

(1) 実施機関名：

東京大学地震研究所

(2) 研究課題(または観測項目)名：

日本周辺のプレート運動の精密推定

(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

(1) 日本列島及び周辺域の長期・広域の地震・火山現象

ア．列島及び周辺域のプレート運動，広域応力場

(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

(2) 地震・火山現象に関する予測システムの構築

(2-1) 地震発生予測システム

ア．地殻活動予測シミュレーションとデータ同化

(5) 本課題の 5 か年の到達目標：

日本列島の地殻変動を周囲のプレート運動に基づいて理解するため，アジア・西太平洋に展開する GPS 観測網と GEONET を統合解析してプレート運動に基づいた日本列島の変形の理解を進める．

具体的には以下の項目を目標に研究を実施する．

1) 東アジアの変位速度場をより精確に推定するとともに，他のデータを併用しつつアムールプレートが存在するかどうかを明らかにする．

2) アジア・西太平洋に設置している IGS 観測点等のうち利用可能なデータを取り込み，GEONET データと共に統合解析を実施し，日本列島をとりまくプレートの相対運動を明らかにする．

3) 前項目で得られた結果をもとに，アジアのプレート運動と日本列島の地殻変動の関連についてテクトニクス的立場に基づく解釈を与える．

(6) 本課題の 5 か年計画の概要：

平成 2 1 年度においては以下の研究を実施する．

1) 前 5 か年計画で実施してきたモンゴル内での GPS 観測を継続する．

2) 5-8 月にモンゴル天文地球物理学研究センターの共同研究者を招へいし，東アジアの変位速度場に関する議論を進める．また，アムールプレートの内部変形を調査するため SAR を用いた解析を行う．

3) VLBI の世界観測データを国土地理院より入手し，GPS 観測データと統合処理することにより東アジアから西太平洋にかけての変位速度場の推定精度を向上させる．

平成 2 2 年度においては以下の研究を実施する．

1) モンゴル内での GPS 観測を継続する．

2) 前年度までに得られた東アジアの変位速度場に関する議論を進めアムールプレートが存在するとの仮定のもとにその境界がどこにあるのかを検証する。また、アムールプレートの内部変形を調査するため SAR を用いた解析を行う。

3) 日本列島をとりまく東アジアから西太平洋に至る地域のプレート運動について考察を進める。
平成 23 年度においては以下の研究を実施する。

1) モンゴル内での GPS 観測を継続する。

2) アムールプレートの存否についてのそれまでの知見を総合し、東アジアのテクトニクスについてそれまでの成果を論文としてまとめる。

3) 日本列島をとりまく東アジアから西太平洋に至る地域のプレート運動について考察を進める。
平成 24 年度においては以下の研究を実施する。

1) モンゴル内での GPS 観測を継続する。

2) 日本列島をとりまく東アジアから西太平洋に至る地域のプレート運動について考察を進めると共にこれらのプレート運動が日本列島の地殻変動にどのような影響を与えているのかについて考察を行う。

平成 25 年度においては以下の研究を実施する。

1) モンゴル内での GPS 観測を継続する。

2) これまでの成果を総合し、当初の目的(前項目の 1)~3)) に対してどのような成果が得られたのかを仔細に調査し、研究成果を学会等を通じて発表するほか、論文として公表する。

(7) 計画期間中(平成 21 年度~25 年度)の成果の概要:

本課題においては、日本周辺のプレート運動の精密決定を通じて、アムールプレート等の存在やその日本列島への影響等を明らかにすることを目的として研究を続けてきた。今次 5 か年の期間ではモンゴルに設置した GNSS 観測点において観測データを継続して取得し、アムールプレートの運動をモニターしてきた。このほか、関連するいくつかの研究を実施した。以下に本課題に関連した研究成果を述べる。

平成 25 年度においては、引き続きモンゴルに展開した 3 観測点 (HOVD, DALN, CHOI) の観測を継続すると共に、これまでの成果をとりまとめるため、最近 10 年間のデータを取りまとめ周囲の観測点を含む統合的な解析を行った。また、今年度は東北地方太平洋沖地震に関連して、東北大学と共同で実施している福島・茨城・房総の GPS 臨時観測を実施し、2011 年 4 月 11 日いわき地震の余効変動調査を行うとともにこの観測網の一部で 50Hz サンプリングによる GNSS 観測を実施し、2013 年 9 月 20 日福島浜通り地震に伴う地震動を検出することに成功した。

(1) アムールプレートの運動と境界の推定

モンゴルに設置した 3 か所の GNSS 連続観測点における最近 10 年間の時系列を図 1 に示す。図が示すように、モンゴル国内の動きはいずれも極めて安定しており、大陸の安定地塊に属していると考えてよいことがわかる。

モンゴル国内の GPS 観測点データやその他の周辺の GPS 観測点資料を用いてユーラシアプレートに対するアムールプレートのオイラー極を推定してきた。しかしながら、引き続き様々な試みにもかかわらず、安定してその極を推定することはできていない。図 2 に最近の推定事例を示す。この場合、推定したオイラー極は地理の南極付近に推定されている。他の研究によるオイラー極などと比較しても、使用するデータセットによって大きく異なる場所にオイラー極が推定されていることがわかる。また、これらのデータに基づき、アムールプレートのユーラシアプレートとの境界を推定した(図 3)。特に西側の境界については GPS の変位速度ベクトルの急変が見られるのである程度精度よく推定することが可能であるが、南側境界はさらに調査が必要と考えられる。

(2) SAR データを用いたモンゴル国内の地震に伴う地殻変動の研究

モンゴルで発生した地震による地殻変動を SAR データの解析によって明らかにした。モンゴルで最近発生した地震について SAR データを収集し、これらについて干渉画像を作成することを試みた。2005

年7月20日ハタンブラグ地震(Mw5.2)と2008年1月19日ブシソル地震(Mw5.1)の2つの地震について詳細な検討を行い断層モデルが検討された。図4に地震の発生場所を示す。

得られた干渉画像から最大8cm程度の地殻変動が検出された(図5)。また、これらの結果をよく説明するような断層モデルが検討された。この結果、ハタンブラグ地震は1.6km(L)X1.8km(W)のサイズの断層面が0.9mずれ動いた逆断層型の地震であること、一方のブシソル地震は1.8km(L)X1.6km(W)のサイズの断層面が0.7m程度ずれ動いた正断層型の地震であることがわかった。

(3) アジアから西太平洋に至る地域の変位速度場

VLBIの世界観測データを地理院より入手し、GPS観測データと統合処理して東アジアから西太平洋に至る地域の変位速度場を算出した。この際、ユーラシア大陸内の比較的安定と考えられる地域のVLBI、GPS観測点を用いてユーラシアプレートを定義し、この運動を差し引くことでユーラシア安定地塊に対する変位速度場を求めた。しかしながら、こうすることによって、アムールプレート内部の変位速度場は予想とは逆に西向きの変位速度を持ち、日本列島に対する速度場は従来得られてきたものとは一致しない。今後さらに詳細な解析を実施し、より信頼性の高いこの地域の変位速度場、プレート変位速度を得ていく必要がある。

西太平洋のプレート運動について、新たに入手されたデータを含め再解析している。これまで入手したデータをGAMITソフトウェアで解析し、まず太平洋プレートのITRF2005系におけるオイラーベクトルを求めた。結果は図7のようになった(62.225N, 111.995W, 0.677 ± 0.0002deg/Myr)。さらに、太平洋プレート内部のひずみ場を推定したところ、面積ひずみについて、太平洋プレート東では圧縮場、西では伸長場となった(図7)。プレート原動力として沈み込むプレートの引っ張りトリッジでの押しという仮説(e.g., Forsyth & Uyeda, 1975)と調和的である。

(4) 日本列島全体の地殻変動を可視化するために、GEONETデータを用いた動画を作成した(加藤, 2012)。これによって日本列島の2011年東北沖地震の前後の地殻変動等がわかりやすく表現できた。また、各電子基準点の変位アニメーションやDelaunay三角網を用いた内部変形アニメーションをいくつか作成した。さらに、日本周辺の震央分布と合わせて地殻変動アニメーションを作成することで、地殻変動と地震の関係性がみられるようなアニメーションの作成も行った。アニメーションの時間解像度を細かくすることで、いくつかの地震後の局所的な地殻変動をとらえることができた。各アニメーションでいろいろな特徴があるが、様々な表現方法で日本列島の地殻変動をアニメーション化することは、異常な変動をしている地域や観測点を特定する助けになると考えられる。

また、同手法をプレート運動の可視化にも適用している。本研究では自前のプログラムでこの部分を改善して、地形、重力異常、ジオイド等の各種地球科学データを使って過去のプレート形状と位置をできるだけ精密に復元し、その可視化を試みた。

(5) 2011年3月11日東北地方太平洋沖地震の余効変動に関する研究

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震(Mw9.0)においては、地震時に東北地方太平洋沿岸が沈降したことから、その回復過程に着目し、断層深部延長の余効的滑りと地殻・上部マントルの粘弾性的回復の両面から地震時の沈降及び地震発生以前の長期的な沈降を回復させるモデルについて検討した。まず、GEONETデータを用いた時間発展インバージョン解析を行い、地震後約7か月間の余効滑りを推定した。次に今後の予測を行うため、断層面を9枚の322km × 31kmのサイズの短冊状の長方形で近似した(図8)。これらの短冊状の断層面に適宜滑り量を与えて、海岸線付近の上下変動量をOkada(1992)の定式化によって推定した。断層面上の滑り量については多くの場合が考えられるが、ここではそのうち3種類について報告する。図9に与えた滑り量分布をしめす。左から右へ浅い方から深い方の順番に滑り量を示している(1)は基本的に現在余効滑りが進行している領域がそのまま滑り量を増大させた場合(3)は最も深い120kmまで滑りが進行した場合(2)はその中間である。図10は(3)の場合の上下地殻変動の分布とプレート運動方向の上下変動プロファイル(挿入図)を示す。これらの図からわかるように、深さ120kmまで約3.5mの余効滑りを与えることにより、海岸線が地震時の沈降量の約1mを回復することができると考えられる。

続いて、粘弾性緩和の可能性について検討した。ここで与えた余効滑りだけでは地震時の沈降を回復

することができるだけであり、地震時に蓄積していた沈降量をすべて回復することは難しい。これらのギャップを埋めるためにはさらに可能性を考えなくてはならない。余効滑りがもっと大規模に進むということも可能性としては考えられるが、一方忘れてならないのは粘弾性緩和の寄与であろう。粘弾性緩和は必ず発生すると考えられるから、その寄与を見積もっておかないと他のメカニズムによる寄与を過大評価してしまうことになりかねない。そこで、Tanaka et al. (2008) の定式化に基づく球対称粘弾性地球モデルを用いた計算を実施した。粘弾性余効と地震時及び余効滑りの量をすべて考慮した場合、断層モデルの与え方によっては、約 1000 年とされる地震サイクルで上下変動量が微弱な隆起を示すという地形学的な証拠と整合性のある条件が存在することが示された。

(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) :
加藤照之, GPS : 次の“ 夢 ”に向けて ~ 「 GPS 大学連合」の視点から ~ , 測地学会誌, 第 59 巻, 3 号, 87-97, 2013 .

堀草子, 宮下芳, 青木陽介, 加藤照之, 三浦哲, GPS 観測に基づく 2011 年東北地方太平洋沖地震の余効地殻変動, 日本測地学会第 120 回講演会要旨集, 31-32, 2013 .

Kato, Teruyuki, Amarjargal Sharav, and Makiko Iwakuni, Crustal deformation in Mongolia and tectonics in eastern Asia, Abstracts of the 120th Meeting of the Geodetic Society of Japan, 55, 2013.

(9) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

東大地震研 加藤照之

他機関との共同研究の有無 : 有

北海道大学大学院理学研究院 高橋浩晃

日本気象協会 岩國真紀子

モンゴル科学アカデミー天文地球物理学研究センター Amarjargal Sharav

(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 : 東大地震研地震火山噴火予知研究推進センター

電話 : 03-5841-5730

e-mail : teru@eri.u-tokyo.ac.jp

URL :

(11) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名 : 加藤照之

所属 : 東京大学地震研究所 地震火山噴火予知研究推進センター

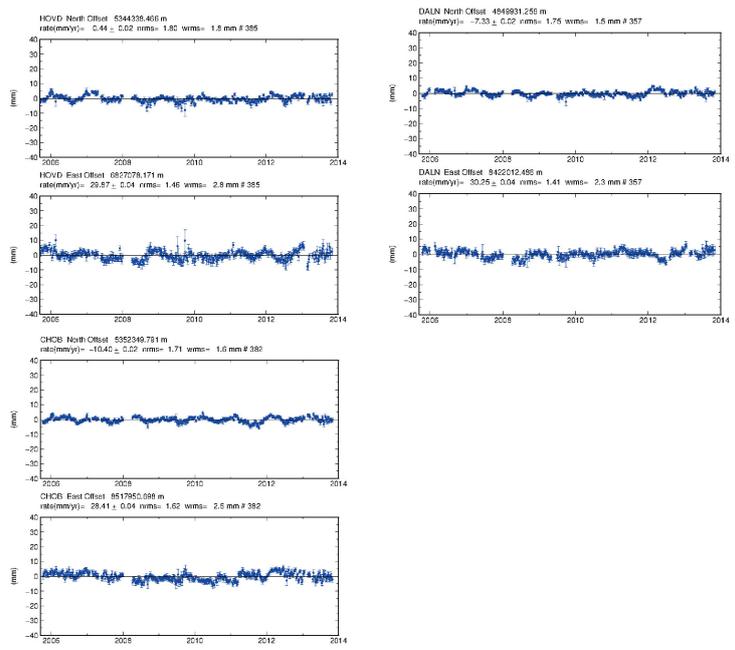


図 1
モンゴルに設置した GPS 観測点の最近 10 年間の推定した座標値の時系列 (左上) ホブド (HOVD) (右上) ダランザドガド (DALN) (左下) チョイバルサン (CHOB) .

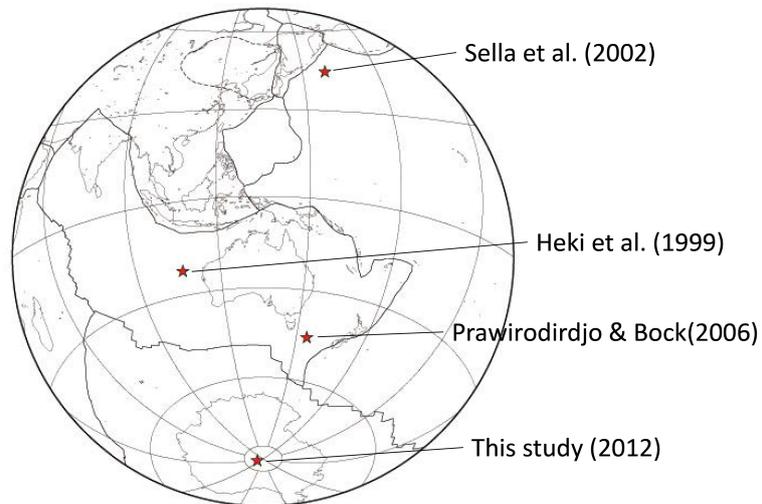


図 2
推定されたユーラシアプレートに対するアムールプレートのオイラー極の位置 .

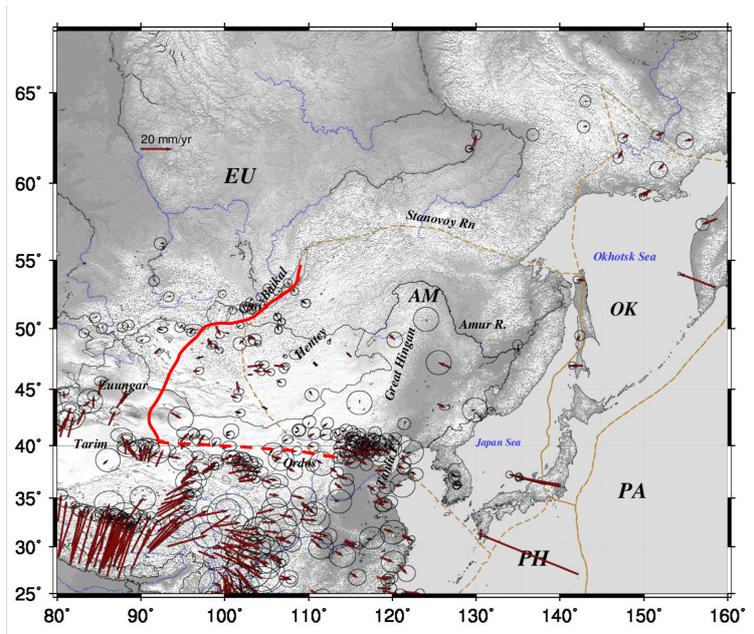


図 3

北東アジアにおける GPS 変位速度場と推定されたアムールプレートの西側境界（赤色で示す）．茶色の細線は Zonnenshain and Savostin (1981) によるプレート境界．

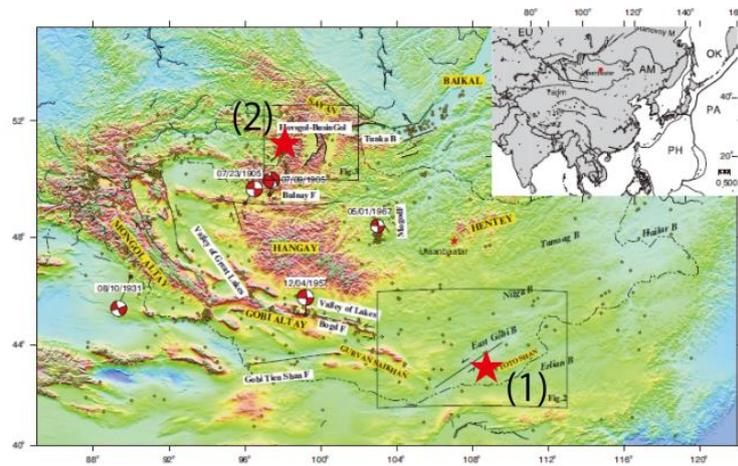


図 4

(1) ハダンブラグ地震，及び (2) プシンゴル地震の震央位置（星印）．

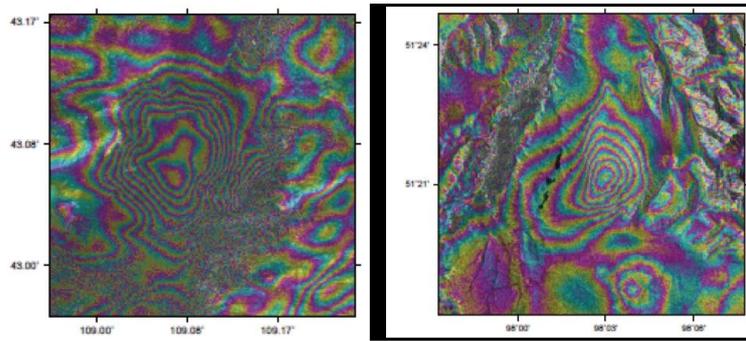


図 5

(左)ハダンプラグ地震,及び(右)ブシンゴル地震の SAR 干渉画像 .

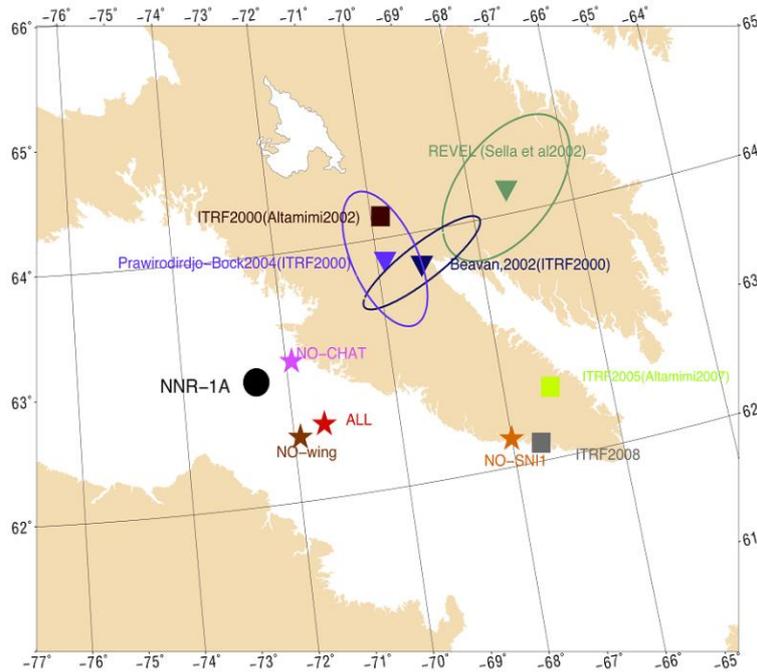


図 6

太平洋プレート内の GPS 観測から推定されたオイラー極 (ALL:すべての入手可能な観測点データから推定 . NO-CHAT:CHATを ALLから除いた場合 , NO-wing:ALLから WING 観測点(MARC, TRUK)を除いた場合 , NO-SNI1: ALLから SNI1を除いた場合) .

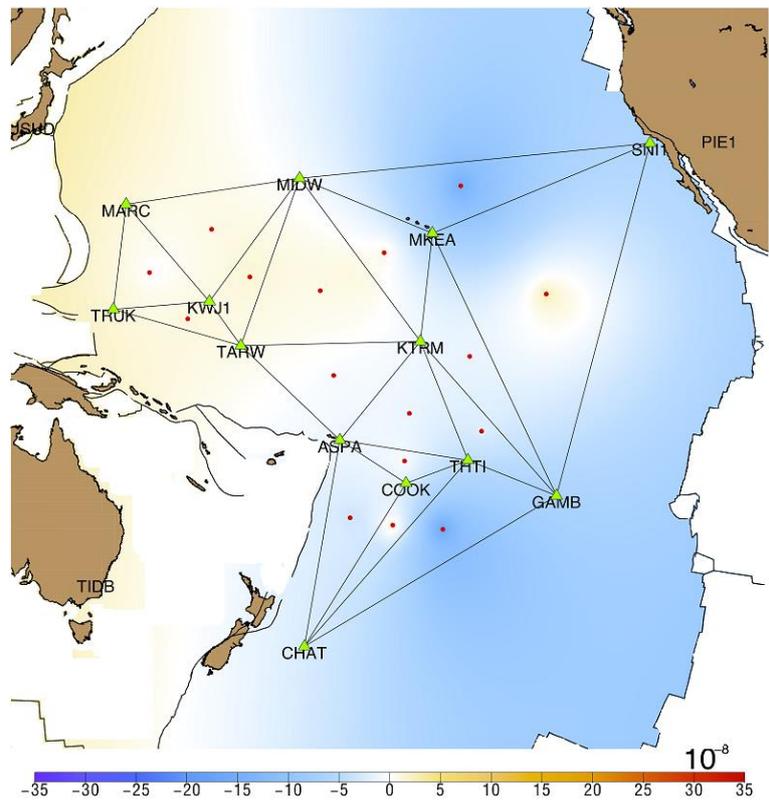


図7
太平洋プレート内の面積ひずみ

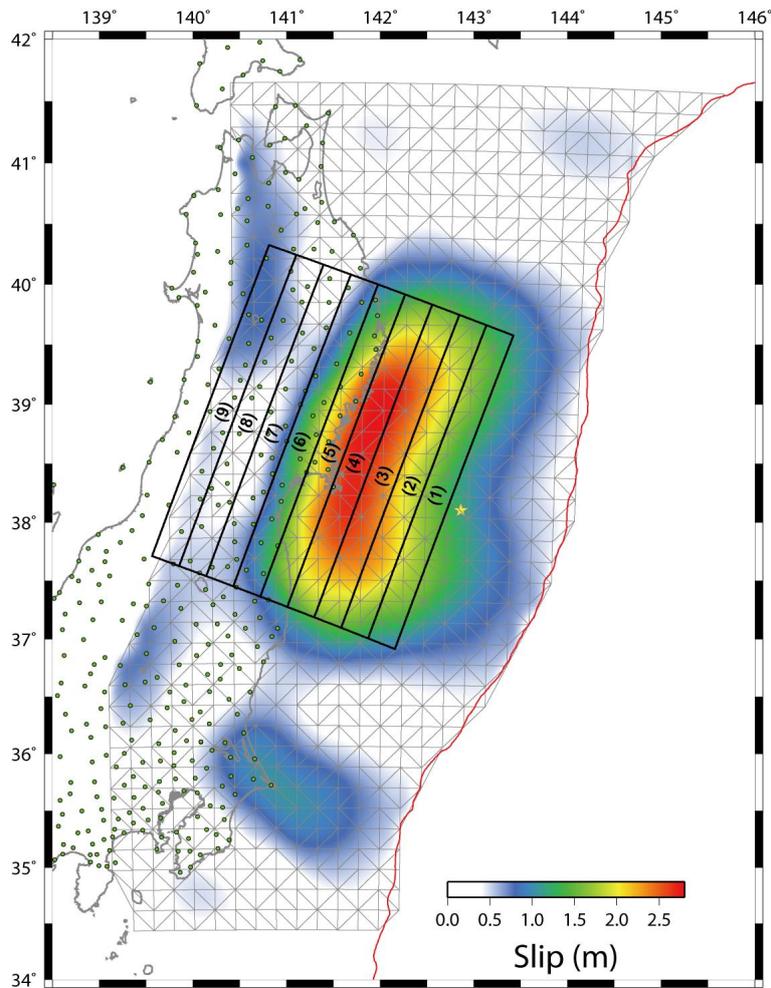


図 8
余効滑り域とそれに基づくモデル断層面を示す．断層面は長方形で近似し，9枚の短冊状に分割している．

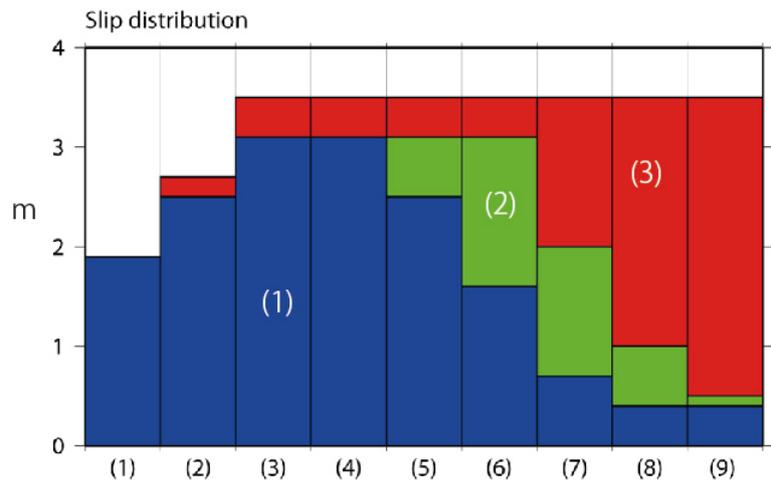


図 9
深部断層における滑り分布．横軸のカッコ内数値 (1)-(9) を示す領域は図 1 参照のこと．縦軸は m．3 種類の色はモデル (1) からモデル (3) のそれぞれの滑り分布を示す．

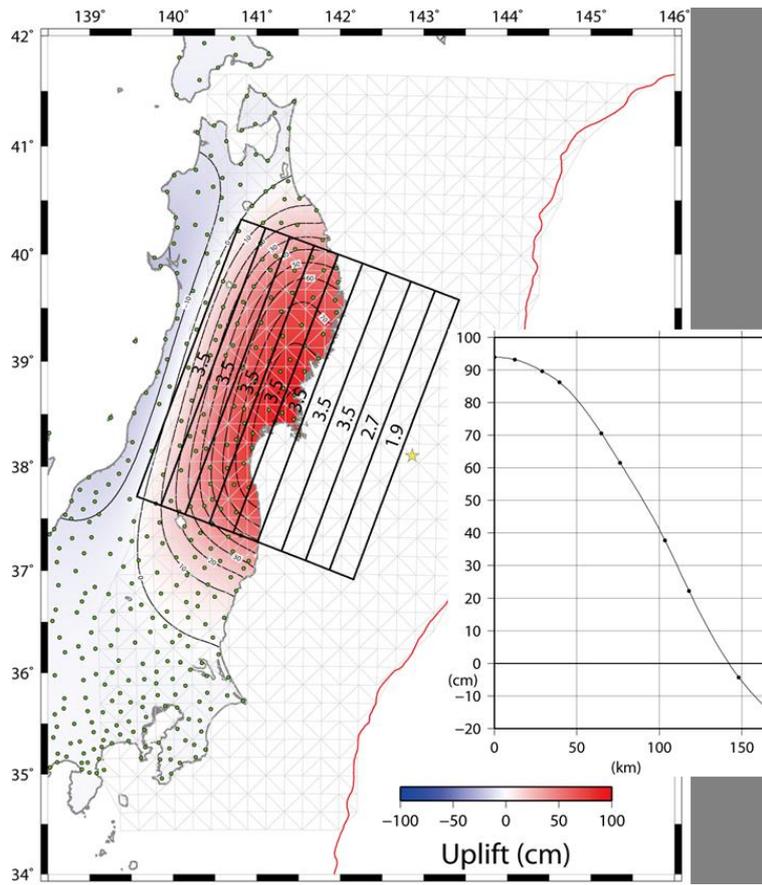


図 1 0

図 2 のモデル (3) の滑り分布の場合の地表で推定される上下変動 . 挿入されているプロファイルは断層面の中央部を横切るプレート運動に平行する測線に沿った上下変動プロファイルを示す . 海岸線のところでほぼ 1 m の隆起が得られている .