

地質標本館 2017年春の特別展
地震・活断層巡回展



5月10日は
地質の日

2016年 熊本地震 活断層に備えよう



2016年熊本地震

活断層に備えよう

開催趣旨

私たちの住む日本列島は、水資源に恵まれた住みやすい平野、温泉や風光明媚な山々があり、とても豊かな自然に恵まれた国土だと思えます。一方で、日本列島は、地震や火山噴火などの自然災害のとても多い国であるという負の一面もあります。2016年熊本地震で大きな被害のあった熊本県やその周辺の地域もまさにそのような正負両面の自然を持つ典型的な地域と言えます。地域に住む人々は遠い昔からその土地の恩恵を受けながら生活し、時にこういった災害に見舞われながらも乗り越えてきたのでしょう。

2016年熊本地震は最近の研究で数千年に一度の割合で大地震が起こることが分かっていた活断層で起きた地震でした。この展示を通して、熊本地震でどんなことが起きたのか記憶にとどめ、また活断層や関連する地震の研究がどのように進んでいるのかを知り、今後、活断層で起こる地震に備え、災害に強い社会を築くための一助となることを願っています。

2016年熊本地震の主な被害

(内閣府非常災害対策本部 2016年12月14日)

人的被害

都道府県名	死亡	重傷	軽傷
福岡県		1	17
佐賀県		4	9
熊本県	161	1,068	1,552
大分県		11	22
宮崎県		3	5
合計	161	1,087	1,605

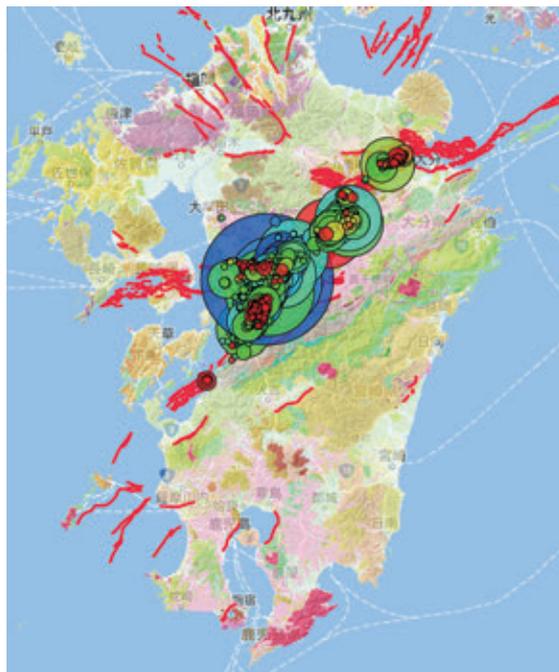
建物被害: 全壊 8,369, 半壊 32,478

土砂災害: 190件

河川堤防等被害:

国管理6河川172箇所,

県等管理48河川322箇所

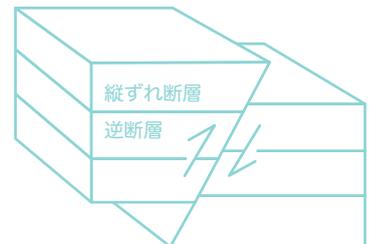
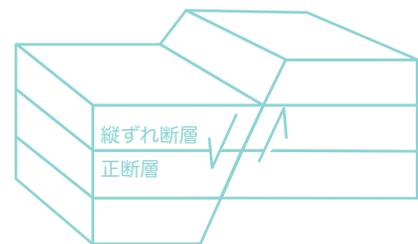
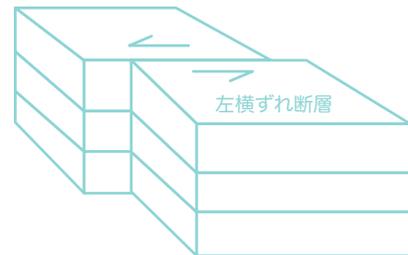
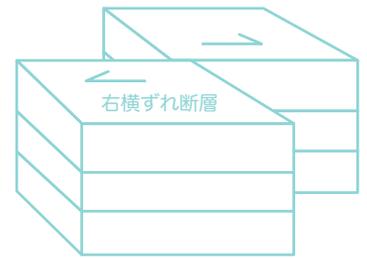


2016年熊本地震の震央分布 (2016/4/3~2016/5/31)
九州地域の地質図と活断層(赤線)の上に表示してある。
産総研地質調査総合センターHPの「平成28年(2016年)
熊本地震および関連情報」から引用。

<https://www.gsj.jp>



開催趣旨	1
目次	2
【何が起こったか】	
地下で何が起こったか	3
2016年熊本地震で現れた地表地震断層	4-5
余震活動の時間・空間的な特徴	6
九州地域の活断層	7
【被害】	
熊本県益城町の建物被害と地盤構造	8
2016年熊本地震の強震動	9
被害写真：歴史的建造物	10
被害写真：建物	11
被害写真：インフラ・土砂災害	12
2016年熊本地震による博物館への影響	13
【阿蘇火山】	
阿蘇火山の最近の噴火活動	14
阿蘇カルデラー日本有数の巨大カルデラ	15
【地下水】	
熊本地域の地下水情報	16
【地下探査】	
重力で知る地下構造と熊本地震の関係	17
【過去の地震】	
1889年(明治22年)熊本地震の資料	18-19
16世紀慶長の頃の西日本内陸の地震	20
近い将来起こることが予想されている南海トラフの地震	21
【地質と活断層の地震の研究】	
九州の地質：中央構造線はあるか？	22
地震の起こる仕組み：活断層と地震	23
活断層を調べる	24
日本の活断層とその評価	25
地震への備え	26



地下で何が起こったか

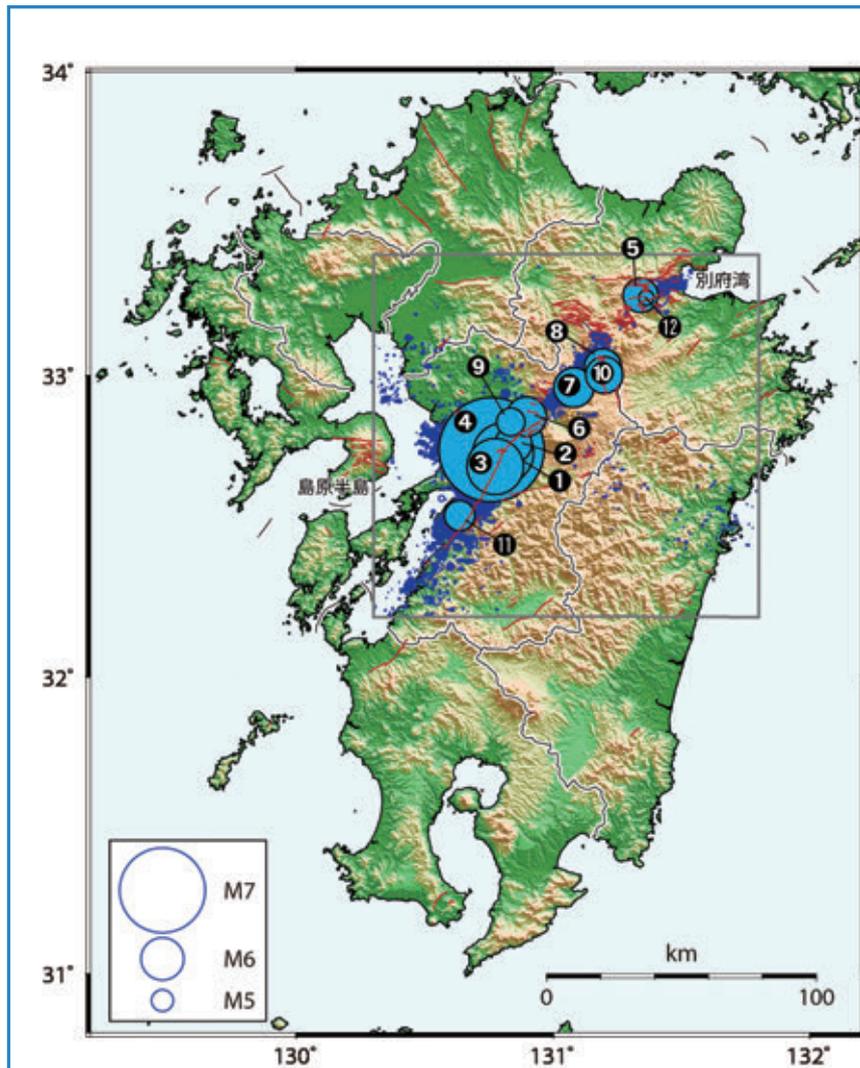
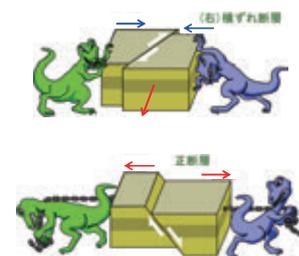


図1 2016年4月14日から10月31日までに灰色の枠内で発生した深さ20km以浅の地震の分布。図中の番号は表1の番号に対応している。赤線は活断層（中田・今泉，2002）を示す。震源は気象庁一元化検測値を用いて産総研で再決定したものである。

表1 最大震度5強以上を観測した地震（2017年2月16日現在）

番号	発震時	深さ (km)	M	最大震度
1	4月14日 21時26分	12	6.5	7
2	4月14日 22時07分	9	5.8	6弱
3	4月15日 0時03分	7	6.4	6強
4	4月16日 1時25分	13	7.3	7
5	4月16日 1時25分	5	5.7	6弱
6	4月16日 1時45分	10	5.9	6弱
7	4月16日 3時03分	6	5.9	5強
8	4月16日 3時55分	11	5.8	6強
9	4月16日 9時48分	14	5.4	6弱
10	4月18日 20時41分	8	5.8	5強
11	4月19日 17時52分	10	5.5	5強
12	4月29日 15時09分	9	4.5	5強

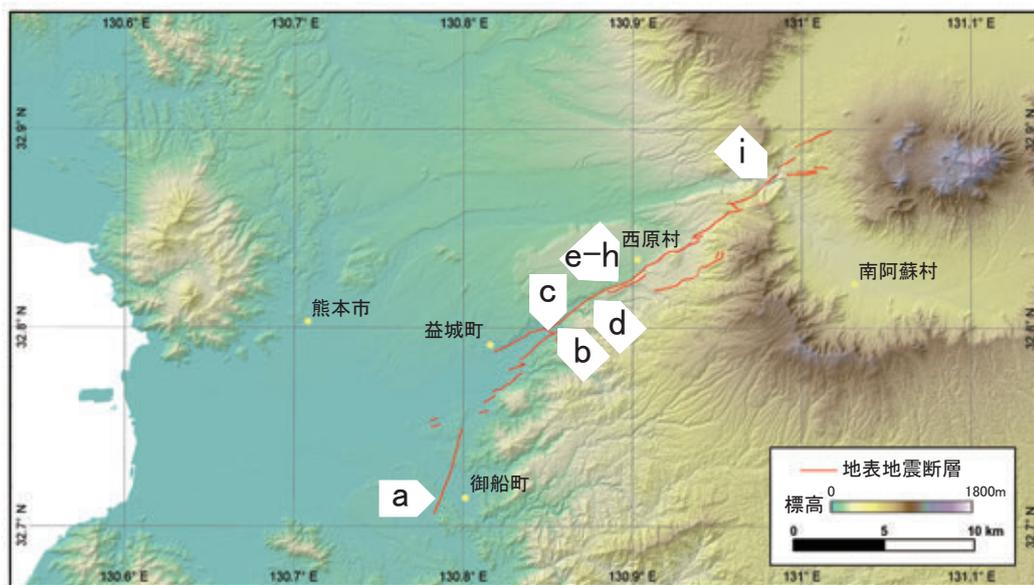


平成28年（2016年）熊本地震は、大きめの地震が連鎖的に発生し、活動域を拡大していきました。2017年2月16日時点での最大規模の地震は4月16日未明に発生したマグニチュード（M）7.3の地震で、活動域は全体で約150kmに達します。震源の深さは概ね10km前後で、地殻内の浅い地震（内陸地震）に分類されます。活動域の大部分は別府湾から島原半島に至る別府－島原地溝帯に対応しています。ここには多くの活断層や活火山が存在しており、過去にもマグニチュード5～7クラスの地震が発生するなど、九州の中でも地震活動が活発な地域として知られていました。

地震の発生メカニズムは北北西－南南東から南北方向に張力軸を持つ右横ずれ断層または正断層型であり、この地域の力のかかり方から予測されるものと調和的です。一方、今回の一連の活動のように複数の地震が連鎖的に発生していくことを事前に予測することは難しく、被害想定における新たな課題といえます。

2016年熊本地震で現れた地表地震断層

2016年熊本地震の際には、^{ふたがわ}布田川断層帯と^{ひなぐ}日奈久断層帯の一部に沿って、地表地震断層*が現れました。地表地震断層は、全長30km以上に及ぶ長大なもので、1条に集中する区間もあれば、複数条に分岐する区間もあるなど、多様性に富みます。



*地表地震断層とは、地下の深いところで地震を引き起こした震源断層が、地表にまで達したものです。ずれや亀裂として観察されます。

図1 地表地震断層の分布



写真 a, b: 野菜やマルチの畝が断層によって右横ずれしている様子。写真 c: あぜ道と稲の畝が左横ずれしている様子。右横ずれ断層どうしをつなぐ位置に左横ずれ断層がある。写真 d: 神社に上る階段が右横ずれしている様子（益城町文化財に指定）。

2016年熊本地震で現れた地表地震断層



写真 e: 丘陵斜面の上に現れた雁行状の亀裂。「杉」の字のつくりの形に似ていることから杉型雁行と呼ばれる。地面が右横ずれしたときに形成される。写真 f: 丘陵斜面の上に現れた正断層状の亀裂。左側が落ちている。正面に並んでいる樹木の中で、1本だけ傾いている木の根元に亀裂が連続する。写真 g: 斜面と平地の境界部付近の平地側に現れた右横ずれ断層。写真奥側(平地側)が低下している。写真 h: 斜面と平地の境界部付近に現れた断層。ここでは、見かけ逆断層的なずれ方を示す。ずれた面には、条線(断層面がずれたときにこすれてできた跡)が見られる。写真 e-h は、幅 200m~300m の間に地表地震断層が 3~4 列に平行して現れている区間である。写真 i: 阿蘇大橋付近の大規模な山崩れの様子。写真手前側の亀裂が右横ずれを示す地表地震断層。

余震活動の時間・空間的な特徴

2016年4月14日21時26分の地震（マグニチュード (M) 6.5）の後、日奈久断層帯と布田川断層帯を中心に地震が頻繁に起こるようになりました。

およそ28時間後の4月16日1時25分の地震（M 7.3）の後は、阿蘇山の北側や由布院・別府でも地震活動が活発になりました。

阿蘇山のすぐ西方では余震活動が活発でない場所があります。これは M 7.3 の地震の際に5 m を超える断層のずれ動きがあり、それによって既にひずみエネルギーを解放してしまったためであると考えられます。

由布院から別府にかけての地域では、地震波形データの解析から、熊本の M 7.3 の地震による地震波によって地震が誘発されたと考えられています。誘発された地震をきっかけに地震活動が活発化したと考えられます。

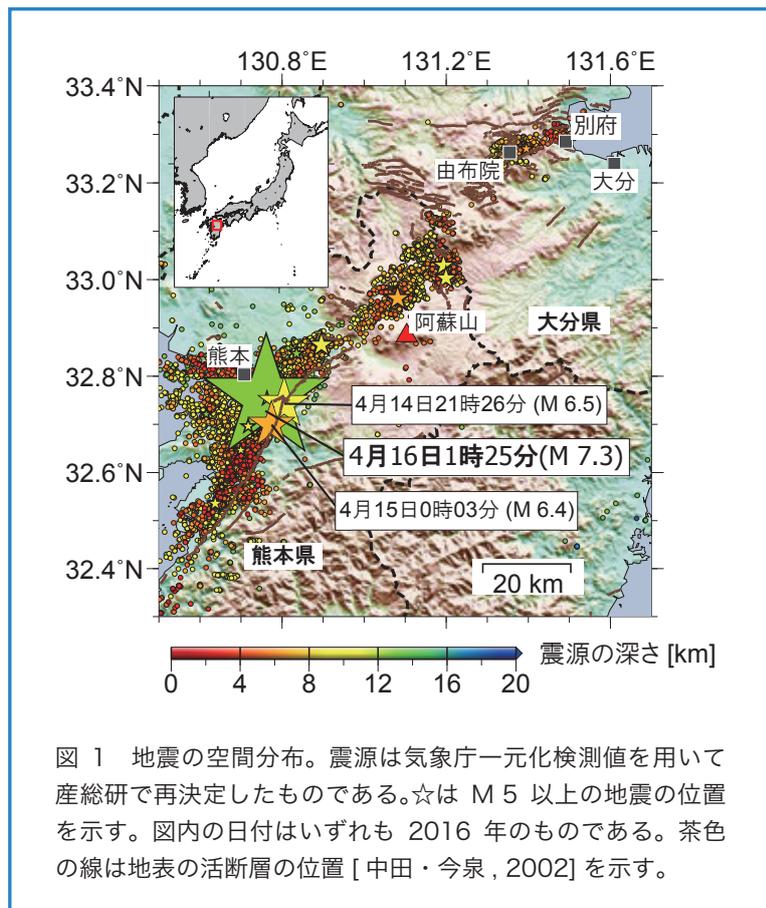


図1 地震の空間分布。震源は気象庁一元化検測値を用いて産総研で再決定したものである。☆は M 5 以上の地震の位置を示す。図内の日付はいずれも 2016 年のものである。茶色の線は地表の活断層の位置 [中田・今泉, 2002] を示す。

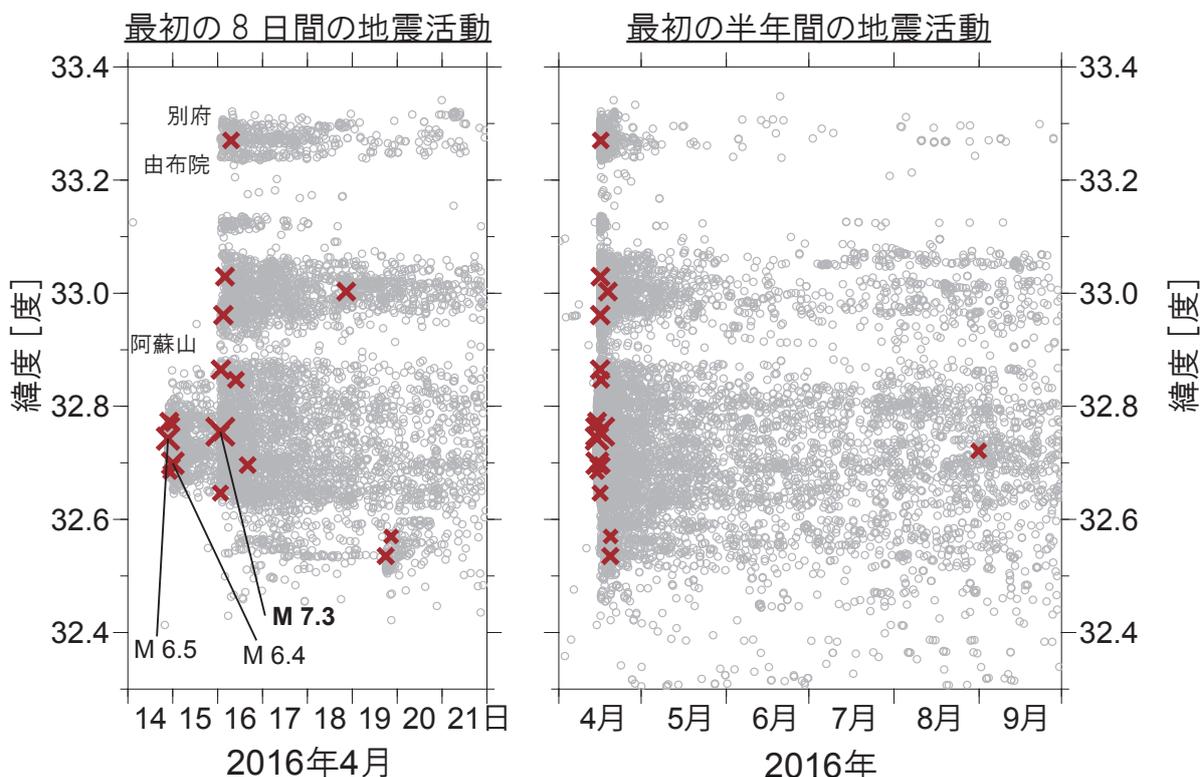


図2 地震活動の推移。震源は気象庁一元化検測値を用いて産総研で再決定したものである。(左) 初めの M 6.5 の地震が発生してから8日間の様子。灰色の○印は地震が発生した緯度と時間を示す。×印は M 5 以上の地震を示す。(右) 2016年4月から9月まで半年間の地震活動の推移。

九州地域の活断層

活断層とは、過去に繰り返し活動して地震を引き起こし、将来も地震を引き起こす可能性のある断層のことです。九州地域には、多くの活断層が分布しています（図1）。おおまかに見ると、北部地域は、北西-南東走向の横ずれ断層が多く、中部地域は、東西走向の正断層、南部地域は、北東-南西走向の正断層が多いことで特徴づけられます。活断層が起こす地震の規模（マグニチュード）は、その長さに比例します。九州地域では、地表に被害を及ぼす可能性がある活断層（比較的長い断層：図中の赤と緑の線）として、28個の活断層帯が知られています。

最近起こった地震としては、2005年福岡県西方沖の地震や、2016年熊本地震があります。また、日本最古の地震として『日本書紀』に記録されている筑紫地震は、水縄断層が引き起こしたと考えられています。

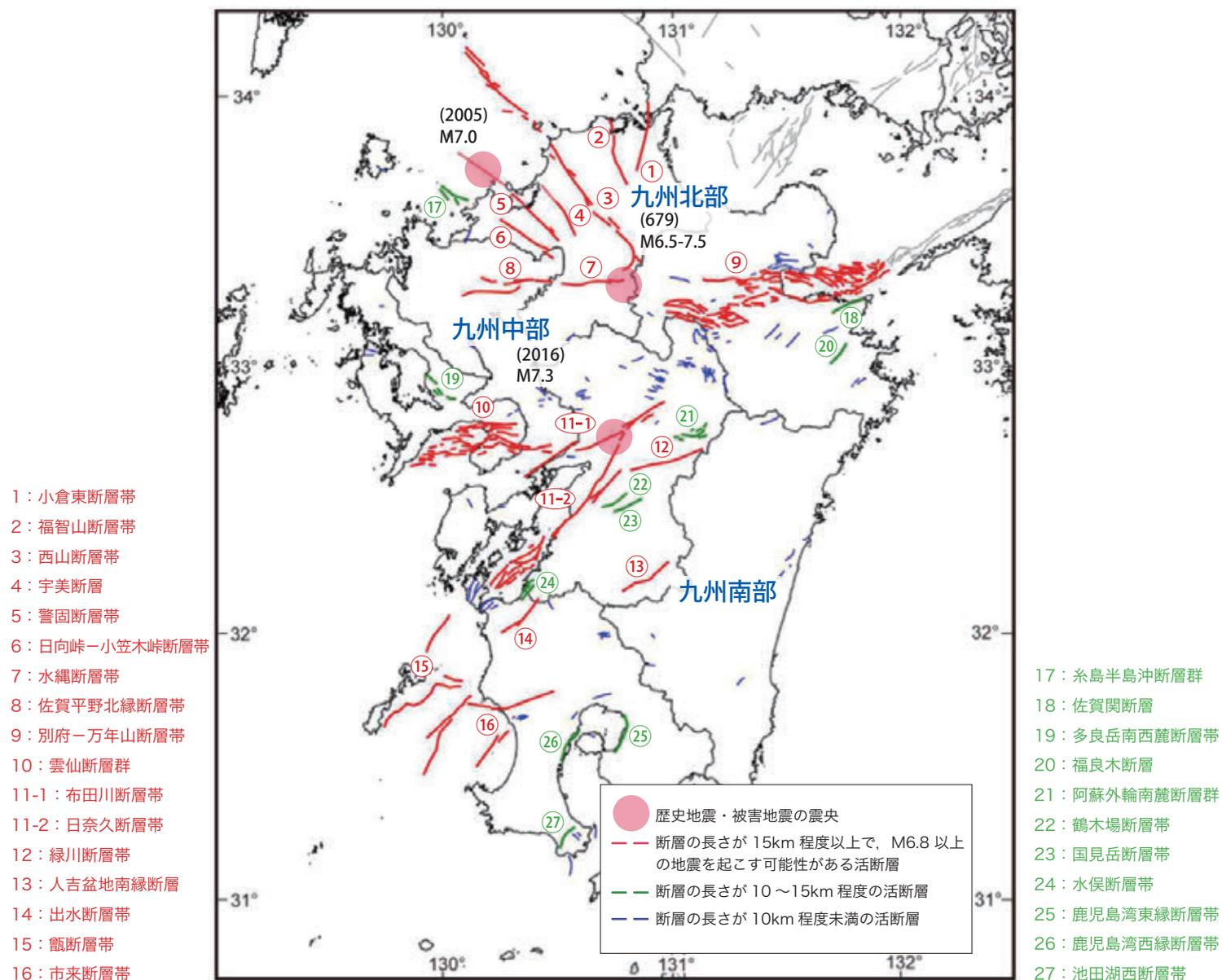
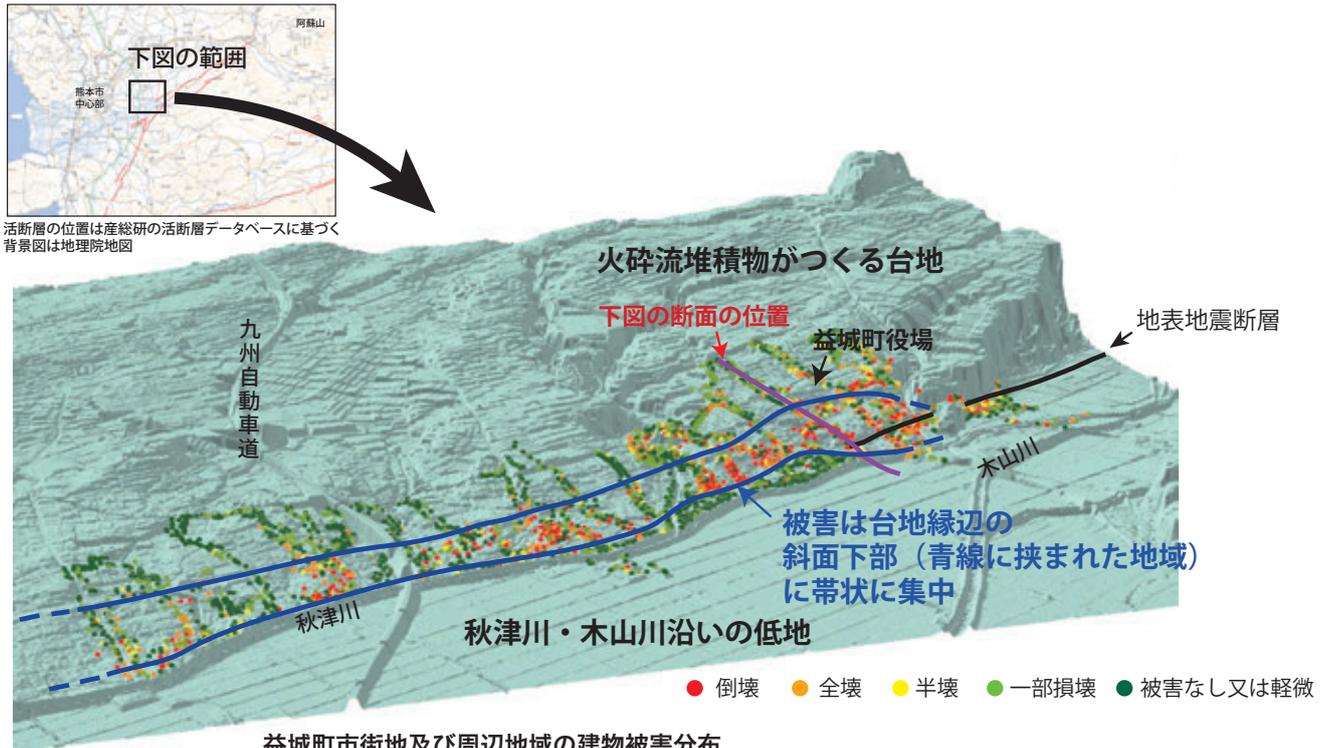


図1 九州地域の活断層の分布（地震本部（2013）*より引用）

*地震調査研究推進本部（2013）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

熊本県益城町の建物被害と地盤構造

まじき
熊本地震により益城町市街地付近は甚大な建物被害を被りました。益城町市街地は阿蘇火山から噴出した火砕流堆積物（Aso-4 火砕流堆積物）が形成する台地の縁辺の緩やかな斜面上に位置します。このうち建物の甚大な被害は台地縁辺斜面の下部（裾部）に集中しました。現地での常時微動調査（地盤の微弱な震動を観測）の実施により、被害甚大地域の地下の複雑な地盤構造の実態が分かってきました。



益城町市街地及び周辺地域の建物被害分布

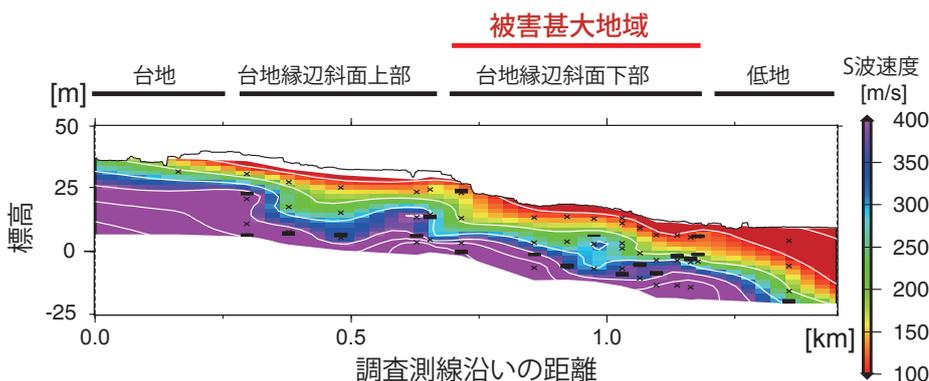
建物の倒壊・全壊被害（赤や橙）は台地縁辺斜面の下部（裾部）に集中しました。

3D 地形モデルは国土地理院基盤地図情報（数値標高モデル 5m メッシュ）より作成。鉛直方向 8 倍。



常時微動観測のようす

人体には感じないほどの地盤の微弱な揺れ（常時微動）を高感度地震計（写真のプラスチックケースの中に設置）で測定することで地盤固有の揺れ方や波の伝わる速さを推定します。



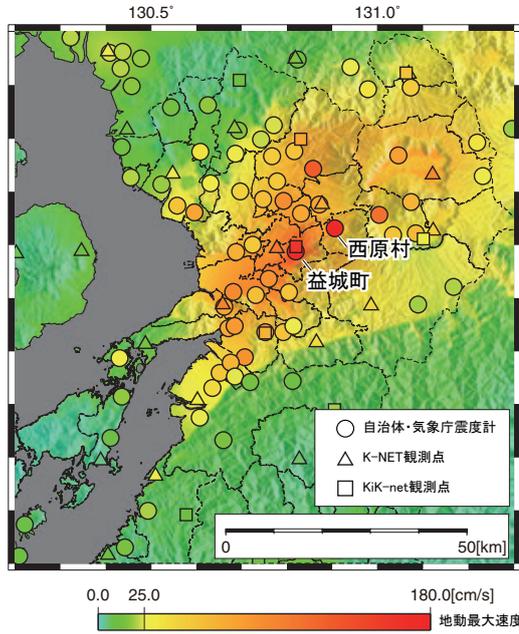
常時微動調査測線に沿う地盤構造

（S 波速度断面：断面位置は上図）

常時微動調査により、被害甚大地域付近の複雑な地盤構造の実態が分かってきました。このような地盤構造がどのように形成されたのか、また、どのように被害を大きくしたのかについて、現在検討を進めています。

2016年熊本地震の強震動

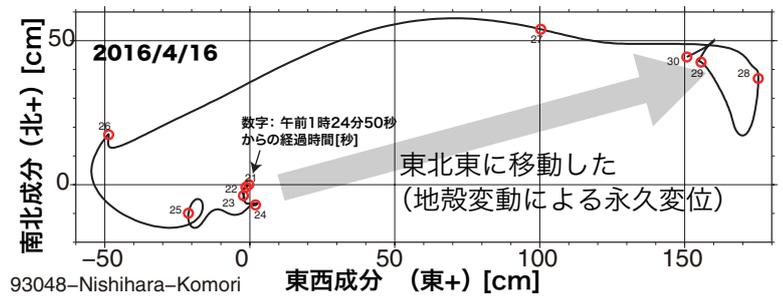
2016年4月に発生した一連の熊本地震では、震源近傍を中心とした地域が強い地震動に見舞われました。西原村にしはらでは大きな永久変位を含む地震動、益城町ましき市街地では非常に強い地震動が観測されました。



2016/4/16 1:25 の地震 (M7.3) の地動最大速度分布 (背景色は産総研の地震動マップ即時推定システムより)

断層近傍の特徴的な揺れ (永久変位)

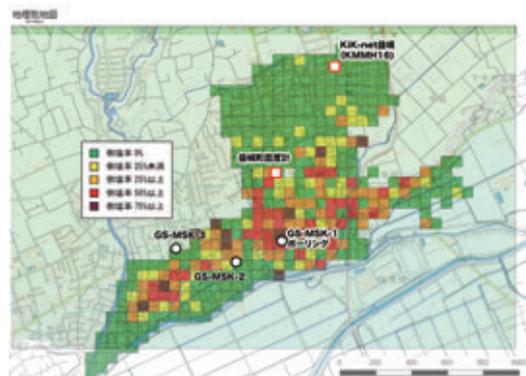
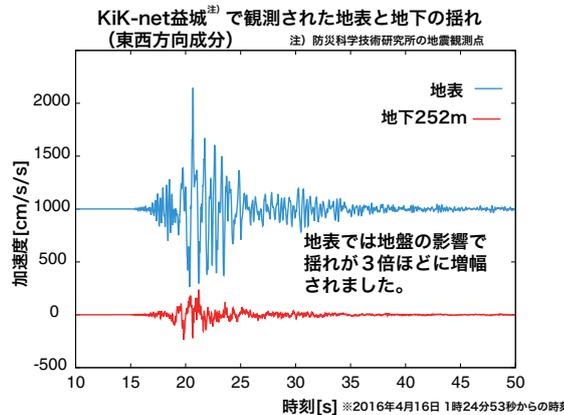
西原村役場の地震計が捉えた地面の揺れから、地盤が東北東方向に1.5m以上も変位したことがわかりました。約1km南では2m程度の右横ずれ地震断層が見つっています。断層近傍での特異な揺れ方です。



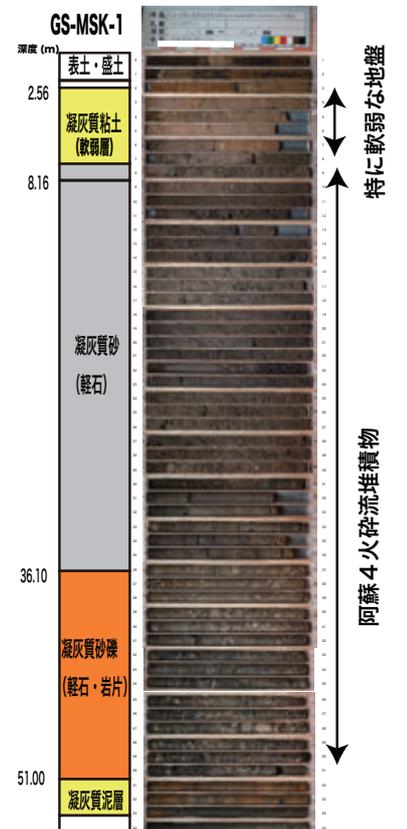
西原村の地震計が捉えた揺れの軌跡 (水平成分)

被害集中域の強震動と地盤増幅

益城町市街地は、特に家屋被害が集中した地域でした。ここで観測された地震動は、兵庫県南部地震の「震災の帯」に匹敵する最強クラスの揺れでした。調査の結果、大きな揺れが、被害集中域の地盤によってさらに増幅されたことがわかりました。詳細な解析により、特に軟弱層の非線形特性という地盤のひずみが大きくなるほど地盤が緩くなる特殊な効果が大きかったことがわかってきました。地震被害を軽減するために、浅い地盤を良く知ることが大切です。



益城町市街地の被害分布 (建築学会調査) と地震観測点およびボーリング調査地点



GS-MSK-1 の土質柱状図とコア写真

被害写真：歴史的建造物

熊本地震では、住居・インフラだけでなく、地域の宝である多数の歴史的建造物も大きな被害に見舞われました。ここでは、熊本大学や大阪市立大学の防災研究者らが撮影した、熊本城、阿蘇神社、しおいしやすいげん塩井社水源、石橋など歴史的建造物の被害写真を掲載しています。



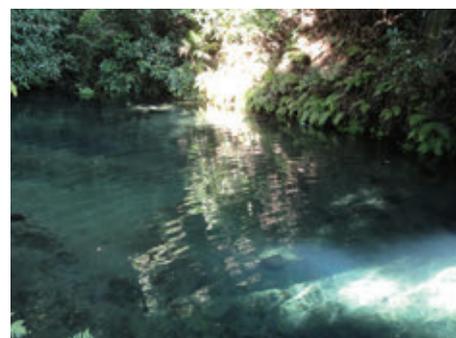
被害にあった歴史的建造物の位置（国土地理院地図データ使用）



(撮影：熊本大学 山尾敏孝)
① 熊本城小天守下の石門上の石垣部分の崩壊



(撮影：産総研 吉見雅行)
② 阿蘇神社（地震前）



(撮影：阿蘇火山博物館 池辺伸一郎)
③ 南阿蘇 塩井社水源（地震前）



(撮影：熊本大学 山尾敏孝)
①' 南大手門の元太鼓櫓の損傷及び石垣の崩落と裏栗の状態



(撮影：阿蘇火山博物館 池辺伸一郎)
②' 阿蘇神社では楼門・拝殿などが倒壊した



(撮影：阿蘇火山博物館 池辺伸一郎)
③' 南阿蘇 塩井社水源



(撮影：熊本大学 山尾敏孝)
④ 安見下鶴橋の右岸側の両壁石の崩壊



(撮影：熊本大学 山尾敏孝)
⑤ 鉄瓶橋の被災状況



(撮影：熊本大学 山尾敏孝)
⑥ 二俣福良渡の右岸側の両壁石の崩落

被害写真：建物

地震の強い揺れや地盤の液状化により建物が被害を受けると、私たちの住む生活の場そのものが脅かされ、ある時は生命をも奪われます。我が国は、数年に1度の割合で大きな地震災害に見舞われてきました。これらの写真は、地震に負けない建物を作ることの大切さを教えてくれます。



被害にあった建物の位置（国土地理院地図データ使用）



(撮影：熊本大学 松田泰治)
① 大破した宇土市役所



(撮影：熊本大学 鳥井真之)
② 益城町役場付近の状況（多くの被災住宅の屋根がブルーシートに覆われている）
国土交通省の協力により 2016年5月14日撮影



(撮影：熊本大学 北園芳人)
③ 本震で落下し、被災時刻で止まった掛け時計



(撮影：熊本大学 松田泰治)
④ 倒壊したショッピングセンター



(撮影：熊本大学 柿本竜治)
⑤ 大型店舗の屋根がすべて崩落した



(撮影：熊本大学 柿本竜治)
⑥ ピロティの駐車場が潰れたマンション



(撮影：熊本大学 松田博貴)
⑦ 4月14日発生の前震によりひさし部分が脱落した益城町寺迫公民館



(撮影：熊本大学 松田泰治)
⑧ 液状化現象により電柱が約1m沈下した



(撮影：熊本大学 松田泰治)
⑨ 液状化現象による家屋の沈下



(撮影：熊本大学 鳥井真之)
⑩ 阿蘇カルデラ内に形成された大きな陥没

被害写真：インフラ・土砂災害

道路、橋、港湾、通信施設などのインフラ設備の被害も生活に大きな影響を及ぼします。被災地域の復旧・復興にとって、インフラの迅速な復旧が欠かせません。山地での土砂災害も、交通・物流寸断を引き起こすほか、いったん不安定化した土塊は長期間にわたる脅威となります。



被害にあったインフラ・土砂災害の位置(国土地理院地図データ使用)

《インフラ被害写真》



(撮影：熊本大学 葛西 昭)
① 橋脚が損傷した第一畑中橋



(撮影：熊本大学 葛西 昭)
② ダンパー部に損傷が見られる南阿蘇橋



(撮影：熊本大学 葛西 昭)
③ 橋脚の支承の破損(秋津川橋)



(撮影：熊本大学 葛西 昭)
④ 橋桁の座屈被害(依山大橋)



(撮影：大阪市立大学 中條 壮大)
⑤ 熊本港フェリー乗り場 沈下による舗装被害



(撮影：阿蘇火山博物館 池辺 伸一郎)
⑥ 草千里展望所付近の登山道路の状況



(撮影：熊本大学 鳥井 真之)
⑦ 夜峰山山上のテレビ中継所の被害



(撮影：熊本大学 鳥井 真之)
⑧ 夜峰山の尾根沿いに亀裂が続く被害

《土砂災害被害写真》



(撮影：熊本大学 鳥井 真之)
⑨ 写真左より、小烏帽子岳、烏帽子岳、御竈門山、夜峰山
国土交通省の協力により 2016年5月14日撮影



(撮影：熊本大学 鳥井 真之)
⑩ 御竈門山での崩壊の様子
国土交通省の協力により 2016年5月14日撮影



(撮影：熊本大学 鳥井 真之)
⑪ 御竈門山(おかまどやま)を厚く覆った草千里ヶ浜降下軽石層が崩壊

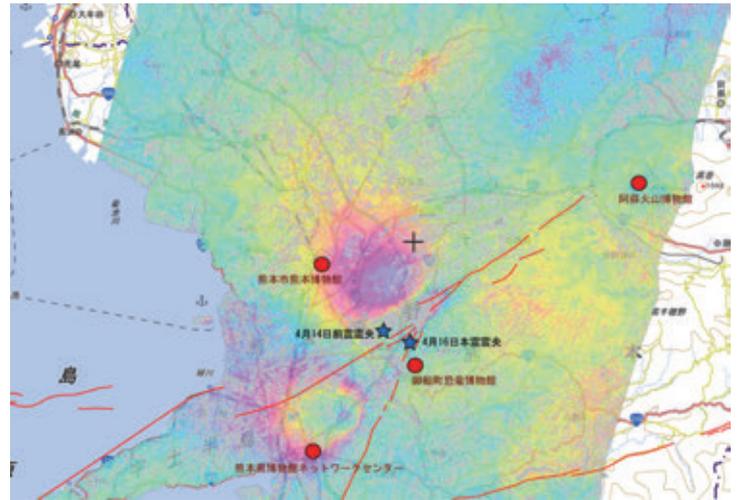


(撮影：熊本大学 鳥井 真之)
⑫ 烏帽子岳では大規模な表層崩壊が発生

2016年熊本地震による博物館への影響

今回の熊本地震では、^{ふたがわ}布田川断層や^{ひなぐ}日奈久断層からある程度離れた場所に位置する博物館でも、少なからず被害を受けました。阿蘇山上にある阿蘇火山博物館では大きな被害を受け、2017年1月現在、完全な復旧には至っていません。こちらは火山性の地盤との関係や、伏在する断層などが関わっているのかもしれませんが。

一方、^{みふねちょう}御船町恐竜博物館でも、比較的震源に近かったこともあり、収蔵庫や収蔵資料などに被害がでました。そのほか、熊本県博物館ネットワークセンター、熊本博物館などでは、比較的軽微な被害で済みました。



活断層と各博物館の位置（国土地理院地図データ使用）

熊本県博物館ネットワークセンター

建物前の広場のアスファルトに亀裂およびたわみ。本体建物南側土手のコンクリート擁壁一部破損。壁、床等に亀裂が入り、補修工が必要であった。安全面確保のため、補修工事終了まで一般開放を中断。収蔵棚等も、棚板固定が曲がり棚板が落ちる。地質関係登録資料については、ほぼ元の状況に戻すことができた。未登録資料は、70%程度元の状況に復旧し登録作業を開始。建物復旧については、本年度末をめどに、壁や床のヒビ、外回り舗装、擁壁等の工事を行っているところ



崩落した試料コンテナ。GW中にラベリングされていた大半の試料は復元完了



試料コンテナを乗せたまま水平に1m弱移動した試料ラック。もともとの位置は床面にある「J」の場所

(写真はすべて熊本県博物館ネットワークセンター提供)

熊本博物館

熊本城跡内にある博物館で、リニューアル工事中に被災し、躯体等が損傷、工事が一時中断した。収蔵資料は複数の倉庫に分散して保管しており、一部は転倒・転落により破損・滅失・混合するなどの被害を受けた。2016年11月に工事を再開し、現在はリニューアルオープンに向けた準備を進めている。



クラックが入った南側玄関の支柱館の躯体の広範囲にこのようなクラックが生じた（2016年4月18日撮影）



コンテナが転倒し、瓶が割れ、アルコールが弾発した液浸標本（2016年4月18日撮影）



館外に移転していた事務室では多くのつっぱり棒が機能したが、一部は外れてロッカー類が転倒した（2016年4月16日撮影）

(写真はすべて熊本博物館提供)

御船町恐竜博物館

収蔵資料に深刻な被害はなかったが、展示中の恐竜骨格（レプリカ）から頭部が脱落し破損するなどした。建物内部や収蔵設備の損傷が大きかった。2017年1月現在、破損した資料を館員が修復し、傷んだ建物及び設備は応急処置により開館中。復旧工事は2017年度中に行われる予定。



緊急支援物資の集荷場となった特別展示スペース



組み立てた骨格から脱落し破損したアクロコントサウルスの頭骨（レプリカ）



御船町と益城町境界の地震断層（右横ずれを示す）。4月16日の本震によってこのような地震断層が町内いたるところに現れた



収蔵庫の被害状況。固定棚（A列）のキャビネットは転倒したが、可動棚（B列）のキャビネットは転倒しなかった

(写真はすべて御船町恐竜博物館提供)

(公財) 阿蘇火山博物館

建物内の亀裂や雨漏れのほか、給排水などの設備に大きな被害を受けた。また、展示物、映像設備も大きなダメージを受けた。復旧までには相当な時間と費用を要する見込み。



2F 展示室内の様子（2016年4月17日撮影）



収蔵資料室内の状況（2016年4月17日撮影）



1F 事務所内の状況（2016年4月17日撮影）

(写真はすべて阿蘇火山博物館提供)

阿蘇火山の最近の噴火活動

熊本地震と阿蘇火山の噴火

2016年4月の熊本地震では、断層の一部が阿蘇カルデラの端に達しましたが、火口からは離れており直接の影響はないと考えられています。阿蘇中岳（図1）は、2014年1月から、小さな噴火を繰り返していましたが、地震後の2016年10月8日に爆発的噴火を起こしました。高さ11kmの噴煙があがり、火口周辺に巨大な岩塊を飛ばすとともに、数cm大の小石（図2）が阿蘇市街地に降り、降灰は四国にまで及びました。

中岳の噴火活動の様式

阿蘇火山での有史時代の噴火活動は、中岳で起きています。中岳では、静穏期には火口に湯だまり（火口湖）があり、火山活動が高まると湯だまりが干上がって火口底が赤熱化し噴火にいたるといったパターンが知られています。

中岳の噴火は大きく3つのタイプがあります。細粒の火山灰を連続的に放出する灰噴火（図3）や、赤熱したマグマのかけらを放出するストロンボリ式噴火（図4）、そして、2016年10月8日のような爆発的噴火です。爆発的噴火は、降雨の後や活動低下期など、火道がふさがれることで火道内の圧力が高まって発生すると考えられています。



図2 2016年10月8日噴火により降下した火山礫（阿蘇市仙酔峡にて採取）



図1 西側上空からみた中岳と第1火口（瀬尾央撮影）



図3 中岳第1火口からの灰噴火（2014年11月 及川輝樹撮影）



図4 中岳第1火口からのストロンボリ式噴火（2015年1月 宮縁育夫撮影）

図1、3、4は、産総研 日本の火山データベースによる

阿蘇カルデラ – 日本有数の巨大カルデラ

日本最大級のカルデラ

阿蘇カルデラは、国内最大級の大きさ(約25×18km²)の巨大カルデラです。中央部には、中岳など中央火口丘群があり、北側の阿蘇谷と南側の南郷谷なんこうだにに区分されます。カルデラ内に阿蘇市、高森町、南阿蘇村あわせて、数万人の人々が生活しています(図1、2)。

火砕流とカルデラ

カルデラとは、噴火によってできた大きな(径2km以上)窪地です。阿蘇カルデラは、大規模な火砕流が繰り返し噴出することによりできました。約27万年前の阿蘇1噴火以降4回の大規模な火砕流が周囲に流下しています(図3)。このうち最も最近の阿蘇4火砕流は、山口県にまで到達し、火砕流から舞い上がった火山灰が、遠く北海道でも15cmもの厚さで見つかるなど、日本でも最大規模のものです。

現在の活動 – 中央火口丘

9万年前の阿蘇4噴火終了後、カルデラの中央部にいくつもの山々が形成されました。これが、中央火口丘です(図4)。これらは、玄武岩質～流紋岩質の成層火山、溶岩ドームや溶岩流、火砕丘です。中央火口丘群のうち中岳の第1火口は現在も活発な噴火活動を続けています。

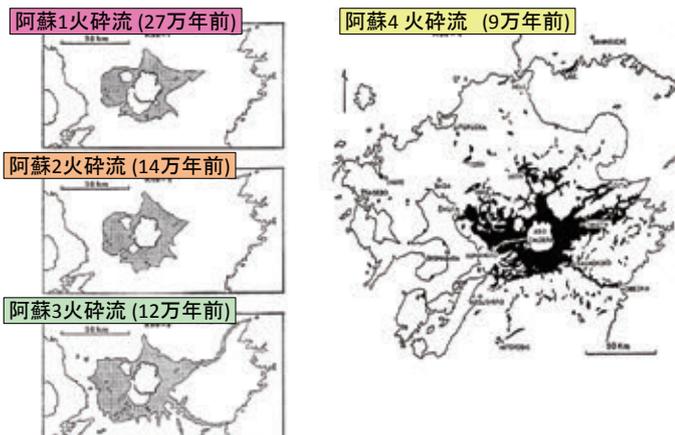


図3 阿蘇カルデラから噴出した4回の大規模火砕流の分布(小野・渡辺, 1983)

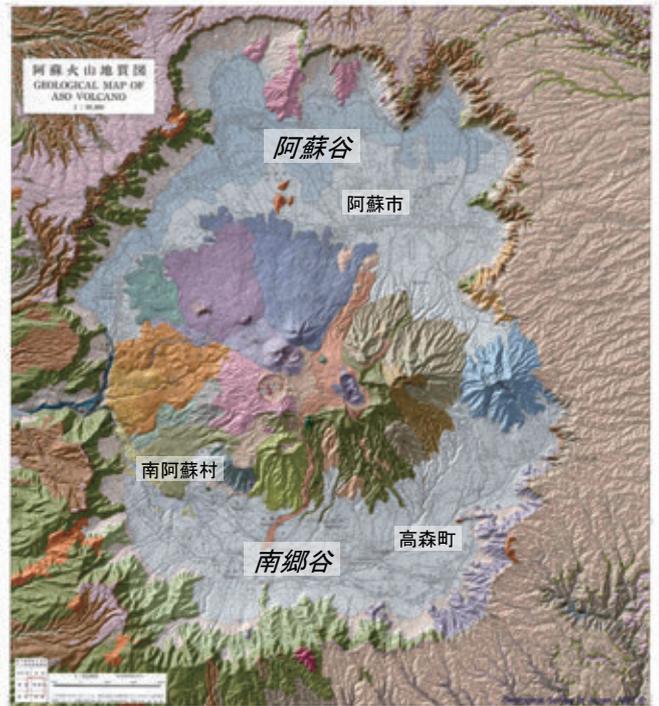


図1 阿蘇火山地質図(小野・渡辺, 1985)(地形陰影図付き)カルデラ内側中央部に中央火口丘群がある

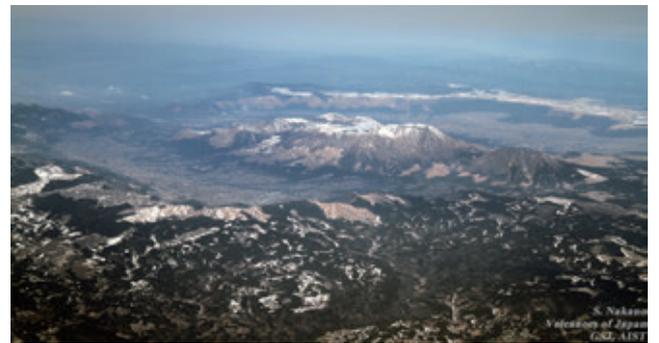


図2 南東側上空からみた阿蘇カルデラ(2011年1月中野俊撮影)



図4 中央火口丘群とカルデラ壁
右手前白煙を上げる中岳第1火口(2002年11月 白尾元理撮影)

図2、4は、産総研 日本の火山データベースによる

熊本地域の地下水情報

熊本地域では生活用水として地下水が利用されています。地震直後には井戸水が濁るなどの現象が見られたため、「将来的に地下水がなくなるのでは？」といった心配をお持ちの方もいらっしゃるかもしれませんが（写真1）。

地下水は極めてゆっくりと山から海や川に向かって流れています（図1）。熊本市街地の地下水については、巨視的にみると阿蘇の西麓が入口となっており（図2の^{かんよういき}涵養域と書かれている部分）、地下水はそこから南西方向に流れています。熊本地震の活断層の位置とは離れていますので（図2）、市街地の地下水へは大きな影響はないと考えられます。



写真1 井戸から汲み上げた地下水が濁っている様子
(熊本大学 細野高啓准教授 提供)

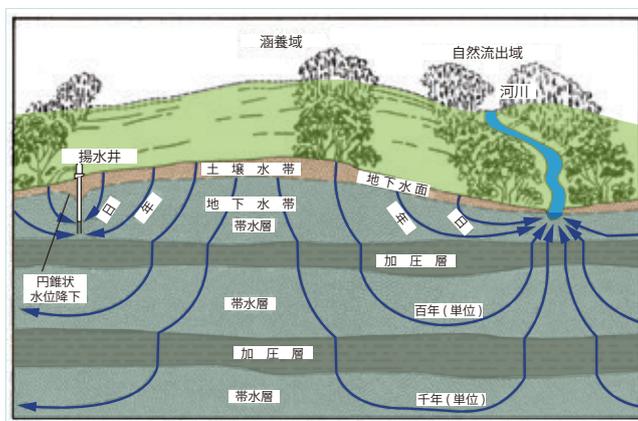


図1 地下水の流れ (Toth, 1995 を修正)
巨視的にみると地下水には入口と出口がある。

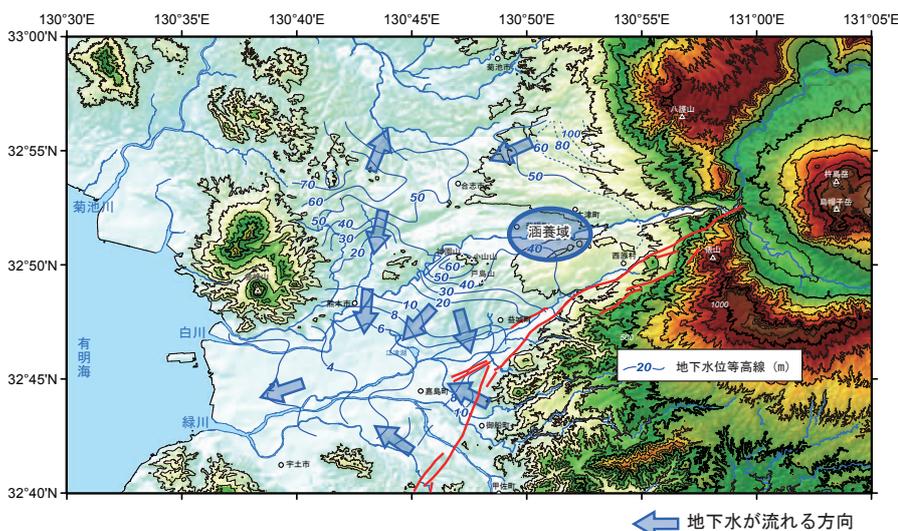


図2 熊本地域における深い地下水の水位分布 (水文環境図 No.7 熊本地域より：図3)

なお、水位データは熊本県・熊本市(1995)による。赤線は地質図Naviの活断層データ(地質調査総合センター)から判読した、熊本地震に関わる布田川断層、日奈久断層の位置。



図3 水文環境図 No.7 熊本地域
(地質調査総合センターホームページより)

重力で知る地下構造と熊本地震の関係

一般に、地球表面の重力は 9.8 m/s^2 (980 Gal) と知られています。しかし、重力は地下深部の地質(密度)の違いによって、わずかに変化しています。その空間的な重力の変化を詳細に調べることで、地下の密度分布や、その密度分布を作る地質構造を知ることができます。

熊本地震を引き起こした断層は、重力が急激に変化する境界にあたります。そのことから、熊本地震を引き起こした断層は、地質構造の境界に位置すると考えられます。また、熊本地震の北東端には阿蘇火山があります。重力の変化から、阿蘇火山の下には密度の軽い物質が存在すると考えられます。この密度の軽い物質は火山ガスを含むようなマグマだまりと推測されます。マグマ溜まりは柔らかいので、熊本地震の破壊が更に北東に延びるのを止められたと考えています。



図1 重力観測の様子
場所を変えながら重力計でその地点での重力を測ります。

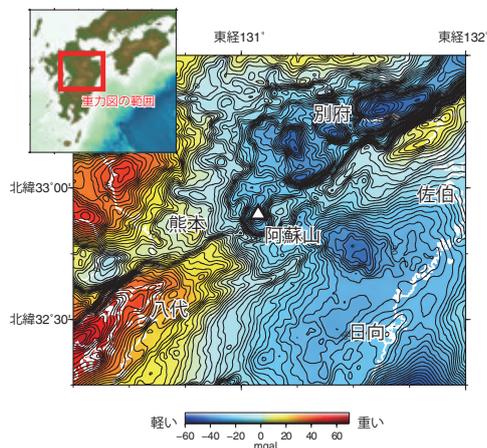


図2 九州北部の重力異常図
重力の異常は一般にその地域の岩体の密度(重さ)を表します。

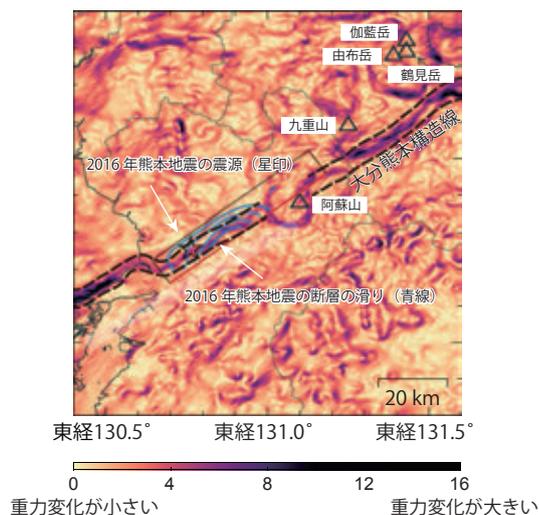


図3 九州北部の重力変化を強調した図
2016年熊本地震は大分-熊本構造線に沿って発生しました。大分-熊本構造線に沿って重力変化が大きいことから、大分-熊本構造線で密度の異なる岩体が接することがわかります。(Yagi et al., 2016)

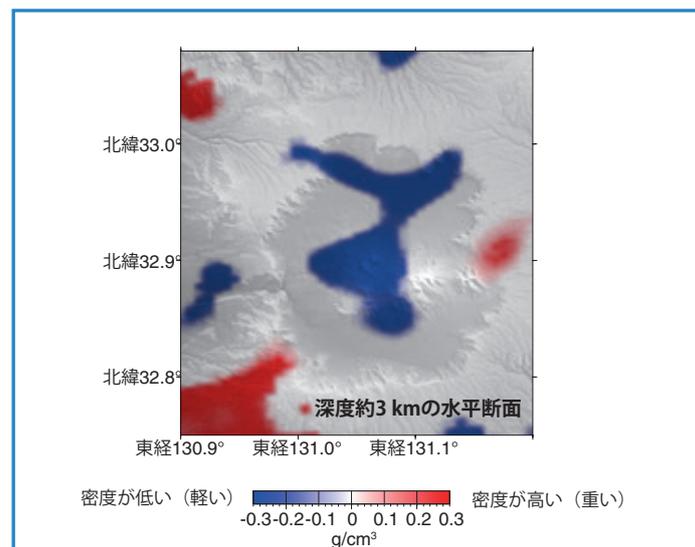


図4 阿蘇山周辺における地下の密度分布
阿蘇山の下に密度の小さい(軽い)岩体が分布しています (Miyakawa et al., 2016)。

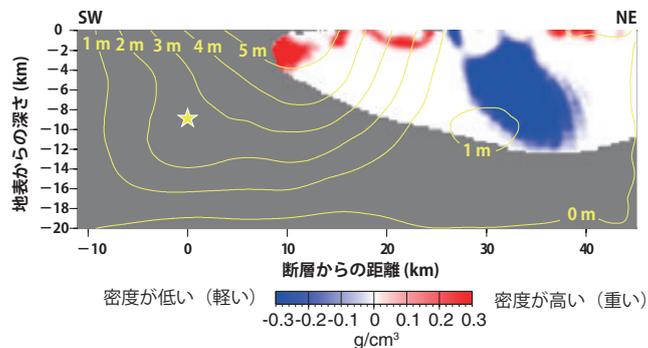


図5 2016年熊本地震の断層面における滑り量分布(黄色線)と、密度分布。震源(★)から北東(NE)に断層が滑っているのに対し、密度の小さい(軽い)岩体近傍で滑りが停止しています。(Miyakawa et al., 2016)

1889年（明治22年）熊本地震の資料①

国立科学博物館 所蔵

明治22年（1889年）7月28日午後11時40分頃、熊本地方で地震が発生し、旧熊本市内（現在の熊本市中心部の北西部）で死者約20名、負傷者50名以上、家屋全壊230棟以上、熊本城の石垣損壊29ヵ所などの被害が生じました。この地震の震源は、熊本市の西部に位置する金峰山^{きんぼうざん}周辺、マグニチュードは6.3と推定されています。

《被害写真》

熊本市に今も残る富重写真所の初代写真師、富重利平によって、地震による被害の様子が撮影されています。おそらく、日本での地震による被害を残した最初の写真と思われます。国立科学博物館には11枚の写真が残っており、熊本城の石垣の崩壊や家屋の倒壊など、被害の大きさをうかがい知ることができます。



① 旧熊本城闇ガリ
第六師団本部石垣崩壊



② 旧熊本城飯田丸
第六師団弾薬庫上石垣崩壊



③ 旧熊本城西出丸
第六師団火薬庫崩壊



④ 旧熊本城平左衛門櫓
床第六師団号砲台裂地



⑤ 熊本市唐人町仮小屋



⑥ 熊本市細工町仮小屋



⑦ 熊本監獄内土塀崩壊



⑧ 熊本市見性寺境内墓碑顛倒



⑨ 飽田郡高橋町負傷者船住居



⑩ 飽田郡高橋町字川端家屋崩壊



⑪ 飽田郡芳野村大字野出馬之齧裂地



これらの写真は、科博HP「国立科学博物館地震資料室」にて公開しています。
(http://www.kahaku.go.jp/research/db/science_engineering/namazu/index.html)

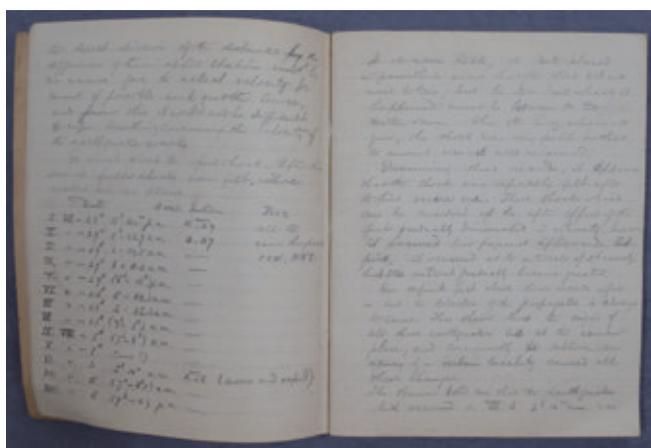
1889年（明治22年）熊本地震の資料②

国立科学博物館 所蔵

《現地調査資料》

日本の地震学の研究が明治に始まってから、初めて都市部で起きた大地震でした。この地震の前の年の1888年に磐梯山で大噴火が起こっていたこともあり、地震によって金峰山が噴火するのではないかと人々は不安になっていたようです。熊本県は専門家の派遣を政府に依頼し、帝国大学（現在の東京大学）の先生たちが現地で調査を行いました。

当時、帝国大学理科大学の物理学講師（実験指導嘱託）だった長岡半太郎による当時の日記や、震源に近い金峰山周辺の町村での調査状況や建物被害、地割れ等の被害のスケッチが残っています。



《錦絵》

地震発生から数日後、熊本の大地震の状況を伝える錦絵が、東京で発行されました。瓦版のようなもので、地震による被害の状況が挿し絵とともに書かれています。

「熊本縣下大地震の実況」

去る七月廿八日午前（※午後の間違い）十一時四十五分／熊本縣下に大地震起り同市街／地所裂け人家潰崩し人畜の死傷等／少なからず尚跡も小地震鳴動止まざることし／右地震の為に損害を蒙る者取調べ得／たる処熊本市中はつぶれ家廿二戸半つぶれ家十六戸／橋梁破損七ヶ所壓死三人負傷六人あり飽田郡は／つぶれ家三十二戸壓死十五人負傷十三人あり縣廳／監獄は塀壁破損せし壁併に囚人は平穩なるよし其外／筑後大分縣下長崎縣下九州一般共強烈なる地震／ありたり実に近年稀なる大地震なり



16世紀 慶長の頃の西日本内陸の地震

豊後地震

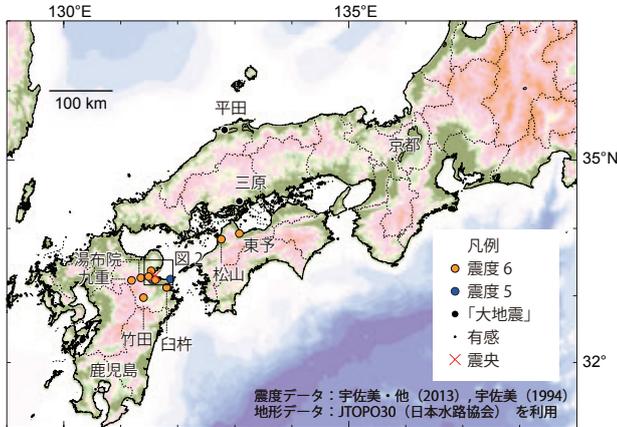


図1 豊後地震の震度分布

伏見地震



図4 伏見地震の震度分布

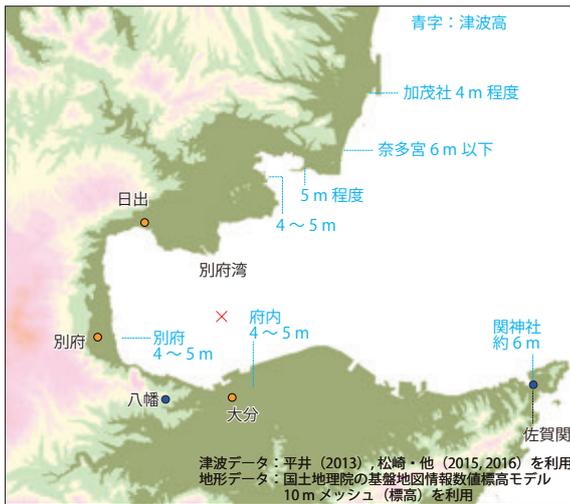


図2 別府湾付近における震度分布と津波高分布



図3 奈多宮の風景
写真背後に神社があり豊後地震津波で楼門等が流失した。

歴史記録によると、文禄五年（慶長元年）閏七月九日あるいは十二日（西暦 1596 年 9 月 1 日あるいは 4 日）に大分県を中心に大きな地震が発生しました（豊後地震）。地震に伴い津波も発生し、別府湾沿岸で 4 m を越す津波が来襲し甚大な被害が出ました。

これに関連し愛媛県内でも被害の記録が残されています。また、トレンチ調査により同県内の中央構造線活断層帯の一部が飛鳥時代から江戸時代までの間に活動したという報告もあり、豊後地震とは別に同時期に愛媛県内で地震が発生した可能性も指摘されています（伊予地震）。

豊後地震の数日後にあたる同年閏七月十三日には近畿地方を中心とする大きな地震が発生しました（伏見地震）。とくに京都では倒潰などの被害を受けた寺院が多数ありました。

短い期間で発生したこれらの地震の因果関係は不明ですが、異なる場所で大きな地震が連発することが「起こりうる」ことを、これらの地震は教えてくれていると言えるでしょう。

近い将来に起こることが予想されている 南海トラフの地震

南海トラフ沿いは過去からおおよそ 100～200 年おきに巨大地震がくり返し起きています。一番最近では 1946 年に昭和南海地震が起きましたが、すでに 70 年が経過しており、近い将来に再び巨大地震が起こると考えられています。国は最大でマグニチュード 9.1 の地震を想定していますが、過去にそのような規模の地震は知られていません。そこで過去の巨大津波や地盤の隆起の痕跡などを詳しく調べることで、より正確に地震の規模を推定できるよう、研究が進められています。

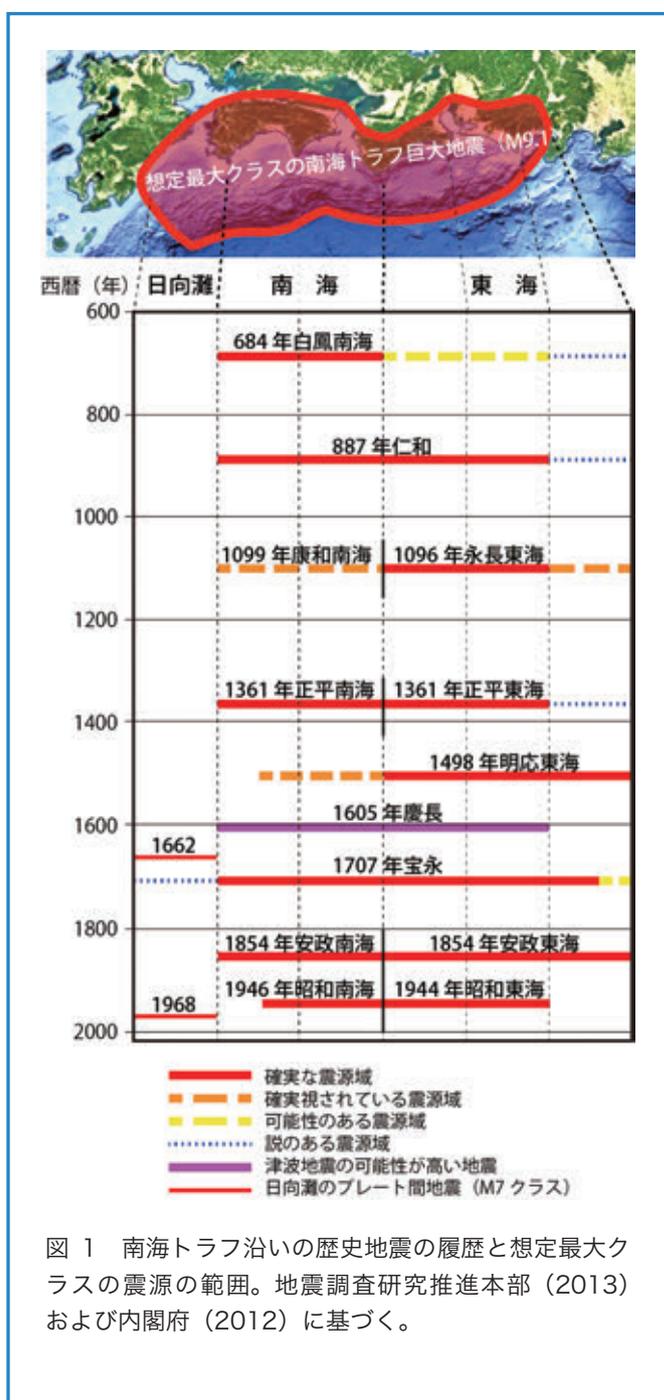


図 2 名勝橋杭岩 (和歌山県串本町) で見られる津波石。無数に散らばる直径 1m 以上の岩塊は、過去の巨大津波で運ばれたと考えられる。

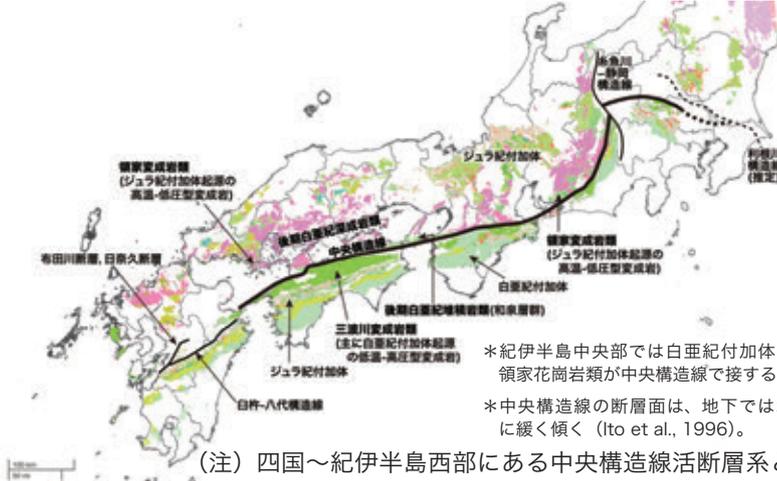


図 3 南海地震による地盤の隆起で干上がった海岸の跡 (高知県土佐清水市)。通常は海面付近で形成される波食棚と呼ばれる地形が、現在は標高 1.2 m 付近の高さにある。

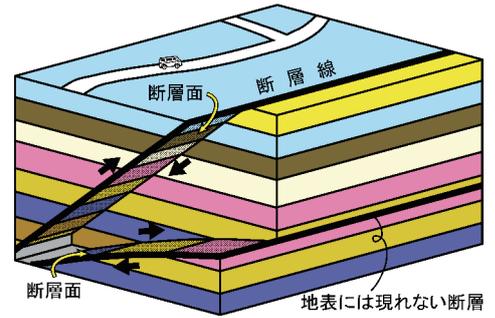
九州の地質：中央構造線はあるか？

中央構造線とは？

- ・中央構造線（断層）は日本列島の「古傷」です。断層の両側で大きく地質が異なります。
- ・北側は、専門用語を使えば、後期白亜紀の高温－低圧型変成岩（^{りょうけ}領家変成岩類）・火山岩・深成岩、及びこれらを不整合で覆う後期白亜紀の浅海成層の地層が分布します。
- ・南側は後期白亜紀の低温－高圧型変成岩（^{さんばがわ}三波川変成岩類）が分布します。



（注）四国～紀伊半島西部にある中央構造線活断層系と呼ばれる活断層は「古傷」の一部を使って現在活動している断層のことで、

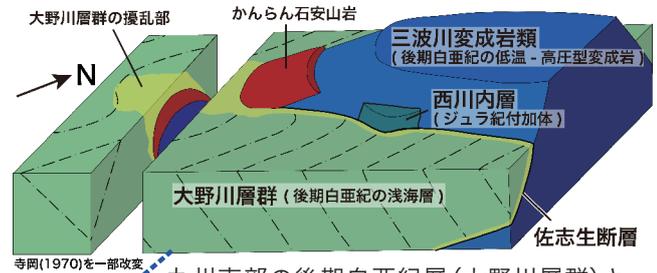


断層は面、地表との交線が断層「線」。地表に断層が現れないと断層「線」はできない。

“構造線”＝地質が両側で大きく違う断層線

九州の地質と“中央構造線”に関係した地層の行方

四国の中央構造線の南側にあった三波川変成岩類は九州東部で露出が終わり、西に向かって沈んでいきます（右図）。そして再び九州西岸で、わずかに地表に現れます。



九州東部の後期白亜紀層（大野川層群）と三波川変成岩類の関係

九州北中部の中生代以前の地層の分布



20万分の1日本シームレス地質図より作成、基図は国土地理院の白地図

【もっと知りたい人のために】
「白杵-八代構造線の南北で地層は続く」

中央構造線に相当する断層は、九州ではほぼ地下にあります。このため九州北部にある地層、例えば三畳紀-ジュラ紀の「周防変成岩類」は白杵-八代構造線のすぐ北側まで分布し、白杵-八代構造線のすぐ南側のジュラ紀付加体の上にも断層で重なって広く分布します。他にも九州北部に分布する地層と同様な分布の地層があります。

九州では、四国で見られるような“中央構造線”を境にした地層の大きな違いは見られません。

九州では中央構造線に相当する断層は水平に近く、九州中央部では地下に存在し、地表には顔を出さない。つまり中央“構造線”はないのです。

地震の起こる仕組み：活断層と地震

私たちが暮らす日本列島の近くでは、海のプレートが陸のプレートの下に沈み込んでいます。日本列島は、たえず沈み込むプレートに押され続けており、ひずみが蓄えられています。このひずみを解消するために、活断層が地震を起こします（図1）。活断層は、ひとことで言えば、大地の大きな傷です。日本列島には、このような傷がたくさんあります。「中央構造線」などの地質構造線も、大地の傷のひとつです。

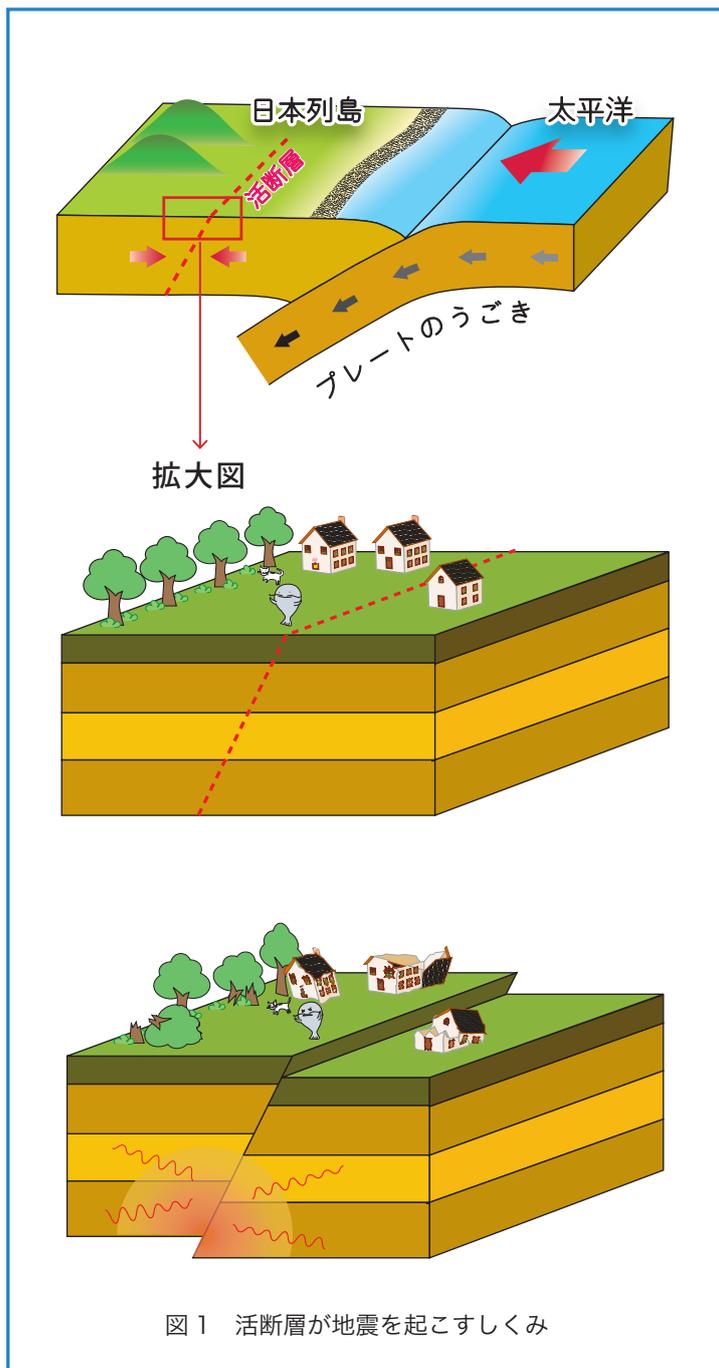
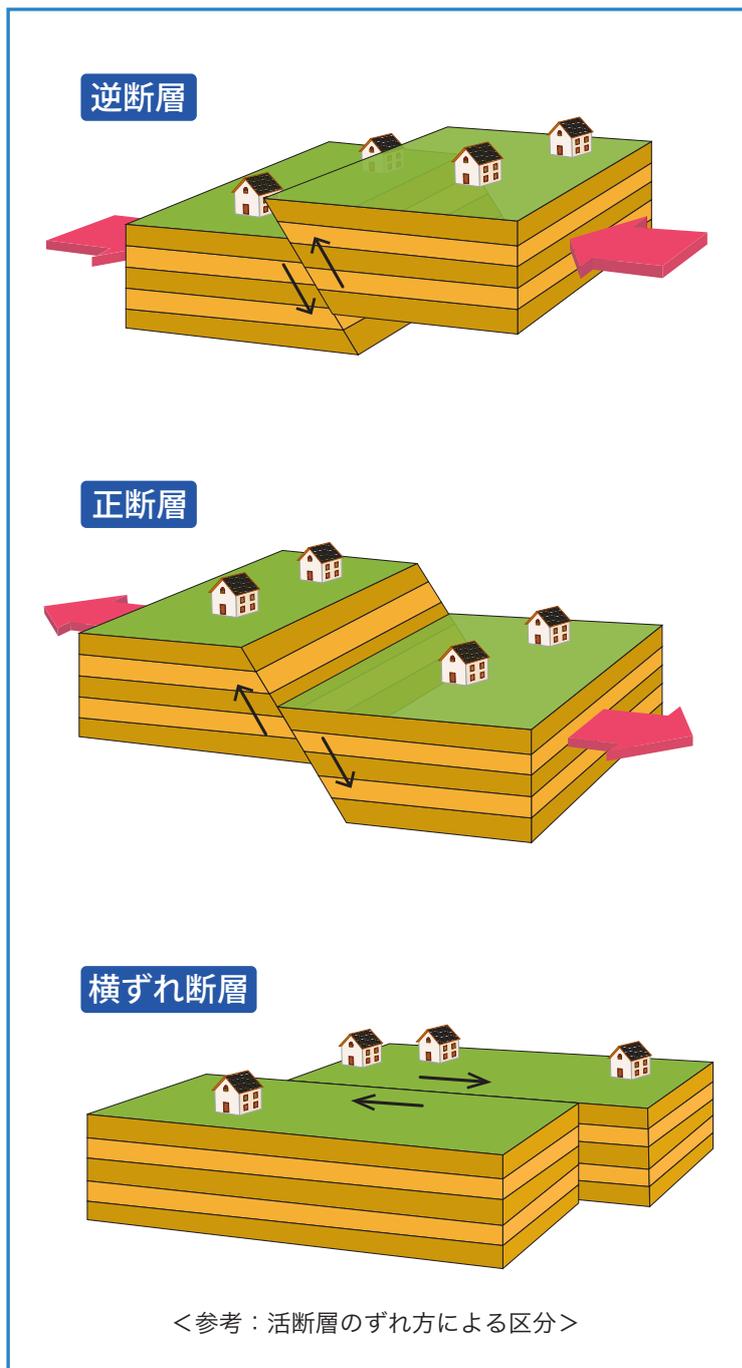


図1 活断層が地震を起こすしくみ

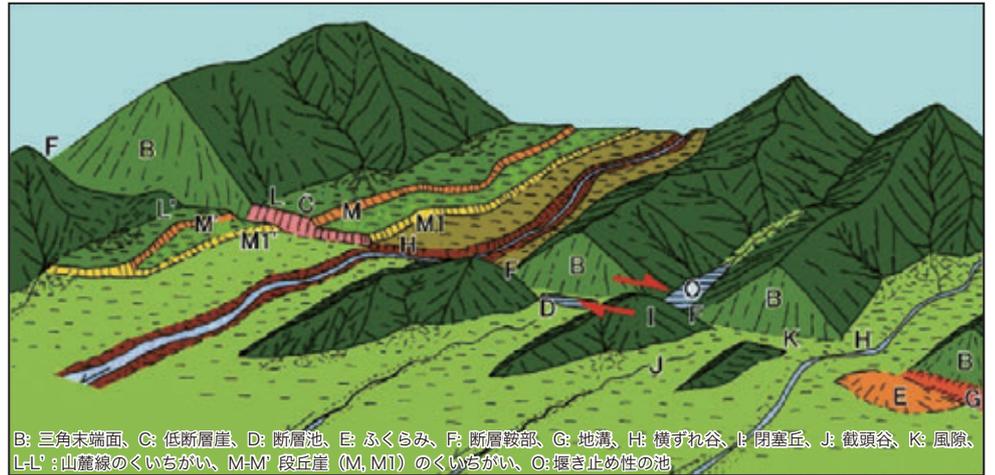


活断層は、断層面をはさんだ両側の地層の動き方（ずれ方）によって、逆断層、正断層、横ずれ断層に区別されます（右図参考）。横ずれ断層のうち、向こう側の地層が右にずれるものを右横ずれ断層、左にずれるものを左横ずれ断層と呼びます。

活断層を調べる

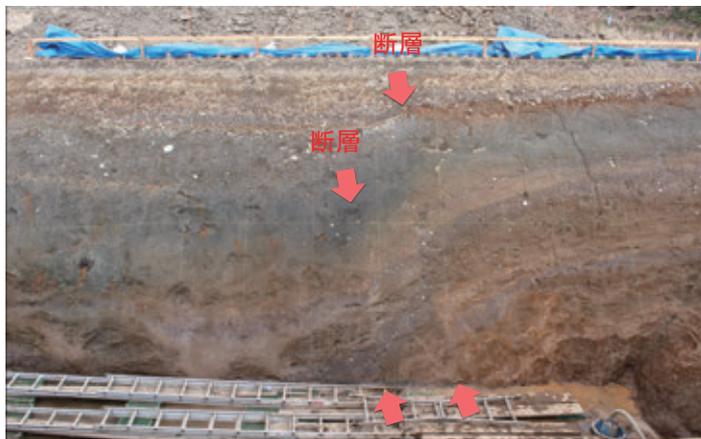
活断層は、繰り返し地震を引き起こしますが、毎回、ほぼ同じ場所でずれることが経験的に分かっています。また、繰り返す間隔には周期性があることも分かっています。私たちは、この活断層がずれる位置と、過去に地震を起こした時期を調べることにより、将来起こる地震を予測するための調査・研究を行っています。

① 活断層を調べるためには、まず、活断層がどこにあるのかを探します。空中写真や地形データを使って、活断層が繰り返しずれ動くことによってできた地形を探します。



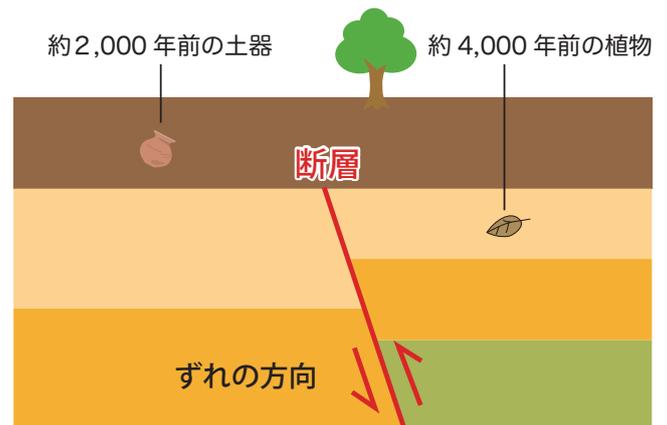
活断層により形成された地形*

*地震調査研究推進本部のHPより引用 <http://www.static.jishin.go.jp/resource/figure/figure005054.jpg>
原図は、「新編日本の活断層」(活断層研究会編, 1991)



②次に、活断層が、過去のいつ頃地震を起こしたのかを調べるために、活断層の上に調査用の溝（トレンチと言います）を掘って、溝の壁に現れた地層と断層を観察します。

③ 地層の年代を知るためには、土器などの考古遺物や腐植土などの有機物、火山灰などを分析します。これらの分析結果から、断層が動いた時期、つまり、地震を起こした時期を推定することができます。右の図では、断層は約4,000年前の植物を含む地層をずれさせており、約2,000年前の土器を含む地層に覆われています。この場合、地震は約4,000年前と約2,000年前の間に起こったことが分かります。



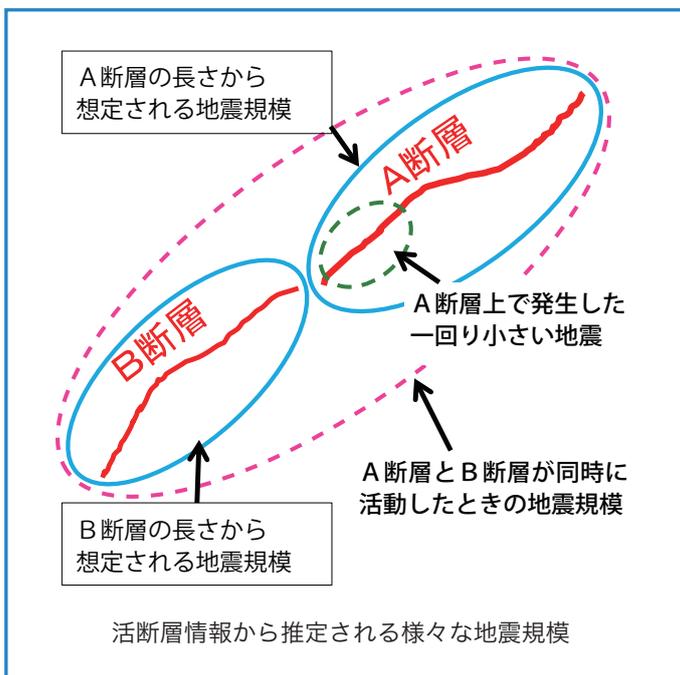
日本の活断層とその評価

日本の活断層の数は？

日本の多くの活断層研究者が共同で編集した1991年発行の「新編日本の活断層」という資料には約2,000の活断層が描かれています。一方、産総研で運営する「活断層データベース」では、その他の資料も参照して、長さ10km以上の約500の活断層を整理し直し、様々な情報を収録しています。

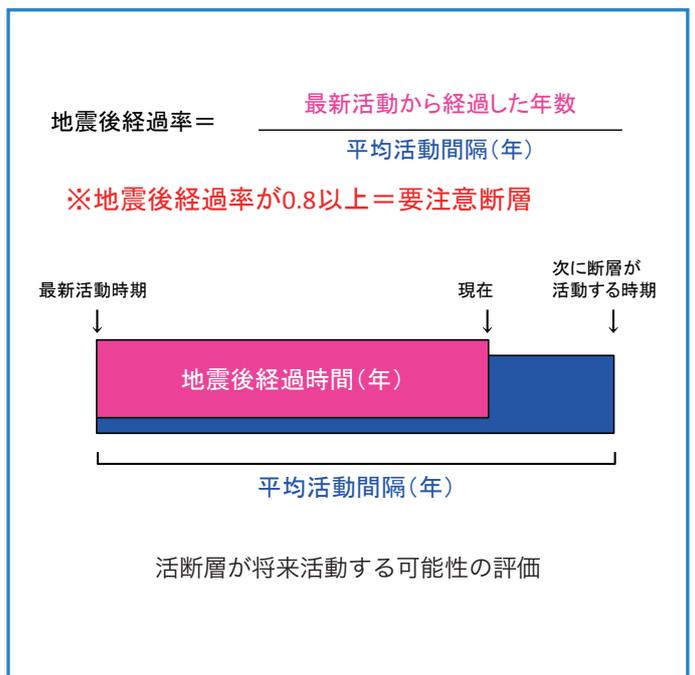
活断層と地震の大きさの関係は？

左下の図のように、活断層から発生する地震の大きさは、主に活断層の長さから推定することができます。2016年熊本地震では、活断層から事前に想定した規模とほぼ同じ規模の地震が起きました。また、隣り合った活断層が連動して地震を発生させることもあり、そのような地震も想定されています。一方で、2014年長野県北部の地震は活断層のごく一部だけで発生した地震でした。そのような地震をどのように事前に評価することができるのか、現在研究が進められています。



活断層はいつ動くのか？

活断層が最後にいつ活動したのかと、活動間隔を調べることにより、次の活動がいつ頃になるのか予想することができます。また、活断層が近い将来に大地震を発生させる確率も計算されています。しかし、地質情報から得られるデータの量や精度の限界、断層活動の不規則性などの課題があります。

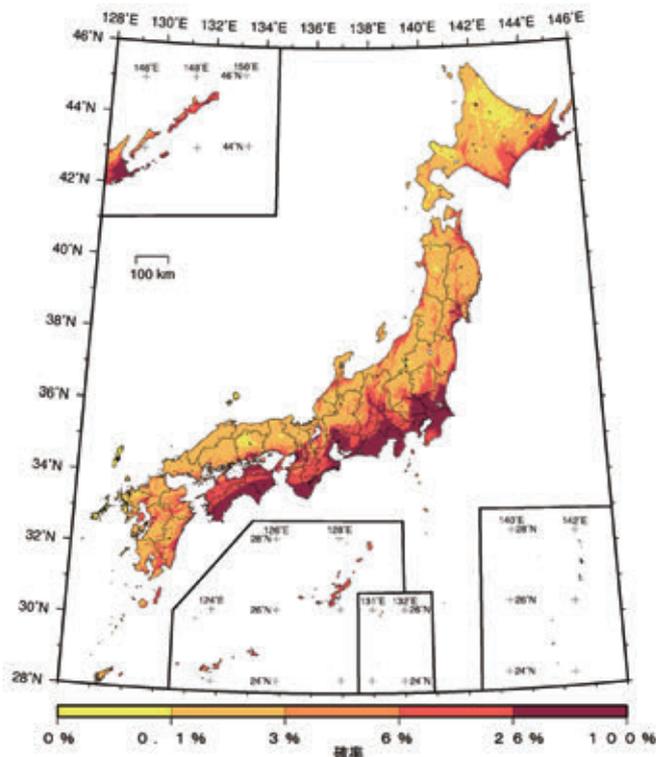


地震への備え

地震動予測地図

日本で起こる大地震は、これまで述べてきた内陸の活断層と、海域のプレート境界で起こる2種類があります。それぞれでどの程度の確率で地震が発生し、またそれによる揺れがどの程度になるのかを予測することができれば、ある地域で何年以内にどの程度の確率で、例えば、震度6弱の地震が起こるのかを示すことができます。このようにして政府は地震動予測地図というものを作成しています。

右図は地震動予測地図の例です。これは確率論的地震動予測地図と呼ばれ、今後30年間に震度6弱以上の揺れに見舞われる確率が、色で示されています。日本人が交通事故で負傷する確率は30年間で24%程度であり、地震のリスクをどのように考えるべきかの参考になります。



出典：「全国地震動予測地図 2016年版」（地震調査研究推進本部）

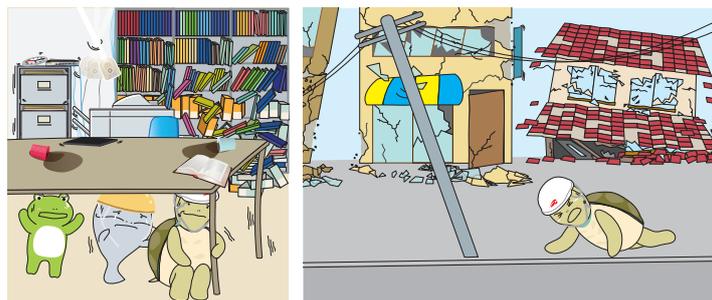
突然の地震に備える

現状では、上で示したような長期的な確率予測以外の方法での地震予知は困難です。このため、地震は突然やってくることを想定し、事前に備えておくことでしか対処のしようがありません。

備えでは、過去にどのような地震でどのような被害があったかを知って、皆さんの住む場所ではどのような危険があるのか想像し、その危険を回避できるよう備えることが大切です。

もう一度、皆さんの周辺で地震への備えができているか点検してみましょう。

- ・耐震
- ・家具の転倒防止
- ・土砂災害の認知
- ・ケガの防止
- ・非常用品の常備
- ・生活水の確保
- ・家族や地域での話し合い
- ・学校、職場、通学、通勤時などの対策
- ・地震の知識



この資料は、『地質標本館 2017 春の特別展 地震・活断層巡回展 2016 年熊本地震 活断層に備えよう』
(2017 年 4 月 4 日 -6 月 4 日) の展示ポスターをまとめたものです。

【著者一覧】

開催趣旨	桑原保人	1
地下で何が起こったか	今西和俊	3
2016 年熊本地震で現れた地表地震断層	宮下由香里・白濱吉起	4-5
余震活動の時間・空間的な特徴	内出崇彦	6
九州地域の活断層	宮下由香里	7
熊本県益城町の建物被害と地盤構造	中澤 努 [*] ・長 郁夫 ^{**}	8
2016 年熊本地震の強震動	吉見雅行	9
被害写真：歴史的建造物	熊本大学減災型社会システム実践研究教育センター	10
被害写真：建物	熊本大学減災型社会システム実践研究教育センター	11
被害写真：インフラ・土砂災害	熊本大学減災型社会システム実践研究教育センター	12
2016 年熊本地震による博物館への影響	阿蘇火山博物館・熊本大学減災型社会システム実践研究教育センター	13
阿蘇火山の最近の噴火活動	星住英夫	14
阿蘇カルデラー日本有数の巨大カルデラ	星住英夫	15
熊本地域の地下水情報	町田 功 ^{***} ・小野昌彦 ^{***}	16
重力で知る地下構造と熊本地震の関係	宮川歩夢 ^{**}	17
1889 年(明治 22 年)熊本地震の資料	室谷智子(国立科学博物館)	18-19
16世紀 慶長の頃の西日本内陸の地震	行谷佑一	20
近い将来起こることが予想されている南海トラフの地震	宍倉正展	21
九州の地質：中央構造線はあるか？	斎藤 真 ^{**}	22
地震の起こる仕組み：活断層と地震	宮下由香里	23
活断層を調べる	宮下由香里	24
日本の活断層とその評価	吾妻 崇	25
地震への備え	桑原保人	26

^{*} 活断層・火山研究部門, ^{**} 地質情報研究部門, ^{***} 地圏資源環境研究部門

【編集】

桑原保人 地質調査総合センター 活断層・火山研究部門
黒坂朗子 地質調査総合センター 活断層・火山研究部門
利光誠一 地質調査総合センター 地質情報基盤センター

【協力機関】

熊本大学減災型社会システム実践研究教育センター
阿蘇火山博物館、熊本県博物館ネットワークセンター
熊本博物館、御船町恐竜博物館
国立科学博物館

【発行】2017 年 3 月(第 1 版)
2017 年 10 月(第 2 版)

【発行元】

国立研究開発法人産業技術総合研究所 地質調査総合センター
〒305-8567 茨城県つくば市東 1-1-1 中央第 7
<https://www.gsj.jp>

クリエイティブコモンズ ライセンス表示 改変禁止

