

令和元年 8 月 3 0 日

第 224 回 地震予知連絡会

記者会見資料

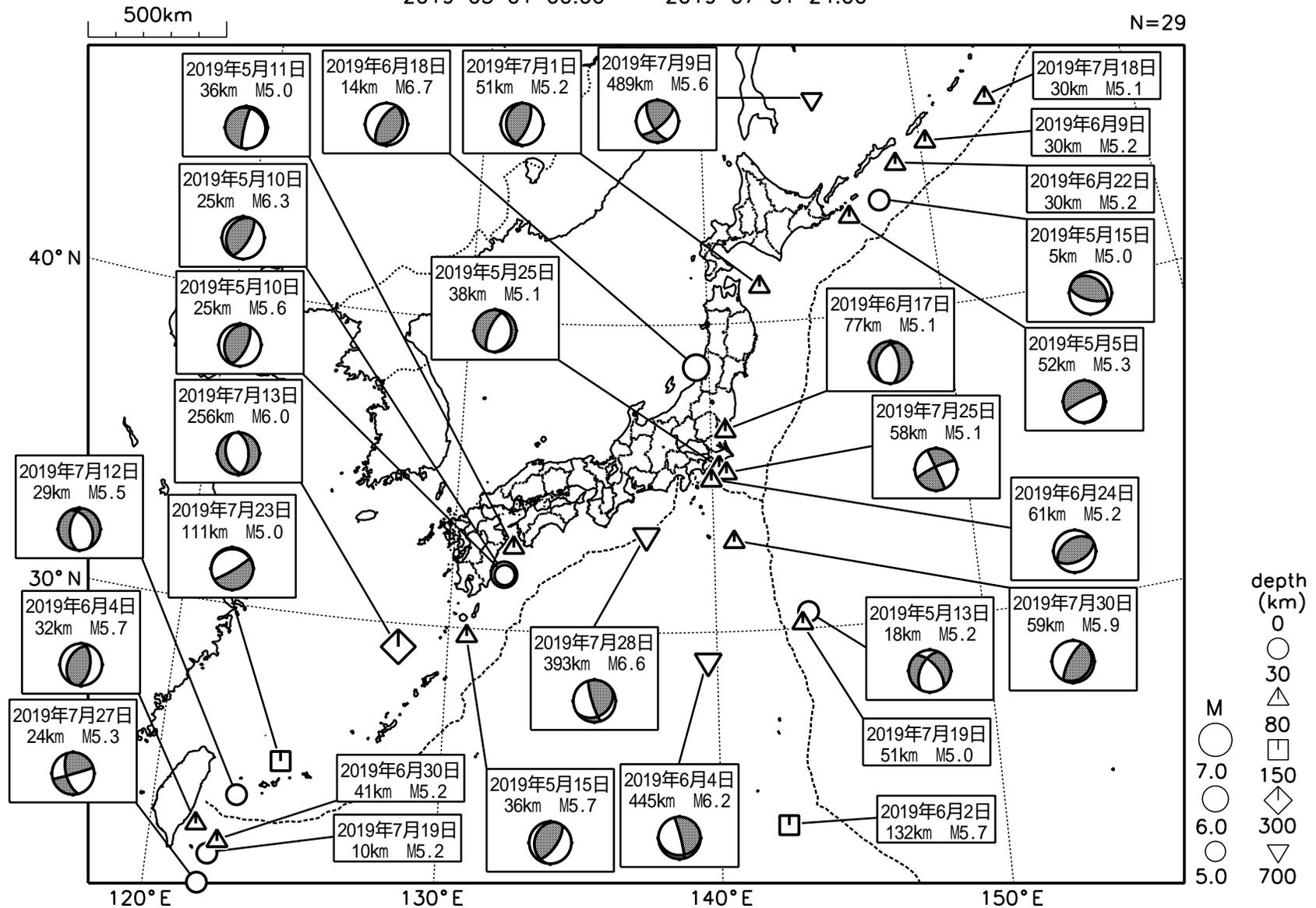
事務局：国土地理院

地殻活動モニタリングに 関する検討

日本とその周辺の地震活動（2019年5月～7月、M 5.0）

2019 05 01 00:00 -- 2019 07 31 24:00

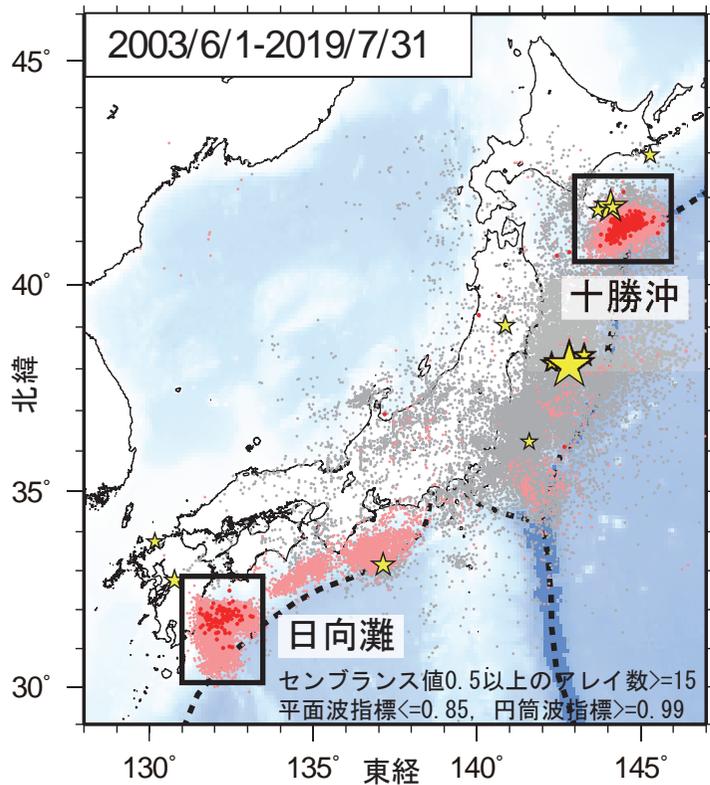
N=29



発震機構は気象庁によるCMT解

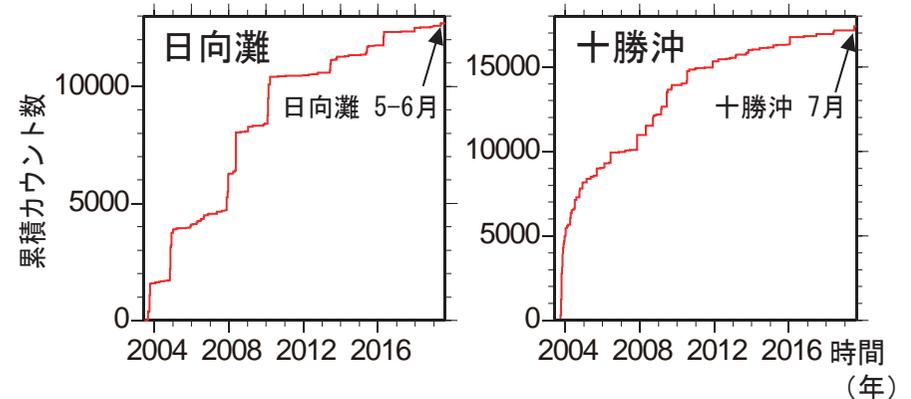
気象庁作成

日本周辺における浅部超低周波地震活動（2019年5月～7月）

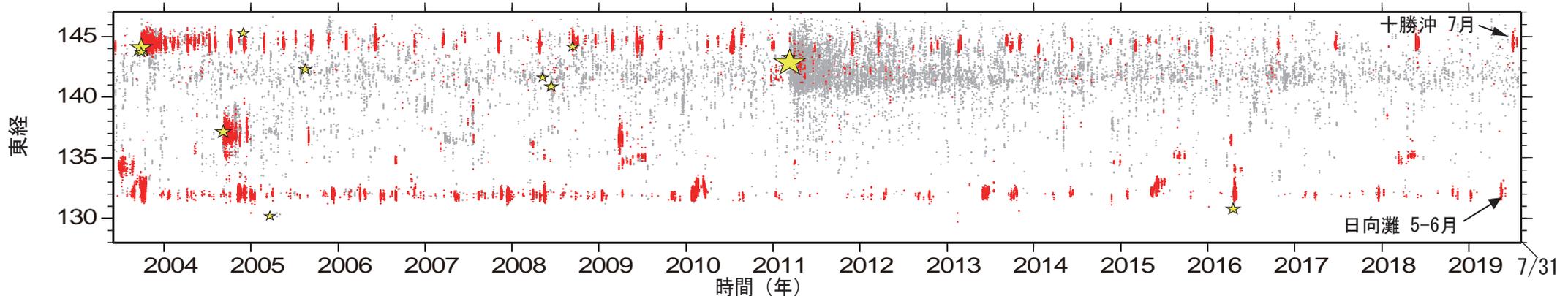


- 日向灘およびその周辺域で5月中旬から6月上旬に超低周波地震活動
- 十勝沖では7月上旬から下旬に超低周波地震活動, 5月中旬にも超低周波地震を検出

第1図. 2003年6月1日から2019年7月31日までの期間にアレイ解析によって検出されたイベントの震央分布. 検出イベントを防災科研 Hi-net の手動または自動検測震源と照合し, 対応する地震が見出されたイベントを灰色で, それ以外を桃色 (2018年4月30日以前), および赤色 (5月1日以降) の点でそれぞれ示す. これらは主として周期10秒以上に卓越する超低周波地震を表すが, 東北地方太平洋沖地震の発生以降は, 除去しきれない通常地震を含む. 期間内に発生した M7 以上の地震 (ただし, 2011年～2015年の期間は東北地方太平洋沖地震の本震のみ) の震央を黄色星印で示す.

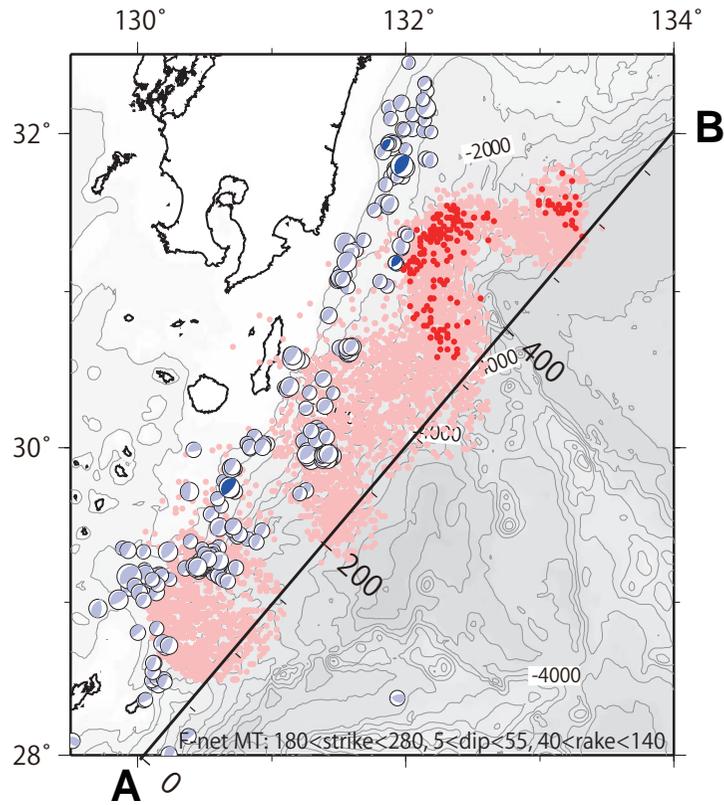


第2図. 日向灘および十勝沖における検出イベントの累積カウント数の時間変化. 幅60秒間の解析時間窓を15秒毎に設定し, それぞれの解析時間窓内にイベントが検出される度に1カウントと数えるよう定義した.



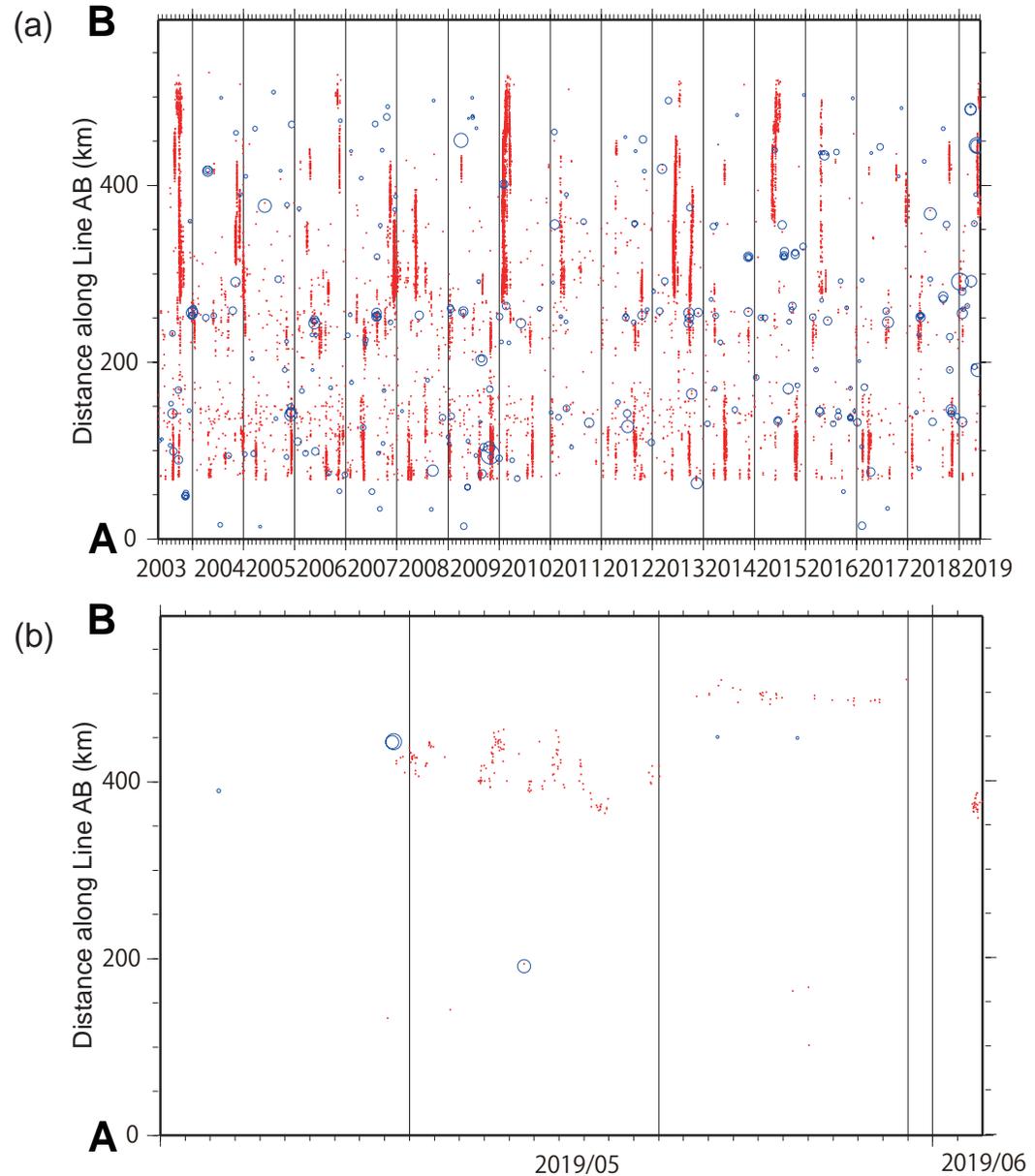
第3図. 2003年6月1日から2019年7月31日までの期間に検出されたイベントの時空間分布. 検出されたイベントを防災科研 Hi-net 手動または自動検測震源と照合し, 対応する地震が見出されたイベントを灰色で, それ以外を赤色の点でそれぞれ示す. その他は第1図に同じ.

日向灘およびその周辺域における浅部超低周波地震活動（2019年5月）



第3図. 2003年5月1日から2019年6月2日までの期間に、防災科研F-net および臨時観測点（鹿児島大と合同で実施）の記録の波形相関解析によって検出されたイベントの震央分布. 検出イベントを防災科研Hi-netの手動または自動検測震源と照合し、対応する地震が無いイベントを桃色（2019年4月30日以前）、および赤色（5月1日以降）の点でそれぞれ示す. これらは主として周期10秒以上に卓越する超低周波地震を表す. 期間内に発生したプレート間地震の防災科研F-net MT解を水色（2019年4月30日以前）、および青色（5月1日以降）で併せて示す. 黒実線は第4図の測線ABを表す.

第4図. 測線ABに沿ったイベントの時空間分布. (a) 2003年5月1日から2019年6月2日までの期間、(b) 2019年5月1日から6月2日までの期間. 検出されたイベントを防災科研Hi-net手動または自動検測震源と照合し、対応する地震が無いイベントを赤色の点でそれぞれ示す. 青色は第3図に示すプレート間地震を表す.

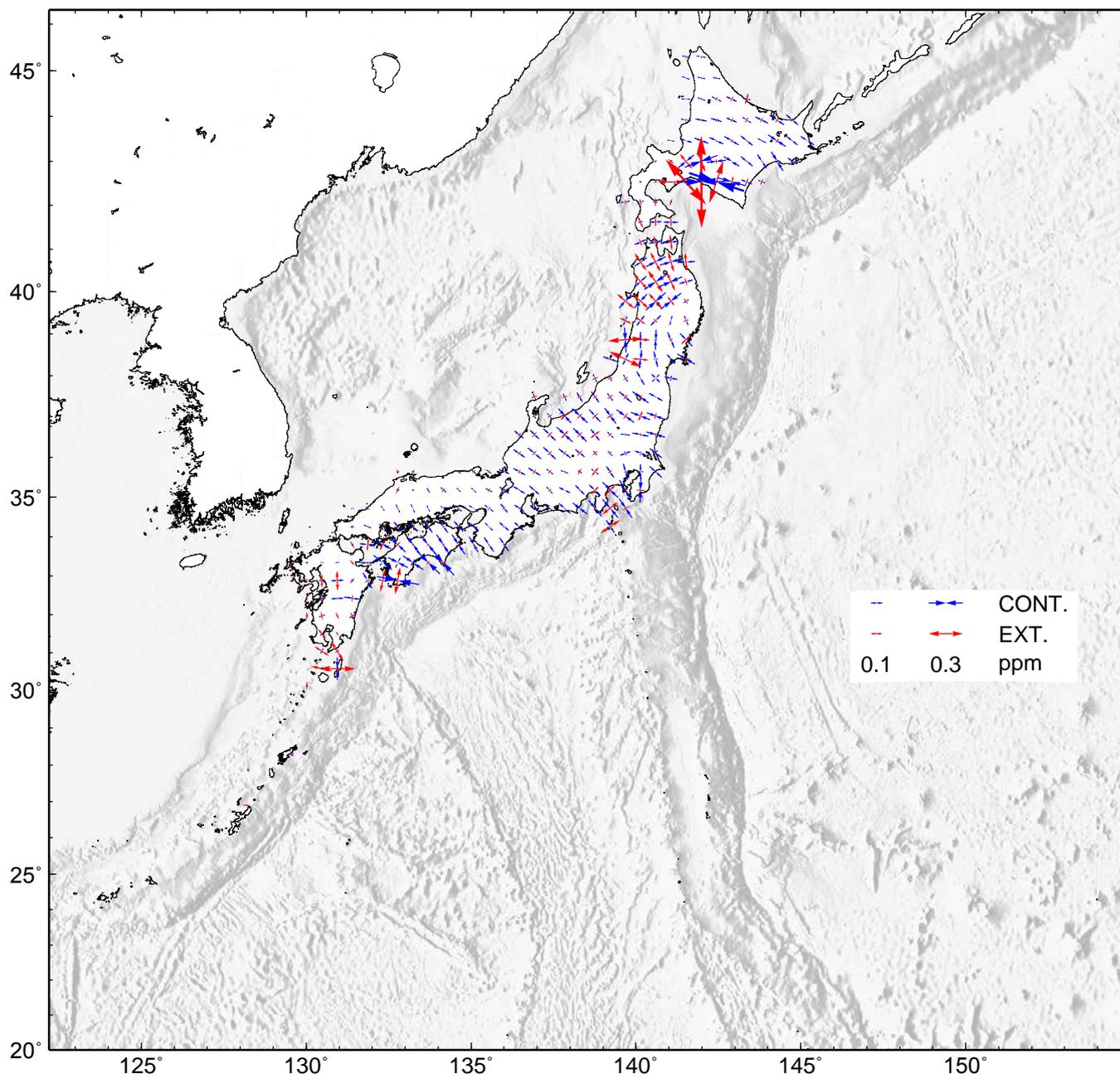


GNSS 連続観測から推定した日本列島のひずみ変化

- 2011年3月11日の東北地方太平洋沖地震の余効変動の影響によるひずみが見られる。
- 2016年4月の熊本地震の余効変動の影響によるひずみが見られる。
- 2018年春頃から九州北部・四国西部で始まったプレート間のゆっくりすべり（スロースリップ現象）の影響によるひずみが見られる。
- 2019年1月の種子島近海の地震の影響によるひずみが見られる。
- 2018年9月6日の北海道胆振東部地震の影響によるひずみが見られる。
- 2019年6月18日の山形県沖の地震の影響によるひずみが見られる。

基準期間：2018/07/13 – 2018/07/27 [F 3：最終解]

比較期間：2019/07/13 – 2019/07/27 [F 3：最終解]



- GNSS 連続観測による変位ベクトルからひずみ変化図を作成した。
- 海底地形データは ETOPO1 (Amante, C. & B. W. Eakins(2009)) を使用した。

西南日本の深部低周波微動・短期的スロースリップ活動状況 (2019年5月～7月) その1

- 短期的スロースリップイベントを伴う顕著な微動活動：
紀伊半島北部から南部，7月21日～29日．四国東部から中部，5月2日～11日．
豊後水道，5月18日～20日．
- 上記以外の主な微動活動：東海地方から紀伊半島北部，6月23日～7月2日．
四国中部，5月16日～24日．

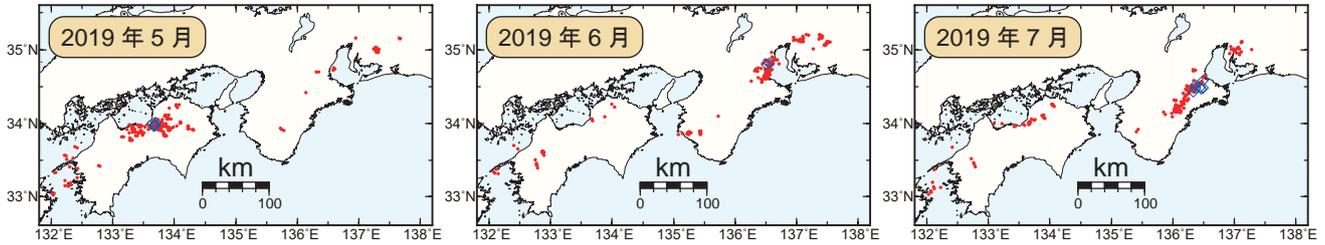


図1. 西南日本における2019年5月～7月の月毎の深部低周波微動活動. 赤丸はエンベロープ相関・振幅ハイブリッド法 (Maeda and Obara, 2009) およびクラスタ処理 (Obara et al., 2010) において，1時間毎に自動処理された微動分布の重心である. 青菱形は周期20秒に卓越する深部超低周波地震 (Ito et al., 2007) である.

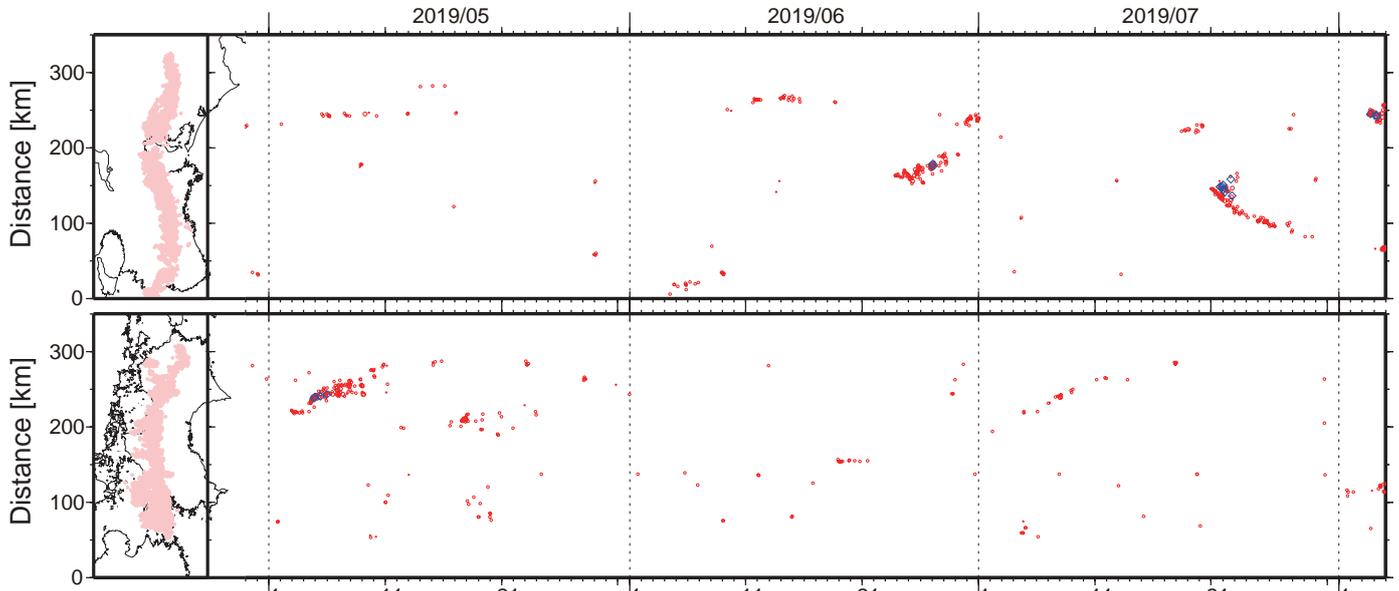


図2. 2019年4月29日～8月4日の深部低周波微動 (赤) および，深部超低周波地震 (青菱形) の時空間分布.

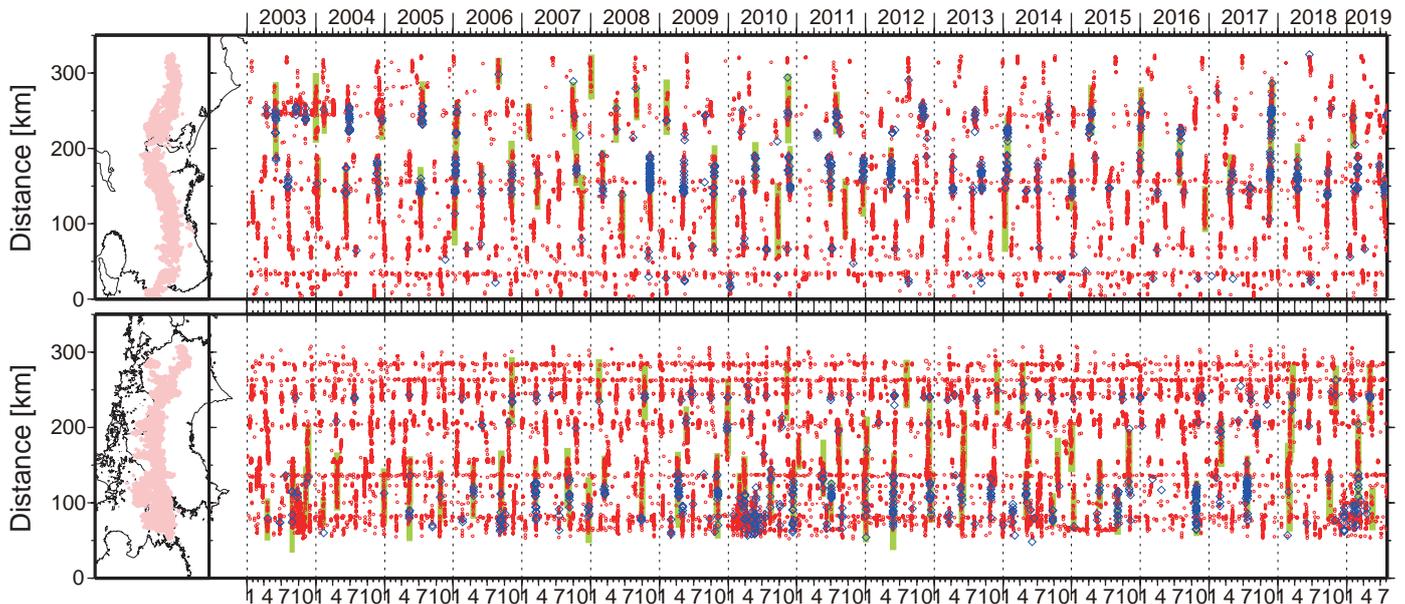


図3. 2003年1月～2019年8月4日までの深部低周波微動 (赤) および，深部超低周波地震 (青菱形) の時空間分布. 緑太線は，傾斜変動から検出された短期的スロースリップイベント.

西南日本の深部低周波微動・短期的スロースリップ活動状況（2019年5月～7月）その2

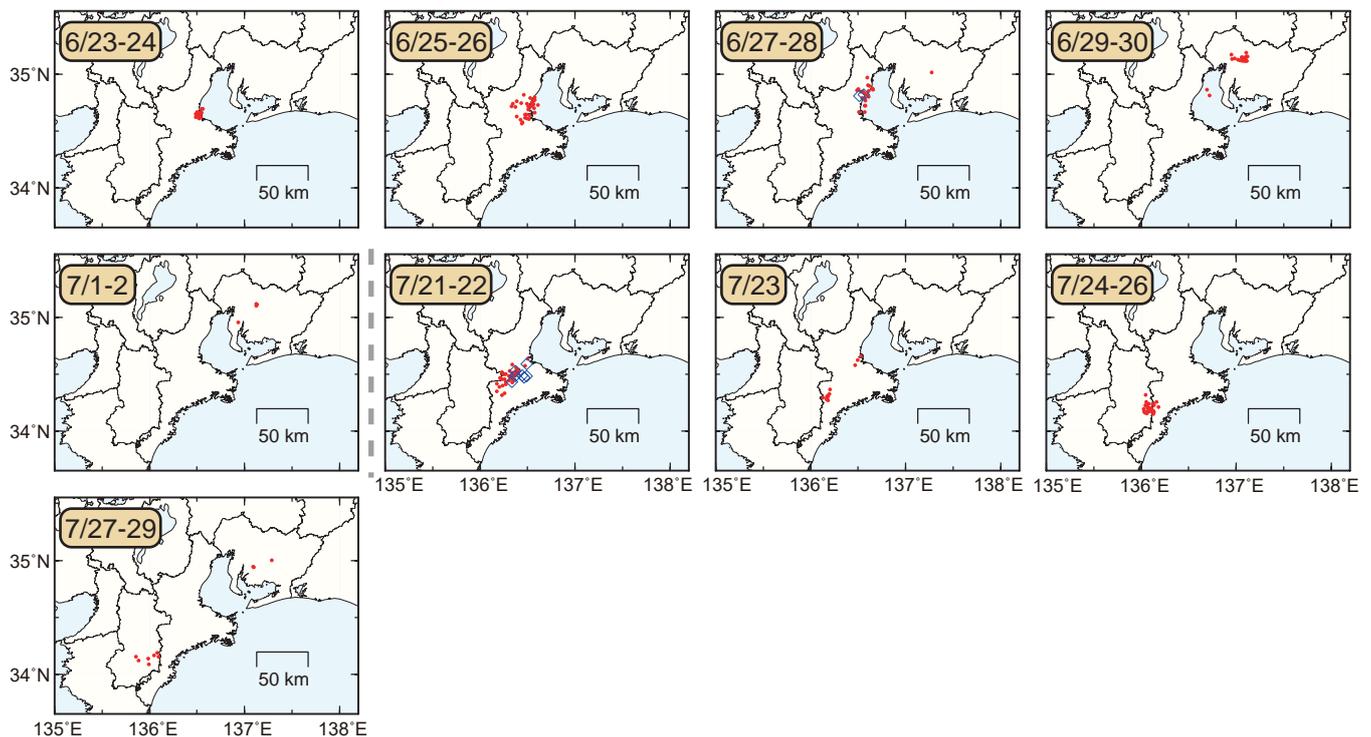


図1. 紀伊半島・東海地域で活発化した微動活動（赤丸）と深部超低周波地震（青菱形）の期間毎の分布. 6月23日～7月2日頃の三重県中部から愛知県西部における微動活動では、三重県中部での活動開始後、7日頃までやや南東方向への活動域の移動がみられ、7日頃からは南西側のクラスターで活動がみられた. 2月10～19日頃の三重県北部から奈良県南部における活動は、三重県北部で開始し25日頃に活発化した後、北東方向への活動域の移動が29日頃までみられた. 29日頃からは、愛知県西部で活動が開始し、7月1日頃からは活動が低調となった. 7月21～29日頃の三重県中部から奈良県南部における活動は、三重県中部での活動開始後、北および南方向にそれぞれ、23日および29日頃まで活動域の移動がみられた.

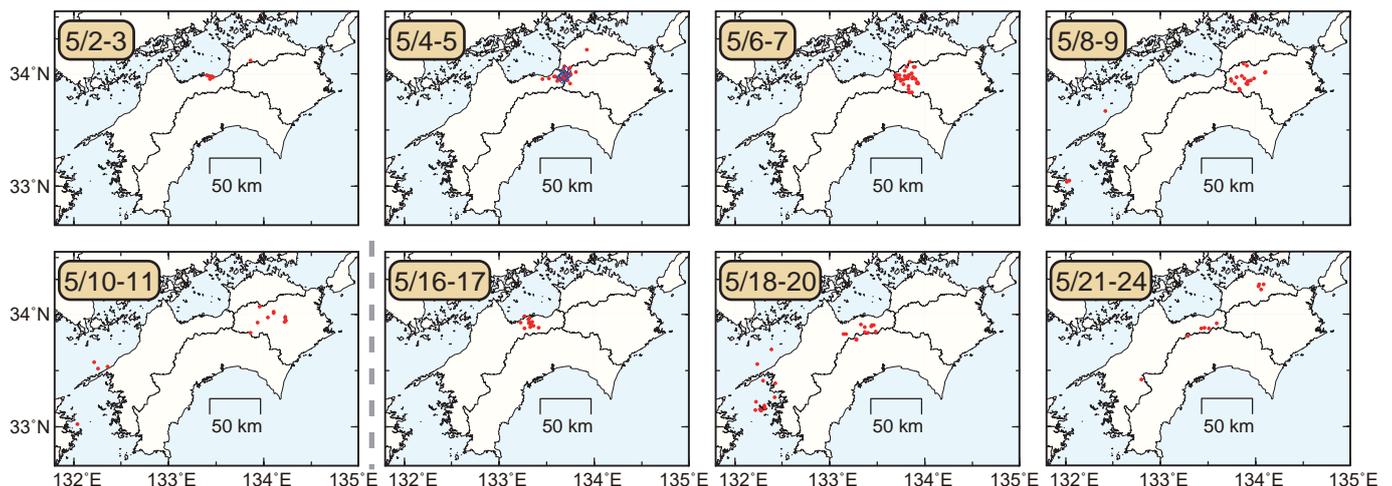


図2. 四国地域で活発化した微動活動（赤丸）と深部超低周波地震（青菱形）の期間毎の分布. 5月2～11日頃の愛媛県東部から徳島県中部における微動活動では、愛媛県東部での活動開始後、5月4日頃から愛媛・徳島県境付近で活動が活発化し、東方向への活動域の移動がみられた. 5月16～24日頃の愛媛県東部における活動では、深部側から浅部側に活動域の拡大がみられた. 5月18～20日頃には豊後水道において、小規模な微動活動がみられた.

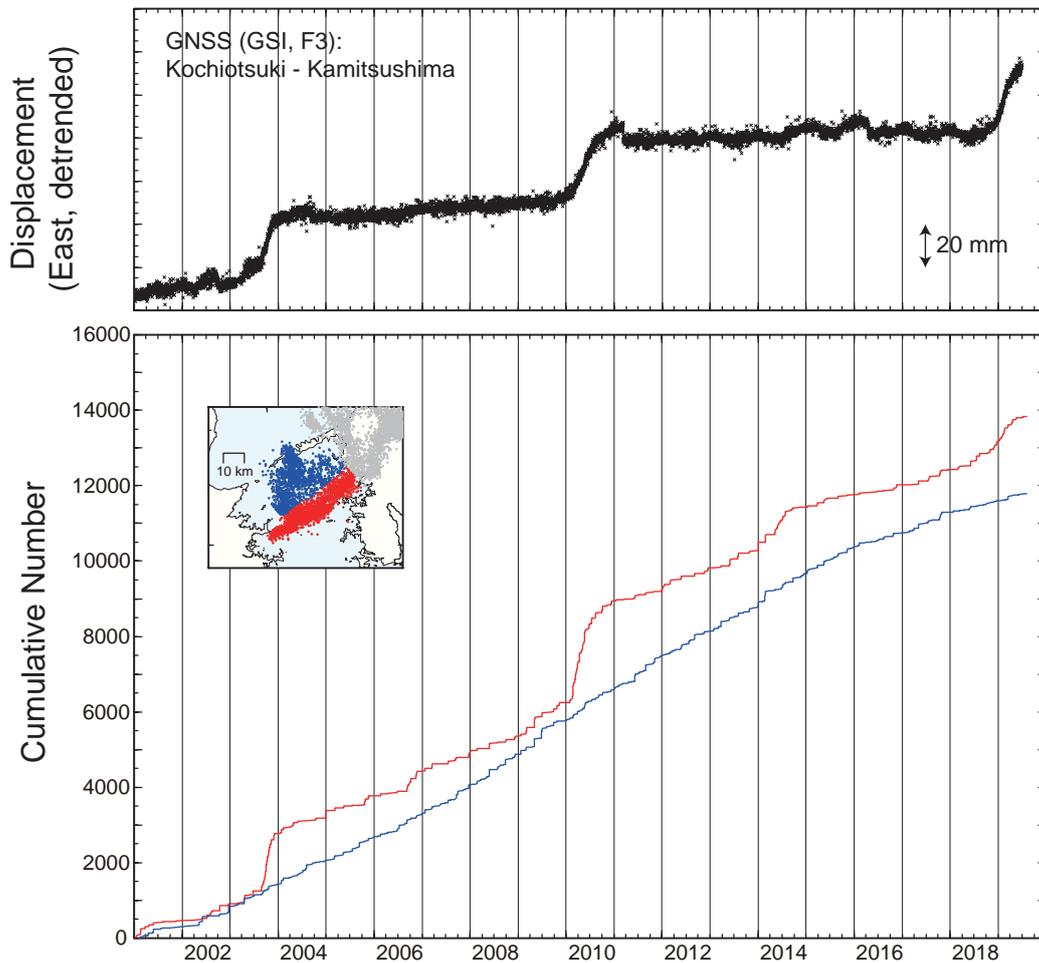


図3. (上図) 国土地理院 GEONET F3 解による、上対馬を基準点とした、2019年6月30日までの高知大月の東方向の変位（東向きが上）。なお、トレンドおよび観測点保守に伴うオフセットを除去した。（下図）豊後水道南東側（赤線）及び北西側（青線）領域における微動活動の積算個数（2001年1月～2019年8月4日）。図内の地図に、南東側、北西側領域に対応する微動分布をそれぞれ赤丸、青丸で示した。灰丸は、上記以外の領域の微動分布を示す。2018年後半より豊後水道南東側の微動活動レートの増加がみられていたが、現在は低調に戻っている。

謝辞：本資料の作成にあたり、国土地理院のデータを利用させていただきました。

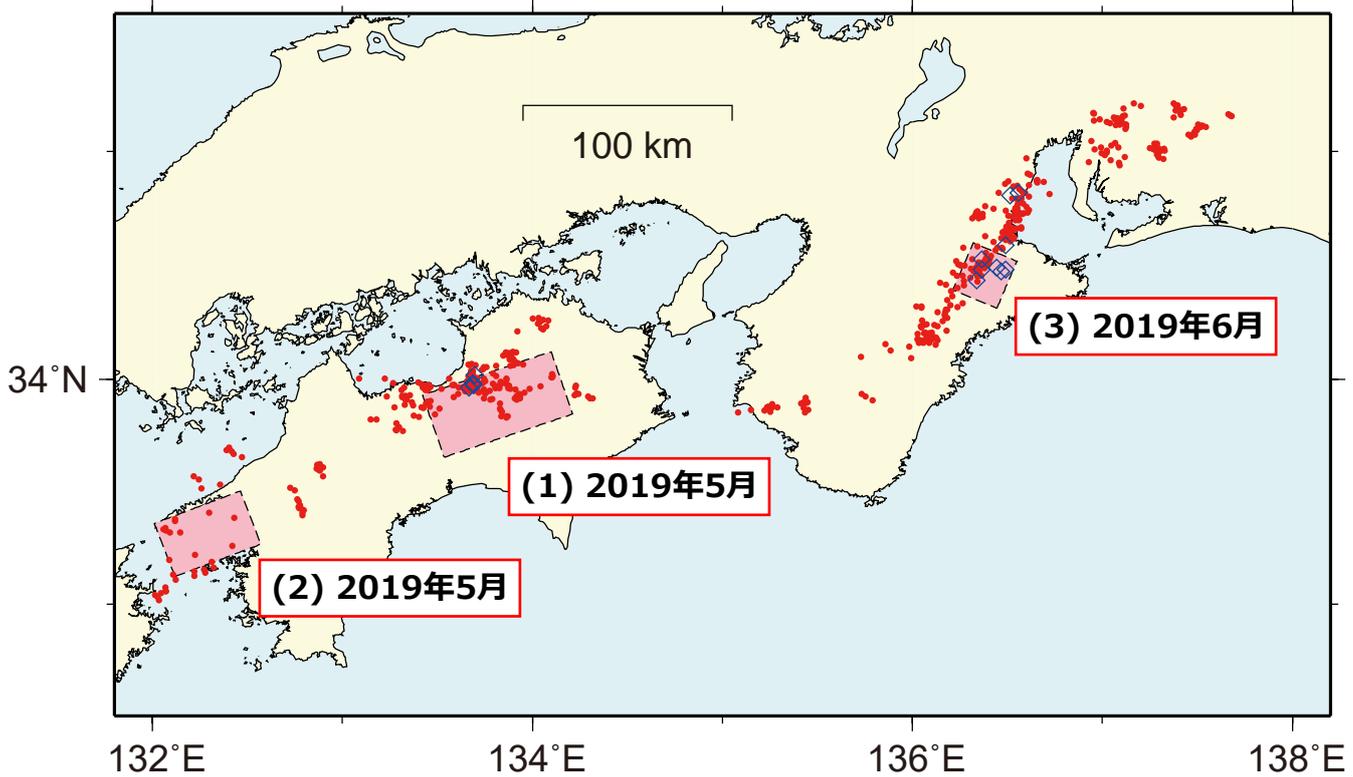


図1：2019年5月1日～2019年7月31日の深部低周波微動（赤点），深部超低周波地震（青菱形），短期的スロースリップイベント（SSE：ピンク四角）。

1. 2019年5月 四国東部（Mw 5.8）

2018年10～11月（Mw5.8）以来約6ヶ月ぶり

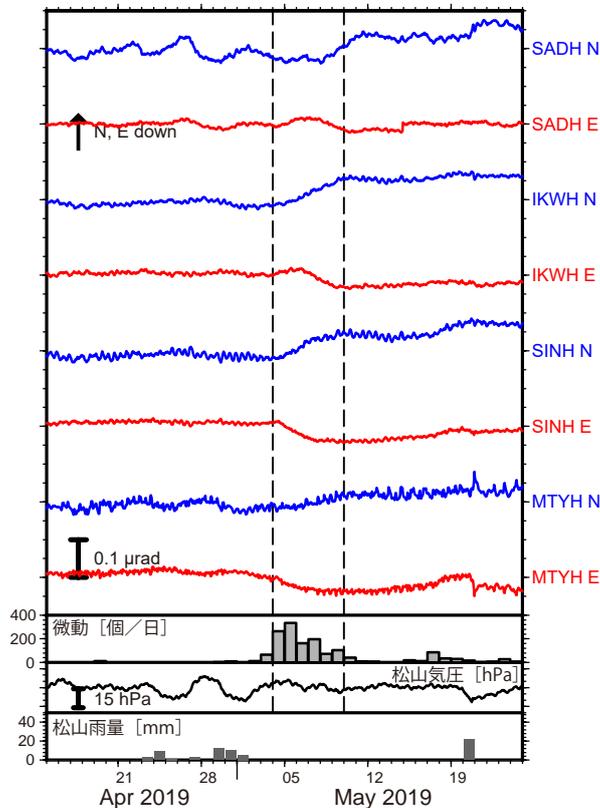


図2：2019年4月15日～5月24日の傾斜時系列。上方への変化が北・東下がり傾斜変動を表し、BAYTAP-Gにより潮汐・気圧応答成分を除去した。5月4日～9日の傾斜変化ベクトルを図3に示す。四国東部での微動活動度・気象庁松山観測点の気圧・雨量をあわせて示す。

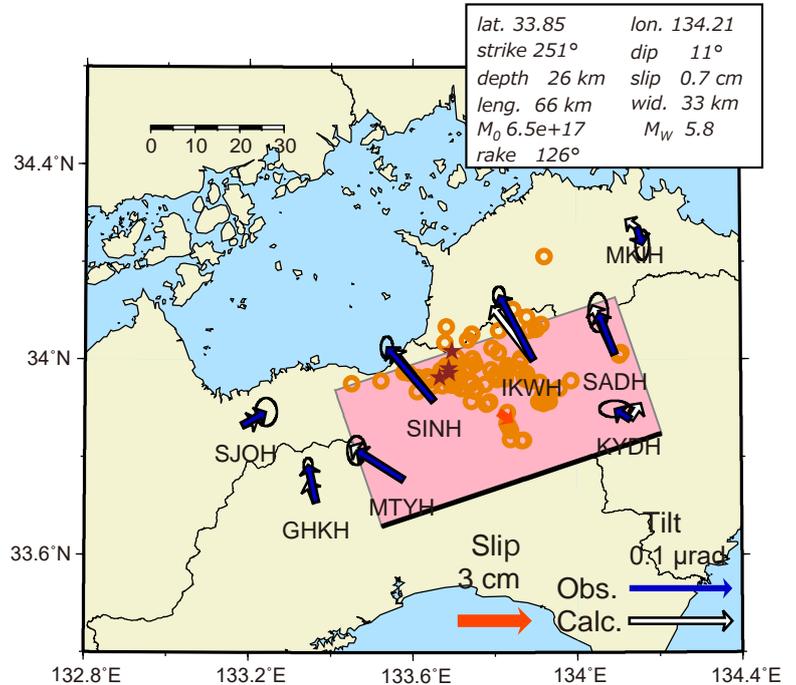


図3：5月4日～9日に観測された傾斜変化ベクトル（青矢印），推定されたスロースリップイベントの断層モデル（赤矩形・矢印），モデルから計算される傾斜変化ベクトル（白抜き矢印）を示す。1時間ごとの微動エネルギーの重心位置（橙丸），深部超低周波地震の震央（茶星印）のあわせて示す。すべり角はプレート相対運動方向に固定している。

謝辞

気象庁のWEBページで公開されている気象データを使用させて頂きました。記して感謝いたします。

2. 2019年5月 豊後水道 (Mw 5.8)

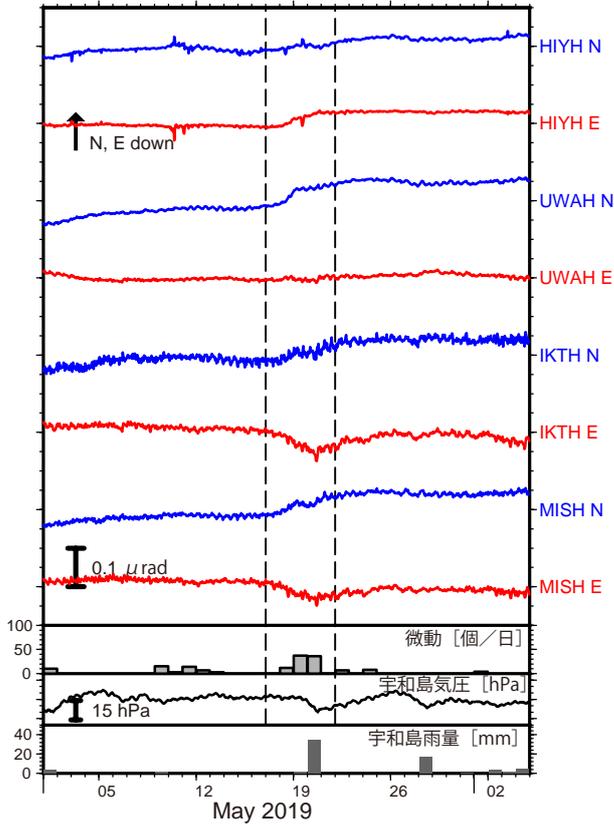


図4: 2019年5月1日~6月4日の傾斜時系列. 上方向への変化が北・東下がりの傾斜変動を表し, BAYTAP-Gにより潮汐・気圧応答成分を除去した. 5月17日~21日の傾斜変化ベクトルを図5に示す. 豊後水道での微動活動度・気象庁宇和島観測点の気圧・雨量をあわせて示す.

2018年9~10月 (Mw6.1) 以来約6ヶ月ぶり

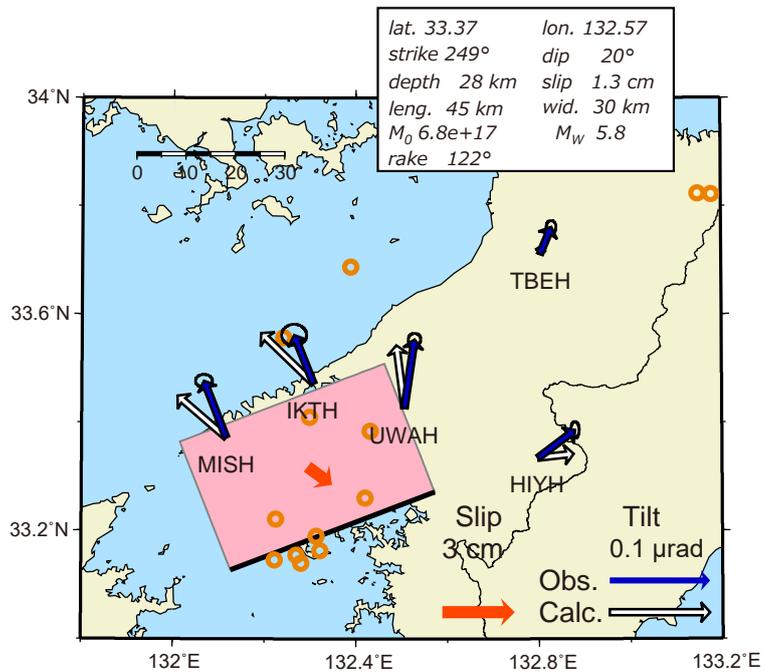


図5: 5月17日~21日に観測された傾斜変化ベクトル(青矢印), 推定されたスロースリップイベントの断層モデル(赤矩形・矢印), モデルから計算される傾斜変化ベクトル(白抜き矢印)を示す. 1時間ごとの微動エネルギーの重心位置(橙丸)もあわせて示す. すべり角はプレート相対運動方向に固定している.

3. 2019年7月 紀伊半島北部 (Mw 5.8)

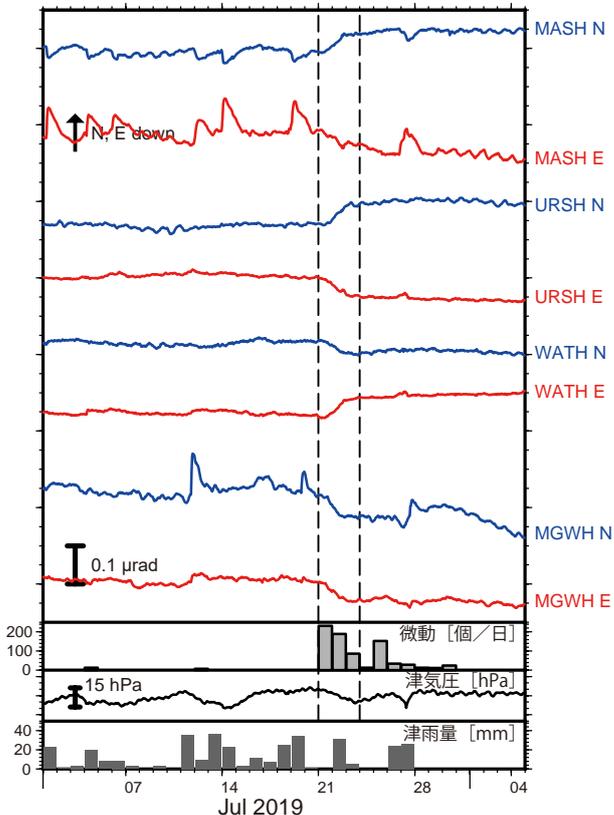


図6: 2019年7月1日~8月5日の傾斜時系列. 上方向への変化が北・東下がりの傾斜変動を表し, BAYTAP-Gにより潮汐・気圧応答成分を除去した. 7月21日~23日の傾斜変化ベクトルを図7に示す. 紀伊半島北部での微動活動度・気象庁津観測点の気圧・雨量をあわせて示す.

2018年4月 (Mw6.0) 以来約15ヶ月ぶり

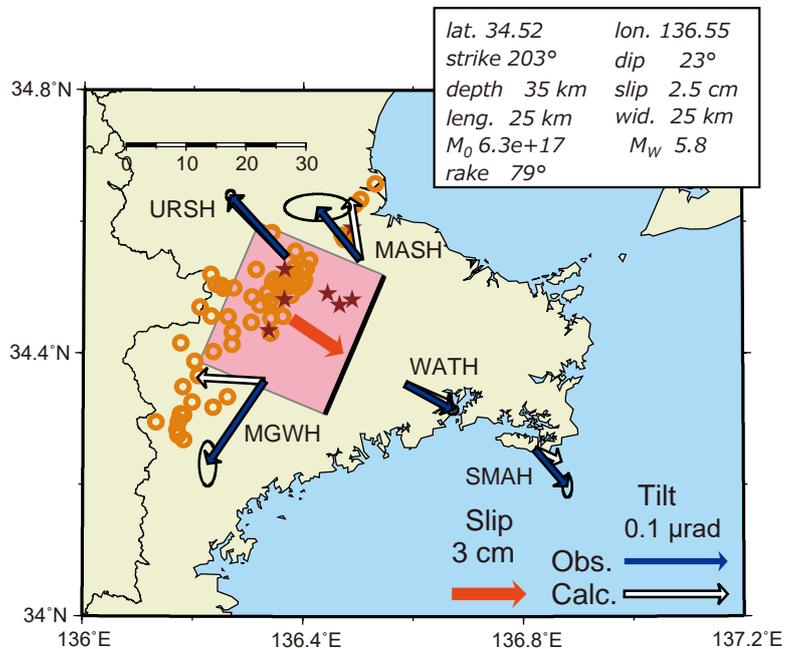
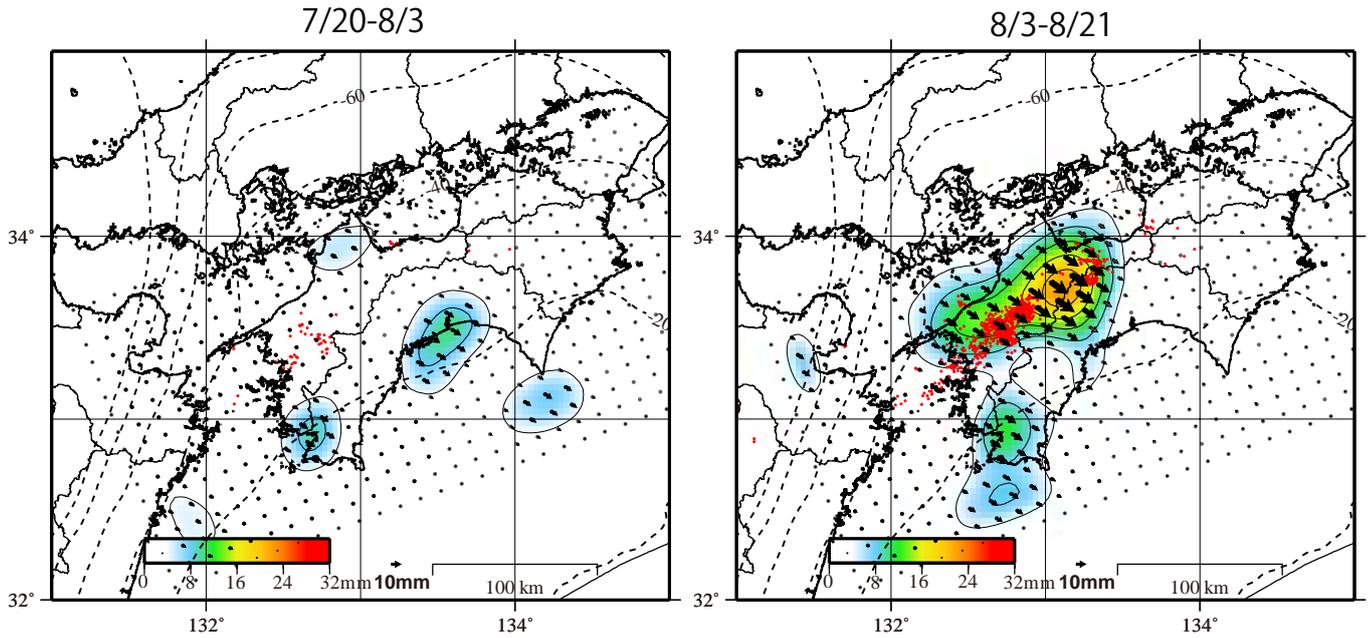
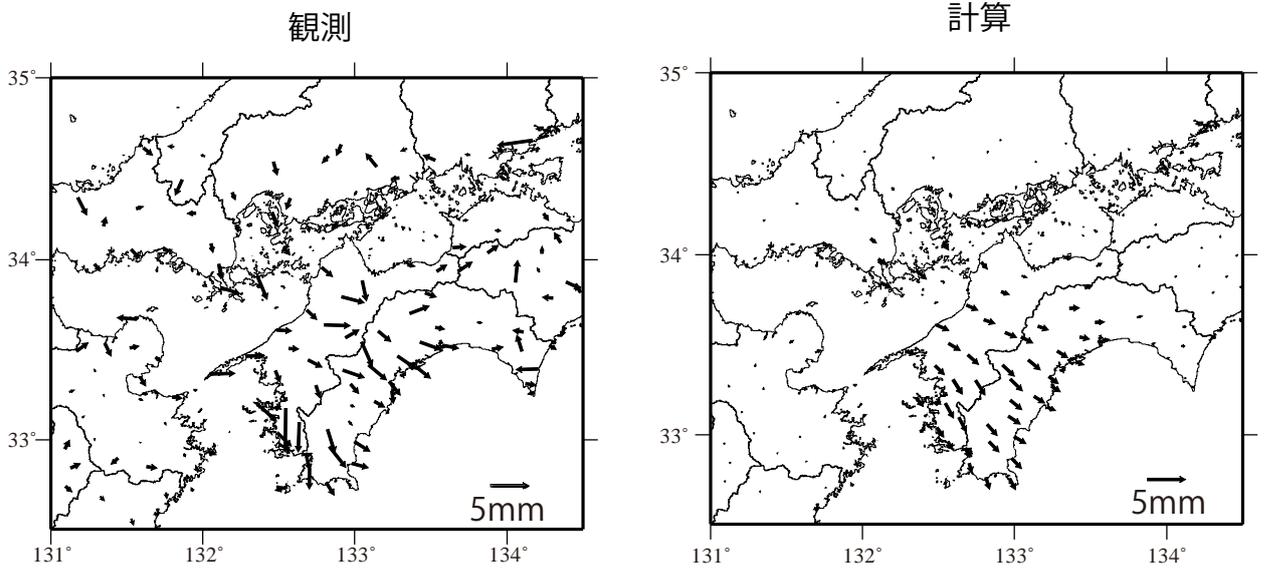


図7: 7月21日~23日に観測された傾斜変化ベクトル(青矢印), 推定されたスロースリップイベントの断層モデル(赤矩形・矢印), モデルから計算される傾斜変化ベクトル(白抜き矢印)を示す. 1時間ごとの微動エネルギーの重心位置(橙丸)もあわせて示す. すべり角はプレート相対運動方向に固定している.

GNSSデータから推定された
四国地方の深部低周波微動と同期したスロースリップ(暫定)



推定したすべり量が標準偏差(σ)の3倍以上のグリッドを黒色表示

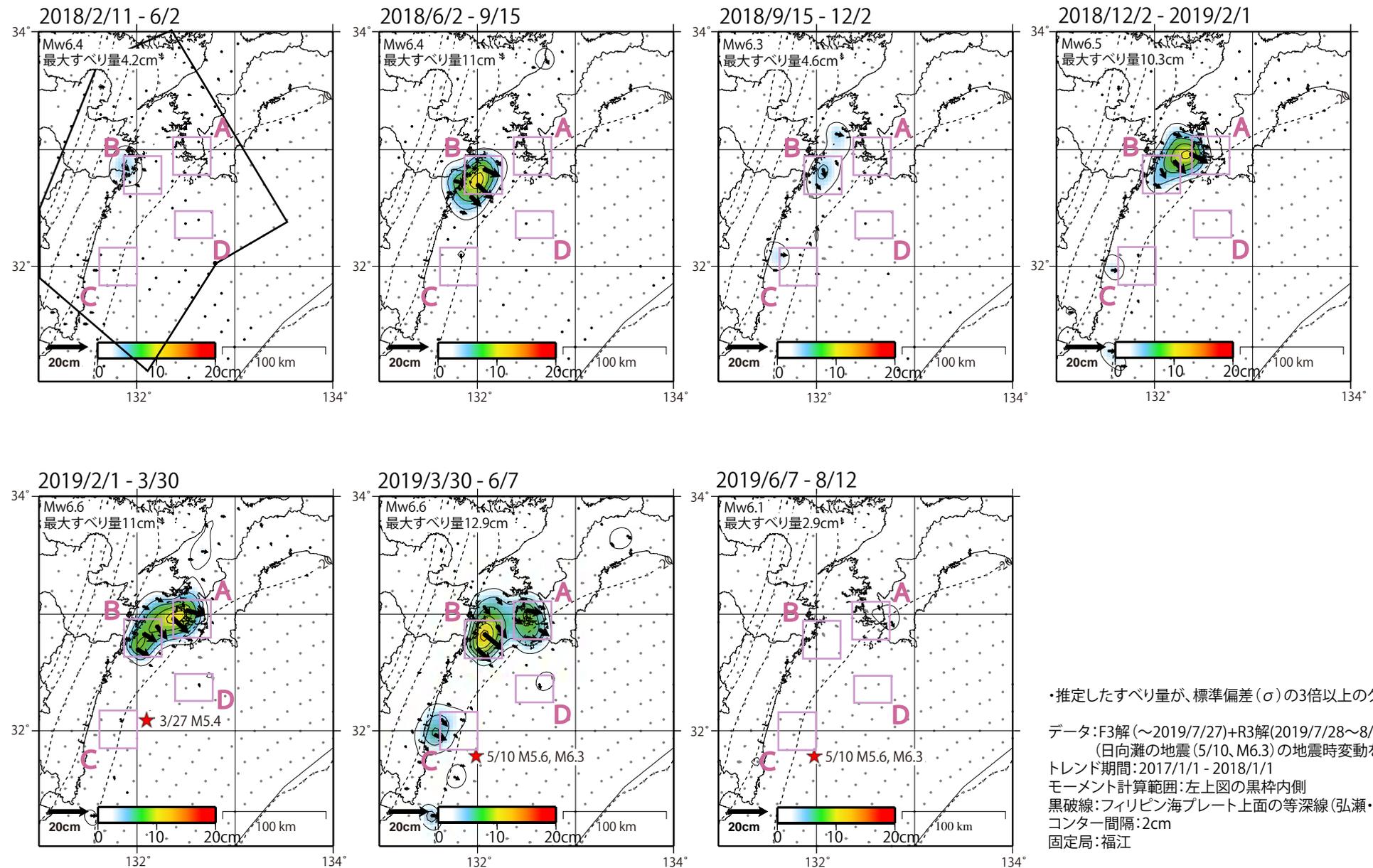


解析に使用した全観測点の座標時系列から共通に含まれる時間変化成分を取り除き、7/22-8/1の平均と8/17-21平均の差をとった値

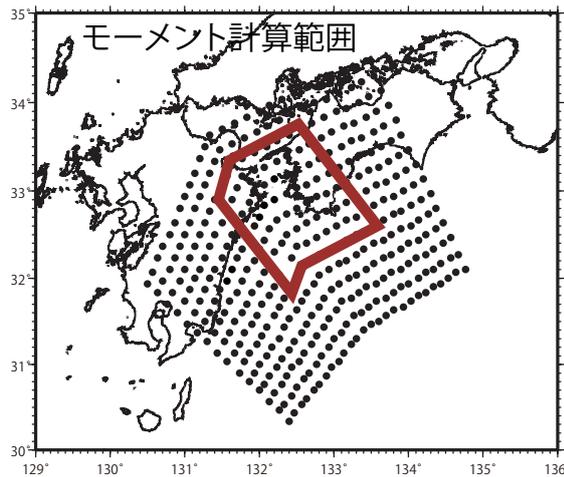
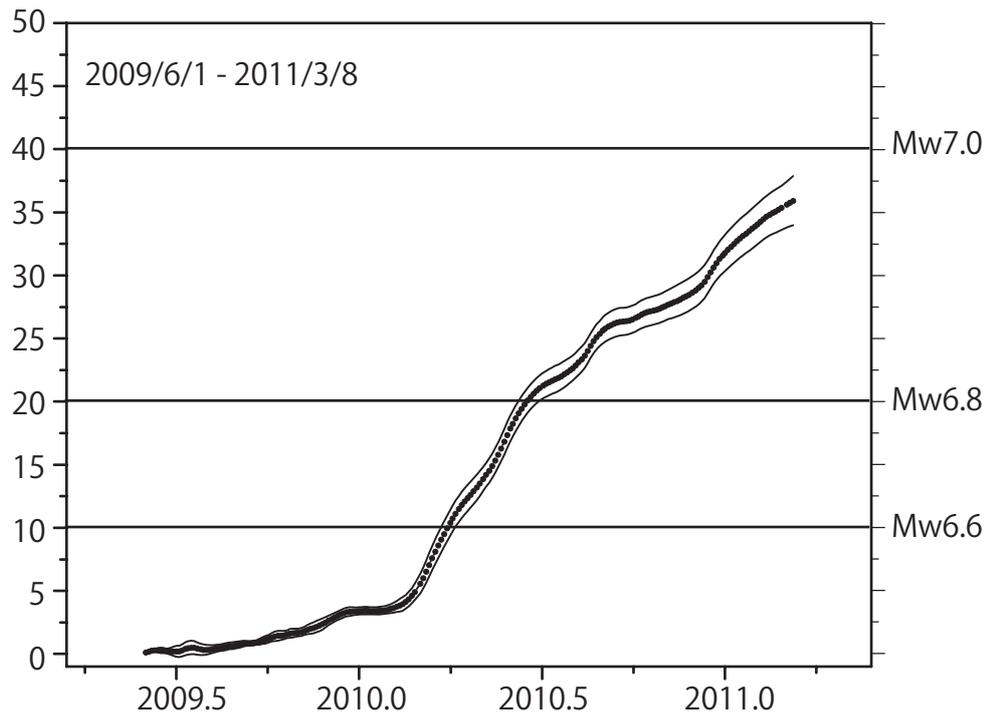
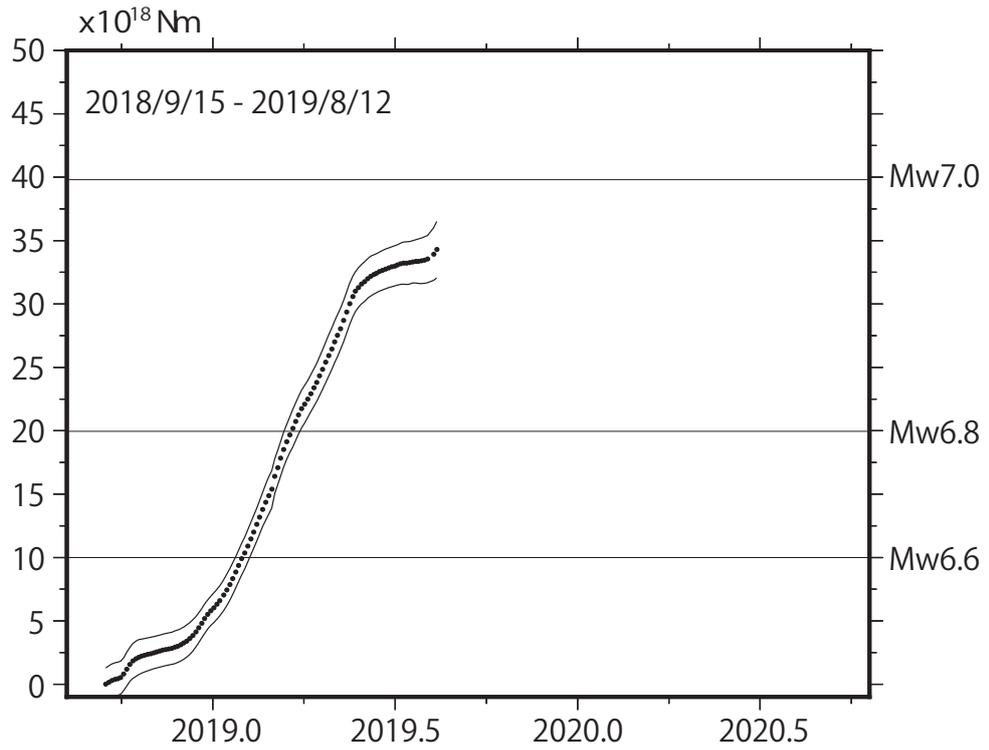
解析に使用した観測点の範囲:概ね北緯32~34.6°、東経131~134.8°
 データ:F3解(2019/7/1-8/3)+R3解(2019/8/4-21)
 トレンド期間:2006/1/1-2009/1/1
 黒破線:フィリピン海プレート上面の等深線(弘瀬・他、2007)
 赤丸:低周波地震(気象庁一元化震源)
 コンター間隔:4mm
 固定局:三隅

GNSSデータから推定された日向灘・豊後水道の長期的ゆっくりすべり(暫定)

推定すべり分布



モーメント^{*} 積算図(試算)



モーメント積算図には、標準偏差 (σ) の3倍を誤差として表示。

※モーメント
断層運動のエネルギーの目安となる量。
地震の場合のMw (モーメント・マグニチュード) に換算できる。

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（図1-1）。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。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41人、住家半壊33棟、一部破損755棟の被害が生じた（表1-1、令和元年7月1日11時00分現在、総務省消防庁による）。

新潟地方气象台、山形地方气象台及び仙台管区气象台は、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1日11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	24	10	195
新潟県	3	3	23	559
石川県	1			
合計	8	33	33	755



図1-1 6月18日の山形県沖の地震に対して発表した津波注意報

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

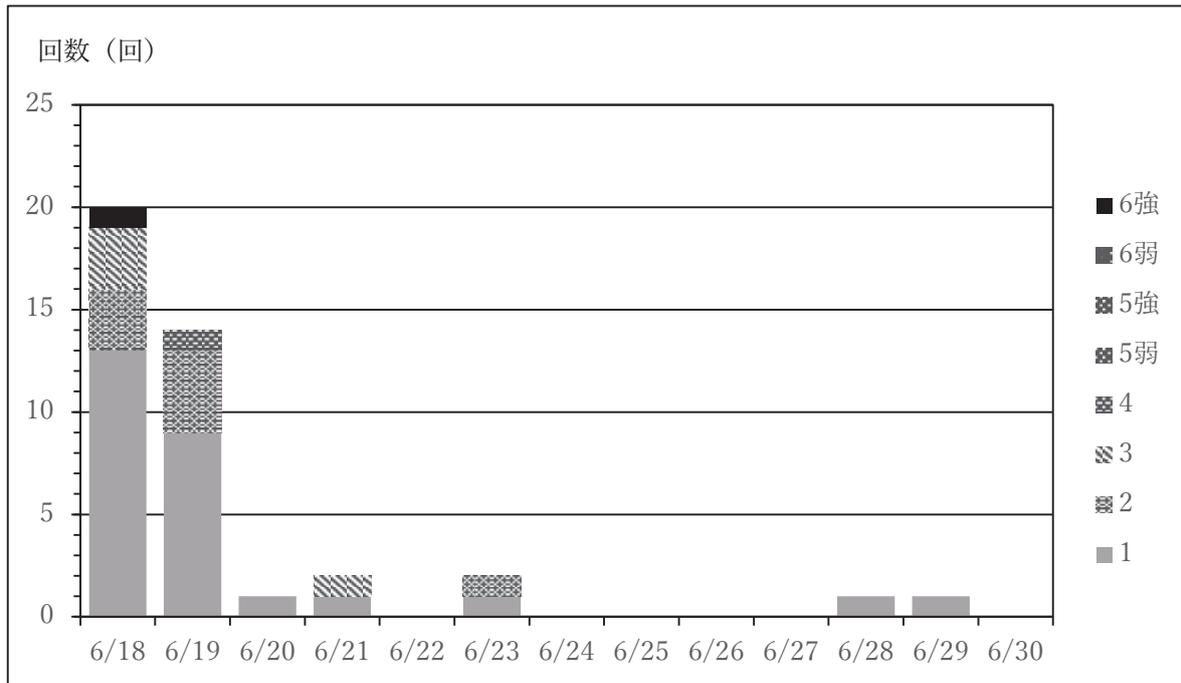


図1-2 震度1以上の日別地震回数グラフ (2019年6月18日22時～6月30日)

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
		津波予報(若干の海面変動)	
01時05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](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。

(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。

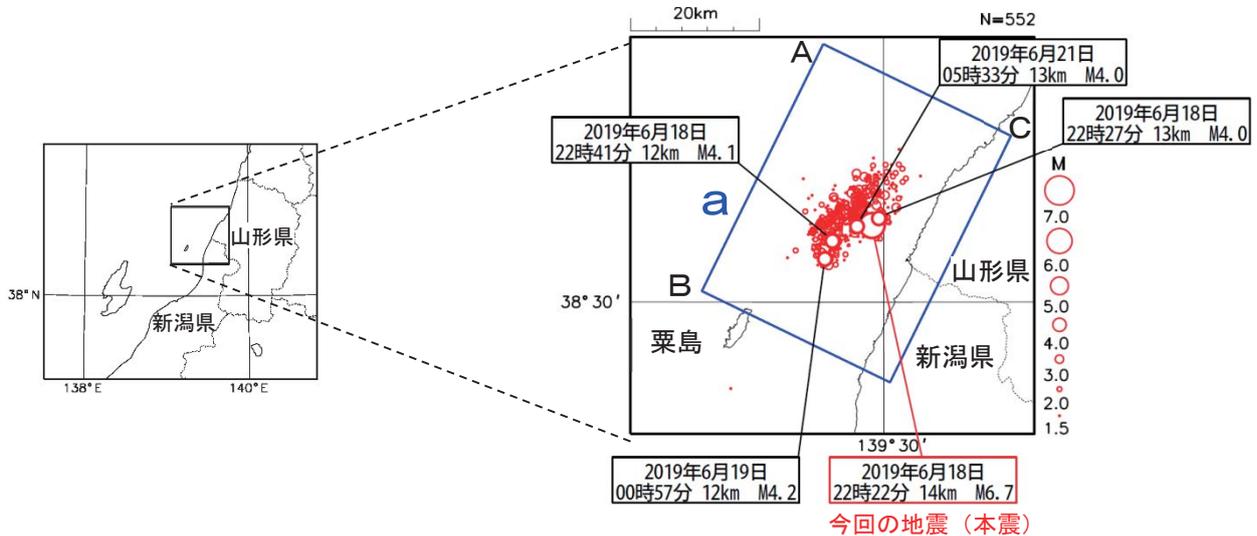


図 2-1 震央分布図
(2019年6月18日~2019年6月30日、深さ0~30km、M \geq 1.5)

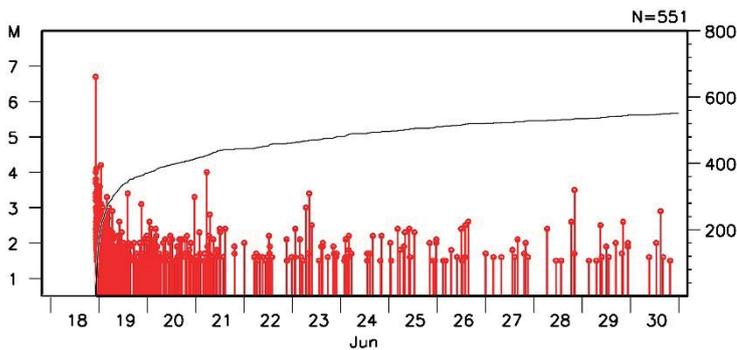


図 2-2 領域 a 内の M-T 図及び回数積算図

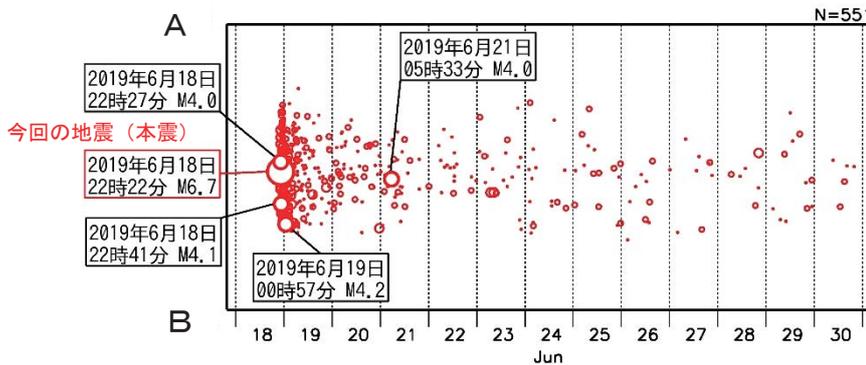


図 2-3 領域 a 内の時空間分布図 (A-B 投影)

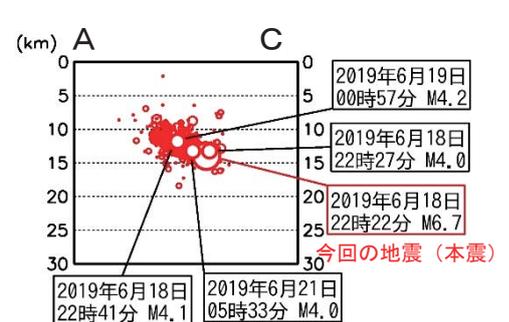


図 2-4 領域 a 内の断面図
(A-C 投影)

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。

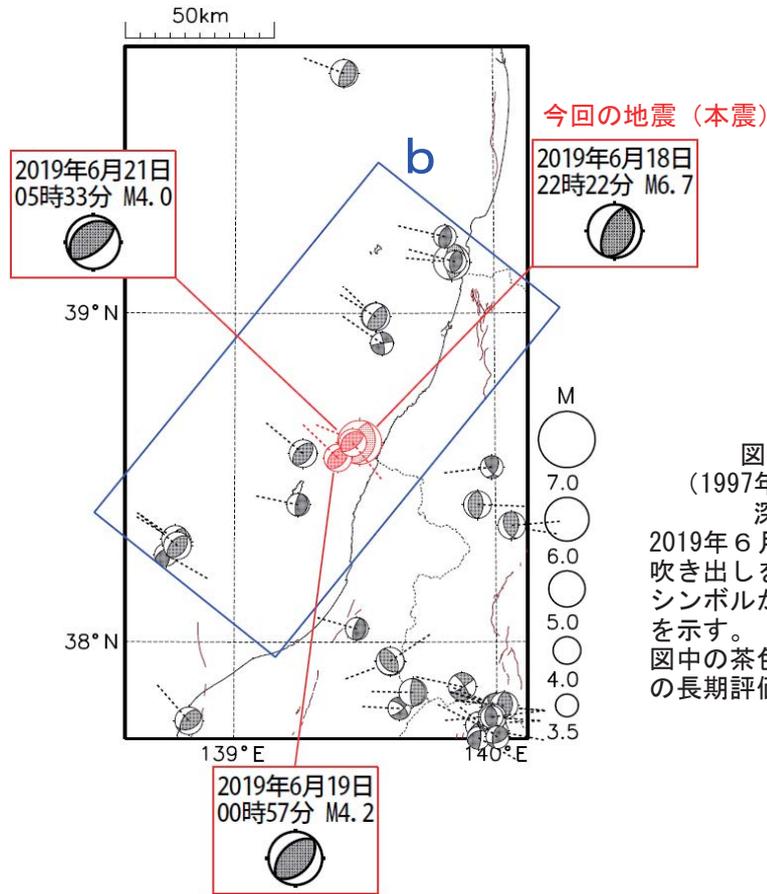


図2-5 発震機構分布図
(1997年10月1日~2019年6月30日、
深さ0~30km、 $M \geq 3.5$)
2019年6月18日以降の地震を赤く示し、
吹き出しを付けた。
シンボルから伸びる点線は圧力軸の方向
を示す。
図中の茶色の細線は地震調査研究推進本部
の長期評価による活断層を示す。

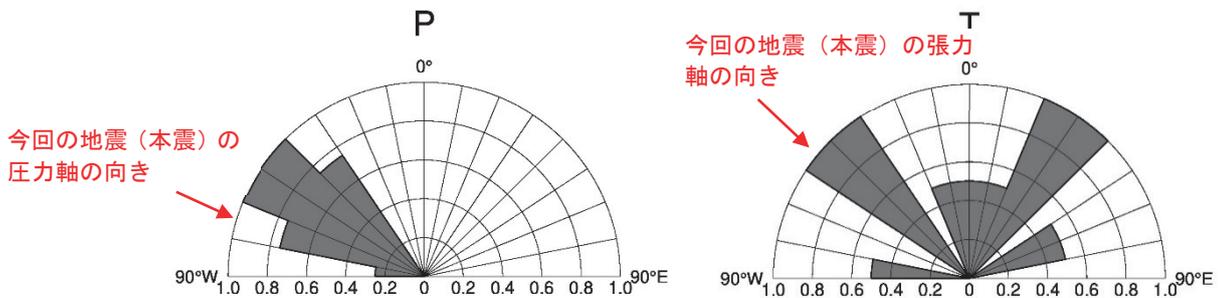


図2-6 領域b内の発震機構の圧力軸(左)と張力軸(右)の方位分布
最も個数の多い方位を1として、方位別の割合を表している。

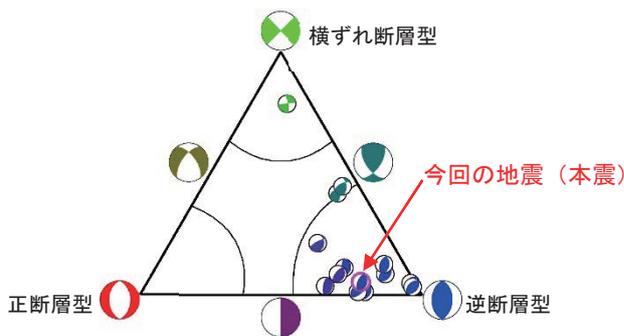


図2-7 領域b内の発震機構の型の分布

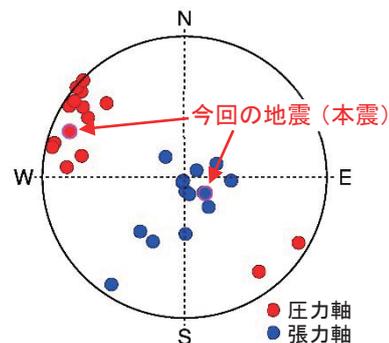


図2-8 領域b内の発震機構の
圧力軸と張力軸の分布

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(M7¹/₂)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。)

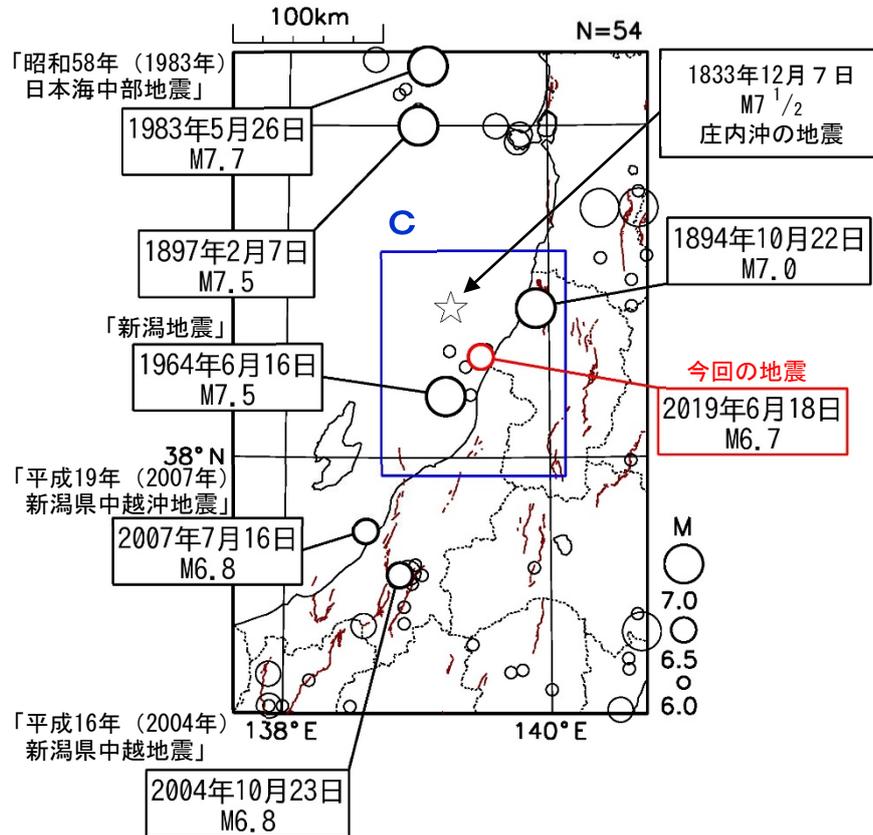


図2-21 震央分布図

(1885年1月1日~2019年6月30日、深さ0~60km、M≥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。

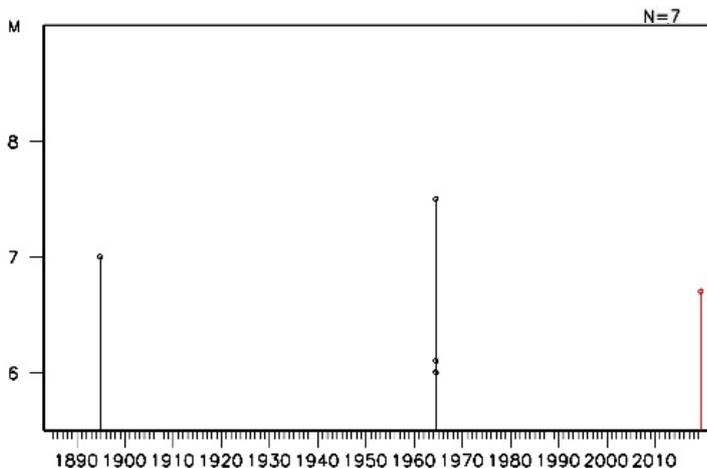


図2-22 領域c内のM-T図

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.

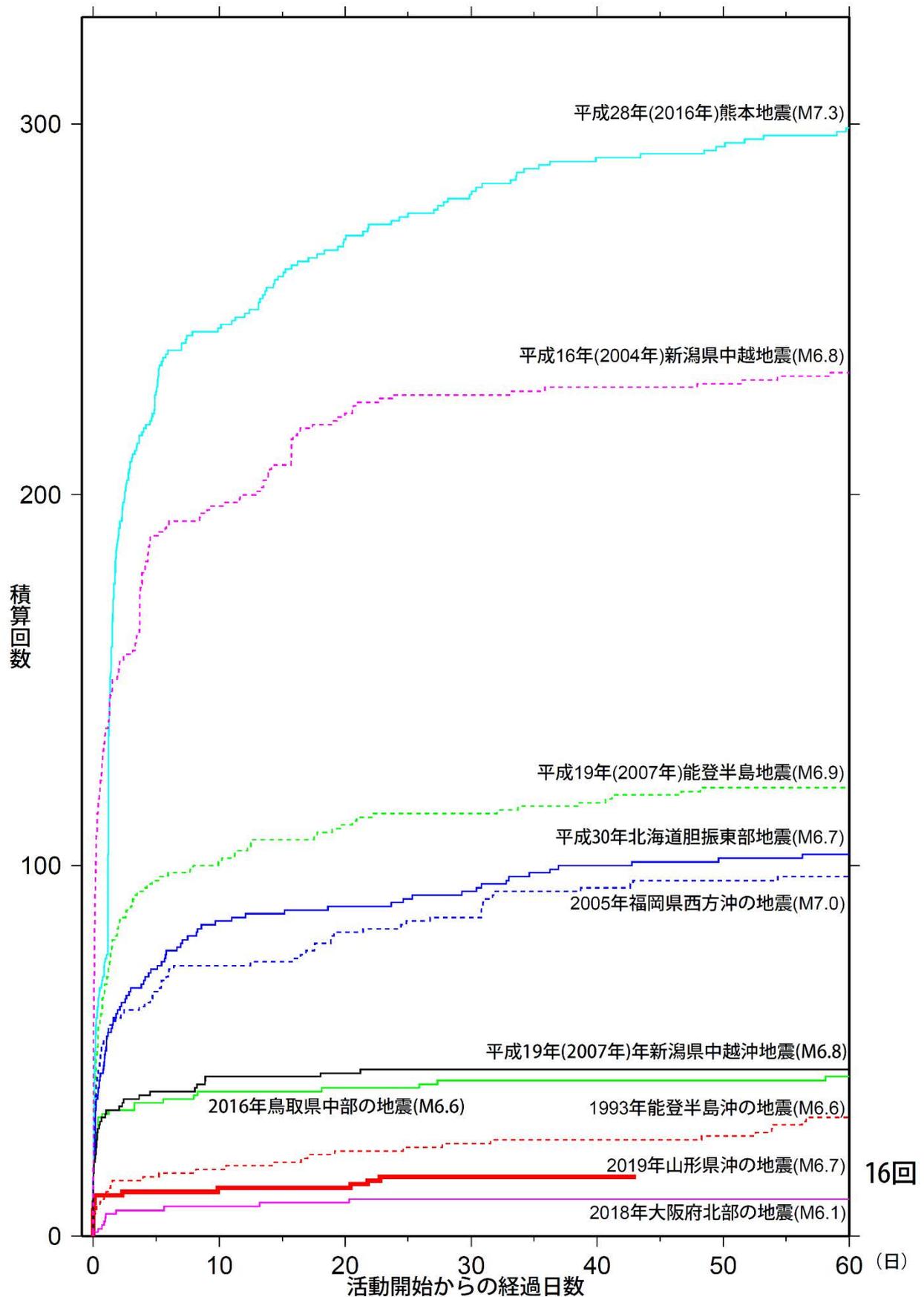
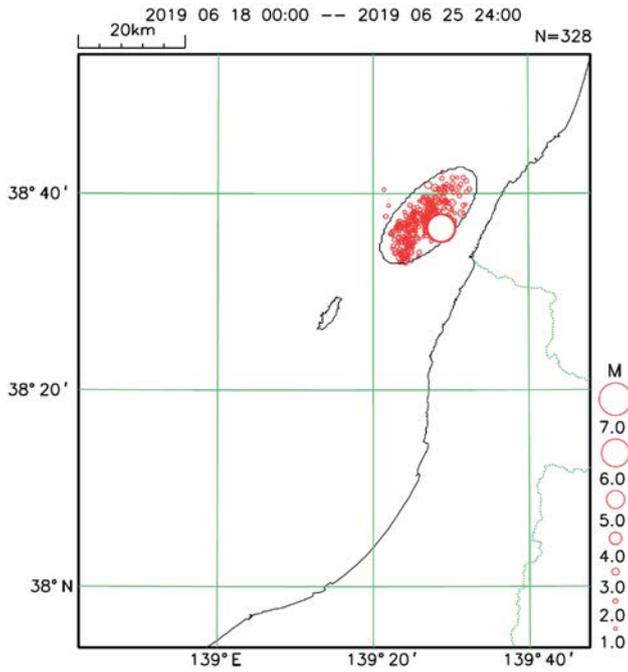


図 2-23 内陸及び沿岸で発生した主な地震回数比較 (M \geq 3.5、2019年7月31日24時00分現在)
 マグニチュードは最大のものを示す。
 資料は速報値を含むため、後日の調査で変更される場合がある。

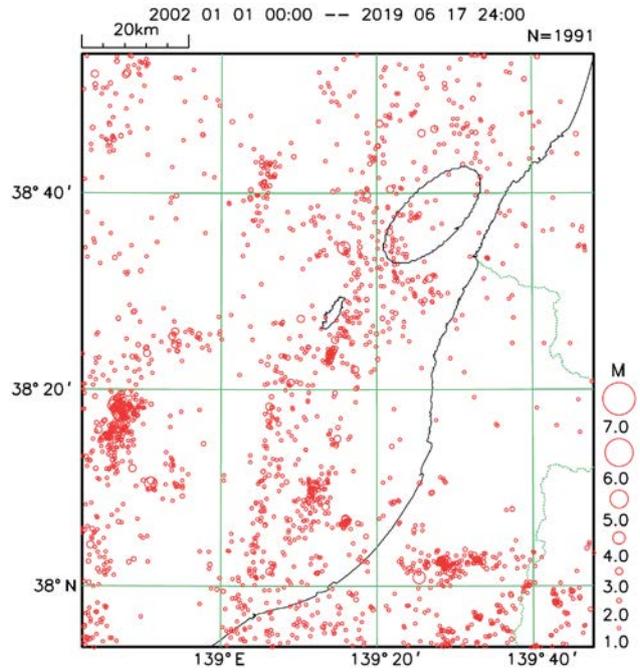
気象庁作成

新潟地震の余震活動との位置関係

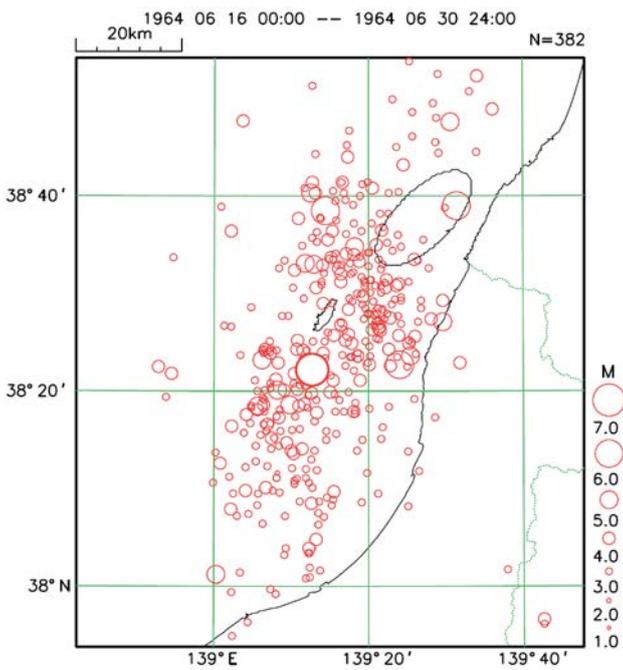
今回の地震活動



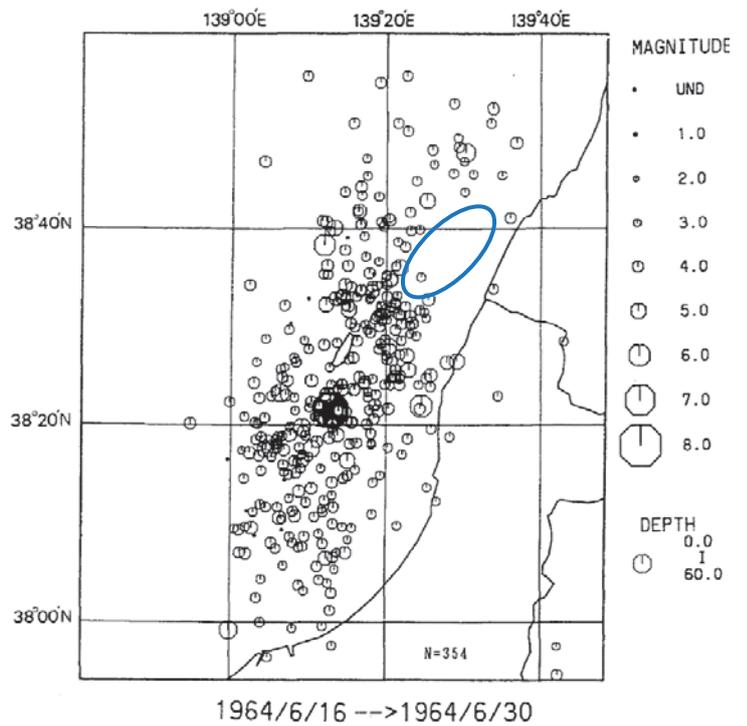
最近の微小地震活動



新潟地震(気象庁震源カタログ)



新潟地震(草野・浜田, 1991)



海底地震計による 2019 年山形県沖の地震の余震分布

Aftershock distribution of the earthquake off Yamagata Prefecture in 2019 by using OBS and land seismic station network

東京大学地震研究所

Earthquake Research Institute, the University of Tokyo

2019 年 6 月 18 日に発生した山形県沖の地震(Mw6.4)について、震源域直上の海底において係留ブイ方式海底地震計による観測を実施した(図 1)。観測期間は 7 月 5 日から 13 日までである。海底地震計による臨時観測点と震源域近傍の海岸付近に設置した臨時観測点を含む陸域観測点からのデータを併せて、精度のよい震源分布を求めた。

震源域直上の海底は水深が 100m より浅く、水産に代表される社会活動が活発な海域である。また、水深が浅い場合には、観測測器が波浪の影響を受けやすい。そのため、通常海底観測に用いられる自由落下自己浮上式海底地震計による海底観測は難しい。今回、海域部については浅海であることを利用して、簡便な係留ブイ方式による海底地震計を用いた観測を実施した(図 2)。使用した海底地震計は、米国 Geospace 社の Ocean Bottom Recorder (OBX-750)であり、固有周波数 15Hz3成分速度型地震計(GS-ONE OMNI)とハイドロフォンを搭載しており、姿勢に関係なく計測可能である。

海底地震計と近傍の陸上観測点のデータから、P 波および S 波の到着時刻を読み取り、一次元構造を用いた震源決定を行った。一次元構造は、近傍で行われた海域構造探査(Sato *et al.*, 2014, JGR)の結果を元とした。また、海底地震計については、変換波を読み取り、観測点補正值決定に用いた。現在データ処理が進行中であるが、読み取りが完了した 72 個の地震のうち、46 個について、収束し、かつ精度よく震源が求まった(図 3)。その結果、求まった余震は深さおよそ 3km から 12km に分布する。また、全体として、南東傾斜の面を形成し、その傾斜角度は 40 度程度となり、発震機構解と調和的である。

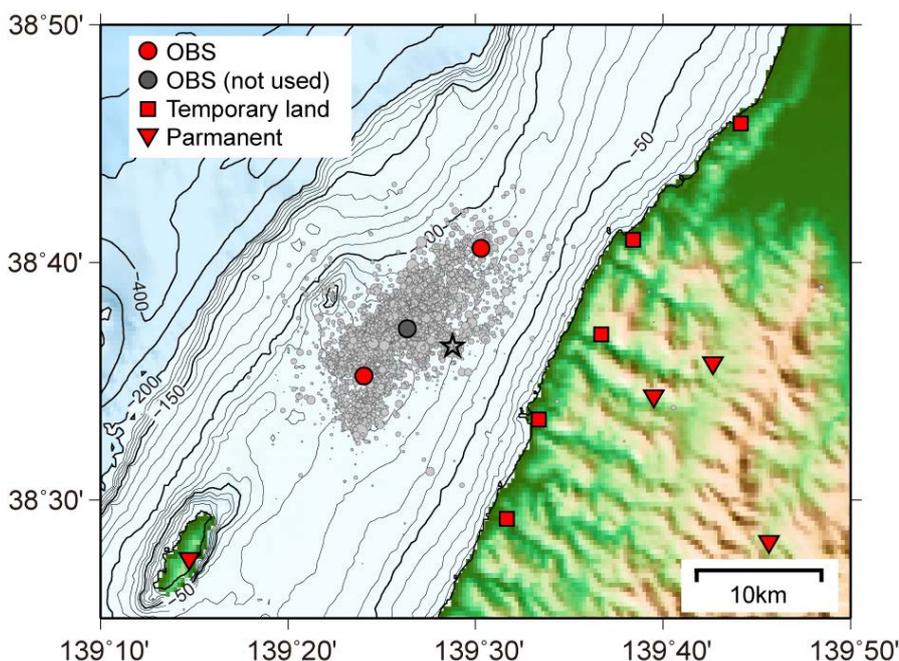


図 1 観測点配置図。赤丸が海底観測点。黒丸の海底観測点は解析に使用していない。赤四角は、余震観測のために設置した臨時陸上観測点、赤逆三角は定常陸上観測点である。星と灰色丸は、気象庁による本震と余震の震央(2019 年 6 月 18 日から 2019 年 8 月 18 日まで)

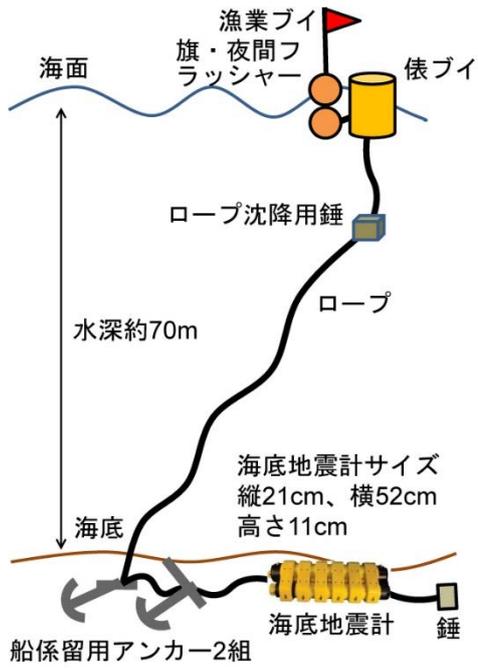


図 2 係留ブイ方式海底地震計のシステム構成図。利用した海底地震計は高さ 11cm で平らな形状をしており、海底において水流の影響を受けにくいと考えられる。

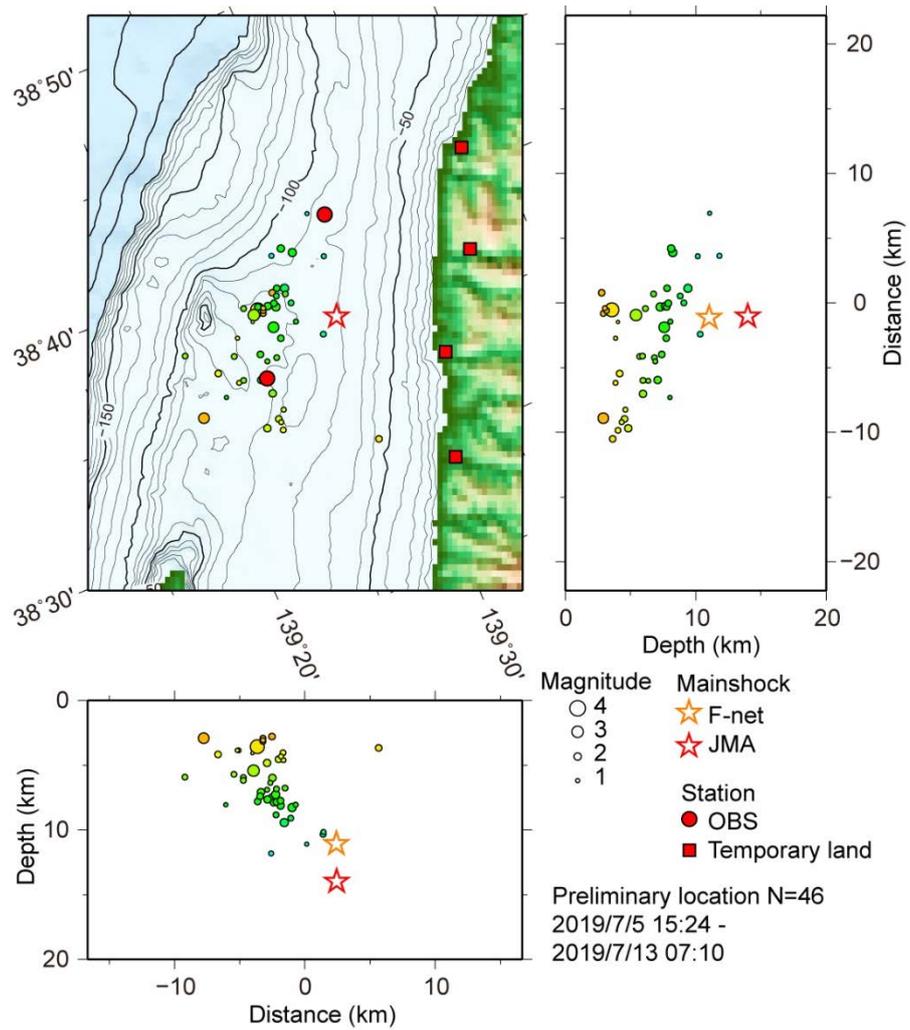


図 3 海底地震計データを用いた暫定的な震源分布。東に 23 度回転してある。赤丸と赤四角は、それぞれ解析に使用した海底観測点と臨時陸上観測点を示す。

観測の実施にあたり、地元漁業団体に協力頂いた。本観測は、災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画(第2次)の一環として、東北大学、京都大学防災研究所と連携して実施した。

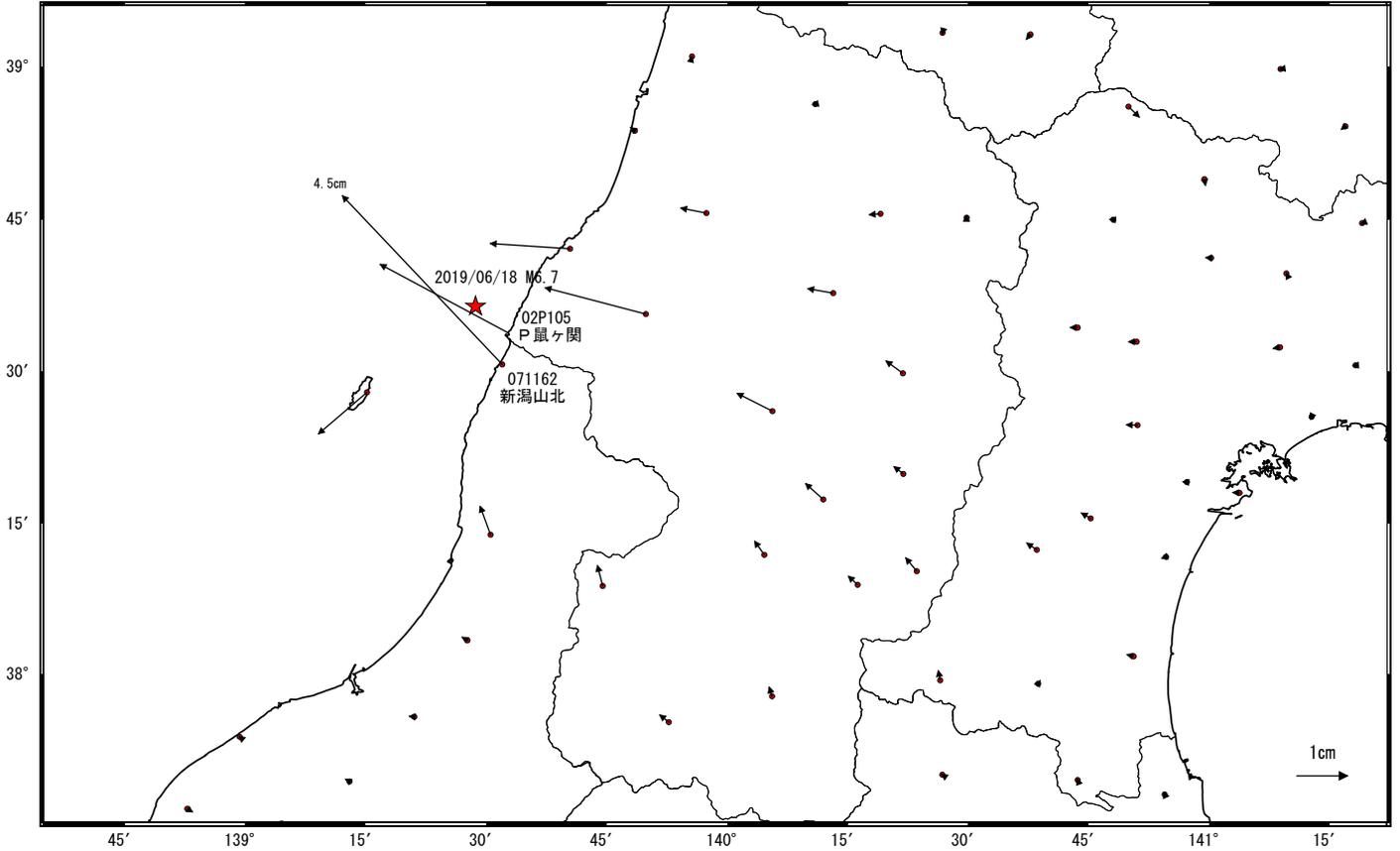
山形県沖の地震 (6月18日 M6.7) 前後の観測データ

この地震に伴い地殻変動が観測された。

地殻変動 (1次トレンド除去後)

基準期間: 2019/06/11~2019/06/17 [F3:最終解]
比較期間: 2019/06/19~2019/06/25 [F3:最終解]

計算期間: 2018/01/01~2019/01/01

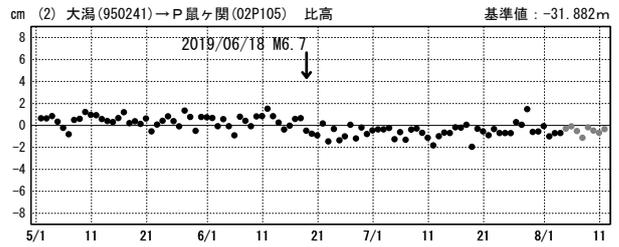
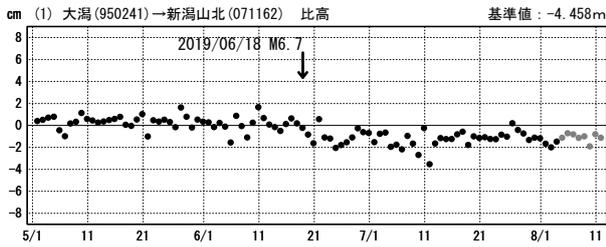
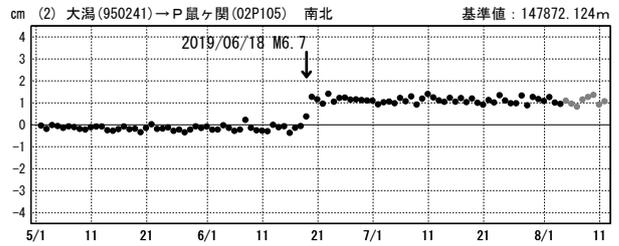
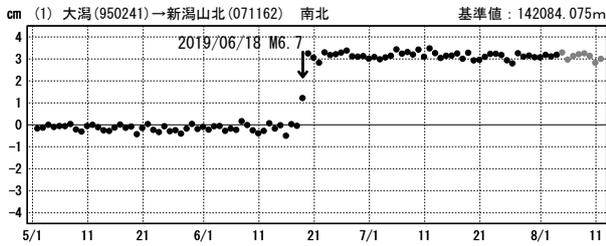
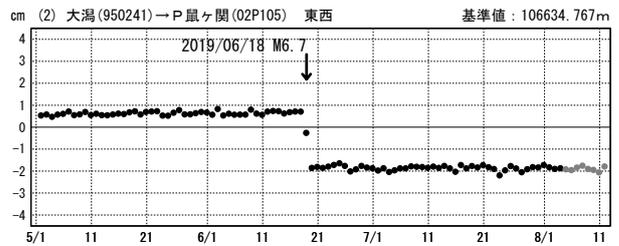
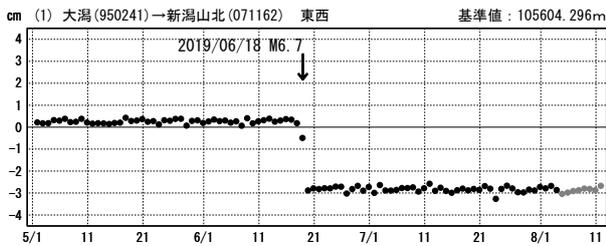


☆ 固定局: 大湯 (950241) ★ 震央

1次トレンド除去後グラフ

期間: 2019/05/01~2019/08/11 JST

期間: 2019/05/01~2019/08/11 JST 計算期間: 2018/01/01~2019/01/01



● — [F3:最終解] ● — [R3:速報解]

山形県沖の地震の震源断層モデル

GNSSで観測された地殻変動を基に推定された震源断層モデル（矩形断層一様滑り）の特徴は以下の通りである。

- 1) 北東-南西走向で東に傾き下がる低角の断層面上における逆断層運動が推定される。
- 2) 推定された断層面の水平位置は、震源分布と整合している。
- 3) 上端は深さ約8 km（断層上端）に位置する。
- 4) 推定されたモーメントマグニチュードは6.4である。

東に傾き下がる断層を仮定したモデル

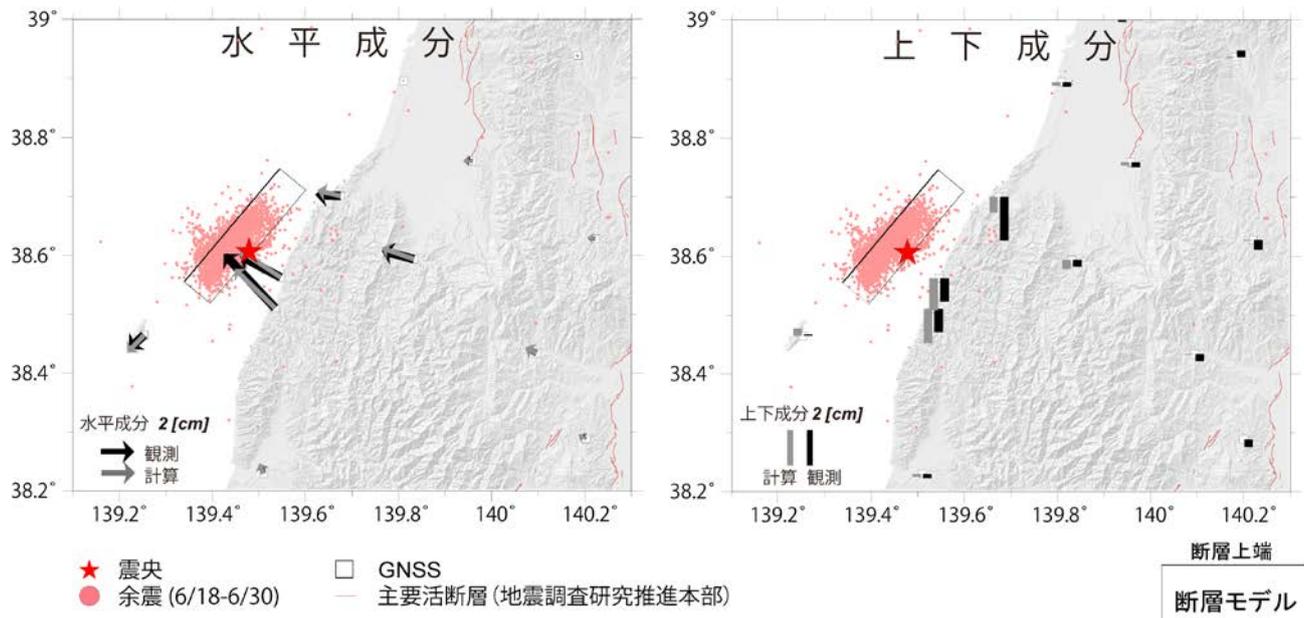


図1 東に傾き下がる断層面を仮定した場合の震源断層モデル。

(左) 水平成分、(右) 上下成分。★印は震央、点は余震分布（気象庁一元化震源を使用）。

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。

表1 東に傾き下がる断層面を仮定した場合の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
139.339 (0.028)	38.556 (0.018)	7.6 (2.2)	27.7 (4.9)	7.4 (2.3)	40	32 (7.4)	95 (5.2)	0.7 (0.3)	6.36

※1 矩形断層1枚での推定結果。位置は断層の左上端を示す。()内は誤差を示す(1 σ)。

※2 断層走向は震源分布を基に固定

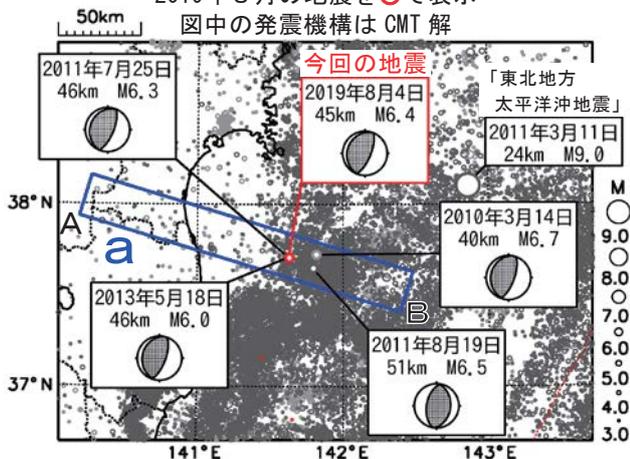
※3 剛性率は30GPaを仮定

8月4日 福島県沖の地震

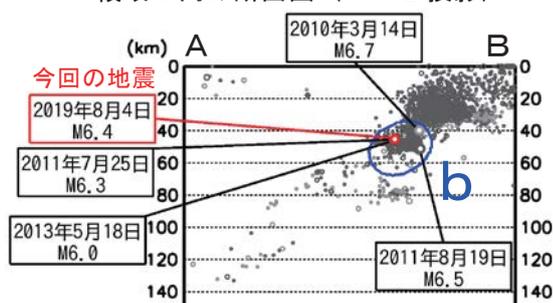
震央分布図

(1997年10月1日～2019年8月4日、
深さ0～150km、 $M \geq 3.0$)

2011年3月10日以前の地震を○、
2011年3月11日以降の地震を●、
2019年8月の地震を○で表示
図中の発震機構はCMT解



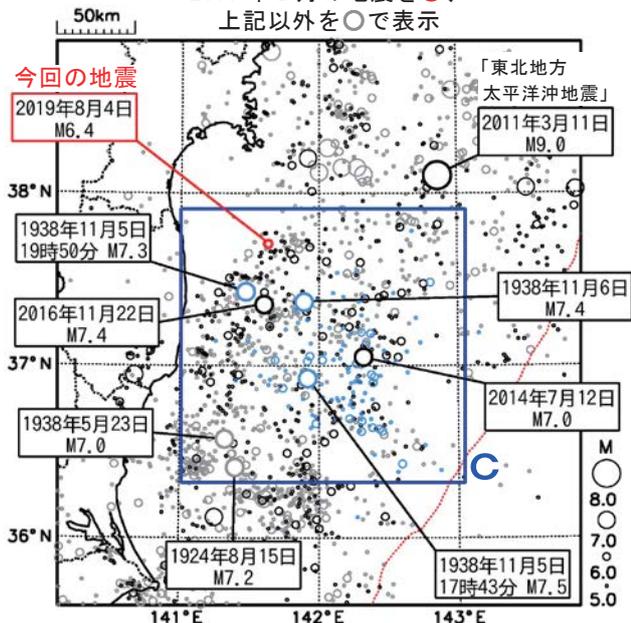
領域a内の断面図 (A-B投影)



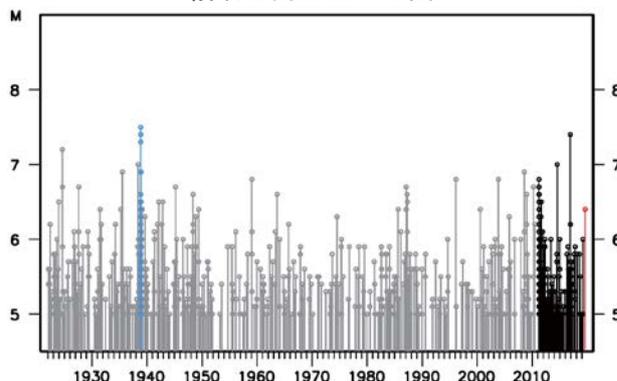
震央分布図

(1922年1月1日～2019年8月4日、
深さ0～150km、 $M \geq 5.0$)

1938年11月5日～11月30日に発生した地震を○、
東北地方太平洋沖地震発生以降に発生した地震を○、
2019年8月の地震を●、
上記以外を○で表示



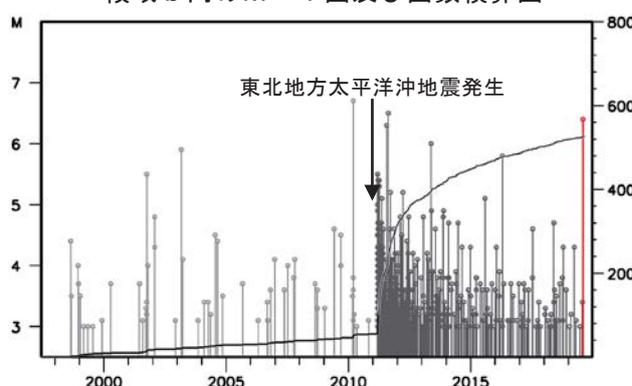
領域c内のM-T図



2019年8月4日19時23分に福島県沖の深さ45kmでM6.4の地震 (最大震度5弱) が発生した。この地震は、発震機構 (CMT解) が西北西-東南東方向に圧力軸を持つ逆断層型で、太平洋プレートと陸のプレートの境界で発生した。この地震により軽傷者1人の被害が生じた (8月4日22時00分現在、総務省消防庁による)。

1997年10月以降の活動をみると、今回の地震の震源付近 (領域b) では、2011年7月25日にM6.3の地震 (最大震度5弱) が発生するなど、「平成23年 (2011年) 東北地方太平洋沖地震」 (以下、「東北地方太平洋沖地震」と記す。) の発生以降、地震活動が活発化し、M5.0を超える地震がしばしば発生している。

領域b内のM-T図及び回数積算図



1922年以降の活動をみると、今回の地震の震央周辺 (領域c) では、1938年11月5日17時43分にM7.5の地震 (最大震度5) が発生した。この地震により、宮城県花巻で113cm (全振幅) の津波を観測した。この地震の後、同日19時50分にはM7.3の地震、翌日11月6日にはM7.4の地震が相次いで発生するなど、福島県沖で地震活動が活発となり、同年11月30日までにM6.0以上の地震が26回発生し、このうち7回の地震により津波を観測した。これらの地震により、死者1人、負傷者9人、住家全壊4棟、半壊29棟などの被害が生じた (「日本被害地震総覧」による)。

房総半島下の正断層地震の発生メカニズム

Mechanism of normal-fault type earthquakes under the Boso Peninsula, Japan

東京大学地震研究所

Earthquake Research Institute, University of Tokyo

千葉大学大学院理学研究院

Graduate School of Science, Chiba University

2019年5月25日、房総半島下で Mw 4.9 の地震が発生し(図 1b), 最大震度は千葉県において震度 5 弱であった。この地震は正断層タイプであり、上盤プレートと太平洋プレートにはさまれたフィリピン海スラブで起きたプレート内地震であると考えられる。付近では、6月1日にも同様のメカニズムを示す Mw4.6 の地震が発生した。房総半島下ではこのような正断層型の地震が起きることが知られている¹⁾。これらの地震を引き起こすに至った応力場の形成過程を定量的に求めるために、関東盆地周囲の長時間スケールの変動を説明する数値モデル²⁾を用いてプレート内部の応力蓄積レートを計算した。

本研究で用いるモデルでは、Dislocation による定常的プレート沈み込みモデル³⁾にもとづき、プレート境界面における定常的すべり運動によって、フィリピン海と太平洋プレートの沈み込み運動を表現した。プレート境界面形状は CAMP モデル⁴⁾、プレート境界面上のすべり速度は NUVEL-1A モデル⁵⁾によるものを用いた。また、伊豆小笠原弧の衝突をすべり速度欠損(定常的固着)によりモデル化し、地質学・変動地形学的手法によって見積もられた上下変動データにより衝突範囲を定めた。データと整合的な衝突範囲は、主として伊豆半島から駿河トラフの北部にわたる²⁾。

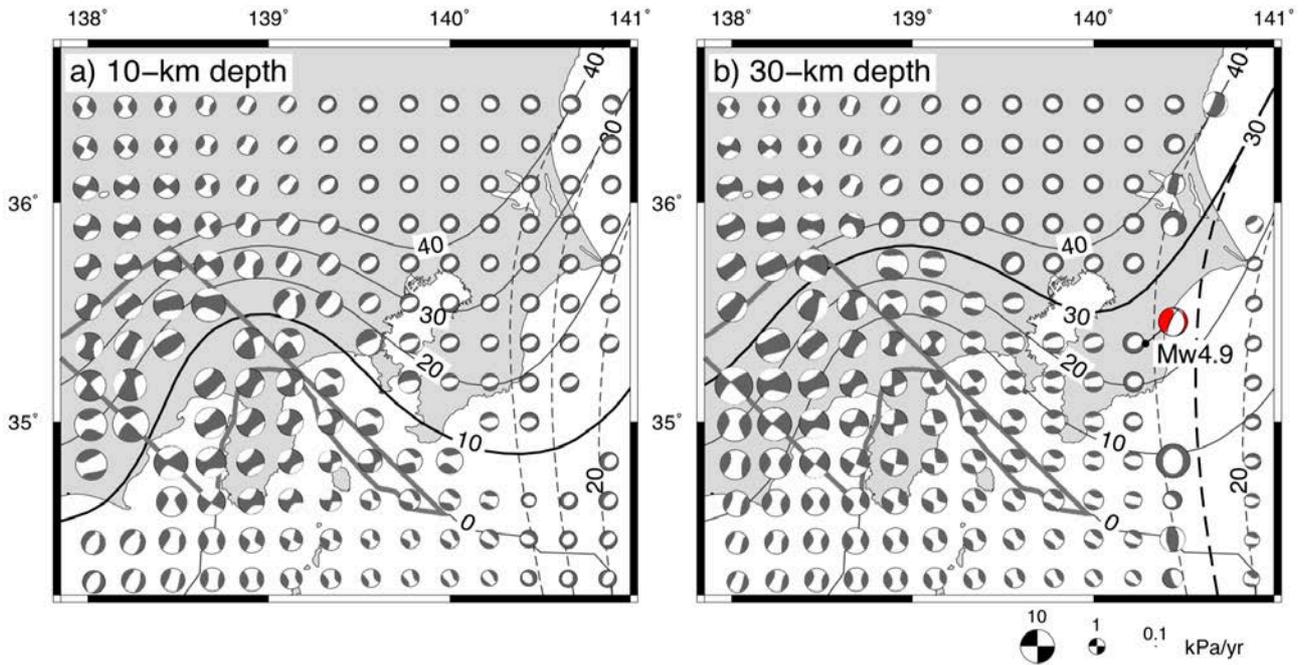
計算によって得られた関東地方上盤側の地殻内応力は伊豆半島における北西-南東圧縮応力、相模トラフより海側の横ずれ的な応力場とともに、関東盆地東部、特に東京湾～房総半島では、ドーナツ状のメカニズム解で表される東西・南北ともに伸張的な応力場を示す(図 1a)。房総半島下のフィリピン海プレート内部の応力場もその上盤側と同様に、ドーナツ状メカニズムの水平伸張的な応力場を示す(図 1b)。5月25日、6月1日の地震は東西伸張の正断層型であるが、計算で示した水平伸張の応力蓄積パターンと調和的であり、フィリピン海スラブ内部の弱面において断層すべりとして解放されたものと考えられる。

(橋間昭徳・佐藤比呂志・佐藤利典)

文献

- 1) 今西和俊, 内出崇彦, 大谷真紀子, 松下レイケン, 中井未里 (2019), 関東地域の地殻内応力マップの作成, 地質調査研究報告, 70, 273-298.
- 2) Hashima, A., T. Sato, H. Sato, K. Asao, H. Furuya, S. Yamamoto, K. Kameo, T. Miyauchi, T. Ito, N. Tsumura, and H. Kaneda (2016), Simulation of tectonic evolution of the Kanto Basin of Japan since 1 Ma due to subduction of the Pacific and Philippine Sea plates and the collision of the Izu-Bonin arc, Tectonophysics, 679, 1-14.

- 3) Matsu'ura, M., and T. Sato (1989), A dislocation model for the earthquake cycle at convergent plate boundaries, *Geophys. J. Int.*, 96, 23-32.
- 4) Hashimoto, C., K. Fukui, and M. Matsu'ura (2004), 3-D modelling of plate interfaces and numerical simulation of long-term crustal deformation in and around Japan, *Pure Appl. Geophys.*, 161, 2053-2068.
- 5) DeMets, C., R.G. Gordon, D.F. Argus, and S. Stein (1994), Effect of recent revisions to the geomagnetic reversal time scale on estimates of current plate motions, *Geophys. Res. Lett.*, 21, 2191-2194



第 1 図 a) 深さ 10 km, b) 深さ 30 km における応力蓄積速度場. 赤の震源メカニズムは 2019 年 5 月 25 日の地震. 震源位置は黒点で示す. 実線はフィリピン海プレート, 点線は太平洋プレート上面の CAMP モデル⁴⁾による等深度線. a), b)の表示深度に対応するコンターを太く表示. 灰色の太線は伊豆小笠原弧の衝突範囲で定常的な固着を与えている.

Fig. 1 Stress accumulation rates at the depth of a) 10 km, and b) 30 km, represented with the focal mechanism symbols. Red symbol shows the mechanism of the earthquake on May 25, 2019. The epicenter is shown with black dot connected with the focal mechanism. Solid and dashed contours show the upper surface of the Philippine Sea and Pacific plates based on CAMP model⁴⁾, respectively. Thick contours in each panel are the corresponding depth of interest. Thick gray line indicates the collision area which is locked permanently.

7月6日 カリフォルニア州中部の地震

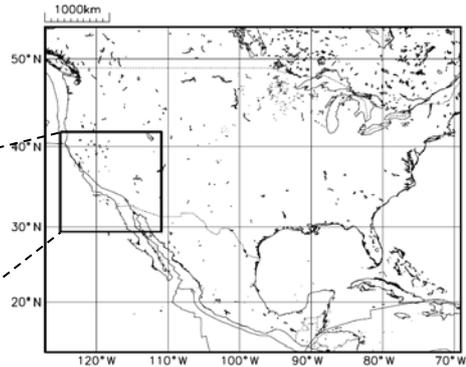
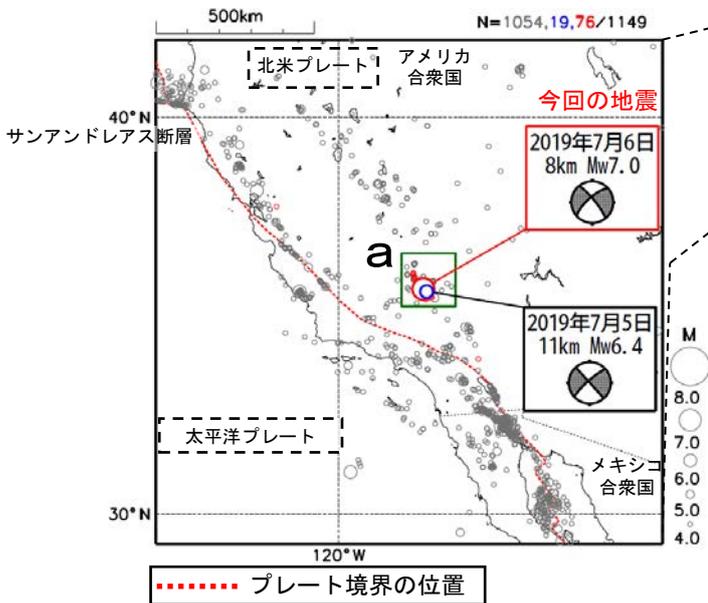
2019年7月6日12時19分（日本時間、以下同じ）に、北米西部、カリフォルニア州中部の深さ8kmでMw7.0の地震が発生した。この地震は地殻内で発生した。この地震の発震機構（気象庁によるCMT解）は、東西方向に張力軸を持つ横ずれ断層型である。

気象庁は、この地震により、同日12時52分に遠地地震に関する情報（津波の心配なし）を発表した。

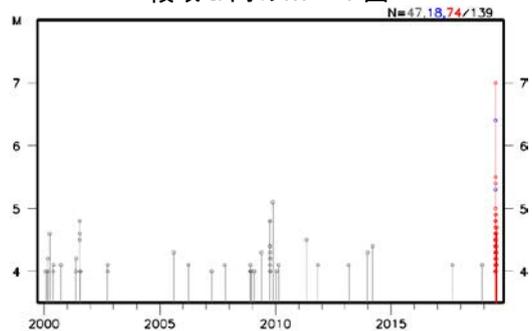
なお、今回の地震の震央付近では、今回の地震が発生した前日の7月5日02時33分にMw6.4の地震が発生している。

1970年以降の地震活動を見ると、カリフォルニア州ではM7.0以上の地震が時々発生している。1992年6月28日に発生したM7.6の地震（ランダース地震）では、死者1人、負傷者約400人等の被害が生じた。また、1994年1月17日に発生したM6.8の地震（ノースリッジ地震）では、死者60人、負傷者約9000人等の被害が生じた。

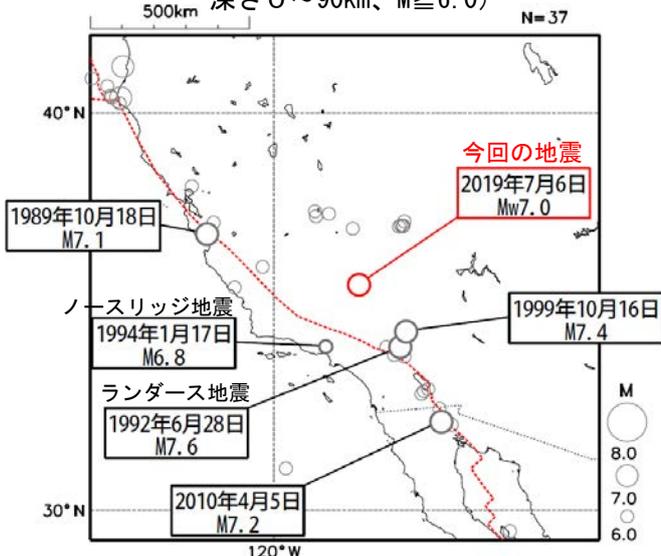
震央分布図
(2000年1月1日～2019年7月31日、
深さ0～90km、M≥4.0)
2019年7月5日を青で、7月6日以降を赤で表示



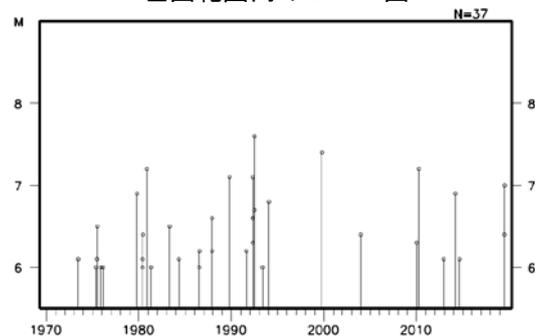
領域a内のM-T図



震央分布図
(1970年1月1日～2019年7月31日、
深さ0～90km、M≥6.0)



左図範囲内のM-T図



※本資料中、今回の地震の発震機構とMwは気象庁による。その他の地震について、発震機構はGlobal CMT、その他の震源要素は米国地質調査所（USGS）による（7月31日現在）。プレート境界の位置はBird（2003）*より引用。被害は宇津の「世界の被害地震の表」による。

*参考文献

Bird, P. (2003) An updated digital model of plate boundaries, *Geochemistry Geophysics Geosystems*, 4(3), 1027, doi:10.1029/2001GC000252.

気象庁作成

2019年7月6日 米国・カリフォルニア州中部の地震 だいち2号 SAR 干渉解析結果

2019年7月6日に米国・カリフォルニア州中部で発生した地震（Mw7.1）について、だいち2号のデータの解析を行った。得られた結果は以下のとおりである。

- 長さ約 40 kmの変位の不連続が北西－南東方向に延びている。
- 観測された地殻変動は、北西－南東走向の断層における右横ずれ運動と調和的である。
- 南東端で変位の不連続が分岐している（線 A-B，線 C-D）。
- 2 日前に発生した Mw6.4 の地震に伴うものとみられる地殻変動が見られる。
- 北東－南西走向の断層の左横ずれ滑りによるものとみられる変位不連続が見られる（線 E-F）。

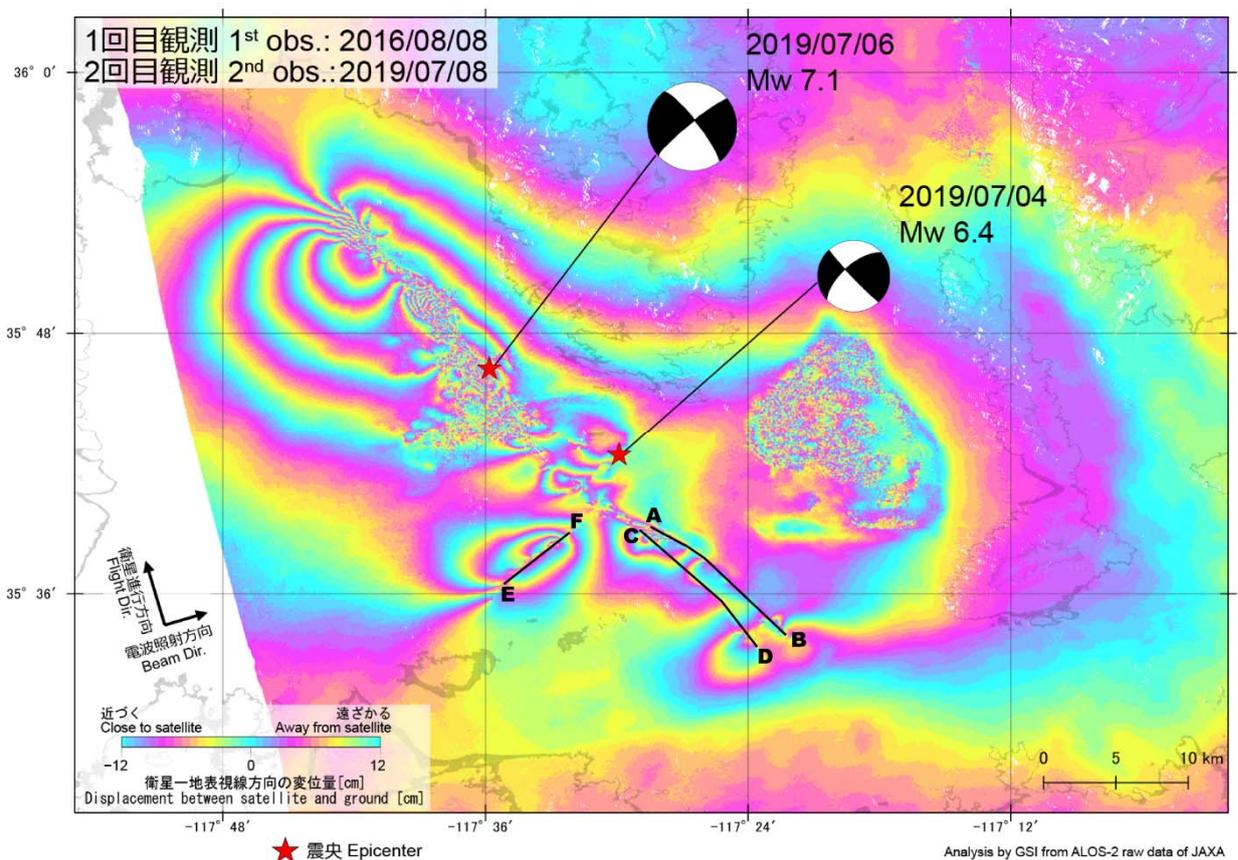


図 1. SAR 干渉画像（2016年8月8日～2019年7月8日）

本成果は、地震予知連絡会 SAR 解析ワーキンググループの活動を通して得られたものである。

重点検討課題の検討

「日本列島地殻・上部マントルの
レオロジーと地震活動」

第 224 回地震予知連絡会 重点検討課題 趣旨説明

「日本列島地殻・上部マントルのレオロジーと地震活動」について

コンビーナ 東北大学大学院理学研究科 松澤 暢

地震予知連絡会が発足してから 50 年が経ち、地震の長期予測に役立つ様々な知見が得られてきている。これらの成果は、地震調査委員会による地震の長期評価に役立てられており、地震発生サイクルや普段の地震活動に基づく地震の長期的確率予測はある程度は可能となったと考えられる。しかし、地殻・マントル内の応力・強度の情報がまったく不足しており、また、地震発生サイクルの理解のために必要な地殻・上部マントルのレオロジーに関する知見も極めて限られている。地震の長期予測のためには、これらの知識を深めることが必要不可欠である。

2011 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震 (M9.0) は、大地震の長期予測のために必要な知見がまだまだ不足していることを我々に改めて示した。この地震により、東北地方の東西圧縮の応力が弱まったので、地震活動は本来は低調になるはずなのに、奇妙なことに、逆に活発化した場所も存在している。また、大規模な余効変動が生じ、それは本震から 8 年が経過した現在も継続している。これらの観測により、これまでに得られなかった貴重な情報が得られつつあり、これらを丹念に解析することにより、沈み込み帯の地震活動を理解が深まり、地震の長期予測の幅を狭めることに繋がると期待される。

このような問題意識のもと、2014-2018 年度に科研費新学術領域「地殻ダイナミクス」の研究が行われ、多数の重要な成果が得られていることから、2019 年 8 月に予定されている第 224 回地震予知連絡会での重点検討課題では、標記のように「日本列島地殻・上部マントルのレオロジーと地震活動」を取り上げることにした。地質学的観察や実験から得られている岩石の流動特性、岩石学的検討から推定される沈み込み帯中の水や温度の分布とそれから期待される粘弾性構造、観測で得られている余効変動の状況、これらから期待される東北日本弧のレオロジー構造と巨大地震の地震発生サイクル、群発地震や大地震の後の余震活動から推定される地震発生域の応力・強度と地震発生に至る過程、といった最新の研究成果について報告を受け、幅広い検討を行う。

話題提供者〔敬称略〕

1. 近年の地震観測により得られた東北日本の応力場の不均質性と断層強度および地震発生機構の関係

東北大学 吉田 圭佑

2. 低温領域の熱年代学を用いた島弧山地の長時間スケール隆起・削剥史研究

京都大学 田上 高広

3. 海洋プレートの定常的な沈み込み運動による島弧海溝系の形成

京都大学防災研究所 深畑 幸俊

4. 東北日本前弧域における巨大地震サイクル後半の沈降のメカニズム

建築研究所 芝崎 文一郎

近年の地震観測により得られた東北日本の応力場の不均質性と断層強度および地震発生機構の関係

東北大学 吉田圭佑

2011年東北沖地震に伴う東北日本内陸の余震活動は、本震時の応力変化と間隙水圧変化両方の影響を受けて発生

- 1) 東北日本北部と南部では、地震時応力変化と背景応力場の空間不均質に起因した局所的な応力増加により、広域応力場と非常に異なるメカニズム解を持つ地震活動が活発化
- 2) 東北日本中央部では、東北沖地震後の流体移動に伴う断層強度の低下により群発地震活動が活発化。流体圧は面構造を用いて深部から浅部へ移動し、震源位置も移動

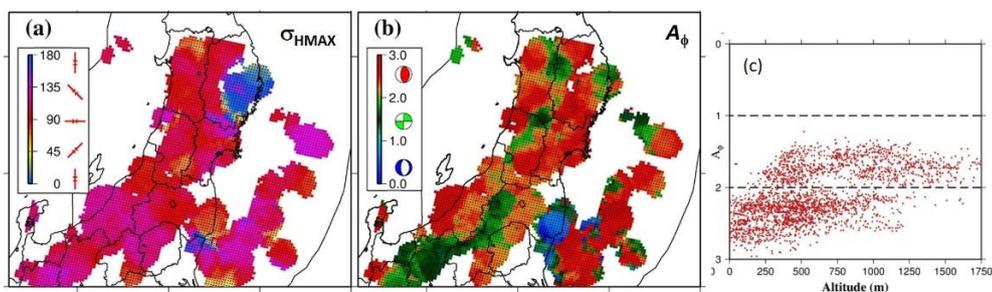


図 1. 2011年東北沖地震以前の東北日本の広域応力場の空間変化。(a) 最大圧縮方向の空間変化, (b) 応力レジーム (逆断層的, 横ずれ断層的, 正断層的)の空間変化, (c) 応力レジームと地表の標高の関係

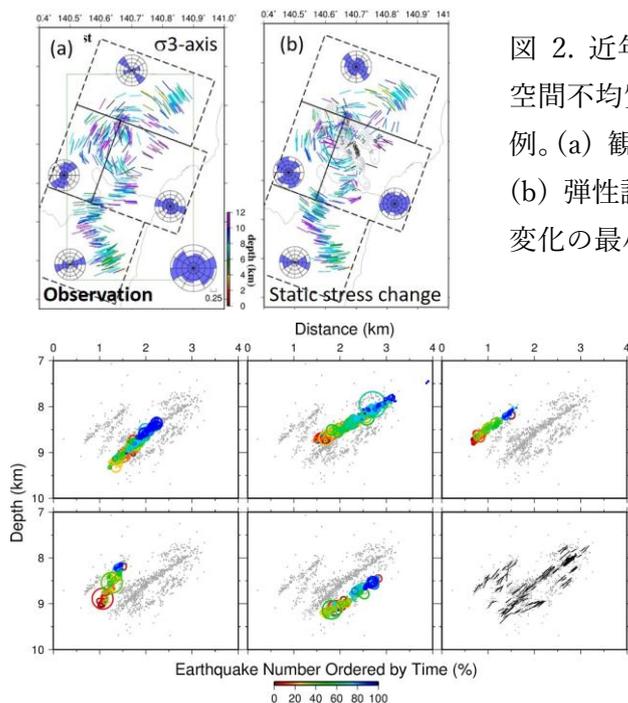


図 2. 近年の大地震震源域における応力場の空間不均質。2011年福島県浜通りの地震の例。(a) 観測された最小主応力軸方向の分布。(b) 弾性論に基づき計算した本震による応力変化の最小主応力軸方向の分布

図 3. 2011年東北沖地震に活発化した山形-福島県境群発地震活動の震源分布。東西方向の断面図を示す。色で各面沿いの地震の発生順を示す。

低温領域の熱年代学を用いた 島弧山地の長時間スケール隆起・削剥史研究

田上 高広 (京都大学)

ポイント

- ・ 閉鎖温度の異なる年代測定法・鉱物を組み合わせて、岩石の温度-時間履歴 (= 熱史) を復元
- ・ 地下の温度構造を前提として、熱史から岩石の深度-時間履歴 (= 隆起・削剥史) を復元
- ・ 多くの地点で岩石を採取/年代測定 (= 熱年代マッピング) し、山地全体の隆起・削剥史 復元
- ・ この方法を用いて、地質時間スケールにおける木曾山脈の隆起・削剥史と断層の平均変位速度 (垂直成分) の推定に成功 (Sueoka et al., 2012, 2016)。日本列島全体の熱年代マッピングを目指し、東北脊梁山脈、飛騨山脈、南部フォッサマグナなど他地域でも国際共同研究を展開中。

岩石の温度履歴→山地の削剥履歴

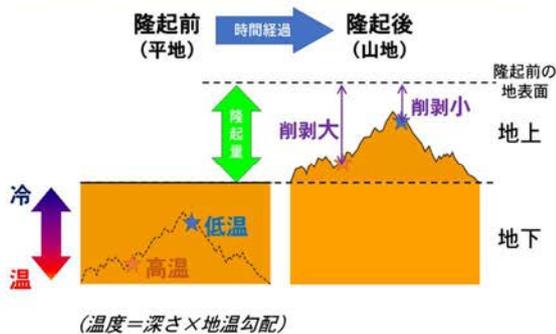


図1 (左) 岩石の熱史 (温度履歴) から山地の隆起・削剥史を復元する概念図
標高の高い地点の方が、総削剥量は小さく、隆起前の古地温は低いことがわかる。

✓清内路峠断層は隆起に寄与しているか??

→Yes (StFを挟んで削剥履歴が異なる)

✓木曾山脈は傾いているか??

→Yes (西に傾けるとデータを共通の地温勾配で説明可)

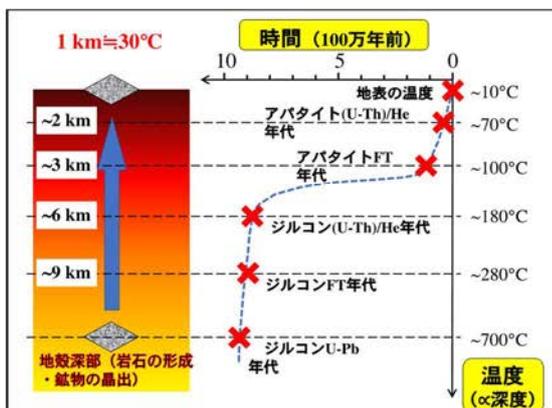


図2 閉鎖温度の異なる様々な熱年代計 (手法・鉱物) を組み合わせて同一の岩石を分析することにより、その岩石の熱史と隆起・削剥史を復元する概念図

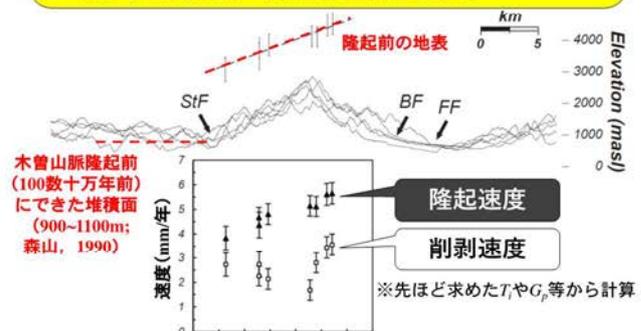


図3 低温領域の熱年代データの解析結果に、既報の地質学・地形学的な情報を加味し、木曾山脈形成に伴う平均的な隆起・削剥速度が推定された (Sueoka et al., 2012, 2016)。

山脈の西側の断層 (清内路峠断層) が隆起に寄与したことが、山脈全体が西に傾動しながら隆起したことも明らかになった。

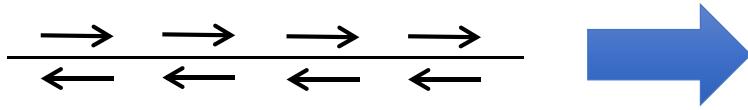
海洋プレートの定常的な沈み込み運動による島弧海溝系の形成

深畑幸俊（京大防災研）・松浦充宏（統数研）

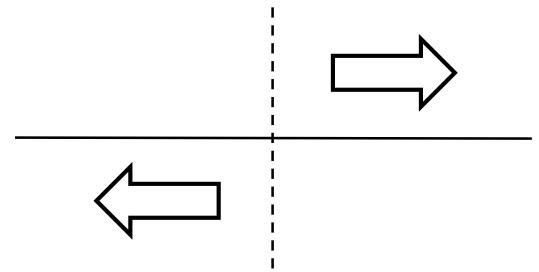
近年の理論的研究の進展により、沈み込み型のプレート境界で、なぜ島弧-海溝系の大地形が形成されるのか、物理的に明快に理解できるようになった。

基本的な物理

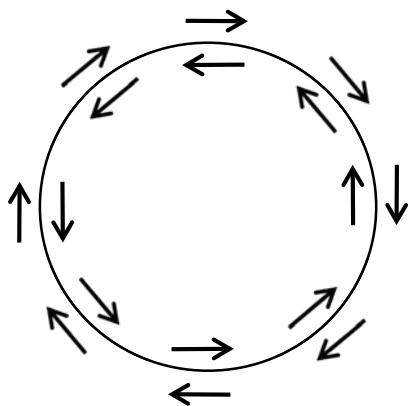
無限に長い横ずれ断層上での変位の食い違い



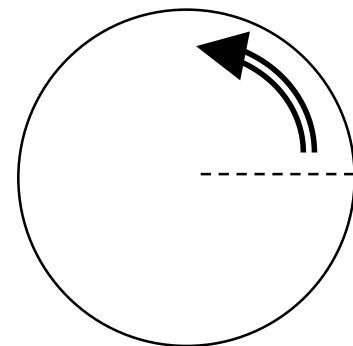
単純なブロック運動



仮想的な円柱状の断層面上での変位の食い違い

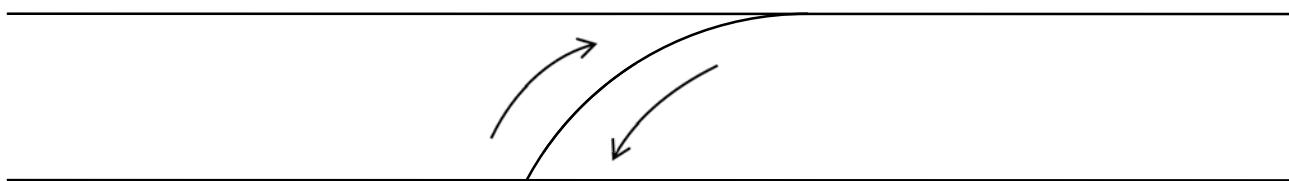


単純なブロック回転運動

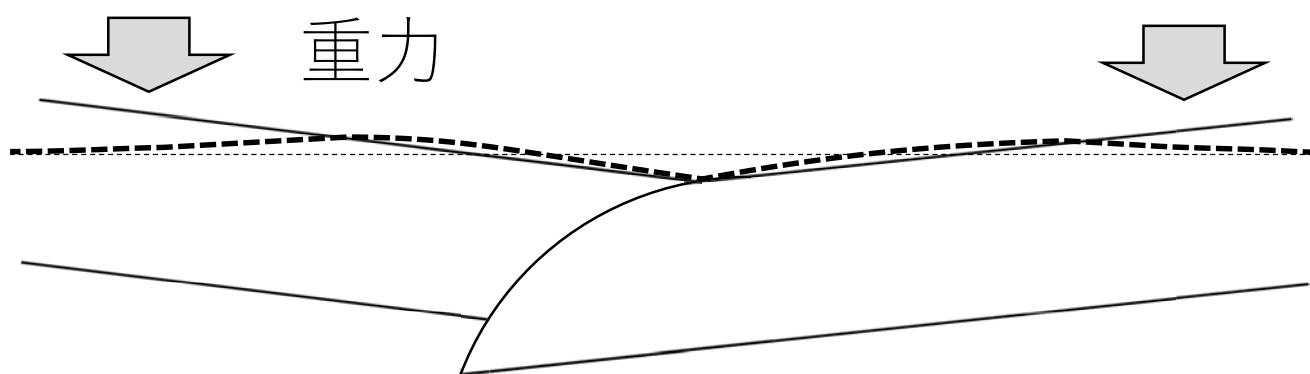


運動はするが変形は生じない

簡単のため、プレート沈み込み境界として円弧の形状を考える



プレート境界面に変位の食い違い（=海洋プレートの沈み込み運動）を与えると、陸側プレートは時計回りに、海側プレートは反時計回りに剛体回転する（下図実線）



遠方では重力平衡状態（細破線）を回復することにより、海溝で低く、島弧と外縁隆起帯で高くなる特徴的な地形が形成される（太破線）

東北日本前弧域における巨大地震サイクル後半の沈降のメカニズム

篠島 僚平(1, 2)・芝崎 文一郎(2)・岩森 光(3,4,5)・西村 卓也(1)・中井 仁彦(2)

(1)京大防災研、(2)建築研究所、(3) 東大地震研、(4)東工大、(5)JAMSTEC

ポイント

- 2011年東北地方太平洋沖地震以前の約100年間に於いて東北日本の太平洋沿岸域は年間3~4mmの速度で沈降を続けていた。
- 東北沖浅部が固着し太平洋プレートによる陸側のプレートの引きずり込みが数百年にも及ぶと、マントル高温部の「粘性」により、陸側プレートは深部まで引きずり込まれやすくなり、太平洋沿岸域は沈降速度が大きくなる。
- 北海道東部太平洋岸の沈降も東北と同様に北海道東方沖浅部におけるプレート間固着により生じている可能性があり、超巨大地震の応力蓄積が進行していることを示唆する。

【超巨大地震サイクル後半の太平洋沿岸域沈降のメカニズム】

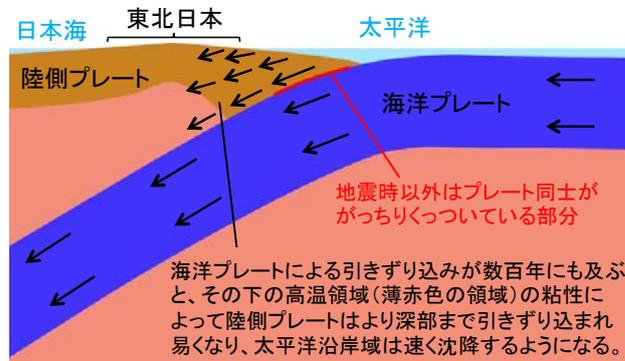
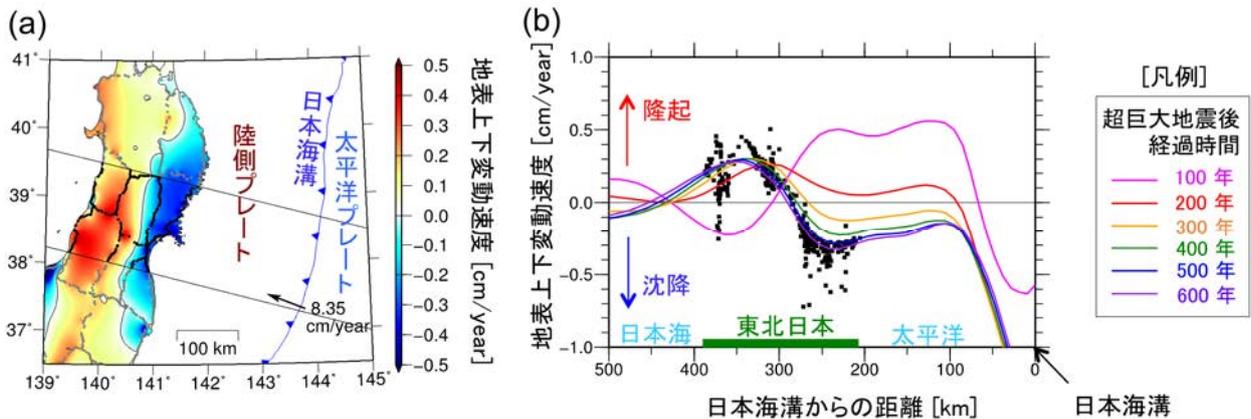


図1. 陸側プレートが引きずり込まれる様子を表した東北日本周辺の東西断面図（概念図）



・本図は、当論文[Sasajima et al., 2019, Scientific Reports]内の図の一部を元に加筆したもの。

図2. 本シミュレーション結果と水準測量観測による地表上下変動速度の比較図

(a)水準測量観測による1890年代後半～1990年代の約90年間の東北地方の地表上下変動速度(オリジナルデータは国見他(2001)による)。プラスが隆起でマイナスが沈降を表す。

(b)黒点は(a)の2本の黒線で挟まれた範囲の水準測量観測による地表上下変動速度を示す。各色線は本シミュレーションによる、超巨大地震サイクルにおける100年毎の地表上下変動速度を示す。1サイクルを600年と仮定。シミュレーションでは超巨大地震サイクル後半にかけて太平洋沿岸域の沈降速度が増加していく結果が得られ、500～600年後の結果は水準測量観測結果とおおよそ良い一致を示す。

第225回地震予知連絡会重点検討課題「予測実験の試行06」の検討

準リアルタイム地震予測の実施について

コンビーナ 統計数理研究所 尾形良彦

「地震発生の予測実験の試行」に関する重点課題は、2013年の第200回地震予知連絡会以来7年経過し今回で6回目となる。これまで多様な観点から地震予測とその評価に関しての取り組みについて報告があり、本年3月の予知連50周年記念講演会では確率予測の現状が取りまとめられた。

地震の被害軽減に備えるために参考となるべき情報には、各地域での長期・中期・短期の様々な予測と、それらの合わせ技（複合予測）^{1, 2)}が考えられる。

特に、地震の発生記録などの各種データが、ほぼリアルタイムで得られる現在、最も開発が要請されるのは、短期予測であろう。しかし「危険性が何時もより高くなった」などの定性的な説明だけでは、現状に十分応えられたものと言えなくなってきた。リスク関連諸分野における予測情報の目指すべきものとして、起こりうる各シナリオに対して危険度を数量的に見積もった確率的予測を提示することが要請される。そして、予測能力の向上を目指すためには「予測試行」を重ねて、予測のつどの結果の成績データを付加し、確率利得や情報量利得などで、有効性の評価や比較を行うことが必要である。

今回の重点課題セッションでは、本震直後の余震の確率予測や最大震度予測、前震の確率予測、時間・空間の地震活動予測など、短期予測を中心に、予測の提案、試行、結果の評価など、以下に示すような課題の原状報告を企画する。

(1) **前震予測**。或る地域で中小地震が起き始めたとき、これが余震を伴って無事終焉する（本震-余震型）のか、より大きな地震が来る（前震-本震型）のか、またはその他（群発地震型）なのか、統計的な判別によって、確率予測をすることである。最近の地震活動から試行・評価を行い、情報利得などを求める試みや限界について。

(2) **リアルタイム余震予測**。観測的技術的な困難によるデータ収集の悪条件にも関わらず、地震発生24時間以内のできるだけ早い機会に、より大きな地震発生の可能性を含む、確率予報を偏ることなく公表できることが2次災害軽減にとって重要である。最近の中地震について、本震直後からのリアルタイム確率予報の試行と結果について報告する。同様に、震災地域と周辺部についての各地点での最大震度の確率予測を算出するため、地震計（強震計）の最大振幅の予測を考える。

(3) **時空間 ETAS モデルまたは非定常 ETAS モデルによる地震活動予測**。リアルタイムに得られる広域の地震活動の推移について時空間 ETAS モデルが短期・中期・長期の確率予測にどう関わるかの現状について検討する。また、非定常 ETAS モデルと測地学的データの変化との因果性を考慮した地震活動の予測と、その展開の可能性について議論する。

文献

- 1) 尾形良彦 (2014) 予知連絡会報, 第91巻 (12-6), 387-395.
- 2) 尾形良彦 (2016) 予知連絡会報, 第96巻 (12-23), 658-661.

令和元年度 第 1 回重点検討課題運営部会報告

1. 令和 2 年度重点検討課題の選定

令和 2 年度前期の重点検討課題名（予定）を以下のとおり選定した。

地震予知連絡会	コンビーナ	課 題 名
第227回(2020/05)	小原 委員	日本列島モニタリングの将来像（仮）
第228回(2020/08)	堀 委員	沈み込み帯の地震発生物理モデル構築（仮）