

3-3 2019年6月18日 山形県沖の地震

The earthquake off the Yamagata Prefecture on June 18, 2019

気象庁

Japan Meteorological Agency

【概要】

2019年6月18日22時22分に、山形県沖の深さ14 kmでM6.7の地震が発生し、新潟県村上市で震度6強、山形県鶴岡市で震度6弱を観測したほか、北海道から中部地方にかけて震度5強～1を観測した。この地震は地殻内で発生した。発震機構は西北西－東南東方向に圧力軸を持つ逆断層型である。

気象庁はこの地震に伴い、同日22時24分に山形県、新潟県、石川県の一部に津波注意報を発表した。この地震により、山形県の鶴岡市鼠ヶ関で11 cm、秋田県の秋田、新潟県の新潟、石川県の輪島港で8cmの津波を観測するなど、秋田県、山形県、新潟県、石川県で津波を観測した（第9図）。

この地震により、負傷者43人、住家半壊36棟、一部破損1,245棟の被害が生じた（令和元年7月31日12時00分現在、総務省消防庁による）（第1図）。

余震活動は、概ね本震を中心とする北東－南西方向に長さ約20 kmの領域で続いており、全体的には東南東方向に傾斜した面状に分布し、本震はその最深部付近に位置している。8月31日までの最大規模の余震は、8月18日19時06分のM4.4の地震（最大震度3）で、余震の中で最大震度を観測したのは6月19日00時57分のM4.2の地震（最大震度4）である（第12図）。内陸及び沿岸で発生した主な地震と比較すると、発生から約1か月間のM3.5以上の地震回数は2018年6月18日の大阪府北部の地震（M6.1）をやや上回る程度で推移した（第6図）。

1997年10月以降に今回の地震の周辺で発生した地震の発震機構は、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が多く、今回の活動で求められたM3.5以上の地震の発震機構はこれらと調和的であった（第3図）。

今回の地震の南西側では1964年6月16日に新潟地震（M7.5）、沖合では1833年12月7日に庄内沖の地震（M7・1/2）が発生しており、いずれも津波を伴い、死者等の被害が生じている（第6図）。

【地震活動の詳細】

今回の地震活動の震源分布を詳細に把握するため、Double-Difference法¹⁾（以下、DD法）を用いた震源決定を行った（第13図）。その結果、全体的には東南東方向に低角で傾斜する震源分布がみられるものの、本震の西～南西側を中心に一部でこれと異なる傾斜の分布もみられることが判明した。また、本震及び主な余震で求められたP波初動分布は、いずれも逆断層型で説明可能な分布ではあるものの、節面の傾斜や走向は微妙に異なるものが入り混じる様子が伺え、DD法による震源分布にみられた特徴と整合的である（第14図）。これらのことから、本震の震源断層は全体的には東南東方向に傾斜する逆断層と推定されるが、一部ではこれと異なる断層運動が生じていた可能性も考えられる。

今回の地震について、断層面を東南東傾斜の面と仮定して近地強震波形及び遠地実体波波形による震源過程解析を実施したところ、破壊開始点の北西側または西側に主なすべり域が求められ、大きさは約10 km四方であった（第4,5図）。また、バックプロジェクション解析では、本震発生か

ら約 4 ～ 6 秒の間, 本震震央の西北西から震央近傍にかけての領域で主な地震波放出源が求められ, 近地強震波形による震源過程解析の結果と整合的であった (第 10 図).

1922 年以降に陸域で発生した M6.5 以上の陸のプレート内の地震 (噴火活動に関連するものを除く) について, 本震発生から 1 年以内の最大余震を調べ, これらのマグニチュードの差 (D1) をみると, 今回の地震は D1 が大きいグループに属する (第 18 図).

今回の地震活動の震源分布は, 1964 年の新潟地震の余震分布や最近の微小地震活動の震源分布と相補的であるようにみえる (第 16 図).

気象庁の近地強震波形解析結果及び国土地理院の地殻変動観測結果に基づく本震の震源断層モデルをそれぞれ用いて, 1964 年の新潟地震及び 1833 年の庄内地震の断層モデルに対する静的応力変化 (Δ CFF) を求めると, 本震の震源断層モデルに近接する領域の一部で潮汐応答レベルを超えて促進センスとなる (第 19 図).

参考文献

- 1) Waldhauser, F. and W. L. Ellsworth : A Double-Difference Earthquake Location Algorithm: Method and Application to the Northern Hayward Fault, California, Bull. Seism. Soc. AM., 90, 1353-1368 (2000).

2019年6月18日 山形県沖の地震

(1) 概要

2019年6月18日22時22分に山形県沖の深さ14kmでM6.7の地震が発生し、新潟県村上市で震度6強、山形県鶴岡市で震度6弱を観測したほか、北海道から中部地方にかけて震度5強～1を観測した。また、山形県庄内で長周期地震動階級3を観測したほか、東北地方、新潟県と関東地方の一部で長周期地震動階級2～1を観測した。気象庁はこの地震に対して、最初の地震波の検知から7.3秒後の22時22分31.5秒と、9.0秒後の22時22分33.2秒に緊急地震速報（警報）を発表した。この地震は地殻内で発生し、発震機構は西北西－東南東方向に圧力軸を持つ逆断層型である。

気象庁はこの地震に伴い、同日22時24分に山形県、新潟県、石川県の一部に津波注意報を発表した（図1－1）。この地震により、山形県の鶴岡市鼠ヶ関で11cm、秋田県の秋田、新潟県の新潟、石川県の輪島港で8cmの津波を観測するなど、秋田県、山形県、新潟県、石川県で津波を観測した。

この地震により、負傷者43人、住家半壊36棟、一部破損1,245棟の被害が生じた（表1－1、令和元年7月31日12時00分現在、総務省消防庁による）。

新潟地方気象台、山形地方気象台及び仙台管区気象台は、震度5強以上を観測した震度観測点及びその周辺を中心に気象庁機動調査班（JMA-MOT）を派遣し、震度観測点の観測環境調査と周辺の被害調査を実施した。その結果、震度観測点の観測環境が地震によって変化していないこと、及び周辺の被害や揺れの状況が気象庁震度階級関連解説表と整合していることを確認した。

この地震の発生後、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。震度1以上の最大震度別地震回数表を表1－2に示す。

表1－1 2019年6月18日の山形県沖の地震による被害状況
（2019年7月31日12時00分現在、総務省消防庁による）

都道府県名	人的被害		住家被害	
	負傷者		半壊 棟	一部 破損 棟
	重傷 人	軽傷 人		
宮城県		5		
秋田県	1	1		1
山形県	3	25	11	656
新潟県	4	3	25	588
石川県	1			
合 計	9	34	36	1,245

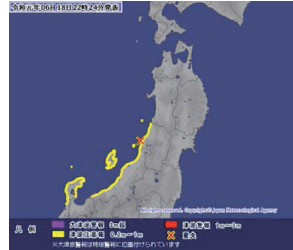


図1－1 6月18日の山形県沖の地震に対して発表された津波注意報

表1－2 震度1以上の最大震度別地震回数表（2019年6月18日22時～6月30日）

期間	最大震度別回数										震度1以上を 観測した回数	
	1	2	3	4	5弱	5強	6弱	6強	7		回数	累計
6/18 22時～24時	13	3	3	0	0	0	0	0	1	0	20	20
6/19 00時～24時	9	4	0	1	0	0	0	0	0	0	14	34
6/20 00時～24時	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	35
6/21 00時～24時	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	2	37
6/22 00時～24時	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	37
6/23 00時～24時	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2	39
6/24 00時～24時	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	39
6/25 00時～24時	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	39
6/26 00時～24時	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	39
6/27 00時～24時	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	39
6/28 00時～24時	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	40
6/29 00時～24時	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	41
6/30 00時～24時	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	41
総数	27	8	4	1	0	0	0	0	1	0		41

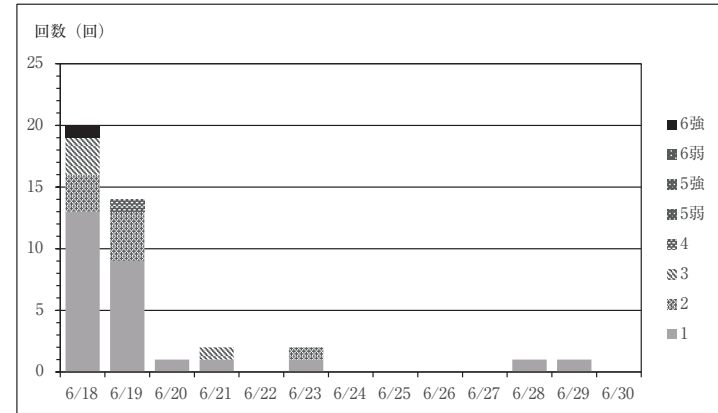


図1－2 震度1以上の日別地震回数グラフ（2019年6月18日22時～6月30日）

表1－3 緊急地震速報（警報）、地震情報、津波注意報、津波情報等の発表状況
（2019年6月18日22時～6月19日02時）

月 日	時刻	情報発表、報道発表等の状況	備考（主な内容等）
6月18日	22時22分	地震発生	山形県沖、M6.7、最大震度6強
	22時22分	緊急地震速報（警報）（第1報）	
		緊急地震速報（警報）（第2報）	
	22時24分	津波注意報	山形県、新潟県上中下越、佐渡、石川県能登に津波注意報を発表。
		津波予報（若干の海面変動）	
		震度速報	6月18日22時22分頃、新潟県下越で最大震度6強（1報目）
		震度速報	6月18日22時22分頃、新潟県下越で最大震度6強（2報目）
		津波情報（津波到達予想時刻・予想される津波の高さ）	
		津波情報（各地の満潮時刻・津波到達予想時刻）	
	22時25分	震度速報	6月18日22時22分頃、新潟県下越で最大震度6強（3報目）
	22時26分	地震情報（震源・震度に関する情報）	〔6月18日22時22分頃の山形県沖の地震〕新潟県下越で最大震度6強
		地震情報（各地の震度に関する情報発表）	
	23時07分	津波情報（津波観測に関する情報）	〔18日23時06分現在の値〕
	23時43分	津波情報（津波観測に関する情報）	〔18日23時42分現在の値〕
6月19日	00時16分	津波情報（津波観測に関する情報）	〔19日00時15分現在の値〕
	00時30分	報道発表（第1報） ^(注)	令和元年6月18日22時22分頃の山形県沖の地震について
	00時31分	地震情報（顕著な地震の震源要素更新のお知らせ）	〔6月18日22時22分の山形県沖の地震〕
	01時02分	津波注意報	山形県、新潟県上中下越、佐渡、石川県能登の津波注意報を解除
	01時05分	津波予報（若干の海面変動）	
		津波情報（津波観測に関する情報）	〔19日00時15分現在の値〕（酒田（山形県）、新潟（新潟県）、粟島（新潟県）、佐渡市鷺崎（新潟県）、輪島港（石川県））とりまとめの情報

（注）6月26日に報道発表（「令和元年6月18日22時22分頃の山形県沖の地震について（第2報）」）を行った。

第1図 2019年6月18日 山形県沖の地震

Fig. 1 The earthquake in the northern part of Osaka Prefecture on June 18, 2018.

(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継続しており、6月19日00時57分にM4.2の地震（最大震度4）が発生するなど、6月30日までにM4.0以上の地震が4回発生している。

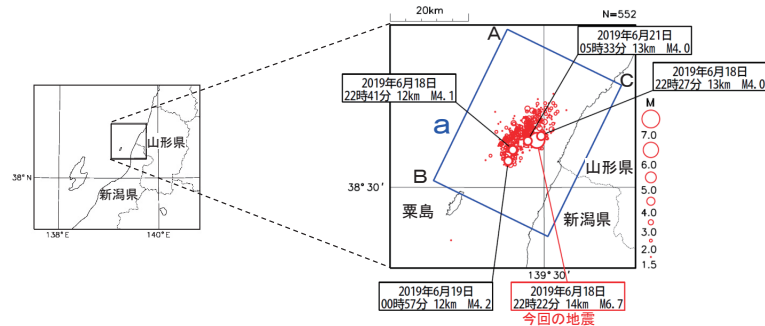


図 2-1 震央分布図
(2019年6月18日～2019年6月30日、深さ0～30km、 $M \geq 1.5$)

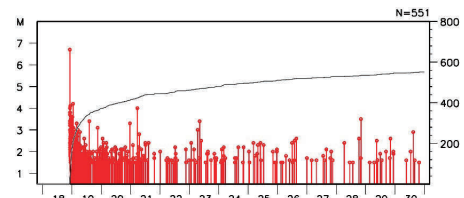


図 2-2 領域 a 内の M-T 図及び回数積算図

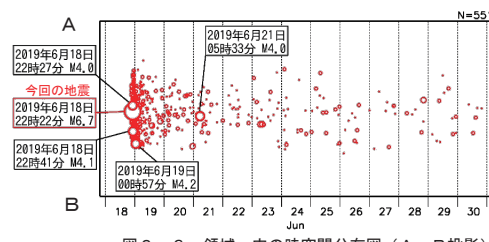


図 2-3 領域 a 内の時空間分布図 (A-B 投影)

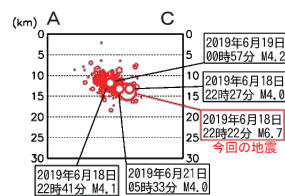


図 2-4 領域 a 内の断面図
(A-C 投影)

第2図 地震活動

Fig. 2 Seismic activity.

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。

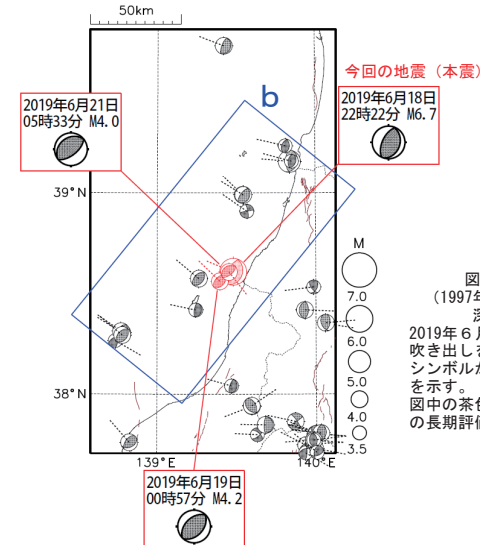


図 2-5 発震機構分布図
(1997年10月1日～2019年6月30日、深さ0～30km、 $M \geq 3.5$)
2019年6月18日以降の地震を赤く示し、吹き出しを付けた。
シンボルから伸びる点線は圧力軸の方向を示す。
図中の茶色の細線は地震調査研究推進本部の長期評価による活断層を示す。

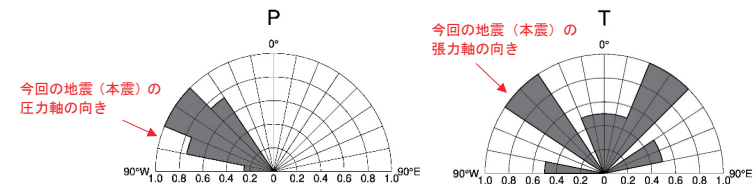


図 2-6 領域 b 内の発震機構の圧力軸 (左) と張力軸 (右) の方位分布
最も個数の多い方位を1として、方位別の割合を表している。

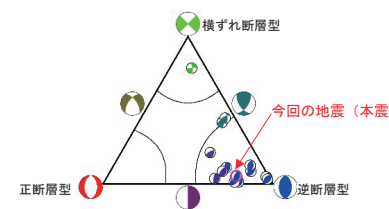


図 2-7 領域 b 内の発震機構の型の分布

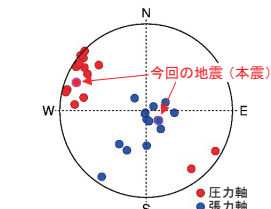


図 2-8 領域 b 内の発震機構の圧力軸と張力軸の分布

第3図 発震機構解の分布

Fig. 3 Distribution of focal mechanism.

— 遠地実体波による震源過程解析（暫定） —

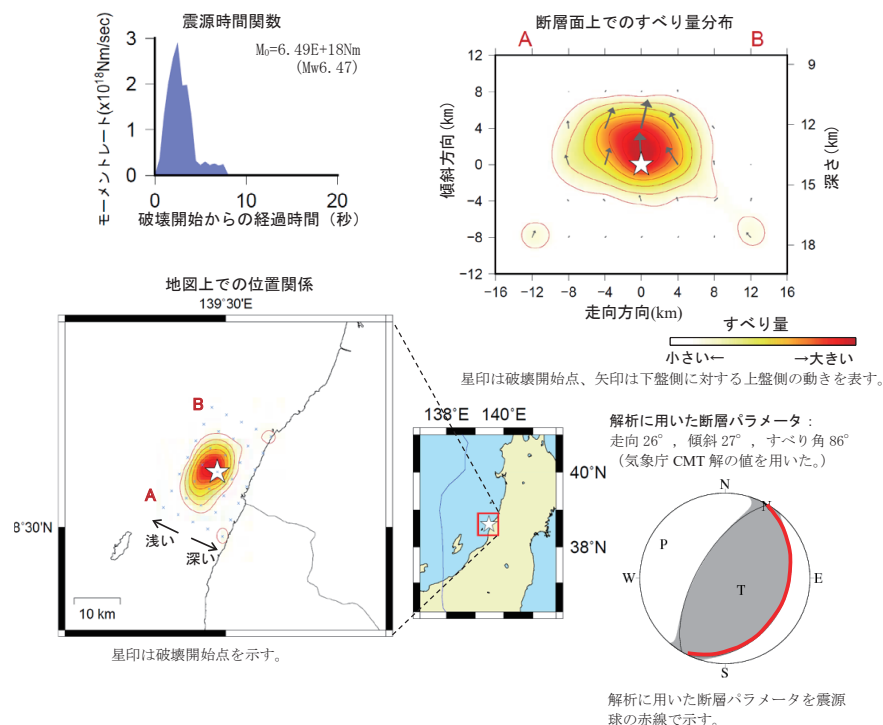
2019年6月18日22時22分(日本時間)に山形県沖で発生した地震について、米国大学間地震学研究連合(IRIS)のデータ管理センター(DMC)より広帯域地震波形記録を取得し、遠地実体波を用いた震源過程解析(注1)を行った。

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 3.0 km/s とした。理論地殻の計算には 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（この結果は暫定であり、今後更新することがある）。

- ・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。

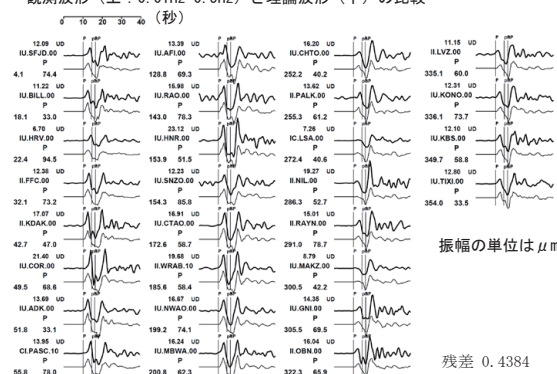
結果の見方は、http://www.data.jma.go.jp/svd/egev/data/world/about_srcproc.html を参照



(注1) 解析に使用したプログラム

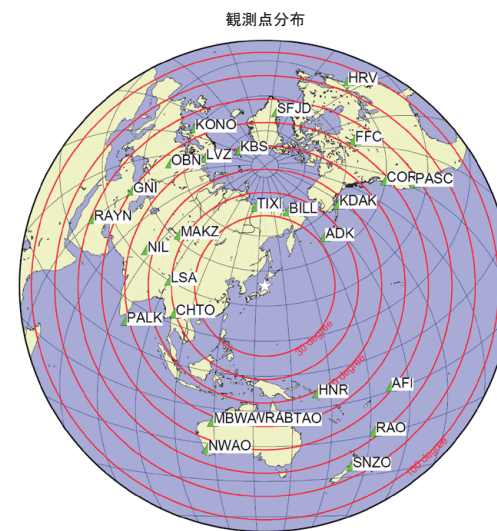
M. Kikuchi and H. Kanamori, Note on Teleseismic Body-Wave Inversion Program,
<http://www.erj.u-tokyo.ac.jp/ETAL/KIKUCHI/>

観測波形（上：0.01Hz-0.5Hz）と理論波形（下）の比較



振幅の単位は μm

残差 0.4384



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つ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。

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.

第4図 遠地実体波による震源過程解析

Fig. 4 Seismic source process analysis by using teleseismic body-wave.

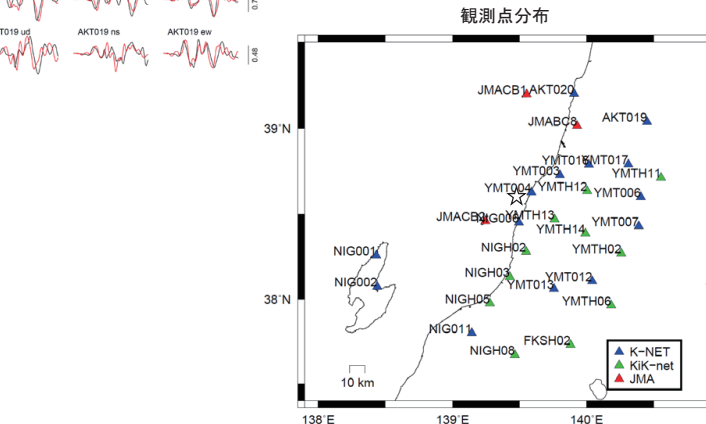
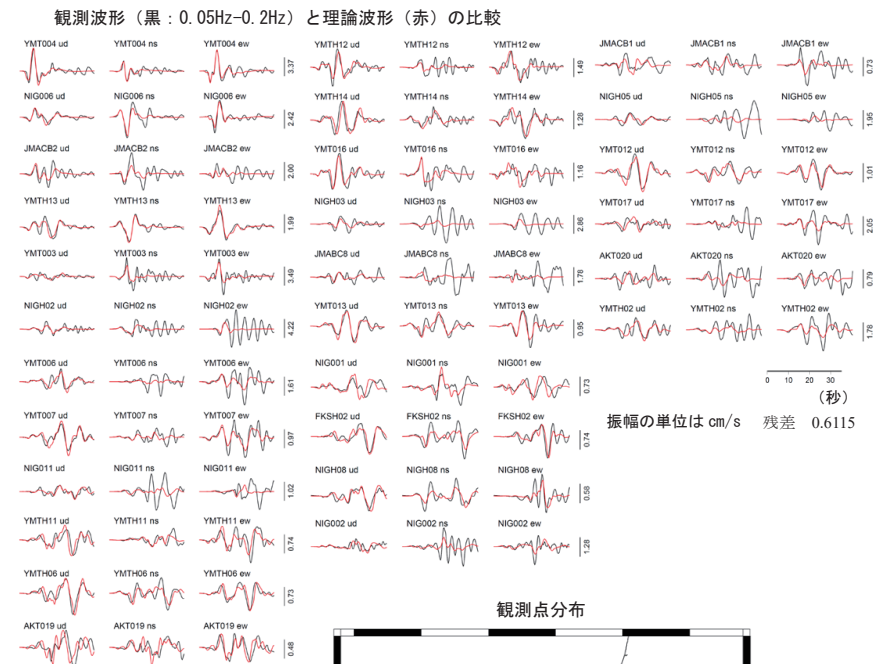
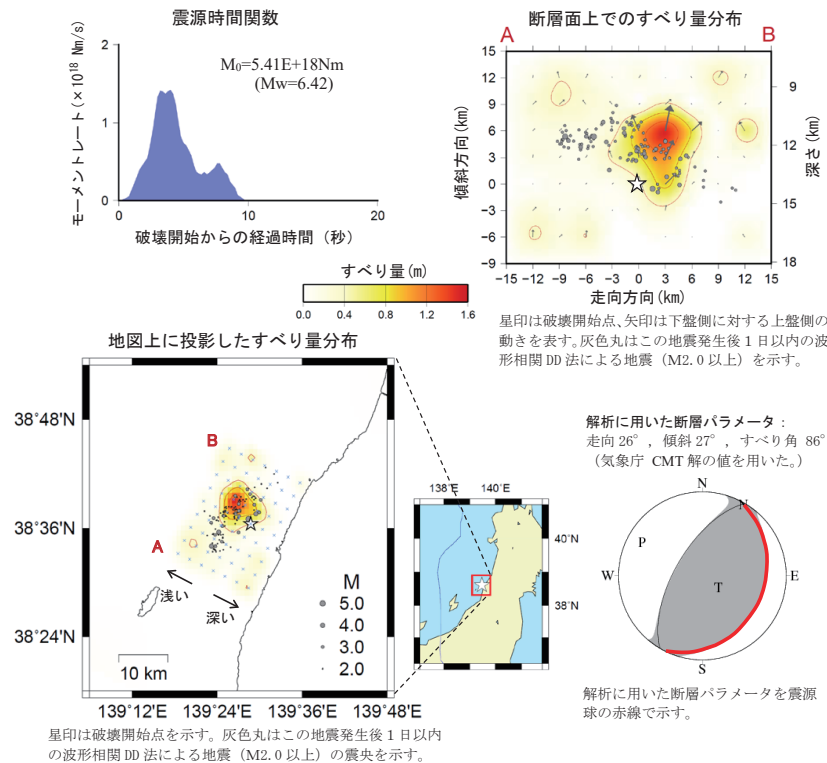
2019年6月18日 山形県沖の地震 — 近地強震波形による震源過程解析（暫定） —

2019年6月18日22時22分（日本時間）に山形県沖で発生した地震（ $M_{JMA}6.7$ ）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（この結果は暫定であり、今後更新することがある）。

- ・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。



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.

第5図 近地強震波形による震源過程解析

Fig. 5 Seismic source process analysis by using strong-motion data.

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。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。)

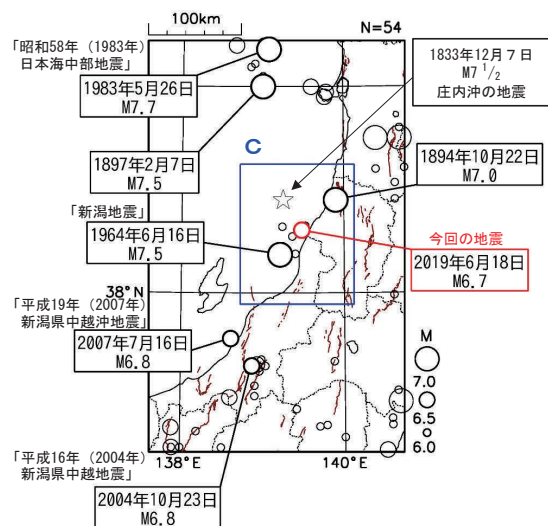


図2-21 震央分布図

(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年は理科年表、1885年～1921年は茅野・宇津(2001)、宇津(1982、1985)による。

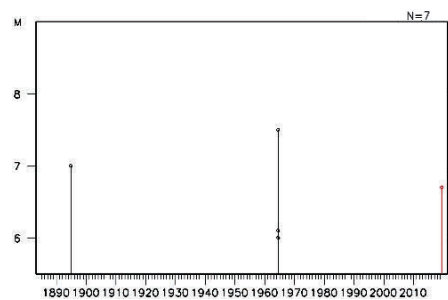


図2-22 領域c内のM-T図

出典

宇津徳治, 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, 1982.
宇津徳治, 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, 1985.
茅野一郎・宇津徳治, 日本の主な地震の表, 「地震の事典」第2版, 朝倉書店, 2001, 657pp.

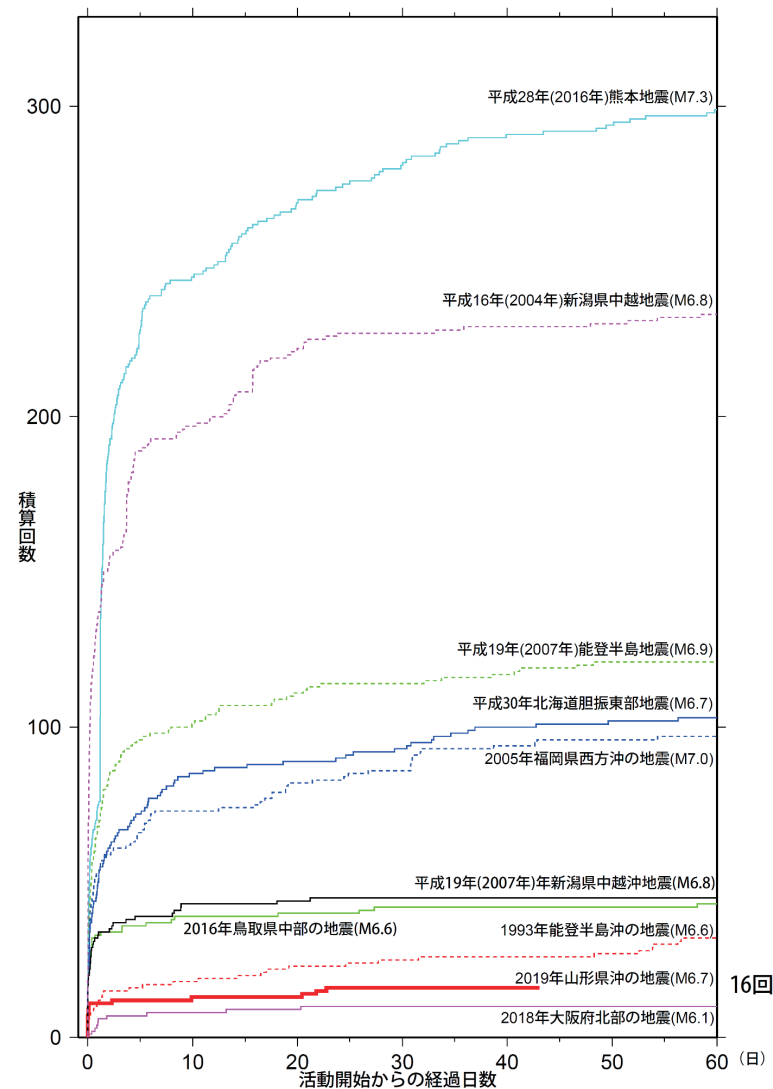


図2-23 内陸及び沿岸で発生した主な地震回数比較 (M $\geq$ 3.5、2019年7月31日24時00分現在) マグニチュードは最大のものを示す。

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。

第6図 過去の地震活動

Fig. 6 Seismic activity of the past.

(3) 震度と加速度

2019年6月18日22時22分に発生した地震(M6.7:本震)により震央付近の新潟県村上市府屋で最大震度6強、山形県鶴岡市温海川で震度6弱の揺れを観測したほか、北海道から中部地方にかけて震度5強～1を観測した。また、この地震の発生後、最大震度4以上を観測した余震の回数は、19日00時57分に発生した新潟県下越沖の地震(M4.2、最大震度4)の1回であった。

ア. 6月18日22時22分に発生した地震(M6.7:本震)の震度と加速度

震度分布図を図3-1に、この地震により震度5弱以上を観測した震度観測点の計測震度及び最大加速度を表3-1に示す。

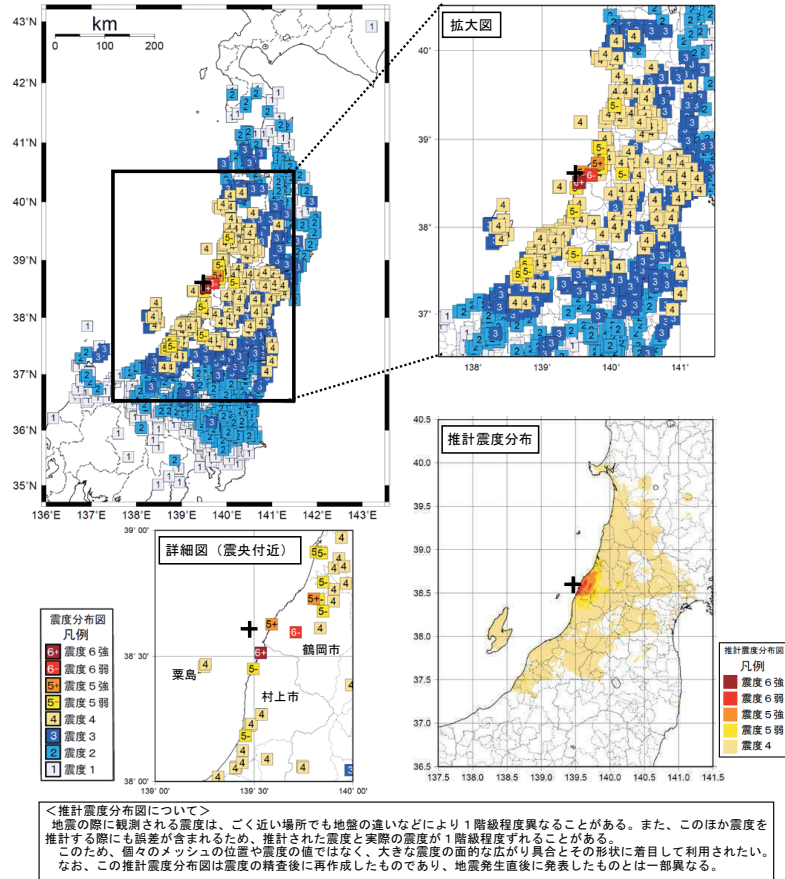


図3-1 2019年6月18日22時22分 山形県沖の地震(M6.7、深さ14km、最大震度6強)の震度分布図及び推計震度分布図(+印は震央を表す。)

地震発生直後に発表した震度データに加え、その後入手した震度データも用いて作成。
今回の地震の発生直後に、新潟県下越沖で22時24分、22時25分に地震が発生している(地震の規模はそれぞれM3.7、M3.8)が、これらの地震の揺れも含まれた震度である。

表3-1 令和元年6月18日22時22分 山形県沖の地震の計測震度および最大加速度(震度5弱以上)

都道府県	市区町村	観測点名	震度	計測震度	最大加速度(gal = cm/s/s)				震央距離(km)
					合成	南北成分	東西成分	上下成分	
新潟県	村上市	村上市府屋*	6強	6.1	1191.3	714.7	1184.6	362.2	11.9
山形県	鶴岡市	鶴岡市温海川	6弱	5.8	750.3	461.3	675.3	298.7	20.4
山形県	鶴岡市	鶴岡市道田町*	5強	5.3	269.8	180.5	218.4	108.6	31.2
山形県	鶴岡市	鶴岡市温海*	5強	5.2	653.4	633.4	570.6	213.9	10.0
山形県	酒田市	酒田市亀ヶ崎	5弱	4.9	172.5	168.8	137.2	55.8	45.9
新潟県	村上市	村上市寒川*	5弱	4.8	250.5	233.4	212.3	153.8	18.0
山形県	三川町	三川町横山*	5弱	4.7	157.7	138.2	154.9	69.4	38.3
新潟県	長岡市	長岡市上岩井*	5弱	4.7	165.1	157.5	87.0	47.3	138.3
新潟県	村上市	村上市岩船駅前*	5弱	4.7	93.8	90.6	84.1	39.4	47.6
山形県	鶴岡市	鶴岡市馬場町	5弱	4.6	143.4	92.0	130.4	82.9	33.1
山形県	鶴岡市	鶴岡市上山添*	5弱	4.6	226.4	166.4	203.5	105.6	33.2
山形県	大蔵村	大蔵村肘折*	5弱	4.6	331.8	214.9	330.7	164.7	59.6
新潟県	柏崎市	柏崎市西山町池浦*	5弱	4.6	132.8	126.6	106.3	23.8	146.6
秋田県	由利本荘市	由利本荘市桜小路*	5弱	4.5	135.6	91.9	131.1	31.3	99.2
山形県	酒田市	酒田市宮野浦*	5弱	4.5	102.0	88.9	96.8	39.7	44.6
新潟県	長岡市	長岡市小島谷*	5弱	4.5	90.6	77.3	77.6	22.6	130.7
新潟県	阿賀町	阿賀町鹿瀬中学校*	5弱	4.5	201.2	180.1	159.0	45.9	102.8

観測点名の*印は、地方公共団体または国立研究開発法人防災科学技術研究所の震度観測点を示す。

イ. 最大震度4以上の余震の震度分布

今回の余震活動の内、最大震度4以上を観測した地震の震度分布図を図3-2に示す。

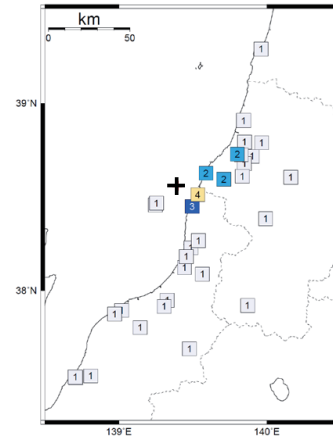


図3-2 19日00時57分 新潟県下越沖の地震(M4.2、深さ12km、最大震度4)の震度分布図(+印は震央を表す。凡例は図3-1と同様。)

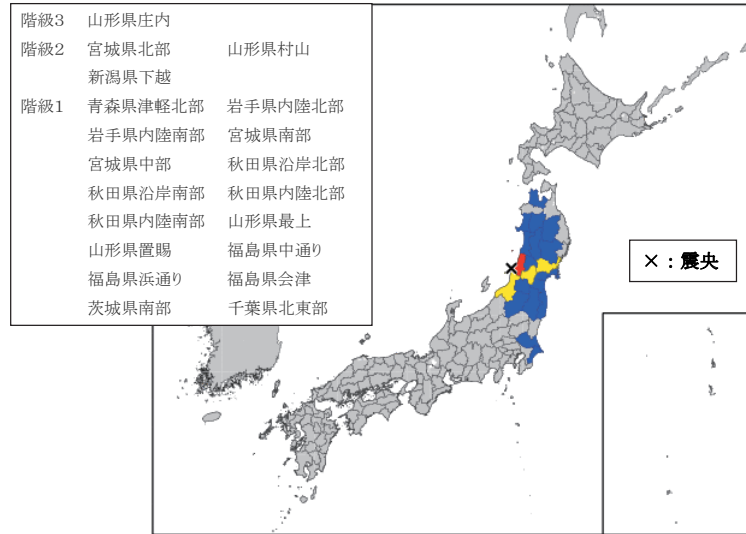
第7図 震度と加速度

Fig. 7 Seismic intensity and acceleration.

(4) 長周期地震動

ア. 観測した長周期地震動階級

6月18日22時22分(M6.7)山形県沖の地震により、山形県庄内で長周期地震動階級3を観測したほか、東北地方、新潟県と関東地方の一部で長周期地震動階級2～1を観測した。



長周期地震動階級の凡例: ■ 階級1 ■ 階級2 ■ 階級3 ■ 階級4

図4-1 長周期地震動階級1以上を観測した地域

表4-1 長周期地震動階級関連解説表

長周期地震動階級	人の体感・行動	室内の状況	備考
長周期地震動階級1	室内にいたほとんどの人が揺れを感じる。驚く人もいる。	ブラインドなど吊り下げものが大きく揺れる。	—
長周期地震動階級2	室内で大きな揺れを感じ、物につかまりたいと感じる。物につかまらないうるなど、行動に支障を感じる。	キャスター付き什器がわずかに動く。棚にある食器類、書籍の本が落ちることがある。	—
長周期地震動階級3	立っていることが困難になる。	キャスター付き什器が大きく動く。固定していない家具が移動することがあり、不安定なものは倒れることがある。	間仕切壁などにひび割れ・亀裂が入ることがある。
長周期地震動階級4	立っていることができず、はわなと動くことができない。揺れにほんろうされる。	キャスター付き什器が大きく動き、転倒するものがある。固定していない家具の大半が移動し、倒れるものもある。	間仕切壁などにひび割れ・亀裂が多くなる。

※長周期地震動階級に関する詳細は地震・火山月報(防災編)平成30年12月号「付録10. 長周期地震動階級関連解説表」を参照。

イ. 地震波形等

図4-2～4に長周期地震動階級3を観測した酒田市亀ヶ崎、長周期地震動階級2を観測したうち、遊佐町遊佐、新潟西蒲区役所の各観測点における地震波形、絶対速度応答スペクトル及び絶対加速度応答スペクトルを示す。

酒田市亀ヶ崎では周期1秒台で階級3を観測した(図4-2)。階級2を観測した観測点では、周期1～2秒台で階級2となる観測点が多いなか、遊佐町遊佐では周期4秒台以外の周期帯で階級2(図4-3)、新潟西蒲区役所では周期6～7秒台で階級2(図4-4)となるなど、比較的長い周期で階級2を観測する地点もあった。また、震源から250km以上離れた茨城県や千葉県でも階級1を観測した(表4-2)。

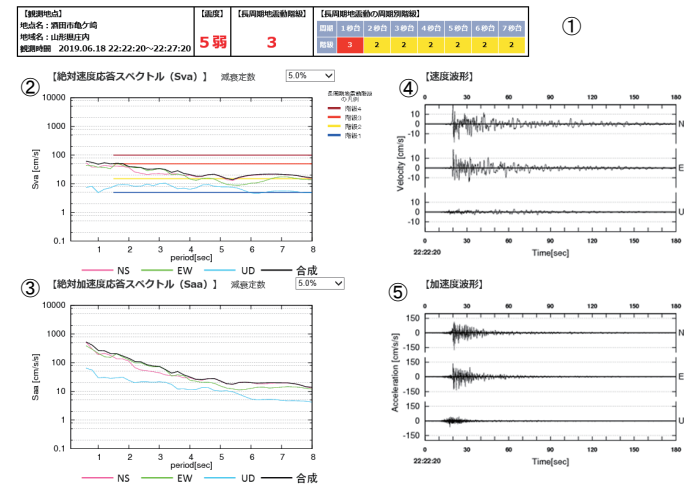


図4-2 酒田市亀ヶ崎で観測した波形、絶対速度応答スペクトル及び絶対加速度応答スペクトル(速度波形、加速度波形は22時22分20秒からの3分間を示している)

図4-2～4の説明

- 観測点名、地域名称、地震波形の観測時間、観測点における震度、観測点における長周期地震動階級、観測点における周期別階級(周期区分別の絶対速度応答スペクトルの最大値から長周期地震動階級を求めたもの)。周期区分は、周期1.6秒～周期1.8秒を1秒台、周期2.0秒～周期2.8秒を2秒台、周期3.0秒～周期3.8秒を3秒台、周期4.0秒～周期4.8秒を4秒台、周期5.0秒～周期5.8秒を5秒台、周期6.0秒～周期6.8秒を6秒台、周期7.0秒～周期7.8秒を7秒台と表示している。
- 絶対速度応答スペクトルグラフ。横軸は周期(秒)、縦軸は速度応答値(単位はcm/sec)で、NS(赤)、EW(緑)、UD(青)の3成分及び水平動合成(黒)について表示した。減衰定数5%はビルの設計に一般的に用いられている値である。
- 絶対加速度応答スペクトルグラフ。横軸は周期(秒)、縦軸は加速度応答値(単位はcm/sec/sec)で、NS(赤)、EW(緑)、UD(青)の3成分及び水平動合成(黒)について表示した。減衰定数5%はビルの設計に一般的に用いられている値である。
- 速度波形表示。成分は、上から南北成分(NS)、東西成分(EW)、上下成分(UD)である。3成分とも同じ縮尺で示す。
- 加速度波形表示。表示は④と同じ。

第8図 長周期地震動

Fig. 8 Long-period earthquake ground motion.

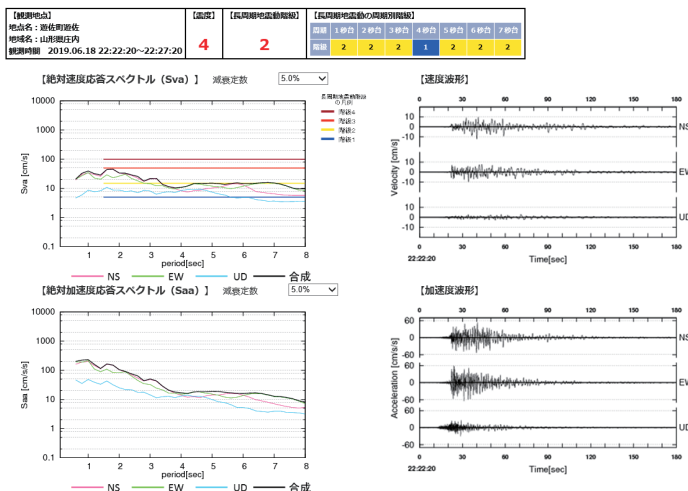


図4-3 遊佐町遊佐で観測した波形、絶対速度応答スペクトル及び絶対加速度応答スペクトル
(速度波形、加速度波形は22時22分20秒からの3分間を示している)

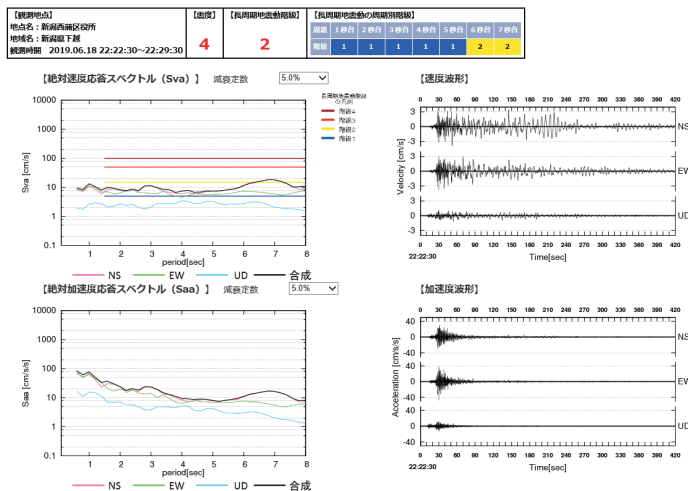


図4-4 新潟西蒲区役所で観測した波形、絶対速度応答スペクトル及び絶対加速度応答スペクトル
(速度波形、加速度波形は22時22分30秒からの7分間を示している)

(6) 津波

6月18日22時22分に発生した山形県沖の地震(M6.7)により、山形県の鶴岡市鼠ケ関で最大11cmの津波を観測したほか、秋田県・山形県・新潟県・石川県で津波を観測した。

表6-1 津波観測値

都道府県	観測点名	所属	第一波		最大波	
			到達時刻	発現時刻	高さ (cm)	高さ (cm)
秋田県	秋田	国土交通省港湾局	- 日 - : -	19日 01:42	8	
山形県	酒田	国土交通省港湾局	18日 22: -	18日 23:35	5	
	鶴岡市鼠ケ関	国土地理院	18日 22:27	18日 22:34	11	
新潟県	粟島	海上保安庁	18日 22:29	18日 22:48	5	
	新潟	国土交通省港湾局	18日 - : -	19日 00:06	8	
	柏崎市鯨波	国土地理院	- 日 - : -	19日 01:18	4	
	佐渡市鷺崎	気象庁	18日 - : -	19日 00:24	4	
石川県	輪島港	国土交通省港湾局	18日 - : -	19日 00:07	8	

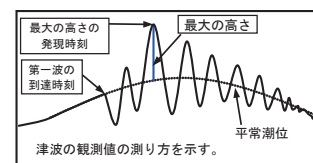


図6-1 津波の測り方の模式

一 は値が決定できないことを示す。
※観測値は後日の精査により変更される場合がある。
※所属機関の観測波形データをもとに気象庁が読み取った値。

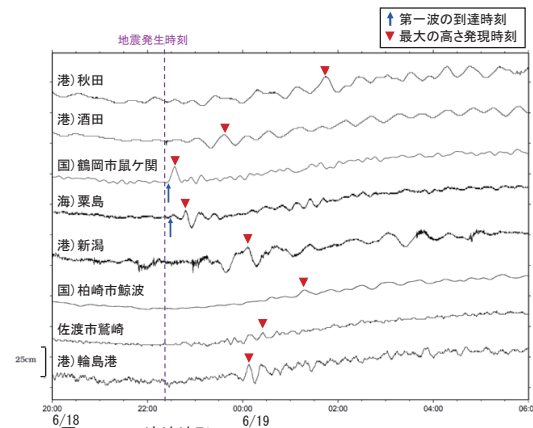


図6-2 津波波形
※ 港)は国土交通省港湾局、国)は国土地理院、海)は海上保安庁の所属であることを示す。

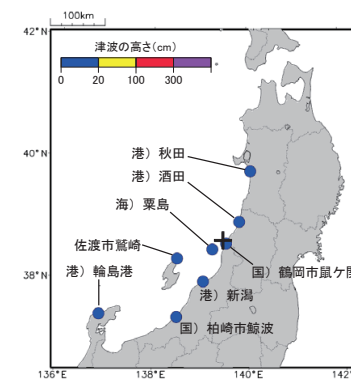


図6-3 津波を観測した地点と最大波の高さ
(+印は震央を表す。)

※ 港)は国土交通省港湾局、国)は国土地理院、海)は海上保安庁の所属であることを示す。

第9図 津波の観測状況
Fig. 9 Observed tsunami height.

2019 年 6 月 18 日 山形県沖 (M6.7) の地震 — 強震波形を用いた Back Projection 法による地震波放出源の推定 —

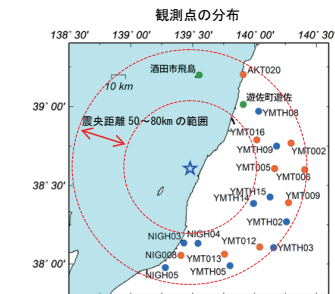
2019 年 6 月 18 日 22 時 22 分に山形県沖で発生した地震について、Back Projection 法 (以下、BP 法) による地震波の放出源の推定を行った。BP 法では、時空間内に格子を配置し、各観測点のターゲットとする相の到達時付近の波形記録を重ね合わせ、各格子で Brightness (Br 値) を求める。

※本手法は Kao and Shan(2004)¹⁾ の The Source-Scanning Algorithm に基づき開発した

データと計算条件

解析データとして気象庁の震度計及び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) の加速度波形の 3 成分合成を用いた。ターゲット相は P 相とした。観測点は、各観測波形の 1 周期の波形長がほぼ等しくなるよう、50km ≤ 震央距離 ≤ 80km の点にしぼった。これらの波形に 4-20Hz のバンドパスフィルタを施し、走時のずれと同程度以上のタイムウィンドウ幅で振幅値を平滑化し、RMS 振幅値を作成し解析に用いた。Br 値は 0.01 秒間隔で計算した。格子は、一元化震源 (38° 36.5' N, 139° 28.8' E、深さ 14km) を中心に、気象庁 CMT 解による東南東傾斜の節面 (走向 26°、傾斜 27°) の走向、傾斜に沿って 1km 間隔で配置した。格子から観測点までの理論走時の算出には、JMA2001 の地震波速度構造に基づく走時表²⁾を使用した。

波形の処理及び断層の設定	
フィルタ	4-20Hz のバンドパスフィルタ
平滑化のタイムウィンドウ幅	0.6 秒
仮定する断層面	走向 26°、傾斜 27°
断層面の大きさ	40km × 30km
断層面上に配置した格子の間隔	1km × 1km

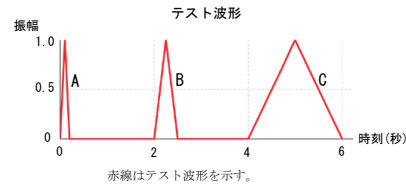


星印は気象庁による地震 (一元化震源) の震央を示す。橙色、青色、緑色の丸はそれぞれ K-NET、KiK-net、気象庁観測点を示す。

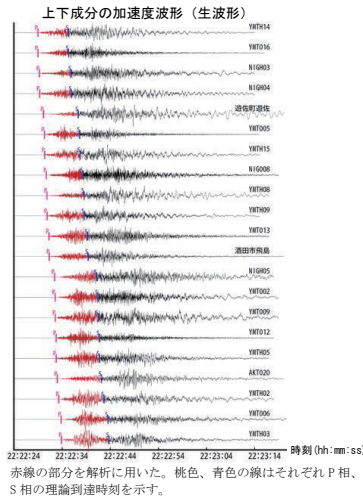
解像度テスト

解析条件の妥当性を検証するために解像度テストをおこなった。仮想震源 (今回の地震と同じ位置) から 2 秒おきにテスト波形が 3 回放射され、実際の解析に使用する観測点セットで理論走時に基づく時刻で観測されたと仮定して、Br 値の分布と仮想震源の位置と比較した。

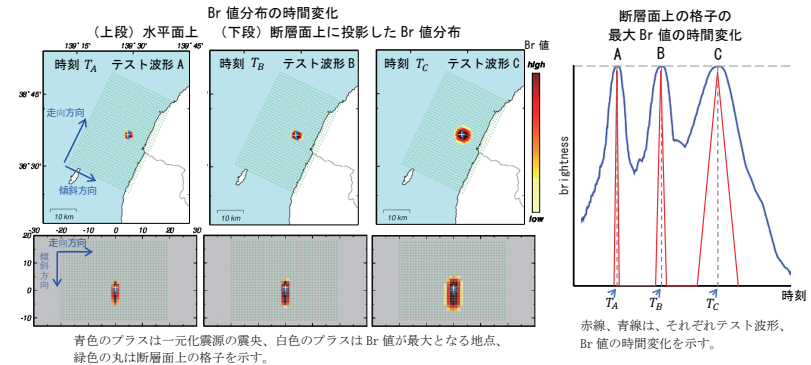
仮想震源		
テスト波形	OT	三角波の幅
A		0.2 秒
B	A の 2.0 秒後	0.5 秒
C	A の 4.0 秒後	2.0 秒



赤線はテスト波形を示す。



Br 値は仮想震源の震央付近を中心として同心円状に分布し、Br 値が最大となる位置と震央位置はよく一致しており、時刻も一致する。

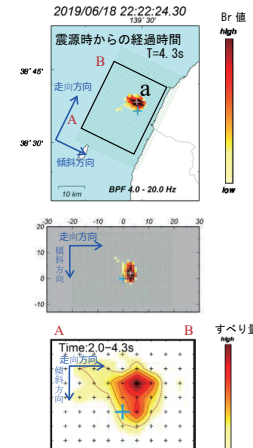


青色のプラスは一元化震源の震央、白色のプラスは Br 値が最大となる地点、緑色の丸は断層面上の格子を示す。

山形県沖の地震 (M6.7) の解析結果

震源時から約 4~6 秒までの間、高 Br 値の分布は一元化震源の西北西から震央近傍に 8km 程度伸びている。この高 Br 値の領域は、やや出現時間差があるものの、近地強震波形による震源過程解析から求めたモーメント解放量の大きい領域とほぼ一致する。

震源過程解析と Back Projection 法による解析結果の比較
(上段) 水平面上の Br 値分布 (中段) 断層面上に投影した Br 値分布
(下段) 近地強震波形による震源過程解析から求めた断層面上 (領域 a) でのすべり量分布

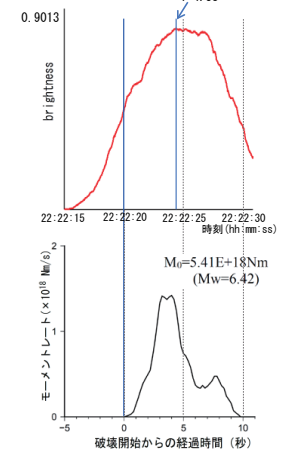


青色のプラスは一元化震源の位置、白色のプラスは Br 値が最大となる地点、緑色の丸は断層面上の格子を示す。

参 考 文 献

- 1) Kao, H. and Shan, S.-J. : Geophys. J. Int, 157, 589-594 (2004).
- 2) 上野・他 : 験震時報, 65, 123-134, 2001.

(上段) 断層面上の格子の最大 Br 値の時間変化
(下段) 震源過程解析から求めた震源時間関数



第10図 Back Projection法による地震波放出源の推定

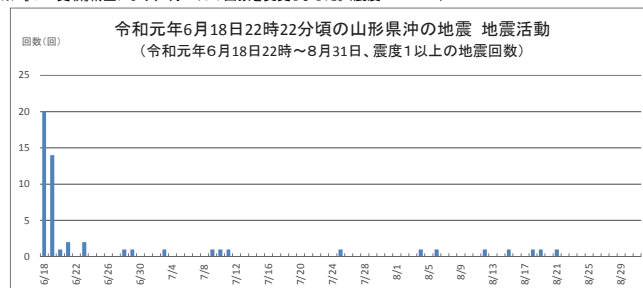
Fig. 10 Estimation of seismic sources inferred from Back Projection method.

令和元年8月31日現在
気象庁地震火山部

令和元年6月18日22時22分頃の山形県沖の地震 最大震度別地震回数表

令和元年6月18日22時～8月31日、震度1以上

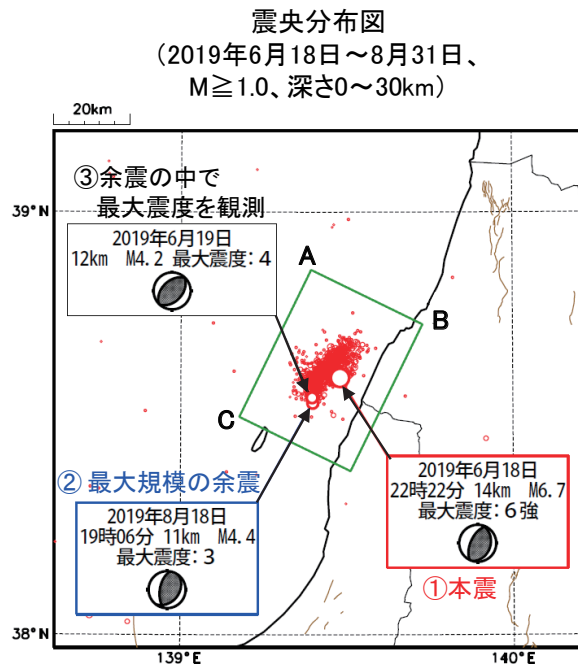
時間帯	最大震度別回数										震度1以上を観測した回数		備考
	1	2	3	4	5弱	5強	6弱	6強	7		回数	累計	
6/18 22時～24時	13	3	3	0	0	0	0	1	0		20	20	※1、※2
6/19 00時～24時	9	4	0	1	0	0	0	0	0		14	34	
6/20 00時～24時	1	0	0	0	0	0	0	0	0		1	35	
6/21 00時～24時	1	0	1	0	0	0	0	0	0		2	37	
6/22 00時～24時	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	37	
6/23 00時～24時	1	1	0	0	0	0	0	0	0		2	39	
6/24 00時～24時	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	39	
6/25 00時～24時	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	39	
6/26 00時～24時	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	39	
6/27 00時～24時	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	39	
6/28 00時～24時	1	0	0	0	0	0	0	0	0		1	40	
6/29 00時～24時	1	0	0	0	0	0	0	0	0		1	41	
6/30 00時～24時	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	41	
7/1 00時～24時	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	41	
7/2 00時～24時	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	41	
7/3 00時～24時	0	1	0	0	0	0	0	0	0		1	42	
7/4 00時～24時	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	42	
7/5 00時～24時	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	42	
7/6 00時～24時	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	42	
7/7 00時～24時	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	42	
7/8 00時～24時	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	42	
7/9 00時～24時	1	0	0	0	0	0	0	0	0		1	43	
7/10 00時～24時	0	1	0	0	0	0	0	0	0		1	44	
7/11 00時～24時	0	0	1	0	0	0	0	0	0		1	45	
7/12 00時～24時	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	45	
7/13 00時～24時	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	45	
7/14 00時～24時	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	45	
7/15 00時～24時	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	45	
7/16 00時～24時	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	45	
7/17 00時～24時	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	45	
7/18 00時～24時	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	45	
7/19 00時～24時	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	45	
7/20 00時～24時	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	45	
7/21 00時～24時	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	45	
7/22 00時～24時	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	45	
7/23 00時～24時	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	45	
7/24 00時～24時	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	45	
7/25 00時～24時	1	0	0	0	0	0	0	0	0		1	46	
7/26 00時～24時	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	46	
7/27 00時～24時	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	46	
7/28 00時～24時	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	46	
7/29 00時～24時	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	46	
7/30 00時～24時	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	46	
7/31 00時～24時	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	46	
8/1 00時～24時	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	46	
8/2 00時～24時	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	46	
8/3 00時～24時	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	46	
8/4 00時～24時	1	0	0	0	0	0	0	0	0		1	47	
8/5 00時～24時	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	47	
8/6 00時～24時	1	0	0	0	0	0	0	0	0		1	48	
8/7 00時～24時	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	48	
8/8 00時～24時	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	48	
8/9 00時～24時	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	48	
8/10 00時～24時	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	48	
8/11 00時～24時	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	48	
8/12 00時～24時	1	0	0	0	0	0	0	0	0		1	49	
8/13 00時～24時	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	49	
8/14 00時～24時	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	49	
8/15 00時～24時	1	0	0	0	0	0	0	0	0		1	50	
8/16 00時～24時	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	50	
8/17 00時～24時	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	50	
8/18 00時～24時	0	0	1	0	0	0	0	0	0		1	51	
8/19 00時～24時	1	0	0	0	0	0	0	0	0		1	52	
8/20 00時～24時	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	52	
8/21 00時～24時	0	1	0	0	0	0	0	0	0		1	53	
8/22 00時～24時	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	53	
8/23 00時～24時	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	53	
8/24 00時～24時	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	53	
8/25 00時～24時	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	53	
8/26 00時～24時	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	53	
8/27 00時～24時	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	53	
8/28 00時～24時	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	53	
8/29 00時～24時	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	53	
8/30 00時～24時	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	53	
8/31 00時～24時	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	53	
総計	34	11	6	1	0	0	0	1	0		53	53	

※1[6/20更新]精査により、6月18日の回数を変更しました。(震度1:2→11、震度2:1→3、震度3:2→3)
※2[6/28更新]精査により、6月18日の回数を変更しました。(震度1:11→13)

第11図 最大震度別地震回数表

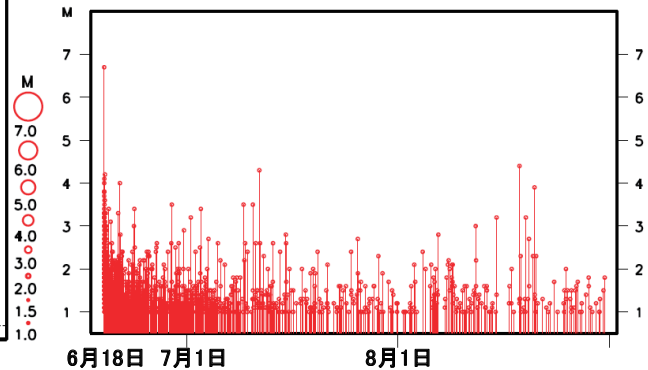
Fig. 11 Number of earthquakes in each maximum intensity.

2019年6月18日山形県沖 地震活動の状況（8月31日現在）



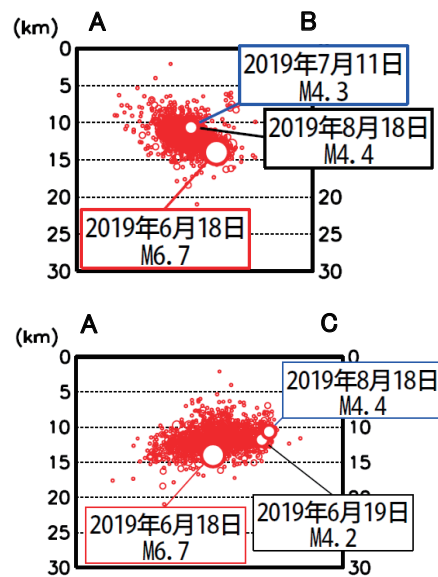
震央分布図中の茶色の細線は、地震調査研究推進本部の
長期評価による活断層を示す。

震央分布図の四角形領域内の
地震活動経過図

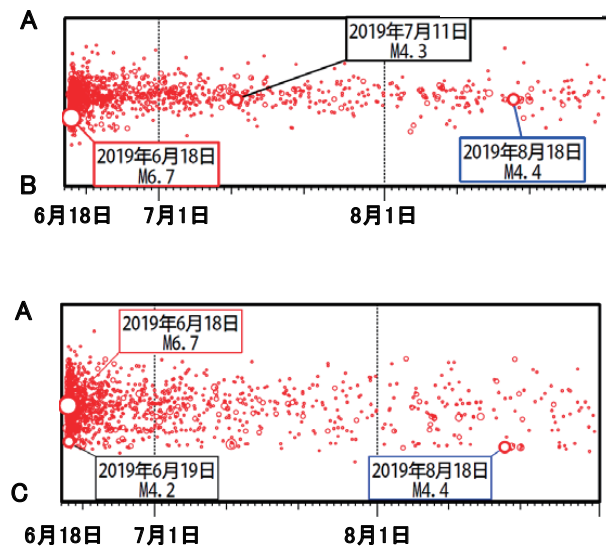


横軸は時刻、縦軸はマグニチュード、縦棒のついた
丸は地震発生時刻とマグニチュードの大きさを表す。

震央分布図の四角形
領域内の断面図(A-BおよびA-C投影)



震央分布図の四角形領域内の
時空間分布図(A-BおよびA-C投影)



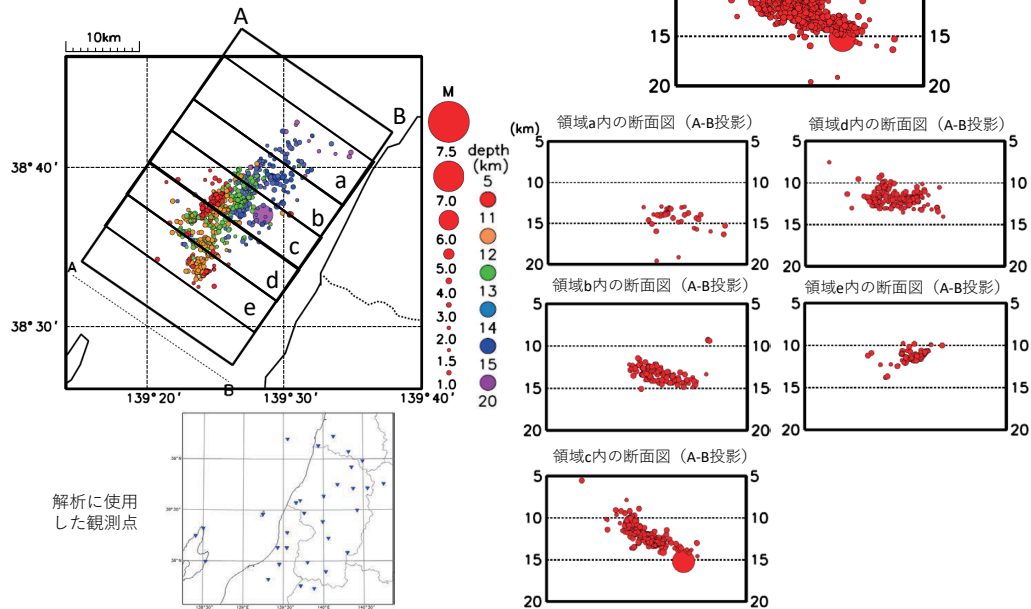
横軸は時刻、縦軸のA・(BまたはC)は震央分布図の
四角形領域の両端のA・(BまたはC)と対応する。

第12図 余震活動

Fig. 12 Seismic activity of aftershocks.

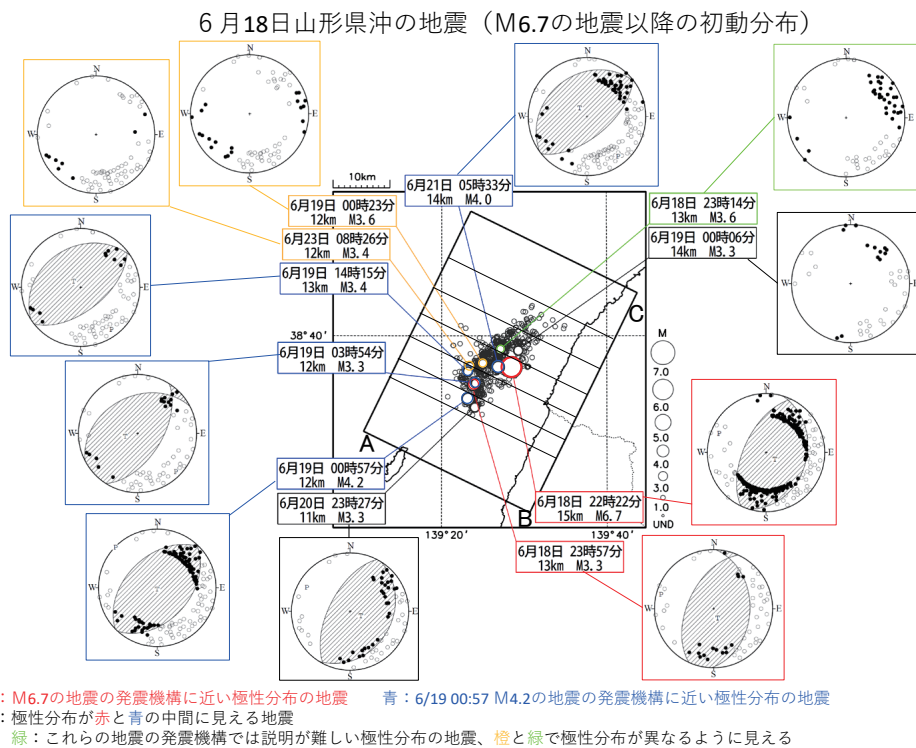
波形相関DD法結果

2019年6月18日22時～2019年6月26日24時の一元化震源 (M全て) について、観測点限定及び観測点補正値を適用して再計算後、波形相関DD法により処理した。



第13図 波形相関DD法による震源分布

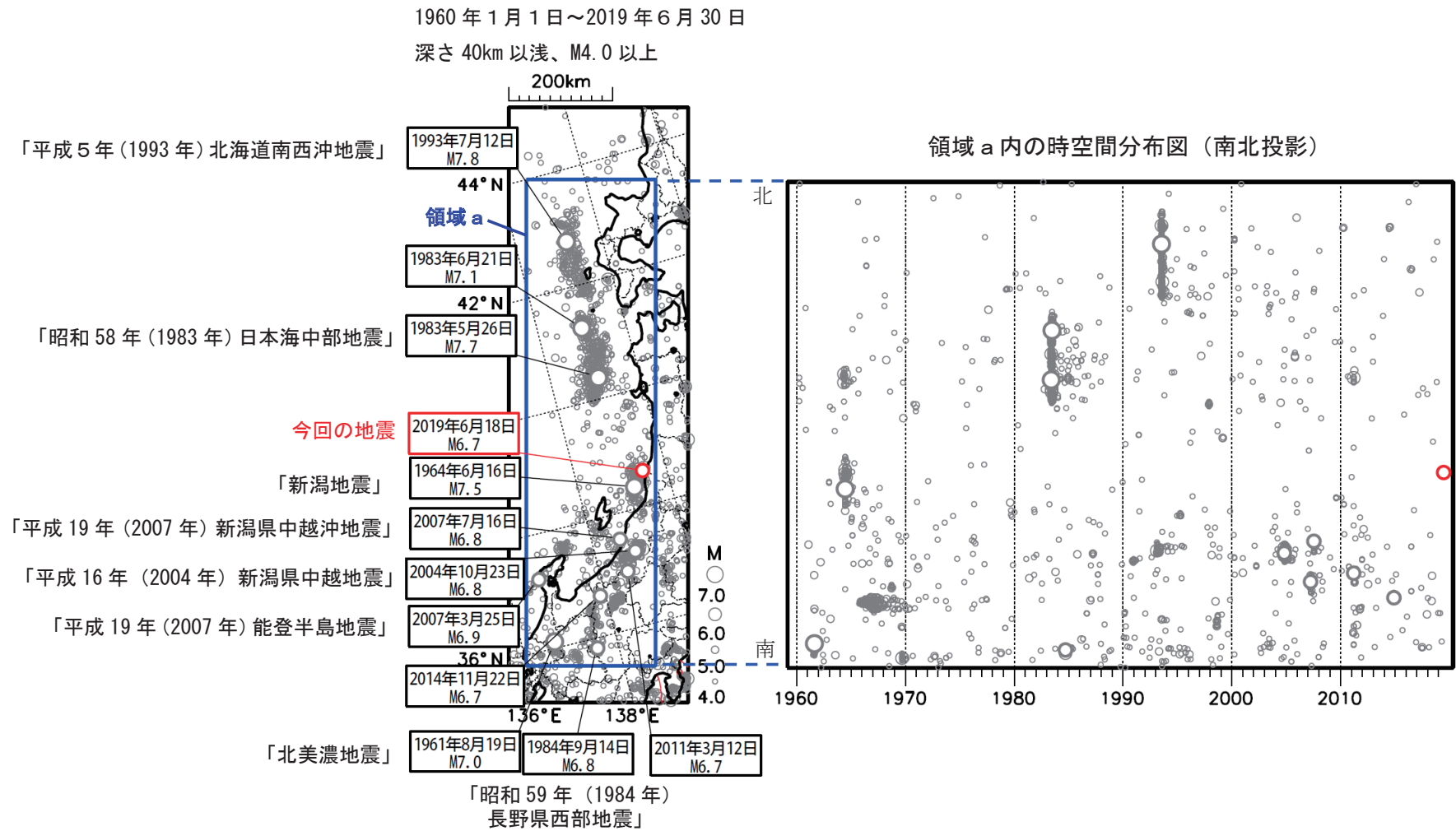
Fig. 13 Distribution of the hypocenter by the Double-Difference method with waveform cross-correlation.



第14図 メカニズム解の震央分布図

Fig. 14 Distribution of focal mechanism.

日本海東縁部の地震活動と今回の地震

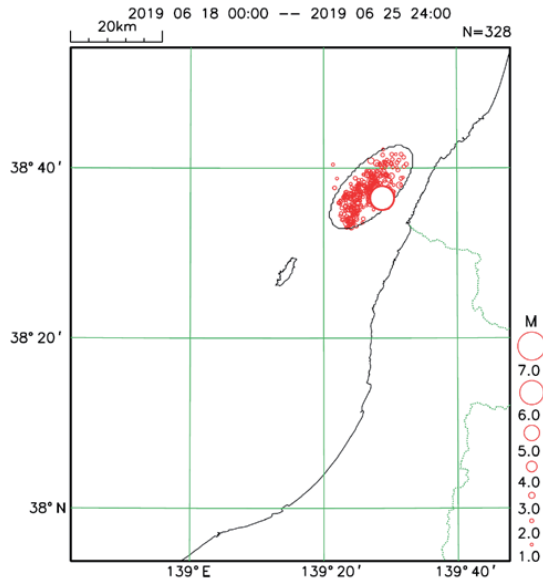


第15図 日本海東縁部の地震活動と今回の地震活動

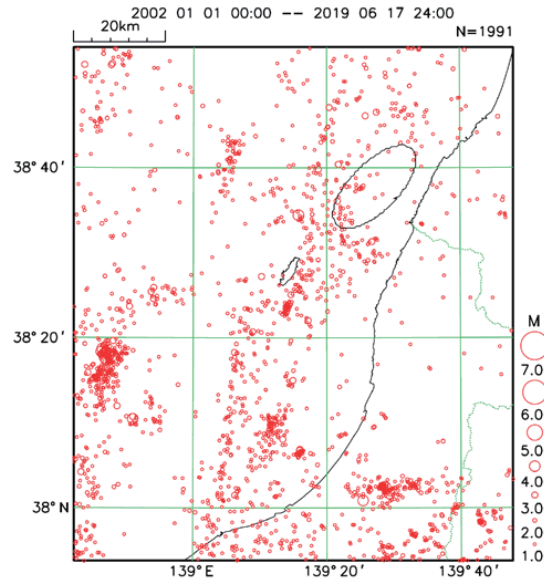
Fig. 15 Seismic activity in eastern margin of Japan Sea and this earthquake.

新潟地震の余震活動との位置関係

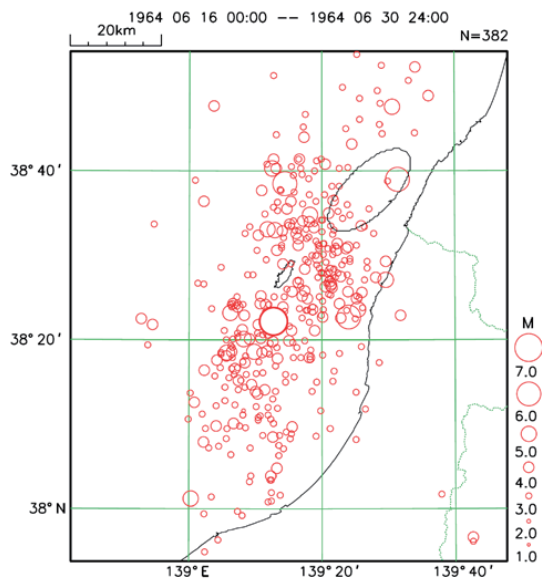
今回の地震活動



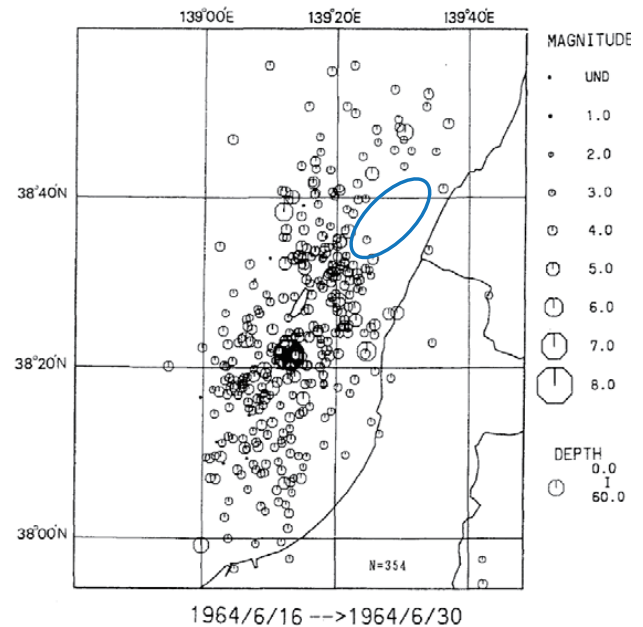
最近の微小地震活動



新潟地震(気象庁震源カタログ)



新潟地震(草野・浜田, 1991)

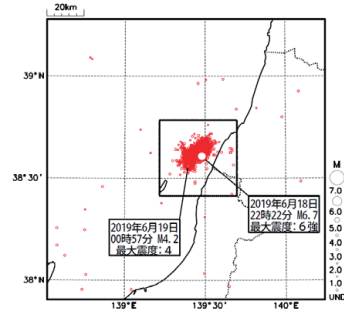


第16図 新潟地震の余震域と今回の地震活動域の位置関係

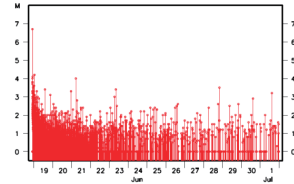
Fig. 16 Positional relationship between aftershock area of Niigata earthquake and this earthquake.

6月18日山形県沖の地震(余震発生確率等)

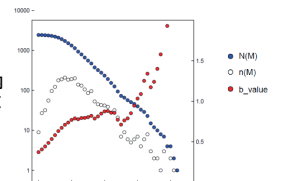
震央分布図(2019年6月18日22時~7月1日24時、M全て、30km以浅)



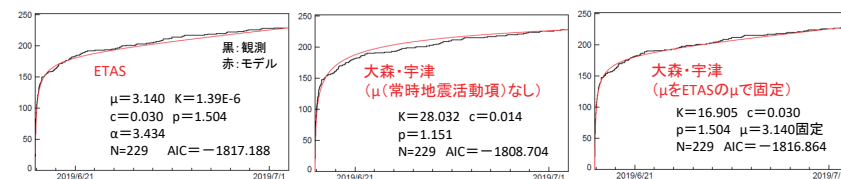
左図矩形内のMT図



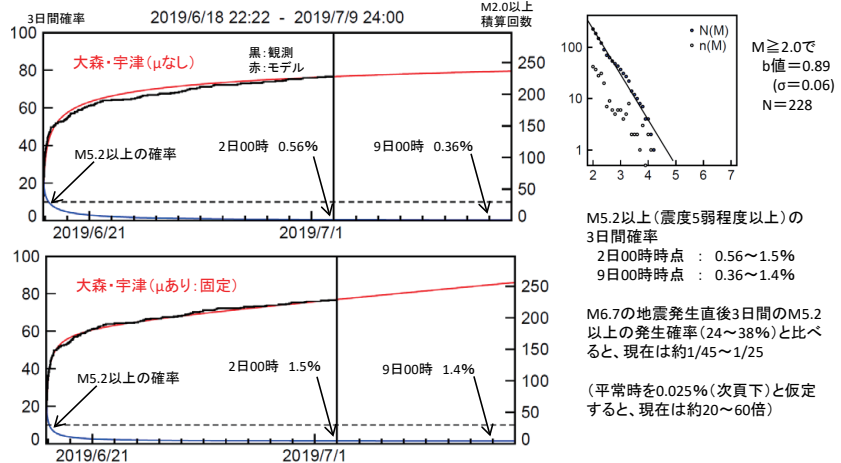
左図矩形内のM別度数分布・b値



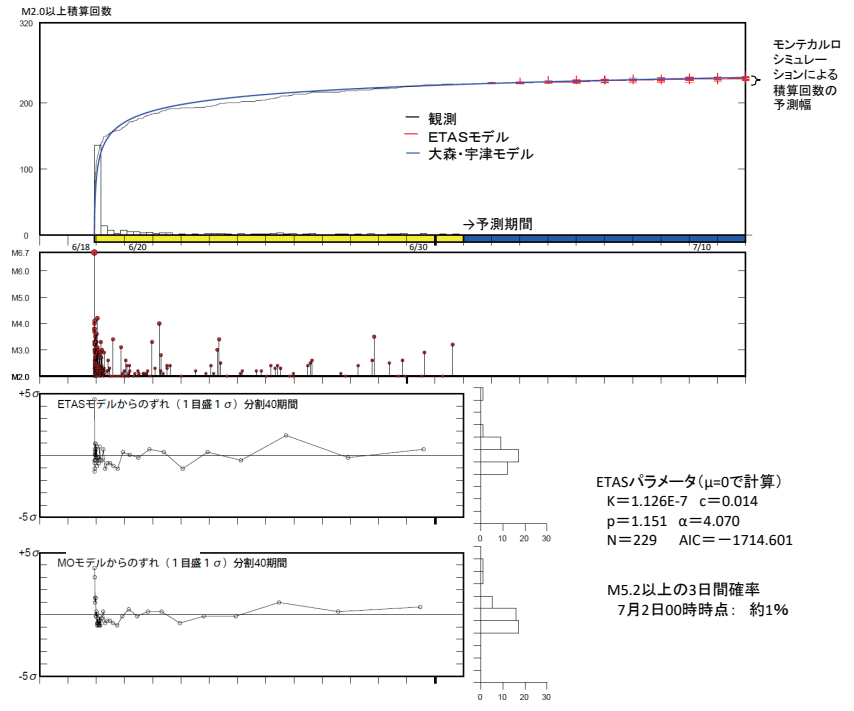
上図矩形内(M $\geq$ 2.0)のETAS解析(左)、大森・宇津式フィッティング(中、右)



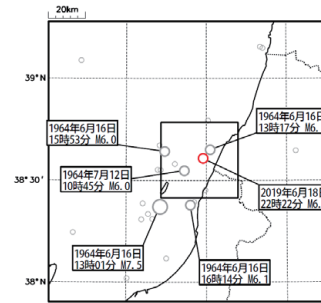
大森・宇津+GR式による余震発生確率等



ETAS+モンテカルロシミュレーションによる予測との比較

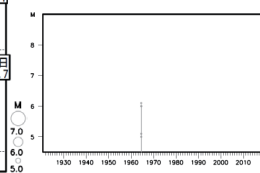


震央分布図(1922年1月1日~2019年7月1日、M $\geq$ 5.0、30km以浅)



M5.2以上を赤で表示

左図矩形内のMT図



左図矩形内のM5.2以上の発生頻度
1922年1月1日~2019年6月17日
(35597日間)で3回発生
→ 11865日/回

上記を平均発生頻度とするポアソン過程のモデルによるM5.2以上の3日間確率
0.025%

第17図 余震発生確率

Fig. 17 Probability of aftershock occurring.

本震と最大余震のマグニチュードの差(D1)について

・条件

1922年1月1日～2019年8月31日

陸域 $M \geq 6.5$ 、深さ $\leq 30\text{km}$ 、及び深さ $30\text{km} \sim 40\text{km}$ の下記地震
日高地方東部の地震(1931年 $M6.8$)、浦河沖地震(1982年 $M7.1$)北海道胆振東部地震(2018年 $M6.7$)※関東地震とその余震、2000年三宅島噴火関連の
新島～三宅島近傍の地震は除く本震(最大 M)発生から1年以内に発生した地震を対象とする

・結果

-D1が大きい地震の例($D1 \geq 2.0$)1930年11月26日 北伊豆地震($M7.3$, $D1=2.7$)1997年6月25日 山口県北部($M6.6$, $D1=2.3$)2009年8月11日 駿河湾($M6.5$, $D1=2.0$)2014年11月22日 長野県北部($M6.7$, $D1=2.2$)

※北伊豆地震($M7.3$)は当時の検知能力が低い
 ※2009年の駿河湾の地震から約2年後に近傍で
 $M6.2$ の地震が発生した
 ※2014年の長野県北部の地震から約3年半後に
 近傍で $M5.2$ の地震が発生した
 ※明田川(2008)¹⁾の調査結果も活用した

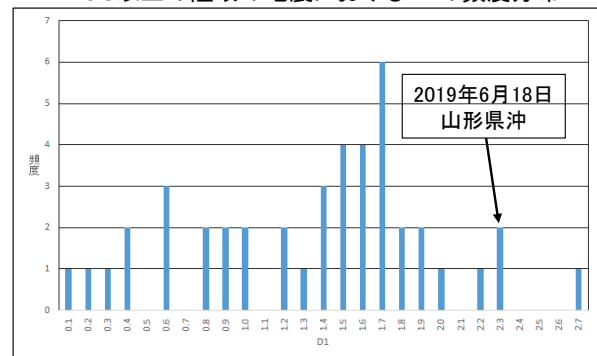
参考文献

1)明田川保, 駿震時報, 71, 19-33(2008).

最近の地震のD1

年月日	地震名・震央	本震 (現時点の最大規模の地震)	最大余震	本震と 最大余震の差
1995年1月17日	「兵庫県南部地震」	7.3	5.4	1.9
1997年3月26日	鹿児島県薩摩地方	6.6	4.9	1.7
1997年6月25日	山口県東部	6.6	4.3	2.3
2000年10月6日	「鳥取県西部地震」	7.3	5.6	1.7
2004年10月23日	「新潟県中越地震」	6.8	6.5	0.3
2005年3月20日	福岡県北西部	7.0	5.4	1.6
2007年3月25日	「能登半島地震」	6.9	5.3	1.6
2007年7月16日	「新潟県中越沖地震」	6.8	5.8	1.0
2008年8月14日	「岩手・宮城内陸地震」	7.2	5.7	1.5
2011年3月12日	長野県北部	6.7	5.9	0.8
2011年4月11日	福島県中通り	7.0	6.4	0.6
2014年11月22日	長野県北部	6.7	4.5	2.2
2016年4月16日	「熊本地震」	7.3	5.9	1.4
2016年10月21日	鳥取県中部	6.6	5.0	1.6
2018年9月6日	「北海道胆振東部地震」	6.7	5.5	1.2
2019年6月18日	山形県沖	6.7	4.4	2.3

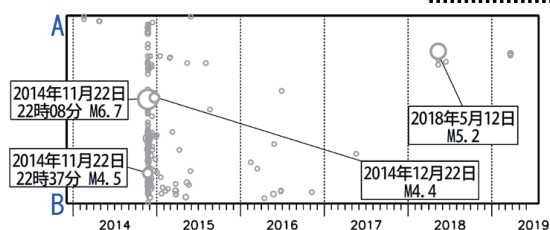
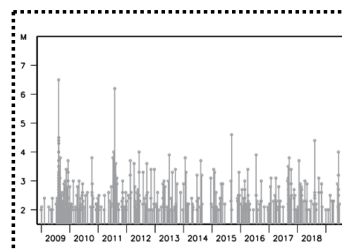
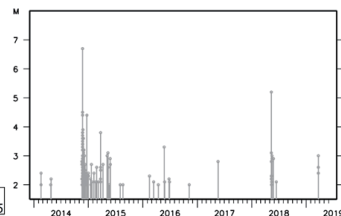
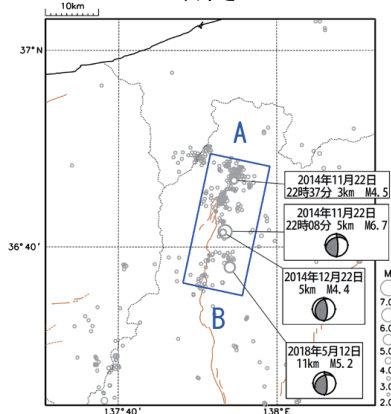
M6.5以上の陸域の地震におけるD1の頻度分布



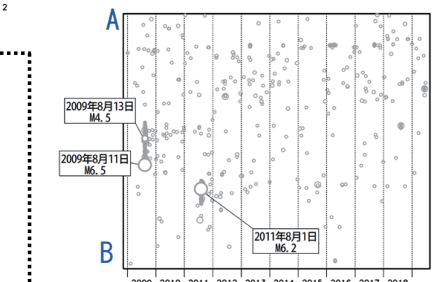
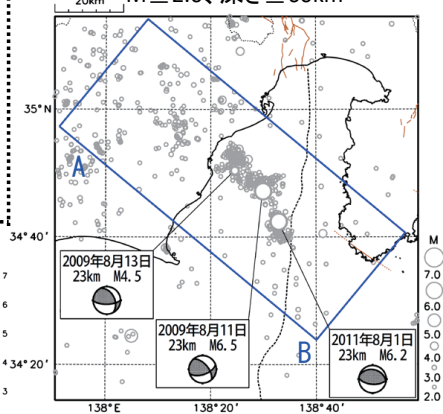
本震と最大余震のマグニチュードの差について(過去の具体例)

2014年11月22日 長野県北部($D1=2.2$)

2014年1月1日～2019年6月25日

 $M \geq 2.0$ 、深さ $\leq 20\text{km}$ 2009年8月11日 駿河湾($D1=2.0$)

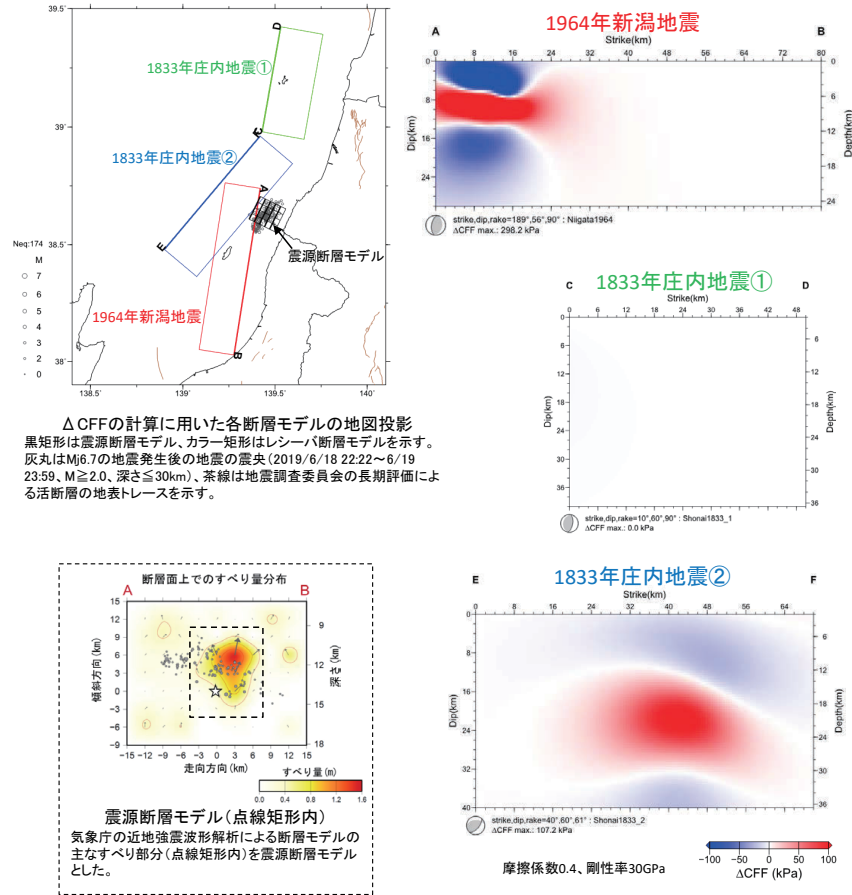
2009年1月1日～2019年6月25日

 $M \geq 2.0$ 、深さ $\leq 60\text{km}$ 

第18図 本震と最大余震のマグニチュードの差(D1)について

Fig. 18 Difference of magnitude between main shock and largest aftershock.

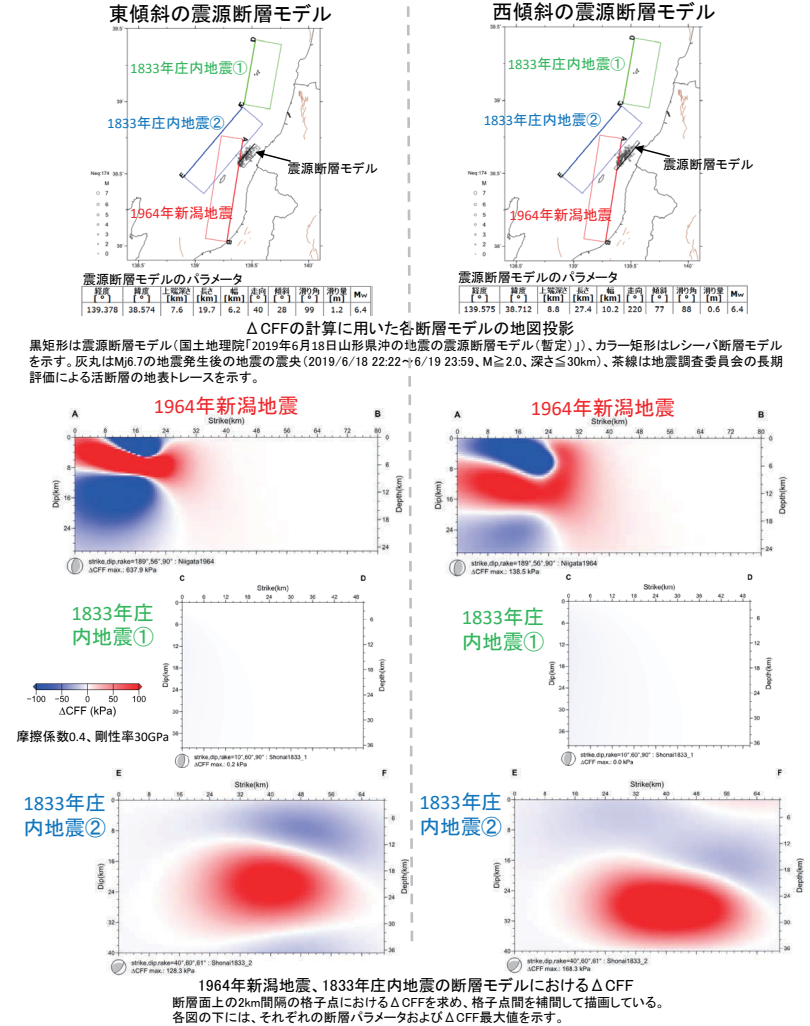
2019/6/18山形県沖の地震(Mj6.7)による1964年新潟地震※1、
1833年庄内地震※2の断層モデルへの Δ CFF
＜震源断層モデル: 気象庁の近地強震波形解析による震源断層モデル(暫定)＞
※1) Abe, K. (1975): Re-examination of the fault model for the Niigata earthquake of 1964, Journal of Physics of the Earth, 23, 349-366.
※2) 相田 勇 (1989): 天保四年の庄内沖地震による津波に関する数値実験, 『続古地震—実像と虚像』(荻原尊禮編著), 東京大学出版会, 204-214.



1964年新潟地震、1833年庄内地震の断層モデルにおける Δ CFF
断層面上の2km間隔の格子点における Δ CFFを求め、格子点間を補間して描画している。各図の下には、それぞれの断層パラメータおよび Δ CFF最大値を示す。

2019/6/18山形県沖の地震(Mj6.7)による1964年新潟地震※1、
1833年庄内地震※2の断層モデルへの Δ CFF
＜震源断層モデル: 国土地理院による震源断層モデル(暫定)＞

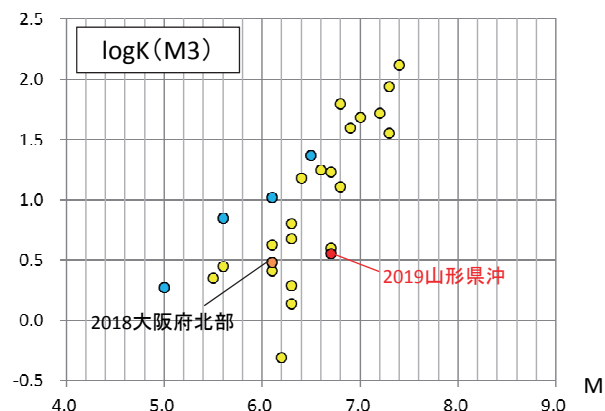
※1) Abe, K. (1975): Re-examination of the fault model for the Niigata earthquake of 1964, Journal of Physics of the Earth, 23, 349-366.
※2) 相田 勇 (1989): 天保四年の庄内沖地震による津波に関する数値実験, 『続古地震—実像と虚像』(荻原尊禮編著), 東京大学出版会, 204-214.



第19図 新潟地震、庄内地震への静的応力変化 (Δ CFF)

Fig. 19 Changes in static stress (Δ CFF) calculated on the fault planes for Niigata earthquake and Shonai earthquake.

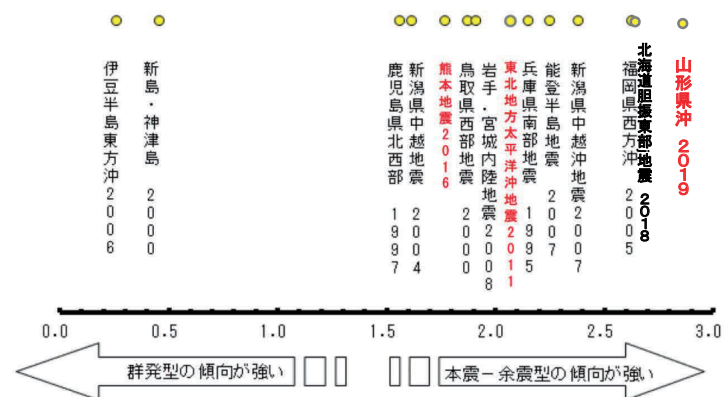
6月18日 山形県沖の地震(地震活動パラメータ比較)



次ページの表(「大地震後の地震活動の見通しに関する情報のあり方」報告書の表6のうち「地殻内の地震」にその後の主な地震と山形県沖の地震を追加)のlog K(m3)を本震M1に対してプロットした。log K(m3) はb値とK値を使って、log KをM3の水準に修正したもの。水色の丸は前駆的活動に対して求められた値。

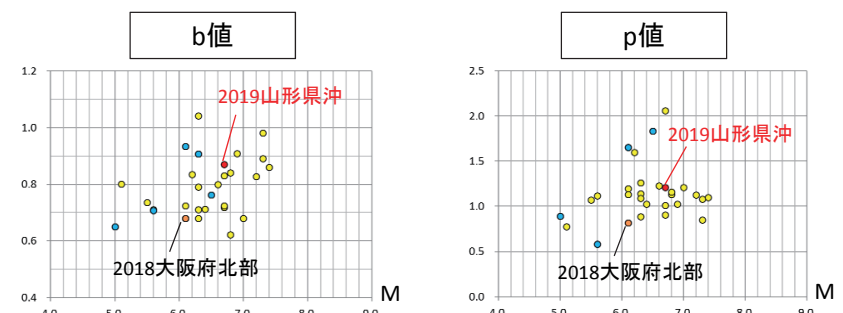
主な地震のETASモデルのα比較

(熊本地震はMth3.6、東北地方太平洋沖地震はMth5.0、他の地震はMth2.5で推定)



「大地震後の地震活動の見通しに関する情報のあり方」報告書の図10に平成30年北海道胆振東部地震と令和元年6月18日の山形県沖の地震のETASモデルのαを追記した。

年月日	地震名または震央地名	発生場所(※)	最大地震のM	二番目に大きな地震のM	b値	余震確率モデルパラメータ					通常時のb値
						Mth	logK(M3)	K	c	p	
1998年9月3日	岩手県内陸北部	c	6.2	4.3	0.84	1.5	-0.3	8.84	0.051	1.600	0.99
2000年10月6日	鳥取県西部地震	c	7.3	5.6	0.89	2.5	1.6	99.46	0.053	1.083	0.91
2003年7月26日	宮城県北部(～7月26日M6.4発生前)	c	5.6	3.7	0.71	2.1	0.9	30.77	0.003	0.583	0.76
2003年7月26日	宮城県北部	c	6.4	5.5	0.71	2.1	1.2	66.41	0.034	1.024	0.76
2004年10月23日	新潟県中越地震	c	6.8	6.5	0.62	3.0	1.8	62.55	0.041	1.131	0.74
2004年12月14日	留萌支庁南部	c	6.1	4.8	0.72	2.0	0.4	13.78	0.022	1.131	0.97
2005年3月20日	福岡県西方沖	c	7.0	5.8	0.68	2.0	1.7	233.26	0.156	1.210	0.94
2007年3月25日	能登半島地震	c	6.9	5.3	0.91	3.2	1.6	26.24	0.009	1.026	0.90
2007年4月20日	宮古島北西沖(～4月20日M6.7発生前)	c	6.3	5.5	0.91						0.86
2007年4月20日	宮古島北西沖	c	6.7	6.1	0.72	3.6	1.2	6.33	0.105	2.061	0.86
2007年7月16日	新潟県中越沖地震	c	6.8	5.8	0.84	3.0	1.1	12.94	0.017	1.157	0.77
2007年8月1日	沖縄本島近海(～8月7日M6.3発生前)	c	6.1	4.5	0.93	2.7	1.0	20.03	0.174	1.652	0.94
2007年8月7日	沖縄本島近海	c	6.3	5.1	1.04	2.7	0.3	4.01	0.019	1.263	0.94
2008年6月14日	岩手・宮城内陸地震	c	7.2	5.7	0.83	3.0	1.7	52.76	0.026	1.128	0.90
2011年2月27日	岐阜県飛騨地方(～2月27日M5.5発生前)	c	5.0	3.3	0.65	1.1	0.3	32.13	0.006	0.893	0.84
2011年2月27日	岐阜県飛騨地方	c	5.5	4.0	0.74	1.1	0.4	56.45	0.032	1.072	0.84
2013年2月25日	栃木県北部	c	6.3	4.7	0.68	1.0	0.7	110.10	0.047	1.142	0.68
2013年4月22日	淡路島付近	c	6.3	3.9	0.71	1.5	0.1	16.14	0.009	1.091	0.74
2014年11月22日	長野県北部	c	6.7	4.5	0.83	2.0	0.6	26.84	0.012	1.011	1.05
2016年4月14日	熊本地震(～4月16日M7.3発生前)	c	6.5	6.4	0.76	3.6	1.4	8.20	0.098	1.832	0.97
2016年4月16日	熊本地震(4月16日M7.3発生後)	c	7.3	5.9	0.98	3.6	1.9	22.51	0.003	0.851	0.97
2016年10月21日	鳥取県中部	c	6.6	5.0	0.80	2.0	1.3	112.639	0.030	1.227	0.81
2016年11月22日	福島県沖	c	7.4	6.2	0.86	3.5	2.1	48.715	0.030	1.098	0.85
2016年12月28日	茨城県北部	c	6.3	4.7	0.79	1.5	0.8	98.192	0.011	0.886	0.90
2017年6月25日	長野県南部	c	5.6	4.7	0.71	1.0	0.5	74.356	0.055	1.119	0.89
2018年4月9日	鳥根県西部	c	6.1	4.9	0.68	1.5	0.6	44.791	0.020	1.194	0.81
2018年6月18日	大阪府北部	c	6.1	4.1	0.68	1.5	0.5	32.006	0.003	0.817	0.98
2018年9月6日	北海道胆振東部地震	c	6.7	5.5	0.72	3.0	1.5	29.262	0.009	0.904	0.78
2019年1月3日	熊本県熊本地方	c	5.1	3.2	0.80	1.0	-0.4	15.438	0.001	0.776	0.93
2018年9月6日	山形県沖地震	c	6.7	4.2	0.87	2.0	0.5	25.663	0.014	1.212	0.97



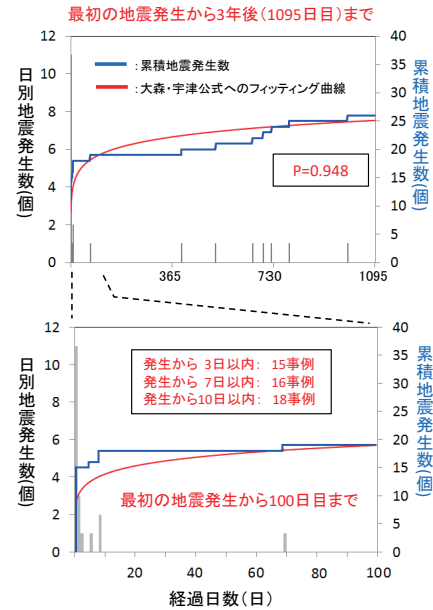
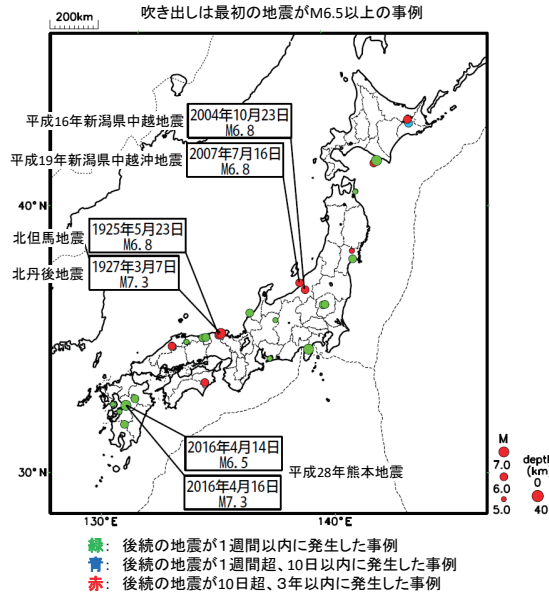
「大地震後の地震活動の見通しに関する情報のあり方」報告書の表6及び図12のうち、「C:内陸地殻内」の地震にその後の主な地震と山形県沖の地震を追加した。水色の行(表)と丸(図)は前駆的活動に対して求められた値。

第20図 主な地震の地震活動パラメータの比較

Fig. 20 Comparison of seismic parameters between major events.

最初の地震の規模以上の地震が3年以内に続発した事例(内陸及び沿岸・陸のプレート内)

震央分布図(1922年1月1日～2019年6月30日、M5.0以上、40km以浅)



1922年以降に内陸及び沿岸40km以浅で発生したM5.0以上の地震1126個について、明田川・福満(2011)の方法で余震を除去した698個のうち、最初の地震から3年以内にその近隣(最初の地震のMとUtsu(1961)の余震域長径式から計算される半径の範囲内)で最初の地震の規模以上の地震が発生した事例※は26事例。このうち、最初の地震の次に同規模以上の地震が24時間以内に発生したのは11事例(42%)、1週間以内に発生したのは16事例(62%、上記の緑)、10日以内に発生したのは18事例(69%、上記の緑と青)。

※伊豆及び松代の群発領域内の事例、深さからフィリピン海プレートと考えられる事例を除く

最初の地震の規模以上の地震が3年以内に続発した事例(内陸及び沿岸・陸のプレート内)のリスト

緑: 後続の地震が1週間以内に発生した事例 青: 後続の地震が1週間超、10日以内に発生した事例 赤: 後続の地震が10日超、3年以内に発生した事例

事例No.	最初の地震			後続の地震			備考
	発生年月日	震央地名	M	発生年月日	震央地名	M	備考
1-1	1925/5/23	兵庫県北部	6.8	1927/3/7	京都府北部	6.8	653.3日 北但馬地震→北丹後地震
1-2	1925/11/27	京都府沖	5.4	1927/3/7	京都府北部	6.8	465.6日 (北但馬地震付近)→北丹後地震
2	1930/10/17	石川県西方沖	5.3	1930/10/17	石川県西方沖	6.3	3時間36分 →大聖寺沖地震
3	1930/11/25	静岡県伊豆地方	5.1	1930/11/26	静岡県伊豆地方	7.3	11時間56分 →北伊豆地震
4-1	1931/12/21	熊本県天草・芦北地方	5.5	1931/12/22	熊本県天草・芦北地方	5.6	1.3日
4-2	1931/12/21	熊本県天草・芦北地方	5.5	1931/12/26	熊本県天草・芦北地方	5.8	4.8日
5	1942/3/11	浦河沖	5.7	1944/2/1	浦河沖	6.8	691.7日
6-1	1943/3/4	鳥取県東部	6.2	1943/3/5	鳥取県東部	6.2	9時間36分
6-2	1943/3/4	鳥取県東部	6.2	1943/9/10	鳥取県東部	7.2	189.9日 →鳥取地震
7-1	1945/1/11	愛知県東部	5.6	1945/1/11	三河湾	5.7	4時間14分
7-2	1945/1/11	愛知県東部	5.6	1945/1/13	三河湾	6.8	1.7日 →三河地震
8	1949/3/19	徳島県南部	5.0	1951/3/11	徳島県南部	5.2	722.0日
9	1949/12/26	栃木県北部	6.2	1949/12/26	栃木県北部	6.4	7時間23分 今市地震
10	1954/5/8	鳥根県東部	5.2	1954/5/16	鳥根県東部	5.4	8.1日
11	1955/5/18	徳島県南部	5.2	1955/7/27	徳島県南部	6.4	69.8日
12-1	1959/1/22	釧路地方中南部	5.6	1959/1/31	釧路地方中南部	6.3	8.5日
12-2	1959/1/22	釧路地方中南部	5.6	1959/1/31	釧路地方北部	6.1	8.6日 弟子屈地震
13	1963/8/11	宮城県北部	5.2	1965/1/13	宮城県北部	5.2	521.0日
14	1965/9/9	釧路地方北部	5.1	1967/11/4	釧路地方北部	6.5	786.4日
15	1968/2/21	宮城県南部山沿い	5.7	1968/2/21	宮城県南部山沿い	6.1	1時間53分 えびの地震
16	1975/1/22	熊本県阿蘇地方	5.5	1975/1/23	熊本県阿蘇地方	6.1	1.4日
17	1977/5/2	鳥根県東部	5.6	1978/6/4	鳥根県東部	6.1	398.1日
18	1978/5/16	青森県東方沖	5.8	1978/5/16	青森県東方沖	5.8	48分
19	1982/3/21	浦河沖	5.0	1982/3/21	浦河沖	7.1	3時間56分 →昭和57年浦河沖地震
20	1984/8/6	横湾	5.0	1984/8/6	横湾	5.7	1分
21	1989/10/27	鳥取県西部	5.3	1989/11/2	鳥取県西部	5.5	5.8日
22	1990/11/21	鳥取県西部	5.1	1990/11/23	鳥取県西部	5.2	2.3日
23	2003/7/26	宮城県中部	5.6	2003/7/26	宮城県中部	6.4	7時間00分
24	2004/10/23	新潟県中越地方	6.8	2007/7/16	新潟県中越沖	6.8	995.6日 平成16年新潟県中越地震→平成19年新潟県中越沖地震
25	2011/2/27	岐阜県飛騨地方	5.0	2011/2/27	岐阜県飛騨地方	5.5	3時間19分
26	2016/4/14	熊本県熊本地方	6.5	2016/4/16	熊本県熊本地方	7.3	1.1日 平成28年熊本地震

第21図 3年以内の続発事例

Fig. 21 Sequential occurring earthquakes within three years.