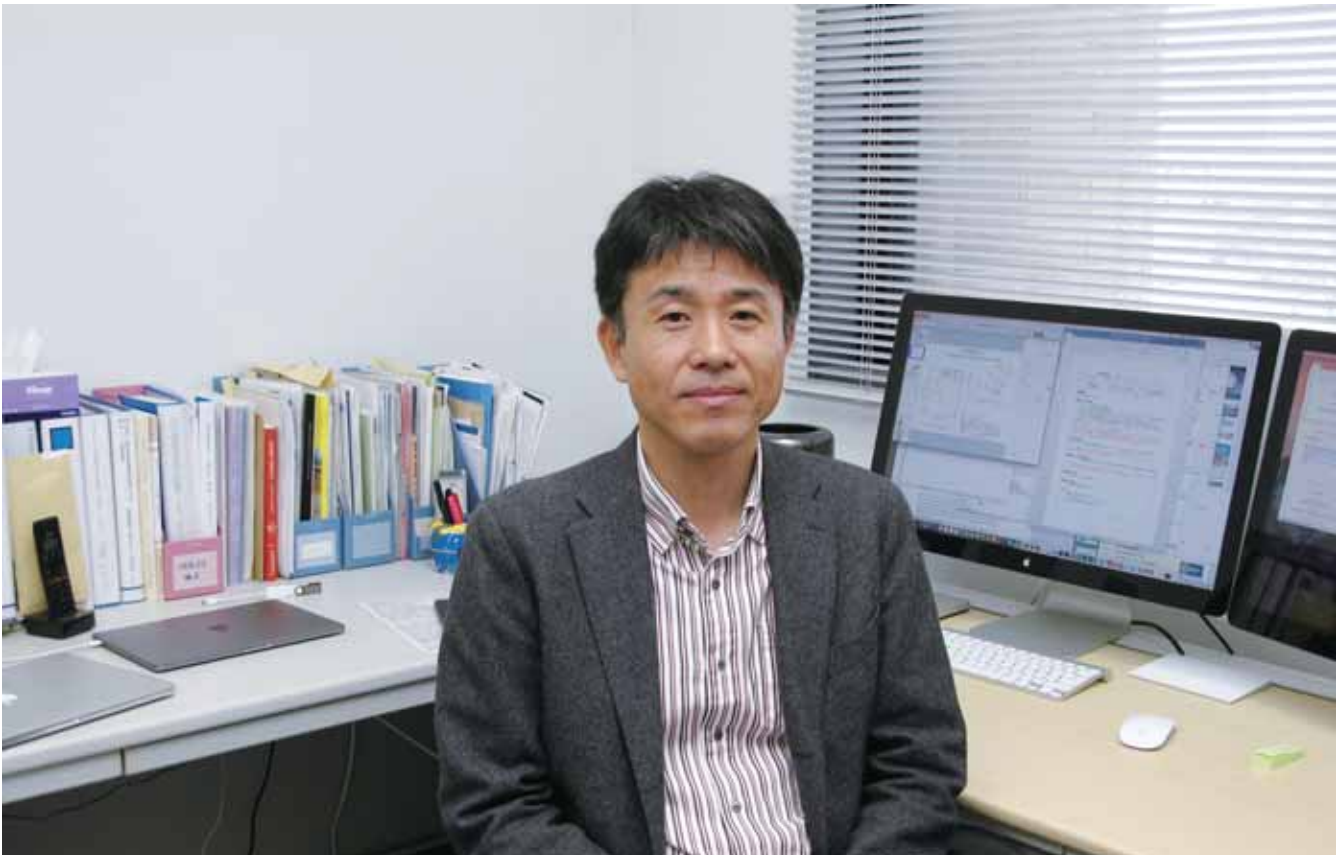


特集

内陸地震のしくみと仙台圏の活断層



東北大学災害科学国際研究所 災害理学研究部門

教授 遠田 晋次

【プロフィール】

1966年生まれ。地震地質学者。東北大学大学院理学研究科前期博士課程修了。電力中央研究所、東京大学地震研究所、産業技術総合研究所、京都大学防災研究所を経て、現職。著書に「連鎖する大地震」（岩波科学ライブラリー）、「活断層地震はどこまで予測できるか」（講談社ブルーバックス）。

1. はじめに

平成28年は内陸直下型地震の多い年でした。4月14日のマグニチュード（M）6.5と16日のM7.3の熊本地震にはじまり、10月21日の鳥取県中部地震（M6.6）、11月22日の福島沖地震（M7.4、沿岸海域の活断層による）、最後は12月28日の茨城県北部の地震（M6.3）と続きました。東日本は、東北

地方太平洋沖地震（以下、3.11）によって地面に加わる力のバランスが変わり、余震や誘発地震が継続中です。一方で、西日本は次の南海トラフ巨大地震へ向かって地盤が圧縮され続けていて、内陸地震が起きやすくなっています。日本列島は、今後10年、20年、昨年のような活動が常態化する可能性があります。

仙台圏にも長町―利府断層という第一級の活断層が存在します。仙台圏を襲うのは、なにも3.11や宮城県沖地震のような海域の大地震ではありません。本稿では、私が熊本の現場で見てきたことを簡単に紹介しつつ、内陸直下地震のしくみとその特長を紹介します。

2. 熊本で何が起こったか

平成28年4月14日午後9時26分、熊本市東部付近の地下11kmを震源とするM6.5の地震が発生し、熊本県上益城郡益城町を震度7の強烈な揺れが襲いました。そして、28時間後の4月16日未明の午前1時25分には、さらに大きなM7.3の地震（いわゆる熊本地震の本震）が発生し、再び益城町を震度7の激震が襲いました。西原村でも震度7、熊本市で震度6強、南阿蘇村でも震度6強を観測し、広範囲で建物が倒壊するなど甚大な被害がでました。50名もの犠牲者を出す惨事となりました（関連死も含めると152名）。震度7の揺れがわずか短時間に繰り返されたのは、観測史上初めてのことでした。

私は東北大学研究チームの一員として、本震当日の午後から益城町とその周辺の調査を行いました。町の中心部の被災地域を抜けて目前に現れたのは、顕著な地面のズレです（図1）。断層を境に、畑の畦や畝が断層によって明瞭に食い違っていました。地面が水平に最大約2mもずれていたのです。調査の結果、このようなズレが阿蘇のカルデラ内まで延々と30kmも続くことがわかりました。まさに、熊本地震を引き起こした犯人（断層）が姿を現したのです。この断層は、以前から知られていた布田川断層と日奈久断層の一部でした（図2）。



図1 熊本地震で出現した地表地震断層

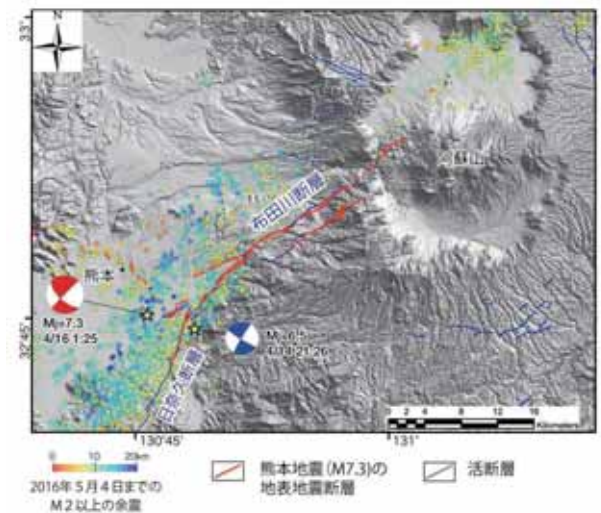


図2 熊本地震の地震断層と活断層

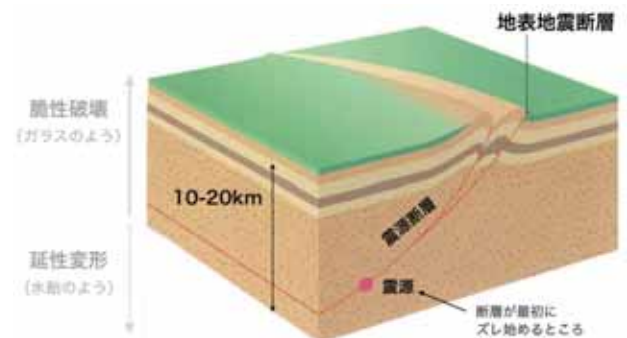


図3 地表地震断層と震源との関係

このように地表に現れたズレを地表地震断層（以下、地震断層）といいます。地下数km～十数kmで地震波を放出した断層が地表に顔を出したものです（図3）。日本列島の場合、地震断層はM7程度以上の内陸地震で出現します。地震断層の長さやズレの量は、地震のマグニチュード（M）に比例します。

M6.5地震で長さが約10km、M7.0で約20km、M7.5で約40km、M8.0で約80kmとなります。また、断層のズレは目安として、M6.5で0.8m、M7.0で1.6m、M7.5で3.2m、M8.0で6.3mです。日本最大の内陸地震である1891年濃尾地震（死者約7273人、M8.0）では、比高6mもの崖が当時の写真に収められています。

揺れの大元が断層であるならば、断層直上で被害が最大になると思いがちですが、そうとは限りません。再び図1bをご覧ください。断層脇に立つ民家は倒壊していないどころか、屋根瓦一つ落ちていません。大地震後に断層沿いを調査していると、このようなシーンにたびたび遭遇します。

もちろん、活断層からの距離は揺れの強さを決める重要な要素です。しかし、加えて表層の地質が震度分布に影響します。地盤が強固か軟弱かということです。震源から発せられた地震波が地表に届くプロセスを図4に示しました。通常は、揺れ（地震波）は震源からの距離の2乗に反比例して弱まります。断層から離れると急激に揺れが減衰するのです。しかし、地表付近に軟弱な堆積物が存在すると、弱まっ

た波が再び強まります。極端な例えですが、平野や盆地の地表付近に「こんにゃく」や「プリン」が横たわっているイメージです。ちょっと刺激するとプニャプニャと揺れますよね。

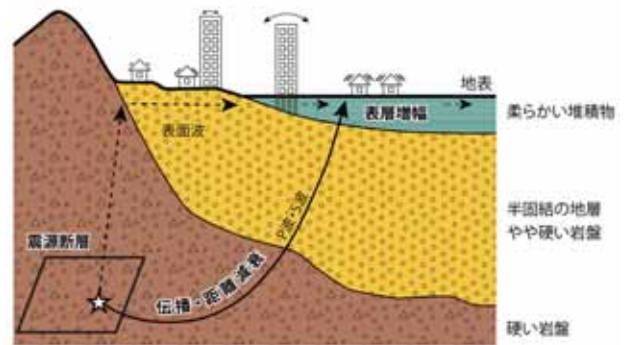


図4 地震の揺れの減衰と増幅（地震調査研究推進本部の図を改変）

例えば、東日本大震災では、三陸沿岸の津波被害は甚大でしたが、揺れによる倒壊はほとんどありませんでした。1億年前以前に堆積した古くて硬い岩盤のためです。一方で、震源から離れた郡山市などで逆に被害が甚大でした。盆地に堆積した泥や砂の層が揺れを増幅したためです。熊本地震でも、益城町で被害が大きかったのは、断層に近かったことに加えて、阿蘇山から流れてきた火山灰や軽石など柔らかい火山性堆積物が揺れを強めたためです。震度7の揺れは、活断層に近くて地盤が軟弱という場合に起こるのです。

3. 海溝型地震と内陸地震の違い

熊本地震は、いわゆる「直下型地震」でした。じつは、直下型地震という言葉を我々専門家は使わず、内陸地殻内地震、短縮して内陸地震と呼びます。東北地方太平洋沖地震や南海トラフ沿いで起きる地震は「海溝型地震」といいます。地面が揺れる、という現象は基本的に同じですが、内陸地震と海溝型地震とでは、震源の場所や深さ、発生メカニズムや規模、被害の様相などが異なります。

地球は十数枚のプレートといわれる厚さ10-50km程度の岩盤（地殻）に覆われています。これ以深にはマントルというドロドロの物質があり、その上をプレートが覆っているわけです。地球を卵に例えると、プレートは卵の殻だと考えてください。牛乳を温めた時にできる薄い皮膜と考えていただいても結構です。これらがマントルの対流で水平に動くこと

によって（温められた牛乳の動きで皮膜が動くようなもの）、プレートの境界や内部に歪が蓄積します。

日本列島はユーラシアプレートの上に乗っていて、南にはフィリピン海プレート、東には太平洋プレートが存在します。東北地方では、太平洋プレートが陸の下に沈み込んでいます（図5）。普段は陸側のプレートと太平洋プレートは摩擦でくっついていますが、太平洋プレートは年間8cmの速さで日本列島に近づいています。わずか8cmですが、例えば50年経つと4m分の歪になります。歪が十分蓄積されると摩擦力を上回り、いっきに反動的に動きます。これが宮城県沖地震や東北地方太平洋沖地震のようなプレート境界型の地震です。数十年間隔でM7～8規模の地震が繰り返されます。数百年～千年程度に1回、東北地方太平洋沖地震（M9）のような超巨

大地震も発生します。震源の深さは通常10-50kmです（太平洋プレート内部で起こる地震は深さが100kmを超えることもある）。

一方、兵庫県南部地震や熊本地震のような内陸地震は、陸域直下で発生します。震源が浅いため震度6強や7の揺れをとめない、局地的に甚大な被害をもたらします。日本列島陸域では、地震の発生する深さは15kmよりも浅いのが特長です。この深さ以上になると地面の温度が約500℃以上になり、岩石が水飴のように変形するからです。火山や熱水活動が活発な地域ではさらに地震の発生する深さが浅くなります。逆に15kmよりも浅い岩盤内はバリバリと（脆性的に）割れ、その割れ目にズレが生じて断層となります。最初は小さかった断層も何十万年、何百万年と経過するうちに、何度も何度も動いて成長していきます。その結果、数10km以上長さになり、M7～8の大地震を引き起こす「立派な」断層に成長するのです。現在その過程にある断層が「活断層」なのです。

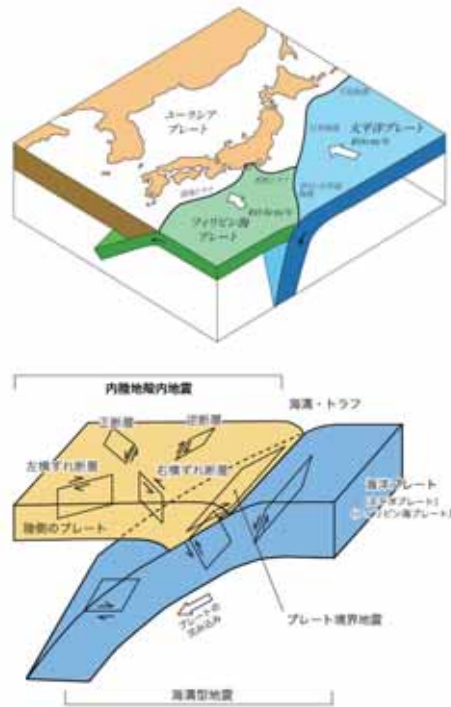


図5 日本列島を取り巻くプレートと地震のタイプ（地震調査研究推進本部の図を改変）

4. 活断層の分布と内陸被害地震

図6は、気象庁の地震カタログが記録され始めた1923年（大正12年）以降、2016年5月までに陸域で発生したM6.5以上の地震をまとめたものです。M6.5以上の内陸地震の年間発生数は0.4個になりま

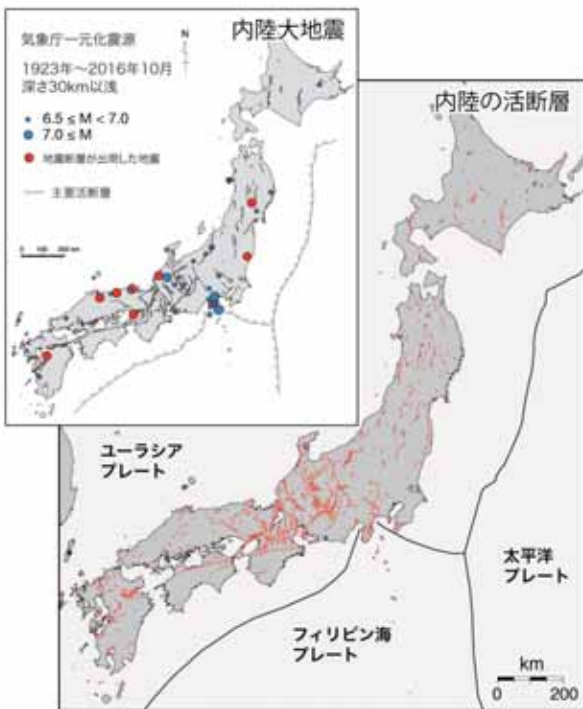


図6 1923年以降の内陸地震と活断層（赤線）の分布

す。ほぼ2年に1回起こっています。M7.0以上だと年に0.1個なので、おおよそ10年に1回です。35個の内陸地震のうち、15個で地震断層が観察されています。M7.0以上では地震数12に対して地震断層の出現例は10個です。地質学者は過去の地表の傷（活断層）から逆に地下で発生する地震を予測します。したがって、活断層を見いだすことによって、おおよそ8割くらいのM7以上の地震を予測できるという理屈になります。

では、どうやって活断層を探すのでしょうか。一度の大地震で地面は1～5cm程度食い違いますが。そのとき地表に現れた断層を地震断層といいました。この断層が継続的に数万年～数十万年間に同じ動きを繰り返すと、数十m～数百mもの比高を持つ崖ができます。さらに長い間活動すると、盆地・平野と山地を形成します。活断層を探すには、このような崖地形や地形の起伏に着目すればよいのです。地形を読むために、航空機から位置を少しずらして撮影した2枚の空中写真で地形を立体的に認識します。崖や谷、尾根、段丘の縦方向、横方向のずれなど、大地が動かなければできない地形（変動地形）を探していきます。このような調査・研究で見出された日本国内の活断層は二千以上にのぼります。

東北地方にも数多くの活断層が存在します。東北地方は脊梁山脈に沿って火山が分布するのが特長です。しかし、山地の隆起と海岸平野、内陸盆地の形成には活断層が関わっています。図7は東北地方中央部の地形と活断層です。北上低地、横手盆地、庄内平野、山形盆地、米沢盆地、仙台平野、福島盆地、会津盆地、すべてこれらの縁には活断層が存在します。先に述べた熊本地震の布田川断層帯とは異なり、東北では上下に動く断層（逆断層）がほとんどです。そのため、活断層が少し「頑張っ」て動いただけでも、山地と盆地・平野ができるのです。市街地は平坦な場所にできるので、東北の県庁所在地のすべてが活断層直上か近傍で揺れやすい場所にあります。



図7 東北地方中央部の主な活断層の分布 (水色線が活断層)

5. 仙台圏の地質・地形と活断層（長町-利府断層）

百万人以上の人口を抱える「杜の都」仙台もその1つです。仙台圏は幅10km程度の海岸平野と青葉山の丘陵・段丘群、脊梁山脈というように地形の起伏に富んでいます。市街地中心に高層ビルが立ち並ぶ大都市でありながら、自然豊かな美しい街です。さらに、これらの高低差に富む地形を、広瀬川、七北田川、名取川、阿武隈川などが東西に横切っています。このような景観は、主として数百万年前から続く地学的な歴史の上に成り立っています。特に、この「高低差」(プラタモリでのタモリさんの口癖)は、まさに、仙台市を横切る活断層である長町～利府断層と広瀬川の共同作業の賜物です。断層活動がなければ、伊達政宗は青葉山に城を築かなかったことでしょう。

この長町-利府断層は、宮城県宮城郡利府町から



図8 長町-利府断層（水色線）。長町-利府線断層帯とも言われるように地表では複数の断層からなる。

仙台市を通り、柴田郡村田町まで北東-南西方向に伸びます。全長は約40kmと推定されています（図8）。地表では複数の断層が帯状に分布することから、長町-利府断層帯とか長町-利府線断層帯とも呼ばれます。地下数km～15km程度では地震の起こす断層は北西へ傾斜していると考えられています。その状態で仙台市が東西に圧縮され、青葉山側が仙台平野に対して隆起するような動きを繰り返してきました。そのため、断層沿いには北西側が高い崖(坂)がみられます。例えば、コボスタ（宮城球場）から榴ヶ岡公園へはわずか300mくらいの距離ですが、比高20m程の坂を登らなければなりません。これは長町-断層が数回の大地震を起こしたために生じた高低差です。

図9には長町-利府断層によって隆起した河岸段丘の標高を示しています。断層の北西側（隆起側）には、大昔の広瀬川によって形成された複数の河岸段丘が残されています。たとえば、東北大学青葉山キャンパスがある青葉山段丘は、約20万年前に形成されたと推定されています。青葉山段丘は現在標

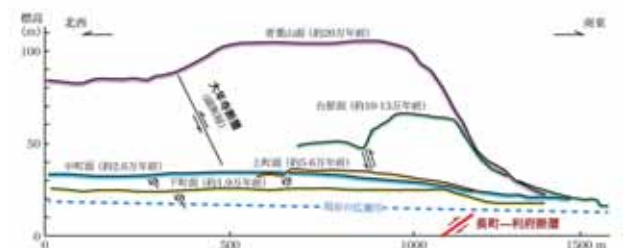


図9 長町-利府断層を横切る地形断面図

高約100mの高さにあります。また、仙台市内中心部の平坦面である上町段丘（6万年前）は約30mの高さにあります。したがって、長町一利府断層による青葉山段丘の隆起速度は $100\text{m} \div 20\text{万年}$ 、上町段丘の隆起速度は $30\text{m} \div 6\text{万年}$ で、ともにおよそ $0.5\text{mm}/\text{年}$ となります。このような隆起は徐々にゆっくり起こるのではなく、間欠的に大地震を起こしながら形成されてきたものです。例えば、長町一利府断層が約三千年に一度動くとする、 $0.5\text{mm} \times 3000\text{年} = 1.5\text{m}$ なので、地震時に比高1.5mの崖が生じることになります。

長町一利府断層の動きは、深さ数mの溝を掘って、地層を観察する調査（トレンチ調査）でも確かめられています。例えば、図10は榴ヶ岡公園周辺の道路拡張工事で露出した大年寺山断層（長町一利府断層の副次的な断層）です。約40度東に傾く断層によって、東側（榴ヶ岡公園側）が隆起しています。約2～3万年前の広瀬川の河床礫が断層で切られています。断層は何度かズレ動いたと思われ、最上部は比較的新しい表土に覆われています。最後の大地震はこの表土が堆積する前のこととなります。このようにして、地層から大地震の痕跡と動いた時期を読み取ります。

政府の地震調査研究推進本部によると、長町一利



図10 榴ヶ岡公園付近に現れた大年寺山断層の露頭

府断層は、平均三千年程度の間隔で活動し、今後もM7.0～7.5の大地震を起こすと評価されています。今後30年以内に動く確率は1%以下とみられていますが、データはまだ不十分で、よくわかっていません。また、M6級の地震はもっと頻繁に起こるかもしれません。なお、長町一利府断層が活動すると、仙台市内がどのような揺れに見舞われるのか、政府および宮城県からシミュレーション結果も公表されています。例えば、J-SHIS地震ハザードステーション (<http://www.j-shis.bosai.go.jp>) では2500m×2500mの区画で結果を表示しています。職場や自宅の想定震度などを調べておくことも大事だと思います。

6. 突然、揺れがやってくる

緊急地震速報は、P波とS波という速度の異なる2種類の波と、全国約100カ所に設置された地震計網を利用して、強い揺れが襲ってくる前に携帯電話、テレビ、ラジオなどで警報を発するものです。東日本大震災とその余震では、携帯電話やテレビ・ラジオなどを通じて頻繁に緊急地震速報が流されました。なかには速報後すぐに身構えることで難を逃れた地震もあり、緊急地震速報の有用性が証明されました。東北沖地震では、速報から主要振動の到達まで仙台で15秒、東京では1分も身構える時間がありました（図11）。震央と仙台は約150km、東京は約300kmも離れているためです。しかし、内陸地震の場合、顕著な被害をもたらす震度6以上の地域は震源域の真上にあります。速報よりも強烈な揺れの方が先にやってきます。図11を見て頂くとわかるように、熊本地震の震度7、震度6強の地域は、猶予時間が0秒以下であることがわかります。つまり、速報が間に合わないということです。机の下に隠れる、建

物から飛び出る、といった行動を起こす時間ありません。残念ながら、原理的に内陸地震には緊急地震速報は無効です。

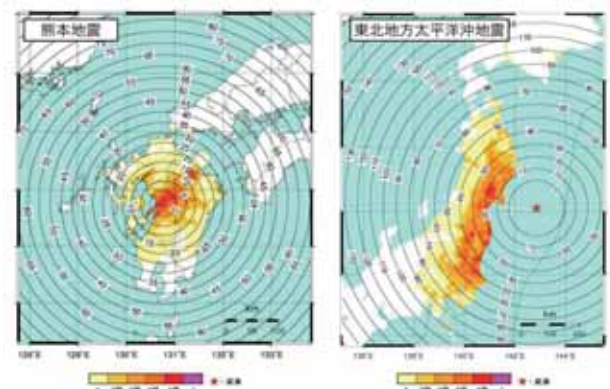


図11 東北沖地震と熊本地震での速報からの猶予時間（気象庁資料を編集）

こうしたことから言えるのは、内陸直下型地震における対策は、不意の強い揺れから命を守ることだ

とわかります。もっとも重要かつ効果的な対策は建

物の耐震化しかありません。

7. 斜面災害

内陸地震による被害の特長の1つが斜面災害です。2004年新潟県中越地震では、267ヵ所の土砂災害が発生し、4人が巻き込まれて亡くなっています。また、斜面崩壊による道路の寸断で最大61の集落が孤立しました。2008年岩手・宮城内陸地震でも、栗駒山山麓で地すべりや土石流、斜面崩壊、落石などが4100ヵ所で発生しました。二迫川の荒砥沢ダム上流側で発生した巨大地すべりは長さ約1300メートル、幅約900メートル、最大の深さ150メートルにもおよび、近年の日本の内陸地震で発生した最大級の崩壊でした（図12a）。同地震の死者・行方不明者23名のうち18名が、このような斜面災害に巻き込まれたものでした。熊本地震でも、阿蘇大橋の落橋の原因となった立野地区の大規模崩壊は記憶に新しいところです（図12b）。

内陸地震による斜面崩壊は土砂だけの問題ではありません。斜面崩壊による土砂で河川が閉塞され（河道閉塞）、上流側に堰き止め湖、天然ダムが生じます。その天然ダムの決壊が下流川の集落に甚大な被害をもたらします。2004年新潟県中越地震、2008年岩手・宮城内陸地震でも多数の天然ダムが形成されましたが、ポンプによる排水や開削工事で難を逃れました。しかし、過去の内陸地震では、天然ダム決壊による悲惨な状況が記録されてきました。

住宅の密集する平野や盆地に比べて山地や丘陵地は一般に地盤が良く、揺れ自体は小さくなる傾向があります。しかし、このように斜面崩壊という別な

危険要素も地震ハザードマップに取り入れなければなりません。



図12 地震にともなう斜面崩壊。a) 岩手・宮城内陸地震による荒砥沢ダム背後の大規模地すべり、b) 熊本地震で阿蘇大橋を押し流した斜面崩壊

8. おわりに

熊本地震の断層調査では、「ここに布田川断層が通っているというのは知っていたが、まさか本当に地震を起こすとは思わなかった」という声をしばしば聞きました。しかし、政府の地震調査研究推進本部は、布田川断層帯、日奈久断層帯は主要な活断層で、大きな被害をもたらす可能性があることを指摘していました。熊本県など各自治体でも、防災・減災対策の啓発に取り組んできていたようです。長町一利府断層についても「数千年に1回程度しか大地震を起こさないから大丈夫だろう」と勝手に判断できません。数千年に一度が、今日か明日になることもあるのです。

最後に一言。津波の場合は「津波てんでんこ」と言われるように、他人に構わずとにかく逃げるのが重要といわれます。しかし、内陸地震では「共助」の精神が大事です。倒壊した建物から、消防や自衛隊が到着する前に、皆で可能な限り助け合う。実際に平成26年長野県北部地震では白馬村で77棟が全半壊でしたが、一人も犠牲者を出しませんでした。この「白馬の奇跡」は、地域住民らによる迅速な安否確認と救助活動でした。防災意識とともに、普段からの近隣のコミュニケーションや団結が重要なのだと思います。