11 － 9　2024 年日向灘地震とその余効すべりの過程に沈み込んだ海山が与えた影響について
Coseismic Slip and Early Afterslip of the 2024 Hyuganada Earthquake Modulated by a Subducted Seamount

東京大学 地震研究所
Earthquake Research Institute, The University of Tokyo

海山等の沈み込みによりプレート境界断層面の形状が滑らかでない場合，その場の応力場が複雑になる [1]．具体的には，海山のない滑らかなプレートの沈み込みの場合と比べ，海山の深部延長でせん断応力が強化され，海山の直上から深部にかけて垂直応力も大きく増加する．このことは，海山とその周辺で生じる地震性や非地震性すべりの挙動が複雑化することを示唆している．日向灘には九州・パラオ海嶺がフィリピン海プレートとともに沈み込んでおり，2024 年日向灘地震は，RTP 磁気異常から推定された局所的な海山の深部延長 [2,3]，かつプレート境界周辺の地震波低速度域として推定された広域の海山分布範囲内 [4] で生じた地震のため（第 1 図），その地震時すべりと余効すべりを推定することで，現実の海山が地震性や非地震性すべりへ与える影響を検証することができる．

国土地理院 GEONET の GNSS 観測点における地震時と地震後 1 週間の地殻変動から，プレート境界上の地震時すべりと余効すべりを推定した（第 2 図）．地震時すべりの大半が，RTP 磁気異常から推定される沈み込んだ海山の深部延長に推定された．本震のすべり域の地震間のすべり欠損速度は非常に低い [5] が，測地解析で解像できない小さな固着域が，海山の沈み込みにより強化されたせん断応力下で破壊することで本震が発生したと考えられる．推定された地震時すべり域は 1996 年 10 月と 12 月の日向灘地震のすべり域と重ならなかった [6]．主な余効すべり域は地震時すべり域の浅部延長に推定され，海山と重なった．海山が安定すべりを好む力学特性を持つというモデルと調和的である [7]．ただし，余効すべりを推定する際に，地震時すべりのピーク領域ですべりが生じないという拘束を付した．これを付さない場合，地震時すべりと余効すべりのピークが重なってしまい，摩擦則及び他の地震からの経験則 [8,9] を満たさないため，拘束を付した解を採用した．

余震の活動活発化のタイミングが余効すべりフロントの拡大過程を示すと仮定 [10] し，本震の大すべり域の浅部延長領域で生じた余効すべりと余震の発生タイミングを比較したところ，浅部の余震クラスター（AF3，AF4）の活動が加速するタイミングが近接していた（第 3 図）．これらの震央距離は 15km から 20km 程度違っており，フロントの拡大速度が方位によって異なる可能性がある．AF4 へ余効すべりフロントが至るためには，RTP 磁気異常から推定された局所的な海山を通過する必要はないが，海山の浅部延長に位置する AF3 へ余効すべりフロントが至るにはすべりが海山を通過する必要がある．このことは，海山の深部延長から頂点にかけての高い法線応力でフロントの拡大速度が下がったこと [11] を示唆している．また，本震のすべり域と余効すべり域の間に小さな空白域が推定された（第 2 図）．この空白域における 2024 年の地震前の通常地震活動やスロー地震活動は周辺領域よりも低調で，すべり欠損速度も著しく小さい．これらの観測結果はこの領域の断層の力学特性が著しく安定であることを示唆する．これらのすべりの特徴は，海山の沈み込んだ領域に 10-20km の波長での断層の力学特性の不均質分布が存在していることを示唆している．

本報告の内容は地震直後に得られた解析結果を基にしている．より長期間の余効変動の解析や，

海域観測網を用いて網羅的に検出し再決定された余震カタログを用いることで，解釈が変わり得ることを述べておく．本報告の内容は学術論文として Geophysical Research Letters へ報告済みである[12]．

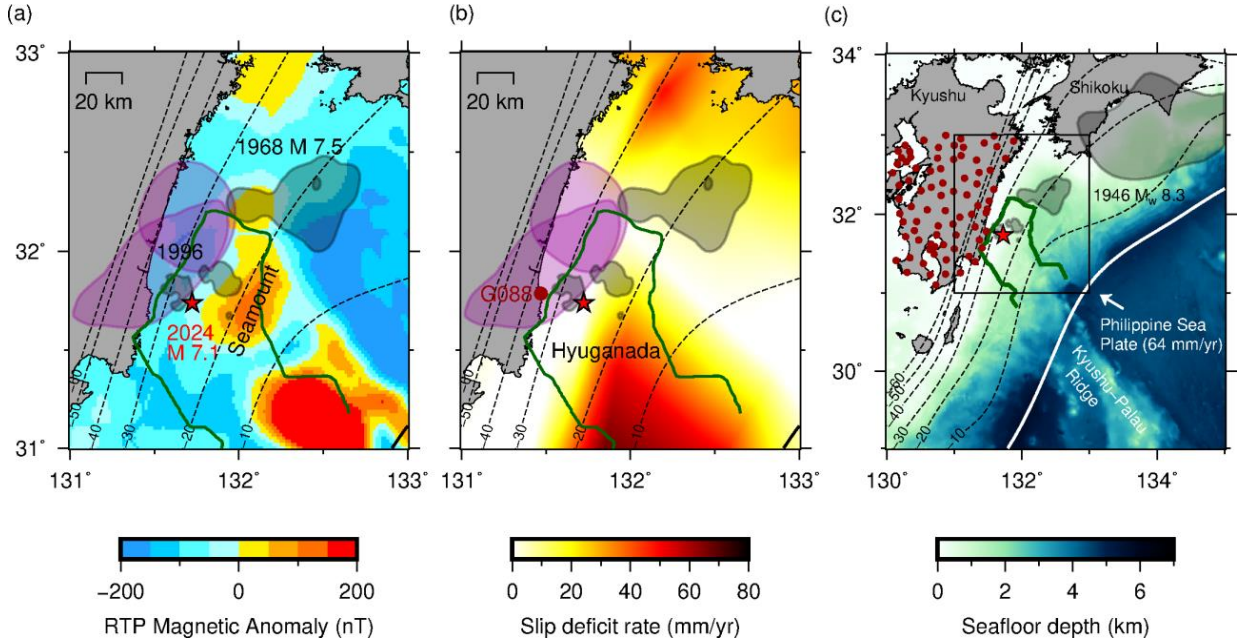
（伊東　優治）
ITOH Yuji

謝辞

本研究で使用した GNSS データは Nevada Geodetic Laboratory で解析されたものです．また，気象庁の震源情報を使用しました．西村卓也，八木勇治，岡田悠太郎，新井隆太の各氏から出版済みの結果を提供していただきました．スロー地震データベース（http://www-solid.eps.s.u-tokyo.ac.jp/~sloweq/）や SRCMOD（https://equake-rc.info/srcmod/）から過去の地震のすべり分布やスロー地震の震源情報を取得しました．

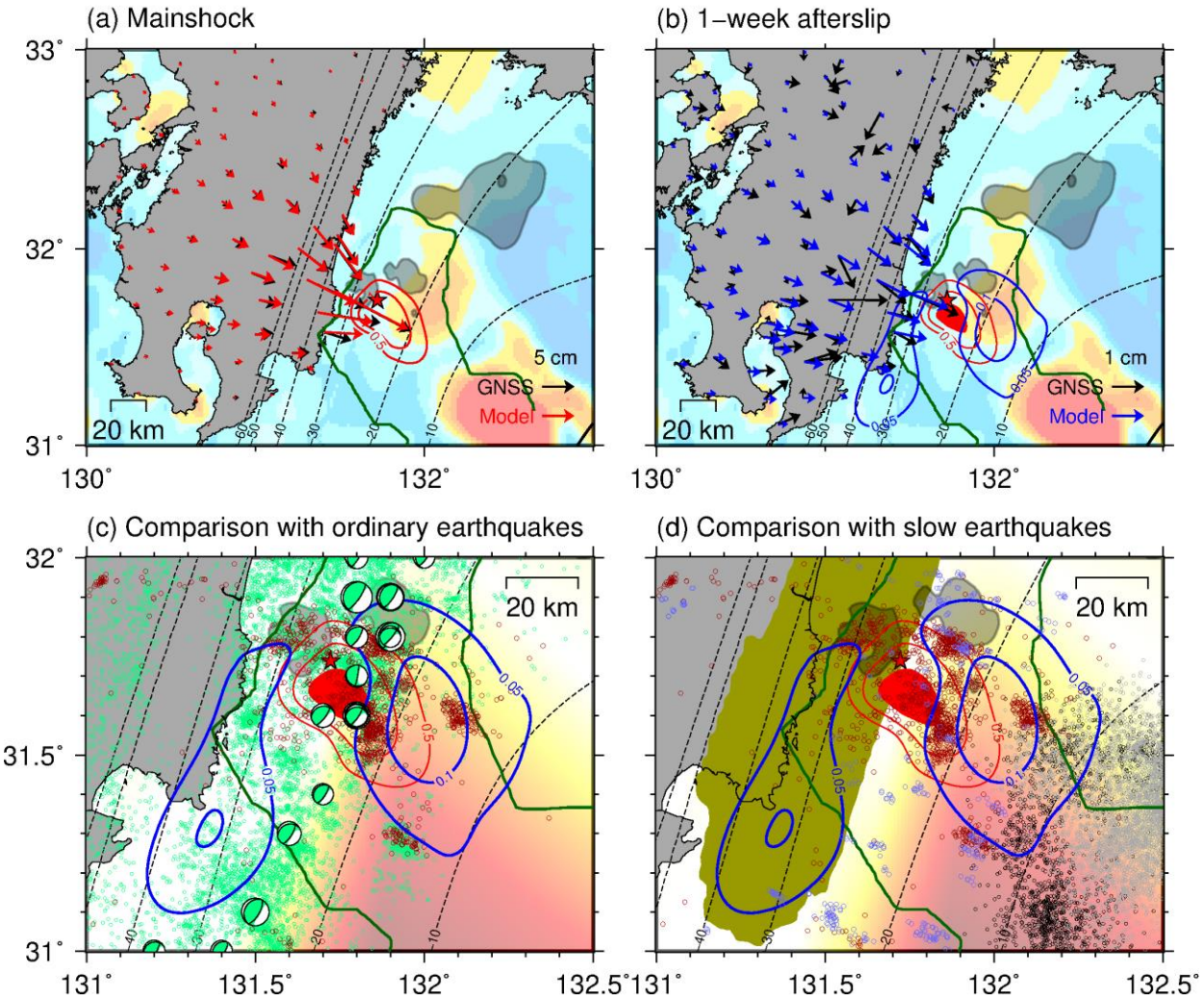
参考文献

1) Sun et al. (2020), *Nat. Geosci*., **13**, 249-255. Mechanical and hydrological effects of seamount subduction on megathrust stress and slip.
2) Arai et al. (2023), *Nat. Comm*., **14**, 5101. Upper-plate conduits linked to plate boundary that hosts slow earthquakes.
3) 沖野郷子 (2015), *地学雑誌* , **124**, 729-747. フィリピン海の磁気異常とテクトニクス .
4) Yamamoto et al. (2013), *Tectonophys.*, **589**, 90-102. Imaging of the subducted Kyushu-Palau ridge in the Hyuga-nada region, western Nankai trough subduction zone.
5) Nishimura et al. (2018), *Geosphere*, **14**, 535-551. Strain partitioning and interplate coupling along the northern margin of the Philippine Sea Plate, estimated from Global Navigation Satellite System and Global Positioning System-Acoustic data.
6) Yagi et al. (1999), *Geophys. Res. Lett*., **26**, 3161-3164. Comparison of the coseismic rupture with the aftershock distribution in the Hyuga-nada earthquakes of 1996.
7) Wang and Bilek (2011), *Geology*, **39**, 819-822. Do subducting seamounts generate or stop large earthquakes?
8) Scholz (1998), *Nature*, **391**, 37-42. Earthquakes and friction laws.
9) Miyazaki et al. (2004), *Geophys. Res. Lett*., **31**, L06623. Space time distribution of afterslip following the 2003 Tokachi-oki earthquake: Implications for variations in fault zone frictional properties.
10) Perfettini et al. (2018), *Geophys. Res. Lett*., **45**, 2283-2293, A model of aftershock migration driven by afterslip.
11) Ariyoshi et al. (2019), *Tectonophys*, **767**, 128151, Quantitative relationship between aseismic slip propagation speed and frictional properties.
12) Itoh (2025), *Geophys. Res. Lett*., **52**, e2024GL112826, Coseismic slip and early afterslip of the 2024 Hyuganada earthquake modulated by a subducted seamount.



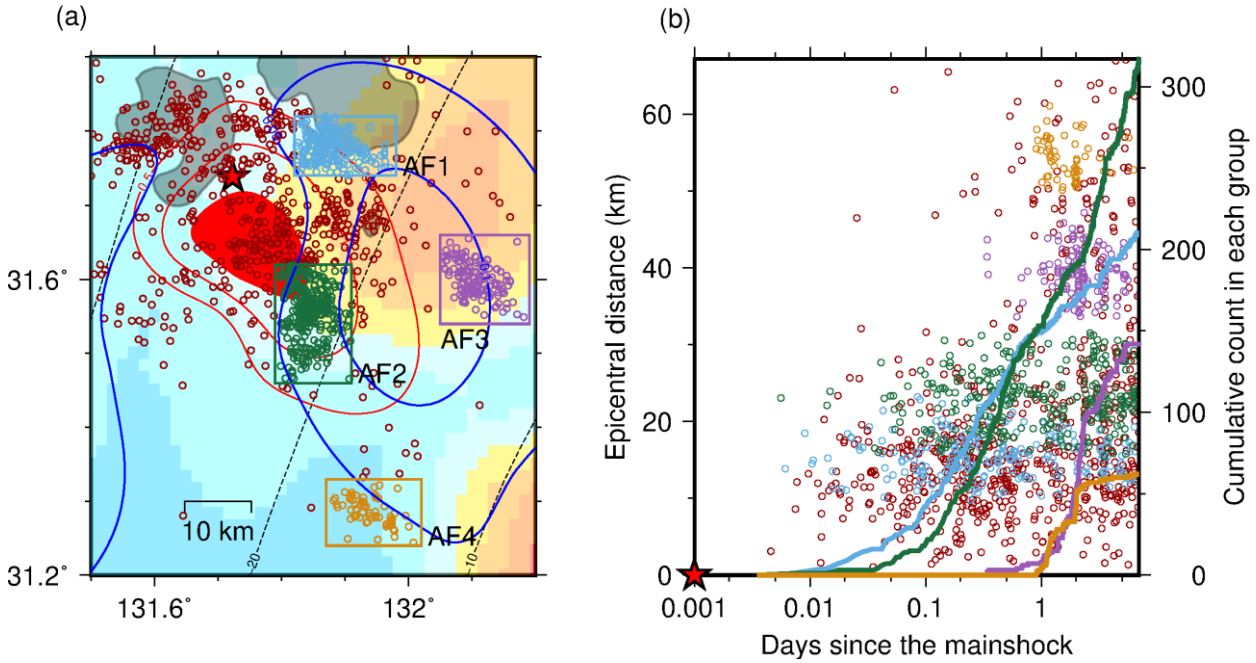
第 1 図　(a) RTP 磁気異常．暖色の濃い部分が沈み込んだ海山の位置を表すと考えられる．灰色の領域は過去の大きな地震の主要なすべり域を表す．1996 年の地震は 10 月（Mw 6.8, 右）と 12 月（Mw 6.7, 左）の 2 回起きた．紫色の閉曲線は 1996 年の地震で生じた主要な余効すべり域を表す．緑色の曲線はプレート境界付近の地震波低速度域を描いており，沈み込んだ海山の存在範囲と解釈されている．波線は沈み込んだプレートの上面深さを示している．(b) プレート境界の断層の長期的なすべり欠損速度を表す．(c) 海底面の深さ．フィリピン海プレート上（白い曲線の右下側）の地形の高まりが沈み込む前の九州・パラオ海嶺を表す．茶色い点は使用した GNSS 観測点の場所を示す．Itoh (2025) より転載 [12].

Fig. 1　Tectonic setting. (a) The red star indicates the epicenter of the 2024 Hyuganada earthquake determined by the Japan Meteorological Agency. The half - transparent black shapes indicate outlines of the coseismic slip of the 1968 (1.2 m) and the two 1996 (0.5 m for both; Mw 6.8 and 6.7 for the October (shallow) and the December (deep) events, respectively) Hyuganada earthquakes. Outlines of 4 cm slip of two afterslip models following the two 1996 earthquakes are drawn in purple. The broken contours indicate slab surface depth. The background color in the sea area is RTP magnetic anomaly. The dark green curve indicates the estimate of the spatial range of the subducted Kyushu - Palau Ridge inferred from a low seismic velocity belt. (b) The background color indicates interseismic slip deficit rate between 2005 and 2009. (c) Broader map. Brown dots indicate all the GNSS sites used to infer the slip distributions. Pasted from Itoh (2025) [12].



第 2 図　すべりの推定結果．（a-b）等値線は推定された地震時すべり（a，赤）と 1 週間の余効すべり（b，青）を示す．黒色のベクトルは地震時変位（a）と 1 週間の余効変動（b）を示し，すべりモデルからの計算変位を対応する色のベクトルで示す．茶色の点で気象庁による 1 週間の余震分布を示す．（b）地震時すべりが 1.4 m 以上の，余効すべりインバージョンでマスクした領域を赤色で塗りつぶしている．背景色は RTP 磁気異常（第 1 図 a）（c-d）すべりの推定結果と，2024 年の本震前の通常地震やスロー地震を比較した図．（c）緑色の点は気象庁によるプレート境界付近の通常地震（2016 年 4 月 1 日から 2024 年 8 月 7 日），緑色のビーチボールは Mw 4.1 から Mw 5.5 のプレート境界型地震（2004 年から 2019 年）を示す．（d）青い点は 1982 年から 2019 年の繰り返し地震，オリーブ色で塗りつぶした領域は短期的スロースリップイベントが活発な領域（1997 年から 2020 年で 5 回以上）を示す．黒と灰色の点は微動の震源を示す（それぞれ 2013 年，2014 年から 2017 年）．Itoh (2025) より転載 [12].

Fig. 2　Slip inversion results. (a–b) Contours indicate the estimated coseismic (a, red) and 1-week afterslip (b, blue). The vectors indicate horizontal coseismic (a) and 1-week postseismic (b) displacements (black) with model predictions from the coseismic slip (a) and afterslip (b, blue). The brown open dots indicate 1-week aftershocks reported by JMA. In (b), the area with the coseismic slip ≥ 1.4 m is filled in red. (c-d) Comparison of the estimated coseismic slip and afterslip with various tectonic slip phenomena. (c) The green open dots indicate ordinary seismicity from 1 April 2016 to 7 August 2024, as reported by JMA. The beachballs indicate Centroid Moment Tensor solutions of moderate earthquakes ranging between Mw 4.1 and 5.5 from 2004 to 2019. (d) Blue open dots indicate repeating earthquakes from 1982 to 2019. The area with more than five short-term SSEs from 1997 to 2020 is drawn in olive. The black and gray open dots represent tectonic tremors in 2013 and 2014–2017, respectively. Pasted from Itoh (2025) [12].



第 3 図　(a) 地震時すべりと余効すべり領域を拡大した図．4 つの余震クラスター（AF1-AF4）を色付きで描いている．(b) 余震活動の時空間的広がりを震央距離と対数時間軸で描いた図．赤い星は本震の震央の位置と近似的な時刻を示している．曲線はそれぞれのクラスター内の余震の累積発生個数を 5 分毎に数えたもので，色は図 a のクラスターの色に対応している．Itoh (2025) より転載 [12].

Fig. 3　(a) Zoom-in plot of the coseismic slip and afterslip area. The two 1996 rupture areas are drawn in black. The selected four aftershock clusters are drawn with different colors as labeled. (b) Temporal evolution of seismicity in the radial direction from the epicenter. The star indicates the mainshock location and the approximated timing. Refer to (a) for different colors. The curves indicate cumulative event counts measured every 5-min in each cluster with the corresponding colors. Pasted from Itoh (2025) [12].