

氏 名 ^{バンバン} BAMBANG ^{セティアジ} SETYADJI
 学位(専攻分野) 博 士 (理 学)
 学 位 記 番 号 理 博 第 2054 号
 学位授与の日付 平成 11 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 Application of Wavelet Shrinkage and Wavelet Maxima for Denoising and Slip Detection of GPS Data
 (Wavelet shrinkage及び wavelet maximaのGPSデータ雑音除去及びスリップ検出への応用)
 (主査)
 論文調査委員 教授 田 中 寅 夫 教授 竹 本 修 三 助教授 福 田 洋 一

論 文 内 容 の 要 旨

GPS (Global Positioning System : 全世界測位システム) は、地球表面上での高精度な位置決定のみではなく、プレート運動、地殻変動の検出・測定などを通して測地学、地震学、火山学などで広汎に利用されている。その位置決定方法もリアルタイム絶対測位から、搬送波の位相を比較する高精度の相対測位まで多岐にわたっている。GPSの測位観測データにはGPS衛星、受信機およびマイクロ波の伝播に起因する誤差が含まれており、これがGPSの測位精度の限界を与える。このため、これらの誤差の原因を明らかにして補正することが高精度を得るためには不可欠であり、これによってGPSを利用した地球物理学的な研究を一段と発展させることが可能になる。

申請者は、インドネシアのジャワ島西部にある活火山のひとつグントール火山の山体変形を検出するため同火山周辺に設置されたGPS観測網においてGPS観測を行い、そのデータに見られる雑音の原因の調査およびその除去にwavelet解析法を適用して、その有効性を詳しく調べている。

本論文においては受信される搬送波を観測量として、(1) 1 地点で 1 衛星を観測する場合、(2) 1 地点で 2 衛星を観測する場合、(3) 2 地点において 1 衛星を観測する場合 (単独位相差)、および(4) 2 地点で 2 衛星を同時に観測する場合 (2 重位相差)、を取り上げている。まず、受信されたデータはBernese V4.0解析ソフトウェアを使ってRINEXからBernese binary formatに変換し、精密暦を使って衛星の時計補正をおこなって 2 観測点で得られたデータの同時性を確保する。次に、観測された位相データの 2 次階差をとることによって、衛星の軌道決定誤差に由来する長周期の揺らぎを除いてゼロを中心とする短周期変動のみをとりだし、このデータにwavelet shrinkageおよびwavelet maximaの 2 種類の変換アルゴリズムを適用してデータ中の雑音除去およびジャンプの検出を試みている。ここでwavelet filterの形とスケールに関してとくに詳しくその有効性が調べられている。

最初の 1 地点観測の場合については、DANOおよびPUNCAK観測点における各衛星からの観測データおよびSV06衛星を基準とした衛星間位相差を求め、これにwavelet shrinkageを適用して、雑音除去の効果を調べている。3 重差をとった位相についてwavelet filter適用前と後の標準偏差をくらべるとcmの桁からmmの桁へ 1 桁近い減少がみられwaveletの適用が極めて有効であると結論している。また、GPSデータの解析にもしばしば利用されるKalman filterとの比較も行い、wavelet解析を利用することの優位性を検証している。

次に、DANOおよびPUNCAKの 2 地点の位相差をとった結果にwavelet maxima変換を行って観測値に含まれるスパイク状の変化およびジャンプの検出を試み、実際の観測データの上で衛星および受信機の時計誤差を検出してその有効性を実証した。

これらの解析結果から、申請者はwavelet解析の方法を利用することによって、とくに短時間で行われるGPS相対測位の

高精度化が可能となることを示した。

論文審査の結果の要旨

GPSの観測データに含まれる系統誤差，バイアス，ランダム誤差の原因を明らかにして，それを除去する方法については多くの調査研究がなされ，そのための技術が確立されてGPSの測位精度は飛躍的に向上した。その結果GPS観測は今やcmを切る精度の測位を可能にするところとなり，地球ダイナミクスなどの分野への利用が進められ，その発展に大きく貢献してきている。最も高精度な測位はスタティックな相対測位によって達成することができ，2重位相差法などによって衛星および受信機の時計に起因する誤差を相殺し，大気中でのマイクロ波伝播に起因する誤差は可能な限り長時間の観測を行うことによって，その揺らぎをほとんど取り除くことが可能である。しかしながら，地震波や大地震後の余効変動，地すべりなどのような早い変動を観測対象とする場合とか，観測条件上の制限のため長時間の観測が不可能な場合，あるいは短時間で広範囲の高精度測位を行う目的のキネマティックGPS観測，他の観測と組み合わせた高精度測位など，短時間におけるGPS高精度測位を実現させることは多くの分野で大いに役立つ可能性がある。このためには，GPSの観測誤差，雑音の原因を明らかにしてこれを除去することが不可欠であるが，なかでも大気中のマイクロ波伝播に起因する誤差およびマルチパスに起因する誤差はとくに取扱の困難な誤差である。これらの誤差除去にwavelet解析が有効であるとの指摘はなされてきていたが，実際のデータを用いた解析はこれまで行われなかった。

今日まで，GPS観測データ中の系統的な誤差は観測量の適当な組み合わせをとること，あるいは適当な数学的なモデルを構築することによって除去することが行われてきており，ランダムな変動については最小自乗近似を行うなどの方法がとられてきているが，申請者は，自身が取得した観測データを用い詳しいwavelet解析を行って，GPSの観測位相に含まれる誤差の処理と除去にこれが有効であることをはじめて明らかにした。wavelet shrinkageを適用すれば，GPSで観測される位相変化のスペクトルレベルを限定して雑音除去が可能であることを示した。wavelet maximaを適用した結果については，位相のジャンプあるいは急激なスパイク状の変化が極めて有効に見い出せることを示し，実際のデータで衛星あるいは受信機の時計誤差の発生箇所を指摘している。

申請論文では，実際のGPS観測データを用いた測位結果の精度改善結果までは示されていないが，適当なタイプとスケールのwaveletを選んでGPSデータの解析を行うことによって測位の高精度化が達成できることを示したことに，本申請論文の価値があり，今後のGPSデータ解析，とくに変動速度の早い現象の観測，短時間でのGPS観測への大きな貢献が期待できる。

このような観点から，本申請論文は博士（理学）の学位論文として価値あるものと認める。

なお，平成11年2月5日，主論文および参考論文に示されている研究業績のほか，関連する分野について試問を行った結果，合格と認めた。