

2016年熊本地震の発生過程について

Generating Process of the 2016 Kumamoto Earthquake

飯尾能久

Yoshihisa IIO

Synopsis

The 2016 Kumamoto earthquake is a large intraplate earthquake that broke major active faults. The central Kyushu district was evaluated as the region of a high earthquake occurrence potential. After the occurrences of Mj6.5 and Mj6.4, it seems that seismic activities decreased, however, Mj7.3 occurred about 28 hours after the Mj6.5. Detailed analyses are still under progress, but numeral faults could be related to these seismic sequences.

キーワード: 内陸地震, 活断層, 前震, 下部地殻, ひずみ集中帯

Keywords: intraplate earthquake, active fault, foreshock, lower crust, high strain-rate region

1. はじめに

2016年熊本地震は九州の中部で発生した内陸地震である。4月14日21時26分のMj(気象庁マグニチュード) 6.5, 4月15日0時3分のMj 6.4に続いて, 4月16日1時25分にはMj 7.3の地震が発生した。Mj 6.5とMj 7.3では, 熊本県益城町などで震度7が観測されたのを始め, 九州の中部を中心に大きな揺れに見舞われ, 甚大な被害が発生した。布田川および日奈久断層帯に沿って長さ30 km以上にわたって地表地震断層が現れ, 2 mを越える横ずれも認められた。Mj 7.3の後, 地震活動は, 熊本付近だけでなく阿蘇地方から大分地方まで拡大した(地震調査委員会, 2016a)。

地震調査委員会は, 九州地方を三つに分けて, それぞれの地域全体における活断層の活動履歴や地震活動に基づいて地震長期評価を行い, 2013年に公表していた(地震調査委員会, 2013a)。地震調査委員会は発生した大地震の評価も行うが, Mj 6.5およびMj 6.4の地震発生後の4月15日に行われた評価においては, Mj 6.5の地震を本震(一連の地震活動の中での最大の地震)とする本震-余震型の地震活動として評価した(地震調査委員会, 2016b)。気象庁は, 4月15日15時30分の第6報において, 余震の確率評価により, 震度6弱以上の揺れとなる余震が発生する可能性は今後3

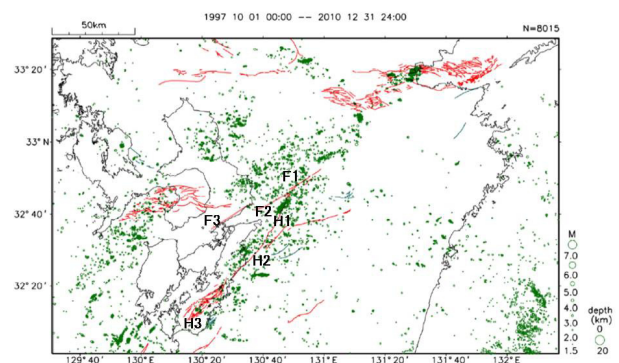


Fig.1 Distributions of active faults and earthquake epicenters in the central Kyushu district (Earthquake Research committee, 2013a). Futagawa fault (F1: Futagawa, F2: Uto, F3: Hinagu divisions). Hinagu fault (H1: Takano-Shirahara, H2: Hinagu, H3: Yatsushirokai divisions). Green dots (epicenters by JMA).

2. 九州中部地域の地学的背景

2.1 活断層

Fig.1に, 今回の地震で一部が活動したと考えられる布田川断層帯と日奈久断層帯を含む, 九州中部付近の活断層の分布と地震の分布を示す。布田川断層

帯を含む九州中部地域では正断層（上下方向の最大圧縮応力による縦ずれ断層）が多く分布し、応力場も調和的であることが知られている(Matsumoto et al., 2015). 地域評価では、九州中部、南部に関して、M6.8以上の地震発生確率(今後30年)を、それぞれ18-27%、7-18%と評価している(地震調査委員会,2013a).

Table 1 Evaluations of Futagawa and Hinagu faults (Earthquake Research committee, 2013a).

	平均変位速度 (/千年)	最新活動時期	平均活動間隔	30年確率 % (固有規模)
布田川断層帯				
布田川区間	0.2m (上下) 0.1-0.3m(水平)	6900-2200年前	8100-26000年	ほぼ0-0.9%
日奈久断層帯				
高野-白幡区間	0.04-0.2m (上下)	1600-1200年前	不明	ほぼ0%
日奈久区間	0.2-0.5m(上下) 0.7m(右横ずれ)	8400-2000年前	3600-11000年	ほぼ0-6%
八代海区間	不明	1700-900年前	1100-6400年	ほぼ0-16%

Table 1に2013年の布田川断層帯と日奈久断層帯の個別の長期評価結果を示した(地震調査委員会,2013a). 2002年に行われた評価においては布田川・日奈久断層帯として一括して評価されていたが(地震調査委員会,2013b), 宇土区間以西が活断層として認定されたことや活動履歴から別々の断層帯として評価されることとなった. 個別の区間で見ると、日奈久断層帯の日奈久および八代海区間の30年確率の最大値(最悪ケース)は日本の他の活断層と比べても非常に高い部類となっているが、今回の地震で一部が活動したと考えられる高野-白幡区間はほぼ0%と低い値になっている. 布田川区間は0-0.9%となっている. また、二つの断層帯を別々に評価しているが、それらが連動する可能性についても指摘されている(地震調査委員会,2013a).

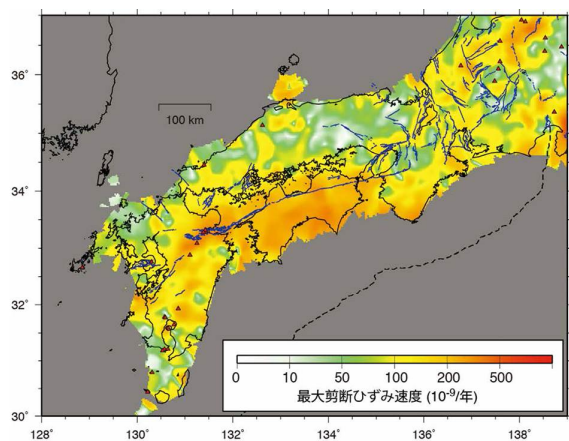


Fig.2 Crustal deformation in the Southwest Japan (Nishimura, 2016). Maximum shear strain rates at GNSS continuous stations averaged over April, 2005 to December, 2009.

2.2 地震活動と地殻変動

九州中部地域の地震活動について、Fig.1に体感しないような微小地震の分布を示した. この地域では、M7クラスの歴史地震や被害地震はあまり知られていなかった. 小さな地震については、布田川断層帯と日奈久断層帯の周辺の広い地域で活発であった. Fig.2に、西南日本の最大せん断ひずみ速度分布を示す(西村, 2016). 別府湾から八代海付近は周辺に比べてひずみの増加速度が大きい、ひずみ集中帯であることが地震前に指摘されていた(西村, 2016).

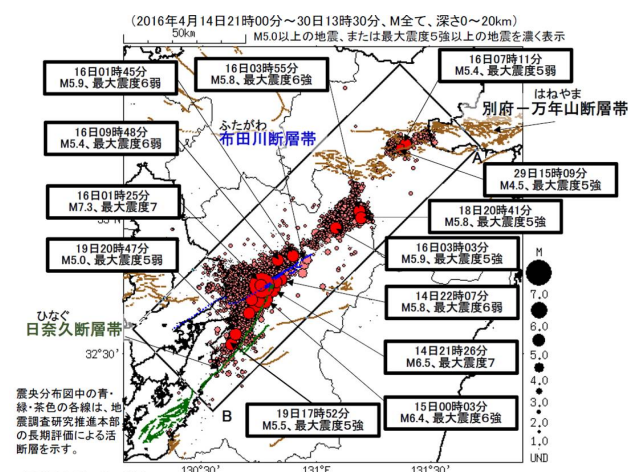


Fig.3 Seismic activities related to the Kumamoto earthquake (JMA, 2016b).

震央分布図の四角形領域内の時空間分布図(A-B投影)

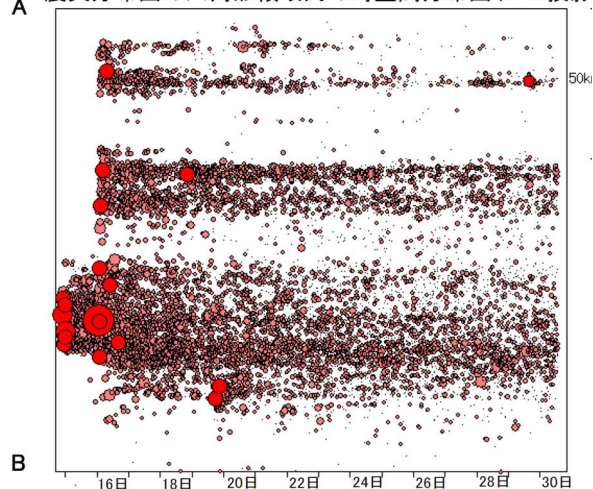


Fig.4 Time series of seismic activities related to the Kumamoto earthquake in the rectangle in Fig. 3 (JMA, 2016).

3. 熊本地震

3.1 地震活動

Fig.3に、熊本県から大分県にかけての4月中の地震活動を示す(気象庁, 2016b). 布田川断層帯から日奈久断層帯にかけて、Mが5以上の地震が多数発生している。三つのMが6以上の地震は、2つの断層帯がぶつかる付近 (Fig.1のH1付近) に震央が決まっている。その北東側に少しすき間をおいて、熊本・大分県境付近と別府付近に活動が見られる。これらの活動でもMjが5以上の地震が発生して、最大震度が5強から6強の強い揺れが生じている。



Fig.5 Surface ruptures related to the Kumamoto earthquake (Kumahara et al, 2016).

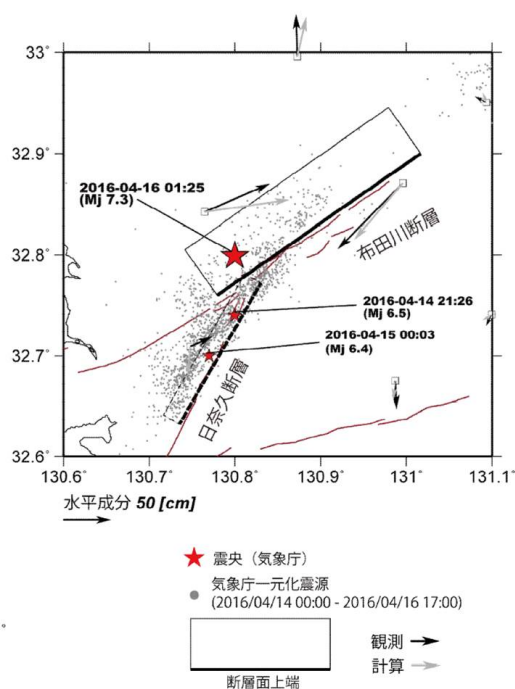


Fig.6 Fault model of the Kumamoto earthquake (Geographical Survey Institute, 2016).

Fig.4に時系列を示した。地震活動は、布田川断層帯から日奈久断層帯が分岐する付近で4月14日に始まり、4月16日のMj 7.3の本震の後、大きく広がった。この図では、本震付近、阿蘇カルデラ付近と別府付近の活動域の間にすき間があることがよく分かる。本震付近の活動は、時間とともに北東および南西側にやや拡大し、南西側に拡大した地域ではMj 5以上の地震も起こっている。

3.2 断層運動

余震分布から、Mj 7.3の本震では布田川断層帯布田川区間から日奈久断層帯高野-白幡区間の北半分程度にわたる範囲において、断層が活動したと考えられるが、地表地震断層の分布もそれと調和的である(熊原康博・他, 2016). Fig.5に、大学合同地震断層調査グループによる地表地震断層の分布を示す。地震前に知られていた布田川断層帯および日奈久断層帯に沿って主に地震断層が現れている。

分布図の四角形領域内の時空間分布図(A-B投影)

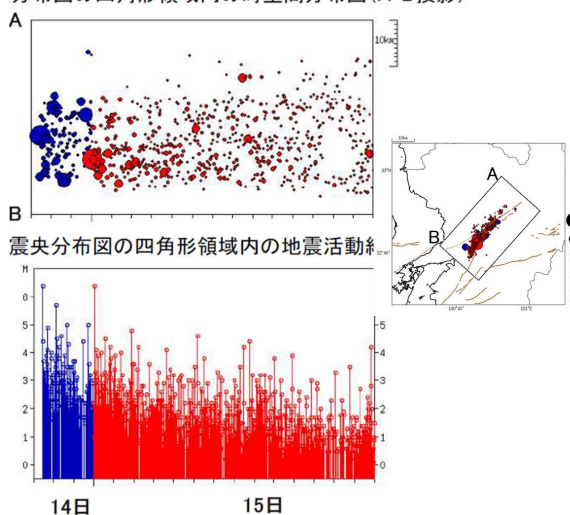


Fig.7 Time series of foreshocks of the Kumamoto earthquake (JMA, 2016a).

Fig.6に、GNSSデータのみを用いた本震の断層モデルを示す(国土地理院, 2016). このモデルでは、地表地震断層が布田川断層沿いに顕著であったことから、それに沿った1枚の長方形の断層のみが仮定されている。計算値(灰色矢印)は観測値(黒矢印)をほぼ説明しているが、日奈久断層付近の計算値は南南西を向いており実測値を説明出来ておらず、本震では布田川断層だけではなく、日奈久断層も活動したことを示唆している。一方、点線は、4月14日の二つのM6クラスの地震の変動をモデル化したもので、これらの地震による変動はこの図には示されていないが、

日奈久断層帯に沿った断層モデルでよく説明される。

3.3 前震

Fig.7に、本震直前までの前震の時系列を示す。Mj 6.5の後M5クラスを含む地震が続発したが、Mj 6.4の発生後は、地震の数は、通常の余震の減衰に見られるように時間とともに減少し、M5クラスの地震も起こらなくなっていたが、16日の1時25分に本震が発生した。

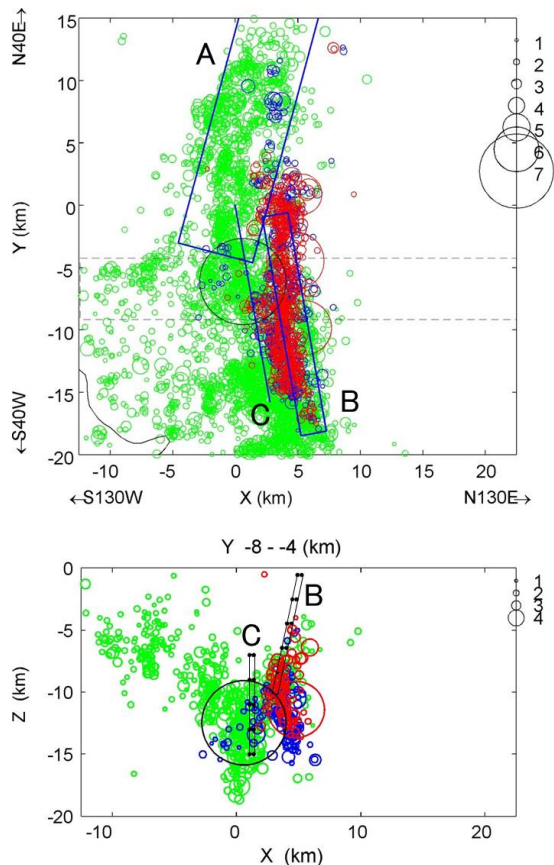


Fig.8 Hypocentral distributions of related to the Kumamoto earthquake, determined by JMA. Only the data in April, 2016 were plotted. Red circles: before Mj6.4. Blue circles: before the main shock. Green circles: aftershocks. A and B: fault models of the main shock and Mj6.5 and Mj6.4 in Fig.6. C: fault model of the initial rupture fault.

このデータなどにに基づき、4月15日の地震調査委員会においてMj 6.5の地震の評価が行われた(地震調査委員会, 2016b). その際に、気象庁から、日本内陸の浅発地震において、前震-本震の例(本震前30日以内に発生したものを前震と定義)が報告されている(明田川・福満, 2011). Mj6以上に限ると、1896年陸羽地震(秋田県内陸南部)のMj6.4とMj7.2, 1918年長野県

北部のMj6.1とMj6.5, 1943年鳥取県東部のMj6.2とMj6.2, 1949年の栃木県北部のMj6.2とMj6.4, 2011年福島県浜通りのMj6.1, Mj6.0とM7.0の5例が挙げられている。これらの前震は、2011年福島県浜通り以外は、いずれも前日に発生している。本震がMj7以上は、1896年陸羽地震と2011年福島県浜通りの2例のみである。陸羽地震については地震カタログは十分ではないけれども、この二つの地震の前震の時系列は、Fig.7のように時間の経過とともに地震数が減衰する、余震の時系列に似たものではないと考えられる。日本の内陸ではこの約100年余りの間には、M6クラスの地震の後にその余震が時間とともに減衰している中で、30日以内にM7以上の地震が起こった例はなかったということになる。

3.4 なぜさらに大きな地震が起こったのか？

それでは、熊本ではどうしてM7を越える大きな地震が起こったのだろうか？この問題などを明らかにするために、全国の大学の関係者などが合同観測チームを作り、高精度のデータを取得した(九州大学・他, 2016). 試験的な解析によると、余震分布は複雑であり、特に布田川断層帯と日奈久断層帯のぶつかる付近から日奈久側では、数枚の断層が推定されている。Fig.8に気象庁による震源データを用いて付近の地震分布を示した。大きな赤丸がM6クラスの前震、黒丸が本震である。点線で囲まれた部分のみの深さ分布を下側の断面図に示している。赤丸がMj6.4の直前まで、青丸がそれ以降本震の直前までの活動であるが、これらから、この付近では、前震と本震の断層面は、少なくともその震源付近では異なっていることがよく分かる。つまり、本震時に日奈久断層の深部においては、前震の断層とは別の、ほぼ平行する断層 (Fig.8のC) が活動したと考えられる。

内陸地震の発生過程に関して、断層の下部延長のゆっくりすべりによる、断層への応力集中のために大地震が起こるというモデルが提唱されている(飯尾, 2009). もし下部延長が平行して2列ある場合は、直上の2列の断層に応力集中を起こすことになる。例えば、2004年の新潟県中越地震では、本震と最大余震の断層は平行した異なる断層だった。

Fig.8の断面図において青丸で示されているように、本震の発生前に、活動域の最深部付近において、それまでの活動域(赤丸の集中域)から直交方向に離れた広い範囲で地震が起こっている。日本の内陸で起こる大地震の余震分布は、一般的に、お椀型の下限分布を示し、最深部付近でこのような幅広い分布を示すことは稀である(Iio et al., 2009). Fig.8の震源分布は、下部延長が複数存在する可能性を示唆している。熊本地震では、下部延長が二つ活動し

ていたために、単純な本震-余震系列ではなく、最初の地震活動が減衰しつつある中で二つ目の大きな地震が起こった可能性が考えられる。

4. おわりに

本稿では、熊本地震の概要を紹介し、M6クラスの地震の後にさらに大きな地震が発生した原因について、平行して複数の断層とその深部延長が重要な役割を果たした可能性を指摘した。

今後の地震活動の評価に関して、最初のMj6.5の地震を本震として余震の確率評価を行った点に関連して、地震調査委員会は、大地震後の地震活動の見通しに関する情報のあり方についての報告書をまとめ、地震活動の見通しについての呼びかけの内容を変更している(地震調査委員会, 2016c)。大地震発生直後は、最初の大地震と同程度以上の地震が起こる可能性を念頭において注意喚起をすること、1週間後から余震の確率評価に基づいた見通しも加えることが主な変更点である。また、周辺の活断層の存在についても指摘することとなっている。これらは、現在のところ、本震の発生前に前震を識別することが困難であり、大きな地震が発生した後、同程度の地震が発生する場合は、2〜3日以内が多いからである。

ただし、3.3節で述べたように、日本の内陸においてMj6以上の大地震の震源域において30日以内に同程度以上の地震が起こる例は少ない。一方、より長期では、1943年の鳥取地震(Mj 7.2)の約半年前にM6クラスの地震が起こった例がある。兵庫県南部地震では約80年前に震源付近でM6クラスの地震が起こっている。

一般的には、内陸の大地震は単発であり、引き続き大地震が起こりやすいと考えられる隣接領域で大地震が発生することは稀である。余震分布の特徴から隣接領域への影響を推定できる可能性も指摘されているが(Iio et al., 2009)、両端の問題も含めて、内陸大地震の詳細な発生過程の全体像を明らかにする必要がある。

謝 辞

本研究では、北海道大学、弘前大学、東北大学、東京大学、名古屋大学、京都大学、高知大学、九州大学、鹿児島大学、防災科学技術研究所、産業技術総合研究所、国土地理院、青森県、東京都、静岡県、神奈川県温泉地学研究所、横浜市、海洋研究開発機構及び気象庁によるデータを用いて、気象庁・文部科学省が協力してデータを処理した一元化震源データを使用した。本研究は文部科学省の科学研究費補

助金16H06298「2016年熊本地震と関連する活動に関する総合調査」(代表:清水 洋)、26109002、および「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画」の支援を受けた。

参考文献

- 明田川 保・福満 修一郎(2011):「震度5弱を観測するなどの顕著な地震が前震であった事例について」験震時報,74,17-28.
- 飯尾能久(2009):『内陸地震はなぜ起こるのか?』(近未来社) p. 83-96.
- 気象庁(2016a):「平成28年(2016年)熊本地震」について(第6報)
<http://www.jma.go.jp/jma/press/1604/15g/201604151530.html>.
- 気象庁(2016b):「平成28年(2016年)熊本地震」について(第37報)
<http://www.jma.go.jp/jma/press/1604/30a/201604301530.html>.
- 九州大学大学院理学研究院, 京都大学防災研究所, 2016 年熊本地震合同地震観測グループ(2016):「2016 年熊本地震の活動について(序報)」地震予知連絡会会報 96, 620-625.
- 熊原康博, 大学合同地震断層調査グループ(2016):「2016 年熊本地震の地表地震断層の分布とその特徴」第211回地震予知連絡会(2016年05月18日)議事概要
<http://cais.gsi.go.jp/YOCHIREN/activity/211/image211/044.pdf>.
- 国土地理院(2016):「平成28年4月16日の熊本県熊本地方の地震(Mj7.3)震源断層モデル(暫定)」
<http://www.gsi.go.jp/common/000139798.pdf>.
- 西村卓也(2016):「西南日本のひずみ集中帯」ないふる 107,4-5.
- 地震調査委員会「布田川断層帯・日奈久断層帯の評価」(2013b):
http://www.jishin.go.jp/main/chousa/katsudansou_pdf/93_futagawa_hinagu_2.pdf.
- 地震調査委員会(2013a):「九州地域の活断層の長期評価(第一版)」
http://jishin.go.jp/main/chousa/13feb_chi_kyushu/k_honbun.pdf.
- 地震調査委員会「平成28 年(2016 年)熊本地震の評価」(2016a):
http://www.static.jishin.go.jp/resource/monthly/2016/2016_kumamoto_3.pdf.
- 地震調査委員会(2016b):「平成28 年(2016 年)熊本地震の評価」

http://www.static.jishin.go.jp/resource/monthly/2016/2016_kumamoto.pdf.
地震調査委員会 (2016c): 「大地震後の地震活動の見通しに関する情報のあり方」 報告書
http://www.jishin.go.jp/main/yosoku_info/gaiyo.pdf.
Iio et al., (2009): Precise aftershock distribution of the 2004 Mid-Niigata prefecture earthquake—Implication for a very weak region in the lower crust, *Phys. Earth Planet. Inter.*, 172, 345-352.

Matsumoto et al. (2015): Spatial heterogeneities in tectonic stress in Kyushu, Japan and their relation to a major shear zone. *Earth, Planets and Space* 67,172.DOI 10.1186/s40623-015-0342-8.

(論文受理日：2017年6月13日)