

（２）地震活動

ア．地震の発生場所の詳細及び地震の発生状況

2019 年 6 月 18 日 22 時 22 分に山形県沖の深さ 14km で M6.7 の地震（最大震度 6 強）が発生した。

この地震発生以降、北東－南西方向に長さ約 20km の領域で、地震活動が本震－余震型で推移している。最大規模の余震は、6 月 19 日 00 時 57 分に発生した M4.2 の地震（最大震度 4）で、この地震を含めて 6 月 30 日までに M4.0 以上の余震が 4 回発生している。

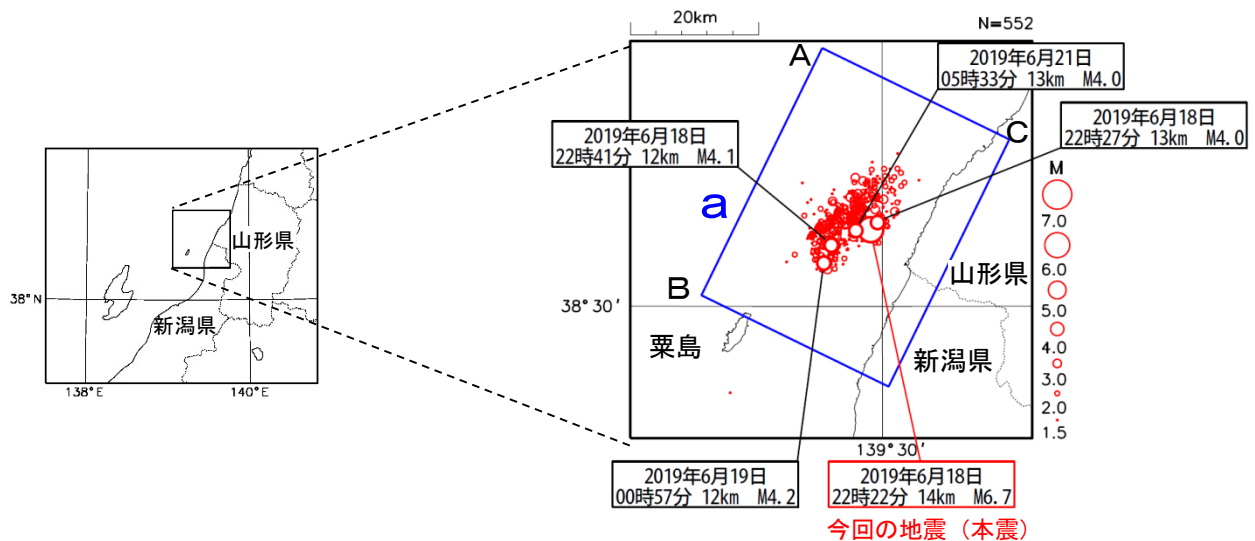


図 2－1 震央分布図
(2019 年 6 月 18 日～2019 年 6 月 30 日、深さ 0～30km、 $M \geq 1.5$)

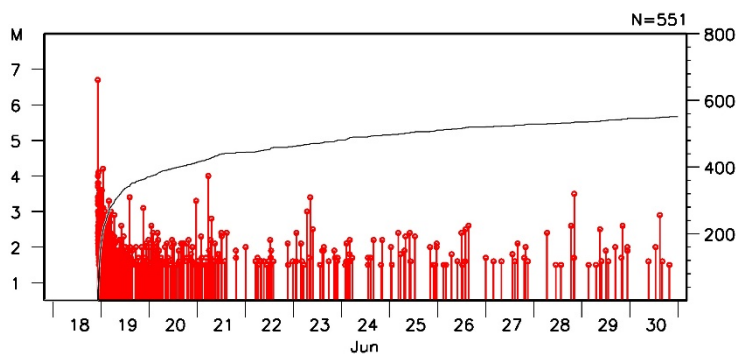


図 2－2 領域 a 内の M－T 図及び回数積算図

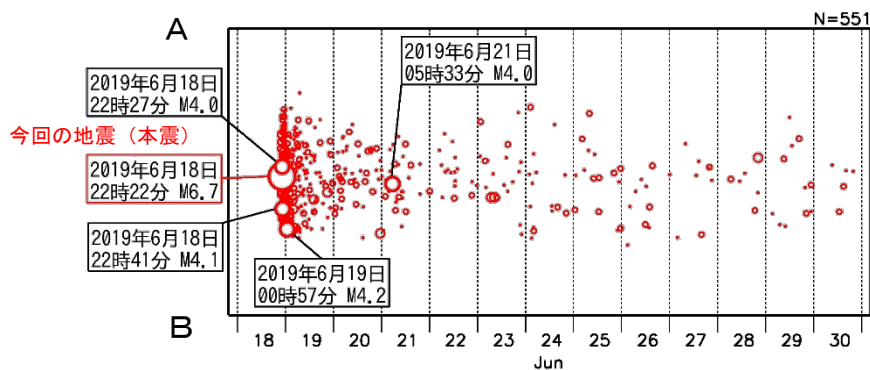


図 2－3 領域 a 内の時空間分布図（A－B 投影）

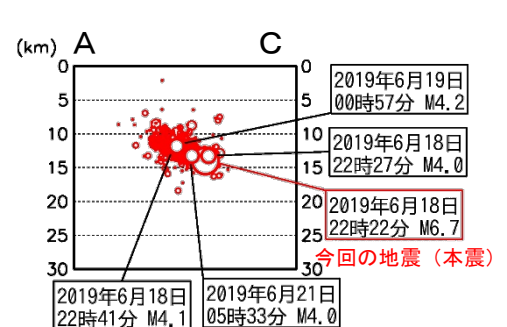


図 2－4 領域 a 内の断面図
(A－C 投影)

イ. 発震機構

1997年10月から2019年6月までに発生したM3.5以上の地震の発震機構を図2-5に示す。周辺で発生する地震は、発震機構が北西-南東方向あるいは西北西-東南東方向に圧力軸を持つ逆断層型の地震が多い。今回の地震活動によるM3.5以上の地震の発震機構は、西北西-東南東方向あるいは北西-南東方向に圧力軸を持つ逆断層型であり、これまでの活動と調和的であった。

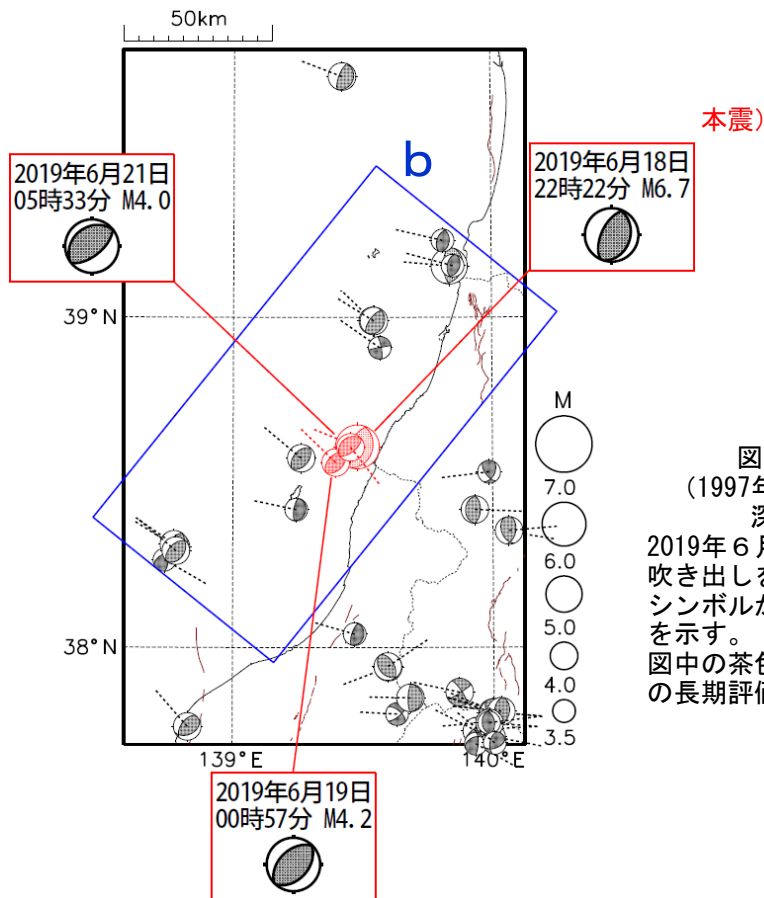


図2-5 発震機構分布図
(1997年10月1日～2019年6月30日、
深さ0～30km、 $M \geq 3.5$)
2019年6月18日以降の地震を赤く示し、
吹き出しを付けた。
シンボルから伸びる点線は圧力軸の方向
を示す。
図中の茶色の細線は地震調査研究推進本部
の長期評価による活断層を示す。

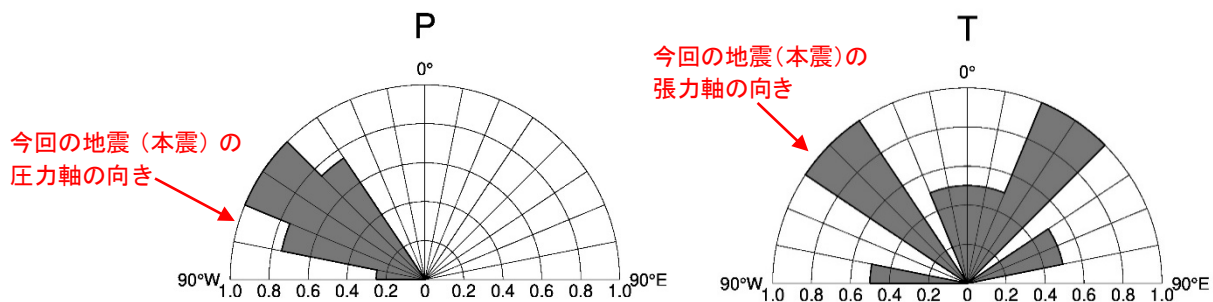


図2-6 領域b内の発震機構の圧力軸（左）と張力軸（右）の方位分布
最も個数の多い方位を1として、方位別の割合を表している。

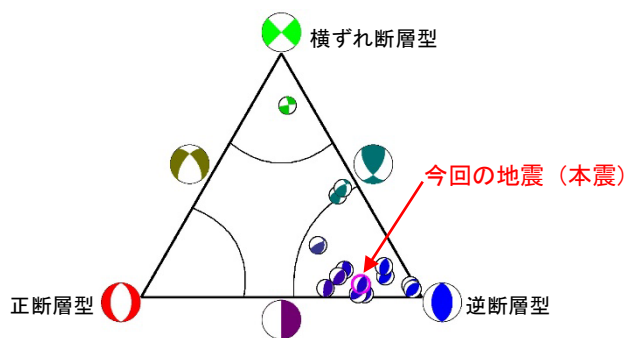


図2-7 領域b内の発震機構の型の分布

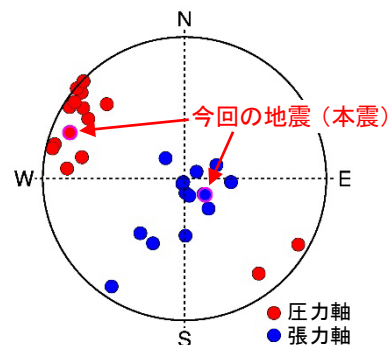


図2-8 領域b内の発震機構の
圧力軸と張力軸の分布

ウ. 震源過程解析

・ 近地強震波形による震源過程解析

2019 年 6 月 18 日 22 時 22 分に山形県沖で発生した地震（M6.7）について、国立研究開発法人防災科学技術研究所の強震観測網（K-NET、KiK-net）及び気象庁震度計の近地強震波形を用いた震源過程解析を行った。

破壊開始点は、気象庁による震源の位置（ $38^{\circ} 36.5' N$ 、 $139^{\circ} 28.8' E$ 、深さ 14km）とした。断層面は気象庁 CMT 解の 2 枚の節面のうち、東南東傾斜の面（走向 26° 、傾斜 27° ）を仮定して解析した。最大破壊伝播速度は 3.0km/s とした。理論波形の計算には、Koketsu et al. (2012) の結果から設定した地下構造モデルを用いた。主な結果は以下のとおり。

- ・ 主なすべり域の大きさは走向方向に約 10km、傾斜方向に約 10km であった。
- ・ 主なすべりは破壊開始点から北西に広がり、最大すべり量は 1.5m であった（周辺の構造から剛性率を 30GPa として計算）。
- ・ 主な破壊継続時間は約 10 秒であった。
- ・ モーメントマグニチュードは 6.4 であった。

結果の見方は、https://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/sourceprocess/about_srcproc.html を参照。

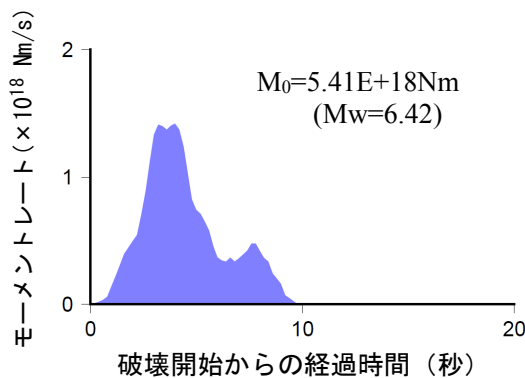
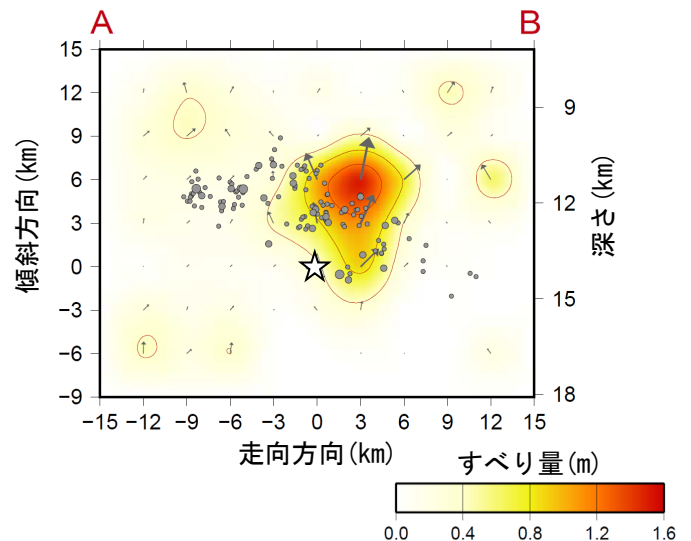
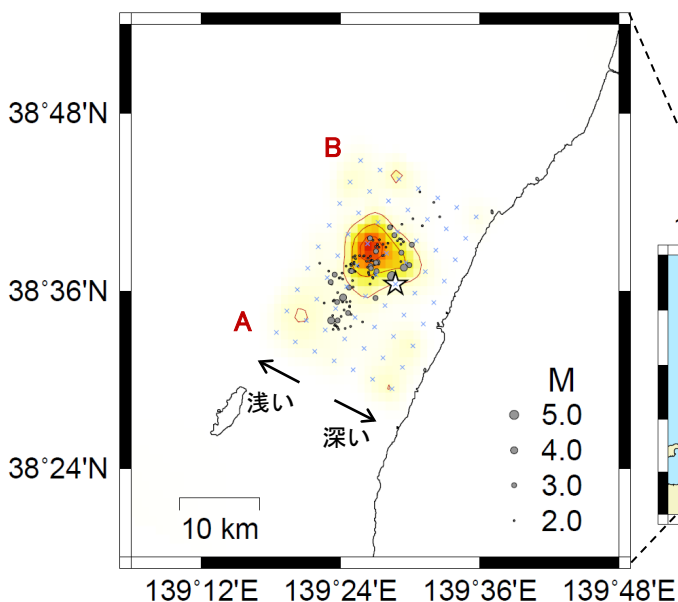


図 2-9 震源時間関数



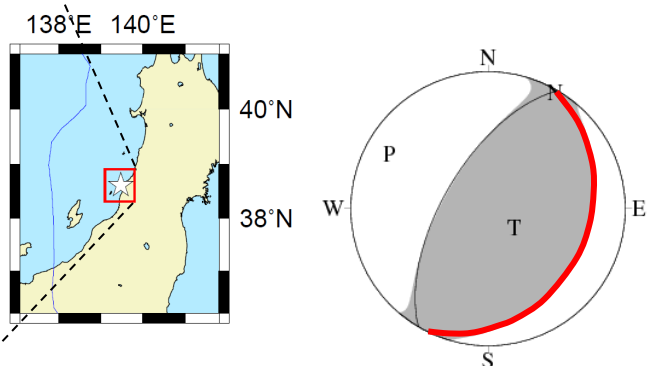
星印は破壊開始点、矢印は下盤側に対する上盤側の動きを表す。灰色丸はこの地震発生後 1 日以内の波形相関 DD 法による地震（M2.0 以上）を示す。

図 2-10 断層面上でのすべり量分布



星印は破壊開始点を示す。灰色丸はこの地震発生後 1 日以内の波形相関 DD 法による地震（M2.0 以上）の震央を示す。

図 2-11 地図上に投影したすべり量分布



断層面の設定に用いた節面（走向 26° 、傾斜 27° 、すべり角 86° ）を震源球（気象庁 CMT 解）上に赤線で示す。

図 2-12 解析に用いた断層パラメータ

今回の解析の結果は暫定であり、今後更新することがある。

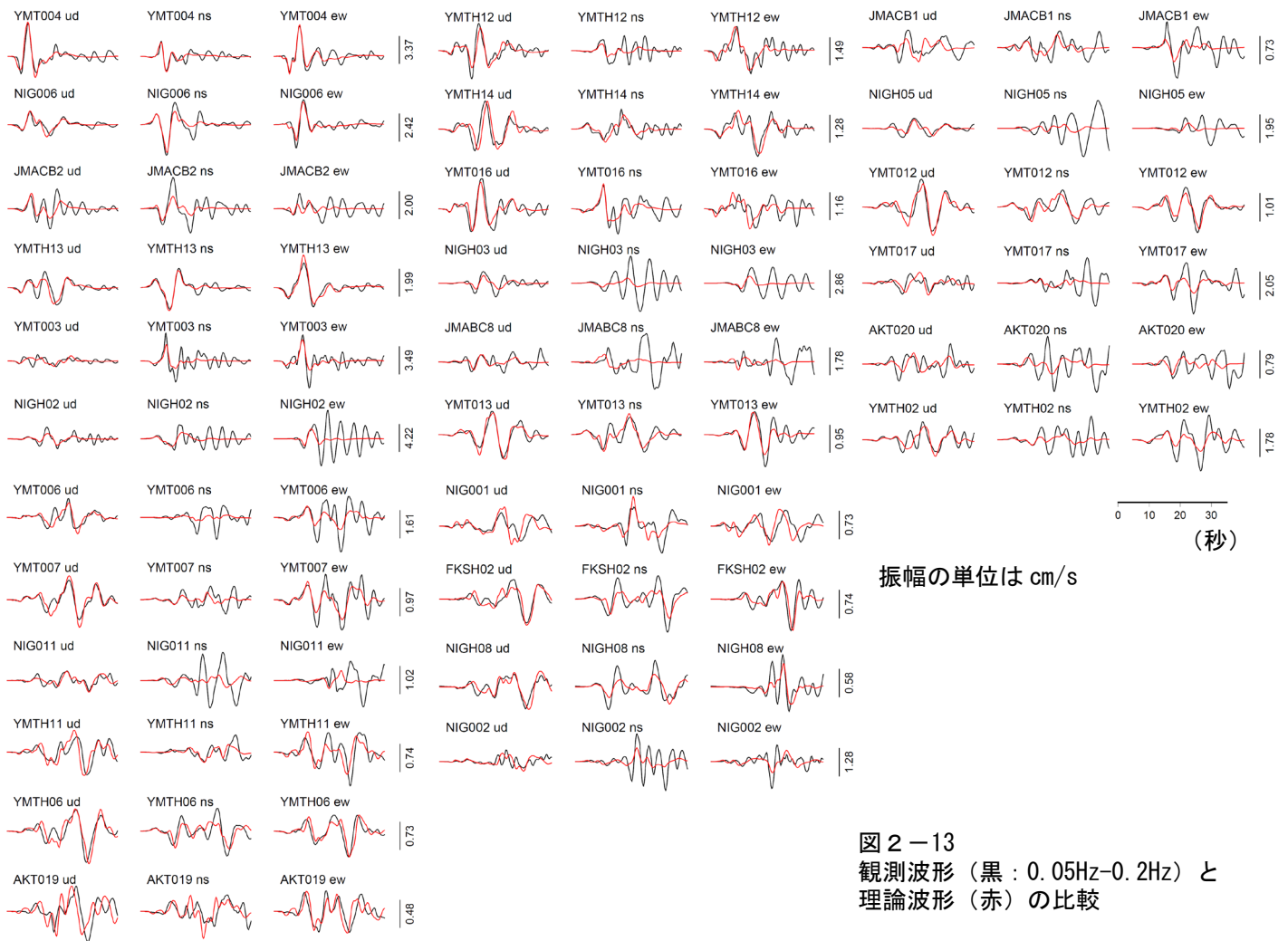


図 2-13
観測波形（黒：0.05Hz-0.2Hz）と
理論波形（赤）の比較

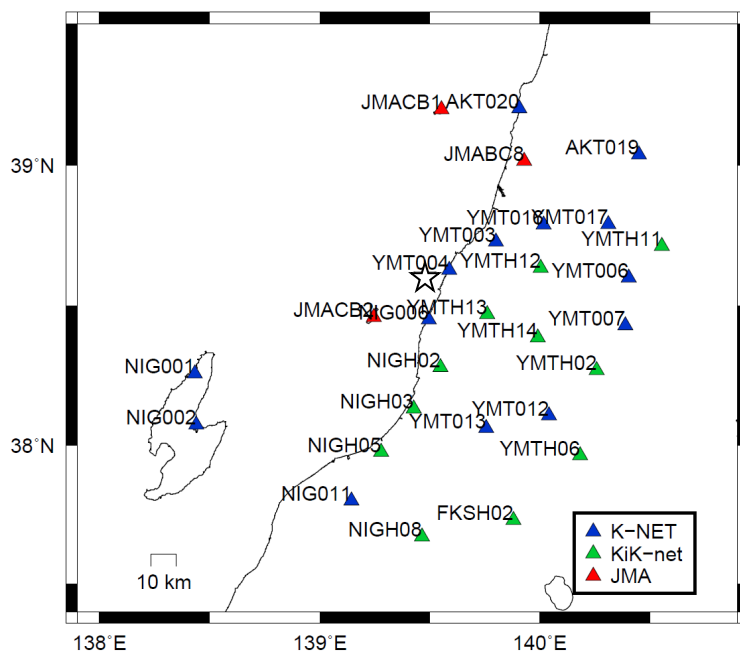


图 2-14 観測点分布

謝辞 国立研究開発法人防災科学技術研究所の強震観測網（K-NET、KiK-net）を使用しました。

参考文献

Koketsu, K., H. Miyake and H. Suzuki, Japan Integrated Velocity Structure Model Version 1, paper no. 1773. Paper Presented at the 15th World Conference on Earthquake Engineering, International Association for Earthquake Engineering, Lisbon, 24-28 Sept. 2012.

・遠地実体波による震源過程解析

2019 年 6 月 18 日 22 時 22 分に山形県沖で発生した地震について、米国大学間地震学研究連合 (IRIS) のデータ管理センター (DMC) より広帯域地震波形記録を取得し、遠地実体波を用いた震源過程解析 (注 1) を行った。

破壊開始点は、気象庁による震源の位置 ($38^{\circ} 36.4' S$ 、 $139^{\circ} 28.7' E$ 、深さ 14km) とした。断層面は、気象庁 CMT 解の 2 枚の節面のうち、東南東傾斜の節面 (走向 26° 、傾斜 27° 、すべり角 86°) を仮定して解析した。最大破壊伝播速度は 3.0km/s とした。理論波形の計算には CRUST2.0 (Bassin et al., 2000) および IASP91 (Kennett and Engdahl, 1991) の地下構造モデルを用いた。

主な結果は以下のとおり。

- ・主な破壊領域は走向方向に約 10km、傾斜方向に約 10km であった。
- ・主なすべりは破壊開始点から西方向に広がり、最大すべり量は 1.9m であった (周辺の構造から剛性率を 30GPa として計算)。
- ・主な破壊継続時間は約 8 秒であった。
- ・モーメントマグニチュード (M_w) は 6.5 であった。

結果の見方は、https://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/world/about_srcproc.html を参照。

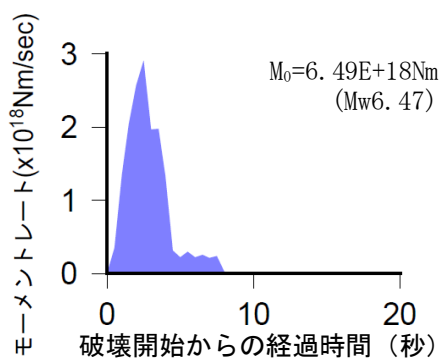


図 2-15 震源時間関数

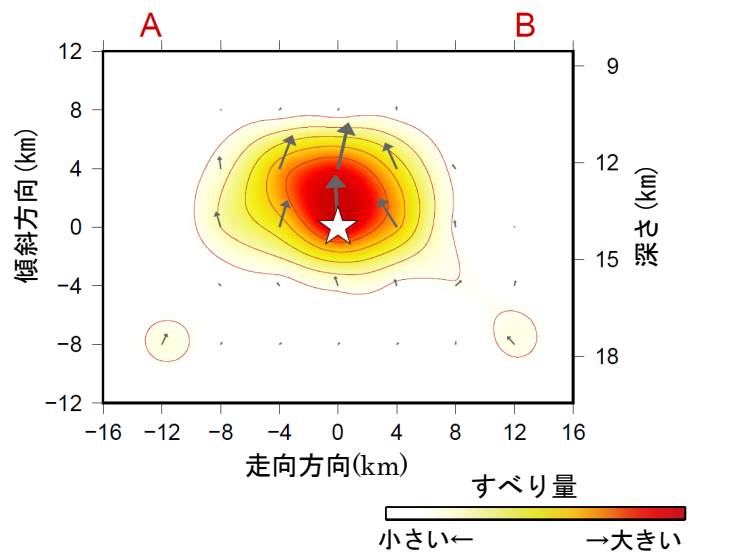
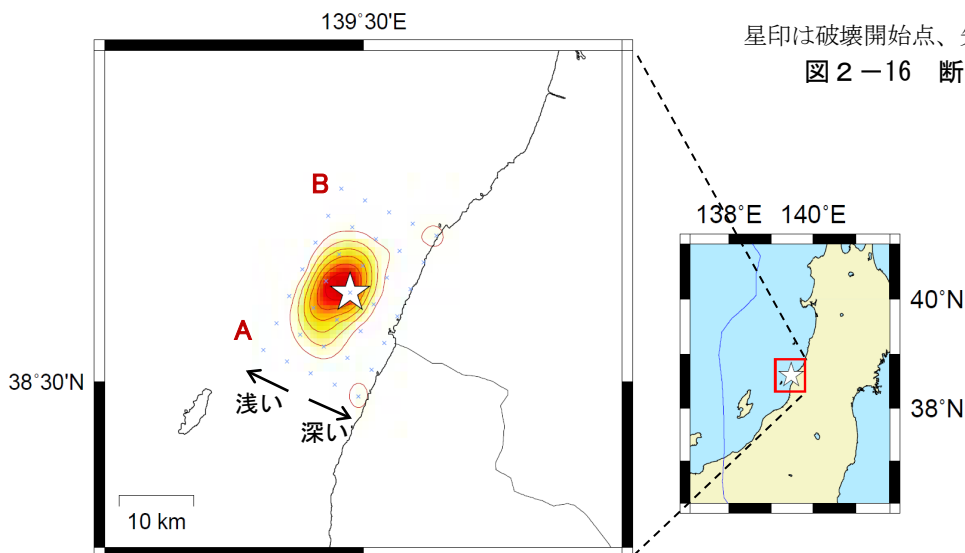


図 2-16 断層面上でのすべり量分布



星印は破壊開始点を示す。

図 2-17 地図上での位置関係

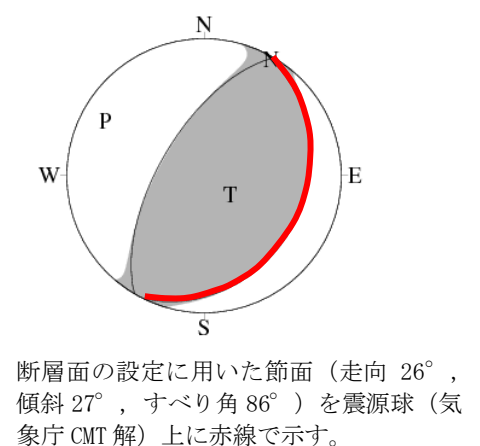


図 2-18 解析に用いた断層パラメータ

(注 1) 解析に使用したプログラム

M. Kikuchi and H. Kanamori, Note on Teleseismic Body-Wave Inversion Program,
<http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/ETAL/KIKUCHI/>

今回の解析の結果は暫定であり、今後更新することがある。

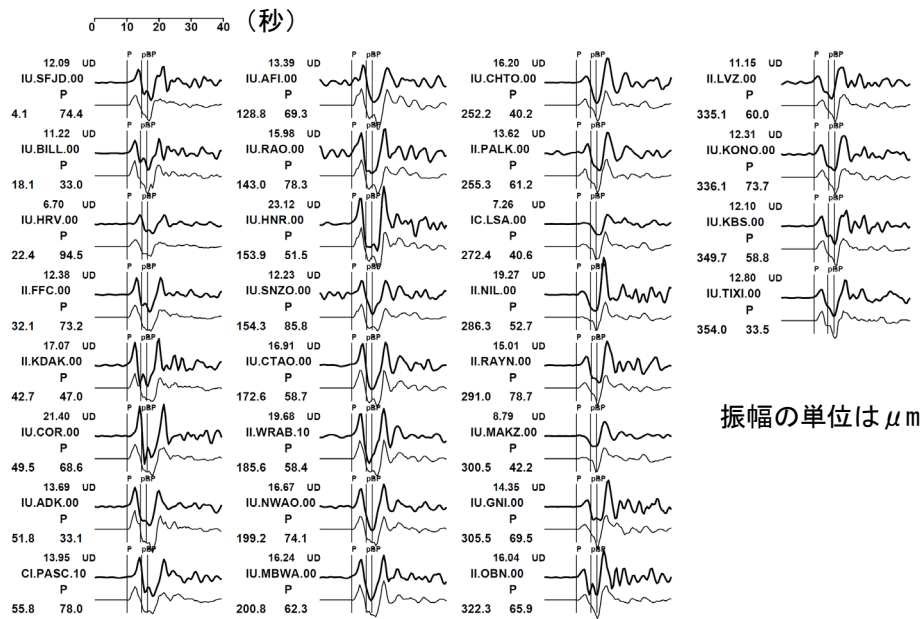
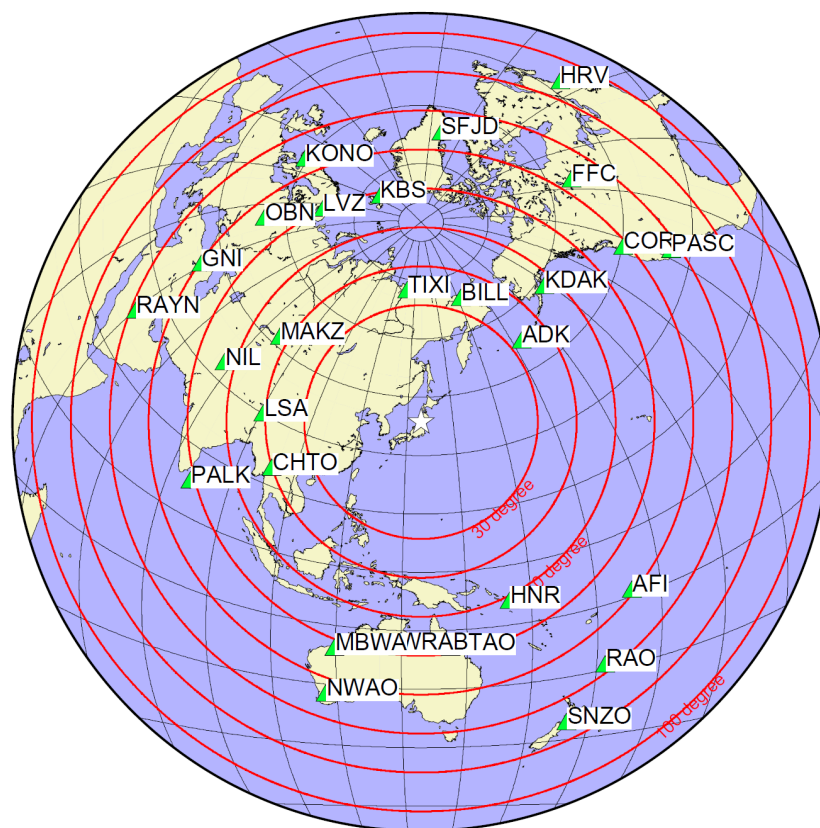


図 2-19 観測波形（上：0.01Hz-0.5Hz）と理論波形（下）の比較



震央距離 $30^\circ \sim 100^\circ$ ※¹ の 28 観測点※² (P 波：28、SH 波：0) を使用。
 ※¹：近すぎると理論的に扱いづらくなる波の計算があり、逆に遠すぎると、液体である外核を通るため、直達波が到達しない。そのため、評価しやすい距離の波形記録のみを使用。
 ※²：IRIS-DMC より取得した広帯域地震波形記録を使用。

図 2-20 観測点分布

参考文献

- Bassin, C., Laske, G. and Masters, G., 2000, The Current Limits of Resolution for Surface Wave Tomography in North America, EOS Trans AGU, 81, F897.
 Kennett, B. L. N. and E. R. Engdahl, 1991, Traveltimes for global earthquake location and phase identification, Geophys. J. Int., 105, 429-465.

エ. 過去の地震活動

1885年以降の活動をみると、今回の地震の震央周辺では、M7.0以上の地震が時々発生している。このうち1964年6月16日に発生した「新潟地震」（M7.5、最大震度5）では、死者26人、負傷者447人、住家全壊1,960棟、半壊6,640棟、一部破損67,825棟の被害が生じた。また、この地震により津波が発生し、新潟県の直江津で280cm（最大全振幅）などを観測した（気象庁(1965)による）。この他にも、1833年12月7日に庄内沖で津波を伴う地震（M7 $\frac{1}{2}$ ）が発生し、死者約150人などの被害が生じた。（被害は「日本被害地震総覧」による。）

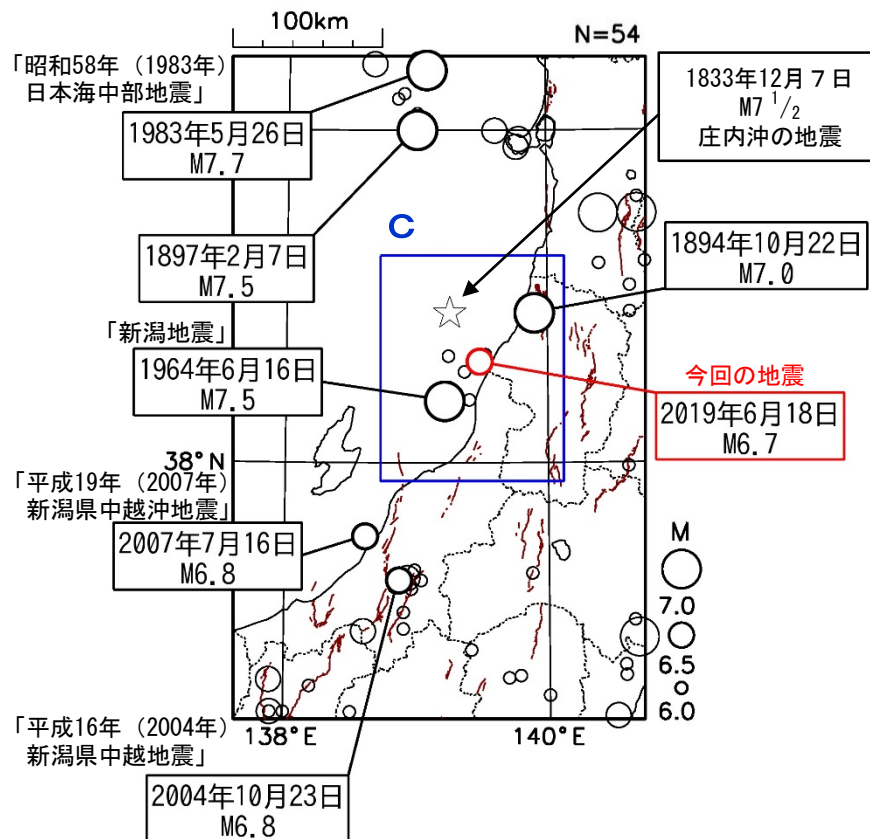


図 2-21 震央分布図

(1885年1月1日～2019年6月30日、深さ0～60km、M $\geq$ 6.0)

震央分布中の茶色の細線は、地震調査研究推進本部による主要活断層帯を示す。震源要素は、1833年の庄内沖の地震は国立天文台編（2018）、1885年～1921年は茅野・宇津（2001）、宇津（1982、1985）による。

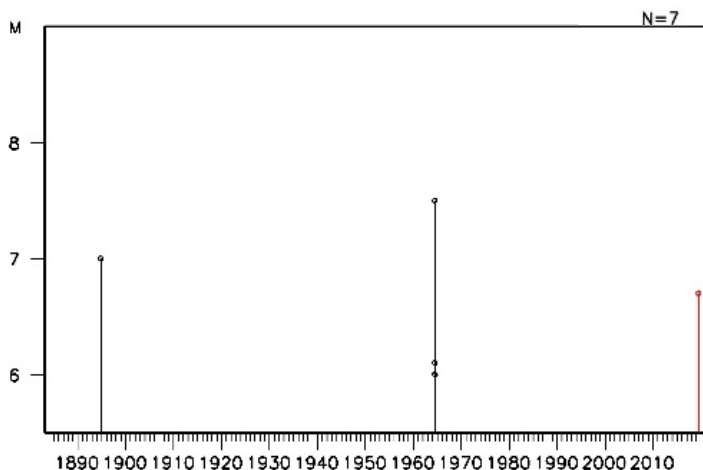


図 2-22 領域 c 内の M-T 図

出典

宇津徳治(1982)：日本付近のM6.0以上の地震及び被害地震の表：1885年～1980年，震研彙報，56，401-463.

宇津徳治(1985)：日本付近のM6.0以上の地震及び被害地震の表：1885年～1980年（訂正と追加），震研彙報，60，639-642.

茅野一郎・宇津徳治(2001)：日本の主な地震の表，「地震の事典」第2版，朝倉書店，657pp.

気象庁(1965)：昭和39年6月16日新潟地震調査報告，気象庁技術報告，第43号，28-36.

国立天文台編(2018)：理科年表2019，丸善出版.

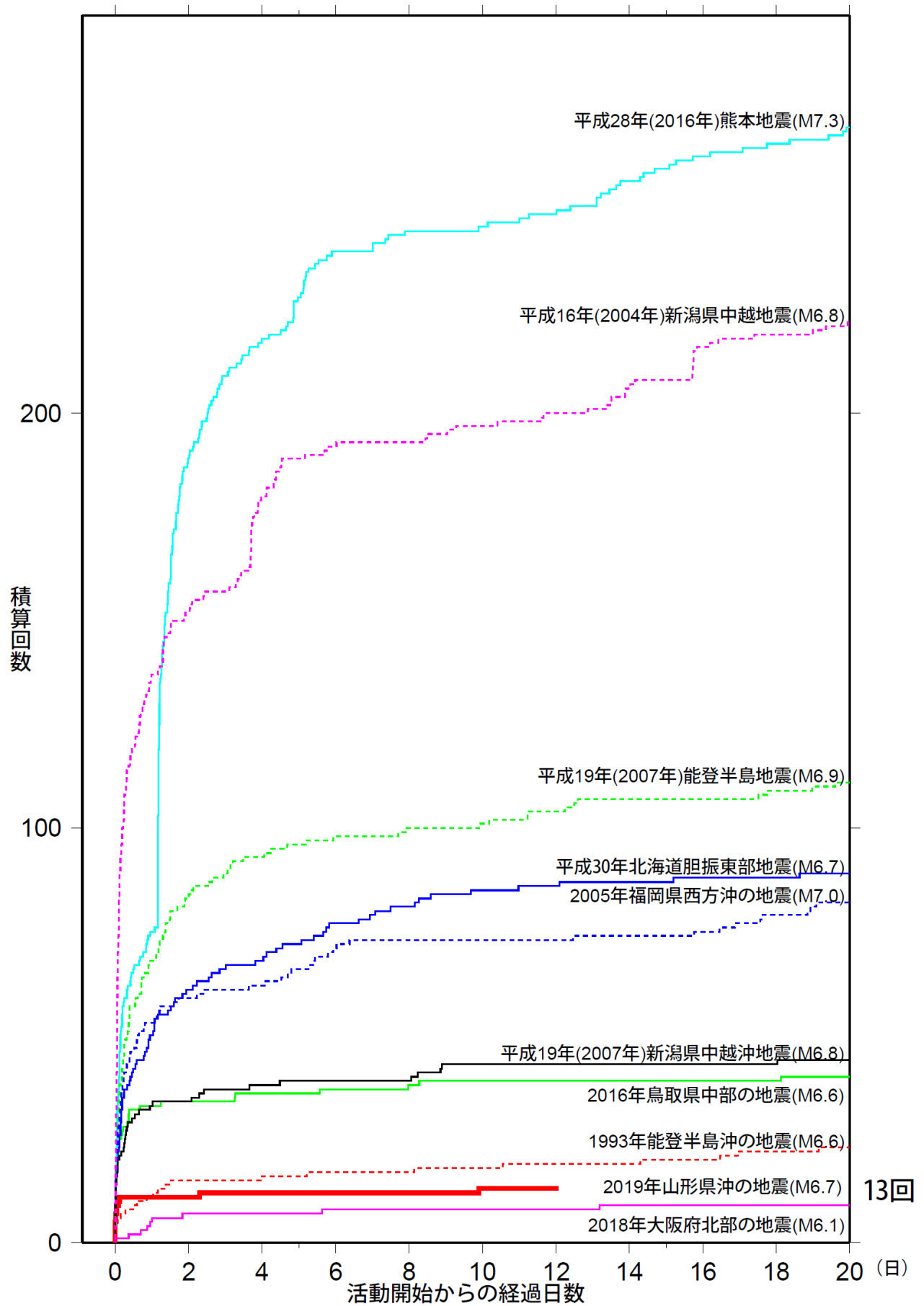


図2-23 内陸及び沿岸で発生した主な地震の回数比較（ $M \geq 3.5$ 、2019年6月30日現在）
 マグニチュードは最大のものを示す。
 資料は速報値を含むため、後日の調査で変更される場合がある。