

10-3 平成28年（2016年）熊本地震 The 2016 Kumamoto Earthquake

気象庁
Japan Meteorological Agency

【地震活動の概要】

2016年4月14日21時26分からの「平成28年（2016年）熊本地震」の地震活動は、2016年5月以降、全体として減衰傾向がみられる。熊本県熊本地方及び阿蘇地方においては、減衰しつつも活動は継続している。大分県中部の活動は低下した（第1図～第2図）。布田川断層帯・日奈久断層帯周辺や大分県中部における詳細な地震活動経過をみても、特段の活動域の広がりや活発化はみられない（第3図～第6図）。熊本地方及び阿蘇地方を小領域に分割すると、地震活動の減衰の傾向は領域によって若干の差が認められる（第7図）。

2016年5月以降で最大規模の地震は、8月31日19時46分に熊本県熊本地方（布田川断層帯（宇土区間）周辺）の深さ13kmで発生したM5.2の地震（最大震度5弱）であり、翌日9月1日には、この地震とほぼ同じ場所で、M4.8の地震（最大震度4）が発生した（第8図）。これらの地震の発震機構は、南北方向に張力軸を持つ正断層型であり、4月14日以降に周辺でみられていた発震機構と同様であった（第9図）。これらの地震発生後1週間程度の地震活動について、波形相関を用いたDouble-Difference法による震源再決定を行ったところ、北方向に深くなる震源分布がみられた（第10図）。また、国土地理院による熊本地震の余効変動モデル¹⁾を用いて8月31日（M5.2）の地震に対する影響（ ΔCFF ）を求めたところ、この地震は、潮汐応答を大きく超えない程度の誘発域に位置していることが分かった（第11図）。

【地震活動の推移】

熊本県熊本地方・阿蘇地方における地震活動の推移から、今後の一定規模以上の地震の発生頻度を推定するため、現状の活動レベルを、活動初期（4月24日～5月13日）の活発な時期と比較した。その結果、5月14日から約3週間の活動レベルはM6以上の地震回数でみると0.041回/日となり、活動初期の0.17回/日に比べ、およそ4分の1に減少した（第12図）。また、6月14日から約3週間の活動レベルはM5以上の地震回数でみると0.31回/日となり、活動初期の1.77回/日に比べ、およそ6分の1に減少した（第13図）。熊本地震発生前後での活動レベル（1日あたりのM5以上の発生回数）を比較すると、熊本地震発生直後の活動初期では約150～200倍であったが、その後、約30～50倍にまで低下した（第14～15図）。

【過去の地震活動の事例】

熊本地震の活動の推移予測のために参照した、日本国内で発生した内陸地震での活動経過の過去事例を示す。2004年（平成16年）新潟県中越地震や2011年4月11日の福島県浜通りの地震では、最大規模の地震から1～2ヶ月後に最大震度5弱を観測する地震が発生した（第16図）。九州地方ではM6クラスの地震が続発した事例が複数あり（第17図）、1975年の熊本県阿蘇地方から大分県西部にかけての地震活動や1997年の鹿児島県薩摩地方の地震活動では2～3ヶ月の間において同程度の規模の

地震が発生した（第18図）。

【余震確率】

4月14日のM6.5の地震について、翌15日に余震確率の情報として、「M6（所によって震度6弱程度）以上の余震発生確率が3日間で20%」と発表した。16日にM7.3の地震が発生し、さらに地震活動が熊本県から大分県にかけての広域に広がったことから、通常の本震－余震型ではなくなったと判断し、余震確率の情報の発表を取りやめた。ここでは、その後、地震調査研究推進本部で確認された「大森・宇津公式を拡張した本震の余震活動とその二次余震系列の活動を重ね合わせたモデル^{2) 3)}」等に基づく余震確率算出手法⁴⁾によって、7月11日以降の3日間の余震確率を計算した結果を示している（第19図～第21図）。

参考文献

- 1) 国土地理院：第212回地震予知連絡会国土地理院資料，2016.
- 2) Ogata, Y. : Estimation of the Parameters in the Modified Omori Formula for Aftershock Frequencies by the Maximum Likelihood Procedure, J. Phys. Earth, 31, 115-124, 1983.
- 3) 宇津徳治：地震活動総説，876, 1999.
- 4) 地震調査研究推進本部：大地震後の地震活動の見通しに関する情報のあり方，2016.

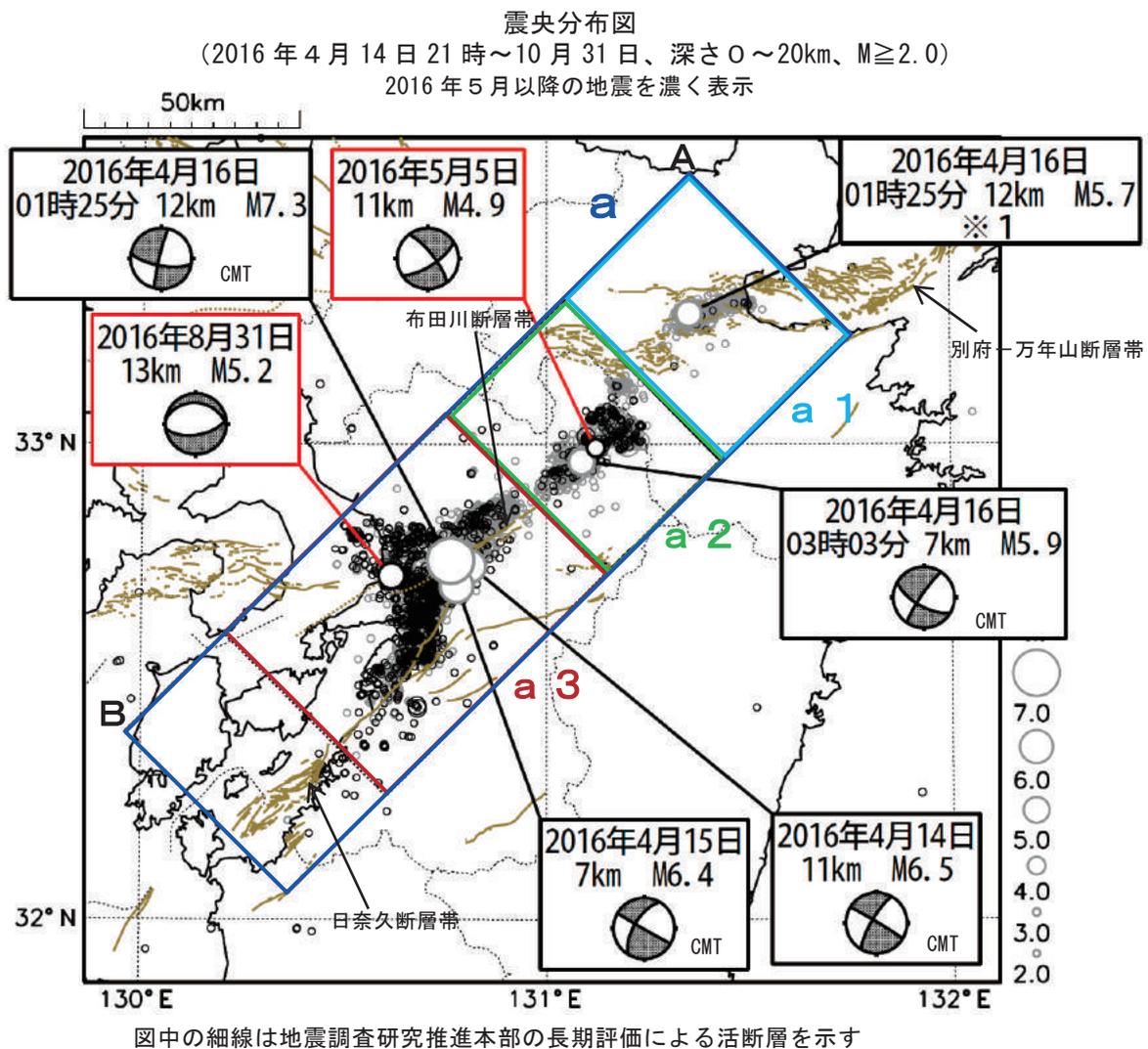
「平成 28 年（2016 年）熊本地震」

今期間（2016 年 5 月～10 月）、「平成 28 年（2016 年）熊本地震」の活動で最大規模の地震は、8 月 31 日 19 時 46 分に熊本県熊本地方の深さ 13km で発生した M5.2 の地震（最大震度 5 弱）であった。発震機構は、南北方向に張力軸を持つ正断層型であった。この地震により軽傷 2 人などの被害が発生した（9 月 7 日 12 時 00 分現在、総務省消防庁による）。また、今期間における阿蘇地方での最大規模の地震は 5 月 5 日 10 時 40 分に発生した M4.9 の地震（最大震度 4）であった。

熊本県熊本地方（領域 a 3）及び阿蘇地方（a 2）における「平成 28 年（2016 年）熊本地震」の一連の地震活動は、全体として引き続き減衰しつつも、活動は継続している。大分県中部（a 1）の活動は低下した。

今期間に震度 1 以上を観測した地震は 1,099 回（最大震度 5 弱：2 回、最大震度 4：17 回、最大震度 3：79 回、最大震度 2：258 回、最大震度 1：743 回）発生した。

今回の一連の地震活動により、死者 140 人、負傷者 2,586 人、住家全壊 8,305 棟などの被害が発生した（11 月 2 日 10 時 00 分現在、総務省消防庁による）。



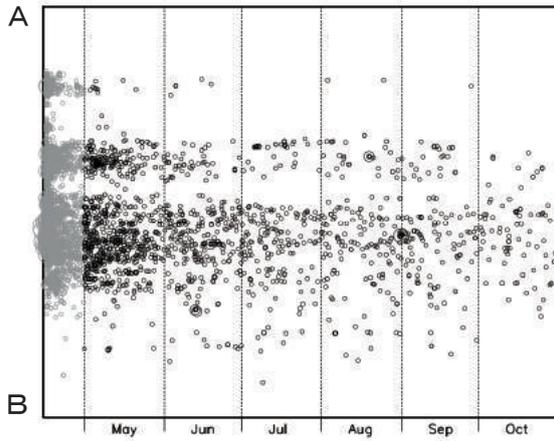
M6.0 以上の地震と領域 a1、a2 における 4 月 14 日以降の最大規模の地震に吹き出し（黒色）をつけている。また、a2、a3 における 5 月以降の最大規模の地震に吹き出し（赤色）をつけている。

※ 1 M7.3 の地震の発生直後に発生したものであり、M の値は参考値。

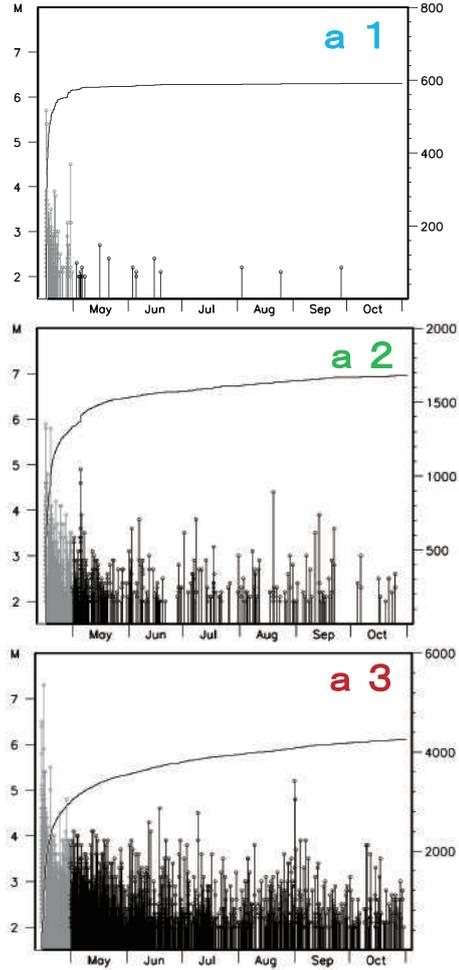
第1図 地震活動

Fig.1 Seismic activity.

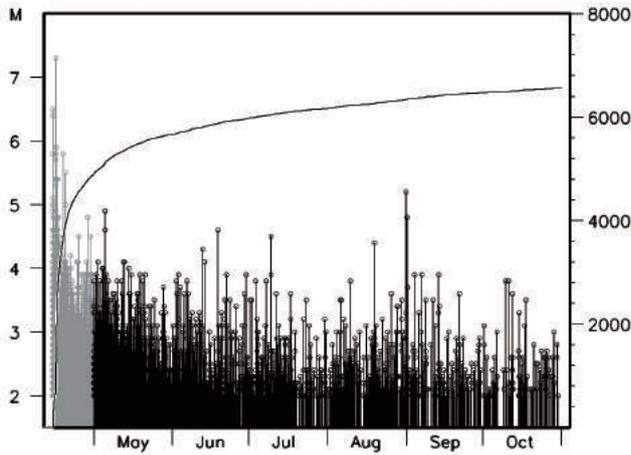
領域 a 内の時空間分布図 (A-B 投影)
(2016 年 4 月 14 日 21 時~10 月 31 日)



領域 a1, a2, a3 内の M-T 図及び回数積算図
(2016 年 4 月 14 日 21 時~10 月 31 日)



領域 a 内の M-T 図及び回数積算図



「平成 28 年 (2016 年) 熊本地震」の地震回数

期間	最大震度別回数									合計	累計
	1	2	3	4	5弱	5強	6弱	6強	7		
4/14-4/30	1722	859	323	98	10	5	3	2	2	3024	3024
5/1-5/31	344	134	43	8						529	3553
6/1-6/30	147	51	14	4	1					217	3770
7/1-7/31	85	19	8	1						113	3883
8/1-8/31	77	28	3	2	1					111	3994
9/1-9/30	49	16	7	2						74	4068
10/1-10/31	41	10	4							55	4123
合計	2465	1117	402	115	12	5	3	2	2	4123	



第2図 つづき
Fig.2 Continued.

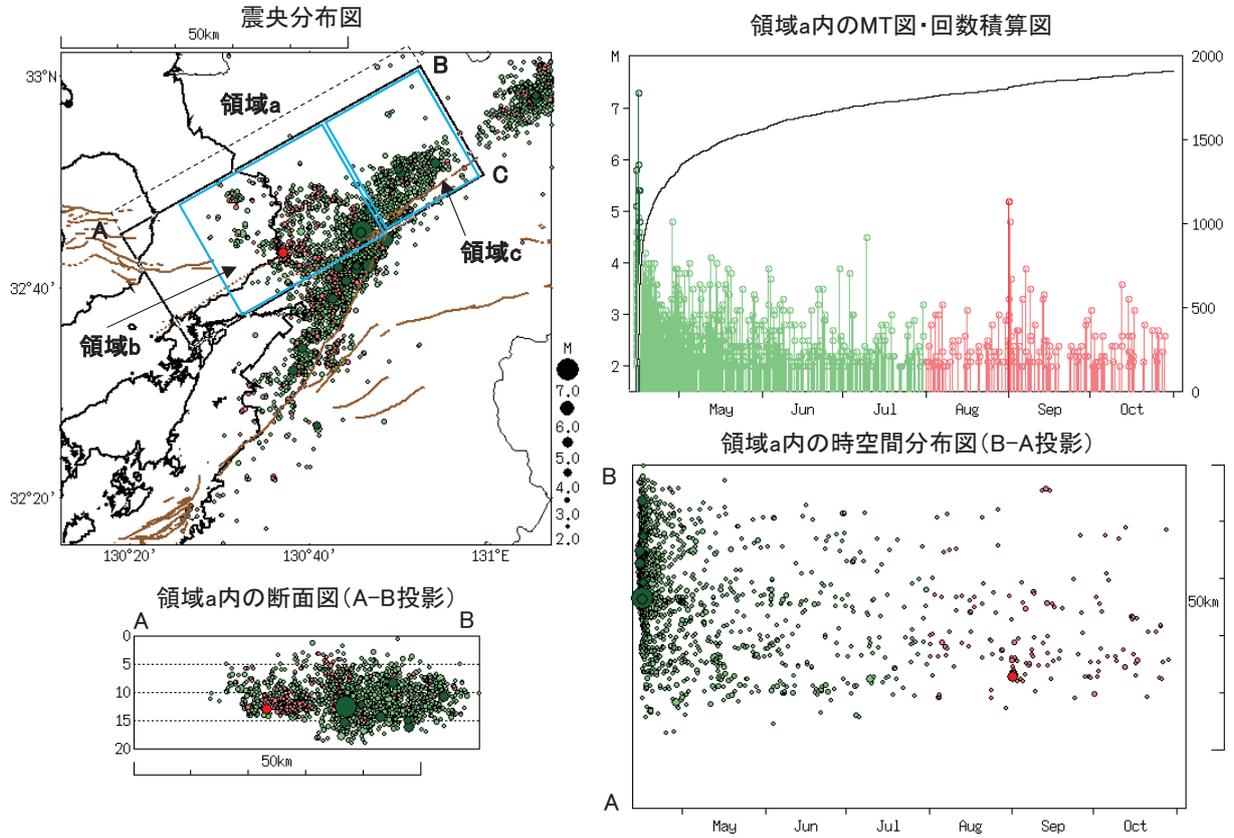
布田川断層帯周辺の活動

2016年4月14日～10月31日、 $M \geq 2.0$ 、深さ0～20km

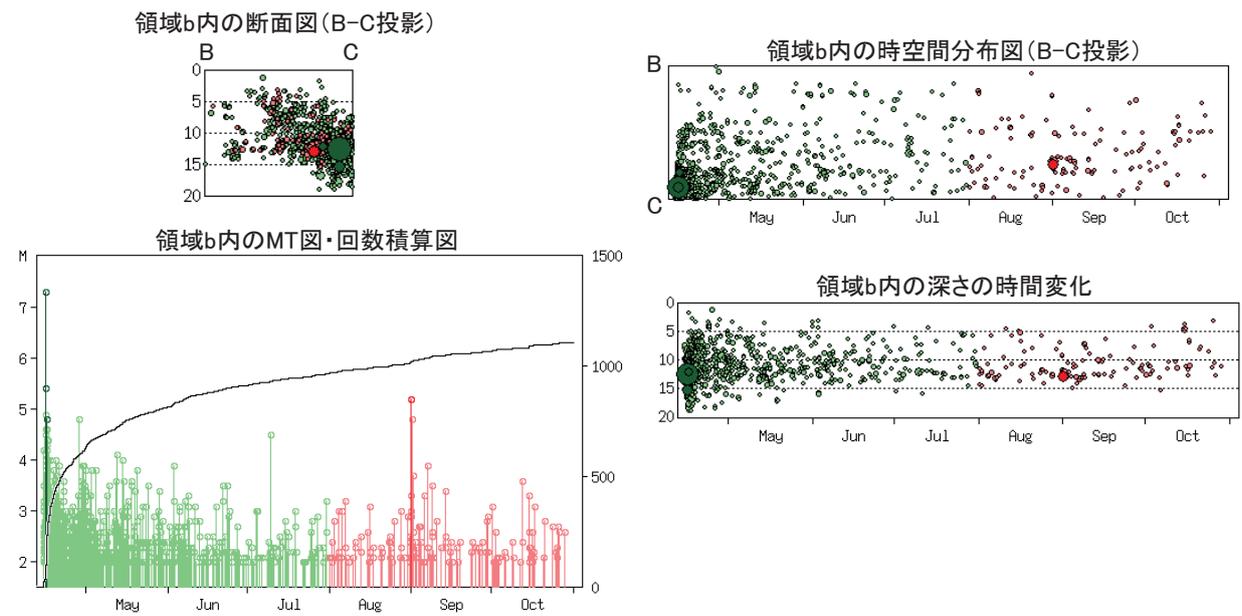
緑: 4月～7月、赤: 8月～10月

$M5.0$ 以上の地震、または最大震度5弱以上の地震を濃く表示。

【領域a】布田川断層帯全域 【領域b】宇土区間・宇土半島北岸区間 【領域c】布田川区間



宇土区間・宇土半島北岸区間



第3図 地震活動（布田川断層帯周辺）

Fig.3 Seismic activity (around Futagawa fault).

布田川断層帯周辺の活動

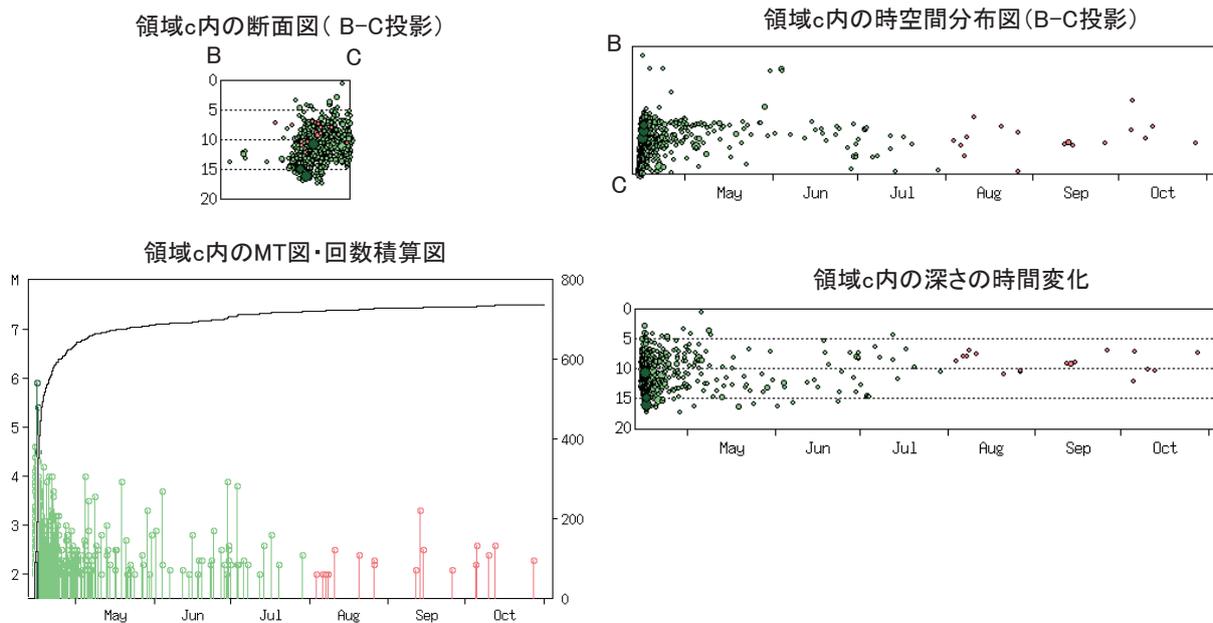
2016年4月14日～10月31日、 $M \geq 2.0$ 、深さ0～20km

緑: 4月～7月、赤: 8月～10月

M5.0以上の地震、または最大震度5弱以上の地震を濃く表示。

【領域a】布田川断層帯全域 【領域b】宇土区間・宇土半島北岸区間 【領域c】布田川区間

布田川区間



第4図 つづき
Fig.4 Continued.

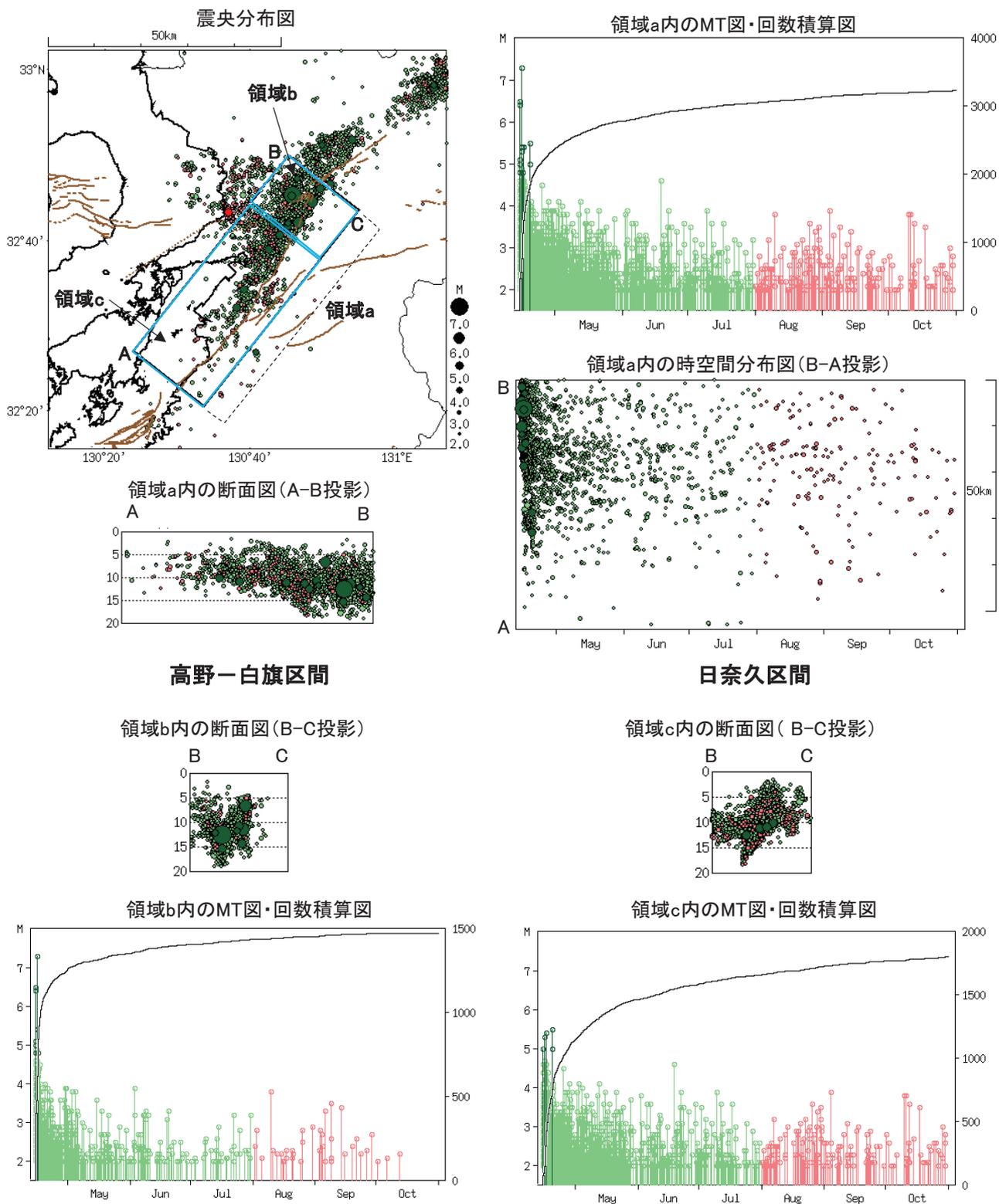
日奈久断層帯周辺の活動

2016年4月14日～10月31日、 $M \geq 2.0$ 、深さ0～20km

緑: 4月～7月、赤: 8月～10月

M5.0以上の地震、または最大震度5弱以上の地震を濃く表示。

【領域a】日奈久断層帯全域 【領域b】高野—白旗区間 【領域c】日奈久区間

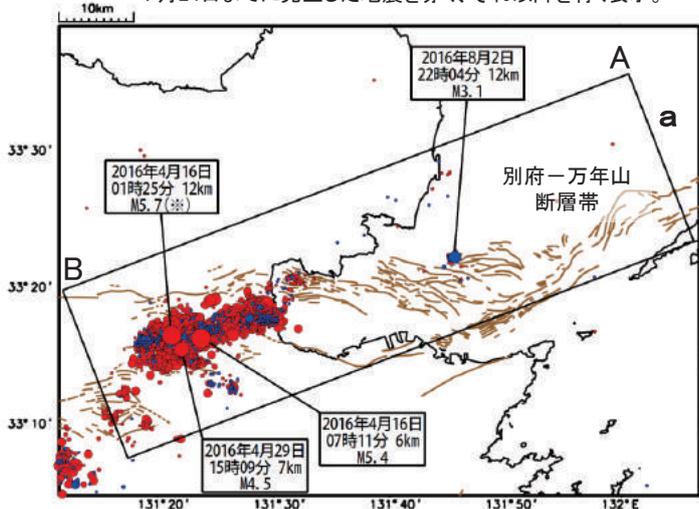


第5図 地震活動（日奈久断層帯周辺）

Fig.5 Seismic activity (around Hinagu fault).

大分県中部から伊予灘にかけての活動

震央分布図(2016年4月14日21時～10月31日24時、
マグニチュード全て、深さ20km以浅)
7月24日までに発生した地震を赤く、それ以降を青く表示。

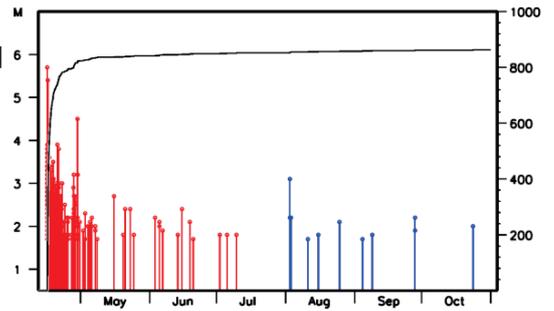
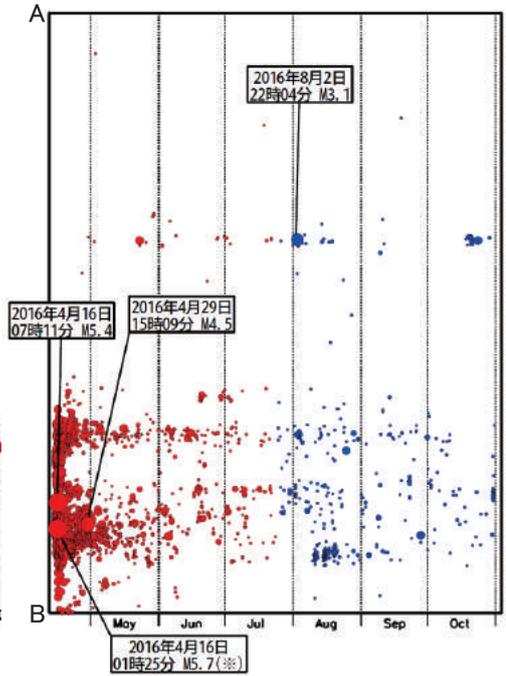


(※)熊本地方で発生したM7.3の地震の発生直後に発生したものであり、Mの値は参考値。

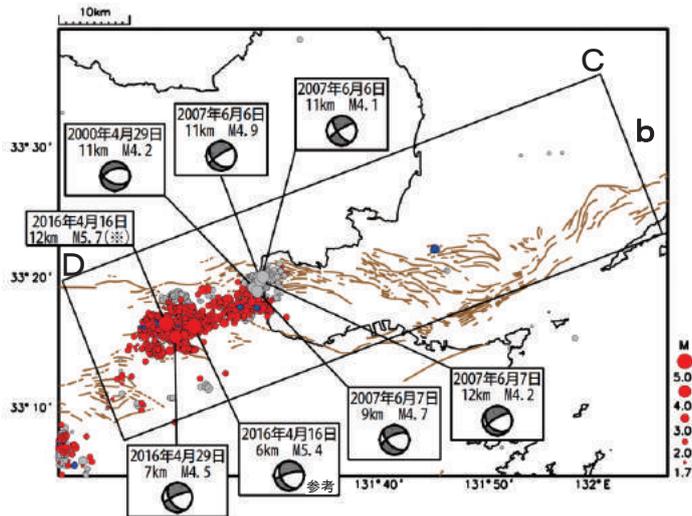
4月14日～7月24日のM2.0未満の震源には未精査の自動処理結果が含まれており、今後の精査により変更される場合がある。

領域a内のM-T図
及び回数積算図
(M≥1.7)

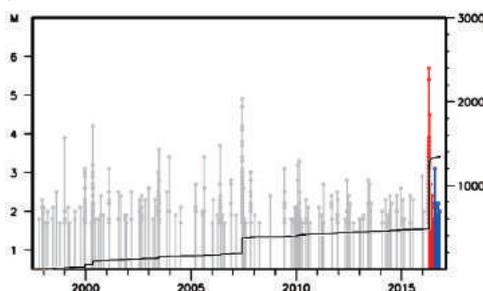
領域a内の時空間分布図(A-B投影)



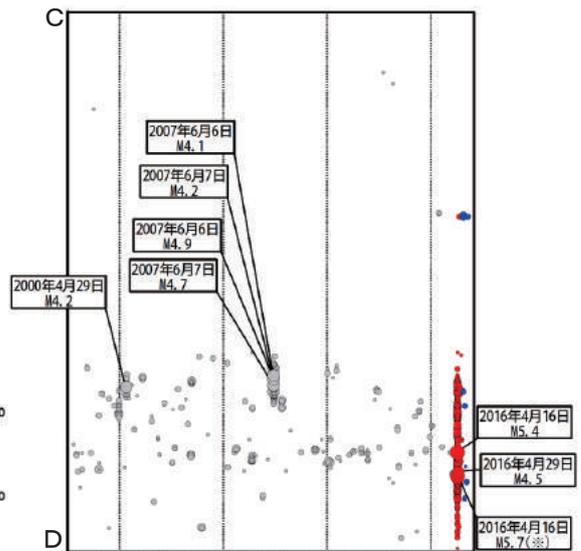
震央分布図(1997年10月～2016年10月、M≥1.7、深さ20km以浅)
2016年4月14日21時より前を灰色、それ以降は上図と同様に表示。



領域b内のM-T図
及び回数積算図



領域b内の時空間分布図(C-D投影)

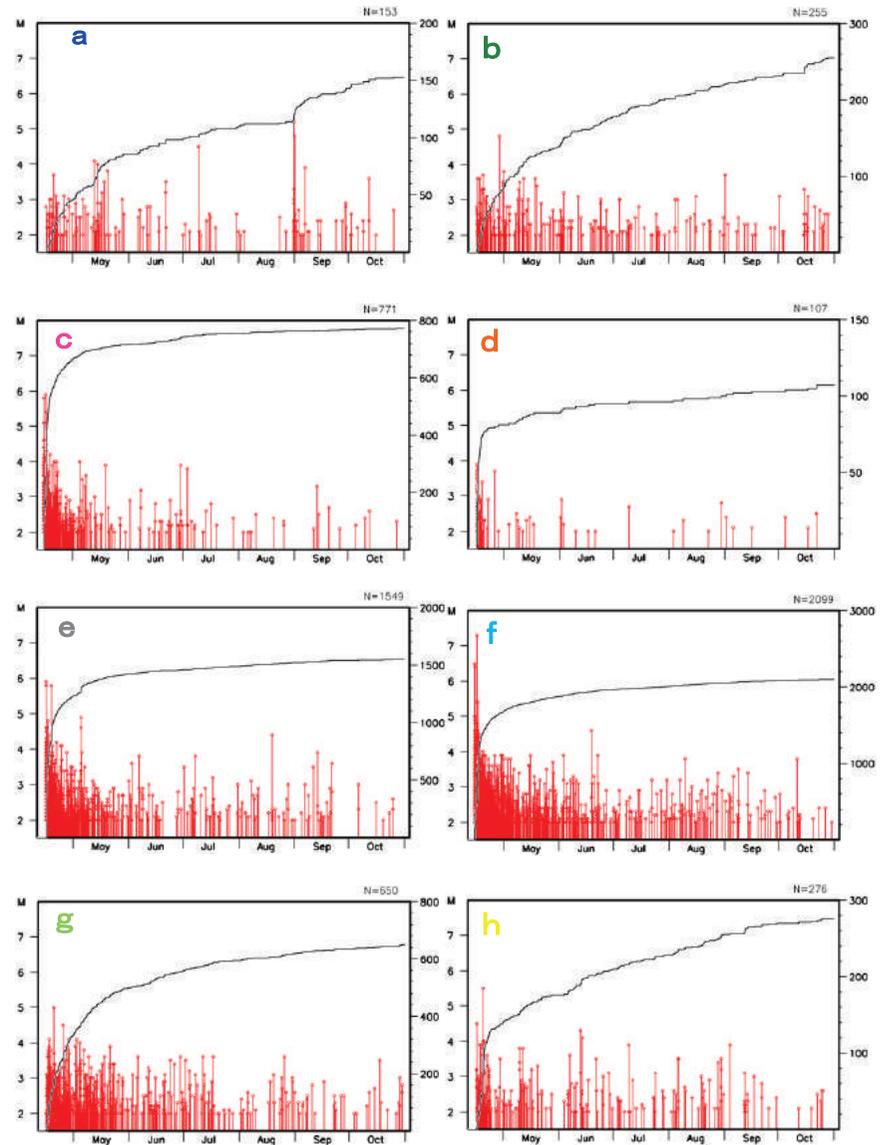
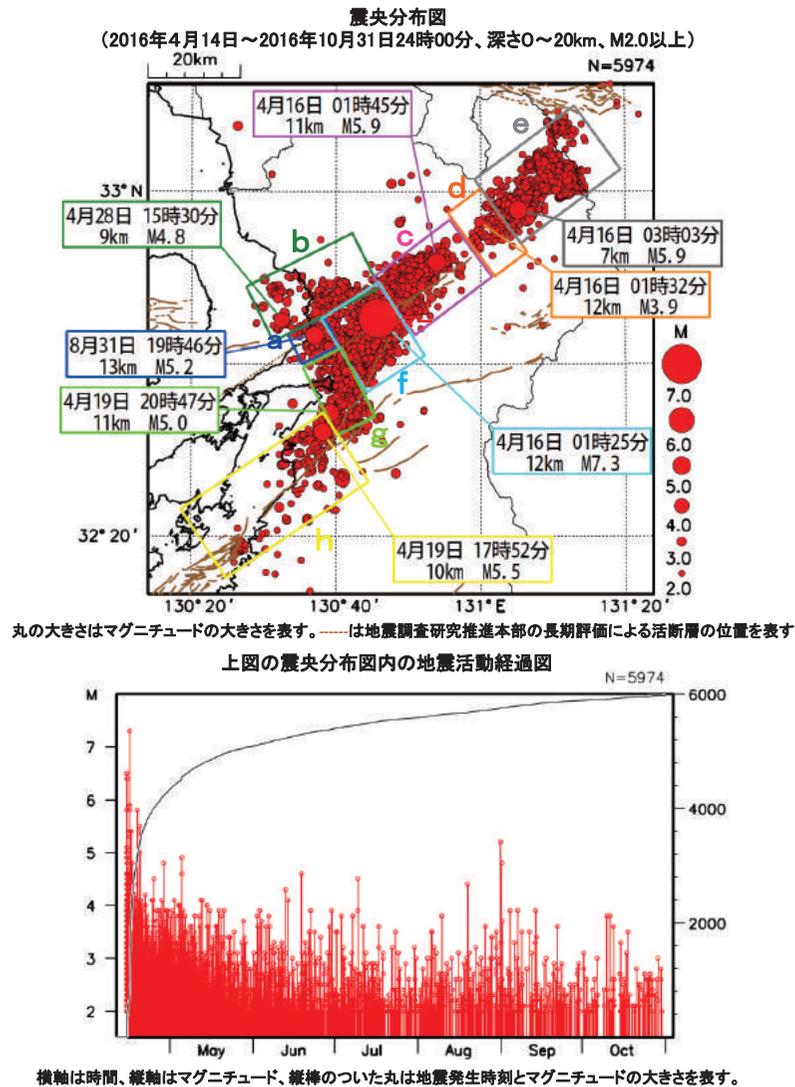


(※)熊本地方で発生したM7.3の地震の発生直後に発生したものであり、Mの値は参考値。

第6図 地震活動 (大分県中部～伊予灘)

Fig.6 Seismic activity (from the central part of Oita Prefecture to Iyo-nada).

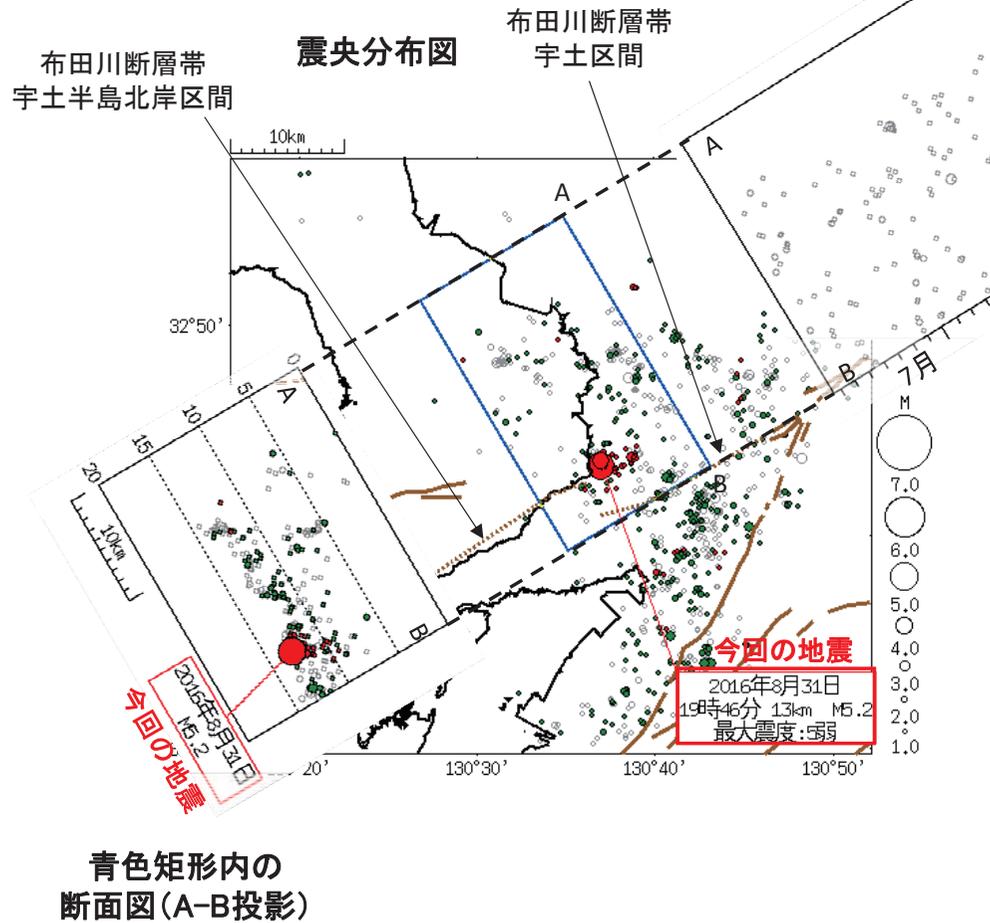
「平成28年（2016年）熊本地震」（領域別の活動）



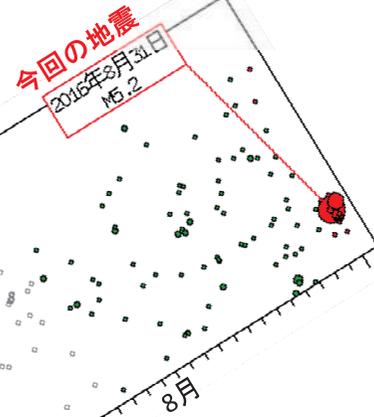
第7図 地震活動（領域別）
 Fig.7 Seismic activity (each subdivided region).

布田川断層帯・宇土区間周辺の活動

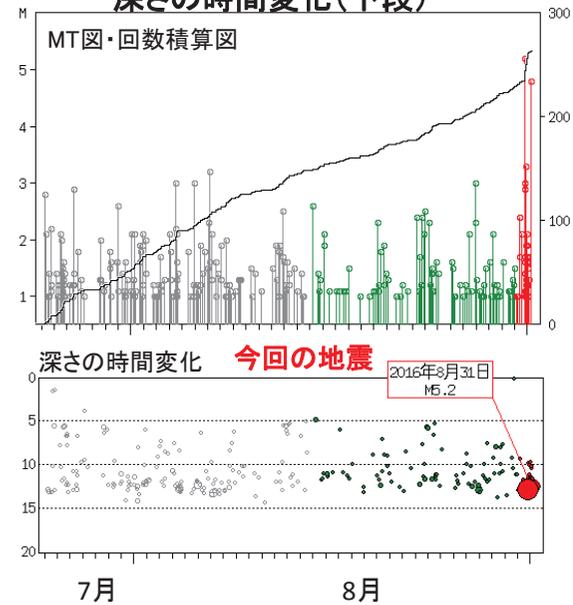
2016年7月25日～9月1日08時、 $M \geq 1.0$ 、深さ0～20km
 8月15日～8月30日の地震を緑で表示
 8月31日以降の地震を赤で表示



青色矩形内の
 時空間分布図
 (A-B投影)



青色矩形内の
 MT図・回数積算図(上段)
 深さの時間変化(下段)

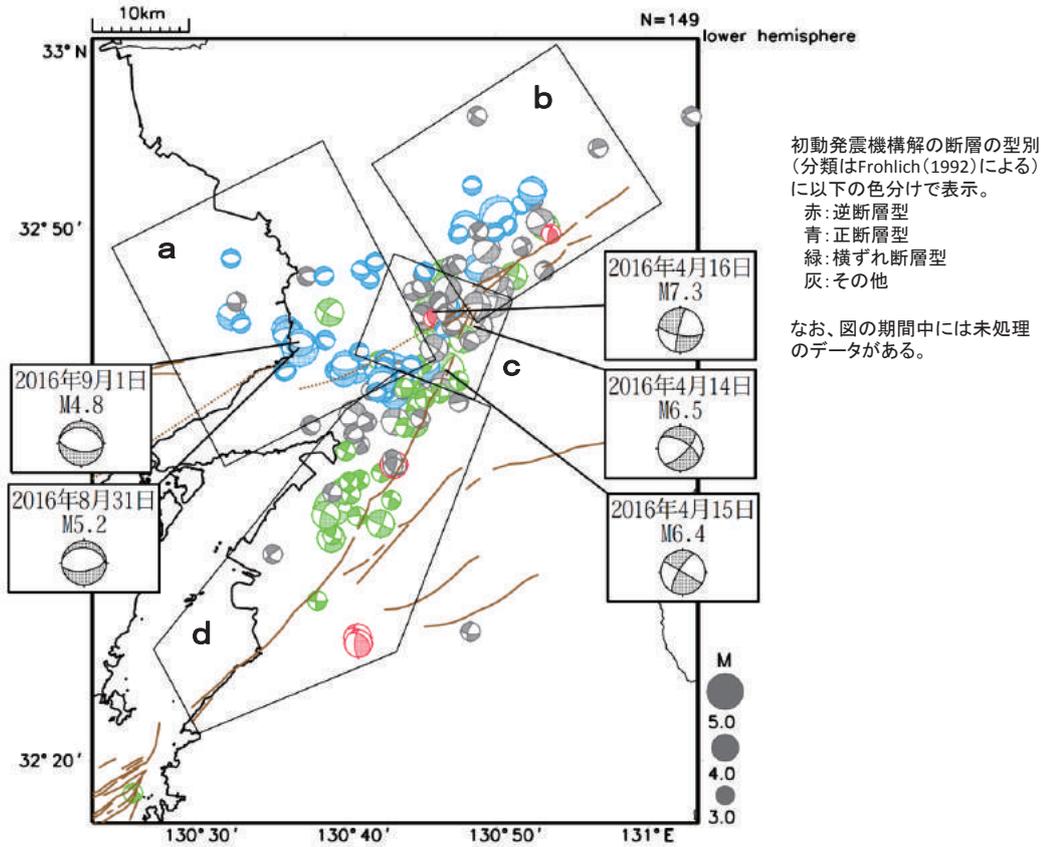


第8図 2016年8月31日 熊本県熊本地方の地震 (M5.2)

Fig.8 The earthquake (M5.2) in Kumamoto region of Kumamoto Prefecture on August 31, 2016.

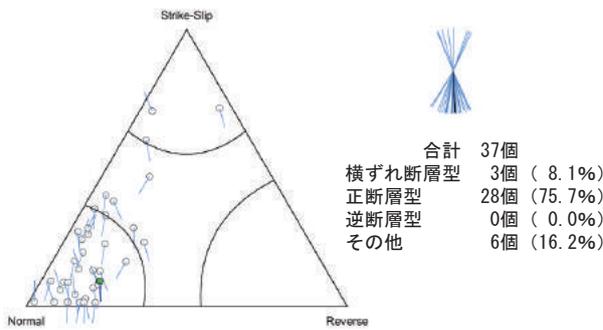
布田川断層帯・日奈久断層帯付近の発震機構解

震央分布図(2016年4月14日21時~9月1日、M \geq 3.0、20km以浅)



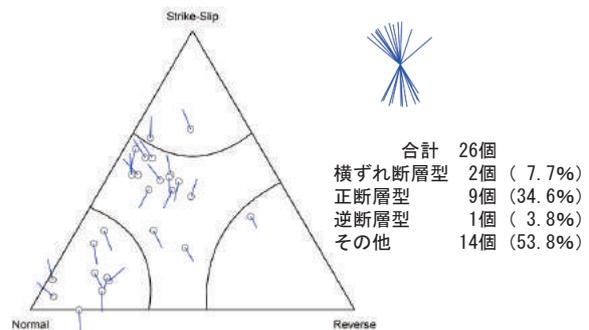
領域別の三角ダイアグラム・T軸方位

(領域 a)

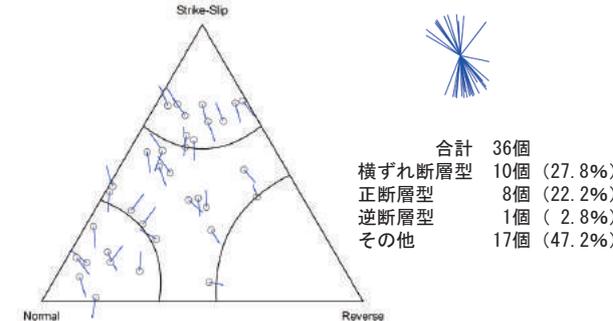


8月31日M5.2の地震を強調して表示

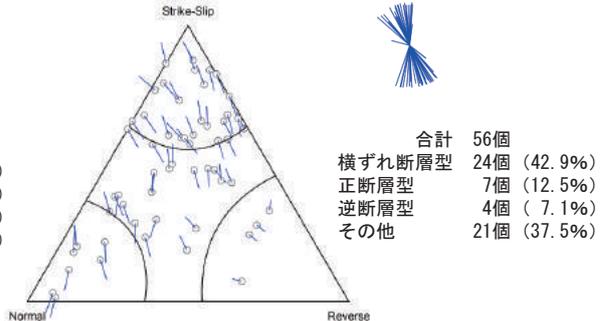
(領域 b)



(領域 c)



(領域 d)



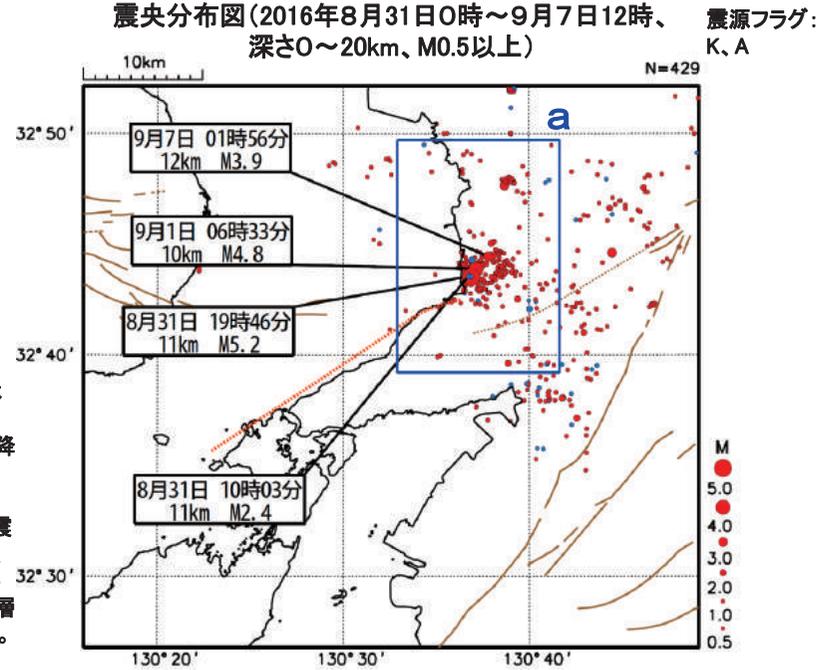
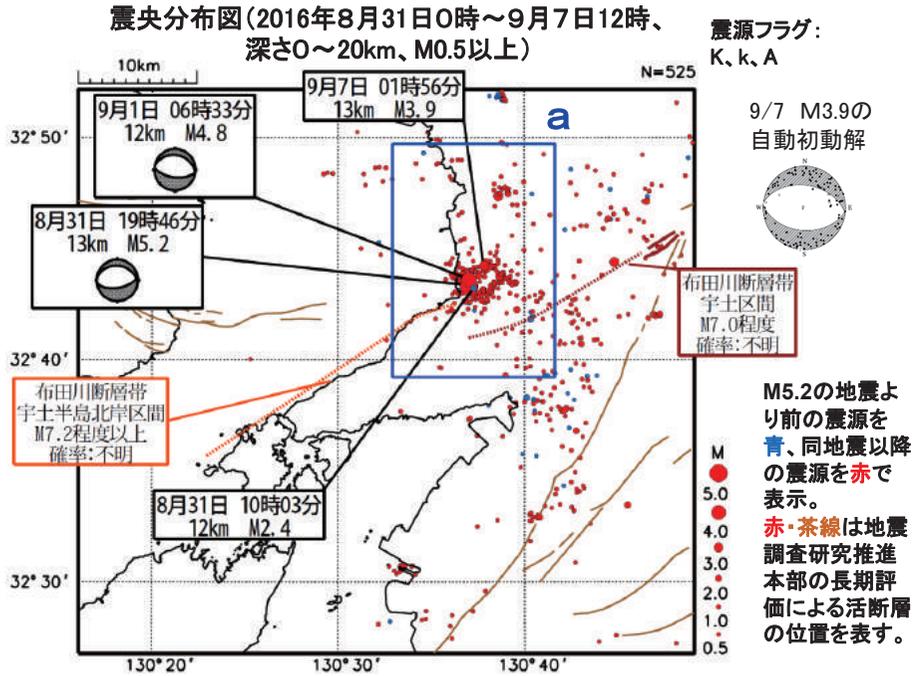
第9図 つづき (発震機構解の分布)

Fig.9 Continued (distribution of focal mechanism).

平成28年8月31日 熊本県熊本地方の地震（宇土区間の活動）

一元化震源（ルーチン）

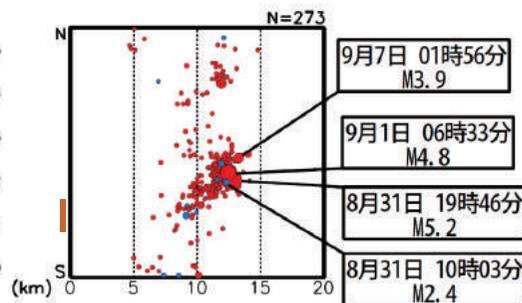
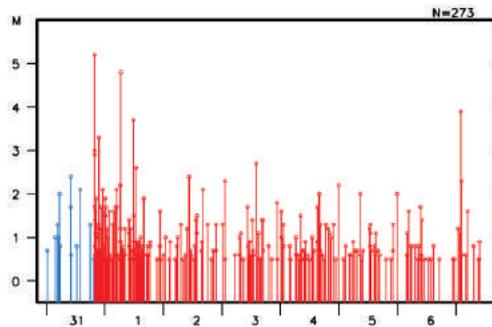
波形相関DD法による再決定震源



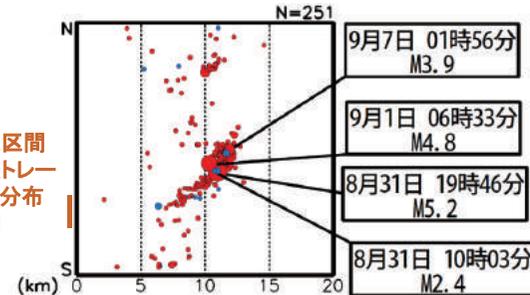
上図の領域a内のMT図

上図の領域a内の断面図（南北投影）

上図の領域a内の断面図（南北投影）



宇土区間
地表トレス
の分布
範囲

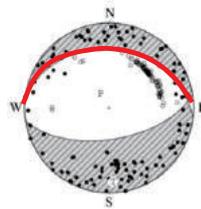


第10図 つづき（波形相関を用いたDouble-Difference法による震源）

Fig.10 Continued (hypocenter distribution by the Double-Difference method based on waveform correlation).

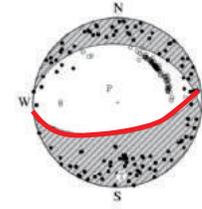
熊本地震余効変動モデルの2016年8月31日熊本地方の地震(M5.2)に対する ΔCFF

熊本地震余効変動モデルは国土地理院の暫定モデル(第212回地震予知連絡会資料)による。
2016年8月31日熊本地方の地震のメカニズムは気象庁初動解の2面(パラメータ下記)を使用。

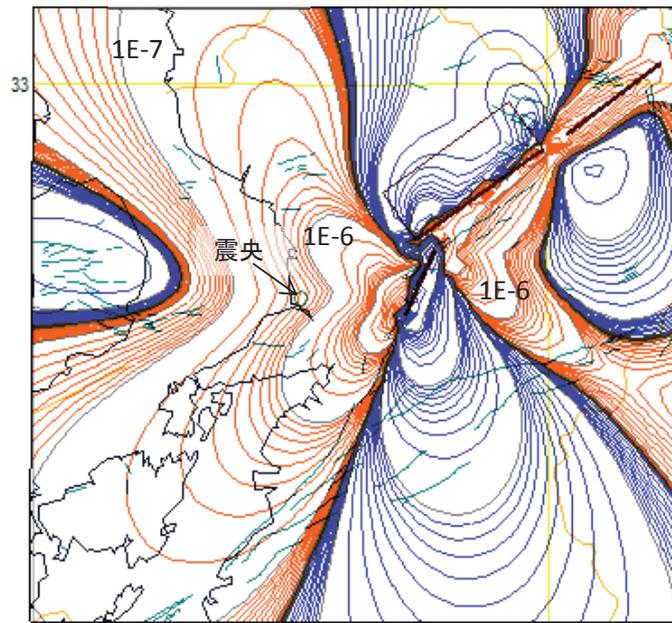


断層面解1
(strike277, dip31, rake-77)
に対する計算

深さ13km (M5.2の一元化
震源の深さ)で計算



断層面解2
(strike81, dip60, rake-98)
に対する計算



deltaCFF
(10E-6)
| Friction: 0.4

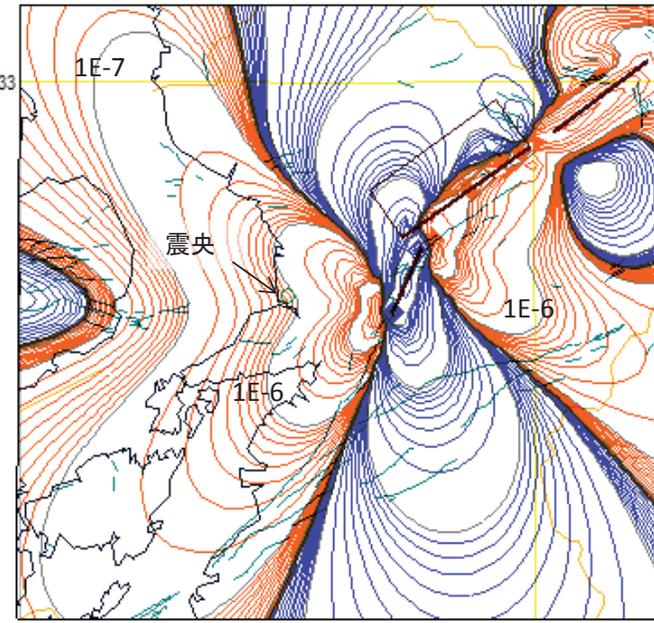
strike : 277
dip : 31
rake : -77

0
9
km

// MICAP-G //

今回の震源付近の ΔCFF は $5E-7$ (剛性率30GPa
とすると0.15bar)で促進域

細線は新編日本の活断層
による断層トレース



deltaCFF
(10E-6)
| Friction: 0.4

strike : 81
dip : 60
rake : -98

0
9
km

// MICAP-G //

今回の震源付近の ΔCFF は $9E-7$ (剛性率30GPaと
とすると0.27bar)で促進域

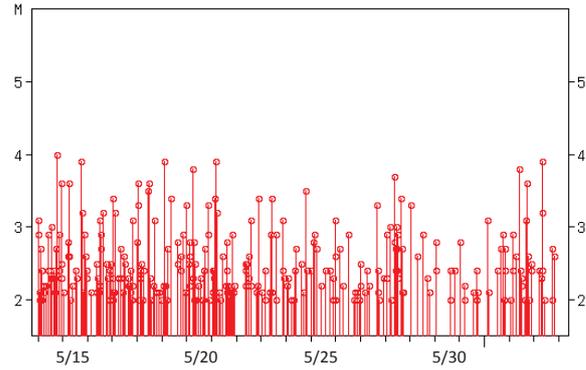
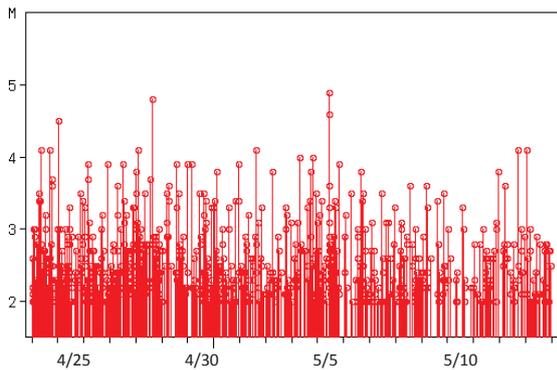
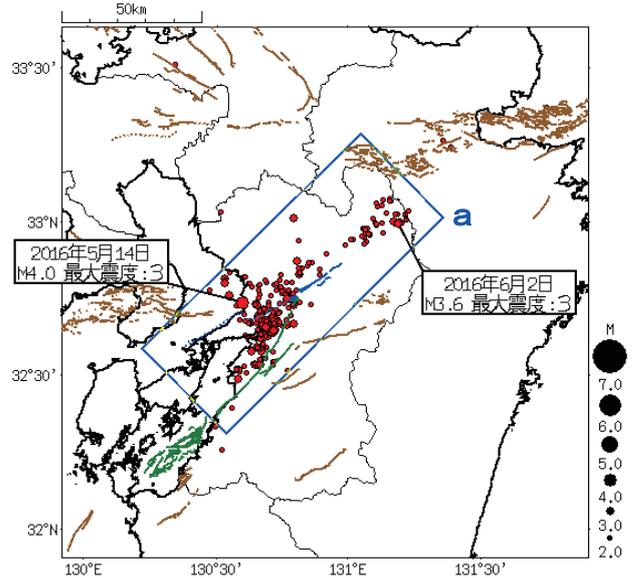
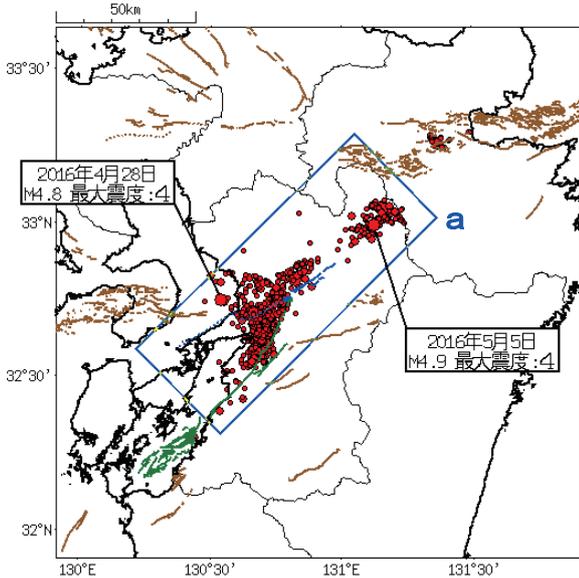
第11図 つづき (静的応力変化 (ΔCFF))
Fig.11 Continued (changes in static stress (ΔCFF)).

熊本地方・阿蘇地方の地震活動状況の比較 (2016年4月24日～6月3日)

震央分布図 (M \geq 2.0、深さ20km以浅)・MT図 (領域a内)

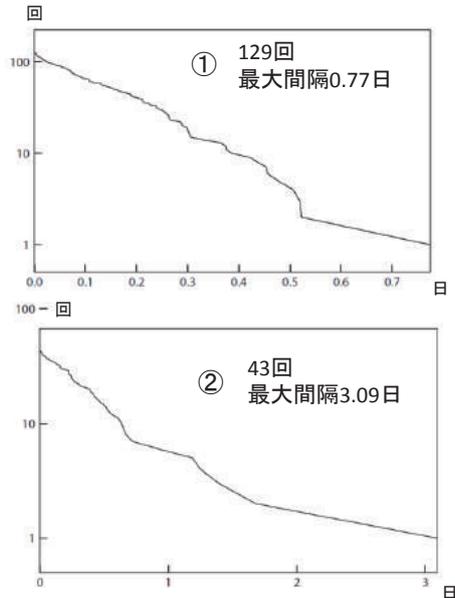
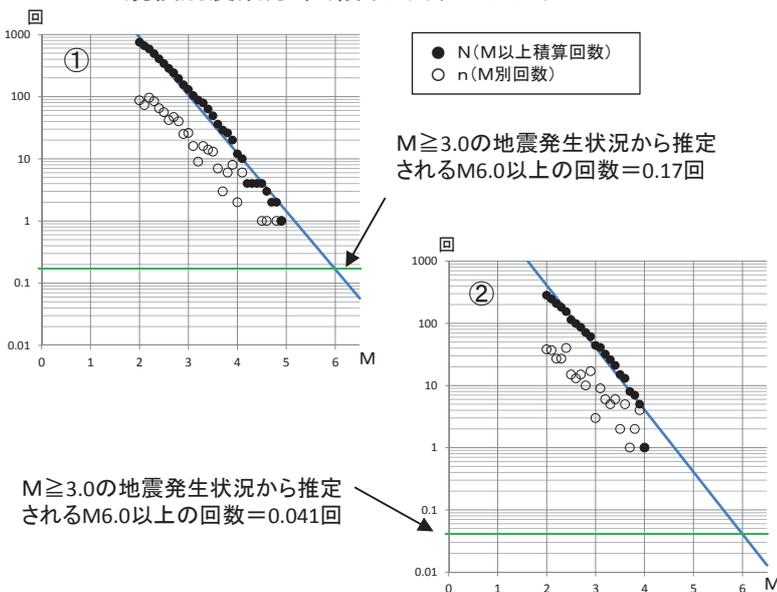
① 2016年4月24日～5月13日

② 2016年5月14日～6月3日



規模別度数分布 (領域a内、M \geq 2.0)

地震発生間隔の累積曲線 (領域a内、M \geq 3.0)

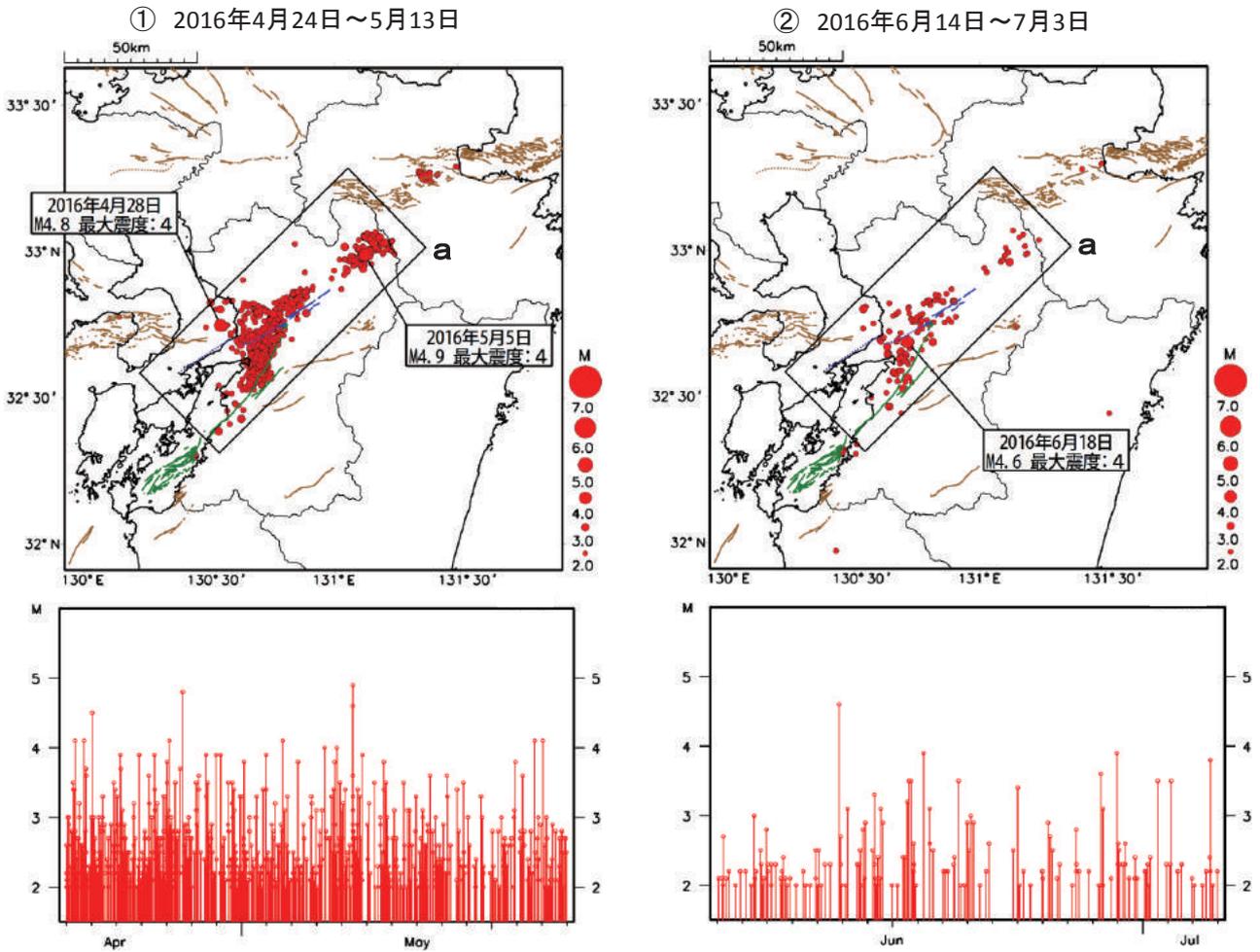


第12図 地震活動の推移

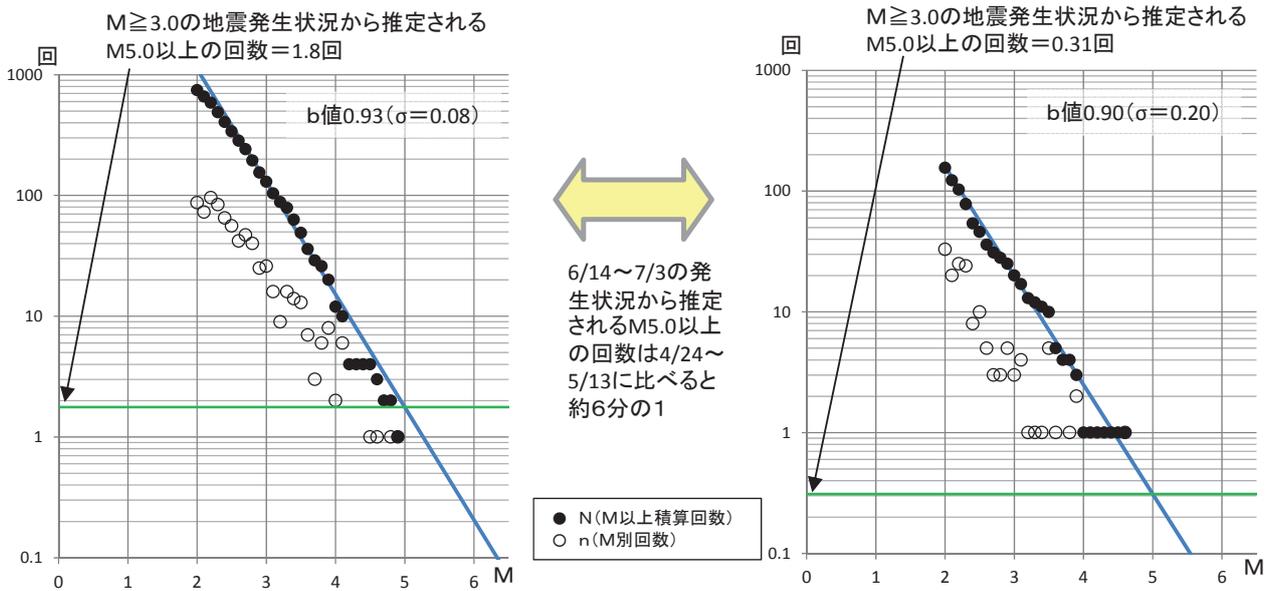
Fig.12 Change of seismic activeness.

熊本地方・阿蘇地方の地震活動の比較 (2016年4月24日～5月13日と6月14日～7月3日)

震央分布図(M \geq 2.0、深さ20km以浅)・MT図(領域a内)



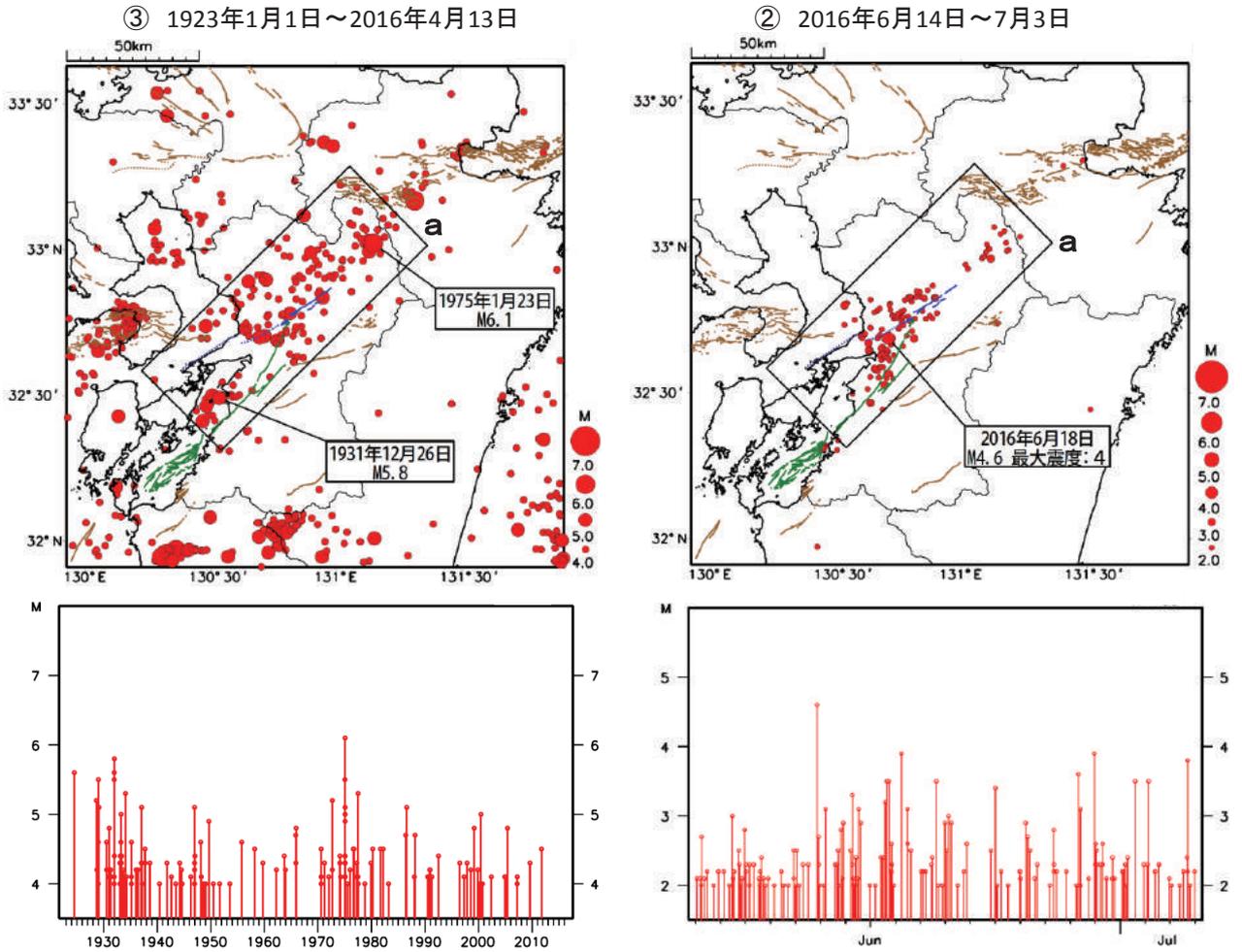
規模別度数分布(領域a内、M \geq 2.0)



第13図 つづき
Fig.13 Continued.

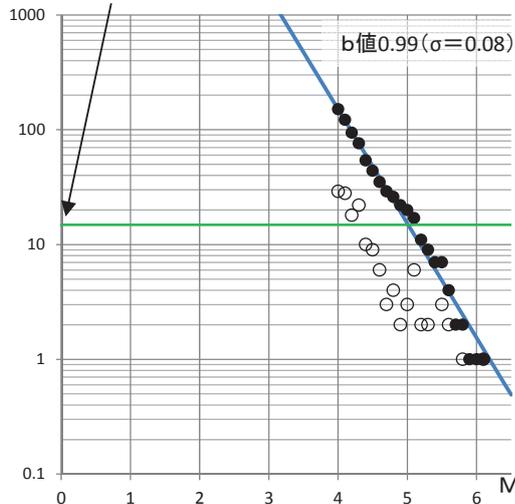
熊本地方・阿蘇地方の地震活動の比較 (熊本地震以前と2016年6月14日～7月3日)

震央分布図(M \geq 4.0、深さ30km以浅)・MT図(領域a内) 震央分布図(M \geq 2.0、深さ20km以浅)・MT図(領域a内)



規模別度数分布(領域a内、M \geq 4.0)

約93年間のM \geq 4.0の地震発生状況から推定される
M5.0以上の回数=約15回(20日間では0.0087回)



20日間で推定される
M5.0以上の
回数の比
(熊本地震発生前
を1とする)

2016/4/24～5/13
約197倍

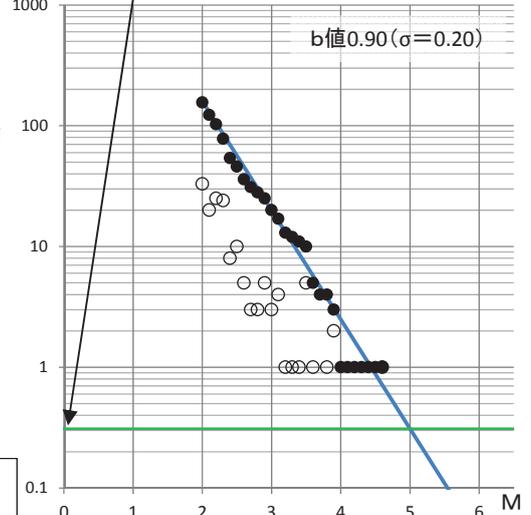
2016/5/14～6/3
約49倍

2016/6/14～7/3
約35倍

● N(M以上積算回数)
○ n(M別回数)

規模別度数分布(領域a内、M \geq 2.0)

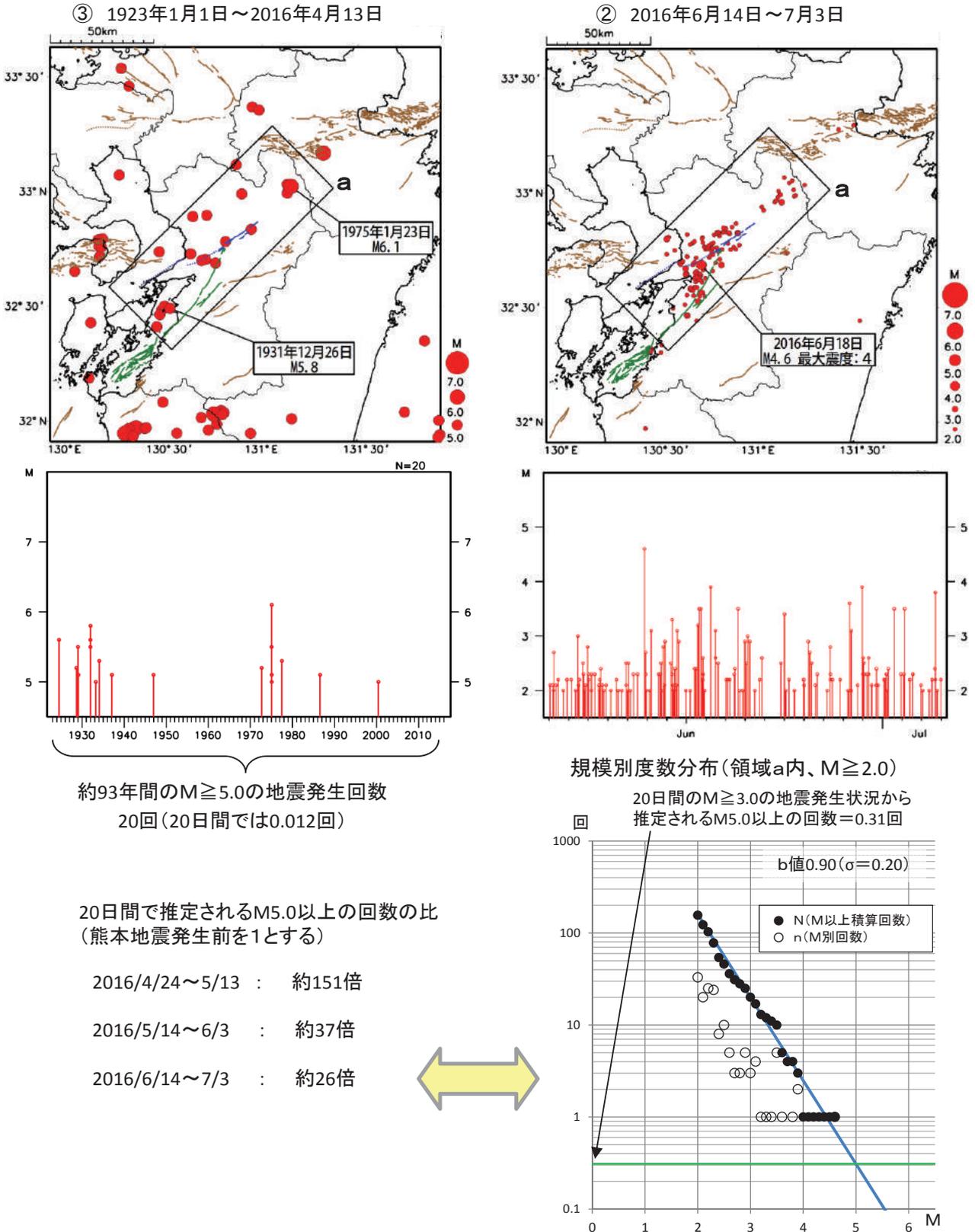
20日間のM \geq 3.0の地震発生状況から
推定されるM5.0以上の回数=0.31回



第14図 つづき
Fig.14 Continued.

熊本地方・阿蘇地方の地震活動の比較 (熊本地震以前と2016年6月14日～7月3日)

震央分布図(M \geq 5.0、深さ30km以浅)・MT図(領域a内) 震央分布図(M \geq 2.0、深さ20km以浅)・MT図(領域a内)

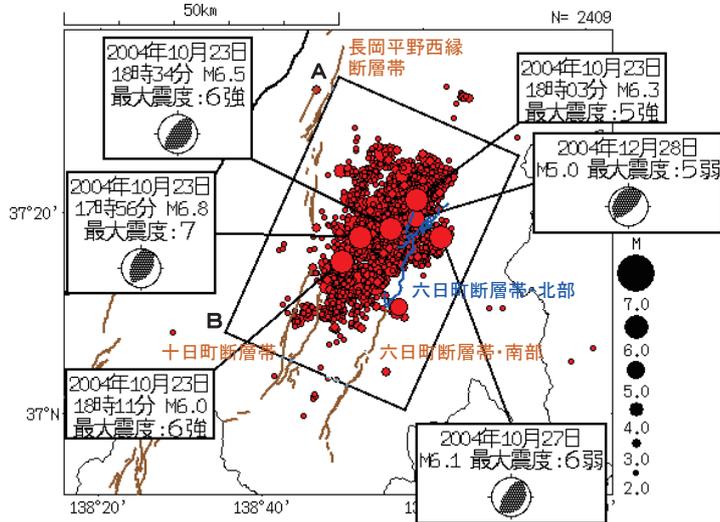


第15図 つづき
Fig.15 Continued.

本震の1~2ヶ月後に最大震度5弱を観測する余震が発生した事例

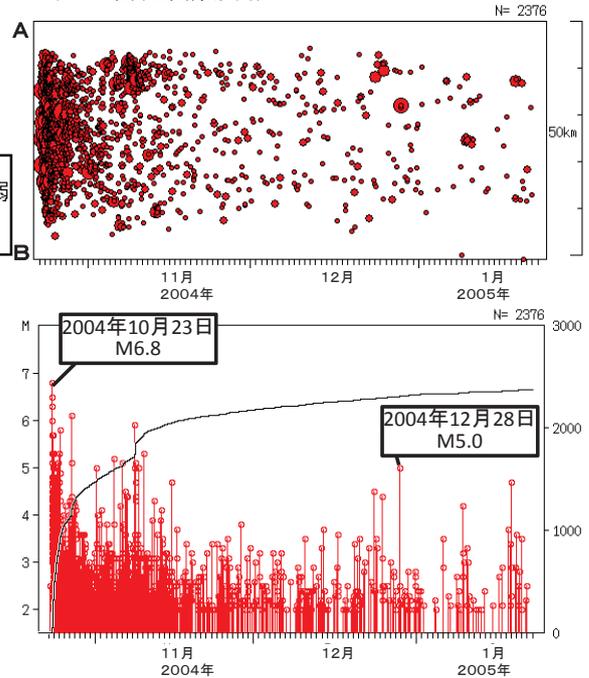
●2004年(平成16年)新潟県中越地震

震央分布図(2004年10月23日~2005年1月22日、 $M \geq 2.0$ 、深さ25km以浅)



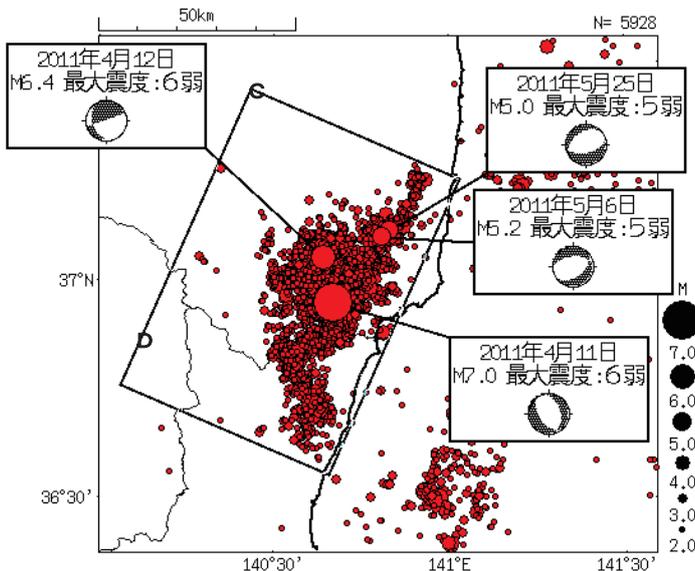
本震の66日後に東北東約10kmでM5.0の地震が発生し、最大震度5弱を観測した。

上: 時空間分布図(AB投影、左図矩形内)
下: MT図(左図矩形内)



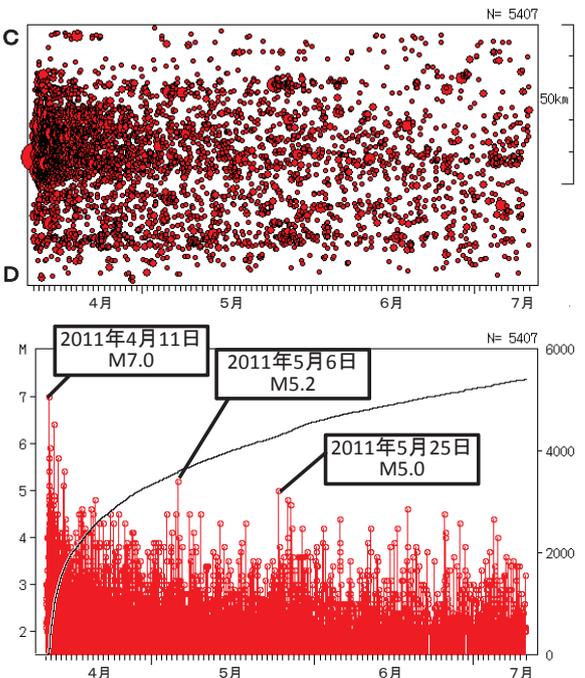
●2011年4月11日の福島県浜通りの地震

震央分布図(2011年4月11日~7月10日、 $M \geq 2.0$ 、深さ25km以浅)



本震震央の北北東約20kmで、本震の25日後にM5.2の地震、本震の44日後にM5.0の地震が発生し、それぞれ最大震度5弱を観測した。

上: 時空間分布図(CD投影、左図矩形内)
下: MT図(左図矩形内)

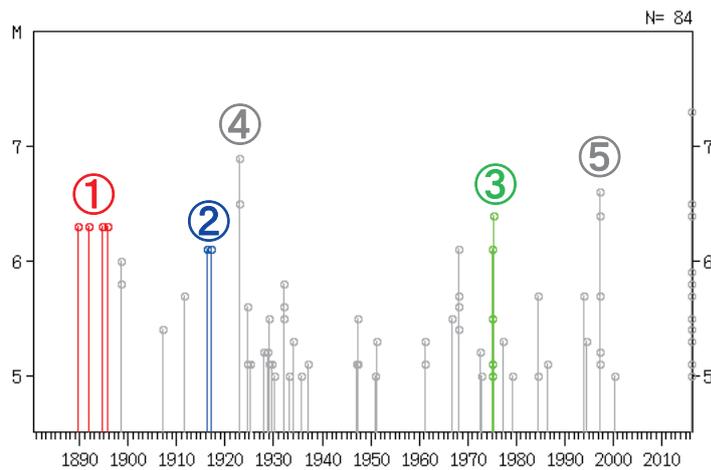
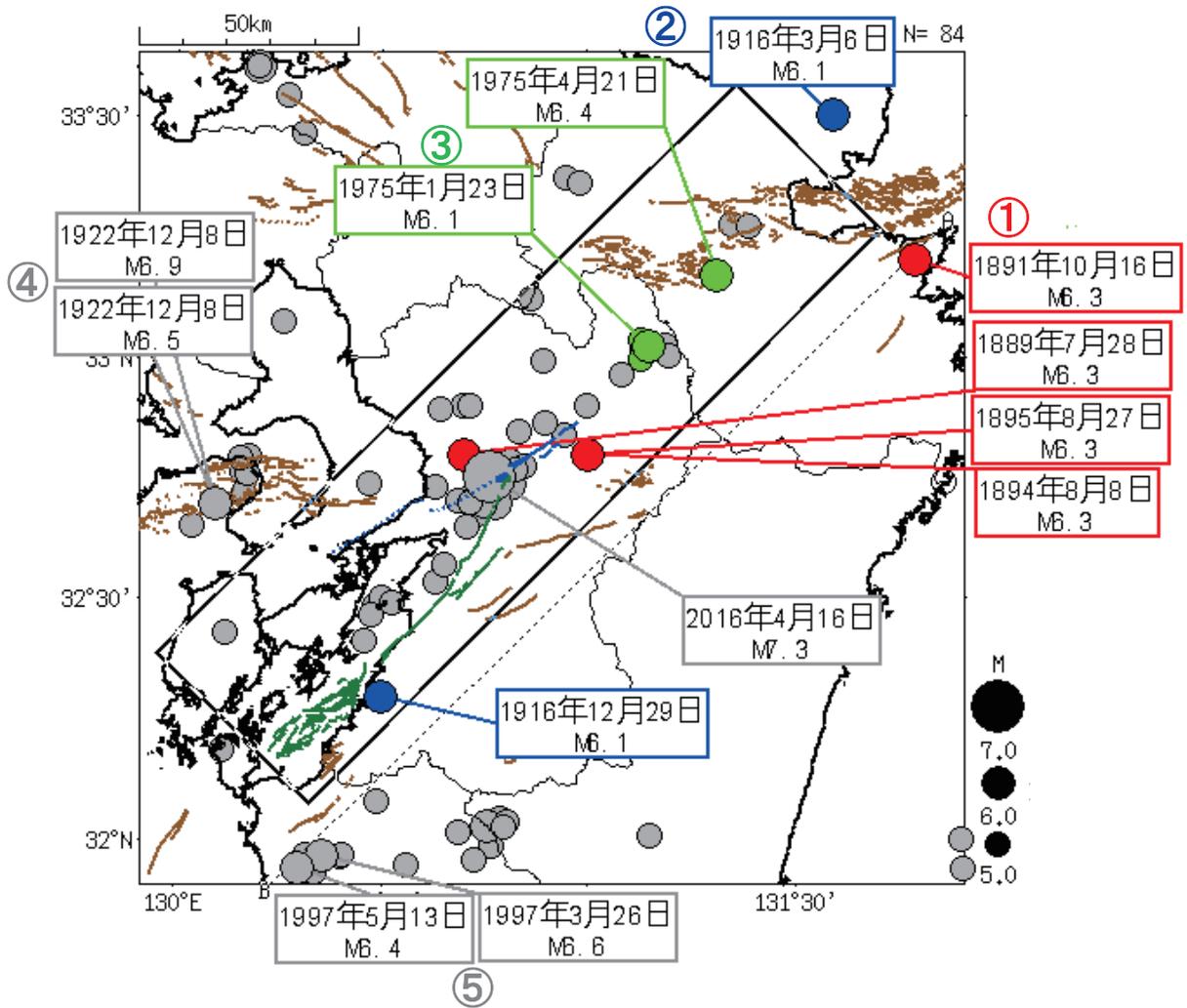


上図の発震機構解は全てCMT解。活断層トレースは地震本部の長期評価による。

第16図 過去の地震活動における続発事例

Fig.16 Sequential occurring earthquakes in the past seismic activity.

九州地方における内陸・浅い地震の震央分布(1889年以降)

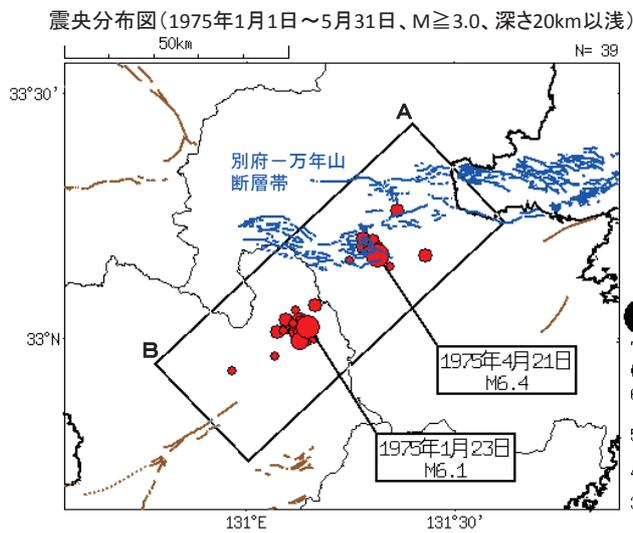


(地震予知連:大竹名誉委員の指摘)
 ①1889年の熊本の地震の際にはその後6年でM6クラスが4回発生
 ②1916年にはM6クラスが10ヶ月の間をおいて発生
 ③1975年にM6クラスの地震が3ヶ月の間隔で発生
 ※④⑤はその他の規模のやや大きい活動

第17図 つづき
 Fig.17 Continued.

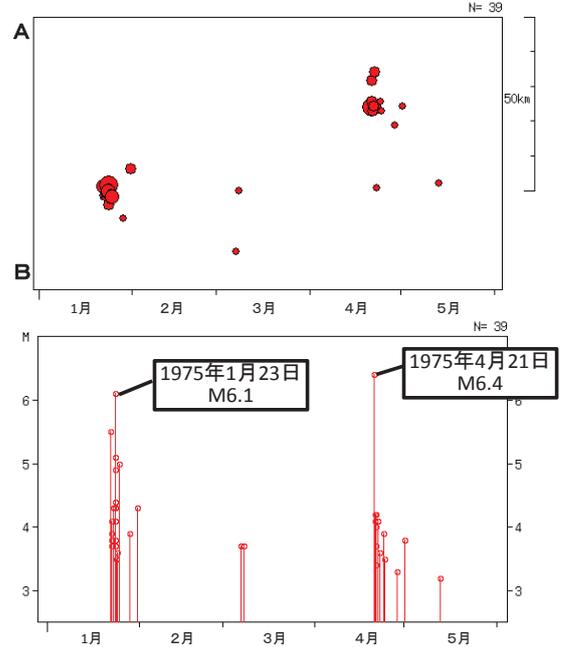
九州地方において近接地域で2~3ヶ月の間において同程度の地震が発生した事例

●1975年の熊本県阿蘇地方から大分県西部にかけての地震活動

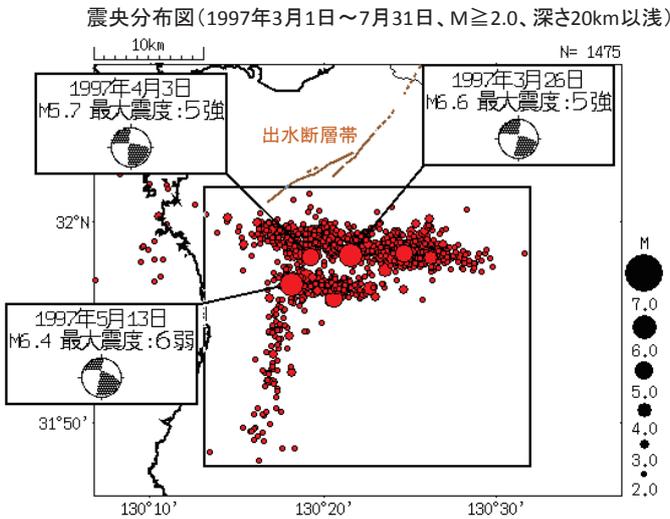


熊本県阿蘇地方のM6.1の地震の88日後に北東へ約20km離れた大分県西部でM6.4が発生。熊本県阿蘇地方の地震では負傷者10人、住家全壊16棟、大分県西部の地震では負傷者22人、住家全壊58棟の被害がそれぞれ発生した(被害は「九州地域の活断層の長期評価」より)。

上: 時空間分布図(AB投影、左図矩形内)
下: MT図(左図矩形内)

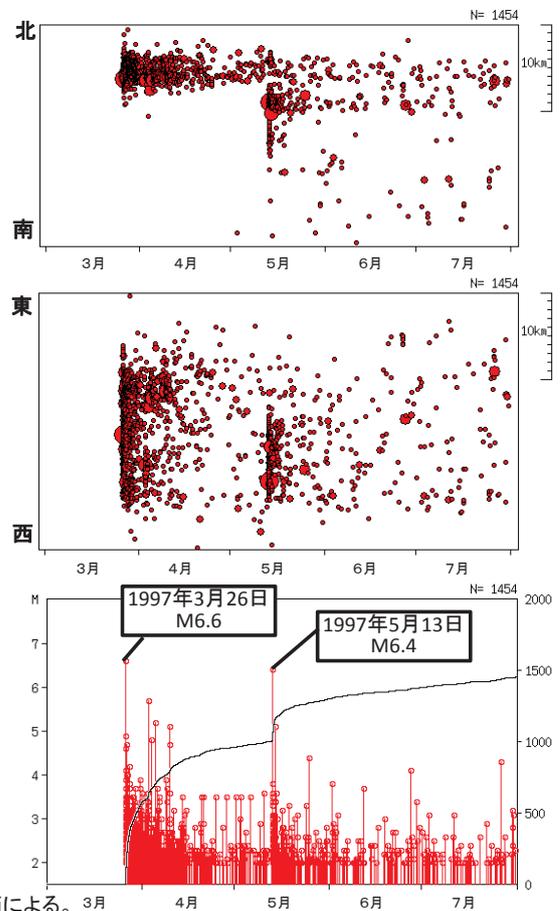


●1997年の鹿児島県薩摩地方の地震活動



右上: 時空間分布図(南北投影、左図矩形内)
右中: 時空間分布図(東西投影、左図矩形内)
右下: MT・回数積算図(左図矩形内)

M6.6の地震の48日後に西南西約6kmでM6.4の地震が発生。M6.6の地震では負傷者31人、住家全壊4棟など、M6.4の地震では負傷者43人、住家全壊4棟などの被害がそれぞれ発生した(被害は「九州地域の活断層の長期評価」より)。



上図の発震機構解は全てCMT解。活断層トレースは地震本部の長期評価による。

第18図 つづき

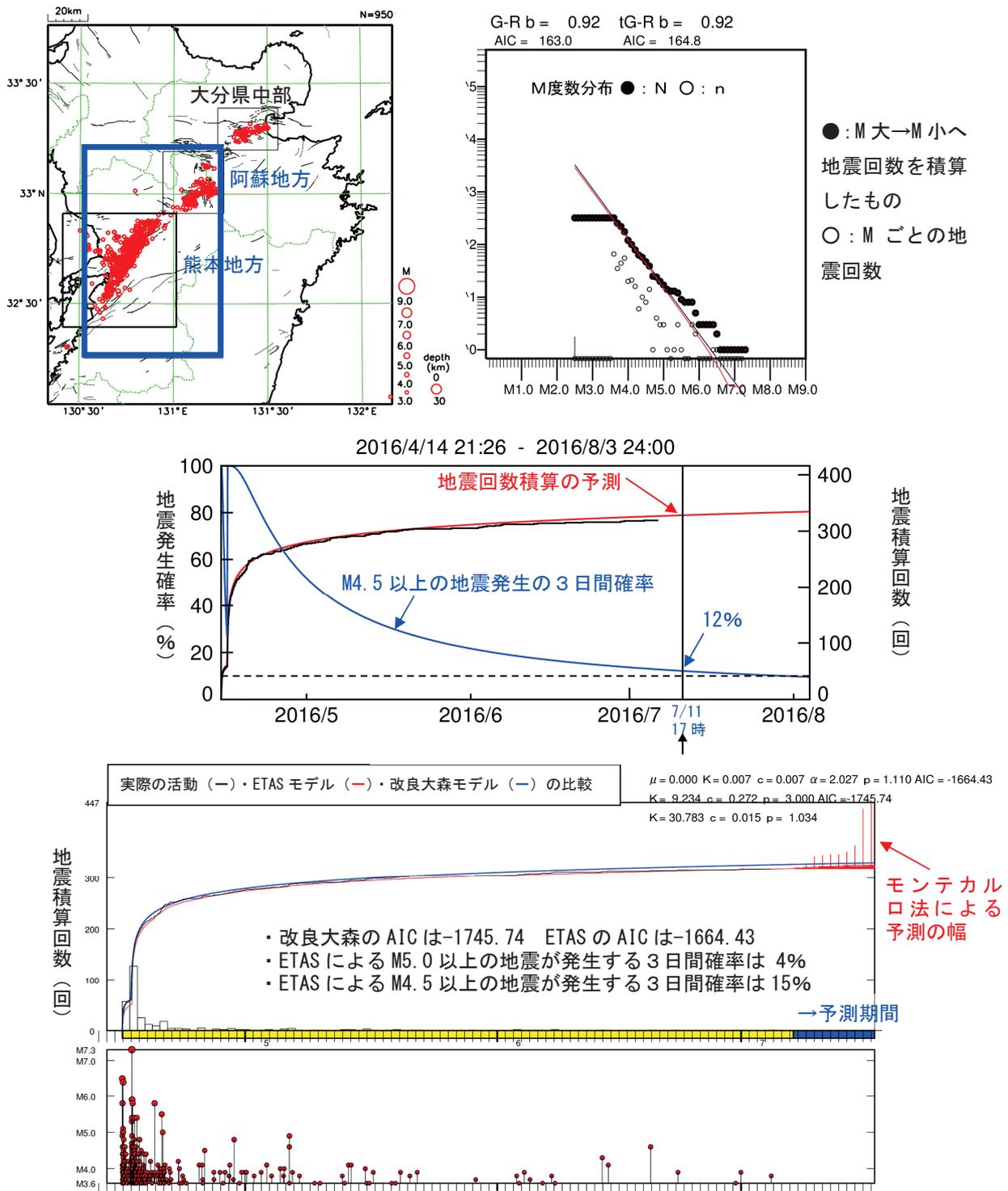
Fig.18 Continued.

熊本県熊本地方と熊本県阿蘇地方を合わせた領域の余震発生確率

2016年4月14日21時26分(M6.5発生)～7月8日11時00分までのM3.6以上のデータをもとに、7月11日17時00分での確率を算出。

M5.0以上の地震が発生する3日間確率は 4%

M4.5以上の地震が発生する3日間確率は 12%



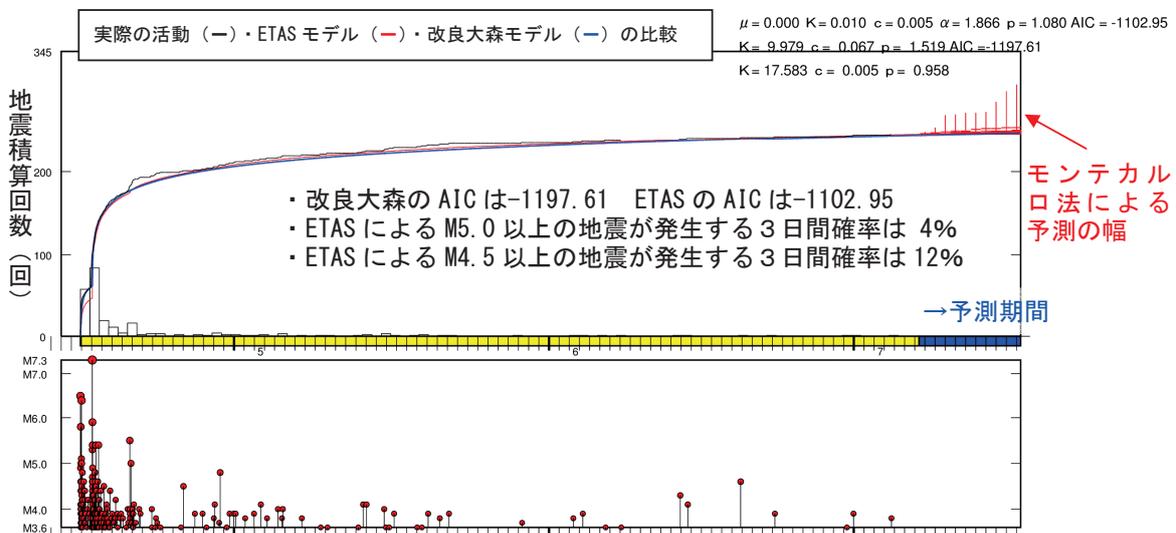
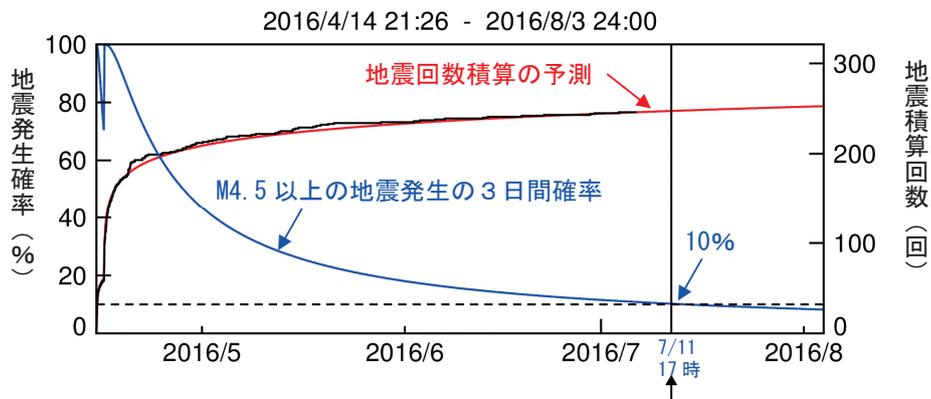
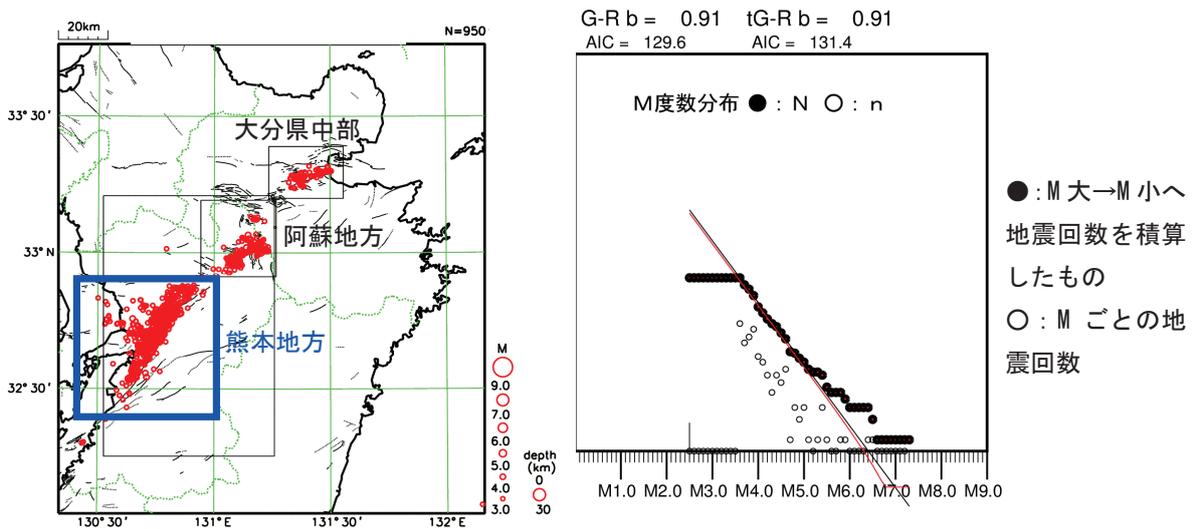
第19図 余震確率

Fig.19 Probability of the aftershock occurring.

熊本県熊本地方の余震発生確率

2016年4月14日21時26分(M6.5発生)～7月8日11時00分までのM3.6以上のデータをもとに、7月11日17時00分での確率を算出。

M5.0以上の地震が発生する3日間確率は4%
M4.5以上の地震が発生する3日間確率は10%

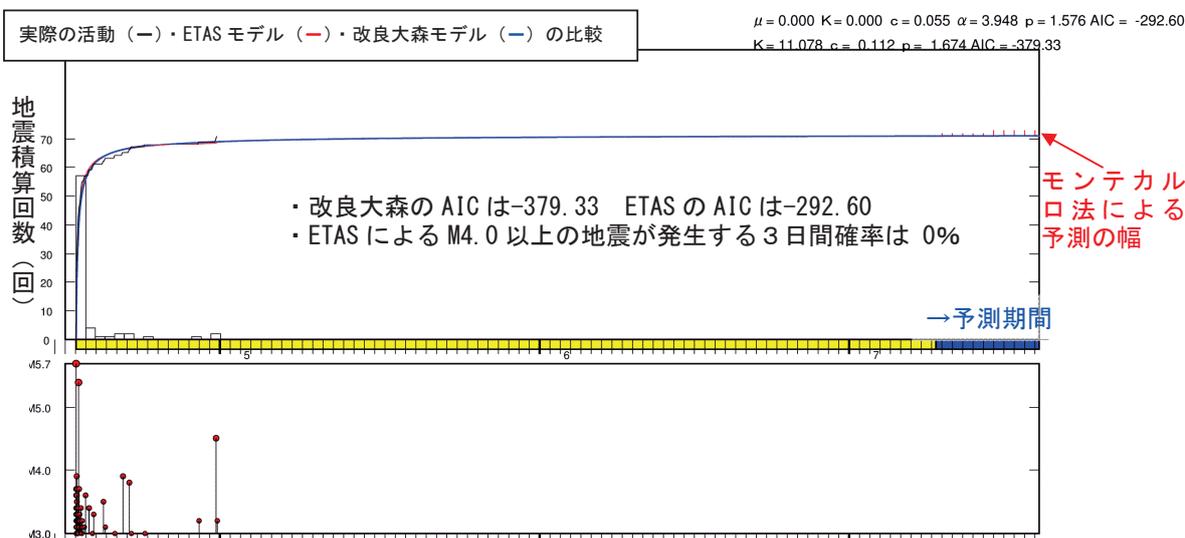
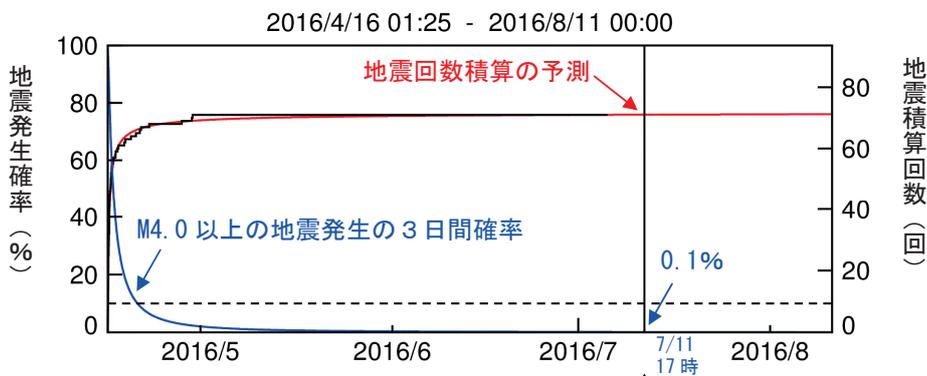
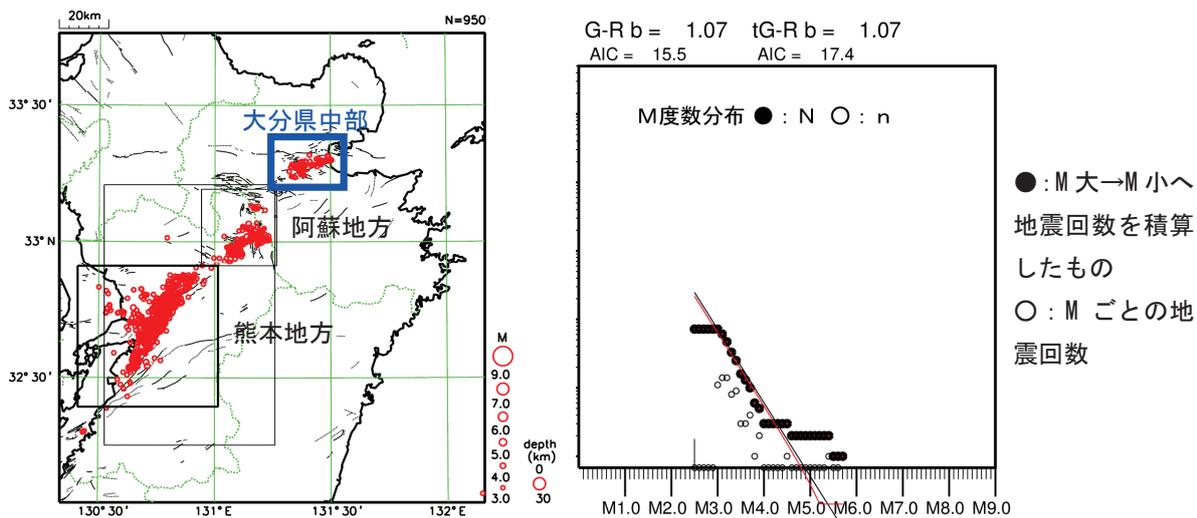


第20図 つづき
Fig.20 Continued.

大分県中部の余震発生確率

2016年4月16日01時25分(M7.3発生)～7月8日11時00分までのM3.0以上のデータをもとに、7月11日17時00分での確率を算出。

M4.0以上の地震が発生する3日間確率は0.1%



第21図 つづき
Fig.21 Continued.