

C会場 | 一般セッション：S03. 地殻変動・GNSS・重力

📅 2019年9月16日(月) 9:30 ~ 10:30 | 📍 C会場 総合研究8号館NSホール

[S03]AM-1

座長: 縣 亮一郎(海洋研究開発機構)、木戸 元之(東北大学災害科学国際研究所)、田中 優作(東京大学地震研究所)

9:30 ~ 9:45

[S03-01] 地震間の測地データから示唆される千島海溝南部の火山弧と背弧の地殻の変形しやすさ

*伊東 優治¹、Wang Kelin²、西村 卓也³、He Jiangheng² (1. 京都大学大学院理学研究科、2. Pacific Geoscience Centre, Geological Survey of Canada、3. 京都大学防災研究所)

9:45 ~ 10:00

[S03-02] 陸・海域の測地データを用いたすべり逆解析へのデータ共分散の導入と南海トラフ域のすべり欠損分布推定への適用

*縣 亮一郎¹、飯沼 卓史¹ (1. 海洋研究開発機構)

10:00 ~ 10:15

[S03-03] GNSSデータを用いた2000年三宅島・神津島周辺の地震・火山活動に伴う地殻変動のモデル化

*秋山 峻寛¹、吉岡 祥一^{2,1} (1. 神戸大学大学院理学研究科、2. 神戸大学都市安全研究センター)

10:15 ~ 10:30

[S03-04] GNSSデータのソフトクラスタリングに基づく伊豆半島基部のブロック境界推定：東海スロースリップ前後で変化はあったか？

*三井 雄太¹、渡邊 識² (1. 静岡大学理学部、2. 元・静岡大学理学部)

地震間の測地データから示唆される千島海溝南部の火山弧と背弧の地殻の変形しやすさ

Compliant volcanic arc and backarc crust in southern Kurile suggested by interseismic geodetic deformation

*伊東 優治¹、Wang Kelin²、西村 卓也³、He Jiangheng²

*Yuji Itoh¹、Kelin Wang²、Takuya Nishimura³、Jiangheng He²

1. 京都大学大学院理学研究科、2. Pacific Geoscience Centre, Geological Survey of Canada、3. 京都大学防災研究所
1. Graduate School of Science, Kyoto University, 2. Pacific Geoscience Centre, Geological Survey of Canada, 3. Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University

北海道東部の第四紀火山列とその周囲からなる火山弧域では、GNSS観測により地震間に短縮ひずみが集中していることが知られてきた。火山弧域における高い地殻熱流量、地震波速度構造や減衰構造からは、火山弧域の地殻が前弧や典型的な大陸地殻より変形しやすいことが期待される。千島海溝では2003年十勝沖地震 (M_w 8.0) 等のM8-9級プレート境界型地震が繰り返し発生してきており、地震間にはそれらの震源域が固着していることが知られてきた。したがって、観測された地震間の短縮ひずみの集中は、プレート境界の固着による圧縮力により火山弧沿いに変形が集中した結果と考えられる。そこで本研究では、地震間における地殻の力学的挙動を、変形しやすさを表すパラメタとして地殻の厚さと剛性率に着目してモデル化する。その上で、地震間のGNSSデータから、これらのパラメタの水平不均質分布を求めた。

本研究では有限要素法を用いて単純化した沈み込み帯の3次元地下構造モデルを構築した。海溝付近のマントルウェッジの一部で、弾性的に振る舞うCold Noseよりも陸側の弾性地殻の底面の深さ (25 km) と剛性率 (48 GPa) が前弧から背弧まで一様である「標準モデル」を構築した。マントルウェッジと海洋マントルにはBurgers Rheologyを仮定し、そのMaxwell粘性率はそれぞれ 1.0×10^{19} Pa s、 1.0×10^{20} Pa sとし、Maxwell粘弾性体の剛性率は64GPaとした。地震間の地殻変動として、海溝から深さ40kmまでのプレート境界をプレート収束速度 (8 cm/年) で500年間固着させた場合の粘弾性変形を計算した。標準モデルを用いた場合の計算結果を、1998年3月から2003年9月のGEONET F3解から計算した地震間の地殻変動速度と比較したところ、前弧側の観測点では計算値が観測値よりも顕著に小さかった。その一方で、背弧の観測点では変動が概ね説明された。また、深さ70kmまで完全に固着させた場合も前弧の残差は改善しなかった。このことは、地殻の底面の深さや剛性率を一様とする仮定に問題がある可能性を示唆している。そこで、スラブ上面の深さを基準にCold Noseよりも陸側の地殻を前弧域・火山弧域・背弧域に分割し、火山弧域・背弧域の地殻の底面の深さや剛性率を標準モデルから小さく設定したモデル計算を実施し、観測データと比較した。その際、それぞれのパラメタの影響を検討するために、底面の深さ (すなわち地殻の厚さ) と剛性率を別々に変化させた。火山弧域のパラメタのみを小さくした場合、背弧域の計算値が観測値より著しく小さくなった。これは、火山弧域の地殻が緩衝材のように振る舞うためと考えられる。そこで、火山弧域と背弧域の両方が変形しやすい、すなわち底面の深さや剛性率が標準モデルより小さく設定したところ、前弧から背弧までの観測データを十分説明することができた。具体的には、底面の深さか剛性率のどちらか一方を火山弧域と背弧域でそれぞれ標準モデルの10%と40%程度とした場合に観測データを説明する。しかし、どちらのパラメタを変化させた場合もモデル計算された地表変動パターンが似ていたため、地震間のGNSSデータのみからどちらのパラメタが変化しているかを区別することはできないことがわかった。そこで、各モデルの構造を用いて2003年十勝沖地震時の弾性応答を計算し、観測データと比較したところ、底面の深さを変化させたモデルや標準モデルと比べ、剛性率を変化させたモデルでは火山弧付近での計算値が観測値と整合的ではなかった。したがって、火山弧の剛性率が10%まで低いことは現実的でないと考えられる。最後に、前弧と背弧のパラメタを固定し、火山弧の地殻の剛性率と厚さを同時に変化させた。その結果、火山弧の剛性率と厚さの積が標準モデルの10%程度のとき同等のモデル計算値が得られた。パラメタ間のトレードオフを考えると、地震間と地震時のGNSSデータのみから剛性率と厚さの分布を一意に決定することは不可能であるが、例えば、火山弧の地殻の底面の深さが7.5

km（標準モデルの30%）で、剛性率が16 GPa（標準モデルの1/3 ~ 33%）であるモデルは、90%の地殻内地震が発生する深さ下限（D90）と調和的である。このモデルでは火山弧の下部地殻が地震間に粘弾性的に変形することを示しており、Hasegawa et al. (2005, *Tectonophysics*)による火山弧の変形モデルと調和的である。

陸・海域の測地データを用いたすべり逆解析へのデータ共分散の導入と南海トラフ域のすべり欠損分布推定への適用

Introduction of data covariance in slip inversion with land and seafloor geodetic observations

*縣 亮一郎¹、飯沼 卓史¹

*Ryoichiro Agata¹, Takeshi Iinuma¹

1. 海洋研究開発機構

1. JAMSTEC

全球測位衛星システム (GNSS) による陸域地殻変動観測と、GNSS-音響測距結合方式 (GNSS-A) などによる海底地殻変動観測が組み合わされることで、海底下の断層における固着・すべりの測地逆解析の解像度は近年飛躍的に向上してきた。一方で、陸域と海域の観測点の双方を用いる場合、観測点分布やその密度には空間的偏りが生じる。この偏りを適切に扱わない場合、データへの過剰適合による不自然な短波長成分が推定すべり分布に含まれることがしばしば問題となる。対策として、観測データの重みづけや観測点の間引きを行うことが考えられるが、個々のデータに対して重みや使用・不使用を客観的に決めることは難しい。地震波によるすべり逆解析に関しては、Yagi and Fukahata (2008, 2011)が、高サンプリングレートの地震波データ、つまり時間方向に密なデータへの過剰適合が、データ同士の時間方向の共分散を適切に導入することによって避けられることを指摘した。すべり分布の測地逆解析においては、データどうしの共分散を導入しない、すなわちデータ共分散行列の非対角成分を0として逆問題を定式化することが多い。本研究は、Yagi and Fukahata (2008, 2011)と同様の考えを空間方向に偏りを持った測地データに適用し、データどうしの適切な空間的共分散を導入することで、過剰適合のないすべり逆解析を行うことを目的とする。

すべり分布の測地逆解析は多くの場合、すべての確率変数が正規分布に従うと仮定した線形逆問題として定式化される。観測データの共分散行列は、観測誤差そのものと、モデル誤差に由来する成分に大別することができる。観測誤差そのものの共分散(例えばFukahata and Wright 2008, Iinuma et al. 2015)だけでなく、モデル誤差による共分散を適切に評価することが重要となる。Yagi and Fukahata (2011)、Duputel et al. (2014)などは、モデル誤差の要因が単位すべり応答関数 (グリーン関数) の不確かさにあるとみなした。この場合、データ共分散行列はモデルパラメータを用いて表せるため、彼らはそれを解くための非線形逆解析問題を定式化した。本研究ではもう一つのアプローチとして、データ共分散行列をグリーン関数自体で直接表わすことを考える。これはYagi and Fukahata (2008)の考え方に近く、逆問題を従来通りの線形逆解析として扱えるため、Yabuki and Matsu'ura (1992)などの広く使われている手法に対して、追加計算をほとんど必要とせず適用できることが利点である。

プレート境界を想定した低角逆断層を対象とした人工データを用いた数値実験に本手法を適用し、その有効性を確かめた。仮定したすべり分布を基に地表変位を合成する際に、断層の傾斜角にずれを与えてグリーン関数を計算することにより、数値実験にモデル誤差を導入した。データ共分散行列を対角行列とした場合、傾斜角の違いが大きくなるにつれ推定されたすべり分布が振幅の大きな短波長成分を含むようになった。一方、本研究の手法で共分散を導入した場合だと、ある程度傾斜角の違いが大きくなっても、真のすべり分布により近い滑らかな分布が得られることが分かった。

本手法を、南海トラフ域におけるすべり欠損分布の推定に適用した。地殻変動データとして、Nishimura et al. (2018)によって推定されたGEONETの陸上観測点と海上保安庁などのGNSS-A海底観測点(Yokota et al., 2016)における変位速度データを用いた。グリーン関数の計算には、半無限弾性体における三角形断層に対する弾性応答の解析的表現 (Comninou & Dundurs 1975) を用いた。したがって、逆問題には少なくとも

も、1. 剛体ブロック運動による変位、2. 弾性・粘弾性の3次元不均質構造、を考慮しないことによるモデル誤差が含まれることになる。本手法を用いた推定結果として、観測データの位置に依存しない滑らかなすべり欠損分布を得た。また、観測データと推定されたすべり欠損分布から計算される変位の残差には、四国地方南部などに比較的大きな西向き成分が含まれていた。これらのことは、観測データ、とくにモデル化されていない、中央構造線の南側のブロックに生じている剛体変位に対し、推定結果が過剰適合していないことが示唆される。これらの結果は、適切なデータ共分散の導入の重要性を示す。一方他の領域には、原因の説明が困難である系統的な残差分布もみられた。より真のものに近いグリーン関数を作成するためのモデル化を同時に行っていく必要があることも示唆される。

GNSSデータを用いた2000年三宅島・神津島周辺の地震・火山活動に伴う地殻変動のモデル化

Models for crustal deformation associated with seismovolcanic event in and around Miyakejima and Kozushima in 2000 inferred from GNSS data

*秋山 峻寛¹、吉岡 祥一^{2,1}

*Takahiro Akiyama¹, Shoichi Yoshioka^{2,1}

1. 神戸大学大学院理学研究科、2. 神戸大学都市安全研究センター

1. Graduate School of Science, Kobe university, 2. Research Center for Urban Safety and Security, Kobe University

1. はじめに

2000年6月26日より三宅島直下で群発地震が発生し始め、時間の経過とともに岩脈の貫入を伴ってその活動領域は北西方向へ広がっていった。また、Mw 6程度の地震が5回発生した。三宅島のGNSS観測点では3ヶ月間で最大で約90 cmの収縮に伴う変位や、本州でも通常とは異なる変位を観測するなど非定常地殻変動が広域で観測された。この一連の地震・火山活動を三宅-神津イベントと呼ぶ。

このイベントについて、Seno(2005)は山岡(2000)の岩脈貫入モデルと伊豆半島下に設定したデタッチメントモデルによって本州の地殻変動の水平成分を説明したが、伊豆諸島の観測データを説明できていない可能性がある。また、Nishimura et al. (2001)は伊豆諸島と本州の30以上のGNSS観測点の3成分データを用いて4つの力源を推定したが、本州の地殻変動を説明できていない可能性がある。そこで、本研究では、GNSSの水平・上下データを用いて、伊豆諸島、および本州で観測された地殻変動を同時に説明しうるモデルの構築を試みた。

2. データと解析手法

解析に用いたデータは国土地理院の日々の座標値、F3解の1998年1月1日から2003年12月31日までの伊豆諸島と東海地方、中部地方、関東地方の243のGNSS観測点の時系列データである。固定点は新潟県にある大潟(950241)と柏崎2(960567)の2点とした。まず、解析に使用した全観測点の時系列データから求めた共通誤差成分とトレンドを時系列データから除去した。トレンドの推定期間は1998年5月1日から2000年6月6日までとした。同イベントによる変位量は2000年6月7日から9月5日までの時系列データから求めた。さらに、得られた変位量から、三宅-神津イベントで発生した上記のMw 5.9-6.5の5つの地震による地震時の変位を除去した。さらに、同イベントに伴う各観測点での変位から、Nishimura et al. (2001)の断層モデルから計算される変位を除去し、本州の残差の変位データに対して、他の力源によるすべり量をインヴァージョン解析によって推定することを試みた。

3. 結果と考察

このようにして得られた本州での水平・上下の変位データに対して Seno(2005)のデタッチメントモデルのすべり域の大きさや位置を仮定して、インヴァージョンによりすべりの空間分布を求めた。その結果、最大すべり量は6.9 cm、平均のすべり量は3.9 cmと求まり、等価なモーメントマグニチュードは6.4と推定された。すべりの方向は Seno(2005)とほぼ一致したが、同研究では20 cmの様なすべりが得られており、すべり量の大きさに違いがみられた。また、インヴァージョンによるすべり分布から求めた計算変位と観測変位を比較すると、伊豆半島以外の本州の観測点ではほとんど一致しなかった。

本講演では、さらに伊豆諸島の変位と本州の地殻変動データをよりよく説明するモデルを提案する予定である。

GNSSデータのソフトクラスタリングに基づく伊豆半島基部のブロック境界推定：東海スロースリップ前後で変化はあったか？

Estimation of block boundary around the base of the Izu Peninsula by soft clustering of GNSS data

*三井 雄太¹、渡邊 識²

*Yuta Mitsui¹, Satoru Watanabe²

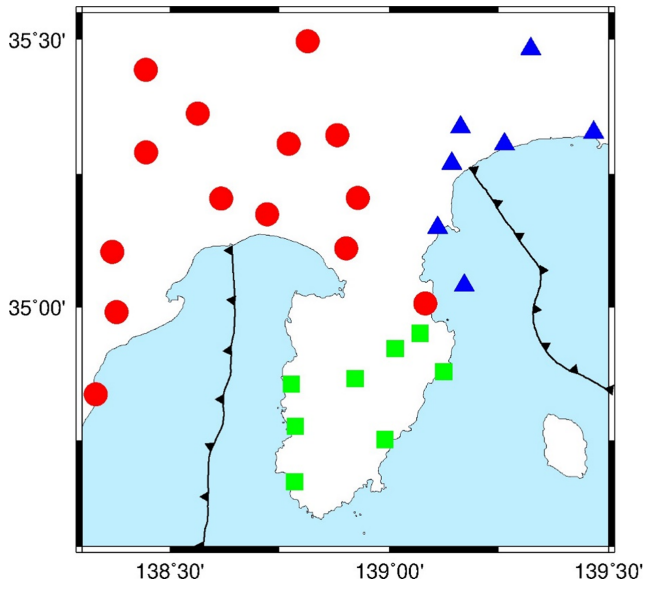
1. 静岡大学理学部、2. 元・静岡大学理学部

1. Faculty of Science, Shizuoka University, 2. formerly at Faculty of Science, Shizuoka University

本研究では、複数の先行研究(e.g., Loveless and Meade, 2010; Nishimura, 2011)で設定にバラつきがあった、伊豆半島基部のブロック境界の位置を、国土地理院のGNSSデータ(水平成分)に基づいて推定する。手法として、近年導入が進んでいるクラスター分析(e.g., Simpson et al., 2012; Savage, 2018; Takahashi et al., 2019)を用いる。特に、各観測点データを1つのクラスターへ完全に所属させることなく、各クラスターへの帰属度を推定するソフトクラスタリング法を適用することで、どのクラスターに所属するかが曖昧なデータを除去することを可能にした。GNSSデータの期間として、1997年5月-2000年5月、および、2007年1月-2011年1月の2期間に着目する。この2期間の合間には、東海スロースリップイベントや三宅島周辺の火山活動、2004年伊豆半島沖地震の余効変動などの非正常変動が、同地域の地殻変動に大きな影響を及ぼしている。

本州側のブロック数を3としたソフトクラスタリング分析を行い、いずれかのブロックへの帰属度が高い観測点のみを表示した結果を図に示す。上記イベント前後の2期間において、ブロック同士の境界の位置は不動とみなせることがわかった。ブロックは、「伊豆半島南部」「伊豆半島北部～駿河湾西岸」「伊豆半島基部東～相模湾北岸」の3つとなった。既往研究とは異なり、伊豆半島の北側(いわゆる衝突域)ではなく、伊豆半島南部と北部を分断するような境界が推定された。地表地形としては、水抜一与市坂断層や達磨山断層に対応している。また、「伊豆半島南部」「伊豆半島北部～駿河湾西岸」ブロックの境界と、「伊豆半島基部東～相模湾北岸」「伊豆半島北部～駿河湾西岸」ブロックの境界は、伊豆東部火山群付近で交わることもわかった。「伊豆半島南部」ブロックのアムールプレートに対するオイラー回転を推定したところ、2期間に有意な差は見られなかった。同地域のブロック運動は現在安定していると考えられる。

(a) 1997-2000



(b) 2007-2011

