

平成 30 年北海道胆振東部地震の震源断層モデル Fault model of the 2018 Hokkaido Eastern Iburi Earthquake

地理地殻活動研究センター 小林知勝・矢来博司・山田晋也
Geography and Crustal Dynamics Research Center
KOBAYASHI Tomokazu, YARAI Hiroshi and YAMADA Shinya

要 旨

平成30年北海道胆振東部地震では、国土地理院が運用するGEONETやだいち2号の干渉SARにより、地震に伴う地殻変動が捉えられた。これらの地殻変動に基づき、震源断層モデルの推定を行った。モデル計算の結果、断層面は震央付近より南に10kmほど延び、石狩低地東縁断層帯より東側に求められた。断層面はほぼ南北走向で傾斜角が74度であり、東に傾斜する断層面上での逆断層運動が推定された。すべり量は約1.3mであり、推定された地震規模はモーメントマグニチュードで約6.6であった。断層面上端及び下端の深さはそれぞれ約16 km, 約31kmであり、日本の内陸地震の一般的な地震発生層より有意に深い位置で断層すべりが生じている。震源断層モデルは、地震調査委員会や地震予知連絡会に報告され、北海道胆振東部地震の地震活動の評価や検討に活用された。

1. はじめに

「平成30年北海道胆振東部地震」(以下「胆振東部地震」という。)の震源域近傍には、地震調査研究推進本部地震調査委員会が長期評価を行った石狩低地東縁断層帯が分布している(地震調査研究推進本部地震調査委員会, 2010)。胆振東部地震の震央は、当該断層帯南部の東側に位置しており、断層帯との関係を把握することは、地震活動の評価や未活動区間への影響の検討を行う上で重要である。胆振東部地震では、国土地理院が運用するGNSS連続観測システム(以下「GEONET」という。)及び陸域観測技術衛星「だいち2号」(以下「だいち2号」という。)によって地殻変動が捉えられた(本特集号:田村ほか, 2019; 本田ほか, 2019)。国土地理院は、これらの地殻変動に基づいて震源断層モデルの推定を行い、その結果を地震調査委員会や地震予知連絡会等に報告した(国土地理院, 2018a; 国土地理院, 2018b)。これらの震源断層モデルは、地震活動の評価や検討に活用された。本稿では、これら地殻変動から推定された震源断層モデルについて報告する。

2. データと解析手法

GNSS (GEONET) 及び SAR (だいち 2 号) で観

測された地殻変動を基に震源断層モデルを推定した。モデル計算に使用する GNSS 及び SAR の地殻変動の詳細は、本特集号にある田村ほか (2019) 及び本田ほか (2019) をそれぞれ参照されたい。本章では、モデル計算に係るデータ処理について詳述する。

モデル計算では、GEONET の定常解析の最終解 (F3 解) を用いた (中川ほか, 2009)。図-1に見られるように、この地震に伴い苫小牧観測点で東方向へ約 4cm 変位する等、震央周辺の観測点で地殻変動が観測されたが、電子基準点「門別 (950141)」及び「厚真 (950132)」では、地震に伴いピラーが傾斜したことが現地観測により分かっている。そこで本解析では、傾斜測定の結果から推定される見かけの変位を補正してモデル計算に利用した。観測値に加えた補正は表-1 のとおりである。さらに、モデル計算ではこれらの観測点の重みを軽くした。

表-1 GEONET 観測点の補正量

観測点	方位角 (°)	補正量 (mm)
門別	20	14
厚真	290	19

干渉 SAR のデータについては、南行右観測及び北行左観測の軌道から撮像した 2018 年 8 月 23 日と同年 9 月 6 日の画像ペア (図-2a 及び図-2d)、北行右観測の軌道から撮像した 2018 年 8 月 25 日と同年 9 月 8 日の画像ペア (図-2g) を使用した。モデル計算ではこれらの干渉 SAR データを位相連続化した後、Quadtree Decomposition アルゴリズム (Jónsson et al., 2002) を適用して、データをリサンプリングし、モデル計算に適したデータセットを作成した。

上記のGNSS及びSARデータを用いて、1枚の矩形断層における一様滑りを仮定した震源断層モデルを構築した (Okada, 1985)。震源断層の各パラメータは、Simulated Annealing法による解探索から最適解を得た (Kobayashi et al., 2012)。また、各変数の誤差推定にはブートストラップ法を適用した (Efron, 1979)。

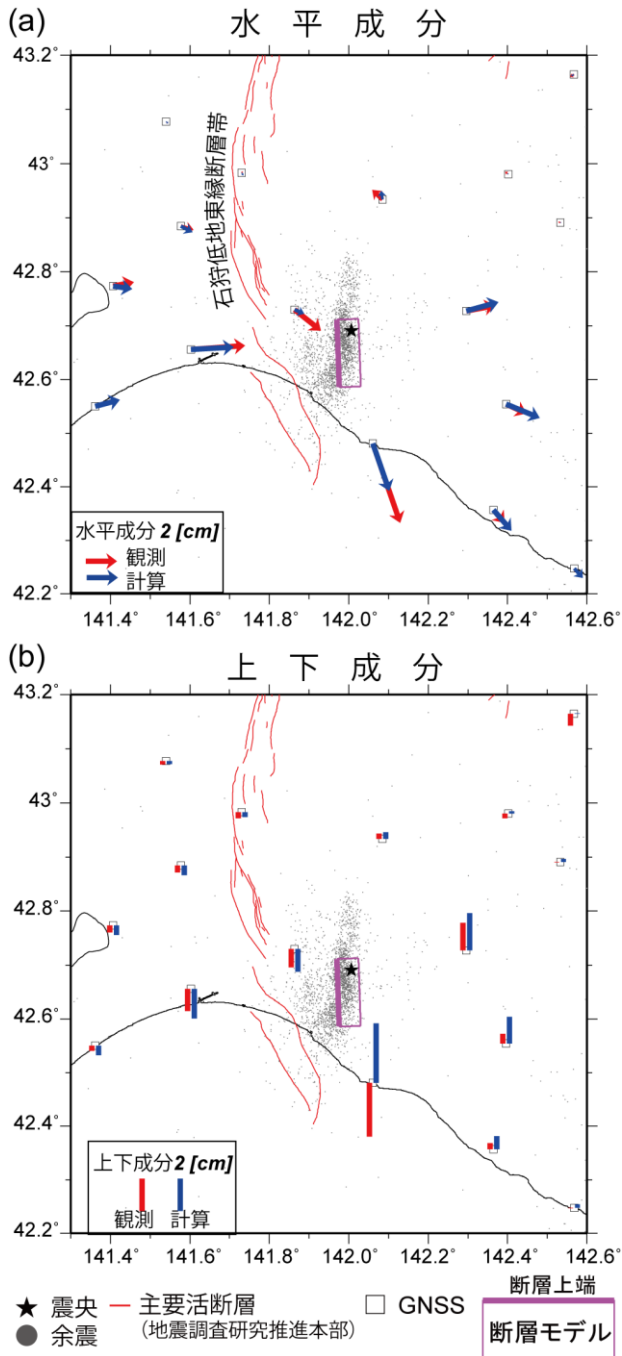


図-1 GNSSデータの観測値と計算値。(a)水平成分,(b)上下成分.赤色及び青色はそれぞれ,観測値及びモデルからの計算値を示す.★印は震央,灰色の点は余震分布.矩形は震源断層モデルを地表に投影した位置で,太い実線が断層上端.

3. 震源断層モデル

モデル計算の結果得られた震源断層パラメータを表-2に示す.断層の位置は断層面の左上端を示し,()内は誤差である(1 σ).計算により推定された断層面の地表への投影位置を,図-1及び図-2の矩形で示す.断層は震央付近から南に約10km延び,ほぼ

南北の走向を持つ.断層の上端深さは約16kmであり,一般的な内陸の地殻内地震より深い位置に断層面が求まっているのが特徴である.傾斜角は74度と高角の断層面であり,東に傾斜する断層面上での逆断層運動が推定された.これら震源断層モデルの諸特徴を概念図として図-3に示す.すべり量は約1.3mで,地震モーメントは 8.68×10^{18} Nm (モーメントマグニチュード (M_w):6.56)である.これは,気象庁や防災科学技術研究所等の各機関で地震波形から推定されたマグニチュード(いずれも M_w 6.6)と調和的である.なお,地震モーメントの計算には,剛性率30 GPaを仮定した.

4. 地理院地図における表示

本地震においては,推定された断層面や本震及び余震の震源を地理院地図上に表示することが可能となっており(図-4),3D表示の機能を利用すれば,推定断層面と震源分布の3次元的な位置関係を見ることができる(図-4b).3D表示機能を使えば,マウス操作により視点を自由に変えることで,主要な断層滑りが震源より浅い位置に推定されていること等が簡便に視認できる.

5. まとめ

GNSS (GEONET) 及びSAR (だいち2号)で観測された地殻変動を基に,矩形断層一様すべりを仮定した震源断層モデルを推定した.その結果,ほぼ南北走向の東に傾斜する高角な断層面上における逆断層運動が推定された.断層の上端は,深さ約16km(断層下端:約31km)であった.推定された地震モーメントは 8.68×10^{18} Nm (モーメントマグニチュード:6.56)であった.

謝辞

本研究で用いたALOS-2データは,地震予知連絡会SAR解析ワーキンググループ(地震WG)を通じて,(国研)宇宙航空研究開発機構(JAXA)から提供を受けました.原初データの所有権はJAXAにあります.また,本研究では,気象庁が大学や国立研究開発法人防災科学技術研究所等の関係機関から地震観測データの提供を受け,文部科学省と協力して整理した震源分布データを使用しました.図の作成にはThe Generic Mapping Tool (GMT)ソフトウェア(Wessel and Smith, 1998)を使用しました.

(公開日:令和元年12月27日)

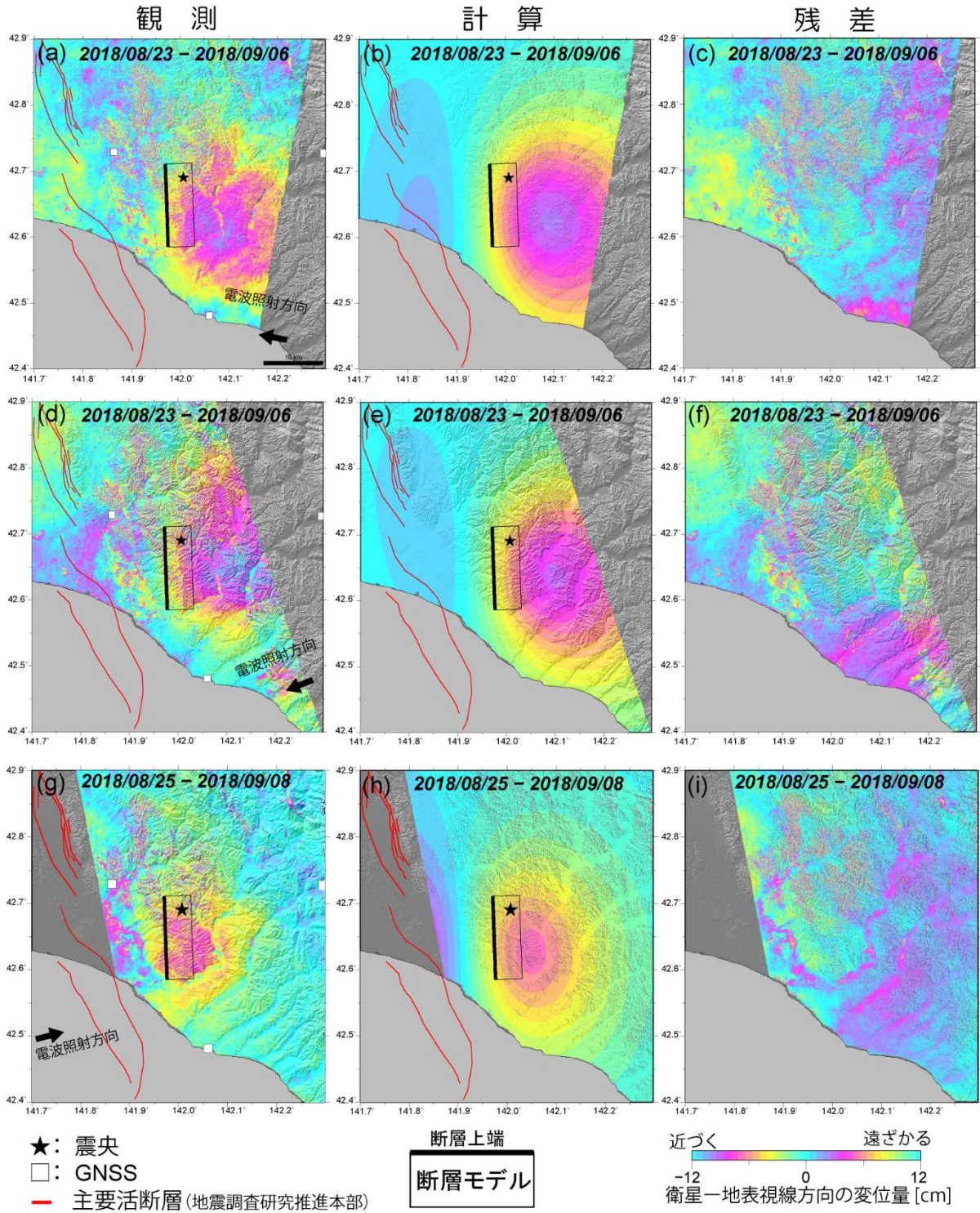


図-2 干渉 SAR 画像の (左) 観測値, (中) 計算値, (右) 残差.(a)2018 年 8 月 23 日と 2018 年 9 月 6 日のペア (南行右観測) による干渉 SAR 画像.(b)モデルから予想される(a)のペアの計算値.(c)(a)と(b)の残差.(d) 2018 年 8 月 23 日と 2018 年 9 月 6 日のペア (北行左観測) による干渉 SAR 画像.(e)モデルから予想される(d)のペアの計算値.(f)(d)と(e)の残差.(g) 2018 年 8 月 25 日と 2018 年 9 月 8 日のペア (北行右観測) による干渉 SAR 画像.(h)モデルから予想される(g)のペアの計算値.(i)(g)と(h)の残差.

表-2 震源断層モデルパラメータ

経度 [°]	緯度 [°]	上端深さ [km]	長さ [km]	幅 [km]	走向 [°]	傾斜 [°]	滑り角 [°]	滑り量 [m]	M_w
141.976 (0.021)	42.586 (0.017)	16.2 (1.7)	14.0 (3.9)	15.9 (3.5)	358 (3.5)	74 (4.4)	113 (7.2)	1.3 (0.4)	6.56

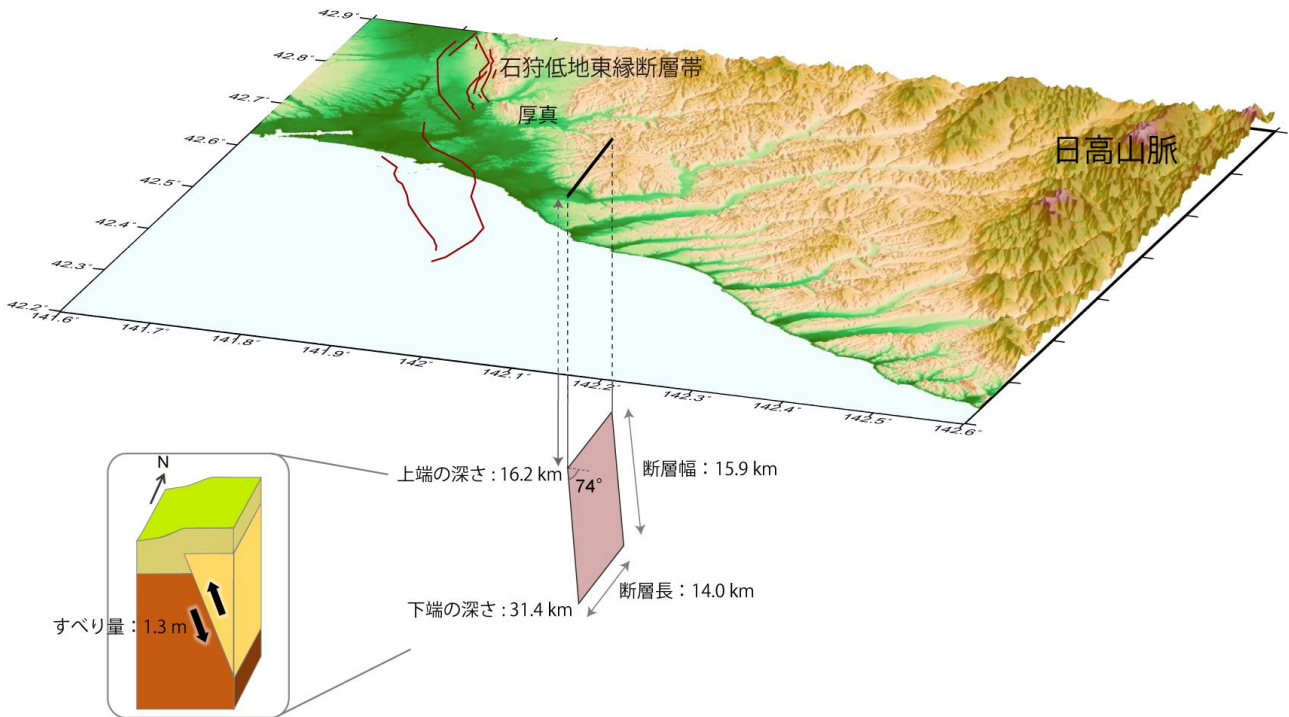


図-3 推定された震源断層の概念図

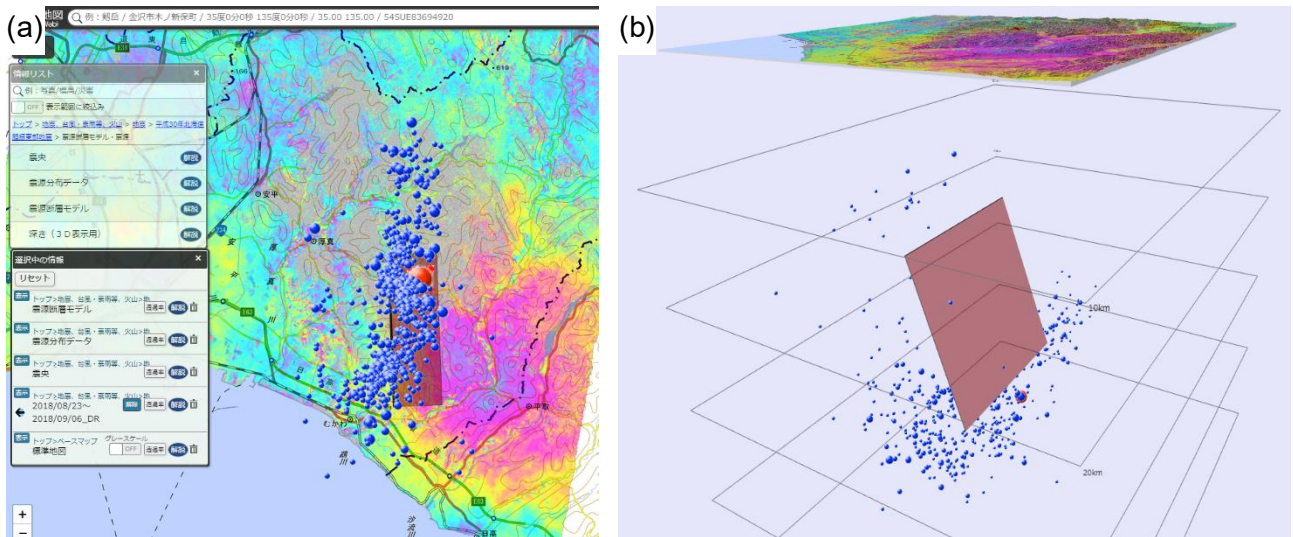


図-4 (a) 地理院地図における断層面と震源の表示.赤い矩形は推定された断層面を示す.赤丸及び青丸はそれぞれ、本震及び余震（本震後から同年9月11日までに発生したM2以上の地震）の震源を示す. (b) 3D表示の一例.

参考文献

- Efron B (1979): Bootstrap methods: another look at the jackknife. *Ann Statis* 7:1–26.
- 本田昌樹, 岩田昭雄, 山下達也, 林京之介, 桑原將旗, 酒井和紀, 宗包浩志, 住谷勝樹, 堤隆司, 加古考範, 齋田宏明, 矢来博司, 小林知勝, 森下遊 (2018): 平成30年北海道胆振東部地震における SAR 干渉解析及び基準点復旧測量, *国土地理院時報*, 132, 41–49.
- 地震調査研究推進本部地震調査委員会 (2010): 石狩低地東縁断層帯の評価 (一部改訂), 34p.
- Jónsson S, Zebker H, Segall P, Amelung F (2002): Fault slip distribution of the 1999 Mw 7.1 Hector Mine, California, earthquake, estimated from satellite radar and GNSS measurements. *Bull Seismol Soc Am* 92:1377–1389.
- 国土地理院 (2018a): 平成30年北海道胆振東部地震の震源断層モデル (暫定), 平成30年北海道胆振東部地震の評価 (地震調査研究推進本部地震調査委員会), https://www.static.jishin.go.jp/resource/monthly/2018/20180906_iburi_3.pdf.
- 国土地理院 (2018b): 平成30年北海道胆振東部地震の震源断層モデル (暫定), 第221回地震予知連絡会資料, <http://cais.gsi.go.jp/YOCHIREN/activity/221/image221/028-031.pdf>.
- Kobayashi T, M. Tobita, M. Koarai, T. Okatani, A. Suzuki, Y. Noguchi, M. Yamanaka and B. Miyahara (2012): InSAR-derived crustal deformation and fault models of normal faulting earthquake (Mj 7.0) in Fukushima-Hamadori area. *Earth Planets Space* 64:1209–1221. doi:10.5047/eps.2012.08.015.
- 中川弘之, 豊福隆史, 小谷京湖, 宮原伐折羅, 岩下知真子, 川元智司, 畑中雄樹, 宗包浩志, 石本正芳, 湯通堂亨, 石倉信広, 菅原安広 (2009): GPS 連続観測システム (GEONET) の新しい解析戦略 (第4版) によるルーチン解析システムの構築について, *国土地理院時報*, 118, 1–8.
- 田村孝, 川元智司, 三浦優司, 阿部聡, 真野宏邦, 横川薫, 塩谷俊治, 浅谷将士, 黒石裕樹 (2018): GEONETによる平成30年北海道胆振東部地震に伴う地殻変動, *国土地理院時報*, 132, 63–68.
- Okada, Y (1985): Surface deformation due to shear and tensile faults in a halfspace, *Bull Seismol Soc Am*, 75, 1135–1154.
- Wessel, P. and W.H.F. Smith (1998): New, improved version of Generic Mapping Tools released, *EOS Trans. Am. Geophys. Union*, 79, 579.