

## 活断層調査20年間の概観と今後の課題 A perspective on the 20-year active fault survey

杉山 雄一<sup>1\*</sup>  
SUGIYAMA, Yuichi<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 産業技術総合研究所 活断層・火山研究部門  
<sup>1</sup>Institute of Earthquake and Volcano Geology, AIST

### 1. 20年間の調査概観

兵庫県南部地震後、国の地震調査研究推進本部が中心になって、10年計画で全国約100の主要活断層の調査が実施された。その後の10年間にも、大規模な地震の発生が切迫している可能性がある活断層（糸魚川-静岡構造線断層帯など）や地震が発生した際の社会的影響が大きい活断層（上町断層帯など）の重点的調査が実施されている。また、調査が不十分な活断層の追加・補完調査や、2005年福岡県西方沖の地震、2007年新潟県中越沖地震などの発生をうけて、沿岸海域に分布する活断層の調査も行われている。講演では、幾つかの主要な活断層を取り上げ、解明されたこと、未解明の問題を紹介する。

### 2. 今後の課題

20年間の調査と大震災後に地震を引き起こした活断層・震源域の調査を踏まえて、今後の課題として、次の3点を指摘したい。

#### (1) 断層活動の多様性の解明

六甲・淡路島断層帯、濃尾断層帯、三方・花折断層帯などの調査結果で示されるように、断層帯では単独・連動・連鎖など様々なパターンの断層活動が起きる。このような多様な地震が発生するメカニズムを解明し、連動・連鎖の範囲を予測するため、古地震事例を収集すると共に、断層帯の応力状態の解明など、地震、地殻変動等の観測研究を含め、基礎的な研究を進展させる必要がある。また、2004年新潟県中越地震や2008年岩手・宮城内陸地震の地震断層調査により、同一断層上の同一地点でもズレの量は活動毎に大きく異なる場合があることが分かった。この事実は活動履歴情報に基づく予測では、地震の頻度を過小評価している可能性があることを示唆する。従って、このような現象の発現メカニズムの研究も不可欠である。

#### (2) 断層浅部（狭義の活断層）と断層深部（震源断層）の関係の解明

(1)の課題の解明には、断層の浅部と深部がどのように繋がっているのか明らかにすることも不可欠である。2007年中越沖地震では、柏崎刈羽発電所ほぼ直下の震源断層活動域と同断層の地表表出と推定される海底活断層の位置的乖離の大きさは、この課題の重要性を如実に示した。しかし、現在の反射法地震探査などの地球物理学的手法や断層関連褶曲法などの地形・地質学的手法は、この課題に応えるだけの十分な解像度と拘束力を持っていない。それ故、中央構造線断層帯、糸魚川-静岡構造線断層帯、関東平野北西縁断層帯などのように、断層の3次元形状について論争中の断層も多い。関連分野の総力を挙げて、この課題に取り組み、断層帯とその周辺の3次元地下構造の解明に挑戦する必要がある。

#### (3) 地表痕跡（変動地形など）が不明瞭な活断層の調査と評価

2000年鳥取県西部地震は活断層が知られていないところで発生した。地震後、震源域周辺の調査を行った結果、震源域の西約5kmと東約9kmに変動地形を伴う活断層が見出された。変動地形が明瞭でないのに地震を起こした断層と変動地形がより明瞭なのに活動しなかった断層のペアは、1927年北丹後地震地域や2005年福岡県西方沖の地震地域でも認められる。また、新潟県中越地震、岩手・宮城内陸地震、福岡県西方沖の地震は既知の活断層の走向方向への延長で起きた。新潟県中越地震と岩手・宮城内陸地震は、正断層として形成された断層が逆断層として再活動して引き起こされたと推定される。以上から、既知活断層の両側・走向延長、現在の応力場で活動しやすい姿勢の地質断層を手始めに、この種の断層の調査に取り組み、地震発生ポテンシャルの過小評価の改善に貢献すべきと考える。

キーワード: 活断層, 内陸地震  
Keywords: active fault, inland earthquake

## 兵庫県南部地震と慶長大地震との関係 Relation between the 1995 Hyogoken-Nanbu Earthquake and the great Keicho Earthquake

飯尾 能久<sup>1\*</sup>  
IIO, Yoshihisa<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 京大・防災研

<sup>1</sup> DPRI, Kyoto Univ.

伏見城の天守閣が崩れたことで有名な1596年の慶長の大地震は、四国の中央構造線・六甲-淡路・有馬高槻断層帯が活動した巨大な内陸地震であることが分かってきた(例えば、堤・後藤, 2006)。六甲-淡路断層帯で1596年にすべりが起こっていたとすると、そのわずか400年後に、どうして兵庫県南部地震が起こったのかということが大きな問題となる。

淡路島において1596年に活動したのは東岸の断層である。一方、兵庫県南部地震では西岸の野島断層で大きな変位が生じた。野島断層と東岸の断層帯の水平距離はわずかであり、東岸の断層帯が活動した場合、野島断層の応力の相当部分が解放される可能性がある。六甲-淡路断層帯の平均発生間隔は少なくとも千年程度以上であると推定されていることから(地震調査研究推進本部, 2005a)、約400年間隔で活動したことが問題となるのである。

六甲-淡路断層帯が約400年間隔で活動したことの説明は、

- 1) 野島断層は約2千年間動いておらず、要注意断層だった。
- 2) そもそも地震はランダムに発生するものであり、千年か2千年に1回の地震が400年の間隔で起こっても何ら不思議はない。
- 3) 平均変位速度には過小見積もりが、活動履歴データには見落としがあり、活断層は、現在知られているよりずっと頻繁に大地震を起こしている。

4) 慶長の大地震のすべり残しが約400年後にすべった。

という4)通り考えられるが、本講演では、1)と4)の可能性を検討する。中央構造線・六甲-淡路・有馬高槻断層帯の連動性を仮定して、これまで得られた活断層の活動履歴を見直すと、1596年の地震で六甲-淡路断層帯の深い部分にすべり残りがあり、それが兵庫県南部地震ですべった可能性が指摘出来る。

兵庫県南部地域にすべり残しがあったと考えたが、それでは、他の部分はどうであろうか? 2013年に淡路島でM6.3の地震が発生したが、四国と兵庫県南部地震の断層との間の部分について検討する。

キーワード: 兵庫県南部地震, 野島断層, 内陸地震, 中央構造線, 応力変化, 再来間隔

Keywords: Kobe Earthquake, Nojima Fault, intraplate earthquake, Median Tectonic Line, stress change, recurrence interval

## 干渉 SAR が明らかにした内陸地震の震源断層の複雑性 Complexity of source fault of inland earthquakes revealed by SAR interferometry

橋本 学<sup>1\*</sup>  
HASHIMOTO, Manabu<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 京都大学防災研究所

<sup>1</sup> Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University

1992年のLanders地震から合成開口レーダー干渉法(以下、干渉 SAR)は、地震時地殻変動の検出の有効な手段として用いられて来た。我が国では1995年兵庫県南部地震をはじめとして、主として我が国のLバンド SAR (JERS-1 SAR, ALOS/PALSAR)を用いて地殻変動検出と震源断層運動の推定に関する研究が行われて来た。特に、ALOS/PALSARは、2006年からの国内外の内陸地震による地殻変動の検出を行い、大きな成果を挙げてきた。その最も重要なものは、震源断層の複雑性である。本小論では、ALOS/PALSARにより得られた顕著な内陸地震による地殻変動をレビューし、その地学および災害科学的意義を議論する。

2008年中国・四川地震では、平行する断層のすべりによる変動や、すべりの不均質性や断層面形状の走向に沿った変化などを捉えることに成功した(e.g. Hashimoto et al., 2010)。2009年岩手・宮城内陸地震では、西傾斜の主断層と東傾斜の副断層が動いたことを示した(Takada et al., 2009)。2010年ハイチ地震では、地形と逆相関の地殻変動を検出し、支配的と考えられていたエンリキ断層(鉛直左横ずれ断層)ではなく、伏在する逆断層の運動であることを明らかにした(e.g. Hashimoto et al., 2011)。同じ2010年ニュージーランド・ダーフィールド地震では、5つ以上の小断層の複雑な破壊が生じたことを示した(橋本, 2012)。2011年4月のいわきの地震も複数の斜交する正断層のすべりであることを示した(Fukushima et al., 2013)。もちろん、2007年能登半島沖地震や2009年イタリア・ラクイア地震、2010年中国・青海省の地震などのように、一枚の断層面で近似できるケースも認められるが、ALOS/PALSARの5年弱の運用期間中では、むしろ少数であった。

地震調査研究推進本部の長期評価では、「固有地震モデル」が基本的な考えとなっている。しかし、これらの地殻変動から推定される断層運動は、単一の断層面のすべりが繰り返す「固有地震モデル」とは矛盾する。ダーフィールド地震やいわき地震のようにセグメント間の破壊の伝播が、地震の規模の予測を極めて困難にする。地殻構造の影響も含め、モデル化を急ぐべきである。一方、多くの断層の運動が大地形の生成に寄与していることは否定しないが、ハイチ地震のような地形と逆相関の地殻変動を生じる地震がどのような機構で起きるのか。地学的に大きな課題であるとともに、防災・減災に寄与するためにも考慮する必要がある。

キーワード: 干渉 SAR, ALOS/PALSAR, 内陸地震, 活断層, 地殻変動

Keywords: InSAR, ALOS/PALSAR, inland earthquake, active fault, crustal deformation

## 地震長期評価の問題点：兵庫県南部地震の教訓は活かされているか？ Problems of long-term earthquake forecast in Japan: Do we learn from the Kobe earthquake properly?

鷺谷 威<sup>1\*</sup>  
SAGIYA, Takeshi<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 名古屋大学  
<sup>1</sup> Nagoya University

1995年に兵庫県南部地震が発生した際、関西における大地震発生の危険性は住民に十分に認知されておらず、防災対策も不十分で大きな災害を引き起こす一因となった。こうした反省から、地震調査研究推進本部では日本列島における地震活動の長期評価や地震動予測地図の作成を進めてきた。2014年12月に公表された最新版の全国地震動予測地図では、関東から四国にかけての太平洋沿岸が今後30年間に震度6弱以上の揺れに見舞われる確率が最も高い(26%以上)ことを示す濃い赤色で示されている。

このように高い確率で大きな地震動が予測されている要因の一つは南海トラフ地震の30年確率70%程度という見積りである。この長期評価には時間予測モデルを使用した結果であるが、他の長期評価と同様に時間予測モデルを使用せず平均的な地震発生間隔を用いると、30年確率は20-30%程度にしかならない。1707年宝永地震以前の南海トラフ地震の発生の時系列に不確定な部分があり、そもそも時間予測モデルは科学的に十分検証されたとは言えず、室戸岬の隆起量を地震規模の指標として用いることの妥当性にも大いに疑問が残る。こうした事情を考えると、70%という発生確率は、科学的な推定の範囲内ではあるが、その上限として捉えるべきであろう。

こうした極端な確率値を採用することにより、地震動予測地図は地域的にバイアスを持っており、公平な地震ハザードの地域比較となっていない。地震動予測地図の用途には防災予算の個所付けや地震保険の料率算定等があるが、こうした目的で使うには、現在の地震動予測地図は不適切と言わざるを得ない。さらに、南海トラフという特定の地域の地震危険度を実際以上に強調することは、東海地震の危険をことさらに強調して他の地域が置き去りにされた兵庫県南部地震前の状況にも通じる。特定の地域の危険で国民を煽ることは必ずしも真の防災につながらない。そうした危険が日本列島のどこにでもあること、科学的な予測や評価は現状では非常に不確かなものであることを正しく伝えていく必要があり、兵庫県南部地震の教訓を活かすことにつながる。

キーワード: 地震長期評価, 地震動予測地図, 南海トラフ地震, 時間予測モデル, 兵庫県南部地震

Keywords: long-term earthquake forecast, seismic hazard map, Nancy Trough earthquakes, time-predictable model, Kobe earthquake



## 有馬高槻構造線における主滑り面での非晶質微粒子の保存 Ultra-fine amorphous particles preserved in the primary slip zone within the Arima-Takatsuki Tectonic Line

朝山 暁<sup>1\*</sup>; 金木 俊也<sup>1</sup>; 廣野 哲朗<sup>1</sup>  
ASAYAMA, Satoru<sup>1\*</sup>; KANEKI, Shunya<sup>1</sup>; HIRONO, Tetsuro<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 大阪大学大学院理学研究科  
<sup>1</sup> Graduate School of Science, Osaka University

地震時の断層滑りに伴う破砕作用によって、断層内の構成鉱物は細粒化・非晶質化する。例えば、1999年集集地震で活動した台湾チェルンプ断層の主滑り面では、粒径数 10 nm 程度の微粒子（一部は非晶質化）が確認された。この微粒子は主滑り面だけで確認されるため、活断層としての指標の可能性が提案されている。但し、現時点では報告例が少ないため、他の活断層での評価が必要である。そこで、第四紀段丘堆積物の変位が有意に確認されている有馬高槻構造線の断層露頭において、非晶質微粒子の定量化を試みる。

定量化の手法として、従来は X 線回折パターンでの鉱物組成定量解析 (RockJock 法) が提案されてきた。しかし、対象とする試料によっては、この Excel マクロプログラムに登録されている標準鉱物の回折パターンと必ずしも一致するとは限らず、適切な鉱物同定が難しい。そのため、回折パターンの 20-40 度 ( $2\theta$ ) 付近の非晶質起源ハローの面積を用いて、直接的な非晶質成分の定量化を実施した。その結果、有馬高槻構造線の断層では、厚さ約 1 cm の主滑り面のみで、20 wt% に至る非晶質成分が検出された。さらに、走査型電子顕微鏡観察の結果、粒径 10-100 nm 程度の多くの微粒子が確認された。

以上の結果、活断層の主滑り面では非晶質微粒子の保存が普遍的であり、「微粒子の発達・非晶質化⇌活断層」が成立する可能性が高い。今後は、この微粒子が地震時に生成する力学的条件および非地震時に溶解反応によって消失する速度を実験的に検証する予定である。

キーワード: 活断層, 非晶質化, 非晶質定量

Keywords: active fault, amorphization, quantitative method of amorphous

## 内陸の大・中地震による短周期地震波エネルギー輻射の特徴 Characteristics of radiated short-period seismic energy from moderate-to-large inland earthquakes

中原 恒<sup>1\*</sup>  
NAKAHARA, Hisashi<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 東北大学大学院理学研究科  
<sup>1</sup> Graduate School of Science, Tohoku University

はじめに 理論地震波形の計算が容易ではない周期 1s 以下の短周期帯において、地震波形エンベロープを用いた震源インバージョン法が開発されて適用されるようになったのは 1990 年代に入ってからである (e.g. Gusev et al., 1991; Zeng et al., 1993; Kakehi and Irikura, 1996). 1995 年兵庫県南部地震を一つの契機として、著者らは震源断層からの短周期地震波エネルギー輻射量を求める地震波エンベロープインバージョン法 (Nakahara et al., 1998) を開発し、これまでに 10 個以上の中・大規模地震からの短周期地震波エネルギー放射量を調べてきた。本研究ではこれらの解析結果をまとめ、特に 6 つの内陸地震を他のプレート境界型地震やスラブ内地震と比較することにより、内陸地震による短周期地震波エネルギー輻射量の統計的特徴を調べた。

データ 著者はこれまでに、1995 年兵庫県南部地震 (Mw6.9)、1998 年岩手県内陸北部の地震 (5.8)、1999 年台湾集集地震 (7.6)、2000 年鳥取県西部地震 (6.6)、2004 年 11 月新潟県中越地震 (6.6)、2008 年 6 月岩手・宮城内陸地震 (6.8) の 6 つの内陸地震のエンベロープインバージョン解析を行い、短周期地震波エネルギー輻射量分布を求めてきた。これらの結果を特に 3 つの観点からまとめた。

### 結果

#### (1) 短周期地震波エネルギー輻射量のスケーリング則

1-2, 2-4, 4-8, 8-16Hz の各周波数帯で、短周期地震波エネルギー輻射量の対数とモーメントマグニチュード (Mw) との関係調べた結果、両者は、傾き 1 の直線で概ね説明できることが分かった。このことより、短周期地震波エネルギー輻射量は断層面積にスケールされることがわかる。エネルギー輻射量の絶対値は、内陸地震については壇・他 (2001) の短周期レベル A を仮定して計算される値と調和的であることが分かった。また内陸地震と比べて、これまでに解析したプレート境界型地震やスラブ内地震は、短周期地震波エネルギー輻射量が 1 桁程度大きく、短周期レベル A は 3 倍程度大きいことが分かった。

#### (2) 短周期地震波エネルギーの輻射域とアスペリティとの位置関係

短周期地震波エネルギーの輻射位置とアスペリティ (ここでは断層すべり量が大きい場所の意味) との位置関係は、1998 年岩手県内陸北部、1999 年台湾集集、2000 年鳥取県西部の 3 つが相補的、他の 3 つが複雑 (重なる場合も含む) であることが分かった。

#### (3) 短周期地震波エネルギー輻射量の頻度分布

一つの地震、一つの周波数帯でのインバージョン結果より、小断層の数だけエネルギー輻射量が求められる。その値の大きさに対して、あてはまる統計分布について検討した。具体的には、エネルギーの大きいほうから順にならべて、横軸はその順位を線形で、縦軸はエネルギー輻射量を対数で示した図を作成した。この関係は概ね直線的であり、2 母数ワイブル分布によってうまく説明されることが分かった。特に、直線の傾きはワイブル分布の形状母数によって規定される。この値は 0 から 2 の範囲にあり、地震や周波数帯によって異なる。形状母数が 1 の場合は指数分布であり、1 より小さい場合は指数分布に比べて大きいエネルギーの出現頻度が高い ('heavy-tailed' な) 分布を意味する。

今後、以上のような統計的特徴を物理的に理解すること、そしてその成果を地震動予測に生かしていくことを目指している。

キーワード: 内陸地震, 短周期地震波エネルギー, エンベロープインバージョン  
Keywords: inland earthquakes, short-period seismic energy, envelope inversion

## 強震動予測研究の進展 Progress in ground motion prediction

関口 春子<sup>1\*</sup>  
SEKIGUCHI, Haruko<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 京都大学防災研究所  
<sup>1</sup>DPRI, Kyoto Univ.

Methodologies of ground motion prediction have developed rapidly during the last few decades incorporating the knowledge obtained through analysis of destructive earthquakes and taking advantage of progress in computers. The progress was highly accelerated thanks to the dense strong motion observation networks installed after the 1995 Hyogo-ken Nanbu earthquake.

In the modeling of source processes for anticipated earthquakes, as the patch asperities successfully explained the directivity pulses in downtown Kobe for the Hyogo-ken Nanbu earthquake (Kamae and Irikura, 1998), the asperity-based model has been the mainstream in Japan. The way to decide properties of asperities has been pursued by developing scaling relations for asperities estimated for observed earthquakes. The way to adequately locate asperities has been sought for in the relation between slip at depth and displacement along the fault traces or in the relation between asperity and fault geometry. In addition to asperities, realistic smaller-scale heterogeneity in the distribution of source parameters is considered to fill the deficiency of the wave excitation of asperity model and to moderate the forward directivity effect.

Underground velocity structure model with 3-dimensional variation like the Osaka basin model by Kagawa et al. (1993) was very rare before the Hyogo-ken Nanbu earthquake. Hyogo-ken Nanbu earthquake made us realize not only the difference in medium physical property but also the topography of the soft-hard boundary of the sedimentary-basin floor had great effect on the ground motion. This fact promoted the surveys and modeling of the velocity structure of large basins. Moreover, we have seen at every destructive earthquake that various aspects of the underground structure can cause locally large ground motions.

I am going to review how the methodology developed with our experience of destructive earthquakes and discuss whether we have successfully solved each problems.

キーワード: 強震動予測, 震源モデル, 速度構造, アスぺリティ

Keywords: ground motion prediction, source model, velocity structure, asperity

## 活断層近傍における強震動予測手法の工学的適用に関する諸課題について Various Topics on Engineering Applications of Strong Ground Motion Prediction near Active Fault

久田 嘉章<sup>1\*</sup>  
HISADA, Yoshiaki<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 工学院大学建築学部  
<sup>1</sup>School of Architecture, Kogakuin University

### 1. はじめに

兵庫県南部地震から20年を経て、レシピなど強震動予測手法が体系化されつつあり、構造物への設計用入力地震動など工学的にも活用されている。一方、超巨大地震や活断層など震源近傍の強震動の予測に適用する際、注意すべきいくつかの課題も明らかになっている。ここでは、活断層近傍における強震動予測手法の工学的適用に関する3つの課題を提示したい。

### 2. 活断層近傍における強震動予測手法の工学的適用に関する諸課題

#### 1) 強震動予測レシピで誰がやっても同じ答が得られるか？

答えは自明であり、noであると思うが、社会的に誤解を招いていると思う。同じ食材やレシピを用いても、一流シェフと初心者では出てくる料理が全く異なるのと同じである。強震動予測レシピは強震動生成域に短周期の励起や指向性パルスなど発生源を集約することで、誰でもある程度の強震動計算が可能となる非常に有用な経験式である。特に中規模地震である程度距離が離れたサイトでは、単純化した震源モデル(すべり関数や破壊過程など)の限界を気にしなくても、観測記録の再現などで多大な実績がある。一方、活断層などの震源の近傍では、単純化した震源モデルによる影響が、指向性パルスなどの強震動にそのまま反映されるので要注意である。強震動研究者には自明であると思われるが、あまり注意を払われていないと思われる結果が散見される場合がある。初心者がいきなり強震動予測レシピに飛びつく前に、前提となる多くの震源パラメータや計算手法の選択などで計算結果に大きな影響があることを理解することが重要であり、段階を踏みながら学ぶ必要がある。必要とされているのはレシピの限界を知り、使いこなせる一流シェフの育成やその教材やノウハウだと思う。

#### 2) 地表地震断層近傍の強震動予測

強震動予測レシピでは深さ数kmの浅さ限界を設定し、浅い断層は地表地震断層の影響を無視している。しなしながら、地表地震断層近傍のフリングステップ(断層すべりに起因するステップ関数状の大きな永久変位を伴う強震動)や傾斜などの地盤変状が工学的に大きな課題となっている。近年の地表地震断層近傍の建物被害調査(例えば、久田、2012)などでは、地震断層の直上を除いて一般に被害は軽微であることが多く、直上の被害も断層すべりや傾斜などに地盤変状に起因する例が圧倒的であり、倒壊にまで至るケースも殆ど存在しない。既に理論的手法や数値解析手法でシミュレーションも可能であり(例えば、Hisada and Bielak, 2003)、断層のすべり量や傾斜角などが事前にある程度分かれば工学的に十分の対応可能だと思う。多数の活断層が都市内外の存在する我が国では活断層とともに生きる知恵が求められており、地表地震断層による強震動予測レシピが必要である。

#### 3) 強震動予測手法の工学的適用: 設計用地震動と検証用地震動

阪神・淡路大震災や東日本大震災を踏まえ、千年から数万年に一度など、従来の設計用地震動の再現期間を凌駕する最大級地震・最悪想定強震動等が公開されており、それによる万が一の過酷事象への対策が求められている。発生の可能性が極めて低いが、甚大な影響のある地震動(活断層による震源近傍の強震動や、超巨大地震による長周期地震動など)に対して、現在の耐震規定でしっかりと設計施工された低層建物であれば、過大入力に対しても高い安全性があることは経験的に確認されている。一方、免震や超高層建築、原子力発電所など大震災の経験に乏しいが、高い安全性が求められている施設には、過酷事象に備えた検討が特に必要である。建物の構造躯体や非構造・設備施設などの耐震設計用の入力地震動は、数十年以上の耐用年数内で安定している必要があり、新しい知見などで大きく変わらう強震動予測手法の結果は、そのままでは設計用地震動として使用が困難である。よって、最大級地震による最悪条件による過大な予測地震動は、設計用地震動とは区別し、既存の手法で耐震設計した建物の安全性や対策を検討するためのリスクマネジメントのための検証用地震動として位置付けられると思う。万が一の過酷事象への対策には工学的判断が必須であり、場合によりフェールセーフなどのハード対策、あるいはモニタリングとクライシスマネジメント、教育や防災訓練などによるソフト対策などが必要になる。

### 3. おわりに



SCG65-08

会場:A04

時間:5月26日 11:25-11:40

強震動研究とその応用である耐震対策の研究に拘わるものとして、活断層近傍における強震動予測手法の工学的適用に関する諸課題を、話題提供として記してみた。なお、本報告は久田（第42回地盤震動シンポジウム、日本建築学会、2014）などをもとにしている。

#### 謝辞

本報告の内容の一部は、文科省・科研費・基盤研究(B)の研究助成と、工学院大学・都市減災研究センターによる助成のもとで行われました。

キーワード: 活断層近傍, 強震動予測レシピ, 指向性パルス, フリングステップ, 設計用地震動, 検証用地震動

Keywords: Active Fault, Recipe for Predicting Strong Ground Motions, Forward Directivity Pulse, Fling Step, Strong Ground Motions for Aseismic Design, Strong Ground Motions for Risk Management

## 2014年長野県北部の地震の強震動生成メカニズム Strong Ground Motion Generation for the 2014 Northern Nagano Earthquake

三宅 弘恵<sup>1\*</sup>; 小林 広明<sup>1</sup>; 司 宏俊<sup>1</sup>; 宮川 幸治<sup>1</sup>; 瀧 一起<sup>1</sup>  
MIYAKE, Hiroe<sup>1\*</sup>; KOBAYASHI, Hiroaki<sup>1</sup>; SI, Hongjun<sup>1</sup>; MIYAKAWA, Koji<sup>1</sup>; KOKETSU, Kazuki<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東大地震研

<sup>1</sup> Earthq. Res. Inst., Univ. Tokyo

2014年11月22日に発生した長野県北部の地震(気象庁マグニチュード6.7, Mw 6.2)では、長野県白馬村を中心に強い地震動が観測され、長野県白馬村堀之内付近の木造家屋の被害が報じられた。この地震の震源断層については、活断層の地表踏査やInSAR,あるいは余震観測から糸魚川-静岡構造線断層帯との関連が示唆されている。また、防災科学技術研究所のK-NET・KiK-netや長野県自治体震度計の強震記録によって、震源近傍の強震動が観測された。

観測地震動は、おおむね既往の距離減衰式と調和的である。また、関東平野や濃尾平野における長周期地震動の励起は顕著ではなかったが、震源が浅いために、断層から糸魚川-静岡構造線断層帯に沿った南側に、表面波が発達していることが、松本盆地や諏訪盆地の強震記録から示唆される。

堀之内の南の三日市場には、Hi-net白馬神城観測点がある。しかしながら、深さ約50mの地中記録は、計測最大速度が約4cm/sであるため、本震記録は振り切れている。そこで、堀之内からやや南の神城断層沿いの白馬クロスカントリー競技場に、東京大学地震研究所の強震白馬臨時点を設置し、2014年12月12日より連続強震観測を開始した。使用した計測機器は、JAP-6A3-10とLS-7000XTによる機動型強震計であり、携帯電話を用いてWINパケットによる毎秒ごとの通信を行っている。余震記録はいずれも周期約1秒の卓越がみられる。

2014年長野県北部の地震の強震動生成メカニズムを考える上で、K-NET白馬観測点あるいはKiK-net白馬観測点において、東西成分を上回る南北成分の速度振幅が観測されており、単なる平面逆断層の破壊による説明は難しい。一方、K-NET白馬観測点、KiK-net白馬観測点、強震白馬臨時点で観測された複数の前震あるいは余震記録に、南北成分の顕著な震動は見られていないことから、本震の震源特性が複雑である可能性が示唆される。そこで本研究では、小林・他(2015,本大会)の震源インバージョン結果を参考に、震源近傍の強震観測点を用いて、経験的グリーン関数法による広帯域地震動シミュレーションを行い、強震動生成域を推定する。また、強震白馬臨時点に設置した余震記録を用いた本震時の地震動の再現を試みる。

キーワード: 2014年長野県北部の地震, 強震動, 連続強震観測, 距離減衰式, 経験的グリーン関数法

Keywords: 2014 Northern Nagano earthquake, strong ground motion, continuous strong motion observation, ground motion prediction equation, empirical Green's function method

## M7クラスの長野県北部の地震により東京湾岸で観測された長周期地震動 Long-period Ground Motion in Tokyo Bay Area Observed from the M7 Class Events in the North of Nagano Prefecture, Japan

植竹 富一<sup>1\*</sup>

UETAKE, Tomiichi<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 東京電力株式会社

<sup>1</sup> Tokyo Electric Power Company

### 1. はじめに

2014年11月22日に長野県北部で $M_{JMA}6.7$ の地震が発生し、最大震度6弱を記録し、多くの住宅が倒壊した。長野県北部周辺では、2011年3月12日にも新潟-長野県境で $M_{JMA}6.7$ の地震が発生している。二つの地震は、ほぼ同じ規模、深さ、メカニズムであり、しかも東京湾岸から見るとほぼ同じ方向にあることから、同じような特性の地震動が観測されると予想される。そこで、東京湾岸における両地震の記録を比較した。

### 2. データについて

東京湾を取り囲む火力発電所に設置された広帯域速度計(VSE-355G3)の記録を解析に用いた。また、岩盤や広域での波形変化を把握するため、K-NET、KiK-netの記録も用いた。2011年3月12日の地震は、新潟-長野県境で発生し、 $M_{JMA}6.7$ 、震源深さ8kmである。F-netの解析結果によると $M_w6.2$ 、深さ5kmで、メカニズム解は北東-南西走行の逆断層である。2014年11月22日の地震は、長野県北部の神城断層付近で発生し、 $M_{JMA}6.7$ 、深さ5kmである。F-netの解析結果は $M_w6.3$ 、深さ5kmで、メカニズム解はこちらも北東-南東方向の逆断層である。東京湾岸の品川地点からの震央距離は、前者が184km、後者では206km、方位角は、325度、後者が305度であり、ほぼ、同じ方向から地震波が到来していると考えられる。

### 3. 東京湾岸の記録の特徴

2011年の地震の速度波形では、横須賀を除き、水平動・上下動のいずれにも周期5秒の顕著な後続波群が認められた。なお、千葉におけるこの波群の出現時刻は、西側の品川に比べて遅い。この波群が西側の山地から伝播していることはK-NETやKiK-net記録を用いてペーストアップを作成することにより確認できる。減衰5%の速度応答スペクトルを作成すると横須賀を除く各地点で、水平成分、上下成分とも周期5秒に顕著なピークが認められた。

2014年の地震の速度記録には2011年のような顕著な波群は認められないが、より長周期の連続した後続波群が認められる。千葉では2011年の地震の波形と同様に遅れて到達する波群も確認できる。減衰5%の速度応答スペクトルを作成すると、周期5秒のピークが認められる地点はなかった。ただし、東京湾西側の大井・品川や東京湾東側の姉崎~千葉などでは水平動の周期7~8秒にピークが認められた。

### 4. 岩盤上の記録

平野へ入射する波の性状を確認するために、関東平野の西側の関東山地に位置するK-NET、KiK-net観測点での波形を確認した。2011年の地震ではパルス的な顕著な後続波群が確認される。減衰5%の速度応答スペクトルでは、5秒にピークが見られた。関東山地を伝播する後続波群は水平動と上下動で位相が90度ずれており、レーリー波と推定される。一方、2014年の地震では、特別な波群は認められない。なおこの違いは、震源に近い群馬県内の観測点でも確認できる。

### 5. まとめと考察

2011年の地震の速度記録では、周期5秒の顕著な後続波群が認められたが、2014年の地震では認められなかった。2011年の地震記録に見られる周期5秒の波群は、岩盤点での挙動から考えて、レーリー波が平野に入射して増幅・伝播したものと考えられる。2011年の地震と2014年の地震では、平野に入射する地震動自体が異なっていたと考えられる。

2011年、2014年いずれの地震でも、関東山地から東に向かって伝播する後続波が確認でき、東京湾東側の千葉では西側の品川に比べて後続波の出現時刻が遅くなる。遅れて到達する後続波群は、平野内で成長した表面波と考えられる。ただし、7~8秒のピークは水平動に見られ、上下動にはないことからラブ波的な波の伝播と考えられる。

### 謝辞

(独)防災科学技術研究所のK-NET、KiK-netの観測データを用いた。また、F-netの震源メカニズム解を用いた。記して感謝します。

キーワード: 長周期地震, 表面波, 後続波群, 東京湾岸, 速度応答スペクトル

Keywords: Long-period Ground Motion, Surface Waves, Later-phases, Tokyo Bay area, Velocity Response Spectrum

近地強震記録の解析から推定した2014年長野県北部の地震の破壊過程  
Rupture process of the 2014 Northern Nagano earthquake as deduced from near-source  
strong motion records

堀川 晴央<sup>1\*</sup>

HORIKAWA, Haruo<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>(独)産総研 活断層・火山研究部門

<sup>1</sup>Geological Survey of Japan, AIST

The 2014 Northern Nagano, central Japan, earthquake ( $M_{JMA}$  6.7) is a moderate-size crustal event with prominent surface rupture along the southern part of Kamishiro fault (e.g., Katsube et al., 2015 this meeting). I inferred the rupture process of this earthquake, inverting near-source (epicentral distance of less than 30 km) strong motion records. The original accelerograms were band-pass filtered between 0.1-1.0 Hz, and then numerically integrated into displacement. The inversion methodology adopted in this study is the same as that of Horikawa (2001, BSSA). I conducted preliminary inversion analysis to choose a focal mechanism among those of (centroid) moment tensors of the Global CMT, the National Research Institute for the Earth Science and Disaster Prevention (NIED), and the Japan Meteorological Agency (JMA). I then adopted the focal mechanism of the JMA centroid moment tensor (strike of 18 degrees, dip of 58 degrees, and rake of 59 degrees), assuming a fault plane with length of 23 km and width of 21 km. The inversion analysis revealed that the overall rupture finished within 10 s. After subtle moment release of the first 1 s, a large amount of moment release abruptly occurred with duration of 4 s. This large moment release comes from two patches of large slip: one is just beneath the hypocenter and with the maximum slip of more than 1 m, the other is located to the northeast of the hypocenter. The seismic moment of this earthquake was estimated to be  $2.0 \times 10^{18}$  Nm ( $M_w$  6.1), and smaller than those of (centroid) moment tensor analysis (e.g.,  $3.0 \times 10^{18}$  Nm from the global CMT). The two patches of large slip are deeper than the hypocenter (5.4 km below the ground surface around the source region), and little slip was found at the shallow part of the fault, which does not agree with the distinct surface rupture. A speculative interpretation of this discrepancy is that the moment release at the shallow part proceeded with long (maybe tens of seconds) duration that does not heavily affect the frequency components analyzed in this study. However, further analysis is required for validation of this interpretation.

Acknowledgements: Strong motion data were provided by NIED (K-NET and KiK-net) and the Earthquake Research Institute, the University of Tokyo (SK-net). As for the moment tensor solutions, I referred to the web sites of the Global CMT Project, NIED (F-net), and JMA. The unified earthquake catalog of JMA was used in this study.



## 疑似点震源モデルによる2014年11月22日長野県北部の地震(M6.7)の強震動シミュレーション Strong motion simulation for the 2014 Northern Nagano Prefecture earthquake based on the pseudo point-source model

野津 厚<sup>1\*</sup>

NOZU, Atsushi<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 港湾空港技術研究所

<sup>1</sup>Port and Airport Research Institute

一般にわが国の強震動予測においては、強震動を生成する矩形のサブイベントを断層面上に複数配した特性化震源モデル(例えば釜江・入倉, 1997)が用いられることが多い。それに対し、著者は、従来の特性化震源モデルよりも単純化された新たな震源モデルとして疑似点震源モデル(野津, 2012)の提案を行っている。疑似点震源モデルでは、強震動の生成に関わる各々のサブイベントに対し、その内部におけるすべりの時空間分布を詳細にはモデル化せず、各々のサブイベントが生成する震源スペクトルのみをモデル化する。提案モデルでは、サブイベントの破壊に起因する震源スペクトルはオメガスクエアモデル(Aki, 1967)に従うものとしている。提案モデルにおけるモデルパラメーターの数は、サブイベント1個あたり、東経・北緯・深さ・破壊時刻・地震モーメント・コーナー周波数の6個であり、従来の震源モデルに比べ大幅に少なくなっている。また、この震源モデルに基づいて強震動シミュレーションを行う場合には、震源スペクトルに伝播経路特性と経験的なサイト増幅特性を乗じることにより対象地点での地震動のフーリエ振幅を求め、これと対象地点における中小地震記録のフーリエ位相を組み合わせ、フーリエ逆変換することにより、サブイベントからの地震動の時刻歴波形を求めることができる。さらに、複数のサブイベントからの地震動を重ね合わせれば、地震動の全体が求まる。

このような単純化された震源モデルにより、ある程度の精度で強震動が計算できるのであれば、強震動予測における労力が大幅に軽減され、多数のシナリオを考慮した強震動予測などにおいて有用であると考えられる。また、実際に疑似点震源モデルを海溝型巨大地震(野津, 2012)やスラブ内地震(長坂他, 2014)に適用したところ、その結果はたいへん良好であり、むしろ一般的な特性化震源モデルよりも、観測された地震動のある一面をうまく説明できる場合さえあることがわかっている。

ただし、強震動の生成に関わるサブイベントを点で表現するというモデルの性格上、断層面距離が小さくなるようなケースでは適用性が低下することが当然予想される。従って、海溝型地震やスラブ内地震よりも内陸地殻内地震の場合の方が、本モデルの適用はより難しくなることが予想され、実際の観測記録に照らして、どの程度のシミュレーションができるかを調べておくことは重要であると考えられる。

内陸地殻内地震を対象とした疑似点震源モデルの適用の試みはすでに開始されているが(例えば秦・野津, 2012)、本研究では、最近発生した2014年長野県北部の地震を対象に疑似点震源モデルを作成し、震源周辺の複数の地点を対象に強震動シミュレーションを実施した。選択したパラメーターは次のとおりである。サブイベントの数=1, 東経=137.901, 北緯=36.722, 深さ=4.6km, 地震モーメント=2.0E+18 Nm, コーナー周波数=0.25Hz, 震源付近の媒質の密度は $2.7 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ , 密度は3.5km/sとした。ラディエーション係数としては全方位への平均値0.63, 地震動のエネルギーの水平2成分への分配を表すパラメーターである $PRTTN$ (Boore, 1983)は0.71とした。Q値は既往の研究(佐藤・巽, 2002)で求められている値を用いた。位相特性の評価には11月23日12:46に発生した余震の記録を用いた。その結果、いくつかの地点では地震動の再現性に課題は残るものの、震源近傍のK-NET白馬を含め、全体として、作成した疑似点震源モデルは震源近傍の強震動を上手く再現できることがわかった(図にはNGN002, NGN005, NGN007の3地点における速度波形およびフーリエスペクトルの計算結果を示す)。今後はさらに他の内陸地殻内地震への疑似点震源モデルの適用性を調べ、その適用限界を明らかにしたいと考えている。

謝辞 防災科学技術研究所の強震記録を利用しました。心より御礼申し上げます。

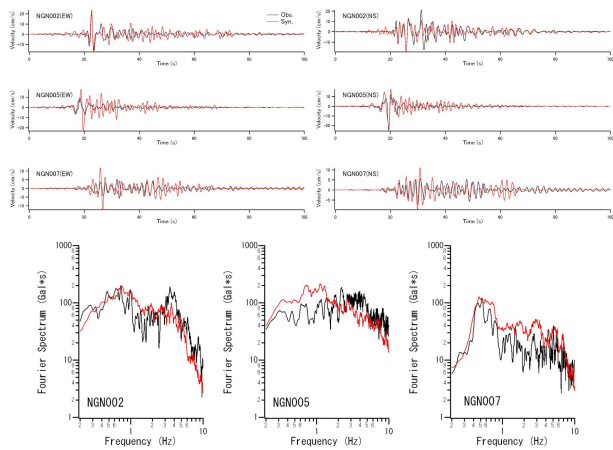
キーワード: 疑似点震源モデル, 長野県北部の地震, 強震動, オメガスクエアモデル, フーリエ位相

Keywords: the pseudo point-source model, the 2014 Northern Nagano Prefecture earthquake, strong ground motion, omega-square model, Fourier phase

SCG65-12

会場:A04

時間:5月26日 12:25-12:40



## 2014年長野県北部の地震に伴う地表地震断層の極近傍における地震被害状況について Investigation on earthquake damage in the Near-Surface-Fault area during the 2014 Northern Nagano Prefecture earthquake

司 宏俊<sup>1\*</sup>; 佐々木 哲朗<sup>2</sup>; 山口 真吾<sup>2</sup>  
SI, Hongjun<sup>1\*</sup>; SASAKI, Tetsuro<sup>2</sup>; YAMAGUCHI, Shingo<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 株式会社サイスマ・リサーチ, <sup>2</sup> 日本原子力発電株式会社  
<sup>1</sup>Seismological Research Institute Inc., <sup>2</sup>The Japan Atomic Power Company

2014年11月22日22時8分ごろに、長野県北安曇郡白馬村を震源とした  $M_{JMA}6.7$  ( $M_W6.2$ ) の地震が発生した。地震調査研究推進本部によれば、この地震は西北西-東南東方向に圧力軸を持つ逆断層型地震で、震源深さは5km程度と浅い。また、この地震においては地表断層または断層ずれによる地表変位は神城断層のトレースと調和的であることから、その関連性が指摘されている。なお、この地震による主な被害は白馬村、小谷村で発生しており、白馬村堀之内地区などで多くの建物が倒壊していることが報告されている。

著者らは地表断層の確認と断層近傍における地震被害状況を確認するため、地震発生後の2014年11月26日、27日の両日にわたって、小谷村、白馬村において現地調査を行った。今回の調査では、建物などの詳細な被害状況調査を目的とせず、被害の分布とその成因に着目して調査を行った。調査方法は主に聞き取り調査と写真撮影によって行った。その結果、建物などの地震被害は、断層トレースの東側に多くみられたものの、地表断層の極近傍においては、顕著な被害はみられなかった。特に、現時点で最も大きな断層変位が観測されている白馬村塩島地区の地表断層の極近傍において、ブロック塀も含めて目立った被害はみられなかった。

今後、今回調査を行った地表断層付近と被害の大きかった地域（例えば、白馬村堀之内地区）との地盤特性を考察するため、微動測定も含めて追加調査を行う予定である。

**謝辞:** 現地調査の実施にあたって、PAO 白馬の前田氏に多大なご協力をいただきました。記して御礼申し上げます。

キーワード: 地表断層, 被害, 地盤特性, 長野県北部の地震

Keywords: Surface fault, Damage, Site effect, Northern Nagano-ken earthquake

経験的グリーン関数を用いたインバージョン手法による2014年長野県北部の地震(Mj 6.7)の震源モデル  
Source model of the 2014 Northern Nagano earthquake (Mj 6.7) by waveform inversion with empirical Green's functions

芝 良昭<sup>1\*</sup>  
SHIBA, Yoshiaki<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 電力中央研究所  
<sup>1</sup> CRIEPI

2014年11月22日22時8分に発生した長野県北部地震(M6.7)では、震源近傍の長野県小谷村をはじめとする複数の地点で震度6弱が観測された。震源は、糸魚川-静岡構造線の北端に相当する神城断層と推定され、明瞭な地表地震断層の出現が報告されている。一方で、本震発生に伴う余震の分布をみると、既存の活断層である神城断層の地表トレースを大きく超えて北側に拡大しており、地中の破壊領域(震源断層)と地表活断層は必ずしも一意に対応していない。また、気象庁一元化震源要素によれば、本震発生直後の余震活動は本震震央よりも北側の方が相対的に活発で、かつ走向に直交する方向に幅広く分布している。このような、活断層の分布と、地中の震源断層の破壊様式との関係を明らかにすることは強震動予測において重要と考えられる。

本震の震源モデル推定には、経験的グリーン関数法と焼きなまし法を組み合わせた波形インバージョン手法(Shiba and Irikura, 2005)を用いた。本震断層面は、F-netのメカニズム解に従い、東傾斜の逆断層を仮定するとともに、断層上端が神城断層の地表トレースにおおむね一致するように位置を調整した。断層の広がり、余震分布から長さ24km、幅10kmとした。このときの断層上端深さは2.3km、下端深さは10kmである。経験的グリーン関数には、11月23日12時46分に発生したMj4.4の余震を用いた。ただしこの余震はF-netによるメカニズム解が大きく異なるため、Boore and Boatwright(1984)に従い放射特性の補正を行っている。

解析の結果得られた断層面上のすべり分布モデルからは、モーメント解放量の大きいアスペリティが破壊開始点付近および南部の浅い領域と、断層北部の浅部から深部にかけて同定された。このうち、破壊開始点付近の浅部は、地表地震断層が集中的に確認された地域の直下にほぼ一致する。一方、推定された断層すべり分布を初期条件とした実効応力のインバージョン解析からは、断層北部のアスペリティで相対的に高い実効応力が推定された。このことは、既存の活断層が発達していない領域において、断層破壊の進展に伴う応力降下が相対的に大きくなっていることを示唆するものと考えられる。一方で、このような断層北部のアスペリティが、地表地震断層が認められないにもかかわらず断層の浅い領域まで広がっている点については、今後さらに検討を進める必要がある。

キーワード: 2014年長野県北部地震, 震源モデル, 活断層, インバージョン解析  
Keywords: 2014 Northern Nagano earthquake, source model, active fault, inversion analysis