

平成 26 年 5 月 17 日現在

機関番号：32665

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23560632

研究課題名(和文) 地理空間データを活用した高精度衛星測位の精度向上手法に関する研究

研究課題名(英文) Study on the Method of Accuracy Improvement for High Precision Satellite-based Positioning System using Geospatial Data

研究代表者

佐田 達典(SADA, Tatsunori)

日本大学・理工学部・教授

研究者番号：40459855

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円、(間接経費) 1,140,000円

研究成果の概要(和文)：測位衛星は現行のGPS、GLONASSに加えQZSS、Galileoなどの衛星配備が予定され、衛星数が過剰になりつつある。高精度衛星測位ではマルチパスや伝搬遅延に起因する誤差の大きい衛星電波を受信した場合に精度劣化が予想される。そこで、観測点と周辺地物の3次元位置・形状データ及び各衛星の位置との関係から、各衛星毎のマルチパスの有無と伝搬遅延誤差を推定し、観測点での各衛星電波の誤差を予測する手法を理論的・実証的に検討した。そして、マルチパスによる誤差の大きい衛星電波を除外するとともに、衛星の幾何的な組合せの良否も考慮して測位に最適な組合せの衛星電波を選択する手法を構築した。

研究成果の概要(英文)：The number of satellites has been increased and has become excessive for positioning by insatillation of satellites such as GPS, GLONASS, QZSS and Galileo. It is assumed that the positioning accuracy will decline when the receiver receives the satellite radio wave containing the large amount of error due to the multipath and delay of propagation. In order to predict the range error of each satellite signal on the observation point, the detection method of multipath has been investigated theoretically and empirically using the relationship of location of observation point, surrounding obstacles and each satellite. As a result, the method to select the satellite for positioning calculation has been developed by excluding the satellite wave containing multipath and by considering the geometrical combination of satellites.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学 土木計画学・交通工学

キーワード：衛星測位 GPS GLONASS マルチパス 伝搬遅延 点群データ

1. 研究開始当初の背景

衛星測位システムは米国の GPS (Global Positioning System)、ロシアの GLONASS (Global Navigation Satellite System) が運用中であり、今後日本の準天頂衛星システム QZSS (Quasi Zenith Satellite System)、欧州の Galileo などの運用が予定されている。既に GPS、GLONASS、Galileo の電波を同時に受信できる受信機が開発されている。近い将来、これらの衛星が全て稼働した場合、衛星数は 80 機以上となり測位にとって衛星数が過多となる状況が予想される。

しかし、センチメートル精度で測位可能な RTK (Real-time Kinematic) 測位では、マルチパスや電波伝搬遅延に起因する誤差の大きい衛星電波を受信した場合に大幅な精度劣化が生じる。衛星過多の状態では測位の利用可能性そのものは向上するものの、誤差の大きい衛星電波も増加し精度劣化が頻発する懸念がある。したがって、誤差の大きい衛星電波を除外する技術が必要となる。衛星電波が建物や地面に反射して受信機に到達するマルチパスを除去する技術は各種提案されているが完全な除去は困難である。また、電離層や対流圏での電波伝搬遅延を予測する技術も提案されているが十分ではない。現状ではマルチパスや電波伝搬遅延の大きい衛星からの電波を的確にかつリアルタイムに除外して測位計算を行うことは困難である。

一方、航空レーザー測量の進展に伴い地上の地物の表面を上空から計測し大量の点群データとして収集・蓄積することが可能となった。また、車両で走行しながら道路面や道路周辺地物表面形状を計測するモバイルマッピング技術も実用化され、上空からでは計測できない建物側面の計測が可能となった。これらの技術により、わが国の都市部の道路や建物などの地物の位置・形状を 3 次元的に表現する地理空間データが急速に整備されてきた。そこで、衛星電波の受信可否、衛星電波の誤差、マルチパスの有無を、観測点と周辺地物の 3 次元位置・形状及び衛星位置との関係から推定できる可能性があることから、本研究テーマを着想するに至った。

2. 研究の目的

(1) マルチパスの有無を推定する手法を提案し検証する。

観測点と周辺地物の 3 次元位置・形状データ及び各測位衛星の位置との関係から、衛星毎のマルチパスの有無を推定できるかを理論的かつ実証的に明らかにする。

(2) 衛星電波の誤差検出手法の構築

観測点の標高（または楕円体高）を与えた場合、衛星電波の誤差を推定できるかを理論的かつ実証的に明らかにする。道路面・地表面の 3 次元位置・形状データから観測点の標高（または楕円体高）を与えることを想定す

る。

(3) 測位に最適な組合せの衛星電波を選択する手法を構築する。

マルチパスの有る衛星電波、誤差の大きい衛星電波を除去することと、衛星の幾何的な組合せの良否の双方を考慮して、測位精度が最高となる組合せの衛星電波を選択する方法を理論的かつ実証的に明らかにする。

3. 研究の方法

(1) マルチパス検知手法の構築

① 既存のマルチパス検知手法の調査

マルチパス検知については、受信機内部の相関処理を用いた手法、観測値に含まれる衛星電波の信号強度を用いた手法、衛星と電波遮蔽物の位置関係を用いた手法等が提案されている。各々のマルチパス検知手法について調査し、検知可能なマルチパスについて整理する。

② 搬送波位相データを用いたマルチパス検知手法の検討

受信機から得られる観測値のひとつである搬送波位相は、ドップラー効果の測定値であり、電離層遅延やマルチパスによる誤差は衛星電波の周波数によって異なる。そこで、静止状態での観測値の取得を周囲の遮蔽環境が異なる複数観測点で実施し、搬送波位相データに対する電離層遅延とマルチパスによる影響について周波数別に検証する。取得する搬送波位相データは、GPS と GLONASS の 2 周波とする。

また、マルチパスについては、建物や地面によって反射した電波を受信する反射波と建物の回折によって受信する回折波の 2 種類がある。各観測点でレーザー測量による周辺地物の 3 次元点群データを取得し（図 1）、衛星位置との関係から反射波と回折波に分けて分析を行う。

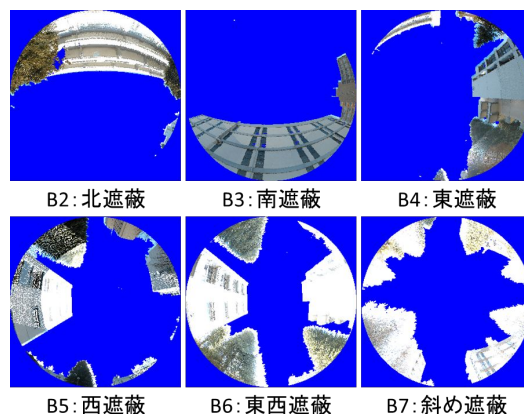


図 1 3 次元点群データによる地物表現

(2) 衛星選択手法の構築

(1) の検討により構築するマルチパス検知手法により、誤差を含む衛星電波の検知を行い、観測された全ての衛星電波を使用した場

合と、検知結果を基にマルチパスの影響を受けない衛星電波のみを使用した場合で基線解析を実施し、衛星選択による効果について検証を行う。衛星選択による測位結果の改善効果の評価については、解析により得られた厳密解（Fix 解）の取得率と基準点座標からの観測値の分布範囲とする。

また、検証結果を基に、測位に最適な衛星電波の組合せを明らかにし、Fix 解が継続して取得可能となる衛星条件を明らかにする。

4. 研究成果

(1) マルチパス検知手法の構築と実際の観測値による検証

各々の衛星から送信される搬送波位相の 2 周波の変化量から、マルチパス検知に必要な指標（DPC：Difference of Phase Change）の算出式を提案し、実際の観測値を用いてその有効性を検証した。受信機の設置は、周囲に地物を含まない観測点と含まれる観測点の 2 点とする。双方で得られた観測値から DPC を算出し（図 2）、マルチパス検知指標（DDPC：Double DPC）の算出を行った。マルチパスの影響を受けない場合、算出した DDPC の値はほぼ 0 を示す。

まず、DPC がマルチパス検知に有効な指標

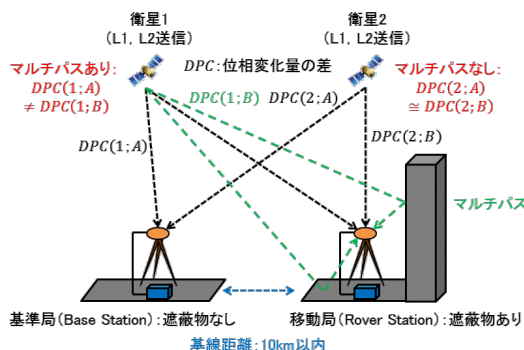


図2 DPCによるマルチパス検知の概要

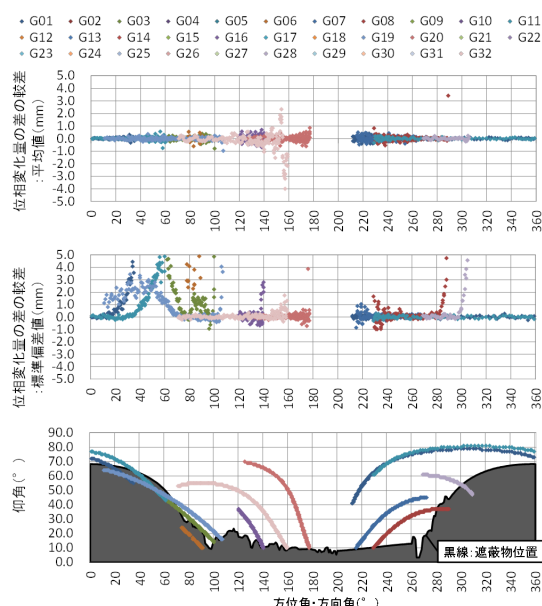


図3 GPS衛星のマルチパス検知結果の例

となるか検証を行った。その結果、一方の観測点で不可視衛星となり回折波の影響を受ける衛星電波については、GPS、GLONASSともに、マルチパスの影響を受けない天頂付近に飛来する衛星と比較し、DPCによる指標値が異なる結果を示すことを確認した（図3）。また、地物と正対する位置に衛星が飛来し、反射波の影響を受ける衛星電波についても、指標値が異なる結果を示すことを確認し、構築したマルチパス検知手法が有効であることを確認した。

なお、DDPCによるマルチパス検知手法については、時系列にマルチパス検知が可能であるという結果が得られている（図4）。既存の信号強度を用いたマルチパス検知手法と同様にリアルタイム解析への適用が可能であることを示している。

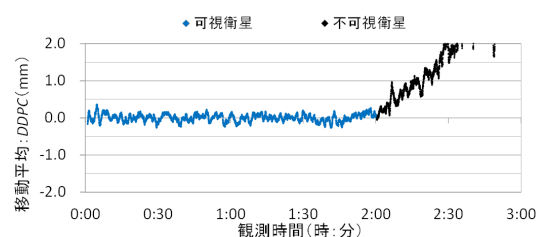


図4 時系列によるマルチパス検証結果の例

(2) 衛星選択手法の構築と検証

構築したマルチパス検知手法を用いて、マルチパスを含むと判断された衛星電波を解析時に除外するという衛星の選択手法を構築した。そして、本衛星選択手法によって得られた解析結果と全観測衛星を使用して得られた解析結果と比較して検証を行った。

① Fix 解の取得率による検証

検証の結果、マルチパス検知指標を基に利用衛星を選択することで、観測点周囲の遮蔽環境に関わらず、Fix 解の取得率が向上することを確認した（図5）。なお、全観測衛星使用時では、観測衛星数が増加する GLONASS 併用時のほうが、Fix 解の取得率が低下する傾向が確認されており、複数の衛星測位システムを併用する場合、的確にマルチパスの影響を受ける衛星電波を除去することで、衛星数増加の効果を効率良く得られることが明らかとなった。

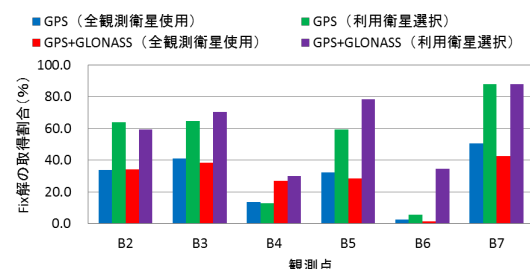


図5 衛星条件別の Fix 解の取得率の例

② 取得した Fix 解の分布による精度検証

各々の衛星条件別に得られた Fix 解について

て、受信機を設置した観測点座標からの乖離を求めて精度検証を行った。観測点座標については、予め実施したスタティック観測で得られた値を使用した。

全観測衛星使用時と利用衛星選択時について、Fix 解の分布を確認した結果、マルチパスの影響を受ける衛星を使用しないことで、全観測衛星使用時に Fix 解が得られない時間帯でも取得できることがわかった。観測点座標からの分布についても、南北、東西方向で 20mm 以内となる傾向を確認し、衛星選択により解析に使用する衛星数が減少しても十分な精度を有することを確認した(図 6)。

なお、従来手法である信号強度を用いたマルチパス検知手法と比較した場合、DDPC による手法を使用することで、衛星選択後に解析に必要な衛星数が得られる場合、Fix 解を継続して取得可能となることが確認されている(図 7)。

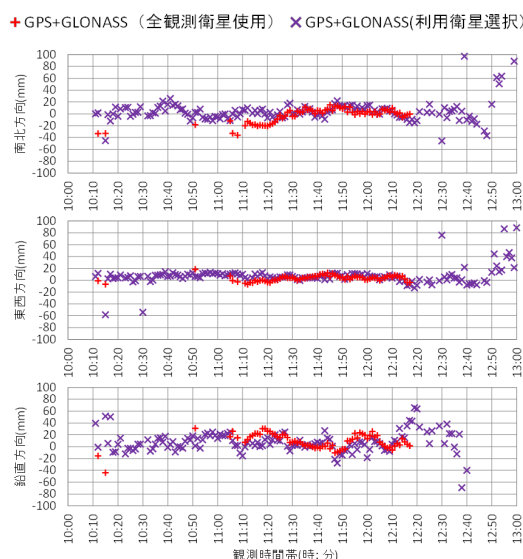


図 6 衛星条件別の Fix 解取得結果の例

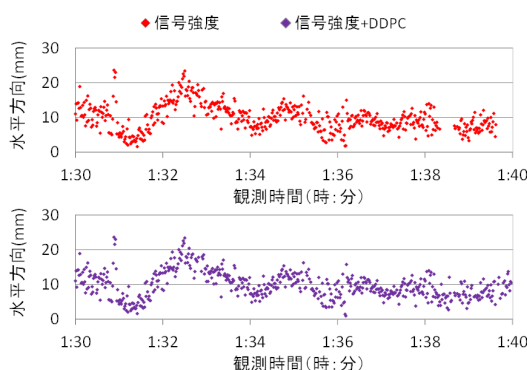


図 7 マルチパス検知手法別の Fix 解取得結果の例

(3)研究成果の意義と今後の課題

本研究ではマルチパスの影響を受ける衛星電波の検知手法と、その手法を基にした衛星選択手法を構築し検証を行った。

本手法を用いることで、受信された衛星電波にマルチパスの影響が含まれているか検知が可能となり、マルチパス検知がより高度

なものとなれば、解析に使用する衛星の選択により、地物付近でも衛星測位を用いた作業が実施できる。本研究の検証結果より、マルチパスの影響を受けやすい地物付近の環境において、顕著に Fix 解の取得率が改善できることから、測量等の高精度を必要とする作業において、衛星測位の利用促進に大きく寄与するものと考えられる。

今後は、QZSS や Galileo 等の新たな衛星系の併用を想定したマルチパス検知手法の構築に加え、RTK 測位によるリアルタイム解析に対応した衛星選択手法を構築する予定である。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 2 件)

①池田隆博、佐田達典、静止時の高精度測位における GPS と GLONASS を用いた衛星選択効果に関する研究、土木学会論文集 F3 (土木情報学)、査読有、Vol.69、No.2、2014、pp. I_98-I_109

②池田隆博、佐田達典、GPS と GLONASS における高精度測位の利用衛星選択効果に関する研究、土木学会論文集 F3 (土木情報学)、査読有、Vol.68、No.2、2013、pp. I_101-I_116

〔学会発表〕(計 8 件)

①池田隆博、佐田達典、高精度測位のための衛星電波選択モデルに関する研究、日本写真測量学会平成 25 年度秋季学術講演会、2013 年 11 月 7 日、福井国際交流会館

②池田隆博、佐田達典、静止時における GPS と GLONASS を用いた高精度測位の衛星選択効果に関する研究、土木学会第 38 回土木情報学シンポジウム、2013 年 9 月 17 日、土木学会

③池田隆博、佐田達典、石坂哲宏、移動時の干渉測位における利用衛星選択効果に関する研究、土木学会第 67 回年次学術講演会、2013 年 9 月 5 日、日本大学生産工学部

④ Takahiro Ikeda, Tatsunori Sada, Tetsuhiro Ishizaka, Effect of Satellite Selection of GPS and GLONASS by High Accuracy Positioning with Roving Antenna, IGSS2013, 2013.7.18, Outrigger Hotel, Surfers Paradise, Queensland, Australia

⑤池田隆博、佐田達典、石坂哲宏、移動時の干渉測位における GPS と GLONASS の利用衛星選択効果、測位航法学全国大会研究発表会、2013 年 4 月 19 日、東京海洋大学

⑥池田隆博、佐田達典、GPS と GLONASS の利用衛星選択による干渉測位の高精度化、測位航法学会 GPS/GNSS シンポジウム 2012 研究発表会、2012 年 10 月 26 日、東京海洋大学

⑦池田隆博、佐田達典、GPS と GLONASS における高精度測位の利用衛星選択効果に関する

る研究、土木学会第 37 回土木情報学シンポジウム、2012 年 9 月 26 日、土木学会

⑧池田隆博、佐田達典、搬送波位相の距離変化を用いた高精度測位における利用衛星の選択に関する研究、土木学会第 67 回年次学術講演会、2012 年 9 月 7 日、名古屋大学

6. 研究組織

(1)研究代表者

佐田 達典 (SADA, Tatsunori)

日本大学・理工学部・教授

研究者番号：4 0 4 5 9 8 5 5

(4)研究協力者

池田 隆博 (IKEDA, Takahiro)

日本大学・大学院理工学研究科・博士後期課程