

### 3. 1. 3 首都圏での中小地震と大地震の発生過程の解明

#### (1) 業務の内容

##### (a) 業務の目的

関東の太平洋沖で進行している平成 23 年東北地方太平洋沖地震の余効滑り等により活発化した中小地震を含めた最近の中小地震の震源の決定、類型化を図る。また、古地震・古津波記録すなわち計器観測記象、歴史資料、津波堆積物等の記録を収集し、分析することで、南関東で過去に発生した大地震の地震像を明らかにし、新たな時系列モデルを構築する。これらをもとに中小地震と大地震の発生過程の関係を解明する。

##### (b) 平成 28 年度業務目的

これまでに決定した中小地震の震源・発震機構解の整理を行い、大地震によるクーロン応力変化と近年の中小地震との関係を解明する。南関東で過去に発生した大地震に関する古地震記録の収集ならびにデジタルデータ化・校訂作業を継続し、データベースを作成し公開する。収集した歴史資料を活用し、1855 年安政江戸地震等の歴史地震の新しい地震像を提示する。業務の円滑な遂行ならびに他課題と連携し、成果を纏めるための検討会を開催する。

##### (c) 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	佐竹健治	satake@eri.u-tokyo.ac.jp
東京大学地震研究所	特任研究員	村岸 純	
東京大学地震研究所	特任研究員	中村亮一	
東京大学地震研究所	特任研究員	五島朋子	

#### (2) 平成 28 年度の成果

##### (a) 業務の要約

これまでに決定した中小地震の震源・発震機構解の整理を行い、大地震によるクーロン応力変化と近年の中小地震との関係を解明した。南関東で過去に発生した大地震に関する古地震記録の収集ならびにデジタルデータ化・校訂作業を継続し、データベースを作成し公開した。収集した歴史資料を活用し、1855 年安政江戸地震等の歴史地震の新しい地震像を提示した。業務の円滑な遂行ならびに他課題と連携し、成果を纏めるための検討会を開催した。

##### (b) 業務の成果

#### 1) MeSO-net による観測データを含めた中小地震の震源・発震機構解の整理

(1) - a 「首都圏での地震発生過程の解明」から MeSO-net 検測値データの提供をうけて、2013 年 1 月 6 日～2015 年 2 月 9 日の 250 イベントの震源ならびに発震機構解の決定を行った。震源決定には HypoMH (Hirata and Matsu'ura, 1987<sup>1)</sup>)を用いた。初動が 8 観測点以上で報告されているイベントを対象に、HASHv1.2 (Hardebeck and Shearer, 2002<sup>2)</sup>)を改良した

プログラムを用いて発震機構解を推定した。速度構造は図 1 (P.116) に示す一次元速度構造を用いた。図 2 (P.116) に本年度に決定した 250 イベントの震源位置、ならびに精度の低いものを除く 230 地震に対する発震機構解の分布を示す。また図 3 (P.117) にはいくつかの地震に対する発震機構解と観測された初動の震源球表示、ならびに推定された発震機構解のばらつきを表す acceptable な発震機構解を示す。

本年度はまた、本課題においてこれまでに決定してきた 2008 年 4 月 1 日～2015 年 2 月 9 日までの 2,786 地震に対する発震機構解を整理し、カタログ化した。カタログ化した発震機構解は HASH における品質ランクが精度の高いものから順に、A、B、C のものであり、ランク D のイベントは除いた。解析にあたってランク C の発震機構解を除く方が適切な場合があるが、統計的検討などで有用な場合も想定されることから本課題では含めた。図 4 (P.118) に整理された発震機構解の分布、規模別頻度分布ならびに累積頻度曲線を示す。カタログ化された発震機構解の内訳は、ランク A が 833 個、ランク B が 1,356 個、ランク C が 597 個である。本カタログは精度良く決定された発震機構解を多く含み、応力場の時空間的な変化を調査するための貴重なデータになると期待される。なお、発震機構解の品質は観測点が稠密に展開されている首都圏中心部において高く、観測網の中心から外れるにしたがって徐々に低くなる傾向が見られる (図 5、P.119)。

同じ期間に発生した地震については、気象庁が定常観測網に基づき発震機構解を決定・公開している。そこで発震時や震源位置、マグニチュードから同一イベントと考えられる 862 組の地震ペアを抽出し、気象庁による発震機構解と本課題で決定した発震機構解を比較した。図 6(a) (P.120) に同一イベントとして抽出された地震に対する気象庁・本課題による発震機構解の例を示す。それぞれの組において左の発震機構解が本課題で決定したものを、右の発震機構解が気象庁によるものを表す。多くの地震について本課題と気象庁による発震機構解は調和的であるが、震源位置が離れた組を中心に明瞭に異なる地震も散見される。両者の発震機構解の乖離度の定量的指標として、Kagan 角 (Kagan, 1991<sup>3)</sup>) を用いた。Kagan 角はある一つの発震機構解から別の発震機構解に一致するために要する最小限の回転角を表し、小さいほど乖離度が低い。両者の発震機構解が完全に一致する場合、Kagan 角は 0 度になる。846 組の発震機構解のペアに対して Kagan 角を計算したところ、その多くは 30 度以下の値を示し、平均値と標準偏差はそれぞれ 20.8°、13.9°、中央値は 17.2° であった (図 6(b)、P.120)。

MeSO-net の稼働期間は、東北地方太平洋沖地震 (以下、東北沖地震と略記する) の前後の期間を含む。関東地方を含む広範な領域において、この地震後に顕著な地震活動変化 (特に活発化) が報告されている (例えば、Ishibe *et al.*, 2011<sup>4)</sup>)。図 7 (P.121) に東北沖地震前後の期間に発生した地震に対する発震機構解、P 軸ならびに T 軸の分布を示す。T 軸の方位分布からは、浅部において南西-北東、あるいは東西方向を向く地震が活発化したことが分かる。

## 2) 大地震によるクーロン応力変化と近年の中小地震との関係の解明

(巨) 大地震に伴う応力変化によって誘発される他の大地震、あるいは中小地震活動の変化については長年にわたり議論されてきた。その中で、近年に発生した 3 つの沈み込み帯巨大地震 (2004 年スマトラ-アンダマン、2010 年マウレ (チリ)、ならびに 2011 年東北

沖地震)の発生は、大地震によるクーロン応力変化と中小地震との関係を解明するうえで重要な契機となった。例えば Toda *et al.* (2011)<sup>5)</sup> は、2011 年東北沖地震の震源域とその周辺域において、静的クーロン応力変化 ( $\Delta CFF$ ) が正の地震の割合が、地震前に比べて地震後の方が増加したことを示した。また Ishibe *et al.* (2015)<sup>6)</sup> は、2011 年東北沖地震後の関東地方における地震活動の活発化が本震による  $\Delta CFF$  で大局的に説明可能であることを、豊富なメカニズム解に基づき示した。一方で Miao and Zhu (2012)<sup>7)</sup> は、上記の 3 地震を対象にして受け手側のメカニズム解として *optimally-oriented* な解を仮定して、本震による  $\Delta CFF$  とその後の中小地震の分布対応を調査した。その結果、本震後に  $\Delta CFF$  が正の領域で発生した地震の割合はいずれの地震に対しても 50%以下であることから、応力トリガリング仮説は沈み込み帯巨大地震に対して成り立たないと結論付けた。

様々なメカニズム解の地震が混在する領域を対象とした場合、受け手側のメカニズム解を仮定して  $\Delta CFF$  を計算すると大きな誤差を生じることがある。この誤差は実際に発生したメカニズム解を受け手側のメカニズム解として用いることで、軽減できる。そこで本年度は上記の 3 地震を対象にして、実際に発生した地震のメカニズム解を受け手側のメカニズム解として用い、大地震による  $\Delta CFF$  と中小地震との関係を網羅的に調査した (図 8、P.122)。 $\Delta CFF$  が正の場合には応力が増加し断層運動が促進される変化があったことを、負の場合には応力が減少し断層運動が抑制される変化があったことをそれぞれ示す。

2004 年スマトラ-アンダマン、2010 年マウレ、2011 年東北沖地震の震源モデルとして、津波・地震波・地殻変動等から推定された 9 つの断層モデル<sup>8)-16)</sup>を用いた。なお 2004 年スマトラ-アンダマン地震の場合には、2005 年 3 月 28 日に震源域の南方において Nias 地震が発生したため、Konca *et al.* (2007)<sup>17)</sup>による断層モデルを用いてこの地震による  $\Delta CFF$  についても評価した。受け手側の断層メカニズム解としては、1976 年 1 月から 2015 年 12 月までの GCMT 解を用いた。本震による  $\Delta CFF$  の計算には線形弾性体を仮定し、剛性率は 40GPa、見かけ上の摩擦係数は 0.1、0.4 ならびに 0.8 を仮定した。本震の発生時を基準としてその前後に 100 個ずつ地震を抽出し、抽出されたメカニズム解に対する  $\Delta CFF$  の中央値を求めた。節面の任意性があるため、ランダムに節面を選択したデータセットを 1,000 個作成し、その中で計算される中央値の平均ならびに標準誤差を推定した。そして抽出するメカニズム解を時間軸上で 50 個ずつずらして、その時間変化を調査した。

2004 年スマトラ-アンダマン地震ならびに 2011 年東北沖地震の場合、 $\Delta CFF$  の中央値は本震前にはほぼ 0 であったが、本震発生に伴って顕著に正の値を示し、時間とともに減衰する傾向が断層モデルに依らず見られた (図 9、P.122)。また本震後に発生した地震のメカニズム解に対して計算された  $\Delta CFF$  は、本震前に比べてより多くの割合で正となり、 $\Delta CFF$  によるトリガリング仮説を支持する結果が得られた。Miao and Zhu (2012)<sup>7)</sup>は、本震後に発生した地震のうち、 $\Delta CFF$  が正の領域で発生した地震の割合が半分以下であったとしたが、受け手側の断層メカニズム解の時空間的な不均質性を含めた本研究では、その割合は多くの場合で 50 %以上となった。例えば 2011 年東北沖地震において Gusman *et al.* (2012)<sup>16)</sup>の断層モデルを用いた場合、82 %以上の地震のメカニズム解に対して  $\Delta CFF$  は少なくとも一つの節面に対して正となっている。また 64 %の地震に対して、 $\Delta CFF$  が両節面に対し正になる一方、両節面に対し負となるメカニズム解の割合は 18 %弱に留まった。

2010 年マウレ地震の場合には、いくつかの断層モデルに対し上記と同様の特徴が見られ

たものの、統一的な傾向は見られなかった。Delouis *et al.* (2010)<sup>12)</sup> による断層モデルを用いた場合、本震発生後に  $\Delta CFF$  の中央値が顕著な正の値を示しその後減衰する傾向が認められた一方で、Luttrell *et al.* (2011)<sup>13)</sup> による断層モデルを用いた場合には、 $\Delta CFF$  の中央値は本震後に負の値を示して徐々に 0 に戻るような時間的推移を示した。2004 年スマトラ-アンダマン地震ならびに 2011 年東北沖地震の本震後の地震活動は、震源域の周辺において活発な誘発地震活動が観測されたのに対し、2010 年マウレ地震の場合には震源域外の誘発地震活動はそれ程活発ではない。用いた断層モデルはいずれも矩形小断層毎にすべり量が推定されており、それぞれの小断層の端で非現実的な応力集中が生じるため、断層近傍における  $\Delta CFF$  には大きな誤差が含まれる。そのため、多くの発震機構解が断層すべり面近傍に位置するマウレ地震の場合には  $\Delta CFF$  が適切に評価されておらず、このことが相違の一因として考えられる。また 2010 年マウレ地震に対しては、決定された発震機構解数が他の 2 地震に比べて少ないことも、明瞭な傾向が認められない一因として考えられる。

日本においては 1995 年兵庫県南部地震の発生以降、高感度地震観測網 (Hi-net) や広帯域地震観測網 (F-net) などの稠密地震観測網が展開され、高精度の発震機構解が決定されている。本課題では用いるカタログによる依存性を検討するため、2011 年東北沖地震を対象に、防災科学技術研究所による F-net メカニズム解を受け手側のメカニズム解として用いた場合についても、同様の検討を行った (図 10、P.123)。その結果、GCMT 解を用いた場合と同様に本震前にはほぼ 0 であった  $\Delta CFF$  の中央値が本震後には顕著な正の値を示し、徐々に減衰する傾向が認められた。

本研究は、本震すべりによる応力変化のみを考慮したものである。大地震後の地震活動変化に対するその他の寄与として、地震波の伝播に伴う動的誘発や間隙流体圧の増加に伴う断層強度の低下、余効すべり、プレート相対速度の増加、粘弾性緩和や余震による応力変化なども考えられる。本年度に得られた結果は、第一近似的には大地震による静的クーロン応力変化がその後の中小地震活動に大きく寄与している可能性を示唆するが、将来的には上記の課題を考慮した詳細な解析を実施する必要がある。

### 3) 南関東で過去に発生した大地震に関する古地震記録の収集

本年度は、1703 年元禄関東地震に関する歴史資料および地質試料を収集し、千葉県九十九里町片貝における津波到達点の検討を行なった。元禄十六年十一月二十三日 (1703 年 12 月 31 日) に発生した元禄関東地震によって津波が発生し、南関東の沿岸地域に被害を与えたことは『樂只堂年録』等の歴史資料に記されている。千葉県の九十九里地域でも人的被害が発生していたことは、既往研究によって明らかにされている (例えば都司 (2003)<sup>19)</sup>)。しかし、具体的な陸域の津波到達点については明らかにされている場所は少ない。歴史資料に書かれた津波の記述が正しいか検証するため、地質学的データの収集を行なった。両者の方法を併せることで、津波の被害地域の推定に役立つと考えられる。

#### a) 歴史資料収集と歴史学的検討

千葉県の外房地域や九十九里地域における元禄関東地震津波に関する研究は、羽鳥 (1975a<sup>20)</sup>、1975b<sup>21)</sup>、1976<sup>22)</sup>) や古山 (1982<sup>23)</sup>、1983<sup>24)</sup>、1987<sup>25)</sup>、1996<sup>26)</sup>) などがある。これらは津波犠牲者の供養碑や寺院の過去帳などを調査したものである。都司 (2003)<sup>19)</sup>

は、歴史資料から集落別の流失家屋数を明らかにしている。津波の高さについては、九十九里浜では5~6 mの高さであったと報告されている（羽鳥、1976<sup>22)</sup>）。

昨年度は、幕府への被害報告が記載されている『楽只堂年録』の原本写真を見直すことで、九十九里地域の津波被害数の検討を行った（矢田・村岸、2016<sup>27)</sup>）。片貝村（現、千葉県九十九里町片貝）では元禄関東地震の発生前後の絵図が残されており、土地利用の変化が把握しやすいため、研究対象地に選定した。片貝を含む九十九里地域では、岡集落・新田集落・納屋集落が海岸線と平行に発達した砂丘列上に分布する（菊地、1949<sup>28)</sup>）。『楽只堂年録』によると、新田集落・納屋集落を津波が襲い、死者が発生し、家屋は津波で流出したとある。新田集落よりも納屋集落の方が津波被害は大きい。片貝村では101軒以上の家屋が流され、100人以上が亡くなった。当時の各集落の位置を考慮すると新田集落地域は現在の海岸線から約1.5 km内陸の地域にあたるので、元禄関東地震津波によってこの位置まで浸水したことが窺える。一方で、現在の海岸線から2~2.5 km内陸の地域に当たる岡集落では津波の被害を受けなかった可能性が高い。

その他、津波の浸水域を示唆する記述もあり、『楽只堂年録』には「野銭場が津波で砂地になった」とある。『天和二年九月二十二日上総国山辺郡荒生村片貝村溜池境割絵図』<sup>29)</sup>から、野銭場は芝地であり、この村では芝地は海沿いにあることがわかった。この芝地（野銭場）までは津波が到達した可能性がある。このように九十九里地域では、新田集落・納屋集落と野銭場に津波が到達していたことがわかった。

## b) 地質試料採取と地質学的検討

歴史学的検討により元禄関東地震時の津波浸水域が明らかになった九十九里町片貝において、津波堆積物調査を実施した。歴史資料の他に明治期に作成された迅速図と戦後の米軍撮影の空中写真も参考にしながら津波堆積物が保存されやすい沼地や湿地帯であった地点を抽出し、現地の土地利用等も考慮した上で、九十九里町片貝の水神山地区ならびに川間地区を調査地として選定した（図11、P.124）。

### i) 試料採取

長さ1.5 mのハンディージオスライサーを用いて掘削作業を実施した。水神社地区において14本、川間地区において4本掘削した。

### ii) 地質試料の分析

採取したサンプルは東京大学地震研究所に持ち帰り、川間地区で採取したKSG201617（試料長110 cm）について各種各分析（目視記載・粒度分析・微化石分析・強熱減量）を実施した（図12、P.125）。

#### ① 堆積相の記載

表層から稲混じりの水田土壌（深度0-20 cm）、粘土塊を含む人工的な盛土（深度20-32 cm）、湿地性の泥堆積物（深度32-46 cm）、淘汰の良い細粒砂から成るパッチ状の砂塊（深度46-47 cm：以後S1と記載）、湿地性の泥堆積物（深度47-56 cm）、細粒砂からなる砂層（深度56-59 cm：以後S2と記載）、湿地性の泥堆積物（深度59-62 cm）、平行葉理や泥塊が挟在する細粒砂層（深度62-71 cm：以後S3と記載）、湿地性の泥堆積物（深度71-75 cm）、

細粒砂を主体とする砂質シルト層（深度 75-77 cm : 以後 S4 と記載）、湿地性の泥堆積物（深度 77-85 cm）、未分解の植物片を含む淘汰の良い極細粒砂層（深度 85-110 cm）であった。

地質試料から検出されたパッチ状の砂塊（S1）および砂層（S2、S3、S4）の 4 層は、いずれも下位層との明瞭な侵食面が認められる。S2 は下位の S3 と一連の堆積構造を示すとも考えられる。最下部の植物片を含む極細粒砂層は淘汰が良く無構造であるため、古砂丘堆積物とみられる。

## ② 粒度分析

島津製作所製レーザー回折式湿式粒度分布測定装置（SALD-3000S）を用い、粒度分析を実施した。ファイ（φ）スケールで得られた粒度分布のデータを粒度区分の名称で整理し、各区分の重量%を棒グラフで示した。粒度分布は目視記載とよい対応を成しており、粗粒層 S1~S4 の粗粒層は中粒砂~粗粒砂を多く含む。

## ③ 微化石分析

石灰質ナノ化石（*Coccolith* : 円石藻）は浮遊性であり、海洋表層域に生息している。津波堆積物研究においては、この石灰質ナノ化石は海由来のイベント堆積物の証拠として有用である（例 : Goto *et al.*, 2015<sup>30)</sup>）。スメア・スライドを作成し、ナノ化石の産出頻度を調べた。表層部の水田土壌と細粒層 S3（深度 65 cm）、および細粒砂層 S4（深度 72 cm）から石灰質ナノ化石が産出した。砂層の形成時に海水の流入があったものとみられる。

### iii) イベント層の認定

表層部については、2011 年東北地方太平洋沖地震時に河口沿いに遡上した津波が水田水路にも影響を及ぼした結果と考えられる。粗粒砂層の下位層との明瞭な侵食面・葉理・マッドクラスト等の特徴的な堆積構造は、ある程度の流速を伴う水流下で形成されたものと推察される。S3 や S4 の粗粒層において海生微化石が多産することも、海水によって粗粒砂が本調査地まで運搬された可能性を支持する。S1 や S2 では海生微化石の産出は認められないが、下位層との明瞭な侵食面を有することから、何らかの水流を伴うイベント層とみられる。

### iv) イベント層の堆積年代

放射性炭素年代測定によりイベント層 S1~S4 の堆積年代推定を行った。イベント間の湿地性堆積物の各深度において年代測定試料を採取し、<sup>14</sup>C 年代測定を行った結果、各深度で S1 直下（266±22yrBP）、S2 直上（221±23yrBP）、S3 直下（641±24yrBP）、古砂丘中の上位（955±23yrBP）の測定値を得た。測定値の暦年較正年代の計算には、IntCal13 データベース（Reimer *et al.*, 2013<sup>31)</sup>）と OxCalv4.2 較正プログラムソフト（Bronk Ramsey, 2013<sup>32)</sup>）を使用した。各堆積年代は S1（1640calAD~現在 : 標準偏差 2σ）、S2（1530-1800calAD）、S3（1310-1660calAD）、S4（1130-1390calAD）となった。

これらの堆積年代より、S1~S4 のイベント層準は 12 世紀半ば以降に堆積していたことがわかった。S1 や S2 の堆積年代は、九十九里地域に襲来した津波として歴史記録の残る 1677 年延宝房総沖地震津波や 1703 年元禄関東地震津波の可能性はある。S3 や S4 は 1677 年延宝房総沖地震津波や 1703 年元禄関東地震津波より前に発生した津波の痕跡である可能性がある。

#### 4) 関東地方における歴史地震史料のデータベースの作成

歴史地震の研究の基礎となる史資料は、『新収日本地震史料』<sup>33)</sup>等の資料集として刊行されている。最近ではデータベース化が進み、古代・中世に発生した歴史地震の史資料は、『古代・中世地震・噴火史料データベース』(例えば石橋・古代中世地震史料研究会、2011<sup>34)</sup>)に電子化されている。一方で近世に発生した歴史地震の史資料はその量が膨大なため、『ひずみ集中帯史資料データベース』<sup>35)</sup>などのわずかな例を除きアナログ媒体のままである。

関東地方では、江戸幕府が開府された17世紀初頭以降の歴史資料が多く残されている。これらの史料に基づき震度の推定、地震像の解明が行われてきたが、史料をキーワード等による検索機能付き電子データベース化することは、今後の歴史地震研究を効率的に実施するために重要である。そこで本課題では、関東ならびにその周辺域において、江戸時代以降に発生した顕著地震に対する史資料データベースの構築と公開を目標として、史資料の収集・デジタルデータ化を実施してきた。

平成24年度には、1600年以降1703年元禄関東地震までを対象に、平成25年度には1703年元禄関東地震の後、江戸時代に発生した顕著地震のうち、17地震に関する史資料の収集・デジタルデータ化を実施した。この他、文化九(1812)年の神奈川地震、嘉永六(1853)年の小田原地震ならびに安政二(1855)年の江戸地震(一部)については、『首都直下地震防災・減災特別プロジェクト』においてデジタルデータ化が実施されている。平成26年度にはデジタルデータ化を実施した37地震を対象にして、史料の翻刻文が記載された刊本や原史料に遡って記述が正しいか精査する校訂作業を開始した。平成27年度も引き続き、校訂作業を行ったほか、データベースの公開を目標としてデータベースのプロトタイプを作成した。また、これまでに校正あるいは校訂作業を行った地震に対する史資料を用いて、データベースのプロトタイプにおいて史料名や発震時、キーワードなどの検索機能が正常に動作することを確認した(図13、P.126)。

本年度は、データベースの構築に関して学会で発表(村岸・他、2016<sup>36)</sup>、村岸・他、2016<sup>37)</sup>)をし、研究者から意見を伺った。またグループ内の検討会においてデータベース公開方法について検討し、1703年元禄関東地震、1855年安政江戸地震、関東地方で発生したその他の顕著地震の3種類のデータベースとして公開することにした。

1703年元禄関東地震の史資料データベースは、史料学的検討が加えられており、未刊の史料も含まれている。1855年安政江戸地震の史資料データベースは既刊資料集の内、本プロジェクトで使用した史料に加えて未刊の史料も含まれている。また安政江戸地震発生時の史料記述のみならず、その前後の長期間にわたる記述も載せている。江戸時代に関東地方で発生した地震の史資料データベースは、既刊資料集の内、史料学的検討を加えることができた史料を掲載している。これらのデータベースは平成28年度中に公開を予定している。

#### 5) 1855年安政江戸地震等の歴史地震の新しい地震像

##### a) 史料学的検討

宇佐美(1995)<sup>38)</sup>や中村・松浦(2011)<sup>39)</sup>は、史料記述から詳細な震度分布図を作成し、首都圏での被害などを報告している。既往研究の多くは、主に江戸市中を研究対象として

おり、江戸市中よりも離れた地域では被害の有無や程度に不明な点が残されている。

### i) 『公私日記』に基づく多摩地域の被害

多摩地域では『鈴木平九郎公私日記』<sup>40)</sup> (以下、公私日記と略記する) が残されている。多摩郡柴崎村 (現・立川市柴崎町など) の名主を務めていた鈴木平九郎によって書き綴られた日記である。筆者の鈴木平九郎が自分の村で地震に遭遇したときの様子と、地震発生から二日後に息子の周介とともに江戸に赴き見聞したことが記述されている (馬場, 2015<sup>41)</sup>)。

『公私日記』の安政二年十月三日条には「昨夜四ッ時過大地震、此辺灯燈不消、棚之もの不落ほと二而去年方ハゆるやかなりといえとも、夜中之儀ニ而騒動大方ならず、夫方小震十余行夜明迄諸人寝ニ不附、最初大地震之後直ニ東方明し、必定江戸大火之やうす也、然ル所今日追々評判之所 御府内大地震 御様子始諸侯方市中共都而江戸中惣潰れ、惣崩れ、火事三十余ヶ所との事也」とあり、安政江戸地震が発生した際の記述がある。日野宿あたりでは大きな被害はなかったようで、その後の余震と思われる地震や地震後の江戸市内の様子について書かれている。

安政二年十月五日条には、「四ッ時方出立、新町昼食出府之所、代田橋半崩、車馬止新町横堀同断、燈籠等皆崩れ、四ッ谷大木戸方先水道万年笥崩れ往来所々穴明キ、かうし町・十三町周辺方御堀端迄半潰れ之家々多、四ッ谷御門石垣迄惣崩れ、(後略)」とあり、甲州街道を江戸に向けて記主らが出発したことが書かれている。途中の代田橋は半崩であったようで代田橋付近から江戸市中にかけて被害が大きかったことがわかる。日野から代田橋までは被害の記載がないことから被害が小さかったと推定できる。被害の大小の境界が代田橋付近の可能性がある考えられる。

続いて安政二年十月十日条では、「御支配所村々地震之様子詰合之者惣代ニ而書面差出候やう御差図に付、当最寄村々、御府内とは格別之違ニ而家蔵壁・家根等ハ損候得共、火事并人馬怪我等も無之、急夫食等願出候ほとニは有之間敷旨平九郎・木曾次郎兵衛兩人連印書面上ル」とある。日野宿寄場組合四十四ヵ村の惣代に被害報告を出すようにとの命令があり、家蔵の壁・家根等の損傷はあるが、火事も人・馬の怪我はないとの報告書を提出している。このことから、日野宿寄場組合四十四ヵ村全体で潰家・半潰家はなく、立川市柴崎と同じ程度の被害であることがわかる。

安政二年十月十三日条には「東海道神奈川辺強く、中山道大宮宿迄、日光海道幸手宿迄、葛西式合半・行徳・船橋辺分て崩多」と、被害が大きかった地域が記述されている。葛西式合半は二郷半領で、現在の埼玉県三郷市付近である。この記事は伝聞であるが、震災直後にそれほど被害がなかった地域の人が認識していた安政江戸地震の被害の範囲を示しているものと思われる。

### ii) 体感による安政東海地震との揺れの比較

1854年安政東海地震時の揺れの大きさと1855年安政江戸地震時の揺れの大きさを比較した記述がある。

#### ① 柴崎村 (東京都立川市柴崎)

『公私日記』の安政二年十月三日条に「去年方ハゆるやかなり」とあり立川市柴崎では、



安政江戸地震時の揺れは前年の安政東海地震のよりは緩やかだったと記述している。1854年安政東海地震時の記述（嘉永七年十一月四日条）には「△今日四ッ時頃大地震、四十式々年来覚なし、夫方ゆり返し之小地震昼之内八・九度返、夜中明朝江かけ十四・五度返也」とあり、江戸での被害の程度は不明であるが大きな揺れであったと読み取れる。嘉永七年十一月七日条には「△去ル四日地震之事、御府内も所々家根瓦等を落し、余ほと之ふるひのよし読売出ル、別而甲府御城所々崩れ、市中不残ゆり潰し、沼津御城市中・信濃飯田同断、都而甲・信・駿州辺迄大震ひ、人馬も損し候よし之評判、当最寄も小仏峠向迄ハ人家余ほと潰れ候趣也」と江戸ではなく日野よりも西側の地域で被害が大きかったことが書かれている。このことから安政東海地震より安政江戸地震の揺れの方が小さく感じたようである。

## ② 鹿島神宮（茨城県鹿嶋市）

多摩地域以外にも安政東海地震と比較した史料がないか検討した。『桜齋随筆』（鹿島則孝編，2000<sup>42)</sup>）は、鹿島神宮の宮司家の鹿島則孝の編著による史料である。『桜齋随筆』（安政二年十月二日条）では「夜四ッ時大震昨寅年よりも甚しく近年に覚無き震也」と、安政東海地震よりも安政江戸地震の方が揺れが強かったと述べている。また「鹿島にてハ齋垣内右ノ方石灯籠式棊倒テ楼門西面多額此方□ニ而水戸領方奉納釣り糸切れ又御饌殿前鉄の用心水の器乃水溢れたり燈火ゆり消ゆるほとにては無し」と鹿島神宮内の安政江戸地震での被害を報告している。鹿島では安政江戸地震の方が強かったという。

## ③ 宝珠院（千葉県南房総市）

村岸・佐竹（2015）<sup>43)</sup>で報告した『安政二乙卯日記』（宝珠院文書）の寺院の日記（安政二年十月二日条）では「昨十一月四日とは相違ニ而、餘り急速ニ而戸をあけ候間も無之、乍去夜分止候得共、昨年之倍増、朝所々破損不可数候、庫裏ハ中通り者棟落、瓦破れ夥敷候、石碑等大般臥たをれ、石灯籠同断、宝篋印塔同断」とある。南房総では、安政江戸地震の方が強く、揺れも急にきたと推測することができる。

## ④ 黒谷村（さいたま市岩槻区）

現在のさいたま市岩槻区内では、『万代記録帳』<sup>44)</sup>によると、「一安政二卯十月二日亥刻大地震ニて当所も余程大きく、当家用障子等はつれ当村光善院宝経塔くづれ、其外石塔たおれ昨年よりも大きくゆるき、其外家々ニて少々つゝは痛中にた小家等はつぶれ候も有之、二日夜度々ゆるぎ三日朝迄ニ凡廿度もゆるぎ申候（以下、江戸の被害が書かれている・後略）」とあり、安政江戸地震の揺れが強かったことがわかる。

### iii) 家屋倒壊率の再検討—武蔵国幸手領・川崎領—

歴史地震の規模を導き出す家屋倒壊率について、 $[(全潰戸数) + 0.5 \times (半潰戸数)]$ を全戸数で除したものをパーセントで示し、これを家屋倒壊率とすることは、半潰がどのようなものであるのかが明確にされていないことから問題であり、現段階では家屋倒壊率は家屋全壊率とするのが妥当である（矢田，2016<sup>45)</sup>）。

中村・他（2003）<sup>46)</sup>によると、安政江戸地震の被害の中心は江戸中心部と武蔵国葛飾郡幸手領（埼玉県幸手市とその周辺地域）の2つに分かれている。安政江戸地震の幸手領被害は、『(安政二年十月)大地震ニ付潰家其外取調書上帳 幸手領村々』（52か村）（以下では史料Aと呼ぶ）の分析によって導かれた結果で、史料Aの検討結果は宇佐美・他（2013）

47)にある。

史料 A は、『(安政二年) 十月五日平須賀村地震被害覚』(以下では史料 B と呼ぶ) と合わせて検討することが必要である。史料 A にある幸手宿の家数は建造物の数ではなく世帯数であり、「潰家同様〇〇棟」(史料 A) は潰家同様に被害を受けた居宅以外の建造物を含む数値である(加藤, 2006<sup>48)</sup>)。史料 B を検討すると、幸手領平須賀村の場合、「潰家同様」8 棟(史料 A) の内訳は居宅だけでなく、小屋や土蔵・門までも含まれることがわかる。また、建造物を複数所有する者もいることがわかる。史料 A の「潰家同様〇〇棟」の項目に記された被害数は家屋倒壊率を導き出すための被害数にはならない。つまり、幸手領の家屋倒壊率は、皆潰の被害数から導かねばならない。幸手領の家数は 5,051 軒、潰家は 17 軒(史料 A) であることから、幸手領の家屋倒壊率は 0.3% となる。よって、安政江戸地震の被害の中心の一つとして幸手領を位置づけることはできない。

武蔵国橘樹郡川崎領の被害率については宇佐美・他(2013)<sup>47)</sup>の検討があるが、根拠が明示されていない。また『安政三年領中村々潰家江施入名前書留』<sup>49)</sup>は安政三年八月二十五日の台風の被害史料なので、この史料は安政江戸地震の検討対象外となる。「安政二年十月大地震ニ付領中村々潰家破損御取調書上帳控」(16 か村)によると、川崎領の家数は 1726 軒、皆潰軒数は 21 軒とあり、家屋全壊率は 1% となる。川崎宿の西隣の神奈川宿の全壊率は 3% で(村岸・他, 2016<sup>50)</sup>)、多摩川以西の川崎領・神奈川宿地域の家屋全壊率は 1~3% となる。したがって多摩川より西の川崎領・神奈川宿地域は安政江戸地震の被害の中心地域に含まれないことは明白である。

## b) シミュレーション及び異常震域の検討による震源像について

安政江戸地震の深さについては様々な先行研究がなされており、まずそれらをまとめた。次に、三次元減衰構造を考慮した震度予測と史料調査によって得られた震度分布との比較を行った。震度予測は、全国対象と関東周辺対象の 2 種類に分けて実施した。また、近年の地震の震度分布の特徴と史料から推定される安政江戸地震の震度分布の特徴を比較した。これらを通して、安政江戸地震の震源像をより明らかにすることができた。

### i) 先行研究における震源位置の議論

深さの推定には、史料調査から推定された被害や震度分布に基づくものと体験記録に基づく P-S 時間から推定したものがあり、活断層と対応付けられる浅い地殻内地震から、深さ 100 km 程度までの様々な可能性が示されている。例えば、松田(1995)<sup>51)</sup>は、「主要起震断層の表」において荒川断層に安政江戸地震を対応づけているが、その根拠については特に記載がない。

宇佐美(1976)<sup>52)</sup>は、震度から推定される被害等級と震源深さの経験的關係から、M6.9 で深さは 40 km 以浅とした。当時新しく判明した被害記録において木更津の被害の多さに着目し、震央は従来考えられていたより南(木更津と羽田の間、あるいは木更津付近が南限)とし、関東南部の地震の巣を震央とすると深さ約 50 km になるとした。ただし、安政江戸地震の震源が定常的な地震の巣の中になくても良いことから、その決め手はないとした。

Bakun(2005)<sup>53)</sup>は、独自に求めた距離減衰式により、フィリピン海プレート上面の地震が

安政江戸地震の震源として最適であると推定している。浅い地震と深い地震それぞれに対して導出した距離減衰式と、安政江戸地震による震度データ（震央距離 700 km 程度まで）を用いて、深さが 30 km 程度で地震規模 M7.2 が最適であったとした。

古村・竹内（2007）<sup>54)</sup>は、プレート構造を考慮したモデルで有限差分法による数値シミュレーションを行い、明治東京地震や安政江戸地震の震度分布と比較検討した。震度 IV が広域的に分布する安政江戸地震の震度分布の特徴を説明するためには、地殻内を S 波が全反射しながら伝わる Lg 波を考えることにより説明が可能であることから、浅い地殻内地震の可能性を示唆した。

中村・他（2007）<sup>55)</sup>は、近年に発生した深さ 60~80 km の地震による震度分布には東京湾北部から北西方向に“くびれ”があり、同様の特徴が安政江戸地震にも見られる（図 14、P.126）ことから東京湾北部付近の深さ 60~80 km 程度であることを支持した。ただし、三次元減衰構造を用いて震度予測を行いフィリピン海プレートに関係する地震としたものの、フィリピン海プレート上面、プレート内部あるいはフィリピン海プレートと太平洋プレートの境界などの判定はできなかったとした。

1997 年ごろ以降、防災科学技術研究所の K-NET や KiK-net による高密度強震観測が行われるようになり、これらを用いた経験的グリーン関数による検討が引田・工藤（2001）<sup>56)</sup>や佐藤（2016）<sup>57)</sup>により行われている。前者は深さ 68 km 程度のフィリピン海プレートと太平洋プレートの境界、後者は深さ 60 km 程度のフィリピン海プレート内の位置に断層面を想定し、関東地方周辺の震度分布を説明できることを示した。前者は、1998 年の地震（M5.1）の記録を用いたが、後者は 2005 年の地震（M6.0）の記録を用いている。

中央防災会議（2013）<sup>58)</sup>は、統計的グリーン関数を用いて都心部における最大震度を説明するためのモデルとして、フィリピン海プレート内の深さ 40 km 前後の位置に断層を設定している。

体験記録に基づく P-S 時間から震源を推定したものについては、歌舞伎役者中村仲蔵の『手前味噌』が最も有名である。萩原（1990）<sup>59)</sup>は、歌舞伎役者中村仲蔵の記事から P-S 時間を 10 秒程度と読み取り、深いプレート間地震の印象が強いとし、近年の地震の P-S 時間から深さ 100 km 程度の可能性も指摘している。中村・他（2003）<sup>46)</sup>は、中村仲蔵以外の揺れの時間経過を示す史料についても調べ、P-S 時間を 5~10 秒の間と推定し、深さ 40~50 km のフィリピン海プレート内の地震と推定している。なお、宇佐美（1983）<sup>60)</sup>は、中村仲蔵の史料により揺れだしてから 3~5 秒で強い主要動がきて家が倒れるまで 10 秒ぐらい間があったと解釈している。

## ii) 広域震度分布シミュレーション

### ① 先行研究の断層モデルによる検討

安政江戸地震は、上述したように、引田・工藤（2001）<sup>56)</sup>、中央防災会議（2013）<sup>58)</sup>及び佐藤（2016）<sup>57)</sup>によって断層モデルが設定されている。断層位置は、いずれもフィリピン海プレートに関するものであるが、引田・工藤（2001）<sup>56)</sup>はフィリピン海プレートと太平洋プレートの境界に、中央防災会議（2013）<sup>58)</sup>及び佐藤（2016）<sup>57)</sup>はフィリピン海プレート内部に断層面を想定している。

昨年度は引田・工藤（2001）<sup>56)</sup>及び中央防災会議（2013）<sup>58)</sup>のモデルによって三次元減

衰構造(中村, 2009)<sup>61)</sup>を考慮した統計的グリーン関数によって広域震度分布を計算した。今年度は佐藤(2016)<sup>57)</sup>によるモデルを用いた広域震度分布の予測を実施した。それらの結果をまとめて図15(P.127)に示す。図中には、昨年度に実施した史料の詳細な検討により判明した震度を重ね描いている。これらを見ると震度分布の広がりには多少差があるものの、いずれのモデルも、史料に基づく有感域が東北日本にも西日本にも広がる傾向を、概ね説明できていると考えられる。なお、中央防災会議(2013)<sup>58)</sup>や佐藤(2016)<sup>57)</sup>は、両者ともフィリピン海プレート内の地震として扱っているが、佐藤(2016)<sup>57)</sup>による震度分布は中央防災会議(2013)<sup>58)</sup>に比べて、やや小さめである。短周期地震動をもたらす強震動生成域について、中央防災会議(2013)<sup>58)</sup>及び佐藤(2016)<sup>57)</sup>の与えた応力降下量 $\Delta\sigma$ は、それぞれ52MPa及び54.2MPaとほぼ同等なのに対して、地震モーメント $M_0$ はそれぞれ $3\times 10^{19}$ Nm及び $9.37\times 10^{18}$ Nmである。佐藤(2016)<sup>57)</sup>の地震モーメントは中央防災会議(2013)<sup>58)</sup>に比べて約三分の一となっており、震度分布が小さめであるのは、この違いによると考えられる。

以上のことから、安政江戸地震の広域的な震度分布は、既往研究の断層モデルのいずれでも大局的には説明可能であることがわかる。しかしながら、安政江戸地震の震源がフィリピン海プレート内か、その上面か下面かの区別は広域震度分布からは困難であると考えられる。

## ② 太平洋プレート内の地震による検討

萩原(1990)<sup>59)</sup>によって、震源深さが100km程度であった可能性が指摘されている。そこで深さ100kmの点震源を仮定し、三次元減衰構造(中村, 2009<sup>61)</sup>)を考慮し、得られたフーリエスペクトルから、経験式(中村・他, 2016<sup>62)</sup>)により震度に変換した。その結果を図16(P.128)に示す。これを見ると、震度分布は西日本よりむしろ東北日本に延びる傾向があり、図14(P.126)のフィリピン海プレートに関係する地震に比べて説明性が劣ることから、太平洋プレート内の地震の可能性は低いと思われる。

### iii) 詳細な減衰構造モデルによる関東周辺の震度分布シミュレーション

広域震度分布シミュレーションでは、中村(2009)<sup>61)</sup>のモデルのブロックサイズは、東経、北緯及び深さ方向にそれぞれ $0.2^\circ$ 、 $0.2^\circ$ 及び30kmと、詳細な予測をするには粗すぎる。そこで、新たに、関東周辺に限って、より詳細な三次元減衰構造を求め直して検討を行った。このブロックサイズは $0.1^\circ$ 、 $0.1^\circ$ 及び5kmである。インバージョンの手法は中村(2009)<sup>61)</sup>と同じであり、データは2016年7月までの防災科学技術研究所のK-NET及びKiK-netの強震記録によっている。この構造により震度予測を行った。点震源を仮定し、得られたフーリエスペクトルから、経験式(中村・他, 2016<sup>62)</sup>)により震度に変換した。図17(a)(P.129)には、震源深さ50kmで震央位置を北緯 $35.7$ 度線上とし、 $M_w7.0$ 、応力降下量を50MPaとした場合の気象庁の震度観測点位置の工学基盤上での計算震度を示す。またJSHISの250mメッシュによる増幅を考慮し、地表の震度にした結果を図17(b)(P.129)に示す。これらを見ると、工学基盤上で観測に見られた“くびれ”に相当する震度がみられることがわかる。これは、あくまで計算結果であるが、深さがフィリピン海プレート/太平洋プレートの境界より浅い場所の地震でも“くびれ”が生ずる可能性があると考えられる。このことから、“くびれ”はフィリピン海プレート内の震源の可能性を否定するものでない

と結論付けられる。

#### iv) 異常震域の検討

関東の異常震域現象については、Nakanishi and Horie (1980)<sup>63)</sup>や中村・他 (2007)<sup>55)</sup>の研究があり、両者とも深さ 60~80km で発生した地震の震度分布を調べた。前者は、東京湾北部・中部付近の地震による震度が震央よりも西側の東京・横浜・網代・大島などで大きくなることを指摘し、フィリピン海プレートに沿って地震波が減衰せずに伝わったためと解釈した。また後者は、東京湾北部から茨城県南西部の地震について調べ、茨城県南西部で発生した地震による震度は北西方向に大きく、東京湾北部の地震による震度は南西方向に大きいことを指摘し、関東地方の深さ 40-60 km 付近にある北西-南東方向に伸びる Low-Q 域が原因であると考えた。また、既に述べたように中村・他 (2007)<sup>55)</sup>は、深さ 60~80 km の地震による震度分布をみると東京湾北部から北西方向に“くびれ”があり、それが安政江戸地震の震度分布にも見られることを指摘した。

今年度は、フィリピン海プレート/太平洋プレートの境界の地震に対して、より詳細に震度の特徴を検討した。つまり、安政江戸地震は、江戸市中における震度が非常に大きいという特徴があり、そのような特徴が、実際にフィリピン海プレート/太平洋プレートの境界の地震において見られるかを調べた。

図 18(a) (P.130) に安政江戸地震の震度分布を宇佐美・大和探査 (株) (1994)<sup>64)</sup>に基づき示す。また、図中の矩形部分において、大手町からの距離と震度の関係を図 18(b) (P.130) に示す。図 19(a) (P.130) は、これらの震度分布を防災科学技術研究所 JSHIS の 250 m メッシュデータの工学基盤 ( $V_s=400\text{m/s}$ ) から地表までの最大速度に対する増幅率 ARV を考慮して基盤相当に補正したものであり、図 17 (P.129) と同様に矩形範囲において大手町からの距離と震度の関係を図 19(b) (P.130) に示す。震度の増幅  $\Delta I$  は、翠川・他 (1999)<sup>65)</sup>の震度と最大速度の関係を踏まえ、次のように与えた。

$$\Delta I = 1.72 \log_{10}(\text{ARV})$$

これらを見ると、江戸 (大手町周辺) の震度は非常に大きく、その傾向は、地盤増幅を考慮しても変わらないことがわかる。

一方、近年のフィリピン海プレート/太平洋プレートの境界の地震として、期間が 2004 年から 2011 年で、地震規模 M4.5~M5.5、震源深さ 60~80 km の地震を抽出した。これらの多くは、メカニズムからフィリピン海プレート/太平洋プレートの境界と考えられる地震である。また、安政江戸地震と同様に矩形範囲で大手町からの距離と震度の関係を調べた。これらを図 20 (P.131) に示す。これらを見ると、東京湾北部~千葉県北西部で発生したフィリピン海プレート/太平洋プレートの境界の地震による震度は、大手町周辺より、むしろ神奈川県で大きく、安政江戸地震が江戸 (大手町周辺) で大きいこととは性状を異にしていることがわかる。

以上のことから、フィリピン海プレート/太平洋プレートの境界で発生した地震の震度は、江戸で大きくはならず、安政江戸地震の震度分布とは特徴が異なることがわかる。

#### v) 安政江戸地震の震源像に関する議論及びまとめ

上述したように、中村・他(2007)<sup>55)</sup>は、深さ60~80 kmの地震により東京湾北部から北西方向に震度分布に“くびれ”ができ、それが安政江戸地震にも見られるという共通性を指摘した。安政江戸地震のこの傾向は、村岸・矢田(2016)<sup>66)</sup>の研究からも伺える。すなわち、鈴木平九郎『公私日記』では、筆者が立川から甲州街道を江戸に向かって出発し、代田橋で被害が見られ始めたことが記され、その記述から代田橋の東側で急に被害が大きくなっている状況がうかがえる。この甲州街道のルートは丁度“くびれ”の位置に対応する。

今年度、異常震域を検討した近年の地震(図20、P.131)でも、同様の傾向が見られるが、これら深さ60~80 kmの地震では、大手町周辺よりも、むしろ神奈川県で大きくなる傾向となり、安政江戸地震の震度分布の特徴とは異なる。

大手町で震度が大きくなるためには、①震源がフィリピン海プレート/太平洋プレートの境界よりも浅く江戸に近いこと、または②震源特性により江戸での地震動が大きくなる必要があると考えられる。①については、幾何学的に震源距離が近くなることにより震度が大きくなるのは理解しやすい。②については、断層の破壊過程などの効果がでてくるため、特定しにくいと考えられる。一般的には、破壊伝播方向に向かって地震動が大きくなる(例えば司・翠川, 2001<sup>67)</sup>) が、フィリピン海プレート/太平洋プレートの境界の地震の場合には、断層面が低角であり、断層面上の破壊が江戸に向かってくるようなことがなく、このために江戸だけで震度が大きくなることは考えにくい。

以上のことから震源位置は、フィリピン海プレート/太平洋プレートの境界でなく、それよりも浅いと考えるのが適切であろう。また、詳細な減衰構造モデルによる関東周辺の震度分布シミュレーションからは、フィリピン海プレート/太平洋プレートの境界よりも浅い場所でも“くびれ”が生ずることが予測された。このことから、安政江戸地震は、フィリピン海プレート内あるいはフィリピン海プレート上面の可能性が高いと推定される。

なお、既往研究の概要でも述べたように Bakun(2005)<sup>53)</sup>は、独自に求めた距離減衰式によりフィリピン海プレート上面の地震を最適と推定している。彼が用いた式により2005年7月23日千葉県北西部の地震(M6.0, h=78 km)の震度予測を行ったものを図21(a)(P.132)に示す。これによると、震源距離とともにO-Cが最初は減少するが、途中から増加するような大きなずれが生じていることがわかる。同じ地震について、三次元減衰構造を用いた予測では、図21(b)(P.132)に示すように、このようなずれはない。このことは、フィリピン海プレート上面の可能性を否定するものではないものの、それを裏付ける根拠が一つ減ったということができる。

#### 6) 検討会・打ち合わせの開催

本課題は、地形・地質学、日本史、地震学を専門とする研究者が協力して進める分野横断型の研究課題である。また、(1)- a「首都圏での地震発生過程の解明」、(1)-b「プレート構造・変形過程と地震発生過程の解明」、(1)- d「首都圏の過去の地震活動に基づく地震活動予測手法の確立」等の他課題と連携して業務を遂行している。そこで円滑な業務の遂行ならびに他課題との連携のため、平成26年度までに9回の検討会・打ち合わせを実施してきた。本年度は、2016年6月2日に東京大学地震研究所において第1回(通算第10回)

検討会・打ち合わせ（図 22、P.132）を、2017 年 1 月 26 日に東京大学地震研究所において第 2 回（通算第 11 回）検討会・打ち合わせを実施し、安政江戸地震の震源像解明、史料データベースの公開に向けてなどの議論をした。

### （c）結論ならびに今後の課題

本年度は、(1)-a「首都圏での地震発生過程の解明」から MeSO-net 検測値データの提供をうけて、本課題においてこれまでに決定してきた、2008 年 4 月 1 日～2015 年 2 月 9 日までの 2786 地震に対する発震機構解を整理し、カタログ化した。構築したカタログは、2011 年東北地方太平洋沖地震の前後の期間を含んでおり、首都圏における応力場の時空間的な変化を議論するための貴重なデータになるものと思われる。本プロジェクトでは、マニュアル検測によって読み取られた初動に基づき発震機構解を推定したが、マニュアル検測には限界がある。首都圏地震観測網（MeSO-net）では連続波形記録がほぼ欠測なく観測、蓄積されており、将来的にはこの連続波形記録を十分に活用することで、より高精度、より多くの発震機構解を推定することが望ましい。自動検測処理の導入が一つの解決方法であろうが、例えばその中間的な解決策として発震機構解がマニュアル検測により決定されている地震波形との相互相関係数を用いた断層タイプの推定が挙げられる（Nakamura *et al.*, 2016<sup>68</sup>）。

2011 年東北地方太平洋沖地震後の関東地方における地震活動変化が、本震ならびにその直後に発生した M7 級地震による静的クーロン応力変化で、大局的には説明可能であることを、MeSO-net 初動を用いて推定した発震機構解を含む豊富な発震機構解に基づき明らかにした（Ishibe *et al.*, 2015<sup>6</sup>）。しかしながら、今後は粘弾性緩和による応力再分配の効果が関東地方に徐々に及ぶことが予想され、長期的な地殻活動の予測には粘弾性を考慮する必要があると考えられる。粘弾性を含めた長期間のモデル計算が現状では観測によって十分に検証されているとは限らず、モデル計算から予想される地震活動の変化が MeSO-net で観測されるのかどうか、興味深い。

南関東で過去に発生した大地震に関する古地震記録の収集について、歴史的ならびに地質学的な検討を行った。『楽只堂年録』の記載及び海岸線と平行に発達した砂丘列上の各集落の位置を考慮すると、1703 年元禄関東地震により九十九里町片貝の水神山地区・川間地区まで津波が到達していた可能性が示唆された。また、当地域において過去の浸水イベントの痕跡とみられる地質層準を検出することができた。これらの堆積年代は 12 世紀半ば以降と推定されることから、1677 年延宝房総沖地震津波や 1703 年元禄関東地震津波より以前に発生した津波の痕跡も含んでいる可能性がある。未知の津波を含め、元禄関東地震津波の南関東沿岸での浸水状況は必ずしも明らかになっていないため、今後も歴史資料と地質調査を組み合わせた総合的な調査を継続することにより、津波被害の全体像を詳細に掴むことができると考えられる。

関東地方における顕著地震の史資料データベースを作成し公開することができた。このデータベースは 3 種類に分けられる。1703 年元禄関東地震のデータベースは、既刊の史料の校訂ができたものが多く、また未刊の史料も追加することができた。1855 年安政江戸地震のデータベースは、既刊史料のすべてをデジタル化することはできなかった。本課題で研究に使用した史料のみを校訂し公開した。特徴としては安政江戸地震時の史料のみなら

ずその前後の地震の記述がある場合はそれも校訂し公開した点である。このことで余震と思われる地震や1854年安政東海地震からの地震活動が読み取ることができる。また、これ以外の江戸時代に発生した顕著地震に関しては既刊のすべての史料を校訂することはできなかった。原史料が残っておらず確認することができなかった例が多かったためである。今後、安政江戸地震のデジタル化していない史料を追加したり、校訂ができなかった史料の確認をしたりすることでデータベース化される史料が増え、研究利用者にとって活用しやすいものになるだろう。

1855年安政江戸地震等の歴史地震の新しい地震像について、多摩地域では大きな被害がなかったことがわかった。また、多摩地方では、安政東海地震の方が体感的に強かった推測できる。さらに、茨城東部・千葉南部・埼玉南部では安政江戸地震の方が体感的に強かったと推測される。後者では安政江戸地震で被害が出ている。安政江戸地震の江戸市中以外での被害の程度や大小の境界が明らかになった。また安政東海地震との比較をすることでどちらがその地域では大きかったのかがわかった。安政江戸地震の震源位置については、先行研究の震源位置を整理した上で、異常震域の検討及び三次元減衰構造を考慮した震度予測の検討を行った。まず、全国で求められている三次元減衰構造モデルにより、広域震度予測を実施した。先行研究では三種類の断層モデルが提案されており、いずれもフィリピン海プレートに関したものであるが、これらのモデルいずれでも広域震度予測は、昨年度実施した史料の詳細な検討結果を説明することがわかった。太平洋プレート内の地震について、深さ100kmの点震源を仮定した広域震度予測により可能性が低いと考えられた。次に、関東周辺の震度分布を検討するために、新たに詳細な三次元減衰構造を求めなおした上で、震度予測を行った。その結果、先行研究において指摘されている深さ60-80kmの地震による特徴的な震度分布（“くびれ”）が、フィリピン海プレート/太平洋プレートの境界より浅い場所の地震であっても生ずる可能性が示された。このことから、この特徴的な震度分布はフィリピン海プレート内の震源の可能性を否定するものでないと結論付けられた。異常震域の検討として、フィリピン海プレート/太平洋プレート付近で発生した地震について検討を行った結果、これらの地震による震度は江戸では大きくならず、安政江戸地震の震度分布とは特徴が異なることがわかった。このことから、安政江戸地震の深さは、これより浅く、フィリピン海プレート内あるいはフィリピン海プレート上面の可能性が高いと推定された。

#### (d) 引用文献

- 1) Hirata, N. and Matsu'ura, M.: Maximum-likelihood estimation of hypocenter with origin time eliminated using nonlinear inversion technique, *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, Vol.47, pp.50-61, 1987.
- 2) Hardebeck, J. L., and Shearer, P.M.: A new method for determining first-motion focal mechanisms, *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol.92, pp.2264-2276, 2002.
- 3) Kagan, Y. Y.: 3-D rotation of double-couple earthquake sources, *Geophys. J. Int.*, Vol.106, pp.709-716, 1991.
- 4) Ishibe, T., Shimazaki, K., Satake, K. and Tsuruoka, H.: Change in seismicity beneath the Tokyo metropolitan area due to the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake, *Earth Planets*



- Space, Vol.63, pp.731–735, 2011.
- 5) Toda, S., Lin, J., and Stein, R.S.: Using the 2011 Mw 9.0 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake to test the Coulomb stress triggering hypothesis and to calculate faults brought closer to failure. *Earth Planets Space*, Vol.63, pp.725-730, 2011.
  - 6) Ishibe, T., Satake, K., Sakai, S., Shimazaki, K., Tsuruoka, H., Yokota, Y., Nakagawa, S., and Hirata, N.: Correlation between Coulomb stress imparted by the 2011 Tohoku-Oki earthquake and seismicity rate change in Kanto, Japan, *Geophysical Journal International*, Vol.201, pp.112-134, 2015.
  - 7) Miao, M., and Zhu, S.-B.: A study of the impact of static Coulomb stress changes of megathrust earthquakes along subduction zone on the following aftershocks, *Chinese Journal of Geophysics*, Vol.55(No.5), pp.539–551, 2012.
  - 8) Fujii, Y., and Satake, K.: Tsunami source of the 2004 Sumatra–Andaman earthquake inferred from tide gauge and satellite data, *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol.97, pp.S192-S207, 2007.
  - 9) Rhie, J., Dreger, D., Bürgmann, R., and Romanowicz, B.: Slip of the 2004 Sumatra–Andaman earthquake from joint inversion of long-period global seismic waveforms and GPS static offsets, *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol.97, pp.S115-S127, 2007.
  - 10) Ammon, C.J., Chen, J., Thio, H.-K., Robinson, D., Ni, S., Hjorleifsdottir, V., Kanamori, H., Lay, T., Das, S., Helmberger, D., Ichinose, G., Polet, J., and Wald, D.: Rupture process of the great 2004 Sumatra-Andaman earthquake, *Science*, Vol.308, pp.1133-1139, 2005.
  - 11) Fujii, Y., and Satake, K.: Slip distribution and seismic moment of the 2010 and 1960 Chilean earthquakes inferred from tsunami waveforms and coastal geodetic data, *Pure and Applied Geophysics*, Vol.170, pp.1493–1509, 2013.
  - 12) Delouis, B., Nocquet, J.M., and Vallée, M.: Slip distribution of the February 27, 2010 Mw= 8.8 Maule earthquake, central Chile, from static and high - rate GPS, InSAR, and broadband teleseismic data, *Geophysical Research Letters*, Vol.37, L17305, 2010.
  - 13) Luttrell, K.M., Tong, X., Sandwell, D.T., Brooks, B.A., and Bevis, M.G.: Estimates of stress drop and crustal tectonic stress from the 27 February 2010 Maule, Chile, earthquake: Implications for fault strength, *Journal of Geophysical Research*, Vol.116, B11401, 2011.
  - 14) Satake, K., Fujii, Y., Harada, T., and Namegaya, Y.: Time and space distribution of coseismic slip of the 2011 Tohoku earthquake as inferred from tsunami waveform data, *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol.103, pp.1473–1492, 2013.
  - 15) Yokota, Y., Koketsu, K., Fujii, Y., Satake, K., Sakai, S., Shinohara, M., and Kanazawa, T.: Joint inversion of strong motion, teleseismic, geodetic, and tsunami datasets for the rupture process of the 2011 Tohoku earthquake, *Geophysical Research Letters*, Vol.38, L00G21, 2011.
  - 16) Gusman, A.R., Tanioka, Y., Sakai, S., and Tsushima, H.: Source model of the great 2011 Tohoku earthquake estimated from tsunami waveforms and crustal deformation data, *Earth and Planetary Science Letters*, Vol.341-344, pp.234–242, 2012.
  - 17) Konca, A.O., Hjorleifsdottir, V., Song, T.A., Avouac, J., Helmberger, D.V., Ji, C., Sieh, K., Briggs, R., Meltzner, A.: Rupture kinematics of the 2005, Mw 8.6, Nias-Simeulue earthquake

from the joint inversion of seismic and geodetic data, *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol.97(1A), pp.S307-S322, 2007.

- 18) 上野寛・畠山信一・明田川保・舟崎淳・浜田信生：気象庁の震源決定方法の改善－浅部速度構造と重み関数の改良－，*験震時報*, Vol.65, pp.123-134, 2002.
- 19) 都司嘉宣：元禄地震（1703）とその津波による千葉県内各集落での詳細被害分布，*歴史地震*, Vol.19, pp.8-16, 2003.
- 20) 羽鳥徳太郎：房総沖における津波の波源－延宝（1677年）・元禄（1703年）・1953年房総沖津波の規模と波源域の推定－，*東京大学地震研究所彙報*, Vol.50, pp.83-91, 1975a.
- 21) 羽鳥徳太郎：元禄・大正関東地震津波の各地の石碑・言い伝え，*東京大学地震研究所彙報*, Vol.50, pp.385-395, 1975b.
- 22) 羽鳥徳太郎：南房総における元禄16年（1703年）津波の供養碑－元禄津波の推定波高と大正地震津波との比較－，*東京大学地震研究所彙報*, 51,63-81, 1976.
- 23) 古山豊：山武・長生郡における元禄地震調査：大津波供養碑・古文書に見る被害状況，47pp., 1982.
- 24) 古山豊：元禄地震史料および分析，182pp., 1983.
- 25) 古山豊：元禄地震史料，153pp., 1987.
- 26) 古山豊：千葉県における元禄地震の供養諸相と伝承－供養碑を中心に－，手馬券編纂史料「千葉県地域民俗調査報告書」，Vol.3, 82pp., 1996.
- 27) 矢田俊文・村岸純：1703年元禄関東地震における九十九里地域の被害－死亡者数と津波到達点－，*資料学研究*, Vol.13, pp.1-15, 2016.
- 28) 菊地利夫：九十九里浦納屋聚落の成立－地曳網罟漁入会地浜芝地の開発拒否－，*新地理*, Vol.3-1, pp.14-22, 1949.
- 29) 国立国会図書館所蔵
- 30) Goto, T., Satake, K., Sugai, T., Ishibe, T., Harada T., Murotani, S.. Historical tsunami and storm deposits during the last five centuries on the Sanriku coast, Japan, *Marine Geology*, Vol.367, pp.105-117, 2015.
- 31) Reimer, P.J., Bard, E., Bayliss, A., Beck, J.W., Blackwell, P.G., Bronk Ramsey, C., Buck, C.E., Cheng, H., Edwards, R.L., Friedrich, M., Grootes, P.M., Guilderson, T.P., Haflidason, H., Hajdas, I., Hatté, C., Heaton, T.J., Hoffmann, D.L., Hogg, A.G., Hughen, K.A., Kaiser, K.F., Kromer, B., Manning, S.W., Niu, M., Reimer, R.W., Richards, D.A., Scott, E.M., Southon, J.R., Staff, R.A., Turney, C.S.M., van der Plicht, J.: IntCal13 and Marine13 radiocarbon age calibration curves 0-50,000 years cal BP, *Radiocarbon*.Vol.55, pp.1869-1887, 2013.
- 32) Bronk Ramsey, C., Lee, S.: Recent and planned developments of the program OxCal Radiocarbon, Vol.55, pp.720-730, 2013.
- 33) 東京大学地震研究所（編），新収日本地震史料，第3巻，第4巻，同別巻，第5巻，補遺，続補遺，続補遺別巻，961pp., 870pp., 582pp, 599pp., 1222pp., 1054pp., 1228pp., 1983, 1984, 1984, 1985, 1989, 1993, 1994.
- 34) 石橋克彦，古代中世地震史料検討会：[古代・中世]地震・噴火史料データベース，*歴史地震*, Vol.26, pp.86, 2011.
- 35) 「ひずみ集中帯史資料データベース」[http://seismology.jp/eri\\_eqdb/](http://seismology.jp/eri_eqdb/)（最終閲覧日 2016年

12月8日)

- 36) 村岸純・西山昭仁・矢田俊文・榎原雅治・石辺岳男・中村亮一・佐竹健治：近世関東における地震史料データベースの構築と1855年安政江戸地震における江戸以外での有感記録，日本地球惑星科学連合大会2016年大会予稿集（SSS33-08），2016.
- 37) 村岸純・西山昭仁・矢田俊文・榎原雅治・石辺岳男・中村亮一・佐竹健治：1855年安政江戸地震における遠地での有感記録と関東における地震史料データベースの構築，第33回歴史地震研究会講演要旨集，Vol.26, 2016.
- 38) 宇佐美龍夫：安政江戸地震の精密震度分布図，1995.
- 39) 中村操，松浦律子：1855年安政江戸地震の被害と詳細震度分布，歴史地震，Vol.26, pp.33-64, 2011.
- 40) 公私日記研究会編，『鈴木平九郎公私日記』，第五巻〔改訂版〕，立川市教育委員会 2015.
- 41) 馬場憲一，安政江戸地震と被災状況の記録—鈴木家文書「公私日記」より—，多摩のあゆみ，159pp., 2015.
- 42) 鹿島則孝編，「桜齋随筆」本の友社，2000.
- 43) 村岸純・佐竹健治：一八五五年安政江戸地震の千葉県域内の被害，災害・復興と資料，Vol.6, pp.1-15, 2015.
- 44) 「万代記録帳」：『岩槻市史 近世史料編IV』，853pp., 1982.
- 45) 矢田俊文：一八五八年飛越地震の史料と家屋倒壊率—飛騨国を事例として—，災害・復興と資料7号，pp.1-30, 2016.
- 46) 中村操・茅野一郎・松浦律子：安政江戸地震の首都圏での被害，歴史地震，Vol.19, pp.32-37, 2003.
- 47) 宇佐美龍夫・石井寿・今村隆正・武村雅之・松浦律子：『日本被害地震総覧 599-2012』，724pp., 東京大学出版会，pp.182-186, 2013.
- 48) 加藤光夫：安政二年（一八五五）の大地震時における武蔵東部地域，埼玉県立文書館紀要，Vol.19, pp.50-71, 2006.
- 49) 東京大学地震研究所（編）：『新収日本地震史料』，5巻，別巻2-2，pp.1743-1752, 1989.
- 50) 村岸純・西山昭仁・石辺岳男・原田智也・佐竹健治：一八五五年安政江戸地震における江戸近郊の被害，災害・復興と資料，Vol.8, pp.13-24, 2016.
- 51) 松田時彦：陸上活断層の最新活動期の表，活断層研究，Vol.13, pp.1-13, 1995.
- 52) 宇佐美龍夫：新資料による安政江戸地震の調査，地震研究所彙報，Vol.51, pp.209-230, 1976.
- 53) Bakun, W.H.: Magnitude and location of historical earthquakes in Japan and implications for the 1855 Ansei Edo earthquake, Journal of Geophysical Research, Vol.110, B02304, doi:10.1029/2004JB003329, 2005.
- 54) 古村孝志・竹内宏之：首都圏直下の地震と強震動 - 安政江戸地震と明治東京地震 - ，地学雑誌，Vol.116, pp.431-450, 2007.
- 55) 中村亮一・植竹富一・佐竹健治・遠田晋次・宇佐美龍夫・島崎邦彦・渡辺健：関東地域の三次元減衰構造・異常震域とそれに基づく1855年安政江戸地震の震源深さの推定，歴史地震，Vol.22, pp.101-107, 2007.
- 56) 引田智樹・工藤一嘉：経験的グリーン関数法に基づく1855年安政江戸地震の震源パラ

メーターと地震動の推定, 日本建築学会構造系論文集, Vol.546, pp.63-70, 2001.

- 57) 佐藤智美: 経験的グリーン関数法に基づく 1855 年安政江戸地震の広帯域震源モデルと首都圏及び広域での強震動の推定, 日本建築学会構造系論文集, Vol.8.727, pp.1423-1433, 2016.
- 58) 中央防災会議, 首都直下地震モデル検討会: 首都直下のM7クラスの地震及び相模トラフ沿いのM8クラスの地震等の震源断層モデルと震度分布・津波高等に関する報告書(平成25年12月19日発表), 2013.
- 59) 萩原尊禮: 江戸ー東京の直下地震, 古地震から探る, 地震ジャーナル, Vol.10, pp.1-6, 1990.
- 60) 宇佐美龍夫: 東京地震地図, 新潮選書, pp.315, 1983.
- 61) 中村亮一: 短周期地震動記録に基づく日本列島下の三次元減衰構造  $Q_s$ ・震源スペクトル・地盤増幅の同時インバージョンとその応用, 東京大学博士論文, 2009.
- 62) 中村亮一・石辺岳男・パナヨトプロス ヤニス・佐竹健治・平田直: K-net 加速度記録を用いたフーリエ振幅スペクトルと気象庁計測震度の関係式の構築, SSS33-09, 日本地球惑星科学連合大会, 2016.
- 63) Nakanishi, I., and Horie, A.: Anomalous distributions of seismic intensities due to the descending Philippine Sea Plate beneath the southern Kanto district, Japan, J. Phys. Earth, Vol.28, pp.333-360, 1980.
- 64) 宇佐美龍夫・大和探査技術(株): わが国の歴史地震の震度分布・等震度線図, 日本電気協会, pp.647, 1994.
- 65) 翠川三郎・藤本一雄・松村郁栄: 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.
- 66) 村岸純・矢田俊文, 1855年安政江戸地震における多摩地域の被害, 2016年 前近代歴史地震史料研究会講演要旨集, pp.22-23, 2016.
- 67) 司宏俊・翠川三郎: 統計的グリーン関数法に基づく地震動最大振幅に対する破壊伝播効果による方位依存性の評価, 日本建築学会構造系論文集, Vol.546, pp.47-53, 2001.
- 68) Nakamura, W., N. Uchida, and T. Matsuzawa: Spatial distribution of the faulting types of small earthquakes around the 2011 Tohoku-oki earthquake: A comprehensive search using template events, Journal of Geophysical Research, Solid Earth, 121, 2591–2607, 2016.

(e) 学会等発表実績

学会等における口頭・ポスター発表

発表成果(発表題目、口頭・ポスター発表の別)	発表者氏名	発表場所(学会等名)	発表時期	国際・国内の別
近世関東における地震史料データベースの構築と1855年安政江戸地震における江戸以外での有感記録(口頭)	村岸純・西山昭仁・矢田俊文・榎原雅治・石辺岳男・中村亮	日本地球惑星科学連合2016年大会(幕張メッセ国際会議場、千葉県千	2016年5月	国内

	一・佐竹健治	葉市)		
稠密地震観測網に基づく 関東地方における地震の 発震機構解(2008年-2015 年)(ポスター)	石辺岳男・中 川茂樹・酒井 慎一・鶴岡 弘・平田直・ 村岸純・佐竹 健治	日本地球惑星 科学連合2016 年大会(幕張メ ッセ国際会議 場、千葉県千 葉市)	2016年5月	国内
Correlation Between Static Coulomb Stress Changes Imparted by Three Megathrust Earthquakes and Post-Seismicity Revealed from Abundant Focal Mechanism Solutions (招待講演)	石辺岳男・尾形 良彦・鶴岡弘・ 佐竹健治	日本地球惑星 科学連合 2016 年大会(幕張メ ッセ国際会議 場、千葉県千葉 市)	2016年5月	国内
リアス海岸における津波 堆積物に含まれる給源粒 子を用いた津波像の復元 (ポスター)	五島朋子・佐 竹健治・須貝 俊彦・石辺岳 男・原田智 也・Gusman Aditya	日本地球惑星 科学連合2016 年大会(幕張メ ッセ国際会議 場、千葉県千 葉市)	2016年5月	国内
関東地域の異常震域の再 検討-1855年安政江戸地震 の震源像解明に向けて- (ポスター)	中村亮一・村 岸純・西山昭 仁・佐竹健 治・石辺岳男	第33回歴史地 震研究会(大槌 町中央公民 館、岩手県大 槌町)	2016年9月	国内
1855年安政江戸地震にお ける遠地での有感記録と関 東における地震史料データ ベースの構築(口頭)	村岸純・西山 昭仁・矢田俊 文・榎原雅 治・石辺岳 男・中村亮 一・佐竹健治	第33回歴史地 震研究会(大槌 町中央公民 館、岩手県大 槌町)	2016年9月	国内
九十九里地域における 1703年元禄関東地震津波 の到達点の検討(ポスタ ー)	村岸純・五島 朋子・佐竹健 治・矢田俊文	日本地震学会 2016年秋季大 会(名古屋国際 会議場、愛知 県名古屋市)	2016年10月	国内
地震規模 M と震度 I のス ケーリングの検討(口	中村亮一・酒 井慎一・平田	日本地震学会 2016年秋季大	2016年10月	国内

頭)	直・石辺岳 男・パナヨト プロス ヤニ ス・佐竹健治	会(名古屋国際 会議場、愛知 県名古屋市)		
1855年安政江戸地震にお ける多摩地域の被害(口 頭)	村岸純・矢田 俊文	第4回前近代歴 史地震史料研 究会(新潟大 学、新潟県新 潟市)	2016年11月	国内
Testing the Coulomb stress triggering hypothesis for great subduction earthquakes using abundant focal mechanisms (ポスタ ー)	Ishibe, T., Y. Ogata, H. Tsuruoka, K. Satake,	2016, Asia Oceania Geosciences Society (AOGS), China National Convention Centre, Beijing, China	2016, July 31- August 5,	国際

学会誌・雑誌等における論文掲載

掲載論文(論文題目)	発表者氏名	発表場所 (雑誌等名)	発表時期	国際・国 内の別
Comparative study of two tsunamigenic earthquakes in the Solomon Islands: 2015 Mw 7.0 normal-fault and 2013 Santa Cruz Mw 8.0 megathrust earthquakes, (査読付き論文).	Heidarzadeh, M., T. Harada, K. Satake, T. Ishibe, A.R. Gusman,	Geophys. Res. Lett., 43, 4340- 4349	2016	国際

マスコミ等における報道・掲載

なし

(f) 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

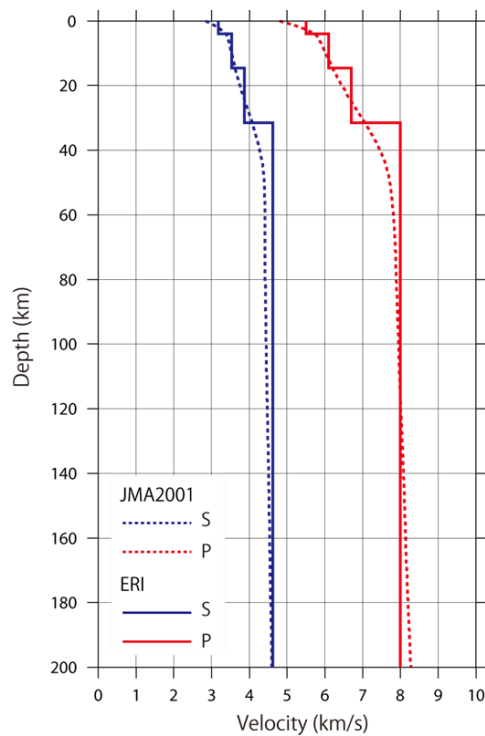


図1 本課題において震源ならびに発震機構解推定に用いた速度構造（実線）。参考のため気象庁による速度構造（上野・他，2002<sup>18)</sup>）についても示す（破線）。

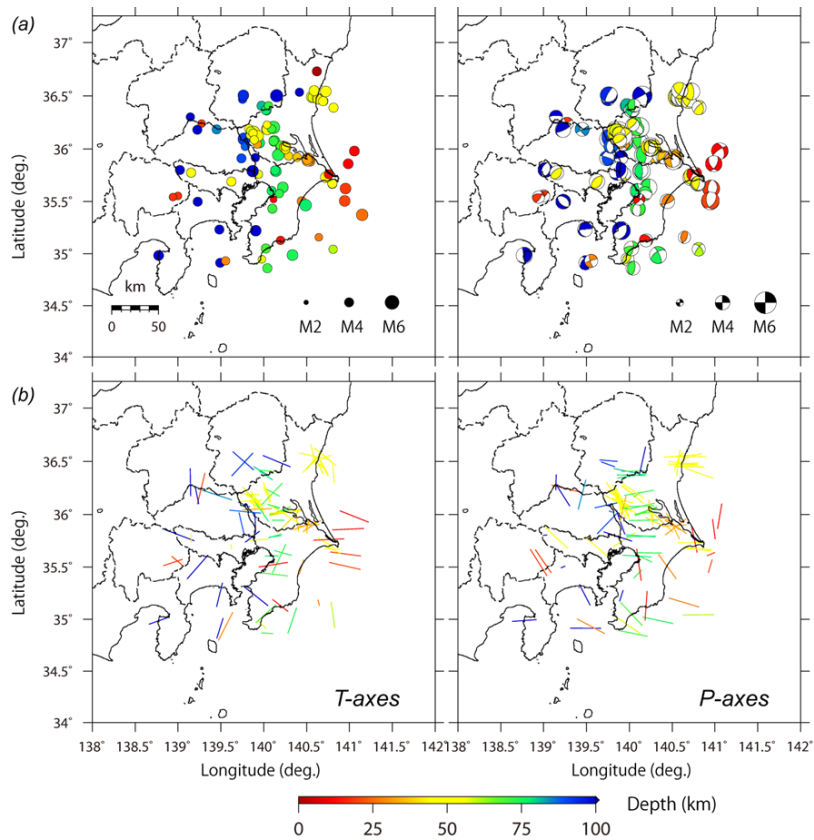


図2 (a) (左) MeSO-net による検測値を用いて決定された 250 地震の震源分布（2013 年 1 月 6 日～2015 年 2 月 9 日）ならびに、(右) 精度の低いものを除いた 230 地震に対する発震機構解。色は震源の深さを表す。(b) (左) T 軸、(右) P 軸の分布。



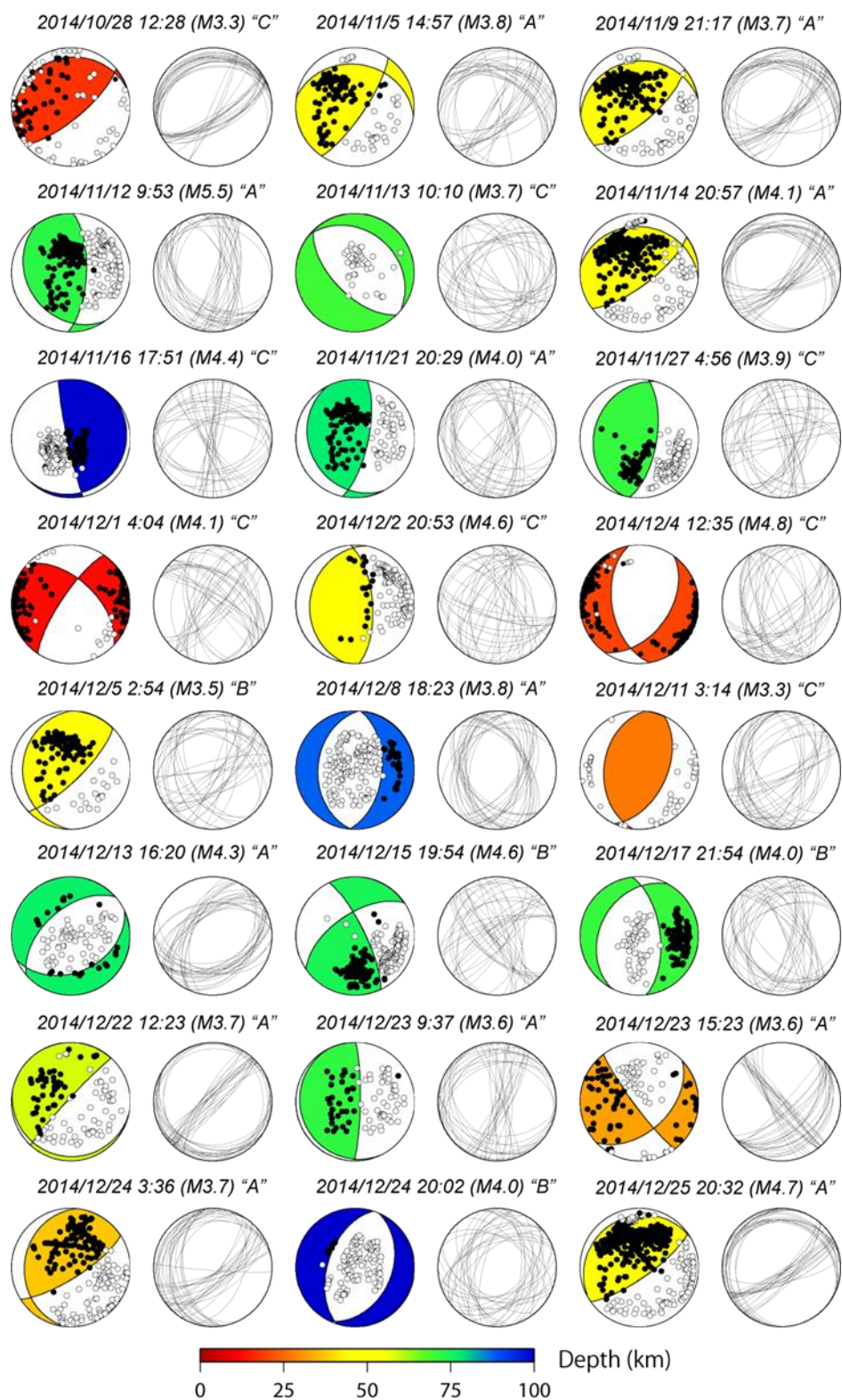


図3 本年度に決定した発震機構解（左）ならびに acceptable な発震機構解（右）の例。●は初動が押し、○は引きの観測点を表す。押しの領域の色は震源の深さを表す。A ランクから C ランクに向かって推定精度は低くなる。

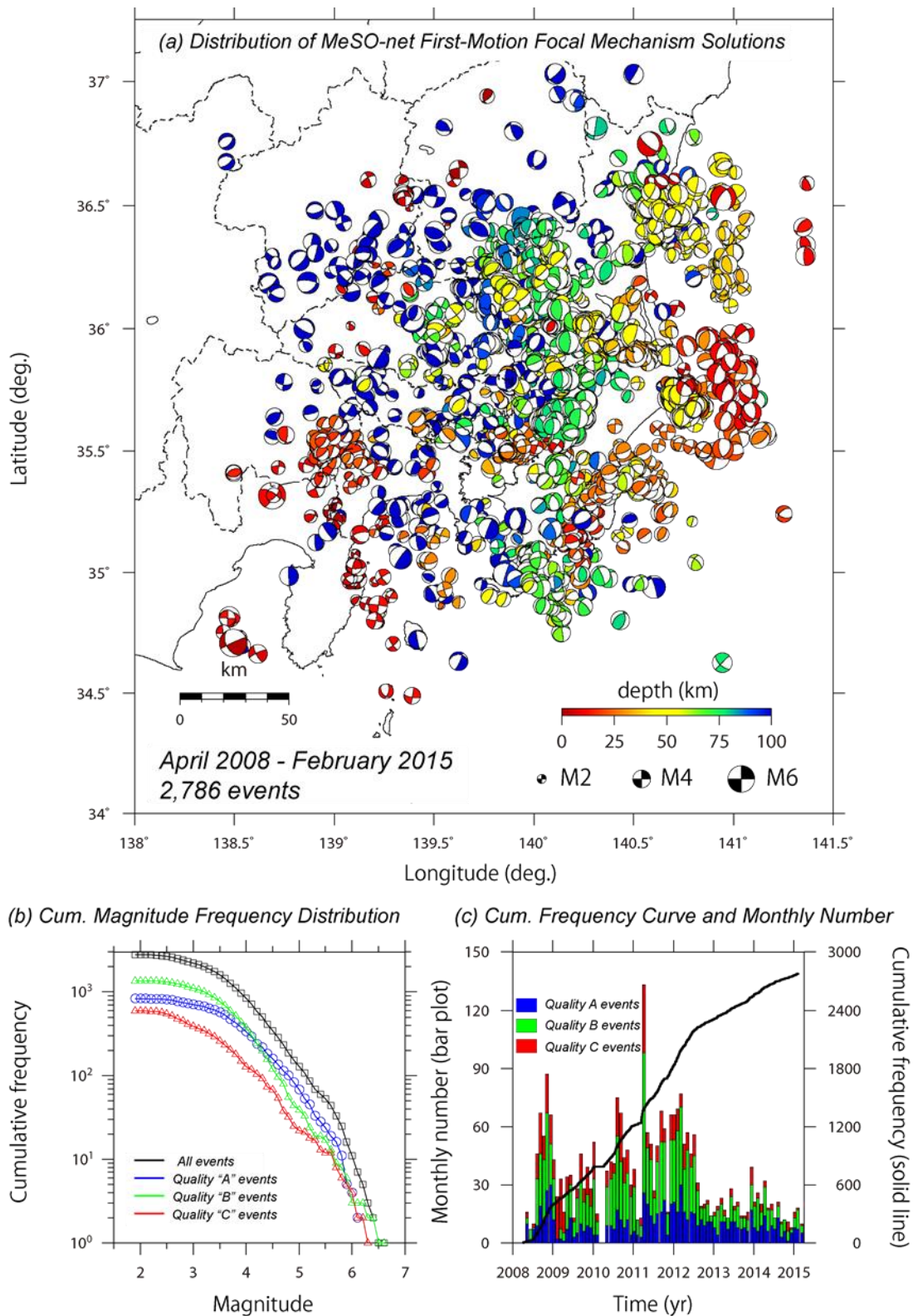


図4 (a) 本課題において決定・整理した発震機構解の分布（2008年4月1日～2015年2月9日）。色は震源の深さを表す。(b) 発震機構解の規模別頻度分布。(c) 発震機構解の一月当たりの決定数（棒グラフ）ならびに累積頻度曲線（黒線）。

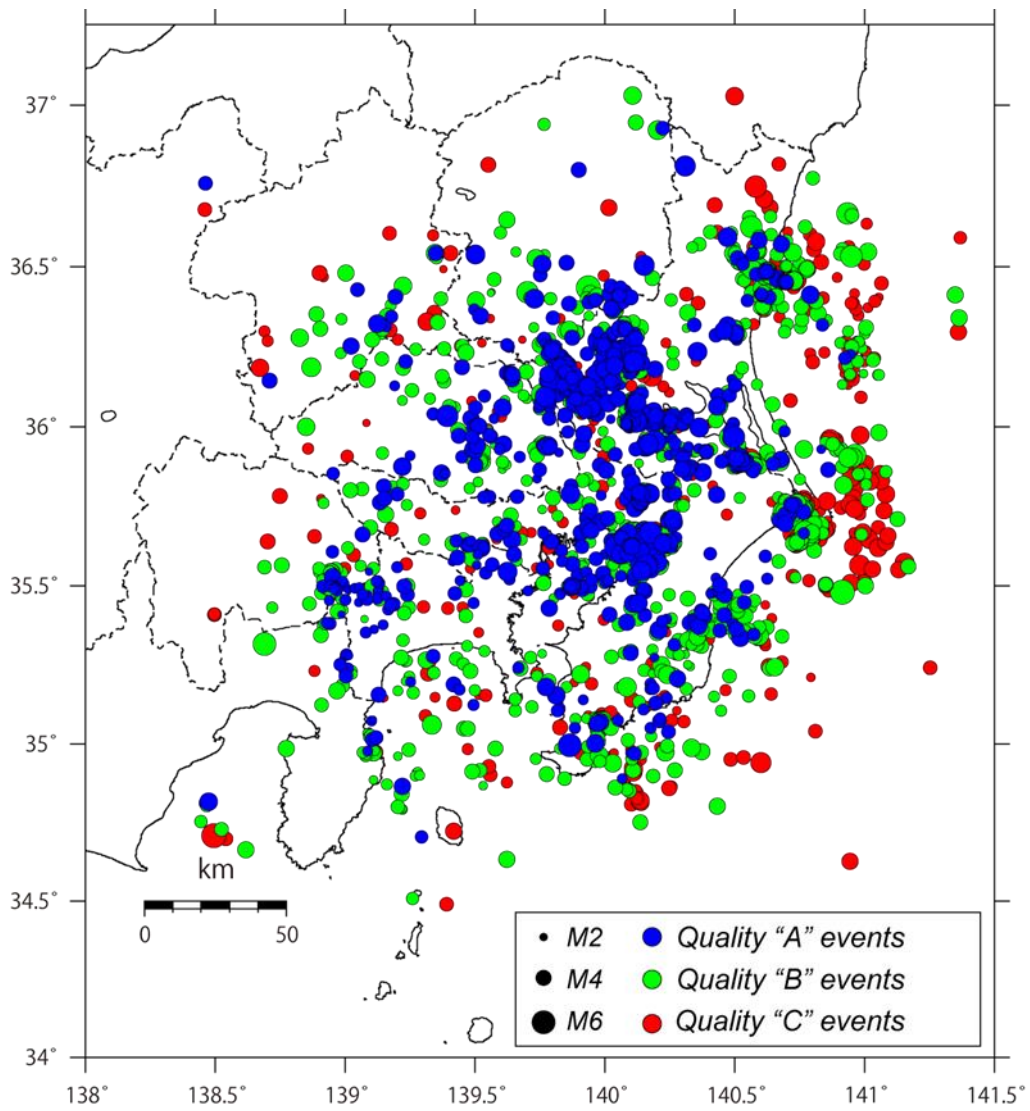


図5 本課題において決定した発震機構解（2008年4月1日～2015年2月9日）の品質分布。

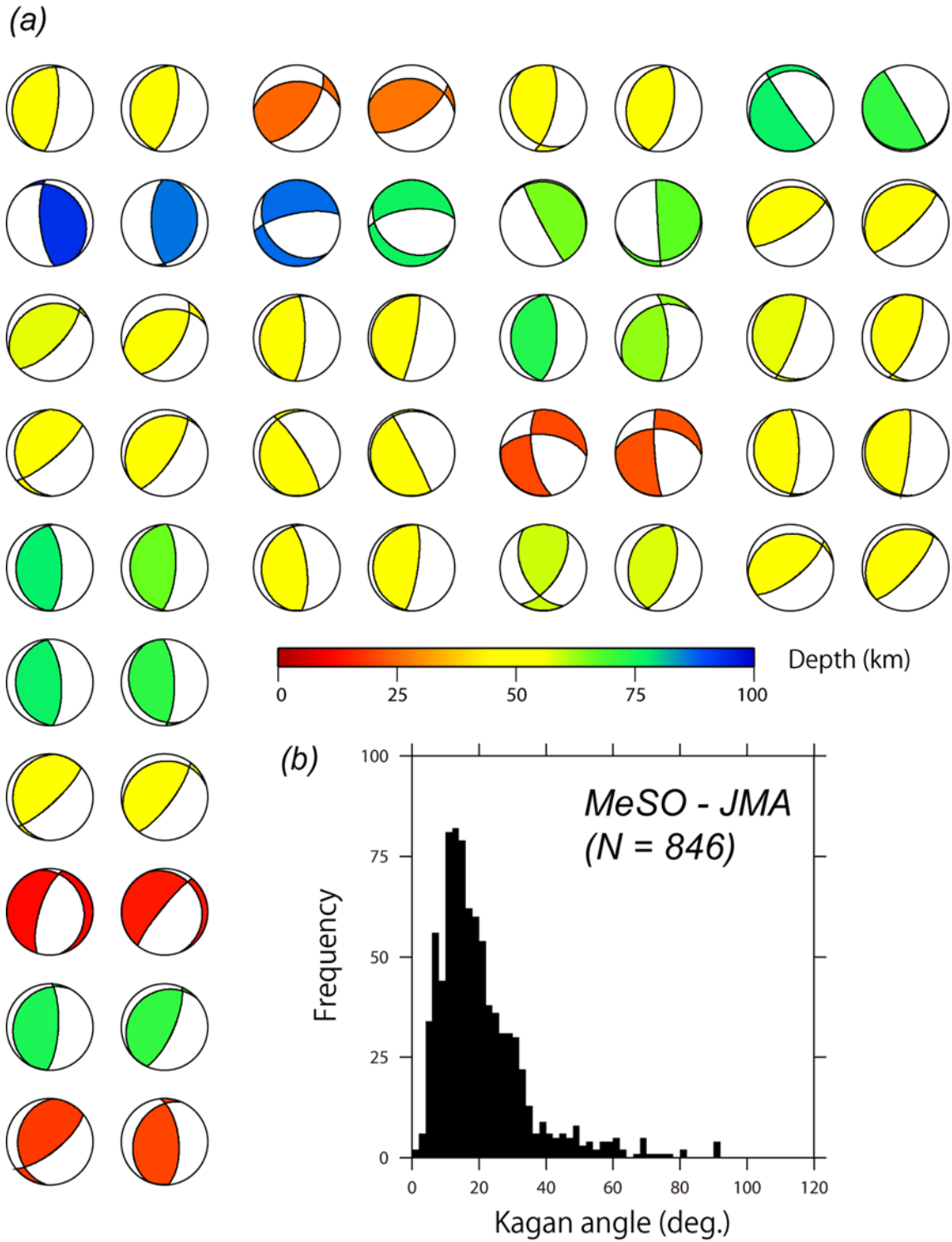


図 6 (a) 本課題において決定した発震機構解 (2008 年 4 月 1 日~2015 年 2 月 9 日) (左) と気象庁による初動発震機構解 (右) の比較。(b) 発震時・震源位置ならびにマグニチュードから同一イベントに対する発震機構解と考えられる 846 組に対して計算された Kagan 角のヒストグラム。



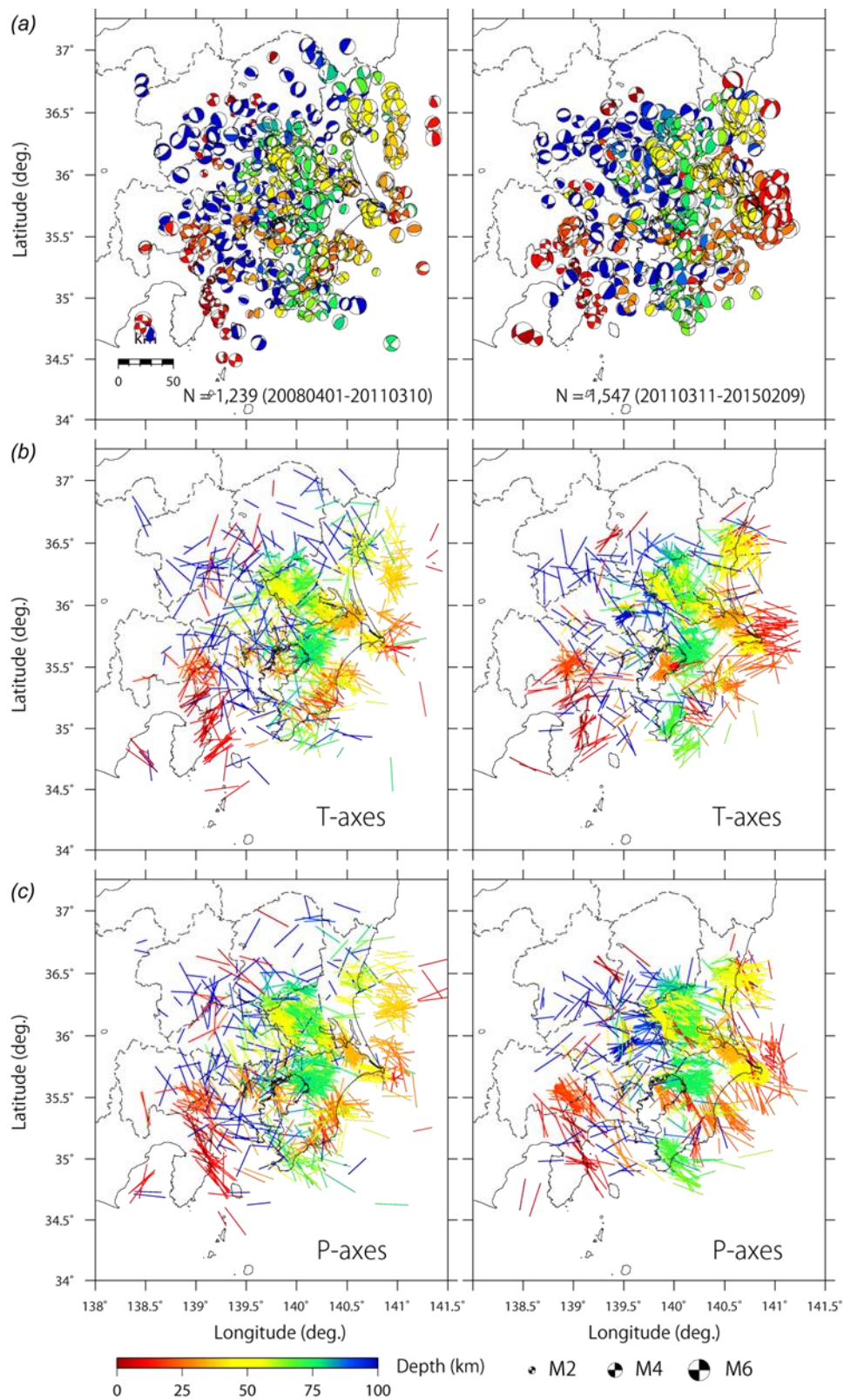


図 7 東北沖地震前（左）、地震後（右）に発生した地震に対する、(a)発震機構解の分布、(b) T 軸の分布、(c) P 軸の分布。

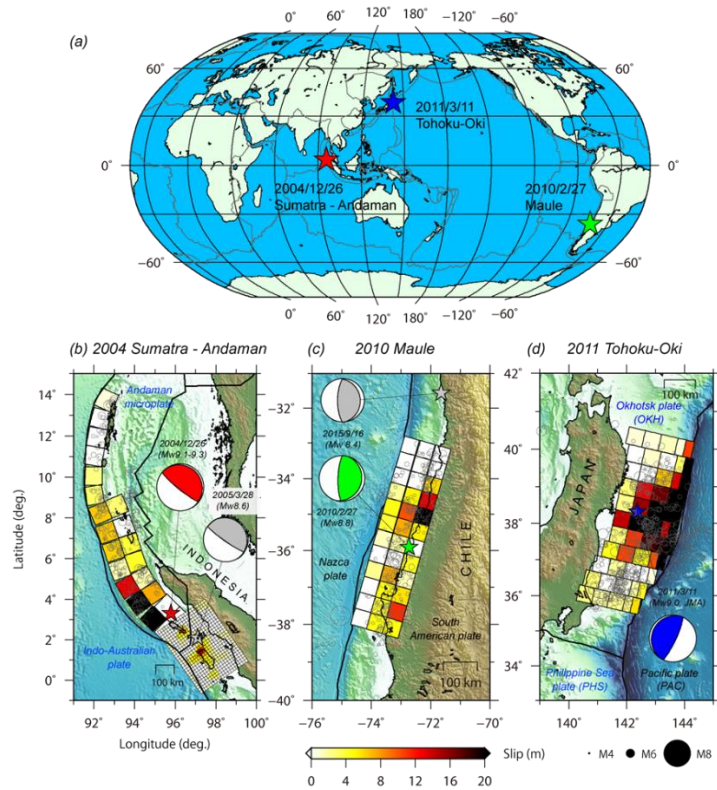


図 8 本課題において、静的クーロン応力変化と中小地震の関係を調査した 3 つの沈み込み帯巨大地震。

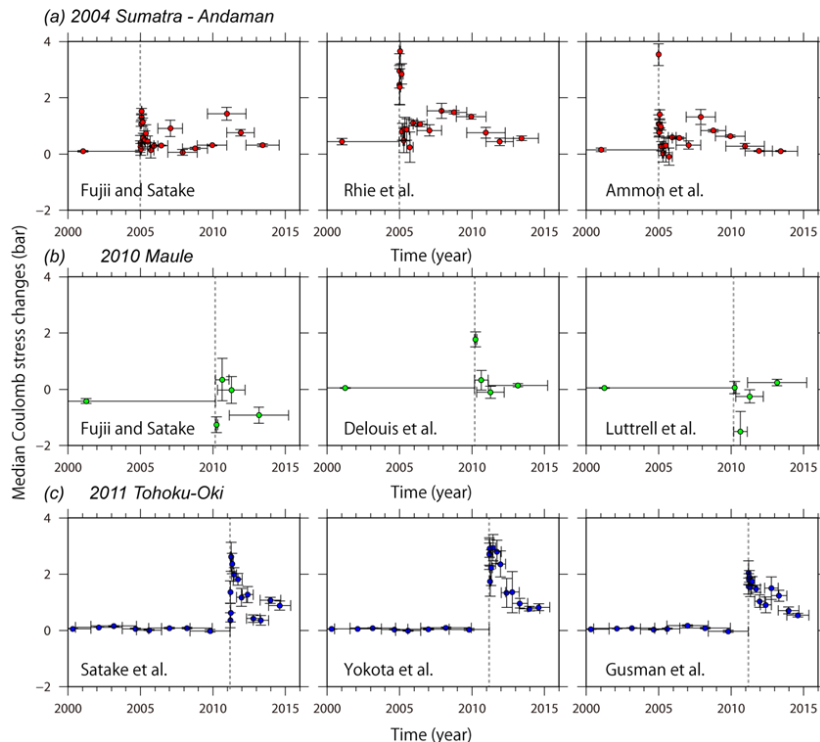


図 9 3 つの沈み込み帯（超）巨大地震に対する  $\Delta$ CFF の中央値の時間変化：(a) 2004 年スマトラ-アンダマン地震、(b) 2010 年マウレ（チリ）地震、(c) 2011 年東北沖地震。破線は本震の発震時を表す。縦軸の誤差はいずれかの節面を無作為抽出し、受け手側のメカニズム解として採用するモンテカルロシミュレーションから導出された標準偏差を表す。



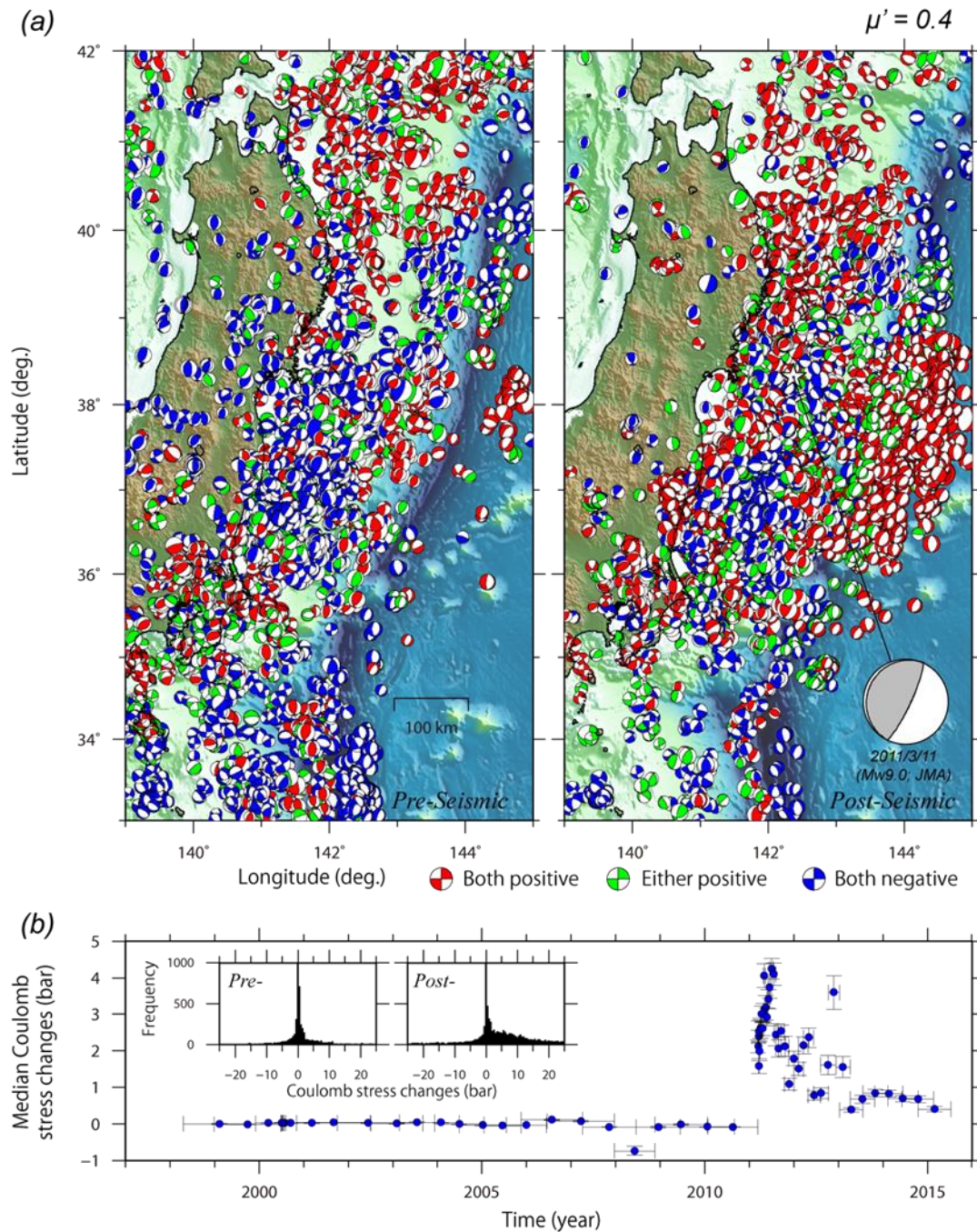
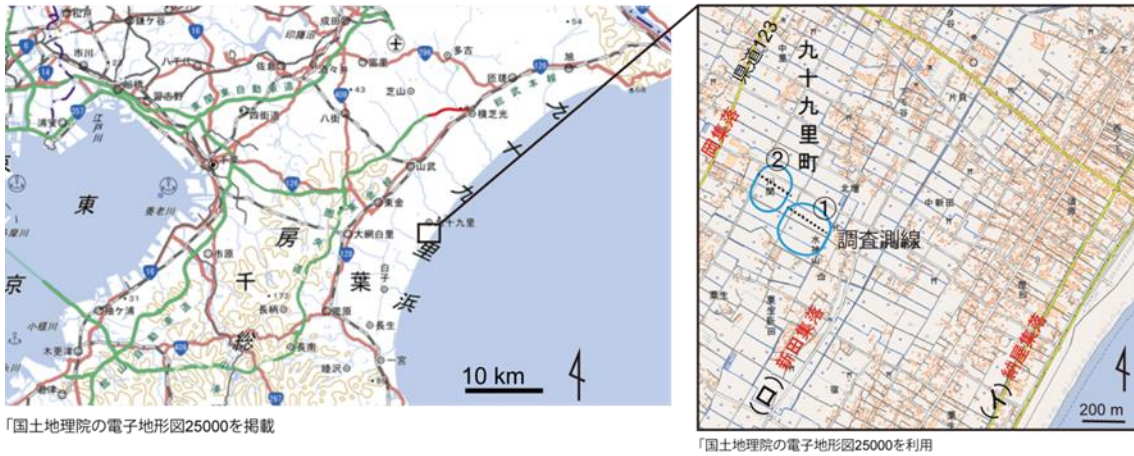


図 10 受け手側の断層メカニズム解として F-net メカニズム解を用いた場合の結果。断層モデルは Yokota *et al.* (2011)<sup>15)</sup>により、見かけ上の摩擦係数を 0.4 とした場合。(a) (左) 東北沖地震前、(右) 東北沖地震後に発生した地震のメカニズム解に対して計算された  $\Delta$ CFF の分布。(b)  $\Delta$ CFF の中央値の時間変化。東北沖地震前後の期間に発生した地震に対する  $\Delta$ CFF のヒストグラムも示す。

(a)



(b)

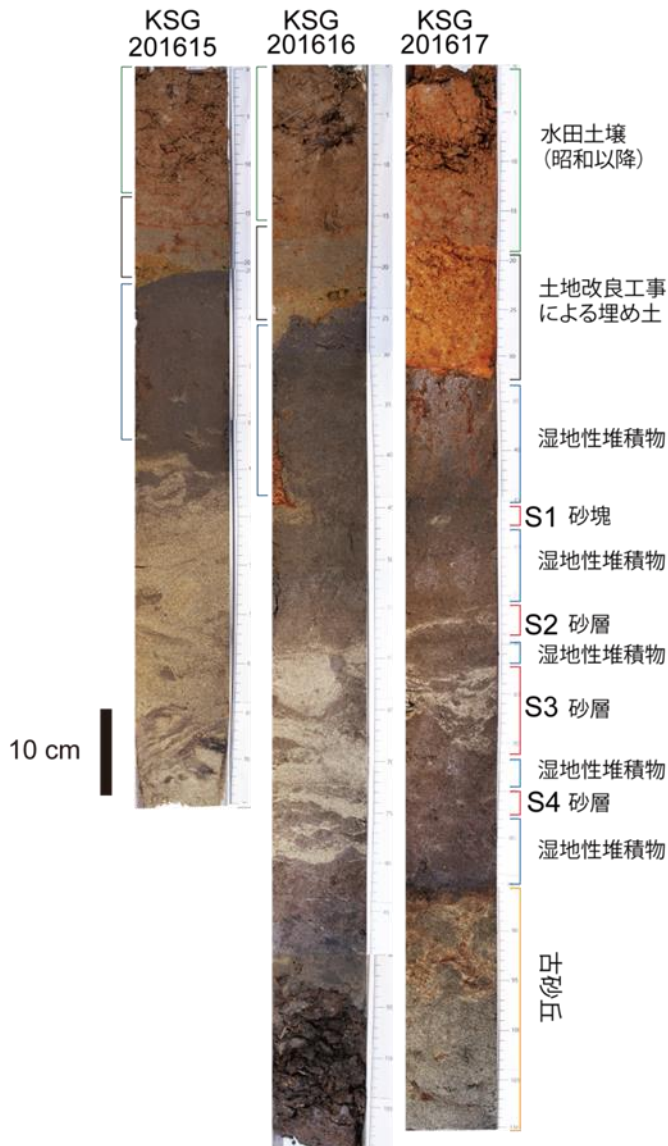
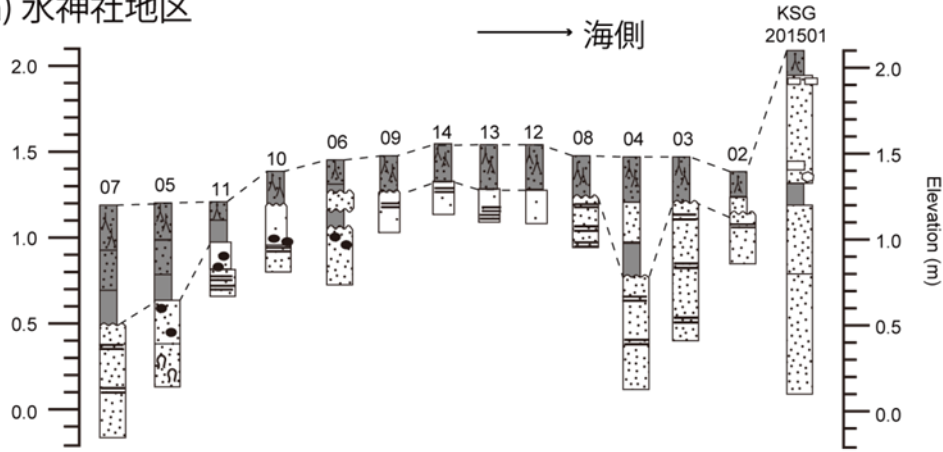


図 11 (a) 津波堆積物調査地。(b) 川間地区で得られた地質柱状試料。



(a) 水神社地区



(b) 川間地区

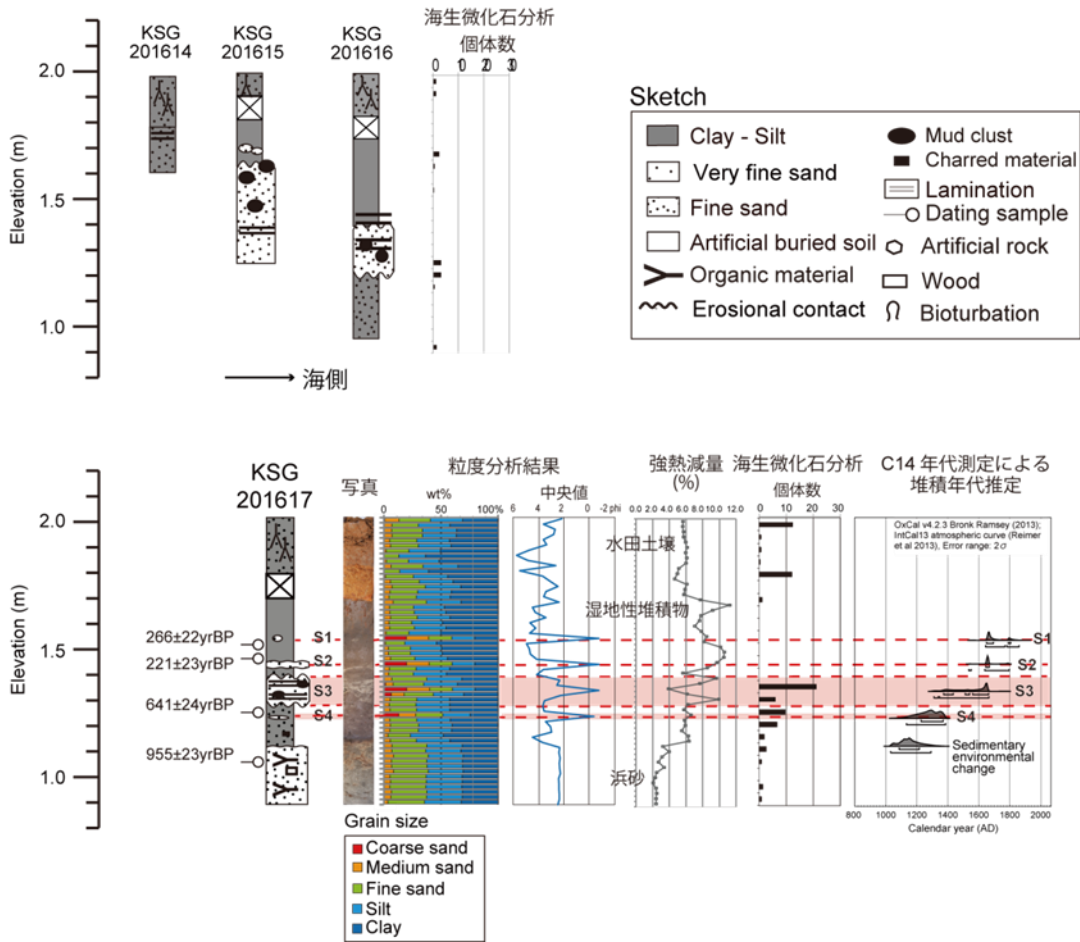


図 12 九十九里片貝の水神社地区(a)と川間地区(b)で採取した地質柱状試料の記載図・海生微化石分析結果・粒度分析結果・強熱減量・<sup>14</sup>C年代測定による堆積年代推定を示す。

**都市の脆弱性が引き起こす激甚災害の軽減化プロジェクト【史資料データベース】**

最終更新日時 2014年3月3日(月) 12:09'38"      Since Feb.20,2013 000111

**1703年12月31日(元禄十六年十一月二十三日)の元禄関東地震**

■ 検索の条件

検索文字列

※複数の文字列をスペースで区切ると、いずれかを含む史料を検索(or検索)。

■ 史料本文表示の条件

外字フォント     非表示  
                    代替文字がない外字のみ画像表示  
                    全て画像表示

出力形式         HTML     XML (IEのみ選択可能)

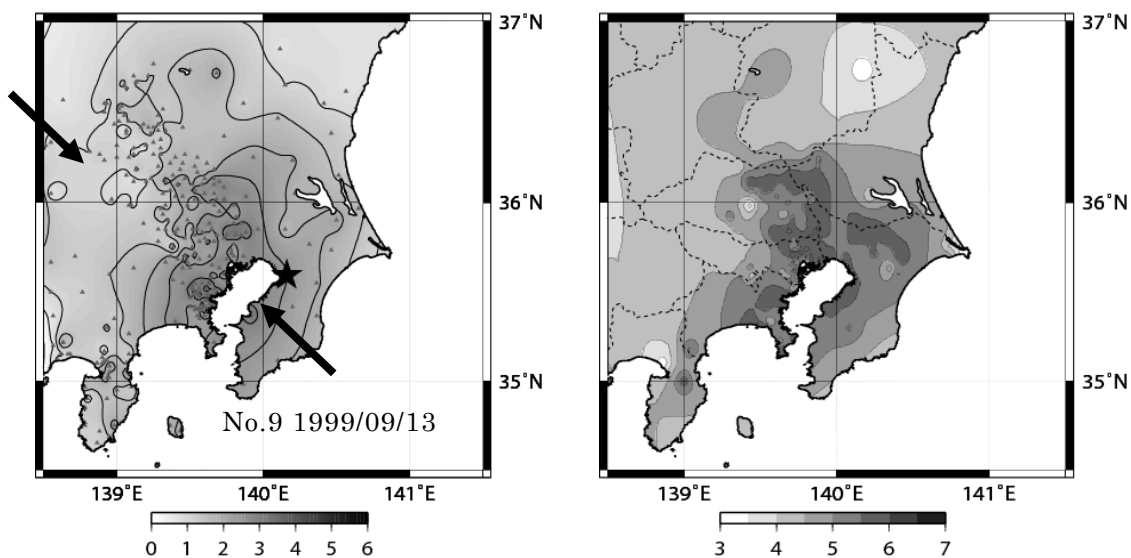
フォントサイズ  標準     中サイズ     大サイズ

[目次に戻る](#)

---

● 都市の脆弱性が引き起こす激甚災害の軽減化プロジェクト      Version 1.21 Powered by 株式会社 まえちゃんねっと

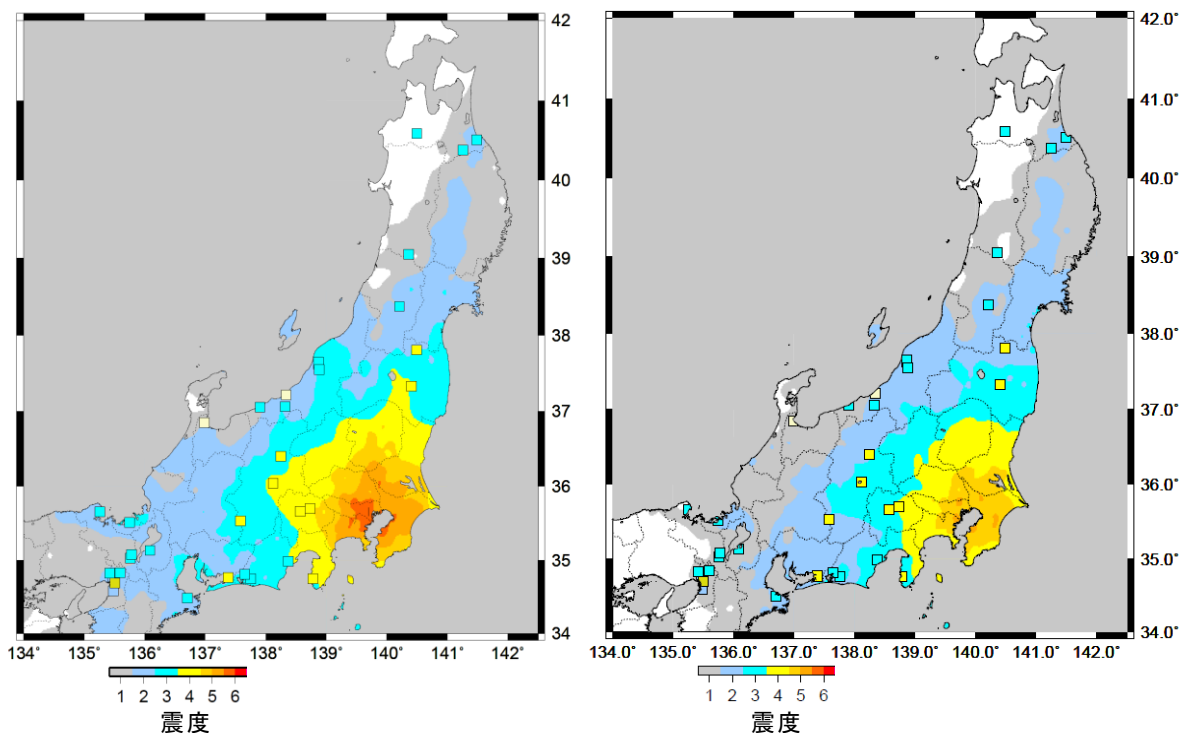
図 13 江戸時代に関東地方において発生した顕著地震に対する史資料データベースの試作版の検索画面。トップページから史料検索を選択すると文字列の検索が可能。元禄関東地震のほかに、安政江戸地震、その他の地震の3種類のデータベースを構築。



(a) 近年に発生した深さ 60~80 km の地震の震度分布の例 M4.9 深さ 75.9 km 中村・他 (2007)<sup>55)</sup>による。

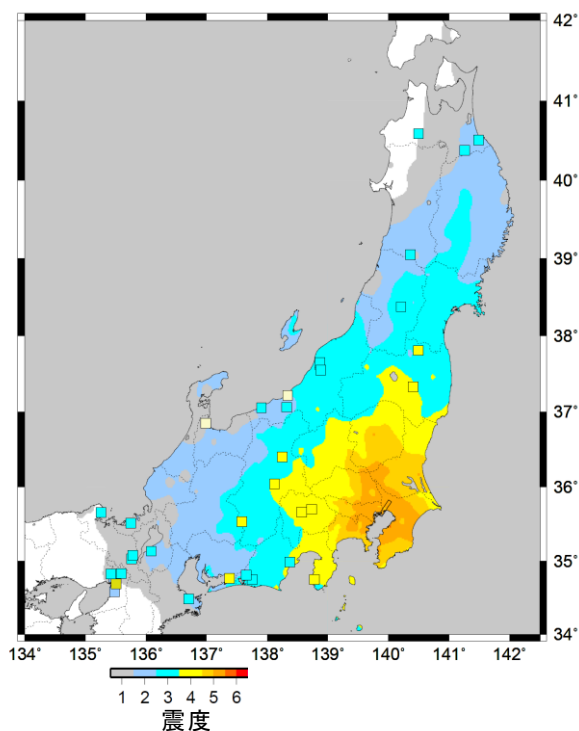
(b) 安政江戸地震の震度分布。中村・他 (2007)<sup>55)</sup>が宇佐美 (1995)<sup>38)</sup>に基づき作成したもの。

図 14 中村・他 (2007)<sup>55)</sup>の指摘する震度分布の“くびれ”。



(a) 中央防災会議 (2013)<sup>58)</sup>を参考に設定。  
(フィリピン海プレート内)

(b) 佐藤 (2016)<sup>57)</sup>を参考に設定。  
(フィリピン海プレート内)



(c) 引田・工藤 (2001)<sup>56)</sup>を参考に設定。  
(太平洋プレート上面付近)

図 15 安政江戸地震による広域震度分布 (□印) と先行研究の断層モデルによる広域震度予測との比較。

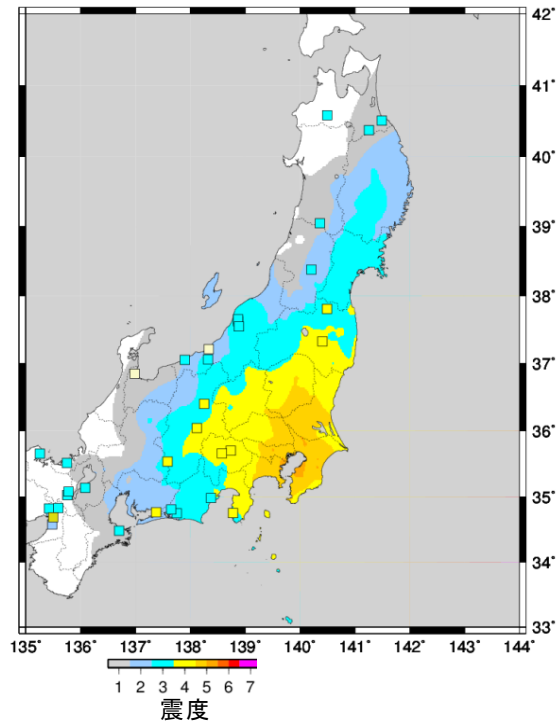
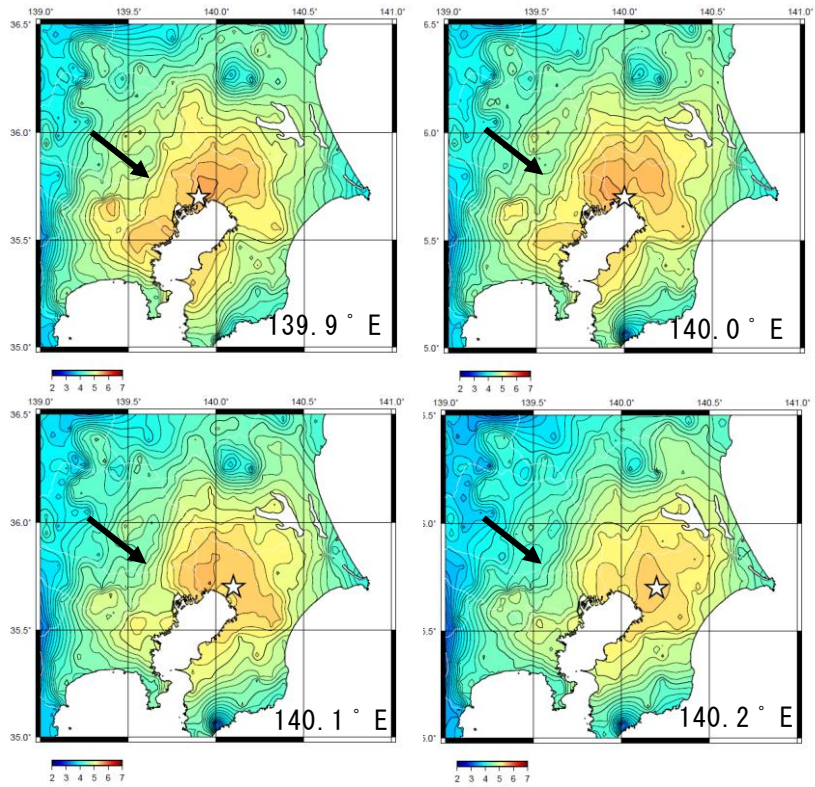
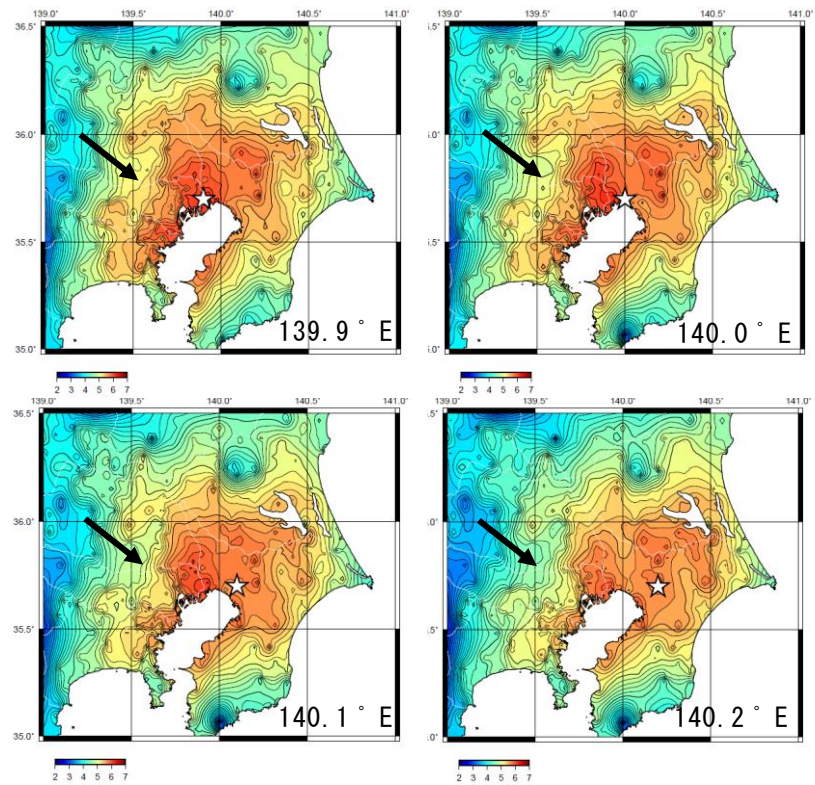


図 16 震源深さ 100 km としたときの震度分布。  
 (震央 : 東経 139.8°、北緯 35.65°、Mw7.0 を仮定)



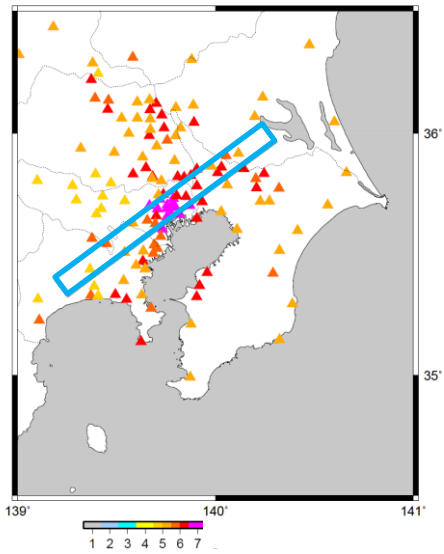
(a) 工学基盤相当での震度分布。



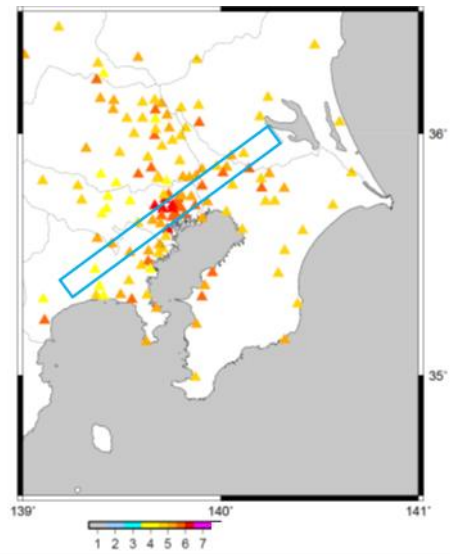
(b) 地表での震度分布（補正後）。

図 17 震源位置を北緯 35.7 度線上とした震度予測 深さ 50 km。→は、中村・他 (2007)<sup>54)</sup>の深さ 60~80 km の地震に見られた“くびれ”の位置。

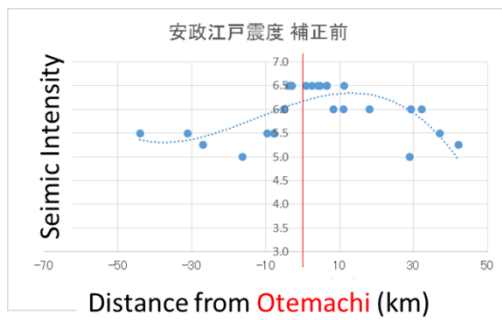




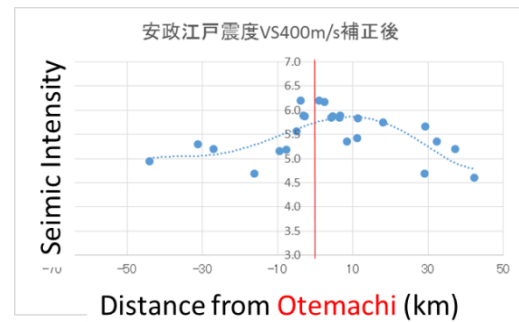
(a) 震度分布図。



(a) 震度分布図（工学基盤）。



(b) (a)の矩形範囲の大手町からの距離と震度。



(b) (a)の矩形範囲の大手町からの距離と震度。

図 18 安政江戸地震の地表の震度。宇佐美・大和探査 (1994) <sup>64)</sup>に基づく。

図 19 安政江戸地震の工学基盤上の震度。JSHIS の増幅率に基づき補正を施し、地表から基盤に戻したものの。

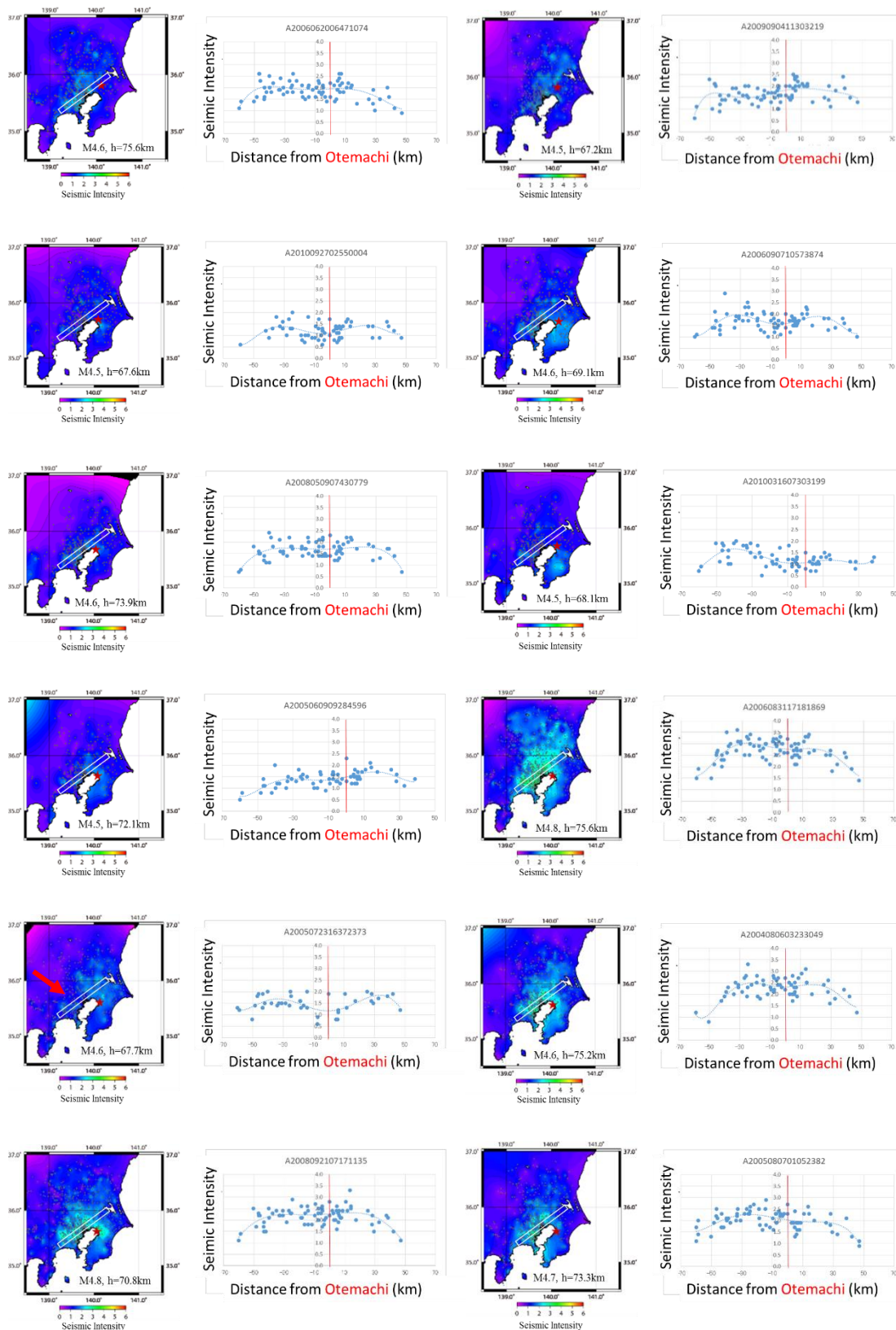
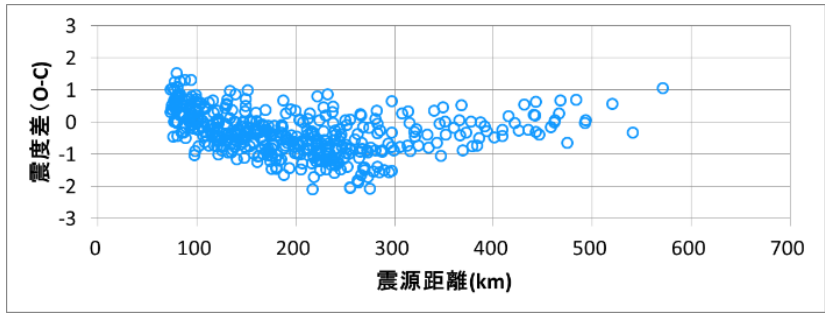
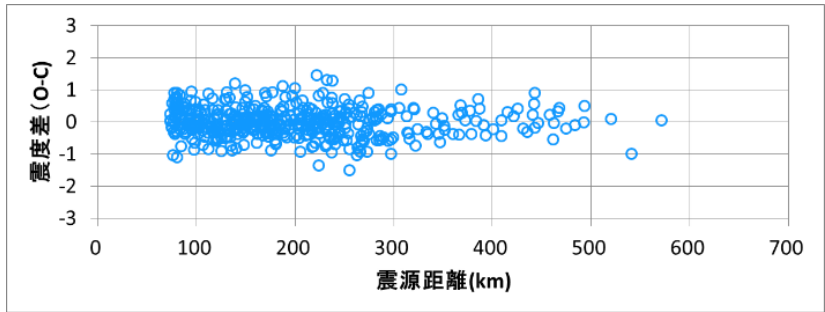


図 20 PHS/PAC プレート境界付近の近年の地震の震度分布。赤矢印は、震度分布の“くびれ”の位置を示す。



(a) Bakun (2005)の距離減衰式による予測。



(b) 三次元減衰構造を考慮した予測。

図 21 2005年7月23日千葉県北西部の地震 (M6.0、 $h=78$  km) の観測震度と計算震度の震度差。



図 22 平成 28 年度第 1 回 (通算第 10 回) 検討会 (右)・打ち合わせ (左) の様子。