

## 2016年4月の熊本地震発生に関わる 観測データの地質学的解析

荒牧 昭二郎<sup>1</sup>・古澤 二<sup>1</sup>・長谷 義隆<sup>2</sup>・田中 伸廣<sup>1</sup>

(1 熊本地盤研究会 〒862-0913 熊本県熊本市東区尾ノ上2-11-18)

(2 天草市立御所浦白亜紀資料館 〒866-0313 熊本県天草市御所浦町御所浦4310-5)

### Geological analysis of observation data related to the April 2016 Kumamoto earthquakes

Shojiro Aramaki<sup>1</sup>, Wakatsu Furusawa<sup>1</sup>, Yoshitaka Hase<sup>2</sup> and Nobuhiro Tanaka<sup>1</sup>

(1 Kumamoto Ground-water and Geology Research Group, 2-11-18 Onoue, Higashi-ku, Kumamoto City, Kumamoto 862-0913, Japan)

(2 Goshoura Cretaceous Museum, 4310-5 Goshoura, Goshoura Town, Amakusa City, Kumamoto 866-0313, Japan)

#### Abstract

In April 2016, the Kumamoto earthquakes of magnitudes 6.5 and 7.3 occurred on the 14th and 16th, respectively, in Mashiki Town, Kamimashiki-gun, Kumamoto Prefecture. Using the observation data related to the Kumamoto earthquakes derived from the following sources: Daichi-2 interferometric SAR; revision of control point results due to the Kumamoto earthquakes; surface faults in the northwestern Aso caldera; epicenter distribution of the Kumamoto earthquakes; surface earthquake faults; and, decoding the drilling columns of the related area by the authors, an attempt was made to clarify the actual conditions of the Kumamoto earthquakes as the Hinagu fault earthquake and the Futagawa fault earthquake. In this paper, we mention that the above observation data indicates that the Futagawa fault earthquake was caused by a conjugate fault.

キーワード：熊本地震, 布田川断層, 日奈久断層, 共役断層

#### はじめに

熊本地震は九州の中央部, 熊本市の北東部から南西部にかけて知られる布田川断層および日奈久断層で破壊が生じて起こった地震である。2016年4月14日21時26分に北緯 $32^{\circ}44.5'$ , 東経 $130^{\circ}48.5'$ (注: 熊本県上益城郡御船町高木付近)でマグニチュード(M)6.5の地震が発生し(気象庁, 2016a), 震央からほぼ北5kmの益城町で最大震度7が観測された。その後, 1日余りを過ぎた16日の1時25分に北緯 $32^{\circ}45.2'$ , 東経 $130^{\circ}45.7'$ (注: 熊本県上益城郡嘉島町下六嘉付

近)でM7.3の地震が起こり(気象庁, 2016b), 北東6kmの益城町は再度最大震度7に見舞われた。観測史上初めて同じ益城町で相次いで2度も震度7を観測した(図1)。

気象庁は初め, 14日の地震を「本震」としていたが, 16日にマグニチュードのより大きい地震が起こったことから, 14日を「前震」, 16日を「本震」と呼んだ。しかし, 地質学的にはそれぞれ異なる断層で生じた地震であることから, 「前震」と「本震」という表現では, 地震の発生現象のみを示すに留まり, 熊本地震発生の本質につい

ては充分理解されないのではないかと考える。なお、前震とは、その震源域での前兆的な地震活動であり、本震よりマグニチュードは小さく、本震の直前で震源の近傍であるとされるが、熊本地震の場合、地震の発生が異なる断層で起こっていることから、前震の定義には合致しないのではないかと考えられ、本論ではいずれも本震と捉えて14日の日奈久断層で生じた地震を「日奈久断層地震」、16日に布田川断層で生じた地震を「布田川断層地震」と呼ぶことにする。

これまでに公開されている熊本地震に関する観測データのうち、本論では主に「だいち2号干渉SAR」(藤原ほか, 2016), 「熊本地震に伴う基準点成果の改定」(大滝ほか, 2016), 阿蘇カルデラ北西部における地表断層(九州活構造研究会, 1989; 中田・今泉, 2002), 熊本地震の震央分布(気象庁, 2016a, 2016b), 地表地震断層(地質調査総合センター, 2016)を用い、さらに筆者らによる関連地域のボーリング試料の解釈により、熊本地震の「日奈久断層地震」と「布田川断層地震」発生実態の解明を試みる。本論では、上記の観測データは「布田川断層地震」が共役断層の地震であることを示している点について言及する。

### 熊本地震の地質学的背景

熊本地域は九州の中央より少し西にあり、北東部には阿蘇山、九重連山、西部には金峰山のいずれも火山があり、さらに西には雲仙火山がある。これに対し熊本地域の南東部～南部には古い時代(古生代・中生代)の堆積岩類・火成岩類・変成岩類が分布する。この地質の違いは熊本から大分にかけての大分-熊本構造線(矢部, 1925)により明瞭に識別され、布田川断層はこの構造線の存在を反映していると考えられる。なお、大分-熊本構造線については四国の中央構造線の延長であるかどうかの議論はあるが、「新しい中央構造線」(Neo MTL: 磯崎ほか, 2010)の動きに関連していると思われる。これはフィリピン海プレートが北西から西北西方向へユーラシアプレートの下へ沈み込むときに中央構造線に作用する右横ズレのせん断応力により、約6Maに動き始め(鎌田・小玉, 1993)、現在まで多くの地震を引き起こしてきたとする考えを生んでいる。なお、熊本

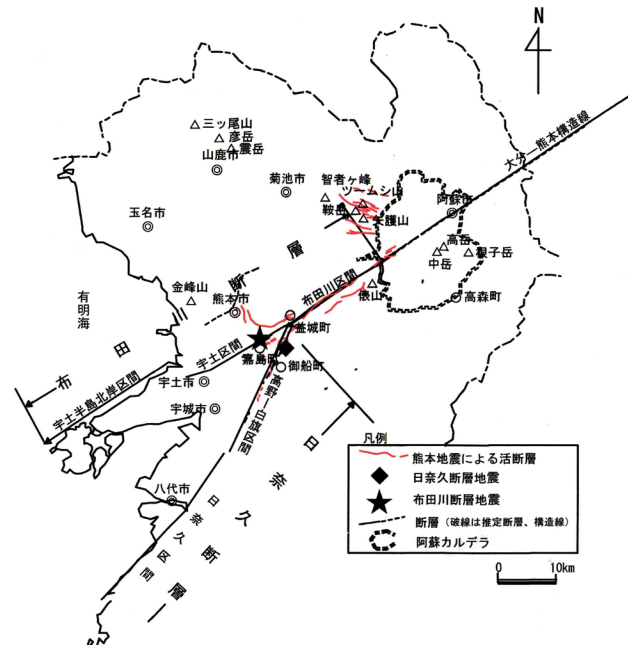


図1. 熊本地震で地表面に現れた断層と布田川断層および日奈久断層の震央の位置を示す

地盤研究会(2019)は布田川断層を境に北側と南側では基盤岩類(先阿蘇火山岩類以前の地層群: 変成岩類, 花こう岩類, 中生層, 古第三紀層)の表面の標高には大津町および宇土市で約1000m, 益城町で約500mもの差が生じ、北側が下がっていることを示した。

熊本地域の南西には八代海があり、その海岸線の一部の北北東～南南西に連なる崖が日奈久断層の断層崖を示している。日奈久断層は布田川断層とは反時計廻りに約30°の角度で交合している。なお、日奈久断層の発生時期は大分-熊本構造線の活動より後で、火山フロントの移動や沖縄トラフの拡大に伴う約1Maと推定されている(大橋ほか, 2020)。

日奈久断層は北から高野-白旗区間、日奈久区間、八代海区間に3区分されており(産業技術総合研究所, 2016)、2016年4月14日の熊本地震の日奈久断層地震は高野-白旗区間で起こり、この地震に誘発されて布田川断層で布田川断層地震が生じた可能性があると考えられる。なお、この可能性については別に論じる予定である。

「図1」に熊本地震で地表面に現れた日奈久断層地震(◆)と布田川断層地震(★)の震央と周辺の構造線や断層を示す。

## 熊本地震の観測データから捉えられる地表部の動き

これまでに公表されている熊本地震に関わる観測データについて検証する。

1) ツームシ山断層（阿蘇カルデラ北西部の地表断層）（国土地理院，2016）などの活動

熊本地域の北東部に熊本地震の時に生じた地表の動きがツームシ山付近に観測されている。この動きをだいち2号干渉SARによる熊本地震で生じた小変位の地表断層群の抽出（藤原ほか，2016）によって検証する。

### － 1 SAR 干渉画像

だいち2号によるSAR干渉画像では布田川断層の画像とツームシ山断層付近の画像が交差している（図2）。

地図上に示された布田川断層とツームシ山付近の地表断層の交差角度はほぼ $60^\circ$ と認められることから、これらは布田川断層が共役断層であることを示唆するものとみられる。なお、阿蘇カルデラ北西部の地表断層（ツームシ山断層を含む）は活撓曲を示すとみられ、その活撓曲の模式構造を図3に示す（国土地理院，2016）。この図に示されているように逆断層を境にして上盤には正断層群、下盤には逆断層群が現れる。

－ 2 阿蘇カルデラ北西部の地表断層（ここではツームシ山断層より広く捉え、以下「阿蘇西麓断層群」と呼ぶことにする）の変位

改測および高度地域基準点測量によって得られた各点の変動を図4に示す（大滝ほか：2016）。図4の左が水平成分、右が上下成分の変動をそれぞれ示す。今回の観測データにより、布田川断層およびその共役断層による地表面の動きは次のように観察される。すなわち布田川断層は右横ズレ断層であるから阿蘇西麓断層群から推定した断層にはほぼ $60^\circ$ の角度の力がかかることになり、この力を受けた地盤が地震で上昇している（図4の右図）ことからこの断層は北東に傾斜している逆断層であることが解る。阿蘇西麓断層群から推定される断層の南西側の地盤（下盤）は本来なら沈下するはずであるが図4の右図では上昇していることを示している。これは地表面の地盤の軟らかさにより図3のような活撓曲が生じていることを示している。

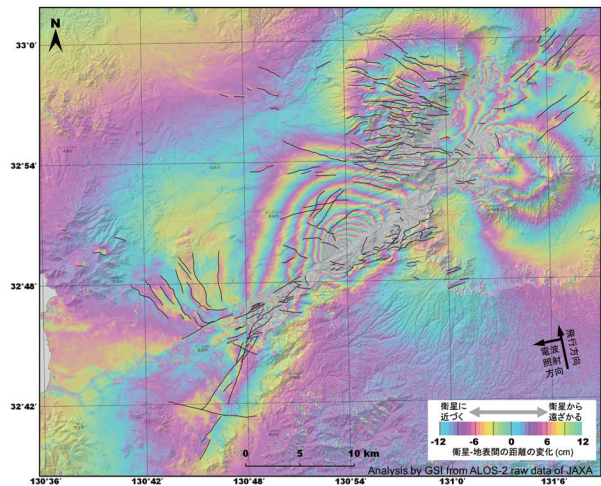
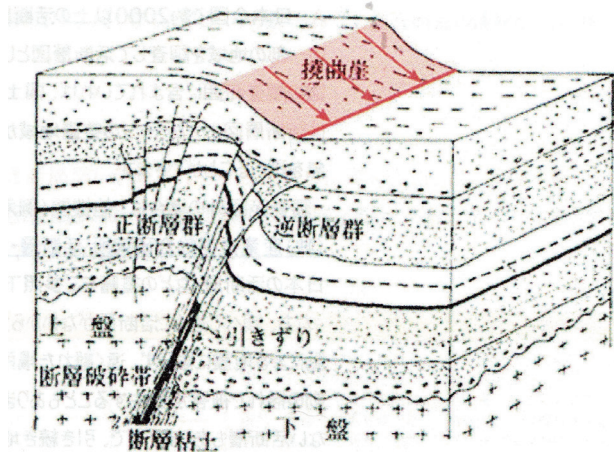


図2. だいち2号によるSAR干渉像（藤原ほか，2016）



活撓曲の模式図（岡田，1979を一部改変）

図3. 活撓曲の模式構造図（国土地理院，2016）

横ズレ断層によって生じる活撓曲を理解するために、簡単な装置での実験を試みた。図5-aは厚さ5 cmと厚さ2 cmで重なる紙粘土の層を示し、下部の紙粘土は2枚の亚克力板によって左右に分かれている。下部紙粘土が亚克力板を境として左右が逆向きに横に動いて、上部の紙粘土の層に変形をあたえると上部の紙粘土は切れ目を生じず、活撓曲というべき変形を起こす（図5-b）。このように下部の岩盤に断層によるズレが生じても、その上部の軟質な物質は切れ目を生じず、ひずみによる変形を起こすことが推察される。

阿蘇西麓断層群の活撓曲から推定した断層の北東側の地盤（上盤）は、本来なら下盤の潜り込みにより南西へ移動することになるが、逆に北西～

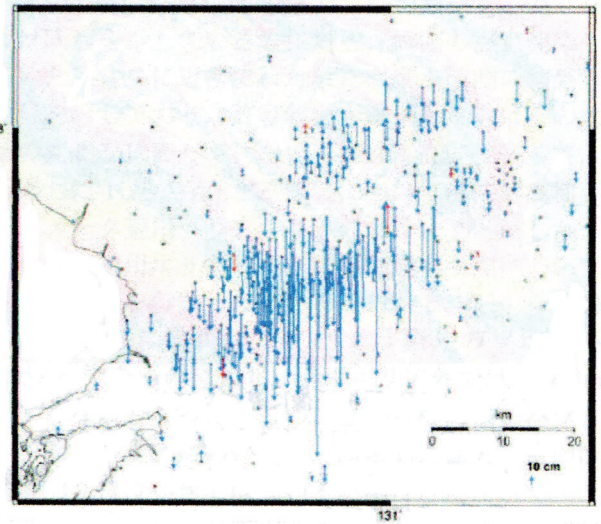
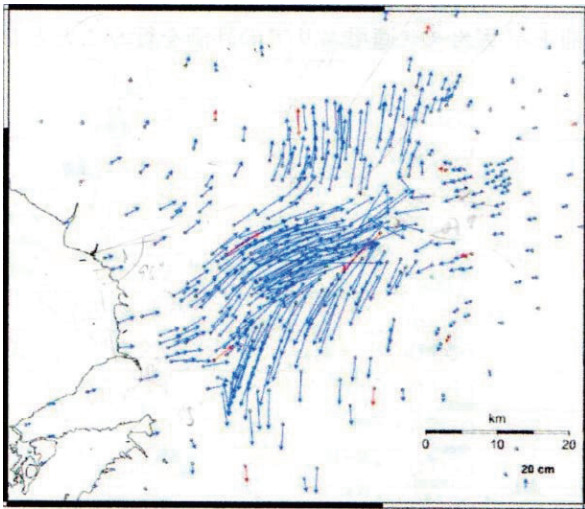


図4. 改測および高度地域基準点測量によって得られた各点の変動（大滝ほか，2016）  
 左：水平成分 右：上下成分

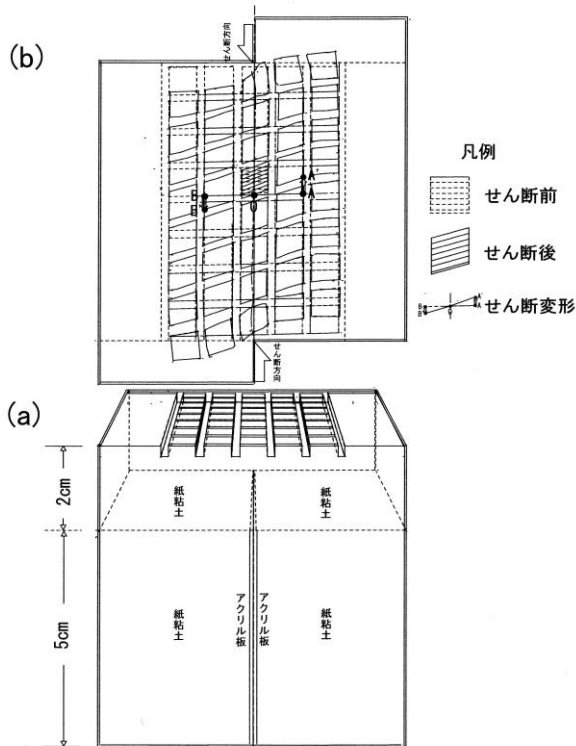


図5. 活撓曲をイメージする実験  
 (a) 下部装置の移動前  
 (b) 下部装置移動後の表面の変形

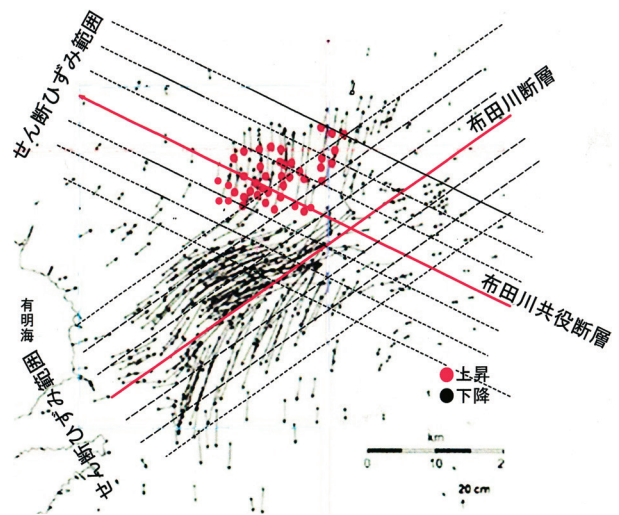


図6. 三角点の変位（大滝ほか，2016）と布田川断層地震時のせん断ひずみの範囲

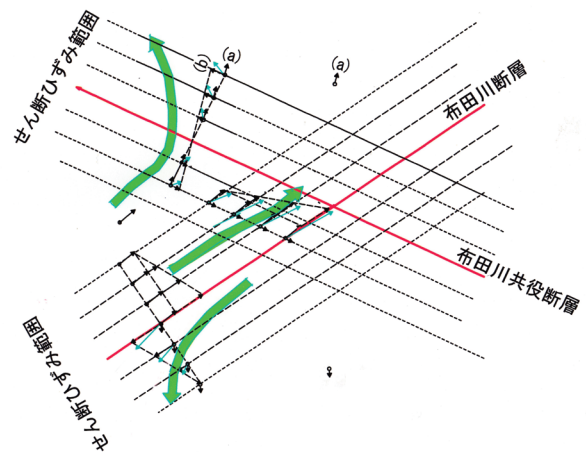


図7. 布田川断層地震時のせん断ひずみの合成図

北方向へ移動している。これは布田川断層の共役断層に生じた活撓曲の地盤では北方向への動きに反時計廻りの円を描いた移動が見られたことになる（図6）。これは活撓曲を起こした地盤の左横ズレ運動による変形が作用したものとみられる。図7では図6に基づき、布田川共役断層に関わる

土塊の変位 (a) に断層に沿って生じたせん断ひずみ(b)を考慮して地表の移動方向を表示した(太線矢印).

変位方向は布田川断層の北東方向の右ズレと共役断層の北西方向への左ズレとの合力により生じるものである. 解析の結果, 水平変位方向は北側, 変位量は 60 ~ 100 cm であり, また上下成分は上方向, その変位量は 40 ~ 80 cm で (大滝ほか, 2016), これらは活撓曲上盤の変位状況を示す.

2) 1930年から1934年にかけて熊本地域で起こった地震

その震央の位置を図8に示す. この図から布田川断層に沿う震央のトレンドとそれにほぼ60度で交差する布田川断層の共役断層が生じていたことが読み取れる.

3) 共役断層に伴う変位

布田川断層の共役断層としての動きを反映している地層のズレの状況を, 山鹿市から菊池市に至るボーリング柱状図により示すことができる (図9, 図10). 図10から阿蘇-4火砕流堆積物以

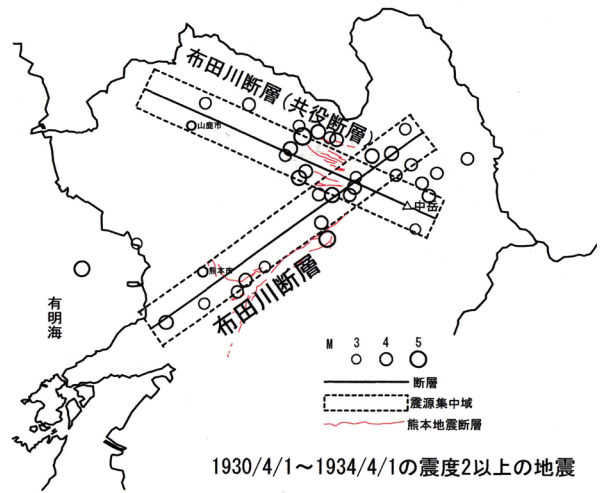


図8. 熊本地域における1930~1934年の地震

下の地層に標高の違いが生じていることが読み取れる.

おわりに

2016年4月に生じた熊本地震は震度7の地震が1日を置いて2度も発生した (M6.5とM7.3) ことで, これまでの地震発生とは異なっていたと捉えられただけではなく, 日本における地震の発

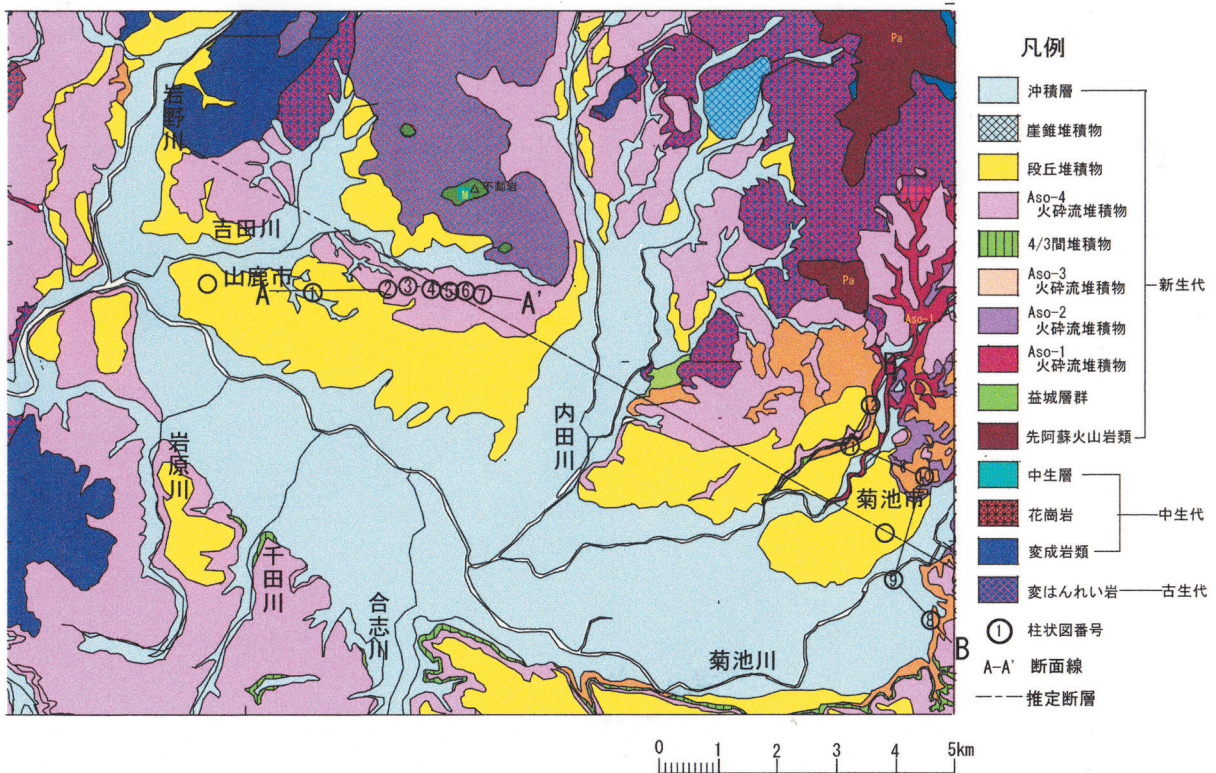


図9. 山鹿地域の地質図 (熊本県, 1982; 1993)

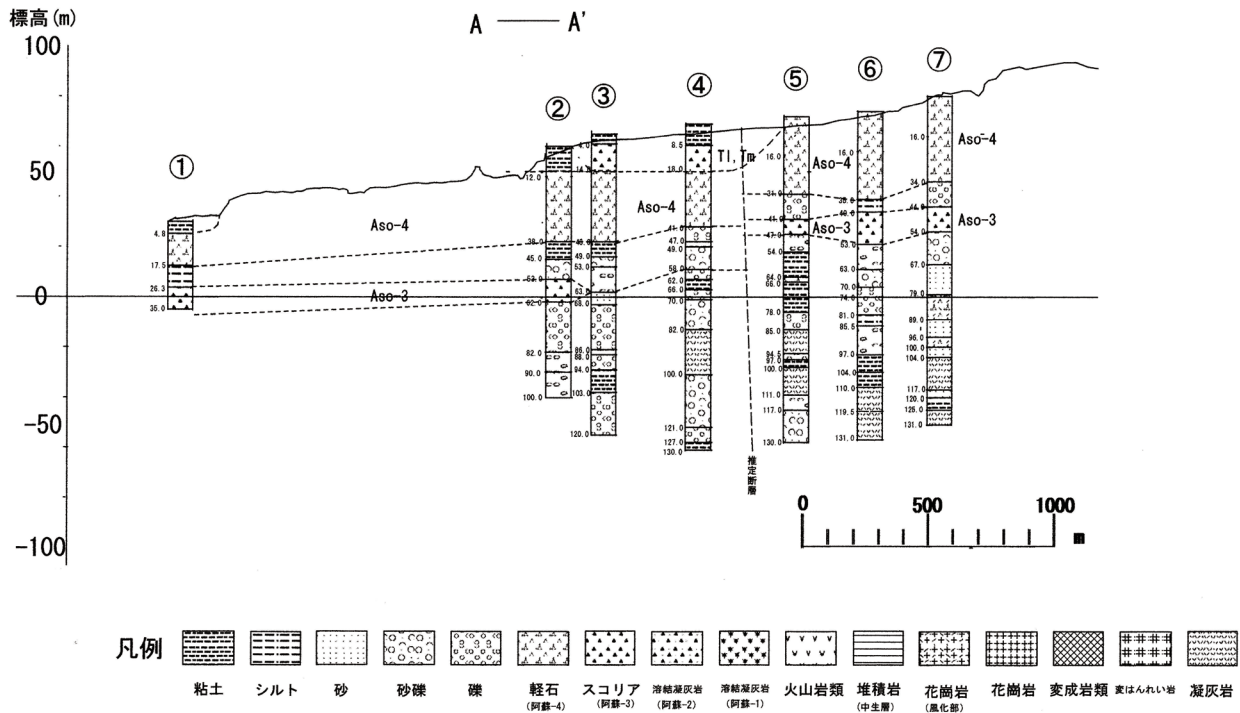


図 10-1. ボーリング柱状図 (図 9 の A-A' 断面)

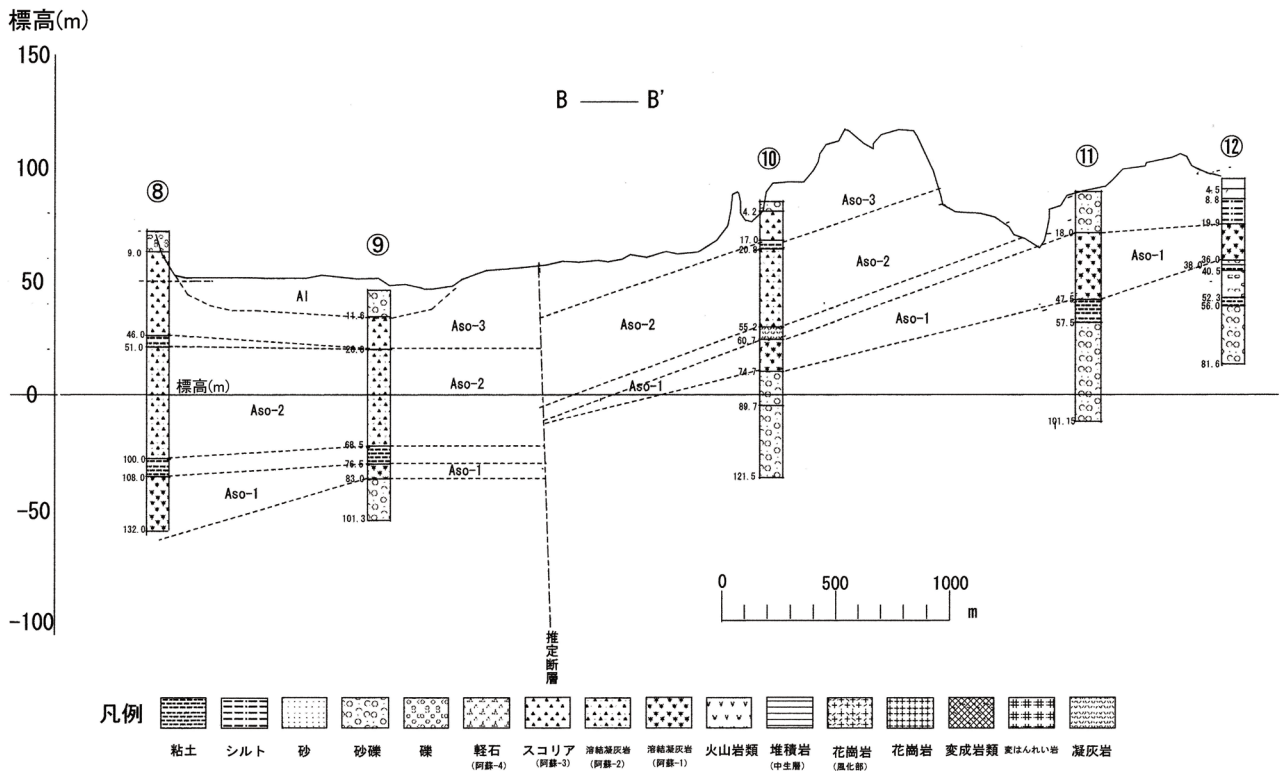


図 10-2. ボーリング柱状図 (図 9 の B-B' 断面)

生に対する考え方を大きく変えることになった。その結果、気象庁は熊本地震を前震と本震という捉え方をし、その後発生する地震の後には、「1週間くらいは同程度の地震が発生する可能性がある」として注意を促すようになった。しかし、この状況は地震の発生事象を示しているのみで、熊本地震の発生必然性を解析した上での対応とは言い難い。

筆者らは熊本地域の地下地質を基礎知識として、熊本地震発生メカニズムを地盤工学的に解析することを試みる。その第一歩として、本論では熊本地震の観測データから布田川断層地震が共役断層の地震であることを論じた。なお、この見解に基づき日奈久断層地震が布田川断層地震を誘発した可能性について別稿で論じる予定である。

#### 引用文献

地質調査総合センター (2016): 2016年熊本地震に伴って出現した地表地震断層。

<https://www.gsj.jp/hazards/earthquake/kumamoto2016/kumamoto20160513-1.html>

藤原 智・矢来博司・小林知勝・森下 遊・中埜貴元・宇根 寛・宮原伐折羅・仲井博之・三浦優司・上芝晴香・攪上泰亮 (2016): だいち2号干渉 SAR による熊本地震で生じた小変位の地表断層群の抽出。国土地理院時報, 128, 147-162. <https://www.gsi.go.jp/common/000147739.pdf>

磯崎行雄・丸山茂徳・青木一勝・中間隆晃・宮下敦・大藤茂 (2010): 日本列島の地体構造区分再訪 — 太平洋型 (都城型) 造山帯構成单元および境界の分類・定義 — 地学雑誌, 119 (6), 999-1053. [https://www.jstage.jst.go.jp/article/jgeography/119/6/119\\_6\\_999/\\_pdf](https://www.jstage.jst.go.jp/article/jgeography/119/6/119_6_999/_pdf)

鎌田浩毅・小玉一人 (1993): 火山構造型陥没地としての豊肥火山地域とその形成テクトニクス — 西南日本弧・琉球弧会合部におけるフィリピン海プレートの斜め沈み込み開始が引き起こした3現象 —。地質学論集 41, 129-148.

気象庁 (2016a): 平成 28 年 4 月 14 日 21 時 26 分頃の熊本県熊本地方の地震について。報道発表。 <https://www.jma.go.jp>

気象庁 (2016b): 「平成 28 年 (2016 年) 熊本地震について」 (第 7 報)。報道発表。 <https://www.jma.go.jp>

気象庁 (2022): 地震データベース検索。 <https://www.data.jma.go.jp/svd/eqdb/data/shindo/index.html>

国土地理院 (2022): 布田川・日奈久断層帯の活断層図「阿蘇」「熊本 改訂版」2万5千分の1活断層図「阿蘇」の概要。

[https://www.gsi.go.jp/bousaichiri/afm\\_kouhyou201710\\_aso.html](https://www.gsi.go.jp/bousaichiri/afm_kouhyou201710_aso.html)

熊本地盤研究会 (2019): 熊本地域の地質断面図 — 地下地質と熊本地震 —。熊日出版, 114 p.

熊本県 (1982): 土地分類基本調査「菊池」5万分の1。国土調査, 49p.

熊本県 (1993): 土地分類基本調査「山鹿・荒尾・大牟田・久留米」5万分の1。国土調査, 43p.

九州活構造研究会 (1989): 九州の活構造。東京大学出版会, 553p.

中田 高・今泉俊文 (編) (2002): 活断層詳細デジタルマップ, 東京大学出版会, 69pp.

大橋聖和・大坪 誠・松本 聡・小林健太・佐藤活志・西村卓也 (2020): 九州中部の第四紀テクトニクスと 2016 年熊本地震 — 地質 - 地震 - 測地の複眼的視点から —。地学雑誌, 129 (4), 565-589.

大滝 修・井上武久・植田 勲・山下達也・山口和典・白井宏樹・鈴木 啓・三木原香乃 (2016): 熊本地震に伴う基準点成果の改定。国土地理院時報, 128, 177-187. <https://www.gsi.go.jp/common/000147212.pdf>

矢部長克 (1925): リヒトホーフエン氏の長崎三角地域。地質学雑誌, 32 (381), 201-209.

(2022年12月20日受理)