

サイエンスネット

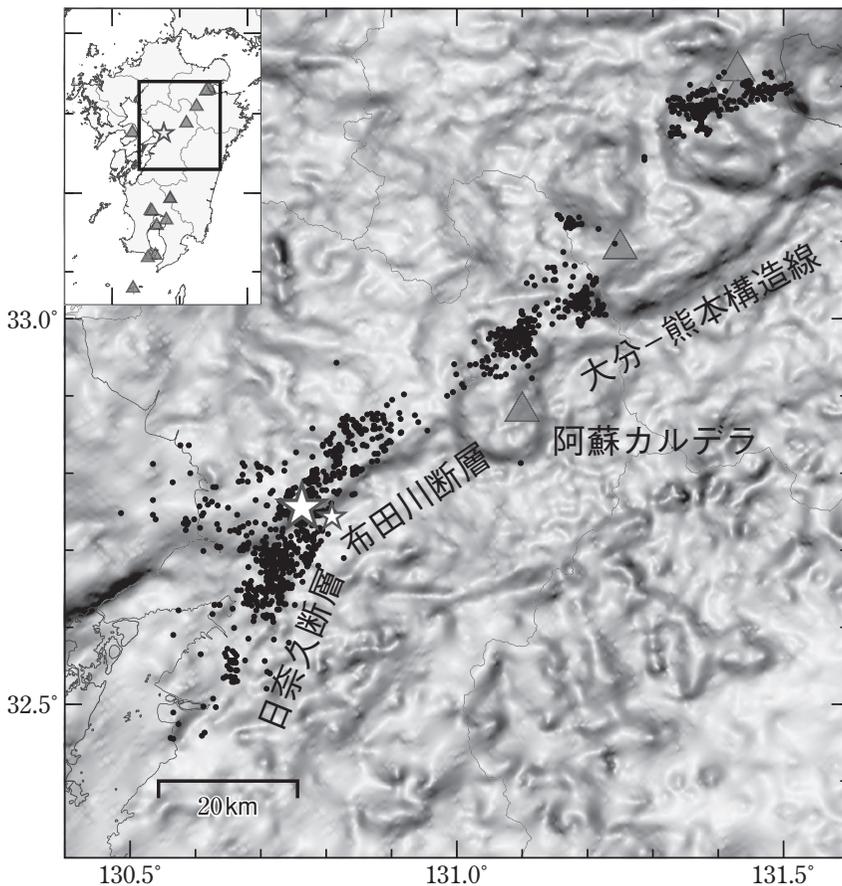
物(化)生(地)...

数研出版株式会社

SCIENCE NET

Contents

- ▶ 特集 1 / 土屋雄一郎…2 ▶ 特集 3 / 円井 哲志…10
 ▶ 特集 2 / 八木 勇治…6 ▶ コラム / 高見 一利…14



2016年熊本地震の前震・余震分布とブーゲー異常の空間変化量

筑波大学准教授・八木勇治

図の黒丸は熊本地震の前震・余震分布を示し、大きい星は本震、小さい星は気象庁マグニチュード $M_{JMA}6.5$ の前震の震央、三角は火山を表している。九州を南北に切るように続いている色の濃い線状の領域(地下構造が大きく変化する領域)が大分-熊本構造線に対応する。布田川断層はこの構造線上に位置する。

(→特集 2 p.6~9)

2016年熊本で発生した一連の地震活動

筑波大学准教授 八木勇治

1. はじめに

2016年4月14日に気象庁マグニチュード $M_{JMA}6.5$ の地震が熊本県を襲った。その2日後には、同じ地域で $M_{JMA}7.3$ の大地震が発生し、強い地震動によって多くの尊い人命が失われた。地震が発生した場所は、活断層の調査等から大地震が発生するリスクが指摘されている地域であった。複雑な地下構造をもつ地域で発生したがゆえに、複雑な地震活動が観測された。過去に例がないとの報道もあるが、一つ一つの現象は、何度も観測されているよく知られた現象であることがわかっている。

2. 熊本地震が発生した領域の特徴

九州地方では、南海トラフから琉球海溝に沿ってフィリピン海プレートが年間約5cmのスピードで九州の下に沈み込んでいる地域である。この沈み込みに伴い九州の地下のマントルに水が供給されることによってマグマが形成され阿蘇や霧島等で活発な火山活動が観測されている。地下の構造を反映しているブーゲー異常の空間変化量(勾配)を見ると、九州を南北に切るように地下構造が変化していることが確認できる(表紙の図)。変化している領域は、大分-熊本構造線とよばれ、この構造線の北東端は中央構造線に接続していることがわかっている。この構造線が形成された後に、阿蘇山の活動が活発になったため、構造線は阿蘇カルデラによって分断されており、結果として複雑な地下構造になっている。

熊本地震の周辺には、布田川-日奈久断層帯が存

在することが知られており、地震前に活断層調査が行われていた。調査によって、これらの活断層の動く確率は高い部類であることがわかっていた。つまり、一連の地震が発生した領域は、事前に地震リスクが高いと指摘されていた。

3. 型にはまった前震活動

すべての地震に特徴的な前震活動が確認されているわけではないが、特徴的な前震活動が観測される場合もあることが最近の研究により明らかになりつつある。例えば、沈み込み帯のプレート境界で発生する巨大地震では、地震前に発生した前震の活動域(前震域)が震源に向かって拡大していく様子が捉えられるケースがある。2011年東北地方太平洋沖地震では、2日前に震源に向かって前震域が拡大する様子が観測され、2014年チリ地震では、数週間前に同様の現象が観測されている。このような前震域の拡大は、断層面でのゆっくりすべりの拡大を反映しており、巨大地震の発生に深く関与していると考えられている。

内陸地震の場合は、複数の断層の接合部付近で前震活動が発生し、本震の破壊開始点である震源も複数の断層の接合部付近に位置することが知られている。例えば、阪神淡路大震災を引き起こした1995年兵庫県南部地震では、地表断層として現れた野島断層と神戸の下を通っている断層の接合部付近で前震活動が発生したことが知られている。今回の熊本地震の前震活動も、日奈久断層帯と布田川断層帯の接合部付近で発生し、その後、接合部付近から本震の破壊が開始した。前震が発生する領域がどのように変化していったかを図1に示す。時間とともに、前震が発生している領域

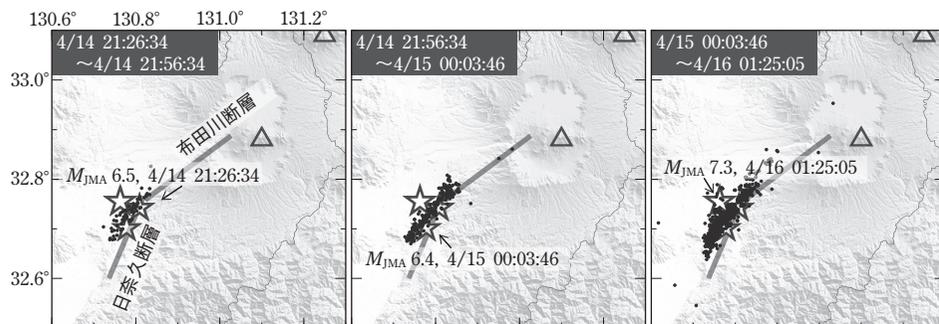


図1 前震の震央の時間変化。時間とともに活動領域が拡大している。

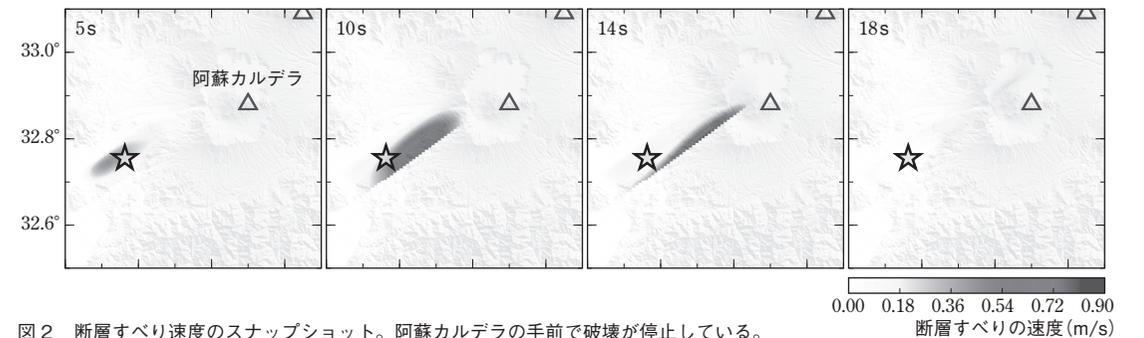


図2 断層すべり速度のスナップショット。阿蘇カルデラの手前で破壊が停止している。

が拡大しているようにも見える。このような前震域の拡大の背後に隠れている現象は現時点では定かではないが、断層接合部分の構造の複雑性の影響を受けた不連続な破壊現象を見ているのであろう。

気をつけなくてはならないのは、このような前震活動が必ず巨大・大地震の前に観測されるわけではなく、このような地震活動が発生したからと言って必ず巨大・大地震が発生するわけではないことである。巨大・大地震が発生するリスクが高い領域で、破壊が開始する兆候のような現象が観測できるようになったというのが今の地震学の現状である。最新の研究によって明らかになってきた型にはまったケースに関しては、巨大・大地震発生前に不確実性を含めて社会に説明することに意義があると筆者は信じている。

4. 本震

観測された地震波を解析して得られた断層すべりの時間変化について図2に示す。本震の破壊は、余震活動が活発であった日奈久断層帯と布田川断層帯の接合部分で開始した。まず破壊は南西側に伝播している。このときに日奈久断層帯の一部を破壊したと考えられる。その後、破壊は北東方向に伝播していく。このとき、布田川断層帯を破壊していったと考えられる。断層の破壊は地表にも達し、布田川断層帯で4mを超える大きな断層すべりが観測された。破壊は、阿蘇カルデラの南西端付近で急減速し、その後停止した。破壊の伝播スピードは約2.0km/sであり、内陸地殻で発生する地震の伝播速度である2.4~3.0km/sと比較すると有意に遅い。これに対応するように、破壊の継続時間は約18秒で、この規模の地震にしては長い継続時間である。この遅い破壊伝播速度は、複雑な断層帯で発生したがゆえに、ス

ムーズに破壊伝播しなかったことを反映している。断層のずれ方に着目すると、震源から南西側では、ほぼ純粋な右横ずれ成分しか含まれていないが、北東側に向かうに従い、右横ずれ成分に正断層成分が混ざっていくようになる。

熊本地震の破壊は阿蘇カルデラの周辺で停止している。一般に破壊が停止した領域周辺では、せん断応力が増加するために地震活動が活性化するのが一般的であるが、熊本地震の場合、本震の破壊が停止した領域周辺でほとんど余震が発生していない(図3)。これは、本震の破壊伝播の停止と余震活動が阿蘇山に強く影響を受けているためだと考えられる。一般に、破壊という現象は温度によってコントロールされる。地震は基本的にガラスが割れるような脆性破壊であるが、温度が高くなると延性変形が卓越し、脆性破壊が抑制される。つまり、本震によって上昇したせん断応力は、余震活動ではなく、ゆっくりとした延性変形によって解放されたと考えられる。

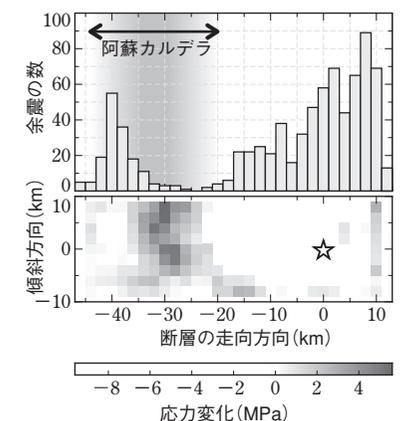


図3 断層の走向に沿った方向の余震数のヒストグラムと本震の断層すべりに伴うせん断応力の変化。阿蘇カルデラの中心ではせん断応力が上昇したが余震はほとんど発生していない。

5. 揺れが強い領域を理解する

5.1 指向性の影響

地震が開始すると、震源から断層面に沿って破壊が伝播していく。この破壊領域の拡大によって、ドブプレー効果と同じような現象が発生する。破壊が近づいてくる方向では、各点が放出する波が重なって観測されるために、揺れの継続時間は短くなるが振幅は大きくなる。破壊が遠ざかる方向では、波が時間遅れで足し合わされるために揺れが継続する時間が長くなり、振幅は小さくなる。この効果はディレクティビティ(指向性)とよばれる。この指向性が顕著になる場合とそうでない場合がある。これを理解するために、断層運動とP波、S波の振幅分布の関係(放射パターン)を復習しておこう。

5.2 断層運動とP波・S波の振幅分布

関東で深さ40km以上の地震が発生した場合、震源の直上から離れた地点の震度が大きい場合がある。震度計が置かれている場所の地盤が緩いためと解釈する人もいるが、この解釈は別の地震の震度を説明できない場合が多い。実のところ、これらの観測事実は断層運動を反映したP波とS波の振幅分布を反映している場合が多い。

図4に横ずれ断層と、P波・S波の振幅分布の図を示す。S波の振幅はP波の振幅より5倍程度大きいことに注意をする必要があるが、どちらの波の振幅にも異方向性があることがわかる。

P波に着目すると、震源から押される方向に揺れる領域と、震源に向かって引かれる方向に揺れる領域があり、これらの領域は二つの直交する節面で分けられている。この節面の一つが断層面に対応する。もう一方の節面は補助面となる。この押し引きの分

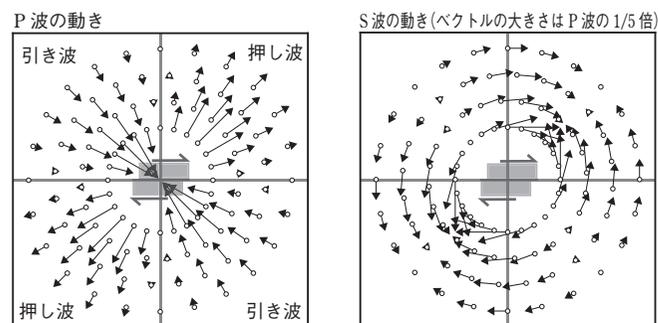


図4 横ずれ断層で観測されるP波とS波の振動方向

布を、震源を中心とした球に投影すると、4つの領域に分割された球となる。この球を下半球等積投影法で2次元に表現したものを震源メカニズム解もしくは発震機構解とよぶ。この震源メカニズム解は地震波解析によって求めることができ、この解から可能性のある2面の断層面とすべり方向の情報が得られる。実際の断層面とすべり方向を求めるには、余震分布や指向性の情報等を参照する必要がある。

S波に着目すると、断層面と垂直の方向では断層すべりと同じ方向に動いている。その一方で断層面の延長上では、回転を防ぐような方向に動く。S波の振幅は断層面と垂直な方向と断層面の延長上で大きくなる。

5.3 横ずれ断層は厄介

時々、東北の内陸の活断層で発生するプレート内の大地震(いわゆる直下型地震)の被害と西日本で発生する直下型地震の被害を比べて、西日本の方が被害が大きいといった議論がある。この議論は感覚的なものであるが、阪神淡路大震災を引き起こした1995年兵庫県南部地震や2016年熊本地震と、東北地方で発生した同規模の地震、例えば、2008年岩手・宮城内陸地震とを比較してみると、地震動による建造物や建物の被害は前者の方が大きいことが知られている。興味深いことに、感覚的に語られるこの内容は、先に説明したディレクティビティとS波の振幅分布で説明することができる。

東北地方と西日本で発生する地震の震源メカニズム解を比較してみると、東北地方では主に逆断層が動く地震が、西日本では横ずれ断層が動く地震が卓越している。逆断層の破壊が水平方向に伝播していく場合、ディレクティビティの影響によって顕著に

振幅が増幅される領域のS波の振幅は小さな値をもつので、振幅は増幅されにくい。一方で、横ずれ断層の破壊が水平方向に伝播していく場合、ディレクティビティの影響によって顕著に振幅が増幅される領域のS波の振幅は大きな値をもつために、理不尽なほど大きな振幅をもつS波が破壊伝播方向で観測される(図5)。結果として、破壊が伝播していく方向の延長線上の地域で線状に地震動の被害の大きい領域が広がる。兵庫県南

部地震では神戸に向かって主破壊が伝播したのが主原因となり、神戸で地震動による大被害が発生した。熊本地震の前震では主破壊が伝播していった方向の益城町で、本震では主破壊が伝播していった北東側に位置する益城町・西原村・南阿蘇で地震動による大被害が生じた。西日本で多発する横ずれ型地震は、私たちにとって実に厄介な地震と言える。

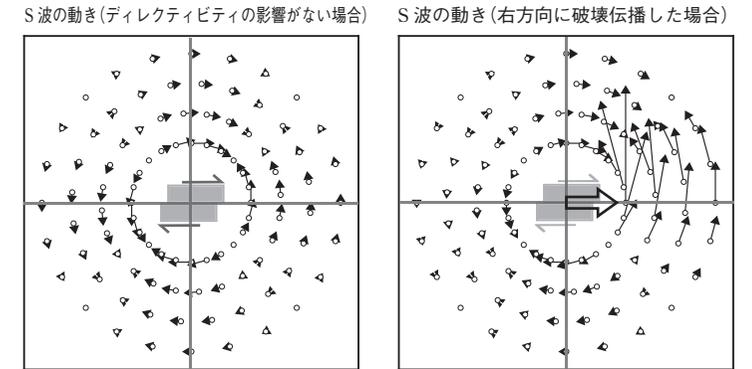


図5 ディレクティビティの影響がない場合とある場合の横ずれ断層におけるS波の振幅。ここで破壊伝播速度はS波の0.8倍と仮定している。

6. 遠隔誘発地震

一般的に余震は本震で断層がずれた領域である震源域周辺で発生する。しかし、熊本地震後では、震源域から離れた、温泉地で有名な別府や湯布院付近でも地震活動が活性化した(表紙の図)。このような地震活動は、誘発地震とよばれたり広義の余震とよばれたりする。筆者は余震も誘発された地震(英語だと *triggering earthquake* 日本語訳は誘発地震)ということ踏まえると、余震は誘発地震に含まれるので、これらの地震を誘発地震と定義することに強い違和感を感じている。英語の表現 *remotely triggering earthquake* の直訳である遠隔誘発地震、より一般の方にわかりやすくするには、*off-fault aftershock*(震源断層面から離れた余震)に近い広義の余震の方が適切であると考え。ここでは、震源域から離れた地域で誘発された地震を遠隔誘発地震とよぶ。ニュースでは、熊本地震の遠隔誘発地震として別府や湯布院付近のものが強調されているが、実のところ、日本全国の火山地帯で観測されている。一般に、横ずれ断層タイプの大地震が発生すると、ディレクティビティの影響でS波が大きくなる方向(この方向で表面波も大きくなる)の火山地帯で遠隔誘発地震の活動が活発になることが知られている。これは、強く地面が揺さぶられることによって、火山地域で何らかの非線形的な現象が発生し地震が起こりやすくなったことを示唆する。現状では、地下の流体が関係している可能性が高いことが指摘されているが、必ずしも原因は明らかになっていない。

7. 最後に：災害シナリオの落とし穴

筆者は、熊本地震後に、社会にリスクをどのように伝えるべきかということを考えさせられた。行動経済学分野の研究によると、一つのシナリオが提示されるとそれ以外のシナリオのリスクが過少評価されがちになることがわかっている。日本の場合は、首都直下地震の災害のシナリオと発生確率がやや過大にマスコミに取り上げられている。重要なのは、首都直下地震は、首都直下“型”地震でないことである。首都直下地震の発生確率の計算に用いられている過去に発生した地震は、いずれも深さ40km以上の地震で直下型地震は含まれていない、地震被害は限定的である。しかし、マスコミでは莫大な地震被害が発生する確率があたかも30年に70%であるように扱われている。

首都直下地震に備える必要があることは言うまでもないが、筆者の私見では、大阪の大都市の直下にある上町断層帯で発生する直下型地震の方が身近に迫った地震リスクであると感じている。しかし、筆者の主観であるが、大阪に住む人は、東京は地震リスクが高いが大阪はそうでないと考えており、自分の下に発生確率が高い部類である上町断層帯が存在することを認識していないように感じる。

災害シナリオを報道することによる負の側面を認識した上で、どのように一般の人に伝えるべきなのかは十分に検討すべきである。同じ理由により、高校地理でよく用いられている地域比較の視点で災害を教育するのはミスリードになる可能性が高いと言える。筆者は、自分の住む地域を深く掘り下げる形の防災教育を行うことが重要で、地学教育が重要であると考えている。