

(1) 実施機関名：

国土地理院

(2) 研究課題（または観測項目）名：

プレート境界面上の滑りと固着の時空間変化の把握

(3) 最も関連の深い建議の項目：

2. 地震・火山現象解明のための観測研究の推進

(2) 地震・火山噴火に至る準備過程

(2-1) 地震準備過程

イ．非地震性滑りの時空間変化とアスペリティの相互作用

(4) その他関連する建議の項目：

1. 地震・火山現象予測のための観測研究の推進

(1) 地震・火山現象のモニタリングシステムの高度化

ア．日本列島域

イ．地震発生・火山噴火の可能性の高い地域

ウ．東海・東南海・南海地域

2. 地震・火山現象解明のための観測研究の推進

(1) 日本列島及び周辺域の長期・広域の地震・火山現象

イ．上部マントルとマグマの発生場

(2) 地震・火山噴火に至る準備過程

(2-1) 地震準備過程

ア．アスペリティの実体

5. 超巨大地震に関する当面実施すべき観測研究の推進

(1) 超巨大地震とそれに起因する現象の解明のための観測研究

イ．超巨大地震の発生とその前後の過程の解明

(5) 本課題の 5 か年の到達目標：

測地学的手法を用いて、プレート境界面上の滑り分布の推定精度及び分解能の向上を図り、プレート境界面における固着及びゆっくり滑りの時空間的推移を解明する。また、日本列島全域の地殻活動をより高度に理解することで、中長期的な地震発生予測の精度向上を目指す。

(6) 本課題の 5 か年計画の概要：

GPS 連続観測データを用いて、日本列島周辺のプレート境界の滑り欠損分布を推定し、地域ごとの地殻変動及び滑り欠損の特徴を明らかにした上で、その空間分布及び時間変化を詳細に把握する。

また、GPS 連続観測データ及び過去の測地観測データを用いて、房総半島沖、豊後水道、東海地方等、繰り返し発生するゆっくり滑りや大地震発生後に引き続いて発生する余効滑り等の解析を行い、プレート境界面上で発生する様々な滑り現象に伴う地殻変動の特徴やその履歴を明らかにする。そして、これらの現象が、プレート境界大地震の発生サイクルに与える影響を定量的に明らかにする。

(7) 計画期間中(平成 21 年度～25 年度)の成果の概要：

1) 滑り欠損の特徴

東北地方太平洋岸の GEONET の長期の時系列データの解析から、福島県・茨城県の観測点においては 2000 年前後から、宮城県の観測点においては 2003 年頃から、東向きの非定常成分の増加が見られていたことが分かった。GEONET データから推定された 1997 年 1 月～2000 年 1 月と 2007 年 1 月～2010 年 1 月の 2 期間における滑り欠損速度を推定した結果(図 1)、2000 年以前には宮城県沖を中心に 8cm/yr と滑り欠損速度は大きく、プレート間の固着強度は強いものに対して、2007 年 1 月～2010 年 1 月では宮城県沖で 6cm/yr、福島県沖や茨城県沖では 2cm/yr 以下と滑り欠損速度は小さく、プレート間の固着強度はかなり弱まっていた。こうした観測結果や推定結果から、茨城県沖や福島県沖のプレート間固着の強度は 2000 年以降に徐々に弱まり、宮城県沖でも固着の強度がゆらぎながらも徐々に弱まっていき、東北地方太平洋沖地震の発生に至ったという仮説が提唱できる。また、2005 年以降 M7 クラスの地震が 5 つ発生しており、それらの地震の余効変動が本震の地殻変動に対して異常に大きく、本震以上のモーメントを解放したことが分かった。数値計算から M9 クラスの地震発生サイクルの中で発生する M7 クラスの地震の余効滑りが、M9 の地震の発生前には通常よりも広域で大規模に生じる可能性が示されており、前記の仮説に基づけば、これらの個々の地震時変動と余効変動は、巨大地震に至る一連のプロセスの中で生じたと位置づけて考えることもできる。

一方で、南海トラフ沿いでは目立った変化は推定されていない。しかし、H25 年度に実施した 1999 年以降のデータを連続的に解析した結果からは、豊後水道、紀伊水道、東海地方でゆっくり滑りが発生していることが改めて確認でき、地域によってゆっくり滑りの発生頻度、継続時間、規模が多様であることが分かった。

2) 長期、短期的ゆっくり滑りの特徴

房総半島南東沖、豊後水道、日向灘において長期的ゆっくり滑りの発生を新たに確認した。房総半島南東沖においては、2011 年 10 月末と 2014 年 1 月初旬にいずれも 1 週間程度の期間ゆっくり滑りが発生したことを確認した。GPS 連続観測によって 1996 年以降検知された過去 3 回(1996 年 5 月、2002 年 10 月、2007 年 8 月)とほぼ同じ場所ではほぼ同じ大きさで発生していること、2014 年 1 月のイベントは、発生間隔が 27 か月と最小で若干大きさが小さくなっていることが分かった(図 2)。豊後水道においては、2009 年秋頃から 2010 年末頃までの 1 年強の期間ゆっくり滑りが発生したことを確認した。過去 2 回(1997 年頃と 2003 年頃)と継続時間、大きさともほぼ同程度であったことが分かった。また、非定常地殻変動が明瞭な時期には、四国西部南東側で深部低周波微動の活発化が見られることも分かった。日向灘においては、新たにゆっくり滑りが繰り返し発生していることが分かった。2005 年以降、半年から 1 年程度継続し、約 2 年の周期で繰り返していることが分かった。ゆっくり滑りの発生領域は、1996 年 12 月の日向灘の地震の余効滑り領域の深部側とほぼ重なり、余効滑り領域でもゆっくり滑りが単独で発生し得ることが分かった。

西南日本のフィリピン海プレート上では、傾斜計もしくはひずみ計の記録の解析から、短期的ゆっくり滑りが繰り返し発生していることが報告されていた。新たに GPS 連続観測を用いて短期的ゆっくり滑りを検出する手法を開発し、四国、紀伊半島、東海の 3 領域に加えて、日向灘から種子島にかけての領域と相模トラフ沿いにおいても短期的ゆっくり滑りが発生していることが分かった。短期的ゆっくり滑りの発生する深さは、四国から東海地方にかけては、深部低周波微動が発生する 30～40km 程度であり、それより浅い場所では検出されなかったが、相模トラフ及び日向灘から種子島にかけての領域では、浅部の深さ 10～20km でも発生するという地域的な特徴があることが分かった。さらに H25 年度には、2013 年の 1 年間に四国、紀伊半島、東海の 3 領域で 9 回の短期的ゆっくり滑りが発生して

いたことが分かった(図3)。

3) 東北地方太平洋沖地震に関する研究

東北地方太平洋沖地震の発生に伴い、GEONETによって東北地方太平洋側では東向きに2~5m、日本海側でも1m前後の水平変位を観測し、牡鹿半島の先端部で最大5.4mの水平変位を観測した。上下変動は岩手県から千葉県に至る太平洋側で10cm以上の沈降、日本海側では数cmの隆起を観測し、牡鹿半島先端部で最大1.1mの沈降を観測した。陸域に設置されたGEONETデータから推定した本震の滑り分布は、宮城県沖の深さ20~30kmの領域で最大30m弱の滑りが推定された。それに対して、震央付近の海域に設置された海上保安庁による海底地殻変動観測点5点のデータを加えて推定した結果では、海溝寄りの深さ10~20kmの領域で最大60m弱の滑りが推定された。陸域の観測データのみから推定した滑り分布に比べると、滑りの中心がより海溝側に推定された。これらの結果は、海溝軸付近でもひずみエネルギーが蓄積されていたことを示唆しているとともに、常時海域での観測がより稠密に実施されることにより、陸域の観測だけでは見えなかった海溝軸付近のひずみの蓄積・解放の分解能の向上が期待されることを示すものである。陸域及び海域の地殻変動データから、地震を引き起こした断層滑り域は、岩手県沖から茨城県沖までの南北に長さ450km、東西に幅200kmにおよぶ広大なものであり、宮城県沖の海溝軸付近の領域では最大50m以上の滑りが発生したことが明らかになった。

東北地方太平洋沖地震発生直後から、GEONETによって大規模な余効変動を観測している(図4)。地震発生後34か月間(2014年1月初旬まで)で岩手県中部沿岸を中心に最大106cmの水平変動が観測されている。水平変動は地震発生直後から地震時の変動と同じ東向きの変動が卓越しており、時間と共に減衰し、空間的に顕著な変化は見られない。しかし、上下変動の空間分布は複雑で、若干の時間変化も見られてきている。地震発生後1年程度は沈降していた岩手県の太平洋側では沈降が停滞し、若干の隆起に転じてきている。秋田県、山形県の内陸部では沈降が観測され、青森県及び宮城県以南の太平洋側及び震源域から離れた北海道南部や関東地方では隆起が観測されている。

余効変動は、余効滑り、粘弾性緩和、間隙弾性緩和等のメカニズムが複合して生じると考えられているが、地震発生後34か月間の変動をみる限りでは、変動の時定数、東向きの水平変動や短波長の隆起、沈降等の特徴から、主原因は余効滑りであると考えられる。GEONETデータに基づいて推定された余効滑りは、岩手県沿岸部に滑りのピークが位置しており、その大きさは4.0mに達しており、岩手県沖ではやや海溝より、宮城県沖ではやや陸寄りに位置し、地震時の大きな滑り領域よりも深部で発生している(図4)。滑り領域は南北に600km、東西に240kmに渡り、解放したモーメントは、 1.2×10^{22} Nmを超え、モーメントマグニチュードはMw8.6を超えている(剛性率は40GPa)。余効滑りは地震発生直後が圧倒的に大きく、時間と共に減少し、滑りの中心位置や空間分布の顕著な変化は見られていない。

H25年度には、余効変動のメカニズムの一つと考えられている粘弾性緩和による変動の予備的な解析も行った。余効滑りのみでは説明できない、宮城県沖の海底地殻変動観測点の西向きの変動及び北海道から関東甲信越地方で観測されている隆起は、いずれも粘弾性緩和によって説明することが可能であることが分かった(図5)。しかし、西向きの変動を説明するためには粘性率が 1.0×10^{18} Pa・s程度、隆起を説明するには粘性率が 5.0×10^{17} Pa・s以下と考える必要があり、水平変動と上下変動の両者を同時に説明できるには至っていない。

- (8) 平成25年度の成果に関連の深いもので、平成25年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：
- 国土地理院, 2013, 東北地方の地殻変動, 地震予知連絡会会報, **89**, 72-105.
 - 国土地理院, 2013, 東北地方の地殻変動, 地震予知連絡会会報, **90**, 109-138.
 - 国土地理院, 2013, 東北地方の地殻変動, 地震予知連絡会会報, **91**, 77-104.
 - 国土地理院, 2013, GNSS観測から推定される短期的SSEの断層モデル, 地震予知連絡会会報, **89**, 470 - 476.
 - Nishimura, T., T. Matsuzawa, and K. Obara, 2013, Detection of short-term slow slip events along the Nankai Trough, southwest Japan, using GNSS data, J. Geophys. Res., **118**, 3112-3125, doi:10.1002/jgrb.50222.

Yarai, H. and S. Ozawa, 2013, Quasi-periodic slow slip events in the afterslip area of the 1996 Hyuga-nada earthquakes, Japan, J. Geophys. Res., **118**, 2512-2527, doi:10.1002/jgrb.50161.

(9) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

地理地殻活動研究センター 地殻変動研究室

他機関との共同研究の有無 : 無

(10) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 地理地殻活動研究センター 研究管理課

電話 : 029-864-5954

e-mail : eiss@gsi.go.jp

URL : <http://www.gsi.go.jp>

(11) この研究課題 (または観測項目) の連絡担当者

氏名 : 畑中雄樹

所属 : 地理地殻活動研究センター 地殻変動研究室

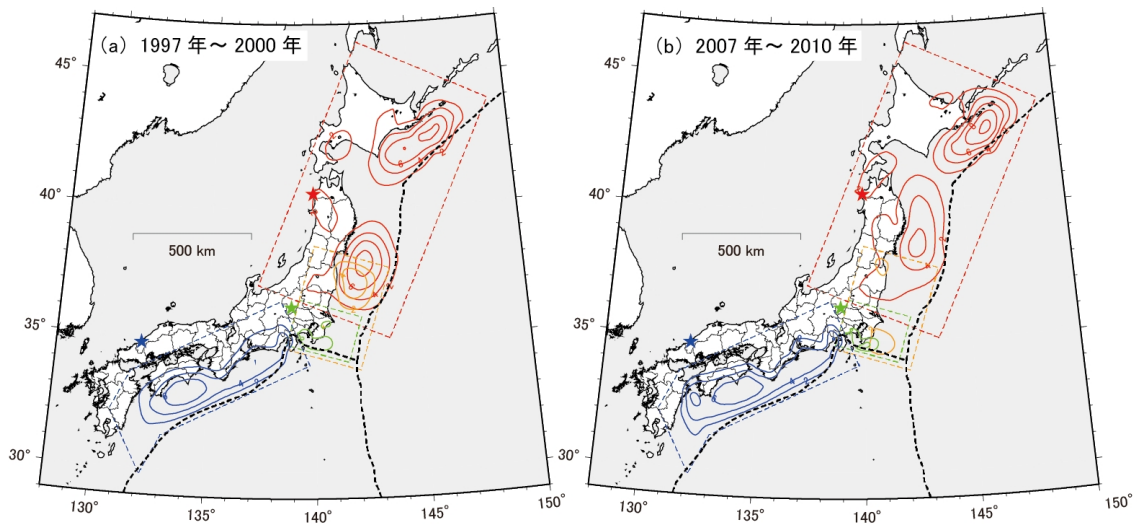


図1 . GEONET データから推定した日本列島周辺の滑り欠損速度分布 .

(a) 1997 年 1 月から 2000 年 1 月のデータから推定 (b) 2007 年 1 月から 2010 年 1 月のデータから推定 .

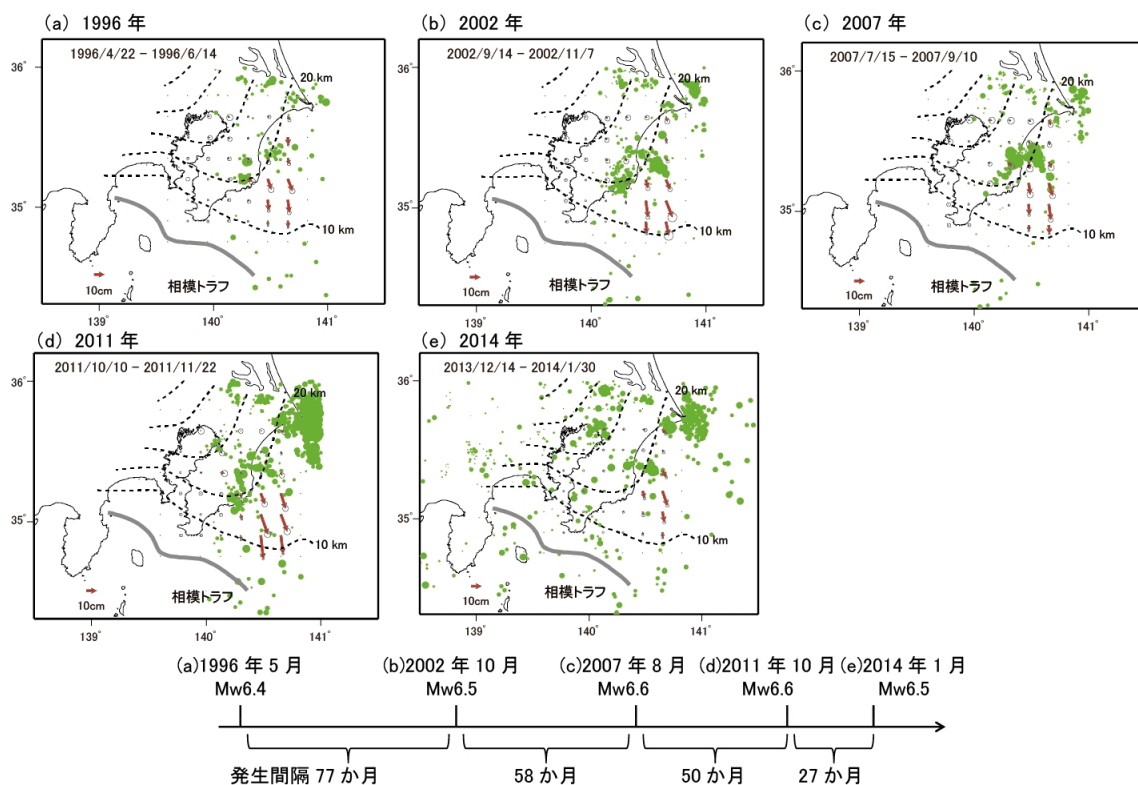


図 2 . 房総半島南東沖で繰り返し発生しているゆっくり滑りの滑り分布 .
(a) 1996 年 5 月 (b) 2002 年 10 月 (c) 2007 年 8 月 (d) 2011 年 10 月 (e) 2014 年 1 月 .

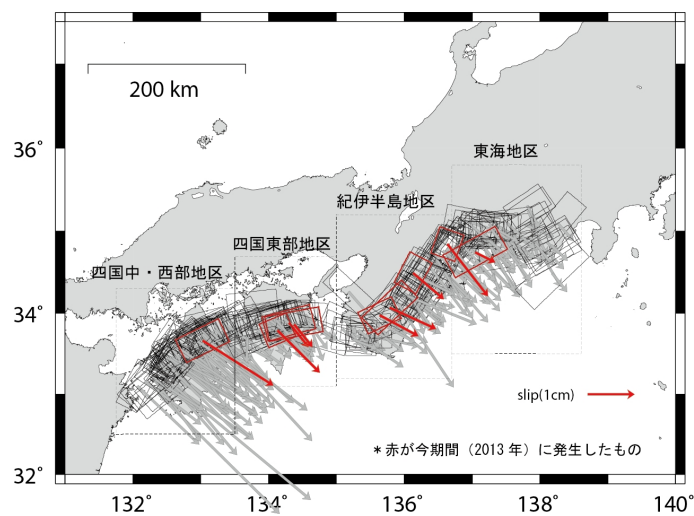


図 3 . GEONET データから推定した 2013 年 1 年間に発生した短期的ゆっくり滑りの空間分布 .

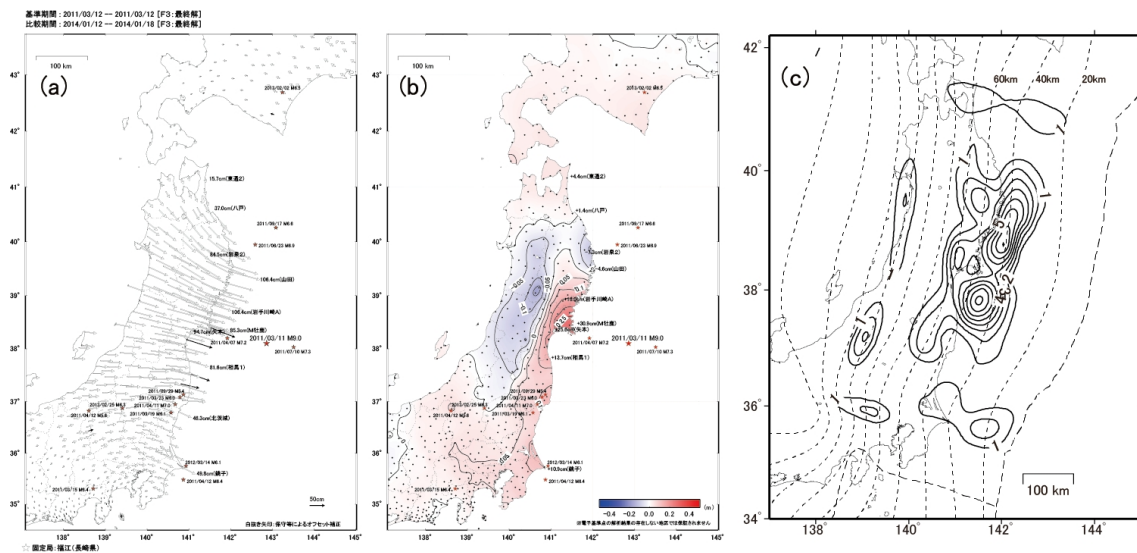


図4．東北地方太平洋沖地震の余効変動と余効滑り分布．
(a) 水平変動 (b) 上下変動 (c) 余効滑り分布．

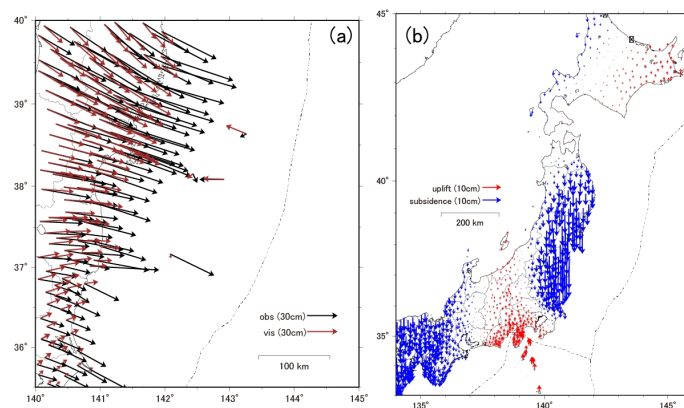


図5．東北地方太平洋沖地震の粘弾性緩和による変動．
(a) 粘性率 $1.0 \times 10^{18} \text{Pa} \cdot \text{s}$ の場合の地震発生から1年間の観測値(黒矢印)と計算値(茶色矢印)．ただし、海底地殻変動観測点の観測値はデータ期間が異なる (b) (a) 粘性率 $5.0 \times 10^{17} \text{Pa} \cdot \text{s}$ の場合の地震発生から2年間の計算値．