

9. 茨城県北部の地震 (2016 年 12 月 28 日, M6.3)

佐藤 比呂志 (東京大学地震研究所地震予知研究センター)

1. はじめに

2016 年 12 月 28 日 21 時 38 分頃、茨城県北部を震源とするマグニチュード 6.3 の地震が発生した (図 1)。茨城県高萩市で震度 6 弱を、日立市で震度 5 強・常陸大田市で震度 5 弱を観測した (気象庁, 2017¹⁾, 地震調査研究推進本部地震調査委員会, 2016²⁾)。この地震による被害は、北茨城市・高萩市・石岡市などで、軽傷 2 名、半壊 1、一部損壊 25 棟であった (茨城県危機防災課, 2017³⁾)。2011 年東北地方太平洋沖地震後に、茨城県北部において地震活動が活発化したが、この地震も大局的にはその一連の地震活動の中で発生した地殻内の地震である。とくに 2011 年 3 月 19 日に発生した M6.1 とほぼ同様の断層で発生した地震であったことが、地殻変動や地表地震断層から指摘されており⁴⁾、短い期間でほぼ同一の震源断層が活動した特異な地震であった。

2. 震源域の地質

震央は阿武隈山地の南部に位置し、ここでは白亜紀花崗岩類が分布する (図 1)。この花崗岩体の西側には、北北西 - 南南東走向の棚倉破碎帯が位置する。この断層は、阿武隈型花崗岩類と西南日本に広く分布する領家型花崗岩類を隔てる日本列島の地体構造上重要な断層である。この断層に沿って日本海拡大時に狭小な堆積盆地が形成され、新第三系が分布する (大槻, 1975⁵⁾)。太平洋側の地域でも第三系が分布する。初期中新世にはハーフグラベンが形成され、北西 - 南東方向の正断層が卓越する。これらの断層の一部は、変動地形学的な特徴から活断層としてマッピングされている (中田・今泉, 2002⁶⁾)。2016 年の茨城県北部地震の北方では、2011 年 4 月 11 日に福島県浜通りの地震 (M7.0) に伴って、既存の断層に沿って地表地震断層が出現したが、2016 年の地震については、対応する地質構造は認められない。

東北地方の火山フロントよりも東側の地殻構造は、日本列島開裂前の地殻構造が保存されており、震源域周辺の大規模な地殻構造は、北北西 - 南南東方向に配列している。震源域に明瞭な活断層は知られていないが、震源断層の走向については、地質構造の卓越方向が影響を与えている可能性がある。

3. 地震活動

震源域の周辺では、2011 年の東北地方太平洋沖地震直後から、地震活動が活発化した (図 2B)。これらの震央は、とくに阿武隈山地南部で全体として北北西 - 南南東方向に配列する領域に分布する (図 2A)。2016 年茨

城県北部の地震は、この領域の南西部に位置する。震源の深さは、11 km (気象庁, 2017¹⁾) もしくは 10 km (防災科学技術研究所, 2016⁸⁾) と報告されている。

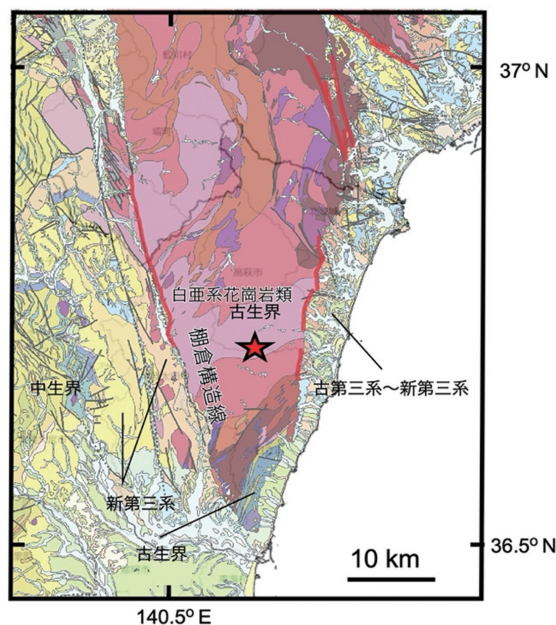


図 1 震源域周辺の地質と活断層。地質図は産業技術総合研究所地質調査総合センター・地質図 Navi による。赤星印: 2016 年 12 月 28 日茨城県北部の地震の震央, 赤実線: 活断層 (地質図 Navi による)

4. 地震のメカニズム

2016 茨城県北部地震の本震の発震機構解は、P 波初動解やモーメントテンソル解によって、NE-SW 方向に主張力軸をもつ正断層型であることが報告されている (図 3)。地震モーメントの値については、気象庁は Mw 6.2 と推定している。

5. 余震分布

余震分布は、ほぼ北北西 - 南南東方向に約 15 km の長さで配列し、配列方向に直交する断面では西に中角度で傾斜した分布を示す (図 4)。震源は、2016 年 12 月 31 日までの余震分布域の最深部に位置する (図 4)。

6. 地殻変動と震源断層モデル

2016 年茨城県北部の地震に伴って出現した地殻変動は、国土地理院によって GNSS や干渉 SAR のデータ (図 5) から解析されている。震源域を隔てた GNSS の観測

点では、震源断層の走向とほぼ直交方向に移動する地殻変動が観測されており、震源断層モデル・発震機構解と調和的である。また SAR 干渉解析では、震源域の北東部で NW-SE 方向で長さ 2 km に渡って変位の不連続が観測されている。国土地理院の研究チームは、干渉画像をもとに矩形断層一様すべりの 2 枚の震源断層モデルを構築した (図 6、表 2⁹⁾)。短く浅部に位置する南西傾斜の断層面と北北西-南南東 (南東) 走向の深い断層である。傾斜は 60 度と 50 度の正断層である。二つの断層による地震モーメントは Mw 5.85 となる。地殻変動から求められた震源断層は、5 km よりも浅い領域で滑りが大きいこと、とくに浅部の断層の上端は地表近傍まで及んでいることが示されている。重要な特徴として、2011 年 3 月 19 日に発生した地震 (M6.1) で観測された地殻変動とほぼ同じ領域¹⁰⁾に地殻変動が観測されたことである⁹⁾。2011 年 3 月 19 日の地震に伴う地殻変動と推定された断層モデルについては、図 7 にこの地震に伴う合成開口レーダーによる地殻変動の解析結果を示す。震源断層の形状や地殻浅部でのすべりなど、2016 年の地震とよく類似する。

2016 年の茨城県北部地震に類似する 2011 年 3 月 19 日の茨城県北部地震の震源過程解析の結果は、震源断層の形状の他、地殻変動から推定した断層モデルとすべり量の大きな領域が類似する点でよく一致する。

表 1 モーメントテンソル解のパラメーター

	断層面解 1			断層面解 2		
	走向	傾斜	すべり角	走向	傾斜	すべり角
気象庁 ^{1,7)}	307	52	-118	168	46	-59
防災科技 ⁸⁾	324	29	-105	160	62	-82

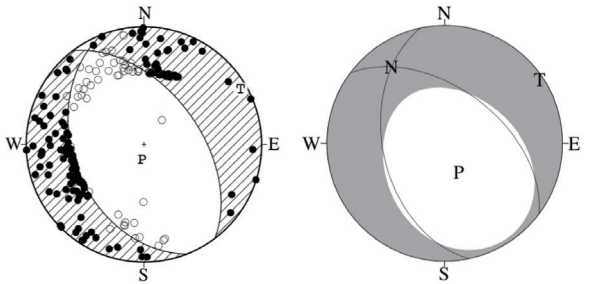


図 3 2016 年茨城県北部地震の P 波初動解 (左) とモーメントテンソル解 (右) (気象庁⁷⁾)

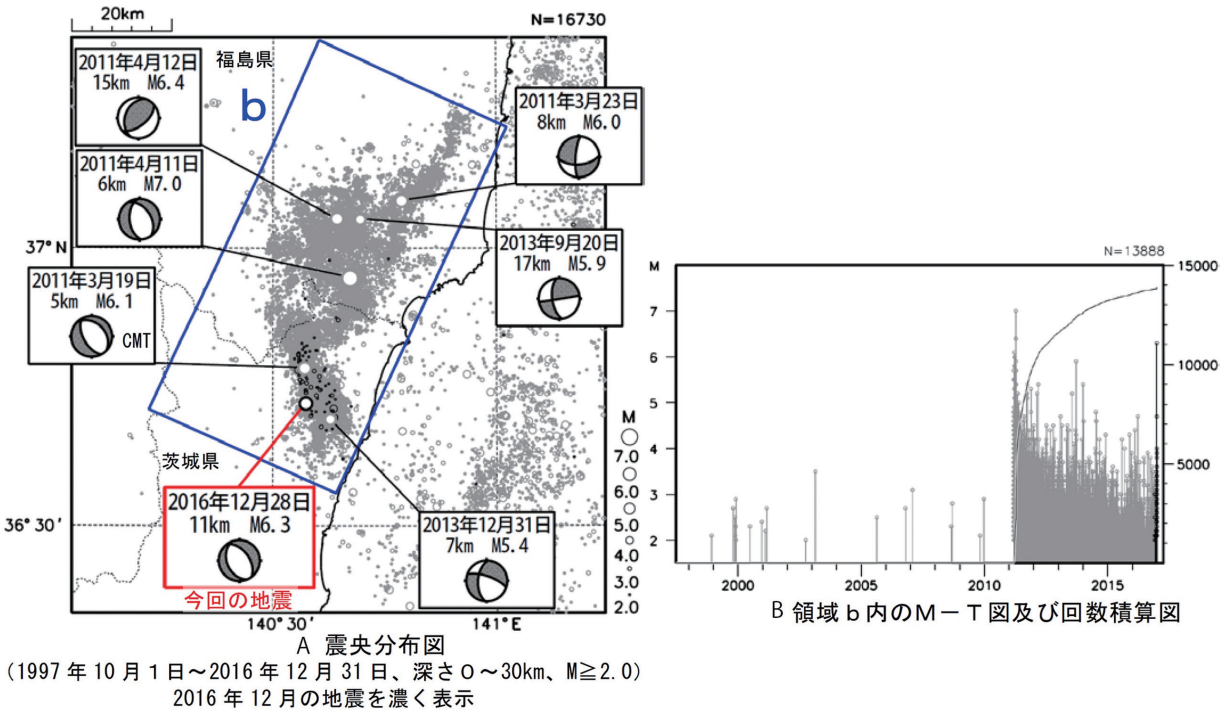


図 2 2016 年 12 月 28 日茨城県北部の地震と関連する地震活動。気象庁 (2016)²⁾による。

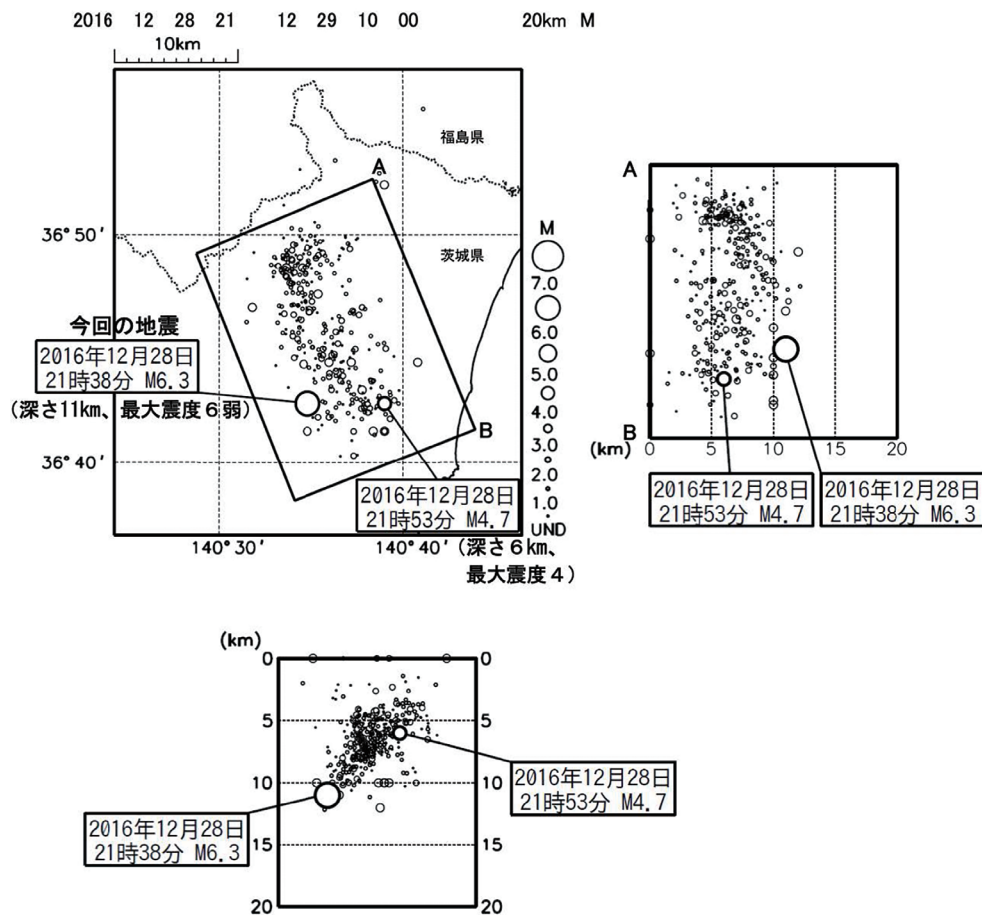


図 4 2016 年 12 月 28 日 21 時 -29 日 15 時までの震源分布 (気象庁, 2016²⁾)

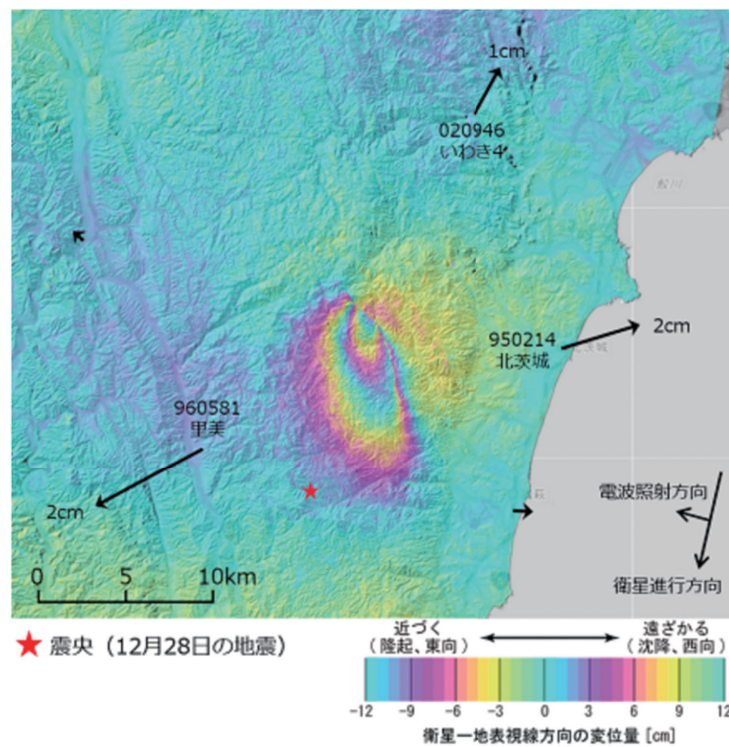


図 5 茨城県北部の地震「だいち 2 号」による SAR 干渉解析結果 (地震調査委員会, 2016²⁾).
2016 年 11 月 17 日～2016 年 12 月 29 日の解析結果.

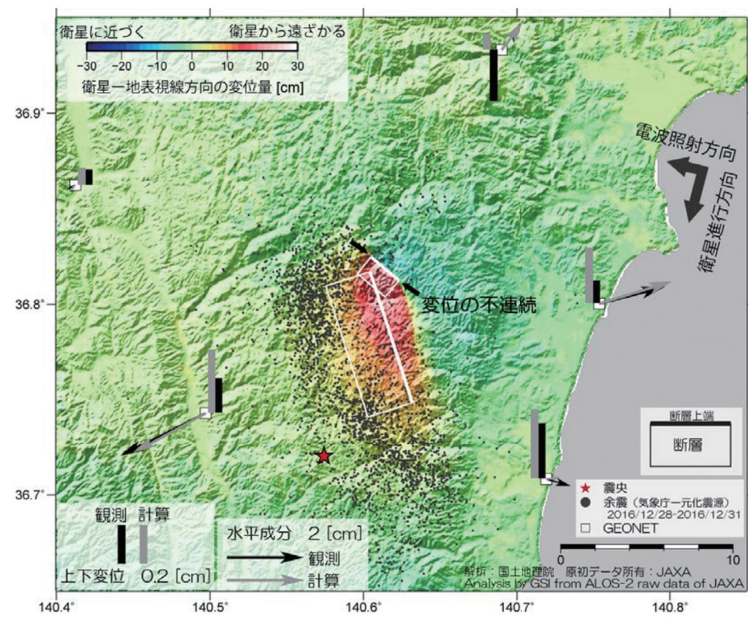


図 6 干渉 SAR 解析から得られた地殻変動（地震調査委員会，2017⁹⁾）

表 2 推定された断層パラメータ⁹⁾

断層	緯度	経度	深さ km	長さ km	幅 km	走向	傾斜	滑り角	滑り量 m	M _w
1	140.604 (0.003)	36.817 (0.005)	2.1 (0.4)	8.0 (0.9)	4.2 (0.9)	162 (5)	50 (6)	-72 (12)	0.7 (0.3)	5.83
2	140.605 (0.002)	36.825 (0.002)	0.1 (0.0)	2.1 (0.1)	2.4 (0.4)	130	59 (11)	-102 (32)	0.4 (0.1)	5.15
計										5.85

※位置は断層の左上端 （ ）は誤差（1σ）

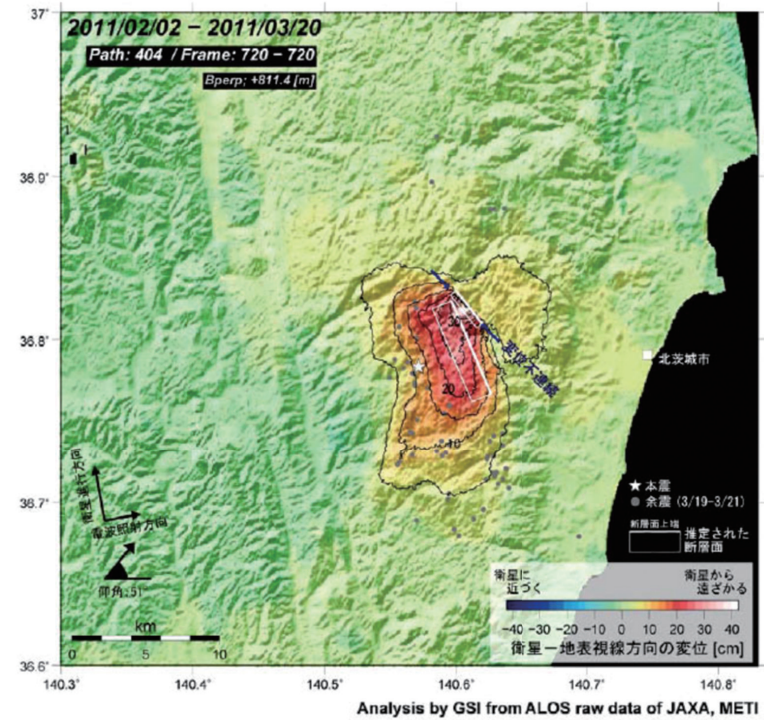
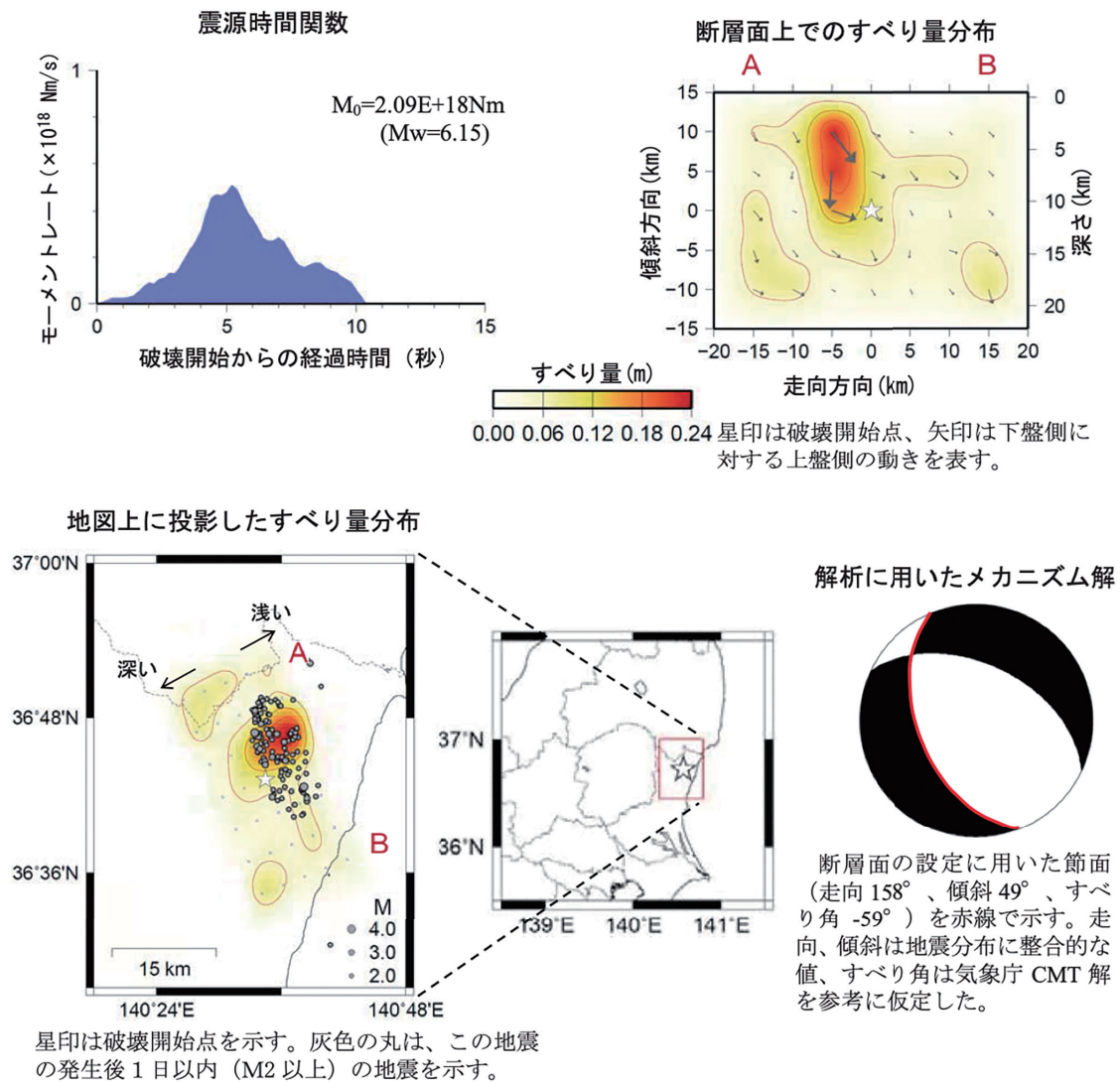
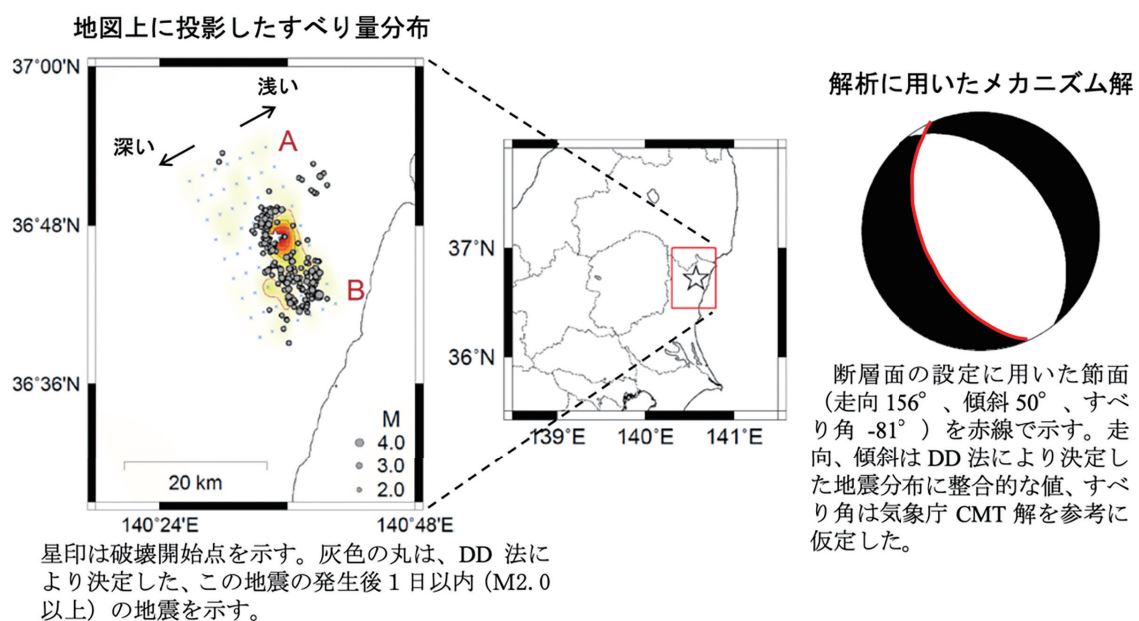


図 7 2011 年 3 月 19 日茨城県北部の地震（M6.1）に関する合成開口レーダー解析結果（国土地理院，2011¹⁰⁾）。

図 8 2016 年茨城県北部地震の近地強震波形による震源過程解析 (気象庁, 2017¹⁾)図 9 2011 年 3 月 19 日の茨城県北部地震の近地地震波形による震源過程解析 (気象庁, 2017¹⁾)

7. 地表地震断層

干渉 SAR によって検出された変位の不連続線（図 6）に沿って、約 2.5 km 区間の 4 地点において水平伸張を伴う地表断層が確認された（栗田・吾妻, 2017¹²⁾）。道路・橋梁などの構造物の破損状況から（図 10）、今回の地震以前にも同様の断層が出現していたことが推定されている。今回の地震およびそれより前の変位を合わせた水平伸張量として、最大で 29 cm が計測されている。

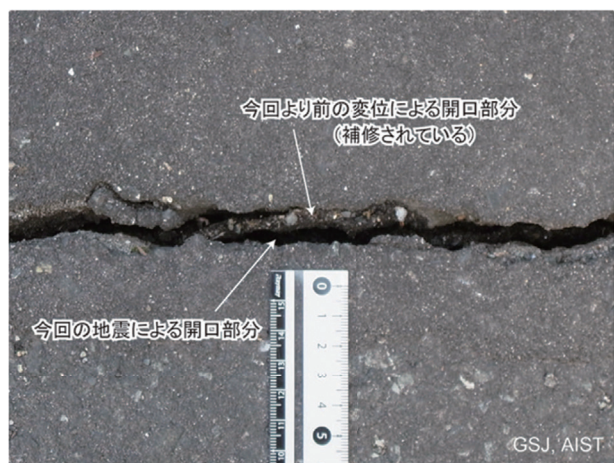


図 10 路面にあらわれた断層の拡大写真（栗田・吾妻, 2017¹²⁾）。補修された古い開口断層に沿って今回の地震に伴う新しい開口断層があらわれた。

8. 地震の特徴

今回の地震は、2011 年東北地方太平洋沖地震後の余効すべりや粘性緩和などが作用する上盤プレートの伸張変形一連の応力場で生じた地震であり、本震 - 余震型の孤立して発生する地殻内地震とは、その様相を異にしている。2016 年の地震が発生した領域は、東北地方太平洋沖地震後に地震活動が活発化した地域であり、3 月 19 日には M6.1 の正断層型の地殻内の浅い地震が発生した。この地震発生後も、震源域を含む東北地方太平洋側の海溝側への水平移動は継続しており、観測されている震源域周辺の地震活動は顕著な低下を示していない（図 2）。2011 年 3 月 19 日の地震以降、5 年 9 ヶ月を経て再び地震が発生した。この地震は、地表断層の変位から判断して（栗田・吾妻, 2017¹²⁾）、少なくとも地表近傍では同一の断層が活動した可能性が高いと判断される。また、干渉 SAR による地殻変動、余震分布、近地震震波形による震源過程などによって推定される断層モデルは、これまで述べてきたように、二つの地震において類似性が高い。このため早期の地震により、割れ残りが残存した可能性は小さいものとみなされる。したがって、解析精度の範囲内ではほぼ同一の震源断層が短い期間の中で繰り返し活動したものと推定される。このような短い期

間で再活動した点については、超巨大地震である東北地方太平洋沖地震後に進行した変位速度が大きい伸張変形に起因するものと推定される。

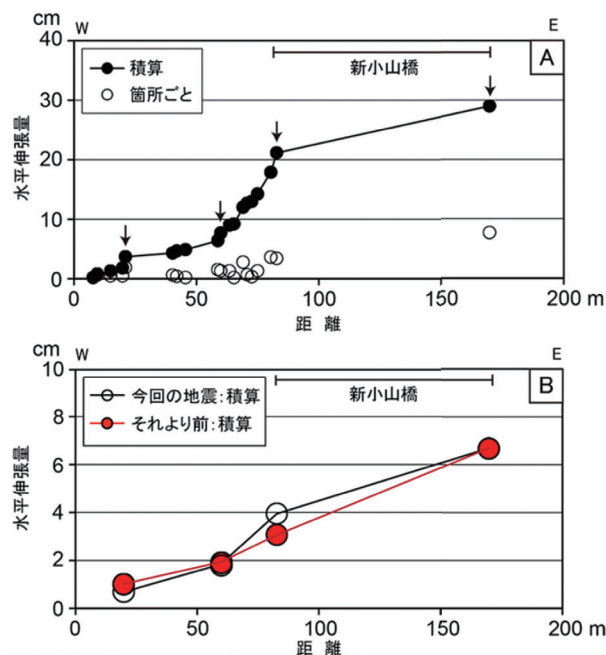


図 11 新小山橋周辺において計測できた今回の地震およびそれより前の変位による水平伸張量の分布（栗田・吾妻, 2017¹²⁾）。A: E-W 方向の測線における水平伸張量の分布。道路に沿って計測した個々の箇所での伸張量（白丸）と測線の西端から東に向かって積算した量（黒丸）を示す。矢印は今回の地震による伸張量とそれ以前の変位による伸張量を区別して計測できた箇所。B: 今回の地震による伸張量（白丸）とそれ以前の変位による伸張量（赤丸）の比較。いずれも測線に沿って積算した量を示す。

9. まとめ

2016 年茨城県北部地震は、地震活動や地殻変動の観点からは 2011 年の東北太平洋沖地震後の余効変動・粘性緩和などと密接に関連して発生した地震である。この地震に伴う諸現象は、稠密な観測網による地震・測地観測、ALOS 衛星に搭載された InSAR 干渉解析によって高精度で解析された。上部地殻の浅部に大きなすべり領域をもつ地殻内地震であり、地表では約 2km の区間に渡って地表断層が出現した。地表断層の調査結果も含め、この地震が 2011 年 3 月 19 日の地震の震源断層の、短い期間での再活動によって発生した可能性が大きい。このような短い期間での再活動については、超巨大地震後の大きな歪み速度をもつ伸張運動が継続したことなどが要因として考えられる。プレート境界での巨大地震発生後の上盤プレートでの被害地震を想定する上で重要な知見が得られた。

参考文献

- 1) 気象庁, 2017. 特集 2016 年 12 月 28 日 茨城県北部の地震. 平成 28 年 12 月 地震・火山月報 (防災編), 58-60,
http://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/gaikyo/monthly/201612/201612tokushuu1_1.pdf
- 2) 地震調査研究推進本部地震調査委員会, 2016, 2016 年 12 月 28 日 茨城県北部の地震の評価. 平成 28 年 12 月 29 日 地震調査研究推進本部地震調査委員会資料. https://www.static.jishin.go.jp/resource/monthly/2016/20161228_ibaraki.pdf
- 3) 茨城県防災危機管理課, 2017. 12 月 28 日 (水) 21 時 38 分頃発生した最大震度 6 弱の地震について (平成 29 年 1 月 4 日 17 時 15 現在).
<https://www.pref.ibaraki.jp/seikatsukankyo/bousaikiki/kiki/documents/2901041715.pdf>
- 4) 栗田泰夫・吾妻 崇, 2017. 「2016 年 12 月 28 日 茨城県北部の地震 (Mj 6.3)」の現地調査報告, 平成 28 年 (2016 年) 12 月 28 日の茨城県北部の地震に関する情報, 産業技術総合研究所地質調査総合センター.
<https://www.gsj.jp/hazards/earthquake/ibaraki2016/report20170105.html>
- 5) 大槻憲四郎, 1975. 棚倉破砕帯の地質構造. 東北大学理学部地質学古生物学邦文報告, 76, 1-71.
- 6) 中田高・今泉俊文 (編), 2002. 活断層詳細デジタルマップ. 東京大学出版会.
- 7) 気象庁, 主な地震の発震機構解. <https://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/mech/index.html>
- 8) 防災科学技術研究所, 「防災科学技術研究所 F-net Project による広帯域地震波形を用いたメカニズム解析結果. <https://www.fnet.bosai.go.jp/event/joho.php?LANG=ja>
- 9) 地震調査研究推進本部地震調査委員会, 2017. 2016 年 12 月 28 日 茨城県北部の地震の評価. 平成 29 年 1 月 13 日 地震調査研究推進本部地震調査委員会資料. 10p.
https://www.static.jishin.go.jp/resource/monthly/2016/20161228_ibaraki_2.pdf
- 10) 国土地理院, 2011. 平成 23 年 (2011 年) 3 月 19 日 茨城県北部の地震 (M6.1) に関する合成開口レーダー解析結果, 第 224 回地震調査委員会資料「2011 年 3 月の地震活動の評価」. <https://www.jishin.go.jp/main/chousa/11apr/p12.htm>
- 11) 気象庁, 2017. 2011 年 3 月 19 日 茨城県北部の地震 - 近地強震波形による震源過程解析 (暫定) -. <http://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/sourceprocess/event/20110319near.pdf>
- 12) 産業技術総合研究所地質調査総合センター, 2017. 震源域周辺の地質と活断層, 平成 28 年 (2016 年) 12 月 28 日の茨城県北部の地震に関する情報.
<https://www.gsj.jp/hazards/earthquake/ibaraki2016/index.html>