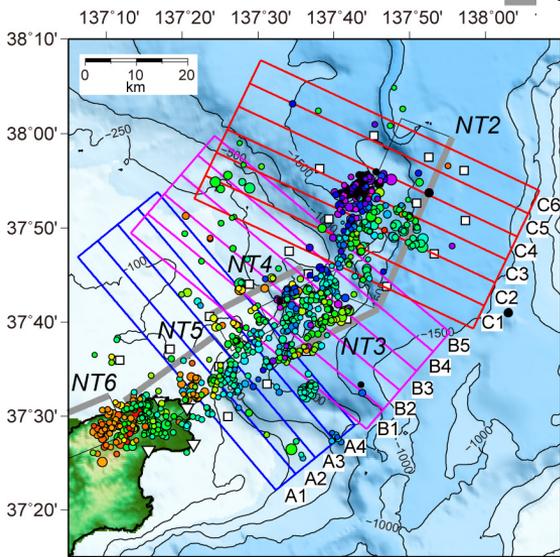
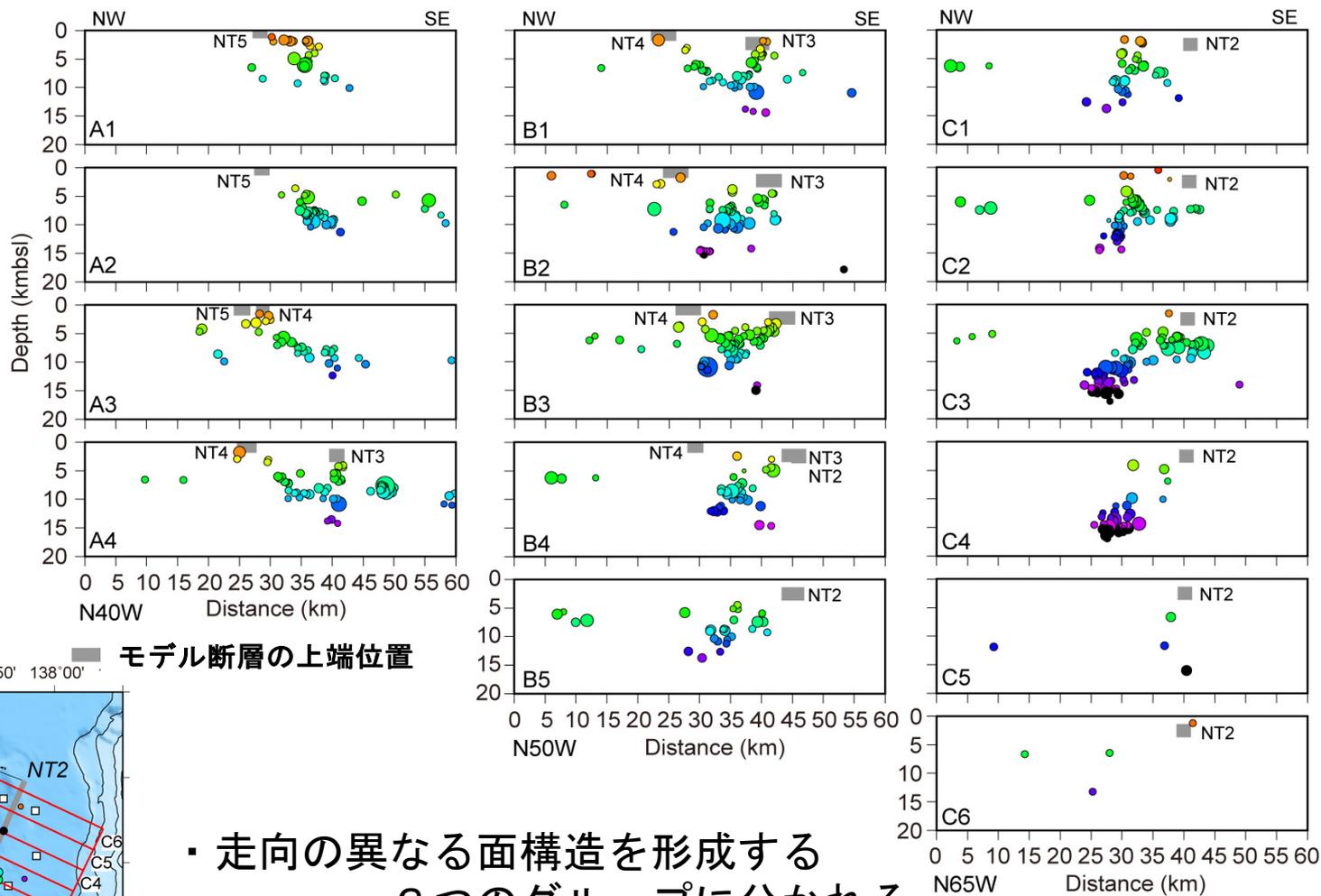
・震源は深さ約18 km
までの範囲内に分布

・北東側に向かって深い
地震が増える傾向

第1期観測(2024.1.24 ~ 2. 22)

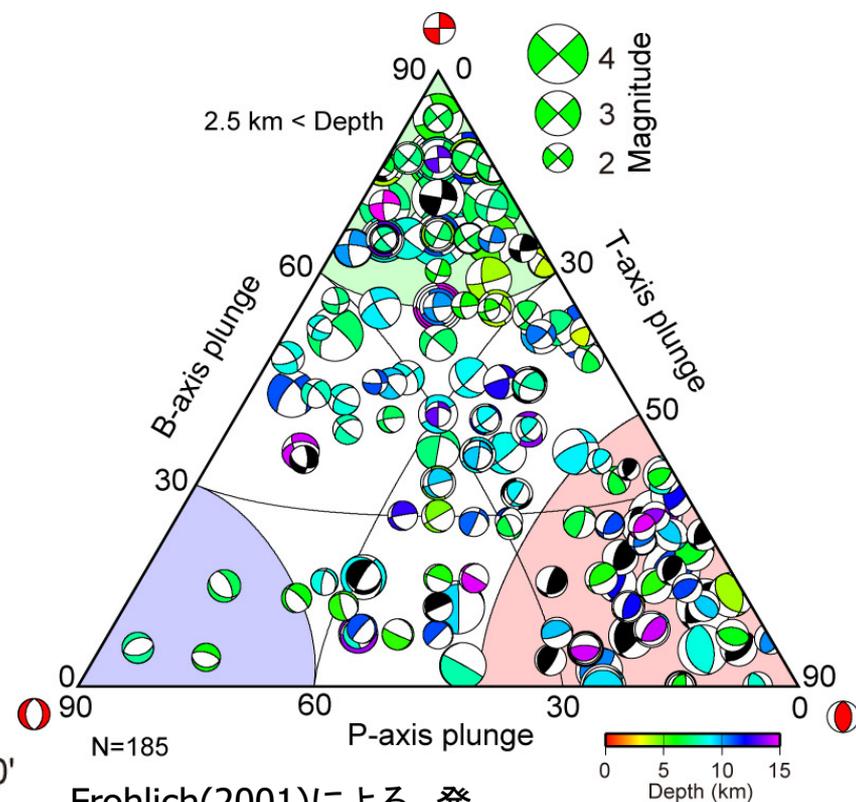
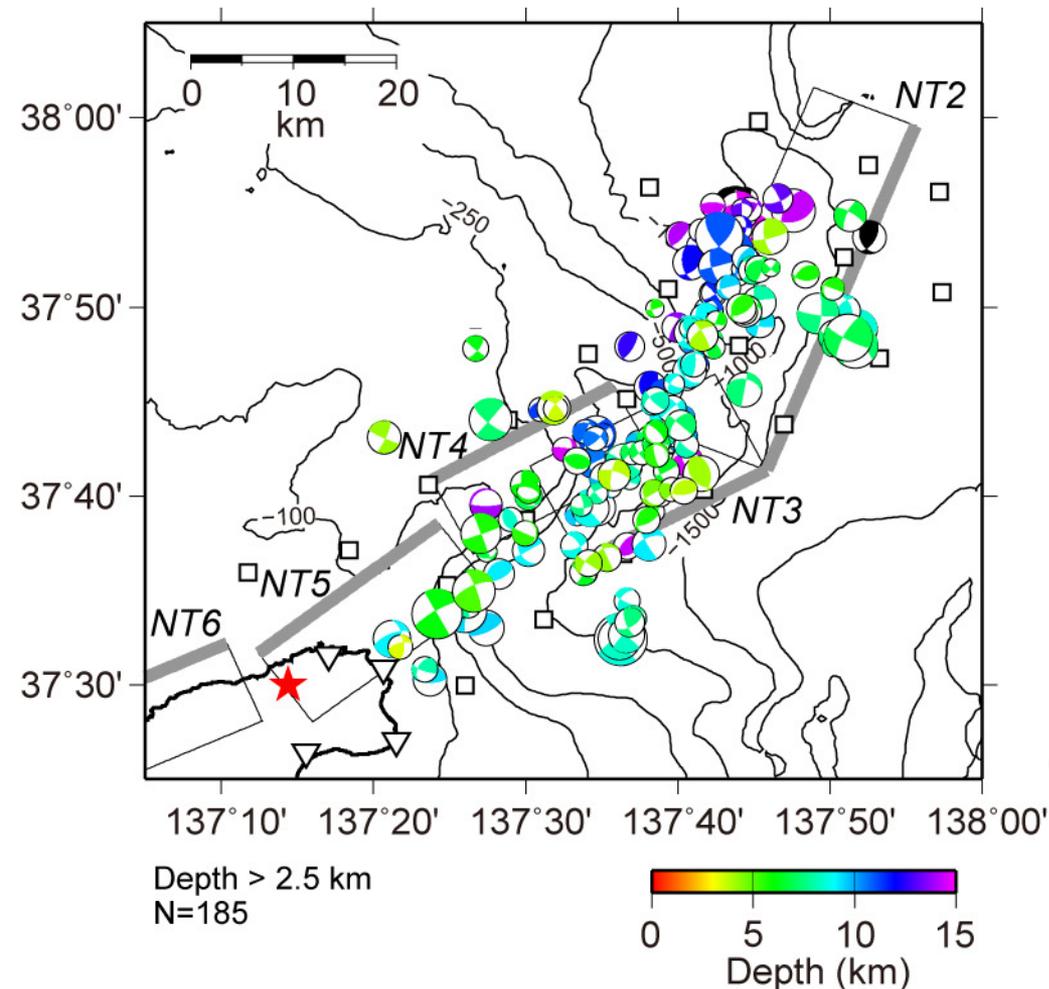
短周期OBS 31台 + 広帯域OBS 3台

震源分布(詳細)と断層モデルの関係



- ・ 走向の異なる面構造を形成する
3つのグループに分かれる
- ・ 西側グループは南東側に傾斜
- ・ 中央・東側グループは北西側に傾斜
- ・ 各面構造の浅部延長とモデル断層の上端が対応
- ・ モデル断層NT2の北端では地震活動がみられない 3

発震機構(初動)解

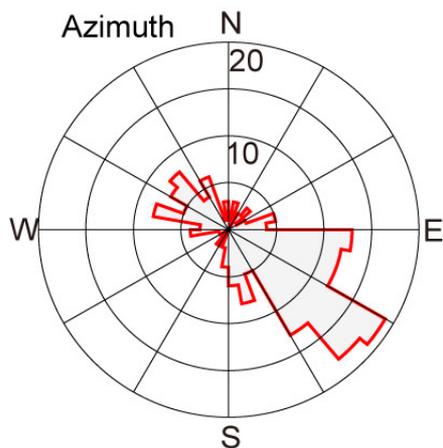


Frohlich(2001)による、発震機構解の分類

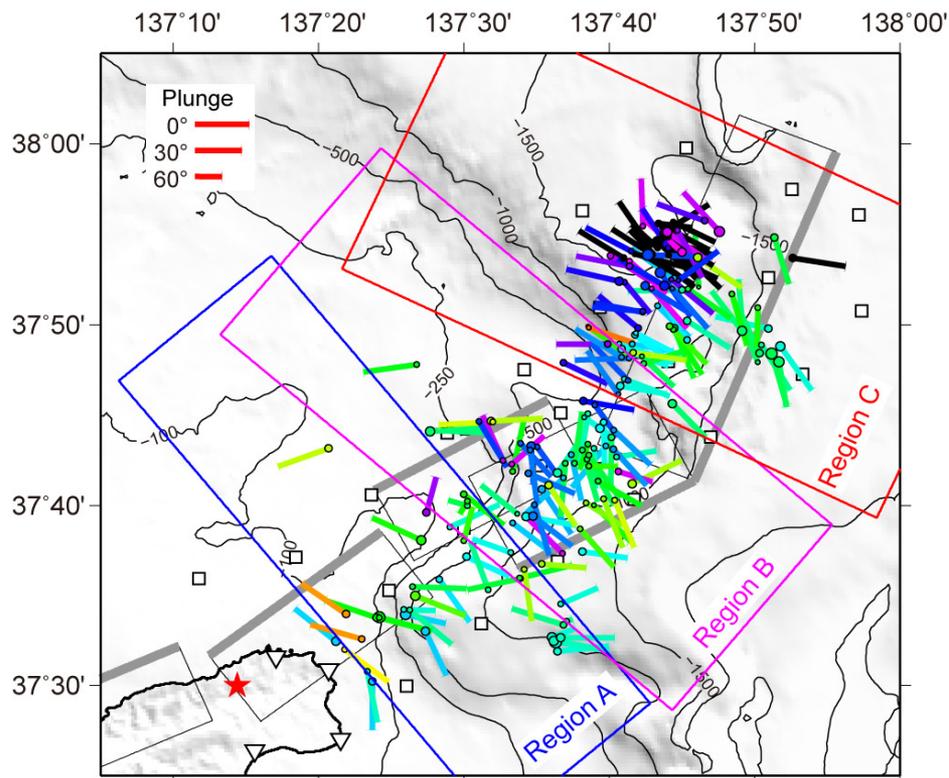
- ・逆断層型とともに横ずれ型の地震も多く発生
- ・逆断層型・横ずれ型ともに、P軸方位は南東-北西方向が卓越(次ページ)

P軸方位と震央分布

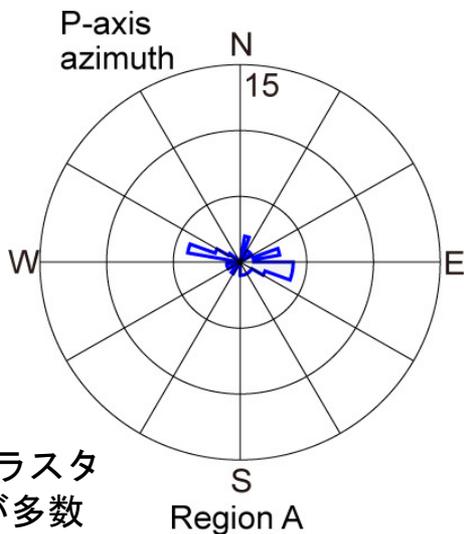
決定された発震機構解
すべてについてのP軸の
方位分布頻度



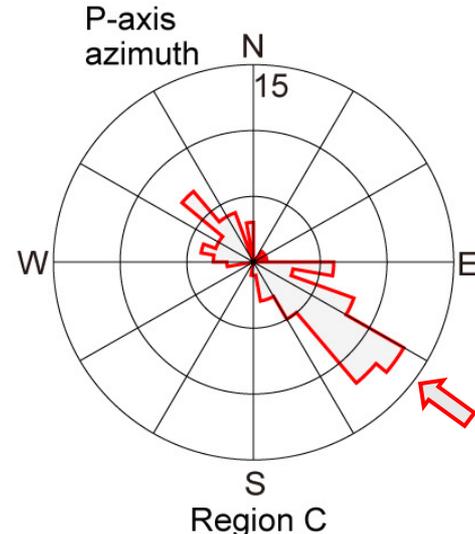
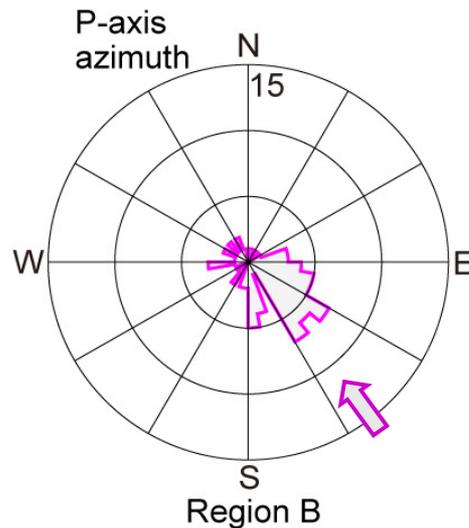
- ・ P軸の卓越方位に地域性
→ モデル断層の走向に直交する



領域別の頻度分布



- 領域Aは
- ・ 数が少ない
 - ・ off-planeのクラスタに属するものが多数

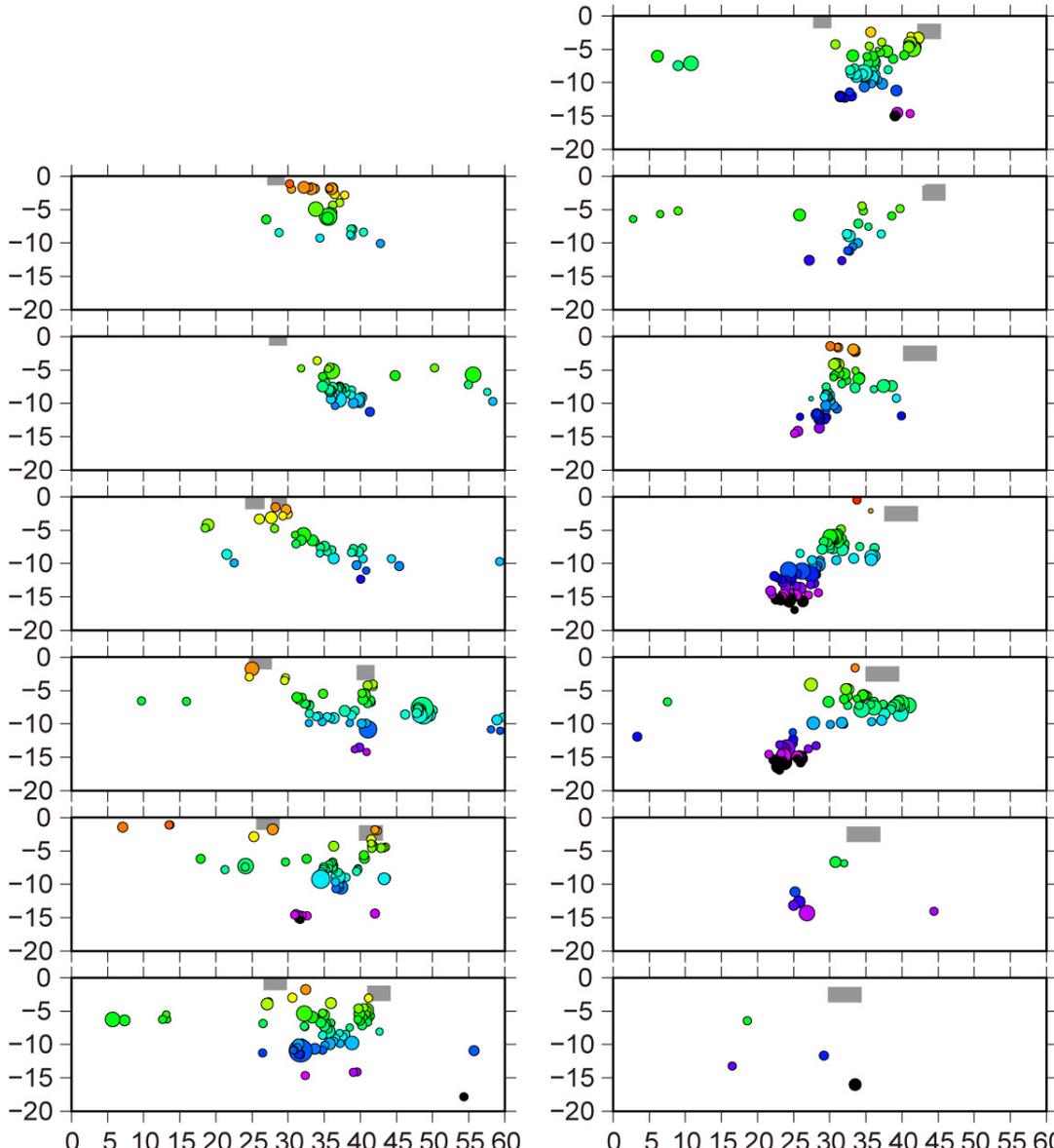
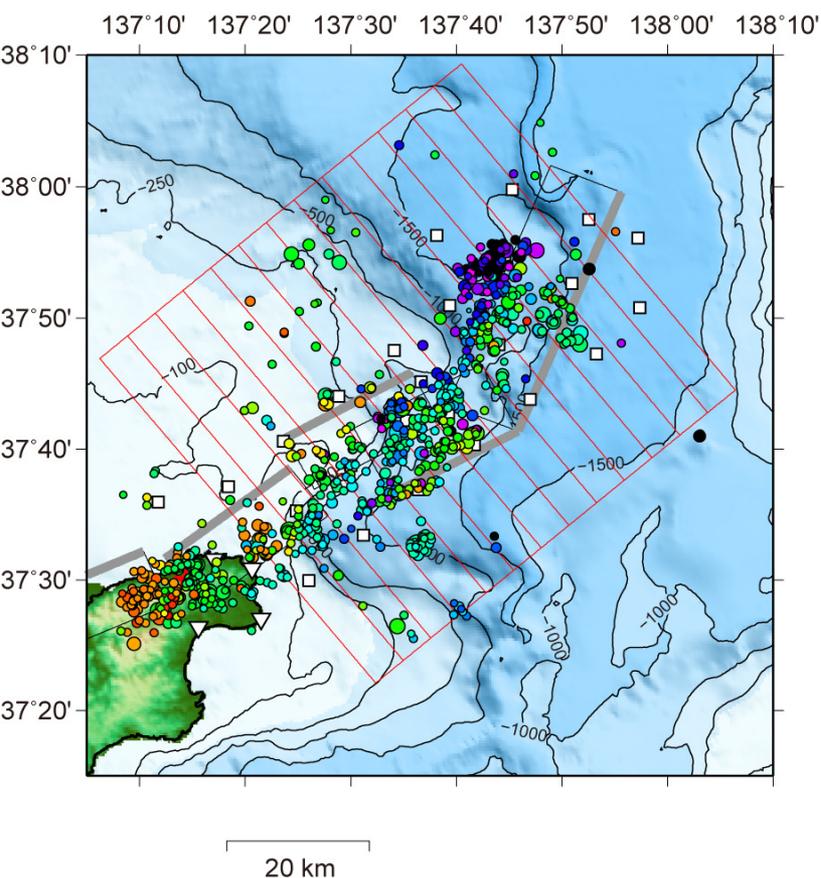


補足資料 1

(震源分布の特徴)

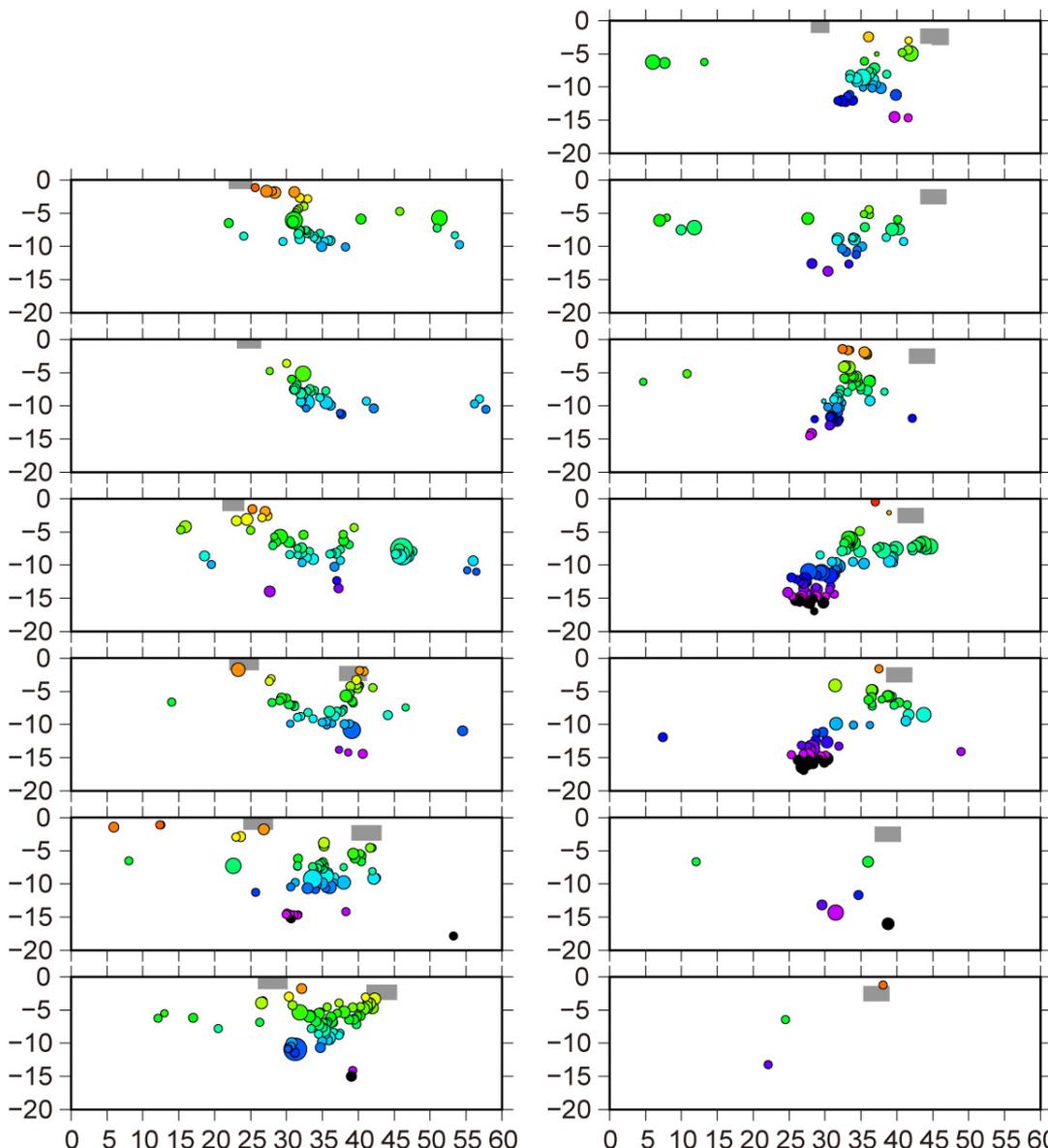
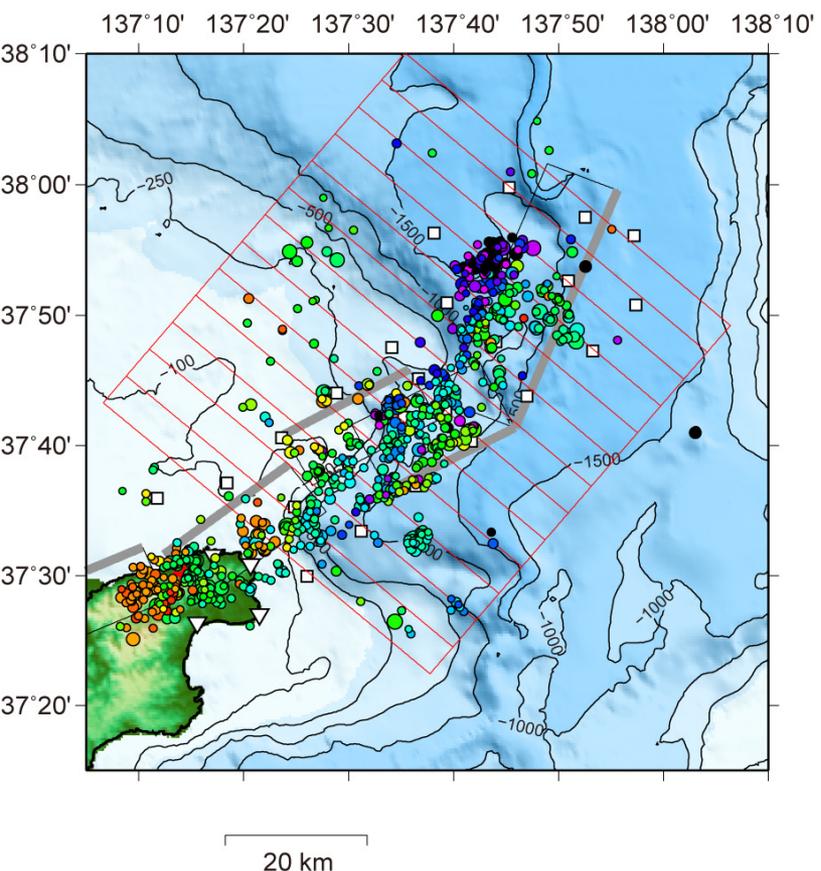
同一角度の深さ断面への投影(N40W)

- 震源を、北から反時計回りに40° 回転させた断面に投影した。断面の幅は5kmとした。
- 各断面に、日本海地震津波プロジェクト(2013-2021)で求められた断層モデル(NT2-5)の上面の位置も投影した。



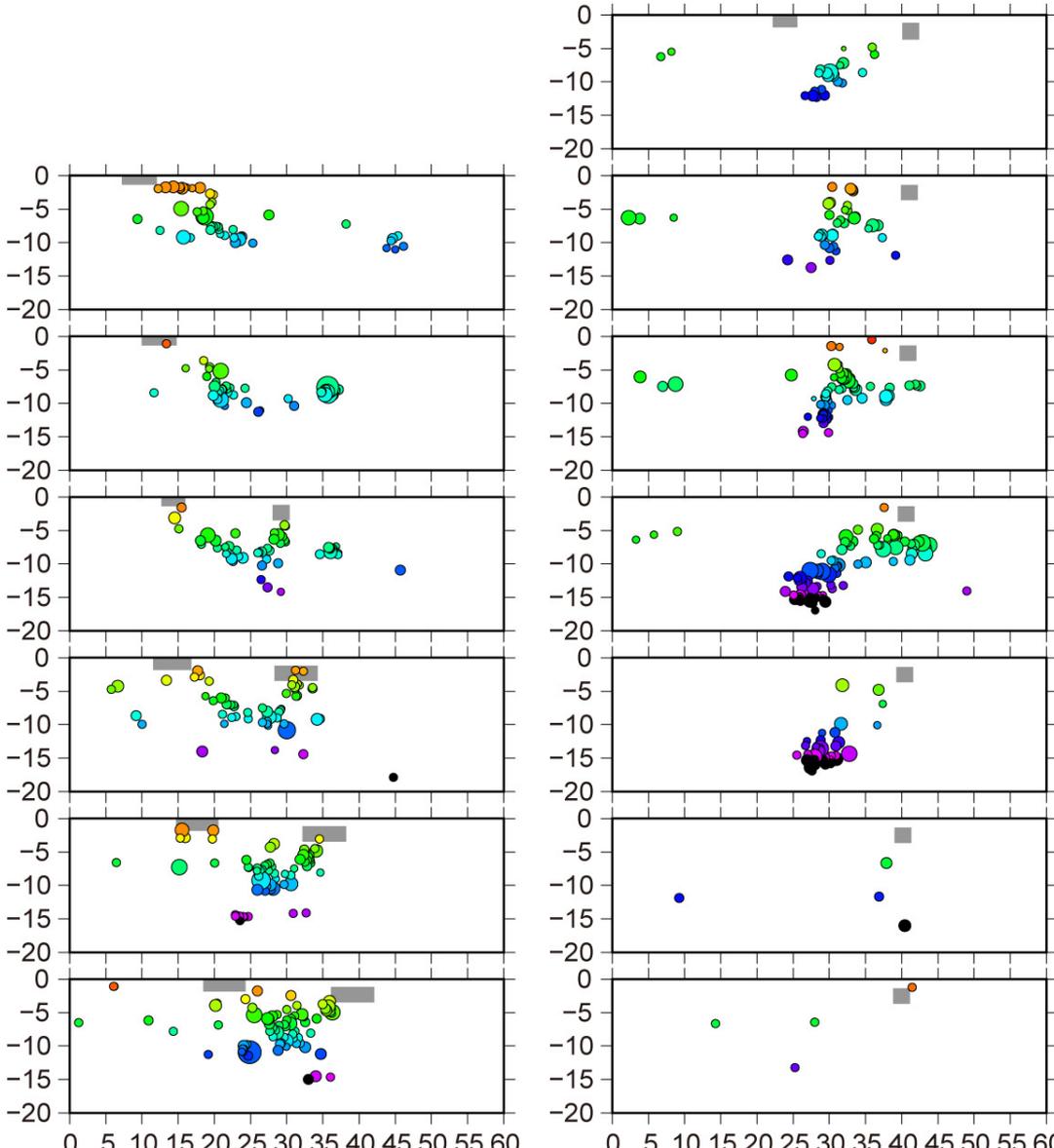
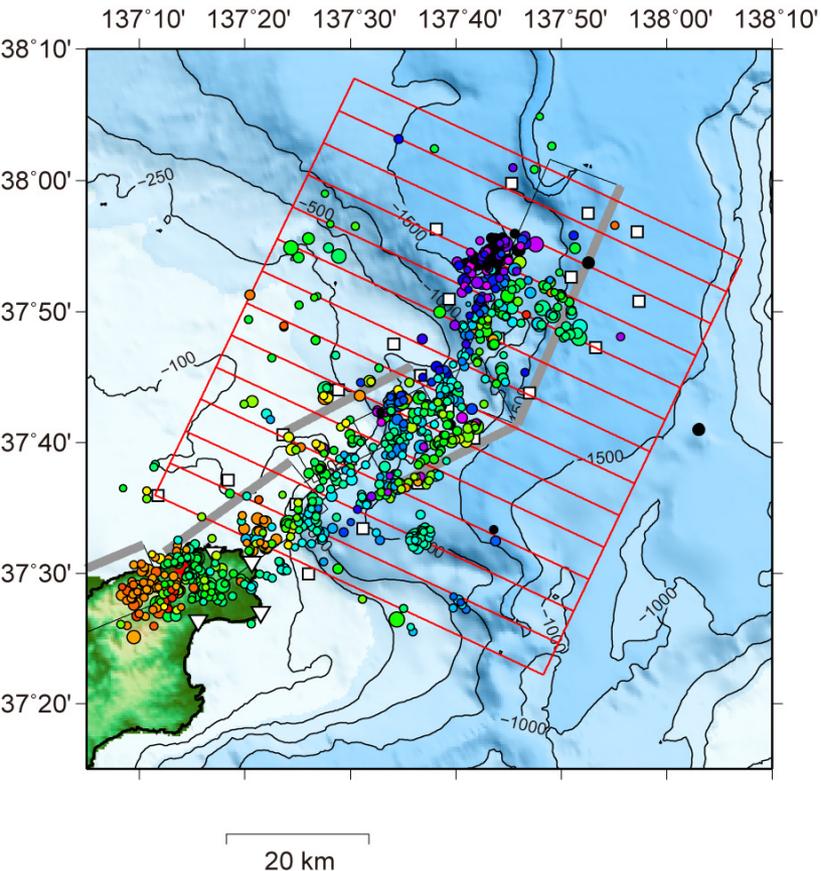
同一角度の深さ断面への投影(N50W)

- 震源を、北から反時計回りに50° 回転させた断面に投影した。断面の幅は5kmとした。
- 各断面に、日本海地震津波プロジェクト(2013-2021)で求められた断層モデル(NT2-5)の上面の位置も投影した。



同一角度の深さ断面への投影(N65W)

- 震源を、北から反時計回りに65° 回転させた断面に投影した。断面の幅は5kmとした。
- 各断面に、日本海地震津波プロジェクト(2013-2021)で求められた断層モデル(NT2-5)の上面の位置も投影した。

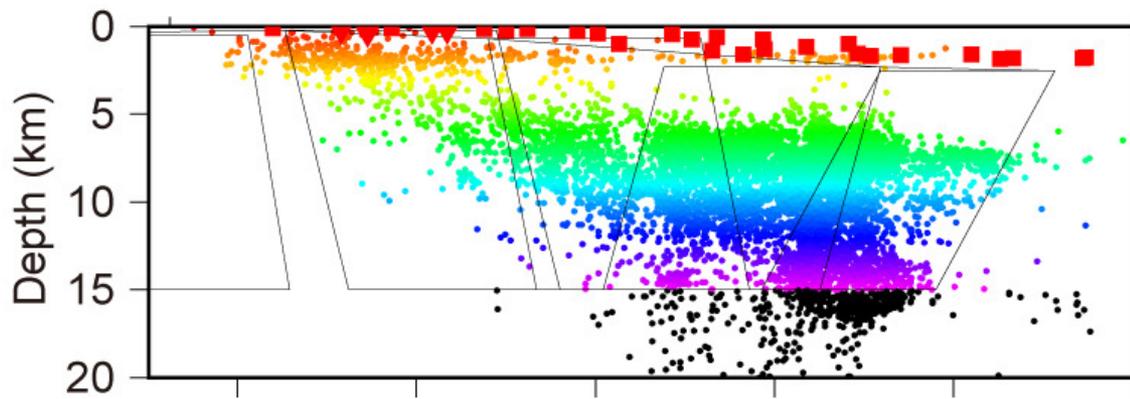
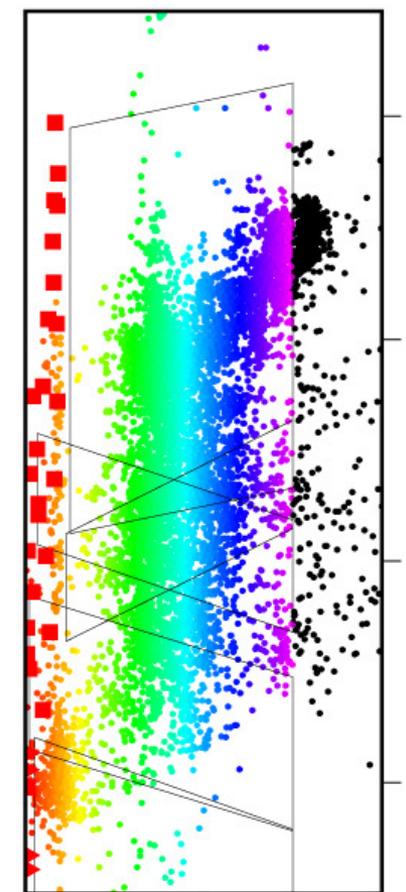
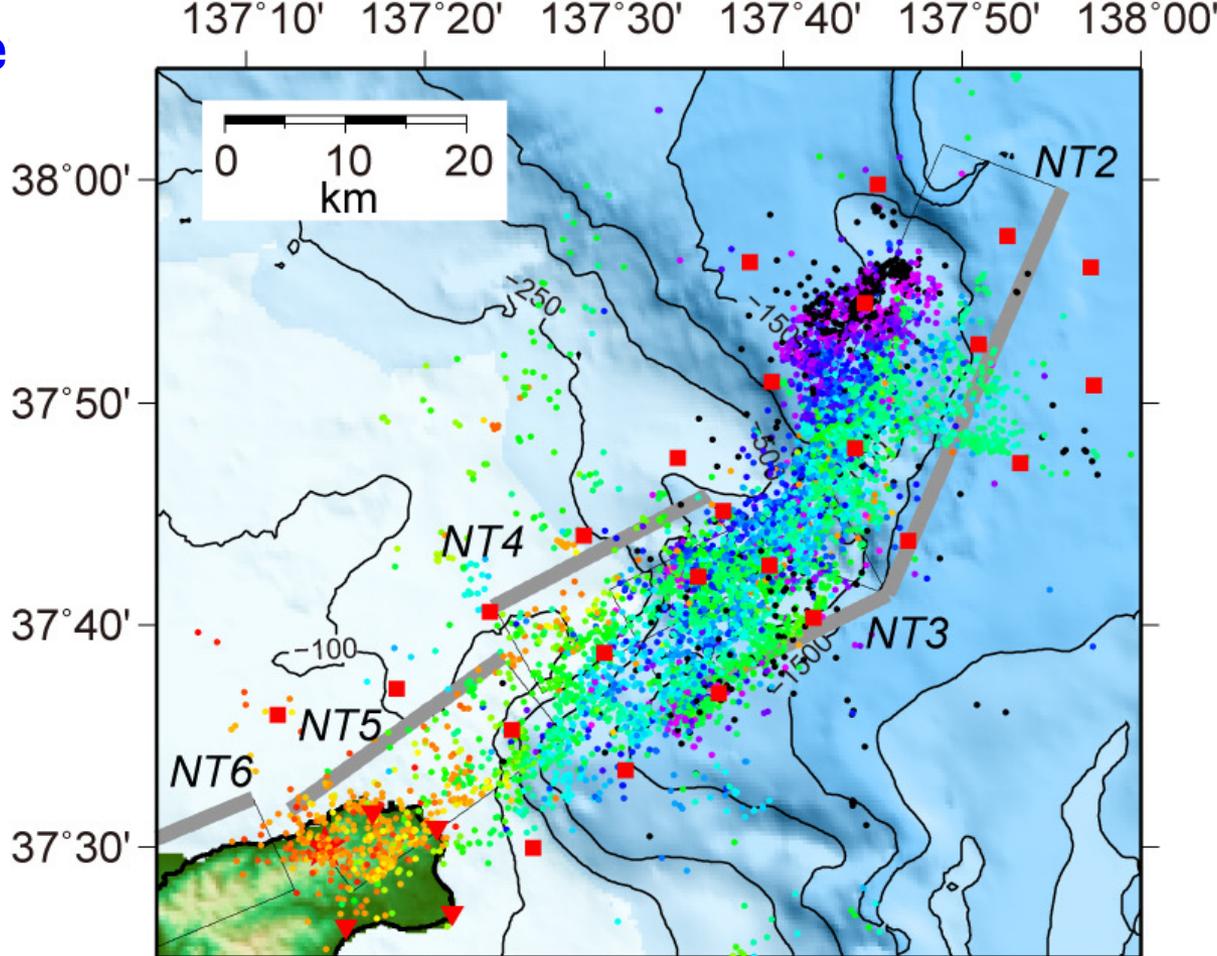


PhaseNe 源分布

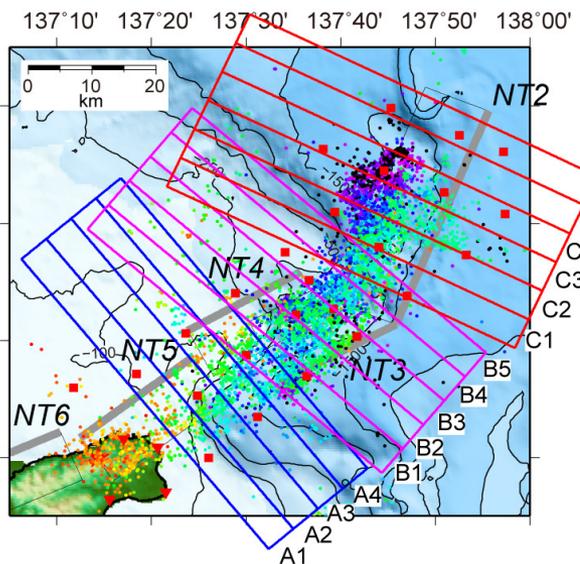
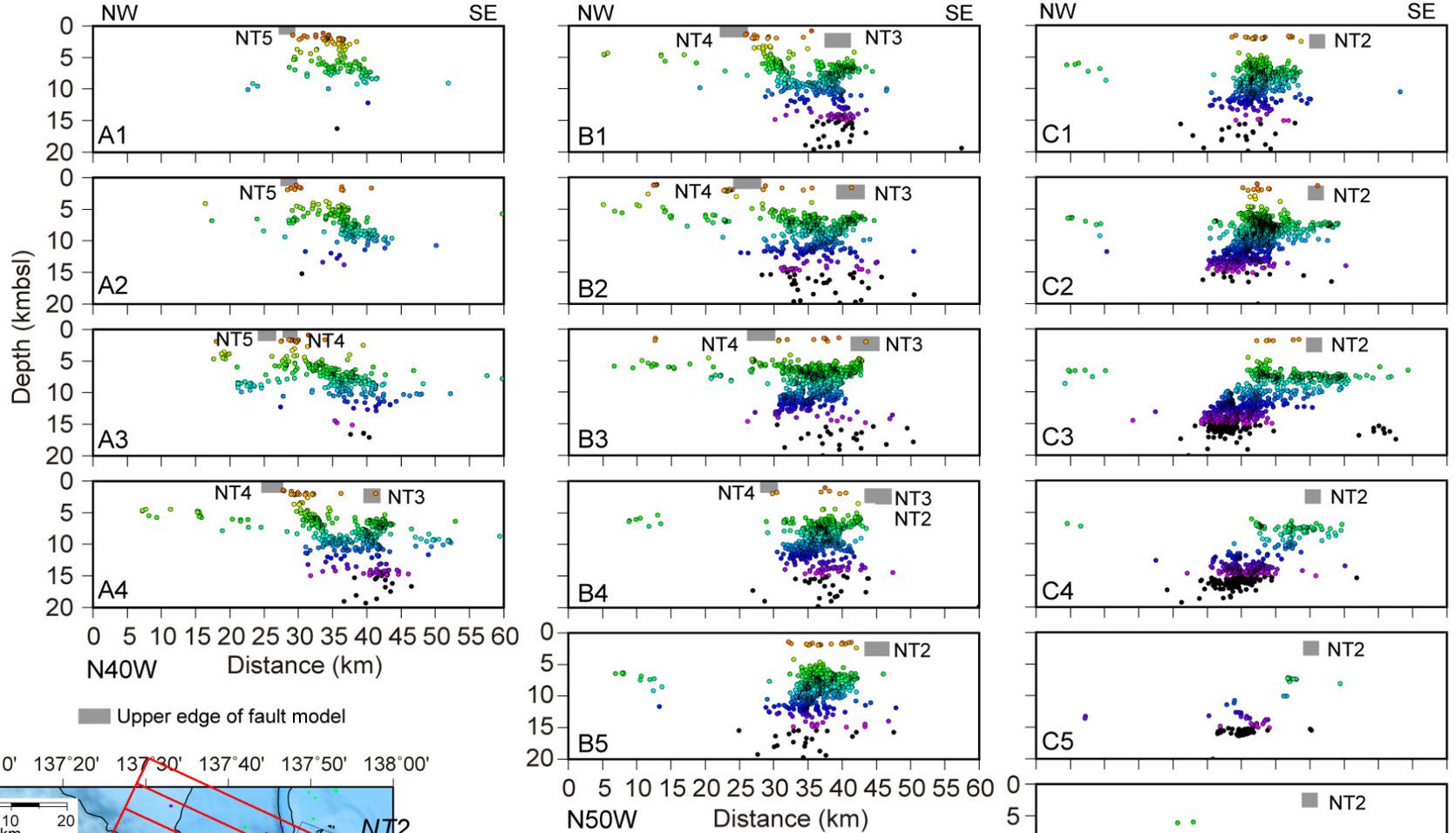
No. =8428

全体として、
手動読み取りの震源分布と調和的

今後精度評価を実施する



PhaseNet OBS DD relocation
2024 Jan. 24 - 2024 Feb. 13
N=8428

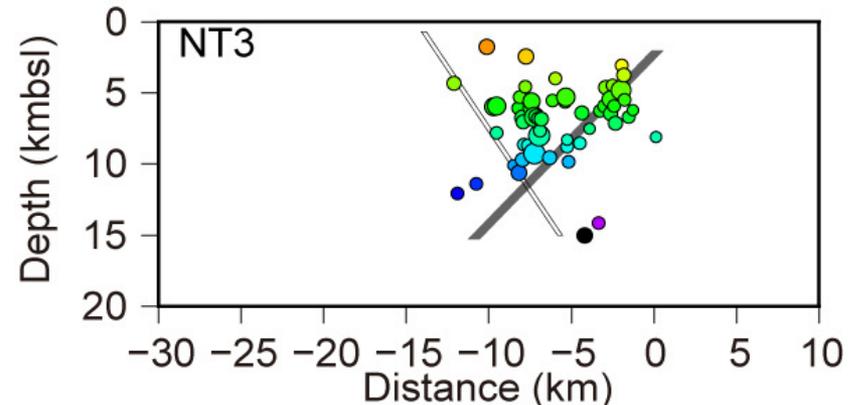
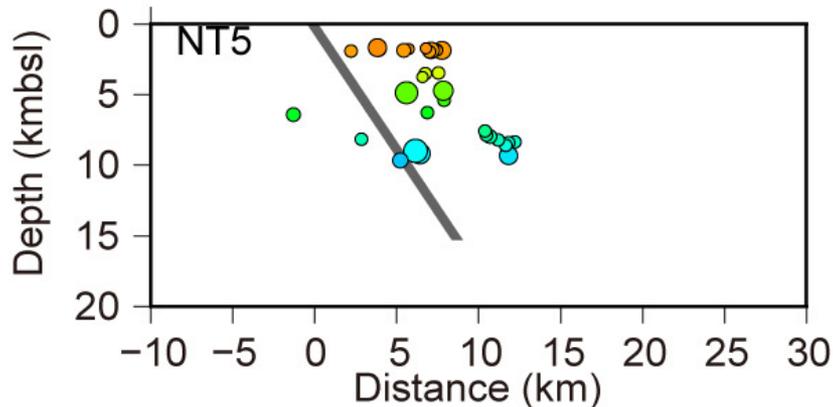
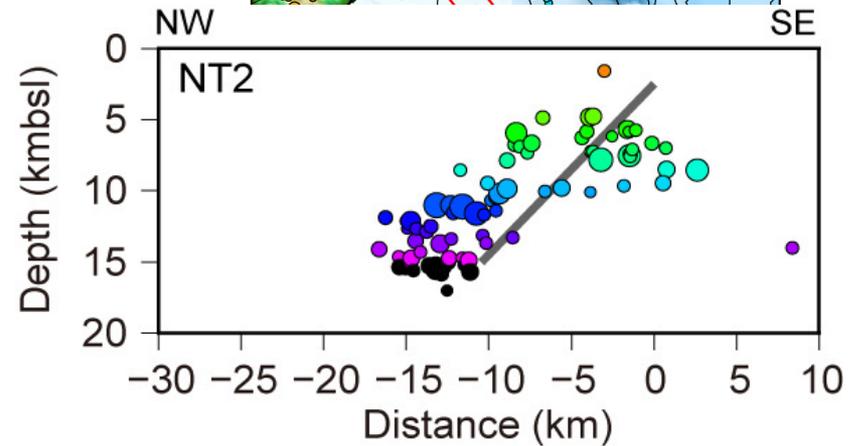
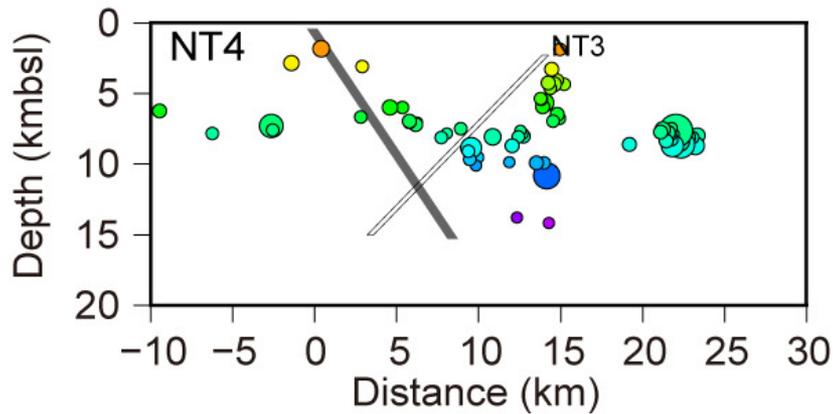
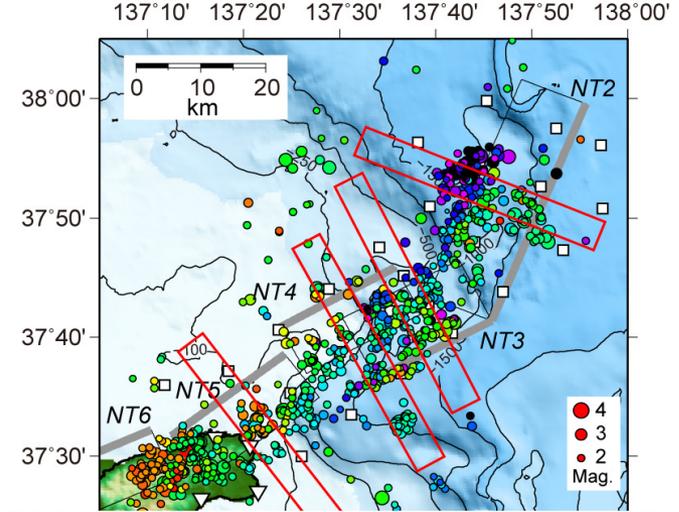


PhaseNet震源の深さ断面への投影

- PhaseNetで読み取った震源を、幅は5kmの断面に投影した。断面は、震源の空間分布を考慮して、陸よりでN40W、その沖合でN50W、北東部でN65Wの3つのグループに分けた。
- 各断面に、日本海地震津波プロジェクト(2013-2021)で求められた断層モデル(NT2-5)の上面の位置も投影した。

震源断層モデルへの投影

- 日本海地震津波プロジェクト(2013-2021)では観測域周辺に断層モデルが設定されている(NT2 - NT6)。
- 断層モデル中央を通り、走向に直行する深さ断面に幅5kmの地震を投影した。
- 余震分布が断層モデルと調和的であることがわかる。
- NT2については、断層モデル全域では余震は発生していない。



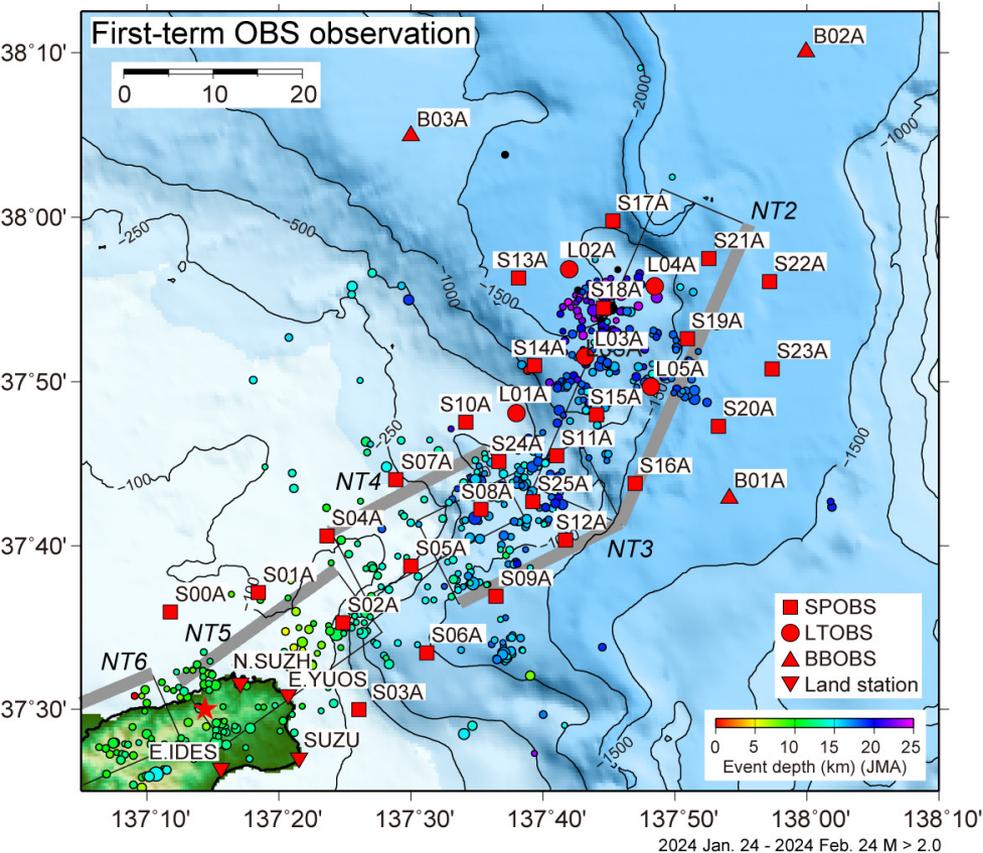
W 5 km

補足資料 2

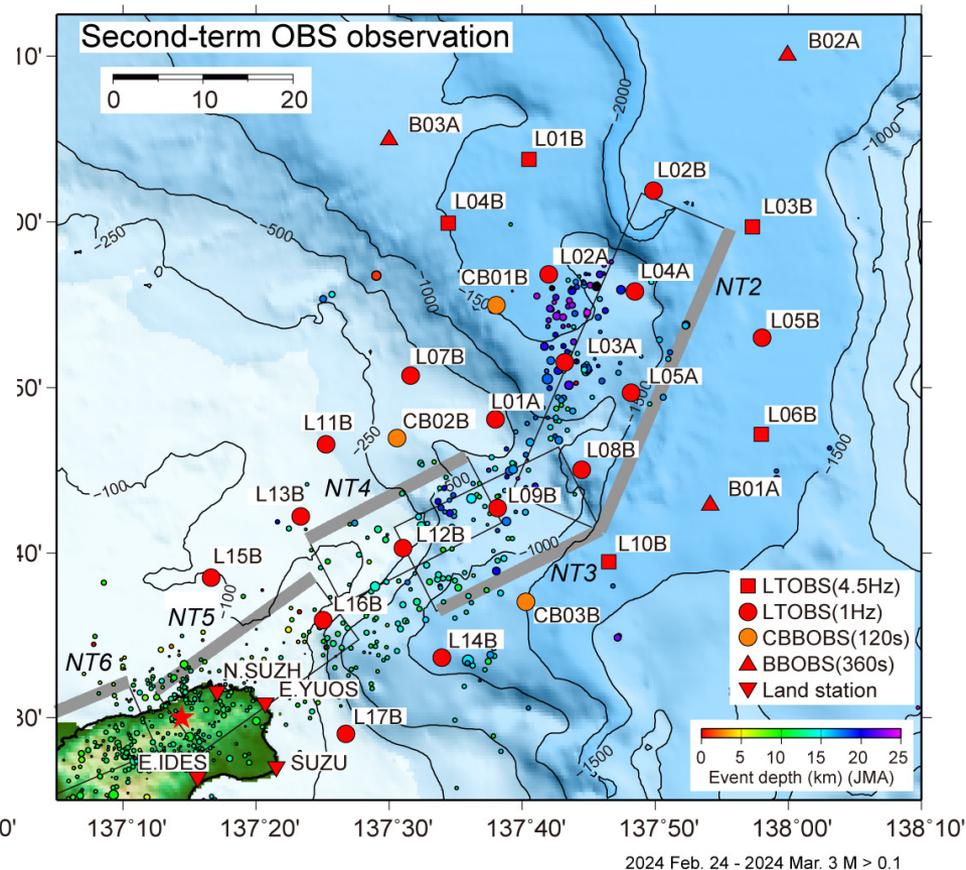
(観測・解析の詳細)

緊急海底地震観測

第1期観測:全34地震観測点による約10km間隔の海底地震観測網



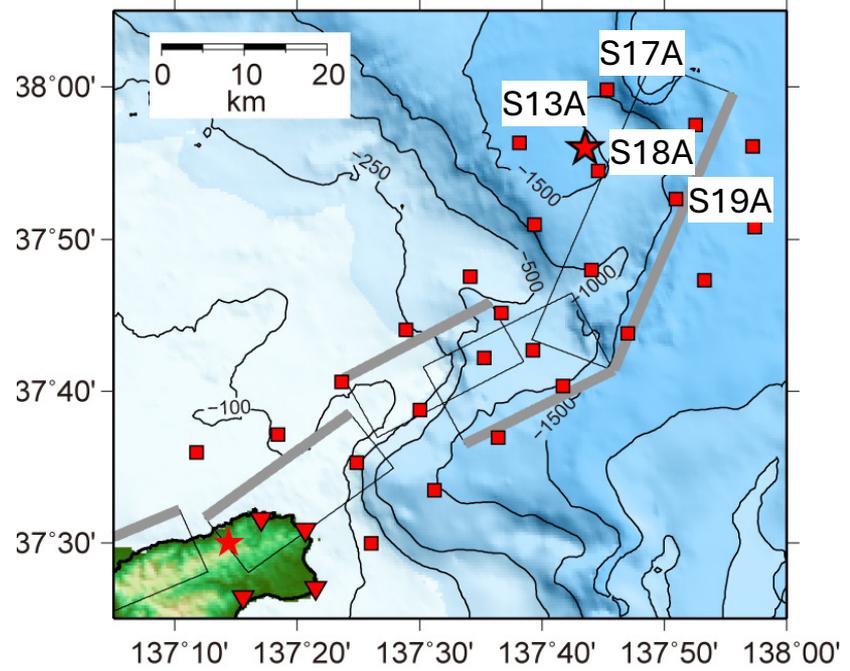
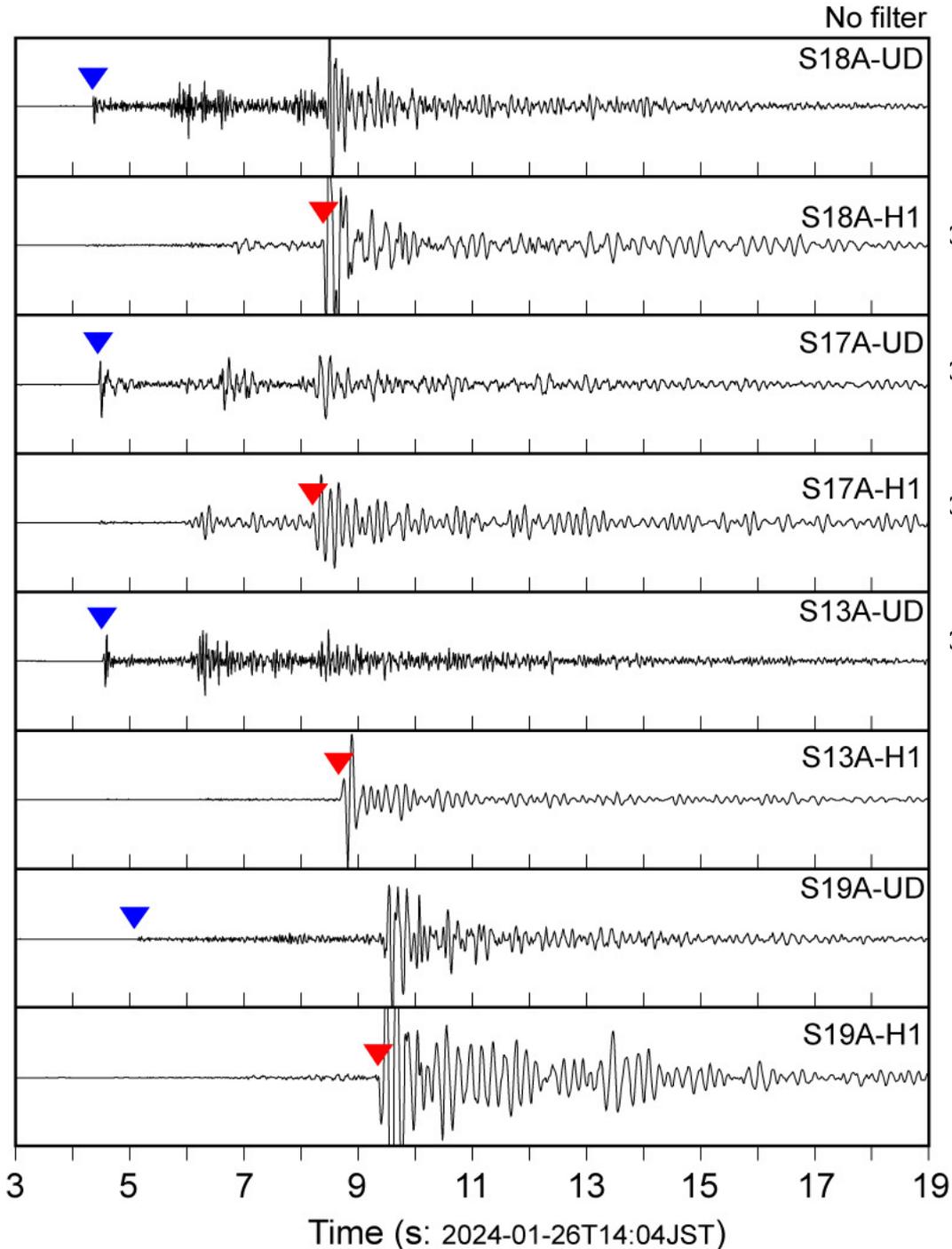
第2期観測:全28地震観測点を用いた約12.5 km間隔の海底地震観測網



- 1月18日より設置を開始し、24日0時(JST)から、全台で観測を開始
- 2月22-24日に短期観測型OBS 26台回収

- 2月19日より設置を開始して、2月21日12時(JST)には、全台で海底観測を開始
- 2024年6月まで28点で観測、6月に観測増強

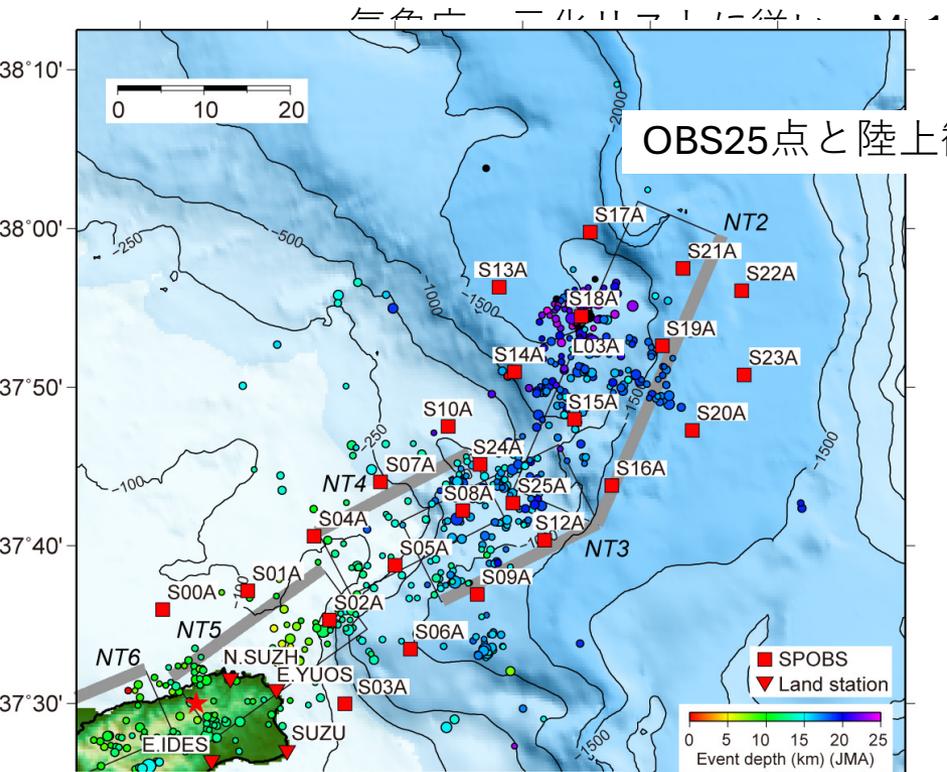
観測波形例



波形例の地震の気象庁震源決定結果
2024-01-26T14:04:01 (JST)
137°44', 37°56', 20.6 km, M=2.0

気象庁震源リストに従い、マグチュード1.7より大きい地震958個について、P波およびS波到着時刻、上下動の最大振幅、初動の極性を読み取った。

OBSデータを用いた緊急解析



7.0の地震
解決

OBS25点と陸上観測点4点

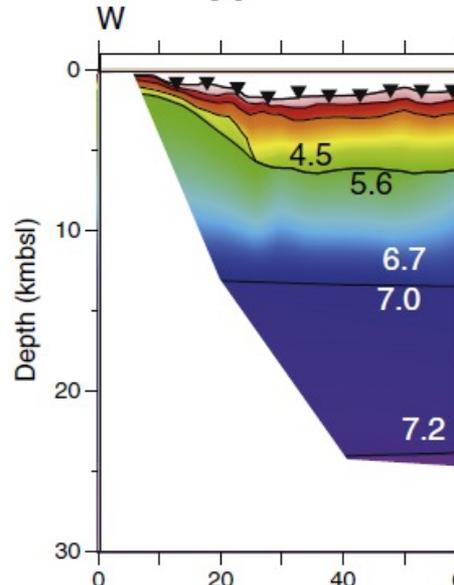
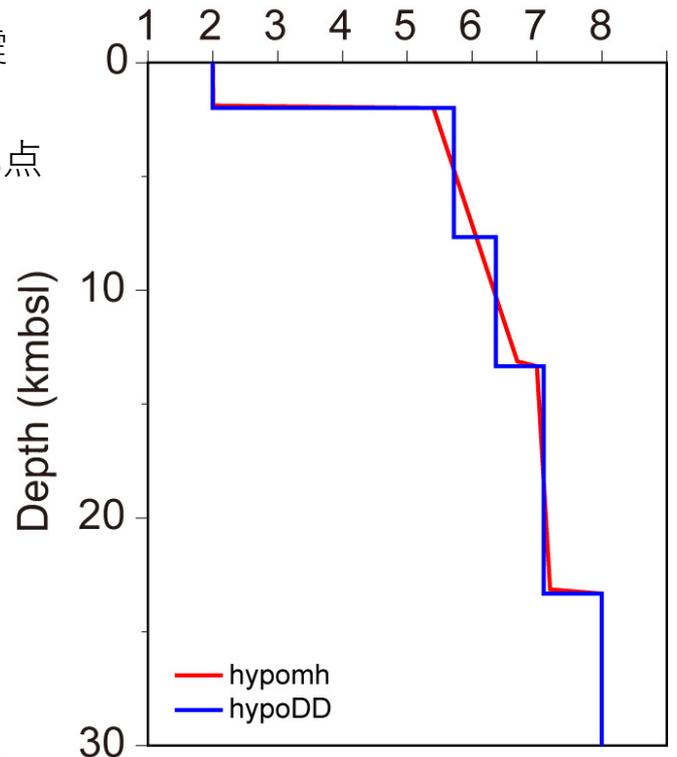
観測期間中の一元化震源(M>2)
2024 Jan. 24 - 2024 Feb. 24 M > 2.0

観測点補正値を推定し、hypomh (Hirata and Matsu'ura, 1987)による初期震源(892個)

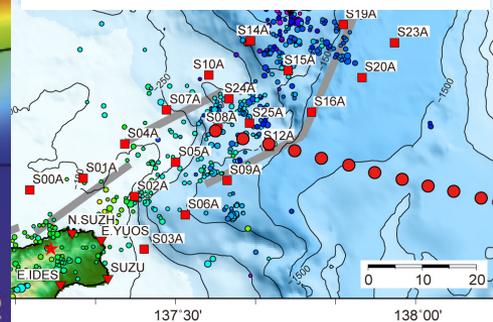
初期震源を用いて、hypoDD (Waldhauser and Ellsworth, 2000)による震源(881個)

fpfit(Reasenberg and Oppenheimer, 1985)による発震機構解(187個)

P-wave velocity (km/s)



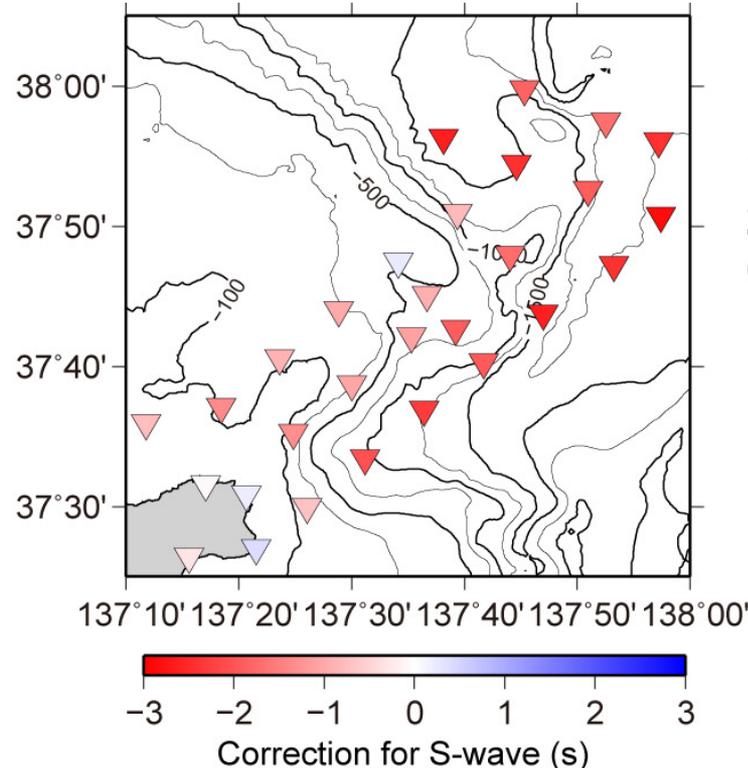
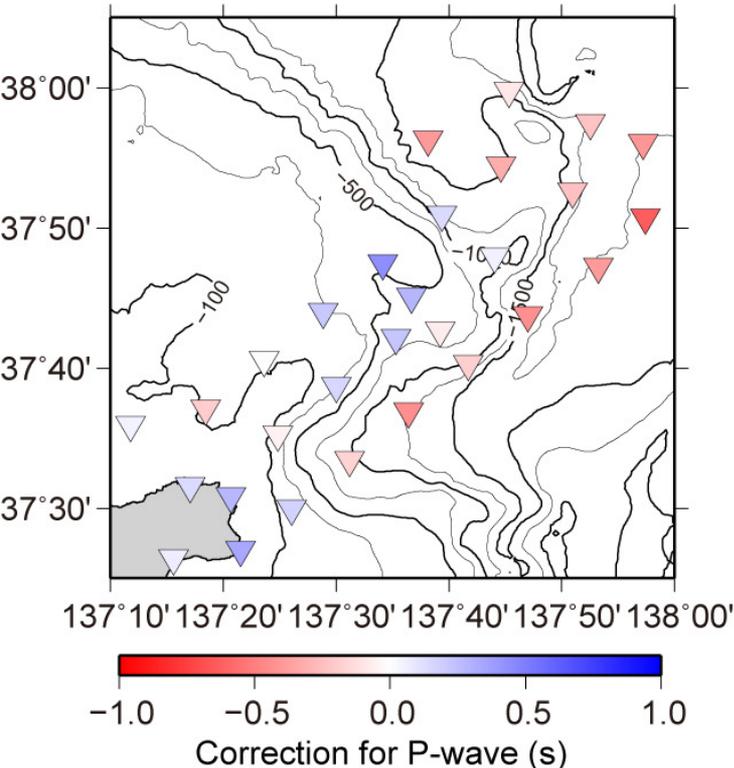
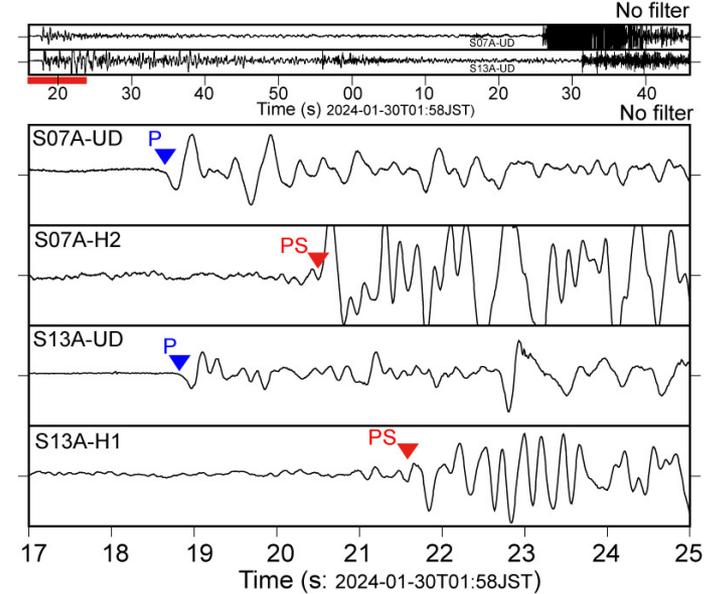
震源決定の速度構造には
構造探査の結果を採用。



Nakahigashi *et al.*, 2012,
Tectono 16

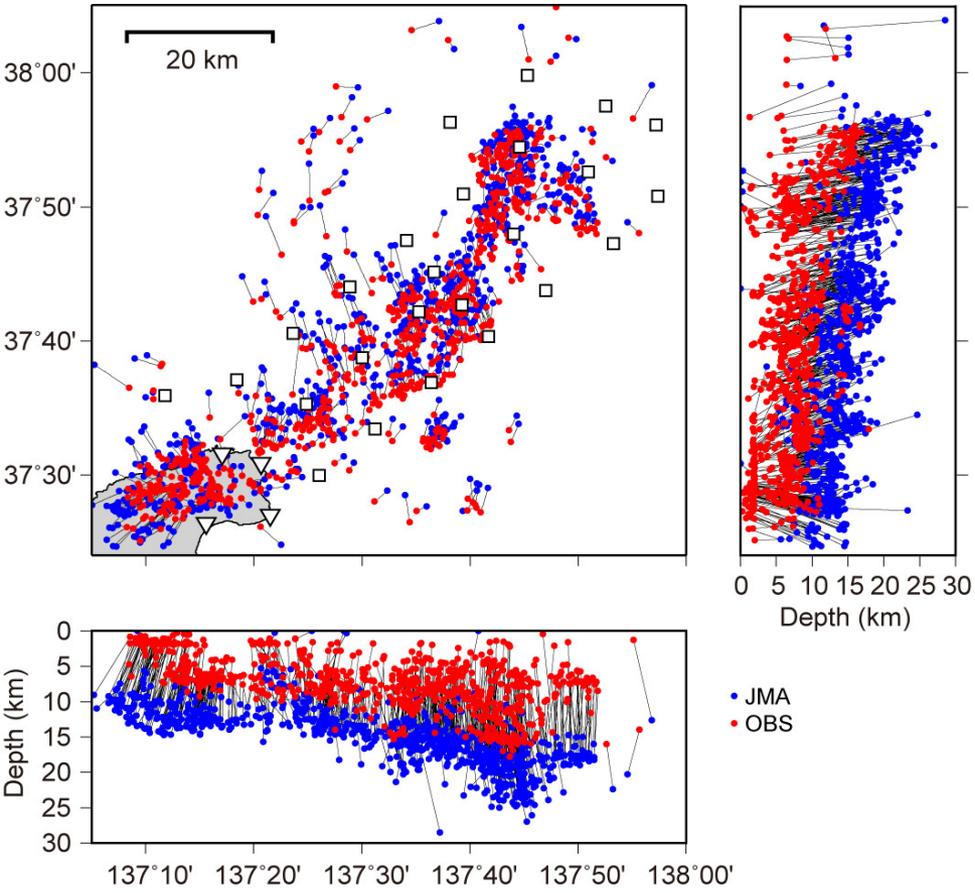
観測点補正值

- 観測点補正值を決めるために、マグニチュードの大きな地震と深発地震のP波初動とその変化の到着時刻を読み取り
- 最上部層の V_p/V_s を仮定して、初期値を計算
- 震源決定を行い、各観測点の走時残差の平均値を計算
- 走時残差平均を観測点補正值に加えて、再震源決定を繰り返す



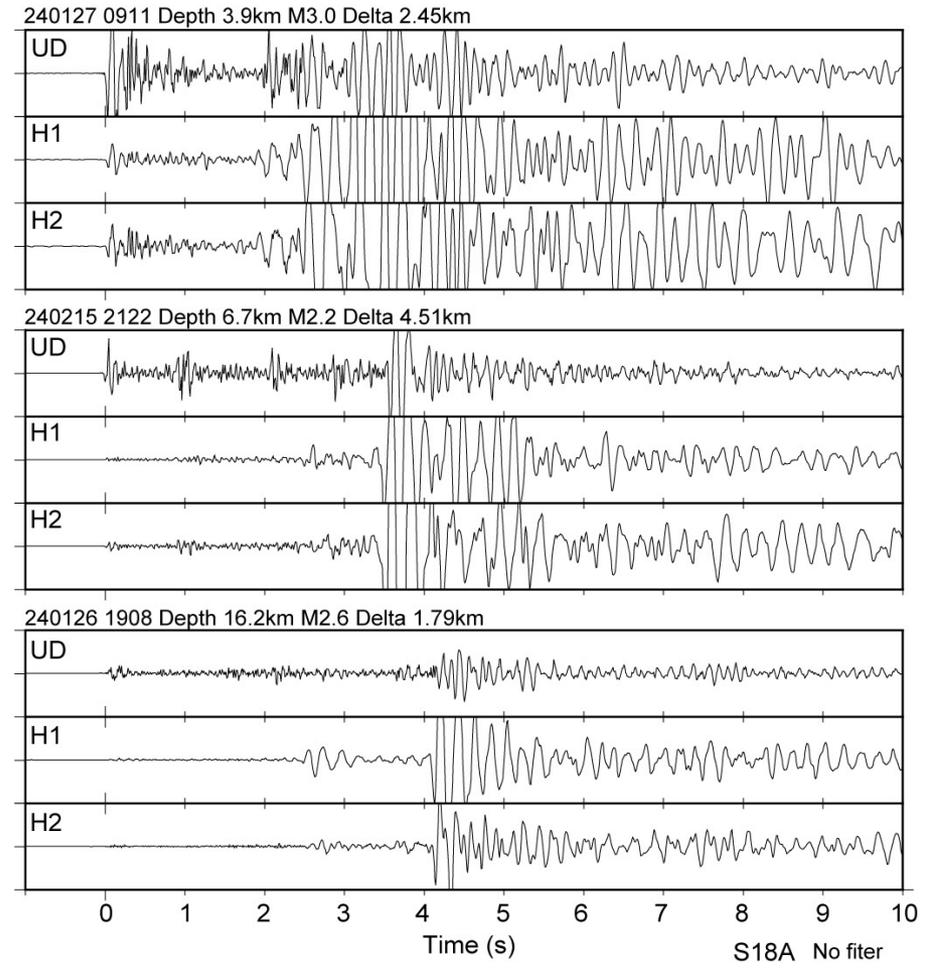
- 観測点補正值
P波 -0.636~
+0.440 s,
S波 -2.854~
0.403 s
- 観測点補正值の
分布と海底地形
と相関があるよ
うに見える

気象庁震源との比較



- OBS再決定震源は、全般として、気象庁震源よりもあさくもとまった。
- 震央の違いは小さいが、深さは10kmほど浅く再決定された。

震源の深度

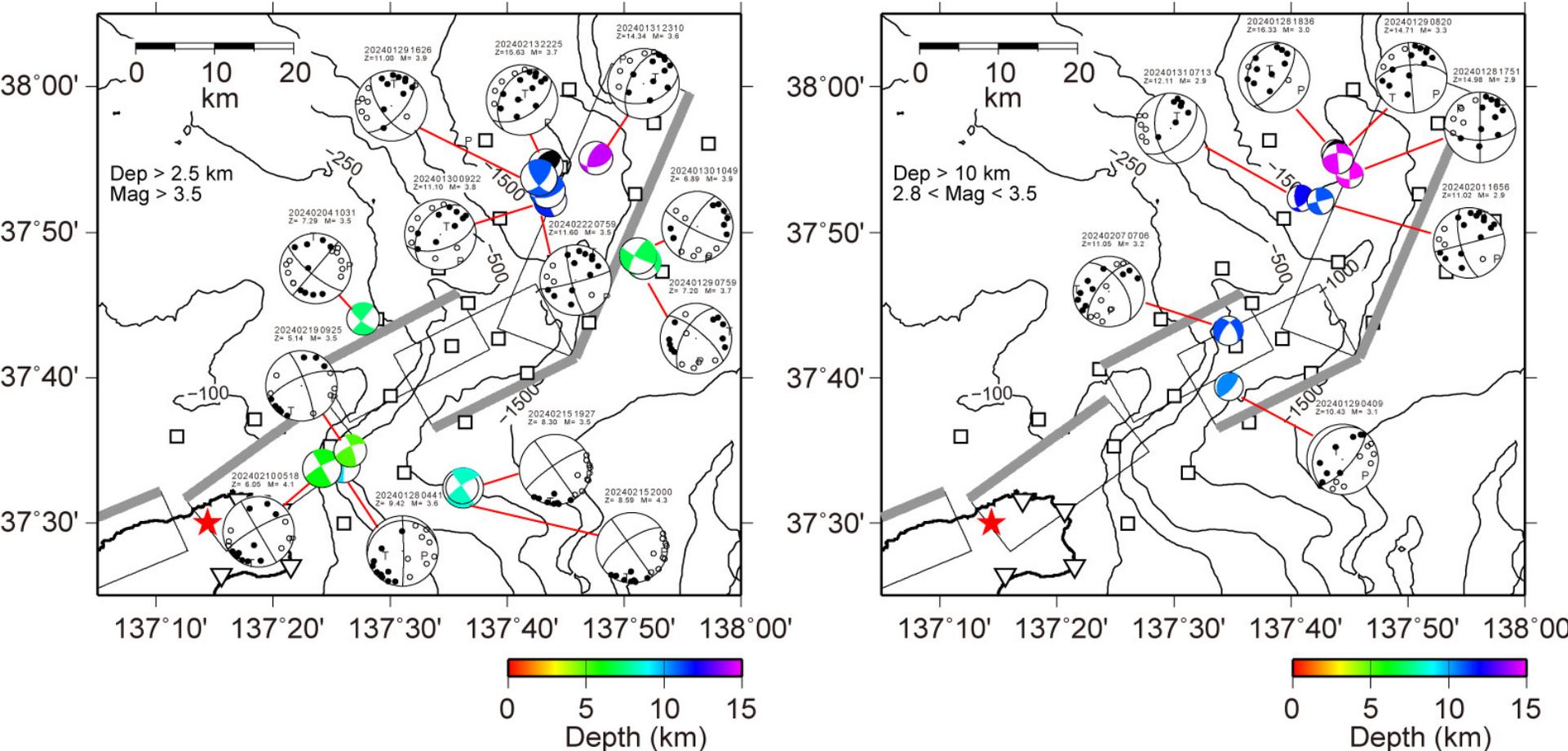


- NT2断層モデルの下部付近で、深さが15kmよりも深い地震が発生していた。
- S18A観測点のデータでは、ほぼ真下で発生している地震について、S-P時間の長いものが含まれることから、深部での発生が確認される。

補足資料 3

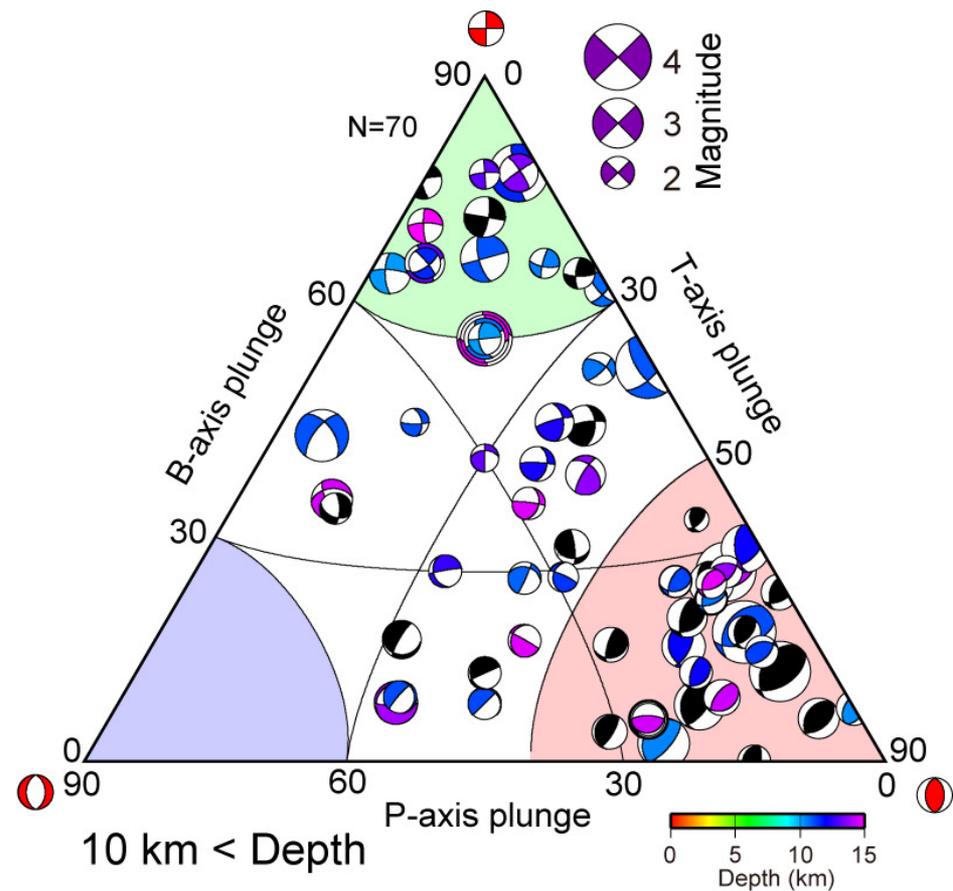
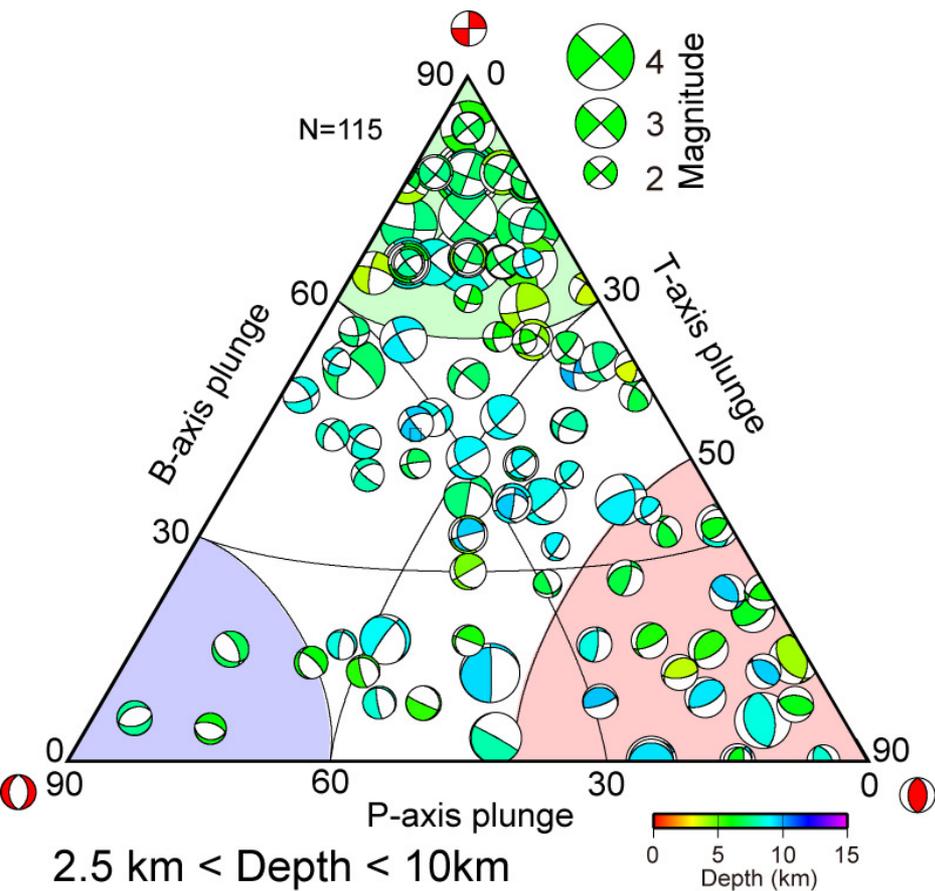
(発震機構解についての検討)

決定された発震機構解と初動極性データ分布



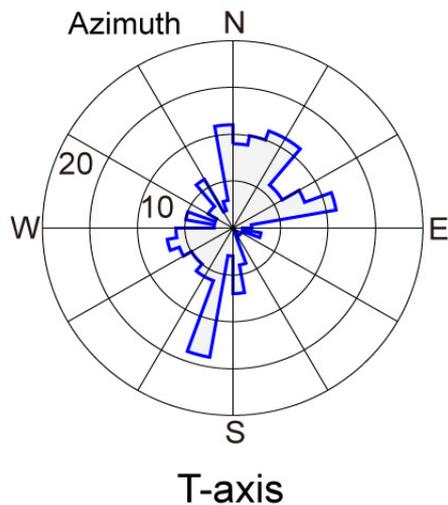
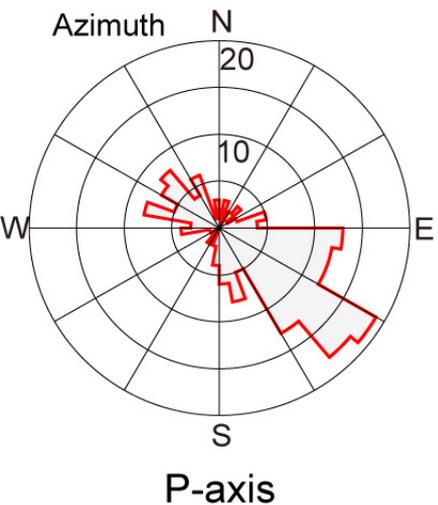
- マグニチュードが3.5より大きい地震、および震源の深さが10kmより深い地震で、マグニチュードが2.8より大きい地震について、発震機構解に初動極性の押し引き分布を表示した。
- 発震機構解は、初動極性データの分布からは、精度良く決まっていることが推定される。

Frohlich(2001)による発震機構解の分類

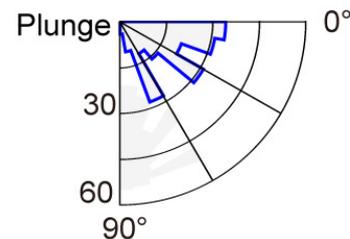
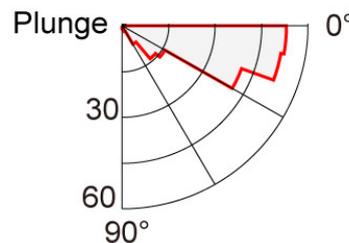


- Frohlich(2001)に従って、発震機構解を分類した。震源の深さが10km以浅と、10km以深で分けて表示した。
- 10km以浅では、横ずれ断層型の地震が多く、数は少ないが正断層型の地震も発生している
- 10km以深では、逆断層型の地震が多いように見える。

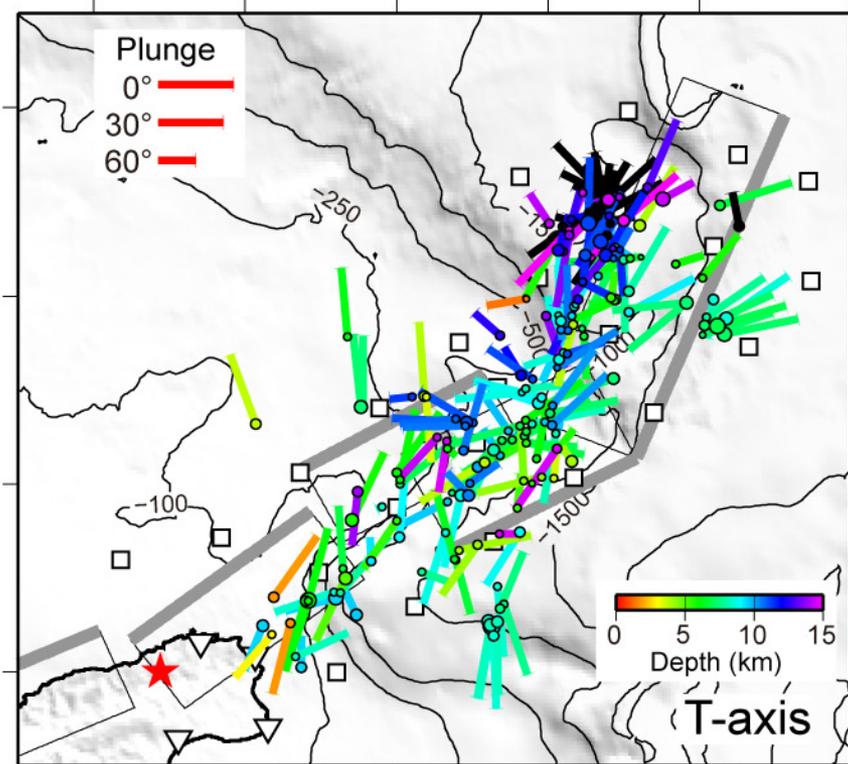
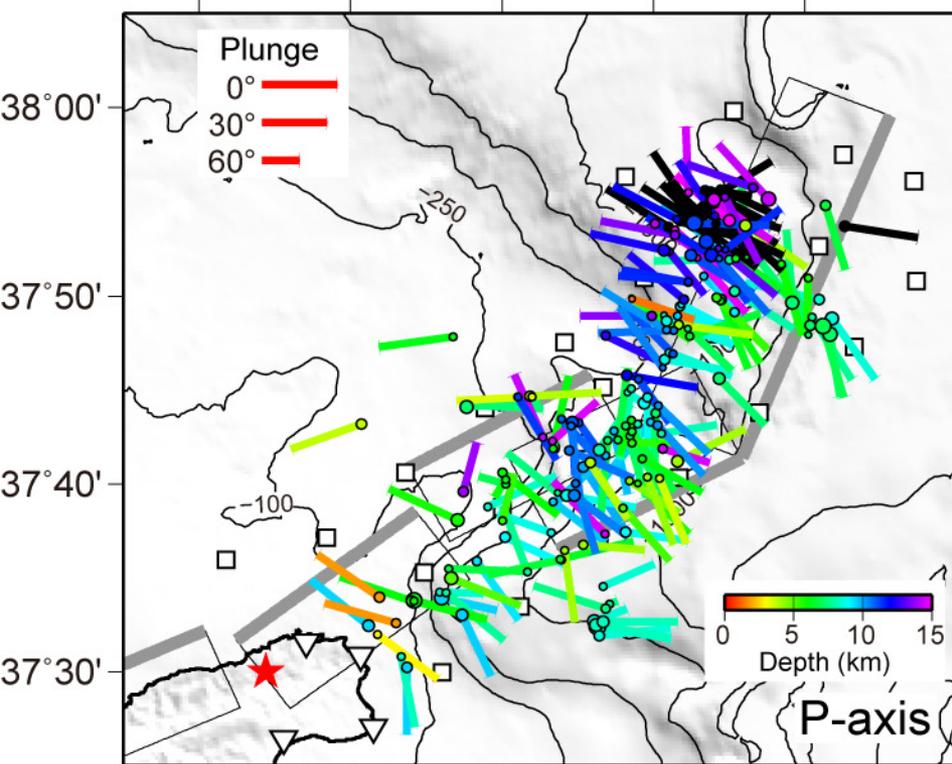
P軸とT軸の方位と傾斜



- P軸は、ほぼ南東-北西方向であり、水平に近い。
- T軸の方位はP軸に直交しているが、傾斜のばらつきがある。

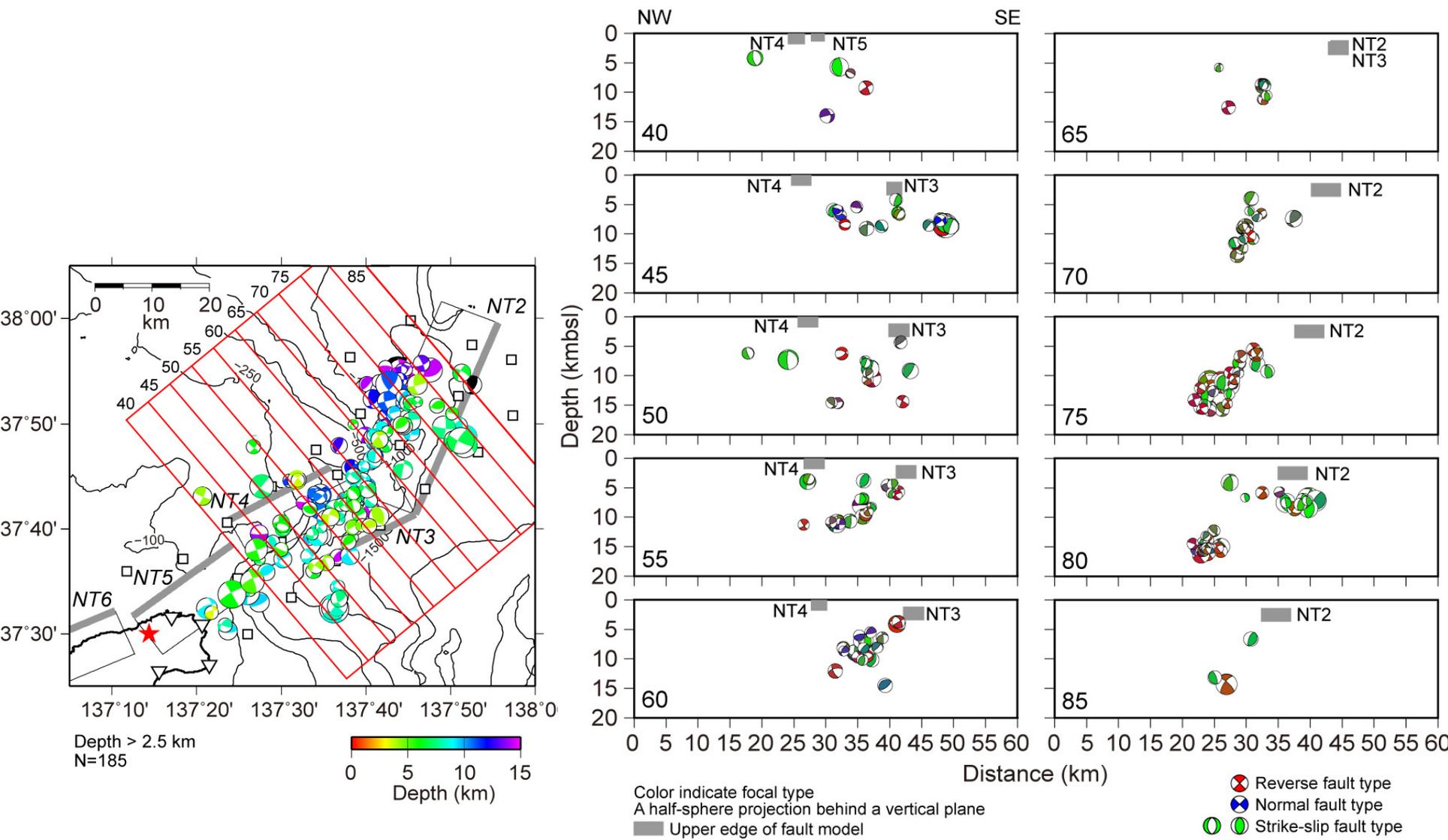


137°10' 137°20' 137°30' 137°40' 137°50' 138°00' 137°10' 137°20' 137°30' 137°40' 137°50' 138°00'

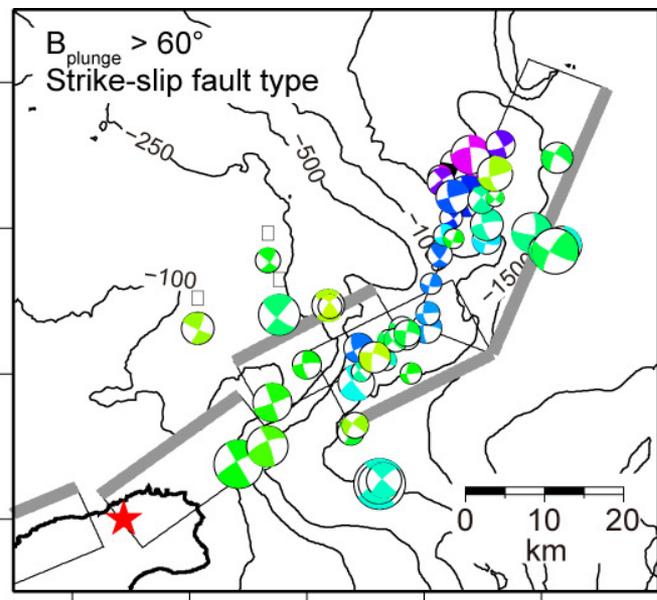
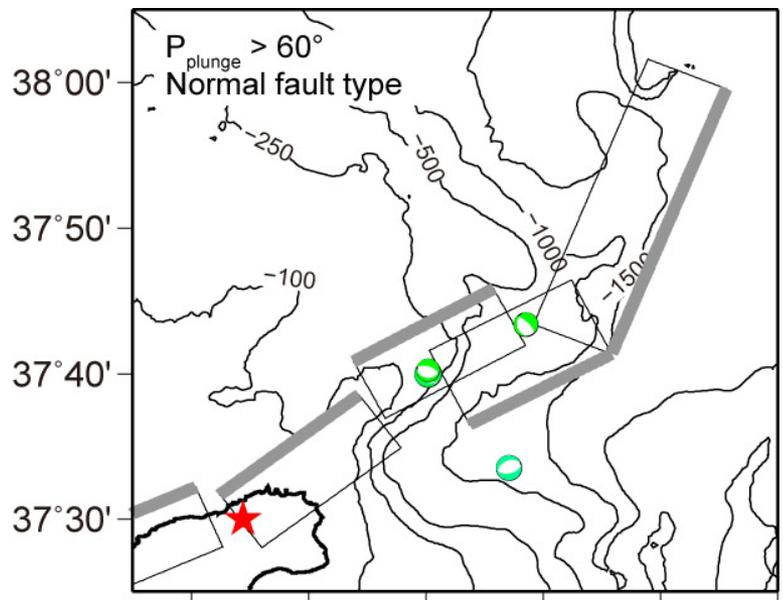


深さ断面への発震機構解の投影

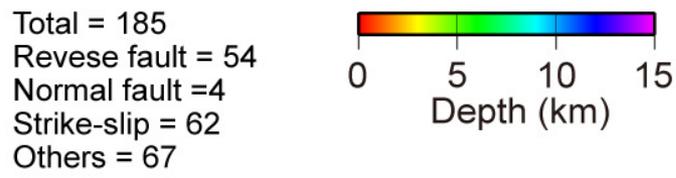
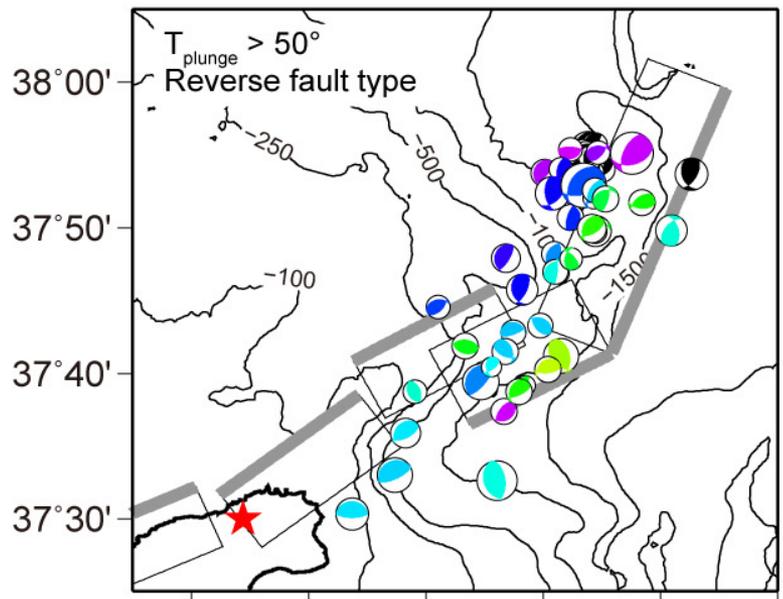
- 発震機構解を、北から反時計回りに40°回転させた断面に投影した。断面の幅は5kmとした。
- 逆断層型の地震については、余震の並びと断層面解が調和的である地震が多いように見える。



発震機構解別の震源分布



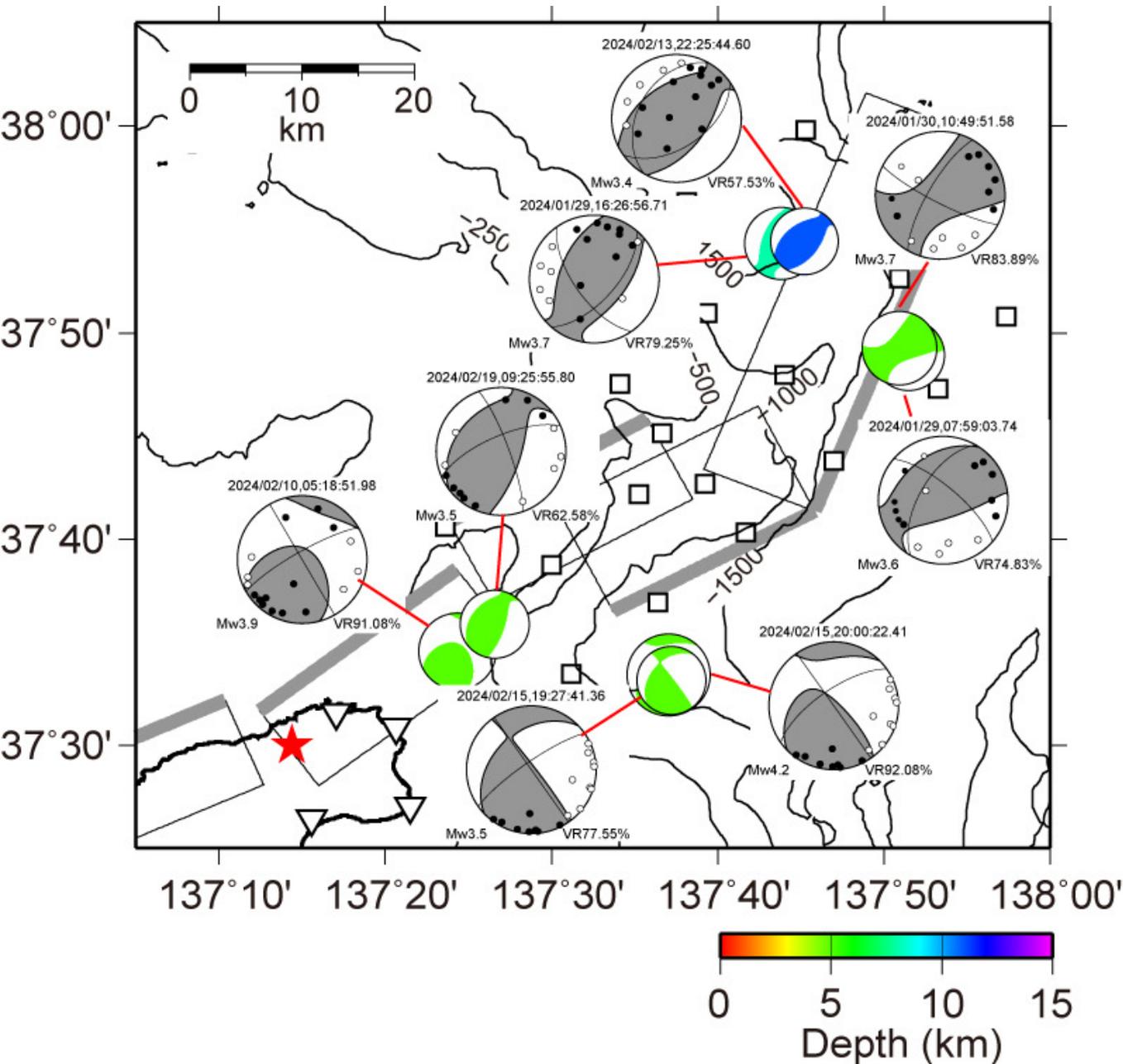
137°10' 137°20' 137°30' 137°40' 137°50' 138°00'



- Forhlich (2001)により、正断層型、逆断層型、横ずれ断層型に分類される地震毎に震源を表示した。
- 横ずれ断層型の地震が最も数が多い。また、逆断層型と横ずれ断層型については、震央の分布に違いがないように見えるが、深い地震ほど逆断層型であるように見える。

137°10' 137°30' 137°50'

発震機構の初動解とモーメントテンソル解の比較



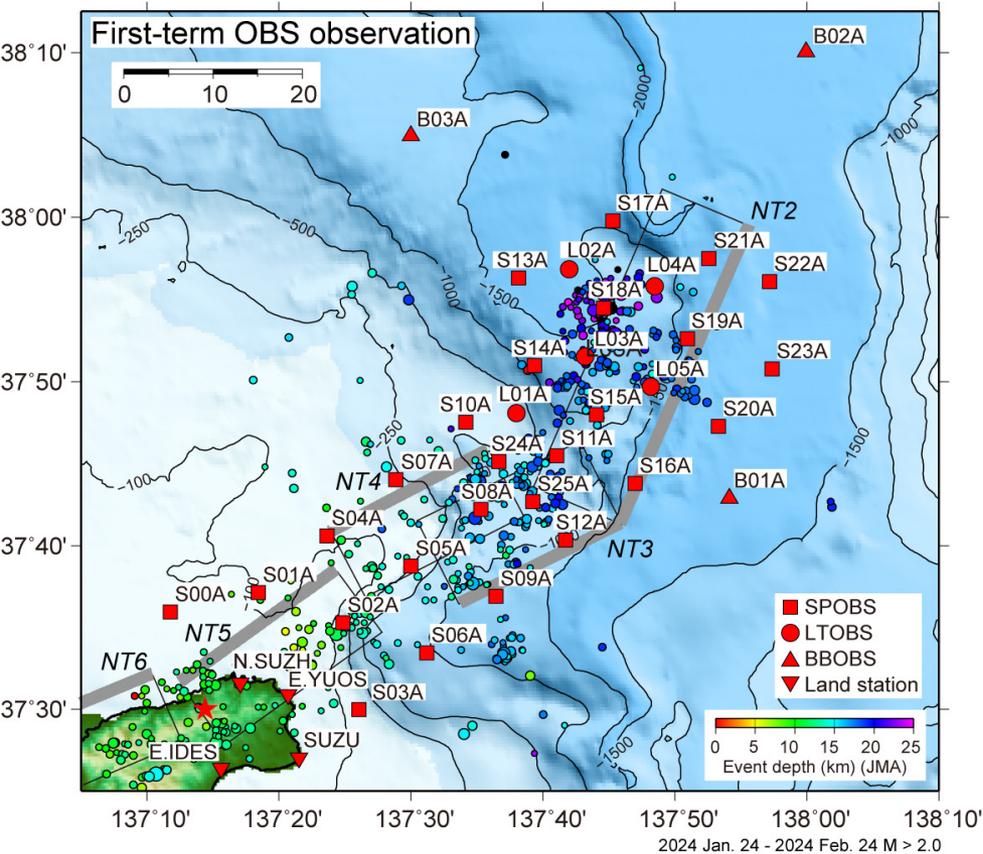
- OBS初動解のうち、8個の地震でモーメントテンソル(MT)解が求められている。
- 初動解では、横ずれ断層型に決定されている地震でも、MT解では、非ダブルカップル(DC)成分が大きい逆断層型と決定されている。
- 初動データのプロットは、MT解に対しても調和的である。
- 非DC成分により、異なる発震機構解に見える可能性

補足資料 4

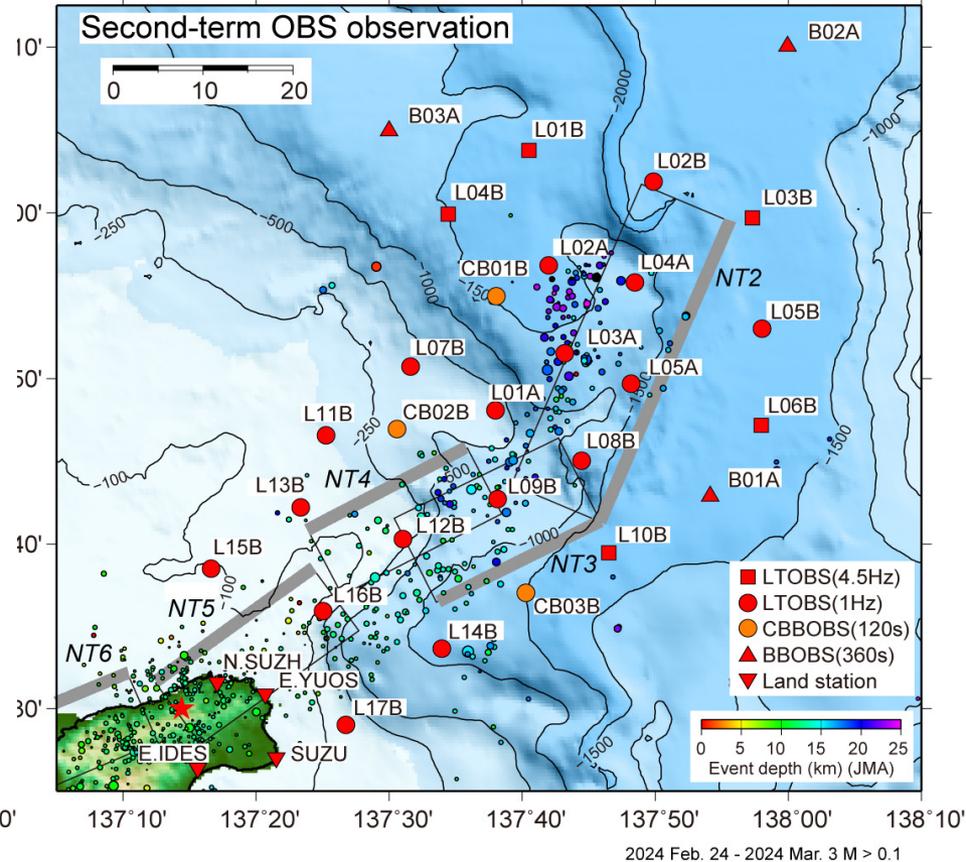
(今後の調査観測)

海底地震観測網について

第1期観測 (今回報告)



第2期観測 (2月21日以降)



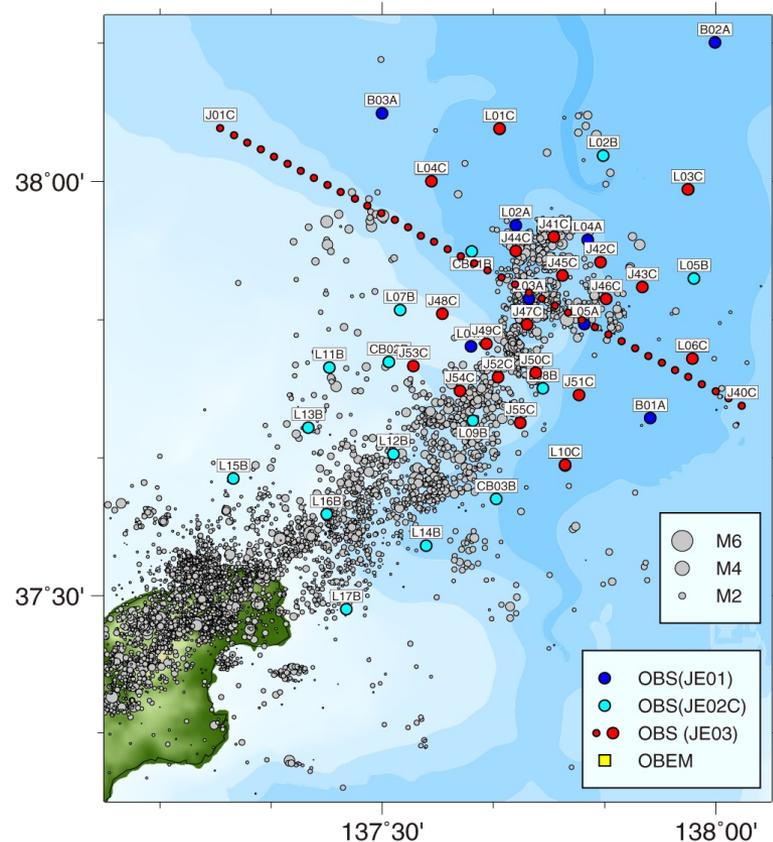
短周期OBS (長期型) 5台
 広帯域OBS 3台 は残置
 → 第2期で観測を継続

短周期OBS 26台を回収 (本報告)
 短周期OBS 20台を設置
 → 残置8台とあわせて第2期 (28点)

6月に65台を増設 (次ページ)

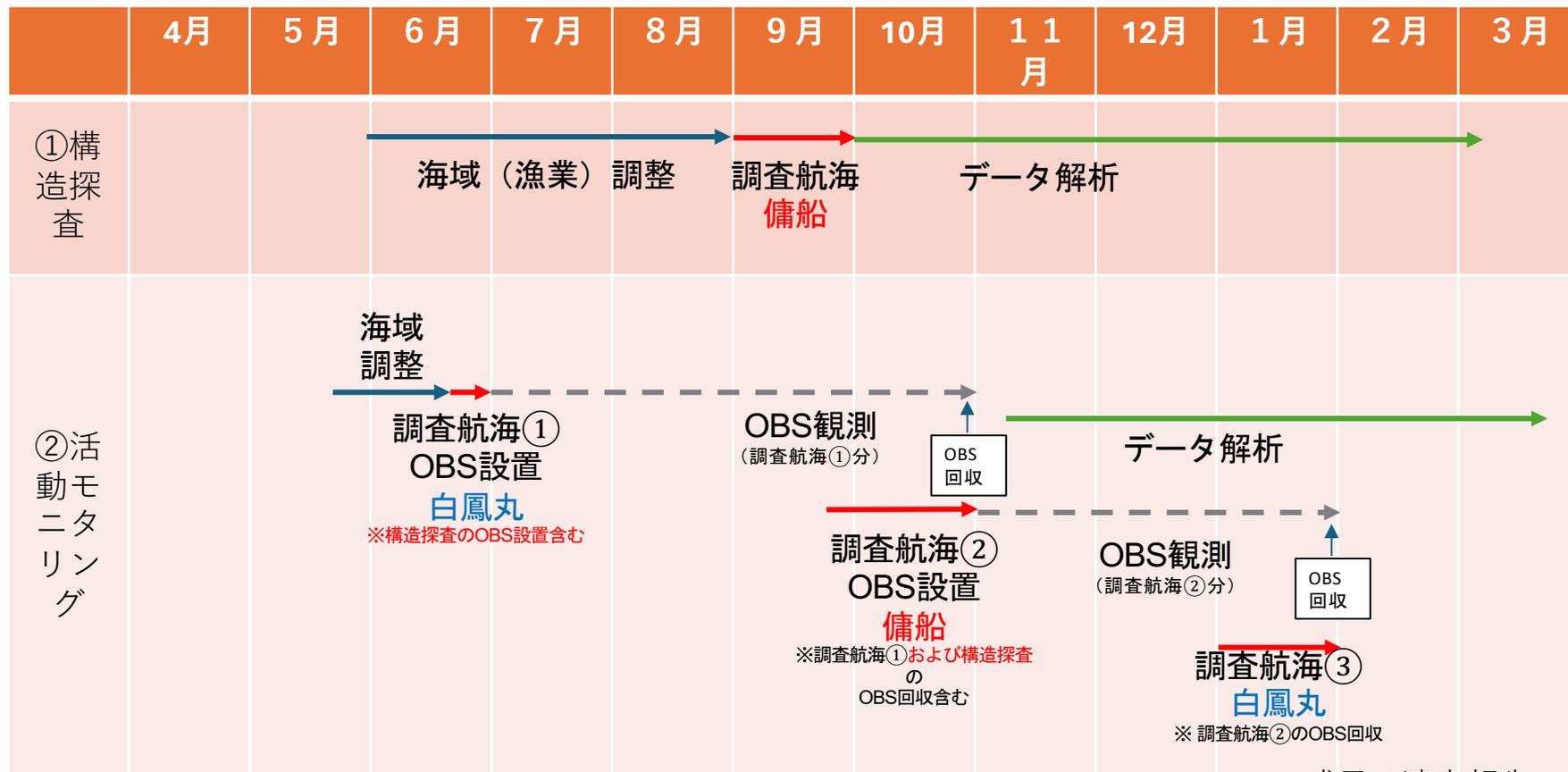
能登半島沖海域断層等の海域調査

- 2024年6月：白鳳丸（KH-24-JE03）
 - OBS設置：60台
 - 構造探査40台 + 地震観測20台
 - OBS回収：5台
 - 2024年2月設置分（KH-24-JE02C）
- 2024年夏（予定）
 - 構造探査
- 2024年秋（予定）
 - OBS回収：63台
 - 構造探査40台、地震観測20台
 - 2024年6月設置分（KH-24-JE03）
 - BBOBS3台
 - 2024年1月設置分（KH-24-JE01）
 - OBS設置：20台
- 2025年1月（予定）
 - OBS回収：40台
 - 2024年1月設置分（KH-24-JE01）：5台
 - 2024年2月設置分（KH-24-JE02C）：15台
 - 2024年秋設置分：20台



2024年6月白鳳丸KH-24-JE03終了時点。
震源は気象庁による2024年3月～4月のもの。

スケジュールイメージ



成果は適宜報告