

3. 1. 2 プレート構造・変形過程と地震発生過程の解明

3. 1. 2. 1 構造探査とモデリングに基づくプレート構造・変形過程と地震発生過程の解明

(1) 業務の内容

(a) 業務の目的

地下構造探査・変動地形調査と、現実的なレオロジーモデルに基づく粘弾性数値モデル化によって、プレート構造・長期間から短期間での変形過程と地震発生過程を解明する。

(b) 平成24年度業務目的

2011年東北地方太平洋沖地震が首都圏に与える影響を評価するために、東日本の構造モデルの構築に必要な既存データを整理・収集するとともに、数値実験についての手法開発を行う。首都圏の震源モデル作成のために、既存反射データの再解析と変動地形調査を行う。

(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	佐藤比呂志	
東京大学地震研究所	教授	岩崎貴哉	
東京大学地震研究所	助教	石山達也	
東京大学地震研究所	助教	蔵下英司	
東京大学地震研究所	特任研究員	橋間昭徳	

(2) 平成24年度の成果

(a) 業務の要約

- 1) 首都圏下の今後の地震活動に対する2011年東北地方太平洋沖地震の影響を適切に評価するためには、首都圏下の現実的な地下構造とアセノスフェアの粘性流動による時間変化の効果を取り入れた合理的な地殻変動モデルを構築する必要がある。今年度の業務として、まず、既存の太平洋プレート上面、フィリピン海プレート上面のプレート境界形状モデルを統合した日本列島域のプレート境界形状モデルを作成した。そして、この形状モデルにもとづき、任意の形状を取り入れることのできる有限要素法を用いて、2011年東北地方太平洋沖地震による地殻変動の数値シミュレーションの手法開発を行なった。
- 2) 首都圏の震源モデル作成のために、大大特・北関東測線の既存反射データの再解析を行った結果、MDRS法の導入と、適切な解析領域を設定した屈折トモグラフィの適用によってイメージングの改善を図ることが可能であることが分かった。また、綾瀬川断層南部の既存資料の検討を行い、その活動性の評価には、より可探深度が大きく、しかも都市部のノイズを克服する高精度反射法地震探査と、撓曲変位の有無を確かめるための浅部ボーリング調査を実施する必要があることがわかった。

(b) 業務の成果

1) 2011 年東北地方太平洋沖地震による首都圏の応力変化の数値シミュレーション

2011 年東北地方太平洋沖地震（以下 2011 年東北沖地震と略称する）により首都圏を含む日本列島全域が大きな変形を受けた（Nishimura *et al.*, 2011¹⁾）。地震後に関東地方の地震活動は活発化しており（Ishibe *et al.*, 2011²⁾）、今後の地震活動について合理的な予測を行うことが喫緊の課題である。そこで本業務では、地震後の余効変動の研究に実績のある Purdue 大学の Andy Freed 准教授と連携し、日本列島の現実的な地下構造とアセノスフェアの粘性流動を考慮した、2011 年東北沖地震後の日本列島域の地殻変動と応力再配分の数値モデリングを行なう。

2011 年東北沖地震後の日本列島域の地殻変動は、日本列島域のプレート構造を持つ連続体に M9.0 の地震に相当する力源（断層運動）を与えたときの変形応答と見ることができると。地震時のすべり分布に関しては、地震波解析（例えば、Simons *et al.*, 2011³⁾; Yagi & Fukahata, 2011⁴⁾）や測地インバージョン解析（例えば、Ozawa *et al.*, 2011⁵⁾, 2012⁶⁾）などから得られている。一方、日本列島の地下構造は、三つのプレートが相互作用しているために本質的に三次元的である。また関東地方においては伊豆半島の衝突の影響が顕著である（例えば、Sato *et al.*, 2005⁷⁾）。さらに、より詳細な三次元地震波速度構造が地震波トモグラフィによって求められており（Matsubara *et al.*, 2008⁸⁾; Matsubara & Obara, 2011⁹⁾）、このような水平不均質がひき起こす局所的な応力集中の解明も求められている。

上記のように複雑な構造を持つ物体の変形問題を数値的に解くための有力な手法としては有限要素法が挙げられる。有限要素法（FEM）は、偏微分方程式の近似解法として理工学の分野で幅広く用いられ、地震学においても地殻変動、地震波伝播、マントル対流などの問題にすでに多くの適用例があり、本業務が扱う地殻変動問題にも応用可能である。本業務では、ダッソー・システムズ社による Abaqus CAE ソフトウェアを用いてモデリングを行なった。

本年度は、日本列島域のプレート境界形状をもとにした、単純な弾性-粘弾性構造を作成し、2011 年東北沖地震のすべり分布を与えたときの変形応答を計算した。以下にその詳細を述べる。

a) 日本列島域のプレート境界形状

日本列島域の地下構造モデルとしてまず考慮に入れなければならないのはプレート構造である。日本列島下には東から太平洋プレート、南からフィリピン海プレートが沈み込んでいる。プレート境界面の具体的な形状は地域ごとに地震活動から推定されている。東北日本弧に関しては、Nakajima & Hasegawa (2006)¹⁰⁾、Nakajima *et al.* (2009)¹¹⁾、Kita *et al.* (2010)¹²⁾によって太平洋プレートの上面の形状が求められている。また、西南日本～琉球弧に関しては、Baba *et al.* (2002)¹³⁾、Nakajima & Hasegawa (2007)¹⁴⁾、Hirose *et al.* (2008)¹⁵⁾、弘瀬・他(2008)¹⁶⁾、Nakajima *et al.* (2009)¹¹⁾によってフィリピン海プレートの上面の形状が求められている。また千島弧、伊豆小笠原弧、マリアナ弧、琉球弧におけるスラブ上面の形状は Slab1.0 モデルとしてまとめられている（Hayes *et al.*, 2012¹⁷⁾）。これらを補間して日本列島域のプレート境界モデルを作成した。作成した面を図 1(P.70)に示す。

b) FEM による 2011 年東北沖地震後の地殻変動モデリング

2011 年東北沖地震は、南北 500 km にわたる震源域を持ち、マグニチュードは 9.0 におよび、その地殻変動は日本列島全域に及んだ。そのため、モデル領域は日本列島を含む十分な広さをとらなければならない。深さ方向には上部マントルまで考慮に入れる。本業務においては、モデル領域として 4500 km × 4900 km × 670 km の大きさの直方体をとる。a) において作成したプレート境界形状を、原点を (140°E 40°N) として、正距方位投影法によってモデル領域のデカルト座標系に変換した。

物性構造は、本年度では、簡単のために弾性-粘弾性の二層構造とする。沈み込みを受けるユーラシア大陸側の弾性層の厚さは 30 km、海洋プレートは 70 km とした。またスラブも厚さ 70 km の弾性層とし、その他の深部領域は一樣なマクスウェル粘弾性体とした。弾性層はヤング率 100 GPa、ポアソン比 0.25、粘弾性層はヤング率 200 GPa、ポアソン比 0.25、粘性率 10^{19} Pas とした。図 2(P.71)にプレート境界面で分割したモデル領域の形状と物性構造を示す。

上記のモデル領域に、2011 年東北沖地震に相当する力源を与え、与えられた境界条件のもとで弾性体、粘弾性体の平衡方程式を解くことによって、地震時、地震後の準静的変形場を求めることができる。地震は力学的には断層面における接線方向の変位の食い違いとして表現されるが、FEM においては、この力源を、微少な間隔をおいた 2 つの外部境界面に断層すべりに相当する相対変位境界条件を与えることによってモデル化する。断層面が形状を持っていたり、断層面の中ですべりに分布を持たせたりしたい場合には、断層面を複数の小断層に分割してそれぞれの小断層にすべりを与えることにより、形状やすべり分布を与えることができる。本業務では、断層面を 320 の小断層に分割し、Ozawa *et al.* (2012)⁶⁾ によるすべり分布を与えて計算を行なった。またモデル領域の地表面を除く外周部における境界条件として変位の並進 3 成分固定の境界条件を与えた。

このようにモデル領域と荷重と境界条件を設定した上で、領域をメッシュ分割して数値的に平衡方程式を解いた。本業務では、プレート境界面が複雑な形をしているため、四面体メッシュによってモデル領域を分割した。各メッシュは 20–100 km の大きさを持ち、モデル領域全体で 50 万個のメッシュに分割された。

図 3(P.71)に震源付近における鉛直断面と地表面におけるミーゼス応力の 100 年間の変化を示す。地震直後には地震すべりによる応力は上部マントルの底部にまで及んでいるが、粘弾性層においては時間とともに弱まっていることが見て取れる。一方、弾性層においては応力の及ぶ領域が時間とともに広がっている。これは、粘弾性層で応力緩和が起こるため、弾性層のみで 2011 年東北沖地震による力源を支えなければなくなるために起こる変化である。このような応力緩和による変形は GPS 観測で認められる余効変動とも対応している (Ozawa *et al.*, 2012⁶⁾)。

図 4(a, b)(P.72)には東西変位と鉛直変位を示した。図 4(a)(P.72)では地震直後に 10 m 以上の東西変位が起こり、時間とともにさらに収束変形が進む様子を表している。また図 4(b)(P.72)では地震直後に東北地方の太平洋沿岸に大きな沈降が起き、地震後はさらに沈降が進行している。この結果は、地震直後の 1 m におよぶ太平洋沿岸の沈降の観測とは調和的であるが、地震後に隆起が起こって地震時の沈降を解消している事実は説明できない (Ozawa *et al.*, 2011⁵⁾, 2012⁶⁾)。地震後の余効変動に関しては、これまでの研究で、アセノ

スフェアの粘弾性緩和、余効すべり、地殻内の間隙流体の流動などの効果が指摘されているが、現段階では粘弾性の効果のみしかとりいれられていない。観測されている地震後の隆起は余効すべりの効果によるものと考えられる。したがって、上下変動を説明するためには、今後、余効すべりをモデルに取り込んでいく必要がある。

2) 首都圏の震源モデル作成のための既存反射データの再解析と変動地形調査

a) 首都圏の震源モデル作成のための既存反射データの再解析

1)で行いつつある 2011 年東北沖地震後の日本列島域の地殻変動と応力再配分の数値モデリングを行う際に、対象領域の内陸部の震源断層モデルをより精度良く求めてこれを取り入れることは、他地域での例でもあるように (Freed *et al.*, 2007¹⁸⁾; Ali *et al.*, 2010¹⁹⁾)、既存の弱面である首都圏の活断層が 2011 年の巨大地震によって実際にどのような挙動を示す可能性があるのかを数値モデリングによって考察する上で非常に重要な点である。加えて、首都圏の地震災害軽減という課題の重要性に鑑みれば、第四紀後期に活動した証拠に乏しい断層であっても、ひとたび活動し地震を発生させれば甚大な被害を及ぼす可能性のある構造については、この様なモデリングにおいて取り扱うことが必要であると考えられる。

首都圏では、1990 年代初頭より深部構造探査のデータが集められてきた (例えば、佐藤・他, 2010²⁰⁾)。これらは震源断層モデル、特に深部形状を推定する上で非常に有用なデータセットである。一方で、様々なデータ取得パラメータと解析手法によって作成されているため、最新の解析技術を適用することによってイメージングを改善できる余地が大いにある。

このような観点から、本年度はテストケースとして 2005 年大大特・北関東測線で取得された深部構造断面佐藤・他, 2010²⁰⁾ のイメージング向上を目的とした反射法再解析を行った。2005 年大大特・北関東測線は、綾瀬川断層・武蔵野台地北東縁の活構造・立川断層など、関東平野に分布する主要な活構造を横断しており、その深部形状についての検討が既になされている (Ishiyama *et al.*, in review) など、首都圏の震源断層モデルの構築において鍵となる重要な測線のひとつである。今回の解析では、傾斜イベントのイメージング向上に有効とされる CRS (Common Reflection Surface) 法の一手法である、複数の傾斜イベントに対応可能な MDRS 法 (Multi-Dip Reflection Surface) (Aoki *et al.*, 2010²¹⁾) を採用し、屈折初動を用いた屈折トモグラフィによる速度構造解析と、これに基づく断面作成を行った。

平成 17 年度大都市圏地殻構造探査「北関東測線」の発震点、受振点及び CMP 重合測線を表示した広域調査測線図を図 5(P.73)に示す。当該測線は、東京都あきる野市の県道 31 号線上に起点に、茨城県坂東市に至る測線長約 91km の測線である。測線の西半分は南西-北東方向、東半分は東西方向に設定されている。地形的には、測線西から関東山地、多摩川低地、武蔵野台地、荒川低地、大宮台地、中川低地に大きく区分される。

(データ取得仕様) 当該測線における反射法データ取得では、最大展開長 18km の固定展開により南西端から発震点を移動させデータを取得し、途中から展開長約 16km の中点展開とし、測線北東端では固定展開としてデータが取得されている。また、屈折法データ取

得では片側展開長 20~38km の固定展開によりデータが取得されている。調査の概要を表 1(P.67)に、データ取得仕様一覧を表 2(P.67)に示す。

以下に、バイブレータを用いた反射法測線(CMP 重合測線長 91.05km)のデータ解析内容について記述する。既存解析データ処理フローを図 6(P.73)に示す。以下に主要な処理ステップについて表 3(P.68~69)にまとめた。以上の CMP 重合処理の結果、重合時間断面 (図 7(a)、P.74)、重合後時間マイグレーション断面 (図 7(b)、P.74)、重合後時間マイグレーション断面に対する深度変換断面 (図 7(c)、P.74)を得た。本解析では、標準的な反射法データ処理フローに加えて、CRS/MDRS 法による高精度イメージング処理を実施した。CRS 重合法では、CMP に属するトレースだけではなく、その近傍の CMP を多数併せた Supergather を重合処理することによって、従来の CMP 重合法とくらべて飛躍的に高い重合数を確保し、S/N 向上が図られる。また、反射点の異なるトレースの重合を空間解像度の劣化を抑えつつ適切に行うため、CRS 法におけるムーブアウト補正では、零オフセット記録上での反射波走時の傾斜及び曲率といった CMP 間の挙動に関わるパラメータが自動推定され、走時補正を経て重合記録が構築される。今回の解析では CRS 法の一手法である、複数の傾斜イベントに対応可能な MDRS 法 (Multi-Dip Reflection Surface) を採用した。MDRS 処理の概念図を図 8(P.75)に、処理フローを図 9(P.75)に示す。データ解析パラメータを表 4(P.69)に示した。以上の MDRS 重合処理の結果、重合時間断面 (図 10(a)、P.76)、重合後時間マイグレーション断面 (図 10(b)、P.76)、重合後時間マイグレーション断面に対する深度変換断面 (図 10(c)、P.76)を得た。

また、本調査で取得された全ての記録 (屈折法及び広角反射法記録、反射法記録) を用いて、屈折法データ解析フロー (図 11、P.77) に従って、屈折トモグラフィ解析を実施した。なお、屈折波 Tomography 法では 2 次元の鉛直面が解析対象であり、不規則発震点及び受振点分布に関しては投影面への投影が必要である。本解析では投影ラインを(1)調査測線全体範囲について、投影ラインを 1 本とする、(2)調査測線を南西-北東方向と、東西方向に分割し、投影ラインを 2 本に分ける、(3)調査測線中央部について、投影ラインを 1 本とする、の 3 通りを設定した。それぞれの場合について、屈折トモグラフィ解析結果と CMP 重合処理既存解析結果深度断面図との重複表示結果及び MDRS 解析深度断面との重複表示結果を図 12(P.78)、図 13(P.79)および図 14(P.80)に示す。

既存解析による深度断面 (図 7(c)、P.74) と MDRS 法を行った深度断面 (図 10(c)、P.76) を比較すると、荒川低地に伏在する逆断層上盤側の背斜構造に参加する上総層群に対応する反射面群の連続性は、既存解析 (CDP800-1200 の深度 2km 以浅) よりも MDRS 法による深度断面の方が良い。また、綾瀬川断層上盤側の背斜後翼部に参加する上総層群に対応する反射面群 (CDP700-850 の深度 1km 以浅) はより明瞭かつ連続性が良くなっており、全体としてイメージングの向上が図られているものと考えられる。

また、屈折法の結果 (図 12(P.78)、図 13(P.79)、図 14(P.80)) を見ると、測線の屈曲部を無視して投影ラインを作成して解析を行った結果 (図 12(P.78)、図 14(P.80)) では、深度断面で確認できる褶曲構造とは無関係に見える短波長の高速度異常が認められる (CDP1900-2100 の深度 2-3.5km)。これに対して、調査測線の屈曲部で解析測線を分けた場合、深度断面の褶曲構造と速度構造がより調和的であるように見える (図 13、P.79)。屈折トモグラフィ解析は二次元鉛直断面で解析を行うため、顕著な屈曲部がある北関東測線

のように測線の平面形状が複雑な場合、無理のない二次元断面を作成できる範囲で領域を分割して解析を行うのが適当であると考えられる。

b) 首都圏の震源モデル作成のための変動地形調査

a)で述べたように首都圏には深部構造探査の断面は得られつつある。その一方で、活断層の浅部構造については、人口稠密地域でありノイズレベルが高く、加えて機器の展開に多大な労力と困難が伴うため、良好なデータは数少ないのが現状である。一方、近年汎用性の高い独立型の収録器が開発され、これらを多数で展開し、比較的出力の大きいパイプレータ型震源と併用することで、都市部における活断層の精度良いイメージングが可能になりつつある（例えば、石山・他、2012²²⁾）。そのような観点から、首都圏の活構造でより高精度の浅部構造を明らかにする必要がある構造について、既存資料から検討を行った。

首都圏の活断層のうち、とりわけその浅部構造の実態が不明であるのは、綾瀬川断層（図 16、P.82）である。綾瀬川断層の北部については、石山・他(2005)²³⁾によって浅層反射法地震探査が実施され、中位段丘面の撓曲崖地形と調和的な撓曲構造がイメージングされている。一方で、綾瀬川断層南部については、埼玉県(1996)²⁴⁾で何本かの反射法地震探査が実施され、上総層群相当層の変位を認めている（図 17、P.82）。一方、地震調査研究推進本部(2000)²⁵⁾は、反射断面で見える変位について、断面下方で不鮮明であることから、断層帯南部では活断層ではないと指摘している。その後、渡辺(2007)²⁶⁾が変位地形の存在を指摘している。また、上述の変位地形の指摘に加えて、反射断面（Line A）を再検討した結果、断面下方で変位が不鮮明になるのは、構造が下方で消滅するからとは必ずしも言えず、探査の可探深度を超えているからである可能性がある。また、Line A に認められる変位の地表延長には、これと調和的な西向きの崖地形が中位段丘面上に認められる。このような検討から、より可探深度が大きく、しかも都市部のノイズを克服する高精度反射法地震探査と、撓曲変位の有無を確かめるための浅部ボーリング調査を実施して、綾瀬川断層南部の活動性と実態解明を行うことが必要であると考えられる。

(c) 結論ならびに今後の課題

- 1) 既存の太平洋プレート上面、フィリピン海プレート上面のプレート境界形状モデルを統合した日本列島域のプレート境界形状モデルを作成した。この形状モデルにもとづき、任意の形状を取り入れることのできる有限要素法を用いて、2011 年東北地方太平洋沖地震による地殻変動の数値シミュレーションの手法開発を行なった。物性構造は単純な弾性-粘弾性二層構造に設定した。計算結果は、粘弾性層における応力緩和にともなって、弾性層において応力の及ぶ範囲が広がっていくという基本的な性質を示す。また、水平変位は、ユーラシア-太平洋プレートが地震後も時間とともに収束運動することを示している。一方、鉛直変位は、地震時の東北地方の太平洋岸における沈降は説明できるが、その後観測されている隆起は計算によって再現できない。これは地震後の余効すべりの効果が入り入れられていないためである。今後、余効すべりの効果をモデルに取り入れる必要がある。
- 2) 首都圏の震源モデル作成のために、大大特・北関東測線の既存反射データの再解析を行った。その結果、MDRS 法の導入と、適切な解析領域を設定した屈折トモグラフィ

の適用によってイメージングの改善を図ることが可能であることが分かった。また、綾瀬川断層南部の既存資料の検討を行い、活動性の評価には、より可探深度が大きく、しかも都市部のノイズを克服する高精度反射法地震探査と、撓曲変位の有無を確かめるための浅部ボーリング調査を実施する必要があることが判明した。

(d) 引用文献

- 1) Nishimura, T., Munekane, H. and Yarai, H.: The 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake and its aftershocks observed by GEONET, *Earth Planets Space*, Vol.63, pp.631-636, 2011.
- 2) 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.
- 3) Simons, M., Minson, S., Sladen, A., Ortega, F., Jiang, J., Owen, S.E., Meng, L., Ampuero, J.-P., Wei, S., Chu, R., Helmberger, D.V., Kanamori, H., Hetland, E., Moore, A.W. and Webb, F.H.: The 2011 magnitude 9.0 Tohoku-Oki earthquake: mosaicking the megathrust from seconds to centuries, *Science*, Vol.332, pp.1421-1425, 2011.
- 4) Yagi, Y. and Fukahata, Y.: Rupture process of the 2011 Tohoku-oki earthquake and absolute elastic strain release, *Geophysical Research Letters*, Vol.38, L19307, doi:10.1029/2011GL048701, 2011.
- 5) Ozawa, S., Nishimura, T., Suito, H., Kobayashi, T., Tobita, M. and Imakiire, T.: Coseismic and postseismic slip of the 2011 magnitude-9 Tohoku-Oki earthquake, *Nature*, Vol.475, pp.373-376, 2011.
- 6) Ozawa, S., Nishimura, T., Munekane, H., Suito, H., Kobayashi, T., Tobita, M. and Imakiire, T.: Preceding, coseismic, and postseismic slips of the 2011 Tohoku earthquake, Japan, *Journal of Geophysical Research*, Vol.117, B07404, doi:10.1029/2011JB009120, 2012.
- 7) 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.
- 8) Matsubara, M., Obara, K. and Kasahara, K.: Three-dimensional P- and S-wave velocity structures beneath the Japan Islands obtained by high-density seismic stations by seismic tomography, *Tectonophysics*, Vol.454, pp.86-103, 2008.
- 9) Matsubara, M. and Obara, K.: The 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake related to a strong velocity gradient with the Pacific plate, *Earth Planets Space*, Vol.63, pp.663-667, 2011.
- 10) Nakajima, J. and Hasegawa, A.: Anomalous low-velocity zone and linear alignment of seismicity along it in the subducted Pacific slab beneath Kanto, Japan: Reactivation of subducted fracture zone? *Geophysical Research Letters*, Vol.33, L16309, doi:10.1029/2006GL026773, 2006.
- 11) Nakajima, J., Hirose, F. and Hasegawa, A.: Seismotectonics beneath the Tokyo metropolitan

- area, Japan: Effect of slab-slab contact and overlap on seismicity, *Journal of Geophysical Research*, Vol.114, B08309, doi:10.1029/2008JB006101, 2009.
- 12) Kita, S., Okada, T., Hasegawa, A., Nakajima, J. and Matsuzawa, T.: Anomalous deepening of a seismic belt in the upper-plane of the double seismic zone in the Pacific slab beneath the Hokkaido corner: Possible evidence for thermal shielding caused by subducted forearc crust materials, *Earth and Planetary Science Letters*, Vol.290, pp.415-426, 2010.
 - 13) Baba, T., Tanioka, Y., Cummins, P.R. and Uhira, K.: The slip distribution of the 1946 Nankai earthquake estimated from tsunami inversion using a new plate model, *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, Vol.132, pp.59-73, 2002.
 - 14) Nakajima, J. and Hasegawa, A.: Subduction of the Philippine Sea plate beneath southwestern Japan: Slab geometry and its relationship to arc magmatism, *Journal of Geophysical Research*, Vol.112, B08306, doi:10.1029/2006JB004770, 2007.
 - 15) Hirose, F., Nakajima, J. and Hasegawa, A.: Three-dimensional seismic velocity structure and configuration of the Philippine Sea slab in southwestern Japan estimated by double-difference tomography, *Journal of Geophysical Research*, Vol.113, B09315, doi:10.1029/2007JB005274, 2008.
 - 16) 弘瀬冬樹, 中島淳一, 長谷川昭: Double-Difference Tomography 法による関東地方の 3 次元地震波速度構造およびフィリピン海プレートの形状の推定, *地震*, Vol.60, pp.123-138, 2008.
 - 17) Hayes, G.P., Wald, D.J. and Johnson, R.L.: Slab1.0: A three-dimensional model of global subduction zone geometries, *Journal of Geophysical Research*, Vol.117, B01302, doi:10.1029/2011JB008524, 2012.
 - 18) Freed, A.M., Ali, S.T., and Bürgmann, R.: Evolution of stress in Southern California for the past 200 years from coseismic, postseismic and interseismic stress changes, *Geophysical Journal International*, Vol.169, 1164–1179, 2007.
 - 19) Ali, S.T., and Freed, A.M.: Contemporary deformation and stressing rates in Southern Alaska, *Geophysical Journal International*, Vol.183, 557–571, 2010.
 - 20) 佐藤比呂志ほか: 首都圏における地下構造探査: 堆積平野からプレートまで, 日本地質学会関東支部-日本第四紀学会ジョイントシンポジウム「関東盆地の地下地質構造と形成史」講演資料集, S-1, pp.12-15, 2010.
 - 21) Aoki, N., Narahara, S., Takahashi, A., and Nishiki, T.: Imaging of conflicting dipping events by the multi-dip reflection surfaces method, *SEG Expanded Abstract*, 2010.
 - 22) 石山達也, 佐藤比呂志, 東郷正美, 今泉俊文, 加藤直子: 神縄・国府津-松田断層帯の変動地形, *日本地震学会 2012 年秋季大会*, D21-06, 2012.
 - 23) 石山達也, 水野清秀, 水野清秀, 杉山雄一, 須貝俊彦, 中里裕臣, 八戸昭一, 末廣匡基, 細矢卓志: 変動地形・ボーリング・反射法地震探査により明らかになった綾瀬川断層北部の撓曲変形, *活断層古地震研究報告*, Vol.5, pp.29-37, 2005.
 - 24) 埼玉県: 平成 7 年度地震調査研究交付金 綾瀬川断層に関する調査 成果報告書, 200pp., 1996.
 - 25) 地震調査研究推進本部: 元荒川断層帯の評価,

<http://www.jishin.go.jp/main/chousa/00aug2/index.htm> (2013 年 4 月 9 日確認) .

- 26) 渡辺満久：綾瀬川断層の地形学的認定とその活動性，地学雑誌，Vol.116，pp.387-393，2007.
- 27) 中田 高・今泉俊文編：活断層詳細デジタルマップ．東京大学出版会 DVD-ROM 2 枚・付図 1 葉・60p，2002.

(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
M9地震サイクルによる東北地方の長期的東西圧縮モデル（口頭）	橋間昭徳・佐藤利典	函館市民会館（日本地震学会2012年度秋季大会）	2012 年 10 月 19日	国内
The interseismic, coseismic and permanent crustal deformation in the Tohoku region, Japan by the kinematic earthquake cycle model（ポスター）	Hashima, A., Sato, T.	Moscone West, San Francisco (American Geophysical Union, 2012 Fall Meeting)	2012年12月6日	国際
Imaging of seismogenic source faults for constructing community fault model	Hiroshi Sato, Tatsuya Ishiyama, Naoko Kato, Susumu Abe (JGI)	International Workshop of Special Project for Reducing Vulnerability for Urban Mega Earthquake Disasters (Miyagi, Japan)	2012年10月	国際
Deformation model of Kanto, Japan since 1 Ma due to double subduction and collision of the Izu-Bonin Arc	Akinori Hashima, Toshinori Sato, Tanio Ito, Takahiro Miyauchi, Hiroshi Sato	International Workshop of Special Project for Reducing Vulnerability for Urban Mega Earthquake Disasters (Miyagi, Japan)	2012年10月	国際
Reorganization of stresses beneath greater Tokyo after the 2011 Tohoku-Oki M9 earthquake -- a new Japan-USA research effort	David Okaya (USC), Andy Freed, Thorsten Becker, Hiroshi Sato,	International Workshop of Special Project for Reducing Vulnerability for Urban Mega Earthquake Disasters	2012年10月	国際

	Naoshi Hirata, Takuya Nishimura, Tatsuya Ishiyama	(Miyagi, Japan)		
--	--	-----------------	--	--

学会誌・雑誌等における論文掲載
なし

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

(3) 平成 25 年度業務計画案

東日本の構造モデルを作成し、三次元粘弾性有限要素法により平成 23 年東北地方太平洋沖地震後の余効変動・応力変化を求め、観測されたデータと比較し、既存弱面に作用するクーロン応力を求める。綾瀬川断層南部を横切る反射法地震探査を実施し、断層モデルを作成する。