

3.3.4 プレート間地震モデル化の研究（地震・測地）

(1) 業務の内容

(a) 業務題目：プレート間地震モデル化の研究（地震・測地）

(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	助手	山中佳子	sanchu@eri.u-tokyo.ac.jp
北海道大学理学研究科	助教授	谷岡勇市郎	tanioka@eos.hokudai.ac.jp
名古屋大学大学院環境学研究科	助教授	鷺谷 威	sagiya@seis.nagoya-u.ac.jp
気象庁精密地震観測室	室長	石川有三	catfish@wa2.so-net.ne.jp
気象研究所地震火山研究部	主任研究官	吉田康宏	yyoshida@mri-jma.go.jp

(c) 業務の目的

最近の研究で、アスペリティの分布が時間的に変わらないことが明らかになってきた。このアスペリティモデルが確認できれば、強震動予測のための震源のモデル化にとって大きな手掛かりとなる。そこで本研究では地震、測地、津波など様々なデータを用いて海溝型巨大地震の震源過程を過去に遡って解析しアスペリティモデルの確認を推進する。アスペリティと非地震性すべり域は住み分けられるという仮説が提案されつつある。これを検証するためプレート間でのゆっくりとしたすべりに関しても研究を進めていく。

(d) 5カ年の年次実施計画

- 1) 平成14年度：福島県沖の地震の解析、関東地震のデータ収集、地殻変動データ収集・解析
- 2) 平成15年度：2003年の大地震の解析、関東地震の再解析、固着域モデルの高精度化
- 3) 平成16年度：東南海地震等の解析、関東地震モデルの高精度化、スローイベントモデルの高精度化
- 4) 平成17年度：プレート間地震震源過程のデータベース化
- 5) 平成18年度：プレート間地震アスペリティの統一モデル

(e) 平成16年度業務目的

巨大プレート間地震の中でも主要都市圏にとって重要性が非常に高いフィリピン海プレート沿いの巨大地震、特に関東地震、東南海地震について地震活動データ、地震波形データ、津波波形データを使って重点的に研究を行った。さらに関東地域のプレート境界面での広域なゆっくりとしたすべり現象にも注目した。

(2) 平成16年度の成果

(2-1)津波波形解析による関東地震の震源過程

谷岡勇市郎（北海道大学理学研究科地震火山研究観測センター）

(a) 業務の要約

1923年関東地震の震源過程の推定は今まで地殻変動及び地震波形の解析により行われてきた。1923年関東地震は、地震時地殻変動の大きかった場所が海底に及んでいるため、津波を発生させており、津波波形は太平洋沿岸の検潮所で広く観測されている（北は八戸から南は細島まで）。本研究では関東地震の震源過程を津波波形から推定するため、東京湾内の4検潮所（横須賀、芝浦、深川、千葉）で記録された津波波形を解析した。

(b) 業務の実施方法

1923年関東地震の震源過程の解析はこれまで主に地殻変動データを用いて行われてきた（Matsuura and Iwasaki, 1983; Wald and Somerville, 1995等）。本研究ではWald and Somerville (1995)が推定したすべり量分布を図1に示す6つの小断層に簡素化した。その6つの小断層にそれぞれすべり量を与えて地殻変動を計算し、それを初期波形として津波の数値計算を実施した。計算格子は12秒（約50m）とした。1923年当時の東京湾の地形は現在とは大きく異なっており、震災予防調査会報告(1926)に掲載されている地図を参照して作成した。図1中の▲は津波波形が記録された検潮所の位置を示す。全ての検潮所が震源域近傍に位置するが特に横須賀は震源域の真上にある事がよく分かる。

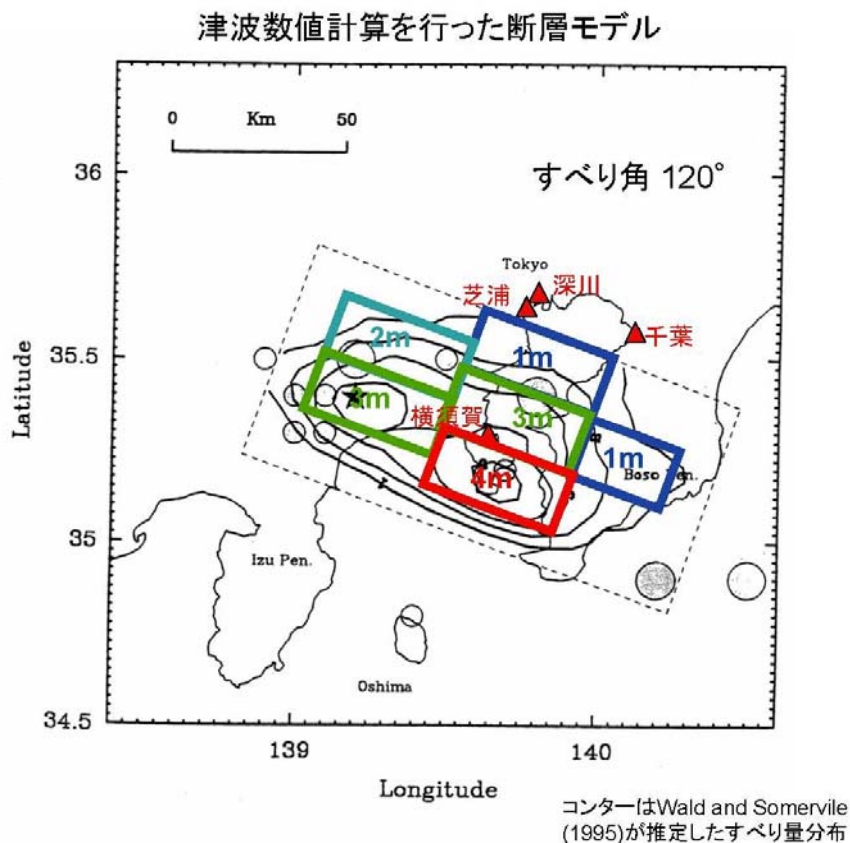


図1 Wald and Somerville(1995)で推定された1923年関東地震のすべり量分布を参考にして作成した6つの小断層。

(c) 業務の成果

図2に観測波形と計算波形の比較を示す。横須賀で観測された津波波形は特徴的で、まず引き波で始まり、その後小さな押し波、そして非常に大きな引き波で振り切れている。津波の周期も他の3つの観測波形に比べて短い事が分かる。これら津波波形の特徴は、断層モデルの影響を大きく受けていると思われる。計算波形（赤線）を見ると上記の特徴が良く再現されており、地殻変動から推定された Wald and Somerville(1995)のすべり量分布が横須賀で観測された特徴的な津波波形と調和的である事を示す。その他の観測波形も計算により良く再現されており、東京湾で観測された全ての津波波形は地殻変動から推定されたすべり量分布でよく説明できる事がわかった。

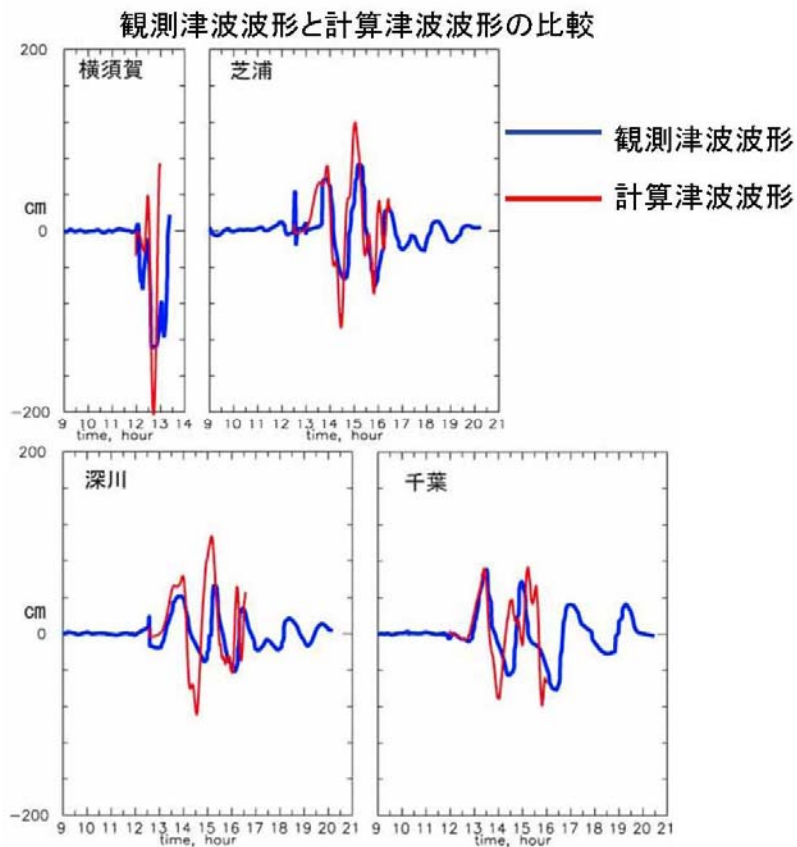


図2 観測津波波形と計算津波波形の比較。断層モデルは図1に示す。

さらに、横須賀の津波波形がどの程度断層モデルを拘束できているのかを示すため、図3に示すように、東京湾直下の2つの断層がすべらず、4つの小断層だけがすべったとして津波波形を計算した。図4に観測波形と計算波形の比較を示すが、横須賀の観測波形がまず引き波で始まり、その後小さな押し波、そして非常に大きな引き波で振り切れている状況は計算波形では説明できていない。計算波形は大きな押し波で始まり、その後押し波と同程度の引き波となる。つまり、観測波形を説明するためには東京湾直下の断層のすべりが必要であると結論づけられた。

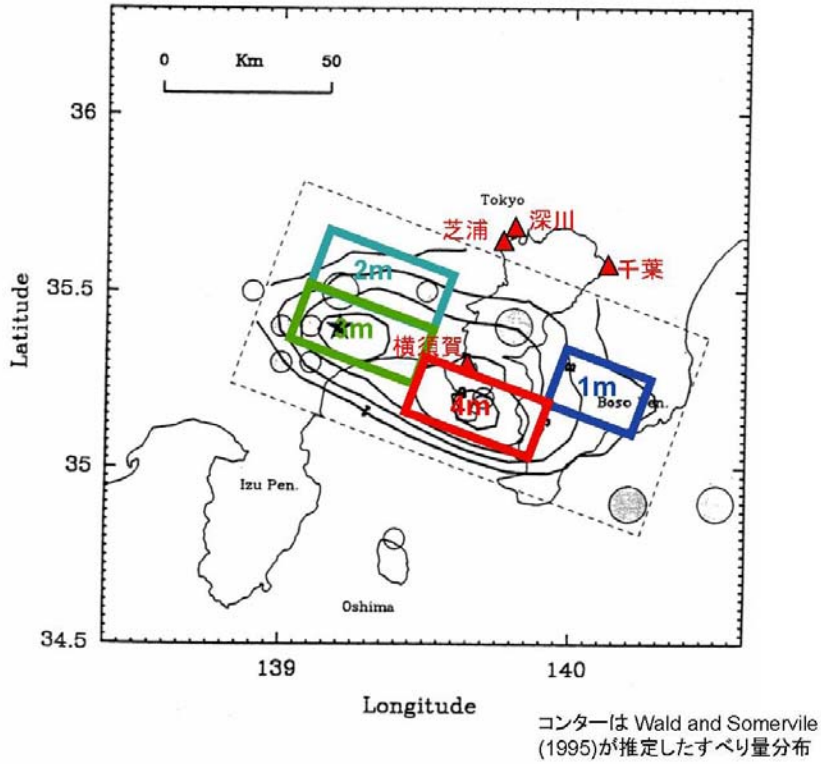


図3 東京湾直下の2つの小断層をはぶいた1923年関東地震の断層モデル。

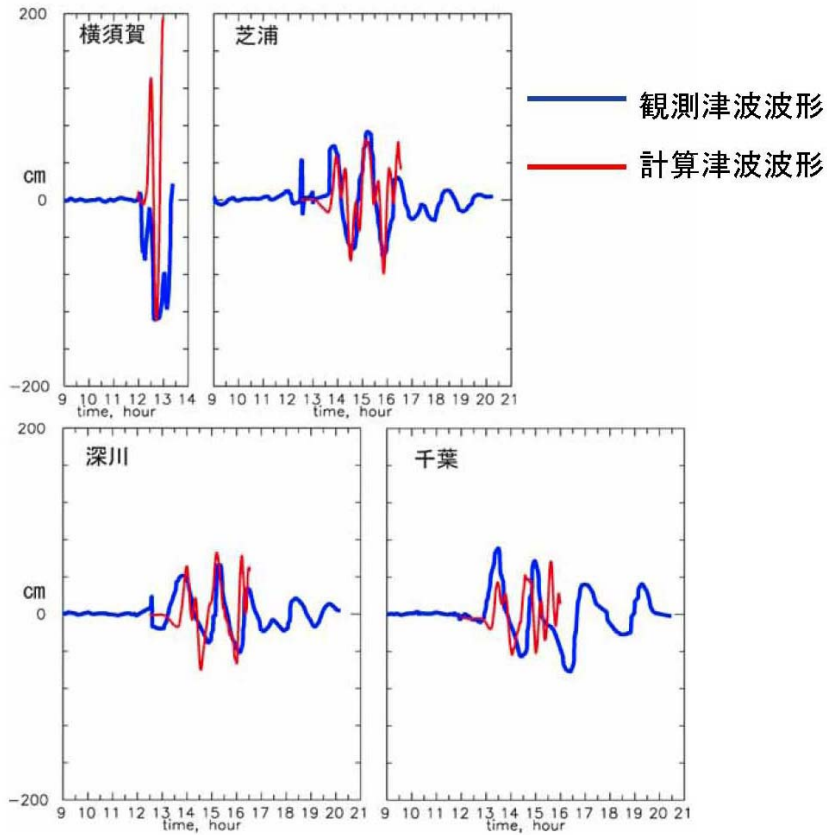


図4 図3で示された断層モデルから計算された津波計算波形と観測波形の比較。

(d) 結論ならびに今後の課題

東京湾で観測された津波波形を用いて 1923 年関東地震の震源過程を解析した結果、地殻変動から推定された Wald and Somerville(1995)のすべり量分布で津波波形をほぼ説明できる事が分かった。今後、東京湾以外の検潮記録も合わせて使用し 1923 年関東地震のすべり量分布を推定する必要がある。

(e) 引用文献

- 1) Matsu'ura, M. and Iwasaki, T.: Study on the coseismic and postseismic crustal movements associated with the 1923 Kanto earthquake, Tectonophysics, 97, 201-215, 1983.
- 2) Wald, D.J. and Somerville, P.G.: Variable-slip rupture model of the great 1923 Kanto, Japan, earthquake: geodetic and body-waveform analysis, Bull. Seism. Soc. Am., 85, 159-177, 1995..
- 3) 震災予防評議会：震災予防調査会報告 第 100 号 1926.

(f) 成果の論文発表・口頭発表等

口頭発表

著者	題名	発表先	発表年月日
Tanioka Y. K. Satake	Tsunami analysis for the 1923 great Kanto earthquake	AOGS 1 st Annual meeting 2004,	平成 16 年 7 月 7 日
谷岡勇市郎 佐竹健治	1923 年関東地震の津波波形解析	歴史地震研究会	平成 16 年 9 月 17 日
谷岡勇市郎 佐竹健治	1923 年関東地震の津波波形解析	平成 16 年日本地震学会秋季大会	平成 16 年 10 月 11 日

(g) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

なし

(2-2) 関東地域の広域余効すべり

鷺谷威（名古屋大学大学院環境学研究科）

(a) 業務の要約

南関東地域は、北米（ないしオホーツク）プレートの下にフィリピン海プレートと太平洋プレートが沈み込むという世界でも稀な複雑な構造を呈している。この複雑なプレート構造と運動を反映する形で大地震が生じると考えられるが、各プレート境界面の性質が必ずしも明らかにされていない。平成 16 年度は、2000 年に発生した三宅島・神津島周辺の地震火山活動後に見られた関東地域における地殻変動パターンの変化に着目し、この変化の解析を通して関東地域のプレート境界面の性質を明らかにすることを試みた。その結果、2000 年のイベント後に見られた地殻変動の変化がフィリピン海プレートと太平洋プレートの境界面で起きたすべり現象によるものである可能性の高いことが明らかになった。

(c) 業務の成果

解析は国土地理院の全国 GPS 連続観測網（GEONET）のルーチン解析による日座標値データに基づいて実施した。図 1 は 2000 年 6 月以前の日座標値データから推定した関東地方の地殻変動速度を表し、図 2 は 2001 年 1 月から 2002 年 12 月までの座標値から推定した地殻変動速度の分布である。両者とも新潟県の大潟観測点（950241）を固定して計算している。これら 2 つの異なる時期に対する地殻変動速度の差は図 1、2 からはあまり顕著ではないが、両者の差を取って示した図 3 では、明瞭な傾向があることが明らかになる。

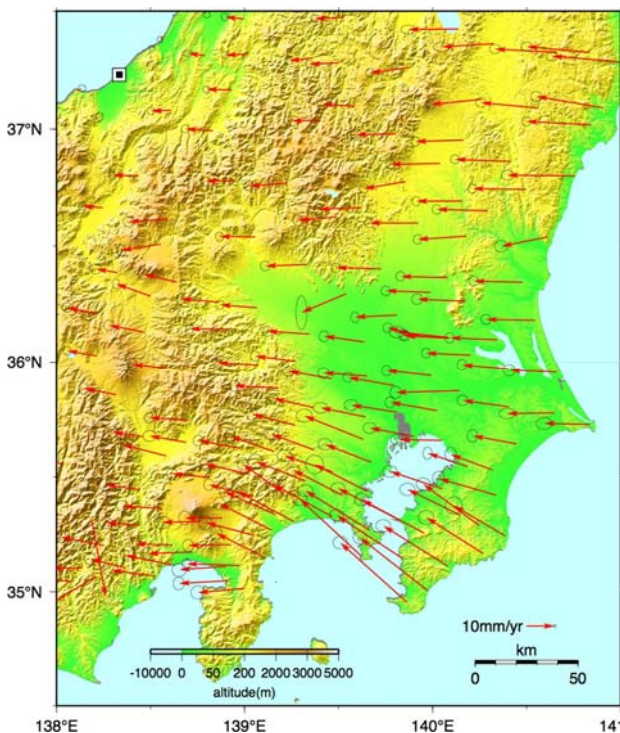


図 1

2000 年 6 月以前の日座標値データから推定した関東地方の地殻変動速度分布



図 2

2001 年 1 月から 2002 年 12 月までの座標値から推定した地殻変動速度の分布

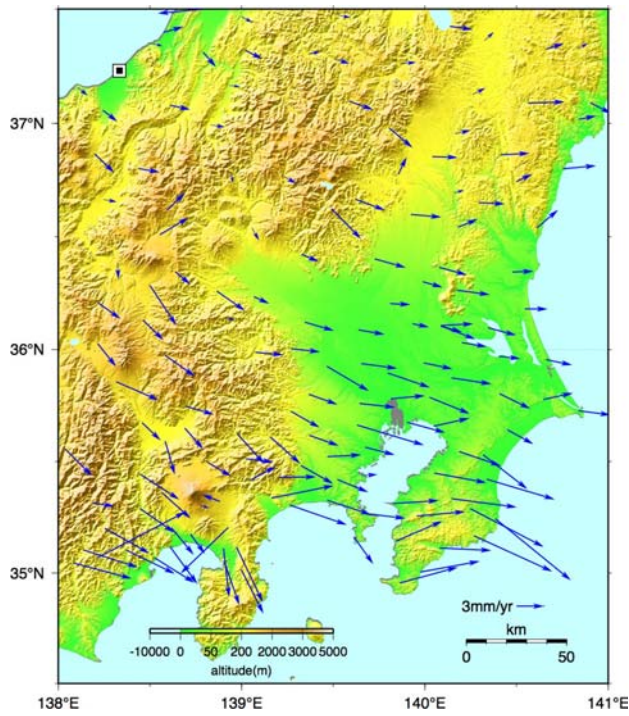


図 3

図 1、図 2 で推定された関東地方の地殻変動速度分布の差

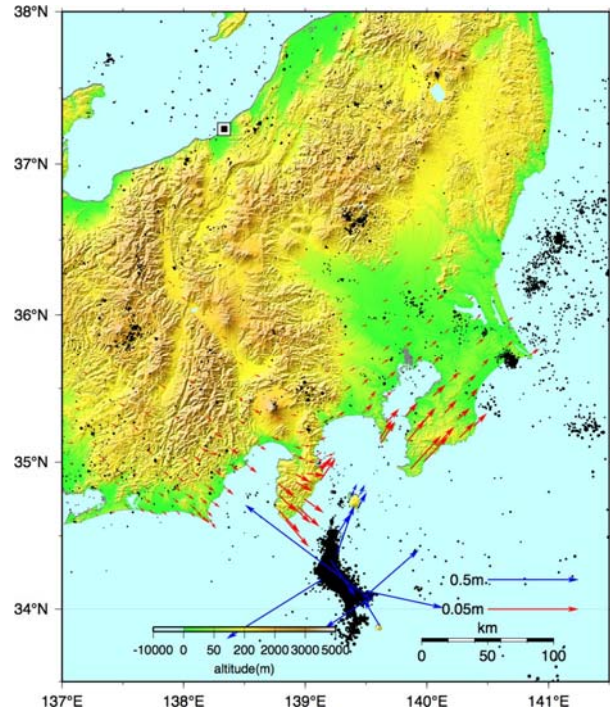


図 4

伊豆諸島での地震火山活動に伴う地殻変動

すなわち、南関東地方では、2001 年以降に、以前と比べて東向きに約 5mm/年の速度変化が生じたことになる。これら二つの時期の間には、伊豆諸島の三宅島、神津島近海で非常に活発な地震火山活動が発生した¹⁾。この活動に伴う地殻変動は図 4 のような空間パターンを示しており、房総半島や三浦半島では北東向きの変位が生じていた。これらの変位は半島の南へ行くほど大きく、図 3 に見られる変化のパターンとは傾向が異なる。しかし、この活動の時期を境にこうした変化が起きていることから、2000 年の三宅島・神津島近海のイベントが速度変化をもたらす原因となったと推察される。

そこで、速度変化の原因を詳しく考察するため、座標変化の時系列データに着目した。図 5 は房総半島南端の館山観測点 (93047) における GPS の日座標変化である。この図で、黒い点はオリジナルの座標変化を示し、

93047

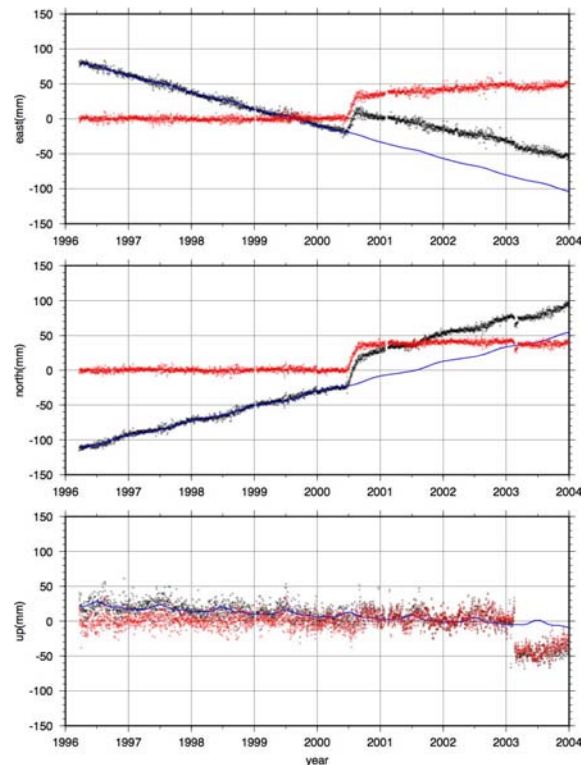


図 5 館山における GPS の日座標変化

青い線は 2000 年 5 月までのデータに対して当てはめた近似曲線、赤い点は近似曲線からの偏差成分を表す。近似曲線は 2000 年 5 月までのデータについて求めたものなので、それ以前の時期について座標偏差成分は 0 の回りにばらつく。2000 年 6 月に伊豆半島の活動に伴うステップ的な変化が生じた後、東西成分は 2003 年頃まで徐々に値が変化していくのに対し、南北成分にはそのような変化が見られない。この変化が、速度変化として図 3 のように求められた訳である。東西成分に注目して拡大したのが図 6 である。この図から、2000 年後半以降の座標変化は対数的変化、指数的变化のいずれでもほぼ説明可能なことが分かった。いずれの場合も変化の時定数は 1 年程度である。同様な傾向は周辺の他の観測点でも見られる。

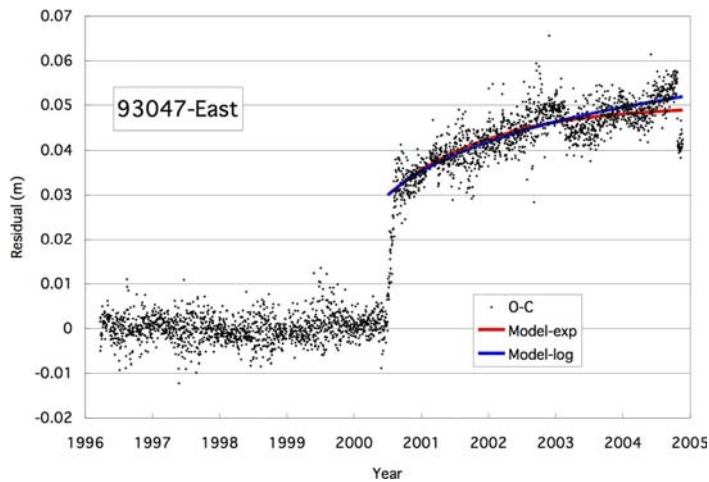


図 6 東西成分の拡大図

これらのデータに基づいて、こうした速度変化の原因を推定した。考えられる要因としては、2000 年の伊豆諸島における活動の震源域における地殻活動の直接の影響、マントルウェッジにおける粘弾性緩和、プレート境界における余効すべりなどが考えられるが、太平洋プレート上面とフィリピン海プレート下面が接しているプレート境界において余効すべりが発生した可能性が最も高いと考えられる。その理由は、速度変化の方向が太平洋プレートの運動方向に近いこと、想定されるすべり領域がこれら 2 つのプレートが接していると考えられている部分にほぼ対応すること、変化の時定数が約 1 年と比較的短いこと、などである。

得られた速度変化パターンを説明するための断層運動は、東経 140.5 度付近から東側に位置していると考えられる (図 7)。

一連の解析から、伊豆諸島で発生した顕著な地殻活動が、関東地方の地下でプレート境界面に応力変化を引き起こし、それに呼応する形でプレート境界がゆっくりと滑った可能性のあることが明らかになった。このことは当該するプレート境界面の摩擦特性が基本的に速度強化であり、プレート境界のこの部分では大規模な地震が発生する可能性は低いと考えられる。

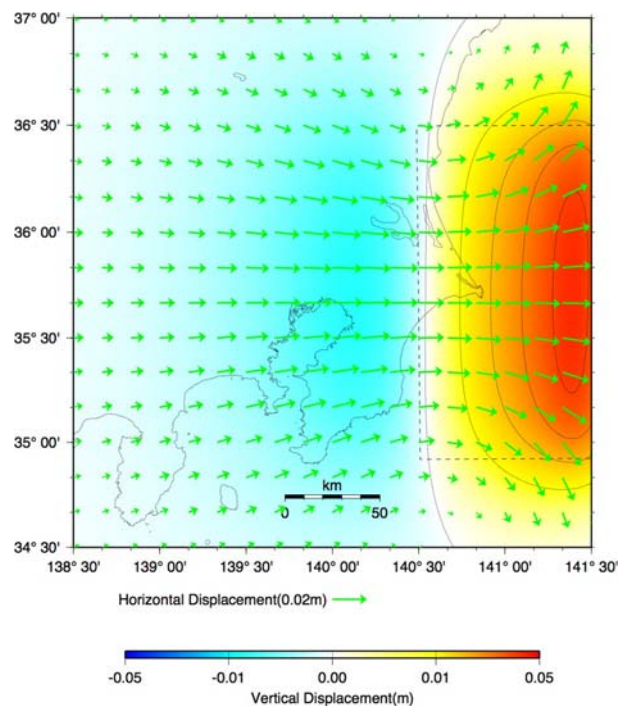


図 7 得られた速度変化パターンを説明するための断層運動

(d) 結論ならびに今後の課題

2000年に発生した伊豆諸島における地震火山活動に対する地殻変形の応答を調査することにより、フィリピン海プレートと太平洋プレートの接触部の摩擦特性が推定された。現時点での摩擦特性の議論は定性的なものにとどまっているため、今後は数値モデル解析等を通じて定量的な検討を進める必要がある。

(e) 引用文献

- 1) Nishimura, T., S. Ozawa, M. Murakami, T. Sagiya, T. Tada, M. Kaidzu, and M. Ukawa, Crustal deformation caused by magma migration in the northern Izu Islands, Japan, *Geophys. Res. Lett.*, 28, 3745-3748, 2001.

(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
Takeshi Sagiya	Crustal deformation in the Kanto District, central Japan, following the 2000 seismo-volcanic activity of the Izu Islands	AGU 2004 Fall Meeting	平成16年12月13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

(2-3) 海溝型地震のアスペリティモデル

山中佳子（東京大学地震研究所）
吉田康宏（気象研究所地震火山研究部）

(a) 業務の要約

2004 年紀伊半島沖地震、1944 年東南海地震の震源過程を解析し詳細なアスペリティ分布を求めた。1944 年東南海地震についてはすでに Kikuchi et al. (2003)によって同様の解析が行われているが、今回いくつかの観測点での波形データを増やして再解析を行った。その結果 1944 年東南海地震はこれまでよりも愛知県に近い領域に大きなアスペリティがあることがわかった。また 2004 年紀伊半島沖地震はこの 1944 年東南海地震のアスペリティの南端のカップリングが弱い領域で起きたプレート内地震であることもわかった。

(c) 業務の成果

2004 年に紀伊半島沖で起きた地震はプレート内地震であったが、東南海地震の破壊域と近接しており、プレート間で起こる巨大地震と何らかの相関を持っていると考えられる。そこで IRIS による遠地実体波データを用いて解析を行った。その結果深さ 15 km 付近で起きたプレート間地震で、前震および最大余震は海溝に並行にプレートを断ち切るセンスの断層面を持ち、それに直交する走向を持つ断層面で本震が起こったことがわかった（図 1）。どの地震の断層面もかなり高角であり、断層面の傾きを知るためには OBS のデータが決めてとなる。そこでこの地震の余震分布を OBS のデータを用いて詳しく調べることで、同地域のプレート構造を推定した。

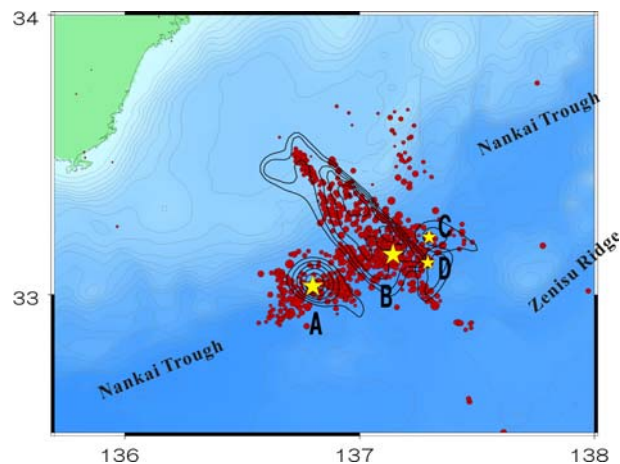


図 1 2004 年紀伊半島沖地震のすべり分布と余震活動。
A が前震、B が本震、C は最大余震の震央を示している。

今年度は 1944 年東南海地震の再解析も行った。解析では Kikuchi et al. が用いた潮岬(SHJ)、尾鷲(OWA)、亀山(KAM)、名古屋(NGY)、御前崎(OMA)、高知(KOC)の 6 点（図 2 中の▲）に神戸(KOB)、徳島(TKS)、京都(KYO)、彦根(HIK)、敦賀(TSR)、室戸(MRT)、静岡(SHZ)の 7 点（図 1 中の△）を追加して解析を行った。これまでの解析では震源に近い観測点データがほとんどであったため全破壊過程を示している波形は遠くまた震幅の小さい高知の

みであった。また波形データの時刻あわせが性格ではなかったものがあったのでその点を修正した。その結果破壊は深さ 20km 付近から始まり、まずは浅い方へ進み、その後北東へ進行しそこで大きなエネルギーを放出、その破壊継続時間は約 65 秒、地震モーメントは 1.5×10^{21} Nm ($M_w=8.1$) と求められた。Kikuchi et al.¹⁾ で求められたモーメント ($M_0=1.0 \times 10^{21}$ Nm) よりやや大きめである。得られたすべり量分布を図 1 にコンターで示した。ここではすべり量が 1.5m 以上あった領域のみをコンターで示している。コンター間隔は 0.3m でハッチをつけた部分は最大すべり量の半値の領域である。余震の多くは主要なアスペリティの端である志摩半島沖に集中している。この主要なアスペリティでの平均すべり量は 3.0 m である。1854 年安政東海地震から 90 年を経過していることからこの付近での沈み込み相対速度を 4.0 cm/年とするとここでのカップリング率はほぼ 100%であることがわかる。Ohta et al.²⁾ は GPS データを用いて現在の東海地域のプレート境界面でのカップリング状態を求めている。彼らの結果によると、今回求められた遠州灘沖に見られる主要なアスペリティの付近ですべり欠損の領域が存在している。

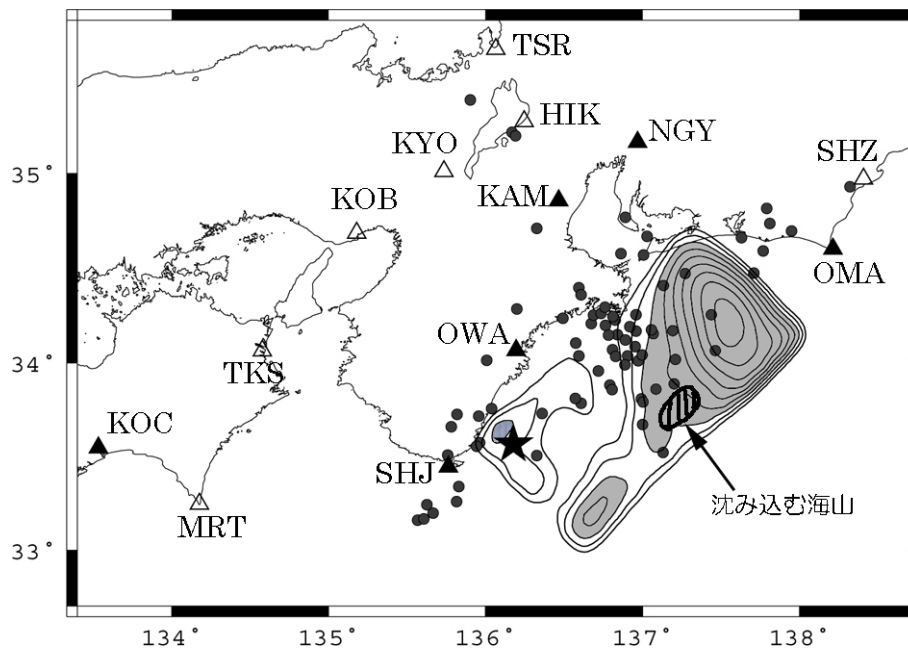


図 2 1944 年東南海地震のすべり分布と余震活動

(d) 結論ならびに今後の課題

1944 年東南海地震の再解析と 2004 年紀伊半島沖地震の解析を行った。その結果、東南海地震を引き起こした巨大なアスペリティはこれまで言われていたところよりも愛知より存在すること、そして 2004 年の地震はそのアスペリティの南側のカップリングが弱い領域で起きたことなどがわかった。ただし東南海地震に関してはこれまでに津波データから求められた大きなすべりの領域と今回求められたアスペリティの位置は一致していない。また地殻変動データを使った結果でも同様である。これらのことから津波データや地殻変動で求められたすべり分布は地震時の変動だけでなくその後の余効変動などより長周期的な地殻変動をかなり反映している可能性もある。今後プレート境界の場の物性を考える上でも今後津波などのデータも含めて再検討する必要がある。

(e) 引用文献

- 1) Kikuchi, M., M. Nakamura, and K. Yoshikawa : Source rupture processes of the 1944 Tonankai earthquake and the 1945 Mikawa earthquake derived from low-gain seismograms, EPS, 55, 159-172, 2003.
- 2) Ohta, Y., F. Kimata, and T. Sagiya : Reexamination of interplate coupling model in the Tokai region, based on the GPS data, AGU Fall Meeting, 2003.

(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
山中佳子	1944年東南海地震の再解析	日本地震学会 2004年 年秋季大会	平成 16 年 10 月 10 日
山中佳子	2004 年紀伊半島南東沖地震 震源過程	日本地震学会 2004 年秋季大会	平成 16 年 10 月 10 日
山中佳子	2004 年紀伊半島南東沖地震 の震源過程	歴史地震研究会	平成 16 年 9 月 17 日
山中佳子	1 9 4 4 年東南海地震と 1 9 4 5 年三河地震の震源過 程	月刊地球, 305	2004
Hayakawa, T., T. Furumura and Y. Yamanaka	Simulation of strong ground motions caused by the 2004 off the Kii peninsula earthquakes	Earth Planets Space, 57, 191-196	2005
吉田康宏、高濱聡、 針生義勝、國友孝 洋、熊澤峰夫	広域地震観測網によるア クロス信号観測とその解析 (その 3) - 第 5 回試験送 信の解析結果 -	日本地震学会 2004 年秋季大会	平成 16 年 10 月 10 日
笠原順三、鶴我佳代 子、羽佐田葉子、山 岡耕春、國友孝洋、 渡辺俊樹、吉田康 宏、藤井直之、熊澤 峰夫	沈み込むプレート境界の連 続的アクティブ・モニタリ ングの提案	日本地震学会 2004 年秋季大会	平成 16 年 10 月 10 日
山崎明、吉田康宏、 青木重樹、吉川澄 夫、阿部正雄、大野 浩史、長田芳一	熊野灘東方沖における海 底地震観測 (速報)	日本地震学会 2004 年秋季大会	平成 16 年 10 月 11 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

(2-4) 1923 年関東地震の震源断層の見直し

石川有三（気象庁精密地震観測室）

(a) 業務の要約

南関東に被害をもたらす房総半島南方沖のテクトニクスと巨大地震の発生様式を調べた。結果は、相模トラフが東部については活動していない可能性があり、元禄地震などは、房総半島の南方で南南東へ震源断層が延びていた可能性を指摘した。大正関東地震についても二つある主破壊のうち東側はこの変曲点に近いことも明らかにした。

(b) 業務の実施方法

震源カタログを用いた分布と 3 次元速度構造解析結果からプレートの形状を求める。また、CMT 解からスラブ内の応力場を求める。想定した震源断層モデルから津波の波高を求め、実際の波高と比較する。

(c) 業務の成果

震源分布と三次元速度構造の解析結果から相模湾から沈み込んでいるフィリピン海プレートが房総半島南方から沈み込みの方向を変えて、北北東へ沈み込んでいることを明らかにした。これを元に元禄地震の震源断層モデルを新しく提案し、これまでのモデルを大幅に変更した(1,2)。南関東への影響は、新しいモデルの方が小さい。また、房総半島を縦断する大規模構造調査に関して、房総半島直下のプレート構造についての情報を提供した。

(d) 結論ならびに今後の課題

南関東を含む地域のテクトニックなモデルを新しく提案し、元禄地震の新しい震源断層モデルを作った。今後は、大正関東地震の震源断層モデルを再検討することと、東京湾から房総半島直下のプレート構造を更に詳細に解明し、関東直下での可能な震源断層を明らかにする必要がある。

(e) 引用文献

- 1) Yuzo Ishikawa : Tectonics in East Asia and the new plate boundary, 第三回大陸地震国際ワークショップ (ICCCIII) ,p124.
- 2) 石川有三 : 新プレート境界と関東南部のテクトニクス, 日本地震学会 2004 年秋季大会講演予稿集 B50

(f) 成果の論文発表・口頭発表等

(口頭発表)

著者	題名	発表先	発表年月日
Yuzo Ishikawa	Tectonics in East Asia and the new plate boundary	第三回大陸地震国際ワーク ショップ (ICCCIII) 主催中 国地震局	2004 年 7 月 14 日

石川有三	新プレート境界と関東南部のテクトニクス	日本地震学会 2004 年秋季大会	2004 年 10 月 10 日
YUZO ISHIKAWA	Seismotectonics in East Asia	International Workshop on Geodynamics: Observation, Modeling, and Computer Simulation	
Yuzo Ishikawa	The new plate boundary south off Kanto, Japan	アジア地震委員会総会	2004 年 10 月 19 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17年度業務計画案

1923年関東地震の震源過程を東京湾以外の検潮記録も含めて津波波形記録を用いて解析を進める。震源カタログの再調査を行い関東直下のプレート構造を解明し起こりうる震源断層モデルを求める。紀伊半島沖に関しては地震以外のデータも含めてアスペリティの位置を特定し、さらには今年度行えなかった南海道地震を引き起こしたアスペリティの位置の同定も行う。地殻変動データから求められた広域なフィリピン海プレートと太平洋プレートの接触部のすべりについて地震活動データの解析や数値モデルによる摩擦パラメータ推定を行い、その形状や物理特性を明らかにしていく。