

富山における QZSS L1-SAIF DGPS 測位の精度

学生会員○川崎 雄飛(富山高等専門学校) 正会員 河合 雅司(富山高等専門学校)
正会員 坂井 丈泰(電子航法研究所) 正会員 中谷 俊彦(富山高等専門学校)

要旨

富山湾周辺海域での海洋観測等を実施する場合にサブメータ精度の測位が必要になる。そこで、富山高等専門学校で定点 DGPS 測位観測を行い準天頂衛星システム(QZSS)の L1-SAIF による DGPS 測位の精度について、運輸多目的衛星用衛星航法補強システム(MSAS)と比較することにより調べた。

その結果、QZSS と MSAS による位置には、約 0.4m の差があり、DRMS はほぼ同じであるが、QZSS は時々誤差が大きくなる傾向があり、実験運用の現状では、MSAS に比べてやや安定性が劣ることが分かった。

キーワード：電波航法・通信、QZSS、DGPS 測位、測位精度、

1. はじめに

2000 年 5 月 2 日 13 時(JST)より GPS の SA(標準測位サービスの精度劣化)が解除されて標準測位サービスの精度が約 100m から約 10m に改善された。人や自動車等の航法システムを考える場合、測位精度 10m は十分な精度とはいえない。本研究室では、水深 10m~20m の海底に波浪計を設置して数ヶ月間観測した後に波浪計を回収する作業を行っているが、海底の波浪計を容易に発見するためには、1m 程度の測位精度が必要である。

富山周辺海域で、約 1m の測位精度を実現するためには、海上保安庁舩倉島局から送信される補正データや運輸多目的衛星から送信される位置補正データを用いて DGPS 測位を行う必要がある。これらのシステムは衛星航法補強システムと呼ばれ、前者は海上保安庁 DGPS、後者は運輸多目的衛星用衛星航法補強システム(MSAS: MTSAT Satellite-based Augmentation System)といい、富山周辺における測位精度について既に報告されている。⁽¹⁾さらに、これらの衛星航法補強システムとは別に、日本が独自に生成した位置補正データを準天頂衛星(地球同期軌道衛星)を用いて送信する準天頂衛星システム(QZSS: Quasi-Zenith Satellite System)の運用が 2018 年 4 月から始まる予定であり、2010 年から位置補正信号(L1-SAIF 信号)の送信実験が行われている。

富山では、現在運用中の衛星航法補強システムである海上保安庁 DGPS(舩倉島局)と MSAS の 2 つのシステムが利用可能であるが、富山湾沿岸では、舩倉島局からの補正データの受信が夜間については困難であるので、常時安定して補正データの受信が可能なシステムは MSAS だけである。そこで、本研究では

QZSS の L1-SAIF 信号を用いて DGPS 測位を行い、その測位精度について、MSAS による DGPS 測位の結果と比較することにより検証した。これらの結果について以下に報告する。

2. 衛星航法補強システム

衛星航法補強システムには様々なシステムがあるが、ここでは本研究で使用された準天頂衛星システムと運輸多目的衛星用衛星航法補強システムについて簡単に述べる。

2.1 準天頂衛星システム

準天頂衛星システムは日本が日本周辺(アジア・オセアニア地域)で運用を計画している衛星航法システムであり、2018 年 3 月までに地球同期軌道衛星 4 機を打ち上げ、2018 年 4 月から実用化される予定である。QZSS の特長のひとつはユーザに対する衛星の仰角を高くできることで、都市部や山間部における通信・測位に有効なことである。この性質を利用して広い範囲にわたるユーザに対して高仰角から補強信号を放送することで、アベイラビリティが高く、かつ測位精度及び信頼性にすぐれた測位システムの構築を目指している。2010 年 9 月 11 日に、準天頂衛星 1 号機(みちびき)が打ち上げられ、2011 年 6 月 22 日に L1-C/A と L2C 信号、7 月 14 日に L5 と L1C 信号のアラートフラグが解除され測位信号が送信されている。みちびきの主要諸元を表 1 に示す。⁽²⁾

QZSS が放送する測距信号のうち、サブメータ級の補強信号である L1-SAIF(submeter-class augmentation with integrity function)は、デифференシャル補正情報等により GPS を補強することで、1m より良好な測位精度を得ることを目標として電子航法

研究所により開発された信号である。⁽³⁾

表 1 みちびきの主要諸元

	Specification
Orbit	Quasi-Zenith Orbit Eccentricity:0.075, Inclination:41° Period:23 ^h 56 ^m 4 ^s
Mass	About 4tons (Dry mass: about 1.8tons)
Design life	10 years
Power	5.3kW 以上
Positioning code	L1-C/A, L1-SAIF, L1C(1575.42MHz) L2C(1227.60MHz), L5(1176.45MHz) LEX(1278.75MHz)

2.2 運輸多目的衛星用衛星航法補強システム

2007年09月27日から国土交通省により正式運用されている運輸多目的衛星 MTSAT(Multi-functional Transport Satellite)を用いた衛星航法補強システム。GPS 衛星の位置誤差、GPS 衛星時計同期誤差、電離層電波伝搬誤差、GPS 信号の異常等に関する情報を放送している。

3. 定点測位観測システム

富山高等専門学校射水キャンパスでは、GPS 定点測位観測が行われている。本研究で用いた測位観測システムを図1に示す。富山高等専門学校射水キャンパス第1専門棟の屋上に2周波数対応GPSアンテナが設置され、アンテナからの信号は、GPS 信号増幅分配器(GPS Amplified Splitter)を介して、QZSS 用GPS受信機とMSAS 用GPS受信機に入力される。そして、各GPS受信機においてQZSS またはMSAS の位置補正データを用いてDGPS 測位が行われ、その結果は、NMEA0183形式のGGA センテンスとして出力される。GGA センテンスは、記録用計算機に入力され、1日毎にファイル名を変えて保存される。

GPS 定点測位観測システムのアンテナ位置は、国土地理院電子基準点(新湊, ID:020968)を基準として、2006年7月2日00時00分00秒~7月3日01時00分01秒(UTC)の擬似距離データを用いて相対測位により決定されたものであり、その位置(緯度, 経度, 楕円体面上高さ)を表2に示す。

表 2 GPS 定点測位観測システムのアンテナ位置

Latitude	36° 45' 31.817"N
Longitude	137° 09' 31.356"E
Height above ellipsoid	56.74m



図 1 GPS 定点測位観測システム

4. 測位データの解析

GPS 定点測位観測システムで観測された測位データ(GGA センテンス)の解析方法について簡単に紹介する。測位データは、緯度・経度・高さで出力されるので、これを地球重心を原点とする地球固定座標(x', y', z')に変換し、この座標(x', y', z')をさらに地表面座標系(X-Y 平面を観測点における地球楕円体に対する測地学的接平面とし、観測点を座標原点とする座標系)に変換した。⁽⁴⁾本研究における地表面座標系の原点は、表2に示されたアンテナ位置である。

次に、この地表面座標系における測位点の位置を(x_i, y_i, z_i)とすると、3次元測位における測位誤差 D_i は次式で表される。

$$D_i = (x_i^2 + y_i^2 + z_i^2)^{0.5} \quad i=1 \sim n, \quad n: \text{測位点数} \quad (1)$$

また、2次元測位における誤差は、次のようになる。

$$D(x-y)_i = (x_i^2 + y_i^2)^{0.5} \quad i=1 \sim n, \quad n: \text{測位点数} \quad (2)$$

3次元測位において、 n 個の測位点の平均誤差をDRMS で表すと、

$$DRMS = ((D_1^2 + D_2^2 + \dots + D_n^2) / n)^{0.5} \quad (3)$$

となる。また、2次元測位における平均誤差 $DRMS(x-y)$ は、次のようになる。

$$DRMS(x-y) = ((D(x-y)_1^2 + D(x-y)_2^2 + \dots + D(x-y)_n^2) / n)^{0.5} \quad (4)$$

DGPS 測位が行われ、かつ Age が 7 秒未満の測位データを用いて、GPS 週(1721 週～1751 週)毎に DRMS と $DRMS(x-y)$ 、および平均位置を求めてそれらを図にした。

5. 解析結果

GPS 週の 1721 週～1751 週(2012 年 12 月 30 日～2013 年 8 月 3 日)までの Age が 7 秒未満の測位データを用いて、QZSS-DGPS 測位の精度について、MSAS-DGPS 測位の結果と比較することにより調べた。図 2 は、1721 週～1751 週までの GPS 週毎に求めた 3 次元 DRMS であり、図 3 は 2 次元 DRMS である。これらの図において、+ は QZSS、× は MSAS の値を示している。

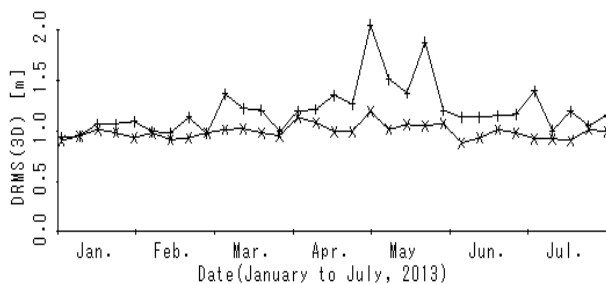


図 2 GPS 週毎に求めた 3 次元 DRMS
(+:QZSS, ×:MSAS)

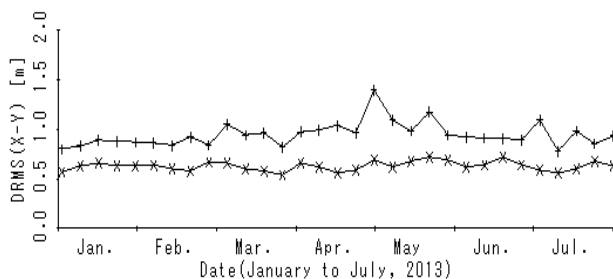


図 3 GPS 週毎に求めた 2 次元 DRMS
(+:QZSS, ×:MSAS)

図 4 は、1721 週～1751 週までの GPS 週毎に求めた DGPS 測位点の平均位置 (X-Y 平面内の平均位置) であり、黒点は QZSS の平均位置、青点は MSAS の平均位置を示している。

2013 年 5 月 23 日の QZSS による DGPS 測位において、異常測位が発生し、2 次元 DRMS が 17.99m、3 次元 DRMS が 24.32m と異常に大きい値となっていた

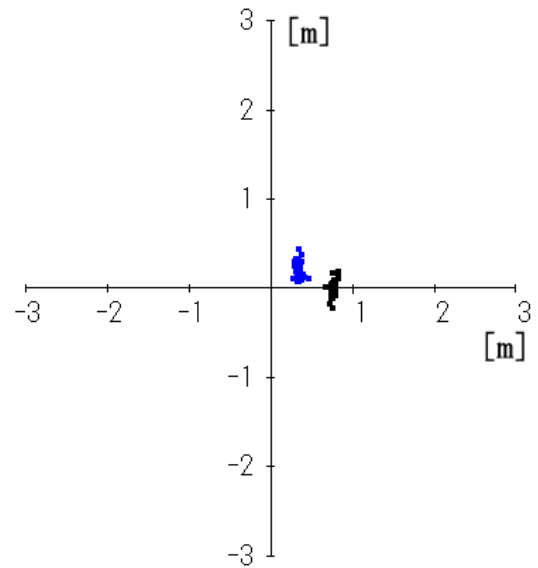


図 4 GPS 週毎に求めた DGPS 測位点の平均位置
黒点:QZSS の平均位置, 青点:MSAS の平均位置

ので、これらの図における QZSS の値は、2013 年 5 月 23 日の DGPS 測位データを除去して計算されている。

これらの DRMS は、表 2 のアンテナ位置から各測位点までの距離を誤差として計算されているが、QZSS の全測位点の平均位置は、 $x=0.8m, y=0.0m, z=-0.1m$ 、MSAS の平均位置は $x=0.4m, y=0.2m, z=-0.1m$ であった。

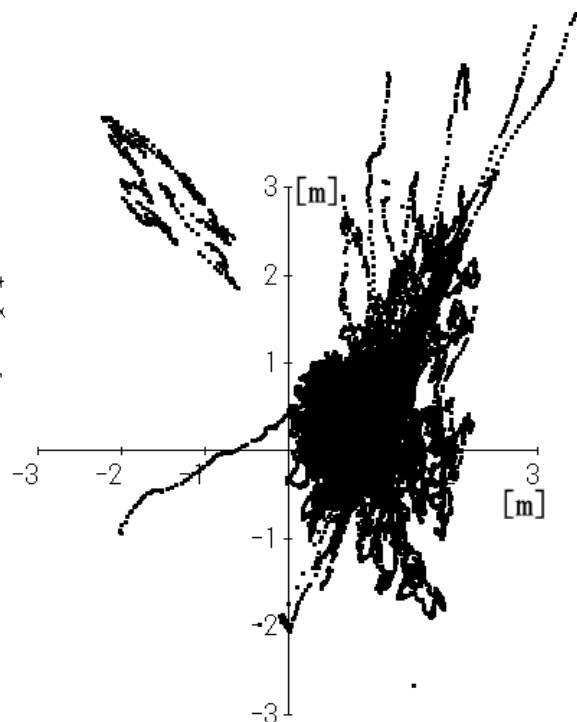


図 5 2013 年 5 月 22 日の QZSS DGPS 測位点
平均位置: $x=0.9m, y=0.3m, z=-0.4m$
 $DRMS(x-y): 1.2m, DRMS(3D)=1.7m$

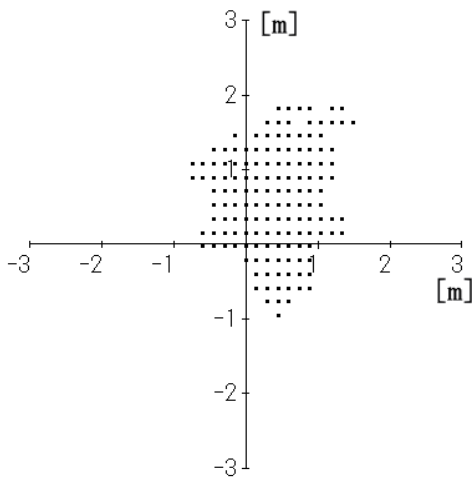


図6 2013年5月22日のMSAS DGPS測位点
平均位置: $x=0.4\text{m}$, $y=0.4\text{m}$, $z=-0.3\text{m}$
 $\text{DRMS}(x-y): 0.7\text{m}$, $\text{DRMS}(3D)=1.1\text{m}$

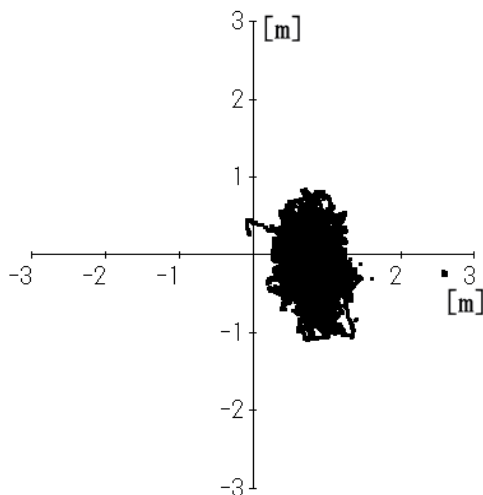


図7 2013年1月8日のQZSS DGPS測位点
平均位置: $x=0.8\text{m}$, $y=-0.1\text{m}$, $z=-0.2\text{m}$
 $\text{DRMS}(x-y): 0.9\text{m}$, $\text{DRMS}(3D)=1.0\text{m}$

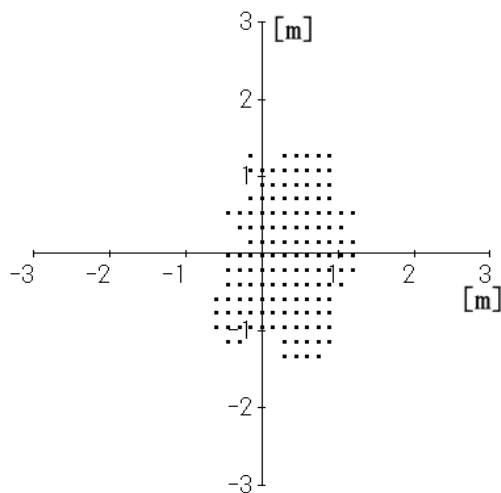


図8 2013年1月8日のMSAS DGPS測位点
平均位置: $x=0.4\text{m}$, $y=0.0\text{m}$, $z=-0.1\text{m}$
 $\text{DRMS}(x-y): 0.6\text{m}$, $\text{DRMS}(3D)=0.9\text{m}$

QZSS、MSASともに、これらの平均位置から各測位点までの距離を誤差としてDRMSを計算すると、QZSS、MSASともに、 $\text{DRMS}(x-y)=0.5\text{m}$ 、 $\text{DRMS}(3D)=0.9\text{m}$ となり、DRMSはどちらも同じであった。

次に、QZSSの測位精度が良くなかった時と良かった時の1日分のDGPS測位点($x-y$ 平面)、およびその時のMSASのDGPS測位点を図5～図8に示す。これらの図から、MSASの測位点は安定しているが、QZSSの場合は、ときどき誤差が大きくなる傾向があることが分かる。

なお、本研究で解析対象とした期間について、L1-SAIFの実験内容は必ずしも明らかではない。測位精度の向上を目的としない実験が含まれている可能性があることには注意が必要である。

5. おわりに

本研究では、富山高等専門学校で定点観測された2013年1月～7月(GPS週1721～1751)までの約7ヶ月分のAgeが7秒未満のDGPS測位データを用いて、MSASと比較することによりQZSSのL1-SAIFによるDGPS測位精度について調べた。その結果、次のことが明らかになった。

- (1) QZSSとMSASの測位点の平均位置が、約0.4m異なっていた。
- (2) 各システムの平均位置を基準として計算したDRMSは、ともに $\text{DRMS}(x-y)=0.5\text{m}$ 、 $\text{DRMS}(3D)=0.9\text{m}$ であり同じであった。
- (3) QZSSはMSASと比べて、ときどき誤差が大きくなる傾向があった。

これらの結果と、現状のL1-SAIFが実験運用であることを踏まえると、当面はQZSSよりもMSASを利用した方がよいと思われる。

参考文献

- (1) 小山雄児：富山におけるDGPSの測位精度について、日本航海学会第5回学生講演会論文集，pp. 1-8，日本航海学会，2010. 10.
- (2) 野田浩幸：準天頂衛星システム技術実証 準天頂高精度測位実験，GPS/GNSSシンポジウム2011，pp. 27-32，測位航法学会，2011. 11.
- (3) 坂井丈泰：QZSS L1-SAIF信号の概要，GPS/GNSSシンポジウム2009，pp. 81-87，2009. 11.
- (4) 河合雅司・中谷俊彦：静止衛星を測位に用いた場合の座標変換と測位計算，日本航海学会誌NAVIGATION，第119号，pp. 48-53，1994. 3.