

### 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 地震・測地データに基づくモデル化

(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ついても研究を進めていく。

(d) 5カ年の年次実施計画（過去年度は、実施業務の要約）

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：関東地震モデルの高精度化、固着域モデルの高精度化、海溝型地震・津波地震の解析、古い地震の震源決定の見直し

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17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 17 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

前年度は 1923 年関東地震の震源過程の推定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。その結果、地殻変動から推定された Wald and Somerville(1995)のすべり量分布を 6 つの小断層に簡素化した断層モデルによって東京湾内の津波波形をほぼ説明できる事が分かった。本年度は、前年度の断層モデルで東京湾外の津波波形が再現できるか確かめた。

#### (b) 業務の実施方法

前年度、Wald and Somerville (1995) のすべり量分布を 6 つの小断層に簡素化したモデルにより、東京湾内の津波波形が再現できることが分かった（図 1）。今回は東京湾外の津波の再現を試みた。図 2 に示す 2 検潮所（銚子、細島）で記録された津波波形を解析に用いた。津波数値計算領域は図 2 に示した領域で、格子間隔は 20 秒（約 600m）とした。ただし、検潮所近傍では格子間隔をさらに細かくし、4 秒（120m）とした。津波の数値計算は、線形長波の式を用いて行った。津波数値計算手法については Satake(2002) を参照。

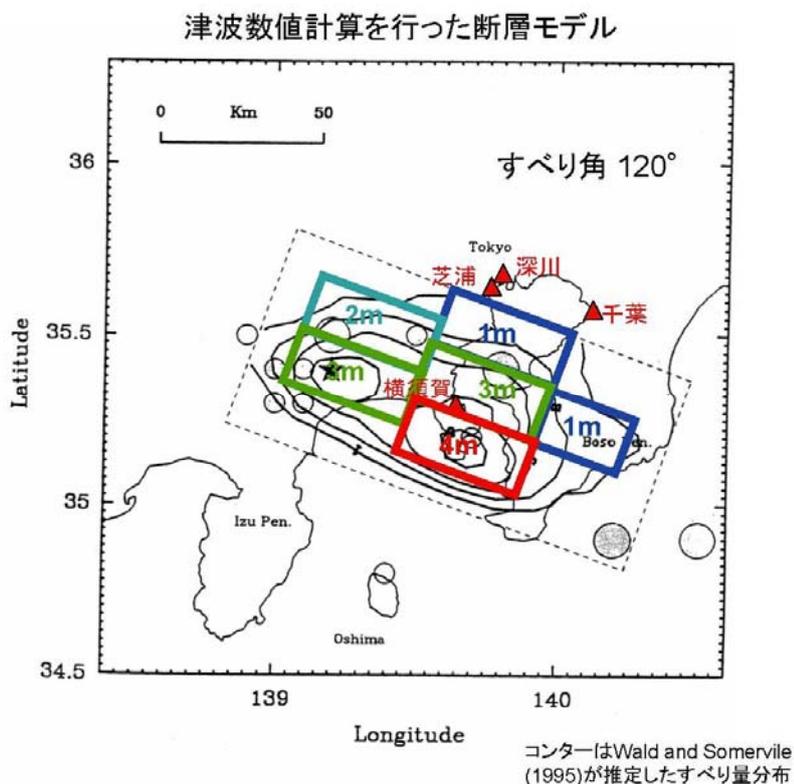


図 1 Wald and Somerville(1995)で推定された 1923 年関東地震のすべり量分布を参考にして作成した 6 つの小断層。

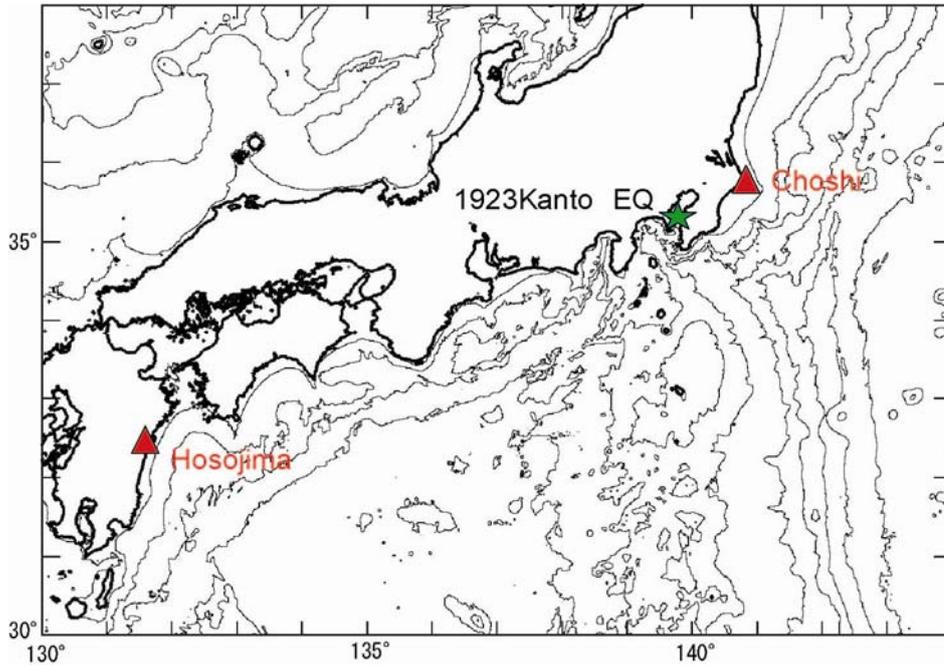


図2 津波数値計算領域。三角印は解析に用いた津波波形を記録した検潮所（銚子・細島）の位置を示す。

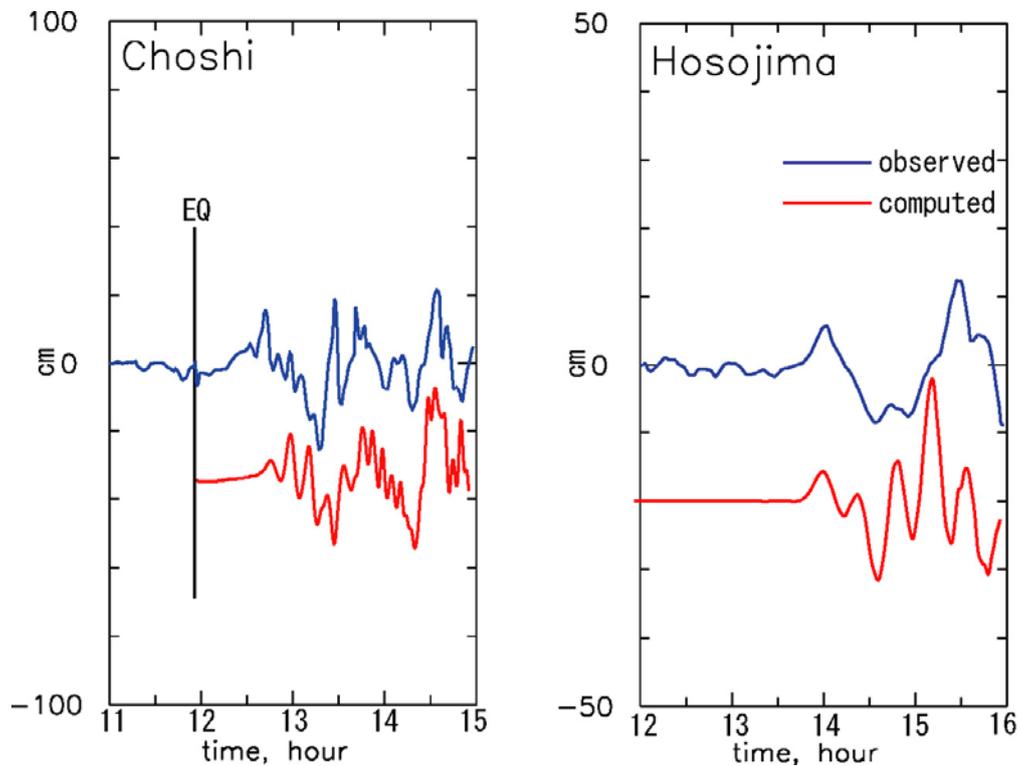


図3 観測津波波形（青）と計算津波波形（赤）の比較。断層モデルは図1に示す。

(c) 業務の成果

図3に観測波形と計算波形の比較を示す。銚子・細島とも観測津波波高は計算津波により良く再現されていると思われる。銚子の第1波や細島の短周期の波など、細かい所で再現性がよくない所もあるが、全体的にはうまく再現できていると思われます。結果として東京湾外の津波も、Wald and Somerville (1995)のすべり量分布を6つの小断層に簡素化したモデルにより、再現できることが分かった。

(d) 結論ならびに今後の課題

前年度推定された断層モデルを用いて東京湾外の津波波形を解析した結果、地殻変動から推定された Wald and Somerville(1995)のすべり量分布で東京湾外の津波波形もほぼ説明できる事が分かった。今後、測地データ・近地地震波形・遠地地震波形を同時インバージョンすることによりすべり量分布を求めた小林・瀧瀬（15年度成果）の結果を用いて津波波形を計算し、観測津波が再現できるか解析する必要がある。

(e) 引用文献

- 1) Satake, K.: Tsunamis, in “International Handbook of Earthquake and Engineering Seismology”, ed. By W.H.Lee, H. Kanamori, P.C. Jennings, and C. Kissikinger, Part A, Accademic Press, pp.437-454, 2002.
- 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..

(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	Analysis of tsunami waveforms for the 1923 great Kanto earthquake	AOGS 2 <sup>st</sup> Annual meeting 2005,	平成 17 年 7 月 23 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

## (2-2) 測地データに基づく震源モデルの検討

鷺谷 威 (名古屋大学大学院環境学研究科)

### (a) 業務の要約

大大特の大規模構造探査によって推定されたプレート境界形状を用いて、GPS 観測に基づく地殻変動データからプレート境界面上における固着(すべり欠損)の分布を推定した。プレート境界面の深さが以前より浅く求まっていることを反映し、すべり欠損の大きさは従来よりも 20-30%程度小さな値となり、フィリピン海プレートの沈み込み速度に対してより妥当な値になった。プレート境界面上の主要な固着域の下限は深さ 15km より浅い部分となり、従来の想定よりも地表に近い部分が強震動発生源となる可能性が示唆される。また、1923 年関東地震の震源域から房総半島南東沖まで広がっていることは従来の結果と同様であり、この南東側の部分に破壊が及ぶかどうかでいわゆる大正型と元禄型の関東地震の違いが生じるものと考えられる。

### (b) 業務の実施方法

まず、Sato et al. (2005)によるプレート境界面の等深線を数値化した上で、逆解析により双三次の B スプライン関数の展開係数を求め、プレート境界面形状の数値モデルを作成した。その際、Sato et al. (2005)では情報が得られていない沖合や深い部分については従来のモデルや震源分布を参考にした。

次に、Sagiya(2004)と同様に、国土地理院の GPS 観測網(GEONET)の観測点 75 点における 1996~2000 年の地殻変動速度(3成分)をデータとして、プレート境界面上のすべり欠損分布を推定した。解析には Yoshioka et al. (1993)の方法を用いて、スプライン関数の重ね合わせで表現されたなめらかなプレート境界面上の上に、やはりなめらかな分布を持つすべり欠損の分布を想定し、地表の地殻変動データをより良く説明するような分布を推定した。すべり欠損分布はプレート境界面上でなめらかであるという先験的拘束条件を導入し、観測方程式と先験的拘束条件の重み付けは ABIC 最小化により最適化している。

### (c) 業務の成果

推定されたすべり欠損分布を図 1 に示す。主要な震源領域になると考えられる 20mm/yr 以上のすべり欠損領域はプレート境界の深さ 15km 程度より浅い部分と推定された。この結果は、従来のプレート形状モデルを用いて推定した Sagiya(2004)と比べて 5km 程度浅くなっている。この結果は将来この地域で発生するプレート境界地震の震源域が、これまでの想定よりも浅い部分に位置することを意味し、より強い震動をもたらす恐れがあることを意味する。三浦半島付近のすべり欠損領域は 1923 年関東地震のアスペリティに対応するものと考えられるが、房総半島先端の南東沖には、Sagiya(2004)と同様に、1923 年で破壊しなかったすべり欠損領域が見られる。この結果は、房総半島先端部から南東沖にかけてのすべり欠損領域における破壊の有無がいわゆる大正型と元禄型の関東地震の違いをもたらすことを示唆する。推定されたすべり欠損の大きさは最大で 30mm/年程度と、従来の結果と比べて 20-30%程度小さくなった。これは、プレートの深度が浅くなったことを直接反映して

いると言える。プレート運動モデルから推定されるフィリピン海プレートの沈み込み速度（年間30mm程度）を考えると、従来の結果と比較してより妥当な値になったと言える。

(d) 結論ならびに今後の課題

最新のプレート境界形状を用いて測地データの再解析を行うことにより、プレート境界面における固着の分布がより高い精度で推定された。将来の大地震発生へ向けたエネルギーの蓄積過程について、高い精度の情報が得られたと言える。

一方、房総半島南東沖については、最大で年間30mm程度のすべり欠損が見られるものの、元禄型の関東地震の再来周期は2000年程度と言われており、大地震間に60mものすべり欠損が蓄積する計算になってしまい、推定されている1703年元禄地震の断層モデルとは量的に矛盾してしまう。こうした地震サイクルを通しての定量的な解釈をさらに進める必要があり、今後の課題と言える。

(e) 引用文献

Sagiya, T., Interplate coupling in the Kanto District, central Japan, and the Boso Silent earthquake in May 1996, *PAGEOPH*, **161**, 2601-2616, 2004.

Sato, H., N. Hirata, K. Koketsu, D. Okaya, S. Abe, R. Kobayashi, M. Matsubara, T. Iwasaki, T. Ito, T. Ikawa, T. Kawanaka, K. Kasahara, and S. Harder, Earthquake Source Fault Beneath Tokyo, *Science*, **309**, 462-464.

Yoshioka, S., T. Yabuki, T. Sagiya, T. Tada, and M. Matsu'ura, Interplate coupling and relative plate motions in the Tokai district, central Japan, deduced from geodetic data inversion using ABIC, *Geophys. J. Int.*, **113**, 607-621, 1993.

(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
鷺谷威・佐藤比呂志	測地学的に見た南関東地域のプレート間カップリング—新たなプレート境界形状モデルに基づく知見—	日本地震学会 2005年秋季大会	平成 17 年 10 月 21 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

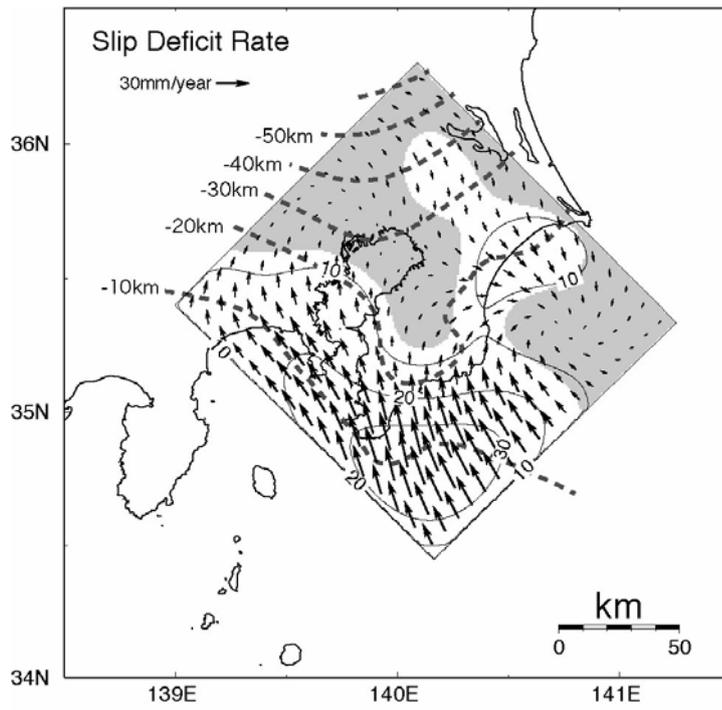


図 1 関東地方のフィリピン海プレート上面におけるすべり欠損の分布.

## (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）

### (a) 業務の要約

海溝型巨大地震の起こり方の特徴を調べるため、千島海溝で1960年以降起こった地震に対して強震計近地記録およびWWSSNの遠地実体波を用いた解析を行った。この地域では巨大地震が繰り返し起こるほか、津波地震と言われている地震も起こっている。その結果巨大地震は同じところで繰り返し起こっていること、これまでプレート境界はこれらの大地震の震源域で埋め尽くされていると考えられていたが、実際にはこれらの大きなアスペリティの間にカップリングが弱い領域が存在し、そのようなところで津波地震も起こっている可能性があることなどがわかった。

### (b) 業務の実施方法

釧路沖、根室沖については気象庁強震計記録、およびWWSSNの遠地実体波をデジタル化して記録のデジタル化を行って解析した。解析の手法はYamanaka & Kikuchi (2004) や Kikuchi & Kanamori (1991) と同様である。震源の位置はUSGSやISCの報告を参考にした。メカニズムがすでに求められているものについてはそれらを使い、断層面の走行、傾斜はプレートの形状を考慮し、これらを固定して断層面上でのすべり分布を求めた。

### (c) 業務の成果

推定された千島弧のアスペリティ分布を図1に示す。1963年の地震のアスペリティは3つでこれらは1991年、1995年にそれぞれ1つずつ壊れた可能性がある。おおむねこの地域のアスペリティサイズは同程度で、これらは決して埋め尽くすように存在はしていない。これらのアスペリティの間には余震活動の非常に多い地域、小さな規模のアスペリティが存在する地域、余効変動の大きな地域など、プレートのカップリングが弱いと考えられる領域が存在していた。津波地震はこのような地域の海溝側で起きている場合が多い。

また津波地震の震源過程を解析すると、破壊継続時間が長いということ以外にすべり量が小さいが破壊域が大きいため全体的なモーメントは大きくなるという特徴が見られることもわかった。

### (d) 結論ならびに今後の課題

今回は巨大地震が頻繁に起こりデータもそろっている千島沖でプレート間巨大地震の起こり方と津波地震、カップリングの弱い地域などの地域差を調べた。関東地域でもスローリップが起きる地域と巨大地震を起こす地域がある。今後これらの特徴に普遍性があるのか調べていきたい。

### (e) 引用文献

Yamanaka, Y. and M. Kikuchi, Asperity map along the subduction zone in north eastern Japan inferred from regional seismic data, JGR, 109, B07307, doi:10.1029/2003JB002683, 2004.

Kikuchi, M. and H. Kanamori, Inversion of complex body waves-III, Bull. Seism. Soc. Am., 81, 2335-2350, 1991.

### (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	震源解析による北海道東部 アスペリティ分布の特徴	日本地震学会 2005 年秋季 大会	平成 17 年 10 月 21 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

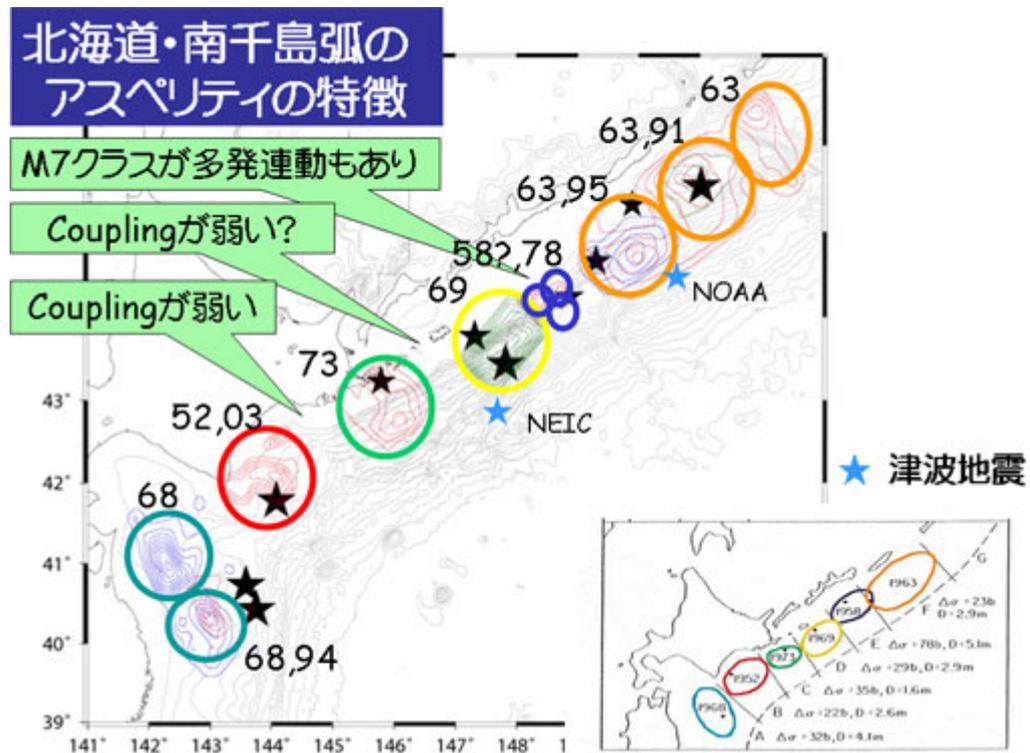


図1 北海道東部のアスペリティ分布

## (2-4)古い地震の震源決定の見直し

石川有三（気象庁精密地震観測室）

### (a) 業務の要約

震源分布からプレート構造を推定するケースが多く、そのため震源位置の決定法は重要な意味を持つ。そのため震源決定作業において地震観測点網の形状や、観測網の密度、観測網と震源との位置関係が決定精度に大きな影響を与えることはよく知られているが、観測点自身の位置精度については、これまで余り注意が払われなかった。近年 GPS の普及で位置測定が簡単に行えるようになったので古い観測点の位置を再測定し、その位置を用いて震源再決定を行い、再評価した。その結果、通常は観測点位置の差以内で治まるべき震源位置の差が格段に大きくなる事例があることが分かり、正確な観測点位置を用いることが重要であることが示された。

### (b) 業務の実施方法

観測可能な地点は、ハンディ GPS による現地観測を実施した。ハンディ GPS は、EMPEX 社の map21EX と GARMIN 社の GPS12XL を、そして途中から GARMIN 社の etrex-LEGEND を用いて、出来る限り測定は複数機で行った。これらの測定で機種間の差はほとんど±0.1 秒と測定機器の信頼性が高いことが分かった。それら各表示値の平均を測定値として採用した。ポケナビを使う限り実際の地震計台の上での測定は不可能であり、測定地点は地震計台のある建物から数mから 10m 離れた地点で行った。

一方、気象庁地震火山部(2002)は、地震観測点の履歴を詳細に示してある。ここでは地震月報で分単位や 0.1 分単位で示されている観測点であっても秒位まで示しているものもあった。これらは、実際に現地での測定はしなくても世界測地系への変換だけで十分と判断した。この座標変換には、国土地理院が HP で提供しているプログラムを利用した。

これによって得られた観測点の位置を用いて過去データから震源再決定を行った。

### (c) 業務の成果

古い地震観測データは、時刻の精度や信頼度がそれほど高くない。そのため観測地点の緯経度を厳密に求めても過剰な有効数字であるという意識があった。確かに、0.1 分位まで求められている地点を秒位まで求めても、位置の違いは、最大で 3 秒に過ぎない。これは 100m に満たない。しかし、分位までしか求まっていない場合は、最大で 30 秒で 1km 弱である。確かに 1 地点だけの修正であれば、新しく求めた震源が同じ方向へせいぜい同程度移動するだけである。ところが、古い時期の観測点位置は、精度が不足している地点が 2 地点以上になる場合も多く、複数地点が改訂された場合は、震源位置が単純に観測点の移動に類似するのではなく、かなり離れた位置へ飛んでしまう場合もある。図 1 にその例を示した。この図の+印で示された観測点の読み取り値（浜松を除く）が震源再決定に用いられた。+印の近くに小さく書かれた×印がこれまで用いられてきた観測点位置である。多くは数 10 秒程度の差であるが、中には 1 分を越えるものもある。矢印で示された矢尻がこれまでの震源位置で、矢先が再決定結果である。これだけ位置が変わるとどちらが正しいかの判断に困るが、このイベントの場合、浜松観測点の報告には P 波到着時刻の報告は無いものの付近有感という報告がある。もし、この情報を信頼すればこれまでの震

源位置より、今回求めた震源位置の方がより事実に近いと推定でき、正しい観測点位置を用いる重要性が示された。

(d) 結論ならびに今後の課題

これまでの震源計算では、観測点位置の移動履歴が余り考慮されていなかった。それは観測点位置を測定することが困難であり、過去の大まかな値でもそのまま使わざるを得なかった。また、過去に何度か移転したような観測点の場合にそれぞれの時期に正しい位置が震源計算に使われていない場合も見つかった。より厳密な観測点位置を用いた試験的再計算では、震源分布を改善できたほか、これまで決まらなかった震源が決定できた場合もあった。このことからまだ測定できていない観測点の位置を測定し、全面的に観測点位置の移動履歴を考慮し、震源の再計算を行うことは重要であり、今後、その作業に取り組む。

(e) 引用文献

気象庁地震火山部,2002,地震観測業務履歴,験震時報,65 別冊,401pp.

(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
石川有三	2005,スマトラ超巨大地震と地震空白域	日本地震工学会「2004年12月26日スマトラ島沖地震報告会」梗概集,7-11	2005年4月4日
石川有三	2005,スマトラ超巨大地震と地震空白域,	地球惑星科学関連学会2005年合同大会予稿集J113 幕張	2005年5月23日
石川有三	2005,スマトラ超巨大地震と地震空白域	第2回地震サイクルシンポジウム「ついに起きた超巨大地震と地震発生の繰り返し」 東大地震研	2005年6月6日
YuzoIshikawa、Ranajit Ghose、Ranajit Ghose	2005, The Sumatra M9 earthquake and the seismicity gaps	AOGS シンガポール	2005年6月22日
YuzoIshikawa、Ranajit Ghose、Ranajit Ghose	2005, The Sumatra M9 earthquake and the seismicity gaps	the International Conference on the Sumatran Earthquake Challenge 2005 8/25-27(26) Padang Sumatra	2005年8月25~27日

Yuzo Ishikawa、 Ranjit Ghose、 Kazuo Oike	2005, The Sumatra M9 earthquake and the seismicity gaps	Kyoto University APRU/AEARU Research Symposium 2005	2005年9月 1日
石川有三	2005,日本周辺のプレート 間カップリング地帯	日本地震学会 2005 年秋 季大会講演予稿集 A097 札幌	2005 年 10 月 21 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

1924 1/1 0:0 -- 1924 12/31 23:59

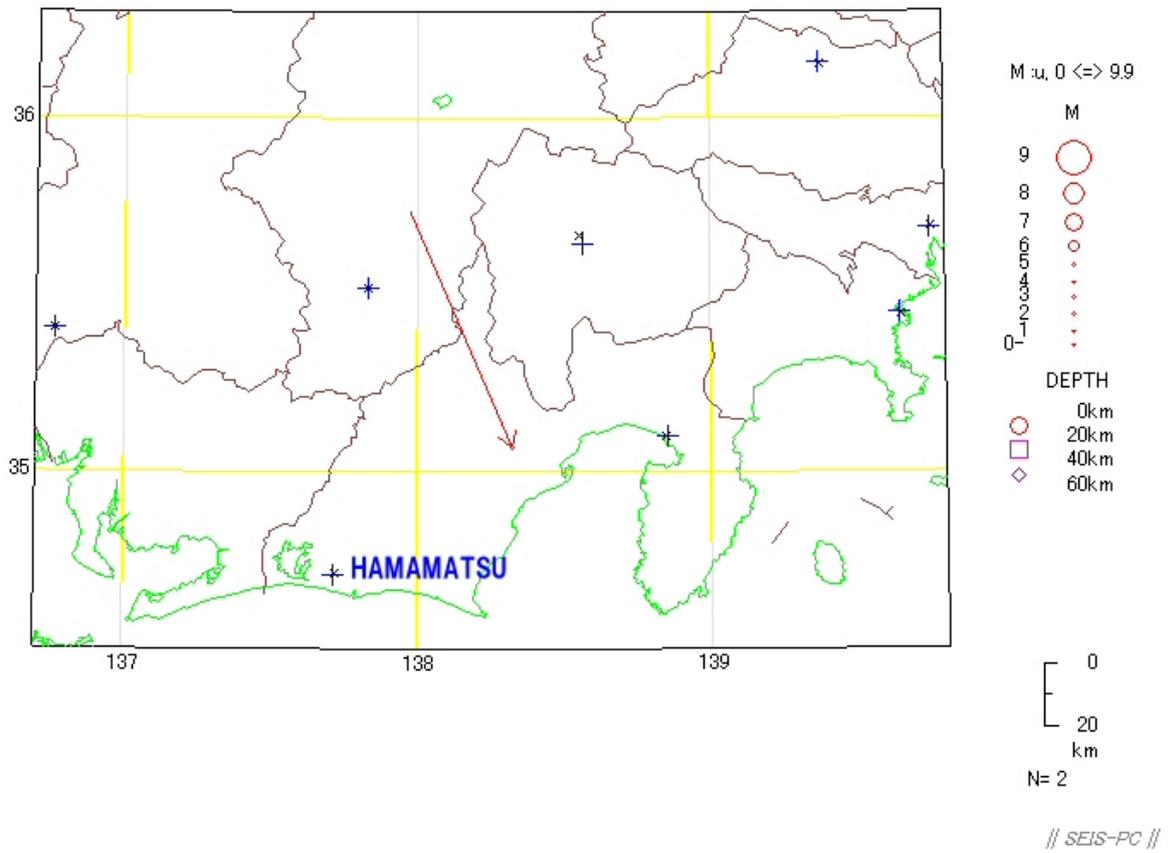


図 1 震源決定時に観測点位置を測定し直した値を用いた震源位置（矢先）とこれまでの震源位置（矢尻）. +印は、震源決定に用いた観測点（但し、HAMAMATSU は除く）。このイベントでは、HAMAMATSU で付近有感という報告がある。

### (3) 平成 18 年度業務計画案

1923 年関東地震については測地データ・近地地震波形・遠地地震波形を同時インバージョンすることによりすべり量分布を推定した小林・瀧瀬（15 年度成果）の結果を用いて津波波形を計算し、観測津波が再現できるか解析する。房総半島南東沖については、GPS データから推定されるすべり欠損率でいくと元禄型の関東地震の再来期間に蓄積する欠損量が巨大になってしまう。これらをも満足するような地震サイクルを通しての定量的な解釈をさらに進める必要がある。また過去の震源については今後も観測点位置の測定を行い、全面的に観測点位置の移動履歴を考慮し、震源の再計算を行っていく。