

# 大阪で想定される大振幅地震動

入倉孝次郎

京都大学名誉教授/愛知工業大学地域防災研究センター, 客員教授, 理学博士 (irikura@geor.or.jp)  
Kyoto University, Professor Emeritus/ Disaster Prevention Research Center, Aichi Institute of Technology, Guest Prof.

## 1. はじめに

ここでいう「大振幅地震動」とは、林(2020)<sup>1)</sup>により、「建築基準法で想定している地震荷重レベルを大きく超える地面の揺れ」で、「地域の地震環境、都市化の度合い、建物の重要度、社会の関心度などによって、設計で考慮されるか否かが決められる」と説明されている。特に、大阪では、上町断層帯地震によるパルス性地震動と南海トラフの巨大地震による長周期長時間地震動とが重要と指摘している。

大阪の中心部を南北に貫く上町断層帯のような活断層に発生する地震に対する強震動を予測するために、我々は1995年兵庫県南部地震をはじめとしてその後日本周辺に発生した被害地震の強震動データおよび震源インバージョン解析結果、さらに活断層など関連情報を収集・整理して、強震動予測レシピを提案している(例えば、Irikura and Miyake, 2010<sup>2)</sup>; 地震調査推進本部, 2017<sup>3)</sup>)。2016年熊本地震に関して、地表地震断層のごく近傍域を除けば、これまでの特性化震源モデルを用いて強震動の再現が可能である(Irikura et al., 2017)<sup>4)</sup>。しかしながら、地表断層のごく近傍域の地震動を再現するには特性化震源モデルの拡張が必要なが分かってきた。

地震時に破壊が地表に到達し地表断層が生じると断層近傍域にフリング・ステップを有する長周期地震動が生成されることはHisada and Bielak (2003)<sup>5)</sup>により理論的に示されている。Irikura et al. (2020)<sup>6)</sup>は、2016年熊本地震で地表断層近傍の観測点(西原村、益城町)における永久断層を含む長周期地震動に関して、地震発生層の上にある表層に長周期地震動生成域(LMGA)を置くことによりHisada and Bielak (2003)<sup>5)</sup>による波数積分法で再現可能なことを明らかにしている。

一方、南海トラフのような沈み込み帯に発生する巨大地震に対しても、2011年東北地方太平洋沖地震の震源インバージョン結果や強震動記録の解析により、レシピに準じた方法で強震動評価が可能なが分かってきた。2011年東北地方太平洋沖地震(以下2011年東北地震と呼ぶ)は、太平洋プレートが陸側のプレートへの沈み込みにより蓄積したひずみが解放されることにより生じた。南海トラフ地震は、フィリピン海プレートの陸側プレートへの沈み込みによって同様のメカニズムで生成される、と考えられる。したがって、2011年東北地震の強震動の再現モデルは南海トラフ地震にも適用可能と考えられる。2011年東北地震のときの短周期地震動は、内陸地

殻内地震のレシピで用いられる特性化震源モデルと同様の方法で一定の周期範囲に関しては再現可能なことが示された(例えば、Kurahashi and Irikura, 2013)<sup>7)</sup>。

プレート境界型巨大地震に対する広帯域の強震動を評価に有効な震源モデルとして、Sekiguchi et al. (2007)<sup>8)</sup>は階層型不均質震源モデルを提案している。Petukhin et al. (2017)<sup>9)</sup>は、そのモデルが2011年東北地震のときの震源域から800 kmも離れた大阪此花の超高層の咲洲ビルの長周期地震動の再現に有効なことを確認し、南海トラフ巨大地震による大阪の地震動の評価に用いている。今度手法の有効性に関してさらなる検証が期待される。

本報告では、はじめに、あまり大きくはないが大阪に被害をもたらした2018年大阪府北部地震(Mw 5.5)の強震動の再現モデルとして強震動予測レシピが有効であることを検証し、つぎに大阪に大きな被害をもたらす可能性の高い上町断層帯地震からの強震動の予測に関する論文を紹介し、まとめとして、今後の課題について述べる。

## 2. 2018年大阪府北部の地震(Mw5.5)の強震動震源モデル

2018年6月18日に大阪府北部を震源としたMw5.5の地震(深さ13.0mk)が発生した。この地震は、中規模の地震であるが、大阪の中心部近くに発生したため、死者5名、全壊12棟、半壊273棟など比較的大きな被害が発生した。ブロック塀の倒壊による小学生が亡くなるなど都市における地震防災の重要性を示した。最大加速度は、震源距離約13.3kmに位置するOSK002(K-NET高槻)観測点で794galを観測した。この記録を含めて、震源付近の観測記録には、明瞭なパルス波形が見えている(地震調査推進本部, 2018)<sup>10)</sup>。この地震の震央および観測されたピーク地盤速度(PGV)の分布が図2に示される。(Sekiguchi et al., 2020)<sup>11)</sup>。

この地震の震源過程は、K-NET、KiK-net(地中)、F-net(強震計)、気象庁震度計、関西地震観測研究協議会及び京都大学防災研究所の18観測点での速度波形3成分(0.1~1.5Hz)の強震動記録を用いて決められた(京都大学防災研究所地震災害研究部門, 2018)<sup>12)</sup>。断層面の形状は、CMT解や余震分布を考慮して、①走向351度、傾斜50度及び②走向52度、傾斜77度の2枚の断層面を仮定し、破壊開始点は、気象庁一元化震源の位置(深さ12.98 km)(図中の☆印)に固定して、線形波形インバージョン法(Hartzell and Heaton, 1983)<sup>13)</sup>を用いて決められた(図2

左図参照)。

強震動再現のための特性化震源モデルは、図2に示される2枚の断層面にそれぞれ1枚ずつSMGAを仮定し、経験的グリーン関数法により構築された(染井・他, 2018)<sup>14)</sup>。要素地震は、南北走向のSMGA1に対しては逆断層成分を主とする $M_w$ 3.6の余震(2018年6月19日4時53分)を、北東-南西走向のSMGA2に対しては横ずれ断層成分を主とする $M_w$ 3.8の余震(2018年6月23日23時8分)を、それぞれ使用した。ここで、2枚のSMGAは、空間的にも震源で交わり、震源から同時に破壊するように仮定した。推定されたSMGAモデルと震源に近いOSK002とF-net ABU(阿武山)の合成速度波形(図3上図の赤線)は観測速度波形(図3の上図の黒線)によく一致している。用いられたSMGAの面積と応力降下量は、SMGA1が5.8 km<sup>2</sup>、13.9 MPaでSMGA2が7.8 km<sup>2</sup>、14.9 MPaで、既往の内陸地殻内地震のSMGAパラメータと比較すると平均的な値であった。SMGAモデルと震源周辺での強震動生成との関係を見ると、観測波形の主要動は、震源から主として西側に破壊する横ずれ型のSMGA2によって生成されている一方で、F-net ABUのNS成分の波形の極性に注目すると、逆断層型のSMGA1の寄与もあったことが示唆される。合成された強震動(18地点)の震度、PGA、およびPGVはそれぞれの観測値と図4で比較される。地表点(白丸)、地中点(黒丸)とも、シミュレーション値は観測値とよく一致している。これらの結果は、特性化震源モデルが大阪の中規模地震の強震動の再現に有効なことを示している。

### 3. 上町断層帯地震とそれに対する地震動予測

上町断層帯の地震活動は、地震調査推進本部の長期評価として、以下のようにまとめられている(地震調査推進本部, 2004)<sup>15)</sup>。この断層帯は、大阪平野の中心を貫く活断層で、全体として長さは約42 kmで、ほぼ南北方向に延びており、断層帯の東側が西側に乗り上げる逆断層である。過去の活動について、上町断層帯の平均的な上下方向のずれの速度は、約0.4/千年で、最新活動時期は、約2万8千年前以後、約9千年前以前であった可能性があり、平均活動間隔は8千年程度であった可能性がある、とされている。将来の活動について、上町断層帯全体が一つの区間として活動した場合、マグニチュード7.5程度の地震が発生すると推定されている。また、その時、断層近傍の地表面では東側が西側に対して相対的に3 m程度高まる段差や撓みが生ずる可能性がある。この断層帯の長期評価は、今後30年の間に地震が発生する可能性は2-3%で、我が国の主な活断層の中では発生可能性が高いグループに属する、とされる。

上町断層帯は、ひとたび地震が起これば、甚大な被害が引き起こされ、社会的経済的に深刻な影響が発生することが予想される。地震調査研究推進本部は2010～2012年度にかけて「上町断層帯における重点的な調査観測(以

降、上町重点調査観測)」(代表：岩田知孝)(実施機関：京都大学防災研究所、京都大学理学研究科、産業技術総合研究所活断層・地震研究センター)を行った(岩田知孝・他, 2013)<sup>16)</sup>。その結果、神崎川付近の(狭義の)上町断層帯から久米田池断層に至る長さ約37 kmの上町断層帯主部と、大津川付近から沿岸部を南西へ延びる長さ約26 kmの上町断層帯沿岸部の2つの活動区間が推定された(関口・他, 2013)<sup>17)</sup>(図5参照)。

#### 地下の断層面構造：

上町断層帯の地下形状、および、平野の堆積層構を調べるため、大阪平野南部で断層を横切るような2本の反射法地震探査(大津川測線、高石一堺測線)がなされ、いずれもの測線においても、深度2 kmまでの堆積層と基盤岩上部の構造が明らかになった(図6参照)。大津川測線(図6左上図)は、上町断層帯の主部と沿岸部が一部並走している地域を横切る測線である。上町断層帯主部の久米田池断層の地表トレースに対応する位置で、南東隆起の逆断層の存在を示す明瞭な変形構造が確認された。一方、上町断層帯沿岸部の地表トレース位置付近の地下には、堆積層中には緩やかな褶曲構造が見られたが、基盤岩の構造はやや不明瞭であり、断層による変形を強く示す構造は確認されなかった。高石一堺測線(図6左下図)は、上町断層帯主部を横切る測線である。上町断層帯主部の地表トレースに対応する位置で変形構造が確認されたが、さらにその西側に、海側の隆起を示唆する変形構造が現れた。両者を総合すると北東-南西走向の西上がり逆断層と考えられるが、その空間的な広がりや上町断層主部・沿岸部との関係は不明である。逆断層は一般に地表形状が複雑になりやすく、上町断層帯主部についてもたくさんの短い断層が付随しており、この逆センスの断層もそのような複雑な構造の一端の可能性もある。

地下深部の断層面形状は、上盤の堆積層の褶曲形状を再現するように、木村・他(2012)<sup>18)</sup>による3次元バランス解析によって推定されている。大阪堆積層中の大阪層群Ma-1層、Ma3、および、福田火山灰層について、ボーリング、反射法地震探査、現地調査で得られた深度データを内・外挿して褶曲形態モデルを作成し解析に用いられた。得られた断層面形状は、浅部でやや高角の60～70°、深くなるほど低角化していき、全体的な傾斜は50～60°である。断層面の下端深度は約13～15 kmとなっている(関口・他, 2013)<sup>17)</sup>。

#### 地震シナリオ：

上町断層帯で起こる地震シナリオの構築は、基本的には活断層の過去の活動による平均的な変位分布(平均変位速度)から推定した平均的な断層面上応力場に小スケールの不均質を載せ動力的破壊シミュレーションをする方法で行われた(関口・他, 2005)<sup>19)</sup>。破壊開始点の設定により異なる破壊伝播と破壊域の地震シナリオが得られるが、平均変位速度分布を使った場合はMw7.0～7.1(図7上図)、平均変位速度分布を使った場合はMw6.5～7.0

の地震になった。なお、地震調査研究推進本部の「レシピ」に従って断層長さから推定されるこの断層帯の起こす地震規模はMw7.1(図7下図)である。

特性化震源モデルのパラメータは図8に示される。動力学破壊シミュレーションの結果に従い、2つのSMGA(北側に大きいSMGA、南側に小さいSMGA)を配置し、破壊開始点は2ケース(北側のSMGAの南端と南側のSMGAの南端)を想定する。

両モデルを想定した時のPGVや震度分布はほぼ同じになっている(図7の左側の上・下図参照)が、1秒以下の短周期地震動に関しては統計的グリーン関数法を用いてハイブリッド計算を行っているので、動力学震源モデルと特性化震源モデルを用いた運動学的モデルによる地震動の違いの議論はできない。

#### 地震動予測計算：

地震動の計算は、工学基盤面相当を地表とする地震動の長周期成分(>1秒)を3次元差分法、短周期成分を統計的グリーン関数法で計算し、これらを足し合わせてから浅層地盤応答を等価線形化手法で付加するという方法を用いている(図9参照)。

断層面(上町断層帯主部)北部に破壊開始点を置いた場合は、破壊が断層面全体に広がりマグニチュードも大きくなるため、平野ほぼ全域で震度6弱以上、断層面直上から地表トレース沿いの広い領域で震度7という非常に大きな地震動が計算される(加瀬・関口,2013)<sup>20)</sup>。中でも、北部の、浅い部分で断層面上のすべりの大きいところの直上あたりでは、最大地動速度300cm/sを越える値が出たが、これはごく浅部での大きなすべり速度と、大きな破壊伝播速度で破壊開始点から地表へ進行したことによる強い前方指向性効果が重なった結果と考えられる。この値自体は、破壊開始点の位置のずれや断層面上の場の不均質度高い等の条件で変動しうるものであるが、平均変位速度分布を根拠に大きなすべりが予想される上町断層帯主部の北部の、その深部から破壊が始まった際には、この地域に局所的な強震域が発生する可能性を考慮することは重要である。

関口・他(2013)<sup>17)</sup>は上町断層に対する既往の震度予測との比較を行っている(図10参照)。大阪府(2007)の予測モデルによる震度は関口・他(2013)<sup>17)</sup>の予測モデルに比べて顕著に小さいが、地震本部(2009)の予測モデルはほぼ同じ震度分布になっている。

#### 4. 大振幅地震動を予測するための今後の課題

大阪の地震防災を考える上で、都心を南北に貫く上町断層帯に起こる可能性のある大規模地震に対する対策は極めて重要である。そのためには、1)上町断層帯の位置および断層形状を正しく評価することと2)断層帯極近傍の永久変位を含む強震動を精度よく予測する手法を確立することが必要とされている。ここでは上記2つの課題について議論する。

#### 4.1 上町断層の位置と形状に対する疑問

上町断層の位置およびその形状については、断層研究に係る種々の専門家が色々な情報を基に種々の解釈を発表している。現在公開されている1995年以降の情報の代表的な例が3つ存在する。国土地理院による都市圏活断層図、産総研・地質調査所による活断層データベース、および地震調査推進本部による主要活断層帯の1つとして上町断層帯の長期評価である。

国土地理院の「都市圏活断層図」は表層の地形を中心に示し、産総研は活断層調査を研究の主軸としているが、それぞれの目的の違いはあっても、上町断層の位置や形状があまりに異なるのは、地震防災のため強震動や地殻変動を評価する立場からは望ましくない。

中央防災会議(2005a<sup>21)</sup>,2005b<sup>22)</sup>)は、上町断層関連防災問題について、中部圏・近畿圏における大都市直下で発生する地震への防災対策の中で、①上町断層帯地震の強震動予測<sup>21)</sup>、②上町断層帯地震による地殻変動等に伴う浸水可能性の評価について<sup>22)</sup>を公表している。

上町断層モデルは、反射法探査の断面から傾斜角は70°として、基盤層に推定される断層面上端の位置から上方へは、断層面の傾斜角がそのまま延長している。断層形状は、単純化された2枚断層で、傾斜角は70°に設定されている。地震動の計算のため、地震発生層は、微小地震の活動から上端が4kmで下端は20kmとしている(図11参照)。断層長さは計43km、断層幅は12kmに設定している。これらの値から、断層面積を評価し、その他の地震動評価に必要なパラメータが地震調査推進本部のレシピに従い、Mw7.2、アスペリティ面積、アスペリティでの応力パラメータ、等が設定されている。

中央防災会議はこのモデルで地震動評価だけでなく、断層変位量の評価も行っている。上町断層が動いた後に南海地震等海溝型地震による津波がくると、特に西大阪においては、上町断層による地殻の変動による沈降が大きな影響を与える。この中央防災会議による上町断層帯の評価に関して、いくつかの疑問が出されている(例えば、岩崎,2016<sup>23)</sup>24)。

これらの意見で強震動評価や地殻変動の評価に影響する論点の1つは、中央防災会議の設定した上町断層の傾斜角70°固定していることにある。この傾斜角をどのように設定するかにより、断層の位置、形状が変化し、それにより断層の地表トレース近傍の地震動や永久変位量が大きく異なってくる。上町断層の傾斜角を70°に設定するのは、反射法探査やボーリング柱状図からの横断面に一致していない、ことも指摘されている(近藤・他,2015)<sup>25)</sup>。

上町断層のように厚い堆積層が存在する場合に、下部岩盤の断層角が堆積層内でどのように変化するかの影響をFEMによる検討が行われた(岩崎,2016)<sup>23)</sup>。一定の傾斜角を有する断層面を設定して、断層変位を与えると、

堆積層における断層変位の撓曲軸傾斜は断層角に比べて大きくなる(図12参照)。例えば、基盤層において30°の低角衝上断層を想定した場合、堆積層に出現する撓曲軸は約70°になっている。図13下図に示される上町断層系の桜川撓曲の反射断面(大阪市,1996)<sup>26)</sup>では、堆積層の撓曲軸は65°-70°であるのに、基盤の断層角は約30°となっている(岩崎,2014)<sup>24)</sup>。すなわち、堆積層での断層面の撓曲を考慮に入れると、上町断層は約30°の断層角を有する断層となっている可能性が高い。この計算結果は、3章で説明した地質構造データに基づいて木村・他(2011)<sup>26)</sup>がバランス法解析から推定した上町断層帯の地下深部形状の解析結果とよく一致している。基盤での断層角を30°として堆積層で撓曲軸を70°に設定した断層モデルと中央防災会議のモデルのように基盤の断層角を70°あるいは30°に固定して堆積層内に同じ角度で延長したモデルを比較すると、地表の断層出現位置が大きく異なってくる(図14参照)。2016年熊本地震の時のように、地表の断層トレース近傍では永久変位を含む長周期地震動が生成される可能性がある、構造物の安全性を確保するには、パルス波など構造物被害を引き起こす強震動がどこで予想されるか、詳細な強震動予測が重要になっている。

地表断層近傍における永久変位を含む長周期強震動の生成を考慮した改良特性化震源モデルの構築について次節で述べる。

#### 4.2 断層帯極近傍の永久変位を含む長周期地震動の評価

2016年熊本地震のように、断層ずれが地表に現れた場合、断層の極近傍域に永久変位をもつ長周期地震動が観測される。これまでも1999年台湾集集地震では、地表断層近傍の観測点にフリング・ステップと呼ばれる長周期地震動が記録された。

地震調査推進本部は、2016年熊本地震の観測記録に基づいて、強震動評価手法の検証を行っている(地震調査推進本部,2022)<sup>27)</sup>。これまでの特性化震源モデルでは、地表断層近傍に現れる長周期地震動が過小評価される可能性がある。地震本部の報告では、テスト計算として地震発生域の上部の浅部領域をすべて背景領域として取り扱って地表での長周期地震動を評価した結果、断層近傍の観測記録の再現性に改善が見られたが、十分ではないことが分かった。

地表断層の極近傍域の永久変位を含む長周期地震動を再現するための1つの解決策として、断層面の浅部域にすべりの大きい領域を設定することで、観測にみられる長周期地震動が再現されることが提案されている(例えば、田中・他,2018<sup>28)</sup>;Irikura et al.,2020<sup>6)</sup>)。

ここではIrikura et al.(2020)<sup>6)</sup>の拡張特性化震源モデルの方法を紹介する。この地震の強震動記録を用いた震源インバージョン解析は多くの研究者によりなされているが、

我々はKubo et al.(2016)<sup>29)</sup>による震源断層面上のすべり速度関数の結果を参考にする。地震発生層内に位置するSMGAに対応する領域で、すべり速度時間関数はKostrov型(立ち上がりは衝撃波的で、振幅は急激に減衰)の形状を示すが、地震発生層より上部の浅部域ではすべり速度関数は“smoothed ramp”の形状を示している。震源インバージョン結果を参考にSMGAを地震発生層内に設定し、浅部構造にはLMGAを設定する(図15参照)。断層すべり量とライズタイムは、LMGA1、LMGA2共に4mと2.5secを仮定している。

地震動のシミュレーションはHisada and Bielak(2003)<sup>5)</sup>の波数積分法で行う。この方法は震源からの極近傍域の地震動が発散することなく計算が可能である。LMGAモデルに対する断層極近傍域に位置する観測点(西原村、益城町、KiK-net KMMH16)での地震動シミュレーションと観測記録が図16で比較される。地動速度および永久変位を含む地動変位ともシミュレーションと観測がよく一致していることがわかる。

短周期も含む広帯域の地震動の合成のためには、従来の強震動生成域(SMGAs)と新しく定義された長周期地震動生成域(LMGAs)からの地震動の重ね合わせを行う必要があるが、これらの断層極近傍観測点ではLMGAの影響の方が大きい。SMGAからの地震動を加えることで観測によりよく一致するシミュレーションが得られる。地表地震断層の極近傍域の強震動を予測するには、ここで述べた拡張型特性震源モデルを用いることが推奨される。LMGAの震源パラメータの設定方法については、今後の検討が必要とされている。

#### 5. おわりに

大阪における地震災害軽減のために考慮すべき「大振幅地震動」としては、大阪の中心部を貫く上町断層帯が動いた時のパルスの強震動と南海トラフの巨大地震による長時間長周期地震動があげられる。このような「大振幅地震動」を信頼性ある評価が可能になれば、それに対する対策の在り方の検討も可能になる。

実際には、大地震が起こるたびに、強震動についても新たな発見があり、信頼性のある予測ができていないわけではない。それでも、27年前に1995年兵庫県南部地震により「阪神・淡路大震災」が引き起こされたときに比べれば、「大振幅地震動」の予測や被害対策の在り方は質的にも格段の進歩があった、といえる。阪神・淡路大震災が引き起こされてしまった原因の1つは、それ以前は組織的な強震動観測がなされていなかったため、被害軽減のための適切な対策が全くなされていなかったことにある。第2章で「2018年大阪府北部の地震(Mw5.5)の強震動震源モデル」について定量的な検討ができたのは1995年兵庫県南部地震を契機として、防災科学技術研究所強震観測網(K-NET, KiK-net)、気象庁震度情報ネットワークなど他機関も含め充実した強震観測網で精度良い

記録が得られたことによる。第3章で「上町断層帯地震とそれに対する地震動予測」が可能になったのは、地震調査研究推進本部の2010～2012年度にかけて「上町断層帯における重点的な調査観測（以降、上町重点調査観測）」（代表：岩田知孝）により、上町断層帯の地形・地質、地震学的情報が整備されたことによる。

また、11年前に2011年東北地方太平洋沖地震が起こったとき、大津波により大災害を引き起こされてしまったが、その主な原因の1つは日本周辺の海域における地震観測体制が極めて貧弱だったことにある。東日本大震災以後、東北沖から銚子沖にかけての海域だけでなく、大阪に影響の大きい紀伊半島沖から四国沖にかけての海域にも、海底地震観測など津波を事前に検知できるシステムが配備されつつある。

巨大地震に対する対策は手をこまねいているだけでは進まない。今回のようなシンポジウムを契機として、「大振幅地震動」に対する取り組みの強化が望まれる。

## 謝辞

本論で用いているデータについては、防災科学技術研究所のK-NETおよびKiK-netの強震記録、気象庁、熊本県自治体震度計のデータ、「地理院地図」（国土地理院）（<http://maps.gsi.go.jp>）をもとに作成した図を使用させていただきました。また、本論作成にあたって、関口春子博士、Anatoly Petukhin博士、染井一寛研究員、および岩崎好規博士から貴重な資料とご意見といただいたこと、記して御礼申し上げます。

## 参考文献

- 1) 林 康裕：大振幅地震動に備える，SEIN TIMES，2020年6月15日  
<https://www.sein21.jp/TechnicalContents/Hayashi/Hayashi0101.aspx>
- 2) Irikura, K., & Miyake, H.: Recipe for predicting strong ground motion from crustal earthquake scenarios. *Pure and Applied Geophysics*, 168, 85–104, 2017.
- 3) 地震調査研究推進本部：震源断層を特定した地震の強震動予測手法（「レシピ」），2017，  
[https://www.jishin.go.jp/evaluation/strong\\_motion/](https://www.jishin.go.jp/evaluation/strong_motion/)
- 4) Irikura K, Miyakoshi K, Kamae K, Yoshida K, Somei K, Kurahashi S, Miyake H (2017): Applicability of source scaling relations for crustal earthquakes to estimation of the ground motions of the 2016 Kumamoto earthquake. *Earth Planets Space*, 69:10.
- 5) Hisada, Y., J. Bielak: A theoretical method for computing near-fault strong motions in layered half-space considering static offset due to surface faulting, with a physical interpretation of fling step and rupture directivity, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 93-3, 1154-1168, 2003.

- 6) Irikura, K., S. Kurahashi, Y. Matsumoto: Extension of characterized source model for long-period Ground Motions in Near-Fault Area, *Pure Appl. Geophys.* 2019, <https://doi.org/10.1007/s00024-019-02283-4>
- 7) Kurahashi, S., K. Irikura : Short-period source model of the 2011 Mw 9.0 off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 103-2B, 1373-1393, 2013.
- 8) Sekiguchi, H., Yoshimi, M., Horikawa, H., Yoshida, K., Kunimatsu, S., Satake, K.: Prediction of ground motion in the Osaka sedimentary basin associated with the hypothetical Nankai earthquake, *J. Seism.*, 12, 185-195, 2008.
- 9) Petukhin, A., H. Sekiguchi, H. Kawase, K. Kamae, M. Tsurugi: Large scale simulation of ground motions for heterogeneous source models by FDM reciprocity method, *Proceedings of the 16th World Conference on Earthquake Engineering*, Santiago Chile, Paper 2932, 2017.
- 10) 地震調査研究推進本部: 2018年6月18日大阪府北部の地震の評価, 2018, [https://www.static.jishin.go.jp/resource/monthly/2018/20180618\\_osaka\\_2.pdf](https://www.static.jishin.go.jp/resource/monthly/2018/20180618_osaka_2.pdf)
- 11) Sekiguchi, H., K. Asano, T. Iwata: Strong ground motion simulation in Osaka Basin, Japan, for the 2018 Northern Osaka Prefecture Earthquake, 17th World Conference on Earthquake Engineering, Paper N°
- 12) 京都大学防災研究所地震災害研究部門: 2018年6月18日7時58分大阪府北部の地震の震源過程, 地震調査推進本部, 2018, [https://www.static.jishin.go.jp/resource/monthly/2018/20180618\\_osaka\\_2.pdf](https://www.static.jishin.go.jp/resource/monthly/2018/20180618_osaka_2.pdf)
- 13) Hartzell, S. H., T. Heaton: Inversion of strong ground motion and teleseismic waveform data for the fault rupture history of the 1979 Imperial Valley, California, earthquake. *Bull Seismol Soc Am* 73:1553–1583, 1983.
- 14) 染井一寛, 宮腰研, 吉田邦一, 赤澤隆士, 西村利光, 郭雨佳: 経験的グリーン関数法を用いた2018年大阪府北部の地震(Mw5.5)の強震動生成域の推定, 地震学会講演予稿集, S24-12, 2018.10.
- 15) 地震調査推進本部: 上町断層の長期評価について, 2004, [https://www.jishin.go.jp/main/chousa/katsudansou\\_pdf/80\\_uemachi.pdf](https://www.jishin.go.jp/main/chousa/katsudansou_pdf/80_uemachi.pdf),
- 16) 岩田知孝・他：文部科学省研究開発局・国立大学法人京都大学防災研究所「上町断層帯における重点的な調査観測」平成22～24年度成果報告書, 2013. [http://www.jishin.go.jp/database/project\\_report/udemachi\\_juten/udemachi\\_juten-h24/](http://www.jishin.go.jp/database/project_report/udemachi_juten/udemachi_juten-h24/), 2022.11 現在.
- 17) 関口春子・上町断層帯重点調査観測研究グループ: 上町断層帯と大阪平野南部の地下構造に関する新たな知見とそれに基づく地震動予測, 第41回地震動シンポジウム論文集, 65-70, 2013.

- 18) 木村治夫・堀川晴央・末廣匡基: 3次元地盤構造データに基づいたバランス法解析から推定した上町断帯(帯の地下深部形状, 日本地質学会第119年学術大会講演要旨, 22, 2012.
- 19) 関口春子・加瀬祐子・堀川晴央・吉田邦一・吉見雅行: 内陸地殻内地震の強震動評価: 上町断層系を例として, 第33回地盤震動シンポジウム論文集, 25-34, 2005.
- 20) 加瀬祐子・関口春子: 動力学的震源モデルを用いた上町断層帯で発生する地震の強震動予測, 日本地球惑星科学連合2013年大会, 2013.  
地震調査推進本部 上町断層帯地表震度分布  
[https://www.jishin.go.jp/regional\\_seismicity/rs\\_katsudanso/f080\\_uemachi/](https://www.jishin.go.jp/regional_seismicity/rs_katsudanso/f080_uemachi/)
- 21) 中央防災会議: 中部圏・近畿圏の内陸地震に関する報告 図2.2.5, p.41, 2005a.  
[https://www.bousai.go.jp/kaigirep/chuobou/senmon/tounankai\\_nankaijishin/pdf/shiryou3.pdf](https://www.bousai.go.jp/kaigirep/chuobou/senmon/tounankai_nankaijishin/pdf/shiryou3.pdf)
- 22) 中央防災会議: 「東南海、南海地震等に関する専門調査会」上町断層帯の地震による地殻変動等に伴う浸水可能性の評価について, 2005b,  
[https://www.bousai.go.jp/kaigirep/chuobou/senmon/tounankai\\_nankaijishin/pdf/2\\_kohyo.pdf](https://www.bousai.go.jp/kaigirep/chuobou/senmon/tounankai_nankaijishin/pdf/2_kohyo.pdf)
- 23) 岩崎好規: 内閣府中央防災会議による上町断層の強震動と断層変位予測の基本的誤謬, 情報地質 第27巻 第2号 066-069頁 2016年
- 24) 岩崎好規: 中央防災会議による上町断層変位予測の検証と大阪湾沈降による浸水問題, 第14回日本地震工学シンポジウム 2014.
- 25) 近藤久雄, 杉戸信彦, 吉岡敏和, 堤 浩之, 木村治夫: 数値標高モデルを用いた上町断層帯の詳細位置および分布形状の再検討, 活断層研究, 42, 1-34, 2015.
- 26) 大阪市: 平成7年度地震調査研究交付金「上町断層に関する調査成果報告所」, 1-27・2-86・3-112, 1996.
- 27) 地震調査推進本部: 2016年熊本地震(M<sub>J</sub>7.3)の観測記録に基づく強震動評価手法の検証について(中間報告), 2022,  
<https://www.jishin.go.jp/main/kyoshindo/pdf/20220314kumamoto.pdf>
- 28) 田中 信也・金田 惇平・引間 和人・久田 嘉章: 地表地震断層近傍における永久変位を含む長周期成分の地震動評価のための震源モデルの設定方法, 日本建築学会構造系論文集, 752, 1525-1535, 2017.
- 29) Kubo, H., Suzuki, W., Aoi, S., & Sekiguchi, H. (2016b). Source rupture processes of the 2016 Kumamoto, Japan, earthquakes estimated from strong-motion waveforms. Earth, Planets and Space, 68, 161.  
<https://doi.org/10.1186/s40623-016-0536-8>.

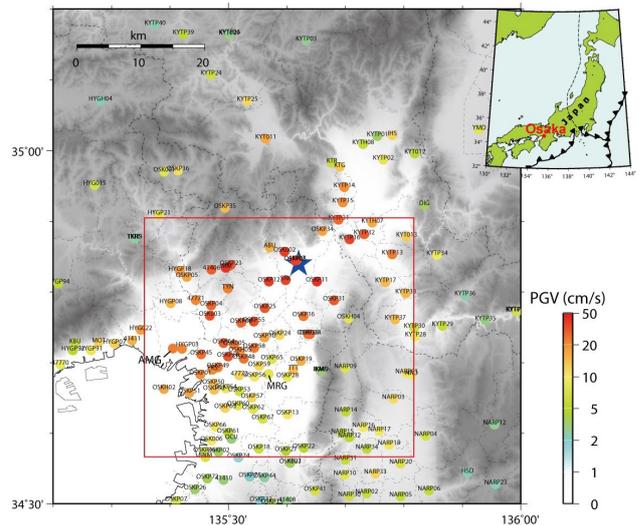


図1. 大阪北部地震の震央と大阪盆地におけるPGV分布。青星は震央。(Sekiguchi et al., 2020).

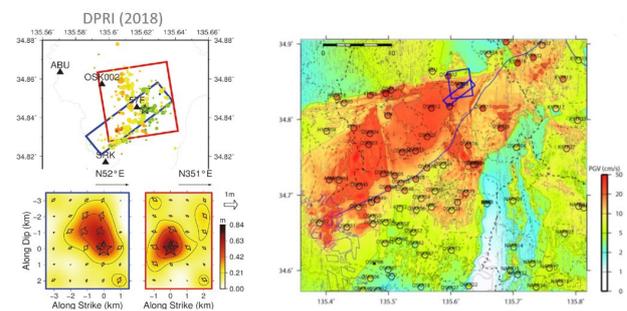


図2. 左図: 震源インバージョン結果 (DPRI, 2018)<sup>4)</sup> 右図: PGV シミュレーション (Sekiguchi et al., 2020)<sup>3)</sup>

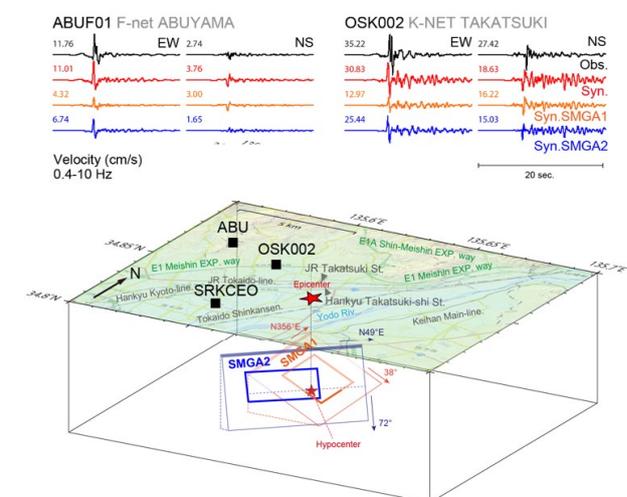


図3. 震源近傍のシミュレーションと観測の比較 (染井・他)<sup>6)</sup>。

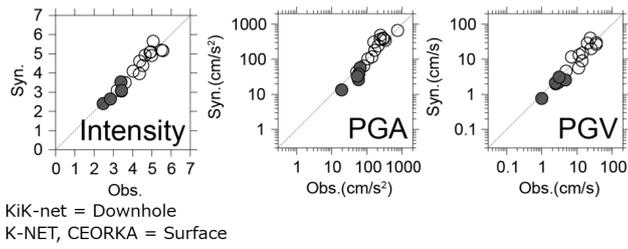


図4. シミュレーションと観測（震度, PGA, PGV）の比較（染井・他）<sup>6)</sup>。

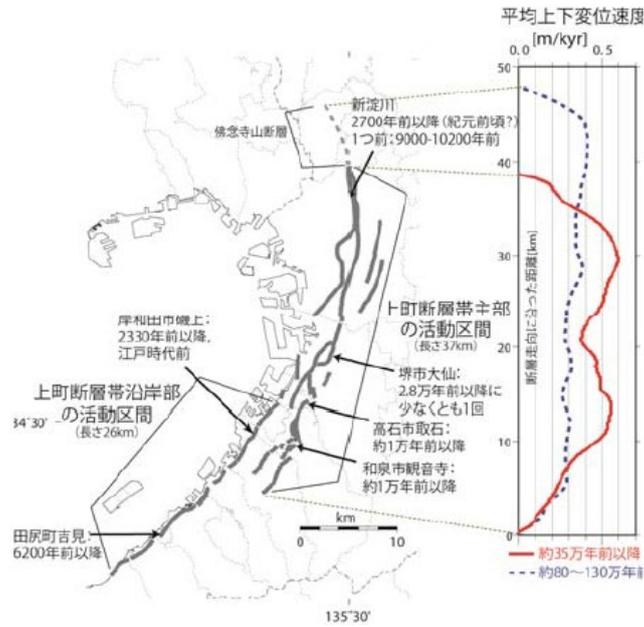


図5 (左) 上町断層帯地表トレースと最新活動時期, (右) 平均変位速度分布<sup>9)</sup>

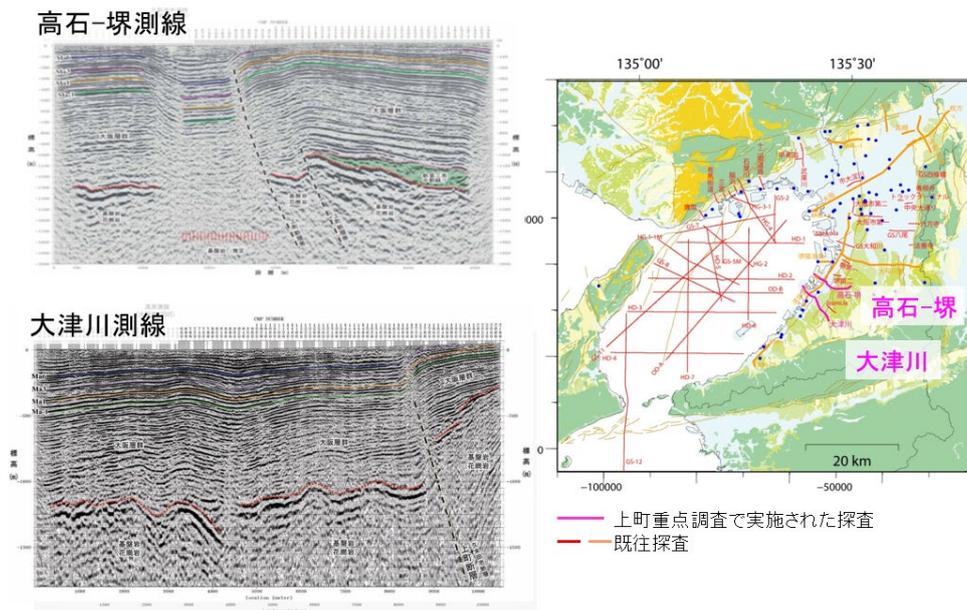


図6 上町重点研究で実施された反射法探査の震度断面 岩田・他(2012, 2013)<sup>8)</sup>

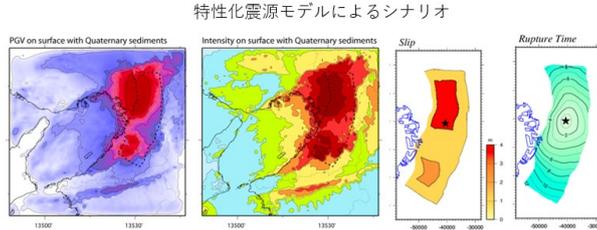
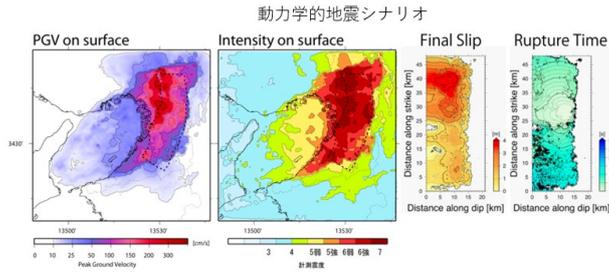


図7 上町断層帯の地震シナリオ。上：動力的地震シナリオ，下：特性化震源モデルによるシナリオ

### 「レシピ」に従い，パラメータを設定

断層長さ $L$ [km]	48
断層幅 $H$ [km]	20
断層面積 $S$ [km <sup>2</sup> ]	960
地震モーメント $M_0$ [Nm]	5.13E+19
モーメントマグニチュード $M_w$	7.1
走向 $\theta$ [°]	震源断層モデルに従う
傾斜角 $\delta$ [°]	震源断層モデルに従う
すべり角 $\epsilon$ [°]	90
静的応力降下量 $\Delta\sigma$ [MPa]	4.2
平均すべり量 $D$ [m]	1.65
剛性率 $\mu$ [N/m <sup>2</sup> ]	3.24E+10
密度 $\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	2700
S波速度 $\beta$ [km/s]	3.46
破壊伝播速度 $V_T$ [km/s]	2.5
短周期レベル $A$ [Nm/s <sup>2</sup> ]	1.97E+19
面積 $S_0$ [km]	303.3
全アスペリティ	
地震モーメント $M_{00}$ [Nm]	3.24E+19
平均すべり量 $D_0$ [m]	3.30
実効応力 $\sigma_0$ [MPa]	13.3
面積 $S_{s1}$ [km]	220.6
第1アスペリティ	
地震モーメント $M_{0s1}$ [Nm]	2.63E+19
平均すべり量 $D_{s1}$ [m]	3.69
実効応力 $\sigma_{s1}$ [MPa]	13.3
面積 $S_{s2}$ [km]	82.7
第2アスペリティ	
地震モーメント $M_{0s2}$ [Nm]	6.05E+18
平均すべり量 $D_{s2}$ [m]	2.26
実効応力 $\sigma_{s2}$ [MPa]	13.3
面積 $S_b$ [km]	656.7
背景領域	
地震モーメント $M_{0b}$ [Nm]	1.89E+19
平均すべり量 $D_b$ [m]	0.89
実効応力 $\sigma_b$ [MPa]	2.6

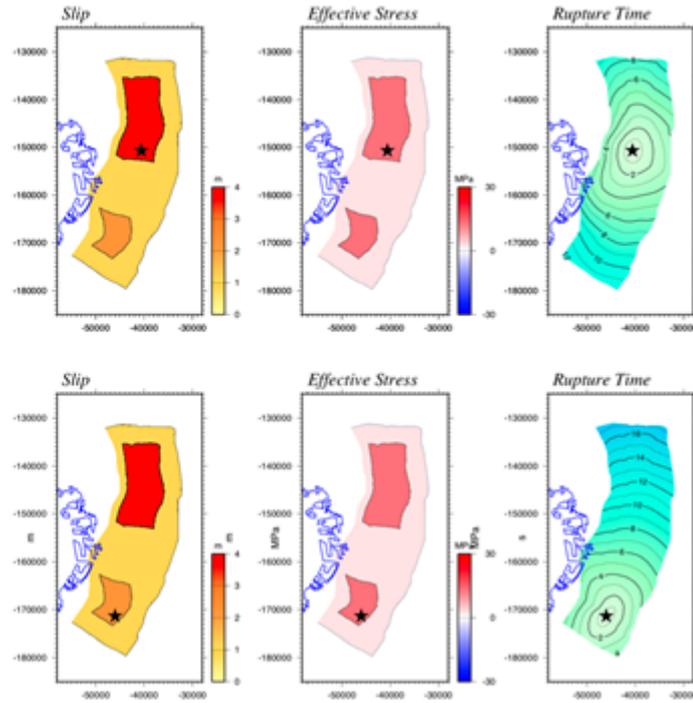


図8 特性化震源モデルのパラメータ。

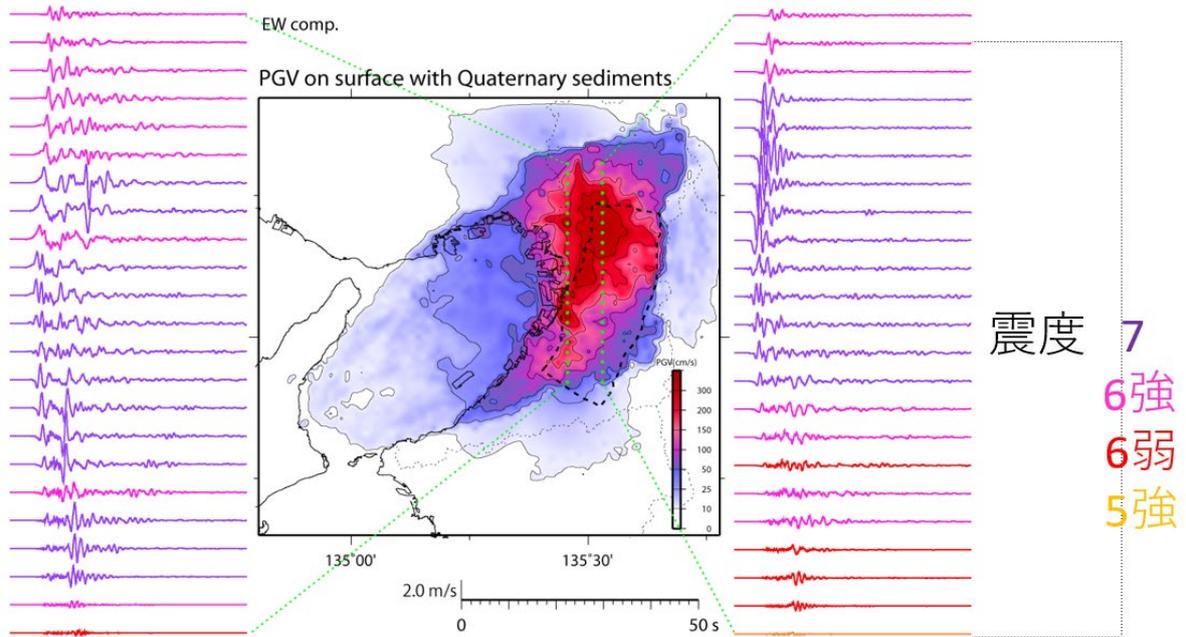


図9 震源極近傍の計算波形。

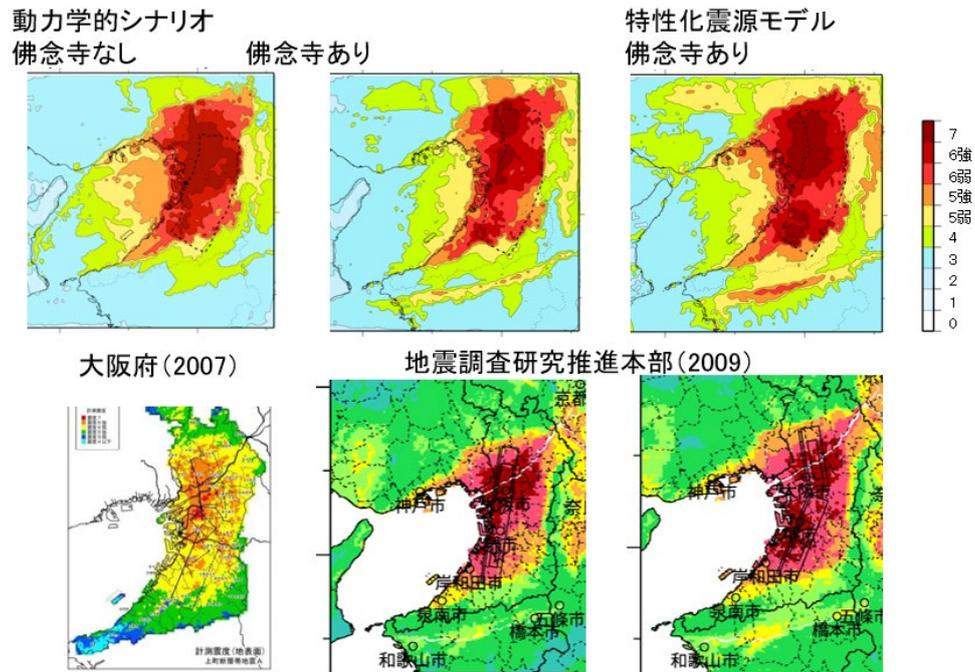


図10 既往の震度予測モデルとの比較。

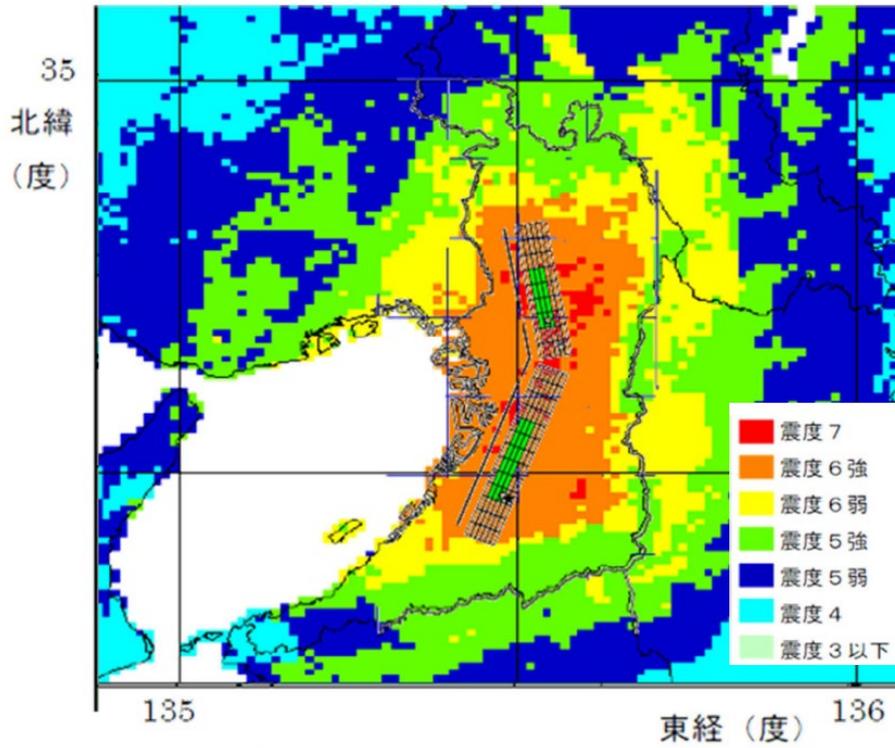


図11 中央防災会議による予測震度。上町断層帯は2つの断層面を設定し、北断層は走向N10°W, 南断層は走向N22°E, 傾斜角は70°に設定。SMGAIは断層内に緑の長方形で示される。

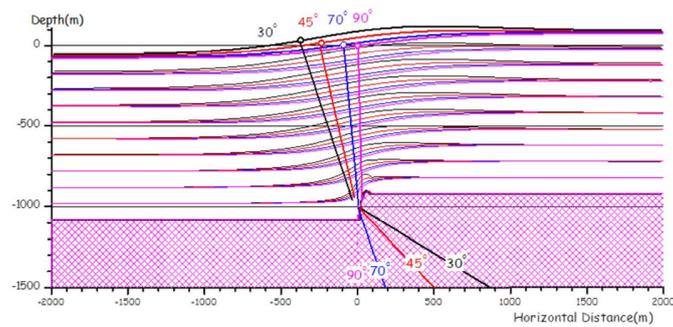


図12 逆断層角度の変化に対応した撓曲軸の変化

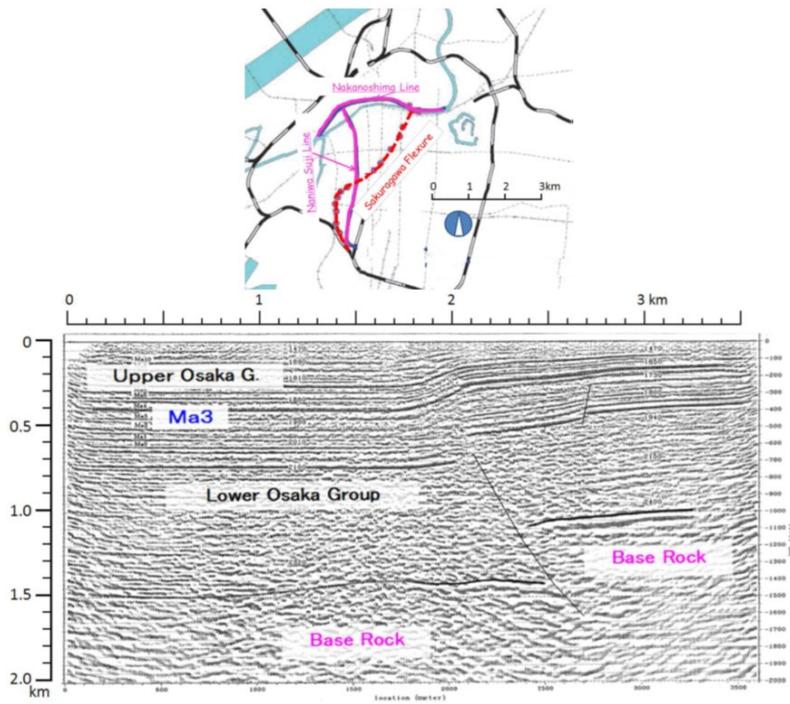


図13 上図:大阪市中心部地図, なにわ筋測線はピンク色で示される。下図: なにわ筋測線における反射断面。大阪市(1996)による。

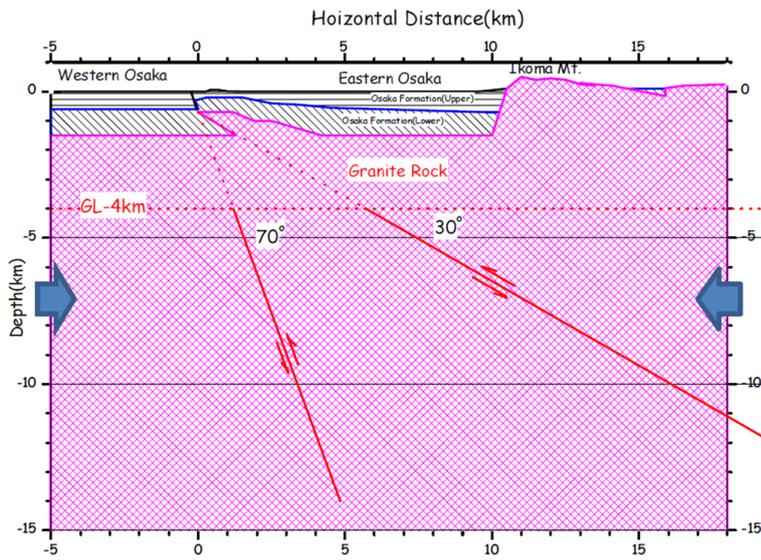


図14 被覆層の撓曲軸と断層角から推定される上町断層の位置

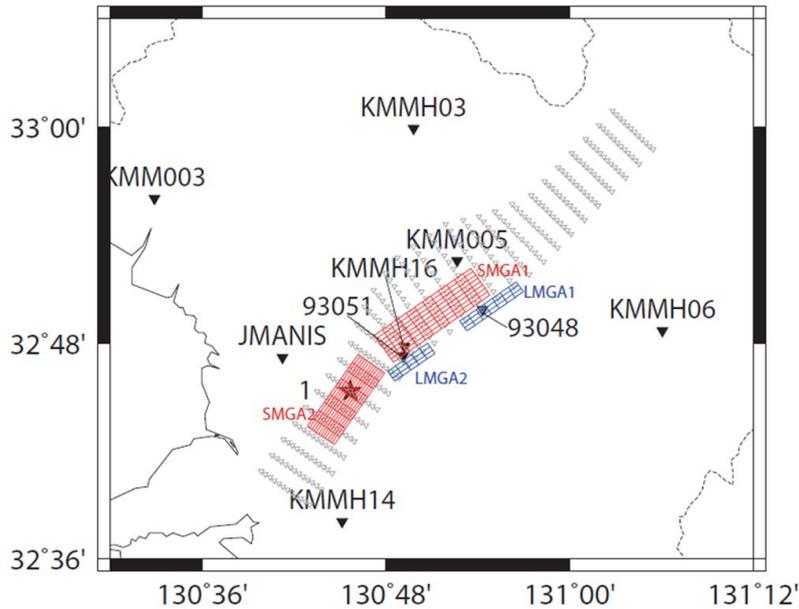


図15 2016年熊本地震の改良特性化震源モデル。従来のSMGAモデル(2つの赤長方形)に地表層に長周期生成域(LMGA)を付け加えたモデル。

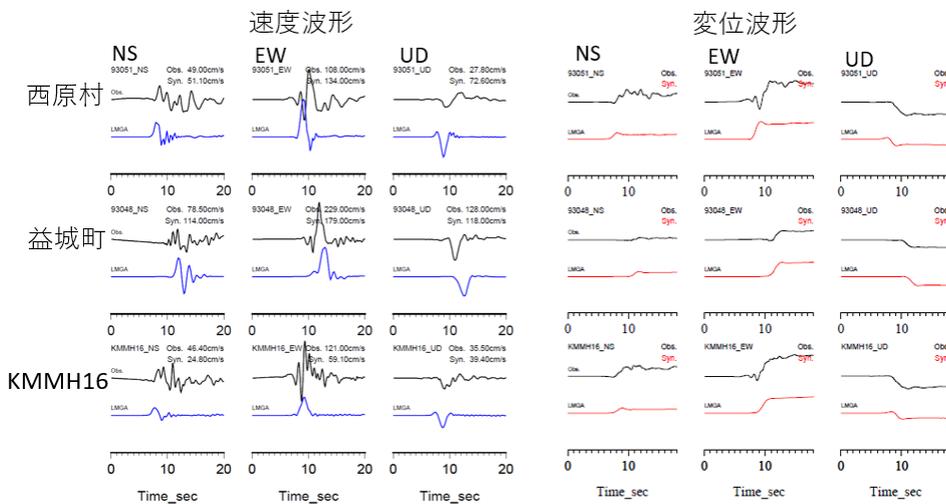


図16 LMGAモデルによるシミュレーション波形と観測記録の比較。左は3成分の速度波形の観測とシミュレーションの比較。右は3成分の速度波形の観測とシミュレーションの比較。(観測が黒線、合成が青線)