

氏 名	佐 藤 一 敏
学位(専攻分野)	博 士 (理 学)
学 位 記 番 号	理 博 第 2882 号
学位授与の日付	平 成 17 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当
研究科・専攻	理 学 研 究 科 地 球 惑 星 科 学 専 攻
学位論文題目	Development of a monitoring technique of anomalous crustal deformations with temporally high resolution by the application of kinematic GPS (キネマティック GPS 測位による時間的に高分解能な異常地殻変動検出手法の開発)
論文調査委員	(主 査) 教 授 橋 本 学 教 授 竹 本 修 三 教 授 川 崎 一 朗

論 文 内 容 の 要 旨

過去の大地震において、地震前日から数時間のうちに異常地殻変動が観測されたという報告例がある。また、いくつかの地震では、本震直後の短い時間内に複数の余震が発生しているが、それらの変動と本震時の変動が区別できていない。このような時定数の短い変動を捉え、断層の破壊過程を理解し、ひいては地震発生を予測することは地震学の大きな目標の一つである。しかし、過去の観測例は観測頻度が低い水準測量や空間的な観測密度が低い地殻変動連続観測により得られたものである。また、近年日本列島全域を覆う GPS 連続観測網により、空間的な密度の高い地殻変動観測が、行われるようになったが、高精度の座標を得るために静的測位法を用いているため、1日に1つの測位解しか得られず、前述のような1日より短い時定数を持つ変動を、時間的な高分解能を持って観測することは出来ない。本論文は、移動体の位置決定に用いられるキネマティック測位法を GPS 連続観測に適用することにより、時間的に高分解能な地殻変動観測手法を開発することを目指したものである。

本論文は、ゆっくりした変動を捕らえる手法の開発を目的とした2つの実験観測の成果と、その結果得られた解析手法のステップ的な変動の事例である連続した本震・余震時変動を含むデータへの適用結果から構成されている。導入部の第1章に続き、第2章において申請者はキネマティック GPS 観測の精度検定実験結果を報告している。この実験では、約10km離れた2つの固定観測点で連続観測を行い、キネマティック測位解の静的測位解からのずれの時系列を調べた。その際、(1)GPS 衛星の捕捉数、(2)受信機の刻時精度、(3)衛星軌道情報の精度、(4)搬送波の電離層遅延の補正の方法の4つについて条件を変えて解析した。その結果、これまではマルチパスなどの影響により避けられてきた低仰角の衛星を利用することにより GPS 衛星の捕捉数を増加させること、外部周波数標準の導入により、キネマティック測位解 2cm 程度の精度で測位できることを示した。また、IGS により1～2日以内に提供される高速暦と同等の精度を有する衛星軌道情報が不可欠であることを示した。さらに、L1 波と L2 波位相の線形結合である LC を用いることにより電離層遅延を十分除去できることを示した。

第3章において、申請者はゆっくりした変動を再現する可動式アンテナ台を作成し、キネマティック測位によりゆっくりと移動するアンテナをどの程度追跡可能であるか調べた。この可動式アンテナ台は毎分 0.1mm という低速で移動する。この位置を異なる距離・方位にある基準点から追跡し、アンテナ台に取り付けた変位計により得られる位置と比較した。第2章で得られた精度向上のための条件を適用するとともに、近接した位置で静的測位を行い、その結果得られる対流圏遅延量をキネマティック解析に入力し、測位精度への影響を調べた。その結果、2cm 程度の精度でアンテナの位置を決定できたが、想定する変動に対しては十分な精度といえない。そこで、得られた座標の時系列に対して60分のウィンドウを持つ移動平均を適用した結果、1cm 程度の精度でアンテナを追跡できることを示した。

第4章においては、キネマティック解析と移動平均を実際の国土地理院 GPS 連続観測データに適用し、その有効性を確

かめた。2003年十勝沖地震と2004年新潟県中越地震では、1日以内に複数の余震が発生しており、これらによる変位を分離するため、前章で開発したキネマティック測位と移動平均を適用した。その結果、十勝沖地震では本震の約1時間後に発生した最大余震、中越地震では本震後の2時間以内に発生した4つの大きな余震による変動を検出することに成功した。

論文審査の結果の要旨

近年、日本列島全域をカバーするGPS連続観測網が運営されており、これにより広域の地殻変動の連日の推移を捉えることが可能となった。しかし、現在採用されている測位法は、静的測位と呼ばれる1日程度の長時間の平均値であり、過去に観測された地震の前駆的な変動や短時間で連続して発生する余震による変動など、数時間の時定数を持つ変動を捉えるには適さない。申請者は、移動体の測位に使われているキネマティック測位法をGPS連続観測に適用することにより、時間的に高い分解能を持ち、かつ広域をカバーする地殻変動観測手法を開発することを提案している。

申請者は、2種類の実験を行い、キネマティック測位手法の改善手法を提案している。まず、固定観測点での実験観測により、(1)低仰角衛星をも捕捉し観測衛星数を増加させること、(2)外部周波数標準を導入し受信機の刻時精度を向上させること、(3)IGS高速暦相当の衛星軌道情報を確保すること、(4)LC波の採用により電離層遅延の補正を行うことにより、キネマティック測位解の精度が向上することを確かめた。これまで、低仰角衛星はマルチパスの影響等を受け、高精度測位に適さないとされてきたが、十分利用価値があることを示すものである。また、IGS高速暦と同等な精度を有する衛星軌道情報により、十分な精度の測位解を得られることは、将来の高精度リアルタイム測位の可能性を示すもので、今後の観測手法開発の方向性を示す重要な知見である。

申請者は、第2の実験観測として、可動式アンテナ台上にアンテナを設置し、仮想スローイベントを観測することを試みた。近接する連続観測点のデータより推定された対流圏遅延量なども使用することにより、2cm程度の精度でアンテナの動きを追跡できた。さらに、このデータに60分のウィンドウの移動平均を適用することにより、1cm程度の精度を確保した。これは、キネマティック測位で得られる現時点で最も高精度の観測結果であり、この手法の地殻変動連続観測への適用可能性を示すものである。

申請者は、このキネマティック測位と移動平均を、2003年十勝沖地震と2004年新潟県中越地震時のデータに適用し、連続する余震による地震時地殻変動の抽出に成功し、その妥当性を確認した。これまで、GPS観測から得られる地震時地殻変動は、本震・余震および余効変動の総和であるため、余震の断層運動について測地学の観点から情報を提供することが出来なかった。しかし、今回申請者が開発した手法を適用することにより、大きな余震の断層運動を推定することが可能となった。これにより余震も含め詳細な震源過程の理解が進むことが期待され、地震学的にも重要な成果といえる。

よって、本論文は博士（理学）の学位論文として価値があるものと認める。論文の内容及び地球物理学の学識に関する試問を行った結果、合格と認めた。