

愛知県震度観測・調査報告書

－ 第 3 2 報 －

平成 2 4 年（2 0 1 2 年）1 月～1 2 月

平成 2 5 年 5 月

愛知県防災会議地震部会

はじめに

東北地方太平洋沖地震から2年経ちましたが、被災地の復興はまだまだです。しかし、東海・東南海地震など南海トラフの巨大地震の発生が刻一刻と近づいている本地域は、急いで防災・減災対策を進める必要があります。内閣府では2003年の被害想定に加え、最大クラスの巨大地震の想定作業を進めています。愛知県も最大クラスの巨大地震の想定に加え、より頻度の高い地震に対しても被害想定を進めています。内閣府によると、南海トラフで巨大地震が発生した場合の死者は最悪のケースで32万人と算定されました。津波からの迅速な避難などで死者を8割減らすことができるとされていますが、それでも甚大な被害をもたらす地震であることには変わりありません。

南海トラフの巨大地震で大きな被害が予想される愛知県は、普段は地震の揺れを感じるものの比較的少ない地域です。関東や東北地方から越してきた方は一様に愛知県の地震の無さに驚きます。実際、名古屋地方気象台で観測した過去30年あまりの記録を見ると最大の揺れは震度4にとどまり、震度5弱以上の地震は長らく経験していません。これは南海トラフの地震発生の性質によるものです。南海トラフは、巨大地震が発生する割に普段の地震活動度が低い場所です。関東や東北地方で巨大地震も発生しながら普段の地震活動度が比較的高いこととは対照的です。このように普段地震があまりおこらない場所にいきなり大地震が襲うと予想以上に被害が大きくなることもあるため、被害想定を踏まえた対策を早急に進める必要があります。

この「愛知県震度観測・調査報告書」は、トピックスと震度観測資料の2部で構成されています。第1部では、本年度も昨年度に続き3つのトピックを掲載しました。最初のトピックとしてGPSによる地殻変動の解説をしています。日本列島ではプレートの沈み込みにより徐々に地殻にエネルギーが蓄積されていきます。その様子は日本列島に1300点以上設置されたGPSの観測点により把握することができるため、地震観測のための最も重要な観測項目となっています。2つめのトピックでは日本とその周辺の地形を取り上げました。日本にはなぜこんなに地震が多いかを知るヒントは日本列島周辺の地形に隠されています。デジタル海底地形データを利用して立体表現をした図を用いて解説をしています。3つめのトピックは、南海トラフの巨大地震の想定の基本である「科学的に想定しうる最大クラス」についてです。最大クラスの地震の想定はしばしば「新想定」と解釈され、従来の想定は間違っていたと誤解される場合があります。地震の規模と頻度には統計的な性質があり、規模の大きな地震ほど発生頻度がまれであることを理解し、従来の想定と最大クラスの想定との違いを説明しています。また頻度の違いを理解することで、従来の想定と最大クラスの想定に対しどのような対策をしておくことが合理的であるかを考える材料とすることができます。

本書で分析された地震のデータが、地震防災対策の基礎資料として活用され、また、県民のみならずが地震に対する理解を深めていただくための資料となれば幸いです。

最後に本書の作成に当たり、原稿及び資料をお寄せいただきました名古屋大学大学院環境学研究科の山岡耕春教授、伊藤武男助教、気象庁名古屋気象台をはじめ、ご協力いただいた方々に、厚く謝意を表します。

愛知県防災会議地震部会

目 次

I トピックス

- 1 GEONET が明らかにする地殻変動 1
- 2 日本の地形 8
- 3 「最大クラス」の地震15

II 震度観測資料

- 1 はじめに21
- 2 愛知県における地震22
 - (1) 愛知県とその周辺の地震の震源分布22
 - (2) 愛知県内の有感地震24
 - (3) 愛知県の各地で観測した有感地震の推移34
- 3 国内の主要な地震36
- 4 世界の主な地震40

I トピックス

1 GEONET が明らかにする地殻変動

1.1 はじめに

みなさんは GPS (Global Positioning System, 全地球測位システム) という言葉を一度は聞いたことがあると思います。GPS は最近 10 年ほどで急速に普及し、現在ではカーナビや携帯電話にも搭載され、身近な存在になっています。一般的には、GPS から得られる現在の地の情報を地図とリンクさせ、自分がいまどこにいるか、目的地までどのようなルートをとればよいか検索したりするなどの使い方があります。しかしながら、GPS は自分の場所を知る道具としての測位の技術だけにとどまりません。このトピックスでは GPS によって明らかになった様々な現象を紹介します。

1.2 GPS とは

GPS 技術の原理を簡単に解説します。GPS とはアメリカ合衆国が軍事用に高度 20,000 km の軌道に打ち上げた約 30 個の GPS 衛星のうち、常に 4 個以上の GPS 衛星から 2 つの周波数の信号を GPS 受信機で受け取り、その信号の伝搬時間を解析して現在位置を知るシステムです。一方、GPS 衛星からでた電波が GPS 受信機に到着するまでには、電離圏や対流圏が存在します。電離圏は電子密度が高く、GPS 衛星からでた電波に影響を与え、また対流圏では大気中の水分量が電波に影響するため、若干の電波伝播速度の遅延が生じる場合があります。この電波伝搬遅延が測位精度を低下させます。しかしながら、これらの電波の伝搬遅延観測から、電離層の電子密度の変化や、対流圏の水蒸気量の変化を推定することも原理的には可能であるため、これらの研究からのフィードバックにより、GPS 測位精度の向上が期待されています。とくに、GPS による対流圏の水蒸気量の推定は将来、天気予報にも活用される可能性があります。一方、地表付近に設置された GPS 受信機は条件によっては GPS 衛星からでた地表で反射した電波を観測することも可能なため、この反射した電波を解析することで、積雪量の推定も可能である等、測位だけでなく多くの利用価値があります。このように GPS の研究は非常に多岐にわたりますので、今回は地殻変動に限って話をしたいと思います。

1.3 地面の動きを監視する GEONET

国土地理院は地殻変動を監視するシステムとして GNSS 連続観測システム (GEONET : GNSS Earth Observation Network System) を構築しています*¹。GEONET は日本全国に約 20 km 間隔で合計約 1200 地点の電子基準点と呼ばれる測量の基準点 (GPS 連続観測点) で構成されており、世界でも希に見る高密度な GPS 観測網です。この GPS 連続観測点網は 1994 年 4 月に南関東と東海地域に 110 点の観測網 (COSMOS-G2) の運用が開始され、1994 年 10 月には全国 100 点の観測網 (GRAPES) の運用が開始されました。その後 1995 年 1 月 17 日の兵庫県南部地震 (M7.3) をうけて、400 点の GPS 観測点を増設し、計 610 点の観測網になり、GEONET の運用が開始されました。その後、順次増強を

行い、現在の約 1200 点の観測網となっています（図 1）。GEONET の観測データは準リアルタイム（約 5 時間後）に公開されています*²。研究者はこれらのデータを使って、様々な解析を行います。また、一般の人が気軽に利用出来るものとしては、国土地理院のホームページ内の「最新の地殻変動情報」のページが有用です*³。このホームページでは GPS 観測点の動きがミリメートルの精度で公開されており、たとえば、名古屋と白鳥（岐阜県）の間が 1 年間に約 3 mm ずつ近づいていることなどが一目で分かります（図 2）。このように GPS は地面の動きを監視する道具として定着しており、様々な新しい現象が明らかになってきているので紹介します。

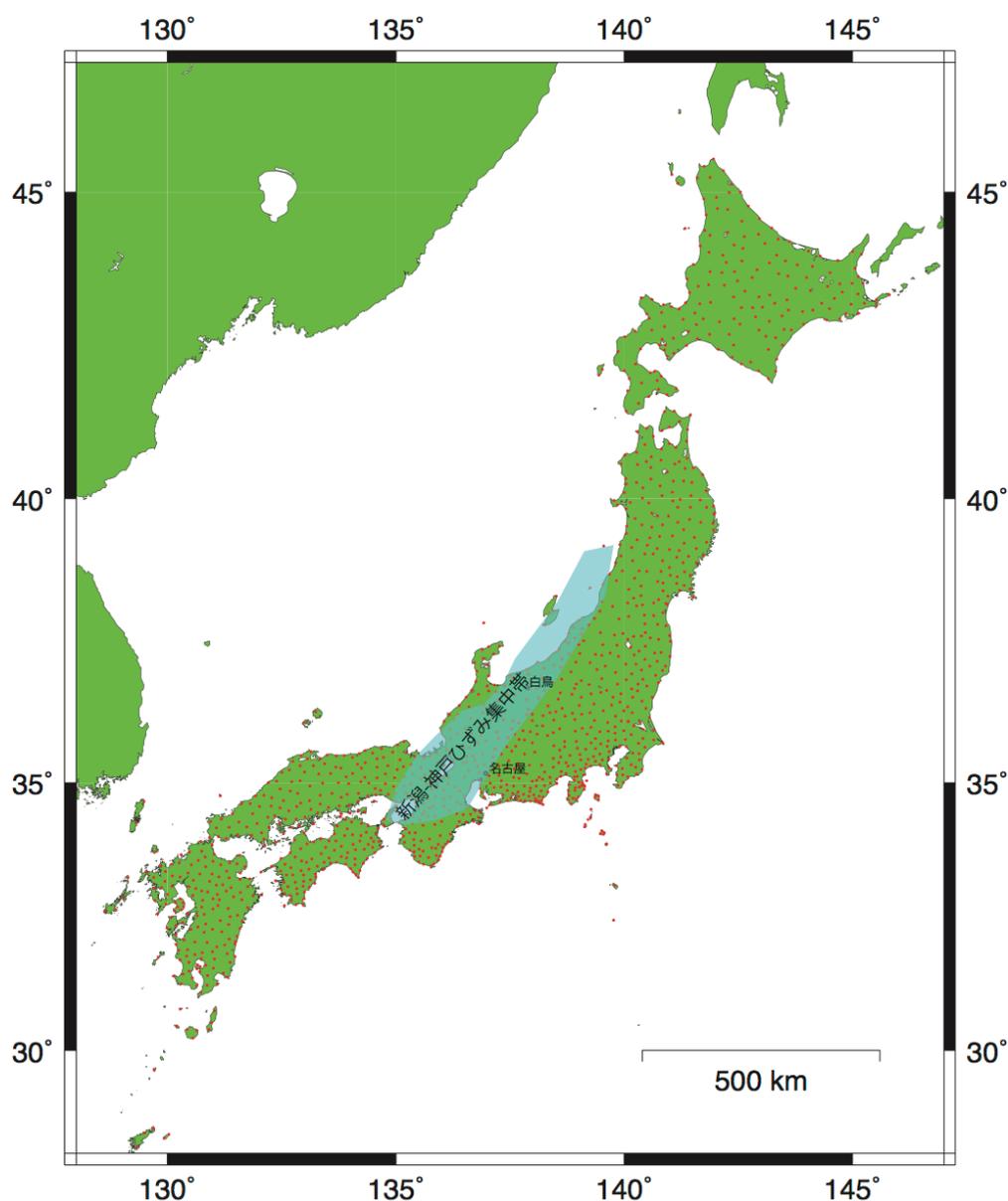


図 1 : GEONETの観測点分布と新潟-神戸ひずみ集中帯のおおよその位置を示している。

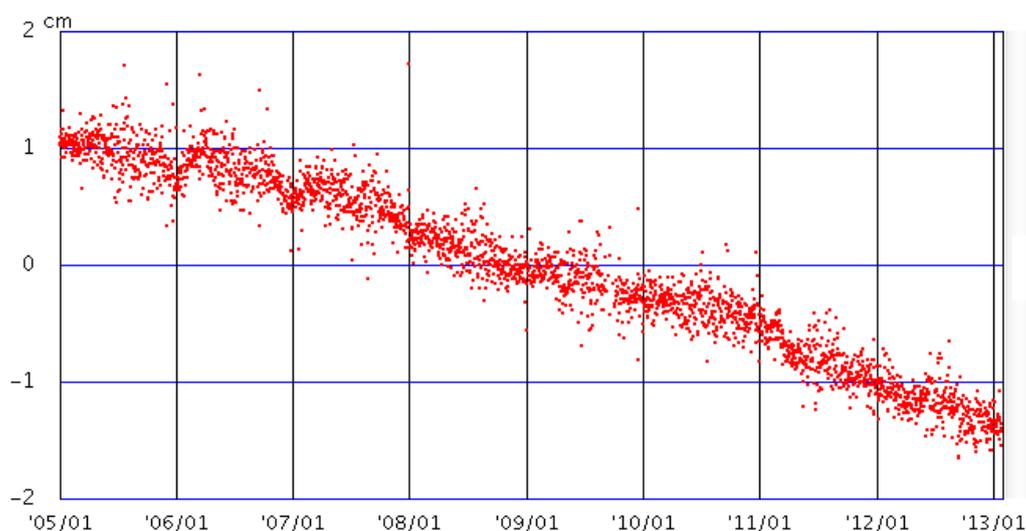


図2：名古屋と白鳥（岐阜県）間の距離の変化。年間3mmほど距離が縮まっており、2011年東北地方太平洋沖地震の発生後も大きな変化はありません。

1.4 地震による地殻変動

GEONETの前身である全国GPS観測網（GRAPES）の運用が1994年10月1日に開始されましたが、運用開始のわずか3日後にその威力は発揮されました。1994年10月4日北海道東方沖地震（M8.2）が発生し、震源に近い北海道東部で20～40 cm、西部でも5 cmを超える東向きに明瞭な水平変位が観測され、上下変位も10 cm 越える沈降が観測されました*4。GPS観測を行う以前は地震が発生した後、数ヶ月から数年を要して水準測量、三辺測量を行って地震による地殻変動を把握していたものが、GPSはほぼリアルタイムに地震による地殻変動を把握する事が可能となったのです。この地震をきっかけに多くの現象を明らかにし、GPSの有用性は確たる地位を築きました。今ではGPSは地球科学や地震学では無くてはならない観測網になっています。

1.5 GEONETによる地震研究における意義

GEONETの地震学への貢献は地震そのものに関する情報だけでなく、地震発生の背景に関する情報も含まれます。地震そのものというのは、地震時の地殻変動とそれらの情報から推定される地震の断層モデルに相当します。GPS以前の従来の地殻変動観測では、時間分解能が粗く地殻変動量の算出に必要なデータが何年も前の測量であることが普通ですので、算出された地殻変動量には地震時の変動以外も含まれ、その識別は容易ではありませんでした。GEONETの連続観測は、蜘蛛が蝶を捕らえるように網を張って待ちかまえていますので、地震の瞬間を捉えることができます。このことは、緊急時に地震の情報提供が迅速に行えることを意味します。また、GEONETは地震後の余効変動（大きな地震の後に、長期間にわたってゆっくりと進行する地殻変動）や地震波を出さない地震の検出も可能にしました。

1.6 地震波を出さない地震の発見

一般的に地震は揺れを生じさせますが、地震波を出さない地震があることは、地震学にとって大きな発見でした。GPS 観測を導入する以前の地震研究は地面の揺れを地震計で観測して地震波を解析することが主な方法でしたが、GEONET はその方法や概念を一変させました。たとえば、1994 年 12 月 28 日の三陸はるか沖地震 (M7.6) では、地震が発生後一年以上継続して断層がすべり続ける「余効すべり」という現象を世界で初めて詳細に観測しました。この余効すべりの解析の結果、地震の発生後 1 年間で地震時と同程度の断層すべりが発生している事が明らかになりました*⁵。また、地震後の現象だけでなく、地震そのものが地震波を出さない現象も数多く見つかっています。たとえば、2001 年から 2005 年にかけて東海地方の浜名湖直下のプレート境界で発生したスロー地震があります。この地震は約 5 年間かけておよそ 25 cm すべったとされており、極めてゆっくりと断層運動した事になります*⁶。最終的にはマグニチュード 7.1 程度の地震に相当し、想定された東海地震の一部がスロー地震として発生していた可能性も指摘されています。すでにこのスロー地震は収束していますが、2001 年から 2005 年は東海地震の前兆現象ではないかと学会等ではかなり話題になっていました。

1.7 地震の発生場に関する研究

GPS は地震時の地殻変動だけでなく、地震発生前の現象も捉えます。特に、地震の発生準備に関係する研究には大変有効な観測手法です。地震の発生場に関する研究は地震の発生周期、場所や規模などに規則性を見だし、地震が発生するメカニズムや地殻ひずみの蓄積過程などを調べるのが主な研究です。これらの研究は地震発生の背景であるテクトニクス場の研究も含まれています。GEONET が整備される以前は、地質学的時間スケール (数千年以上) の平均像を議論するのがほとんどであったのが、数年の GEONET 観測から得られた GPS 観測点の座標変化から日本列島のプレート運動やプレートの変形の様子が明らかになり、その時間の変化まで論じられるようになりました。GEONET から得られた数年間の地殻変動場はしばしば地質学的時間スケールと直接比較され、地質学的な時間スケールと数年間の時間スケールの地殻変動場の変形速度は我々が思っていたよりも一定ではないことも分かりつつあります。

1.8 GEONET が明らかしたひずみ集中帯

GEONET は空間的な地殻変動場の不均質性も明らかにしました。特に顕著な地殻変動場の不均質帯をひずみ集中帯と呼んでいます。日本国内で最も顕著なひずみ集中帯は新潟県から岐阜県、名古屋、滋賀県を抜けて神戸市に伸びる幅約 200 km の地質学的なひずみの集中帯で、「新潟-神戸ひずみ集中帯」と呼ばれています (図 1)。このひずみ集中帯の成因は主に「日本海東縁に位置するプレート境界の一部」とする説と、「陸側プレートの内部変形集中帯」とする説の 2 つありますが、結論には至っていません。いずれの成因にせよ、このひずみ集中帯では年間 1~2 cm ほどに東西方向に短縮しており、地震を発生させるためのひずみを蓄積しているように見えます。実際に、このひずみ集中帯ではマグニチュード 5 から 7 程度の地震が多く発生しており、2004 年中越地震 (M6.8) や 2007 年中

越沖地震（M6.8）などは記憶に新しいでしょう。しかしながら、GEONET から明らかになったひずみ集中帯は成因を含めまだ明らかになっていない事が多く、たとえば、「なぜひずみが集中するのでしょうか？」という根本的なメカニズムにも諸説はあるが明確に疑問に答えるにはさらなる研究が必要です。

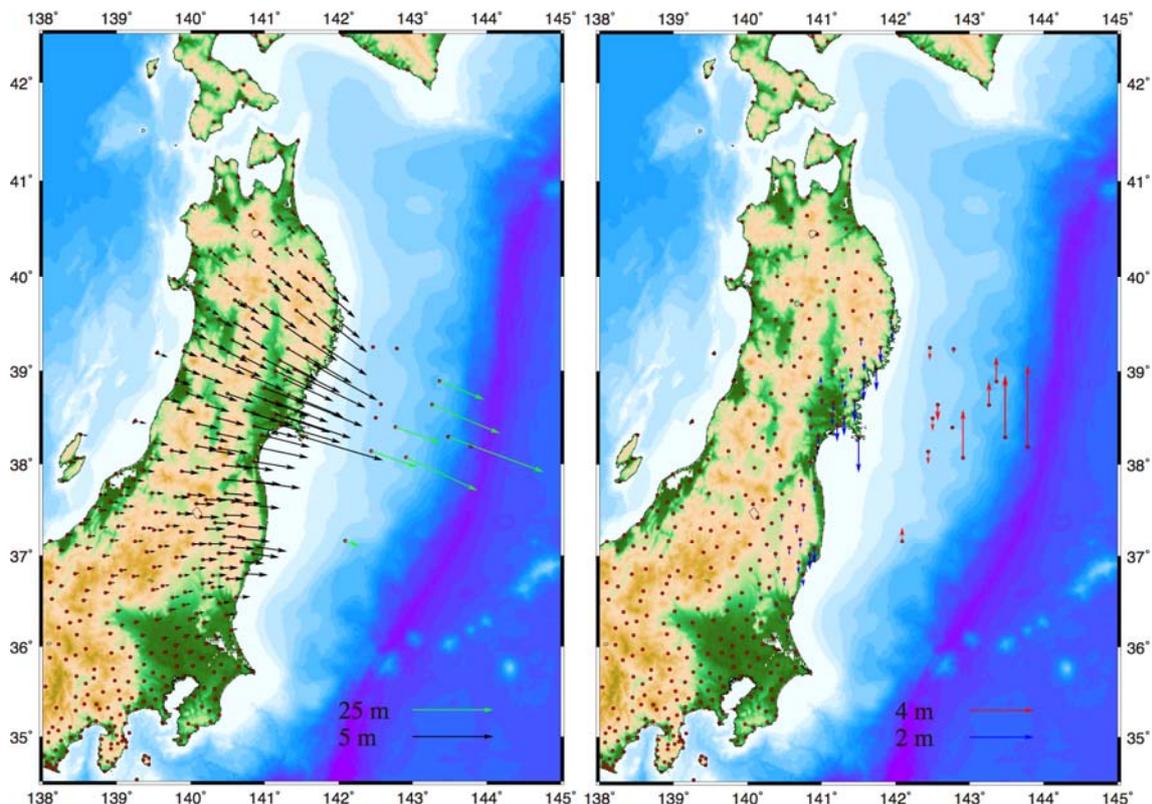


図3：2011年東北地方太平洋沖地震の際に観測された地殻変動。左図は水平動を示し、右は上下動を示しています。スケールが色によって異なっていることに注意が必要で、海域の変動は海底地殻変動観測で得られた結果を示しています。

1.9 GEONET が明らかにしたプレート間固着分布

GEONET から得られた詳細な地殻変動データは、内陸型地震に関する情報だけではありません。海溝型地震は、海洋プレートが日本列島の下に沈みこむ時に陸側プレートに固着し、その固着にプレート境界が耐えきれなくなった時に発生します。このような海溝型地震は、ある程度決まった場所で繰り返し発生しますが、その原因はプレート間の固着具合にムラがあるからです。つまり、しっかりと固着している領域では、陸側のプレートが引きずり込まれてひずみが蓄積し、それが一気に解放されて巨大地震となります。一方、固着の弱い領域ではスムーズに沈み込み、ひずみの蓄積はほとんどありません。この分布を正確に知ることができれば、どこで、どの程度の地震が起こるのかの見当をつけることができます。プレート間の固着分布を調べるには、陸側プレートの変形の様子を精密に観測する必要があり、その観測に GEONET は極めて大きな役割を果たしています。GPS のような地殻変動観測は、変動の積分値（位置）を直接観測することに特長がありますので、

幅広いタイムスケールの現象を一定の精度で捉えることができます。これは地震計のような地震波動を捉える観測とは根本的に異なり、特に長周期側において他の観測手段では得難いメリットですので、長期的な観測の継続にはことさら大きな意義があります。

たとえば、GEONETの観測から東北地方ではこの固着により東西方向に年間2cmほど縮んでいる事が分かっています。一方、2011年東北地方太平洋沖地震で最大水平変位は二等三角点（江ノ島）の測量から約5.9mと観測されています*7。また、GEONETでは最大5.4m、海底地殻変動観測では24mの最大変位が観測されました（図3）。おおざっぱな考え方ですが、地震前の約300年間に蓄積した変形を今回の地震で解放したと考える事ができます。これは地震計を用いた観測では出来ない考え方です。

また、陸側プレートの定常的な変形を解析することで、プレート間の固着分布の推定が出来ます。これらの固着分布やその時間変化は地殻ひずみの蓄積過程など地震の発生サイクルを解明するための知見を次々と生み出しています。なお、東北地方の測量結果を解析することで、2011年東北地方太平洋沖地震の発生前から、宮城県沖を中心にプレート境界がほぼ完全に固着していると推定できており、同様に、東海・東南海地方のプレート間の固着も推定されています。このことから、将来の地震のためのひずみエネルギーを着々と蓄積している事が分かっています。

1.10 震源域とプレート間固着の関係

2011年東北地方太平洋沖地震は甚大な被害をもたらしました。その一方で、この地震は世界で最も密な観測網の近くで発生しており、逆に言えば、世界中で地震の発生傾向などがよく分かっている場所の一つで発生した地震であるといえるでしょう。実際に、過去100年間に日本海溝沿いで発生した大地震の震源域が分かっています。GPSから推定された固着分布（すべり遅れ分布）と過去の地震の震源域分布を比較しますと、固着域と震源域はズレているように見えます（図4）。また、地震波形から推定された地震によるすべり量は、プレート運動速度と地震の発生間隔から予想される量より明らかに小さいです。こうしたデータ同士の矛盾は超巨大地震発生のポテンシャルを示唆していたのですが、当時はそう解釈していませんでした。GEONETは陸上だけの観測なので沖合の固着域の推定精度が悪く、それに加えて、前述したスロー地震や余効すべりなどがそれらのギャップを埋めてくれると思いついていました。

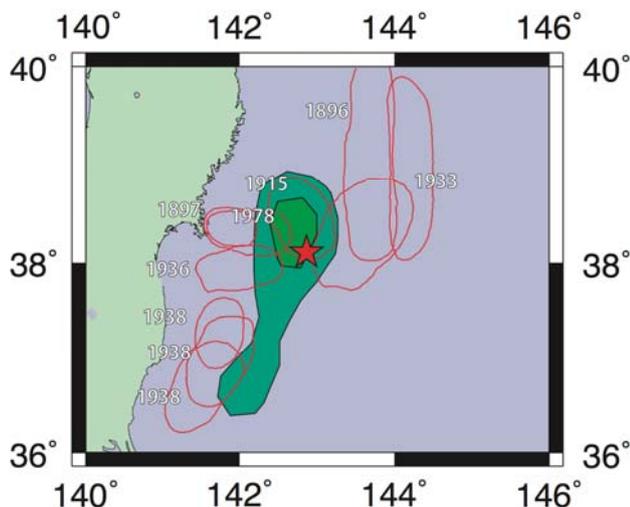


図4：GPSデータに基づくプレート境界面上の固着域分布(Ito et al., 2000, EPSL, 176, 117-130)。緑色が7cm/年、濃い緑色が9cm/年以上の固着（すべり遅れ）を示している。また、赤色の楕円は1880年代以降の主な地震の震源域。

1.11 GEONET でとらえた 2011 年東北地方太平洋沖地震の余効変動

GEONET では 2011 年東北地方太平洋沖地震の余効変動が継続していることを観測しており、2012 年 12 月末において、地震発生後から最大 93 cm の水平変位が観測されています。これは地震時の変位の 20% に相当する変動量であり、この変動は数十年継続すると予想されています。また、2004 年スマトラ地震 (M9.3) が発生した近傍に位置するバンダアチェに設置した、名古屋大学の GPS 観測点の解析結果では地震発生後の約 8 年間で約 1m の変動量が観測されており、9 年が経過した現在でもこの余効変動が収まる気配はありません。また、2004 年スマトラ地震では、マグニチュード 8 クラスの地震を誘発しており連鎖的に地震が発生する可能性も否定できません。このように、日本を襲う南海トラフの巨大地震や首都圏直下の大地震の発生が懸念されており、今回の教訓を生かして、次の大地震の正体を解明するとともに、地震による災害を軽減する対策を早急に講じる必要があるでしょう。(伊藤武男)

- * 1 : GNSS は GPS、GLONASS、Galileo、準天頂衛星 (QZSS) 等の測位衛星システムの総称です。
- * 2 : 国土地理院 基準点データ提供サービス
<http://terras.gsi.go.jp/ja/index.html>
- * 3 : 国土地理院 最新の地殻変動情報
http://mekira.gsi.go.jp/project/f3_10_5/ja/index.html
- * 4 : 地震予知連絡会 会報 第 53 号 1-9
<http://cais.gsi.go.jp/YOCHIREN/report/kaihou53/01-09.pdf>
- * 5 : Heki et al., Silent fault slip following an interplate thrust earthquake at the Japan Trench, Nature, 386, 595-597, 1997.
- * 6 : 国土地理院 東海地方の地殻変動
<http://cais.gsi.go.jp/tokai/anomalous.html>
- * 7 : 2011 年国土地理院報道発表資料【平成 23 年 (2011 年) 東北地方太平洋沖地震に伴う三角点及び水準点の測量成果の改定値を公表】
<http://www.gsi.go.jp/sokuchikijun/sokuchikijun60011.html>