

# 2024年能登半島地震震源域 の微小地震の震源分布と断層 構造

# 1. 震源域全域の震源分布・断層構造

- 本震後のみを対象

# 2. 珠洲群発地震活動域付近の断層構造

- 本震以前の断層構造との比較
- 本震の震源・初期破壊

# 3. 2007年地震震源域周辺の断層構造

- 本震以前の断層構造との比較

# 震源・観測点分布

赤：2003/3 – 2023/12/31

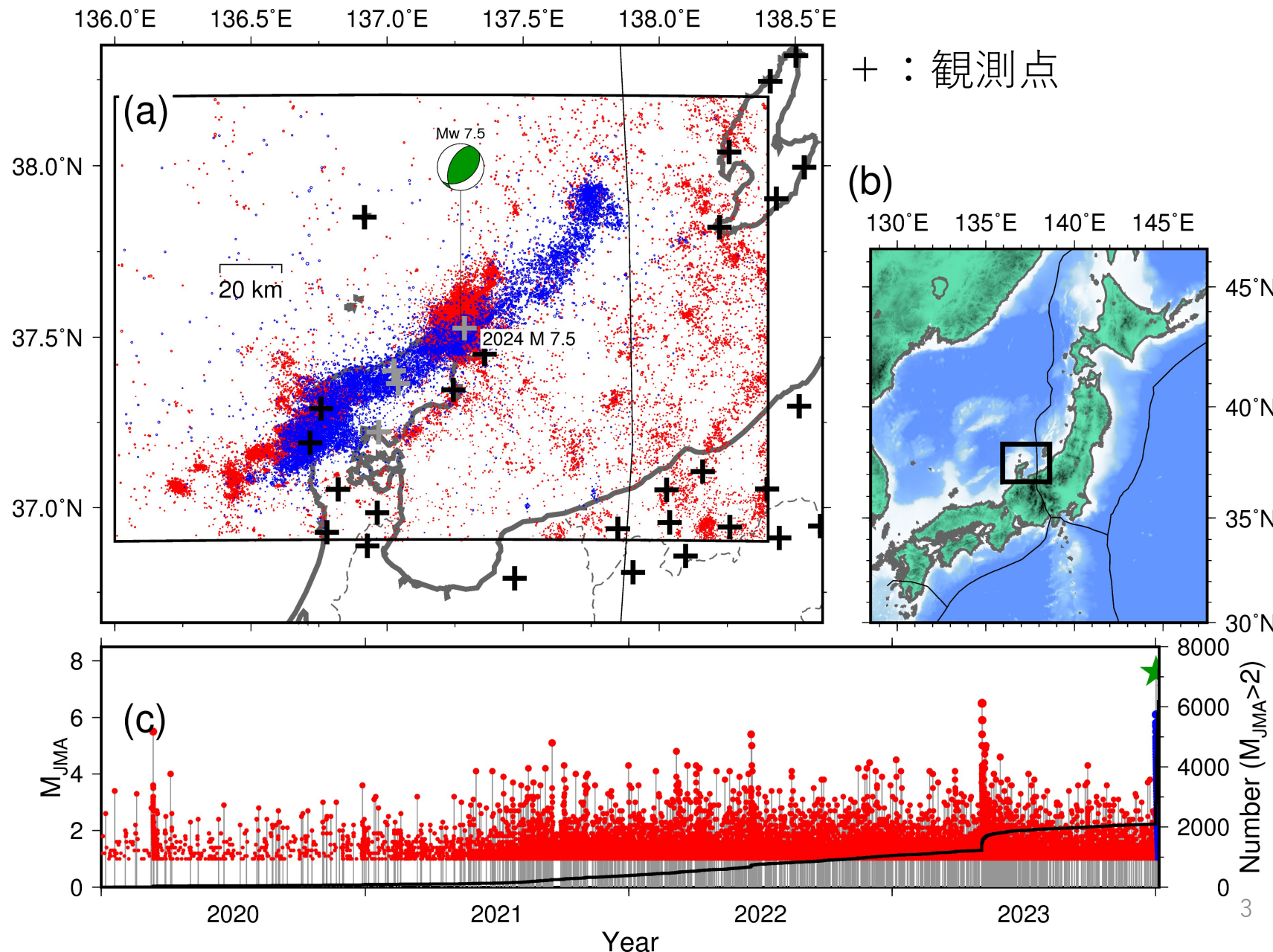
青：2024/1/1 – 2024/1/11

• 波形記録が全成分で使用不可になっている周辺の観測点 (灰)

- N.AMZH : 1/1から
- N.WJMF : 1/1から
- **N.SUZH** : 1/4 から
- N.YGDH : 1/6から

• 波形記録が 1成分以上使用可能な周辺の観測点 (2024/1/7時点)

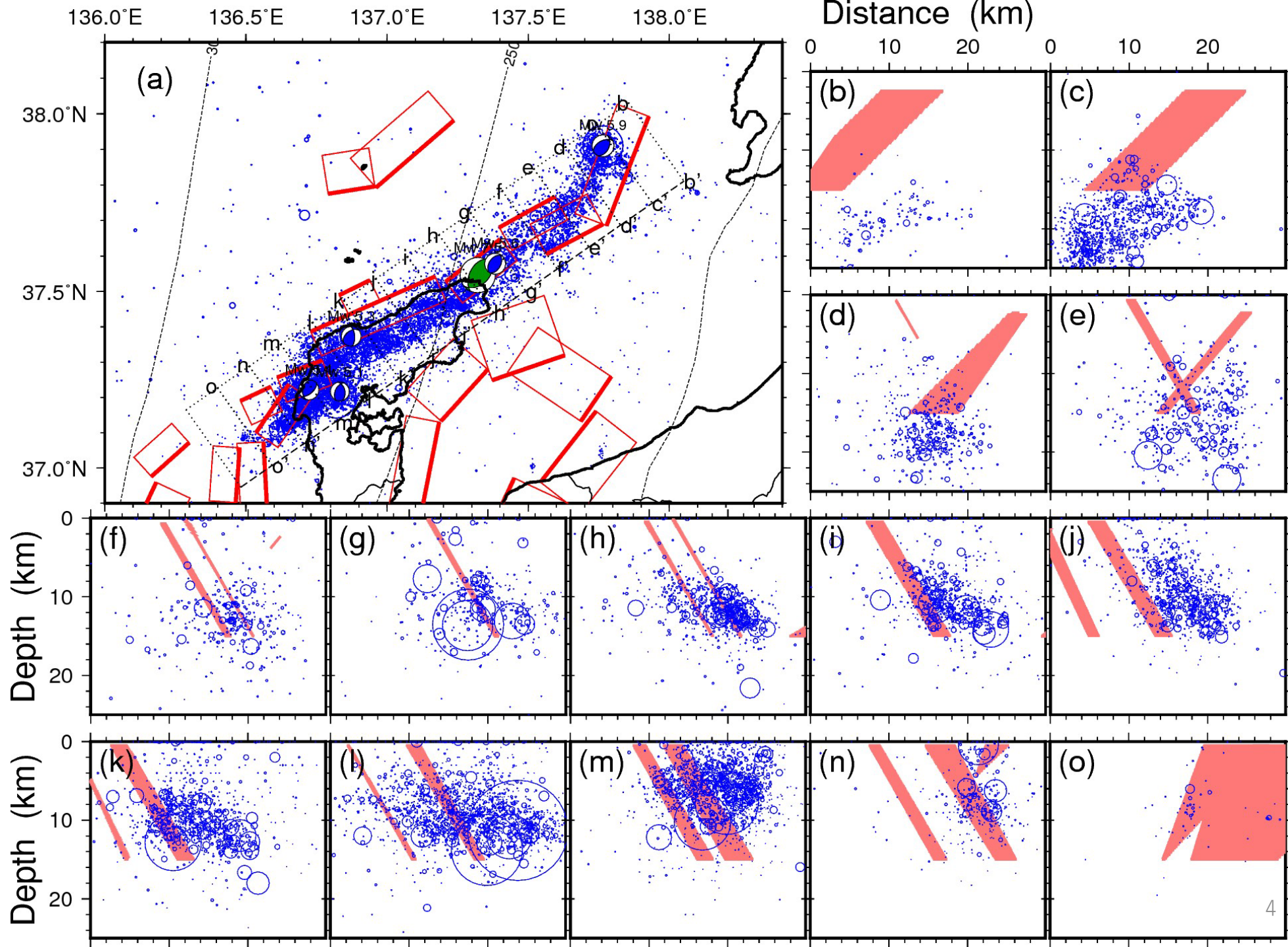
- SUZU
- HEGURA
- N.UCUH
- N.WMZH
- N.SHKH
- N.TGIH
- DP.NNJ
- N.HIMH
- HAKUI
- N.UOZH



# 気象庁一元化 震源の分布 (2024/1/1- 2024/1/11)

赤：日本海 PJモ  
デル断層

震源分布の北  
東端・南西端  
での走向変化  
とよい対応



# 震源再決定

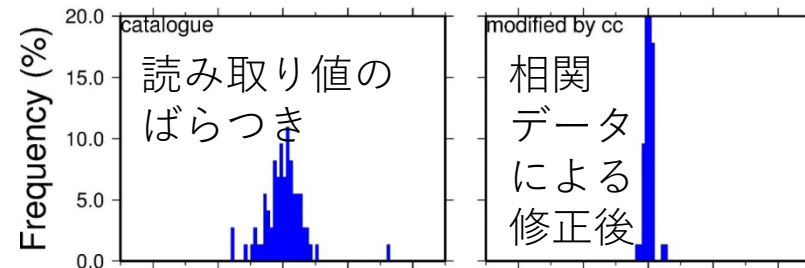
現在の版は、前ページの観測点のうち近いものだけ用いたもの

波形相関データを用いて相対震源決定精度を向上

気象庁一元化震源カタログから **10632** イベントを対象に

- 期間：2024年1月1日から2024年1月11日
  - ここでは  $M_w$  7.5 地震以前の活動は含めない
  - $M_{JMA} \geq 1$
- 相関係数の下限: 0.8
- 読み取り値による到達時刻差データ数 (気象庁カタログ):
  - P-wave: 259055, S-wave: 248876
- 波形相関による到達時刻差データ数 (震源距離 < 200 km)
  - P-wave: 1413740, S-wave: 1381961(これまでの珠洲の解析で用いてきた量に比べて非常に少量)

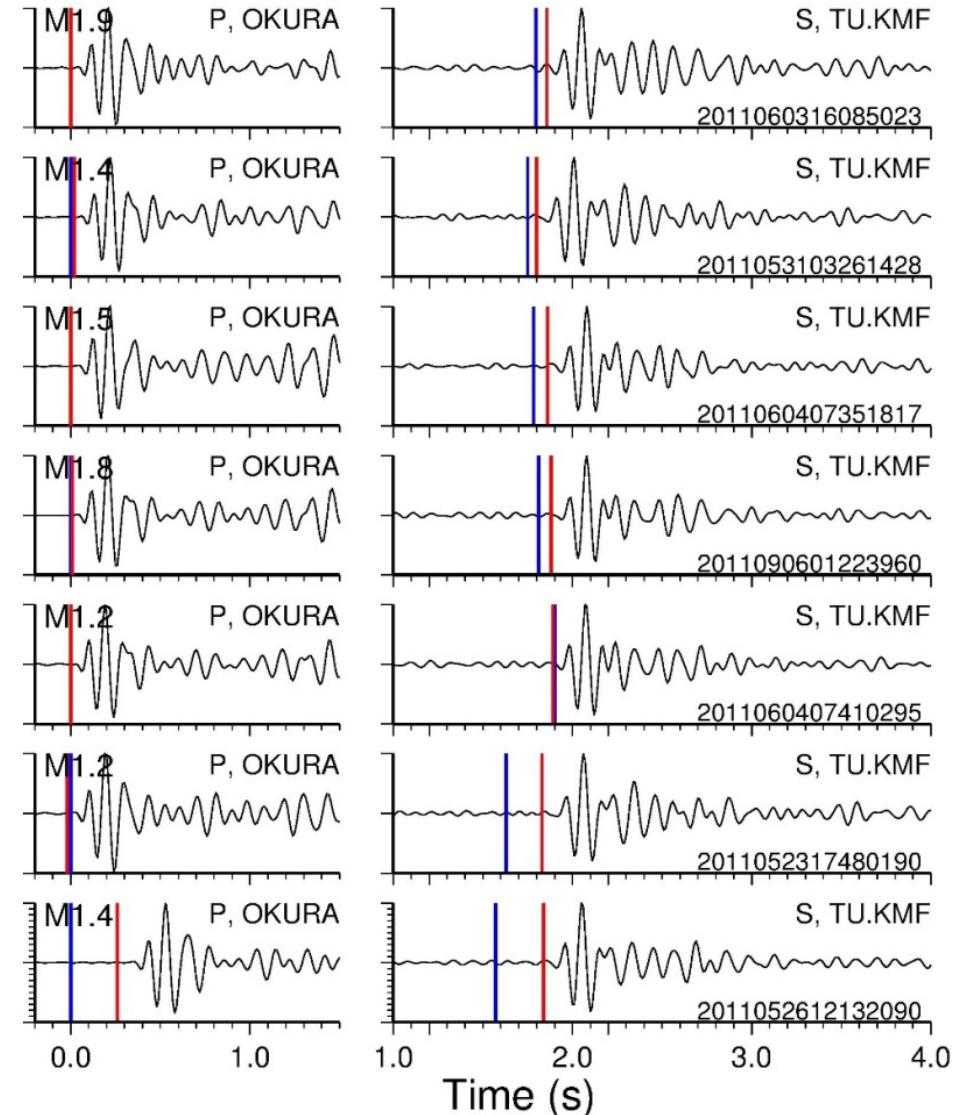
波形相関による到達時刻差の修正例 (Yoshida & Hasegawa, 2018, Tectono.)



Double-difference 震源再決定法 (Waldhauser & Ellsworth, 2000)を用いて上記の地震の震源を同時決定.

## 相関処理の例

Yoshida & Hasegawa (2018)

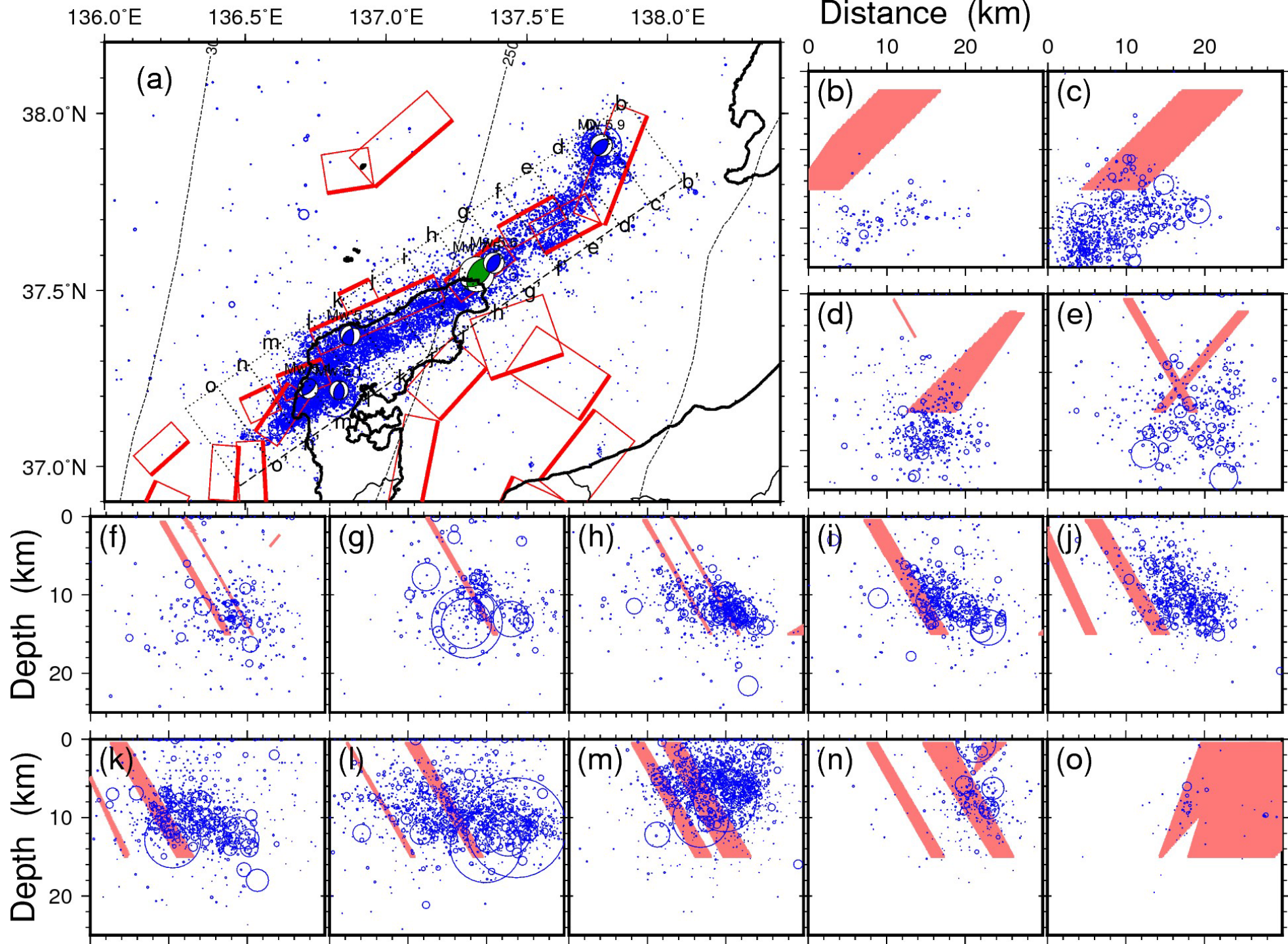


Blue : arrival times listed in the JMA unified catalogue  
Red : arrival times modified by cross-correlation

# 気象庁一元化 震源の分布 (2024/1/1- 2024/1/19) 再掲

赤：日本海 PJモ  
デル断層

震源分布の北  
東端・南西端  
での走向変化  
とよい対応

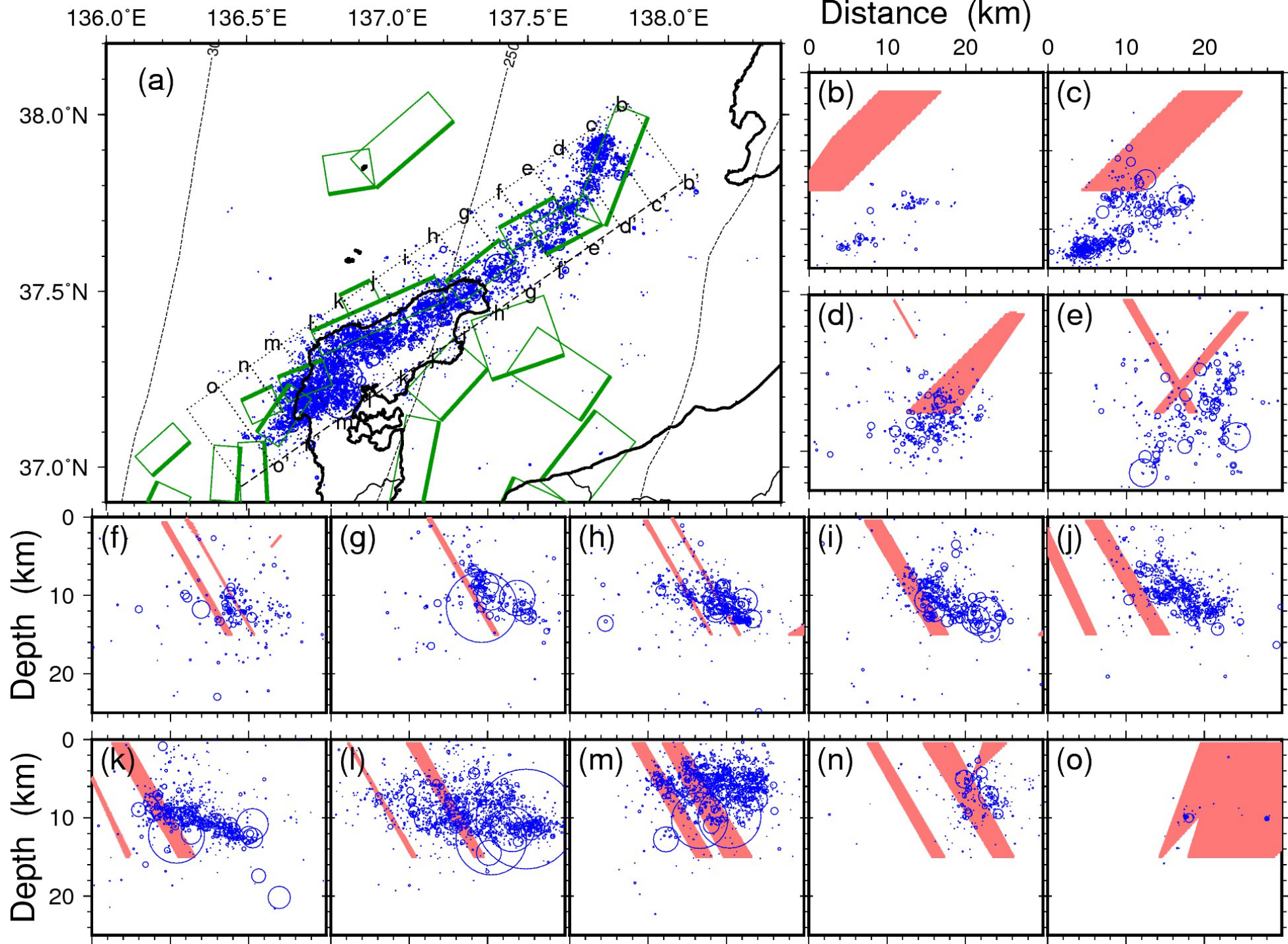


# 再決定震源 の分布 (2024/1/1- 2024/1/7)

赤：日本海 PJ  
モデル断層

大局的構造には、  
大きな変化はみ  
られなかった

- 微細構造の解像  
度は向上

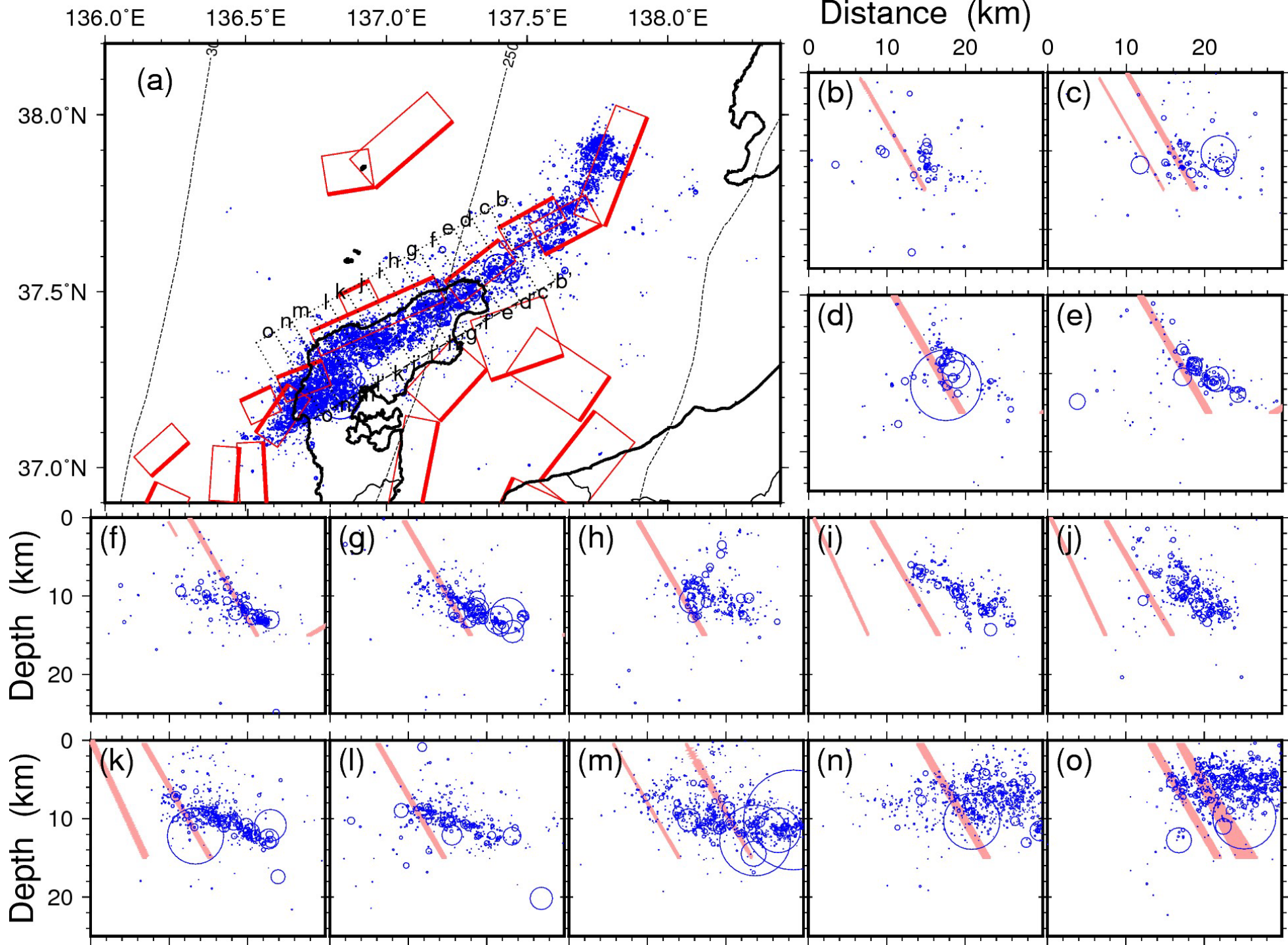


# 再決定震源 の分布 (2024/1/1- 2024/1/7) 陸域拡大

赤：日本海 PJ  
モデル断層

大局的構造には、  
大きな変化はみ  
られなかった  
- 微細構造の解  
像度は向上

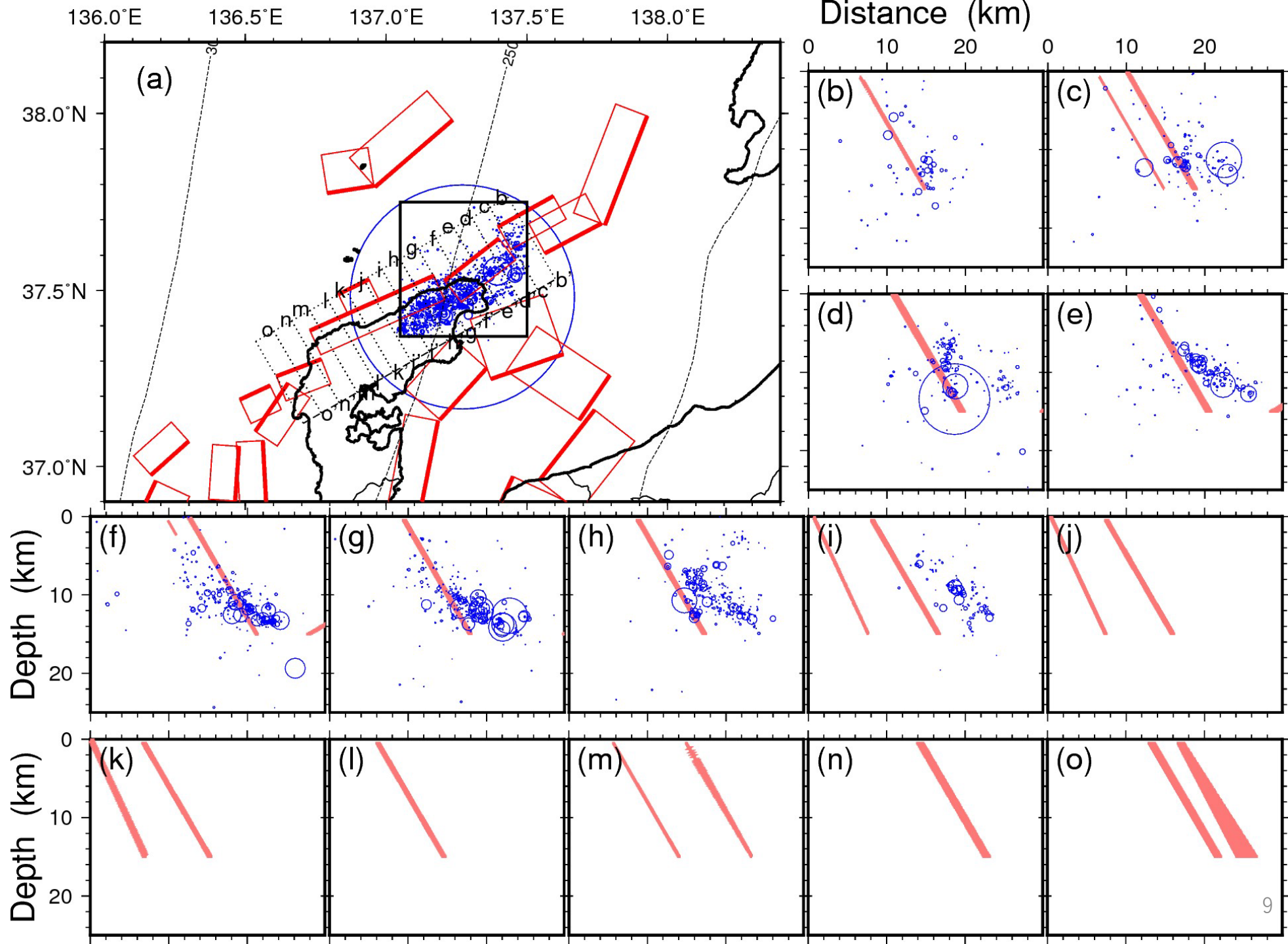
・主として南東  
に傾斜する複数  
の面構造





# 珠洲周辺の 再決定震源 (本震後： 2024/1/1 - 2024/1/7)

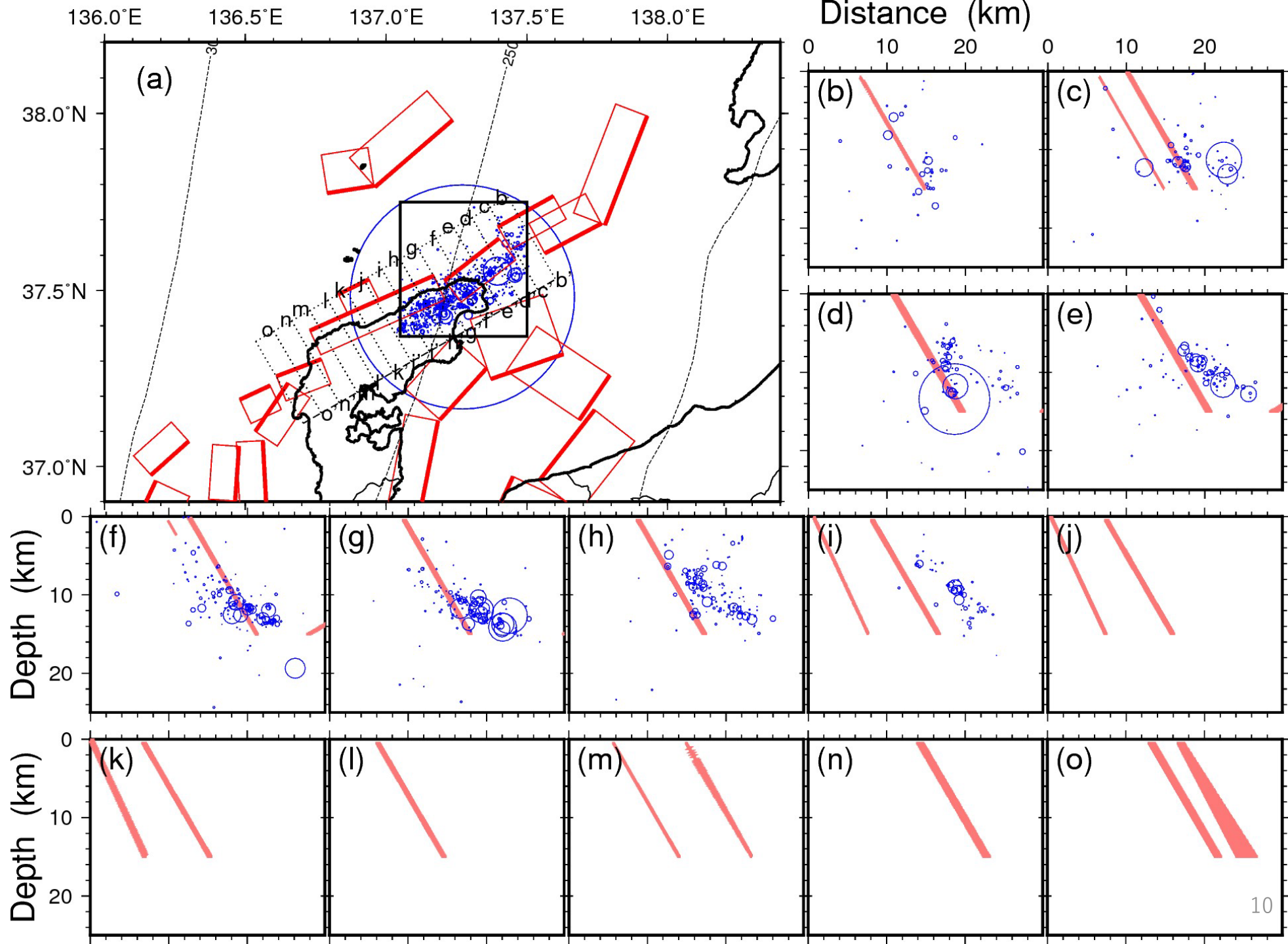
この領域に限定して、過去の地震 (2003-2023/12/31) と同時に震源再決定を行った



# 珠洲周辺の 再決定震源 (本震後： 2024/1/1 - 2024/1/3)

この領域に限定して、過去の地震(2003-2023/12/31)とも同時に震源再決定を行った

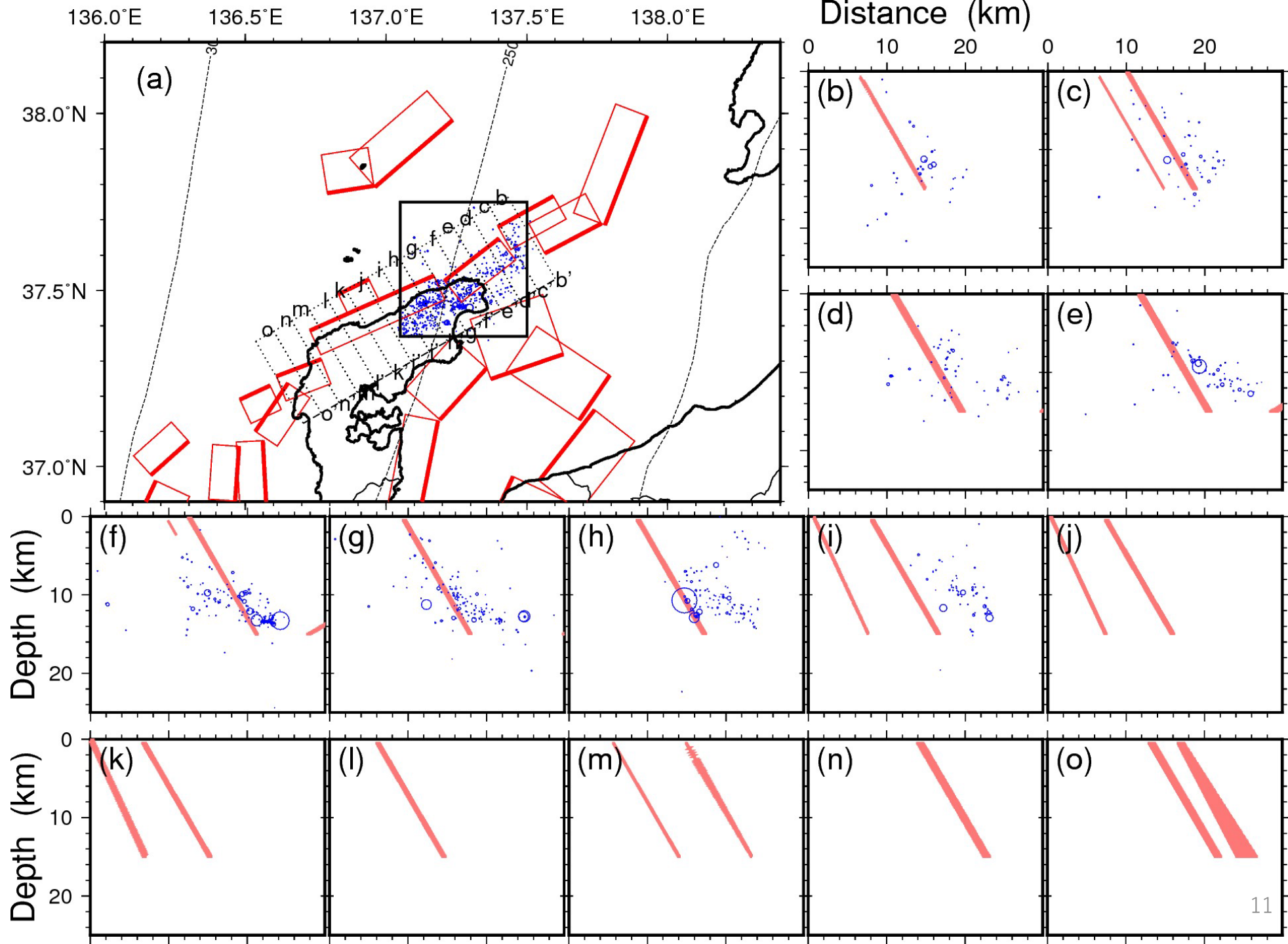
N.SUZHデータが使用可能な期間



# 珠洲周辺の 再決定震源 (本震後： 2024/1/4 - 2024/1/7)

この領域に限定して、過去の地震 (2003-2023/12/31) と同時に震源再決定を行った

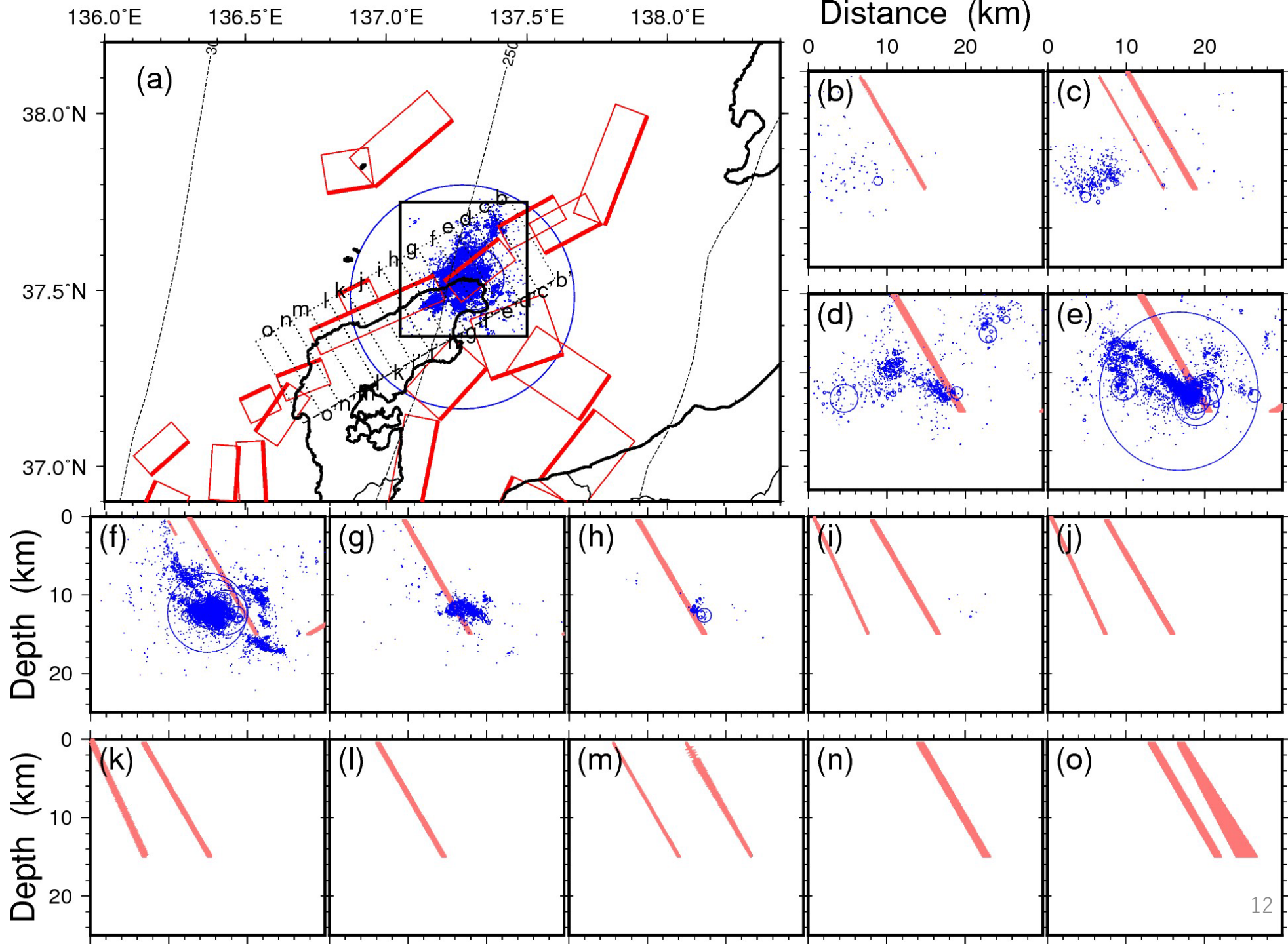
N.SUZHデータが使用不可の期間



# 珠洲周辺の 再決定震源 (本震前： 2003/3 - 2024/1/1)

本震後，それ以前の活動よりも浅部側の異なる断層で地震が活発化。

これまでの断層ではほとんど地震が起こらなくなった



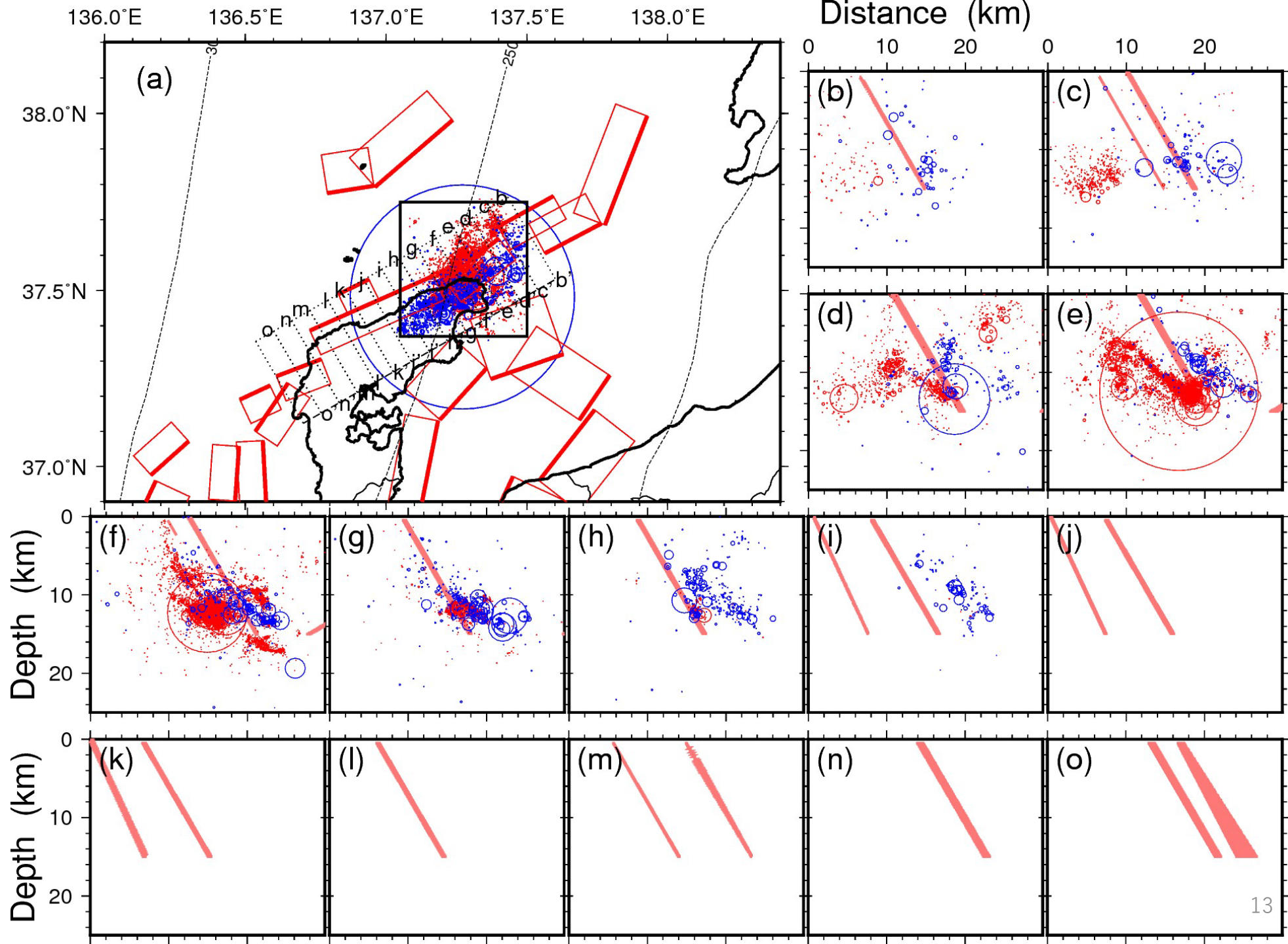
# 珠洲周辺の 再決定震源

(全期間：  
2003 -  
2024/1/7)

赤：本震前  
青：本震後

本震後，それ以前の活動よりも浅部側の異なる断層で地震が活発化。

これまでの断層ではほとんど地震が起こらなくなった



# 再決定震源 の分布

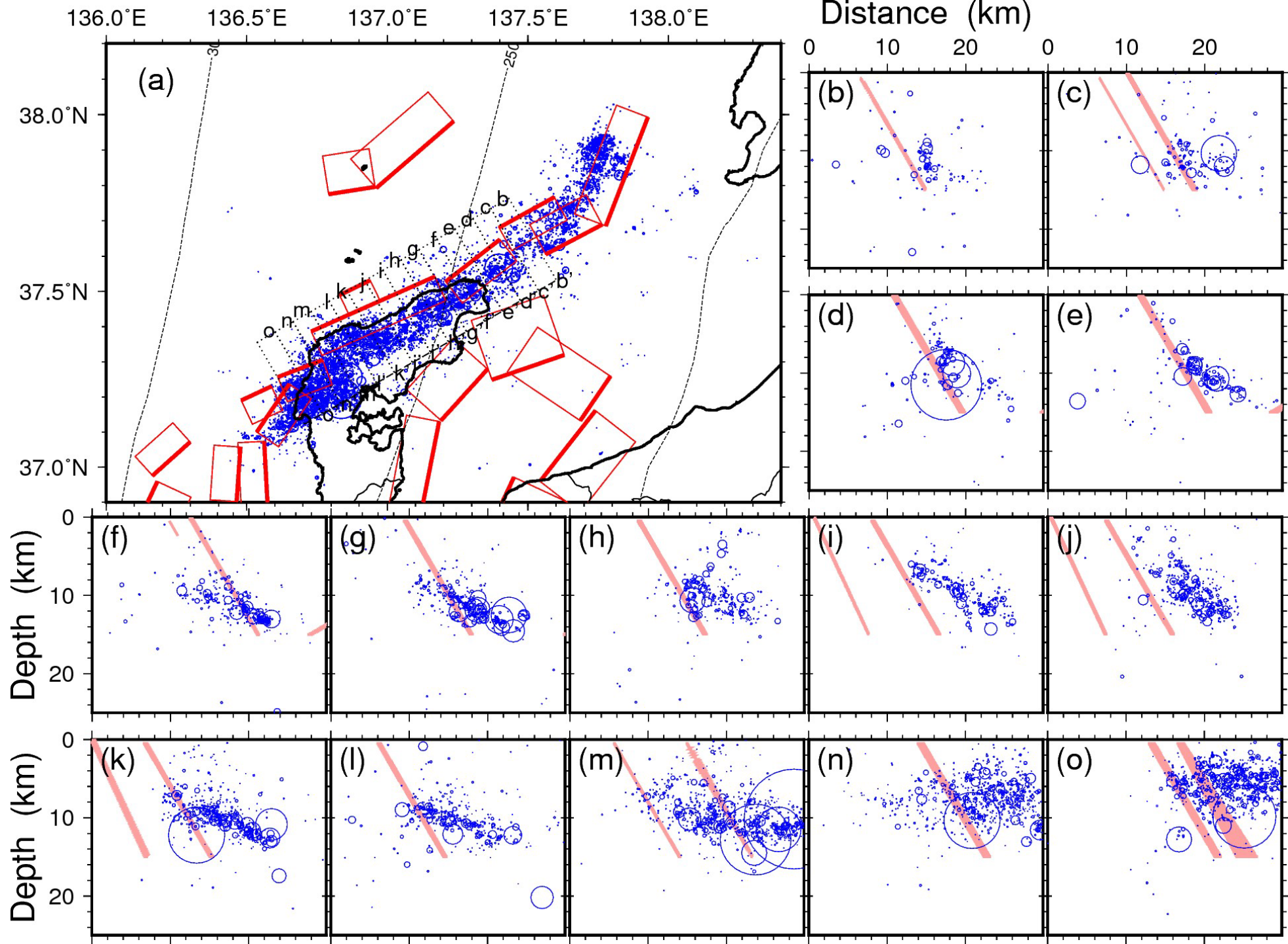
(2024/1/1-  
2024/1/7)

陸域拡大

赤：日本海 PJ  
モデル断層

大局的構造には、  
大きな変化はみられな  
かった

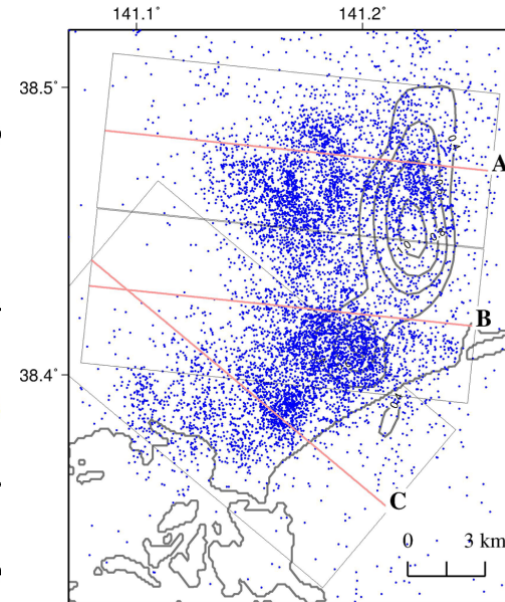
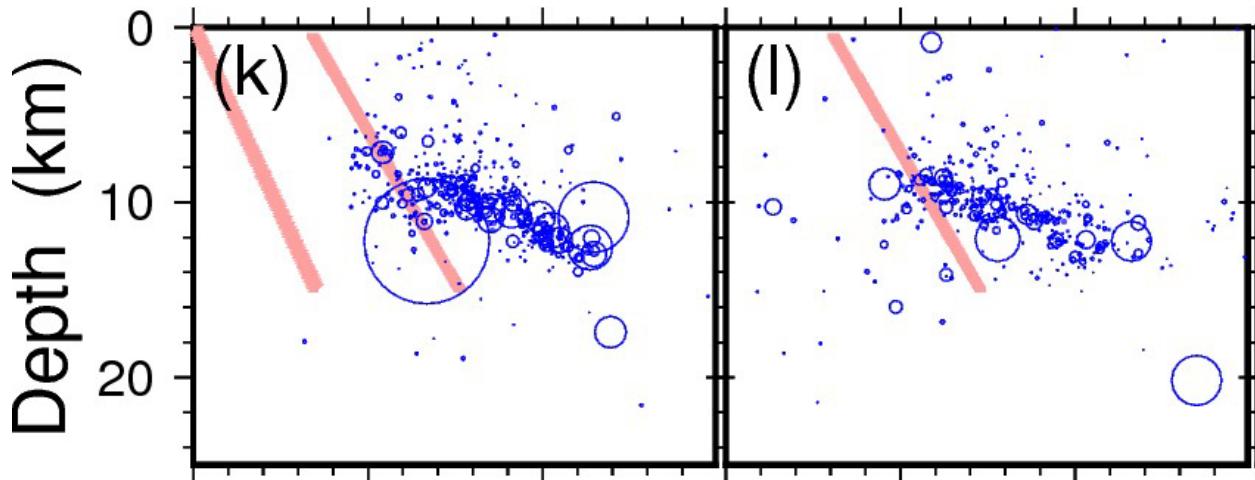
- 微細構造の解  
像度は向上



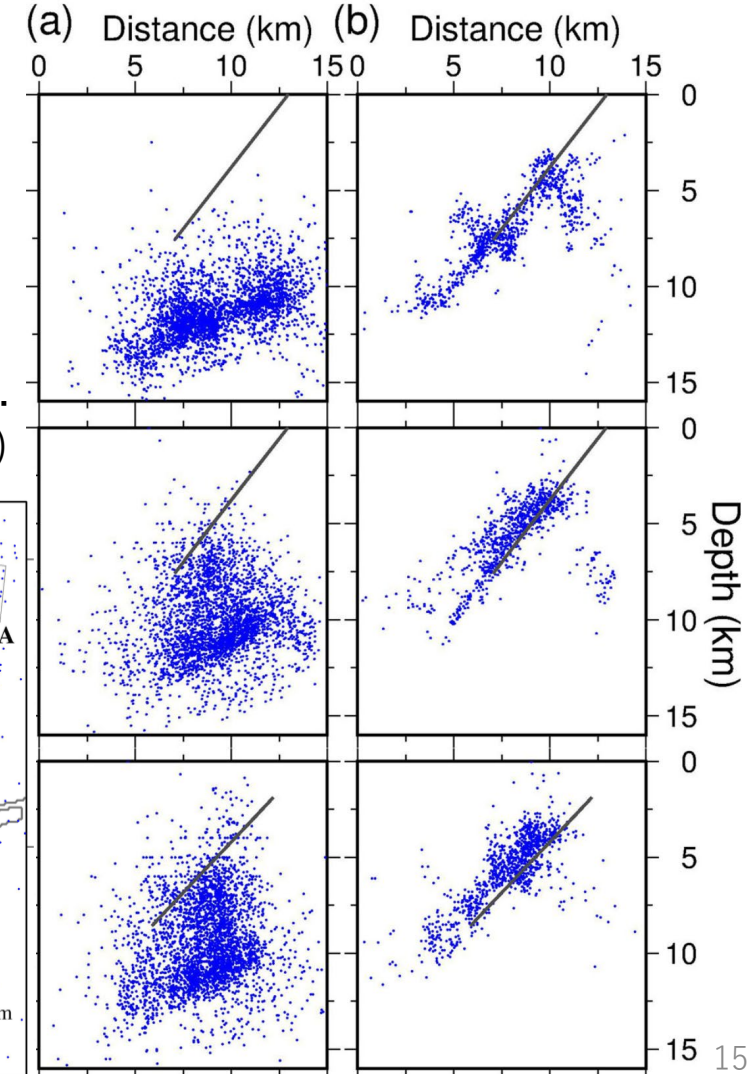
# 震源決定・断層構造把握に関する 現状の困難

- ・ 波形の相関が取れる地震の数が少ない
    - 一因は、用いた地震の空間密度が足りないためと考えられるので、データの蓄積に伴いある程度は改善する可能性
  - ・ 直上観測点の不在
- たとえば、測線 k, l 付近の震源分布の低傾斜：  
周辺に観測点がないことに起因するみかけの可能性

類似の例 (2003年宮城県北部地震)：  
a: 2003年宮城県北部地震の余震。  
b: 直上臨時観測点も用いて決めたもの。



Yoshida et al.  
(2016)



# 1. 震源域全域の震源分布・断層構造

- 本震後のみを対象

# 2. 珠洲群発地震活動域付近の断層構造

- 本震以前の断層構造との比較
- 本震の震源・初期破壊

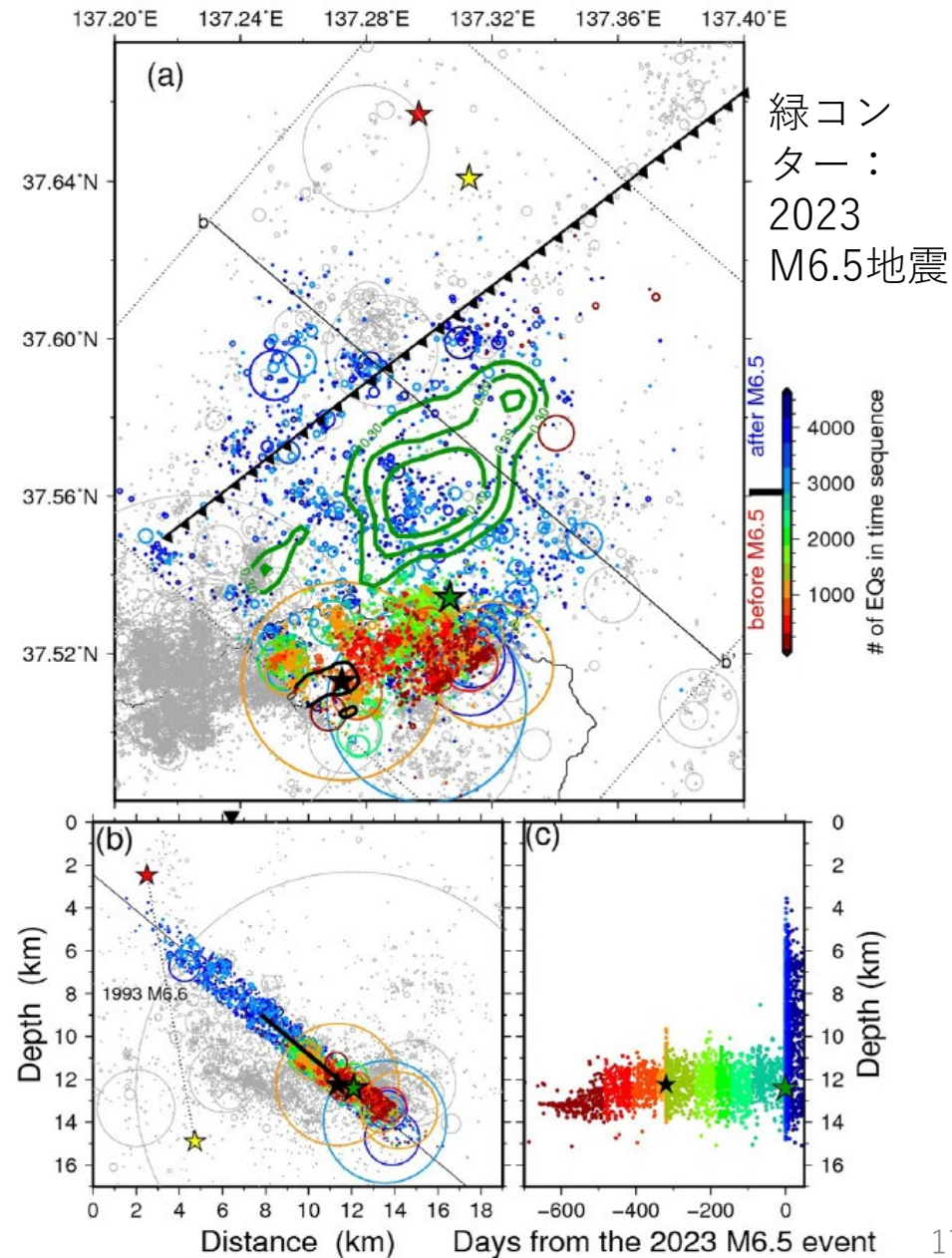
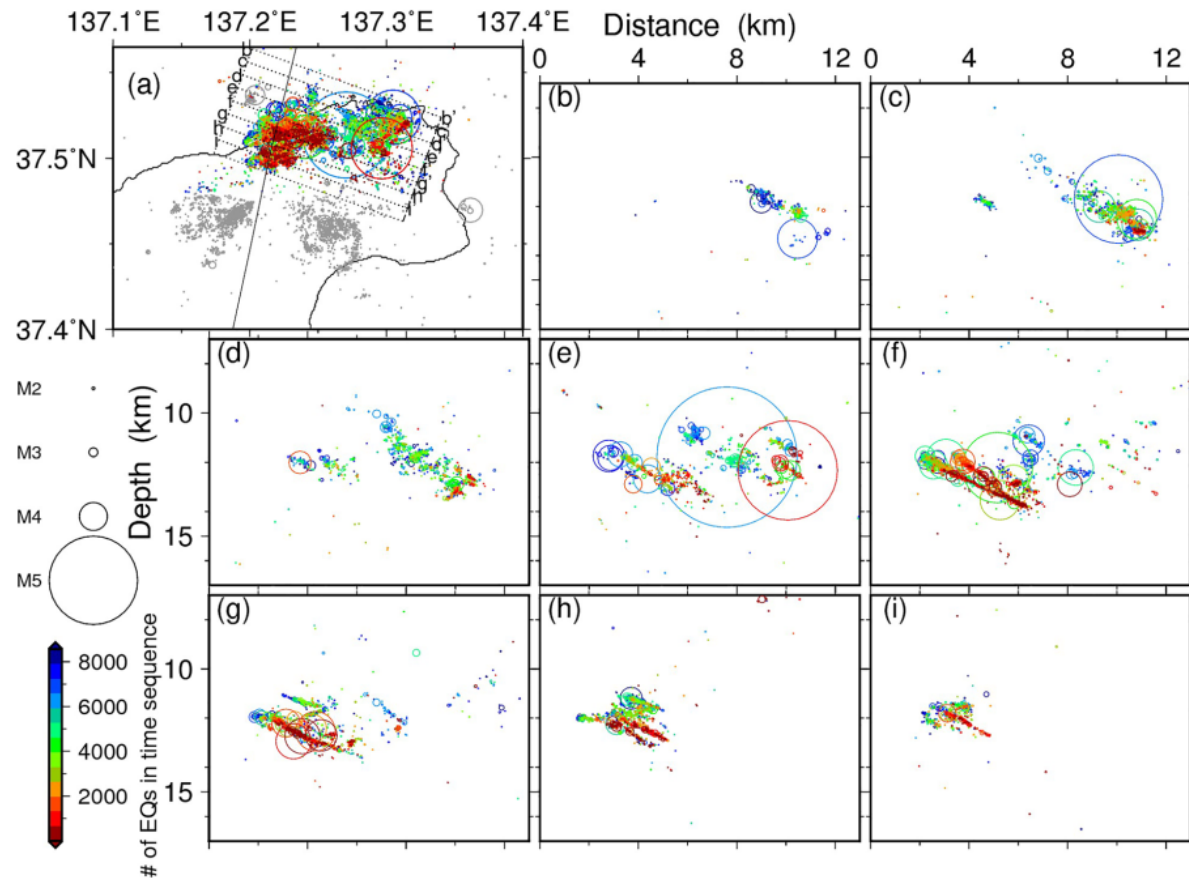
# 3. 2007年地震震源域周辺の断層構造



# 珠洲地域の震源は、少なくとも も 2024/1/3 までには高精度に 決定可能

Yoshida et al. (2023, GRL)

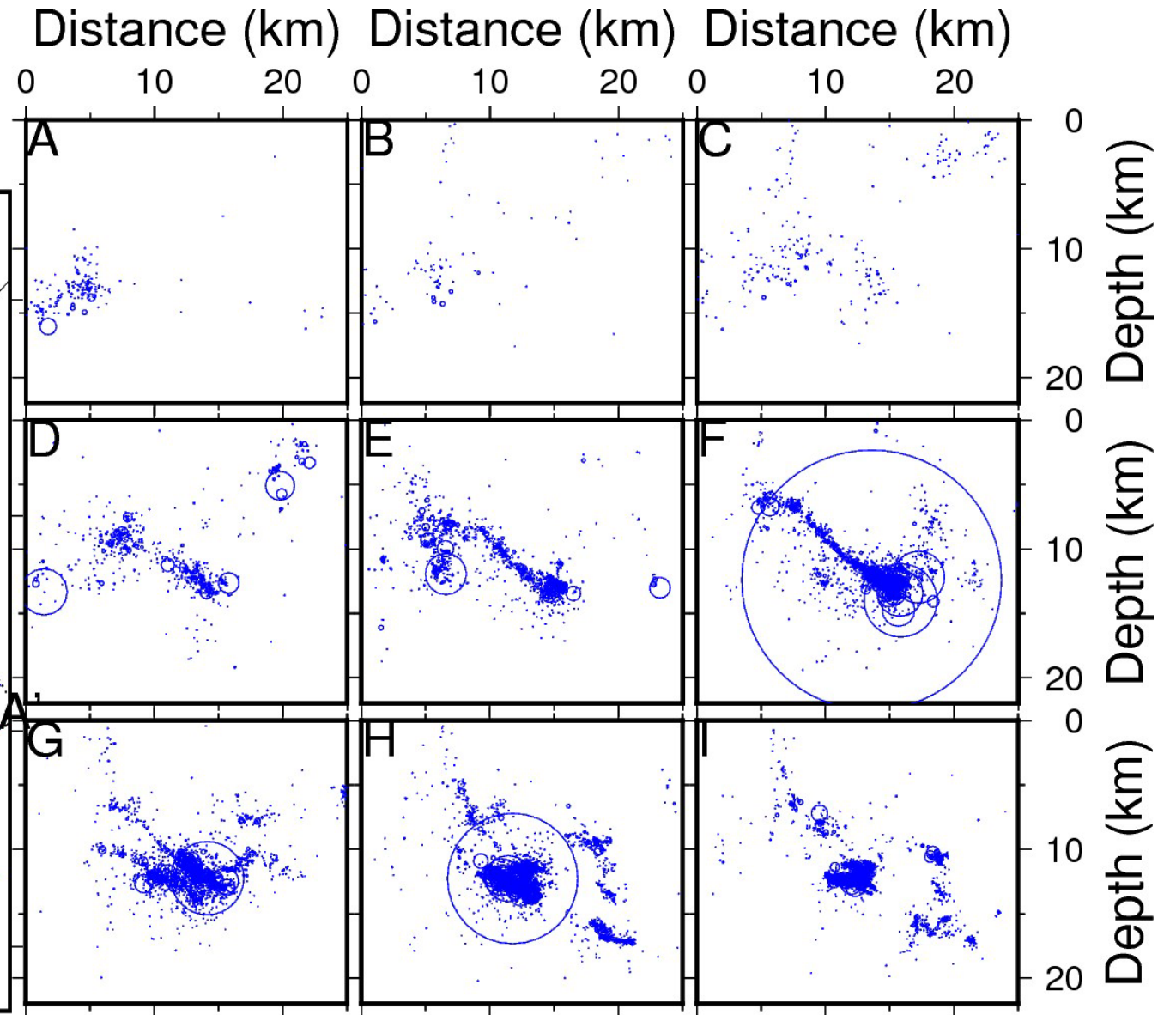
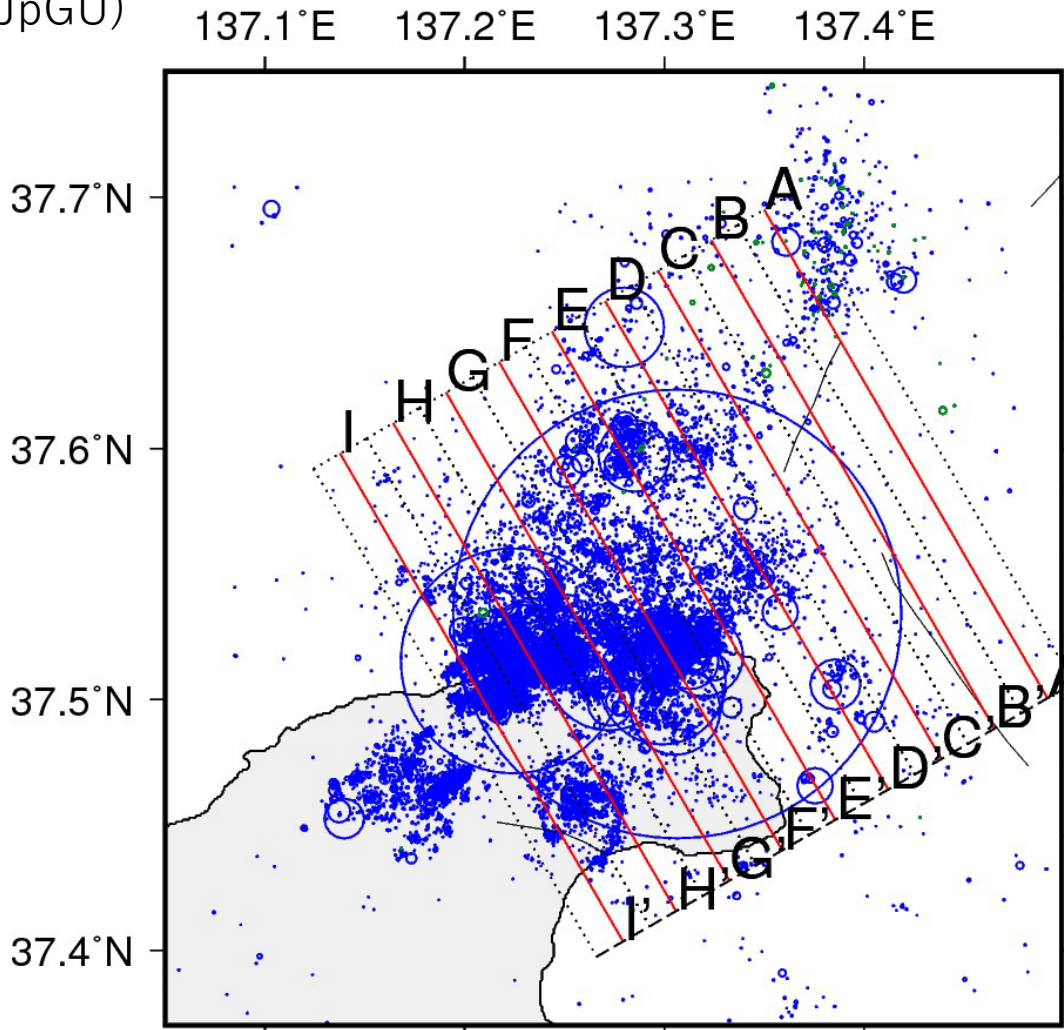
Yoshida et al. (2023, JGR)



先行研究で得られた 2023/7/10 までの再決定震源 (21000 個) を基準にした Double difference 法により、以降の地震を再決定

# 2023年7月10日以前の震源分布

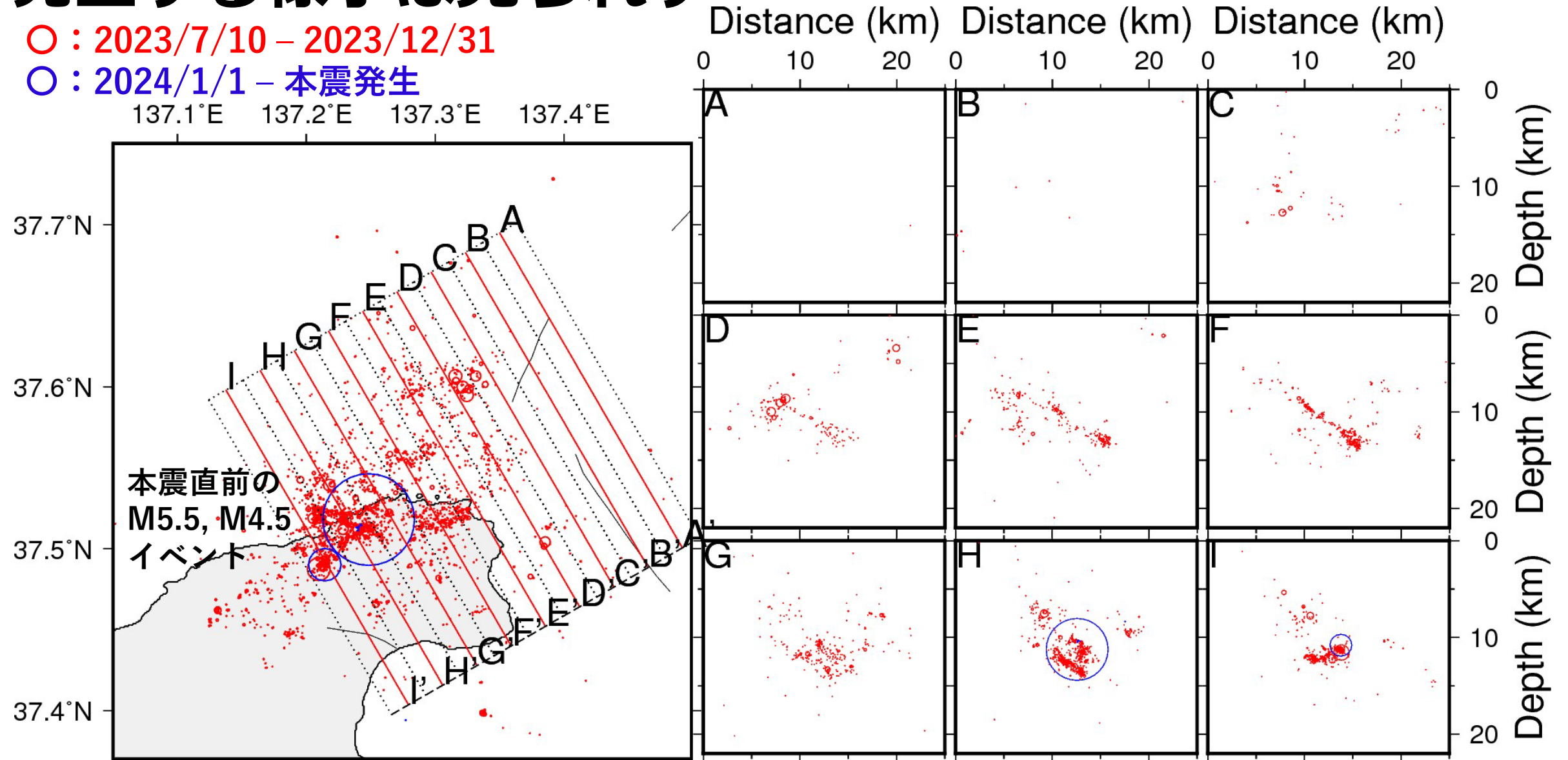
Yoshida et al. (2023, GRL)の震源分布  
この位置を固定して、2023/7/11以降の地震の相  
対位置を DD法により決定する (吉田・他, 2023,  
JpGU)



# 2023年7月10日以降: 本震直前に新たな面で活動が発生する様子は見られず

○ : 2023/7/10 – 2023/12/31

○ : 2024/1/1 – 本震発生

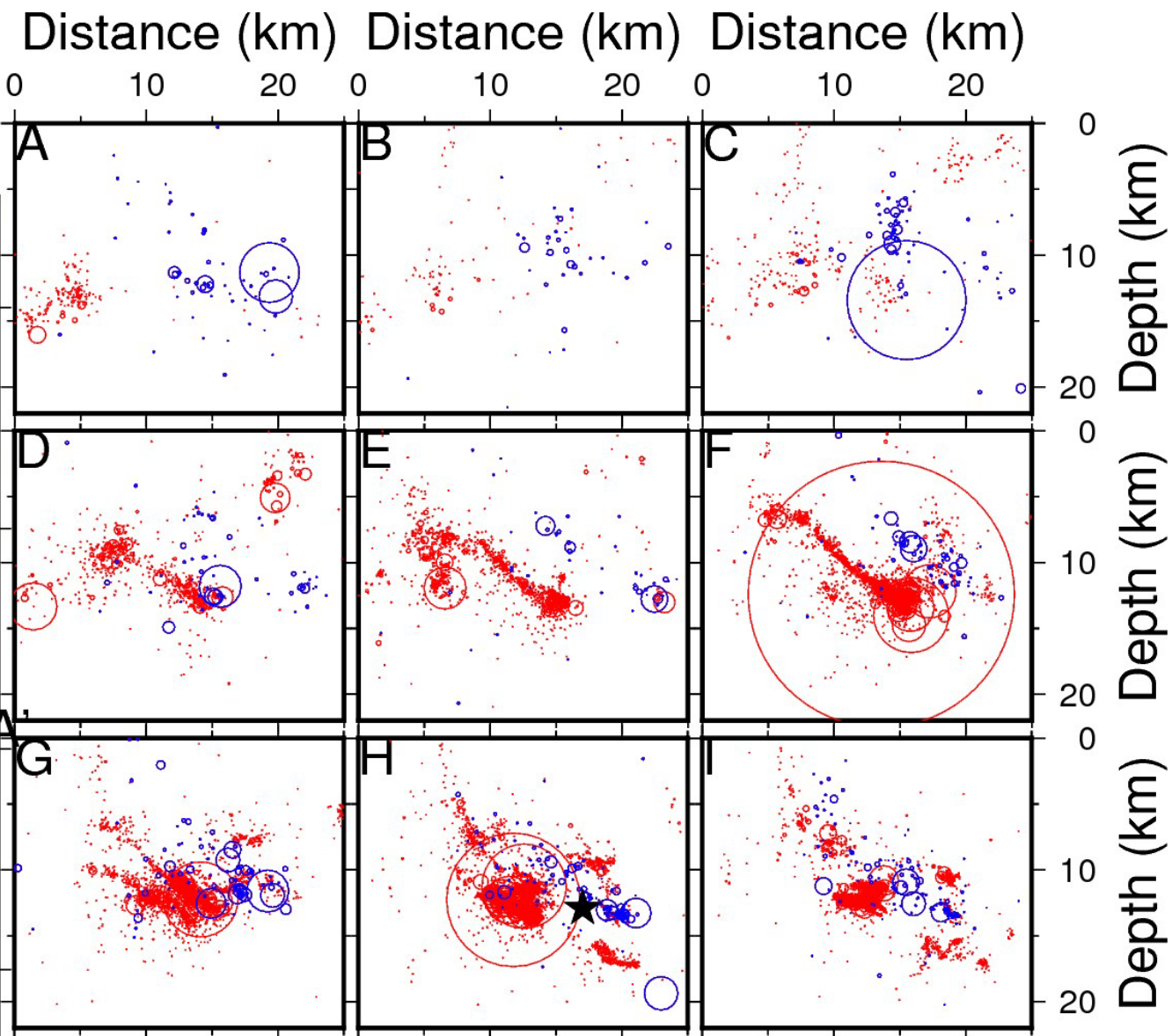
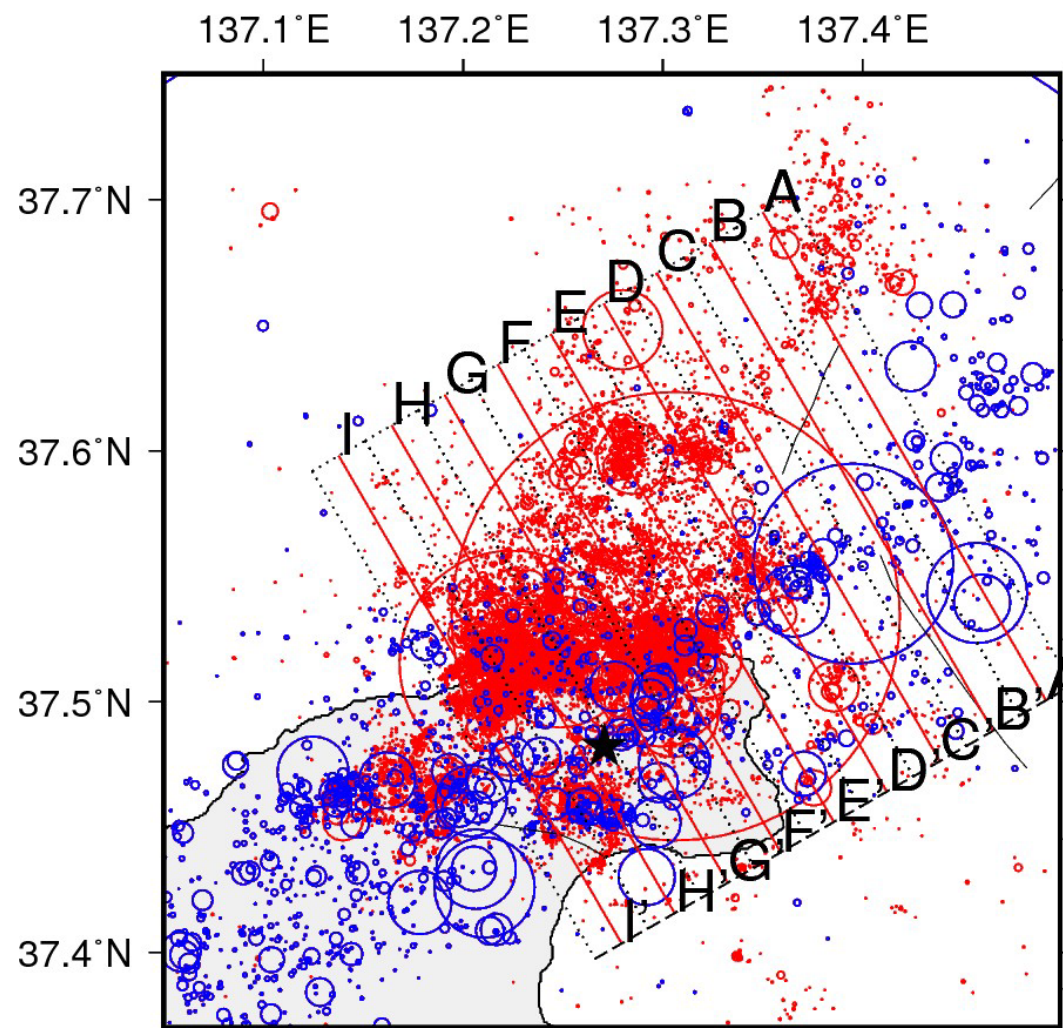


# 本震前後の震源分布の比較

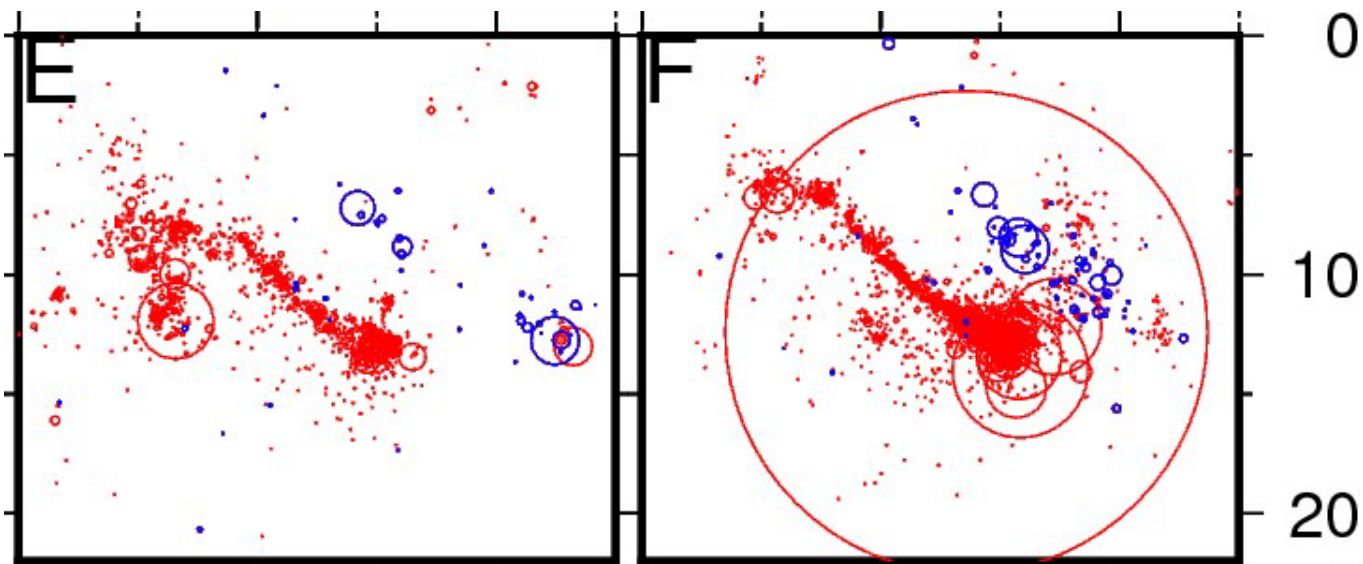
○ : 2003 - 2024年本震

○ : 2024年本震 - 2024/1/7

★ : 本震震源 (大振幅初動)



# Mw7.5地震後の活動はそれ以前より浅部で発生

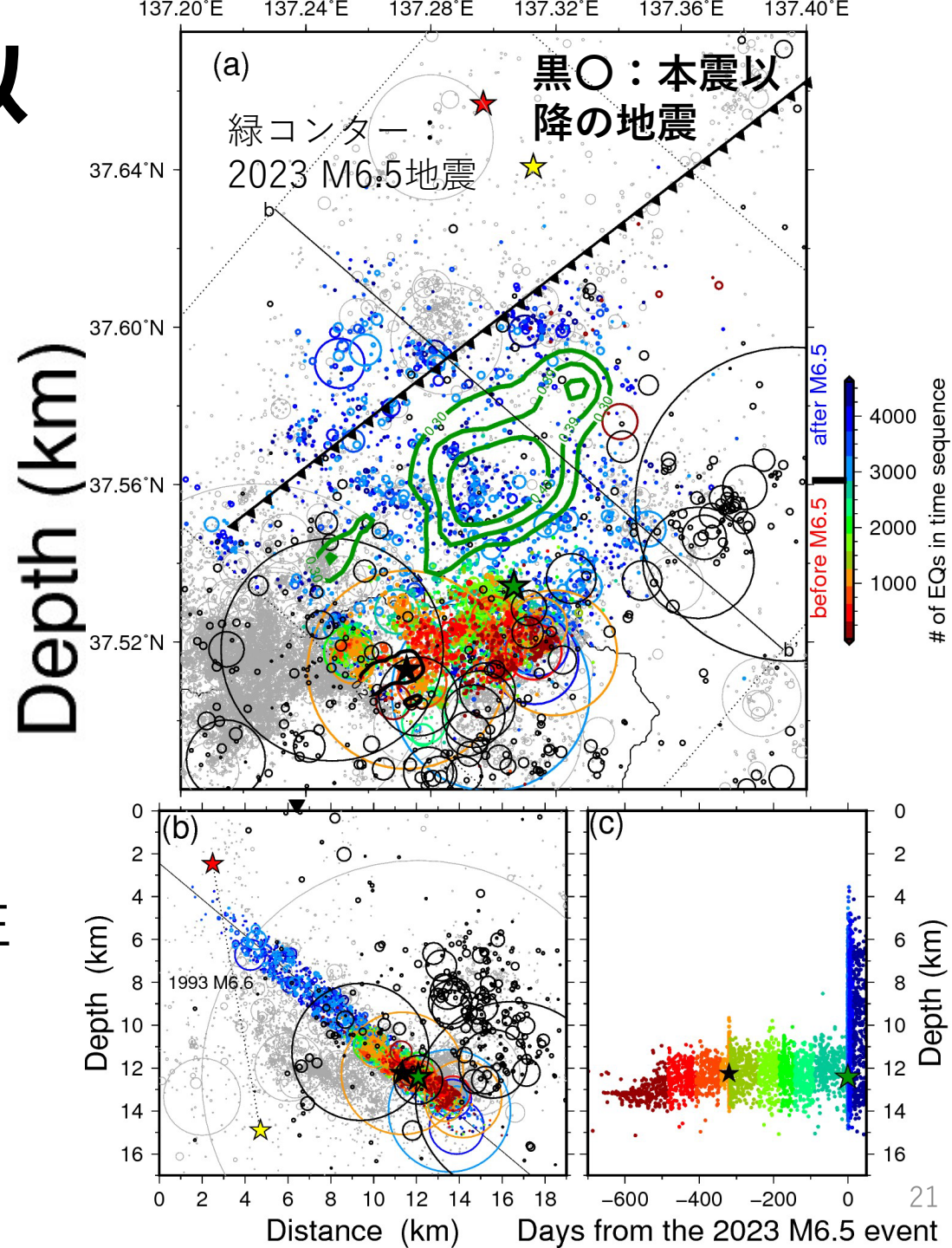


○ : 本震前, ○ : 本震後

これまでの群発地震の断層上では地震が発生しなくなった

浅部断層で本震すべりが生じた可能性も？

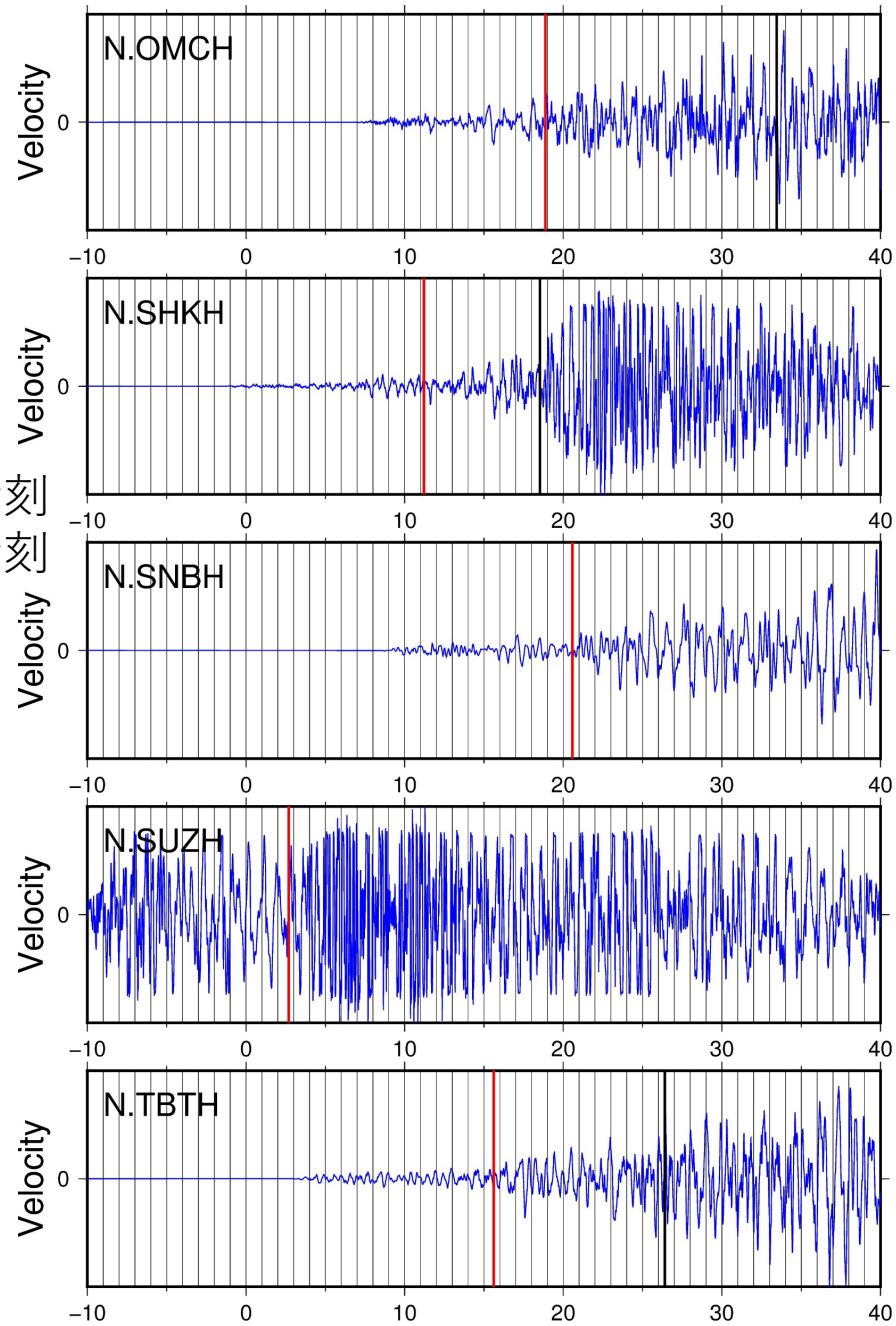
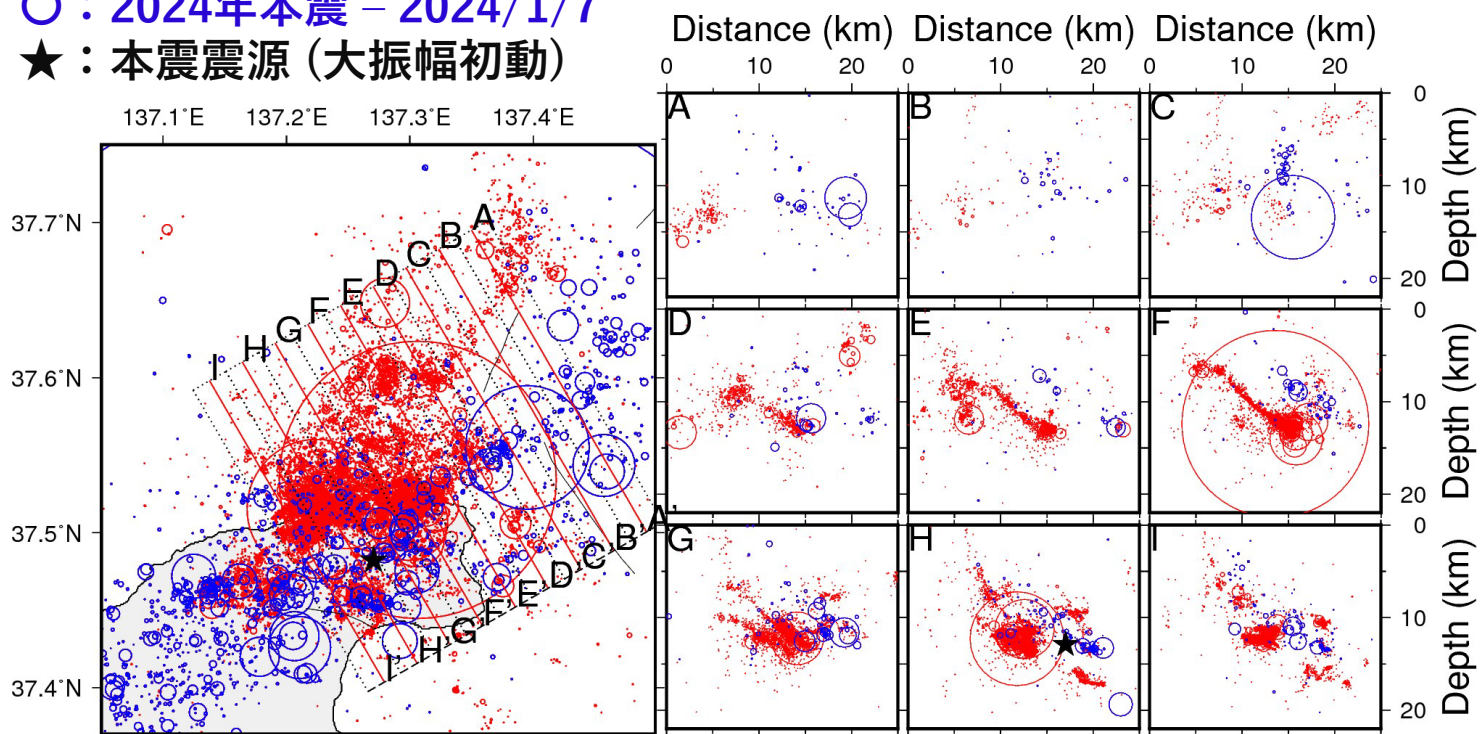
あるいは, 未破壊のまま残されている？



# Mw7.5地震の気象庁一元化震源：大振幅の立ち上がりに基づく推定

- ：2003 - 2024年本震
- ：2024年本震 - 2024/1/7
- ★：本震震源 (大振幅初動)

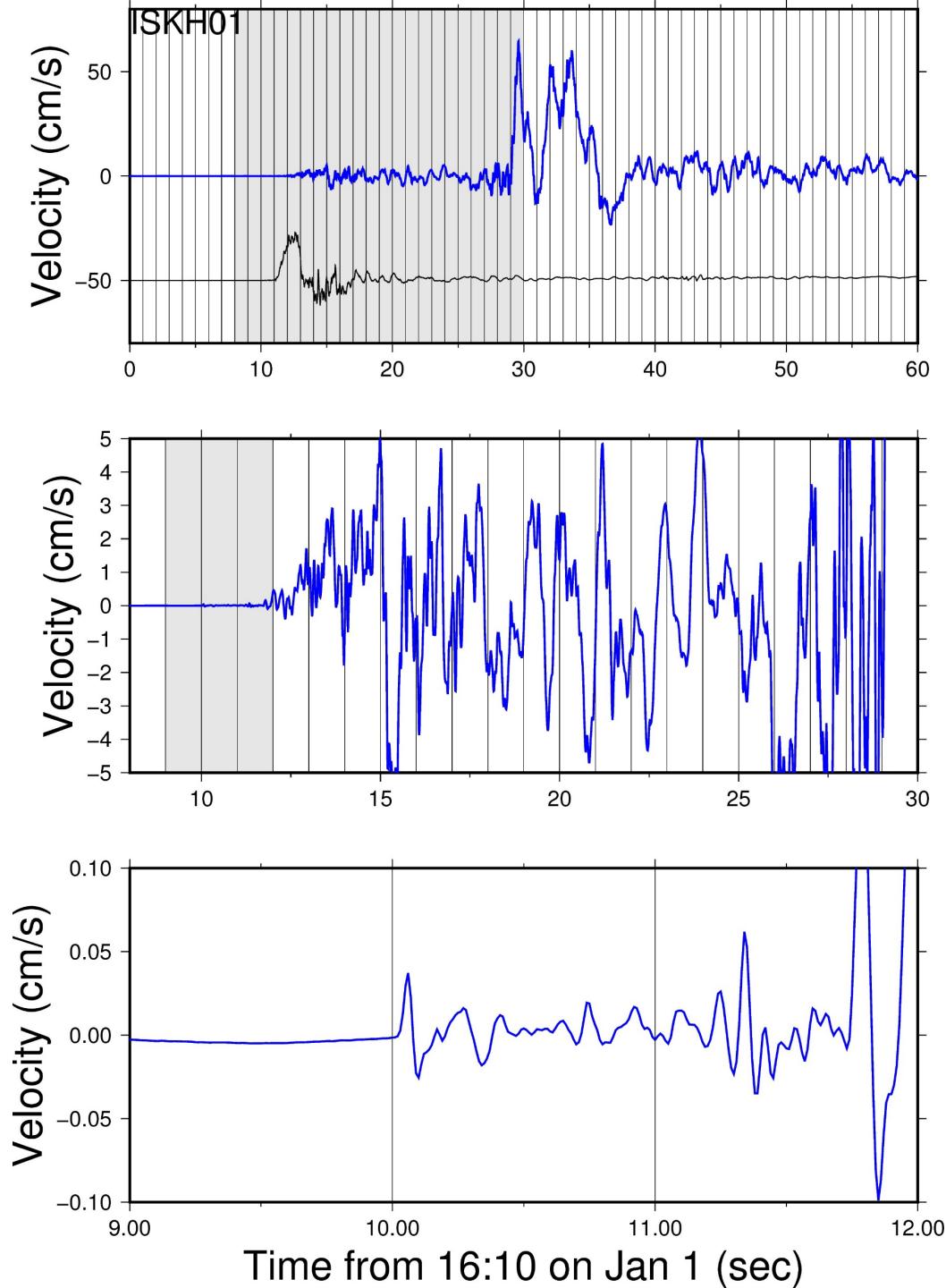
赤：P波読み取り時刻  
黒：S波読み取り時刻



時刻 t (t=0は origin time)

# 2024年 Mw7.5地 震時の ISKH01 (KiK-net) 上下動速度 波形

## 本震前に 2 つのサブイ ベント



JMA origine time:  
16:10:22.57

黒：比較のために 2023/5/5  
Mw6.2地震を表示

USGS origin time:  
16:10:10

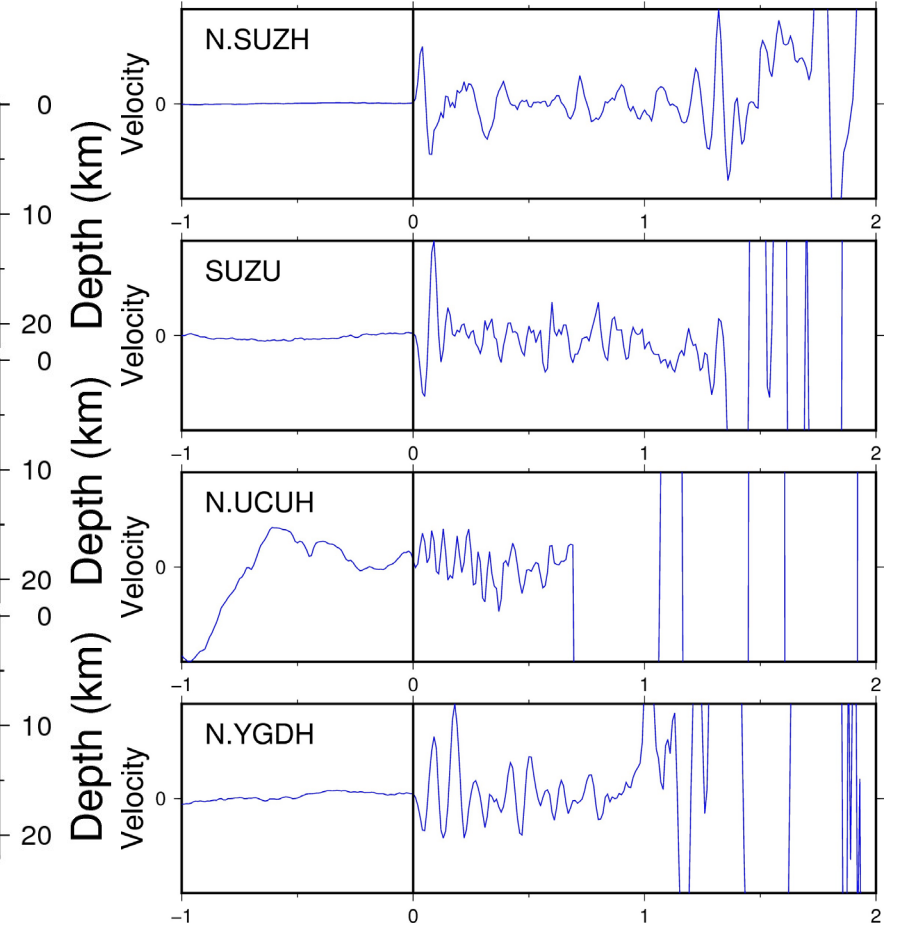
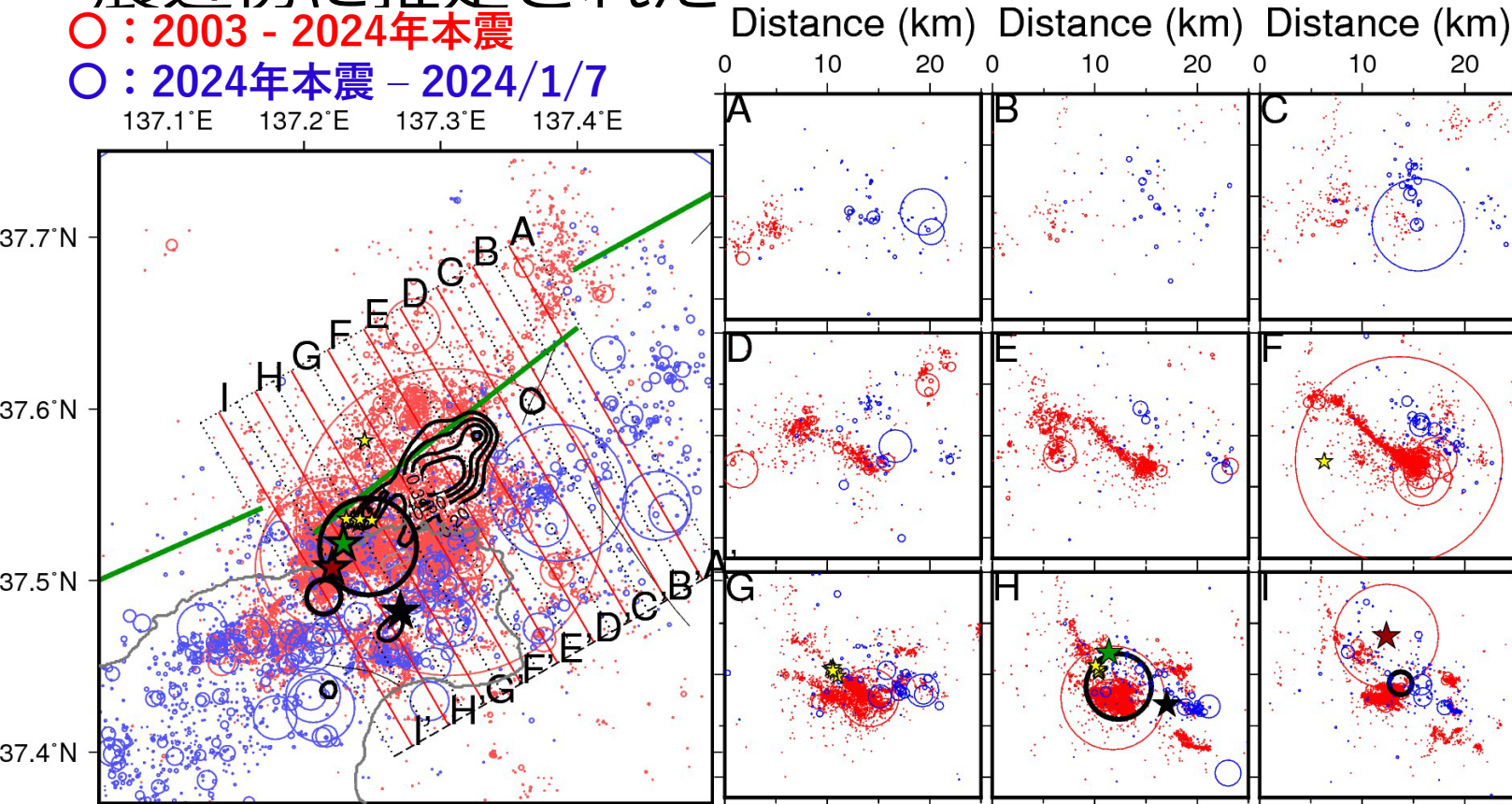
Origin time:  
16:10:08

# 最初のサブイベントの震源を決定

2023年 M6.5地震破壊域の西端付近, Mw7.5 本震 4分前の M5.5地  
震近傍に推定された

○ : 2003 - 2024年本震

○ : 2024年本震 - 2024/1/7



★ : 推定したサブイベント, ○ : 本震 4分前, 2分前の M5.5, 4.6イベント

★ : 本震大すべり震源, ★ : 本震 2ndサブイベント (気象庁一元化カタログに基づき時刻 t (t=0は P波の読み取り時)

★ : サブイベントと高い波形相関 (>0.8)が取れた地震

コンター : 2023年 M6.5地震すべり域 (Yoshida et al., 2023, GRL)



# 直近観測点において、本震立ち上がりと高い相関が取れたイベントを抽出

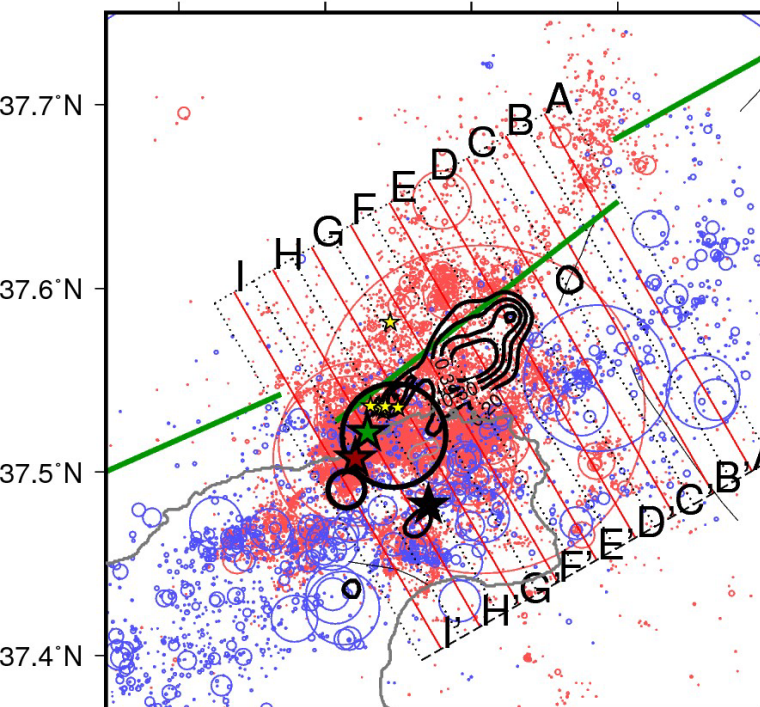
- N.SUZHにおける 2-8 Hzの相互相関係数の 3成分平均が 0.8以上のイベント

実際に本震最初のサブイベントの近くに位置

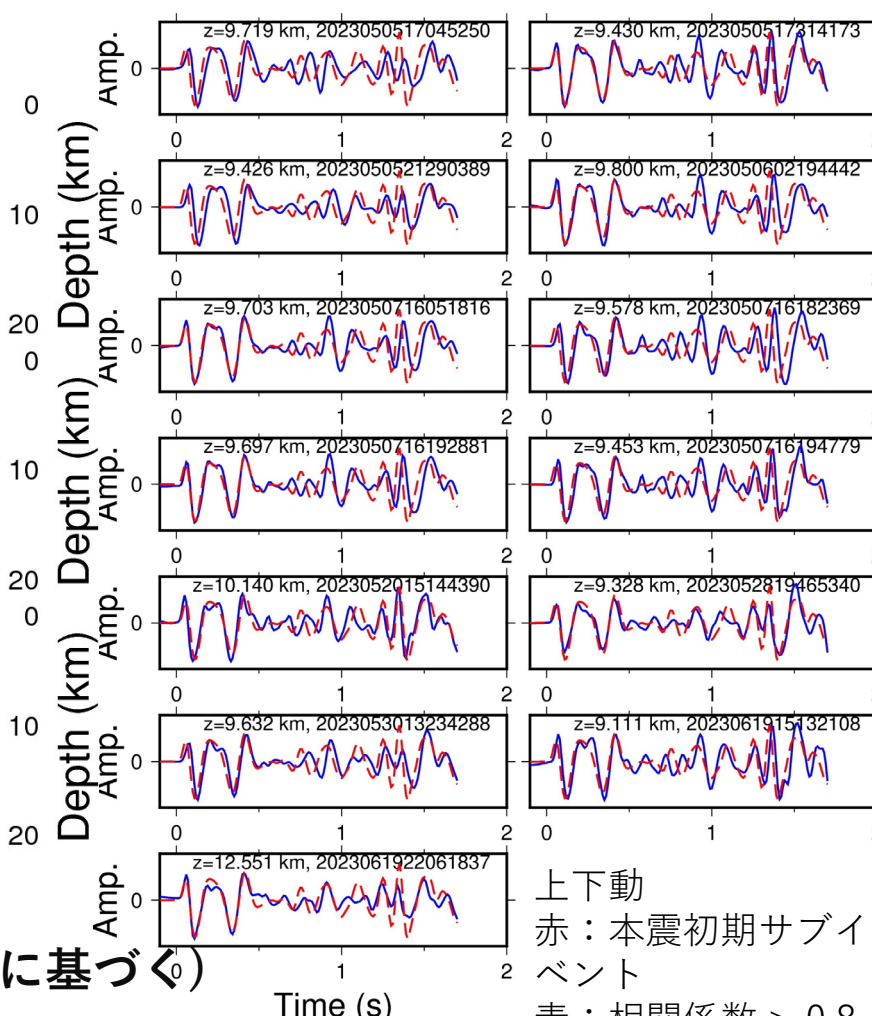
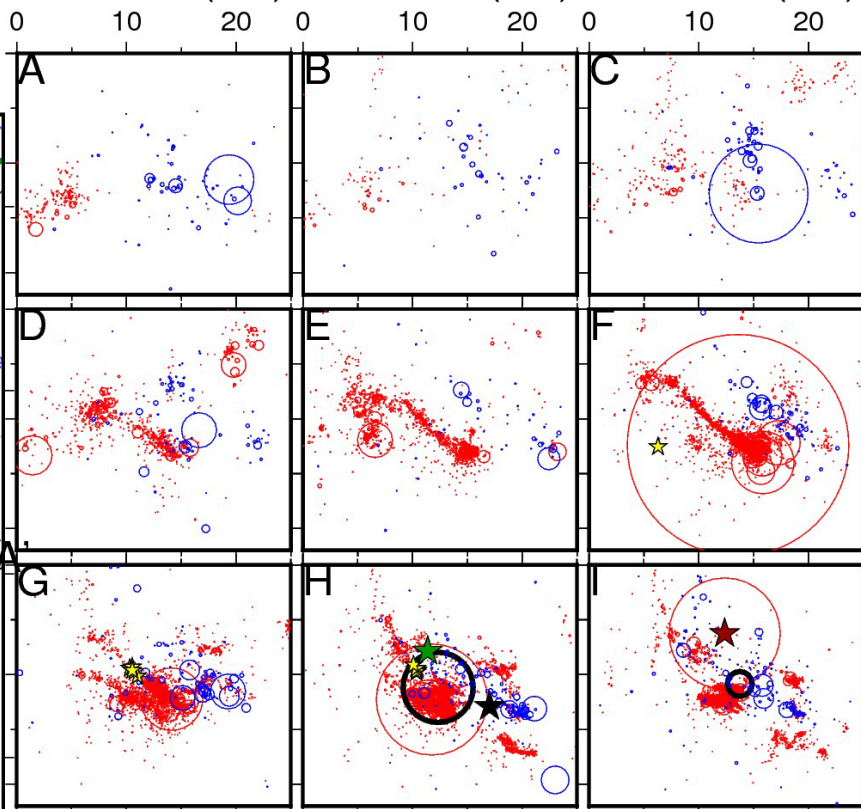
○ : 2003 - 2024年本震

○ : 2024年本震 - 2024/1/7

137.1°E 137.2°E 137.3°E 137.4°E



Distance (km) Distance (km) Distance (km)



★ : 推定したサブイベント, ○ : 本震 4分前, 2分前の M5.5, 4.6イベント

★ : 本震大すべり震源, ★ : 本震 2ndサブイベント (気象庁一元化カタログに基づく)

★ : サブイベントと高い波形相関 (>0.8)が取れた地震

コンター : 2023年 M6.5地震すべり域 (Yoshida et al., 2023, GRL)

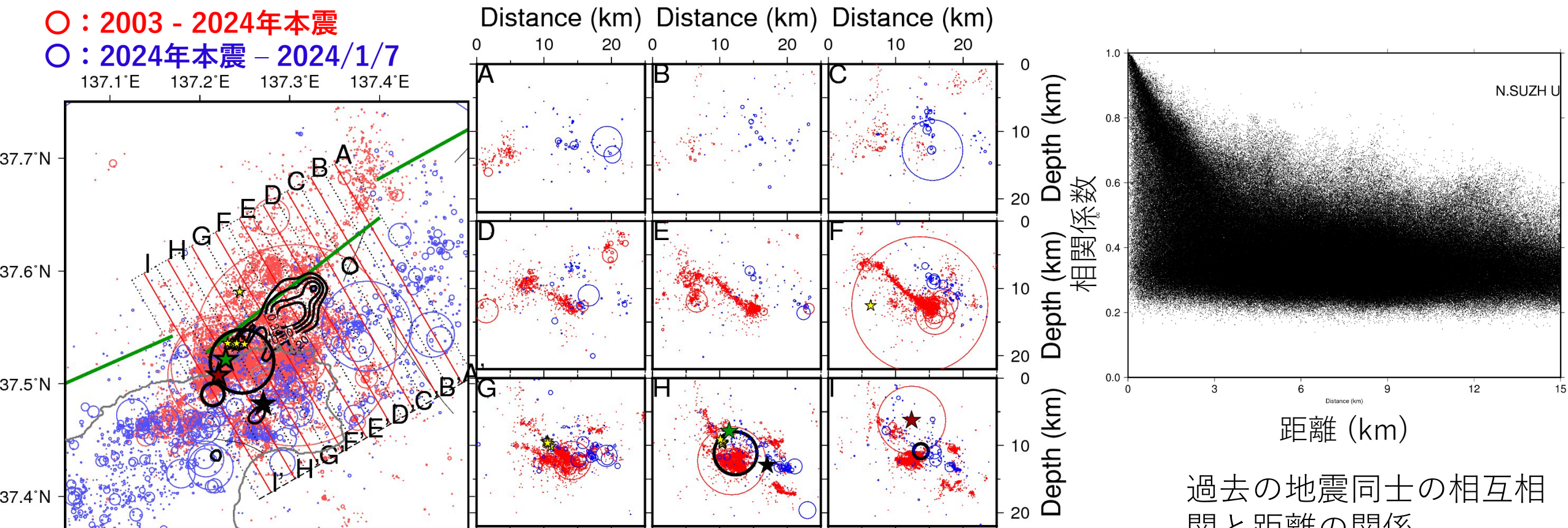
上下動  
赤 : 本震初期サブイベント  
青 : 相関係数 > 0.8の地震波形

# 直近観測点において、本震立ち上がりと高い相関が取れたイベントを抽出

- N.SUZHにおける 2-8 Hzの相互相関係数の 3成分平均が 0.8以上のイベント

実際に本震最初のサブイベントの近くに位置

- : 2003 - 2024年本震
- : 2024年本震 - 2024/1/7



- ★ : 推定したサブイベント, ○ : 本震 4分前, 2分前の M5.5, 4.6イベント
- ★ : 本震大すべり震源, ★ : 本震 2ndサブイベント (気象庁一元化カタログに基づく)
- ★ : サブイベントと高い波形相関 (>0.8)が取れた地震
- コンター : 2023年 M6.5地震すべり域 (Yoshida et al., 2023, GRL)

過去の地震同士の相互相関と距離の関係  
 ⇒ この周波数帯・観測点で相関係数 > 0.8は 2 km以内

# 1. 震源域全域の震源分布・断層構造

- 本震後のみを対象

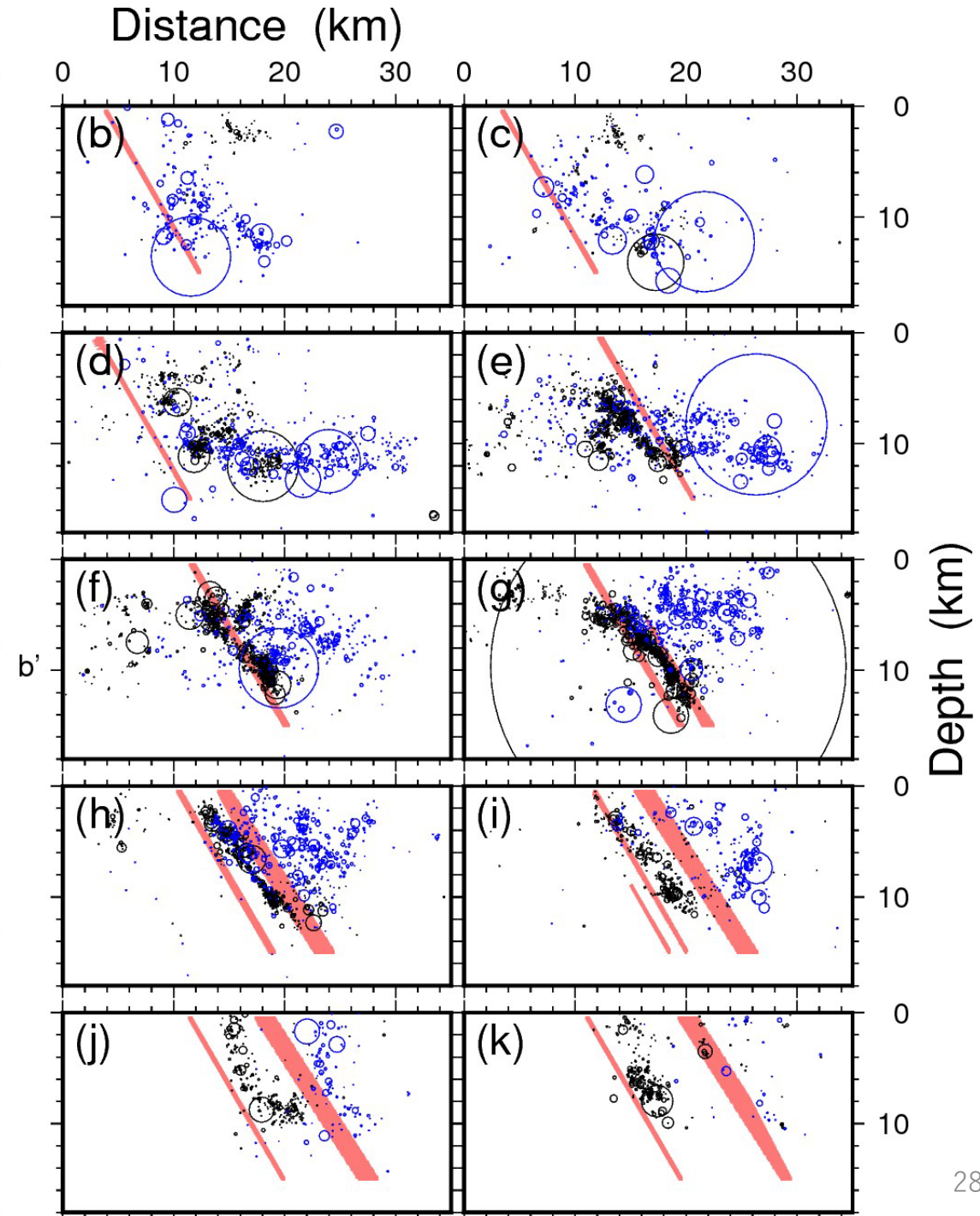
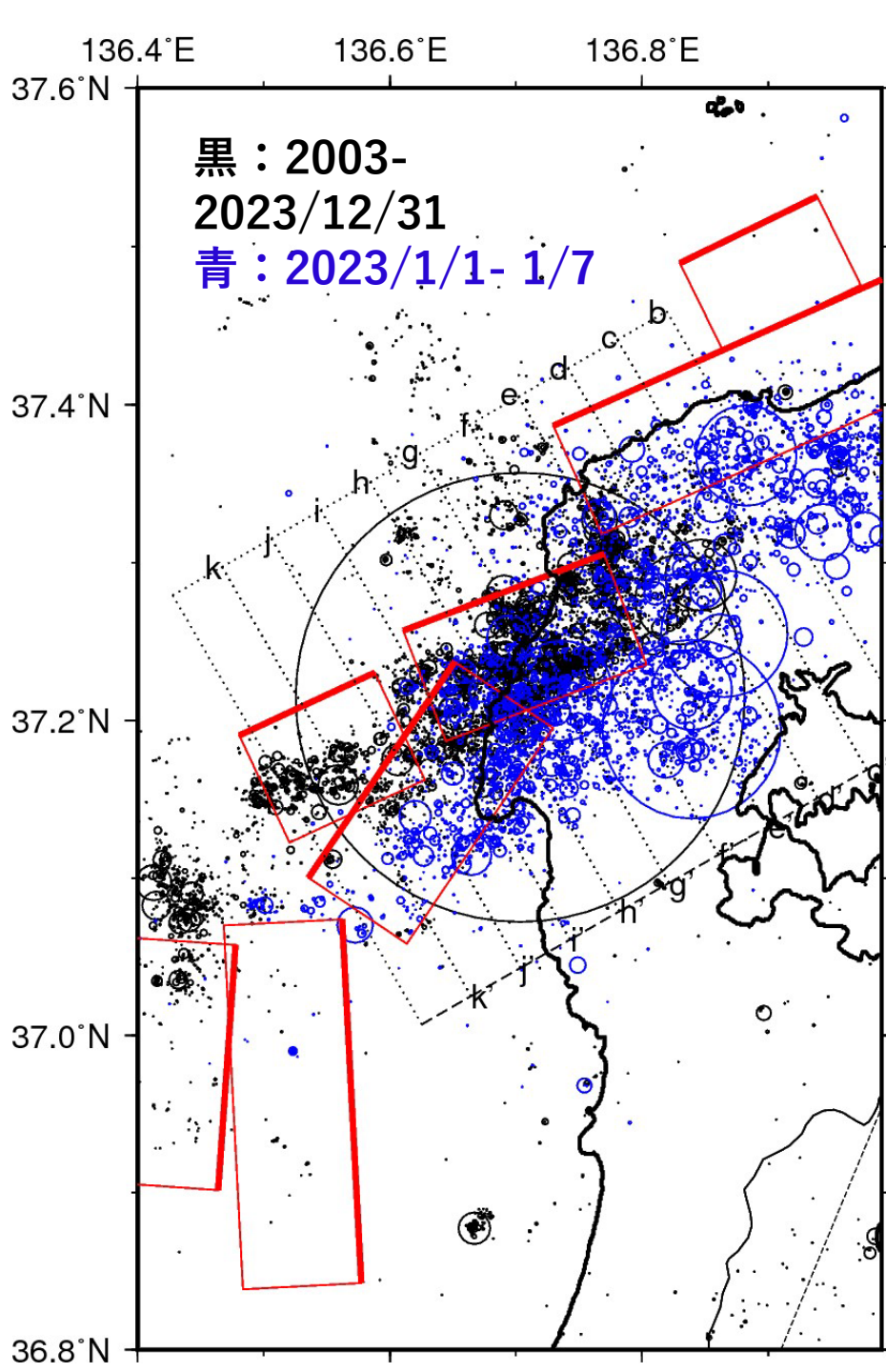
# 2. 珠洲群発地震活動域付近の断層構造

- 本震以前の断層構造との比較
- 本震の震源・初期破壊

# 3. 2007年地震震源域周辺の断層構造

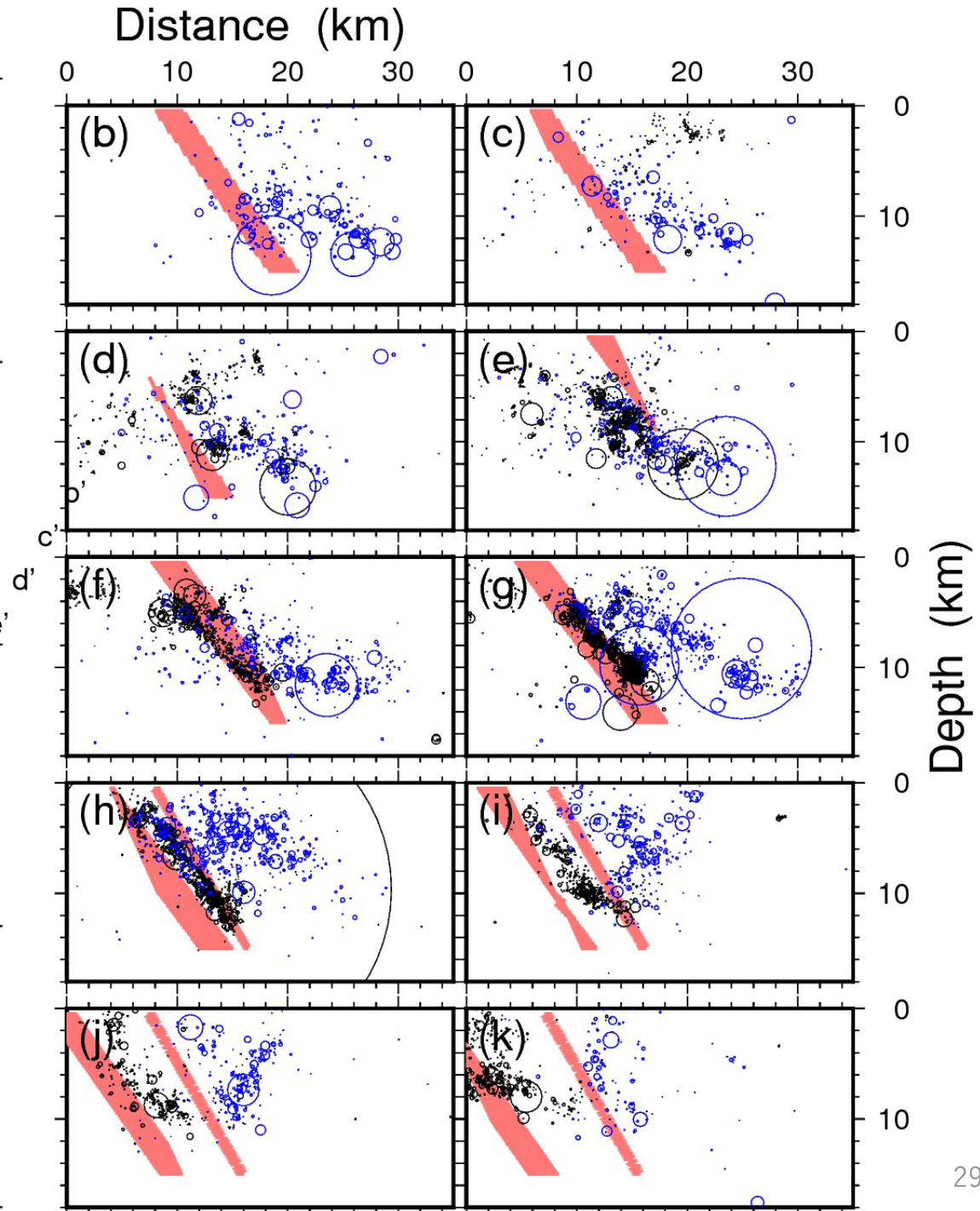
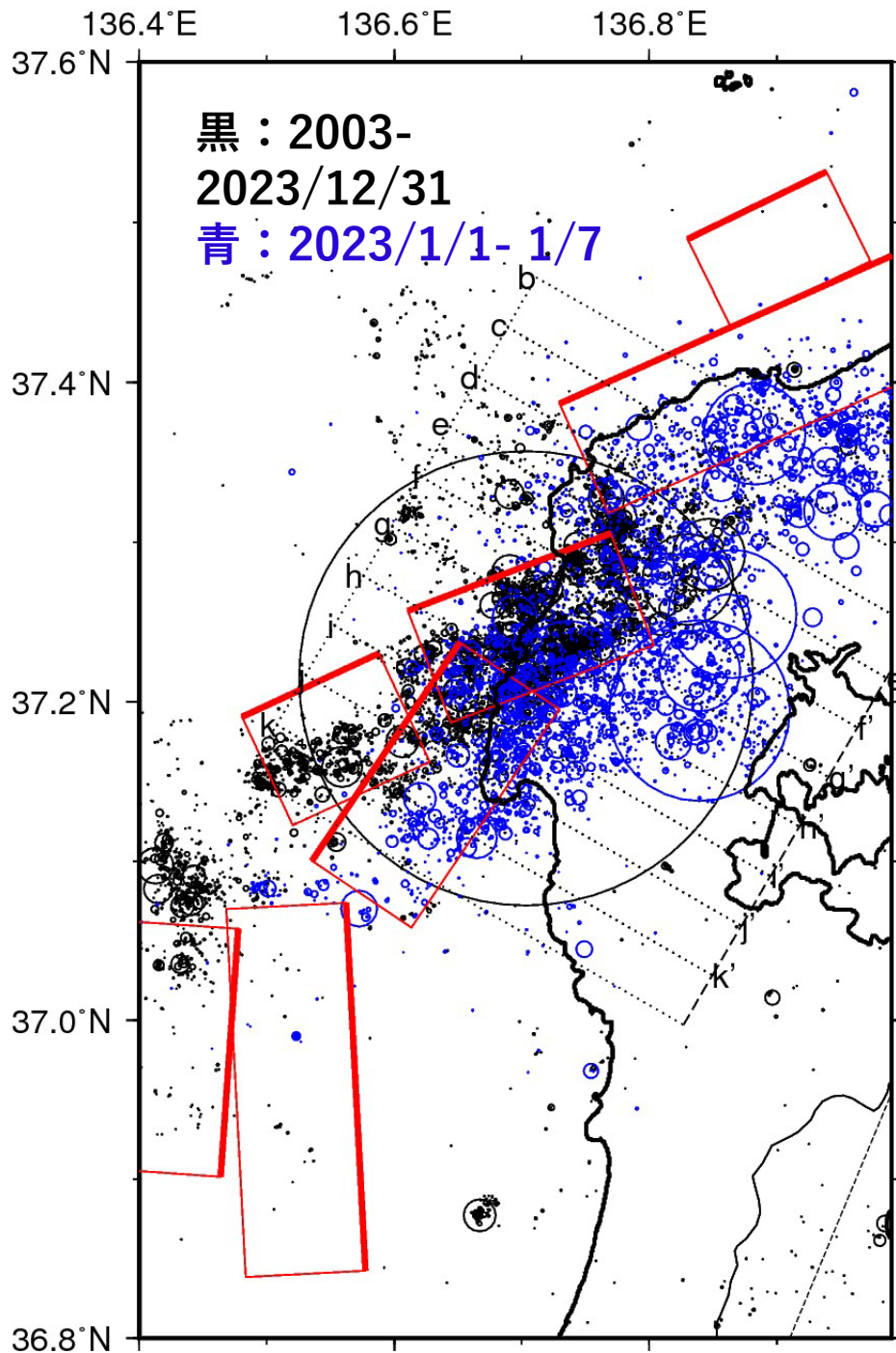
# 2007年 能登半島 沖地震震 源域周辺 の再決定 震源の分 布

2024年余震の発生位置の西端が、2007年地震時に滑りを生じた断層に規定されているように見える。



# 2007年 能登半島 沖地震震 源域周辺 の再決定 震源の分 布

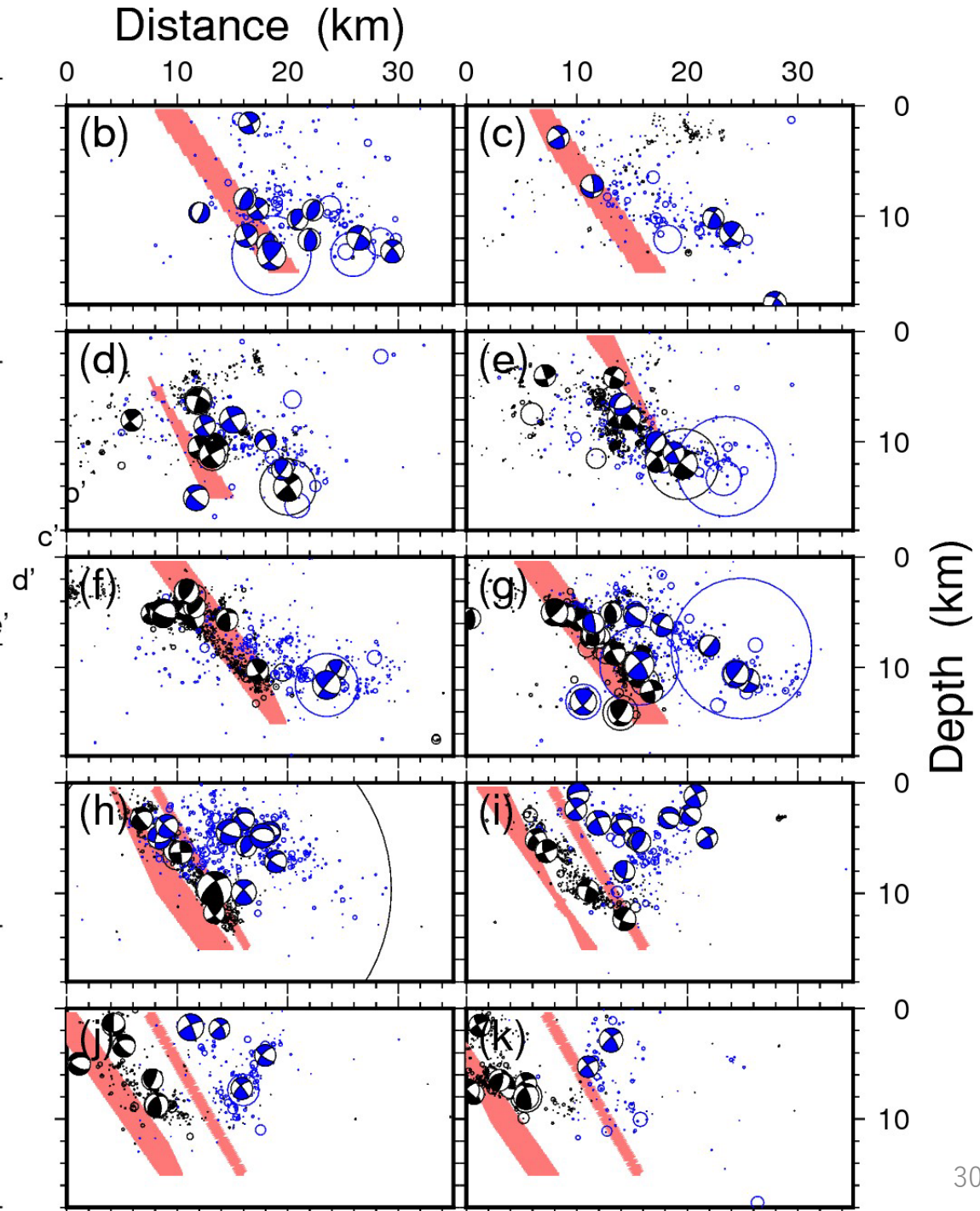
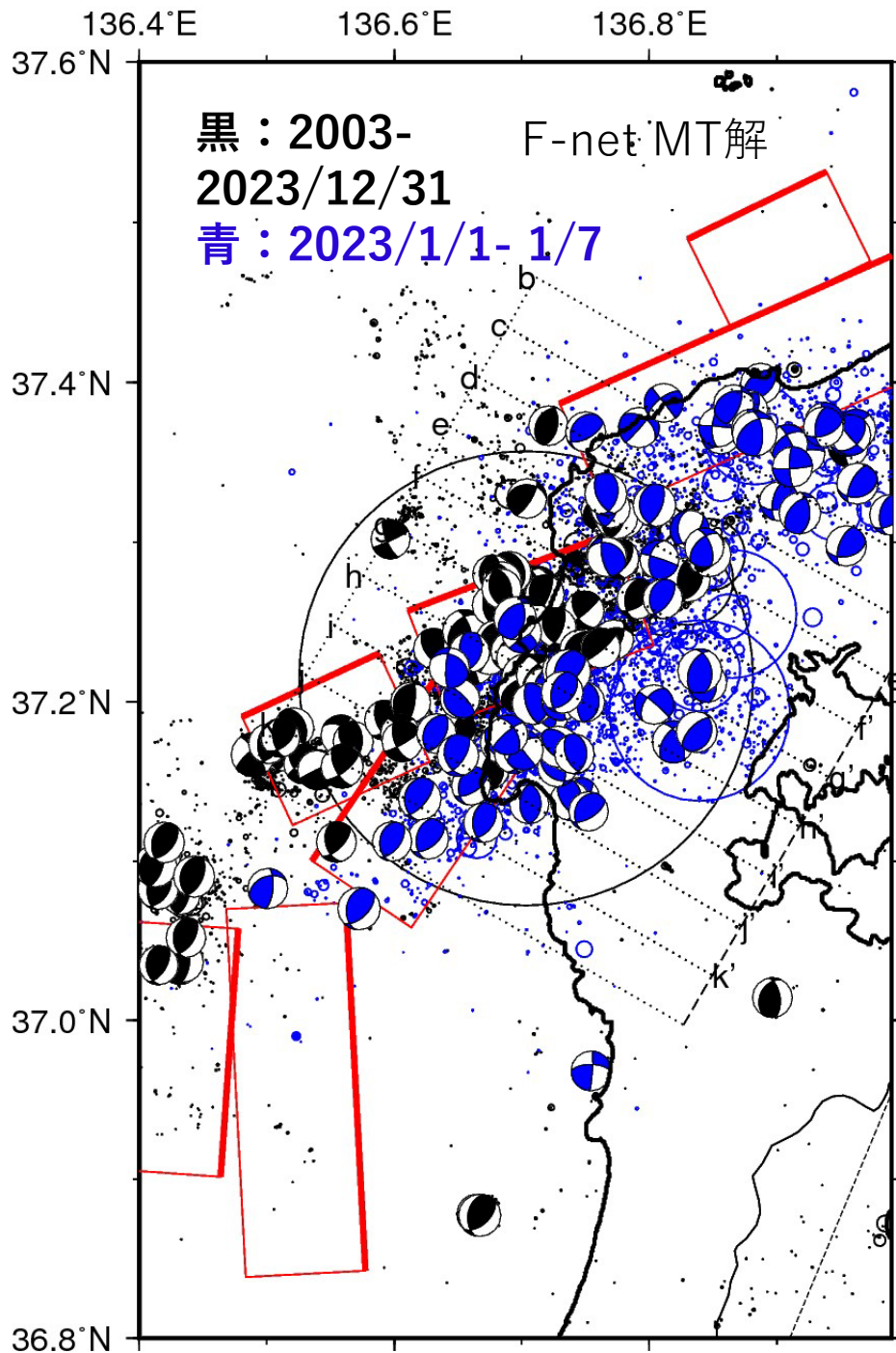
2024年余震の発生位置の西端が、2007年地震時に滑りを生じた断層に規定されているように見える。



# 2007年 能登半島 沖地震震 源域周辺 の再決定 震源の分 布

2024年余震の発生位置の西端が、2007年地震時に滑りを生じた断層に規定されているように見える。

複雑な断層構造



# まとめ

2024 Mw7.5能登半島地震余震の震源の再決定を行い、余震断層の微細構造を求めた。その結果以下のことが分かった。

- 能登半島陸域下での余震は、主として南南東に傾斜する複数の面構造で発生
- 本震の震源が位置し、先立つ群発地震も発生していた珠洲の領域では、本震後、以前の断層上ではほとんど地震が発生しなくなった
  - 本震後の地震は以前より浅部で発生
- 本震破壊は小規模なサブイベントから始まっており (16時10分 8.6秒頃)、その位置は、2023年 M6.5地震破壊域の西端付近, Mw7.5 本震 4分前の M5.5地震のすぐそばに推定された
- 余震域の西端は、2007年能登半島地震の断層のすぐ東側に位置し、複雑な面構造で発生
- 陸域余震域中央部においては、直上観測データが得られていないことから浅い地震の震源深さが正確に拘束されていないと考えられる



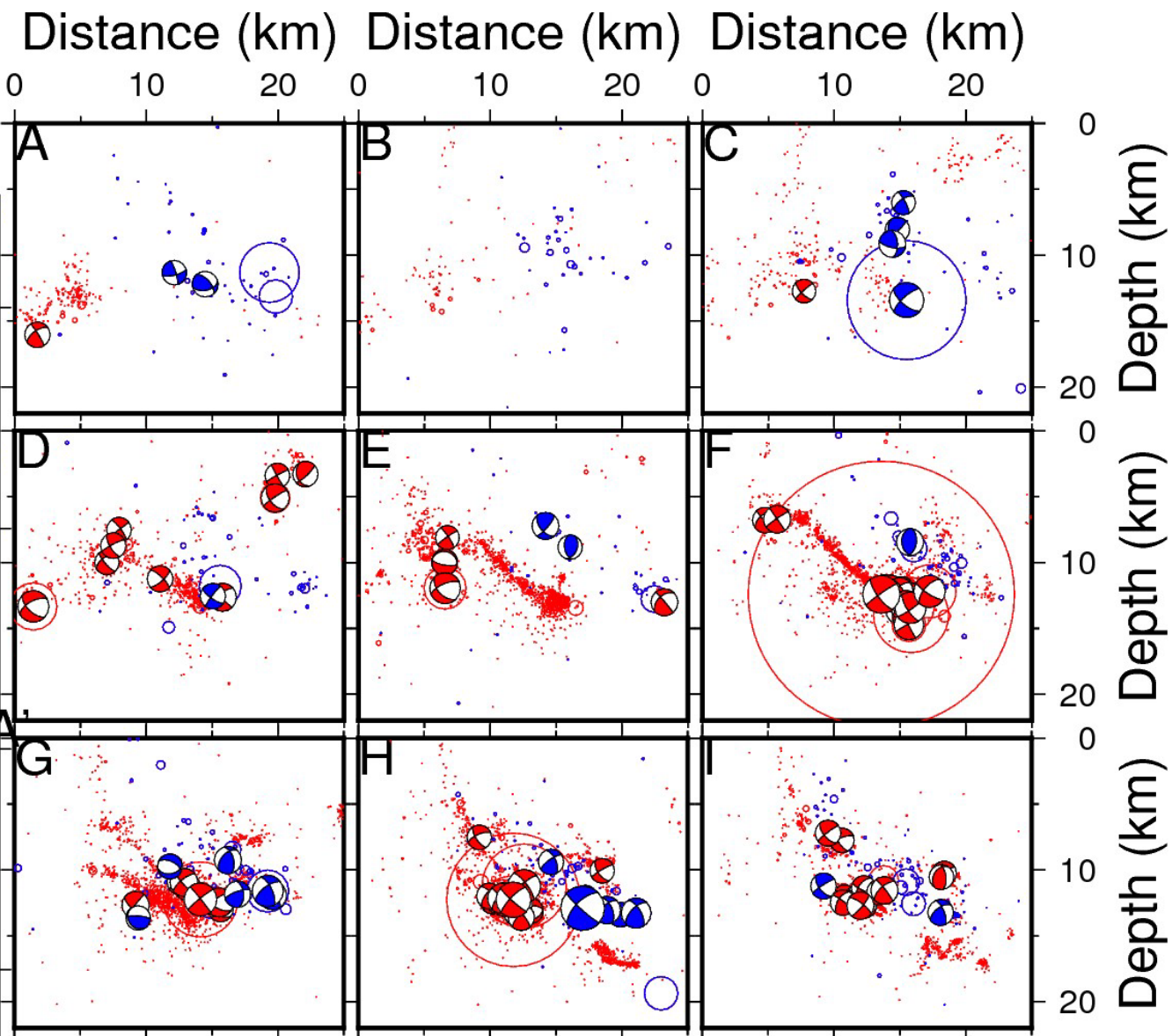
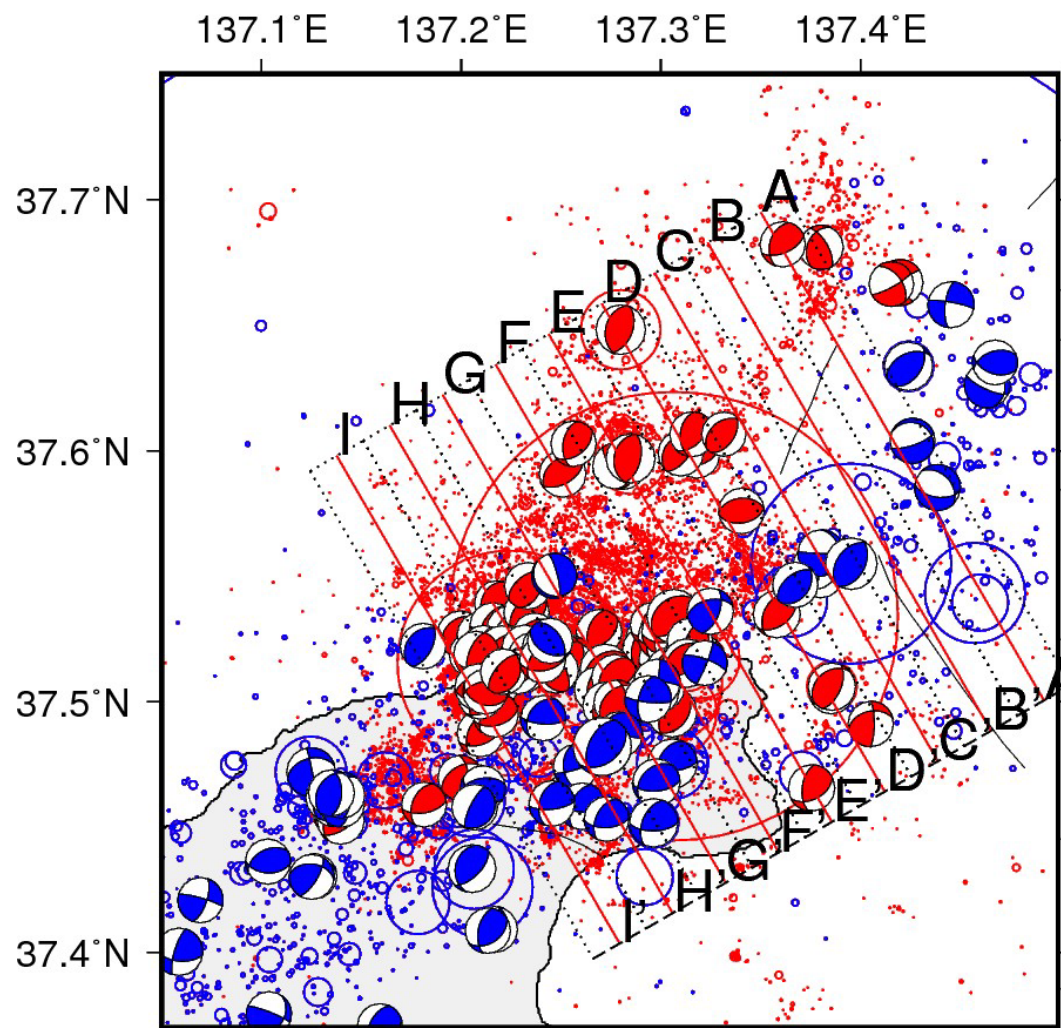


# 本震前後の震源分布の比較

○ : 2003 - 2024年本震

○ : 2024年本震 - 2024/1/7

★ : 本震震源 (大振幅初動)



# 再決定震源 の分布

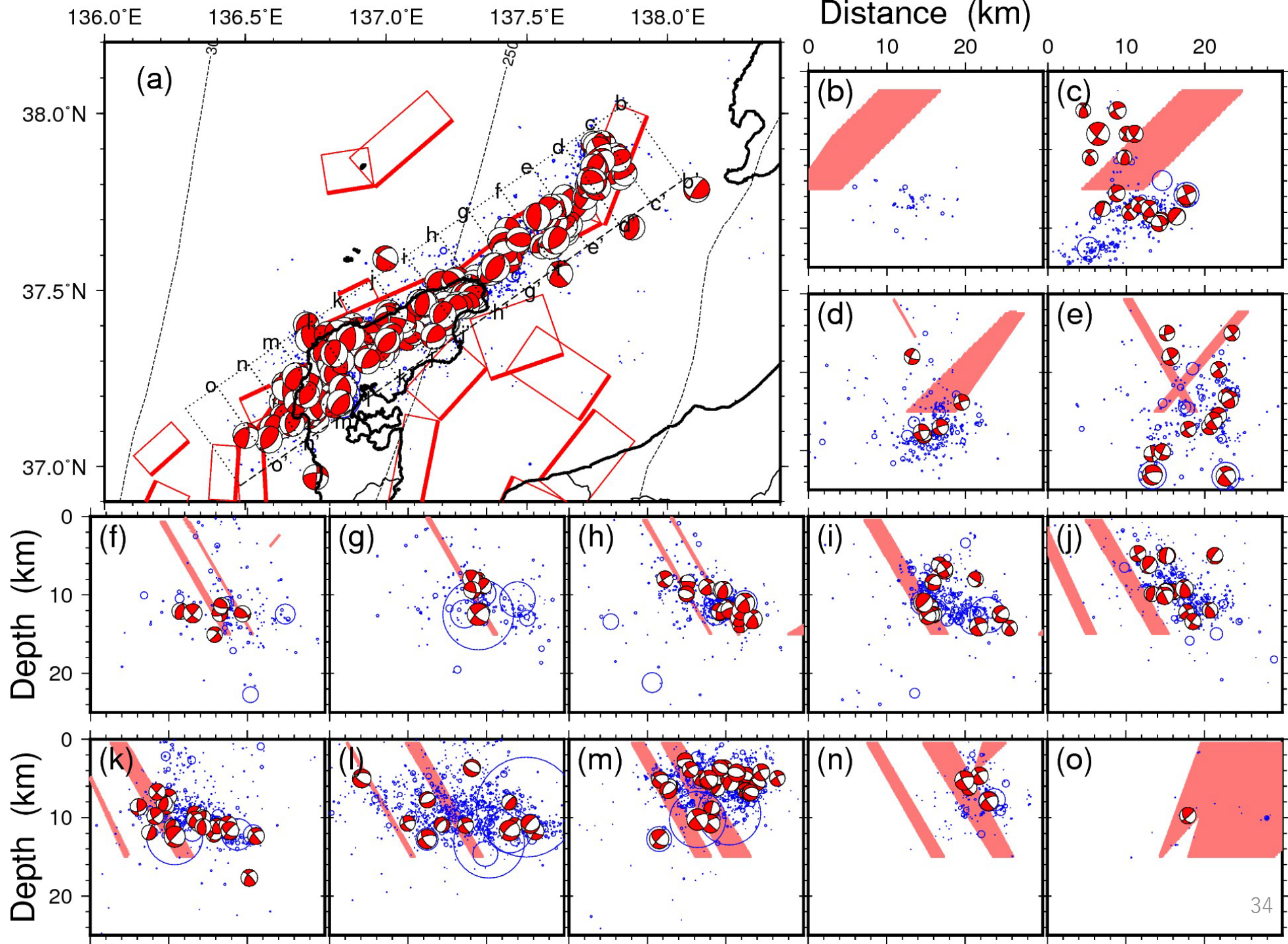
(2024/1/1-  
2024/1/7)

F-net MT解

赤：日本海 PJ  
モデル断層

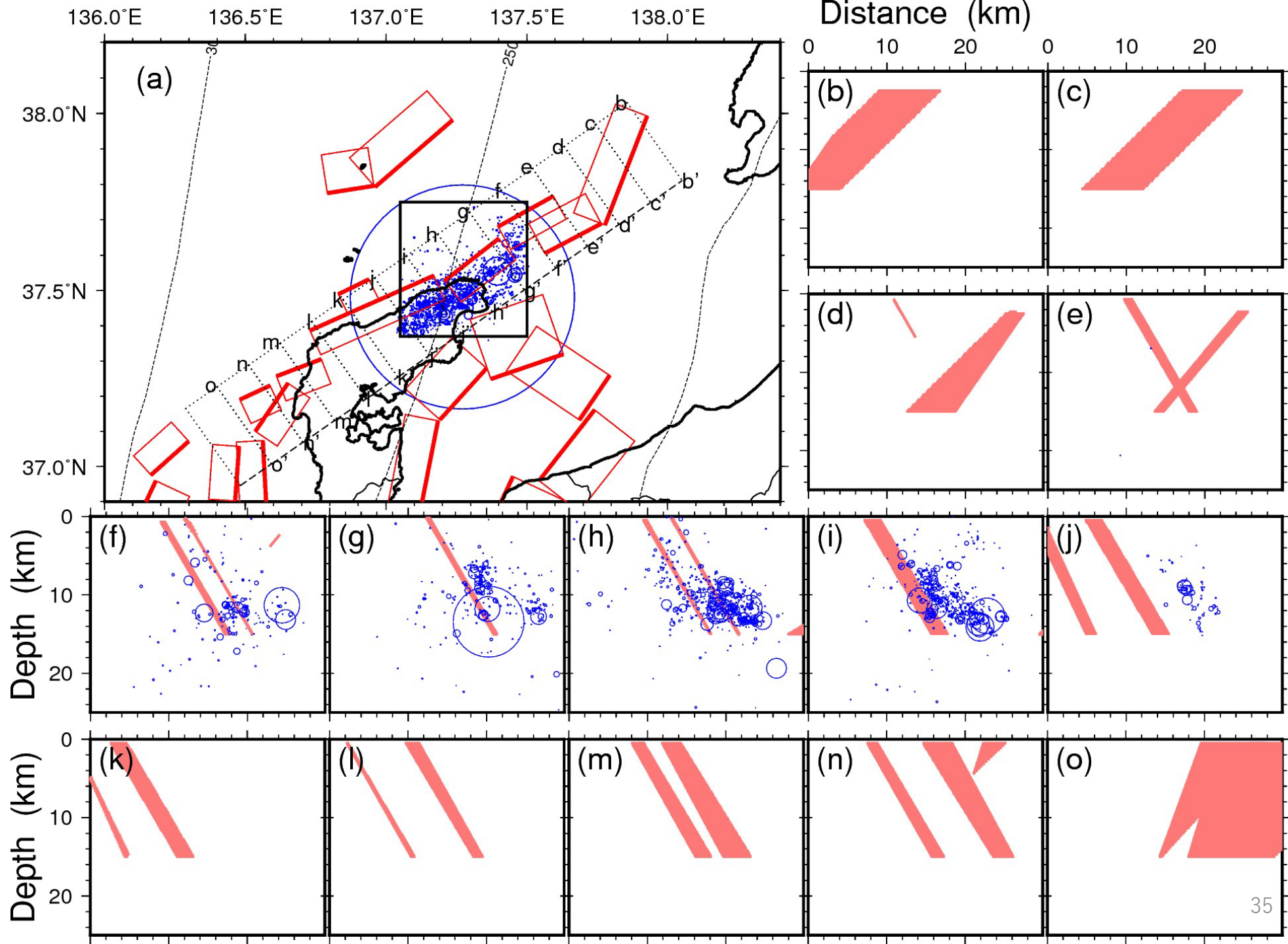
大局的構造には、  
大きな変化はみ  
られなかった

- 微細構造の解  
像度は向上



# 珠洲周辺の 再決定震源 (本震後： 2024/1/1 - 2024/1/7)

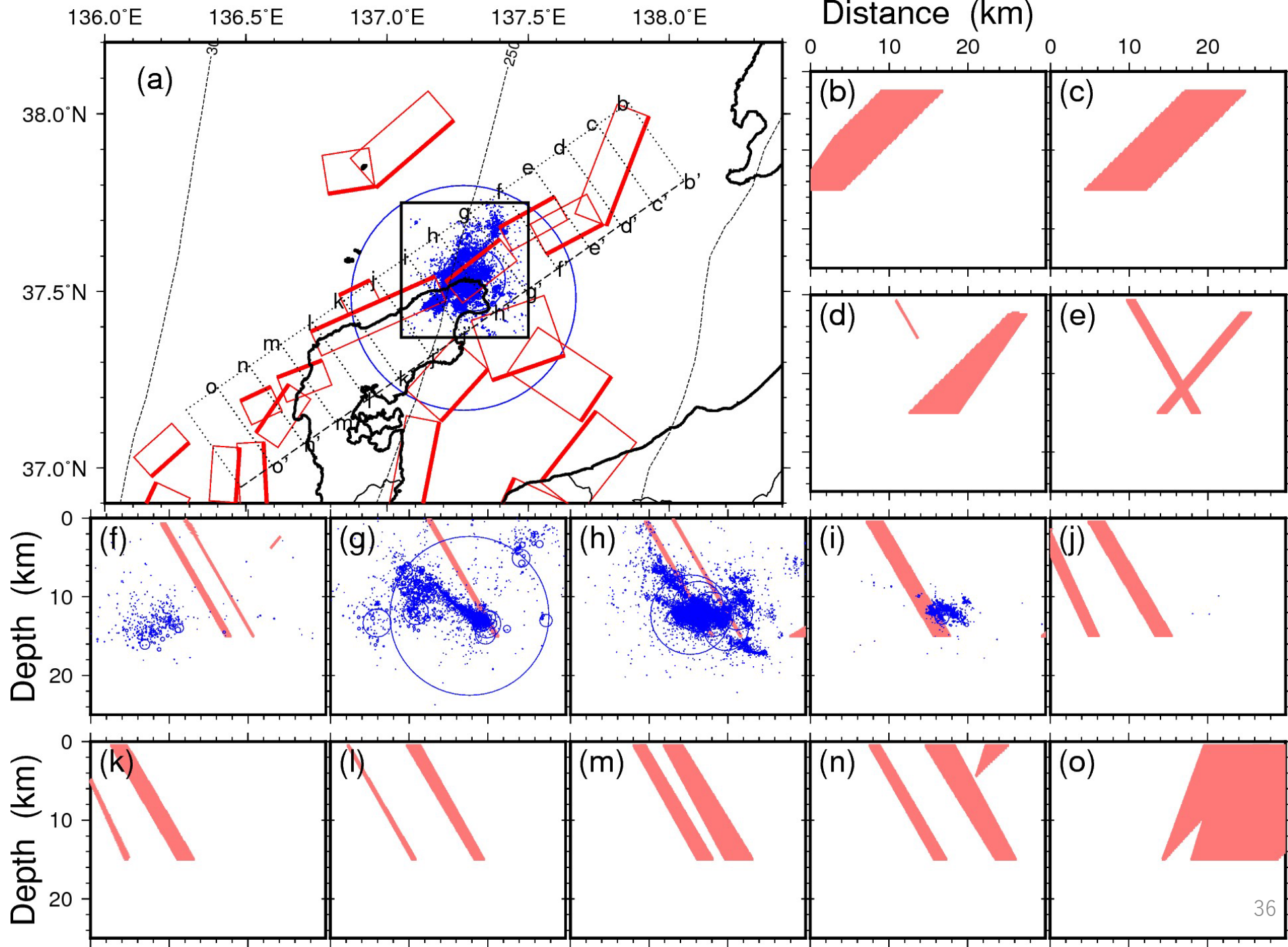
この領域に限定して、過去の地震 (2003-2023/12/31) と同時に震源再決定



# 珠洲周辺の 再決定震源 (本震前： 2003/3 - 2024/1/1)

本震後、それ以前の活動よりも浅部側の異なる断層で地震が活発化。

これまでの断層ではほとんど地震が起こらなくなった



# 珠洲周辺の 再決定震源

(全期間：  
2003 -  
2024/1/7)

赤：本震前  
青：本震後

本震後，それ以前の活動よりも浅部側の異なる断層で地震が活発化。

これまでの断層ではほとんど地震が起こらなくなった

