移動体における DGPS と GPS/GLONASS 単独測位

浪江 宏宗*・安田 明生**

Onboard Positioning by GLONASS and GPS with and without Differential

Hiromune NAMIE and Akio YASUDA

Abstract

GLONASS, being operated by Russian Space Agency, is a world wide satellite navigation system similar to GPS of US. Although the satellite number of the system has been reduced to 15 from the FOC of 24 satellites, as the SA of GPS is not introduced, the positioning accuracy is better than that of GPS during the period of a small DOP value. The use of both GPS and GLONASS together increases the number of usable satellites and improves the accuracy and availability especially while driving in the urban canyon. The authors tried the GLONASS and GPS+GLONASS positioning while driving car and navigating ship. The accuracy is evaluated against the DGPS with MF marine radio beacon correction data dissemination. It is confirmed that the higher accuracy is available in the positioning by GLONASS with small DOP value and GPS+GLONASS with more than 3 GLONASS satellites than that by GPS alone.

1. はじめに

GLONASS(Global Navigation Satellite System)は旧ソ連によって開発され、ロシア共和国により運用されているGPSと同様の衛星測位システムである。1999年5月現在運用されているGLONASS衛星は、完成時の24機から減少し15機である。しかし、GPSにおけるSAのような故意の測位精度劣化操作が行われていないので、高精度な擬似距離測距が実時間で可能であり、GLONASS単独測位でGPS単独測位よりも高精度な実時間測位が期待できる。

このような状況において、筆者等はこれまでにほとんど報告のないGLONASSの移動体での測位状況を把握するために、自動車及び船舶の移動体で測位を行った。移動体で測位を行う場合、定点測位と異なり自動車ではビル等の建築物による衛星の遮蔽やマルチパスによる測位への影響の変化、船舶では主に進路変更に伴って発生する船上構造物(レーダ・マスト、ブリッジ等)による衛星の遮蔽、ローリング、ピッチングによって発生する、低仰角衛星からの電波の、海面によるマルチパスの測位への影響の周期的な変化等が予想される。これらは定点測位のみではその挙動を把握することは困難であり、実際に移動体で測位を行い評価する必要がある。

2. GLONASSの概要

図1にGLONASS衛星の配置概念図を示す。GPSが軌道傾斜角約55度の6軌道に4衛星ずつ配置されるのに対して、GLONASSは軌道傾斜角64.8度の3軌道に8衛星ずつ配置され、合計24衛星で運用される。しかし、1995年に一旦24衛星による運用が開始された後打ち上げが行われず、次々と衛星がその寿命によ

* 学生会員 東京商船大学大学院 (〒135-8533 東京都江東区越中島2-1-6)

**正 会 員 東京商船大学 (〒135-8533 東京都江東区越中島2-1-6)

って使用できなくなったため、昨年末までに14衛星による運用となっていた。1998年12月30日に約4年振りに衛星の打ち上げがあり、3衛星が追加されたが、その後2衛星が寿命となり、1999年5月現在15衛星での運用となっている。GLONASSにはGPSにおけるSAのような故意の精度劣化操作は行われていないので、当初の計画通り24衛星が配置されれば、単独測位でも現在のGPS単独測位SPS(Standard Positioning Service: 標準測位サービス)よりも高精度な擬似距離測距が実時間で可能になり、高精度な実時間測位が期待できる。

3. 基礎データ

移動体上での測位に先立ち、基礎的なデータを収集するために定点測位を行った。今回、測位に使用した受信機はAshtech社製GG-24一周波GPS/GLONASS受信機、及びNovAtel Communication社製二周波3151R型RT-2受信機で、GPS及びGPS/GLONASSのアンテナは東京都江東区越中島の東京商船大学航海学科実習棟の屋上の定点(北緯35度39.9884分、東経139度47.5398分、海拔高度21.89m、日本測地系)に、互いに約1m離して設置した。

図2にGLONASS単独測位及びGPS+GLONASS単独測位の約14時間にわたる毎秒の水平方向測位分布を示す。GLONASS単独測位はHDOP値が2以下の場合の測位結果も分けてプロットしている。図3には同じく高度測位結果の時系列の一例をまとめて示す。見易くするためGLONASSはWGS-84座標系における楕円体高、それ以外は海拔標高で示している。図2, 3より、GLONASS単独測位では数十秒の間に測位値の誤差が連続的に100m以上にわたって増大する現象が見られる。

表1に定点において測位に使用した衛星数の割合を示す。カッコ内は測位回数(1秒に1回測位)である。同表より、測位に使用しているGLONASS衛星の数は常に6機以下であり、上空が開けた定点でもGLONASSのみでは三次元測位に必要な4衛星に満たない割合が23.2%と、全体の4分の1を占めていることが分かる。GLONASS単独測位の測位率は68.2%にすぎず、GLONASS衛星が15機しか運用されていないことによる影響が現れている。また、三次元測位が行われていても、衛星数の減少によりHDOP値が5及び10より大きくなった割合がそれぞれ17.7%と9.4%あり、GPS単独測位と比較して誤差が大きいことが分かる。

さらに、表2にこのときの測位結果を示す。同表及び図2, 3から、GLONASS単独測位では数十秒間にわたり測位値の誤差が連続的に100m以上にまで増大することがあるため、測位精度はGPS単独測位と同程度となっている。GPS+GLONASS単独測位はGPS単独測位より精度が高いことが分かる。また、

図1 GLONASS衛星の配置概念図

図2 定点GLONASS水平方向測位分布

図3 定点高度測位結果時系列一例

HDOP値が2より小さい場合のGPS+GLONASS単独測位ではさらに高精度である。

図4にGLONASS単独測位の緯度方向測位結果と、そのとき測位に使用した衛星数及びHDOP値の時系列の一例を示す。同図より、測位に使用している衛星数は常時4機であるにもかかわらず、その配置によってHDOP値は最大40近くにまで連続的に増大し、緯度方向測位値もその時間帯に40m以上ジャンプしていることが分かる。このDOP値の増大によって、GLONASS単独測位の100m以上にのぼる連続的な測位精度の劣化が発生している。また、この測位精度の劣化により、GLONASS単独測位の2 drms

は50.18mと、測位精度劣化操作がなされていないにもかかわらず、GPS単独測位と同程度の精度となっている。以上のことから、現時点でGLONASS単独測位は24時間連続的には高精度測位が得られない状況であるといえる。しかし、表1よりGPSと併用すれば常時測位に利用できる衛星数が6衛星以上となるため、効果的であることが分かる。

次に、図5にGPS+GLONASS単独測位結果のうち、高度測位結果の時系列の一例を示す。同図より、

表1 定点測位時の衛星数の割合 [%] (カッコ内測位回数)

使用衛星数	GPS	GLONASS	GPS+GLONASS
3衛星以下	0.0 (0)	23.2 (11,634)	0.0 (0)
4衛星	0.0 (0)	43.7 (21,897)	0.0 (0)
5衛星	0.0 (0)	29.5 (14,778)	0.0 (0)
6衛星	4.7 (2,346)	3.6 (1,817)	0.0 (1)
7衛星	15.7 (7,840)	0.0 (0)	0.0 (14)
8衛星	48.0 (23,942)	0.0 (0)	0.9 (517)
9衛星	26.6 (13,278)	0.0 (0)	12.0 (7,222)
10衛星	5.0 (2,519)	0.0 (0)	12.2 (7,288)
11衛星	0.0 (0)	0.0 (0)	17.5 (10,479)
12衛星	0.0 (0)	0.0 (0)	20.3 (12,208)
13衛星	0.0 (0)	0.0 (0)	12.9 (7,740)
14衛星	0.0 (0)	0.0 (0)	20.2 (12,115)
15衛星	0.0 (0)	0.0 (0)	3.8 (2,296)
16衛星	0.0 (0)	0.0 (0)	0.2 (127)
17衛星以上	0.0 (0)	0.0 (0)	0.0 (0)
測位時間	13.9時間	13.9時間	16.7時間
HDOP値5 $\geq$	0.0% (0)	17.7% (8,868)	0.0% (0)
HDOP値10 $\geq$	0.0% (0)	9.4% (4,715)	0.0% (0)

表2 定点測位結果

項目	GPS	GLONASS	GLONASS(HDOP $\leq$ 2)	GPS+GLONASS
測位時間(1秒毎)	13.9時間	13.9時間	13.9時間	16.7時間
測位率	100.0%	68.2%	19.3%	100.0%
2 drms	49.42 m	50.18 m	22.26 m	31.66 m
高度標準偏差	31.72 m	36.42 m	16.05 m	24.57 m

図4 GLONASS測位緯度/衛星数/HDOP値の時系列の一例

図5 定点におけるGPS/GLONASS高度測位結果の時系列の一例

GPS+GLONASS単独測位では測位に使用するGLONASS衛星が4機以上、すなわちGLONASSのみで三次元測位が可能である時間帯の測位精度は、GLONASS衛星の配置によるDOP値に依存し(ただし、GPS単独測位の精度より劣化しない場合)、測位に使用しているGLONASS衛星が3機以下である時間帯の測位状況は、GPSのSAに依存することが分かる。

4. 移動体における測位実験

移動体における測位実験を自動車と船舶で行った。自動車では東京23区内を走行中に、また船舶では東京商船大学の練習船汐路丸で、東京湾及び神津島までを航行中と錨泊中に測位を行った。定点測位と異なり、移動中の測位状況を把握するための比較対象をどのように決定するかが困難な問題となる。ここでは、中波ビーコンDGPS⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾⁽⁵⁾⁽⁶⁾⁽⁷⁾の測位結果を真の値とし、同時刻の他のシステムの測位結果との差をとって評価することにした。

図6に前出の定点におけるGPS+GLONASS単独測位と同じ時間帯に測位を行った中波ビーコンDGPSの、水平方向測位分布の一例を示す。使用した受信機はTrimble Navigation社製Ag-132受信機で、中波ビーコン受信機と一体型のものである。また、表3にその測位結果をまとめて示す。中波ビーコンDGPSの測位率は100%であった。また、2 drms及び高度測位結果の標準偏差は共に1 m以下であり、GPS/GLONASS単独測位の測位精度評価に利用できると考えられる。測位に使用した衛星数がGPS単独測位(表1参照)よりも少ないのは、GPS基準局(神奈川県県庁)と利用者局間距離が約60km以上離れており、両局で同時に受信できる衛星の組み合わせが異なったためである。

ここで、表4にこの定点測位において中波ビーコンDGPSの測位結果を真の値として、同時刻の他の測位結果との差をとったものの標準偏差を示す。同表より、定点測位で2 drms及び高度測位結果の標準偏差が共に1 m以下であった中波ビーコンDGPSの測位結果を真の値であると仮定しているが、必ず誤差を含んでいるので、測位精度そのものを評価できていないとは言えないが、おおよその目安になると考えられる。よって、今回はこの評価方法を使用することにした。

4.1 自動車における測位実験

写真1に今回の実験に使用した自動車の外観、写真2に走行した銀座周辺の様子を車内から撮影したものの一例を示す。また、図7に今回行った自動車での都内走行実験の軌跡を全て示す。今回の実験は東京商船大学を出発して、皇居周辺、東宮御所周辺、銀座周辺、上野方面、亀戸方面を走行した。同図より、都内の市街地ばかりを走行したことが分かる。写真2に示すように道路の両脇に上空を覆うようにビルが林立する市街地や、一方通行の道路等比較的狭い道路を中心に走行したため、受信衛星数が4機以下となり三次元測位ができなくなる状況が頻繁に発生した。すなわち、衛星の受信状況が劣悪な状況で今回の実験を行ったことになる。

図6 定点における中波ビーコンDGPSの水平方向測位分布の一例

表3 定点における中波ビーコンDGPSの測位結果

項 目	測位結果	使用衛星数	割合 (測位回数)
測位時間 (1 秒毎)	13.9 時間	5 衛星	1.9 % (964)
測 位 率	100.0 %	6 衛星	30.3 % (15,174)
2 d r m s	0.95 m	7 衛星	45.5 % (22,754)
高度標準偏差	0.68 m	8 衛星	22.2 % (11,114)

表4 定点測位結果の差(中波ビーコンDGPS基準)

項 目	GPS	GLONASS	GLONASS(HDOP ≤ 2)
測 位 回 数	49,421	34,164	9,657
2 d r m s	52.47 m	57.36 m	20.75 m
高度方向標準偏差	31.76 m	36.87 m	13.40 m

写真1 自動車の外観

写真2 銀座周辺の状況の一例

図8に常時GLONASS衛星4機以上で測位しながら皇居前広場を3周したときの測位結果を示す。それぞれ「・」はGPS単独測位、「○」はGLONASS単独測位、「□」は中波ビーコンDGPS測位の結果を示しており、3秒毎に測位結果をプロットしている。同図より、GPS単独測位はSAの影響により自動車の進行方向に対して左右にずれを生じており、同じ車線を走行した3回の周回軌跡は全て数十メートルずれていることが分かる。

GLONASS単独測位は衛星電波の遮断が発生し、DOP値が急激に増大した場合、定点測位で見られたと同様に100m程度の測位値のジャンプが見られる。しかし、GLONASS単独測位と中波ビーコンDGPS測位による周回軌跡は、GPS単独測位の結果と比較してより良く重なり合っていることが分かる。

図9にこれらの測位結果と同時刻の中波ビーコンDGPS測位結果の差をとったものの水平方向分布を示す。上空の開けた定点測位では、測位分布は衛星配置に依存するが、今回のように自動車で市街地を走行した場合には、周囲の建造物等による衛星電波の遮蔽が頻繁に発生し、測位に使用する衛星が頻繁に切り

図7 自動車における東京都内測位結果(全走行軌跡)

図8 自動車における皇居前広場測位結果

図9 自動車における測位の精度評価

表 5 自動車における測位時の衛星数の割合[%](カッコ内測位回数)

使用衛星数	GPS	GLONASS	GPS+GLONASS	中波ビーコン DGPS
3 衛星以下	19.1 (6,096)	88.8 (24,502)	10.7 (1,726)	10.6 (3,512)
4 衛星	10.0 (3,184)	7.9 (2,171)	7.0 (1,133)	15.0 (4,963)
5 衛星	14.5 (4,643)	3.1 (857)	11.8 (1,899)	22.3 (7,369)
6 衛星	17.7 (5,640)	0.2 (45)	19.7 (3,184)	25.5 (8,428)
7 衛星	20.9 (6,669)	0.1 (26)	17.6 (2,847)	18.6 (6,141)
8 衛星	13.0 (4,138)	0.0 (0)	12.5 (2,023)	8.4 (2,766)
9 衛星	4.9 (1,568)	0.0 (0)	9.1 (1,470)	0.0 (0)
10 衛星	0.0 (15)	0.0 (0)	4.1 (657)	0.0 (0)
11 衛星	0.0 (0)	0.0 (0)	3.0 (478)	0.0 (0)
12 衛星	0.0 (0)	0.0 (0)	2.6 (426)	0.0 (0)
13 衛星	0.0 (0)	0.0 (0)	1.7 (274)	0.0 (0)
14 衛星	0.0 (0)	0.0 (0)	0.2 (40)	0.0 (0)
15 衛星以上	0.0 (0)	0.0 (0)	0.0 (0)	0.0 (0)
測 位 時 間	9.2 時 間	7.7 時 間	4.5 時 間	9.2 時 間
HDOP 値 5 $\geq$	8.3 % (2,650)	15.7 % (4,331)	- (-)	6.8 % (2,247)
HDOP 値 10 $\geq$	2.6 % (846)	10.4 % (2,874)	- (-)	3.4 % (1,110)

替わるため、測位分布は予測できない。

表 5 にそのときの測位に使用した衛星数の割合をまとめて示す。自動車で移動することによって周囲の環境が変化し、測位に使用する衛星の切り替わりが頻繁に発生する。また、高速道路の高架下を通過する場合など、衛星を全く受信できないこともある。このため、HDOP 値が 5 及び 10 より大

きくなる場合が定点測位時と比較して増加している。定点における GPS 単独測位では HDOP 値が 5 より大きくなることはなかったが、移動体走行中では 8.3%、10 より大きくなる場合が 2.6% である。また、三次元測位が不可能となる 3 衛星以下の割合も同様に増加しており、全ての測位システムで 10% を越えていることが分かる。GPS 単独測位は 19.1% に増加しており、GLONASS 単独測位では 90% 近くが 3 衛星以下であった。しかし、現状の GLONASS 衛星の運用状態でも、GPS と GLONASS を併用することによって三次元測位が可能な 4 衛星以上の割合が GPS 単独測位の 80.9% から 89.3% に上昇することが分かる。GLONASS 衛星が 24 機運用されればさらなる測位率の向上が期待できる。

次に、表 6 に中波ビーコン DGPS を基準にした、水平方向放射状差と高度測位結果の差の標準偏差をまとめて示す。なお、GLONASS 単独測位では測位率は 30.6% と低く、測位全体で 2 時間分程度の測位回数 (1 秒に 1 回測位) となっている。市街地を走行した場合、建造物等による衛星電波の遮蔽によって測位に使用した衛星数が減少し、DOP 値が増大する。また、複雑なマルチパス環境にあると考えられる。ここで、中波ビーコン DGPS の測位結果を真の値として評価しているが、定点測位で差をとって評価した場合を例にとっても、真の値であると仮定した中波ビーコン DGPS の測位においても同様に誤差が増大しているということは容易に推測できる。実際に表 2, 4, 6 より、GPS 単独測位に注目すると、定点測位結果で 2 drms が 49.42m であったものが、同じ結果を使用して中波ビーコン DGPS の同時刻の結果との差をとったものの 2 drms は 52.47m、さらに自動車で行中に差をとったものの 2 drms は 162.94m と値が増大していることが分かる。この誤差増大の影響は GPS 単独測位にのみ現われるものではなく、当然真の値であると仮定した中波ビーコン DGPS の結果にも現われているはずで、このため評価結果は表に示すような値になったと考えられる。現状では運用されている GLONASS 衛星の数が少ないため、GLONASS 単独測位と GPS 単独測位において、測位精度に有意な差は見られなかった。

表 6 自動車における測位結果の差(中波ビーコン DGPS 基準)

項 目	GPS	GLONASS	中波ビーコン DGPS
測位時間 (1 秒毎)	9.2 時間	7.7 時間	9.2 時間
測 位 率	76.4 %	30.6 %	89.4 %
測 位 回 数	28,389	4,996	-
2 d r m s	162.9 m	104.3 m	-
高度方向標準偏差	105.5 m	115.1 m	-

表7 船舶における受信衛星数の割合[%](カッコ内測位回数)

使用衛星数	GPS		GLONASS		GPS+GLONASS		中波ビーコン DGPS	
3 衛星以下	0.0	(0)	80.8	(34,524)	0.0	(0)	0.3	(83)
4 衛星	0.0	(0)	17.7	(7,578)	0.0	(0)	4.5	(1,402)
5 衛星	0.0	(2)	1.5	(650)	0.0	(0)	9.1	(2,825)
6 衛星	0.3	(114)	0.0	(0)	0.0	(0)	13.6	(4,220)
7 衛星	9.3	(3,980)	0.0	(0)	0.1	(25)	40.0	(12,416)
8 衛星	33.3	(14,233)	0.0	(0)	0.6	(249)	26.3	(8,165)
9 衛星	37.6	(16,062)	0.0	(0)	6.7	(2,865)	6.2	(1,919)
10 衛星	16.7	(7,129)	0.0	(0)	22.0	(9,425)	0.0	(0)
11 衛星	2.9	(1,233)	0.0	(0)	29.9	(12,781)	0.0	(0)
12 衛星	0.0	(1)	0.0	(0)	24.9	(10,637)	0.0	(0)
13 衛星	0.0	(0)	0.0	(0)	12.6	(5,380)	0.0	(0)
14 衛星	0.0	(0)	0.0	(0)	3.2	(1,364)	0.0	(0)
15 衛星	0.0	(0)	0.0	(0)	0.1	(31)	0.0	(0)
16 衛星以上	0.0	(0)	0.0	(0)	0.0	(0)	0.0	(0)
衛星受信時間	11.9 時間		11.9 時間		11.9 時間		8.6 時間	
HDOP 値 5 ≥	-	(-)	-	(-)	0.0 %	(0)	0.2 %	(59)
HDOP 値 10 ≥	-	(-)	-	(-)	0.0 %	(0)	0.1 %	(34)

4.2 船舶による測位実験

次に、東京商船大学の練習船汐路丸III世(全長49.93m, 総トン数425 t)で、東京湾を南航中及び神津島まで航行中に測位する実験を行った。図10に東京湾を汐路丸で南行中に中波ビーコンDGPSを基準にして、同時刻の測位結果の差をとったGPS+GLONASS単独測位の水平方向分布を示す。

次に、表7に汐路丸における受信衛星数の割合をまとめて示す。GPS及びGLONASSのそれぞれの単独測位は行っていないが、GPS+GLONASS単独測位時の各受信衛星数の出力結果から求めた。海上においては上空が比較的開けており、船舶の動揺によって低仰角の衛星の受信状況が変化することが特徴である。同じ移動体でも、都内を自動車で行った場合の表5と比較して測位に使用した衛星数は多く、GPS単独測位及びGPS+GLONASS単独測位では常時5衛星以上を測位に使用していたことが分かる。しかし、中波ビーコンDGPSでは測位に使用している衛星が3機以下になる場合や、HDOP値が5より大きくなる場合が発生しており、船舶の動揺や船上構造物による衛星電波遮蔽の影響が現れていることが分かる。しかし、この影響は船舶の設計時からGPSもしくはGPS/GLONASSアンテナを最適な位置に取り付けることにより改善できる。同表より、GPS+GLONASS単独測位では常時7衛星以上使用して測位がなされており、GPSのSAが解除されればDGPSに近い精度で測位できると考えられる。

また、表8にその2 drmsと高度測位結果の差の標準偏差をまとめて示す。それぞれ40mと20m前後であ

表8 船舶における測位結果の差
(中波ビーコンDGPS基準)

項 目	GPS+GLONASS	中波ビーコン DGPS
測位時間(1秒毎)	11.9 時間	8.6 時間
測 位 率	99.6 %	99.7 %
測 位 回 数	30,919	-
2 d r m s	47.48 m	-
高度方向標準偏差	25.68 m	-

図10 船舶における測位の精度評価

り、現状はこの程度であるといえる。

5. まとめ

今回、これまでにほとんど報告のないGLONASS単独測位及びGPS+GLONASS単独測位の移動体での測位状況を把握するために、自動車及び船舶で移動中に測位を試みた。

市街地を走行する自動車における測位では、定点測位と比較して測位に使用できる衛星数が減少した。GLONASS単独測位では測位率は30.6%と低い、GPSと併用することにより三次元測位が可能な4衛星以上を測位に使用できる割合が89.3%以上と、GPS単独測位の80.9%より8.4%高くなり有効である。この値は、GLONASS衛星数が当初の計画に近づけば更に改善される。自動車における測位では、測位に使用できる衛星数が重要であり、測位率を向上させるため及びDOP値を改善するためにGPSとGLONASSの併用が望ましい。現状におけるGPS+GLONASS単独測位の精度は、HDOP値が2より小さい場合、標準偏差で20m前後であった。

海上を航行中の船舶における測位では、主に船舶の動揺による受信衛星の切り替わりが頻繁に発生するが、ほとんどが低仰角の衛星であるため測位への影響は少ないことが分かった。しかし、GPSとGLONASSを併用すれば、常時7機以上の衛星を測位に使用することができ、GPS+GLONASS単独測位の精度は2 drmsで40m、高度方向標準偏差で20m前後であった。

将来GPSのSAも解除されると聞いているので、今後GLONASS衛星の打ち上げにより、測位精度の向上が期待できる。

最後にGPS/GLONASS受信機Ashtech GG-24を貸与頂きましたDXアンテナ社、自動車を貸与頂きました日本自動車連盟に謝意を表します。

参 考 文 献

- (1) 安田明生・浪江宏宗・岡村知則・新井貴之：「DGPS補正データのデータ放送による伝送」，日本航海学会誌NAVIGATION第128号，pp.48～54，1996年6月25日。
- (2) 安田明生・岡村知則・浪江宏宗・川村雅志：「中波ビーコンに重畳されたDGPS補正データ放送の受信」，日本航海学会論文集第95号，pp.45～50，1996年9月25日。
- (3) Akio YASUDA, Hiromune NAMIE, Naoto TANAKA, Takahiro YAMADA and Takuya TAKAHASHI, "DGPS Correction Data Broadcasting in Japan by MF Marine Radiobeacon and Evaluation of the Positioning Accuracy", Proceedings of the 9th International Technical Meeting of the satellite Division of the Institute of Navigation ION GPS-96 Part 1 of 2, pp.385-392, 17 Sep.1996.
- (4) 高橋卓也・安田明生・浪江宏宗：「DGPS測位における伝送誤りを含む補正データの有効な利用方法の検討」，平成8年度電子情報通信学会東京支部学生会第2回研究発表会講演論文集，p.20，1997年3月6日。
- (5) 鈴木智明・安田明生・浪江宏宗・毛 碩峰：「中波ビーコン電波に重畳された補正データを用いたDGPS連続測位」，平成8年度電子情報通信学会東京支部学生会第2回研究発表会講演論文集，p.21，1997年3月6日。
- (6) Akio YASUDA, Naoto TANAKA and Hiromune NAMIE, "DGPS Correction Data Dissemination in Japan and Evaluation of the Positioning Accuracy", GNSS 98-ACTES Proceedings-Tome 2 VII-P-02, pp.1-6, 20 Oct. 1998.
- (7) 安田明生・浪江宏宗・田中直人・李 大軍・樊 春明：「日本におけるDGPS補正データ放送の現状と測位精度評価」，日本航海学会誌NAVIGATION第138号，pp.70～72，1998年12月25日。

質 疑 応 答

惟村和宣(運輸省 電子航法研究所)：GLONASSが4衛星受信できていても誤差の増大が見られるが、このときのDOPはどうなっていたのか？

浪江宏宗：本文中の図4にも示しましたが、測位にGLONASS衛星を4機使用していてもHDOP値が40近くにまで増加する場合があります、この時間帯では緯度方向測位結果に30m以上にわたるジャンプが発生していました。このことから、測位に使用している衛星数と共に、DOP値にも十分注意する必要があると考えます。