

12-9 リアルタイム GNSS 解析による地震像の即時把握

Rapid estimation of finite-fault models using real-time GNSS analysis for large earthquakes

村松弘規 (国土地理院) ・ 太田雄策 (東北大学大学院理学研究科)

Hiroki Muramatsu (Geospatial Information Authority of Japan) and

Yusaku Ohta (Graduate School of Science, Tohoku University)

1. はじめに

国土地理院は、全国約 1300 点の電子基準点から得られたリアルタイムデータを解析し、得られた各電子基準点の変位量から震源断層モデルを推定する REGARD (電子基準点リアルタイム解析システム: Real-time GEONET Analysis system for Rapid Deformation Monitoring) を運用している。本システムは、2011 年 (平成 23 年) 東北地方太平洋沖地震を契機に東北大学との共同研究により開発が行われ、2012 年に東日本の電子基準点を使用するプロトタイプシステムの運用開始、過去に発生した巨大地震時のデータを用いた精度検証を経て、2016 年より全国の電子基準点を使用する本システムが稼働した。災害発生後、数分で地殻変動量や震源断層モデル (モデルから計算された M_w (モーメントマグニチュード) を含む) を計算し、関係機関へ送付し、災害時の初動対応等に役立てることが本システムの目的である。一般に、巨大地震の規模を短周期地震計から推定した場合、 M_w が 8 を超えるような巨大地震の場合に地震規模の過小評価が生じる。一方、永久変位成分を観測量とする GNSS の場合、これらの過小評価は原理的に生じない。すなわち巨大地震の地震規模推定という観点で GNSS には優位性がある。

なお、REGARD におけるインバージョンは、単一矩形断層モデルとすべり分布モデルの 2 種類の手法を用いる¹⁾。前者は、日本全国を対象に、震源位置毎に事前設定した震源メカニズムを拘束条件として 1 枚の断層を推定する手法で、後者は、震源が特定のプレート境界の範囲内にある場合にのみ推定が実施され、三角形のメッシュで近似したプレート境界面におけるすべり量を推定する。

本発表では、REGARD の運用開始から 5 年が経過したことを踏まえ、これまでに推定した地殻変動・震源断層モデル等の実績や課題について報告する。

2. REGARD が捉えた地殻変動

REGARD の運用開始以降、本システムが捉えた最大の地殻変動は 2016 年 (平成 28 年) 熊本地震によるもので、発生から 2 分程度で電子基準点「長陽」(熊本県) で水平約 96cm の地殻変動を観測した (第 1 図)²⁾。地震規模は M_w 6.96 と推定され、観測された地殻変動に対する、震源断層モデルの再現性を示す VR (Variance Reduction) は 96 % と高く、地殻変動量、断層モデルともに GEONET の定常解析を用いた結果と整合的であった。 M_w 7 程度の地震であっても、地殻変動を捉えられれば断層推定が可能であることが示唆された。

2016 年 4 月から 2021 年 5 月末まで、GEONET が地殻変動を捉えた地震は 18 回に達した。このうち半数程度は REGARD により電子基準点の変位をリアルタイムに捉えることができた。その量は最小で 1.1 cm であり、小さな地殻変動であっても REGARD でリアルタイムに把握しうることが示唆された。一方、同程度の地殻変動であっても、REGARD で捉えることができないものもあ

り、小さな地殻変動を捕捉できるかどうかは震源と電子基準点との位置関係や、震源近傍の電子基準点の観測環境等も影響すると推測された。

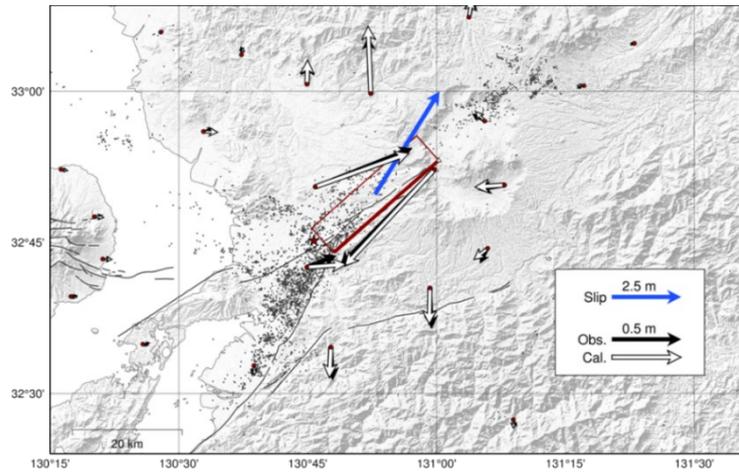
また、推定された震源断層モデル（単一矩形断層モデル）については、VR が低いモデルが多かった。これは、観測された地殻変動量が小さく、GNSS 観測点におけるシグナルーノイズ比が低いために、VR を上昇させることができなかったことが原因と考えられる。一方で、REGARD は地震規模にかかわらず緊急地震速報をトリガーとして断層推定を実行するが、小規模な地震に対して VR が 80 % を超える断層モデルを推定した事例が 5 年間の運用の中で十数例発生した。同事例は、基線解析の固定点で見られたノイズが全点に影響してしまい、地震発生時に固定点の変位を全電子基準点の変位と誤って捕捉してしまうことなどが原因として挙げられる。こうした事象を防ぐために、複数固定点を用いた解析や、断層推定時の並進パラメータの除去を実装しているものの、根本的な解消には達しておらず、今後、PPP（精密単独測位）の導入による固定点の影響の回避などの、より堅牢な解析方法の検討が課題である。

3. REGARD の高度化に向けて

国土地理院と東北大学は、前述したリアルタイム解析に対する PPP の導入に加え、より高精度で信頼性の高いインバージョンを実施するための検討を続けている。現在の矩形断層モデルは、非線形の最小二乗法により断層パラメータを推定するため、初期値依存性が高く、多様な震源断層モデルの推定が難しい。そこで、MCMC 法を用いた矩形断層モデルを、高速で推定する手法を開発し³⁾、REGARD に試験実装している。MCMC 法を用いることで、各断層パラメータの事後確率分布が計算されるため、分布からインバージョン結果の信頼性の評価や、多様な震源断層モデルの存在可能性を認識することができる（第 2 図）。

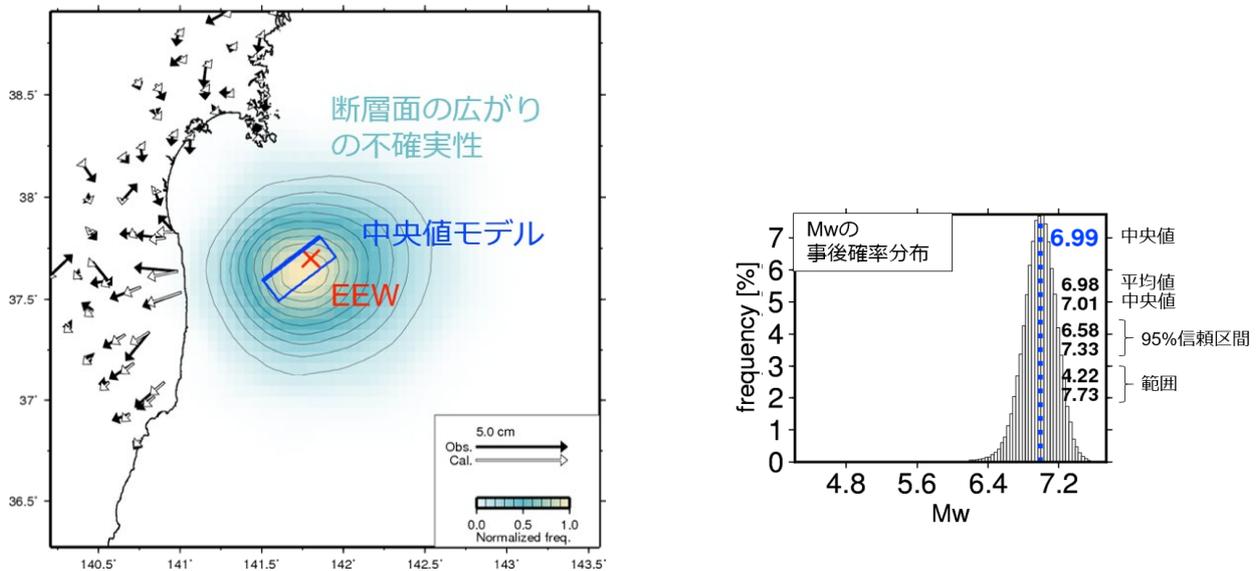
参考文献

- 1) Kawamoto et al. (2017), *JGR Solid Earth*, **122**. REGARD: A new GNSS-based real-time finite fault modeling system for GEONET.
- 2) Kawamoto et al. (2016), *Earth Planets Space*, **68**. First result from the GEONET real-time analysis system (REGARD) : the case of the 2016 Kumamoto earthquakes.
- 3) Ohno, Ohta et al. (2021), *Earth Planets Space (in press)*, Real-time automatic uncertainty estimation of coseismic single rectangular fault model using GNSS data.



第 1 図 2016 年（平成 28 年）熊本地震における，発生から 343 秒後の変動ベクトル図（水平成分）及び震源断層モデル（単一矩形断層モデル）²⁾。

Fig. 1 Finite-fault model estimated by REGARD 343 seconds after 2016 Kumamoto Earthquake occurred ²⁾ .



第 2 図 MCMC 法による矩形断層モデル推定結果の例（2021 年 2 月 13 日 福島県沖の地震（M7.3））。左図は推定された断層面をプロットし，メッシュに区切り頻度を計算し，最大度数で正規化したものであり，断層面の広がり不均質性を示す。中央値モデルは各事後確率分布の中央値から得られた断層モデル。

Fig. 2 Finite-fault model estimated by REGARD using MCMC for the earthquake (M7.3) on 2021-02-13.