

測地データに基づく山陰ひずみ集中帯の地震活動と活断層

西村卓也（京都大学防災研究所）

Active faults and seismicity in the San-in shear zone identified from geodetic measurements

Takuya Nishimura (DPRI, Kyoto Univ.)

1. はじめに

日本列島では、1994年から国土地理院により GNSS (GPS) 観測が開始され、現在では国土地理院の観測網 (GEONET) だけでも全国で約 1300 か所の観測点が整備されている。これらのデータを解析することにより日本列島で現在進行している地殻変動を把握することができる。Sagiya et al.(2000, PAGEOPH)は、GNSS データの解析から日本列島の中でも特に地殻変動の進行速度が大きい地域として「新潟-神戸ひずみ集中帯」を発見した。西村 (2017, 活断層研究) は、2005 年-2009 年の GNSS データを用いた日本列島のひずみ速度分布と活断層や内陸地震との関係を調査し、西日本ではひずみ速度の大きい場所で大地震が多く発生している傾向を示した。また、Nishimura and Takada(2017)は、山陰地方の島根県東部から鳥取県にかけて、右横ずれを示すひずみ集中帯があることを示した。本講演では、西村(2017)及び Nishimura and Takada(2017)の紹介と山陰地方で行われている稠密 GNSS 観測結果について報告する。

2. 日本全国のひずみ速度と内陸地震

図 1 は西村(2017)に示された 2005 年 4 月から 2009 年 12 月までの GNSS 観測データから得られるひずみ速度分布である。大局的なパターンとしては、四国や伊豆半島~関東南部などの太平洋側で大きく、海洋プレートの沈み込み帯におけるプレート間カップリングで説明される。しかし、内陸や日本海側においても、新潟から神戸にかけての領域（新潟-神戸ひずみ集中帯）や、別府から熊本にかけての九州中軸部、東北地方中軸部、北海道東部中軸部や日高地方などでひずみ速度が周囲よりも大きい領域があり、ひずみ集中帯と言える。図 1 には、2010 年以降に 40km 以浅で発生した大地震 ($M \geq 6$) の震央も示しているが、東北地方太平洋沖地震の余震と誘発地震を除いて、多くの大地震が地震前にひずみ速度の高かった領域で発生していることがわかる。

3. 山陰ひずみ集中帯と活断層及び内陸地震

山陰地方には地震調査研究推進本部によって評価されている主要活断層は少ないが、最近 100 年間には、1927 年北丹後地震、1943 年鳥取地震、2000 年鳥取県西部地震などの $M7$ 級の地震が相次いで発生しており、最近でも 2016 年鳥取県中部地震($M6.6$)、2018 年島根県西部地震($M6.1$)などの被害地震が発生している。Nishimura and Takada(2017)は、GNSS 観

測データから，島根県東部から鳥取県にかけて右横ずれ運動を示す「山陰ひずみ集中帯」が存在していることを指摘したが，2014 年以降に新設した GNSS データを加えても，この地域の歪み速度が大きいことが確かめられた（図 2）．未成熟な活断層が多数存在するこの地域（岡田，2002 活断層研究）で測地学的ひずみ速度が大きいことは，歪み速度が時間スケールによって変化していることを示していると考えられる．また，ひずみ集中帯がほぼ東西走向で右横ずれ運動を示しているのに対し，鳥取県西部地震の震源断層などが北北西-南南東走向の左横ずれは，せん断帯内部の共役リーデルせん断面と解釈することが可能であり，山陰ひずみ集中帯が未成熟な断層帯であることを示すものと考えられる．

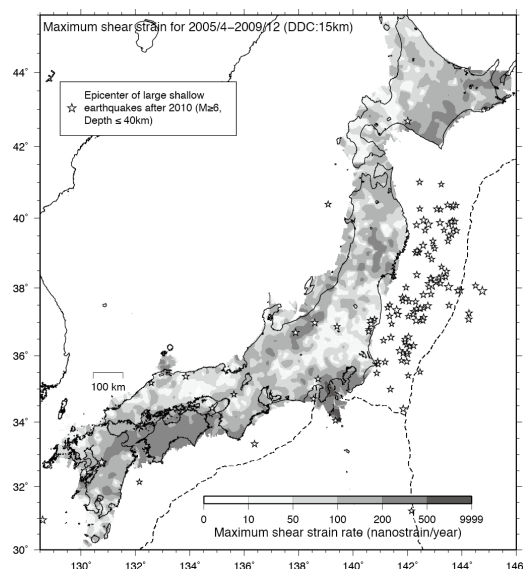


図 1 GNSS データ(2005/4-2009/12)から計算した最大剪断ひずみ速度分布(西村，2017)

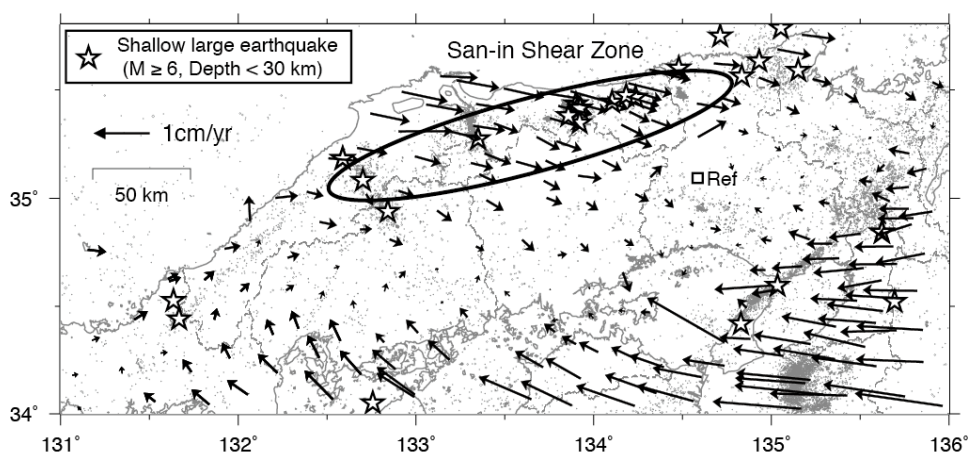


図 2 GNSS データ(2014/12-2018/4)による山陰地方の水平変位速度と微小地震分布

謝辞：GNSS 観測データとして国土地理院 GEONET 及び海上保安庁 GPS 連続観測データ，活断層データとして地震調査研究推進本部の長期評価のデータ，地震データとして気象庁一元化カタログを用いました．ここに記して感謝いたします．

短い活断層と潜在断層をどう評価するか ―断層成熟度と応力の蓄積・解放・伝播―

遠田晋次(東北大学災害科学国際研究所)

How we can properly evaluate short active fault and blind fault from a viewpoint of fault maturity, stress accumulation, stress release and stress transfer

Shinji Toda (IRIDeS, Tohoku University)

1. はじめに

M7前後の浅部地殻内地震（以下、内陸地震）は必ずしも既知の活断層から発生しない。1923年以降のM6.7以上の内陸地震の半数以上は活断層外で発生している（例えば、遠田, 2013）。なかには地震後の地形判読によって新たに短い活断層が示されることもあるが、それでも震源部分の大半は地表に現れていない。このような潜在活断層や短い活断層によるM7内陸地震の過少見積もりは、C級活断層問題（浅田, 1991）や低活動度断層の検出限界問題（例えば、Kaneda, 2003）として指摘されていた。実務的には、「震源を特定せずに策定する地震動」（原子力規制委員会, 2013）や「陸域の震源断層を予め特定しにくい地震の領域と最大マグニチュード」（地震調査研究推進本部, 2018）として「領域震源」として評価されてきた。ただし、その実態は十分理解されているわけではない。

一方で、干渉SARなどリモートセンシングによる地震性地殻変動の検出技術は1990年代以降急速に発達し、面的な変位場の可視化・地震断層詳細分布の把握を可能にした。特に、熊本地震のように、1つの内陸地震時に多数の「お付き合い」断層（宇根ほか, 2018）としての短い活断層が含まれることがわかった（Fujiwara et al., 2016）。しかし、孤立した短い活断層は全国に多数存在する。また、上記の内陸地震の事例から、多数の潜在活断層・短い活断層が起震断層として存在するのは疑いの余地がない。

本発表では、これらの断層の地域性・偏在性と重要度について、断層成熟度、地殻応力の蓄積・解放過程の効率性というマクロな視点から議論する。

2. 断層構造の階層性（プレート境界―主要活断層―短い活断層・潜在活断層）

海溝型、内陸地震を問わず、地震発生に関わる歪み蓄積の原動力はプレート運動である。ただし、プレート境界沿いでは応力解放が短期間にきわめて効率的に行われる。一般に、サンアンドレアス断層や南海トラフ沿いなど、100-200年間隔でM8級の大地震が繰り返される

地域では、直前の数十年は周辺で M7 級の内陸地震が多発し、直後には被害地震が極端に減るという明瞭な「活動期と静穏期」に区分される。例えば、サンフランシスコ湾岸地域では、1906 年サンフランシスコ大地震 (M7.8) 前 75 年間では 14 個もの M6 以上の被害地震が発生したが、1906 年後にはわずか 1 個のみであった。この地震活動の顕著な静穏化はサンフランシスコ湾岸地域における 1906 年地震による広域の応力降下に起因するとされている (Simpson and Reasenber, 1994)。同様の活動期と静穏期のコントラストとその仕組みは南海トラフや相模トラフでも指摘されてきた (Shimazaki, 1976; Hori and Oike, 1999; Okada, 1994)。このようなプレート境界地震サイクルによる周辺地震活動の変化は、成熟した断層としてのプレート境界沿いのシンプルな応力蓄積・解放プロセスの現れであると解釈できる。活断層分布という視点からは、日本列島外帯は常に大規模な応力低下 (stress shadow) にさらされるため、発達が悪いとも言える。

一方で、東北日本内帯や西南日本の日本海沿いでは、その 100 年サイクルの変動の影響は比較的小さい。ただし、糸魚川—静岡構造線活断層系や阿寺断層系、六甲—淡路島断層系、中央構造線断層系など、主要活断層を擁する地域では広域の歪み蓄積・解放パターンが 1000-2000 年前後で繰り返され、長大な活断層系が広域歪みの解放における大きな役割を果たす。それでも解消されずに残り続ける地域的な歪みの解放が、さらに活動度の低いローカルな活断層群によってなされることになる。この段階で、潜在活断層や C 級活断層がその役割を担うと考えられる。

3. 非効率な応力解放システムにある山陰地方と信越地方

主要な活断層が存在せずに、地震活動度が高く被害地震が多い地域の代表が山陰地域である。この理由として、花崗岩地域に代表される断層変位地形の保存による見落としの問題がある。一方で、それでも主要な活断層が少ないことから、潜在断層が多数分布する可能性がある。同地域は長期間蓄積した歪み (応力) を解放するシステムが未発達であると考えられる。Wesnousky (1988) は、断層の累積変位量の大きさと断層帯を構成するセグメント境界のステップ幅に負の相関を見いだし、断層の成熟度 (fault maturity) に 1 つの指標を提示した。また、中規模な断層が多在する時期から 1 つの主断層系へ活動が集中する時期への模式図を示し、断層帯の成熟度が高くなるにつれて、断層の規模別分布が変化することを示した (図 1)。断層帯の発達に伴い、周辺の中規模断層が不活発になる一方で、応力解放が効率的になる。短い活断層が多数存在しても、大規模な活断層がないと、広域にわたる応力低下は生じない。そのような地域では常に高い応力状態を維持し、全体として地震活動が活発な状態が継続される。

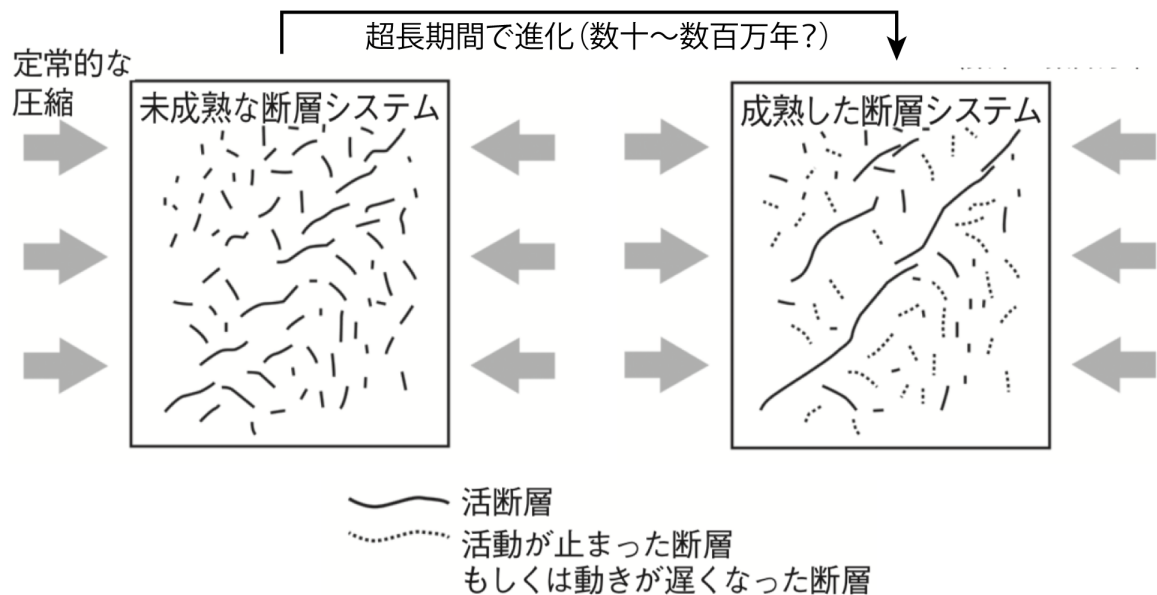


図1 断層システム成熟度の概念図 (Wesnousky, 1988 を改変)

一方、非効率な応力解放システムのもう 1 つの代表が信越地域である。こちらは、未成熟というより現応力場への断層構造の「不適合」ともいえる。新潟県から長野県北部は信越褶曲帯とも称され、数百万年前以降の堆積物が最大 5 km 程度厚く堆積している。そのため、地下の震源断層が素直に地表に到達せず伏在断層になりやすく、厚い堆積物が座布団状に褶曲する「断層関連褶曲」が生じている。これらの断層関連褶曲は、2004 年新潟県中越地震 (M6.8) に代表されるように、中期中新世の日本海拡大時に形成された正断層が逆断層として再活動したもので、その多くは高角逆断層である。潜在高角逆断層は他の断層タイプに比べて地震時の歪み・応力解放効率が悪く、近傍に応力増加域を作りやすい。単純に考えても、高角逆断層は、水平短縮量よりも上下変位が大きくなり、地殻を東西短縮するには大変効率が悪い。このような場では、地震活動の時系列では活動期と静穏期が明瞭に区分されることにならない。実際に、信越褶曲帯周辺では、歴史被害地震が多く定常地震活動も活発で、中規模地震も頻発してきた。信越褶曲帯の分布が GPS 連続観測によって推定された測地学的歪み集中帯「神戸－新潟歪み集中帯」(Sagiya et al., 2000) の北部にほぼ一致するのも興味深い。

4. おわりに

孤立した短い活断層や潜在活断層は、ある特定の地域に偏在しやすいことを応力蓄積－解放の効率性、断層発達過程、断層構造の階層性の視点から指摘した。現状の内陸地震・活断

層評価の最大の問題点は、プレート境界まで含めたこのような全体の地震発生システムに関する検討が抜け落ち、個々の機械的な活断層評価・領域評価に頼っている点であろう。今後は、地震テクトニクスや断層間相互作用など、本来の「地域評価」の視点を付加していく必要がある。

参考文献

- 浅田 敏 (1991) 活断層に関する 2～3 の問題. 活断層研究, 9, 1-3.
- Fujiwara, S. et al. (2016) Small-displacement linear surface ruptures of the 2016 Kumamoto earthquake sequence detected by ALOS-2 SAR interferometry. *Earth Planets Space (EPS)*, 68:160. doi:10.1186/s40623-016-0534-x.
- 原子力規制委員会 (2013) 基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイド. 19pp.
- Hori, T., and Oike, K., 1999, A physical mechanism for temporal variation in seismicity in Southwest Japan related to the great interplate earthquakes along the Nankai trough, *Tectonophysics*, 308, 83-98.
- 地震調査研究推進本部地震調査委員会 (2018) 全国地震動予測地図 2018 年版.
https://www.jishin.go.jp/evaluation/seismic_hazard_map/shm_report/shm_report_2018/
- Kaneda, H. (2003) Threshold of geomorphic detectability estimated from geologic observations of active low slip-rate strike-slip faults. *Geophysical Research Letters*, 30(5), 1238, doi:10.1029/2002GL016280.
- Okada, Y. (1994) Seismotectonics in the Tokyo metropolitan area, central Japan, *Proc. 9th joint meeting of the U.J.N.R. Panel on Earthquake Prediction Technology*, 9, 47-59.
- Sagiya, T., Miyazaki, S. and Tada, T. (2000) Continuous GPS array and present-day crustal deformation of Japan, *Pure and Applied Geophysics*, 157, 2303-2322.
- Shimazaki, K. (1976) Intraplate seismicity and interplate earthquakes – historical activity in southwest Japan, *Tectonophysics*, 33, 33-42.
- 遠田晋次 (2013) 内陸地震の長期評価に関する課題と新たな視点. *地質学雑誌*, 119, 105-123.
- 宇根 寛・中埜貴元・佐藤 浩・八木浩司・小村慶太郎 (2018) トレンチ掘削による阿蘇外輪山北西部の「お付き合い地震断層」の累積性の確認と活断層評価におけるその意義. 日本地球惑星科学連合 2018 年大会, 講演要旨,
<https://confit.atlas.jp/guide/event/jpgu2018/subject/SSS08-11/detail>
- Wesnowsky, S. G. (1988) Seismological and structural evolution of strike-slip faults, *Nature*, 335, 340-343.

地表に露出する断層と山陰地震帯との関係

向吉 秀樹（島根大学）

Relationship between distribution of surface faults and
microearthquake swarm zone in Sanin region.

Hideki Mukoyoshi (Department of Earth Science, Shimane University)

1. はじめに

山陰地方は、地震活動が活発であるにも関わらず、断層が未成熟で潜在しているものが多く、活断層が少ないとされている（岡田, 2002）。例えば、2000年鳥取県西部地震（M7.3）、2016年鳥取県中部地震（M6.6）、2018年島根県西部地震（M6.3）はいずれも活断層が知られていない場所で発生している。なかでも2000年鳥取県西部地震はM 7.3という大地震であったにも関わらず、断層に関連すると思われる地表の変状はわずか数cm~10数cm程度であった（伏島, 2001）。地震後複数の研究者により、余震域周辺における地形判読や地表地質踏査が行われ、長さの短いリニアメントが複数確認され、また、小断層が多数露出していることが明らかとなったが、明瞭な活断層は認められなかった（例えば、井上ほか, 2002；小林ほか2003；相澤ほか, 2005）。余震域周辺に露出するこれらの小断層や短いリニアメントは、第四紀中頃以降から新しく活動を始めた発達段階の断層を見ている（岡田, 2002; 井上, 2002）とする見方がある一方、断層中に認められる固結した断層岩から、第四紀以前より断層活動があったとする指摘もある（相澤ほか, 2005）。

これら余震域に認められるリニアメントや多数の小断層がどのように分布し、それらがいつ頃形成され、現在に至るのかを理解することは、地震活動が活発な地域における潜在断層の発達過程を理解する上で重要であると考えられる。本研究では、主に2000年鳥取県西部地震、2016年鳥取県中部地震、2018年島根県西部地震の余震域を対象に、地質踏査により面的にくまなく断層露頭を特定、記載し、小断層の分布を把握すると共に、これらの断層の古応力解析により、断層の発達過程について理解することを目的とした調査を行ってきた。その結果、これらの小断層の多くが第四紀以前の現在と全く異なる応力場で形成されたものであることが明らかとなった。その断層姿勢は、山陰地方の日本海沿いに認められる微小地震の帯の姿勢と調和的であり、一部が現在の応力場において再活動していることが示された。また、断層姿勢の違いにより、断層の成熟度に違いがあることが明らかとなった。

本発表では、地質調査から明らかとなった山陰地方に発達する断層の発達過程について報告し、地震観測で認められる山陰地震帯との関係について議論する。

2. 山陰地方の地表に露出する断層の分布と特徴

本調査では、2000年鳥取県西部地震、2016年鳥取県中部地震、2018年島根県西部地震の

余震域における広域的な調査により、余震域の広い範囲において、北北西-北西走向および北東-東北東走向の断層が多数発達することが確認された。これらの断層には幅数 mm～数 cm の断層ガウジが認められる。断層面には明瞭に条線が認められる場合があり、横ずれを示すもののみならず縦ずれを示すものも多数認められる。中には一つの断層において、複数のすべり方向を示すものもある。これらの断層における古応力解析では、南北圧縮、北東-南西引張、東西圧縮の応力場が得られている。

上記の地震域と他の地域における特徴の違いを明らかにするために、地震域外における調査を行ったところ、地震域外においても産状や同様の古応力場を示す断層が多数確認された。また、北北西-北西走向に延びる断層は全体的に破碎帯の幅が薄いものが多く、北東-東北東走向の断層は、幅が薄いものも多く認められる一方、破碎帯の幅が厚い断層も複数認められた。

3. 地表に露出する断層と山陰地震帯との関係

山陰地方の地震帯を中心とした広範囲な調査より、山陰地方には多数の北北西-北西走向および北東-東北東走向の小断層が発達することが明らかとなった。そして古応力解析の結果は、これらの断層の姿勢は、近年の地震観測で認められる微小地震帯の方向と調和的であるが、これらの断層は、現在の応力場とは全く異なる応力場で形成されたものであることを示している。また、1つの断層における複方向の条線は、断層が異なる複数の応力場において活動したことを示しており、一部の断層は現在の応力場における活動の痕跡を示している。

北北西-北西走向の断層と北東-東北東走向の断層における破碎帯の厚さの違いは、断層が形成されて以降、北北西-北西走向の断層に比べ北東-東北東走向の断層においてより活発な断層活動があったことを示唆する。2000 年鳥取県西部地震、2016 年鳥取県中部地震、2018 年島根県西部地震はいずれも北西方向に余震が分布する地震帯で発生している。これらの余震域に発達する北西-北西走向の断層は現在と全く異なる応力場で形成したものの、その後の活動に乏しく、破碎帯の幅が狭い未成熟な断層であると考えられる、そして、それらの断層の一部は、現在の応力場で再活動しているものの、地底的に明瞭に表れる断層には成長していないものと考えられる。

引用文献

- 相澤泰隆・小林健太・梅津健吾・山本 亮 (2005), 2000 年鳥取県西部地震の余震域およびその周辺に分布する断層岩類. 地質学雑誌, 111, 737-750.
- 伏島祐一郎・吉岡敏和・水野清秀・宋倉正展・井村隆介・小松原琢・佐々木俊法 (2001), 2000 年鳥取県西部地震の地震断層調査. 活断層・古地震研究報告, 1, 1-26.
- 井上大栄・宮腰勝義・上田圭一・宮脇明子・松浦一樹 (2002), 2000 年鳥取県西部地震震源域の活断層調査. 地震, 54, 557-573.
- 小林健太・相澤泰隆・梅津健吾・小山敦子・山本 亮 (2003), 2000 年鳥取県西部地震の震源域における地質構造解析. 活断層・古地震研究報告, 3, 163-174.

地表断層地震と潜在断層地震の地震動

香川敬生（鳥取大学大学院工学研究科）

Ground motion characteristics from earthquakes
with and without surface breaking fault ruptures

Takao KAGAWA (Tottori Univ. Graduate School of Engineering)

1. 地表断層地震と潜在断層地震の地震動

地表地震断層を生じる地震の規模は一般に大きく被害が広範囲に及ぶが、同じ規模であれば地表地震断層を生じない地震の方が地震動は大きいことをSomerville(2003)が主に海外の事例で指摘し、Kagawa et al. (2004)はこれを浅い断層すべりの応力降下およびすべり速度が大きいこととしている。吉田・他(2017)は、この関係が近年発生した国内の内陸地殻内地震でも見られることを示している（図-1左）。具体的には、非線形応答の影響が小さいと思われる観測点に対して、地盤増幅（野津・長尾，2005）を補正した観測記録のスペクトル距離減衰式(Morikawa and Fujiwara, 2013)からの偏差(自然対数)での評価をおこなっている。

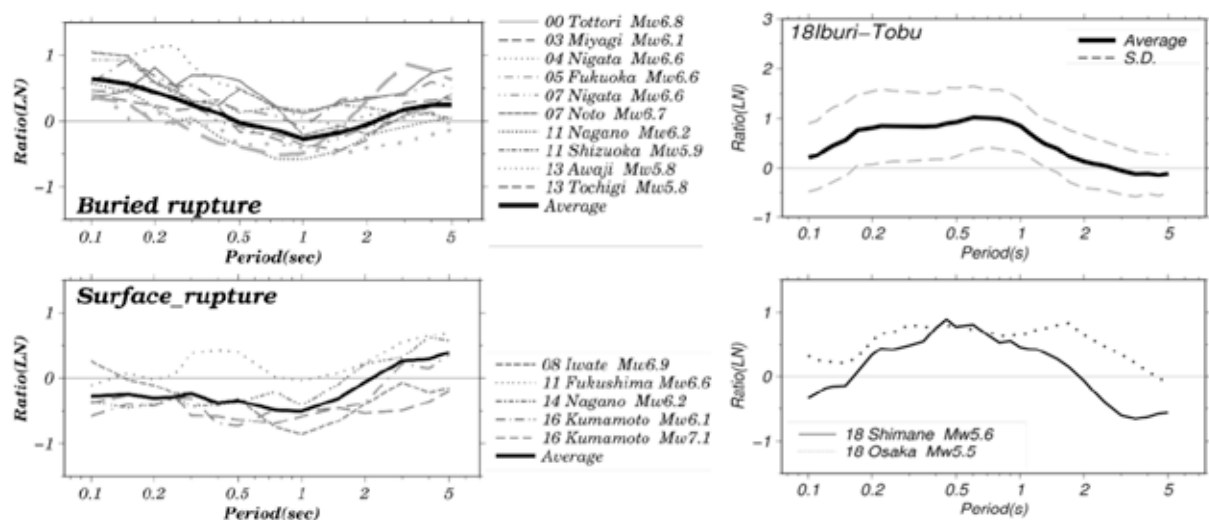


図-1 地盤増幅（野津・長尾，2005）を補正した観測記録のスペクトル距離減衰式(Morikawa and Fujiwara, 2013)からの偏差(自然対数) 左上：潜在断層地震群，左下：地表断層地震群(吉田・他，2017)， 右上：2018年北海道胆振東部，右下：2018年島根県西部，大阪府北部の地震

2018年に発生した島根県西部，大阪府北部，北海道胆振東部の被害地震は周辺活断層で想定される地震よりも規模は小さく，いずれも地表地震断層を伴わなかったものの，大きな被害をもたらした。これらの地震動も平均的なものよりも有意に大きい（図1右）。一方，2016年熊本地震は地表地震断層を伴い，その周辺域で大きな被害をもたらしたものの，震源断層から30km圏内の地震動は平均よりも有意に小さい（図1左下）。また，2016年熊本地震では，地表地震断層が見られたごく近傍では，断層変位による構造物被害が見られるものの，地震動による被害が小さい事例が多数観察された（図-2）。このような事例は，久田・他(2012)や国内外の他の地表断層地震でも報告されている。このような場所では，地表地震断層直上のため地表変位は観察することができるが，残念ながら強震観測記録は得られていない。このような地表地震断層ごく近傍での地震発生時の様相を議論するため，強震観測記録のみならず防犯カメラの映像など，客観的な記録の蓄積が望まれる。



図-2 2016年熊本地震の地表地震断層ごく近傍の状況（変位の影響は大きい揺れは小さい）

2. 同じ規模であれば地表断層地震の地震動が相対的に小さい要因

地震観測記録を用いた既往の震源インバージョン解析結果を照査すると、地表地震断層を生じない地震は深い断層すべりが支配的で、その領域の応力降下、すべり速度が大きいことが強震動の成因と想定されている（Kagawa et al., 2004, など）。地表断層地震ではこれに加えて、応力降下、すべり速度が小さい浅い断層すべりが付加される。深いすべりが自発的な脆性破壊に因るのに対して、このような浅いすべりは受動的かつ延性的なゆっくりとした破壊となると考えられる。そのため地震規模から想定されるよりも周期の長い地震動を放射し、一般的な構造物に影響する周期帯の地震動は小さくなる。結果として、浅いすべりが加わった分だけ地震規模は大きくなるが、一般構造物に影響する周期帯域の強震動は浅いすべりを持たない潜在断層と変わらないため、この帯域の地震動が地震規模に対して相対的に小さいことになる。なお、ここで言う地震動は、震源断層から30～40km程度の圏内、かつ堆積層、特に非線形地盤応答の影響を受けない比較的硬質な地点を対象としており、図-1はそのような条件の観測点で解析したものとなっている。

3. 潜在断層地震による強震動の課題

構造物への設計入力地震動の想定では、一般に周辺の活断層帯を対象に地震規模をできるだけ大きく見積もる保守的な設定がおこなわれる。地震規模を大きくすると放射される地震動の卓越周期は長周期化し、一方で短周期の地震動は規模に対してそれほど大きくはならない。短周期の地震動は、地震規模よりも断層からの距離による影響が大きい。このため、活断層帯で想定されるよりもひと回り小さい潜在断層地震が、想定断層帯よりも対象地点に近い場所で発生した場合、周期帯域によっては、活断層帯で想定される地震よりも影響が大きくなる場合もあり得る。また、そのような地震は活断層帯で想定される大地震よりも高い頻度で発生している可能性があるが、地表断層のトレンチなどの調査ではその危険性を想定できない。このため、中国地方北部のように、活断層帯による評価よりも地震活動で評価した潜在断層地震の地震発生リスクが高い地域（地震調査研究推進本部, 2016）では、構造物設計にあたって重要な課題となり得る。

参考文献

- 地震調査研究推進本部（2016）、中国地域の活断層の地域評価。
 Kagawa, Irikura and Somerville (2004), Earth Planets and Space, 56, 2-14.
 Somerville (2003), Phys. Earth Planet Interiors, 137, pp. 201-212.
 久田・他（2012）、日本地震工学会論文集, 12(4), pp. 104-126.
 野津・長尾（2005）、港湾空港技術研究所資料, No.1112.
 Morikawa, N. and Fujiwara, H. (2013), J. Disaster Research, 8(5), pp.878-888.
 吉田・他（2017）、土木学会論文集A1, 73(4), pp. I_366-I_375.

潜在断層地震の予測への活断層研究からのアプローチ

近藤久雄^{*}（産業技術総合研究所）

The characteristics of hidden source faults in relation with mapped active faults

Hisao Kondo (Geological Survey of Japan, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology)

1. はじめに

我が国の内陸地震の評価は、地殻内の浅部で大地震を生じる活断層と震源断層の評価、すなわち活断層の位置、形状、地震発生頻度と地震発生確率に関する長期評価や強震動評価を中心に実施されてきた。これらの評価で対象としてきた地震は、いわゆる大地震と呼ばれる $M \geq 6.8$ の規模を対象としている（例えば、地震調査研究推進本部地震調査委員会、2013）。その主な理由は、地表付近では数mオーダーで活断層の位置を特定することが可能であり、地震に伴う地表地震断層が出現する前に、震源断層の位置や地震規模、発生可能性などを把握可能なためである。この考えは、例えば、これまでに実施された多数のトレンチ調査で、地震発生前に長さ数十mのトレンチ内に活断層を露出させる調査の成功例などによって実証されている。また、地震規模が大きく被害程度が甚大と予想される長さ20km以上の主要活断層帯や、長さ20km未満の短い活断層が主な評価対象となってきたが、持続的な被害軽減へ向けた合理的な評価プロセスと考えられる。全国のどこかの活断層で生じる被害地震は過去125年間で平均5～6年程度、その地震発生確率は今後30年間では99.7%、今後10年でも86%と極めて高い（近藤ほか、2017）。

一方、最近数年間で生じた被害を生じた内陸地震は、 $M7.0$ 以上の1995年兵庫県南部地震、2016年熊本地震などの典型的な活断層地震だけでない。2016年10月の鳥取県中部、2018年4月の島根県西部、2018年6月の大阪府北部、2018年9月の北海道胆振東部など、熊本地震以降の期間では $M6$ クラスの中規模地震が頻発している。これらはいずれも地表地震断層が出現するとされる規模に満たないため、上記の大規模な活断層と比較して地震発生前の評価が相対的に困難である。しかし、被害地震を漏れなく評価するという観点からは重要であり、発生場所によっては大きな被害が生じる可能性もある。そこで本稿では、活断層調査研究に基づく長期評価や地域評価との比較という視点から、内陸地殻内に潜在する断層の評価について議論をおこなう。

2. 発生場所

現時点での評価の難しさの1つに、事前に $M6$ クラスの震源断層の分布を1つずつ漏れ無く明らかにすることが現実的に困難であることがあげられる。一方、内陸地殻内の浅部で生じる $M6$ クラスの中規模地震は、日本中のどこでも発生するかという問いに対しては、どこでもというわけではなく、ある程度限定された場所で生じると考えられる。それは、断層が存在しなければ自然地震は発生しないためであり、断層の分布は地下の岩石の分布や地殻応力によって不均質や地域性があると考えられるためである。この地域性は、「活断層の地域評価」でも既にみられており、その典型例は中国地域の北部区域である（地震調査研究推進本部地震調査委員会、2016）。

北部区域では、既知の活断層の分布が相対的に少なく、活断層の活動履歴によって期待される $M \geq 6.8$ の地震発生確率が今後30年間で3～7%であった。これに対して、1923年以降の $M5.0$ 以上の地震活動から期待される $M \geq 6.8$ の発生確率は40%である。地震活動の統計的な性質（G-R則）では、小さな地震が多いほど大きな地震が発生することが知られている。よって、北部区域は1943年鳥取地

震のような活断層地震の発生は相対的に少ないが、M5～6の地震が多く、中小規模の伏在断層が多く分布する区域と考えられる。2016年鳥取県中部の地震や2018年島根県西部の地震の発生は、この考えと調和的であり、2000年鳥取県西部の地震も規模には議論があるものの、同区域内で発生している。

ただし、このような地震活動が活発な領域が日本全国で普遍的に存在するわけではない。これまでに評価された九州地域、中国地域、関東地域、四国地域における全13区域の中で、地震活動による確率が活断層による確率を上回る区域は、これまでに中国地域の北部区域のみである。よって、同区域は日本全国では特異な地域であり、M6クラスの震源断層は地域的に偏在していることは明らかである。

一方、2018年大阪府北部の地震や北海道胆振東部の地震は、地震活動が多い場所で発生したのかというと、今のところそのような指摘はあまりみられない。しかし、いずれの地震もそれぞれ有馬-高槻構造線や上町断層帯、石狩低地東縁断層帯といった主要活断層帯の近傍で発生している。大規模な活断層帯の末端や活動区間（セグメント）境界周辺では、震源断層が1枚だけで分布し周辺の歪みの解放を全て担っているとは考えにくく、分岐断層や併走する断層などが複雑に分布している可能性が高い。さらに全国的にみると、近年発生したM6クラスの内陸地震は活断層の周辺で生じているとの見解もあり、今後、どの程度の範囲で起きているかを精査していく必要がある。

以上から、潜在するM6クラスの震源断層は、地域評価における区域のスケールで偏在しており、また、主要活断層帯や活動区間境界の周辺部というスケールでも局所的に分布密度が高い可能性が考えられる。よって、さらに定量的な検討をおこなえば、発生領域が限定的な地震として評価できる可能性がある。

3. 発生時期と頻度

個別の震源断層の位置が特定できない場合、それぞれの断層を詳しく調査して過去の地震発生時期や頻度を推定することは困難である。しかし、上述のように、ある程度限定された領域でM6クラスの内陸地震が生じる場合には、地震活動の統計的な性質を利用して、その領域内で期待される頻度を周辺よりも高くして評価する方法が考えられる。例えば、北海道胆振東部の地震が生じた地域の近傍では、地震活動が活発な領域が存在していたことが知られ、「浦河沖の地震」としてモデル化され全国の地震動予測地図にも反映されていた（例えば、地震調査研究推進本部地震調査委員会、2018）。今回の地震は領域からやや外れており、上述のように領域の設定をさらに検討する必要がある。

4. おわりに

2016年熊本地震以降に生じたM6クラスの地震と震源断層について、活断層の地域評価との関係、個別の主要活断層帯との関係という視点から検討した。個別の震源断層の位置や形状を地震前に把握することは困難であるが、これまでの知見をもとに発生領域をある程度限定できる可能性がある。今後は、このような地震を想定する領域と発生頻度を定量的に検討し、領域内に想定する震源断層について地震動評価を実施する必要がある。