

# 準天頂衛星の高度利活用のための 測位誤差に関する分析

久保田穰<sup>1</sup>, 薄井智貴<sup>2</sup>, 森川高行<sup>3</sup>

<sup>1</sup>非会員 名古屋大学大学院 工学研究科 社会基盤工学専攻 (〒464-8603愛知県名古屋市千種区不老町)  
E-mail: kubota.minoru@d.mbox.nagoya-u.ac.jp

<sup>2</sup>正会員 名古屋大学 グリーンモビリティ連携研究センター 特任講師  
E-mail: usui@gvm.nagoya-u.ac.jp

<sup>3</sup>正会員 名古屋大学 グリーンモビリティ連携研究センター 教授  
E-mail: morikawa@nagoya-u.jp

この研究の目的は、GPSデータの正確さが向上するといわれているQZSS(準天頂衛星)を活用した次世代ナビゲーションシステムの可能性を検討するものである。我々は準天頂衛星を利用した2機の受信機と従来のGPS受信機、スマートホンの4種類のGPSデバイスを自動車にのせ、走行実験を行いQZSSからのデータを含めた異なる4種類のGPSデータを取得し、各データの精度を比較検証した。結果として、QZSSから得られたGPSデータの精度は低く、次世代ナビゲーションシステムに利用するためにはキャリブレーションの方法を検討する必要があることが分かった。

**Key Words :** GPS, QZSS, verification accuracy, ITS

## 1. 背景

GPSの応用例として筆頭に挙げられるカーナビは、従来の経路案内だけに留まらず、道路・周辺情報提供や車両制御といった「走行支援サービス」にも使われようとしている。このためには車両位置の精度の大幅な向上が必須であるが、位置情報の高精度化は、車や歩行者などの交通移動体を詳細にマネジメントする契機となると考えられる。

2010年9月11日に宇宙航空研究開発機構により打上げられた準天頂衛星初号機「みちびき<sup>1)</sup>」は、ほぼ天頂からGPS同等の測位信号を発信するGPS補完機能と、サブm級(1m以下の誤差)の測位精度が得られる補強機能を有する<sup>2)</sup>。これら機能を利用してカーナビの位置情報の精度を向上させることが可能であるが、特に自車位置検出アルゴリズムとして衛星測位に依存する割合の高い安価なPND(Personal Navigation Device)でも、高精度な測位が実現できる。PNDは通信機能を有するものも多く、特に携帯電話を端末とした経路案内サービスはすでに広く普及しつつあるなど、クラウド型の経路案内サービスの発展は今後飛躍的に拡充されるものと予想されている。このため、高精度化された位置情報の活用による、交通移動体のクラウド型管理が現実味を帯びてきている。もし、道路ネットワーク上の全ての交通移動体

(自動車、歩行者など)の位置を高精度に把握できれば、プローブカーデータの充実やそれを用いた高精度交通情報の生成、走行車線や走行距離に応じて課金される柔軟なロードプライシング、右左折レーン位置の案内や駐停車区間の警告などを含む走行支援サービスなど、新たな用途に測位衛星の応用範囲が拡大可能となる。ただし、サブm級の測位精度といえども、マルチパス<sup>3)</sup>や周辺環境、機器等により誤差を含むことには変わりはなく<sup>4)</sup>、GPS情報のみから正確な位置を把握するためには、情報の統計的理解から移動体位置の推測が必要である。

そこで本研究では、2010年9月の準天頂衛星打ち上げによって高精度化するであろうGPS位置情報について、その特徴や誤差量を把握するとともに、衛星測位のみによる自動車走行支援のための基礎的知見を得る。

## 2. 研究の概要

### (1) 本研究の概要

本研究では、GPS精度の検証を行うため、異なる仕様のGPS測位端末を用いて走行実験を行い、得られたGPSデータから精度や特徴を把握する。走行実験では、測位精度および準天頂衛星からの受信方式の異なる4台のGPS測位端末を用意し、自動車にて名古屋市内を移動しながらデータ収集を行う。また、測位方法の違いに

よる GPS データの精度を比較するために沿道環境をビデオで撮影し、ビデオ映像と GIS データから測位地点での実際の位置（場所）を真値として求める。さらに、自動車走行時のデータから、準天頂衛星による測位および測位補強の有効性を確認する。

## (2) 走行実験

高速移動体による測位精度検証のための走行実験の概要を表 1 にまとめた。

平日の午後、乗用車に準天頂衛星測位機器を含めた GPS 計測機器 4 機種を設置し、名古屋市内北部の車線数が多く比較的見通しの良い国道を東西に走行（一部南北方向も含む）し、4 機種合計数千点の測位データを取得した。走行経路を図 1 に示す。また、同時に車内からビデオ撮影も行い、分析の際の計測地点真値特定に利用した。真値特定にあたっては、Google Earth や現地調査を中心に、2008/2009 年度版 ZmapTown II（ゼンリン）、平成 20 年住宅・土地統計調査等を利用し、車線数や道幅、左右建物までの距離、左右建物階数、街路樹の本数、前後方向の上空視界を求め、周辺環境データを生成した。

次に今回の実験で使用した 4 種類の GPS 受信機と特徴を表 2 に示す。準天頂衛星や既存 GPS 受信機の精度を検証するため、それぞれ受信システムの異なる機種を準備した。プローブパーソン調査端末 BCALs は一般的な GPS チップを搭載した GPS ロガー、HTC は au 社製スマートフォン、JAVAD は、JAVAD 社製 GNSS 受信機で準天頂衛星補完機能を持つもの、QZSR は、(財)衛星測位利用推進センター(SPAC)製の準天頂衛星補強機能を持つ試作機である。この中で HTC は、携帯電話基地局からの相対位置による補正機能（A-GPS）を有しており、GPS のみの受信機に比べてもともと精度が高いものとなっている点には注意が必要である。

本研究においては、この 4 つの受信機の測位精度を比較することにより、準天頂衛星の精度を確認することとする。

表 1 実験概要

| 項目    | 内容                                                  |
|-------|-----------------------------------------------------|
| 実験日時  | 2011 年 11 月 17 日午後 3 時～                             |
| 実験方法  | GPS 受信機搭載車両で名古屋市内を走行                                |
| 走行経路  | 名古屋市役所→古出来交差点（往復）                                   |
| 経路撮影  | 正確な観測値把握のため走行ルートをビデオ撮影（前方、側方）                       |
| 受信機器  | 4 種の GPS 測位機器(GPS ロガー、携帯、準天頂補完機能対応受信機、準天頂補強機能対応受信機) |
| 取得データ | 1 秒毎の測位 Time、計測値(経緯度)、捕捉衛星数と角度（準天頂対応受信機のみ）          |
| 測位点   | 4 機種：合計 3,476 点                                     |



図 1 走行実験経路

表 2 4 種類の GPS 受信機と特徴

| 受信機   | 受信機タイプ      | 受信方法     | 取得時間単位  |
|-------|-------------|----------|---------|
| BCALs | GPS ロガー     | GPS      | 1 秒     |
| HTC   | SmartPhone  | A-GPS    | 1 秒     |
| JAVAD | 準天頂衛星補完機能対応 | GPS+補完機能 | 1 秒     |
| QZSR  | 準天頂衛星補強機能対応 | GPS+補強機能 | 1/100 秒 |

## (3) 研究の流れ

本研究の分析の流れを図 2 に示す。

あらかじめ 4 つの GPS 受信機と現在地撮影用ビデオカメラの時刻を同期し、それらを車内に固定した状態で名古屋市内の実車走行を実施した。その後、得られた観測点データの真値および周辺環境データを、ビデオ映像と GIS データから整備し、それらのデータを用いて GPS 精度の検証を行った。

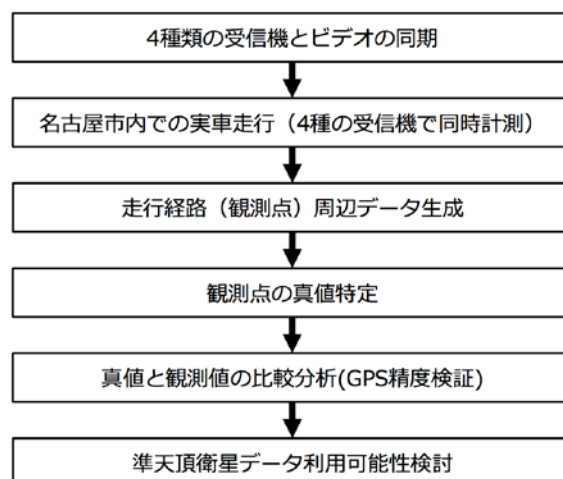


図 2 本研究の流れ

### 3. 測位誤差の検証

#### (1) 真値と観測値との誤差の評価手法

測位誤差を評価する指標として、「正確度」と「精密度」を用いた。

正確度は、全観測値の平均として求められた座標と真値との距離（式(1)）で、精密度は、測位点のばらつきを表す（式(2)）。図3の例においては、Aは低正確で高精密、Bは高正確だが低精密、Cは高正確、高精密である。

$$\Delta = \sqrt{h_x^2 + h_y^2} \quad \text{式(1)}$$

$\Delta$ : 正確度

$h_x$ : 経度方向誤差平均値

$h_y$ : 緯度方向誤差平均値

$$S_p = \sqrt{S_x^2 + S_y^2} \quad \text{式(2)}$$

$S_p$ : 精密度

$S_x$ : 経度方向誤差標準偏差

$S_y$ : 緯度方向誤差標準偏差

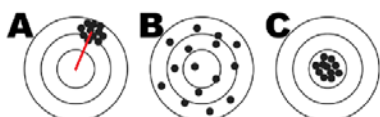


図3 正確度と精密度の例

さらに、正確度と精密度の両方を考慮した DRMS による評価も同時に行った（式(3)）。これは、DRMS を半径とした円内に測位点の 68%が、2DRMS を半径とした円内に測位点の 95%が入るとされる指標である。

$$DRMS = \sqrt{\Delta^2 + S_p^2} \quad \text{式(3)}$$

#### (2) 測位誤差の検証

以上の評価指標を用い、走行実験により得られた観測値と、対応する真値の誤差の検証を行った。まず、絶対誤差を表3に示す。今回得られた観測値と真値の誤差は、スマートフォンが一番小さく、次に GPS 補完機能を持つ JAVAD、一番誤差が大きいものが、GPS 補強信号を利用した QZSR となった。値を見ると、2DRMS がいずれも 50m を超える結果となっており、誤差の分散が非常に大きいことが分かった。

次に誤差を東西南北方向に分離し、南北と東西の2方向の誤差をグラフに図示した（図4）。また、図5に BCALs の走行速度別の誤差を、図6に走行速度別の誤差を同じくグラフに図化したものを示す。いずれの受信機においても東西への誤差が大きく、速度も高いほど比例して誤差も大きくなっており、少なからず走行速度が影響を及ぼしていることが分かった。

表3 観測値と真値の絶対誤差(m)

| 指標    | BCALs<br>ロガー | HTC<br>スマホ | JAVAD<br>補完 | QZSR<br>補強 |
|-------|--------------|------------|-------------|------------|
| 正確度   | 3.7          | 8.6        | 5.1         | 4.2        |
| 精密度   | 299          | 274        | 288         | 371        |
| 2DRMS | 603          | 575        | 585         | 747        |

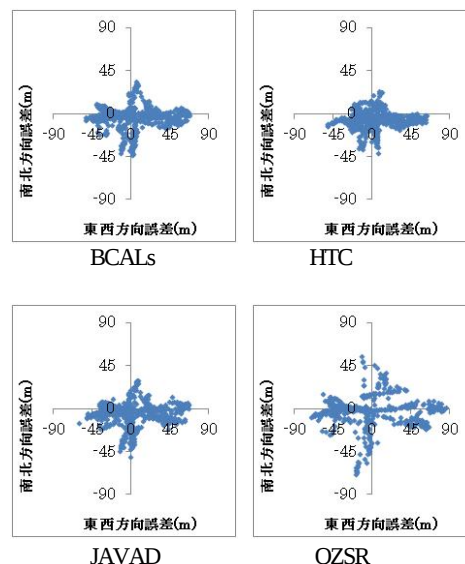


図4 機種別方向別の誤差分布

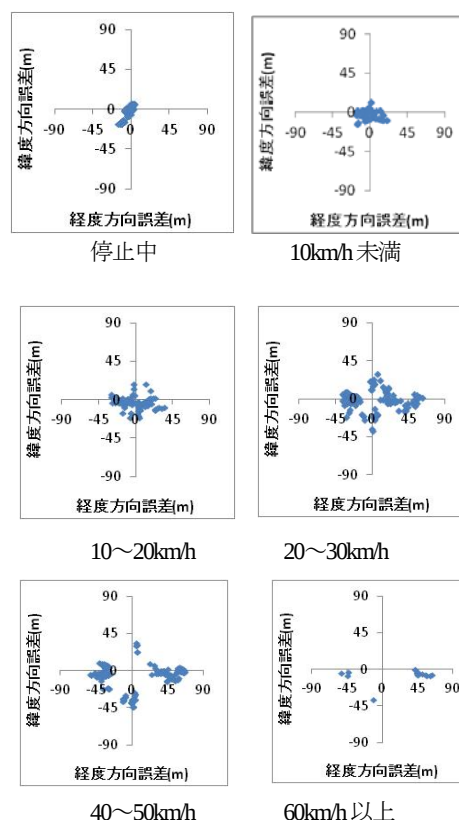


図5 走行速度別の誤差の比較（BCALsの例）

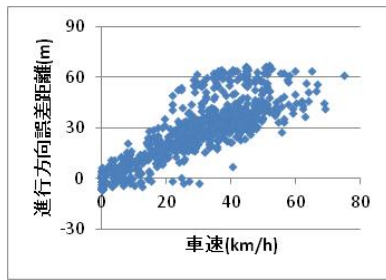


図6 進行方向誤差と車速の分布

そこで、GPS 観測値の誤差から速度による影響を低減するため、被説明変数を進行方向誤差に、説明変数を車速と受信機ダミーに、回帰モデルを作成し、車速パラメータの補正を行った。結果を表 4 に示す。決定係数が 0.68 とそれほど高くはなかったが、補正後の誤差の分布を見ると（図 7、図 8）おおむね妥当な補正が行われており、適合度も妥当といえよう。

表 4 回帰分析の結果

| 説明変数               | 推定値   | t 値   |
|--------------------|-------|-------|
| 切片                 | 0.04  | 0.00  |
| BCALs ダミー          | -1.55 | -1.80 |
| HTC ダミー            | 0.08  | 0.10  |
| JAVAD ダミー          | -0.03 | 0.00  |
| 車速(km/h)           | 0.95  | 57.80 |
| 重相関R               | 0.82  |       |
| 重決定 R <sup>2</sup> | 0.68  |       |
| 補正 R <sup>2</sup>  | 0.68  |       |
| 補正值 $\alpha$ (m)   | 3.43  |       |

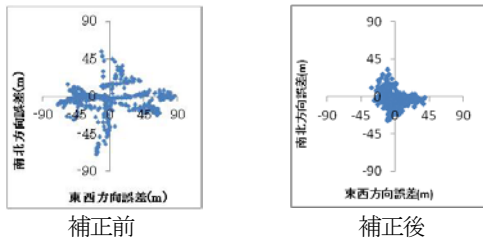


図 7 速度補正前後の分布(QZSR)

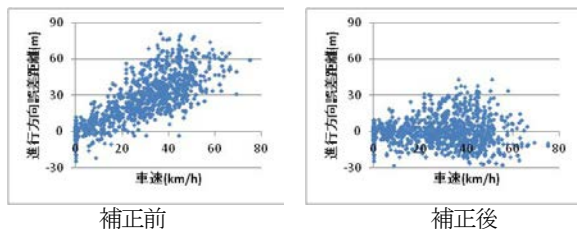


図 8 速度補正前後の誤差比較

車速による補正後の正確度、精密度、2DRMS を表 5 に示す。表 3 と表 5 を比べると全受信機において精度が格段に向上していることが分かる。2DRMS は BCALs が最も高く、次いで JAVAD、HTC、QZSR の順となった。

表 5 補正後の精度

| 指標       | BCALs<br>ロガー | HTC<br>スマホ | JAVAD<br>補完 | QZSR<br>補強 |
|----------|--------------|------------|-------------|------------|
| 正確度(m)   | 82           | 115        | 84          | 11.7       |
| 精密度(m)   | 63           | 7.0        | 7.1         | 8.1        |
| 2DRMS(m) | 20.8         | 26.8       | 22.0        | 28.5       |

### (3) GPS 測位における周辺環境の影響分析

GPS 測位は、受信可能な衛星数や天頂仰角、マルチパスなど、周辺環境によって観測誤差が大きく変化する。そこで、周辺環境の影響を調べるため、被説明変数に誤差の絶対距離を、説明変数に補正後の車速、街路樹本数、前方・後方・上空視界、道路幅と機種ダミーを用い、重回帰分析を行った（表 6）。結果を見ると、上空と後方の視界、道幅が負に有意に推定されており、上空と後方の視界が開けさらに道幅が広いほど精度が上がるのが分かる。一方、前方上空の視界が正に有意に推定されており、つまり前方が開けているほど測位誤差が大きくなるという想定と異なる結果となった。ただし、決定係数が異常に低いので、今後、説明変数の見直しを含め、モデルの改善が必要であると考えられる。

表 6 重回帰分析結果（車速補正後）

| 説明変数               | 推定値   | t 値   |
|--------------------|-------|-------|
| 定数項                | 14.31 | 17.3  |
| BCALs ダミー          | -5.07 | -15.9 |
| HTC ダミー            | 0.42  | 1.2   |
| JAVAD ダミー          | -4.74 | -14.9 |
| 車速(km/h)           | 0.10  | 15.7  |
| 前方上空視界(デグ)         | 2.29  | 10.0  |
| 真直上空視界(デグ)         | -1.87 | -6.1  |
| 後方上空視界(デグ)         | -1.69 | -5.5  |
| 左街路樹（本）            | 0.05  | 0.2   |
| 右街路樹（本）            | -0.08 | -0.3  |
| 道幅(m)              | -0.01 | -3.1  |
| 重相関R               | 0.51  |       |
| 重決定 R <sup>2</sup> | 0.26  |       |
| 補正 R <sup>2</sup>  | 0.26  |       |

## 4. まとめと課題、展望

準天頂衛星を使用した測位方法として補完機能を使用した JAVAD と、補強機能を使用した QZSR は、これまでの測位方法に比べての著しい精度の向上は見られなかった。JAVAD に関しては GPS ロガーである BCALs に比べて時間のずれによる誤差やバラツキが軽減していることが確認できたが、QZSR に関しては誤差平均が 74.7m と測位精度が最も低いという結果になった。ただし、今回の QZSR 受信機は準天頂衛星対応の試作機であり、機器誤差の影響が高い可能性も否めない。

また、測位誤差と周辺環境の影響に関しては、受信機上空と後方においては開けているほど誤差は少なくなり、また、街路樹においては左側の街路樹は測位誤差に影響があることが確認できた。

今回の結果から、準天頂衛星受信試作機から得られたGPSデータは、現段階では精度が低く、次世代ナビゲーションシステムに利用するためにはキャリブレーションの方法を検討する必要があることが分かった。

**謝辞：**本研究は、文部科学省科学研究費挑戦的萌芽研究[研究課題番号 23656314]の支援により実施したものである。

#### 参考文献

- 1) 宇宙航空研究開発機構 | 準天頂衛星初号期「みちびき」<http://www.jaxa.jp/projects/sat/qzss/> (2013.7.31 現在)
- 2) 株式会社クレスト, SPAC: サブメータ級測位を利用した移動体遠隔操作実現に向けた衛星補強システムの精度実証, SPAC 民間利用実施状況報告書, 2012.
- 3) 鈴木崇史, 久保信明, 安田明生: 市街地走行中のDGPS 測位におけるマルチパスの影響, 2004.
- 4) 久保信明: マルチパス低減技術の現状と動向, 2005.
- 5) パイオニア株式会社, SPAC: GPS 単独測位と準天頂衛星を含んだ測位での測位性能比較実証, SPAC 民間利用実施状況報告書, 2012.

(?)

## A Study on Error of Positioning Method using Quasi-Zenith Satellites System.

Minoru KUBOTA, Tomotaka USUI, Takayuki MORIKAWA

A purpose of this study is to examine possibility of next-generation navigation system that utilized quasi-zenith satellites system (QZSS) by which it is said that accuracy of GPS data rises. We conducted a driving experiment with putting four GPS devices (two receivers using QZSS, Smartphones, conventional GPS receiver) on the car and acquired four kinds of GPS data including that from QZSS. Then accuracy of these data were compared. As the result, it was found that GPS data from QZSS is less accurate and that calibration method for QZSS is needed for next-generation navigation system.