

(続紙 1)

京都大学	博 士 (理 学)	氏 名	高橋 温志
論文題目	Hierarchical Cluster Analysis of Dense GNSS Data and Interpretation of Cluster Characteristics		
(論文内容の要旨) 世界各地において高密度Global Navigation Satellite System (以下、GNSS) 観測網により、高精度な地殻変動データが得られ、種々の方法によりその地球物理学的解釈がなされている。しかしながら、これらの多くは何らかの主観的な仮定の下でなされており、その妥当性が常に議論の的となる。本論文では、この問題を可能な限り低減し、客観的な解釈を与える手法を提案することを目的として、近年様々な分野で用いられ階層型クラスタリング手法を適用した。さらに、結果の安定性を評価するための方法も合わせて開発した。 具体的には、まずGNSS観測点の観測水平変位速度の東西および南北成分で張られる空間において、観測データ間の距離が最も近いペアをクラスターとして分類し、その平均に重みを付け、新たに一段階上の階層のデータとして定義する。この操作をクラスターが一つになるまで繰り返す。最終的に、階層毎にGNSS観測速度をクラスターに分類することができる。分類されたGNSS観測点を地図上にプロットし、プレート境界や活断層等の地学的情報と比較検討することができる。 GNSS観測変位速度がもつ誤差がクラスター分類に与える影響を評価する方法を提案した。擬似的な誤差を与えた模擬データを多数準備し、同じ手順でクラスター解析する。得られたクラスターの揺らぎを評価する「関係行列」と、その情報を縮約した情報エントロピーを定義した。 さらに、開発した階層型クラスター解析法と安定性評価手法を、3つの変動域(台湾、九州、ニュージーランド)に適用した。この結果、高い階層のクラスターは、地域において支配的なブロックの運動を示し、低い階層のクラスターは上位の階層のブロック内の変動に対応することを明らかにした。また、遷移的な変位場ではクラスターの安定性が低くなることを示した。 台湾においては、花東縦谷断層がプレート境界に対応する最重要の境界であるが、地質学的に認められる北部の断層の活動が不活発であること、屏東平原が南西に移動しているが複雑なブロック構造が認められること等を示した。また中央山脈西側においては、明瞭なクラスターの境界は得られず、遷移的な変位場であることが示され、その原因として地下深部のデコルマの運動を示唆した。九州においては、フィリピン海プレートの沈み込みによる変動が卓越する豊後水道沿岸地域と、南東方向への運動が支配的な南部、そして北西部の安定的ブロックに分けられることを示した。九州中部の活断層地域では、安定的なクラスターが得られないことも示した。ニュージーランドにおいては、南島を縦断するアルパイン断層と、太平洋プレートの斜め沈み込みによる北島の東部の右横ずれ運動に分類できることを示した。しかし、アルパイン断層の両側のクラスターの境界は、必ずしも断層の地表トレースに一致しておらず、断層の固着により遷移的な変位分布が生じている可能性を示した。			

(続紙 2)

(論文審査の結果の要旨)

高密度・高精度のGNSS観測網により、高品質の地殻変動の情報が得られ、その成因について数々の研究がなされている。有限要素法やブロック・断層モデルなどの手法がよく用いられるが、いずれも既存の活断層等の情報を取捨選択する必要があることから、常に客観性に疑問が呈されていた。申請者は、多変量データの解析手法の一つである階層型クラスター解析をGNSS速度データに適用し、速度場のクラスタリングを行った。また、観測データが持つ誤差を考慮して、得られるクラスターの安定性を評価する方法を提案した。クラスター解析をGNSSデータに適用する研究は、ここ2～3年に始まったもので新規性は必ずしも高くない。しかし、安定性評価手法は申請者のオリジナルであり、新たな解析ツールとして広く活用されることが期待できる。

申請者は、これらの手法を特徴ある地殻変動場である3つの地域（台湾・九州とニュージーランド）のGNSSデータに適用した。その結果、高い階層のクラスターは、プレート運動など地域において支配的なブロックの運動を示し、低い階層のクラスターは活断層など上位の階層のブロック内の変動に対応すること、遷移的な変位場ではクラスターの安定性が低くなることを示したことは、本解析手法が地殻変動場の解釈に客観的な新たな視点を与えることを示しており、極めて高く評価できる。

さらに、3地域の変動場の解釈として、これまでの地震や活断層等の研究成果に基づく解釈に変更をせまる結果も得られた。特に、台湾の花東縦谷断層の北部が、GNSS速度場では必ずしも活動的ではないこと、九州の中央部の変動場は明瞭なブロック構造をなしていないこと、ニュージーランドではアルパイン断層周辺の変位場が遷移的になっていることから、断層浅部において固着が生じていること等、地殻変動場の理解に重要な指摘を行った。これらの指摘は、事前の仮定が不要という特徴を持つクラスター解析手法を適用したことで得られた成果であり、現在よく用いられているブロック・断層モデルのオルタナティブとして、地球科学的に重要な提案を行ったと評価する。

さらに、申請者は提案した階層型クラスター解析のGNSSデータの適用の利点と限界を議論しており、今後のこの分野の発展に向けた指針も示した。

以上、申請者は階層型クラスター解析というGNSS速度場の客観的理解を得るための手法を、その独自の安定性評価手法とともに提案し、3地域のケーススタディの結果、地球科学的に重要な情報を抽出するために有効な手法であることを示した。

よって、本論文は博士（理学）の学位論文として価値あるものと認める。また、令和元年7月29日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。

要旨公表可能日： 年 月 日以降