12 - 8 平成 28 年 (2016 年) 熊本地震 The 2016 Kumamoto Earthquake

気象庁 Japan Meteorological Agency 気象研究所 Meteorological Research Institute, JMA

概要

2016年4月14日21時26分に, 熊本県熊本地方の深さ11kmでM6.5の地震が発生し, 熊本県 益城町で震度7, 熊本県玉名市, 西原村, 宇城市, 熊本市で震度6弱を観測したほか, 中部地方の 一部から九州地方にかけて震度5強~1を観測した(第4図). この地震は地殻内で発生した. 発 震機構(CMT解)は北北西-南南東方向に張力軸を持つ横ずれ断層型である(第2図).

また,この地震の震央付近では、2日後の4月16日01時25分に、深さ12kmでM7.3の地震が 発生し、熊本県益城町,西原村で震度7,熊本県南阿蘇村,菊池市、宇土市、大津町,嘉島町,宇城市, 合志市、熊本市で震度6強を観測したほか、東北地方の一部から九州地方にかけて震度6弱~1を 観測した(第4図).この地震も地殻内で発生し、発震機構(CMT解)は南北方向に張力軸を持つ 横ずれ断層型である(第2図).これらの地震の震源は、布田川断層帯・日奈久断層帯の近傍に位 置している.

その後、地震活動は熊本県から大分県にかけて広がり(第1図),4月16日に発生したM7.3の 地震の直後には、大分県中部でM5.7(参考値)の地震が発生するなどしている(第6図).地震活 動は活発な状態で推移し、最大震度5弱以上を観測した地震が4月30日までに18回発生した.気 象庁は、この一連の地震活動を「平成28年(2016年)熊本地震」(英語名:The 2016 Kumamoto Earthquake)と命名した.一連の活動では、4月14日に発生したM6.5の地震や4月16日に発生し たM7.3の地震を始め、発震機構(CMT解)が主に南北方向に張力軸を持つ横ずれ断層型の地震 が多く発生しているほか、一部では主に南北方向に張力軸を持つ正断層型の地震もみられるなどの 特徴がある(第3図).また、過去の地震活動をみると、今回の活動域の周辺では、1889年7月28 日にM6.3の地震が発生し、死者19人などの被害が生じている(被害は「日本被害地震総覧」による) (第3図).

一連の地震活動で長周期地震動階級1以上を観測した地震は11回あり,そのうち4月14日の M6.5の地震では最大で長周期地震動階級3を,4月15日のM6.4の地震及び4月16日のM7.3の 地震では最大で長周期地震動階級4をそれぞれ震源近傍の観測点で観測した(第5図).

【地震活動の詳細】

この一連の地震活動の震源分布を詳細に把握するため,Double-Difference 法及び三次元速度構造 を用いた震源決定をそれぞれ行った(第7図~第11図).布田川断層帯・日奈久断層帯付近では, 4月14日のM6.5の地震発生から4月16日のM7.3の地震までの期間は,主に日奈久断層帯に沿っ た地震活動がみられ,その傾斜は高角な面を形成している.一方,4月16日のM7.3の地震以降は 日奈久断層帯では,震源分布の傾斜がそれ以前と比較して異なっていることが分かった(第7図, 第11図).また,布田川断層帯・日奈久断層帯の接合部付近では,震源は単一の面上だけには分布 しておらず、複雑な震源分布となっていることも分かった.

熊本県阿蘇地方では、今回の活動は、過去の活動域とは異なる領域で発生している.また、北東 側の活動域を中心に、小さなクラスターをいくつも形成した分布となっている(第8図).大分県 中部でも熊本県阿蘇地方と同様に今回の活動域が過去の活動域と異なるようにみえる(第9図). 三次元速度構造を用いた結果(第11図)では、通常の速度構造を用いた結果に比べ全般的に震源 の深さが浅くきまり、小領域毎の震源分布には Double-Difference 法の結果と同様な特徴がみられる.

初動メカニズムの分布についても調査した(第12図).今回の活動域における過去の傾向をみる と,主に南北方向に張力軸を持つ正断層型や横ずれ断層型の地震が多く発生している. 熊本県熊本 地方の布田川断層帯の付近及びその北側では,横ずれ断層型より正断層型が多い傾向がある.今回 の一連の活動でも,これまでと異なった傾向はみられず,過去と同様のメカニズムの地震が多く発 生している. 熊本県熊本地方から阿蘇地方,大分県中部にかけて領域別にみてもその傾向は変わら ない.

【破壊過程及び地殻変動】

一連の地震について,震源過程解析,バックプロジェクション解析,ALOS-2/PALSAR-2 による 干渉解析を実施した(第13図~第15図).震源過程解析では、4月14日のM6.5の地震、4月15 日のM6.4の地震、4月16日のM7.3の地震について解析を行った、4月16日のM7.3の地震では、 震源から布田川断層帯に沿って北東方向に進行した破壊と、日奈久断層帯に沿って南西に進行した 破壊の、二方向への破壊の広がりがあることが分かった(第13図).

バックプロジェクション解析は4月16日のM7.3の地震について解析を実施した.1~5Hzの 高周波領域では,布田川断層帯付近で始まったエネルギー放出が日奈久断層帯にまで及んでいるようにみえる.一方,0.05~0.5Hzの低周波領域では,布田川断層帯よりも東側の領域にまでエネ ルギー放出が及んでいるようにみえる(第14図).

【一連の活動による周辺の活断層等への影響】

一連の活動による周辺の活断層等への影響をみるために,4月14日のM6.5及び4月16日のM7.3の地震の断層モデルを用いてΔCFFの試算を行った(第16図).その結果,比較的近隣で発生した地震や活断層帯の断層面では有意に促進となるものもあったが,それ以遠の活断層帯等では, 潮汐応答と同程度かそれ未満の値となった.

地震活動

ア・地震の発生場所の詳細及び地震の発生状況

2016年4月14日21時26分に、熊本県熊本地方の深さ11kmでM6.5の地震(最大震度7、①)が発生した。また、2日後の4月16日01時25分に、この地震の震央付近の深さ12kmでM7.3の地震(最大震度7、④)が発生した。これらの地震をはじめとして、熊本県熊本地方、阿蘇地方、大分県中部等にかけての広い範囲で地震活動が活発となり、4月15日00時03分のM6.4(最大震度6強、③)、4月16日03時55分のM5.8(最大震度6強、⑧)などを含め、4月30日までに最大震度5弱以上を観測した地震が18回発生した。

今回の一連の地震活動領域には、希田川断層帯、日奈久断層帯、別府一方年山断層帯が存在している。地震調査研究推進本部地震調査委員会は、「4月14日21時26分に発生したM6.5の地震は、日奈久断層帯の高野-白旗区間の活動によると考えられる。4月16日01時25分に発生したM7.3の地震は、現地調査の結果によると、布田川断層帯の布田川区間沿いなどで地表地震断層が見つかっていることから、主に布田川断層帯の布田川区間の活動によると考えられる。」と評価した。



第1図 地震活動

Fig.1 Seismic activity.



平成28年4月14日21時26分の地震の発震機構解 CMT解 北北西-南南東方向に張力軸を持つ横ずれ断層型



平成28年04月16日01時25分の地震の発震機構解 初動解

北西-南東方向に張力軸を持つ横ずれ断層型



平成28年4月16日01時25分の地震の発震機構解 CMT解 南北方向に張力軸を持つ横ずれ断層型



Fig.2 Focal mechanism solution.

イ.発震機構

別府-島原地溝帯で発生する地震は、発震機構(CMT 解)が南北方向に張力軸を持つものが多い。 4月14日21時26分に発生したM6.5の地震や4月16日01時25分に発生したM7.3の地震を始め、 「平成28年(2016年)熊本地震」の地震活動の中で発生した多くの地震について、発震機構は概ね 南北方向に張力軸を持つ横ずれ断層型であった。



シンボルから伸びる点線は張力軸の方位を示す。 橙色は横ずれ断層型、緑色は正断層型の発震機構を示す。 震央分布図中の細線は、地震調査研究推進本部の長期評価による活断層を示す。



第3図 発震機構 (CMT) の分布と過去の地震活動 Fig.3 Distribution of focal mechanism (CMT) and seismic activity of the past.

- 震度と加速度

最大規模の地震である4月16日01時25分の地震により震央付近の熊本県益城町、西原村で震度7の 揺れを、熊本県南阿蘇村、菊池市、宇土市、大津町、嘉島町、宇城市、合志市、熊本市で震度6強の 揺れを観測した。また、14日21時26分の地震により熊本県益城町で震度7の揺れを観測した。これら の地震を含めて4月30日までに、震度6弱以上を観測した地震は7回発生した。



ア. 4月16日01時25分の地震の震度と加速度

4月16日01時25分 熊本県熊本地方の地震(M7.3、深さ12km、最大震度7)の震度分布図 (+印は震央を表す。この地震の発生直後に大分県中部でM5.7(参考値)の地震(震央は×印)が発生しているが、 この地震の揺れも含まれた震度である)

第4図(a) 震度と加速度 Fig.4 (a) Seismic intensity and acceleration.

				=1 100	最	大加速度(gal=cm/s/:	s)	震央
都道府県	市区町村	観測点名	震度	計測	~	南北	東西	上下	距離
				辰渂	合成	成分	成分	成分	(km)
熊本県	益城町	益城町宮園 *	7	6.7	899.1	775.5	825.4	668.5	6.4
熊本県	西原村	西原村小森 *	7	6.6	904.0	742.1	770.0	531.3	15.8
熊本県	菊池市	菊池市旭志 *	6強	6.4	977.4	799.2	857.4	535.8	22.7
熊本県	南阿蘇村	南阿蘇村河陽 *	6強	6.2	1316.3	1111.8	954.6	654.4	25.1
熊本県	宇土市	宇土市浦田町 *	6強	6.2	802.0	572.0	792.4	466.2	12.3
熊本県	嘉島町	嘉島町上島 *	6強	6.2	622.3	564.8	597.1	474.1	2.0
熊本県	合志市	合志市竹迫 *	6強	6.2	705.3	398.8	690.8	306.6	14.5
熊本県	大津町	大津町大津 *	6強	6.1	1791.3	1379.6	1740.1	594.7	16.8
熊本県	宇城市	宇城市豊野町 *	6強	6.1	751.7	573.4	575.1	724.7	13.2
熊本県	宇城市	宇城市松橋町	6強	6.0	564.1	492.8	342.6	313.9	14.2
熊本県	宇城市	宇城市小川町 *	6強	6.0	474.9	389.8	369.4	233.4	19.1
熊本県	熊本市中央区	熊本中央区大江 *	6強	6.0	656.9	626.8	478.2	403.4	6.3
熊本県	熊本市東区	熊本東区佐土原 *	6強	6.0	843.5	827.5	616.5	534.2	4.2
熊本県	熊本市西区	熊本西区春日	6強	6.0	677.5	606.0	551.6	405.3	7.5
熊本県	南阿蘇村	南阿蘇村中松	6弱	5.9	855.0	794.5	606.8	653.1	32.3
熊本県	美里町	熊本美里町馬場 *	6弱	5.9	538.7	402.4	526.6	355.3	13.4
熊本県	宇城市	宇城市不知火町 *	6弱	5.9	629.4	539.0	441.9	516.6	15.1
熊本県	熊本市南区	熊本南区城南町 *	6弱	5.9	850.8	681.2	521.5	803.1	6.2
熊本県	熊本市南区	熊本南区富合町 *	6弱	5.9	594.5	427.1	411.9	591.4	9.0
大分県	由布市	由布市湯布院町川上*	6弱	5.9	540.0	479.0	368.9	465.9	79.2
熊本県	阿蘇市	阿蘇市内牧 *	6弱	5.8	517.2	511.8	165.1	318.1	35.5
熊本県	菊陽町	菊陽町久保田 *	6弱	5.8	825.3	824.2	497.7	566.4	13.3
熊本県	熊本市北区	熊本北区植木町 *	6弱	5.8	1026.9	672.3	877.9	530.0	17.4
熊本県	南阿蘇村	南阿蘇村河陰 *	6弱	5.7	927.4	920.3	557.5	361.2	26.3
熊本県	玉名市	玉名市天水町 *	6弱	5.7	328.7	308.4	202.0	137.1	19.7
熊本県	菊池市	菊池市隈府 *	6弱	5.7	462.2	415.1	293.5	302.1	25.1
熊本県	大津町	大津町引水 *	6弱	5.7	669.1	525.4	482.2	396.9	17.1
熊本県	御船町	御船町御船 *	6弱	5.7	499.0	465.7	441.3	354.0	6.2
熊本県	山都町	山都町下馬尾 *	6弱	5.7	831.2	776.7	639.5	186.5	22.5
熊本県	氷川町	氷川町島地 *	6弱	5.7	346.7	300.5	312.9	206.3	21.2
熊本県	和水町	和水町江田 *	6弱	5.7	517.6	264.2	509.2	135.9	28.4
熊本県	玉名市	<u>玉名市横島町 *</u>	6弱	5.6	240.0	230.5	197.1	103.8	23.3
熊本県	菊池市	菊池市泗水町 *	6弱	5.6	564.6	485.0	339.3	182.2	18.3
熊本県	美里町	熊本美里町永富 *	6弱	5.6	778.0	597.6	602.6	254.8	18.5
熊本県	合志市	合志市御代志 *	6弱	5.6	715.1	401.4	571.6	467.8	14.7
熊本県	阿蘇市	阿蘇市一の宮町*	6弱	5.5	403.1	261.3	346.6	268.4	38.9
熊本県	八代市	八代市鏡町 *	6弱	5.5	419.5	353.5	285.1	354.0	24.1
熊本県	上天草市	上天草市大矢野町	6弱	5.5	353.6	262.1	334.4	122.3	36.3
熊本県	天草市	天草市五和町 *	6弱	5.5	303.9	281.6	218.8	62.4	60.2
大分県	別府市	別府市鶴見	6弱	5.5	1155.0	831.5	805.9	860.8	90.1

16日01時25分(M7.3)の計測震度及び最大加速度(震度6弱以上)

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

第4図(b) つづき Fig.4(b) Continued.



イ. 4月14日21時26分の地震の震度と加速度

4月14日21時26分 熊本県熊本地方の地震(M6.5、深さ11km、最大震度7)の震度分布図 (+印は震央を示す。)

				-1 104	最	震央			
都道府県	市区町村	観測点名	震度	計測 震度	合成	南北	東西	上下	距離 (km)
						19,75	政力	10,73	(KIII)
熊本県	益城町	益城町宮園 *	7	6.6	816.7	631.5	731.8	338.2	5.2
熊本県	熊本市東区	熊本東区佐土原 *	6弱	5.9	604.0	574.2	381.4	325.8	6.0
熊本県	熊本市西区	熊本西区春日	6弱	5.9	737.4	658.9	432.5	261.9	12.0
熊本県	西原村	西原村小森 *	6弱	5.7	543.7	532.3	341.0	180.2	13.4
熊本県	宇城市	宇城市松橋町	6弱	5.7	364.5	327.1	280.9	220.9	15.8
熊本県	宇城市	宇城市不知火町 *	6弱	5.7	565.6	513.2	305.7	269.5	16.9
熊本県	熊本市南区	熊本南区城南町 *	6弱	5.6	424.4	324.3	404.7	363.8	8.3
熊本県	玉名市	玉名市天水町 *	6弱	5.5	258.3	257.1	138.8	70.1	24.0
熊本県	宇城市	宇城市小川町 *	6弱	5.5	326.6	316.2	156.8	112.7	19.5
熊本県	宇城市	宇城市豊野町 *	6弱	5.5	475.3	391.6	435.5	333.0	12.9
熊本県	熊本市南区	熊本南区富合町 *	6弱	5.5	268.9	256.9	259.1	220.8	12.4

14 日 21 時 26 分 (M6.5) の計測震度及び最大加速度 (震度 6 弱以上)

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

第4図(c) つづき Fig.4(c) Continued.

・長周期地震動と地震波形

平成28年(2016年)熊本地震の一連の地震活動で長周期地震動階級1以上を観測した地震は11回^(注)であった。

長周期地震動階級1以上を観測した地震								
発生日時	震央地名	マグニチュード	最大長周期地震動階級					
2016年4月14日21時26分	熊本県熊本	6.5	3					
2016年4月14日22時07分	熊本県熊本	5.8	2					
2016年4月15日00時03分	熊本県熊本	6.4	4					
2016年4月16日01時25分	熊本県熊本	7.3	4					
2016年4月16日01時44分	熊本県熊本	5.4	1					
2016年4月16日01時46分	熊本県熊本	5.9	2					
2016年4月16日03時03分	熊本県阿蘇	5. 9	1					
2016年4月16日03時55分	熊本県阿蘇	5.8	1					
2016年4月16日07時11分	大分県中部	5.4	1					
2016年4月18日20時42分	熊本県阿蘇	5.8	1					
2016年4月19日17時52分	熊本県熊本	5.5	2					

長周期地震動階級1以上を観測した地震

(注) 平成28年(2016年) 熊本地震の一連の地震活動については、長周期地震動階級の値などについて精査中であり、今後、長周期地震動階級1以上を観測した地震の回数などについて変更の可能性がある。

以下では、最大の長周期地震動階級が3以上となった地震(①4月14日21時26分熊本県熊本地方の地震(M6.5)、②4月15日00時03分熊本県熊本地方の地震(M6.4)、③4月16日01時25分熊本県 熊本地方の地震(M7.3))について、観測された長周期地震動階級と地震波形等をまとめたものである。



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掲載した観測点の位置。吹き出し内には、観測点名と各地震で観測した長周期地震動階級、震度を示す。下線は、今回、地震波形等を掲載した地震を表す。なお、長周期地震動階級が「—」となっているものは、長周期地震動階級が1に達していないことを示す。

第5図(a) 長周期地震動と地震波形

Fig.5 (a) Long-period earthquake ground motion and seismic waveform.

ア. 4月14日21時26分熊本県熊本地方の地震(M6.5)

a. 観測された長周期地震動階級

この地震により、九州地方の広い範囲で長周期地震動階級1以上が観測された。熊本県熊本では最大 の長周期地震動階級3を観測し、佐賀県南部と長崎県島原半島では長周期地震動階級2となった。九州 地方で長周期地震動階級3を観測したのは平成25年3月の長周期地震動に関する観測情報(試行)発 表開始以来初めてである。



長周期地震動階級の凡例: 📰 階級1 📒 階級2 📕 階級3 📰 階級4

長周期地震動階級1以上が観測された地域

長周期地震動階級関連解説表



※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27年12 月号「付録10.長周期地震動階級関連 解説表」を参照。

第5図(b) つづき Fig.5(b) Continued.

b. 地震波形等

以下に、この地震で長周期地震動階級3が観測された宇城市松橋町と熊本西区春日の観測点における 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。

上記観測点はいずれも震源近傍に位置し、比較的短い周期の地震波が卓越しており、周期区分で1~2秒台の長周期地震動階級データが階級3となっていた。また、両観測点ともに震度6弱を観測していた。





絶対応答スペクトルの図、波形図の説明

- ① 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区分別の長周期地震動階級データの最大値.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4.20秒~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.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26年12月号「付録5.長周期地震動階級関連解説表」を参照.
- ② 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.
- ③ 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.
- ④ 加速度波形表示. 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.
- ⑤ 速度波形表示.表示は④と同じ.

第5図(c) つづき

Fig.5 (c) Continued.



熊本西区春日で観測した波形、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 (加速度波形、速度波形は 21:26:20 から 1 分間を示している)

第5図(d) つづき Fig.5(d) Continued.

イ. 4月15日00時03分熊本県熊本地方の地震(M6.4)

a. 観測された長周期地震動階級

この地震により、九州地方の広い範囲で長周期地震動階級1以上が観測された。熊本県熊本で最大の 長周期地震動階級4を観測し、その他九州地方の広い範囲で長周期地震動階級1を観測した。長周期地 震動階級4を観測したのは平成25年3月の長周期地震動に関する観測情報(試行)発表開始以来初め てである。



長周期地震動階級の凡例: 📰 階級1 📒 階級2 📰 階級3 📰 階級4

長周期地震動階級1以上が観測された地域

第5図(e) つづき Fig.5(e) Continued.

b. 地震波形等

以下に、この地震で長周期地震動階級4が観測された宇城市松橋町の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。

宇城市松橋町は、震源近傍に位置し、比較的短い周期の地震波が卓越しており、周期区分で1秒台の 長周期地震動階級データが階級4となっていた。また、震度も6弱を観測していた。



宇城市松橋町で観測した波形、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 (加速度波形、速度波形は 00:03:40 から1分間を示している)

第5図(f) つづき Fig.5(f) Continued.

ウ. 4月16日01時25分熊本県熊本地方の地震(M7.3)

a. 観測された長周期地震動階級

この地震により、関東・中部地方以西の広い範囲で長周期地震動階級1以上が観測された。熊本県熊本と熊本県阿蘇で最大の長周期地震動階級4が観測され、福岡県筑後と大分県中部、大分県西部で長周期地震動階級3であった。また、震源から離れた大阪府南部、鳥取県西部、徳島県北部等でも長周期地 震動階級2が観測された。



長周期地震動階級の凡例: 📰 階級1 📒 階級2 📰 階級3 📰 階級4

長周期地震動階級1以上が観測された地域

第5図(g) つづき Fig.5(g) Continued.

b. 地震波形等

以下に、この地震で長周期地震動階級4が観測された宇城市松橋町、熊本西区春日、南阿蘇村中松の 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。

長周期地震動階級4が観測された3観測点は、いずれも震源近傍に位置している。宇城市松橋町と熊本西区春日では、比較的短い周期の地震波が卓越しており、宇城市松橋町では周期区分1~2秒台、熊本西区春日では1~3秒台の長周期地震動階級データが階級4となっていた。南阿蘇村中松では、広い帯域で地震波が卓越しており、周期区分1~5秒台の長周期地震動階級データが階級4となっていた。



宇城市松橋町で観測した波形、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 (加速度波形、速度波形は 01:24:50 から1分間を示している)

第5図(h) つづき Fig.5(h) Continued.



熊本西区春日で観測した波形、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 (加速度波形、速度波形は 01:24:50 から1分間を示している)



南阿蘇村中松で観測した波形、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 (加速度波形、速度波形は 01:25:00 から1分間を示している)

第5図(i) つづき Fig.5(i) Continued.



M7.3の地震とその直後の大分県中部の地震のM算出 (最大振幅読み取り位置)

- ▶ M7.3の地震は変位M、大分県中部の地震は速度Mを採用。
- ▶ 大分県中部の地震の速度M算出に使用した観測点は2点のみ(野津原、竹田)であり、M7.3の地震の変位M算出に使用した観測点との重複はない。
- ▶ 大分県中部の地震のM算出にあたっては、M7.3の地震の影響が少ないと思われる位置(時刻)で最大振幅を読み取っている(図参照)。



第6図 2016年4月16日 大分県中部の地震(M5.7) Fig.6 The earthquake in the central part of Oita Prefecture (M5.7) on April 16,2016.





第7図(a) Double-Difference 法による震源(熊本県熊本地方周辺) Fig.7(a) The hypocenter distribution by the Double-Difference method near Kumamoto region of Kumamoto Prefecture.









⁴月14日21時26分~4月15日00時03分:水色 4月15日00時03分~:青色



・M6.5発生後、余震域が主に日奈久断層帯 高野-白幡区間に広がる。 ・高野-白幡区間の深さ約7~13kmに余震が主に分布。 ・その浅部延長上(D)でM6.4が発生。

第7図(c) つづき Fig.7(c) Continued.



震源の時空間分布(4月15日00時03分M6.4~4月16日01時25分M7.3) *DDEF 決定後のデータを使用

Fig.7 (d) Continued.



弗/凶(e) つつさ Fig.7 (e) Continued.



震源の時空間分布(4月17日00時00分~4月30日24時00分) ※DD再決定後のデータを使用

第7図(f) つづき Fig.7(f) Continued.



震源の時空間分布(4月16日01時25分M7.3~4月16日24時00分) ※DDFA 法定後のデータを使用

Fig.7 (g) Continued.



震源の時空間分布(4月17日00時00分~4月30日24時00分) * DD 再決定後のデータを使用

第7図(h) つづき Fig.7(h) Continued.



熊本県阿蘇地方の活動(DD法による震源再決定)

第8図 Double-Difference 法による震源(熊本県阿蘇地方) Fig.8 The hypocenter distribution by the Double-Difference method in Aso region of Kumamoto Prefecture.



第9図 Double-Difference 法による震源(大分県中部) Fig.9 The hypocenter distribution by the Double-Difference method in the central part of Oita Prefecture.



一元化震源(Kフラグのみ)を用いて、DD法を行った。DD法に用いた初期震源は、観測点限定を行ったうえで再計算を行い、その観測点限定震源をもとに観測点補正値を算出し、観測点補正を行って再計算した震源である。また波形相関を用いて検測時刻の調整も行った。観測点限定に使用した観測点分布は 震央分布中▲で示す。

DD法を用いて再計算した震源から、余震域の北部(領域2)では14日21時26分のM6.5の地震以降(青 色)と16日01時25分のM7.3の地震以降(赤色)では傾斜が異なる。また、領域2では16日01時25分の地震 以降、16日以前に見られた余震活動はほとんど発生していない。領域3では、16日以前の分布に加えて、 傾斜の異なる複数の余震活動が見られる。

第10図 波形相関を用いた Double-Difference 法による震源 Fig.10 The hypocenter distribution by the Double-Difference method based on waveform correlation.

三次元不均質速度構造を用いた震源決定

気象庁気象研究所

熊本県から大分県にかけて発生している地震の 2016 年 4 月 14 日~4 月 30 日の活動につ いて、三次元不均質構造(VEL3D)を用いた震源計算を行い、気象庁において震源決定に 用いている構造である JMA2001(上野・他, 2002)の結果との比較を行った。三次元速度構 造は Katsumata (2010)を元に改変したものを用いている。相の読み取り時刻は気象庁に よる。7×35km の1~20 の断面に分けて示している。断面図は平面図の 1.5 倍に拡大して いる。M5 以上、M6 以上、M7 以上の震源については、シンボルを大きくするとともに赤 くプロットしている。以下比較結果について記述する。

- ・一般的に VEL3D の震源の方が JMA2001 よりも浅く決まっている。
- ・深さの違いは断面1,2のように差が小さいのに比べ、隣りの断面3~8のように深さ の差が明瞭である場所もある。
- ・断面 14 に 4 月 14 日の M6.5 及び 4 月 16 日の M7.3 の地震の震源が含まれる。最大地震 を含め VEL3D では全体的に 2km ほど浅くなっている。断面 15 を含め北東側のメイン のクラスタから離れた震源の深さに JMA2001 と VEL3D では明瞭な差が認められる。
- ・断面 12 から断面 16 にかけて、震源は 1 枚の面に沿った分布ではなく、複雑なクラスタ 構成をしている。断面 12 から断面 16 にかけて北西下がりの面が認められるとともに断 面 13 では南東下がりのようにも見える分布が認められる。断面 15~断面 16 にかけては 若干角度の異なる 2 つの面状分布をしているように見える。4 月 14 日の M6.5 の震源と 4 月 16 日の M7.3 の震源では別々の面状分布上にあるように見える。
- ・断面 15 に 4 月 15 日の M6.4 の地震の震源が含まれるが、VEL3D ではその地震の震源は かなり浅めになっており、クラスタの最浅部にあたっている。
- ・断面 17 では垂直に近い面状分布が認められる。

参照文献:

- 1)上野寛・畠山信一・明田川保・舟崎淳・浜田信生,気象庁の震源決定方法の改善 浅部速度構造と重み関数の改良-, *験震時報*,65,123-134,2002.
- 2) Katsumata, A., Depth of the Moho discontinuity beneath the Japanese islands estimated by traveltime analysis, *J. Geophys. Res.*, 115, B04303, 2010.

第11図(a) 三次元速度構造を用いた震源

Fig.11 (a) The hypocenter distribution determined using 3D velocity structure.



気象庁の標準速度構造 (JMA2001) と三次元不均質速度構造 (VEL3D) を用いた震源位置の比較

第11図(b) つづき Fig.11(b) Continued.

今回の活動領域でのメカニズム分布 (活動領域全体)

過去の初動メカニズム (1997 年 10 月 1 日~2016 年 4 月 13 日 深さ 0 ~20km、M≧3.0)

今回の活動の初動メカニズム (2016年4月14日~2016年5月1日 深さ0~20km、M≧3.0)



第12図(a) 発震機構の分布 Fig.12(a) The distribution of focal mechanism.



第 12 図 (b) つづき Fig.12 (b) Continued.



第 12 図 (c) つづき Fig.12 (c) Continued.



● (1997年10月1日~2016年4月21日)

○(2016年4月21日~5月4日)Mの小さな地震は一部未処理

2016 年 4 月 21 日以降のメカニズムは速報解。なお、吹き出し図中、震源球右下隣にSの表示があ るものは、発震機構解に十分な精度が無い。震央分布図中の茶色の各線は、地震調査研究推進本部 の長期評価による活断層を示す。

第 12 図 (d) つづき Fig.12 (d) Continued.

2016 年 4 月 16 日 熊本県熊本地方の地震 - 近地強震波形による震源過程解析(暫定)-(1枚断層を仮定)

2016年4月16日01時25分(日本時間)に熊本県熊本地方で発生した地震(M_{MA}7.3)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)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(32°45.2′N、130°45.7′E、深さ12km)とした。断層面は、 この一連の地震活動の震源分布などを考慮し、震源断層モデル(走向235°、傾斜60°)を仮定して解析 した。最大破壊伝播速度は2.2km/sとした。理論波形の計算には、Koketsu et al. (2012)を参考に設定した 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36km、傾斜方向に約16kmであった。
- ・主なすべりは破壊開始点から北東方向に広がっている。
- ・最大すべり量は 6.1m であった(周辺の構造から剛性率を 27GPa として計算)。
- ・主な破壊継続時間は約25秒であった。

130'30'E

130'48'E

星印は破壊開始点を示す。灰色の丸は、この地震の発

生後1日以内(M3.0以上)の地震の震央を示す。

131'06'E

・モーメントマグニチュード (Mw) は 7.2 であった。

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



観測波形(黒:0.05Hz-0.2Hz)と理論波形(赤)の比較



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13図 (a) 近地強震波形による震源過程解析(4月16日 M7.3の地震) Fig.13 (a) Seismic source process analysis by using strong-motion data (The earthquake on April 16).

2016 年 4 月 16 日 熊本県熊本地方の地震 - 近地強震波形による震源過程解析(暫定)-(2 枚断層を仮定)

2016年4月16日01時25分(日本時間)に熊本県熊本地方で発生した地震(M_{JMA}7.3)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)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(32°45.2′N、130°45.7′E、深さ12km)とした。地殻変動 による解析から日奈久断層と布田川断層が破壊したと考えられることから、2枚の断層モデル面から成る 震源断層モデル(日奈久断層モデル面:走向205°、傾斜76°;布田川断層モデル面:走向235°、傾斜 60°)を仮定して解析した。最大破壊伝播速度は2.2km/sとした。理論波形の計算には、Koketsu et al. (2012)を参考に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)。

・日奈久断層の主なすべり域は、破壊開始点から浅い方向に広がっている。また、南西方向へは約15km 広がっている。最大すべり量*は5.9mであった。

・布田川断層の主なすべり域は、北東方向に約 30km 広がっている。すべりはやや深い領域に推定された。最大すべり量[※]は 10.2m であった。

・地震全体の主な破壊継続時間は約20秒であった。

・地震全体のモーメントマグニチュード (Mw) は 7.1 であった。(日奈久:6.8、布田川:7.0) *周辺の構造から剛性率を 27GPa として計算した。

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



130'36 130'48 131'00 星印は破壊開始点を示す。灰色の丸は、この地震の発 生後1日以内(M3.0以上)の地震の震央を示す。 赤点は地震調査研究推進本部による主要活断層の位置 を示す。 布田川断層モデル面の設定に 用いた節面(走向235°、傾斜 60°、すべり角177°)を赤線 で示す。 観測波形(黒:0.05Hz-0.2Hz)と理論波形(赤)の比較



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13図(b) つづき Fig.13(b) Continued. 2016年4月14日 熊本県熊本地方の地震 近地強震波形による震源過程解析(暫定)

2016年4月14日21時26分(日本時間)に熊本県熊本地方で発生した地震(MJMA6.5) 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(KiK-net)の近地強震波形 (0.05・0.20Hz)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(32°44.5′N、130°48.5′E、深さ11km)とした。断層面は、北西下がりの傾斜をもつ断層面(気象庁の CMT 解の2枚の節面のうちの 走向210°、傾斜77°である節面)と南東下がりの傾斜をもつ断層面(Grobal CMT の2 枚の節面のうちの走向30°、傾斜82°である節面)の2つの断層面をそれぞれ仮定した。 断層面全体を走向方向9個×傾斜方向個の計5個の小断層に分割し、各小断層の大きさは 4km×4kmとした。各小断層の震源時間関数は、底辺1.6秒で0.8秒ずつずらした5個の 二等辺三角形の基底関数により表現した。最大破壊伝播速度は2.5km/sとした。理論波形 の計算には、Matsubara and Obara (2011)の結果を参考に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)。

○北西下がりの傾斜をもつ断層面の場合

- ・主なすべり域は破壊開始点の北東方向にあった。
- ・最大すべり量は約0.8mであった(周辺の構造から剛性率を38GPaとして計算)。
- ・主な破壊継続時間は約10秒であった。
- ・観測点全体で見た場合、理論波形と観測波形の一致が南東下がりの傾斜をもつ断層面の場 合よりも少し良かった。

○南東下がりの傾斜をもつ断層面の場合

- ・主なすべり域は破壊開始点の北東方向にあった。
- ・最大すべり量は約1.0mであった(周辺の構造から剛性率を38GPaとして計算)。
- ・主な破壊継続時間は約10秒であった。

・断層面に近い観測点(KMMH16、KMMH14)で見た場合、理論波形と観測波形の一致が 北西下がりの傾斜をもつ断層面の場合よりも少し良かった。

結果の見方は http://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)を使用しました。

参考文献

Matsubara, M. and K. Obara, The 2011 Off the Pacific Coast of Tohoku earthquake related to a strong velocity gradient with the Pacific plate, Earth Planets Space, 63, 663-667, 2011.

第13図(c) つづき(4月14日M6.5の地震) Fig.13(c) Continued (The earthquake on April 14).



・解析結果(北西下がりの傾斜を持つ断層面の場合)

星印:破壞開始点

矢印:下盤側に対する上盤側の動き

 ・断層面における破壊のスナップショット (破壊開始から2秒毎のすべり量)



第13図(d) つづき Fig.13(d) Continued.

0.0 0.3 0.6 0.9

・観測波形(黒)と理論波形(赤)の比較

KMMH01 ud KMMH01 ns KMMH01 ew KMMH16 ud KMMH16 ns KMMH16 ew when Maro MArman 13 m m 5.82 An KMMH02 ns KMMH02 ew KMMH02 ud KMMH14 ud KMMH14 ew KMMH14 ns MAm MAAmm offer Mm - apara Ala 0.97 2.06 KMMH11 ud KMMH11 ns KMMH11 ew KMMH07 ud KMMH07 ns KMMH07 ew Mam MA rangen Almon Allow 08.0 alle 0.87 MYZH04 ud MYZH04 ns MYZH04 ew KMMH06 ud KMMH06 ns KMMH06 ew Man Marm Mar War ~ 0.57 1.09 allow harrow KMMH13 ns KMMH13 ew KMMH03 ud KMMH03 ns KMMH03 ew KMMH13 ud gathing manthattan MAAM ~ Marin manuflan 0.76 0.94 Maria KMMH12 ud KMMH12 ns KMMH12 ew KMMH09 ud KMMH09 ew KMMH09 ns Am mapp Mh MAA maggan 0.72 WA .76 0 10 20 30 40 50 0 10 20 30 40 50 Time (s) Time (s) FKOH10 ud FKOH10 ns FKOH10 ew -mar AMAn Marin 0.52 MYZH05 ud MYZH05 ns MYZH05 ew - Amproven 13 Mar mallor OITH08 ns OITH08 ew OITH08 ud App Mann My Barnes 13 OITH11 ud OITH11 ns OITH11 ew appann MAAAme 3 mon FKOH07 ud FKOH07 ns FKOH07 ew MAnn Morr MMMm 13 KMMH10 ns KMMH10 ud KMMH10 ew mann manna spal manner 3

残差 0.4306

第 13 図 (e) つづき Fig.13 (e) Continued. 0 10 20 30 40 50 Time (s)



・解析結果(南東下がりの傾斜を持つ断層面の場合)

星印:破壞開始点

矢印:下盤側に対する上盤側の動き

・断層面における破壊のスナップショット (破壊開始から2秒毎のすべり量)



第13図(f) つづき

0.0 0.3 0.6 0.9

・観測波形(黒)と理論波形(赤)の比較



Manna 3

MA

0 10 20 30 40 50 Time (s)

残差 0.4783

204 Ma

Marin

第 13 図 (g) つづき Fig.13 (g) Continued.

2016年4月15日熊本県熊本地方の地震一近地強震波形による震源過程解析(暫定)

2016年4月15日00時03分(日本時間)に熊本県熊本地方で発生した地震(MJMA6.4) 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(KiK-net)の近地強震波形 (0.05・0.20Hz)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(32°42.0′N、130°46.6′E、深さ7km)とした。断層面は、北西下がりの傾斜をもつ断層面(気象庁の CMT 解の2枚の節面のうちの 走向211°、傾斜63°である節面)と南東下がりの傾斜をもつ断層面(Grobal CMT の2 枚の節面のうちの走向30°、傾斜83°である節面)の2つの断層面をそれぞれ仮定した。 断層面全体を走向方向9個×傾斜方向個の計5個の小断層に分割し、各小断層の大きさは 4km×4kmとした。各小断層の震源時間関数は、底辺1.6秒で0.8秒ずつずらした5個の 二等辺三角形の基底関数により表現した。最大破壊伝播速度は2.5km/sとした。理論波形 の計算には、Matsubara and Obara (2011)の結果を参考に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)。

○北西下がりの傾斜をもつ断層面の場合

- ・主なすべり域は破壊開始点の南西方向にあった。
- ・最大すべり量は約0.8mであった(周辺の構造から剛性率を33GPaとして計算)。
- ・主な破壊継続時間は約10秒であった。
- ・全体的に理論波形と観測波形の一致が良くなかった。

○南東下がりの傾斜をもつ断層面の場合

- ・主なすべり域は破壊開始点の南西方向にあった。
- ・最大すべり量は約1.0mであった(周辺の構造から剛性率を33GPaとして計算)。
- ・主な破壊継続時間は約10秒であった。
- ・全体的に理論波形と観測波形の一致が良かった。

結果の見方は http://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)を使用しました。

参考文献

Matsubara, M. and K. Obara, The 2011 Off the Pacific Coast of Tohoku earthquake related to a strong velocity gradient with the Pacific plate, Earth Planets Space, 63, 663-667, 2011.

第13図(h) つづき(4月15日M6.4の地震) Fig.13(h) Continued (The earthquake on April 15).



・解析結果(北西下がりの傾斜を持つ断層面の場合)

矢印:下盤側に対する上盤側の動き

・断層面における破壊のスナップショット (破壊開始から2秒毎のすべり量)



すべり量(m)

0.0 0.3 0.6 0.9

第13図(i) つづき Fig.13(i) Continued.

・観測波形(黒)と理論波形(赤)の比較



残差 0.6556

第 13 図 (j) つづき Fig.13 (j) Continued.



地図上に投影した断層面 FKOH10 FKOH10 KMMH03 KMMH03 KMMH03 KMMH09 MYZH04 MYZH05 32°N 130°E 131°E すべり量(m)

0.00 0.26 0.52 0.78 1.04

星印:破壞開始点

矢印:下盤側に対する上盤側の動き

 ・断層面における破壊のスナップショット (破壊開始から2秒毎のすべり量)



0.0 0.3 0.6 0.9

第13図(k) つづき Fig.13(k) Continued.

・解析結果(南東下がりの傾斜を持つ断層面の場合)

・観測波形(黒)と理論波形(赤)の比較



残差 0.3196

第 13 図 (l) つづき Fig.13 (l) Continued.



〇気象庁加速度データ使用。〇グリッド:水平1km×深さ2km。 〇計算方法:S相で合わせており、P相の影響を除去するためtaper関数を使用。本資料について用いたフィルタは、1.0-5.0Hi

布田川断層付近で始まったエネルギー放出は、日奈久断層にまで及んでいるように見える。

131.5"

075

070

0.65

0.40

0.55

075

070

0.65

0.60

0.55

275

070

0.65

0.60

0.55

1315

エネルギー放出は、布田川断層より東にも見られる。

第14図 バックプロジェクション解析 Fig.14 Source scanning algorithm.

〇計算方法:S相で合わせており、P相の影響を除去するためtaper関数を使用。本資料について用いたフィルタは、0.05-0.5Hz。

ALOS-2/PALSAR-2 による熊本地震に伴う地殻変動

気象庁気象研究所

1. はじめに

2014年5月24日に打ち上げられた ALOS・2/PALSAR-2は、国産のSAR衛星で、異なる二時期 以上の観測データを干渉させその差分を計算することにより、衛星と地表の間の距離変化を検出す ることが可能である。今回、平成28年(2016年)熊本地震について、ALOS・2/PALSAR-2を用い た地震前後の差分干渉解析等を行ったので、以下報告する。

2. 使用デー	-タ
---------	----

DATA1	DATA2	Orbit	Obs.	Mode	Inc.Angle	Figure	Memo
2014.11.14	2016.04.15	South	Left	SM1	33.4°	Fig.15-1	前震のみ
2015.05.17	2016.04.17	North	Right	SM1	51.6°	Fig. 15-2	前震+本震
2016.03.07	2016.04.18	South	Right	SM1	37.3°	Fig. 15-3	前震+本震
2015.02.09	2016.04.18	North	Right	WD2	68.0°	Fig. 15-4	前震+本震
2016.01.26	2016.04.19	North	Left	WD1	46.9°	Fig. 15-5	前震+本震
2015.01.14	2016.04.20	South	Left	SM1	43.3°	Fig. 15-6	前震+本震
2015.12.03	2016.04.21	North	Right	SM2	32.6°	Fig. 15-7	前震+本震
2016.03.29	2016.04.26	North	Right	SM1	43.2°	Fig. 15-8	前震+本震
2016.04.15	2016.04.29	South	Left	SM1	33.0°	Fig. 15-9	本震のみ
2016.04.15	2016.04.29	North	Left	SM1	25.6°	Fig. 15-10	本震のみ
2016.04.16	2016.04.30	North	Right	SM1	19.5°	Fig. 15-11	本震後
2016.04.17	2016.05.01	South	Right	SM1	60.6°	Fig. 15-12	本震後
2016.04.18	2016.05.02	South	Right	SM1	37.2°	Fig. 15-13	本震後

3. 解析結果

2016年4月14日の前震以降に撮像されたALOS-2/PALSAR-2データを含む干渉ペアについて, 以下に解析結果を示す。各々の結果の右図は、2014年4月14日の前震以降に発生したM3以上 の一元化震源について各撮像時間までの震央分布を示した。星印はM6以上の震央で、緑色は4 月16日の本震、水色は4月14日と15日に発生した前震の位置を示す。発震機構解は気象庁が 発表した結果を使用した(震源球(白線)はセントロイドの位置を示す)。図中の赤丸は国土地 理院の電子基準点の位置を示す。

第15図(a) ALOS-2の合成開口レーダーによる地殻変動

Fig.15 (a) Synthetic Aperture Radar (SAR) interferogram obtained from ALOS-2 data.

●前震のみを挟む観測ペアの差分干渉解析結果について

震源域の南西部で最大約 12cm 衛星視線方向伸張, 北西部で最大約 9cm の衛星視線方向短縮の 位相変化が検出された。2つの前震から想定される干渉縞のパターンによれば, 水平方向のズ レは生じているが, 傾斜角度がより低角の方が干渉縞パターンは整合しそうな結果となった。 なお, 基準の位置と深さは一元化震源を使用し, その他は気象庁の発震機構解を基に計算した。



Fig.15-1 差分干渉解析結果(2014年11月14日と2016年4月15日)と矩形断層を仮定した場合の理論干渉縞パターン(仮定したパラメータは以下のとおり。)

緯度	経度	上端深さ	長さ	幅	走向	傾斜	すべり角	すべり量	Mw
32.74°	130.81°	11.4km	19.9km	10.0km	210°	77°	177°	0.63m	6.2
32.70°	130.78°	6.7km	16.0km	8.0km	211°	63°	-178°	0.5m	6.0

第15図(b) つづき Fig.15(b) Continued. ●前震と本震を挟む観測ペアの差分干渉解析結果について

布田川断層帯及び日奈久断層帯に沿って,右横ずれ断層に伴う地殻変動(西側上空の観測で は,断層の北側で衛星視線方向伸張及び南側で短縮,東側上空の観測では,断層の北側で衛星 視線方向短縮及び南側で伸張の位相変化)が顕著に検出された。また,断層帯と考えられる位 相不連続線は,阿蘇山山体の北西側まで及んでいることが分かった。

- ・ 布田川断層帯の北側で,最大約 108cm の衛星視線方向伸張の位相変化が検出された (Fig.15-2)。
- ・ 日奈久断層帯の北西側で,最大約 52cm の衛星視線方向伸張,南東側で 45cm の衛星視線 方向短縮の位相変化が検出された (Fig. 15-2)。
- ・ 布田川断層帯の北側で,最大約 200cm 以上の衛星視線方向伸張,南側で最大 50cm 以上の 衛星視線方向短縮の位相変化が検出された(Fig. 15-3)。
- ・ 布田川断層帯の北側で,最大約 28cm の衛星視線方向短縮,南側で約 12cm の衛星視線方 向伸張の位相変化が検出された(Fig. 15-4)。
- ・ 阿蘇山の山体西側で,最大約 70cm の衛星視線方向伸張,北西側で最大約 24cm の衛星視線方向短縮の位相変化が検出された (Fig. 15-4)。
- ・ 布田川断層帯の北側で,熊本市の東側を中心とした最大約 50cm の衛星視線方向短縮,南 側で,最大約 36cm の衛星視線方向伸張の位相変化が検出された(Fig. 15-5)。
- ・ 阿蘇山の北西側から南西方向にかけて複雑な断層運動または、地すべり等が原因と考えら れる位相不連続帯が広く検出された(Fig. 15-5)
- ・ 布田川断層帯の北側で,最大約 200cm 以上の衛星視線方向伸張,南側で,最大約 36cm の 衛星視線方向短縮の位相変化が検出された(Fig. 15-6)。
- ・ 日奈久断層帯の北西側で,最大約 28cm の衛星視線方向伸張の位相変化が検出された (Fig. 15-6)。
- ・ 布田川断層帯の北側で,最大約 200cm 以上の衛星視線方向伸張,南側で,最大約 48cm の 衛星視線方向短縮の位相変化が検出された(Fig. 15-7)。
- ・ 阿蘇山の北側で地すべりが原因と考えられる複雑な位相変化が検出された(Fig. 15-7)。
- ・ 布田川断層帯の北側で,最大約 200cm 以上の衛星視線方向伸張,南側で,最大約 60cm の 衛星視線方向短縮の位相変化が検出された(Fig. 15-8)。
- ・ 日奈久断層帯の北西側で,最大約 44cm の衛星視線方向伸張の位相変化が検出された (Fig. 15-8)。

第 15 図 (c) つづき Fig.15 (c) Continued.



Fig. 15-3 差分干渉解析結果(2015年2月9日と2016年4月18日)

第15図(d) つづき Fig.15(d) Continued.



Fig. 15-4 差分干渉解析結果(2016年3月7日と2016年4月18日)



Fig. 15-5 差分干渉解析結果(2016年1月26日と2016年4月19日)

第15図(e) つづき Fig.15(e) Continued.



Fig. 15-6 差分干渉解析結果(2015年1月14日と2016年4月20日)



Fig. 15-7 差分干渉解析結果(2015年12月3日と2016年4月21日)

第 15 図 (f) つづき Fig.15 (f) Continued.



Fig. 15-8 差分干渉解析結果(2016年3月29日と2016年4月26日)

- ●本震のみを挟む観測ペアの差分干渉解析結果について
- ・ 布田川断層帯の北側で,最大約 200cm 以上の衛星視線方向伸張,南側で最大約 48cm の衛 星視線方向短縮の位相変化が検出された(Fig. 15-9)。
- ・ 布田川断層帯と日奈久断層帯の交差部分で,約24cmの衛星視線方向伸張の位相変化が検 出された(Fig. 15-9)。
- ・ 阿蘇山の北西側で,最大約24cmの衛星視線方向短縮の位相変化が検出された(Fig. 15-9)。
- ・ 布田川断層帯の北側において, 熊本市付近で約 16cm 阿蘇山の北西側で約 24cm の衛星視 線方向短縮, その間の場所では, 約 120cm 以上の衛星視線方向伸張の位相変化が検出され た(Fig. 15-10)。
- ・ 阿蘇山付近及び山体の西側では,約 60cm の衛星視線方向伸張の位相変化が検出された (Fig. 15-10)。

第15図(g) つづき Fig.15(g) Continued.



Fig. 15-9 差分干渉解析結果(2016年4月15日と2016年4月29日)



Fig. 15-10 差分干渉解析結果(2016年4月15日と2016年4月29日) 第15図(h) つづき

Fig.15 (h) Continued.

- ●本震後に観測されたペアの差分干渉解析結果について
- ・ 布田川断層帯に沿って,最大約 4cm の衛星視線方向伸張の位相変化が検出された(Fig. 15-11)。
- ・ 阿蘇山の北西側において,最大約 4cm の衛星視線方向伸張の位相変化が検出された(Fig. 15-11)。
- ・ 緑川断層帯付近で,最大約 4cm の衛星視線方向伸張の位相変化が検出された。ただし,ノ イズの可能性を含む(Fig. 15-11)。
- ・ 布田川断層帯の北側で,最大約4cmの衛星視線方向短縮の位相変化が検出された。ただし, 周辺の位相変化からノイズの可能性も含む(Fig. 15-12)。
- ・ 布田川断層帯に沿って,最大約 4cm の衛星視線方向伸張の位相変化が検出された(Fig. 15-12)。
- ・ 阿蘇山の北西側において,最大約 4cm の衛星視線方向伸張の位相変化が検出された(Fig. 15-12)。



Fig. 15-11 差分干渉解析結果(2016年4月16日と2016年4月30日)

第15図(i) つづき Fig.15(i) Continued.



Fig. 15-12 差分干渉解析結果(2016年4月17日と2016年5月1日)



Fig. 15-13 差分干渉解析結果(2016年4月18日と2016年5月2日)

第 15 図 (j) つづき Fig.15 (j) Continued.

【謝辞】

本解析で用いた PALSAR-2 データの一部は,国土地理院が中心となって進めている防災利用実証 実験(地震 SAR 解析 WG)に基づいて観測・提供されたものである。また,一部は PIXEL で共有 しているものであり,宇宙航空研究開発機構(JAXA)と東京大学地震研究所との共同研究契約によ り JAXA から提供されたものである。PALSAR-2 に関する原初データの所有権は JAXA にある。 なお解析には,防災科学技術研究所の小澤拓氏により開発された RINC を使用させていただいた。 なお,干渉画像の処理過程においては,国土地理院発行の数値地図 10m メッシュ(標高)を元に した DEHM を使用し,地図の描画には GMT を用いた。関係者各位には,ここに記してお礼申し 上げます。

第15図(k) つづき Fig.15(k) Continued.

熊本地方の地震(14日21時26分M6.5+16日01時25分M7.3) →大分県中部の地震(16日07時11分M5.4(速報M5.3))に対するΔCFFの試算

・熊本地方の地震(M6.5)の断層モデルは国土地理院によるGNSS観測結果から推定されたもの(4月15日調査委員会臨時会資料) ・熊本地方の地震(M7.3)の断層モデルは気象庁による震源過程解析(暫定)から推定されたもの(5月13日調査委員会資料)



熊本地方の地震(14日21時26分M6.5+16日01時25分M7.3) →熊本県阿蘇地方の地震(16日03時55分M5.8)に対するΔCFFの試算

・熊本地方の地震(M6.5)の断層モデルは国土地理院によるGNSS観測結果から推定されたもの(4月15日調査委員会臨時会資料) ・熊本地方の地震(M7.3)の断層モデルは気象庁による震源過程解析(暫定)から推定されたもの(5月13日調査委員会資料)

→M5.8の気象庁自動初動解の以下2面について、震源深さ10kmで△CFFを計算

←気象庁自動初動解



第 16 図 (a) 静的応力変化 (Δ CFF) Fig.16 (a) Changes in static stress (Δ CFF).

熊本地方の地震(14日21時26分M6.5+16日01時25分M7.3) →日奈久断層帯日奈久区間に対するΔCFFの試算 32/29.7/1×130^{-32.8/8} 5)の断層モデルは国土地理院によるCNSS第3914年間から推定されたすの 32/29.7/1×130^{-32.8/8} 31/2^{8/8} 31

・熊本地方の地震(M6.5)の断層モデルは国土地理院によるGNSS観測結果から推定されたもの (4月15日調査委員会臨時会資料)

・熊本地方の地震(M7.3)の断層モデルは気象庁による震源過程解析(暫定)から推定されたもの(5月13日調査委員会資料)

→付近で発生した地震(2005/06/03 04:16 M4.8 D11km)の気象庁初動解の以下2面について、 震源深さ10kmで∆CFFを計算

【参考】日奈久断層帯日奈久区間→走向N39E,上端の深さ0km,傾斜高角北西傾斜,長さ40km, 幅11-18km(平成25年2月1日調査委員会資料)

気象庁初動解→ STR DIP SLIP AIM PLG NP1 220 63'-170' P 80' 25' NP2 126' 81' -27' T 176' 12' N:226 Score 97' N 289' 62'

> (10E-6) Friction: 0.4

dip B1 rake -27

30

断層面解2(126,81,-27)

断層面解1(220,63,-170)





断層面解1(223,74,-173)





第16図(b) つづき Fig.16(b) Continued.

熊本地震(周辺活断層等への影響)

- •4月16日の本震(M7.3)の気象庁震源過程解析結果による断層モデル及び4月14日の前震(M6.5)の国土地 理院による断層モデルを用いて、周辺活断層等におけるΔCFFを試算した。
- ・対象とする活断層の断層面は地震動予測地図の強震動予測のための断層モデルのパラメータ(簡便な評価対象活断層等を除く)を参照し、深さ10kmで計算した。



No	活断層帯名称等	起震断層	活動区間等	地震後経過率	△CFF試算結果
1	布田川·日奈久断層帯	布田川断層帯	宇土区間	不明	促進域(3E-4程度)~抑制域
2	布田川·日奈久断層帯	布田川断層帯	宇土半島北岸区間	不明	促進域(1E-5程度)~抑制域
3	布田川·日奈久断層帯	日奈久断層帯	日奈久区間	0.2-2.3	促進域(2E-4程度)~抑制域
4	布田川·日奈久断層帯	日奈久断層帯	八代海区間	0.1-1.5	促進域(2E-6~6E-7程度)
5	緑川断層帯			不明	促進域(5E-6程度)~抑制域
6	人吉盆地南縁断層			0.9以下	抑制域
7	出水断層帯			0.3-0.9	促進域(6E-7程度)~抑制域
8	阿蘇外輪南麓断層群			—	促進域(2E-5程度)~抑制域
9	鶴木場断層帯			—	抑制域
10	国見岳断層帯			—	抑制域
11	水俣断層帯			—	促進域(2E-7程度)
12	別府-万年山断層帯	野稲岳-万年山断層帯		0.4-1.0	促進域(1E-6程度)~抑制域
13	別府-万年山断層帯	崩平山-亀石山断層帯		0.2以下	促進域(7E-7程度)~抑制域
14	別府-万年山断層帯	大分平野-由布院断層帯	東部	0.5-1.0	促進域(6E-7程度)~抑制域
15	別府-万年山断層帯	大分平野-由布院断層帯	西部	—	促進域(6E-7程度)~抑制域
16	別府−万年山断層帯	別府湾一日出生断層帯	東部	0.2-0.3	促進域(9E-7~2E-7程度)
17	別府-万年山断層帯	別府湾-日出生断層帯	西部	0.06-0.6	促進域(8E-7程度)~抑制域
18	雲仙断層群		北部	不明	促進域(1E-6~3E-8程度)
19	雲仙断層群		南東部	不明	促進域(5E-6~2E-7程度)
20	雲仙断層群		南西部北部	0.2-1.0	促進域(2E-7~ 4E-8程度)
21	雲仙断層群		南西部南部	不明	促進域(1E-7程度)~抑制域
22	佐賀平野北縁断層帯			不明	促進域(1E-6程度)~抑制域
23	水縄断層帯			0.1	抑制域
24	警固断層帯		南東部	0.6-1.4	促進域(2E-7程度)
25	甑断層帯		上甑島北東沖区間	不明	促進域(4E-7~2E-7程度)
26	甑断層帯		甑区間(北東部分)	不明	概ね抑制域
27	甑断層帯		甑区間(南西部分)	不明	促進域(6E-8~3E-8程度)
28	市来断層帯		市来区間	不明	抑制域
29	市来断層帯		甑海峡中央区間	不明	促進域(3E-8~8E-9程度)
30	市来断層帯		吹上浜西方沖区間	不明	促進域(1E-8~7E-9程度)
31	中央構造線断層帯	石鎚山脈北縁西部一伊予灘	伊予灘区間	0.1-0.5	促進域(3E-7~1E-7程度)
32	南海トラフ地震想定震源域		日向灘付近	_	促進域(2E-7程度)~抑制域
33	南海トラフ地震想定震源域		高知県付近	—	促進域(1E-8程度)~抑制域

第16図(c) つづき Fig.16(c) Continued.

1) 布田川断層帯宇土区間(長さ22km、走向243.2°、傾 斜角60°、すべり角-160°:南東側隆起の上下成分を 伴う。横ずれ成分は不明)



3) 日奈久断層帯日奈久区間(長さ44km、走向218.6°、 傾斜角60°、すべり角-160°:南東側隆起の上下成分 を伴う右横ずれ断層)



促進域(2E-4程度)~抑制域

5)緑川断層帯(長さ38km、走向250.8°、傾斜角 80°、すべり角-90°:南側隆起の正断層 横ずれ 成分を含む)



促進域(5E-6程度)~抑制域

促進域(1E-5程度)~抑制域

起の上下成分を伴う右横ずれ断層)

4) 日奈久断層帯八代海区間(長さ34km、走向 227.3°、傾斜角90°、すべり角-160°:南東側隆

促進域(2E-6~6E-7程度)

6) 人吉盆地南縁断層(長さ24km、走向238°、傾斜

角60°、すべり角-90°:南東側隆起の正断層)

抑制域

/ MEARY /

wille - 727.5 do : 81

I wear I I

(106 A) Friction () A

P MEARS #

2) 布田川断層帯宇土半島北岸区間(長さ32km、走 向236.1°、傾斜角60°、すべり角-160°:南東側隆 起の上下成分を伴う。横ずれ成分は不明。)

7)出水断層帯(長さ22km、走向227.6°、傾斜角 45°、すべり角-160°:南東側隆起の正断層で右 横ずれ変位を伴う) 10 0

90 °

50 / MEARY / 抑制域

11)水俣断層帯・南東端トレース(長さ8km、走向 220°、傾斜角60°、すべり角-90°:南東側隆起の 正断層)



促進域(6E-7程度)~抑制域



8) 阿蘇外輪南麓断層群(長さ14km、走向250°、傾 斜角60°、すべり角-90°:南側隆起の正断層) 断層パラメータは産総研活断層データベースを参照して仮定



10)国見岳断層帯(椎葉活動セグメント)(長さ13km、走

Friction BA

ophe (14) do 41 rate -100

9) 鶴木場断層帯(長さ11km、走向240°、傾斜角 向240°、傾斜角90°、すべり角-180°:右横ずれ断 、すべり角-180°:右横ずれ断層) 断層パラメータは産総研活断層データベースを参照 層) 断層パラメータは産総研活断層データベースを参照

a Micard II

抑制域

12)野稲岳-万年山断層帯(長さ34km、走向90°、 傾斜角60°、すべり角-90°:北側隆起の正断層)



第16図(d) つづき Fig.16 (d) Continued. 13)崩平山-亀石山断層帯(長さ38km、走向276.2°、 傾斜角60°、すべり角-90°:主として南側が相対的 に隆起する正断層)



15)大分平野-由布院断層帯西部(長さ18km、走向 261.5°、傾斜角60°、すべり角-90°:南側が相対的 に隆起する正断層)



17)別府湾-日出生断層帯西部(長さ36km、走向 90°、傾斜角60°、すべり角-90°:主として北側 が相対的に隆起する正断層)



14)大分平野-由布院断層帯東部(長さ32km、走向 281.9°、傾斜角60°、すべり角-90°:南側が相対的 に隆起する正断層)



16)別府湾-日出生断層帯東部(長さ48km、走向 85°、傾斜角60°、すべり角-90°:主として北側 が相対的に隆起する正断層)



18) 雲仙断層群北部(長さ32km、走向86.2°、傾斜角 80°、すべり角-90°:主として北側隆起の正断層)



第16図(e) つづき Fig.16(e) Continued.

19) 雲仙断層群南東部(長さ26km、走向279°、傾 斜角60°、すべり角-90°:南側隆起の正断層)



促進域(5E-6~ 2E-7程度)

21)雲仙断層群南西部南部(長さ26km、走向75.8°、傾 斜角60°、すべり角-90°:主として北側隆起の正断 層)



23)水縄断層帯(長さ30km、走向266°、傾斜角60°、 すべり角-90°:南側隆起の正断層)



20)雲仙断層群南西部北部(長さ34km、走向266.6°、 傾斜角60°、すべり角-90°:主として南側隆起の正断 層)



促進域(2E-7~ 4E-8程度)

22) 佐賀平野北縁断層帯(長さ42km、走向78.7°、 傾斜角70°、すべり角-90°:北側隆起の正断層)



促進域(1E-6程度)~抑制域

24)警固断層帯南東部(長さ32km、走向136.0°、傾 斜角90°、すべり角0°:左横ずれ断層(南西側隆 起成分を伴う))



25) 甑断層帯上甑島北東沖区間(長さ22km、走向 211.3°、傾斜角75°、すべり角180°:右横ずれ 主体の断層)



27) 甑断層帯甑区間(南西部分)(長さ30km、走向 230.6°、傾斜角130(南西傾斜50)°、すべり角-90°: 北西側隆起の正断層)



促進域(6E-8~3E-8程度)

29)市来断層帯甑海峡中央区間(長さ42km、走向 31.5°、傾斜角75°、すべり角-90°:北西側隆起 の正断層(横ずれ成分不明))





第16図(f) つづき Fig.16 (f) Continued.

(10r-8) dente de 1 de 60 celle de

26) 甑断層帯甑区間(北東部分)(長さ12km、走向96.1°、

傾斜角60°、すべり角-70°:左横ずれを伴う北側隆起

の正断層主体)

e Micana II. 概ね抑制域

28)市来断層帯市来区間(長さ30km、走向90.4°、傾斜 角60°、すべり角-90°:北側隆起の正断層 右横ず れ成分を含む)





30)市来断層帯吹上浜西方沖区間(長さ24km、走向 223.0°、傾斜角75°、すべり角-90°:南東側隆起 の正断層(横ずれ成分不明))

31)中央構造線断層带·石鎚山脈北縁西部一伊予 灘·伊予灘区間(長さ56km、走向243°、傾斜角 90°、すべり角180°:右横ずれ断層・上下方向の ずれを伴う)



33)南海トラフ地震想定震源域・高知県付近(走向 250°、傾斜角20°、すべり角117°)



促進域(1E-8程度)~抑制域

32) 南海トラフ地震想定震源域・日向灘付近(走向 250°、傾斜角20°、すべり角117°) 断層パラメータはAndo (1975)を使用 日向灘付近の概ねのフィリピン海プレート上面で計算



