

ニュージーランド島の GNSS 地殻変動データのオイラーポールに基づくクラスタリング

Euler pole clustering of dense GNSS Velocity Data associated with crustal deformation in New Zealand

○高橋温志・橋本 学

○Atsushi TAKAHASHI, Manabu HASHIMOTO

GNSS velocity field in New Zealand varies a lot through north to south associated with crustal deformation in plate boundary zones. We use an Euler pole clustering to classify data objectively into several clusters of rigid block motions. We observe NE-SW trending parallel clusters along the southern part of the North Island to the southern end of the South Island, though there is no clear correspondence with local active faults. This reflects predominant distributed crustal deformation. The North Island is characterized by local and rigid spin motions. Relative motions between clusters are consistent with crustal deformation in the Taupo Volcanic Zone.

1. はじめに

ニュージーランド島周辺のテクトニクスは南北にかけて大きく変化する。北部ではヒ克蘭ギ沈み込み帯に沿って太平洋プレートがオーストラリアプレートの下に沈み込む。逆に、南端では太平洋プレートの下にオーストラリアプレートが沈み込む。2つの沈み込み帯は長大なトランスフォーム断層で繋がれている。この複雑なニュージーランド島周辺のプレート境界で生じる地殻変動は、約20年にわたってGNSSによる観測されたデータが蓄積されてきた。例えばGNSS連続観測データはWallace et al. 2010に見られるようなスロースリップイベント(SSE)の発見に貢献し、空間的に高密度な観測データ(Beavan et al. 2016)はプレート境界での複雑な変形パターンを示した。

複雑な動きを示すGNSS地殻変動データを解釈する上で最も単純で直感的な方法は、複数の剛体運動で水平速度場をモデリングすることである。モデリングの上で難しいのが、どのようにこの剛体的に運動する地域を決めるかである。一般に、活断層の地表トレースや地震の分布を基にして試行錯誤する方法が主流である。近年、オイラーベクトルを基にした類似度でGNSSデータをクラスタリングする研究が剛体運動を仮定した客観的なモデリング方法として提案され成果を挙げた(Thatcher et al., 2015)。本研究ではこのオイラーポールに基づくニュージーランド島のGNSS速度場のクラスタリングを行い、剛体運動を基本にしたモデリングを試みた。さらに得られたオイラ

ーベクトルのテクトニックな意味を考察する。

2. データと解析手法

本研究ではBeavan et al. 2016の空間的に超高密度なGNSS水平速度場データを解析する。このデータは1996年から各地点約8年間隔で測定して得られた。地震に伴うステップ的な変動は、その期間を解析に使用しないことによって取り除いている。そのため余効変動といった短期的な地殻変動が含まれた平均的な速度場である点に注意が必要だ。ITRF2008のオーストラリアプレートを固定座標系にとった速度場を解析に用いる。

解析手法はSavage and Wells 2015にならい、まずデータをランダムにK個の(Kはクラスタ数で2から7とする)グループに振り分け、オイラーベクトルをフィットする。それぞれのオイラーベクトルに対しての各観測点のミスフィットを計算する。最後に各観測点を、最も誤差が少ないクラスタに割り当てる。これを改善が見られなくなるまで繰り返し、各Kの最適なクラスタとする。階層クラスタリングを持ちいた手法(Simpson et al. 2012)とは異なり、データのクラスタへの割り当ては、各Kごとに独立である。例えば、3つのクラスタにデータを分割するとき、それより1つ粗い2つのクラスタへの分割した際の結果は、3つのクラスタ分けの時には利用されない。

3. 結果と考察

北島南端と南島に現れる北東-南西走向のアルパイン断層に平行なクラスタと、北島東部のクラスタの2つに大別できる。

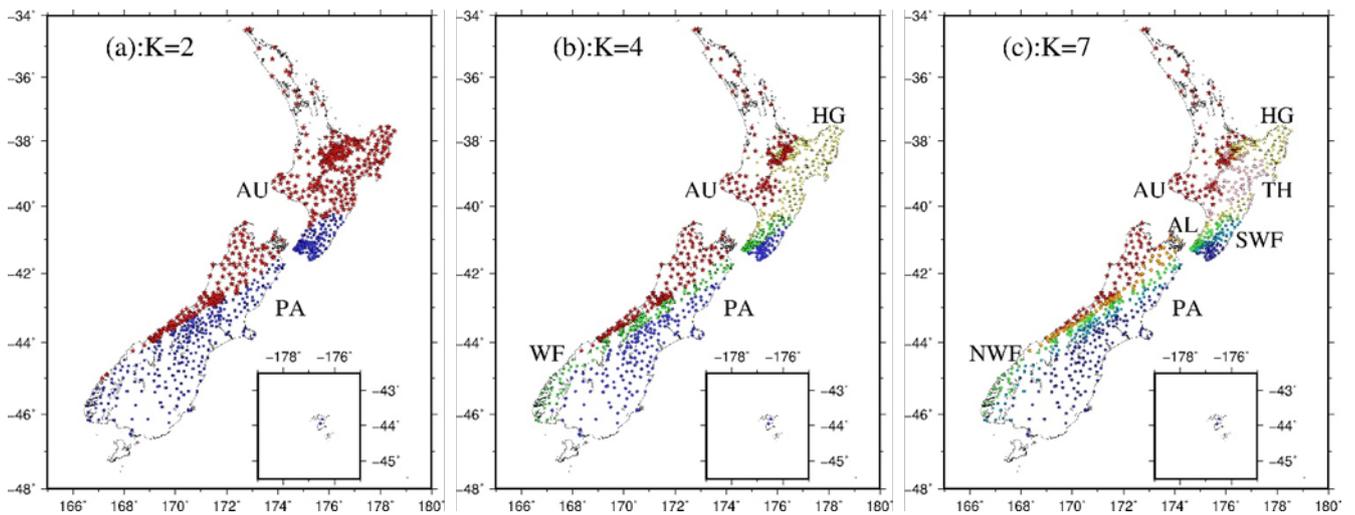


図1. a,b,c はそれぞれクラスタ数を 2,4,7 とした場合の分割結果を色分けして示す.

まず北東-南西走向のクラスタ分割を紹介する. $K=2$ の場合, クラスタ境界は北島の Wairarapa 地域から南島へかけて, アルパイン断層に平行で地表トレスからはやや南東に寄った位置に推定された(図 1a). 北島の大部分を占める赤色のクラスタを AU と呼ぶことにする. AU のオイラー極(オイラーベクトルの地図上の位置)は北島のすぐ近傍に求まった. さらに角速度空間では AU のオイラーベクトルは座標原点には一致しなかった. このことは, ITRF2008 の座標系に対して AU は局所的な回転をしていることを示す. 一方南島の大部分を占める青色のクラスタを PA と呼ぶことにする. PA のオイラー極は AU のオイラー極から約 70 度離れた位置に存在する. AU は北島の ITRF 座標系に対する局所的なスピンの成分に対応し, PA は並進成分を表すと考えられる. このことから, $K=2$ の分割の正体は, ニュージーランド島の GNSS 速度場を局所的な回転と並進成分への分解と解釈する.

$K=3$ では, $K=2$ のクラスタ境界の南に平行なクラスタ分布が得られた. さらに $K=5, 6$ では, 南島のアルパイン断層に平行な境界が複数得られた. 推定されたオイラーベクトルは AU と PA の間に直線的に分布した. これらのオイラーベクトルは AU と PA の和で表現することができ, これはプレート間の相互作用によって速度場が AU 寄りから PA 寄りへ変化していくことに対応する.

南島ではアルパイン断層を除くと, 活断層の地表トレスと明確に対応するクラスタ境界は得られなかった. 地殻変動の根源的な力源は地下深くのプレート相互作用であり, 地表付近の断層は 2 次的な力源であると考えられる.

北島では, $K=4$ のとき北島東部がクラスタとし

て推定され, その境界はタウポ火山帯に対応した. このクラスタを HG (黄色) とする. $K=7$ では $K=4$ で得られた HG クラスタが内陸側 (TH, ピンク) と沿岸域 (HG, 黄色) に分割された. AU, HG, TH のオイラー極は地図上で北島近傍に位置し, 回転軸がほぼ一致した回転運動で特徴づけられる. また, 3 者のオイラーベクトルもほぼ平行であるが(図 2b), AU と比較して HG と TH は原点からの距離が遠い. そのため AU に比べて早い回転成分を持つことが示された. TH・HG が AU に比べて早く回転するため, タウポ火山帯に対応したクラスタ境界では北西-南東方向に開口する運動になる. オイラーベクトルから予測される回転運動は観測データによく適合し, 観測と予測の残差ベクトルにも北島の右ずれ断層帯での運動を示す兆候は得られなかった.

ニュージーランド島の東の沖合に位置するチャタム諸島は太平洋プレート上にある. チャタム諸島の観測データは PA が予測する運動と異なることがわかった. 手法が大局的な最適を目指すため, 少ない点数のデータをクラスタとして抽出することが難しいことが示された.

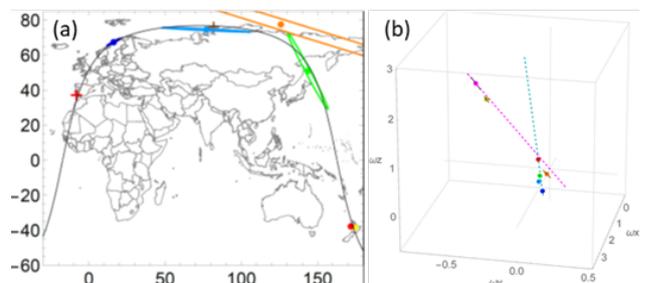


図2. $K=7$ の場合の地図上でのオイラー極の位置(a)とオイラーベクトル空間の可視化結果(b). b. 青い補助線はAUとPAを結び, 赤い補助線はHGと原点を結んだもの. 色は図1cのクラスタと共通.