

### 3. 3. 1 1 強震動予測手法の高度化（統括研究課題）

#### (1) 業務の内容

(a) 業務題目：強震動予測手法の高度化（統括研究課題）

(b) 担当者

| 所属機関      | 役職          | 氏名    | メールアドレス                    |
|-----------|-------------|-------|----------------------------|
| 東京大学地震研究所 | 教授          | 瀨瀬 一起 | koketsu@eri.u-tokyo.ac.jp  |
| 東京大学地震研究所 | 助手          | 三宅 弘恵 | hiroe@eri.u-tokyo.ac.jp    |
| 東京大学地震研究所 | 助教授         | 古村 孝志 | furumura@eri.u-tokyo.ac.jp |
| 東京大学地震研究所 | 産学官連携研究員    | 高橋 徹  | ttaka@eri.u-tokyo.ac.jp    |
| 東京大学地震研究所 | 産学官連携研究員    | 石瀬 素子 | ishise@eri.u-tokyo.ac.jp   |
| 東京大学地震研究所 | 産学官連携アシスタント | 田中 康久 | ystanaka@eri.u-tokyo.ac.jp |
| 東京大学地震研究所 | 産学官連携アシスタント | 室谷 智子 | s-muro@eri.u-tokyo.ac.jp   |
| 東京大学地震研究所 | 産学官連携アシスタント | 木村 武志 | tkimura@eri.u-tokyo.ac.jp  |
| 東京大学地震研究所 | 産学官連携アシスタント | 引間 和人 | hikima@eri.u-tokyo.ac.jp   |
| 東京大学地震研究所 | 産学官連携アシスタント | 畑 奈緒未 | hata@load.k.u-tokyo.ac.jp  |

(c) 業務の目的

「大深度弾性波探査」で得られる成果や防災科学技術研究所によって行われる大規模ボーリング調査の成果を基に、首都圏における高精度な強震動予測を行うための震源モデル・地下構造モデル等の構築に関する統括的な調査・研究を行う。そのため、本研究課題では研究課題1～9の成果を順次とりまとめ、モデル化手法の開発や、その手法を適用した震源モデル・地下構造モデルの構築を行う。また、構築した手法・モデルに基づき首都圏における強震動予測を実施する。

(d) 5カ年の年次実施計画

- 1) 平成14年度：（未設定）
- 2) 平成15年度：（未設定）
- 3) 平成16年度：震源モデル化のためのデータとして必要な震源過程インバージョン結果のコンパイルを進めるとともに、モデル化の前提となるスケーリング則を確立する。地下構造モデル化にデータとして必要な構造探査結果等のコンパイルを進めるとともに、地下構造一次モデルの構築を行う。
- 4) 平成17年度：得られたスケーリング則等に基づき、震源モデル化手法を確立する。得られた一次モデルに対して中小地震の強震記録等を用いてチューニングを行い、地下構造の高精度モデルを構築する。また、過去の地震のデータを用いることで、これら手法・モデルを検証する。
- 5) 平成18年度：高度化され検証された手法・モデルを、相模トラフや南海トラフ沿いに想定されている海溝型地震に適用し、強震動予測の試算を行う。

(e) 平成18年度業務目的

平成18年度は5カ年のとりまとめとして、「大深度弾性波探査」で得られた成果や防

災科学技術研究所によって行われた大規模ボーリング調査の成果、そして研究課題1～9の成果を基に構築された断層モデル・地下構造モデルに対して、海溝型地震の強震動予測手法を適用する。また、相模トラフや南海トラフ沿いに想定されている海溝型地震における首都圏等の強震動予測を行い、強震動予測手法の高度化を検証する。

## (2) 平成18年度の成果

### (a) 業務の要約

海溝型地震の強震動予測手法を提案し、首都圏等において相模トラフや南海トラフ沿いに想定されている海溝型地震の強震動予測を行い、強震動予測手法の高度化を検証した。関東地震では、断層モデルおよび首都圏の地下構造モデルの妥当性が検証された。想定首都直下地震では、大深度弾性波探査の結果、従来よりも浅く推定されたフィリピン海プレートが強震動予測結果に与える効果が試算された。想定東海地震では、適切な震源パラメータと海域や地殻・プレートへ三次元的に拡張した広域地下構造モデルの高精度化によって、特性化震源モデルとハイブリッド合成法の組み合わせによる広帯域強震動予測が現実的に行えることを示した。また、南海トラフ沿いの海溝型巨大地震によって、首都圏における長周期地震動の励起が顕著であることが確認され、強震動予測において決定論的手法が不可欠であることがわかった。

### (b) 業務の成果

#### 1) 海溝型地震の強震動予測手法の提案

首都圏にとって脅威をもたらす地震は、内陸活断層による地震、プレート境界で起きる地震、そしてスラブ内で起きる地震等が挙げられる。そのなかでも、プレート境界地震は一般に内陸地殻内地震に比べ規模が大きく、再来周期が短いため、地震発生確率が高く評価されることが多い。したがって、首都圏における強震動予測を考えるにあたって、プレート境界地震による強震動予測は最重要課題であると考えられる(図1)。

2005年に地震調査研究推進本部より「全国を概観した地震動予測地図」が公表された。このうち、震源断層を特定した地震動予測地図では、工学的基盤上において時刻歴波形が計算されている。広帯域強震動予測には、アスペリティと背景領域から構成される特性化震源モデルが用いられており、内陸活断層についてハイブリッド合成法によって地震動が計算される。一方、海溝型地震については、計算容量の問題と地下構造モデルの構築が困難であることなどから、統計的グリーン関数法による地震動計算が行われている。中央防災会議による海溝型地震の強震動予測においても、統計的グリーン関数法が主に採用されている。したがって、これまで首都圏における海溝型地震の長周期地震動に関して、決定論的手法による十分な検討・評価がなされていない場合が多かった。しかしながら、2003年十勝沖地震の長周期地震動(Koketsu et al., 2005; 畑山・他, 2004)<sup>1,2)</sup>がもたらした、苫小牧の石油タンクのスロッシング被害によって、海溝型地震に対する長周期から短周期に至る広帯域強震動予測の必要性が再確認された。そのためには、震源モデル・地下構造モデル・計算手法の連携が不可欠である。本研究では、震源モデルと地下構造モデルの高精度化を図ることにより、決定論的手法と統計的グリーン関数法を用いたハイブリッド合成法による海溝型地震の広帯域強震動予測を行うことを目的とした。そして、これまでに未検討とされることが多かった首都圏における海溝型地震の長周期地震動を評価した。

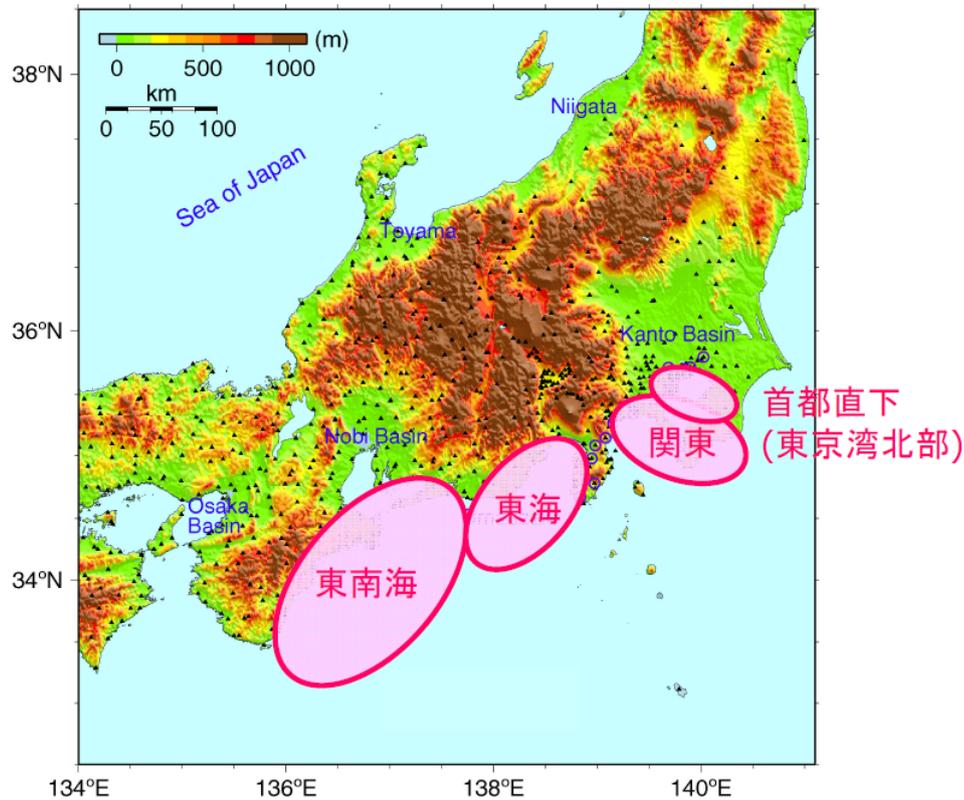


図1. 首都圏の強震動予測において考慮すべき、相模トラフや南海トラフ沿いに想定される海溝型地震

海溝型地震の強震動予測における震源モデルの構築において、波形インバージョンにより得られるすべり分布は基礎的な情報となる。室谷・他 (2005)<sup>3)</sup>や三宅・他 (2006)<sup>4)</sup>は、日本における海溝型地震の波形インバージョン結果をコンパイルし、海溝型地震の断層面積およびアスペリティ面積のスケールリングを行い、これらは内陸地震の約 1.3 倍程度でほぼ似通っているとの結論を得た。しかしながら、海溝型地震では内陸地震のように長周期アスペリティ≒強震動生成域とはならない可能性が指摘されており、特性化アスペリティと強震動生成域の物理的な関係について、応力降下量と実効応力の観点から見直しを行った (畑・他, 2006)<sup>5)</sup>。その結果、海溝型地震の震源インバージョンにおける断層面積が大きめに設定されている場合は、長周期アスペリティ領域をそのまま強震動生成域と扱うことが難しく、必要最低限の断層面積をモデル化することにより両者はほぼ一致することが示唆された。

また、海溝型地震のアスペリティの繰り返しに関する研究が近年進んでおり<sup>6,7,8,9)</sup>、アスペリティがほぼ同じ場所繰り返しすべり、地震の規模はそれらの組み合わせによって決まると考えることもできる。海溝型地震のうちでも浅いプレート境界地震 (関東地震、東南海地震、南海地震など) は、比較的短い間隔 (100~200 年程度) で繰り返し発生しているので、一回前の地震時の揺れの様子がわかっている場合が多い。このようなプレート境界地震が、仮に同じような震源を有するならば、次回の地震時にも前回の揺れが繰り返すことが想定される。したがって、過去の地震による揺れを詳しく調べ、その地震動の検証を行なうことが、来たるべき地震による揺れの予測につ

ながるであろう。

そこで、以上の研究を基に、海溝型地震の震源のモデル化について次の2種類の構築方法を提案した。

- ① 海溝型地震の強震動予測手法その1として、プレート境界地震の発生サイクルにおいて、一回前の地震の震源過程モデルがわかっている場合、アスペリティが繰り返す仮説 (Yamanaka and Kikuchi, 2004)<sup>8)</sup>に基づいて、一回前の地震の震源過程モデルを採用する。ただし、大規模な海溝型地震の波形インバージョン結果では中周期帯の強震動が不足する場合がありますので、擬似動的震源モデル (Guatteri et al., 2004)<sup>10)</sup>を導入する。(例：関東地震・東南海地震)
- ② 海溝型地震の強震動予測手法その2として、プレート境界地震の発生サイクルにおいて、一回前のイベントがわかっていない地震については、震源過程モデルのコンパイルによるアスペリティのスケールリング則<sup>3,4)</sup>を基にした特性化震源モデル<sup>11,12)</sup>を用いる。ここで、長周期アスペリティと強震動生成域が一致するように、断層全体における平均応力降下量は、約 3 MPa 程度、断層面積に対するアスペリティの面積比は約 20%程度にすることを経験則として与え、これらの条件を満たすように、強震動予測レシピア<sup>11,13)</sup>を用いて特性化震源モデルを構築する。(例：首都直下地震 (東京湾北部)・東海地震)

## 2) 関東地震の強震動評価

首都圏近くで発生する海溝型地震のうちもっとも典型的な地震は、関東大震災を引き起こした 1923 年の関東地震である。この地震の断層面は、相模トラフから沈み込むフィリピン海プレート上面の浅い部分に想定されており、この断層面は東側の隣接部といっしょになって、1703 年に元禄地震を起こしたと考えられている。したがって、地震の発生間隔は約 220 年ということになるが、現在は関東地震から 82 年しか経過していないため、地震調査委員会による 30 年発生確率はわずか 0.065%となっている。しかし、海溝型地震は発生間隔が短いので、20 年延ばして 50 年以内に地震が発生する確率とすると 0.85%まで大きくなってくる。ここでは、1923 年関東地震の強震動評価を行い、震源モデルおよび地下構造モデルを検証した。

2002~2003 年の大深度弾性波探査で、フィリピン海プレート上面が従来の想定 (たとえば Ishida, 1992)<sup>14)</sup>より浅いことがわかり、震源モデルとして、従来の震源過程インバージョン結果 (Kobayashi and Koketsu, 2005)<sup>15)</sup>に加えて、新しいプレート上面位置に断層面を置いた場合のインバージョン結果 (Sato et al., 2005)<sup>16)</sup>を用いた (図 2)。

新しいフィリピン海プレート上面を用いた震源インバージョンの結果、関東地震の 2 つ目のアスペリティの場所が東京湾寄りになり、深さが約 10km から約 15km へ変化していることがわかる。また、首都圏の地下構造モデルには、本統括研究課題で作成してきた、探査データを活用した大大特統合モデル<sup>17,18,19)</sup> (田中・他, 2005, 2006; 三宅・他, 2006; 表 1 および図 3) を使用する。図 4 は、大大特統合モデルを海域および地殻・プレートへ三次元的に拡張した結果<sup>18)</sup>得られた関東地震の断層断面である。また、この大大特統合モデルには、浅層ボーリング情報に基づく浅層地盤モデル<sup>19)</sup>が組み込まれてい

る。

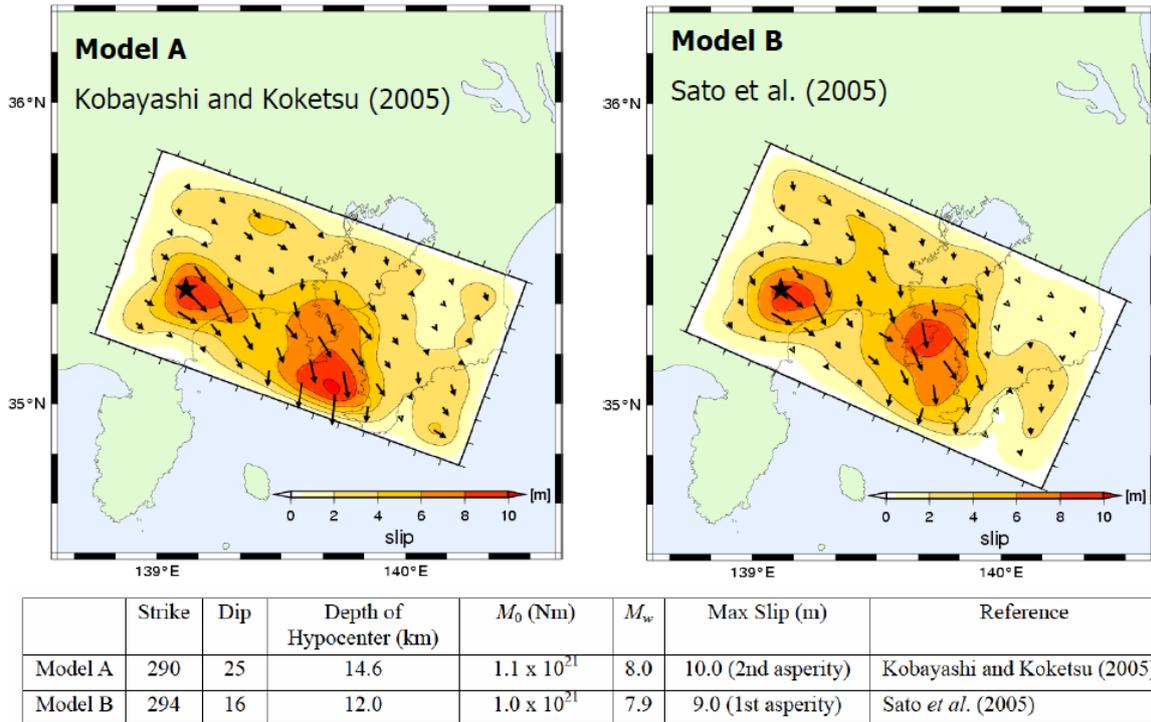


図 2. 従来のフィリピン海プレート上面形状に基づいた 1923 年関東地震のインバージョン結果<sup>15)</sup>と、新しいプレート上面形状に基づいた結果<sup>16)</sup>。

表 1. 首都圏下の速度構造の大大特統合モデルの物性値<sup>17, 19)</sup>

|         | $V_p$ (m/s) | $V_s$ (m/s) | Density (kg/m <sup>3</sup> ) |
|---------|-------------|-------------|------------------------------|
| Layer 1 |             | 350         |                              |
| Layer 2 |             | 450         |                              |
| Shimoso | 1800        | 500         | 1850                         |
| Kazusa  | 2400        | 900         | 2080                         |
| Miura   | 3200        | 1500        | 2280                         |
| Bedrock | 4800 ~ 5700 | 3200        | $0.319V_p + 700$             |

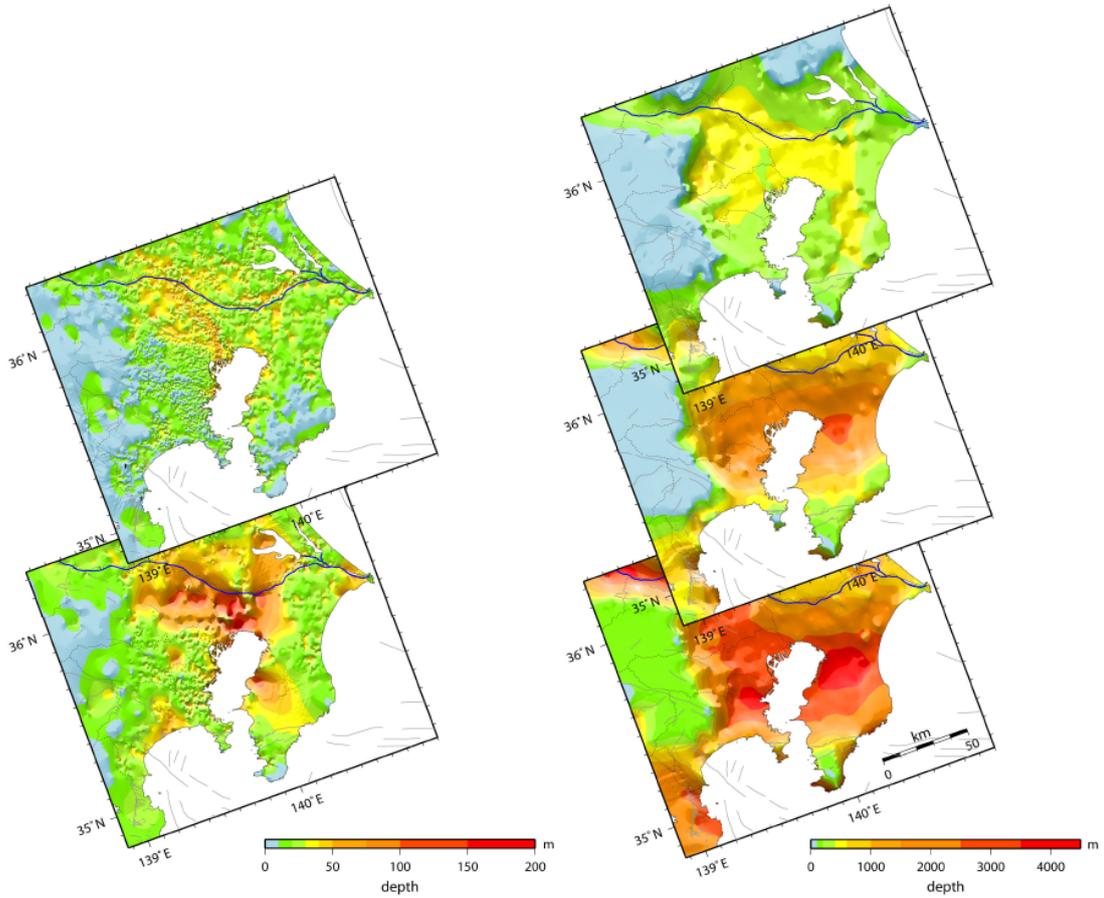


図 3. 首都圏下の速度構造の大大特統合モデル<sup>17,19)</sup>。左上：N 値=50 の等深度面、左下： $V_s = 500$  m/s の等深度面（下総層上面相当）、右上：上総層上面、右中：三浦層上面、基盤上面。

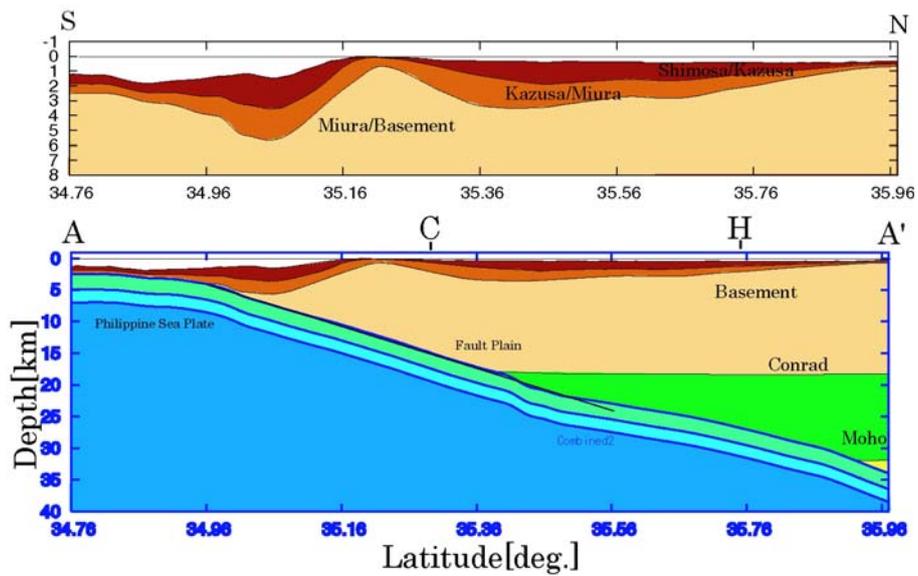


図 4. 首都圏下の速度構造の大大特統合モデルの断面。海域およびプレート・地殻を含む三次元的な拡張が行われている（田中・他，2006）<sup>18)</sup>。

海溝型巨大地震によって生じる地震動は、震度や被害にかかわる短周期地震動に加えて、長大構造物に影響を及ぼす長周期地震動の脅威も指摘されている。したがって、強震動の評価は、距離減衰式や震度分布の比較に加えて、可能なかぎり実記録と比較されることが望ましい。

ここではまず、インバージョン結果を震源モデル、大大特統合モデルを地下構造モデル、ボクセル有限要素法 (Koketsu et al., 2004) <sup>20)</sup> を計算手法とした長周期地震動のシミュレーションを行った。その結果、東京本郷における 1923 年関東地震の観測記録をほぼ再現するシミュレーション波形が得られた。図 5 は、関東地震の強震動シミュレーション結果を、東京本郷の復元強震記録 (横田・他, 1994) <sup>21)</sup> と比較したものである。東京帝国大学地震学教室・本郷の今村式地震計が東西成分 (N77 度 E) を観測しており、その波形にシミュレーション結果はよく一致しているように見える。しかし、同時に示した応答スペクトルを見ると、波形インバージョンで主に用いられた周期 2~4 秒では観測に近いレベルにあるが、主に表面波から構成される 5 秒以上の長周期ではパワーが足りない結果になっている。今後、震源と地下構造モデルの双方から、表面波の励起メカニズムに関する考察が必要であると考えられる。

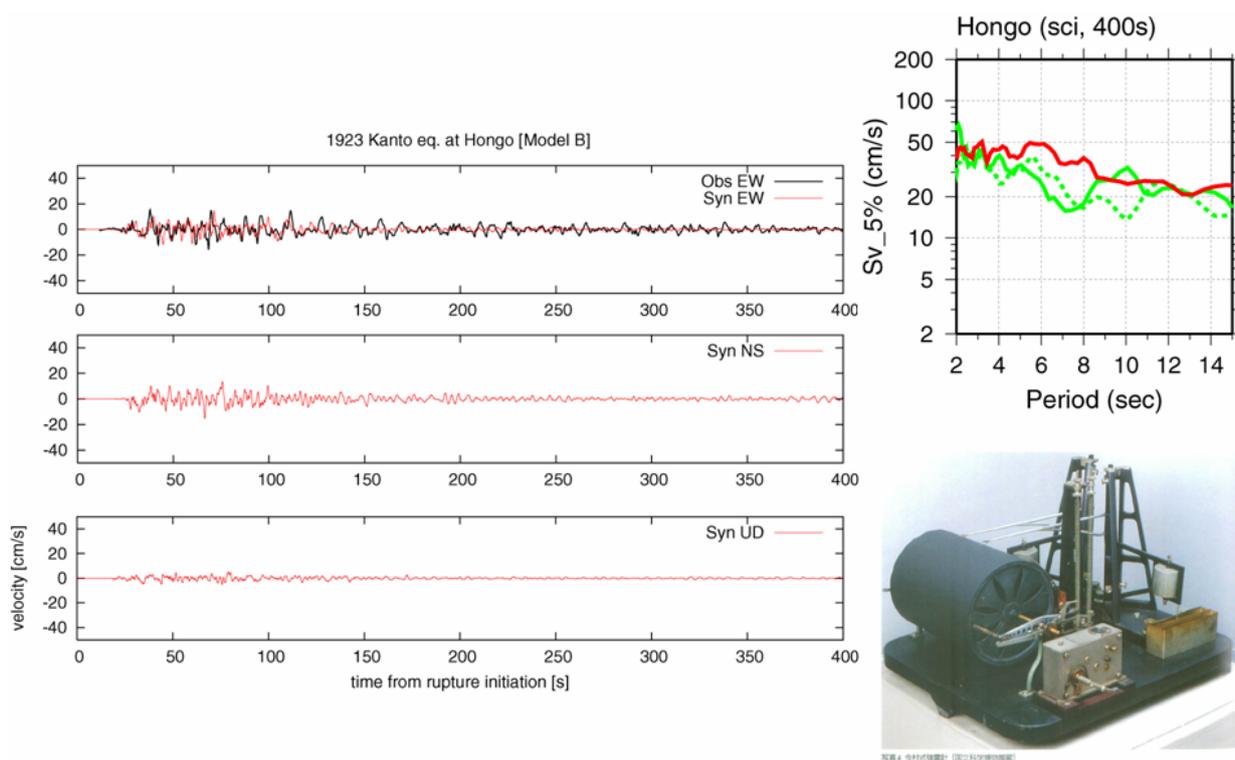


図 5. 東京本郷におけるシミュレーション波形 (赤) と観測波形 (黒) の比較。地震計の方位が逆時計回りに  $13^\circ$  ずれていることは折り込み済みで、観測は東西成分のみ。右上は速度応答スペクトルを示す。赤：観測 EW 成分、緑実線：合成 EW 成分、緑点線：合成 NS 成分。右下は、観測記録が得られた今村式地震計。

また、インバージョン結果のすべり分布に対する擬似動的震源モデルを求め、統計的

グリーン関数法により短周期地震動を計算したところ、本郷や新宿、横浜において、被害分布から推定された歴史震度（諸井・武村，2002）<sup>22)</sup>と同程度かやや大きめ（計測震度が最大 0.5 程度）となる結果を得た。

長周期地震動と短周期地震動について、従来のプレート深さをを用いて求められた震源モデル（Model A）と新しいプレート深さをを用いて求められた震源モデル（Model B）の比較を行ったところ、Model A は Sato et al. (1999)<sup>23)</sup>とほぼ同じ結果が得られたが、Model B はアスペリティが深くなったことにより、長周期地震動の励起は速度応答スペクトルのピーク値が約半分と弱くなった<sup>24)</sup>。ただし、Model B では、アスペリティ位置が首都圏に近づいたことにより、短周期地震動はやや増加した。

### 3) 想定首都直下地震（東京湾北部地震）の強震動予測

首都圏直下の来たるべき地震について、まず活断層の地震を検討する。地震調査委員会が「主要 98 断層帯」と認定した活断層のうち、首都圏およびその周辺に位置する神縄・国府津－松田断層帯や武山断層帯の今後 30 年以内の地震発生確率は 3% を超えており、「高い」レベルにあるが、全体的にみれば首都圏周辺の活断層による地震発生確率はそれほど高いわけではないと考えられる。

一方、フィリピン海プレートは相模トラフから首都圏の下に沈み込んでおり、その上プレート面や内部で発生している地震は海溝型地震と分類される。これらの地震は地下深い場所ではあるが、首都圏直下で発生する地震と考えることができる。中央防災会議は、首都直下地震対策専門調査会において活断層による地震だけでなく、フィリピン海プレート上面の地震も検討対象とした。微小地震活動に基づいて設定された 19 セグメント<sup>25)</sup>のうち、種々の条件により東京湾北部・多摩地区・茨城県南部の 7 つの地震活動セグメントが地震を発生させる可能性が高いと認定された。さらに「首都直下地震対策大綱」では、その中でも東京湾北部の 2 断層によるマグニチュード 7.3 の地震が、都心部の揺れが強いなどの理由から、首都直下地震対策の主要な地震とされた。また、地震調査委員会、これらフィリピン海プレートのやや深いプレート境界地震、フィリピン海プレート内部の地震、太平洋プレート上面のプレート境界地震を考慮した発生確率を与えており、全体の 30 年発生確率として 72% と非常に高い値が算出されている。

大大特による大規模弾性波探査は、首都圏下に沈み込むフィリピン海プレート上面の形状を直接的にイメージングすることに成功した。その結果によれば、フィリピン海プレート上面は従来のモデルより全体的に浅くあるべきで、たとえば東京都下では従来のモデルがほぼ深さ 40km であるのに対して、探査結果は深さ約 25km であることを示している。

同じく大大特プロジェクトでは、測線のうちプレート境界からの反射波が弱い部分が、1923 年関東地震のアスペリティに相当していることが示唆された（Sato et al., 2005）<sup>16)</sup>。例えば、図 6 の東京湾測線のうち、反射の強い北半分の周辺では関東地震の大きなすべりは起こっておらず、非アスペリティとして振舞っている可能性が示唆される。このような知見に基づき、来たるべき海溝型地震の震源のモデル化に物理的な拘束条件を与えることができる。

首都直下地震（東京湾北部地震）における震源のモデル化（図 6）では、地震活動セ

グメントおよび大大特によって得られたプレート深度に沿って断層面を設定した。また、強震動生成にかかわるアスペリティは、探査測線の反射率が高い部分<sup>16)</sup>や、1989年の東京湾サイレント・アースクェイク（広瀬・他，2000）<sup>26)</sup>と重ならない位置に配置した。断層面およびアスペリティの配置にあたって、課すべき拘束条件としては、次のような項目が考えられる。

- ①プレート深度に沿った断層面の設定
- ②アスペリティと反射率の関係
- ③アスペリティとゆっくりすべり域
- ④地震活動によるセグメント
- ⑤プレート形状によるセグメント
- ⑥アスペリティとGPSから得られるすべり欠損（今回は深いプレート境界のため使用せず）

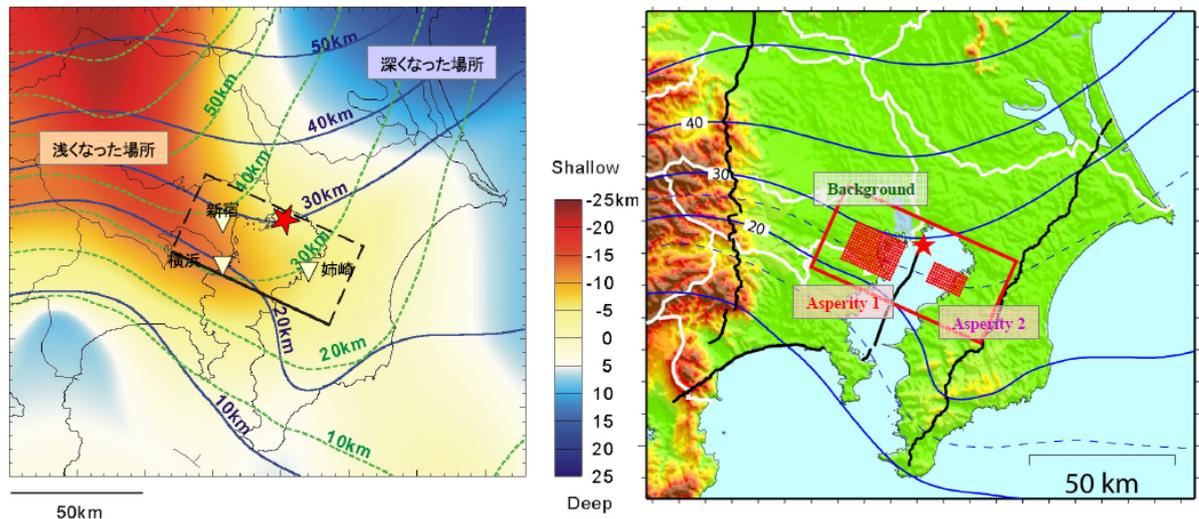


図6. (左) 首都圏におけるフィリピン海プレートの上面深度。新しいプレート上面深度<sup>16)</sup>と従来のプレートの上面深度<sup>14)</sup>との深さの差が示される。(右) それぞれのプレート面に対して想定された首都直下地震（東京湾北部地震）の特性化震源モデル。赤色の部分は探査等の拘束条件を考慮して設定されたアスペリティ位置を示す。

首都直下地震（東京湾北部地震）のように、過去の震源モデルが得られていない地震の場合、震源モデル構築時の妥当性を常に検証する必要がある。ここでは、上記の拘束条件として入れていなかった地震波トモグラフィーアスペリティの関係について、次の検討を行った。気象庁一元化データを用い、P波方位異方性を考慮した地震波トモグラフィー（石瀬・他，2006；Ishise et al., 2006）<sup>27,28)</sup>を行った結果を図7に示す。Line 1は、関東地震と想定首都直下地震でそれぞれ設定されている東側のアスペリティを通るような断面であり、Line 3は西側のアスペリティを通る断面である。なお、関東地震で推定されたアスペリティの深さは10～15 km以浅であり、想定首都直下地震で設定しているアスペリティの深さは約30 kmである。両Lineとも沈みこむフィリピン海プレートがイメージングされており、深さ30 km程度までP波速度が遅い領域が推定されている。したがって、関東地震で推定されたアスペリティ位置と首都直下地震で設定さ

れているアスペリティ位置は、似たような物性値であることが示唆される。

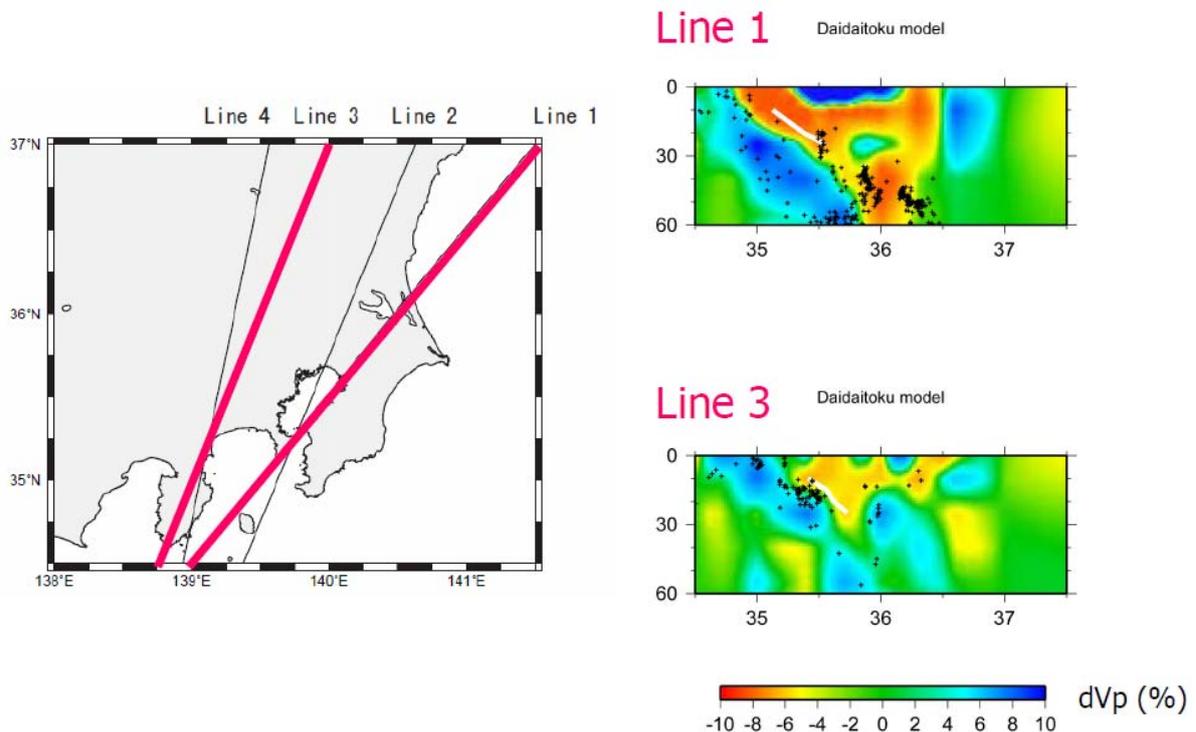


図7. 関東地域における地震波トモグラフィの結果得られたP波速度の不均質分布（石瀬・他，2006；Ishise et al., 2006）<sup>27,28)</sup>。Line 1は関東地震と想定首都直下地震でそれぞれ設定されている東側のアスペリティを、Line 3は西側のアスペリティを含む断面で、白線はフィリピン海プレート上面を示す。

過去の地震による揺れの記録が得られていない東京湾北部の首都直下地震は、中央防災会議より、強震動予測レシピを適用した断層モデルに対して統計的グリーン関数法を適用して予測された震度分布が示されている。断層モデル直上の東京湾北部の湾岸では震度6強が予想されており、これは震源に近い効果に湾岸の地盤の影響が加味されたものと解釈できる。

しかしながら、首都直下地震の震源域である東京湾北部ではプレート上面が約10km浅く推定されており、この地震の断層面もそれだけ浅くしなければならない。そのような状況では首都圏での揺れが、中央防災会議の予測より強くならざるを得ないと想像される。ここでは、従来のフィリピン海プレート上面深さと新しく推定された上面深さの両モデルについて想定首都直下地震（東京湾北部地震）の強震動予測を実施した。図8に、工学的基盤上の最大速度分布（ $< 1.3$  Hz）が示される。フィリピン海プレート上面深度が従来の深さから浅くなった結果、最大速度が大きめに推定されており、プレートが浅くなったことによって強震動が幾分増加するというプレートの深度変化が強震動予測の与える効果を試算した。また、首都圏の複雑な基盤形状によって、関東平野西縁での表面波の反射や、北西部の回廊が地震波伝播に及ぼす影響などが再現され、決定論的な強震動予測の重要性が確認された。

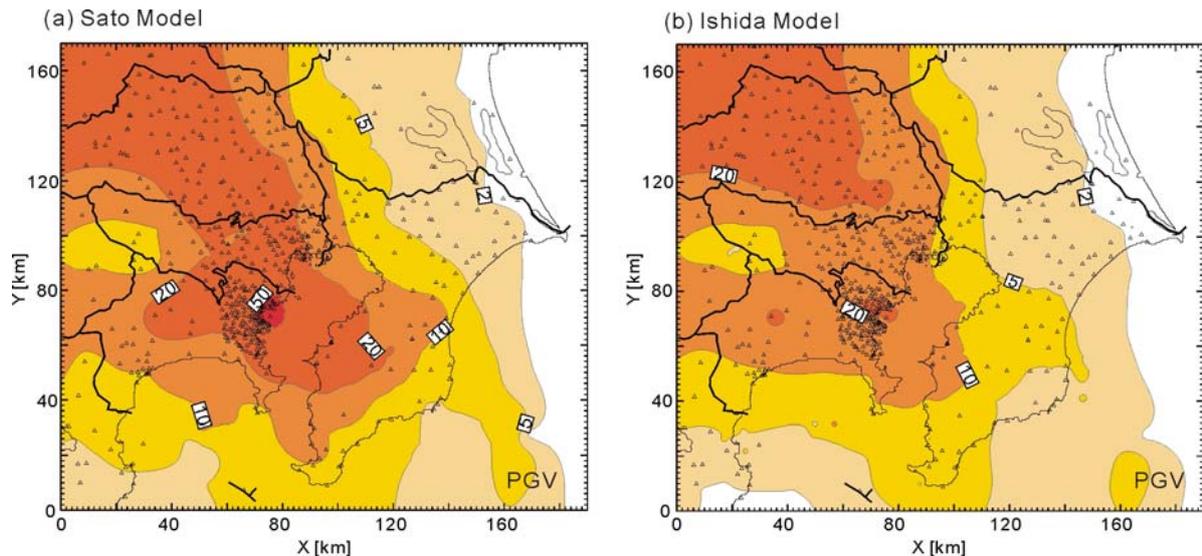


図 8. 想定首都直下地震（東京湾北部地震）の強震動予測によって得られた、工学的基盤上の最大速度分布（ $< 1.3$  Hz）。(a) は浅くなったフィリピン海プレート上面深度に沿った断層を想定した結果であり、(b) の従来の深さを想定した場合よりも最大速度が大きめに推定された。

#### 4) 想定東海地震の強震動予測

フィリピン海プレートのうち、南海トラフから沈み込む浅いプレート境界地震は、距離的には首都圏からやや離れるが、高い地震発生確率を持っている。過去の地震の研究から、南海トラフ沿いのプレート境界には東海地震・東南海地震・南海地震に対応する三つの震源域が考えられている。歴史上では、単独だけではなくいろいろな震源域の組み合わせで地震が発生しているので、すべての組み合わせに対して 30 年発生確率が計算されている。その結果、例えば長い間発生していない東海地震には、86%という非常に高い値が与えられている。

ここでは、ハイブリッド合成法を用いた想定東海地震の広帯域強震動予測を行い、首都圏における海溝型巨大地震による長周期地震動を決定論的に評価した。また、佐藤・他（2006）<sup>29)</sup>や関口・吉見（2006）<sup>30)</sup> など複数の研究において指摘されている 1～5 秒の中周期帯における予測地震動の落ち込みについて留意しながらモデル化および強震動予測を行った。

想定東海地震の震源モデルは、中央防災会議に準拠してフィリピン海プレートの深さ約 10～25km に収まる湾曲した領域を震源域に、松村（2002）<sup>31)</sup>の地震活動と固着域の関係を参考にアスペリティを設定した（図 9）。その結果、中央防災会議の震源モデルに比べて、アスペリティの数が 6 個から 3 個に減少した。また、アスペリティと非地震性すべりが重ならないという研究成果があるため、アスペリティは、2000 年以降に浜名湖の北西側で生じた東海スローイベント<sup>32)</sup>の領域と重ならないように設定した。断層面積に対するアスペリティの面積比やすべり量比は、本研究で行った海溝型地震のスケーリング則、および長周期アスペリティと強震動生成域の一致がみられるようにモデル化した。アスペリティの応力降下量は、中央防災会議で採用されているクラックモデルの式ではなく、アスペリティモデルの式を用いて計算しているため、15 MPa 程度となって

いる。断層面をはさんで地殻側とプレート側では物性値が異なっており、ここでは断層面のすべり量は地殻側の物性値を用いて計算した。

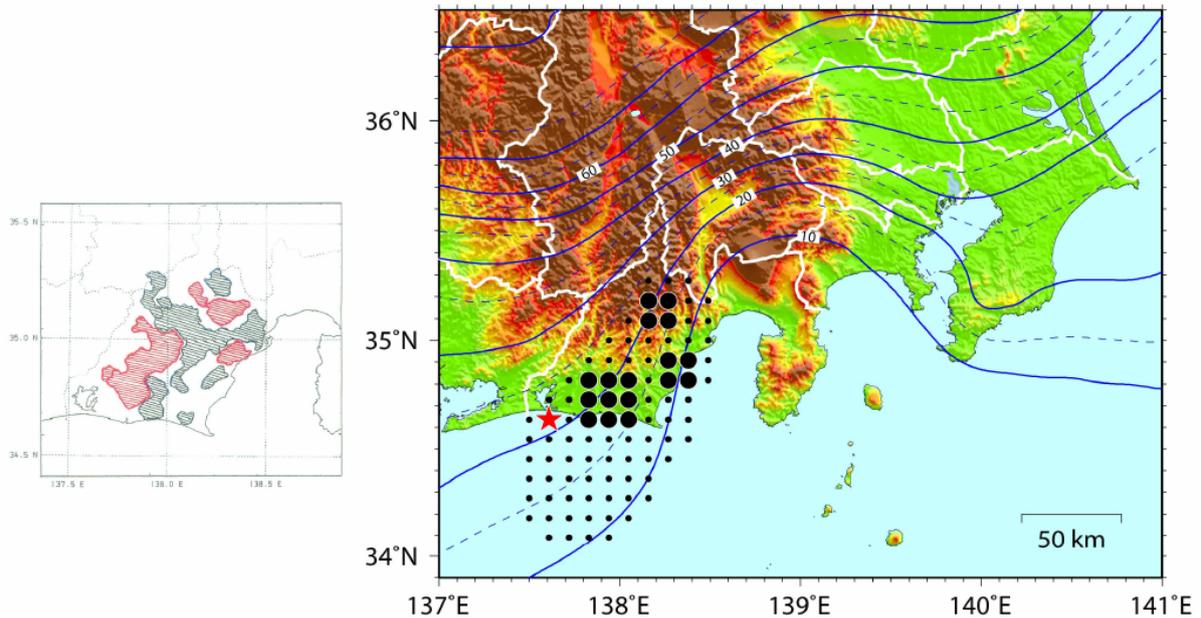


図 9. 地震活動から推定された松村 (2002)<sup>31)</sup> の固着域 (左図の赤色部分)。この固着域をアスペリティの設定根拠として構築された想定東海地震の特性化震源モデル (右図)。赤色の星は破壊開始点を、大きな黒丸はアスペリティを示す。

地下構造については、深部地下構造と浅部地盤構造から成る首都圏の大大特統合モデルに、海域および地殻・プレートを三次元的に組み込んだ広域地下構造モデルを用いた。この地下構造モデルの妥当性を検討するため、1997年に愛知県東部で起きた Mw 5.6 の中地震によるシミュレーションを差分法にて行い (周期 2 秒まで)、静岡県から伊豆半島にかけて記録がおおむね再現されることを確認した。しかしながら、関東平野内においては、観測記録に比べて表面波の励起が小さくなっており、表面波に対する Q 値の与え方を含む、広域の地下構造のモデル化のさらなる高精度化が課題として残された。

想定東海地震に対する広帯域強震動予測は、周期 3 秒をマッチングフィルターとして、差分法と統計的グリーン関数法による予測結果を合成した。統計的グリーン関数法では、佐藤・他 (1994)<sup>33)</sup>による経時特性を考慮したエンベロープを採用している。ハイブリッド合成法では、決定論的手法による地震波の到達時刻と、統計的グリーン関数法による到達時刻のずれを補正することが必要であり、ここでは差分法によって計算された P 波の到達時刻を面的に読み取り、それを S 波到達時刻に変換して、その時刻を用いたハイブリッド合成を行った。

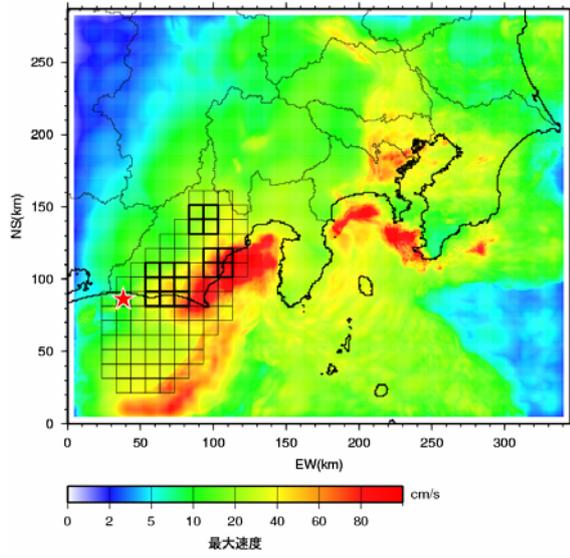
広帯域強震動予測の結果を図 10 に示す。差分法による工学的基盤上の最大速度分布 (図 10(a)) では、震源近傍のみならず、関東平野内においても最大速度が大きくなっており、これは主に伝播経路および平野内で励起された表面波が主となっている。また、海域において大きな地震動が得られていることが特徴として挙げられる。一方、統計的グリーン関数法による工学的基盤上の最大速度分布 (図 10(b)) では、震源近傍から破壊

進行方向に最大速度分布が広がり、それ以外の部分は、地下構造をある程度反映しながら震源距離とともに小さくなる傾向がみられている。両者をハイブリッドして得られた工学的基盤上の最大速度分布が図 10(c) に示される。関東平野内の最大速度分布は、差分法による最大速度分布と似通っており、海溝型巨大地震の強震動予測において決定論的手法が必要であることがわかる。

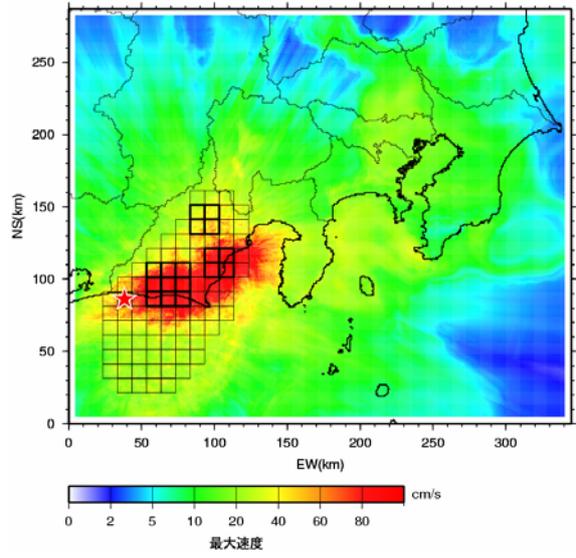
図 10(d) に、ハイブリッドして得られた工学的基盤上の最大速度分布が(図 10(c))から換算された地表における最大速度分布の分布が示される。ここでは、藤本・翠川(2003)<sup>34)</sup>による平均 S 波速度分布に対して、翠川・松岡(1995)<sup>35)</sup>による地盤増幅度の経験的關係式を用いて地表最大速度分布を推定した。ただし、首都圏のみ、平均 S 波速度分布は浅層ボーリング情報に基づく 250m の大大特統合モデル(三宅・他, 1999)<sup>19)</sup>を用いている。

上記を基に、換算された計測震度の分布が図 10(e)に示される。表面波が卓越していない地域においては、翠川・他(1999)<sup>36)</sup>による最大速度と計測震度の経験的關係式を用いて、計測震度相当値を算定した。しかしながら、すでに翠川・他(1999)<sup>36)</sup>で指摘されているように、最大速度の卓越周期が 2 秒を超える場合は、この経験式による計測震度が過大評価となる場合がある。本計算による関東平野内の最大速度は、主に 2 秒以上の表面波成分から構成されており、翠川・他(1999)<sup>36)</sup>をそのまま使用すると、安政東海地震による震度分布を大きく上回る結果を得てしまう。したがって、あらかじめ工学的基盤における時刻歴波形を用いて計測震度を計算し、別途用意した震度増分値を加えることにより計測震度分布を求めたところ、安政東海地震の分布をよい一致を示し、首都圏の震度は 4~5 弱と推定された。しかしながら、図 10(f) に示されるように、関東平野では、震度には反映されにくい長周期地震動が卓越しており、注意を要する。

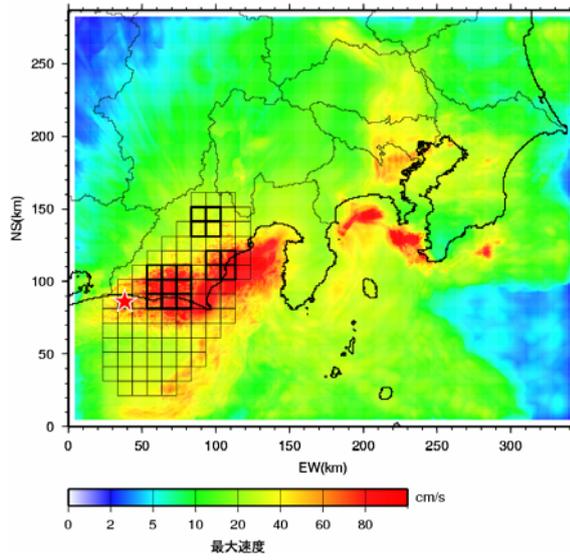
(a)



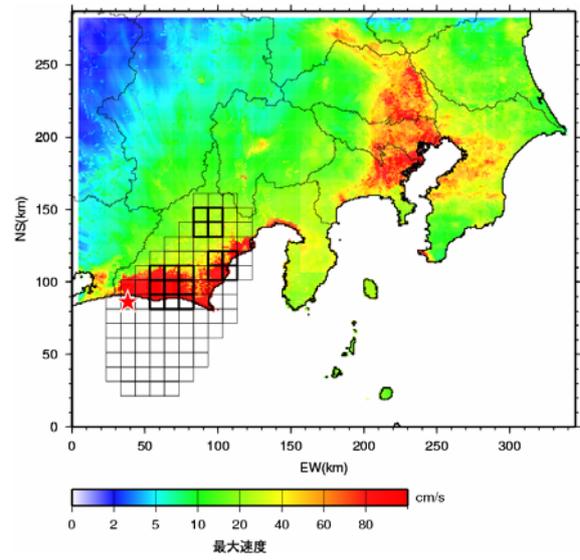
(b)



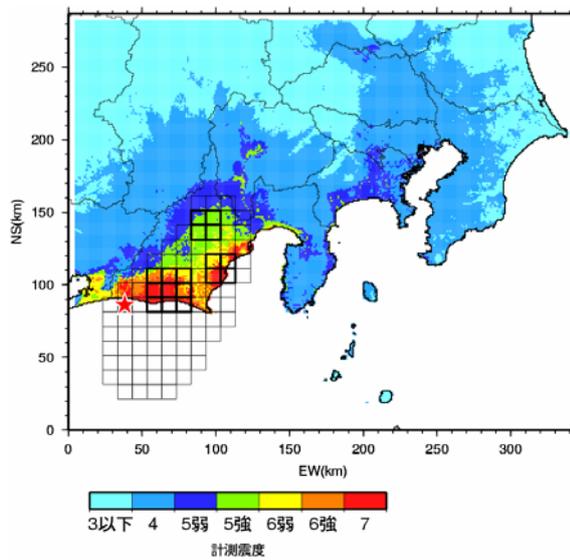
(c)



(d)



(e)



(f)

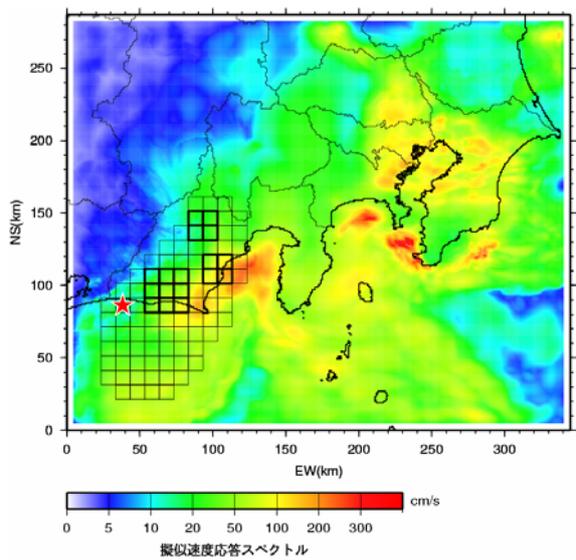


図 10. (a~c) 想定東海地震の強震動予測によって得られた工学的基盤上の最大速度分布。(a) 差分法による結果。(b) 統計的グリーン関数法による結果。(c) ハイブリッド合成法による結果。(d) 地表における最大速度分布。(e) 工学的地盤上の最大速度分布から長周期地震動を考慮して換算された地表の計測震度分布。(f) 工学的基盤上の擬似速度応答分布(周期 7 秒)。

首都圏を襲うであろう地震動の要素のうち、先に述べたように、海溝型巨大地震による長周期地震動は避けて通ることはできない。2003 年十勝沖地震では、長周期地震動と呼ばれるゆっくりした揺れが震源から 250km 離れた勇払平野で発達し、平野の中の苫小牧にあった石油タンクに被害を及ぼした<sup>1,2)</sup>。この状況は南海トラフ沿いのプレート境界地震と関東平野の関係に類似しており、仮に東南海地震や東海地震が起これば関東平野の中の首都圏が長周期地震動に襲われ、高層ビルや東京湾岸の石油タンク、長大橋などに影響を及ぼす可能性が高いと言わざるを得ない。

2004 年紀伊半島南東沖地震は、来たるべき東南海地震の震源域に発生したマグニチュード 7.4 の地震であり、首都圏では周期 7~10 秒の長周期地震動が観測された<sup>37)</sup>。また、図 11 のような強震動シミュレーションによって、この長周期地震動は海域の付加体構造<sup>38)</sup>によって発達することが確認されており、これらの観測事実や強震動シミュレーションは上記の予測を裏付けるものである。実際に、1944 年の東南海地震について千葉県東金などの強震記録が復元され、周期 12 秒で約 60 cm/s の 5%速度応答が得られているとの報告もある<sup>39)</sup>。

近い将来に首都圏を襲うであろう海溝型巨大地震は、紀伊半島南東沖地震をはるかに上回る規模が想定されている。長周期地震動の定量的な把握には、盆地のみならず長周期地震動の発達に寄与する海域や地殻・プレートの構造を加味した決定論的な強震動シミュレーションが有効である。したがって、海溝型地震の強震動予測は、統計的グリーン関数法と地下構造を組み込んだ決定論的な強震動シミュレーションをハイブリッドした波形合成法で評価されることが望ましい。

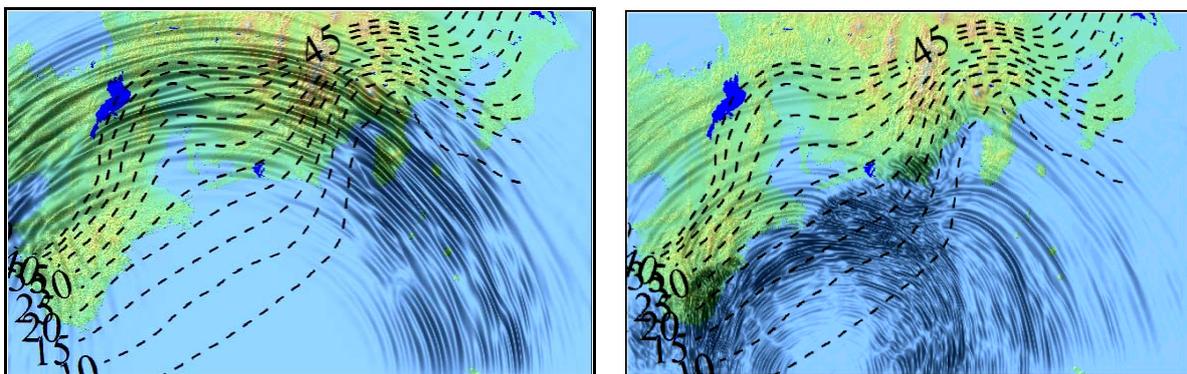


図 11: 2004 年紀伊半島南東沖地震の強震動シミュレーションから確認された南海トラフ沿いで発達する長周期地震動<sup>40)</sup>。地下構造モデルに付加体が入っていない場合(左)に比べて、付加体が入っている方(右)が、長周期地震動が励起されている。

#### (d) 結論ならびに今後の課題

近年格段に進歩したプレート境界地震のアスペリティの位置と面積の情報を活用した海溝型地震の強震動予測手法を提案し、首都圏等において相模トラフや南海トラフ沿いに想定されている海溝型地震の強震動予測を行った。震源インバージョンによってのみ得られていたアスペリティ位置や面積が、探査・地震活動・トモグラフィー等からも示唆されるようになり、これらを拘束条件とすることで震源のモデル化の可能性が広がったことは、大きな成果といえよう。

また、探査結果や地震記録を活用した地下構造のモデル化手法が提案され、首都圏下の速度構造の大大特統合モデルが構築された。この大大特統合モデルに、浅部地盤構造を組み込み、海域および地殻・プレート構造を含む三次元的な拡張を行うことで、強震動予測の高度化に資する構造モデルの構築がより推進されることが期待される。

関東地震については、大深度弾性波探査によってフィリピン海プレートの上面深さが従来よりも浅く推定された結果をうけて、震源モデルおよび地下構造モデルを再構築した。震源インバージョンにより推定された東側のアスペリティ位置が東京湾に近づいたものの、やや深くなったため、長周期地震動の励起は半分程度になったが、震度に影響する短周期地震動がやや増大したことが確認された。想定首都直下地震では、従来のフィリピン海プレート上面深さと新しく推定された上面深さの両モデルについて強震動予測を実施し、プレートが浅くなったことによって強震動が幾分増加する試算を得た。また、首都圏の複雑な基盤形状によって、関東平野西縁での表面波の反射や、北西部の回廊が地震波伝播に及ぼす影響などが再現され、決定論的な強震動予測の重要性が確認された。想定東海地震では、適切な震源パラメータと海域や地殻・プレートへ三次元的に拡張した広域地下構造モデルの高精度化によって、特性化震源モデルとハイブリッド合成法の組み合わせによる広帯域強震動予測が現実的に行えることを示した。また、南海トラフ沿いの海溝型巨大地震によって、首都圏における長周期地震動の励起が顕著であることが確認され、さらなる高度化をはかるためには、地下構造モデルの三次元的な拡張だけでなく、中小地震の観測記録を用いて、付加体などの細部を含む地下構造モデルのチューニングを行うことが不可欠であることがわかった。

以上のように、首都圏に脅威をもたらす海溝型地震に関して震源モデルと地下構造モデルを構築し、複数の地震において強震動予測手法を適用することで、強震動予測の高度化が多角的に検証され、特に長周期地震動評価のための決定論的手法の有効性が確認された。今後の課題として、震源モデルについては、プレート境界のアスペリティと強震動生成域の関係を明確にすることが求められるとともに、動力学的な物理モデルに基づいた不均質性の導入が期待される。また、地下構造モデルについては、観測記録を用いた地下構造のチューニングの効率化と地下構造モデルを広域に展開する手法の構築が望まれる。

#### (e) 引用文献

- 1) Koketsu, K., Hatayama, K., Furumura, T., Ikegami, Y. and Akiyama, S.: Damaging long-period ground motions from the 2003 Mw 8.3 Tokachi-oki, Japan, earthquake, *Seism. Res. Lett.*, Vol. 76, pp. 67-73, 2005.
- 2) 畑山健, 座間信作, 西晴樹, 山田實, 廣川幹浩, 井上涼介: 2003年十勝沖地震による

- 周期数秒から十数秒の長周期地震動と石油タンクの被害, 地震 2, Vol. 57, pp. 83-103, 2004.
- 3) 室谷智子, 三宅弘恵, 額瀨一起: 海溝型地震の不均質断層パラメータのスケーリング則, 地球惑星科学関連学会 2005 年合同大会, S052-006, 2005.
  - 4) 三宅弘恵, 室谷智子, 額瀨一起: プレート境界地震のアスペリティのスケーリング則, 月刊地球, 号外 No. 55, pp. 86-91, 2006.
  - 5) 畑奈緒未, 三宅弘恵, 額瀨一起: 海溝型地震の強震動生成域とアスペリティ, 地球惑星科学関連学会 2005 年合同大会, S204-008, 2006.
  - 6) 永井理子, 菊地正幸, 山中佳子: 三陸沖における再来大地震の震源過程の比較研究, 地震 2, Vol. 54, pp. 281-298, 2001.
  - 7) Okada, T., Matsuzawa, T. and Hasegawa, A.: Comparison of source areas of M4.8 +/- 0.1 repeating earthquakes off Kamaishi, NE Japan: are asperities persistent features?, Earth Planet. Sci. Lett., Vol. 213, pp. 361-374, 2003.
  - 8) Yamanaka, Y. and Kikuchi, M.: Asperity map along the subduction zone in northeastern Japan inferred from regional seismic data, J. Geophys. Res., Vol. 109, No. B7, Art.No. B07307, 2004.
  - 9) Wu, C. and Koketu, K.: Complicated repeating earthquakes on the convergent plate boundary: Rupture process of the 1978 and 2005 Miyagi-ken oki earthquakes, 2005 年 8 月 16 日に発生した宮城県沖地震に関する調査研究 (平成 17 年度科学研究費補助金 (特別研究促進費) 研究成果報告書, pp. 31-36, 2006.
  - 10) Guatteri, M., Mai, P. M. and Beroza, G. C.: A pseudo-dynamic approximation to dynamic rupture models for strong ground motion prediction, Bull. Seism. Soc. Am., Vol. 94, pp. 2051-2063, 2004.
  - 11) 入倉孝次郎, 三宅弘恵: シナリオ地震の強震動予測, 地学雑誌, Vol. 110, pp. 849-875, 2001.
  - 12) Miyake, H., Iwata, T. and Irikura, K.: Source characterization for broadband ground-motion simulation: Kinematic heterogeneous source model and strong motion generation area, Bull. Seism. Soc. Am., Vol. 93, pp. 2531-2545, 2003.
  - 13) 入倉孝次郎, 三宅弘恵, 岩田知孝, 釜江克宏, 川辺秀憲, Luis Angel Dalguer: 将来の大地震による強震動を予測するためのレシピ, 京都大学防災研究所年報, Vol. 46B, pp. 105-120, 2003.
  - 14) Ishida, M.: Geometry and relative motion of the Philippine sea plate and Pacific plate beneath the Kanto-Tokai district, Japan, J. Geophys. Res., Vol. 97, pp. 489-513, 1992.
  - 15) Kobayashi, R. and Koketsu, K.: Source process of the 1923 Kanto earthquake inferred from historical geodetic, teleseismic, and strong motion data, Earth Planets Space, Vol. 57, pp. 261-270, 2005.
  - 16) Sato, H., Hirata, N., Koketsu, K., Okaya, D., Abe, S., Kobayashi, R., Matsubara, M., Iwasaki, T., Ito, T., Ikawa, T., Kawanaka, T., Kasahara, K. and Harder, S.: Earthquake source fault beneath Tokyo, Science, Vol. 309, pp. 462-464, 2005.

- 17) 田中康久, 瀨瀬一起, 三宅弘恵, 古村孝志, 佐藤比呂志, 平田直, 鈴木晴彦, 増田徹: 首都圏下の速度構造の大大特コミュニティモデル (1): 屈折法・重力・自然地震データによる第一次モデル地震動, 地球惑星科学関連学会 2005 年合同大会, S079-P010, 2005.
- 18) 田中康久, 三宅弘恵, 瀨瀬一起, 古村孝志, 早川俊彦, 馬場俊孝, 鈴木晴彦, 増田徹: 首都圏下の速度構造の大大特統合モデル(2): 海溝型地震のためのモデル拡張とチューニング, 日本地球惑星科学連合 2006 年大会予稿集, S116-P014, 2006.
- 19) 三宅弘恵, 瀨瀬一起, 古村孝志, 稲垣賢亮, 増田徹, 翠川三郎: 首都圏の強震動予測のための浅層地盤構造モデルの構築, 第 12 回日本地震工学シンポジウム論文集, pp. 214-217, 2006.
- 20) Koketsu, K., Fujiwara, H. and Ikegami, Y.: Finite-element simulation of seismic ground motion with a voxel mesh, *Pure Appl. Geophys.*, Vol. 161, pp. 2463-2478, 2004.
- 21) 横田治彦, 片岡俊一, 田中貞二, 吉沢静代: 1923 年関東地震のやや長周期地震動 今村式 2 倍強震計記録による推定, 日本建築学会構造系論文報告集, Vol. 401, pp. 35-45, 1989.
- 22) 諸井孝文, 武村雅之: 関東地震 (1923 年 9 月 1 日) による木造住家被害データの整理と震度分布の推定, 日本地震工学会論文集, Vol. 2, pp. 35-71, 2002.
- 23) Sato, T., Graves, R. W., and Somerville, P. G.: Three-dimensional finite difference simulation of long-period strong motion in the Tokyo metropolitan area during the 1990 Odawara earthquake (MJ 5.1) and the great 1923 Kanto earthquake (Ms 8.2) in Japan, *Bull. Seism. Soc. Am.*, Vol. Vol.89, pp. 579-607, 1999.
- 24) 田中康久, 池上泰史, 小林励司, 三宅弘恵, 瀨瀬一起: 首都圏の強震動評価: 1923 年関東地震の地震動シミュレーション, 日本地震学会講演予稿集, P207, 2005.
- 25) 岡田義光: 首都圏直下地震の想定震源, 日本地震学会講演予稿集 2002 年秋季大会, A01, 2002.
- 26) 広瀬一聖, 川崎一朗, 岡田義光, 鷺谷威, 田村良明: 1989 年 12 月東京湾サイレント・アースクェイクの可能性, *地震 2*, Vol. 53, pp. 11-23, 2000.
- 27) 石瀬素子, 小田仁, 三宅弘恵, 瀨瀬一起: 日本列島弧中央部の三次元 P 波異方性速度構造 日本地震学会講演予稿集 2006 年秋季大会, P175, 2006.
- 28) Ishise, M., Koketsu, K., Miyake, H. and Oda, H.: P-wave anisotropic velocity tomography beneath the Japan Islands: Large-scale images and details in the Kanto district, *EOS Trans. Am. Geophys. Union*, Vol. 87, S51A-1259, 2006.
- 29) 佐藤俊明, 渡辺基史, 早川崇, 特性化震源モデルを用いた巨大地震の長周期地震動予測手法の問題点と改良法, *月刊地球*, 号外 No. 55, pp. 110-118, 2006.
- 30) 関口春子, 吉見雅行, 広帯域地震動予測のための海溝型巨大地震アスペリティモデルのマルチスケール不均質化, *月刊地球*, 号外 No. 55, pp. 103-109, 2006.
- 31) 松村正三: 東海の推定固着域における 1990 年代後半の地震活動変化, *地震 2*, Vol. 54, pp. 449-463, 2002.
- 32) Ozawa, S., Murakami, M., Kaidzu, M., Tada, T., Sagiya, T., Hatanaka, Y., Yarai, H. and Nishimura, T.: Detection and monitoring of ongoing aseismic slip in the

Tokai region, central Japan, Science, Vol.298, pp.1009-1012, 2002.

- 33) 佐藤智美, 川瀬博, 佐藤俊明: ボアホール観測記録を用いた表層地盤同定手法による工学的基盤波の推定及びその統計的経時特性, 日本建築学会構造系論文集, Vol.461, pp.19-28, 1994.
- 34) 藤本一郎, 翠川三郎: 日本全国を対象とした国土数値情報に基づく地盤の平均S波速度分布の推定, 日本地震工学会論文集, Vol.3, pp.13-27, 2003.
- 35) 翠川三郎, 松岡昌志: 国土数値情報を利用した地震ハザードの総合的評価, 物理探査, Vol.48, pp.519-529, 1995.
- 36) 翠川三郎, 藤本一雄, 村松郁栄: 計測震度と旧気象庁震度および地震動強さの指標との関係, 地域安全学会論文集, Vol.1, pp.51-56, 1999.
- 37) Miyake, H. and Koketsu, K.: Long-period ground motions from a large offshore earthquake: The case of the 2004 off the Kii peninsula earthquake, Japan, Earth Planets Space, Vol.57, pp.203-207, 2005.
- 38) Baba, T., Hayakawa, T., Ito, A., Furumura, T., Koketsu, K. and Kaneda, Y.: Offshore 3-D crustal structure models in the Nankai and Japan trench subduction zones derived from marine seismic surveys, Earth Planet. Sci. Lett., submitted.
- 39) 古村孝志, 中村操, 早川俊彦, 馬場俊孝: 1944年東南海地震・1946年南海地震における関東平野の長周期地震動, 日本地球惑星科学連合2006年大会予稿集, S111-009, 2006.
- 40) 池上泰史, 瀨瀨一起, 三宅弘恵: 海溝型地震による長周期地震動(2): 伝播経路での発達過程, 日本地震学会2005年大会, B089, 2005.

(f) 成果の論文発表・口頭発表等

| 著者                          | 題名                                 | 発表先                               | 発表年月日   |
|-----------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|---------|
| 瀨瀨一起                        | 地下構造と長周期地震動                        | 日本地震工学会誌                          | 平成18年7月 |
| 古村孝志, 早川俊彦, 瀨瀨一起, 馬場俊孝, 中村操 | 1944年東南海地震の強震動シミュレーションと関東平野の長周期地震動 | 月刊地球                              | 平成18年7月 |
| 三宅弘恵, 室谷智子, 瀨瀨一起            | プレート境界地震のアスペリティのスケーリング則            | 月刊地球                              | 平成18年7月 |
| 古村孝志, 中村操                   | 1944年東南海地震記録の復元と関東の長周期地震動          | 物理探査                              | 平成18年8月 |
| 瀨瀨一起, 三宅弘恵                  | 首都圏を襲うであろう直下地震・海溝型地震と地震動           | 2006年度日本建築学会大会(関東)災害部門パネルディスカッション | 平成18年9月 |

|  |   |  |          |
|--|---|--|----------|
| 三宅弘恵, 瀨瀨一起, 古村孝志, 稲垣賢亮, 増田徹, 翠川三郎  | 首都圏の強震動予測のための浅層地盤構造モデルの構築   | 第12回日本地震工学シンポジウム論文集                                  | 平成18年11月 |
| Koketsu, K., Tanaka, Y., Hikima, K., Miyake, H., Kobayashi, R. and Ikegami, Y. | Integrated modeling and waveform tuning of regional 3-D velocity structures                                 | 2006 Seismological Society of America Annual Meeting | 平成18年4月  |
| Miyake, H., Koketsu, K., Kobayashi, R., Tanaka Y. and Ikegami, Y.              | Near-fault broadband ground motions from a megathrust earthquake: A case of the great 1923 Kanto earthquake | 2006 Seismological Society of America Annual Meeting | 平成18年4月  |
| Koketsu, K., Miyake, H., Furumura, T., Sato, H. and Hirata, N.                 | Prediction of strong ground motion from large subduction-zone earthquakes                                   | 2006 APRU/AEARU Research Symposium                   | 平成18年4月  |
| 瀨瀨一起, 三宅弘恵, 横山博文, 中村操  | 2005年千葉県北西部の地震:震源メカニズムと強震動  | 日本地球惑星科学連合2006年大会                                    | 平成18年5月  |
| 古村孝志, 中村操, 早川俊彦, 馬場俊孝  | 1944年東南海地震・1946年南海地震における関東平野の長周期地震動   | 日本地球惑星科学連合2006年大会                                    | 平成18年5月  |
| 三宅弘恵, 瀨瀨一起   | 海溝型地震における強震動予測  | 日本地球惑星科学連合2006年大会                                    | 平成18年5月  |
| 三宅弘恵, 瀨瀨一起, 古村孝志, 稲垣賢亮, 増田徹  | 首都圏下の速度構造の大大特統合モデル(3):ボーリング情報を活用した浅層地盤モデルの構築  | 日本地球惑星科学連合2006年大会                                    | 平成18年5月  |
| 小林励司, 瀨瀨一起   | 新しい3次元速度構造モデルおよび曲面状の断層面を用いて推定した1923年関東地震の震源過程   | 日本地球惑星科学連合2006年大会                                    | 平成18年5月  |

|   |  |                               |                 |
|---|--|-------------------------------|-----------------|
| 田中康久, 三宅弘<br>恵, 瀨瀬一起, 古村<br>孝志, 早川俊彦・馬<br>場俊孝, 鈴木晴彦,<br>増田徹 | 首都圏下の速度構造の大大特統<br>合モデル(2): 海溝型地震のため<br>のモデル拡張とチューニング   | 日本地球惑星<br>科学連合 2006<br>年大会    | 平成 18 年 5<br>月  |
| 引間和人, 瀨瀬一起  | 波形インバージョンによる 2 次<br>元速度層境界形状の推定と 3 次<br>元速度構造モデルの構築  | 日本地球惑星<br>科学連合 2006<br>年大会    | 平成 18 年 5<br>月  |
| 早川俊彦, 引間和<br>人, 古村孝志, 三宅<br>弘恵, 瀨瀬一起                        | 強震動予測計算のための 2004 年<br>新潟中越地震震源域の 3 次元速<br>度構造モデル   | 日本地球惑星<br>科学連合 2006<br>年大会    | 平成 18 年 5<br>月  |
| 畑奈緒未, 三宅弘<br>恵, 瀨瀬一起  | 海溝型地震の強震動生成域とア<br>スペリテイ  | 日本地球惑星<br>科学連合 2006<br>年大会    | 平成 18 年 5<br>月  |
| 竹内宏之, 古村孝志  | 関東平野における震度分布の異<br>常  | 日本地球惑星<br>科学連合 2006<br>年大会    | 平成 18 年 5<br>月  |
| Koketsu, K.,<br>Furumura, T. and<br>Miyake, H.              | Simulation of damaging<br>long-period ground motions from<br>distant earthquakes                     | SCEC-ERI<br>Joint<br>Workshop | 平成 18 年 6<br>月  |
| Miyake, H. and<br>Koketsu, K.                               | Strong motion validation in the<br>Tokyo metropolitan area   | SCEC-ERI<br>Joint<br>Workshop | 平成 18 年 6<br>月  |
| 高橋徹, 瀨瀬一起   | 境界要素法におけるグラフィッ<br>クスボードを利用した HPC   | 第 11 回計算工<br>学講演会             | 平成 18 年 6<br>月  |
| Miyake, H.,<br>Koketsu, K.,<br>Iwata, T. and<br>Asano, K.   | Long-period ground motions in<br>distance basins from the 2005<br>Kii-peninsula earthquake,<br>Japan | ESG2006                       | 平成 18 年 8<br>月  |
| Koketsu, K.,<br>Miyake, H.,<br>Tanaka, Y. and<br>Hikima, K. | Integrated modeling of a 3-D<br>velocity structure for strong<br>motion simulation                   | Seismix2006                   | 平成 18 年 9<br>月  |
| 瀨瀬一起, 三宅弘恵  | 強震動予測のための地下構造の<br>標準的なモデル化手法   | 物理探査学会<br>第 115 回学術<br>講演会    | 平成 18 年 10<br>月 |

|  |  |   |              |
|--|--|---|--------------|
| 瀬瀬一起   | 大震災の可能性  | 日本保険学会<br>平成18年度大会<br>共通論題                            | 平成18年10<br>月 |
| 瀬瀬一起, 三宅弘<br>恵, 田中康久   | 強震動予測のための地下構造の<br>標準的なモデル化手法   | 日本地震学会<br>2006年度秋季<br>大会                              | 平成18年11<br>月 |
| 古村孝志, 早川俊<br>彦, 瀬瀬一起, 馬場<br>俊孝, 金田義行, 中<br>村操                | 南海トラフ巨大地震と長周期地<br>震動   | 日本地震学会<br>2006年度秋季<br>大会                              | 平成18年11<br>月 |
| 三宅弘恵, 瀬瀬一<br>起, 小林励司, 田中<br>康久, 池上泰史                         | 首都圏における強震動評価(1):<br>関東地震   | 日本地震学会<br>2006年度秋季<br>大会                              | 平成18年11<br>月 |
| 高橋徹, 三宅弘恵,<br>瀬瀬一起   | 3次元時間域動弾性クラック問<br>題に対する高速多重極法の適用   | 日本地震学会<br>2006年度秋季<br>大会                              | 平成18年11<br>月 |
| 石瀬素子, 小田仁,<br>三宅弘恵, 瀬瀬一起                                     | 日本列島弧中央部の三次元P波異<br>方性速度構造  | 日本地震学会<br>2006年度秋季<br>大会                              | 平成18年11<br>月 |
| 田中康久, 三宅弘<br>恵, 瀬瀬一起   | 首都圏下の速度構造の大大特統<br>合モデル(4): 地殻構造とプレー<br>ト構造   | 日本地震学会<br>2006年度秋季<br>大会                              | 平成18年11<br>月 |
| 竹内宏之, 古村孝志   | 関東平野における震度分布の異<br>常  | 日本地震学会<br>2006年度秋季<br>大会                              | 平成18年11<br>月 |
| Koketsu, K.,<br>Ikegami, Y.,<br>Kimura, T. and<br>Miyake, H. | Effects of long-period ground<br>motion on distant basins: The<br>1906 San Francisco earthquake<br>and comparison with Japanese<br>cases | 2006 American<br>Geophysical<br>Union Fall<br>Meeting | 平成18年12<br>月 |
| Ishise, M.,<br>Koketsu, K.<br>Miyake, H. and<br>Oda, H.      | P-wave anisotropic velocity<br>tomography beneath the Japan<br>Islands: Large-scale images and<br>details in the Kanto district          | 2006 American<br>Geophysical<br>Union Fall<br>Meeting | 平成18年12<br>月 |

(g) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

1) 特許出願

なし

2) ソフトウェア開発

なし

3) 仕様・標準等の策定

なし