

令和 3 年 6 月 14 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2020

課題番号：18K03774

研究課題名（和文）GNSS低仰角衛星の利用による上下成分観測の飛躍的向上

研究課題名（英文）Excellent improvement in vertical component observation by using low elevation GNSS satellites

研究代表者

島田 誠一（Shimada, Seiichi）

東京大学・大学院新領域創成科学研究科・特任研究員

研究者番号：90360370

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：従来GNSS観測による上下成分解析では精度を10mmより向上させることは困難であった。このため、GEONET点の観測データの解析により、各観測点の位相残差をスタッキングして位相残差マップを作成し、各観測点のアンテナ毎の位相特性モデルを作成した。この位相特性モデルを用いて、関東地方及び新潟地方のこの期間の観測データの再解析を行い、上下成分座標値の座標値再現性と解析精度を評価した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

宇宙測地観測において、世界中どこでも容易に高精度測位が行えるGNSS観測は、ITRF realizationという現代測地学の中核を背負っており、上下成分の観測精度向上は、世界的なheight datumの確立に寄与して、時間変動する地球の形を高精度に明らかにする測地学の根幹に寄与する。測量技術においては、系統誤差が大きく精度の限界も明かな水準測量に代わるGNSS測量を用いた高さ測定技術を開発することが最大の課題となっている。経験的位相特性と、それによって明らかになる低仰角衛星利用による精度向上の概要を明らかにすることは、GNSS水準測定技術の開発に貢献し喫緊の測量技術開発に寄与する。

研究成果の概要（英文）：Recently it was difficult to improve the accuracy of the vertical component lower than 10 mm by analyzing GNSS observation. Therefore, by analyzing the observation data of GEONET sites, the phase residuals of each site were stacked to create a phase residual map, and the empirical PCV model for each site/antenna was created. Using this empirical PCV model, we reanalyzed the observation data of the Kanto and Niigata GEONET network sites during the same period, and evaluated the vertical coordinate repeatability and analysis accuracy of the vertical component coordinates.

研究分野：宇宙測地学

キーワード：上下成分観測 GNSS 経験的位相特性モデル 観測精度向上 GEONET

## 1. 研究開始当初の背景

GNSS 精密測位において、水平成分の座標値解の精度はすでに 2-3mm 程度まで向上しており、近い将来に 1mm 未満の観測精度を実現するための環境が整いつつあった。一方で、上下成分については、地面の下の衛星を観測できないために、原理的に水平成分より 3 倍悪い精度までしか到達できない。また、大気中に時空間的に不均一に分布する水蒸気による大気遅延が正確に補正できないために、大気伝搬遅延誤差が大きな誤差要因となって、解析精度を 10mm より向上させることが困難であった。

しかし研究代表者は、直近 30 日間の日値座標値解から Kalman フィルタを用いて精密に座標値を推定する 30days-window Kalman filtering 手法を考案し、その座標値を初期値として用いることで、大気による天頂遅延量の推定値と上下成分座標値推定値とのあいだにあった trade-off をきわめて小さくする解析手法を開発した。30days-window Kalman filtering は、最近ではドイツ及び米国の研究者も、日値上下成分座標値として採用しており、世界的に広く受け入れられて手法になっていた。さらに 2016 年に発表された新しい基準座標系の ITRF2014 座標系によって、IGS (International GNSS Service, 国際 GNSS サービス) のグローバル観測点などの座標基準点及び精密衛星軌道暦の精度が向上し、上下成分の解析精度を mm のオーダーまで向上させることができていた。

## 2. 研究の目的

GNSS 固定観測点における精密測位において、毎日の解析結果の位相残差を用いて各観測点の位相残差をスタッキングして、観測点及びアンテナ機番毎に異なる経験的位相残差を算出する。この経験的位相特性は、従来の位相特性より飛躍的に精度を向上させることができ、アンテナ周辺の障害物や大気境界層に起因するマルチパスなどに精密に対応することが可能になる。この経験的位相特性を用いて、仰角 0° 近くの低仰角の GNSS 衛星まで含めた GNSS 精密測位解析を行い、特に上下成分の座標値解の精度を 1mm 近くまで飛躍的に向上させる。

## 3. 研究の方法

国土地理院が国内に約 1300 点導入している GEONET 観測網における観測当初から直近までの毎日の観測データを解析し位相残差を計算して、各観測点のアンテナ毎に異なる経験的位相特性を求める。このようにして決定した経験的位相特性を用いて、低仰角の衛星まで含めた解析を行い用いることのできる仰角・方位角の下限を各点ごとに求め、上下成分座標値解の解析精度を評価する。

## 4. 研究成果

関東地方 160 点及び新潟地方 51 点の GEONET 点の 2012 年～2020 年までの観測データの解析により位相残差を計算して各観測点の位相残差をスタッキングして、各観測点のアンテナ毎の位相残差マップを作成した。特に、GNSS 衛星システムとして、従来用いられてきた GPS 衛星システムだけではなく、ヨーロッパの Galileo 衛星やロシアの GLONASS、中国の Beidou 衛星を利用する解析手法が近年開発されつつある。これらの衛星システムの衛星電波を解析できるようになれば、GPS 衛星のみを用いる場合よりも多くの上空の衛星軌跡が利用できるようになるため、より精度の高い位相残差マップを作成できると考えられる。このため、Galileo 衛星を用いた解析結果の評価を行った。

下図に、2019 年の最初の 42 日間の GEONET 全点について、Galileo 及び GPS を用いて解析したときの、各点の水平及び上下の 3 成分の座標値再現性の分布をヒストグラムで示す。Galileo 衛星の方がやや解析精度が劣るものの、GPS 衛星と比較してもかなり良好な座標値再現性を示して

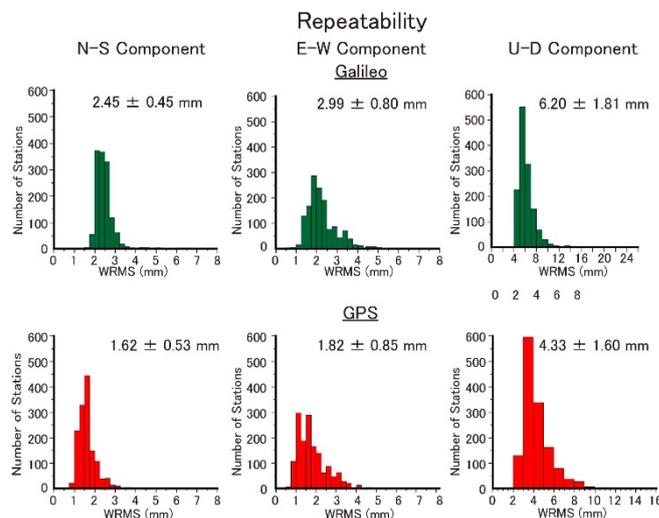


図 Galileo 衛星及び GPS 衛星を用いた場合の GEONET 全点の 3 成分座標値再現性の分布

いて、Galileo 衛星の位相残差を GPS 衛星の位相値残差に加えて位相残差マップを作成しても、ほとんど問題がないことを示している

このようにして、関東地方及び新潟地方の GEONET 点の解析により、観測点・アンテナ毎に異なる経験的位相残差モデルを作成した。この位相特性モデルを用いて、関東地方及び新潟地方のこの期間の観測データの再解析を行い、上下成分座標値の座標値再現性と解析精度を計算し、解析に用いることのできる仰角の下限を決定した。また、従来の位相特性モデルによる座標値再現性・解析精度と比較して、上下成分解析精度の向上に関する効果を検討した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計12件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 島田誠一・伊藤有加
2. 発表標題 消雪用地下水利用による新潟地方の上下変動の特徴と第四紀の古環境
3. 学会等名 日本測地学会第132回講演会プログラム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 S.Shimada, M.Aichi, T.Harada, and T.Tokunaga
2. 発表標題 Time variations of the vertical component in Japanese GEONET GNSS sites
3. 学会等名 IUGG2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Y.Ito, T.Tokunaga, S.Shimada, and M.Aichi
2. 発表標題 Analysis of Late Quaternary deposits for evaluation of land subsidence in an actively subsiding basin, the Echigo Plain, Japan
3. 学会等名 INQUA2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 島田誠一・愛知正温
2. 発表標題 地下水利用に起因するGEONET観測点上下成分の年周・長期変動
3. 学会等名 2019年地球惑星連合学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 島田誠一
2. 発表標題 新潟地方GEONET点の上下変動
3. 学会等名 日本測地学会第130 回講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 里村幹夫・請井和之・島田誠一・伊藤広和・末野幹雄
2. 発表標題 地盤情報システム(JISLaD)とそのダイナミックマップへの適用
3. 学会等名 日本測地学会第130 回講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 請井和之・里村幹夫・島田誠一・伊藤広和・末野幹雄
2. 発表標題 JISLaD に用いるGEONET 全点自動解析システムの 検証
3. 学会等名 日本測地学会第130 回講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 中尾茂・伊藤広和・請井和之・島田誠一・末野幹雄・里村幹夫
2. 発表標題 Bernese とGAMIT によるGEONET 観測点の座標値 の比較
3. 学会等名 日本測地学会第130 回講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 原田拓哉・徳永朋祥・島田誠一
2. 発表標題 GEONETデータを用いた房総半島における地盤変動要因の評価
3. 学会等名 石油技術協会2018年春季講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 島田誠一・原田拓哉・徳永朋祥
2. 発表標題 房総半島九十九里周辺のGEONET観測点の上下変動
3. 学会等名 2018年地球惑星連合学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 島田誠一
2. 発表標題 GEONET観測網で観測したGalileo衛星データの解析
3. 学会等名 日本測地学会第134回講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 島田誠一・伊藤有加・愛知正温・関剛夢・徳永朋祥
2. 発表標題 新潟地方GEONET観測点の上下変動(2)
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2021年大会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------