

I-15 移動体における RTK 測位の測位解予測手法に関する研究

Study on the Simulation Method for Positioning Solution of RTK in Roving Mode

福森秀晃¹・佐田達典²・清水哲也³・村山盛行⁴・石坂哲宏⁵

Hideaki FUKUMORI, Tatsunori SADA, Tetsuya SHIMIZU, Shigeyuki MURAYAMA, and Tetsuhiro ISHIZAKA

抄録: 現在、測位衛星は GPS と GLONASS が運用されているが、今後は Galileo や準天頂衛星などが追加されて衛星数がさらに増加し、多くの分野での利用が期待される。しかし、RTK に代表される高精度測位は、周辺地物や飛来衛星数の条件に影響されるため、事前計画による利用可能性を把握することが難しい。そのため、高精度の成果が要求される測量分野においては現在でも従来の手法が主流となっている。本研究では衛星測位技術の利用発展を図るために、高精度測位である RTK の利用可能性を事前に予測する手法を、交通や建設分野への適用を視野に入れて移動体に着目して構築した。本手法では、周辺地物のデータとしてレーザースキャナーによって現地取得した 3 次元点群データを利用し、それを展開して天空図を作成する。天空図をスライドさせることで、移動と時間を考慮したシミュレーションを表現した。本手法のシミュレーション結果を実測の GPS 受信結果と比較したところ、実測と同等の測位解の変化状況を得られることを確認した。

Abstract: GPS and GLONASS are operating as satellite-based positioning system and the number of satellite is expected to increase by adding other system such as Galileo and QZSS in the future. However, it is difficult to know the availability of high precision positioning as RTK in prior planning since it depends on surrounding objects and number of satellite in the sky. Therefore, the conventional methods are mainly used in high precision survey. The authors developed the method to simulate availability of RTK in roving mode to apply in transportation and construction use. This method employs the figure of sky plot with the three dimensional point crowd data of surrounding features obtained by laser scanner and simulates the visibility of satellites and the kind of solution considering the movement and time passage by sliding the figures. The authors compared the result of simulation and the actual data from GPS observation, and it confirmed that the change situation of positioning solution is equal at simulation and actual observation.

キーワード: GPS, RTK, 移動体, 3次元レーザースキャナー, 天空図

Keywords: GPS, RTK, Roving Object, 3D Laser Scanner, Figure of Sky Plot

1. はじめに

現在、測位用の人工衛星は、アメリカの GPS 衛星とロシアの GLONASS 衛星が運用されている。GPS 衛星は 30 機体制、GLONASS 衛星は 21 機体制（2010 年 8 月現在）の運用となっており、GPS と GLONASS を併用した測位実験の解析研究¹⁾も行われている。これに加え、今後は欧州が開発中である Galileo 衛星、日本が開発中である準天頂衛星などが打ち上げられる予定となっている。準天頂衛星については、2010 年に 1 号機が打ち上げられる予定となっている。位置情報を取得するための測位技術は、**図-1**のように将来的に上空を飛来する測位衛星の数が増加することで、さらなる利用、発展が見込まれる。これにより、カーナビゲーションの高度化や、自動車の自動運転につながる技術としても衛星測位の重要性が高まると思われる。また、建設機械の自動誘導等による情報化施工技術の発展に

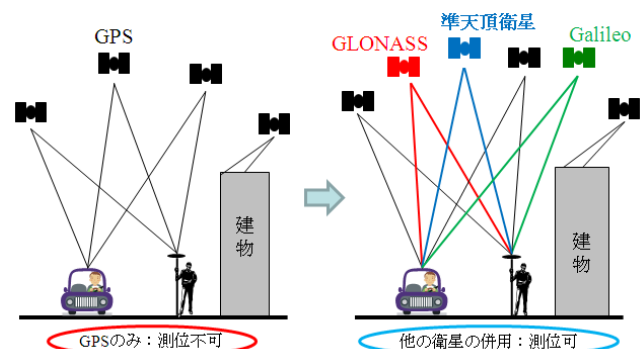


図-1 飛来衛星数の増加

より、建設事業の効率化も検討されており、交通や建設をはじめ、多分野での応用が期待されている。

しかし、応用事例の一つとして導入が進むと考えられていた RTK-GPS 測量においては、最初の GPS 受信機が開発されてから約 25 年経った現在でも、一般に普

1 : 正会員 (株)フィールドテック

(〒110-0016 東京都台東区台東 2-24-10 STビル 1F, Tel : 03-6303-2662, E-mail : fukumori@fieldtech.co.jp)

2 : 正会員 博士(工) 日本大学教授 理工学部社会交通工学科 (E-mail : sada@trpt.cst.nihon-u.ac.jp)

3 : 非会員 (株)タクモ

4 : 正会員 (株)フィールドテック

5 : 正会員 博士(工) 日本大学助教 理工学部社会交通工学科

及していないのが現状である。その原因の一つとして、GPSが確実に利用できるか否かを事前に把握できないことが挙げられる。一般的に測量で用いられるTS（トータルステーション）では、器械位置と観測点の視通が確保できれば確実に計測できるが、GPS測量の場合は、衛星と観測者が時間とともに動き、さらに周辺地物による電波遮蔽の影響を受けるため、利用可否の判断が難しく、作業の計画が立てづらいことが課題となり、普及につながっていない。近年では、上空視界の開けた大規模造成工事等において、GPSを用いたシステムが徐々に導入されているが、上空視界の限られた都市部での工事などは、GPSの利用計画を立てることが困難であり、導入事例も少ないのが現状である。

今後、衛星の増加が見込まれ、衛星測位技術の利用、推進を図っていくためには、衛星測位においてもTS測量と同様に、確実性のある事前計画を立てられる手段が必要であると考えられる。また、衛星数が増加することで、高精度測位、リアルタイム測位への期待が高まると考えられる。そこで本研究では、高精度測位の利用可能性を、移動体を対象として事前にシミュレーションできる手法を構築し、その適用性を検討することを目的とした。

2. 既存研究

(1) 衛星の可視性に関する研究

衛星の可視性に関する研究として、村木、田中ら(2004)による「3次元衛星電波経路シミュレーションに関する研究開発²⁾」という研究がある。この研究では、3次元GISの発展と、可視化技術の発達により3次元空間解析が容易に行えるようになったことから、都市域に実在する構造物の3次元空間データと主要な静止衛星および測位衛星の軌道情報を用いて衛星位置を計算し、電波経路上の障害物による遮蔽を考慮した電波経路シミュレーションシステムの開発を行っている。また、このシステムによるシミュレーション結果をもとに現実空間において衛星観測を行い、どの程度予測値と整合しているかの実験も行っている。システムの概要は、都市域に実在する地上構造物などの3次元GISデータと主要な静止衛星および測位衛星の軌道データを用いて、電波経路上の地上障害物による遮蔽を考慮し、受信可能域と不感地帯を特定している。さらにこの結果を建物景観とともに3次元立体可視化表示することで誰もが容易に電波状況を視覚的に捉えることを可能としている。

また、同様の研究として小西、柴崎ら(2003)による「衛星測位の利用可能性評価シミュレーションによる準天頂衛星とスードライトの評価³⁾」という研究がある。この研究では、衛星軌道モデル、信号伝播モデル、3次元地図モデルから構成されているLoQASというシステムを利用して、準天頂衛星とスードライトの整備による衛星測位の利用可能性の改善に関して評価を行っている。LoQASの衛星軌道モデルは、ケプラー軌道に基づいた軌道計算を行っており、信号伝播モデルは無指向、減衰、マルチパスなしのモデルを適用、3次元地図はDiaMapTMを利用して構成されている。マルチパスとは、衛星からの電波が直接受信機に到達せず、建物等の地物に反射してから受信機に到達し、測位精度が著しく低下する現象である。

これによりGPSのみの場合とGPSと準天頂衛星の併用、GPSとスードライトの併用の場合で利用可能範囲の違いを示し、準天頂衛星とスードライトの整備効果を定量的に評価している。

既存研究でのシミュレーションは、衛星電波の遮蔽物としてGISデータや地図データを利用している。これらのデータは現在では整備が進められ、さまざまな分野で利用されているが、局所的な場所や変化形状の細かい樹木等については、詳細に表現されていない可能性もあり、シミュレーション結果への影響が考えられる。また、シミュレーション結果は瞬間的なデータや一定エリア内での衛星数の評価が主体であるため、単独測位解(測位精度:数m~10m程度)の予測にしか適用できないと考えられる。

既存研究でのシミュレーションは、衛星電波の遮蔽物としてGISデータや地図データを利用している。これらのデータは現在では整備が進められ、さまざまな分野で利用されているが、局所的な場所や変化形状の細かい樹木等については、詳細に表現されていない可能性もあり、シミュレーション結果への影響が考えられる。また、シミュレーション結果は瞬間的なデータや一定エリア内での衛星数の評価が主体であるため、単独測位解(測位精度:数m~10m程度)の予測にしか適用できないと考えられる。

(2) 衛星測位の特性に関する研究

衛星測位の特性に関する既存研究として、佐田ら(2009)による「RTK-GPSの初期化時間の決定要因に関する研究⁴⁾」が挙げられる。この研究ではGPSの受信実験を実際に行い、測位精度や初期化時間に関するデータの傾向を、捕捉衛星数による影響、固定観測と移動観測の影響、移動体の速度別の影響など、測位環境の条件ごとに解析している。また、精度低下の指数であるDOP(Dilution Of Precision)の値との関連も考察されている。その結果から単独測位解時間、Float解時間の変化する要因をまとめている。両者の解の時間は、測位開始時の捕捉衛星数に影響を受けるとしており、移動観測の走行速度やDOP値との関連はほとんど見られないとしている。

3. 測位解予測手法

(1) 本手法の特徴

本研究では、シミュレーションの表現手法として、天空図の利用に着目した。天空図とは、天空を同心円状に展開して周辺地物を平面に表現するものである。本研究で構築する予測手法は、移動体を対象とした事前シミュレーションが目的であるため、移動と連続した時間軸を表現できる手段が必要である。移動経路上



図-2 3次元点群データの天空図への展開

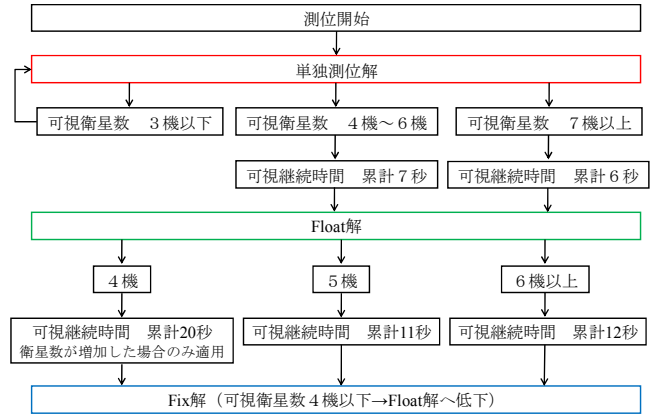


図-3 初期化時間の推定

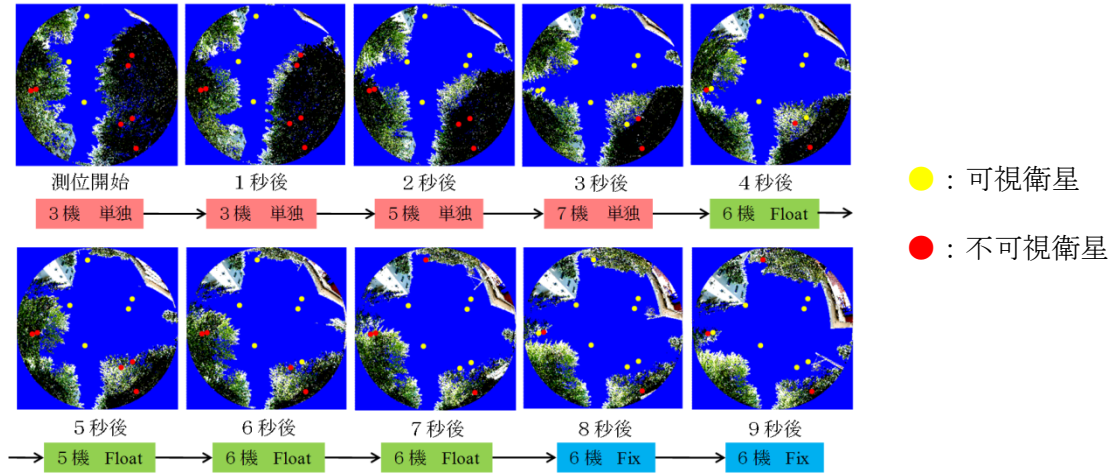


図-4 天空図のスライドによる測位解シミュレーション例

の天空図を作成して順々にスライドさせることで、移動と時間軸を考慮したシミュレーションを可能とした。また、天空図上の周辺地物データは、レーザースキャナーにより取得した3次元点群データを利用して表現した。実空間で取得した3次元の地物データを利用することで、GIS等のデータを利用した場合に比べて、建物や樹木を実物に近い詳細な形状で表現することができる。点群データを天空図に展開した例を図-2に示す。

本手法では、移動体の速度、測位データの受信間隔、シミュレーション時の移動経路を考慮して、事前に天空図を作成した。例として、移動体の速度を2m/sec、測位の受信データを1Hzと設定した場合、シミュレーション開始位置から移動経路に沿って2m間隔に天空図を作成すればよい。作成した各天空図に該当時刻における衛星位置をプロットすることで、可視衛星数と衛星の可視継続時間が抽出できる。さらに、初期化時間を考慮することで高精度の測位解（Fix解）を得られる時間と場所が予測できる。図-3には初期化時間の推定カウント数、図-4には天空図のスライドと測位解の変化例をそれぞれ示す。図-3については、2

章2節に挙げた既存研究²⁾の研究成果から、捕捉衛星数と初期化時間の関係をまとめたものであり、この数値を本研究での初期化時間パラメータとして取り込むこととした。一方、図-4については例示であるため、初期化時間のカウントと測位解の関係は厳密なものではない。また、天空図中の丸印は飛来衛星を表しており、黄が可視衛星、赤が不可視衛星を表している。

(2) 本手法の構成

本手法の構成フローを図-5に示す。衛星の位置情報については、予測したい日時での位置を把握したいため、日付、時刻、軌道情報の3つが予測に必要な項目となる。軌道情報は、インターネットで取得可能であるYUMAフォーマットを利用した。これらの項目から、衛星の3次元位置をケプラー軌道に基づいて計算するプログラムを適用した。天空図作成については、前述のようにシミュレーションの移動経路(観測位置、移動方向)と移動速度が必要な情報となる。衛星の位置情報と天空図を組み合わせることで、衛星、観測点、周辺地物の3者の位置関係を表すことができ、可視衛星の抽出ができる。衛星位置をプロットした天空図を

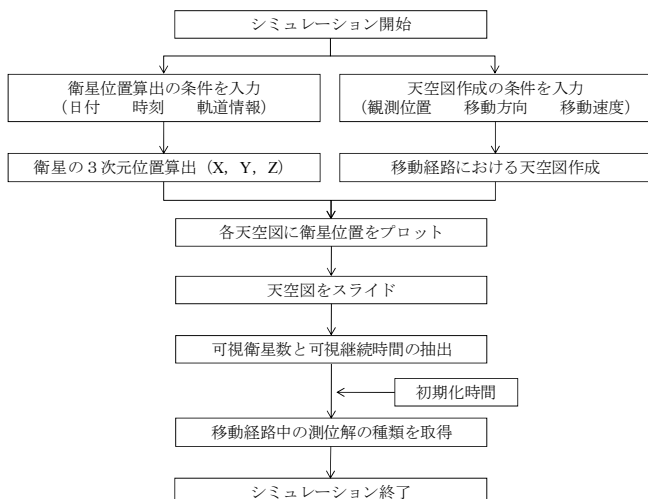


図-5 測位解予測手法の手順



図-6 シミュレーション箇所
(日本大学理工学部船橋キャンパス)

図-4のように連続的にスライドさせると、可視衛星数の変化と可視継続時間が判断でき、ここで図-3に示す初期化時間パラメータを取りこむことで経路中の測位解をシミュレーションできる仕組みとしている。

(3) 地物データの取得とシミュレーション経路

3次元点群の地物データを取得するために、シミュレーション区間を設定して、レーザースキャナーで計測を行う必要がある。レーザースキャナーは、広範囲に高密度かつ高速で周辺地物の計測を行うことができ、地形を詳細に表現することができる。そのため近年ではプラントの配管形状計測⁵⁾、土工事の出来形計測⁶⁾など、土木、建設分野で幅広く利用されるようになってきた。本研究では、日本大学理工学部の船橋キャンパス内においてシミュレーションを行うこととして計測を実施した。移動経路は図-6中の楕円で示した箇所を周回するルートとし、このエリアの周辺地物を取

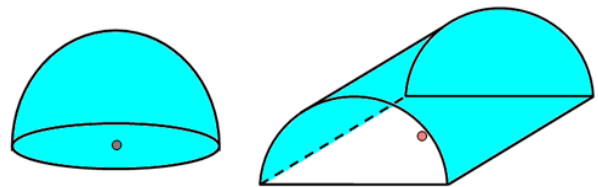


図-7 半球型(左)と半円筒型(右)の展開面

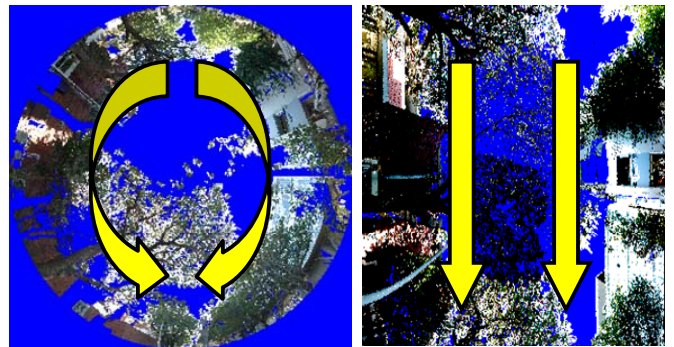


図-8 半球型(左)と半円筒型(右)の天空図

得できるように、レーザースキャナーで5箇所から計測を行った。使用したレーザースキャナーは Riegl 社製の LMS-Z210i である。

(4) 天空図への展開と半円筒型天空図

本手法では、シミュレーション経路、地物の3次元点群データの位置情報をすべて平面直角座標系IX系の値で統一し、天空図への展開を行った。衛星の位置については、天空図の展開箇所から見た方位角、仰角に変換してプロットした。

一般的に、天空図は図-7の左側に示すように、観測点まわりの半球空間を展開した形状で表現される。しかし、本研究では図-4のように天空図を連続的にスライドさせてシミュレーションを行うため、スライド時に見やすく評価しやすい形状について検討した。そこで、図-7の右側のように観測点まわりの半円筒空間の上面(図中の色つき部分)を展開する形状を考案した。両者の展開面は図-8のようになり、半球展開は円形、半円筒空間は四角形で表現される。四角形で表現できることで、天空図を連続させた際の移動方向に対する横断方向の歪み(図-8中の矢印)が小さくなり、見やすく評価しやすい形状といえる。

(5) 半円筒型天空図の解像度と点群の投影

半円筒展開は、半球展開と異なり進行方向の展開に歪みを発生させる。これにより四角形の天空図で表現できる。出力する天空図のピクセル数(解像度)は、観測点から見た衛星の単位時間当たりの移動角度 α を算出して決定した(図-9)。衛星の軌道速度 $V=3.85\text{km/sec}$ 、軌道高度 $H=20200\text{km}$ より、衛星が天頂付近の場合の α を以下の式により求める。 α は衛星位

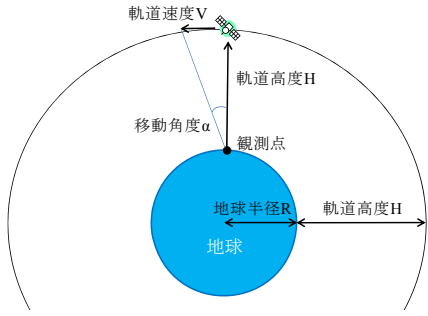


図-9 移動角度算出のための模式図

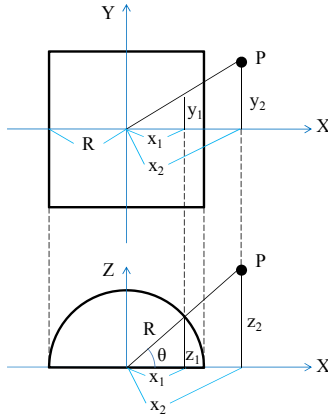


図-10 点データの半円筒面への投影

置（観測点からの仰角）により異なる。

$$\alpha = \tan^{-1} \frac{V}{H} \quad (1)$$

計算すると $\alpha \approx 39'' / \text{sec}$ となるが、 $30''$ 単位での近似を行って $\alpha \approx 30'' / \text{sec}$ と設定する。衛星測位では通常、仰角 15° 以上の衛星を可視衛星として測位に利用するため、観測点の天頂を通過する軌道を仮定すると、衛星は見目で 150° 移動する。衛星が天空図内で時間1秒あたりに1ピクセル移動するように設定すると、上空可視範囲 150° ($540000''$) を移動角度 $30'' / \text{sec}$ で除算するため 18000×18000 ピクセルの天空図となる。これでは数値が大きすぎ、作成が困難であるため、本手法では衛星が時間1分で1ピクセル動くように、 18000 ピクセルの60分の1の大きさである 300×300 ピクセルとした。

図-10には地物データの半円筒面への投影イメージを示す。図のような投影対象の点Pと投影面を設定し、観測点 $(0, 0, 0)$ を原点としたローカル座標系を仮定する。進行方向にy軸、横断方向にx軸、高さ方向にz軸を取り、投影対象点 $P(x_2, y_2, z_2)$ を半円筒面上の座標 (x_1, y_1, z_1) に投影することにより地物を表現した。投影対象の点群は、仰角 15° 以上かつ $|Y| \leq 100\text{m}$ (周辺の建物高が最大 26m 程度であるため) とした。円筒半径 R は、周辺の地物状況に応じて適当に定めることで、以下のように投影後の座標値を導く

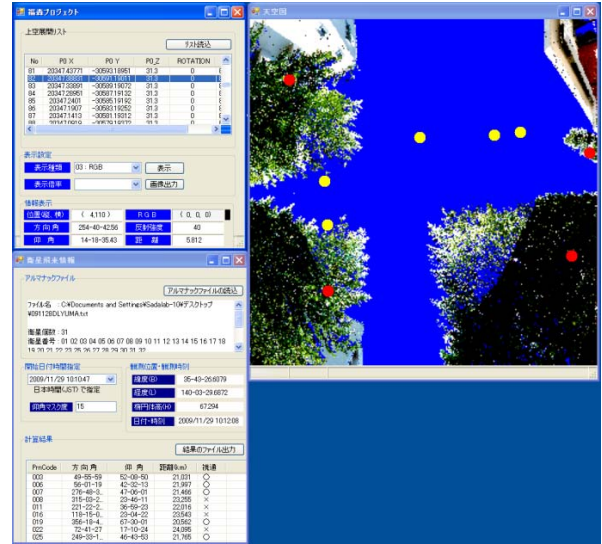


図-11 シミュレーションの起動画面

ことができる。図-10より以下の関係を得る。

$$x_1 : y_1 = x_2 : y_2 \quad (2)$$

$$x_1 : z_1 = x_2 : z_2 \quad (3)$$

$$\theta = \tan^{-1} \frac{z_2}{x_2} \quad (4)$$

円筒半径 R と θ より x_1 と z_1 が求まり、これにより y_1 も求まる。

$$x_1 = R \cos \theta \quad (5)$$

$$z_1 = R \sin \theta \quad (6)$$

$$y_1 = \frac{x_1 y_2}{x_2} \quad (7)$$

(6) シミュレーション条件

衛星の可視判断は、天空図上の衛星位置と地物位置の関係から判断が可能である。基本の判断条件は点群との重なりの有無であるが、一部点群の欠落や、点密度の低い箇所が見られたため、プログラムの判断処理に加えて目視判断による補助も行った。

本研究でのシミュレーションは、基準局と移動局間の無線の途絶や、衛星配置による精度低下指数 DOP などの細かい条件は設けず、単純に移動局側の可視衛星数と可視継続時間のみで実装した。そのため、測位開始後に単独測位解から Float 解へと移行したら、シミュレーション終了まで単独測位解には低下しないものとした。実際には、 DOP 値が大きくなることにより、Fix 解の条件を満たしても Float 解が得られる場合や、建物や周辺環境による無線の途絶が影響するなど、可視衛星数だけでは予測できない場合もある。

(7) シミュレーションの実装

本研究で構築したシミュレーションの起動画面全体図を図-11に示す。3つのウィンドウで構成し、左上のウィンドウはシミュレーション経路中の天空図を展

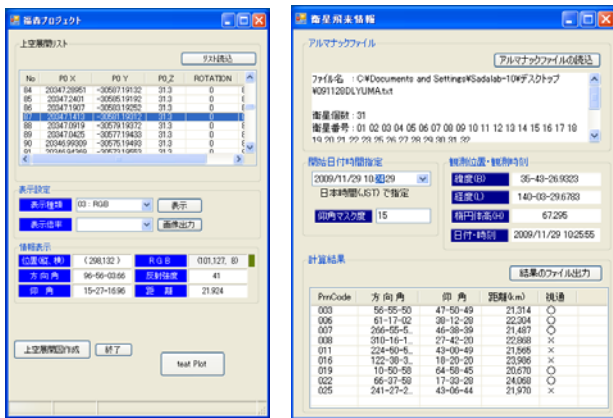


図-12 起動画面のウィンドウ拡大図

開する座標値リストや、天空図の表示設定と画像出力、マウスポインタの情報表示、天空図作成のための点群展開ウィンドウを開くボタンにより構成した。左下のウィンドウはアルマナックデータ、上空を飛来する衛星リストとその衛星の可視不可視判定に加え、シミュレーション開始日時の設定と観測位置、観測時刻を表示させている。両ウィンドウを図-12に拡大して並べて示す。右側のウィンドウは衛星をプロットした観測点ごとの天空図を表示し、左上ウィンドウの経路座標リストを順に選択することでスライドさせることができる。プロットした衛星の色は、本章の1節に記述の通り、黄色が可視衛星、赤色が不可視衛星を示す。

天空図の作成は、3次元点群データの情報とシミュレーション経路の座標リストを読み込むことで作成する。3次元点群データの情報は、座標値 X, Y, Z や色情報 R, G, B などを含んでいる。レーザースキャナーの計測箇所ごとにテキストファイルを出力し、1つのファイルに約200万点の情報が含まれている。経路の座標リスト情報は、シミュレーションの始点、終点、中間点（カーブなどの折れ点）、シミュレーション速度の情報から作成し、このリストに示された各点 (X, Y, Z) において天空図を展開する。

4. 構築手法の検証

(1) 検証方法と検証実験

本研究での構築手法の検証を行うために、移動体によるGPS受信実験を実施した。構築手法によるシミュレーション結果と受信実験による実測結果を比較することで検証を行った。検証は測位解に着目し、測位解の種類が変化する場所と時刻の違いによって評価した。

検証のための受信実験では、移動体として、安定した速度で走行可能かつキャンパス内を不自由なく走行できるセグウェイを利用した。図-13のように基準局と移動局を構成し、移動局のアンテナと受信機、無線機を装備してセグウェイによるRTK測位を行った。実



図-13 移動体でのGPS受信実験

験は2009年11月29日に実施した。経路は基準局付近から反時計回りに走行（次節の図-14～図-19参照）し、1周約140秒で走行した。走行して得られた6周分のデータを比較検証に利用する。なお、3周分のデータを一度にまとめて取ったため、周回①～③までと周回④～⑥までは連続したデータとなっている。

(2) 結果の検証と考察

実測の測位解プロット図とシミュレーション結果の測位解プロット図を図-14～図-19に示す。図は上段が実測、下段がシミュレーションの結果となっている。また、基準局の位置と周辺地物の点群も凡例の通り示す。建物として表示していない地物の点群は、樹木や電線等である。

図-14～図-19の各図において実測結果とシミュレーション結果を比較すると、出力されるFix解の位置はほぼ同等の結果を得られた。しかし、実測ではFix解を得られなかった箇所でも、シミュレーションではFix解となるケースが生じた。これは無線の受信状況や受信機の特徴が影響していると考えられる。無線については、周回ルートと基準局の位置関係からわかるように、地物に遮られる箇所があるため、無線が途絶したと考えられる。さらに、実測では基準局との視通が取れる箇所でも単独測位解が出力された。これはマルチパスや衛星配置の影響により生じたと考えられる。本手法では、無線の途絶やマルチパス、衛星配置等は考慮していないため、このような差が生じたと考えられる。

次に測位解の変化する時刻を比較する。表-1に各周回における実測とシミュレーションの測位解変化と変化時刻、両者の時刻差を示す。周回①においては低速で走行したため、測位解の変化時刻に20～40秒程度の差が生じた。周回②以降に確認できた10秒前後のずれは、初期化時間に数秒のずれが生じた影響であるとされる。初期化時間は衛星数が同じ条件であっても、衛星配置等によって数秒異なることがある。

以上より、本手法ではFix解を得られる場所、時間帯の大きな予測は可能であるが、マルチパスや受信機の特徴など、今後シミュレーションの精度を高めるための検討事項を確認した。



図-14 実測とシミュレーションの比較①

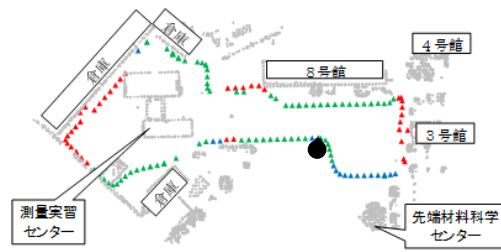


図-15 実測とシミュレーションの比較②

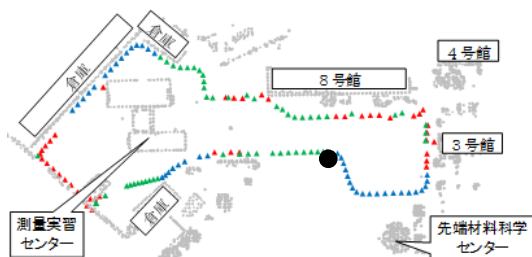


図-16 実測とシミュレーションの比較③

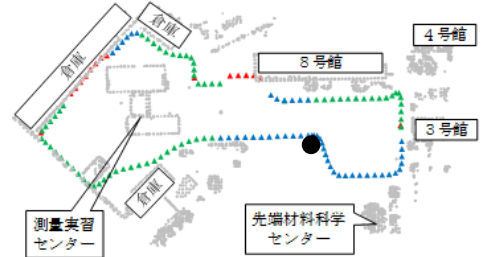


図-17 実測とシミュレーションの比較④

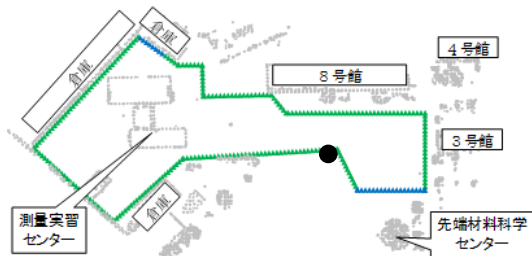


図-18 実測とシミュレーションの比較⑤

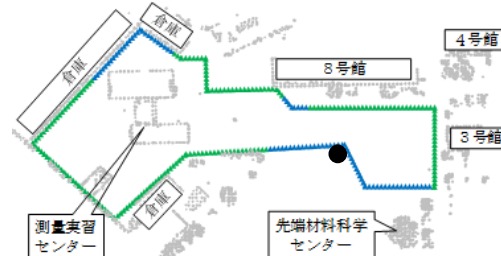


図-19 実測とシミュレーションの比較⑥

▲ : 単独測位解 ▲ : Float 解 ▲ : Fix 解 ● : 基準局 ■ : 地物
 ※各図は上段が実測結果, 下段がシミュレーション結果

表一 1 測位解の入れ替わる時刻の比較

周回	測位解の変化		変化時刻		時刻差 (秒)
	実測	シミュレーション	実測	シミュレーション	
①	Fix→単独	Fix→Float	13:23:42	13:23:20	22
	Float→Fix	Float→Fix	13:24:37	13:24:08	29
	Fix→単独	Fix→Float	13:24:58	13:24:17	41
②	Fix→Float	Fix→Float	13:26:05	13:26:03	2
③	Fix→単独	Fix→Float	13:28:25	13:28:20	5
	Float→Fix	Float→Fix	13:29:15	13:29:11	4
	Fix→単独	Fix→Float	13:29:31	13:29:15	16
④	Fix→Float	Fix→Float	14:25:32	14:25:22	10
	Float→Fix	Float→Fix	14:25:50	14:25:49	1
	Fix→単独	Fix→Float	14:25:57	14:25:53	4
	Float→Fix	Float→Fix	14:26:19	14:26:13	6
	Fix→単独	Fix→Float	14:26:25	14:26:27	2
	Float→Fix	Float→Fix	14:27:08	14:27:16	8
⑤	Fix→Float	Fix→Float	14:27:40	14:27:35	5
	Float→Fix	Float→Fix	14:28:02	14:28:02	0
	Fix→単独	Fix→Float	14:28:08	14:28:06	2
	Float→Fix	Float→Fix	14:28:28	14:28:27	1
	Fix→単独	Fix→Float	14:28:35	14:28:39	4
	Float→Fix	Float→Fix	14:29:17	14:29:29	12
⑥	Fix→単独	Fix→Float	14:29:50	14:29:44	6
	Float→Fix	Float→Fix	14:30:11	14:30:11	0
	Fix→単独	Fix→Float	14:30:17	14:30:15	2

5. 結論

(1) 研究成果

本研究では、高精度測位の利用可能性を、移動体を対象として事前にシミュレーションする手法を構築し、実際の受信実験との比較を行った。その結果、Fix 解が出力される箇所は実測に近いシミュレーションができ、事前に高精度測位の利用可能性を移動体において予測する手法を構築できた。

また、手法の構築のために、半円筒型天空図の考案や3次元点群データの利用を行った。半円筒型天空図については、天空図を連続させたときの移動方向に対する横断方向の歪みが小さくなるため、移動体として評価しやすい展開方法を考案できた。3次元点群データについては、点群データをそのまま利用したことが本手法の特徴であり、点群データを3次元モデルなどへ加工処理する作業を省略できた。さらに、今回は実験的に地上型レーザースキャナーにより取得した点群データを適用したが、近年普及してきた航空レーザ計測や車載型の計測システム⁷⁾により取得できる点群データも適用可能である。これらのシステムで得られた点群データの活用例のひとつとしても、本研究は有用性があると考えられる。

(2) 今後の課題と展望

今後は、実測との比較検証で挙げた検討事項をクリアすることが課題となる。その中でも特に、マルチパスや衛星配置による精度低下、初期化時間のパラメータといった受信機特性の部分がシミュレーション結果にも大きく影響する。マルチパスにおいては、電波が反射しやすい建物の可視面積を考慮するか、点群情報

に地物の材質情報を取り込むことで精度低下の要因を特定するなどの対策が考えられる。さらに、樹木などの影響が考えられる場合は、季節により自動でフィルタリング処理を行う対策も検討可能である。受信機特性については周辺状況が同じであっても、毎回同じ結果を得るとは限らないため、シミュレーションに定量的に取りこむことは困難であるが、初期化時間のパラメータと同様に既存研究のような傾向を把握することが重要となる。今後はこれらを考慮して手法に改良を加えたい。

また、今回は GPS 衛星の場合のみをシミュレーションしたが、今後は GLONASS や準天頂衛星などの情報を取り入れることで、シミュレーションの幅も広がると考えている。本研究により構築された衛星測位の利用可能性予測手法がより高度なものとなれば、いつどこで高精度に RTK 測位が可能かを予測できるため、事前計画に基づいた RTK 測位を実施できることが見込まれる。これにより測量作業をはじめ、多くの分野で利用が期待される。

謝辞

本研究は平成 21 年度科学研究費補助金基盤研究 C (20560495) の助成を受けた。ここに記して謝意を申し上げる。

参考文献

- 1)池田隆博, 佐田達典: GPS と GLONASS を用いた RTK 測位の初期化時間に関する研究, 土木情報利用技術論文集 Vol.18, pp.137-144, 2009 年
- 2)村木広和, 北川悦司, 田中成典, 古田均, 野中一希: 3次元衛星電波経路シミュレーションに関する研究開発, 土木情報利用技術論文集 Vol.13, pp.87-94, 2004 年
- 3)小西勇介, 徐庸鉄, 袴田知弘, 柴崎亮介: 衛星測位の利用可能性評価シミュレーションによる準天頂衛星とスードライトの評価, 第 27 回土木計画学研究発表会・講演集 (CD-ROM) Vol.27, IX (249), 2003 年
- 4)佐田達典, 池田隆博, 会田亮介: RTK-GPS の初期化時間の決定要因に関する研究, 土木情報利用技術論文集 Vol.18, pp.125-136, 2009 年
- 5)大津慎一, 佐田達典, 村山盛行: 三次元レーザースキャナーを用いたプラント配管現状図作成システム, 第 27 回情報システムシンポジウム講演集, pp.61-64, 2002 年
- 6)佐田達典, 大津慎一: 地上型三次元レーザースキャナーを用いた地形計測システム, 建設の機械化 No.625, pp.35-41, 2002 年
- 7)村山盛行, 佐田達典, 金綱淳次, 清水哲也, 丹野貴之, 岡田雅人: モービルマッピング技術の基本性能検証実験, 土木情報利用技術論文集, Vol.18, pp.117-124, 2009 年

(2010. 5. 24 受付)