平成30年2月23日

第218回 地震予知連絡会

記者会見資料

事務局:国土地理院

地殻活動モニタリングに 関する検討





N = 302017年11月5日 30km M5.0 5.0) Σ 日本とその周辺の地震活動(2017年11月~2018年1月、 ₅ \leq 2017年12月17日 30km M5.0 2017 11 01 00:00 -- 2018 01 31 24:00 2017年11月30日 16km M5.4



発震機構は気象庁によるCMT解

3

日本周辺における浅部超低周波地震活動 (2017年11月~2018年1月) _{防災科学技術研究所}

● 12月中旬から下旬に日向灘およびその周辺域において超低周波地震活動
 ● 1月上旬にもほぼ同様の領域で活動



図1.2003年6月1日から2018年1月31日までの期間にアレイ解析 [Asano et al. (2008)] によって検出された イベントの震央分布(左)および時空間分布(右).検出イベントを防災科研 Hi-net の手動または自動験測 震源と照合し、対応する地震が見出されたイベントを灰色で、主に浅部超低周波地震とみられるそれ以外を、 左図では桃色(2017年10月以前)または赤色(11月以後)の点で、右図では赤色の点でそれぞれ示す、期 間内に発生したM7以上の地震の震央を黄色星印で併せて示す(ただし、2011年3月11日から2015年は東 北地方太平洋沖地震の本震のみ).



図2.2014年3月1日から2018年1月31日までの期間に波形相関解析 [Asano et al. (2015)] によって検出され たイベントの震央分布(左)および時空間分布(右2パネル).検出イベントを防災科研 Hi-net の手動また は自動験測震源と照合し、地震と対応しない浅部超低周波地震とみられるイベントを、左図では桃色(2017 年10月以前)または赤色(11月以後)の点で、右図では赤色の点でそれぞれ示す、南海トラフおよび沈み 込むフィリピン海プレート上面の深さ分布 [地震調査研究推進本部(2004)]を破線で併せて示す。

GNSS 連続観測から推定した日本列島のひずみ変化

2011 年 3 月 11 日の東北地方太平洋沖地震の余効変動の影響によるひずみが見られる. 2016 年 4 月の熊本地震の余効変動の影響によるひずみが見られる.

> 基準期間:2017/01/06-2017/01/20 [F3:最終解] 比較期間:2018/01/06-2018/01/20 [F3:最終解]



・GNSS連続観測による変位ベクトルからひずみ変化図を作成した.

・ 座標値の 15 日分の平均値から1 年間の変位ベクトルを算出し、それに基づいてひずみを計算している.

・ 海底地形データは ETOPO1 (Amante, C. & B. W. Eakins(2009)) を使用した.

国土地理院資料







海上保安庁資料

西南日本の深部低周波微動・短期的スロースリップ 活動状況(2017年11月~2018年1月)その1



- 短期的スロースリップイベントを伴う顕著な微動活動: 紀伊半島中部から東海地方,11月15日~12月5日.
 上記以外の主な微動活動:四国東部,11月22日~30日.
- 上記以外の主な微動活動:四国東部, 11 月 22 日~: 紀伊半島西部, 1 月 2 日~6 日.



図 1. 西南日本における 2017 年 11 月~2018 年 1 月の月毎の深部低周波微動活動.赤丸はエンベロープ相関・振幅 ハイブリッド法 (Maeda and Obara, 2009) およびクラスタ処理 (Obara et al., 2010) において, 1 時間毎に自動処理され た微動分布の重心である.青菱形は周期 20 秒に卓越する深部超低周波地震 (Ito et al., 2007) である.



図 3.2003 年1月~2018 年2月2日までの深部低周波微動(赤)および,深部超低周波地震(青菱形)の時空間分布. 緑太線は,傾斜変動から検出された短期的スロースリップイベント.

西南日本の深部低周波微動・短期的スロースリップ活動状況(2017年11月~2018年1月) その3 ースロースリップイベントによる傾斜変動一



図1:2017年11月1日~2018年1月31日の3ヶ月間の深部低周波微動(赤点),深部超低周波地震(青菱形),短期的スロースリップイベント(SSE:ピンク四角).

1. 2017年11-12月 紀伊半島~愛知県(Mw 6.2) これまでで最大級のエピソード



図 2:2017 年 10 月 27 日~12 月 5 日の傾斜時 系列.上方向への変化が北・東下がりの傾斜変動 を表し, BAYTAP-G により潮汐・気圧応答成分 を除去した.期間①~④の傾斜変化ベクトルを図 3 に示す.紀伊半島 ~ 東海地域での微動活動度・ 気象庁津観測点の気圧・雨量をあわせて示す.

26

図3:図2の期間①~④に観測された傾斜変化ベクトル(青矢印),推定されたスロースリップイベントの断層モデル(赤矩形・矢印),モデルから計算される傾斜変化ベクトル(白抜き矢印)を示す.1時間ごとの微動エネルギーの重心位置(橙丸),深部超低周波地震の震央(茶星印)もあわせて示す.すべり角はプレート相対運動方向に固定している.

謝辞

気象庁の WEB ページで公開されている気象データを使用させて頂きました. 記して感謝いたします.

防災科学技術研究所資料



非定常地殻変動から推定されるプレート境界面上のすべり分布

・GNSS 連続観測の結果から非定常地殻変動時系列データを作成し、時間依存のインバージョンを適用した。

- ・解析では、空間スムージングのハイパーパラメータは最適化し、時間方向のハイパーパラメータは、最適値よりも時間方向のスムージングが大きくなるように調整している.
- ・非定常地殻変動時系列: 2008 ~ 2011 年から推定した一次トレンド及び 2012 ~ 2016 年で推定した周期成分を 元の時系列データから除去した時系列.

1月24日 青森県東方沖の地震



2月4日からの台湾付近の地震活動



2018年2月4日頃から台湾付近で地震活動が活発 になり、4日22時56分に台湾付近の深さ10kmでM6.5 の地震(日本国内で最大震度2)が発生した。この 地震の震央付近では、地震活動が活発な状態で推移 しており、約2日後の7日00時50分には深さ10kmで M6.7の地震(日本国内で最大震度2)が発生した。 これらの地震を含め、19日までにM6.0以上の地震が 4回発生している。4日22時56分の地震と7日00時 50分の地震の発震機構(CMT解)は、それぞれ北北西 一南南東方向に圧力軸を持つ逆断層型、南北方向に 圧力軸を持つ型であった。

2009年10月以降の活動をみると、今回の地震活動 周辺(領域 a)では、M6.0以上の地震が時々発生して いる。



1960 年1月以降の活動をみると、今回の地震 活動周辺(領域b)では、1986 年 11 月 15 日に M7.8の地震(日本国内で最大震度3)が発生し、 台湾で死者 13 人、負傷者 45 人の被害が生じ、宮 古島平良で 30cm の津波を観測した(津波の高さ は「験震時報第 55 巻」による)。また、1999 年 9月 21 日に M7.7 の集集地震(日本国内で最大震 度2)が発生し、台湾では死者 2,413 人、負傷者 8,700 人の被害が生じた。



※本資料中、2009年9月までの震源要素は米国地質調査所(USGS)による。2009年10月以降の震源要素は気象庁による。被害は、宇津の「世界の 被害地震の表」による。 気象庁作成

2018 年 2 月台湾・花蓮の地震に関する SAR 解析結果

2018 年 2 月 6 日 (UTC) に台湾・花蓮付近で発生した地震 (Mw6.4, USGS) について、 だいち 2 号のデータの解析を行った。得られた結果は以下のとおりである。

- 米 新層 (Milun Fault) から 嶺頂 断層 (Lingding Fault) 北部にかけて、約15km に わたって 断層沿いに 顕著な 地殻変動が見られる。
- 米崙断層の東側では、特に大きな隆起と北東への変位が見られる。断層西側南部では沈
 降が見られる。
- 花蓮市の中心部を通る米崙断層に沿って、変位の不連続が見られる。この活断層に沿って地表地震断層が現れている可能性がある。



図 1.3 次元変動量分布[※]。(a)全体図、(b)花蓮市周辺拡大図。図 3(b)(c)と図 4(b)(c)から計算。

本成果は、地震予知連絡会 SAR 解析ワーキンググループの活動を通して得られたものである.

重点検討課題の検討

「熊本地震で見えてきた課題」

第218回地震予知連絡会 重点検討課題 趣旨説明

「熊本地震で見えてきた課題」について

コンビーナ 東北大学災害科学国際研究所 遠田晋次

2016年4月16日熊本地震(M7.3)では、日奈久断層北端と布田川断層が活動し、 長さ約30kmの区間にわたって地表地震断層が現れた。地震調査研究推進本部が長期評価を行っている約100の主要活断層の中で、長期評価の公表後に顕著な断層変位を伴った地震が発生したのは神城断層以来2例目であった。ただし、熊本地震発生前の評価では、布田川断層の平均活動間隔は8,100~26,000年、最後の活動が約6,900年前~ 2,200年前で、30年確率が「ほぼ0~0.9%」とされていたことから、特に大地震発生が切迫していると考えられていたわけではなかった。

しかし、地震発生後の1年半の間に各種機関が実施した調査結果をみると、布田川・ 日奈久断層帯の活動間隔は2,000~4,000年程度で、地震前の評価よりも頻繁に活動し てきたことが見えてきた。また、日奈久断層帯日奈久区間など、熊本地震時に動かなか った区間の調査も進んでいる。確率の信頼性を担保するデータ量や質など、長期予測の 向上へつながる要点や、長期評価の限界も見えつつある。

一方で、震源決定精度向上や干渉 SAR などの観測技術の進展により、地表断層と震 源断層との関係も詳しく把握されつつある。特に、地表断層変位の詳細な分布・変動量 の可視化は著しい。熊本地震では、布田川・日奈久断層帯以外にも 200 個所以上で小 変位が誘発されたことが確認された。そのなかには、活断層とされていたものも多数含 まれ、すべての活断層が必ずしも個別に大地震を起こさず、受動的に変位することも示 唆される。大地震の「結果としての活断層」なのか、「原因としての活断層」なのか、 活断層の再定義・再評価につながる研究成果が得られている。

また、地形・地質調査による長期評価を活かすためにも、中短期の変動を加味するこ とが重要と思われる。熊本地震では、日奈久断層帯北端付近で本震の28時間前にM6.5、 25時間前にM6.4の地震活動があり、活動域の拡大やプレスリップを示唆する地殻変 動が指摘されている。さらに遡ると、2000年には同地域でM5も発生している。これ らの活動域は、布田川断層と日奈久断層の屈曲部にあたり、Kingらが1980年代に示 した破壊開始・停止に関わる断層幾何形状モデルの再考を促すとともに、内陸地震発生 予測への手掛かりとなることも期待される。さらに、「遅れ破壊」という観点からは、 現在も余効変動が継続中であり、地表地震断層での変位の成長も確認されている。震源 断層沿いの経時的な変形や、周辺活断層への影響評価が急がれる。

これらを踏まえ、第 218 回の重点検討課題では、各方面の専門家を招聘し、熊本地 震の最新の知見を共有する。そのうえで、活断層と内陸地震発生機構への理解を深め、 内陸地震予測への調査研究の方向性などについて議論する。 話題提供者〔敬称略〕

1. 2016年熊本地震と日奈久断層帯の古地震履歴

産業技術総合研究所 宮下 由香里

ALOS - 2の SAR で見つかった平成 28 年熊本地震による地表断層群
 国土交通省国土地理院 藤原 智

3. 2016 年熊本地震 – 地震観測から得られた地震像 – 九州大学地震火山観測研究センター 松本 聡

4. 2016 年熊本地震の本震前に見られた前震域の拡大 東京大学地震研究所 加藤 愛太郎

5. 点過程モデルによる熊本地震前後の地震活動の解析

統計数理研究所 熊澤 貴雄

6. 2016 年熊本地震の余効変動 ~ SAR が捉えた広域・局所変動の詳細 ~
 国土交通省国土地理院 小林 知勝





2016年熊本地震と日奈久断層帯の古地震履歴 宮下由香里(産業技術総合研究所)

熊本地震を引き起こした布田川断層帯と日奈久断層帯の調査を行い、未破壊区間 の過去の地震履歴を解明した.

○2年間で,陸域5地点,海域1地点において古地震調査を実施.

→日奈久断層帯は,海陸いずれにおいても,既存評価より高頻度で地震を起こしてきた ことが判明.

→適切な調査地(時間分解能が良い地層が堆積していることが必須)を選定し、トレン チ壁面で観察された断層の位置づけ(ひとつに集中した断層なのか,分岐した断層のひ とつなのか等)を検討することが重要. →報告書は地震本部ホームページ上で公開. →結果は国の活断層評価に使われる予定.

○トレンチ調査では、一般公開や地元小中学生の授業を行い、広く成果普及・意識啓発.



ALOS-2の SAR で見つかった平成 28 年熊本地震による地表断層群

藤原 智(国土地理院)

ポイント

- 熊本地震の地殻変動を人工衛星「だいち2号」のレーダー観測で詳細に可視化
- 地殻変動には、地震を引き起こした主要な断層運動によるものだけではなく、
 - ✓ 細かい線状の変位が数多く存在
 - ✓ これらは地表付近での小規模な断層運動であり、その数は 230 程存在
 - ✓ 一部は既知の活断層と一致し、変位は過去から蓄積
- こうした地表断層は地震動を出しておらず、熊本地震に誘発され、
 受動的に動いた「お付き合い断層」が大部分
- 「活断層」とは何なのかを、理学面・防災面から再検討すべき





図2 阿蘇外輪山北西における上下変位及び 従来の手法による活断層位置

図1 熊本地震に伴って出現した地表断層群 だいち2号(ALOS-2)のSAR干渉画像 から地表変位が直線的に不連続となるも のを抽出



図3 図2中の上下変位と地形の断面図

2016年熊本地震 一地震観測から得られた地震像-

2016年熊本地震合同地震観測グループ



熊本地震発生前から大学・研究機関が連携して進めてきた稠密な地震観測により、 2016年熊本地震の特徴が明らかになって きた。

詳細な地震波速度構造推定に基づいて熊本地震周辺の地震の震源を精度よく決定した(上図)。その結果、日奈久断層帯、 布田川断層帯に関連した複数の断層面が 見出された(中図)。これらの断層面群 により複雑な地震活動が起こされた。また、地震時の大きなすべりは地震前から 見られた地震発生層の中で起こった。

一方、熊本地震発生前の地震の発生様式 を詳細に調べた結果、これらの地震断層 を取り巻く応力場が明らかになった。



特に、熊本地震の複雑な 断層のすべりは地震前の 断層にかかる応力場が一 様でないために引き起こ されたことが示された (下図)。

2016年熊本地震の本震前に見られた前震域の拡大

加藤愛太郎 (東京大学地震研究所)

2016年熊本地震の前震や本震に伴って発生した一連の地震活動の震源カタログを高い精度で推定し、 その時空間発展を詳細に分析しました。その結果、4月14日の前震(Mw6.2)発生以降、地震発生域が 時間の経過とともに徐々に拡大する様子を捉えました(図1)。前震域の拡大は、断層の走向方向に加え て傾斜方向(浅い・深い)にも起きており、4月16日に発生した本震(Mw7.0)の破壊開始点へ向かう 動きも見られました。前震域の拡大は、前震(Mw6.2)がきっかけとなって生じたゆっくりすべり(余 効すべり)の伝播によるものと考えられます。

実際、前震発生域の近傍の地殻変動観測点(国土地理院電子基準点)では、前震発生後から本震が発 生するまでの間に、前震時と同じ方向に変位がじわじわと進んだことがわかります(図1)。このような 変位が観測された場所は極少数であり、すべりの場所や大きさを正確に推定することは困難な状況です が、前震の断層面上で Mw5.8 相当のゆっくりすべりが起きたと仮定すると、観測された地表変位データ を説明することができます。この結果は、前震の断層面上においてゆっくりすべりが起きていたという 解釈を支持します。前震による応力の載荷に加えて、ゆっくりすべりにより本震断層面への応力載荷が 進行し、本震の発生が促進されたと考えられます。前震の後に地震活動域が拡大し本震が発生した例 は、プレート境界型地震ではいくつか報告されています。内陸の活断層でも、前震の後に地震活動域が 拡大し本震が発生するという現象が地殻変動と同時に観測された点が特徴になります。

【参考文献】Kato, A., J. Fukuda, S. Nakagawa and K. Obara (2016), Foreshock migration preceding the 2016 Mw 7.0 Kumamoto earthquake, Japan, Geophys. Res. Lett., doi: 10.1002/2016GL070079.



図 1.a) 熊本地震の前震発生から本震発生直前までの地震活動の時空間発展図(積算図).b) 前震発生域の近傍の地殻変 動観測点(国土地理院電子基準点)で観測された地表変位.c) 概念図(After Kato et al., 2016).

点過程モデルによる熊本地震前後の地震活動の解析

熊澤貴雄(統計数理研究所)

定常 ETAS モデルと非定常 ETAS モデルの背景地震活動の変動 $\mu(t)$ (下式参照)を調べた。

熊本地震発生前では布田川断層帯北側のごく狭い地域のみで群発地震などの異常活動や 東北沖地震による誘発がみられた.

また 2016 年の M6.5 から続く前震期間では ETAS モデルによる変化点解析で M6.4 直後 からの静穏化が有意となった.

本震後の余震活動に対しては以下の経過が見られた.(1) 熊本地域では本震時に上昇した 背景地震活動が順次減衰しており断層強度が回復していることが推測される.(2) 阿蘇地域 では地震活動の大部分が本震 M7.3 からの静的な誘発として説明できる.(3) 大分地域では 活動は本震からの静的な誘発だけでは説明できない。本震直後の流体圧の急上昇による断 層弱化が考えられる.



2016 年熊本地震の余効変動 ~SAR 観測が捉えた広域・局所変動の詳細~ 小林 知勝 (国土地理院)

観測からわかったこと(図1)

- ・ 熊本地震後も九州全域でゆっくりとした変動(余効変動)が進行中.
- ・布田川断層帯周辺では隆起&西向きの変動. その周囲では沈降&東向きの変動.
- ・日奈久断層帯を境に西(東)側の地盤が東(西)方向に変位.
- ・日奈久断層帯の北端部で大きな変位.一部では地表に右横ずれの食い違い.

余効変動の原因(図2)

- ・熊本地震の余効変動は「粘弾性緩和」と「余効すべり」の両機構が関与.
- ・震源域遠方の余効変動は、粘弾性緩和が主な原因、
- ・震源域近傍の余効変動は、粘弾性緩和と余効すべりの両方が原因、
- ・余効すべりは、地震後約3ヶ月の間に日奈久断層帯の主に北部で進行。
- ・九州中部の下部地殻が変形しやすいこと(低粘性媒質の粘弾性変形)が影響.



図1「だいち2号」衛星の合成開口レーダー(SAR)データの分析から得られた余効変動



図2 余効変動の発生機構に関する概念図. 熊本地震では, 粘弾性緩和と余効すべりを原因とする変動が地 震後も続いている.

第 219 回地震予知連絡会 重点検討課題 趣旨説明

「地震と水」について

コンビーナ 産業技術総合研究所 今西和俊

地震の発生には、地下の流体が何らかの形で関与していると古くから考えられてきた。 例えば、アメリカのコロラド州デンバーでは、1962年に軍の施設が化学廃液を地下に 注入したところ、まもなく周辺の地震活動が活発になった。注水を中断すると地震は減 少し、再開すると地震がまた増加することも確認され、地下への水の注入が地震を誘発 していることが明らかになった。この現象の基本的なメカニズムは、間隙水圧の増加に よる断層の強度低下,もしくは応力変化による断層滑りの促進,として解釈可能である。 一方、テクトニックな地震発生にも流体が関与したことを示唆する事例がある。1965 年から数年に渡り活発に続いた松代群発地震がその顕著な例であろう。地下からの大量 の湧水が観察されるとともに明瞭な隆起変動も観測され、地震発生との関係が議論され てきた。

近年の基盤観測網の整備により、地震発生域における流体の存在が地殻構造の異常と して捉えられるようになってきた。特に稠密な臨時観測が行われるようになり、空間解 像度が数kmへと飛躍的に増加したことが大きい。内陸地震については、流体による地 殻深部の局所的な弱化がもたらす不均質な変形により、周囲の既存断層に応力集中が生 じ、地震発生に至るというモデルが提案されている。プレート境界においては、スロー 地震と流体分布との関係が議論できるようになってきた。また、高精度な震源分布に基 づき流体移動を強く示唆する震源の拡散的な移動現象を見出すとともに、メカニズム解 の情報から流体圧の時空間分布を推定するなど、流体の定量的な解釈も進みつつある。 そのほか、数値シミュレーションにより沈み込むスラブの脱水による地殻流体の発生と 移動、そして地震発生との関係を説明することも試みられている。物質科学的な側面か ら、岩石変形に対する水の効果についての研究も大きな進展を見せている。さらにシェ ールガス開発に伴う誘発地震が大きな社会問題となっていることを受け、観測・実験・ シミュレーション研究が集中的に行われ、テクトニックな地震発生機構の理解の深化へ フィードバックし得る知見が蓄積されている。

このような背景を踏まえ、第219回の重点検討課題では、各方面の専門家を招聘し、 地震と水に関する最新の知見を共有する。そして、地殻流体が地震発生過程に果たす役 割の理解を深め、今後の地震研究の方向性などについて議論する。

平成29年度第2回重点検討課題運営部会

平成 29 年度第 2 回重点検討課題運営部会報告

1. 平成 30 年度重点検討課題の選定

平成30年度後期(第221回及び第222回地震予知連絡会)の重点検討課題名(予定)を選定した.

地震予知連絡会	コンビーナ	課題名
第219回(2018/05)	今西 委員	地震と水
第220回(2018/08)	佐竹 委員	千島海溝・北海道東方沖と三陸北部(仮)
第221回(2018/11)		予測実験の試行 05
第222回(2019/02)		九州南西諸島弧

平成30年2月23日 地震予知連絡会事務局

平成30年度地震予知連絡会の開催について

1. 平成30年度地震予知連絡会の開催日

平成30年度地震予知連絡会の開催を下記のとおり予定しています。

П	年月日
第219回	平成30年 5月25日(金)
第220回	平成30年 8月24日(金)
第221回	平成30年11月30日(金)
第222回	平成31年 2月22日(金)

- 2. 地震予知連絡会議事の流れ
 - (1) 事務的議事
 - (2) 地殻活動モニタリングに関する検討
 - 1) 地殻活動の概況
 - 2) 東北地方太平洋沖地震関連
 - 3) プレート境界の固着状態とその変化
 - 4) その他の地殻活動等
 - (3) 重点検討課題の検討
 - 1) 重点検討課題の検討
 - 2) 次回の趣旨説明
 - (4) その他の議事