

陸海測地データにもとづく プレート境界の準リアルタイム モニタリング・推移評価

分担責任者：太田雄策（東北大学）

分担者：飯沼卓史（海洋研究開発機構）

謝辞：本研究で使用したソフトバンクの独自基準点の後処理解析用データは、「ソフトバンク独自基準点データの宇宙地球科学用途利活用コンソーシアム」の枠組みを通じて、ソフトバンク株式会社およびALES株式会社より提供を受けたものを使用しました。

南海トラフ地震等巨大地震災害の被害最小化及び 迅速な復旧・復興に資する地震防災研究プロジェクト (南海トラフ地震防災研究プロジェクト、南トラPJ) 2025年度～2029年度（5カ年）

【理学研究】

課題1 南海トラフ地震の評価手法高度化と
他地域への展開研究

南海トラフ &
千島～日本海溝

1a: 陸海観測データを用いた地震活動
モニタリング

1b: 陸海測地データにもとづくプレート
境界の準リアルタイム
モニタリング・
推移評価

南海トラフ地震臨時情報
&
北海道三陸沖地震注意情報

固着
滑り
情報

南海トラフ

1c: 地震履歴情報に
基づく
南海トラフ巨大地震の
発生シナリオ構築

南海トラフ地震長期評価

【工学・社会科学・地域連携研究】

課題2 連鎖複合災害に備える
地域防災力強化研究

南海トラフ

2a: 連鎖複合災害
リスク評価手法の
構築

2b: 地域継続計画へ
の貢献を見据えた
地域防災力向上研究

内閣府防災
東海・関西・四国・九州
地域防災

シナ
リオ

南トラPJ事務局

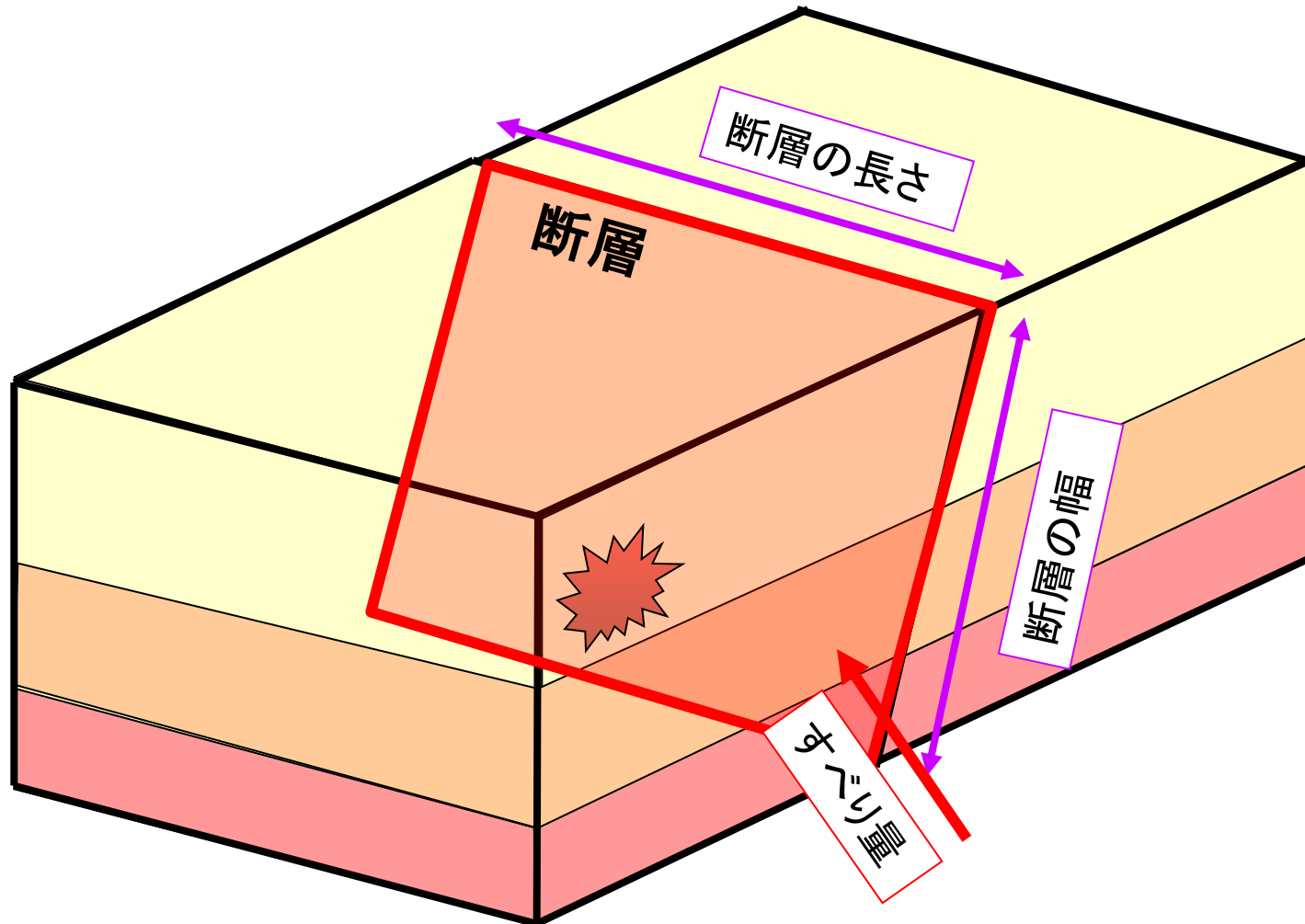
推進委員会（年2回）

アドバイザー

I. GNSSによる地殻変動検知能力の向上

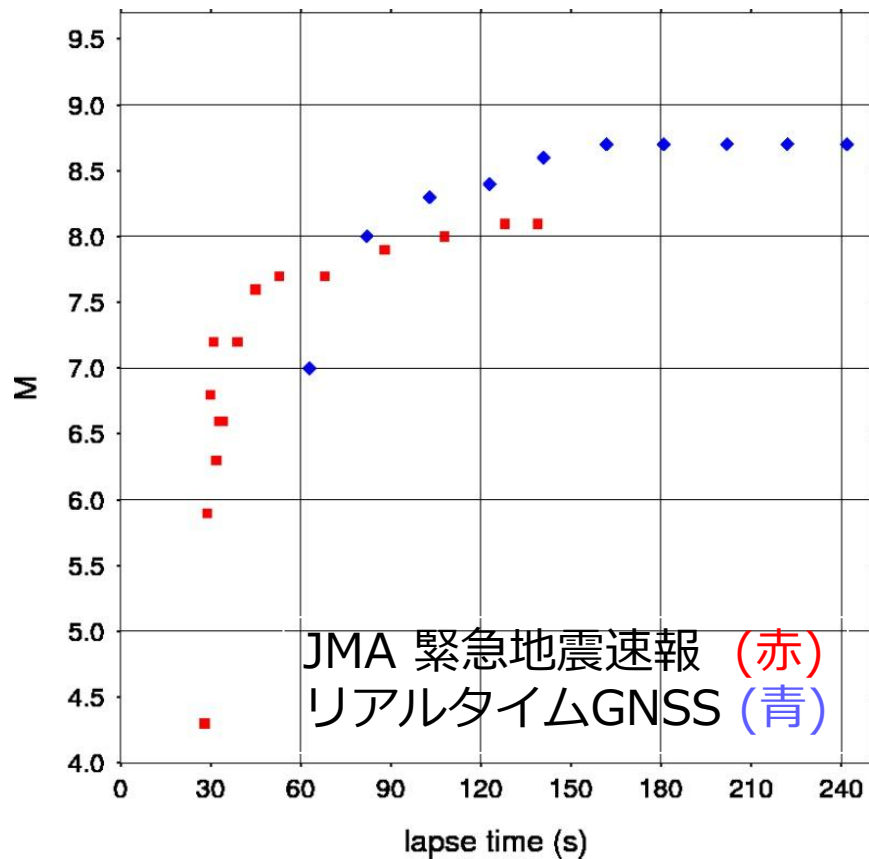
地震とは？

断層が急激にすべって、大地を揺らすこと



I. GNSSによる地殻変動検知能力の向上

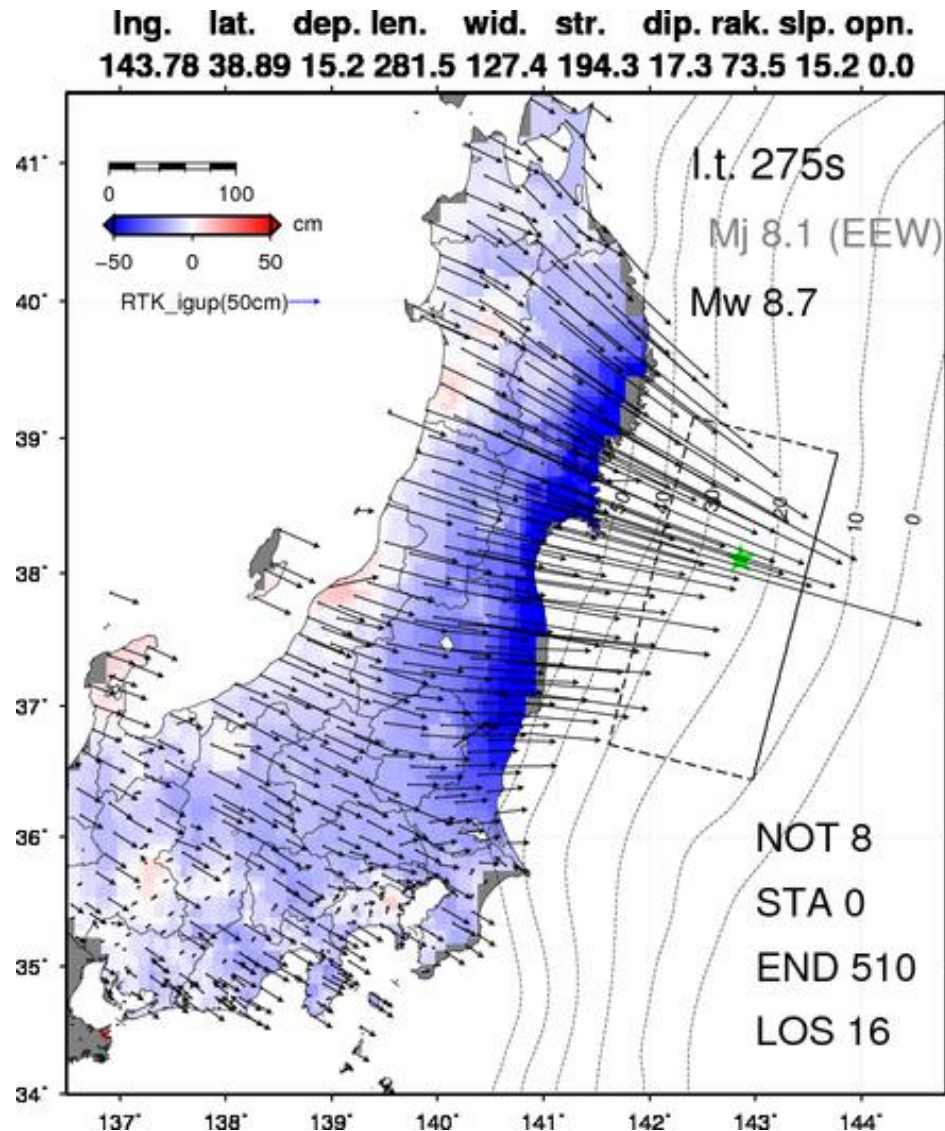
Change in estimated magnitude



JMA 緊急地震速報 (赤)
リアルタイムGNSS (青)

$M_{(EEW)}$: M 8.1付近で飽和

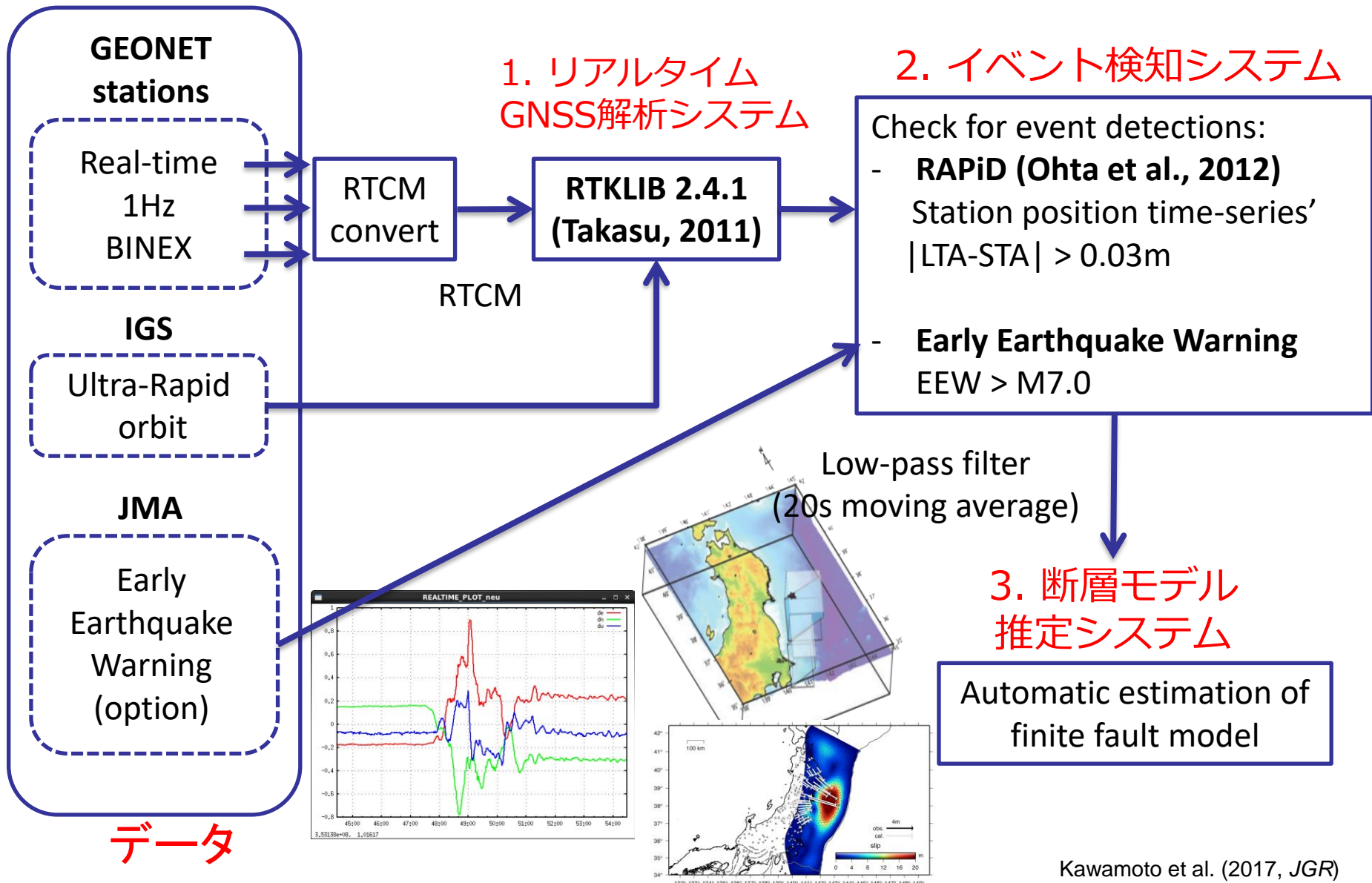
リアルタイムGNSSによる M_w : より現実に近い値に



Ohta et al. (2012, JGR)

I. GNSSによる地殻変動検知能力の向上

REGARD: **RE**al-time **G**EONET **A**nalysis for **R**apid **D**eformation Monitoring



I. GNSSによる地殻変動検知能力の向上

前プロジェクトの成果

国土地理院REGARDシステムへの技術移転とその実運用結果の獲得

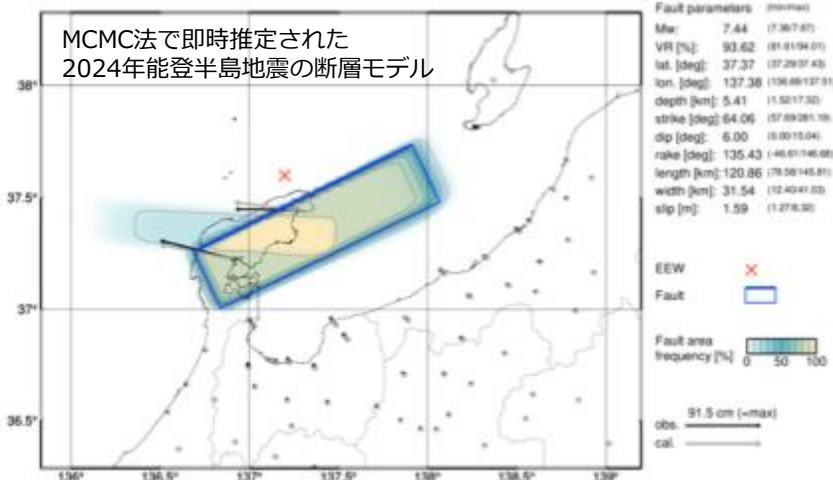
国土地理院REGARDシステムへの技術移転

➤ 断層モデルの推定不確実性の定量化手法のうち、1枚矩形断層モデル推定アルゴリズム (MCMC法) を国土地理院 REGARDシステムに技術移転を完了。

➤ 同技術により、REGARDでは、2024年1月1日に発生したM_{JMA}7.6の能登半島地震の震源断層モデルをその推定不確実性ととも地震発生後4分で推定に成功。一部、半島内データの欠測が課題。

➤ 開発した3D構造による現実的なグリーン関数についても国土地理院で評価中。

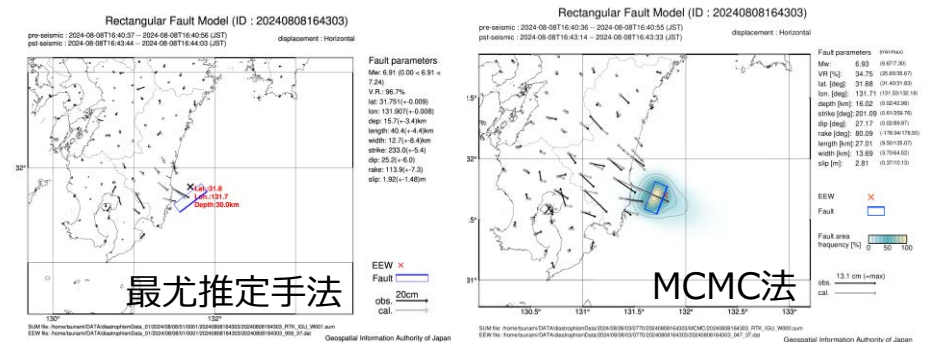
➤ さらに開発した技術を火山モニタリングにも活用する「火山版 REGARD」の開発が国土地理院と東北大学等の共同研究の下、進行中。



南海トラフ沿いの地震に関する評価検討会（臨時）への貢献

➤ 2024年8月8日16時43分頃日向灘を震源とするM_{JMA}7.1の地震についても技術移転したMCMC法によって断層モデルの推定に成功。

➤ 評価検討会へは従来手法である最尤推定手法が提出された。震源断層の広がりや即時性を提供する手法として検討会への今後の貢献が期待される



現状の課題

- ✓ REGARD：現状では地震時地殻変動のみを対象。非定常な地殻変動を正確に捉えるためにはさまざまなノイズの低減処理が必須。
- ✓ 同ノイズのうち、観測点固有ノイズであるマルチパスノイズの低減処理に関する研究が日本ではきわめて低調。
- ✓ 民間GNSSデータを用いた地殻変動把握能力向上の定量的評価は未達。

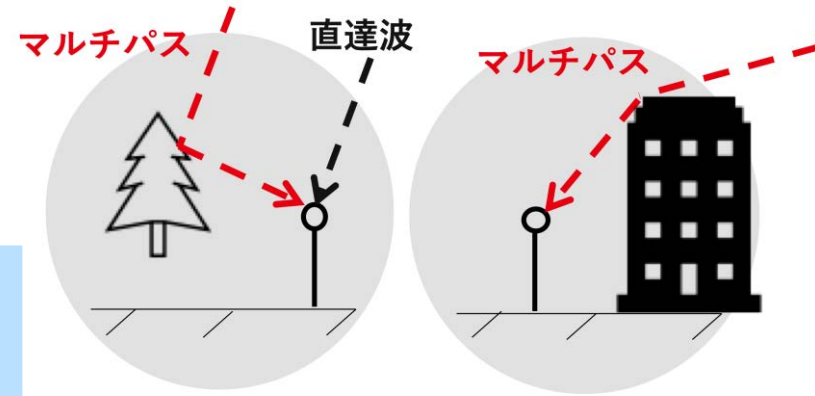
I. GNSSによる地殻変動検知能力の向上

GNSS測位解析における主な誤差要因：

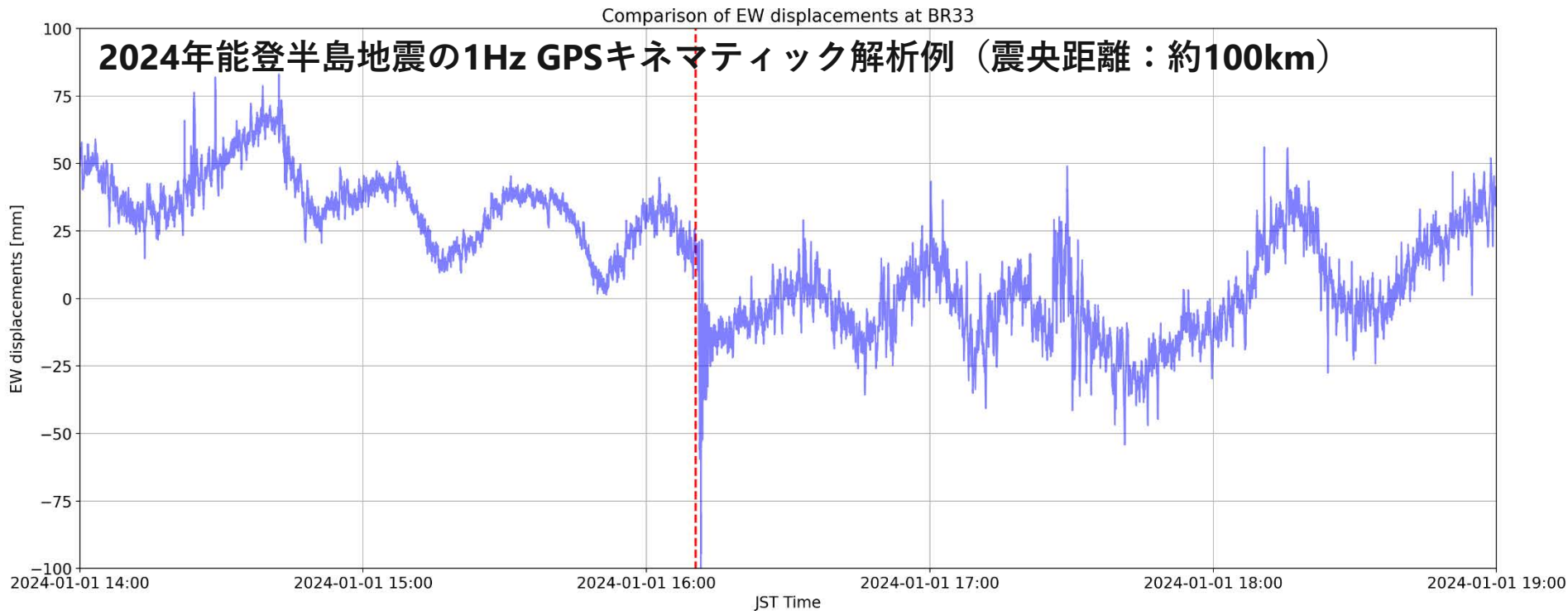
衛星軌道，時計誤差，電離層遅延，対流圏遅延，

マルチパス

マルチパス：電波の反射，回折によって電波が遅延．マルチパス源が観測点固有のため，測位計算の中では除去できない

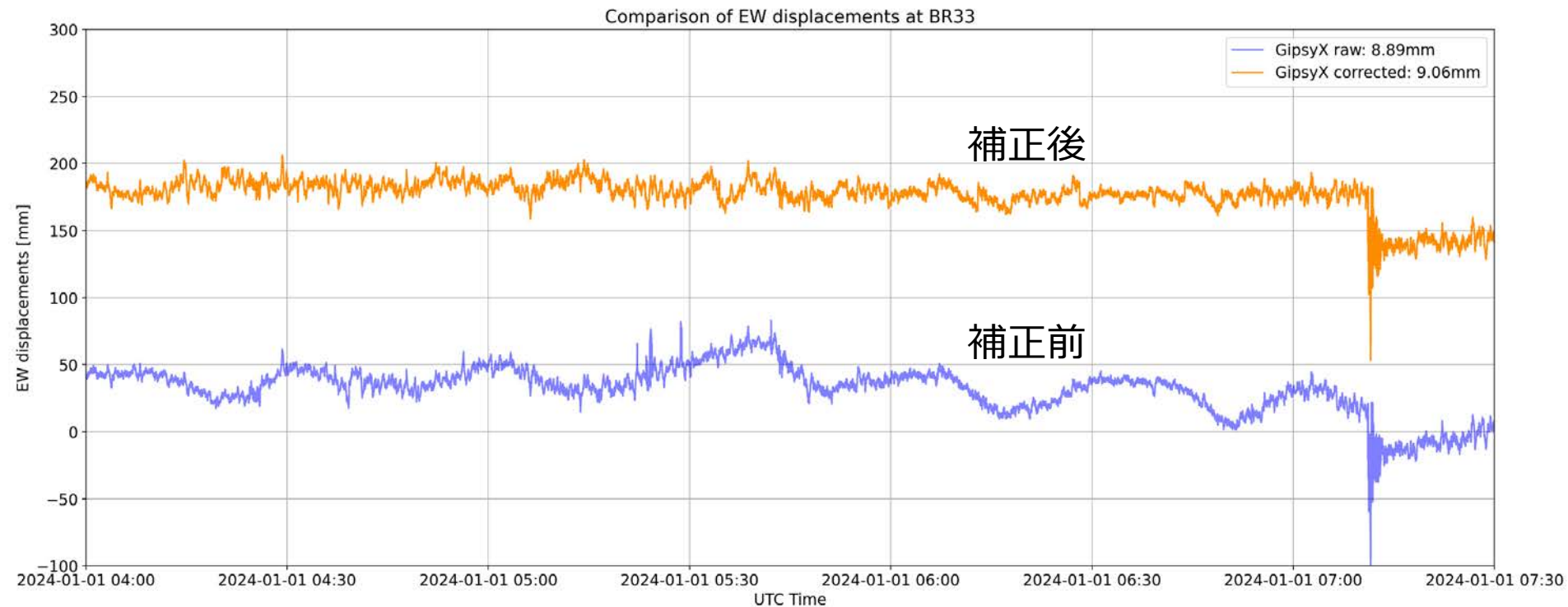


マルチパスノイズの特徴



I. GNSSによる地殻変動検知能力の向上

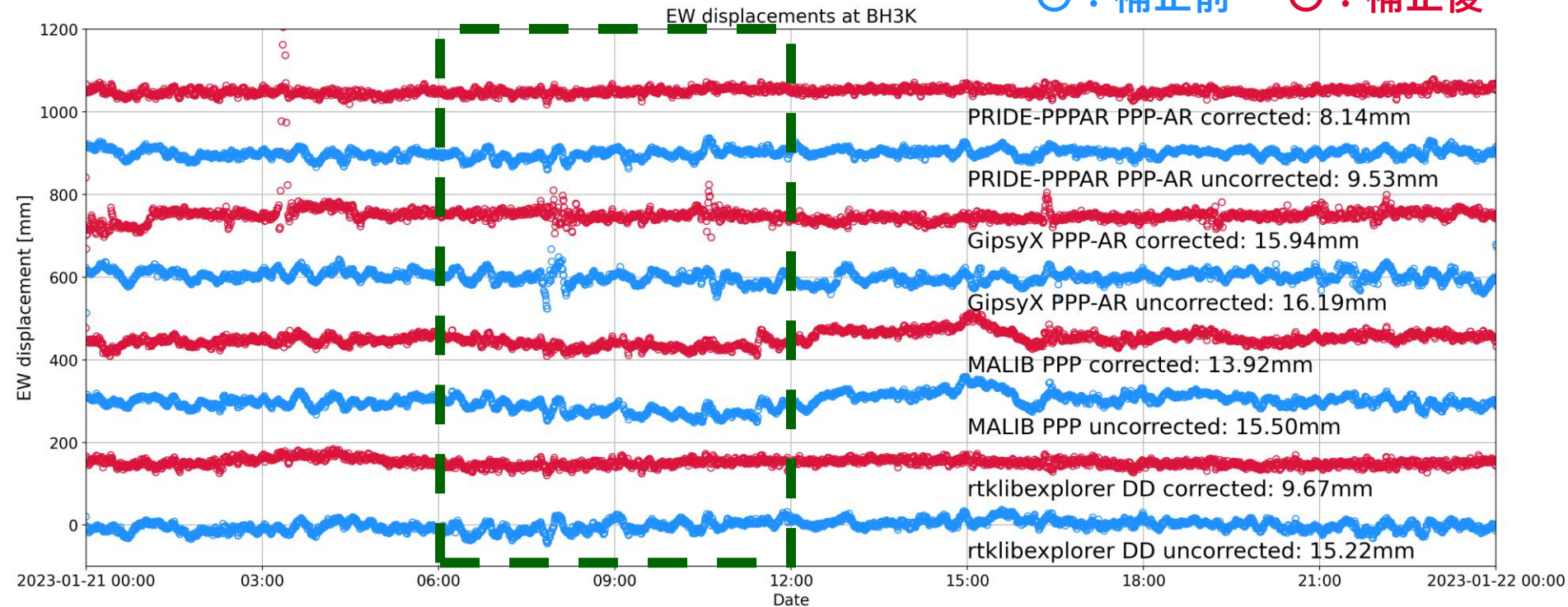
MSS-MHMの適用結果例 (暫定)



- 明瞭にマルチパス起因の長周期ゆらぎが低減。
- 地殻変動の検知能力向上に貢献。

I. GNSSによる地殻変動検知能力の向上

○ : 補正前 ○ : 補正後

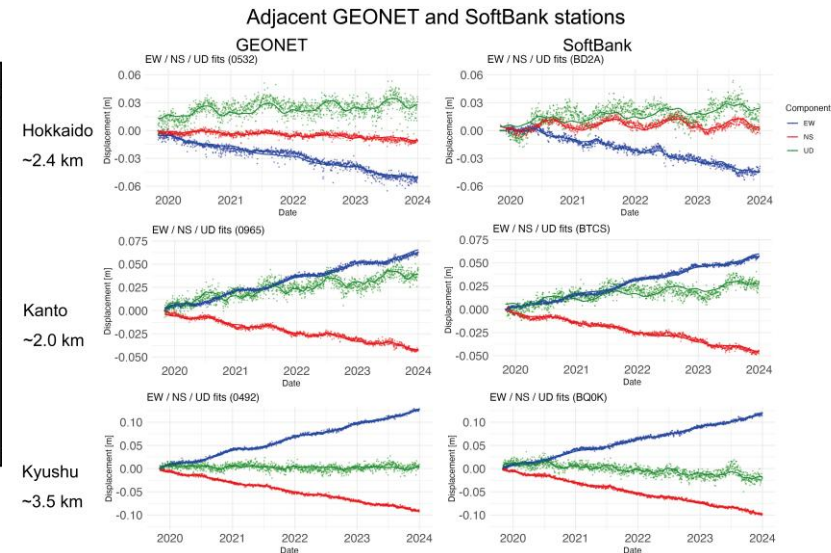
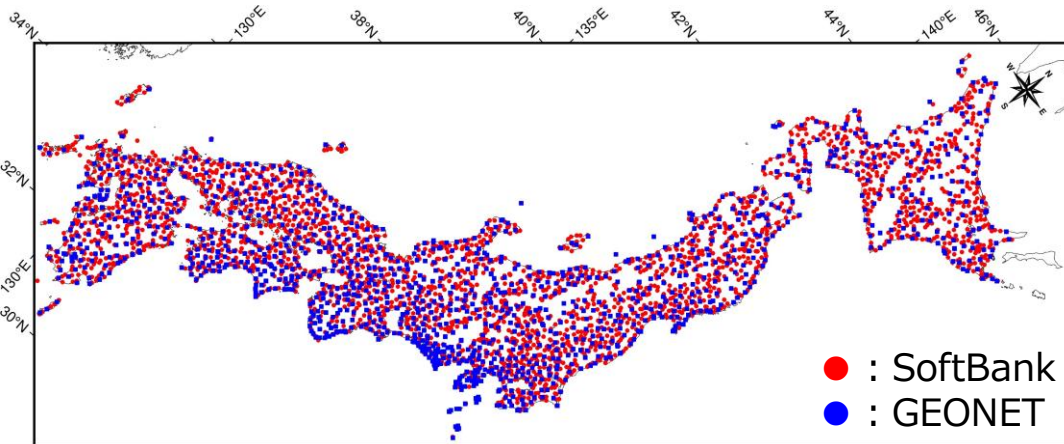


- RTKLIBによるMSS-MHMに基づく補正RINEXファイルに対して、補正前後で30秒キネマティック解析を試行
- 異種ソフトでの検証結果：座標時系列の標準偏差の低下と短周期ノイズの低減（**1,000-10,000秒の帯域**）を確認

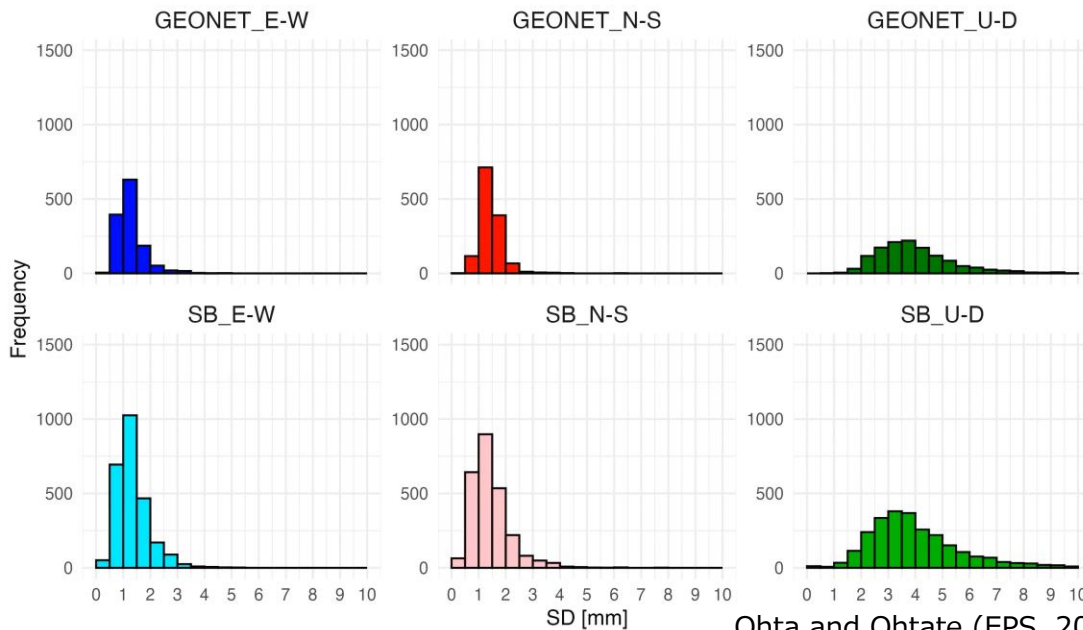
➡ 汎用的なマルチパスノイズ低減手法であることを示唆

I. GNSSによる地殻変動検知能力の向上

- 民間GNSSデータを用いた地殻変動検知能力の向上に向けた精度評価の開始



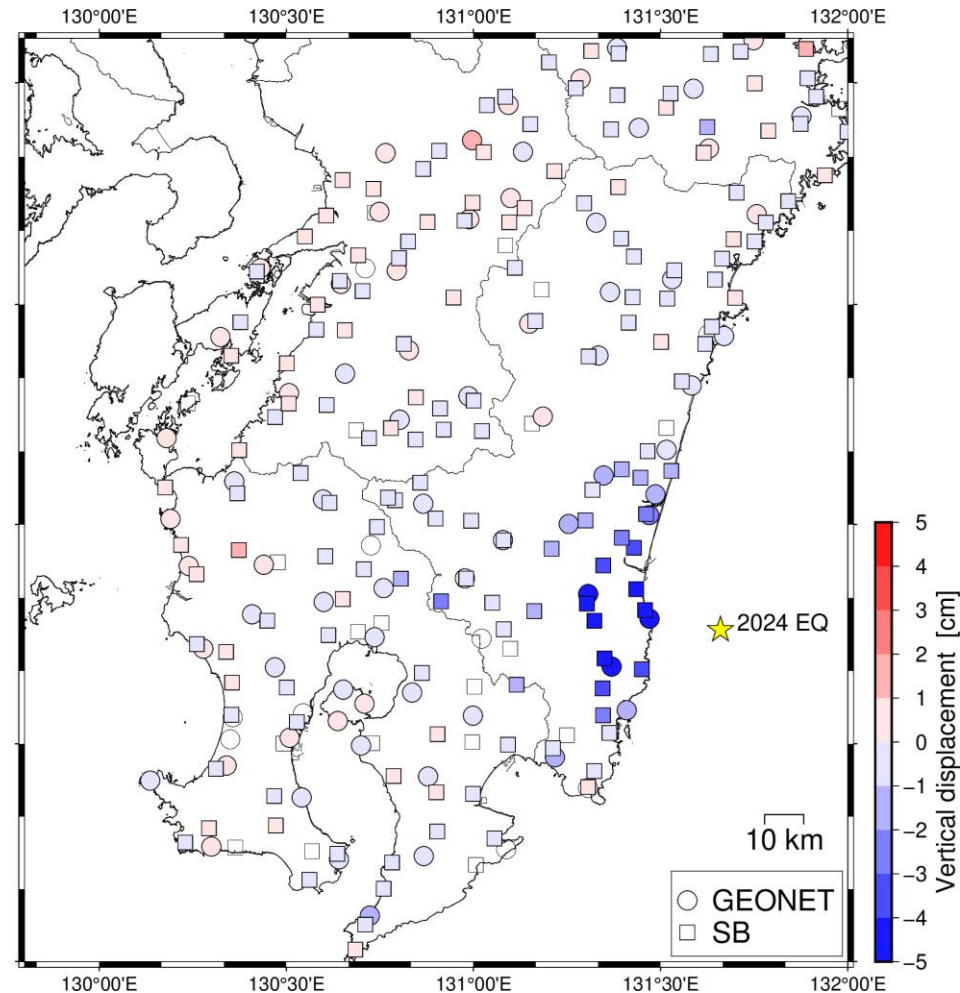
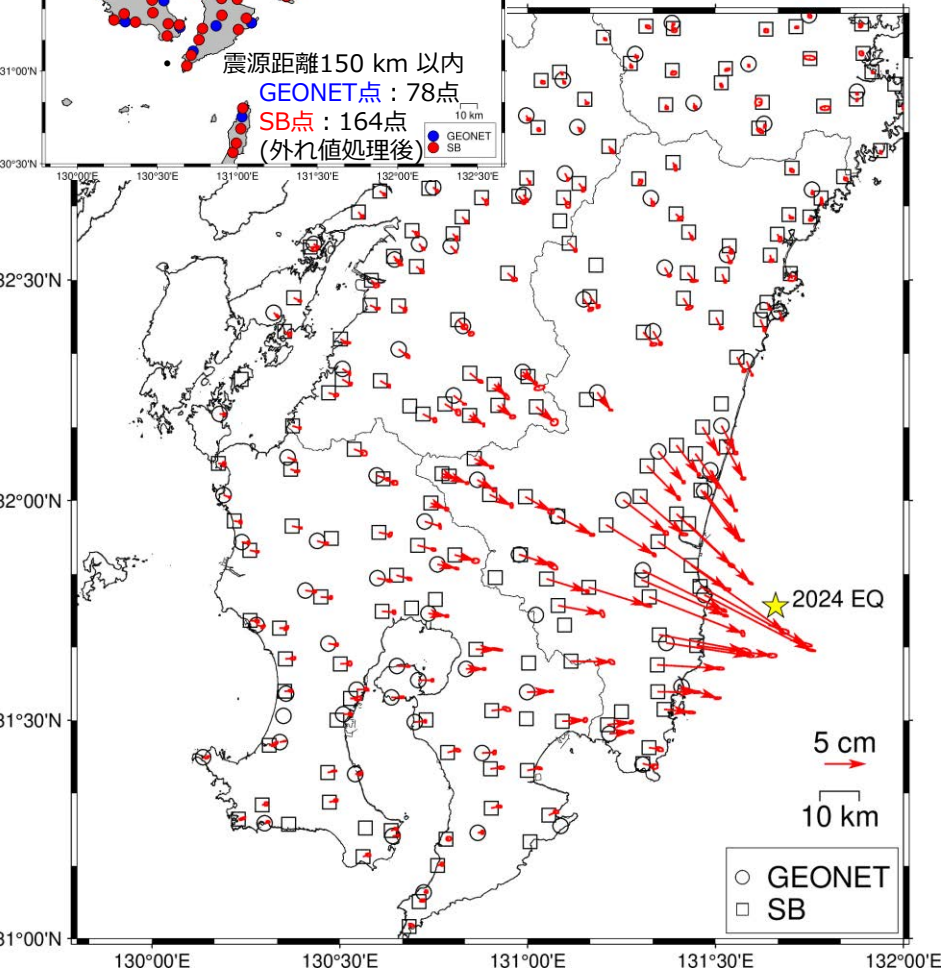
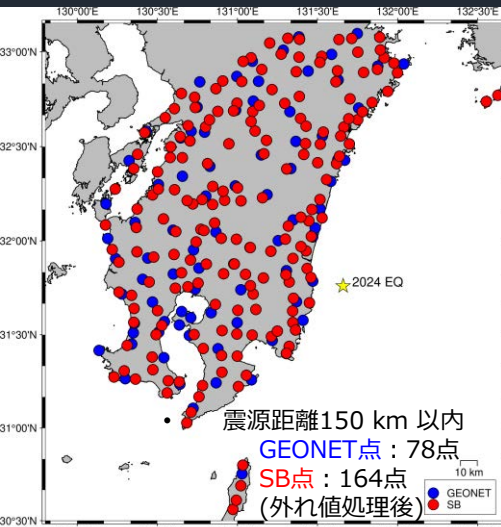
2019-11-01 to 2019-11-10



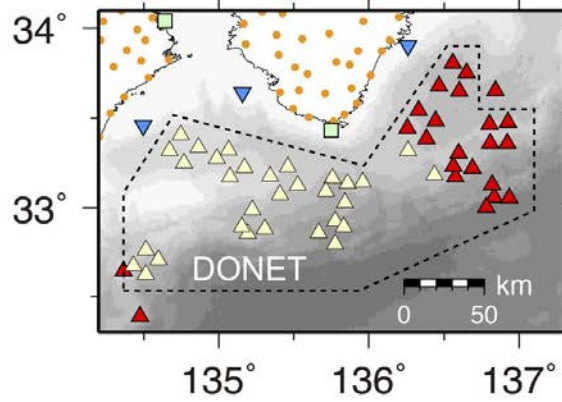
- 「独自基準点データの宇宙地球科学用途利活用コンソーシアム」を通じてルーチン解析している長期時系列データの精度評価を実施
- 長期データの観点からもGEONETと遜色ない品質のデータが得られていることを確認。
- 今後、M7クラスプレート境界型地震の断層モデル推定等に対する影響評価を予定。

I. GNSSによる地殻変動検知能力の向上

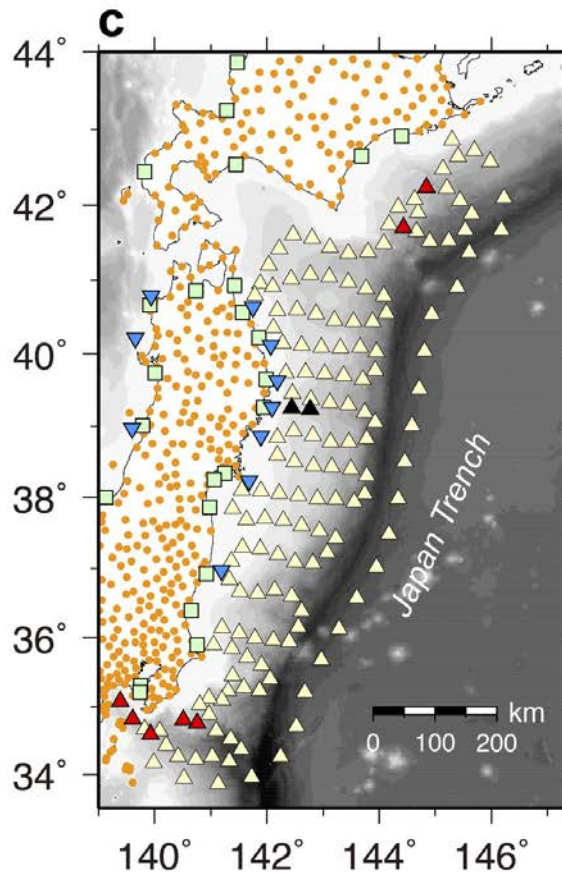
- 2024年8月8日 日向灘地震の事例
- GEONET点およびSB点による日座標値
 - 解析：CSESSによるルーチン解析結果
 - 期間：2024年6月19日-8月27日 (地震前後30日間)
 - 地震時変位：地震前10日の中央値と地震後5日間の中央値の差



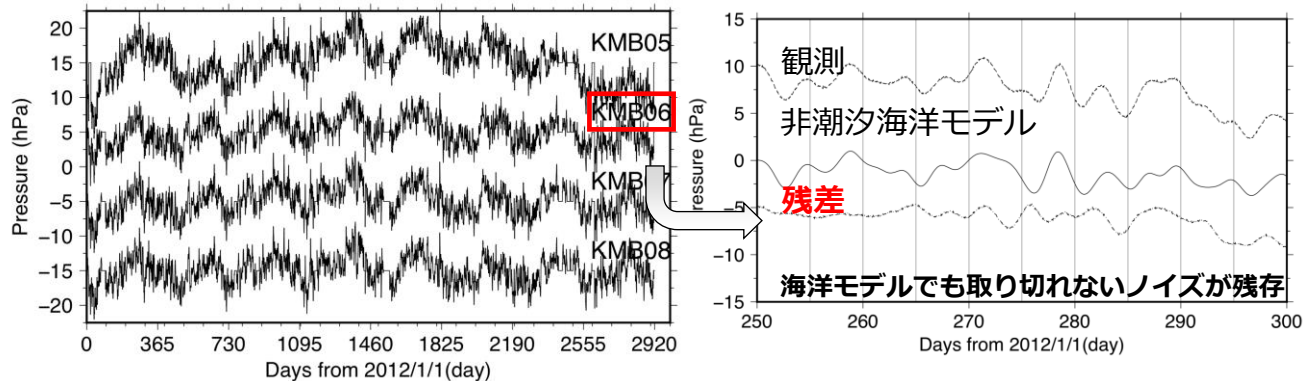
II. 海底水圧計による地殻変動検知能力の向上



現状：海域観測網 (S-net, DONET1,2) の多点展開は果たされているものの、それらを用いた幅広い時間帯での「地殻変動」のリアルタイムでの把握能力の獲得は途上
目標：海域における幅広い時間帯におけるリアルタイム地殻変動把握能力の獲得



解決策：海底水圧計によって観測される上下地殻変動を自動的かつリアルタイムでモニタリングアルゴリズム開発



非潮汐海洋成分が残存
→ リアルタイムでの効率的な推定・除去が喫緊の課題

- カルマンフィルタを用いたリアルタイムでの非潮汐海洋変動成分の推定、除去手法の開発
- 海底における上下地殻変動の即時把握能力を獲得

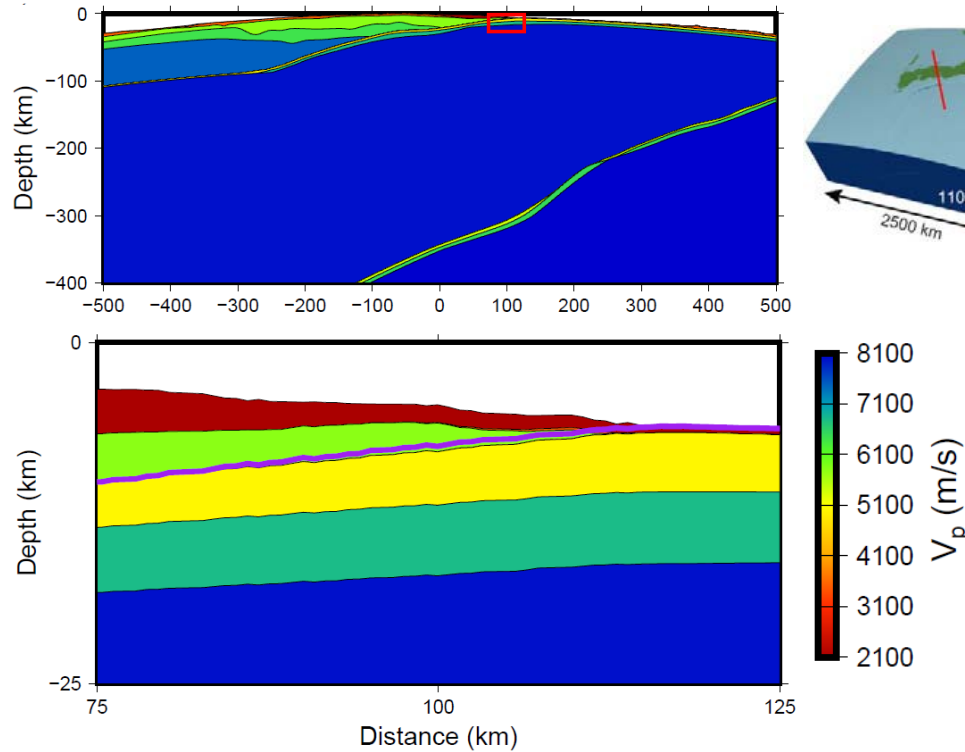
III.プレート境界面上での応力分布評価

前プロジェクトの成果

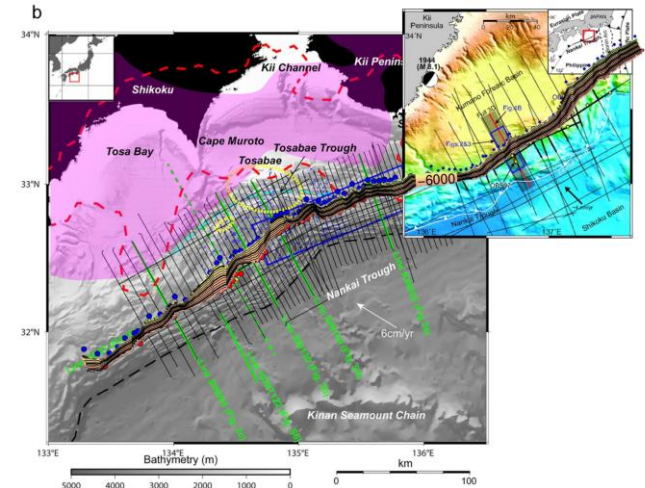
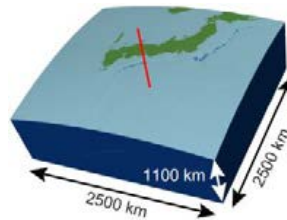
3次元不均質構造モデルに基づく変位・歪・傾斜応答グリーン関数の整備

現実により近い地下構造を反映した地殻変動量のデータベースの構築

- ▶ 全国一次地下構造モデルをできる限り忠実に再現した有限要素モデルの構築及びプレート境界すべりによる変位応答グリーン関数計算を実施。
 - ▶ 長期孔内観測システム近傍においては、メッシュ再分割を行い、孔内センサー位置での歪・傾斜応答の計算を実施した。
- ▶ 分岐断層でのすべりによる変位及び歪・傾斜応答に関するグリーン関数も計算。



プレート境界・分岐断層でのすべりによる地表変位応答を計算するために、ベースとして用いた有限要素法モデル（右上全体図中の赤線に沿った断面。下段は上段赤枠内の拡大図）

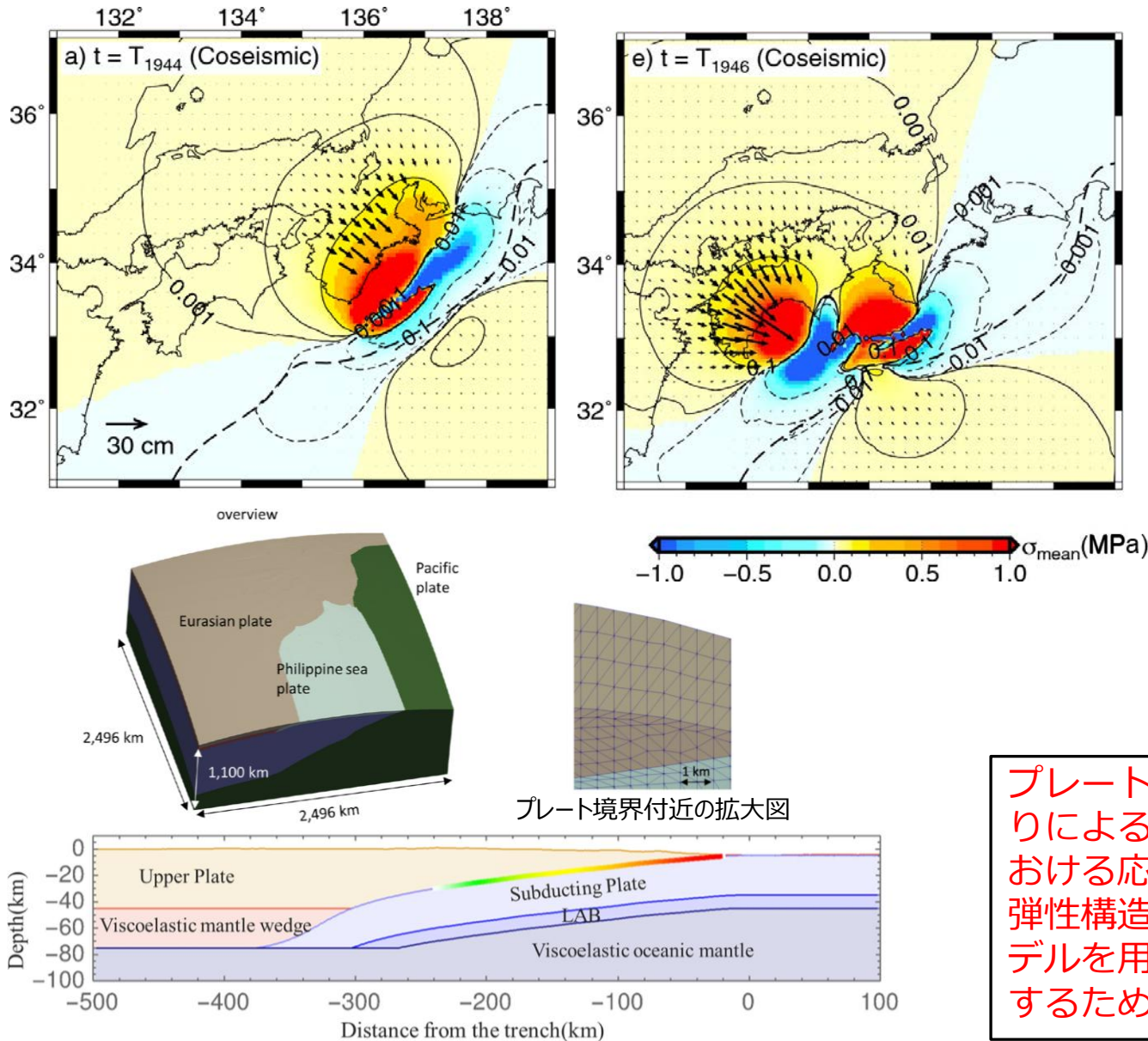


構造探査断面を参考に構築した分岐断層面。この面上でのすべりによる変位及び歪・傾斜応答グリーン関数を計算した。

現状の課題

- ✓ 3次元不均質構造モデルを用いた断層面上での応力変化は計算できていない → 断層のある場所がすべったことによる他の場所に対する影響を把握することが困難
- ✓ 粘弾性の効果が考慮されていない → 半割れや一部割れ後の推移評価を逐次行うことができない

III. プレート境界面上での応力分布評価



(左) 1944年東南海地震及び
(右) 1946年南海地震による、
深さ10kmにおける平均法線応力
変化 (Hashima et al., 2024)

現状：3次元不均質構造
を反映した有限要素法モ
デルに基づく計算では、
断層面上での応力値が数
値的に十分収束しておら
ず、断層面上や断層近傍
での応力変化を評価する
ことが困難

プレート境界断層で発生したすべ
りによる断層面上及び断層周辺に
おける応力変化を、3次元不均質粘
弾性構造に基づいた有限要素法モ
デルを用いて計算する手法を確立
するための技術開発を実施

Hashima et al. (2024) で用いられた有限要素法モデル。三次元不均質粘弾性
体を仮定し、南海トラフ沿いの巨大地震前後の西南日本広域の応力変化を計算した。

1b 陸海測地データにもとづくプレート境界の準リアルタイムモニタリング・推移評価

【目的】プレート境界の固着・すべり状態を陸海の複合測地データから時間方向にシームレスかつ準リアルタイムで把握するプロトタイプシステムを構築し、次に発生しうる地震の規模やその広がり拘束を与える。

概要

- 巨大地震震源域のプレート境界の固着・滑り状態をシームレスかつ準リアルタイムで把握するためのプロトタイプシステムの開発
- 日座標値をシームレスに繋ぎ、全ての時間帯域で高い精度で地殻変動を把握可能な技術の確立
- プレート境界面等におけるすべりによるプレート境界面上及びプレート境界周辺における応力変化や応力分布を三次元不均質粘弾性構造モデルにもとづいて計算する手法を開発

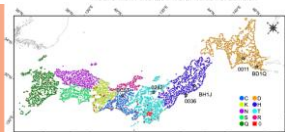
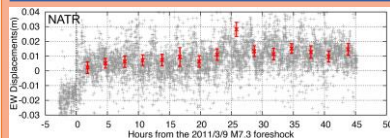
さまざまな時間帯域におけるプレート間固着・すべりの現状把握を実現、情報発信できるプロトタイプの構築

陸海測地データにもとづくプレート境界の準リアルタイムモニタリング・推移評価

I. GNSSによる地殻変動検知能力の向上

現状：巨大地震直後の地殻変動把握能力の向上が喫緊の課題。基盤観測網以外のGNSS観測網の活用も課題。

- ・ 1日以下の時間帯域におけるGNSS時系列の精度向上を目指した技術開発
- ・ 民間GNSS観測網を活用した空間解像度向上に係る技術開発

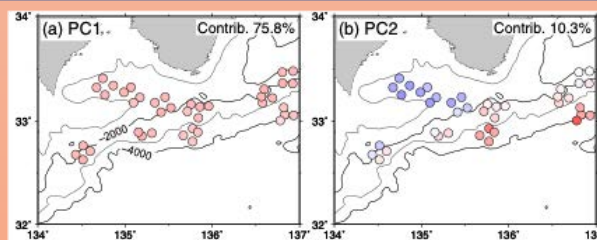


国土地理院と密接に連携、REGARDへの実装を念頭に開発

II. 海底水圧計による地殻変動検知能力の向上

現状：非潮汐海洋変動成分の分離困難性から数日から1ヶ月程度の間の地殻変動把握が低下

- ・ 非潮汐海洋変動成分を除去する技術とその準リアルタイム化に向けた技術開発

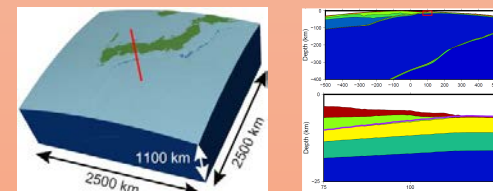


- ・ 陸海データを統合したプレート境界のすべり状態のシームレスモニタリング技術の確立

III. プレート境界面上での応力分布評価

現状：プレート境界でのすべり後の応力分布の評価が、単純な地下構造モデルでのみ可能

- ・ 三次元不均質粘弾性構造モデルに基づく応力変化計算と地震活動との比較に係る技術開発



- ・ プレート境界でのすべりによる応力変化と地震活動の変化の定量的評価の実現

期待される成果（アウトプット）

- プレート境界の準リアルタイムモニタリング能力の向上
- 国土地理院REGARDへの技術移転に必要な知見の集約
- サブサブ課題1cにおける発生シナリオ構築との連携

アウトカム

- ◆ 南海トラフ沿いの地震に関する評価検討会での情報活用
- ◆ 地震時から地震後のシームレスな地殻変動監視能力の獲得