

## 大飯原子力発電所近傍の活断層の挙動に関する一考察

### One consideration about behavior in active faults near the Ohi nuclear power plant

竹本 修三, NPO あいんしゅたいん 基礎科学研究所 京都市左京区吉田本町 5-14,  
E-mail:takemoto@dance.plala.or.jp

Shuzo Takemoto, NPO JEIn Institute for Fundamental Science, 5-14, Yoshida-Honmachi,  
Sakyo-ku, Kyoto, 606-8317

We first outlined the correspondence of the Ohi nuclear power plant to the seismic design criteria, which was decided by the Nuclear Regulatory Commission in Japan for nuclear reactor facilities. We then pointed out three problems in this respect : (1) Simultaneous rupture of three active faults (FO-B, FO-A and Kumagawa) should be considered from the faster stage. (2) As shown in Fig.3, there is a possibility that the seismic-fault started from the underground seismic center may cross the power plant site. (3) Occurrence of an earthquake at the blank area of earthquakes in the north-east direction of the Kanbayashigawa fault should be considered.

#### 1. はじめに

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震(Mw9.0<sup>\*1</sup>)に伴う福島第一発電所の深刻な事故を受けて、わが国の原子力安全委員会(後の原子力規制委員会)の原子力発電所に対する耐震基準は非常に厳しいものとなった。これを受けて、関西電力株式会社(以下「関電」と略)の大飯原子力発電所(以下「大飯原発」と略)では、過去の記録や詳細な現地調査等の結果に基づき、原子力規制委員会が求める「基準地震動」を一層厳密に求めて、原発の諸施設が余裕をもってそれに耐え得るように耐震安全性を設計していると考えられる。現時点までの関電の対応は、大飯原発差止京都訴訟において関電側が2015年5月21日付けで京都地裁に提出した全168ページに及ぶ準備書面(3)<sup>1)</sup>に詳しく述べられている。

これによれば、原子力安全委員会が定めた耐震設計審査指針は2006年に改訂され、従来「基準地震動 S1」と「基準地震動 S2」の2種類の基準地震動を策定することとなっていたものが「基準地震動 Ss」に一本化され、基準地震動の策定にあたって震源として考慮する活断層の活動時期の範囲が拡張されるとともに、基準地震動の策定方法も高度化された。「基準地震動 Ss」は、震源を特定した「検討用地震」を選定して策定される「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」と国内外の観測記録をもとに策定される「震源を特定せず策定する地震動」とに基づいて策定されることとされた。それに基づき、関電は大飯発電所の Ss を700 gal と策定した。

2011年の福島第一原子力発電所事故を受けて、原子力安全委員会は原子力規制委員会に改組され、規制委員会は「新規基準」を定めた。これに伴い、関電は、大飯原発の基準地震動をより保守的で厳しいものとなるように見直し、敷地内で55ケースを検討したうえで、最終的に Ss-1~Ss-19の基準地震動を求め、最大は Ss-4 の856 gal と策定された。これは、規制委員会の定める「新規基準」を十分満足しており、地震に対する安全性は確保されているという主張である。

一方、2015年4月14日に福井地裁の高浜原発仮処分

申立に関する樋口英明裁判長の見解では、「万一の事故に備えなければならない原子力発電所の基準地震動を地震の平均像を基に策定することに合理性は見だし難いから、基準地震動はその実績のみならず理論面でも信頼性を失っていることになる」と述べたうえで、「新規基準は、穏やかにすぎ、これに適合しても本件原発の安全性は確保されていない」と断っている。

規制委員会の「新規基準」が、原発の万一の事故への安全性を確保するものかどうかについては意見の分かれるところであるが、筆者は、地球物理学者の一人として、関電が大飯原発の基準地震動を定めた際に準拠した大飯原発近傍の活断層の扱いに関して、納得できない点がある。本稿では、「新規基準」に基づき、関電が大飯原発の「基準地震動」として856 galを策定した過程を示しながら、その対応への三つの疑問点を述べる。

#### 2. FO-B~FO-A断層と熊川断層の連動について

Fig 1は、関電準備書面(3)<sup>1)</sup>の「図表15 若狭湾周辺の主な断層の分布」のなかから、大飯原発近傍の活断層を示した図であり、大飯原発(Ohi)のほか、右側に美浜原発(Mihama)と左側に高浜原発(Takahama)の位置も示されている。

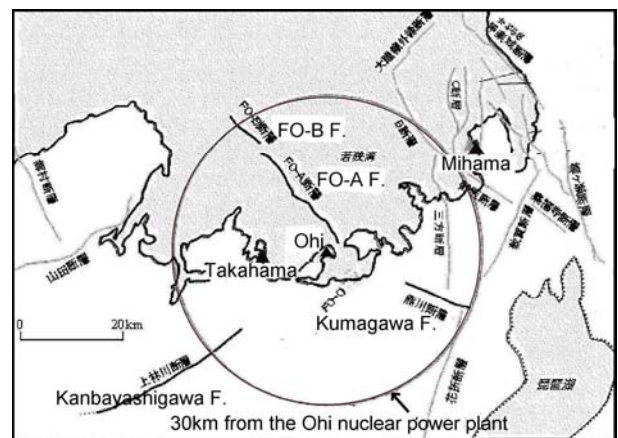


Fig 1 Active faults near the Ohi nuclear power plant.

この図を見ると、大飯原発から30 km以内に北西から東南にFO-B、FO-Aおよび熊川断層の3本の断層が並んでいることがわかる。関電は、FO-B~FO-A断層と熊川断

<sup>\*1</sup> Mw9.0のMwは、モーメントマグニチュード。これに対して、以後に出てくるM7.3などのMは、気象庁マグニチュード。

層は約 15 km の離隔を有しており、これらの断層が連動していることを示す地質構造も認められなかったことから、最近までこれらの断層は連動しないと考えていた。その後、規制委員会の議論も踏まえて、より安全側に考えることにして、この 3 本の断層が連動して動くことも想定し、断層の長さ 634 km、マグニチュード 7.8 の地震に相当する地震を「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」の最も深刻な「基本ケース」と考え、 $S_s$  を求めたということである。

しかし、以下に示す事例のように、既存の活断層が連動して活動するケースが早くから指摘されていたのに、安全性を重視してきた関電が、規制委員会の指摘を受けるまで、なぜ既存の活断層が連動して活動する場合について検討しなかったのであろうか。まず、それを疑問に思う。

例えば、1995 年 1 月 17 日に発生した兵庫県南部地震 (M7.3) の場合、震源領域の長さ 50 km 超、深さ約 5~18 km の断層面が一度に破壊することを示唆する長い活断層がこの位置に存在することは、事前に認識されていなかった。それまでは神戸市側では短い断層が雁行する六甲断層系と淡路島側では野島断層などの短い断層が何本か存在することが知られていたに過ぎない。橋本 (1995)<sup>2)</sup> は、この地震は北東-南西走向のほぼ鉛直な 3 本の断層が、西側から順番に右横ずれ運動したと推定し、まず、淡路島の野島断層が大きな破壊を起こし、続けて神戸側の断層が遅れてやや小さい破壊を起こした運動であったと考えている。遠田 (2010)<sup>3)</sup> は、1995 年の兵庫県南部地震に先行する六甲-淡路島断層帯の地震活動として、約 400 年前の伏見地震 (1596 年) の際に有馬-高槻断層帯、五助橋断層、淡路島の楠本断層、東浦断層、先山断層が連鎖的に活動したと指摘している。

また、これまでにわが国で起こった内陸地殻内地震の最大のものとして、1891 年 10 月 28 日の濃尾地震 (M8.0) が知られているが、この地震の長さ約 76 km に及ぶ地震断層は、温見断層北西部、根尾谷断層、梅原断層などの活断層が連動して起こったものである (地震調査研究推進本部:濃尾断層帯 (2015)<sup>4)</sup>)。

これらの例から考えても、関電は、FO-B~FO-A 断層と熊川断層とが連動して活動する場合について、もっと早い段階から検討すべきであった。

### 3. 検討用地震の断層モデル (基本ケース)

現段階で関電は、FO-B~FO-A 断層と熊川断層の連動を考えた検討用地震の断層モデルを用いて基準地震動 (最大加速度)  $S_s$  を求めているので、前章で述べた最初の疑問は一応解消されたことになる。この章では、断層モデルを用いて基準地震動を求める過程を追ってみて、第二の疑問点を指摘しておく。

関電準備書面 (3)<sup>1)</sup> の「図表 28 FO-A~FO-B~熊川断層のモデル図 (基本ケース)」に、検討用地震の震源断層モデルが示されているが、これを Fig. 2 に再掲しておく。まず、基本ケースとして、断層の上端深さ 3 km 及び下端深さを 18km、左横ずれ断層傾斜角  $90^\circ$  (Fig.3 参照)、すべり角  $0^\circ$  (すべりが断層面に対して水平方向を向く場合)、破壊伝播速度  $0.72\beta$  ( $\beta$  は地震発生層の S 波速度) とし、アスペリティ<sup>※2</sup>を各断層の主に敷地に近い位置に配置した震源断層モデルを設定したということである。このモデル

では断層傾斜角を  $90^\circ$  と基本的に考えているので、断層面を真上から見ると、単なる一本の線になってしまう。そこで、Fig.2 では便宜上、震源断層を横倒した状態 (断層傾斜角を  $0^\circ$  にした状態) で表示してある。

なお、検討用地震の断層モデルが地表に顔を出す場所は、Fig.1 に示した FO-B~FO-A 断層及び熊川断層の位置に準拠しており、Fig.2 に赤で示した 1~9 の線上に並ぶ。大飯原発の敷地に最も近いところで 3 km であり、それ以上敷地に近づくケースは考えられていない。1~9 の各点は、様々なアスペリティ領域を考えて、応答スペクトルを計算する際に用いられた仮想的な破壊開始点である。

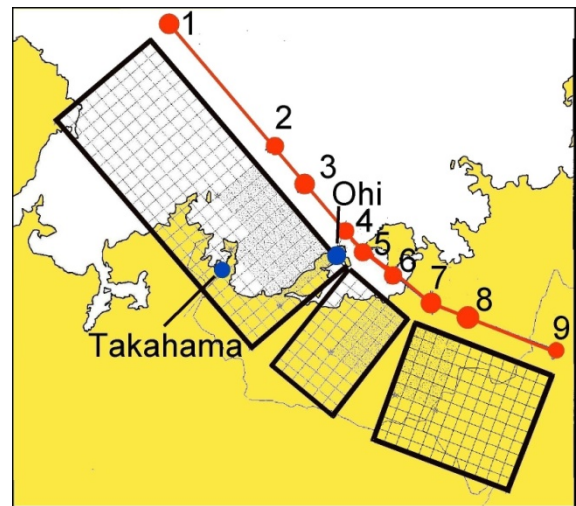


Fig.2 Fault model for FO-B~FO-A and Kumagawa faults.

大飯原発の基準地震動 (最大加速度)  $S_s$  を求める具体的な評価のプロセスについては、次のように説明されている。まず、評価の手順としては、「応答スペクトルに基づく地震動評価」を最初に試みて、岩盤における合理的な設計用地震動評価手法である「耐専式」(Noda, et al.,2003)<sup>5)</sup> を用いて評価しようとした。しかし、「この想定地震 (M 7.8) は等価震源距離が 11.0 km であり、耐専式における『極近距離』 (M8 で 25 km, M7 で 12 km) に比べて著しく短いため、その地震動評価に耐専式を用いるのは適当ではないと判断した」と書かれている。要するに「耐専式」は、発電所敷地のごく近傍を地震断層が走る場合には使えないということを示しており、断層が敷地内を横切るケースは、最初から想定外としている。

そこで次に、関電は、「断層モデルを用いた手法による地震動評価」を試みている。この手法では、断層長さ、断層上端・下端深さ、断層面積 (S)、地震モーメント ( $M_0$ )、短周期レベル (A)、アスペリティ面積 ( $S_a$ )、平均応力降下量 ( $\Delta\sigma$ )、破壊伝播速度 ( $V_r$ ) 等の震源特性に関する様々なパラメータ (震源断層パラメータ) を細かく設定して、55 ケースを評価したという。このなかで、短周期レベル (A) とは、震源特性のうち、短周期領域における加速度震源スペクトルのレベルを表す値 (単位:  $N \cdot m/S^2$  (N はニュートン)) ということである。実際に発生した地震の短周期レベルは、地震観測記録 (観測波) から、地震波の伝播特性及び地盤の増幅特性 (サイト特性) の影響を取り除くことにより求められるそうであるが、部外者がその妥当性を評価するのは困難である。

また、断層傾斜角は、基本的に鉛直 ( $90^\circ$ ) 方向と考えていたが、Fig. 3 に示すように断層傾斜角を西向きに

※2 ここで使われているアスペリティとは、断層面のなかで通常は強く固着しているが、地震時に大きな地震波 (強震動) を発生させる領域の意味。

75°とすると発電所敷地との距離が近くなり、より大きな地震動になるので、この断層傾斜角のケースも検討したが、最終結果に影響を及ぼさなかったということである。他のパラメータについては任意性があるので、本稿では議論しない。

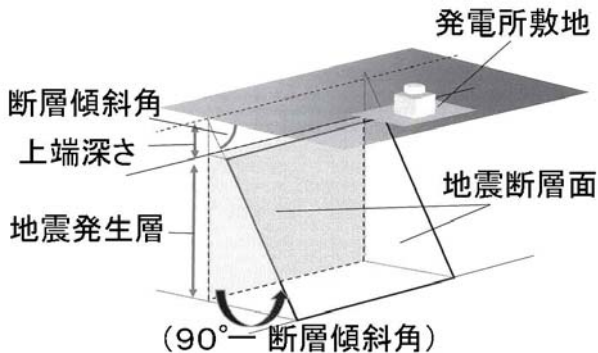


Fig.3 Image of the dip-angle of a fault-plane.

このように細かくパラメータを定めて求められた地震加速度は、おおむね 300~800 gal オーダーであったが、Ss-4 ケース (短周期レベルを 1.5 倍、破壊開始点を Fig.2 の 3 の位置とした場合) の水平方向 (EW 成分) で 856 gal の値が得られ、これが求められた基準地震動の最大であったとしている。

これまで述べた関電による大飯発電所の敷地内の基準地震動、すなわち、最大加速度を得る計算の過程においては、震源断層パラメータを詳細に検討して、基準地震動を厳密に求めたということであるが、この詳細な計算を行う前の基本的な前提に疑問がある。すなわち、検討用地震の震源断層面の地表に現れる位置は、Fig. 1 に示した FO-B~FO-A 断層と熊川断層の位置と同じ場所に設定されており、大飯発電所に最も近い距離は 3 km である。これ以上、敷地に近づくケースは考えられていない。しかし、今後、この活断層で次の内陸地殻内地震が起きる場合、「過去に活断層が地表に現れたのと同じ位置に断層面が現れる」と考えてよいものであろうか。

次の Fig. 4 を見ていただきたい。この図は、同じ活断層で内陸地殻内地震が繰り返し起こった場合、地中の同じ震源 (破壊開始点) からスタートした地震であっても、その時々三次元的な地殻内応力の分布状態によって、断層面の進む向きは異なる可能性があることを示している。断層面の傾きが数度違えば、地表に現れる断層は別のところに顔を出すことになる。

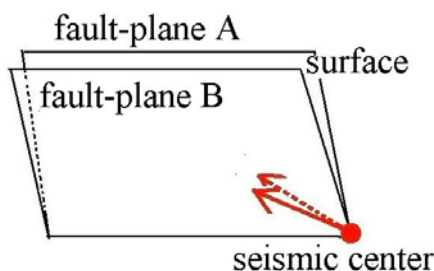


Fig. 4 Example of different fault-planes started from the same seismic center.

つまり、関電は、FO-B~FO-A 断層と熊川断層の

地表面に現れる断層面の位置は、今後も不変であるとして議論を展開しているが、発想を変えて、震源 (破壊開始点) をまず推定して、そこから断層破壊面がどのように進むかを考えてみると、地震断層が敷地内を横切るケースもありうるのではないかと。このようなケースをなぜ想定しないかということが第二の疑問である。

#### 4. 上林川断層について

関電準備書面 (3) <sup>1)</sup> に上林川断層の長さについては、「断層の存在が明確な範囲は約 26 km であるが、西端部が不明瞭であることから、断層の存在を明確に否定できる福知山付近まで延長して、保守的に 39.5 km と評価している」と書かれている。地震調査研究推進本部の三峠・京都西山断層帯(2015) <sup>6)</sup> のなかの上林川断層の部分については、「京都府綾部市北東部から同市南西部まで、北東-南西方向に伸びる長さ約 26km の断層で、北西側隆起の成分を伴う右横ずれ断層と推定される」と記述されている。

関電は、この地震調査研究推進本部の見解を基本とし、さらに、独自の調査等に基づき、境界が不明瞭な断層南西部を延長させて、断層の長さを 39.5 km と設定している。これで、上林川断層を想定した検討用地震の断層モデルとしては十分すぎる配慮をしたと言いたいようである。

この断層モデルに基づく上林川断層の「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」で得られた大飯原発敷地内の地震加速度の最大値は、FO-B~FO-A 断層と熊川断層の連動を考えた断層モデルの最大加速度 (856 gal) を超えることはなかった。また、「震源を特定せず策定する地震動」の策定でも 856 gal を超える地震加速度は見られなかったという。

上林川断層の断層南西部を大飯原発から離れる方向に延長させても、敷地内の地震加速度の計算にはあまり大きな影響を与えないことは予め予想できたのではあるまいか。それよりも、大飯原発に近い方向の北東部に断層面を延長させたらどうなるかを知りたいところである。しかし、準備書面 (3) <sup>1)</sup> には「走向が本件発電所向いている上林川断層...」と記載されているだけで、断層北東端については何も言及されていない。

上林川断層の北東部を延長すると、Fig. 1 に示すように大飯原発の敷地に向っている。上林川断層についてはまだ十分な調査が行われていないようであるが、亀高・他 (2008<sup>7)</sup>、2009<sup>8)</sup> は、上林川断層が北東方向におおい町笹谷付近まで追跡されることを指摘している。このように断層北東端が、現在知られている以上に大飯原発に近づく可能性があるとする、上林川断層が再び動いたときの地震加速度の見直しが必要となるであろう。

また、これまで知られていた活断層の延長上の空白域で M7 クラスの地震が起こった例もある。

その一つとして、2005 年 3 月 20 日に発生した福岡県西方沖地震 (M7.0) の場合を示しておく。この地震の近くの陸域には、警固 (けご) 断層という活断層が認められていたが、福岡県西方沖地震はその北西延長上の玄界灘の地震空白域で発生した。九州大学の地震火山観測研究センターでは、関係機関の協力を得て、この地震の余震分布を詳しく調べた。Fig.5 は、その報告 <sup>9)</sup> から引用した福岡県西方沖地震の余震分布と警固断層の位置を示す。図で、陸域では福岡平野に警固断層が知られていたが、福岡県西方沖地震は、この既知の活断層を北西方向に延長した海域の空白域で起こった。

地震調査研究推進本部は、福岡県西方沖地震と警固断層の関係について、以下のように述べている <sup>10)</sup>。「警固断

層帯は、玄界灘から博多湾を経て、福岡平野にかけてほぼ北西-南東に分布する活断層帯です。2005年の福岡県西方沖の地震は、従来からその存在が認められていた陸域の警固断層の、北西延長上の玄界灘で発生しました。この地震の余震域と警固断層は、直線上にほぼ連続していることから、一連の活断層帯であると考え、これらをまとめて警固断層帯として扱っています」。

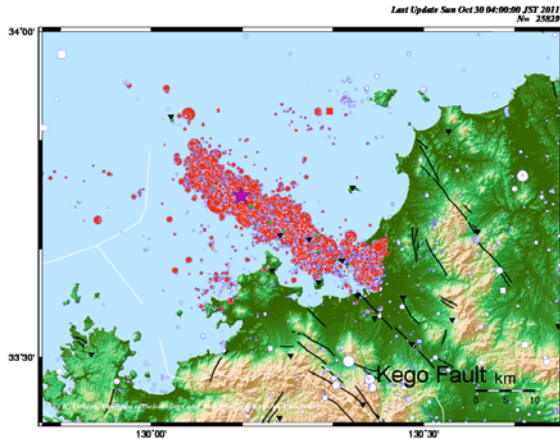


Fig. 5 Distribution of aftershocks of the 2005 Fukuoka earthquake (M7.0) and the Kego fault.

専門家は、福岡県西方沖地震の余震域とそれまで陸域で認められていた警固断層が直線上にほぼ連続していることから、この地震以後は、これらを含めて一連の活断層帯であると考え、それをまとめて警固断層帯として扱っている。

大飯原発の「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」の上林川断層の扱いとしては、Fig. 5に示した福岡県西方沖地震の場合と同じように、既存の活断層の延長上で大飯原発に達する内陸地殻内地震が起こることも想定して、モデル計算を行うべきであった。西端部を福知山付近まで延長するよりも、東端部を大飯発電所まで延長して考えた場合の結果を聞いたかった。その場合には、大飯原発の基準地震動は856 galでは到底納まらなかったのではないかと考える。これが、第三の疑問である。

## 5. おわりに

2011年の福島第一原子力発電所事故のあと、原発の安全性について、多くの国民が関心をもつようになった。一方でわが国の各電力会社は、原子力規制委員会の「新規規制基準」に合わせて、原発の耐震安全性について、対策の強化を行った。関電の大飯原発の耐震安全性についての取組は、準備書面(3)<sup>1)</sup>に示されている。本稿では、ここに述べられている大飯原発の基準地震動(最大加速度)  $S_s$  (856 gal)を求める過程を簡単に紹介するとともに、本書面を読んで感じた3つの疑問点を以下のように指摘した。

- (1) 1995年の兵庫県南部地震(M7.3)のように既存の活断層が連動して活動する例は早くから知られていたため、関電は、FO-B~FO-A断層と熊川断層とが連動して活動する場合について、もっと早い段階から検討すべきであった。
- (2) FO-B~FO-A断層と熊川断層が連動して動いた場合でも、地表面に現れる断層位置は不変として大飯原発の基準地震動(最大加速度)を求めているが、発想を変えて、震源(破壊開始点)をまず推定して、そこから

から断層破壊面がどのように進むかを考えてみると、地震断層が敷地内を横切るケースもありうるのではないかと考える。

(3) 2005年の福岡県西方沖地震(M7.0)のように既存の活断層の延長上の空白域で内陸地殻内地震が発生している例もあるので、上林川断層北東部の延長上の空白域で大飯原発に達するような地震が起こることも想定して、モデル計算を行うべきであった。

このうち、(1)については、関電は、その後、規制委員会の議論も踏まえて、より安全側に考えることにして、この3つの断層が連動して動くことも想定しているため、現状では問題点は解消された。しかし、(2)と(3)は、大飯原発の敷地内を地震断層が走る場合もありうることを指摘したもので、そのような場合を想定すれば、当該発電所の基準地震動(最大加速度)は、856 galでは済まなかったのではないかと考える。

## 謝辞

本小論をまとめるにあたり、有益なご意見をいただいた小林芳正、志岐常正・両京大名名誉教授に厚く御礼を申し上げます。

## 参考文献

- (1) 関西電力株式会社 外1名: 準備書面(3), (2015/5/21), 京都脱原発訴訟原告団, 裁判資料, [http://nonukes-kyoto.net/wp/wp-content/uploads/2015/06/150521kanden\\_j03.pdf](http://nonukes-kyoto.net/wp/wp-content/uploads/2015/06/150521kanden_j03.pdf)
- (2) 橋本学: 兵庫県南部地震の概要, 国土地理院時報, 83, (1995), <http://www.gsi.go.jp/REPORT/JIHO/vol83-2.html>
- (3) 遠田晋次: 活断層研究と内陸地震の長期予測-阪神淡路大震災以降, 自然災害科学, 第28巻, 第4号, (2010), [http://www.jsnds.org/ssk/ssk\\_28\\_4\\_299.pdf](http://www.jsnds.org/ssk/ssk_28_4_299.pdf)
- (4) 地震調査研究推進本部: 濃尾断層帯, (2015), [http://www.jishin.go.jp/main/yosokuchizu/katsudanso/f060\\_nobi.htm](http://www.jishin.go.jp/main/yosokuchizu/katsudanso/f060_nobi.htm)
- (5) Noda, S. *et al.*: Response spectra for design purpose of stiff structures on rock sites, Proc. OECD/NEA workshop on the relations between seismological data and seismic engineering, (2003), <http://www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/Public/39/093/39093717.pdf>
- (6) 地震調査研究推進本部: 三峠・京都西山断層帯, (2015), [http://www.jishin.go.jp/main/yosokuchizu/katsudanso/f078\\_mitoke\\_kyoto-nishiyama.htm](http://www.jishin.go.jp/main/yosokuchizu/katsudanso/f078_mitoke_kyoto-nishiyama.htm)
- (7) 亀高正男・菅森義晃・石田直人・東篤義・山根博・杉森辰次・魚住誠司・梅田孝行・松井和夫・永田高弘・岩森暁如・玉田潤一郎・金谷賢生: 舞鶴-小浜地域の地質: 超丹波帯・丹波帯の地質構造, 日本地質学会第115年学術大会講演要旨, (2008), [https://www.jstage.jst.go.jp/article/geosocabst/2008/0/2008\\_0\\_364/\\_pdf](https://www.jstage.jst.go.jp/article/geosocabst/2008/0/2008_0_364/_pdf)
- (8) 亀高正男・岸本弘樹・梅田孝行・松場康二・東篤義・山根博・松井和夫・魚住誠司・岩森暁如・玉田潤一郎: 京都府北部, 上林川断層の横ずれインバージョン, 日本地質学会第116年学術大会講演要旨, (2009), [https://www.jstage.jst.go.jp/article/geosocabst/2009/0/2009\\_0\\_226/\\_pdf/](https://www.jstage.jst.go.jp/article/geosocabst/2009/0/2009_0_226/_pdf/)
- (9) 九州大学大学院理学研究院附属地震火山観測研究センター: 2005年福岡県西方沖地震, (2005), <http://www.sevo.kyushu-u.ac.jp/2005-GENKAI/>
- (10) 地震調査研究推進本部: 警固断層, (2015), [http://www.jishin.go.jp/main/yosokuchizu/katsudanso/f108\\_kego.htm](http://www.jishin.go.jp/main/yosokuchizu/katsudanso/f108_kego.htm)