

3. 2. 6 海溝型地震と内陸沿岸地震の関連メカニズムの評価準備

目 次

(1) 業務の内容

- (a) 業務題目
- (b) 担当者
- (c) 業務の目的
- (d) 8か年の年次実施計画（過去年度は、実施業務の要約）
 - 1) 平成25年度
 - 2) 平成26年度
 - 3) 平成27年度
 - 4) 平成28年度
 - 5) 平成29年度
 - 6) 平成30年度
 - 7) 平成31年度
 - 8) 平成32年度
- (e) 平成29年度業務目的

(2) 平成29年度の成果

- (a) 業務の要約
- (b) 業務の実施方法
 - 1) 地殻変動データ
 - 2) 有限要素モデル
 - 3) すべりインバージョン
 - 4) クーロン破壊応力
- (c) 業務の成果
 - 1) すべり速度欠損分布と地殻変動
 - 2) 西南日本ー琉球弧の応力蓄積速度場と震源断層の活動性
- (d) 結論ならびに今後の課題
- (e) 引用文献
- (f) 成果の論文発表・口頭発表等
- (g) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

(3) 平成30年度業務計画案

(1) 業務の内容

(a) 業務題目

2.6 海溝型地震と内陸沿岸地震の関連メカニズムの評価準備

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名
東京大学地震研究所	教授	佐藤比呂志
	教授	岩崎 貴哉
	助教	石山 達也
	特任助教	橋間 昭徳
	特任研究員	加藤 直子
University of Southern California	Associate Professor	David Okaya

(c) 業務の目的

海域・海陸統合構造調査などによって得られるデータ（サブサブテーマ 2.2、2.3）や、構成岩石モデル（サブサブテーマ 2.5.3）から得られるレオロジー特性を反映させ、より現実的な日本海周辺域の構造を反映した構造モデルを構築する。この構造モデル内に、断層の形状モデル（サブサブテーマ 2.5.1）を取り入れ、プレート境界での変位に伴う内陸の断層面上での応力変化を求めることにより、海溝型地震と内陸沿岸地震の関連メカニズムの評価準備を行う。

(d) 8か年の年次実施計画（過去年度は、実施業務の要約）

1) 平成25年度：

構成岩石の暫定モデル（サブサブテーマ 2.5.3）に基づいて、日本海域周辺のリソスフェア構造を日本列島の三次元モデルに反映させるための、デジタルデータを作成した。

2) 平成26年度：

日本海および沿岸域の断層形状モデル（サブサブテーマ 2.5.1）と構成岩石の初期モデル（サブサブテーマ 2.5.3）に基づいて、日本海域周辺の粘弾性モデル（初期モデル）を作成し、東北地方太平洋沖地震後の応力緩和に対応した断層面に作用するクーロン応力変化を求めた。

3) 平成27年度：

平成26年度に作成した粘弾性モデル（初期モデル）の入力信号として、2011年東北地方太平洋沖地震以前の巨大地震も合わせて考慮し、巨大地震の発生前と発生後の内陸断層のクーロン応力変化を共に評価した。

4) 平成28年度：

平成 27 年度までに作成した粘弾性モデルの想定すべり領域を拡張し、南海トラフや千島海溝における巨大地震による応力変化の計算を可能にした。

5) 平成 29 年度 :

平成 28 年度までに作成した粘弾性モデルに基づいて、南海トラフ等のプレート境界プロセスによる日本海南部および西南日本沿岸に分布する震源断層面上のクーロン応力変化を検討した。

6) 平成 30 年度 :

千島弧のすべり欠損の増大に伴う内陸・海域の断層群周辺の応力変化を求め、プレート境界での応力蓄積に伴う内陸での地震の起こりやすさについて、定量的に明らかにする。

7) 平成 31 年度 :

東北日本太平洋沖地震後の粘性緩和に伴う応力変化と、千島海溝・南海トラフ沿いのすべり欠損の増大に伴う応力蓄積の効果を取り入れた上盤プレート内の地震の発生のし易さについて評価を試みる。

8) 平成 32 年度 :

今後、数 10 年間の日本列島での上盤プレート内の大規模地震についての評価を取りまとめる。

(e) 平成 29 年度業務目的

前年度までに作成した粘弾性有限要素モデルに基づき、地殻変動データを拘束条件として、南海トラフ等のプレート境界プロセスによる日本海南部および西南日本沿岸に分布する震源断層面上のクーロン応力変化を求め、これらの震源断層における地震発生のポテンシャルについて検討する。

(2) 平成 29 年度の成果

(a) 業務の要約

西南日本ー琉球弧の GPS 観測網による地殻変動データからフィリピン海プレート上面のすべり速度欠損分布をインバージョンによって求め、得られたすべり速度欠損分布を日本列島域の三次元有限要素モデルに入力して、西南日本ー琉球弧の応力蓄積速度場と日本海南部および西南日本沿岸に分布する震源断層上におけるクーロン破壊応力を求めた。すべり速度欠損分布として、従来知られていた南海トラフの固着に加えて、琉球海溝における海溝後退を示すすべり速度余剰分布を得た。2016 年熊本地震を引き起こした九州における地殻変動における琉球海溝の海溝後退運動の重要性が示された。また、震源断層上におけるクーロン破壊応力の計算結果は、特に 2016 年熊本地震を引き起こした布田川、日奈久断層で促進的であることを示し、本研究の震源断層の活動性評価の有用性を示している。今後、断層の活動性評価の信頼性の向上のために、震源断層の摩擦係数の検討が必要である。

(b) 業務の実施方法

平成 28 年度までに作成した三次元粘弾性有限要素モデルにより、東北日本弧だけでなく、琉球弧、西南日本弧、千島弧のように日本列島域のほぼ全てをカバーする領域で、海溝型地震の力学的影響をモデリングすることが可能になった。現在、日本列島域で特に巨大地震の発生が危惧されているのは南海トラフと千島海溝である¹⁾。西南日本においては南海トラフの巨大地震に先立って内陸地震が発生しやすくなることも指摘されており、実際にここ 20 年、1995 年兵庫県南部地震、2000 年鳥取県西部地震、2005 年福岡県西方沖地震、2015 年薩摩半島西方沖地震、2016 年熊本地震と M7 級の地震が立て続けにおこっている。加えて、2011 年からは新燃岳の火山活動が盛んになっている。そこで、本年度は西南日本に焦点をあて、南海トラフにおける固着と内陸地震の関連メカニズムの解明に取り組む。そのために、地殻変動データを用いて、南海トラフ～琉球海溝におけるフィリピン海プレート上面のすべり速度欠損の最適モデルを求め、そのモデルを用いて日本海沿岸の震源断層に蓄積される応力を評価した。

1) 地殻変動データ

日本列島域には国土地理院により 1,200 以上の連続観測点からなる GPS 観測網 (GEONET) が設置されている²⁾。本研究では、各点の変位を算出する基準となる固定点とした長崎県福江島 (950462) の電子基準点を含め、西南日本弧、琉球弧上で北緯 36.5° 以南、東経 138 以西にある 451 観測点の日々の座標値 (F3 解) を用いる。各観測点において、アンテナ交換等の人為的なオフセットを国土地理院の算出³⁾に基づいて補正し、2001 年 1 月 1 日以降の基準点に対する変位の時系列を計算する。これらのうち、西南日本～琉球弧の代表的な 4 点 (940082, 950383, 950487, 960737) の時系列を図 1 に示す。それぞれの時系列は、上下成分でばらつきが大きいものの基本的には線形な変化を示すことと、2011 年東北沖地震や 950487 においては 2016 年熊本地震による変化が見て取れる。そこでこれらの地震の影響を避けるため、東北沖地震以前の 2001 年 1 月 1 日から 2010 年 12 月 31 日までの 10 年間を解析対象とした。期間内の西南日本～琉球弧の変位速度場を図 2 に示す。四国では南海トラフの固着に起因する北西方向への変動、南西諸島では逆に海溝へ向かう変動が見られる。両者の中間の九州地方南部は半時計周りの変動場が特徴的である。

2) 有限要素モデル

変位および応力計算に用いるモデルとして、昨年度までに作成した日本列島域の有限要素モデル^{4),5)}を使用する。ただし琉球海溝のプレート境界過程をも取り込む必要があるので、すべり領域を八重山諸島付近 (東経 123°) まで拡張した。南海トラフ～琉球海溝に沿ったすべり領域は $8 \times 27 = 216$ の小断層に分割した。内部構造は、弾性体のリソスフェアおよびスラブと粘弾性体アセノスフェアからなるとする。大陸下のリソスフェアの厚さは 30 km、海洋側リソスフェア～スラブの厚さは 80 km とした。弾性定数は全領域で剛性率 40 GPa、ポワソン比 0.25、粘性率は $10^{19} \text{ Pa} \cdot \text{s}$ とした。

巨大地震サイクルにともなう島弧変動の効果は Matsu'ura & Sato (1989)⁶⁾ によって定量的に示された。プレート境界におけるすべりは、プレート運動に伴う定常的なすべり

運動と巨大地震のすべり領域におけるすべり速度欠損（プレート間の固着）および地震時の急激なすべりの重ね合わせとして表すことができる。定常的なすべり運動は地質学的時間スケールで、巨大地震のすべりは地震時および地震後数十年の変動でそれぞれ支配的である。これらに対し、本研究の解析期間ではプレート間の固着の効果が支配的であると考えられる。固着による変動は、長期のすべり速度欠損の継続による応答の積分によって得られる。巨大地震から数十年もたてば粘弾性的効果が卓越し、弾性層以深のすべりの寄与はほぼ無視できる。そこで、本研究では、前述の 216 の小断層のうち大陸のリソスフェア—アセノスフェア境界（深さ 30 km）以浅の 108 の小断層（図 2）を使用し、粘性緩和後のすべり応答を計算した。

3) すべりインバージョン

本研究では標準的な線形インバージョン⁷⁾を行い、プレート境界におけるすべり速度欠損の分布を求める。観測方程式は

$$\mathbf{d} = \mathbf{A}\mathbf{x} \quad (1)$$

と表される。ここでベクトル \mathbf{d} は観測変位を表すデータベクトル、 \mathbf{A} はすべりに対する変位応答を表す係数行列、 \mathbf{x} はすべりを表すモデルパラメータベクトルである。 \mathbf{d} と \mathbf{A} は観測データの種類ごとの重みを含む。1) で検討したデータのばらつき具合を考慮し、データの重みは水平変位：鉛直変位 = 1:1/5 とした。また、解のオーバーフィッティングを抑えるために、すべり分布がなめらかであるという条件を課す。この条件は、

$$\alpha\mathbf{L}\mathbf{x} = 0 \quad (2)$$

によって与えられる。 \mathbf{L} は離散化したラプラス演算子によって表した。 α は観測方程式(1)に対して、解のなめらかさ(2)の相対的な重みを示す係数である。ある α について解は以下のように表すことができる。

$$\mathbf{x}_{BF} = (\mathbf{A}^T\mathbf{A} + \alpha^2\mathbf{L}^T\mathbf{L})^{-1}\mathbf{A}^T\mathbf{d}. \quad (3)$$

α の値を決定するために、様々な値の α における解において、観測変位と計算変位の一致度を示すパラメータである VR (Variance reduction) とすべり分布の粗さのトレードオフ曲線を作成した(図 3)。VR は、解が観測データと完全に一致するときに 1 の値をとる。この曲線は、観測変位と計算変位を合わせようとするのと引き換えに解があばれるということを表している。緩勾配のところではすべり分布の粗さ（あばれ具合）をほどほどに抑えながら VR を増大させることができるが、急勾配になると、すべり分布が急激にあばれて物理的に実現されにくい解となる。観測データをできるだけ満たしつつ最大限なめらかなすべり分布を示す解は、この曲線で緩傾斜から急傾斜に移る曲率最大点において実現されると考えられ、この点の α における解を最適解とした。

4) クーロン破壊応力

インバージョンで得られたすべり速度欠損分布を用いて、有限要素モデル内の任意の点において応力速度 σ_{ij} を計算できる。震源断層にかかる具体的な応力速度成分は、断層における応力速度テンソル σ_{ij} 、震源断層の法線ベクトル n_i 、すべり方向ベクトル v_i ($i, j = 1, 2, 3$) を用いて表すことができる。外部からかかる応力による断層のすべりやすさの指標であるクーロン破壊応力 Δ CFS は以下の式で表される。

$$\Delta CFS = \tau_s + \mu \sigma_n \quad (4)$$

σ_n は法線応力速度成分、 τ_s は剪断応力速度成分、 μ は実効摩擦係数である。各応力速度成分はそれぞれ

$$\sigma_n = \sigma_{ij} n_i n_j, \quad \tau_s = \sigma_{ij} n_i v_j \quad (5)$$

と表される（総和規約を適用）。

断層面の法線ベクトル n_i は、ここではサブサブテーマ 2.5.1「断層モデルの構築」で進めている日本海南部、西南日本沿岸および九州地方の矩形断層モデルによる。断層のすべり方向ベクトル v_i は、平成 26 年度業務で行ったように、震源メカニズム解のカタログ⁸⁾から求めた広域応力場による断層面上の最大剪断応力方向であると仮定する⁹⁾。実効摩擦係数 μ は多くの研究で標準的に用いられる値 0.4 を一律に仮定する。

(c) 業務の成果

1) すべり速度欠損分布と地殻変動

図 4 (a) にすべりインバージョンの結果および地殻変動を示す。すべり速度欠損は四国沖において最大 8 cm/yr となり、ここでの固着が四国周辺の北西方向への変動を引き起こす。これは既存の研究^{10),11),12),13)}と調和的な結果である。一方、鹿児島沖から南はすべり速度欠損が負（すべり速度余剰）の領域となる。すべり速度余剰は八重山諸島で 6 cm/yr に達し、琉球弧の海溝方向への変動を引き起こす。

ところで、すべり速度欠損がプレート間の固着という物理過程の表現であると理解されているのに対し、すべり速度余剰に対応する物理過程は直感的に捉えがたい。事実としては、琉球弧のみならず、マリアナ弧、トンガ―ケルマデック弧、スコシア弧などの島弧は背弧側に対し海溝側への運動が GPS 地殻変動観測によって示されており^{14),15),16),17)}、すべり速度余剰の進行を表している。これらの島弧に共通するのは、活動的な背弧海盆を伴い、背弧が海溝軸の直交方向に伸張的な変動の場であることである。これらの変動について、多くの測地研究では島弧がブロックをなしているとの仮定のもとに、背弧側のプレートに対する剛体運動をしていると解釈している^{12),16),18)}。しかし、大陸や島弧のリソスフェアは一般に広域的な内部変形を示し、脆性的な上部地殻において変形が局在化しているにすぎない¹⁹⁾。Hashima et al. (2008)²⁰⁾ は GPS 観測にもとづいてすべり速度余剰による内部変形を計算し、上盤プレート内部に伸張応力場が形成されることを示した。また、近年のプレート沈み込みモデリングの研究によると、スラブの自重によるスラブ後退により沈み込み速度の増大が起こり、上盤プレート内に伸張応力場が形成されて背弧拡大に至ることを示している^{21),22),23),24)}。以上のことから、すべり速度余剰はスラブ後退の浅部での現れ（海溝後退）であり、これらが上盤プレートに内部変形を引き起こし、背弧拡大に至るものと考えられる。

本研究で得られたすべり速度欠損分布は、西南日本―琉球弧における 10 年間の地殻変動が南海トラフの固着と琉球海溝の海溝後退の効果の重ね合わせであることを示している。特に九州は両効果が遷移する領域であり、南九州で特徴的な反時計回りの変動もそのように説明できる。2016 年熊本地震の発生もこのような文脈のもとで理解されるべきである。

図 4 (b) には観測変位から計算変位を差し引いた残差変位分布を示した。残差が 0 の場合、観測変位が計算により完全に再現されていることを表す。残差変位は中部地方や八重

山諸島で大きい、これらはすべり領域の端に近く再現性が悪いと考えられる。そのほか系統的な残差変位が見られる場所として、桜島周辺、四国と紀伊半島の南端部、九州北西部、島根半島が挙げられる。桜島では火山活動による地殻変動を考慮する必要があるだろう。四国、紀伊半島の南端部ではすべり領域に近い、すべり領域の分割の粗さが原因だと考えられる。すべり領域から離れた九州北西部、島根半島における残差は、計算に用いたモデルの構造、特に弾性-粘弾性層境界の仮定に問題があることを示している。これらは今後のモデルの高度化によって改善すべき課題である。

2) 西南日本-琉球弧の応力蓄積速度場と震源断層の活動性

図 5 に、1) で得られたすべり速度欠損分布を用いて、有限要素モデルにより得られた西南日本-琉球弧における深さ 10 km の応力蓄積速度場を示す。図からは、基本的に、南海トラフにおける固着により中国・四国地方で北西-南東方向へ圧縮が生じ、琉球海溝における海溝後退により東シナ海で南北方向の伸張応力が生じていることが見て取れる。

図 6 にこの地域の震源断層におけるクーロン破壊応力の計算結果を示した。クーロン破壊応力が正の断層では応力によりすべりが促進、負の断層では抑制される状態であることを示している。特に、M7 級であった 2005 年福岡県西方沖の地震、2015 年薩摩半島西方沖地震の震源断層、2016 年熊本地震が発生した布田川断層、日奈久断層が促進的応力であったことが注目値する。日本海南部では大局的に、島根沖が促進的、鳥取沖、山口-九州沖が抑制的になっている。これらの地域の逆断層は南海トラフの固着により剪断応力成分は促進的であるが、法線応力成分は抑制的である。また同地域の横ずれ断層はおおむね逆断層とは逆の傾向を示す。式 (4) より、個々の断層におけるクーロン破壊応力はこれら剪断応力成分と法線応力成分の兼ね合いで決まる。本研究では、式 (4) 中の摩擦係数 μ は断層によらず一定としたが、実際は個々の断層の運動パラメータや物性に依存すると考えられる。今後、このような断層の活動性評価の信頼性を向上させるためにも、摩擦係数 μ の詳細な検討が必要である。

(d) 結論ならびに今後の課題

西南日本-琉球弧の GPS 観測網による地殻変動データからフィリピン海プレート上面のすべり速度欠損分布をインバージョンによって求め、そのすべり速度欠損分布を日本列島域の三次元有限要素モデルに入力して、西南日本-琉球弧の応力蓄積速度場、日本海南部および西南日本沿岸に分布する震源断層上におけるクーロン破壊応力を求めた。結果、まずすべり速度欠損分布として、従来知られていた南海トラフの固着に加えて、琉球海溝における海溝後退を示すすべり速度余剰分布を得た。2016 年熊本地震を引き起こした九州における地殻変動を考える上でこのすべり速度余剰の効果は重要である。また、同地域で震源断層におけるクーロン破壊応力計算した結果、特に布田川、日奈久断層では促進的であった。今後、断層の活動性評価の信頼性の向上のために、震源断層の摩擦係数の検討が必要である。

(e) 引用文献

- 1) 地震調査研究推進本部：活断層及び海溝型地震の長期評価結果一覧（2018年1月1日での算定），<https://www.jishin.go.jp/main/choukihyoka/ichiran.pdf>（2018年4月9日確認）。
- 2) Sagiya, T., Miyazaki, S., Tada, T.: Continuous GPS Array and Present-day Crustal Deformation of Japan, *Pure and Applied Geophysics*, Vol.157, pp.2303-2322, 2000.
- 3) 国土交通省国土地理院：よくある質問と回答 4-2, http://www.gsi.go.jp/kanshi/faq2_2.html（2018年4月9日確認）。
- 4) Hashima, A., Becker, T.W., Freed, A.M., Sato, H., Okaya, D.A.: Coseismic deformation due to the 2011 Tohoku earthquake: influence of 3-D elastic structure around Japan, *Earth, Planets and Space*, Vol.68, pp.DOI: 10.1186/s40623-016-0535-9, 2016.
- 5) Freed, A.M., Hashima, A., Becker, T.W., Okaya, D.A., Sato, H., Hatanaka, Y.: Resolving depth-dependent subduction zone viscosity and afterslip from postseismic displacements following the 2011 Tohoku-oki, Japan Earthquake, *Earth and Planetary Science Letters*, Vol.459, pp.279-290, 2017.
- 6) Matsu'ura, M., Sato, T.: A dislocation model for the earthquake cycle at convergent plate boundaries, *Geophysical Journal International*, Vol.96, pp.23-32, 1989.
- 7) Menke, W.: *Geophysical Data Analysis: Discrete Inverse Theory*, 3rd edn MATLAB edn, Academic Press (Elsevier), 2012.
- 8) Terakawa, T., Matsu'ura, M.: The 3-D tectonic stress fields in and around Japan inverted from centroid moment tensor data of seismic events, *Tectonics*, Vol.29, pp.TC6008, doi:10.1029/2009TC002626, 2010.
- 9) 佐藤比呂志, 岩崎貴哉, 石山達也, 橋間昭徳, 加藤直子：海溝型地震と内陸沿岸地震の関連メカニズムの評価準備, 平成26年度「日本海地震・津波調査プロジェクト」成果報告書, 267-278, 2015.
- 10) Yoshioka, S.: The interplate coupling and stress accumulation process of large earthquakes along the Nankai trough, southwest Japan, derived from geodetic and seismic data, *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, Vol.66, pp.214-243, 1991.
- 11) Ito, T., Yoshioka, S., Miyazaki, S.: Interplate coupling in southwest Japan deduced from inversion analysis of GPS data, *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, Vol.115, pp.17-34, 1999.
- 12) Wallace, L.M., Ellis, S., Miyao, K., Miura, S., Beavan, J., Goto, J.: Enigmatic, highly active left-lateral shear zone in southwest Japan explained by aseismic ridge collision, *Geology*, Vol.37, pp.143-146, 2009.
- 13) Yokota, Y., Ishikawa, T., Watanabe, S., Tashiro, T., Asada, A.: Seafloor geodetic constraints on interplate coupling of the Nankai Trough megathrust zone, *Nature*, Vol.534, pp.374-377, 2016.
- 14) Bevis, M., Taylor, F.W., Schutz, B.E., Recy, J., Isacks, B.L., Helu, S., Singh, R.,

- Kendrick, E., Stowell, J., Taylor, B., Calmant, S.: Geodetic observations of very rapid convergence and back-arc extension at the Tonga arc, *Nature*, Vol.374, pp.249-251, 1995.
- 15) Kato, T., Kotake, Y., Nakao, S., Beavan, J., Hirahara, K., Okada, M., Hoshiba, M., Kamigaichi, O., Feir, R.B., Park, P.H., Gerasimenko, M.D., Kasahara, M.: Initial results from WING, the continuous GPS network in the western Pacific area, *Geophysical Research Letters*, Vol.25, pp.369-372, 1998.
 - 16) Kato, T., Beavan, J., Matsushima, T., Kotake, Y., Camacho, J.T., Nakao, S.: Geodetic evidence of back-arc spreading in the Mariana Trough, *Geophysical Research Letters*, Vol.30, pp.1625, doi:10.1029/2002GL016757, 2003.
 - 17) Smalley Jr., R., Dalziel, W.D., Bevis, M.G., Kendrick, E., Stamps, D.S., King, E.C., Taylor, F.W., Lauría, E., Zakrajsek, A., Parra, H.: Scotia arc kinematics from GPS geodesy, *Geophysical Research Letters*, Vol.34, pp.L21308, doi:10.1029/2007GL031699, 2007.
 - 18) Thomas, C., Livermore, R., Pollitz, F.: Motion of the Scotia Sea plates, *Geophysical Journal International*, Vol.155, pp.789-804, 2003.
 - 19) Bourne, S.J., England, P.C., Parsons, B.: The motion of crustal blocks driven by flow of the lower lithosphere and implications for slip rates of continental strike-slip faults, *Nature*, Vol.391, pp.655-659, 1998.
 - 20) Hashima, A., Fukahata, Y., Matsu'ura, M.: 3-D simulation of tectonic evolution of the Mariana arc-back-arc system with a coupled model of plate subduction and back-arc spreading, *Tectonophysics*, Vol.458, pp.127-136, 2008.
 - 21) Funicello, F., Morra, G., Regenauer-Lieb, K., Giardini, D.: Dynamics of retreating slabs: 1. Insights from two-dimensional numerical experiments, *Journal of Geophysical Research*, Vol.108, pp.2206, doi:10.1029/2001JB000898, 2003a.
 - 22) Funicello, F., Faccenna, C., Giardini, D., Regenauer-Lieb, K.: Dynamics of retreating slabs: 2. Insights from three-dimensional laboratory experiments, *Journal of Geophysical Research*, Vol.108, pp.2207, doi:10.1029/2001JB000896, 2003b.
 - 23) Stegman, D.R., Freeman, J., Schellart, W.P., Moresi, L., May, D.: Influence of trench width on subduction hinge retreat rates in 3-D models of slab rollback, *Geochemistry Geophysics Geosystems*, Vol.7, pp.Q03012, doi:10.1029/2005GC001056, 2006.
 - 24) Holt, A.F., Royden, L.H., Becker, T.W.: The dynamics of double slab subduction, *Geophysical Journal International*, Vol.209, pp.250-265, 2017.

(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
Hashima, A., H. Sato, and T. Ishiyama	Inland stress accumulation in the Southwest Japan arc due to interseismic coupling along the Nankai trough and slab rollback under the Ryukyu trench (ポスター発表)	European Geosciences Union General Assembly 2017 (ウィーン)	平成 29 年 4 月 28 日
岩崎貴哉, 佐藤比呂志, 篠原雅尚, 石山達也, 橋間昭徳, 松原誠, 雨宮由美	Fundamental structure model of island arcs and subducted plates in and around Japan-II (口頭発表)	日本地球惑星科学連合 2017 年大会 (千葉市)	平成 29 年 5 月 24 日
橋間昭徳, 佐藤比呂志	2016年福島沖地震と2016年茨城県北部地震に対する2011年東北沖地震後の粘弾性緩和と余効すべりの効果 (口頭発表)	日本地球惑星科学連合 2017 年大会 (千葉市)	平成 29 年 5 月 25 日
橋間昭徳, 佐藤比呂志, 石山達也	西南日本の応力蓄積に対する南海トラフの固着と琉球海溝のスラブ後退の効果 (口頭発表)	日本地震学会 2017 年度秋季大会 (鹿児島市)	平成 29 年 10 月 27 日

(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

(3) 平成 30 年度業務計画案

千島弧のすべり欠損の増大に伴う内陸・海域の断層群周辺の応力変化を求め、プレート境界での応力蓄積に伴う内陸での地震の起こりやすさについて、定量的に明らかにする。

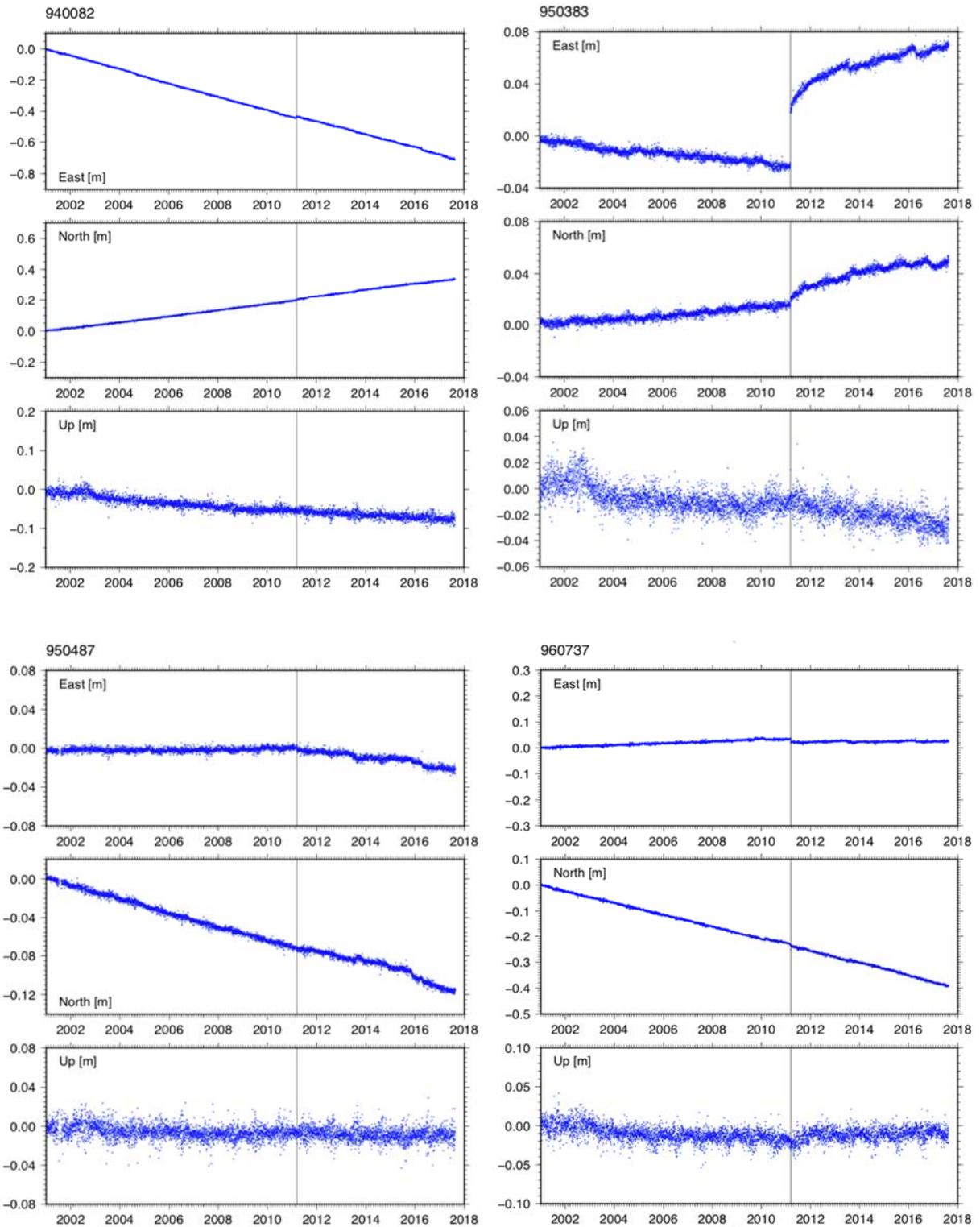


図1 電子基準点 (940082, 950383, 950487, 960737) の変動時系列
 西南日本－琉球弧の代表的な4点 (940082, 950383, 950487, 960737) の東向き (East)、
 北向き (North)、上向き (Up) の2001年1月1日以降の変動時系列。各点の位置は図2
 に示した。縦線は2011年東北沖地震の発生時を示す。

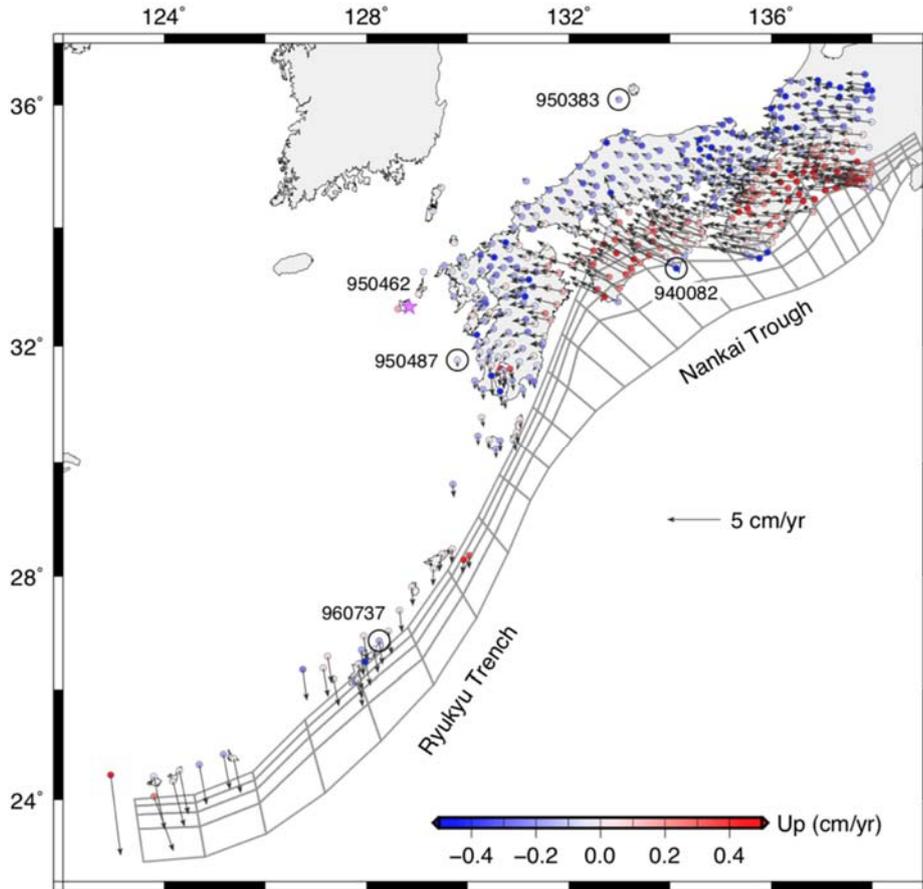


図2 西南日本—琉球弧の変位速度場

西南日本—琉球弧の2001年1月1日から2010年12月31日までの10年間の変位速度場。各点において矢印は水平変位速度、色は上下変位速度を表す。星記号は固定点(950462)。図1で変動時系列を示した4点の電子基準点を表示してある。有限要素モデルですべり応答の計算に用いた108枚の小断層の位置を示す。南海トラフ(Nankai Trough)と琉球海溝(Ryukyu Trench)の位置を示した。

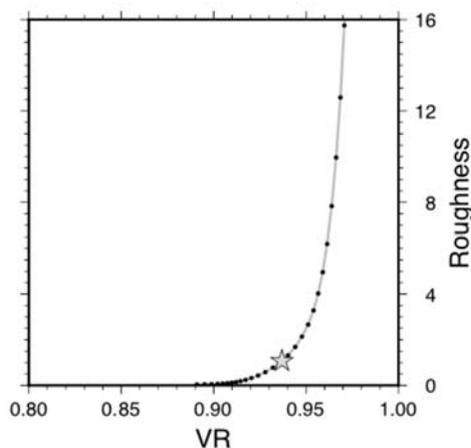


図3 計算—観測変位のずれ具合とすべり分布の粗さのトレードオフ曲線

VRは計算変位と観測変位の一致度、Roughnessはすべり分布の粗さ。星記号は曲率最大点。

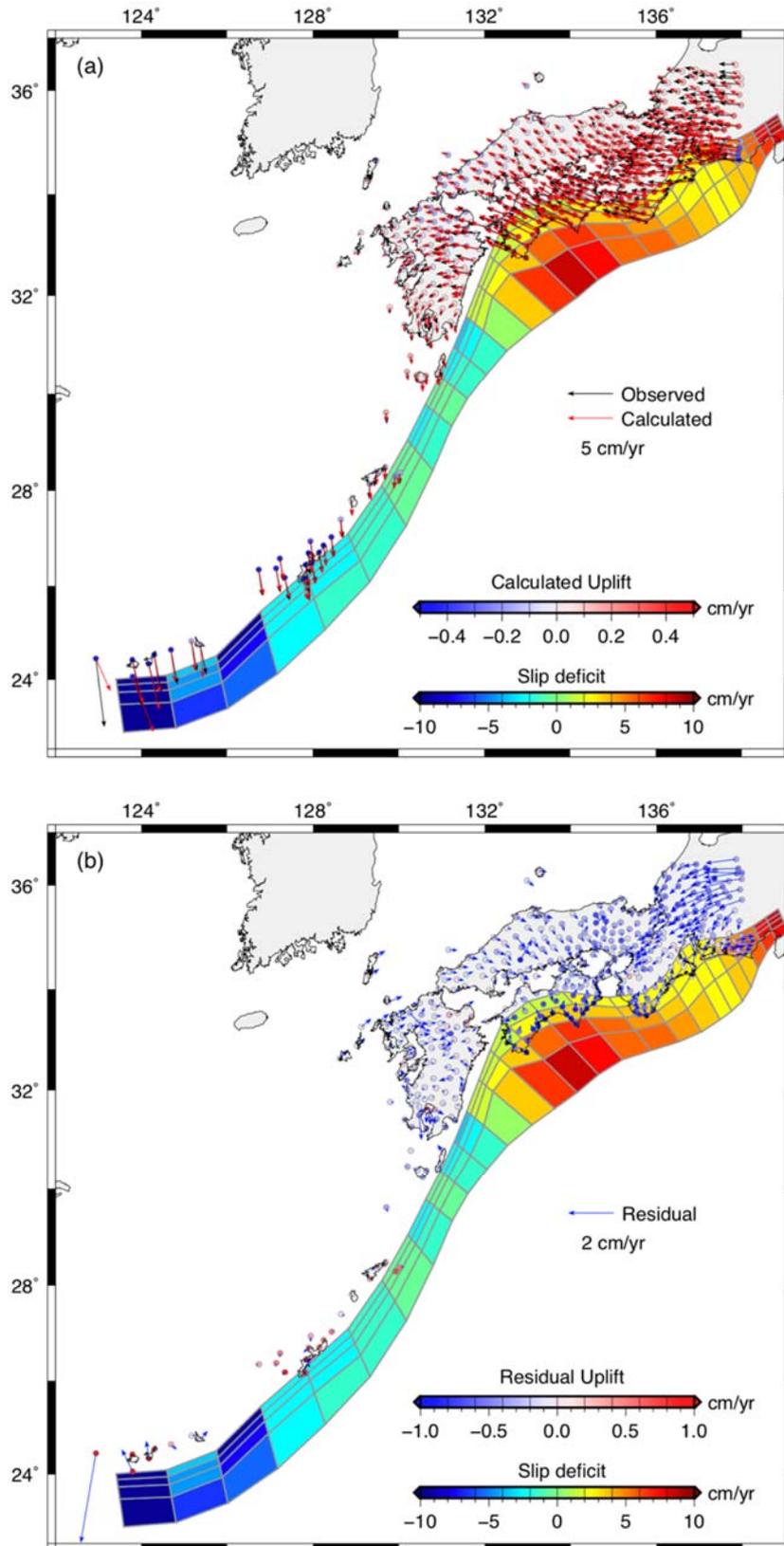


図4 インバージョンによって得られたすべり速度欠損分布と地表変位速度
 (a) 赤い矢印および各点の色はインバージョンにより得られた水平、上下の変位速度。黒い矢印は観測水平変位。(b) 矢印と各点の色は残差変位速度の水平、上下成分。残差変位速度は観測変位速度から計算変位速度を差し引いた量である。

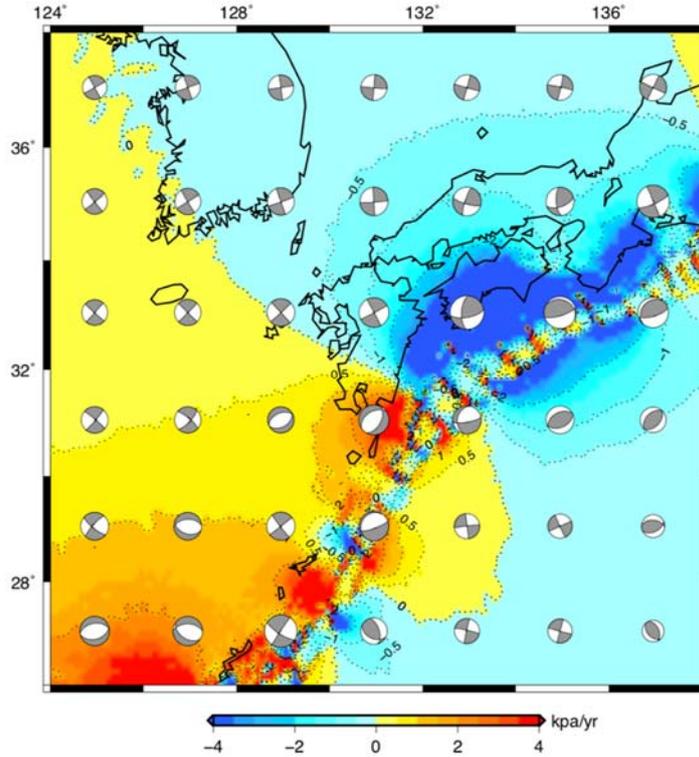


図5 計算によって得られた西南-琉球弧の応力蓄積パターン
 背景色は平均法線応力速度。体積的な伸張・圧縮による応力を表す（伸張を正とする）。メカニズム解は応力速度テンソルのパターンを表す（黒象限が伸張、白象限が圧縮に対応）。

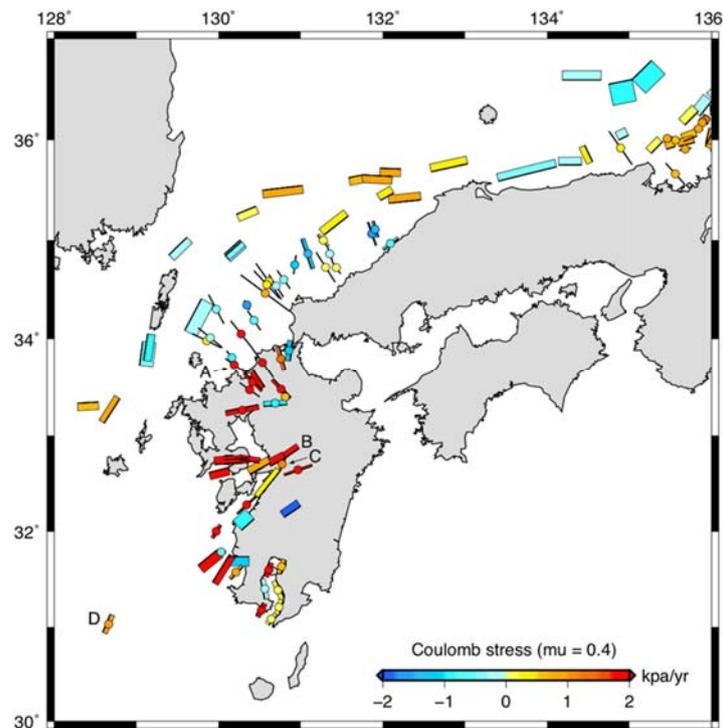


図6 震源断層におけるクーロン破壊応力
 傾き 70° 未満の断層については矩形の色で、 70° 以上の断層については、断層上の丸の色でクーロン破壊応力を示す。A：2005年福岡県西方沖地震の震源断層、B：布田川断層、C：日奈久断層、D：2015年薩摩半島西方沖地震の震源断層