

# 大規模並列地震波シミュレーションに基づく南西諸島における地震発生メカニズムの高精度解析

JHPCN: 学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点第12回 シンポジウム 2020年7月9日

## 研究目的

沈み込み帯に位置する日本列島では、2011年東北地方太平洋沖地震のようなプレート境界型の巨大地震が各地の海溝で発生する。ところが、フィリピン海プレートが沈み込む地域である九州から沖縄にかけての南西諸島域では、過去の地震データが充分ではないために巨大地震発生の確率を評価することが困難となっている。そのため、現代の地震観測データに基づいて地震発生場の状況を明らかにすることが重要な課題であると考えられる。

そこで本研究では、地震波波形データを用いて南西諸島域の地震の地震発生メカニズムを精密に推定し、地震発生場の状況を検討することを目的とする。そのために、これまで我々が開発してきた大規模並列時間領域差分法による地震波シミュレーションを利用する。また地震発生位置とそのメカニズムの推定では、我々が提案したFirst-motion Augmented Moment Tensor (FAMT) 解析手法による高精度化を目指す。

## 対象地域: 南西諸島

- 複雑な地球内部構造を考慮する必要
  - 沈み込むフィリピン海プレート、海洋性堆積物、陸上堆積物
  - 不規則な海底地形・海水層
- 陸海統合3次元構造モデルを利用

海域で多くの地震が発生・観測点はほとんどが陸域 (データ解析上の難点)

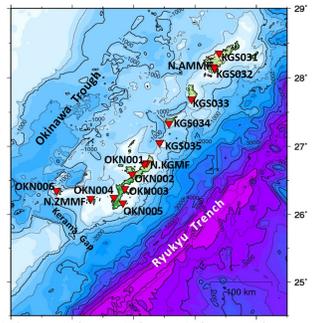


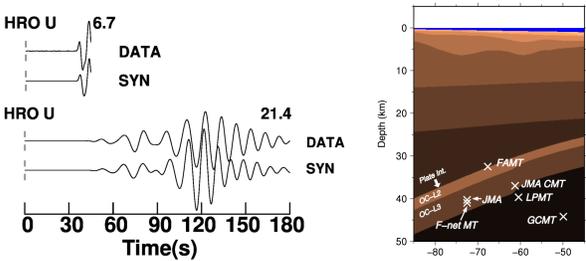
図: 南西諸島域の地形図と、本研究でデータを利用する地震観測点の例 (防災科学技術研究所 K-net、気象庁)

## FAMT解析 (Okamoto et al. 2017, 2018)

First-motion Augmented Moment Tensor Analysis

- 短周期地震波 (初動部分)
- 長周期地震波 (主に表面波)

同時に逆解析 → 海域の地震の発生位置とメカニズムの高精度推定



FAMT解析の例。対象は東北沖の日本海溝。左は波形の例 (2003年 Mw5.8の地震)。右は推定震源位置 (2007年 Mw6.1の地震)。右図で右から左にかけて沈み込んでいるのは太平洋プレートの海洋地殻。FAMT解析のみが「プレート境界型地震」の位置を太平洋プレートと陸側プレートのプレート境界に決定できている。(Okamoto et al., 2018)

## 大規模地震波シミュレーション

HOT-FDM を利用 (Nakamura et al. 2012)

- Heterogeneity, Ocean layer, Topography (3次元不均質性、海水層、不規則地形、非弾性減衰)
- 名古屋大学 Fujitsu PRIME-HPCI FX-100
- 東京工業大学 TSUBAME-3.0



## 3 南西諸島全域の地震波シミュレーション

- 1000km以上の広がりを持つ領域 → 地球の曲率の効果が必要
- そのため quasi-Cartesian 座標系の差分法スキームで計算

格子サイズ	2201×5501×1001
格子間隔	0.002° × 0.002° × 200 m
時間ステップ数	30001
時間間隔	0.01 s
ノード数	432
プロセス数	864
スレッド数	16
計算時間	7766 s (129.4 m)

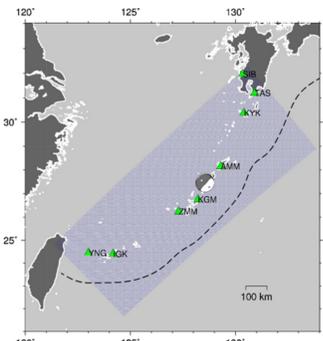


図 観測点 (緑色の三角) と震央・メカニズム。薄い青色の範囲が計算領域。

表 quasi-Cartesian 座標系差分法の計算パラメータ

## 1 先島諸島域でのFAMT解析

- 南西諸島域へのFAMT解析の適用性を検討するためのテストケース
- 2018年3月22時46分に西表島で発生した深さ15 km、 $M_{JMA}$ 5.6の地震

格子サイズ	2501 × 3501 × 601
格子間隔	100 m
時間ステップ数	16001
時間間隔	0.005 s
非弾性要素数	3
ノード数	288
プロセス数	576
スレッド数	16
計算時間	4118 s

表 差分計算のパラメータ

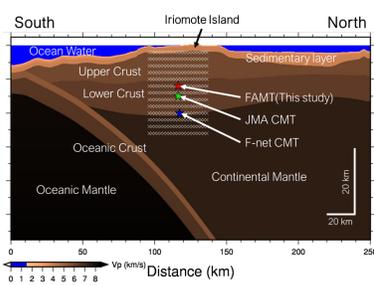


図 震源を通る南北の線に沿った鉛直断面図。白いバツ印はセントロイドの候補点。赤色、緑色、青色の星印はそれぞれFAMT, JMA, F-netによるセントロイド位置。

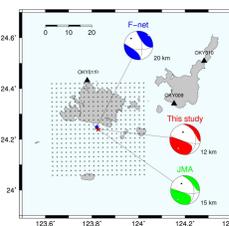


図 セントロイドの位置とメカニズム。バツ印はFAMT解析におけるセントロイドの候補点。三角形はFAMT解析に用いた観測点。赤、緑、青の星印はそれぞれFAMT、気象庁、F-netのセントロイドの位置。震源球の右下にセントロイドの深さを記述している

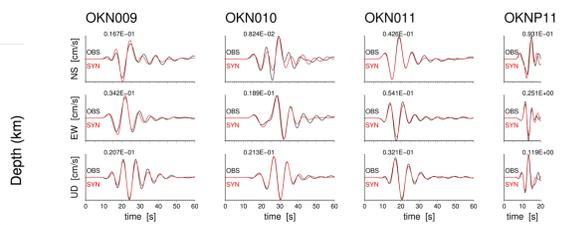


図 観測波形 (黒線) とFAMT解析により推定されたモーメントテンソルによる理論波形 (赤線)。観測波形の特徴が理論波形より良く再現された。

【結果】3次元不均質構造のもとで、観測点に比較的に近い地震に対してFAMT解析が良好な結果を与えることを確認

## 2 沖縄本島近海域でのFAMT解析

- 沖縄本島近海の地震発生場を検討
- 同海域で発生した7つの地震についてFAMT解析を実施
- 気象庁一元化震源の震央に固定して震源深さとメカニズムを推定

格子サイズ	3601×3401×801
格子間隔	100 m
時間ステップ数	24001
時間間隔	0.005 s
ノード数	432
プロセス数	864
スレッド数	16
計算時間	6829 s (113.8 m)

表 差分計算のパラメータ

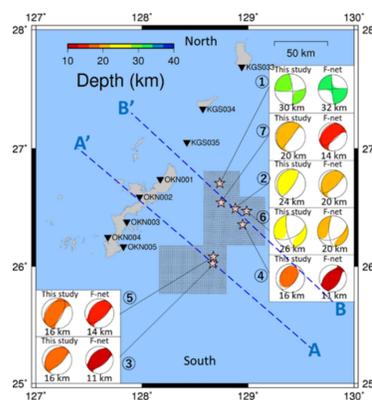


図 沖縄本島沖でのFAMT解析の格子探索領域 (深さ方向は6kmから40kmまで) と、セントロイド震源位置・メカニズム。メカニズムの下の数字はセントロイド震源の深さ。各イベントについて左側にFAMT解析によるメカニズム解を、右側に防災科研のF-netによるメカニズム解をそれぞれ示した。

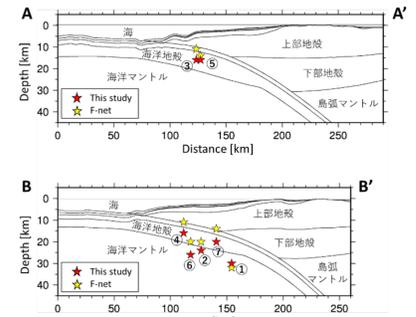


図 鉛直断面におけるセントロイド震源の位置。赤星はFAMT解析による、黄色星はF-netによるセントロイド震源。

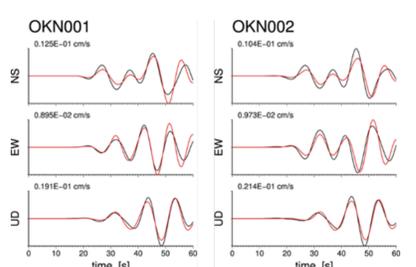


図 イベント⑤の観測波形 (黒線) と計算波形 (赤線)。

【結果】3次元構造モデルで解析した本研究の方が震源推定値が深くなる。特にイベント①と⑥では震源が海洋マントル内に推定された。これはこの地域の応力状態を考えるうえで興味深い結果である。

## 4 感度カーネル

構造モデル改良に向けた地震波伝播状況の考察

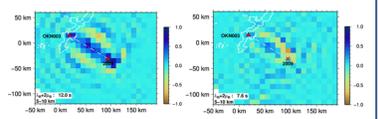


図 感度カーネルの例。EV2009-OKN003間での、P波に対応する弾性率の規格化した感度カーネル。左が周期12.0秒、右が周期7.6秒。

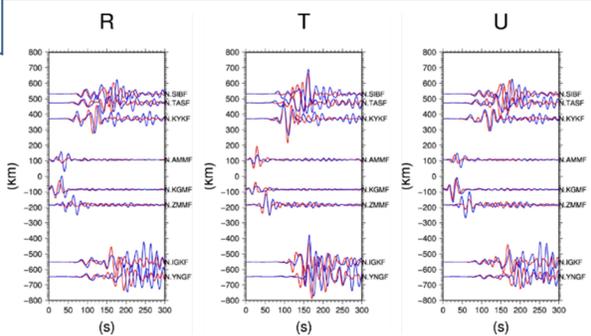


図 周期20~50秒におけるRadial, Transverse, UD成分の観測波形 (青線) と計算波形 (赤線)。震央より東側を正、西側を負の距離で表す。振幅に震央距離を乗じている。

【結果】遠方 (≥300km) では200秒以降の大きな後続波群が計算波形で再現されていない。これは海溝に沿って広がる付加体モデルに改良が必要であることを意味するのかもしれない。

【結果】フォワード計算と相反計算波動場の結果から感度カーネルを多数計算し、比較的に短距離でも空間パターンが非対称になるなどの3次元効果を確認した。