中波ビーコンに重畳されたDGPS補正データ放送の受信

安田 明生 * ・ 岡村 知則 **
浪江 宏宗 *** ・ 川村 雅志 *

Reception of the DGPS Correction Data Broadcasting by MF Marine Radiobeacon

Akio YASUDA, Tomonori OKAMURA,
Hiromune NAMIE and Masashi KAWAMURA

Abstract

The test transmission of DGPS correction data (Type-1 message at the moment, to be shifted to Type-9 in the regular operation) in Japan has been carried out since December 1995 from MF beacon stations at Turugi-saki (35°08'N, 139°41'E) and Daioh-saki (34°16'N, 136°54'E). Their output power and the transmission rate are 130 W and 200 bps respectively. The cover area of the original mission of the radiobeacon is 200 km. The reception rate in Tokyo and Sagami Bays, inside the circle of 50 km from Turugi-saki station, is observed to be more than 99% on 'Shiojimaruru'. The maximum duration of the failed reception was 13.2s. It is short enough to obtain the accurate DGPS positioning.

The authors also tried to receive it on land in Tokyo urban area about 50km away from Turugi-saki station. The correction data are acquired on a running ordinary passenger car. A fairly well reception rate is available except on a way surrounded by tall buildings. Thus it would be applicable to the car navigation set, since it works well owing to the jointly used INS if correct positions are obtained even with the interval of several minutes.

1. はじめに

GPSは手軽に高精度の測位が可能なので、広く普及している。しかしながら、一般の利用者向けのサービスにはSAと呼ばれる精度劣化操作が施され、その精度は2drmsで100m程度といわれており、高精度の測位にはディファレンシャル運用が不可欠である。DGPSの擬似距離補正データは基準局から数百マイルの距離でも有効⁽¹⁾なので、これが放送されれば、多くのユーザーがその恩恵に浴する。

その手段としては、現行の放送波に重畳されることが多く、すでに欧米では、海上向け中波ビーコン波にMSK変調により補正データを重畳して放送している⁽²⁾⁽³⁾。我が国でも海上保安庁により、同様のシステム使って日本沿岸に分布する無線標識局から平成8年度以降、補正データ放送を順次開始すべく準備が進められており⁽⁴⁾、平成7年12月から大王埼と劔埼の中波ビーコンにデータを重畳して実験放送が開始された。国内の無線標識局は200km程度まで離れていても利用可能であるとされており、海上はもとより陸上での高精度測位も可能となることが期待される。本稿では、東京商船大学の定点で劔埼からのビーコン電波による補正データの受信状況を観測すると共に、DGPS測位を行った結果について報告する。また汐路丸で東京湾・相模湾を航行中及び、乗用車で東京都内、神奈川県内を走行中に補正データの受信を試みた状況につ

* 正 会 員 東京商船大学 情報通信工学研究室 (〒135 東京都江東区越中島2-1-6)

** 非 会 員 東京商船大学 情報通信工学研究室 (〒135 東京都江東区越中島2-1-6)

*** 学生会員 東京商船大学 情報通信工学研究室 (〒135 東京都江東区越中島2-1-6)

いて報告する。

2. 送信局の諸元と補正データの内容

平成7年12月、釧崎と大王崎の中波無線標識局から発射される中波ビーコン電波にDGPS補正データを重畳して実験放送が開始された。釧崎の送信鉄塔は東経139度41分、北緯35度8分に位置し、周波数309kHz、出力130Wでコールサインと共にH2Aで連続的に送信している。一方、大王崎の送信鉄塔は東経136度54.2分、北緯34度16.5分にあり、288kHzでビーコン電波と同時に船舶気象通報を実施している。平成8年5月中旬現在、これらにMSK変調で、RTCMフォーマットのDGPS補正データの中、タイプ1メッセージを情報伝送速度200bpsで送信していた。これについてはすでに多くの解説がなされている。ここでは伝送という立場で簡単に紹介する。DGPS補正データは30ビットを1ワードとして（最後の6ビットはパリティ）、DGPS基準局としての局のID番号や正時毎にリセットされる0.6秒単位のデータ更新時刻（Modified Z-Count）などを2ワードヘッダとしてまず送信し、以下5ワード毎に3衛星の擬似距離補正值とその変化率を送信する。後述の「3. 実験結果」における受信データの時間間隔は2ワードヘッダに表示されるデータ更新時間による。図1に東京商船大学で観測された釧崎局からの電波をスペクトルアナライザ（HP-8562A）で観測したスペクトルを示す。左側のピークの中心周波数は309kHzで、これが搬送波の部分に相当する。ピークより-20dBの帯域幅は400Hz以下で、MSK変調特有の狭帯域幅化が実現していることが分かる。右側のピークはビーコン局としての局識別符号送信時にのみ発生する上側波帯で、ピークの周波数間隔から700kHzの副搬送波により変調されていることがわかる。この図では分からないが、左側にはピークはなく、単側波帯通信である。データ量は衛星数に依存し、6衛星で12ワード、9衛星となる。また、17ワードとなる。また、データの更新時間間隔はこのデータ量に依存する。表1に衛星数に対するデータビット数、伝送所要時間を示す。タイプ9は低品質回線用でRTCMで指定された伝送形式で3衛星分のデータ毎に区切って送信される。表中衛星数1～3がこの場合で、例えば7衛星なら3-3-1機の順に、また8衛星なら3-3-2機の順に衛星の補正データがそれぞれ2ワードヘッダとともに繰り返し送信される。なお、平成8年5月末に送信データはタイプ9に切り換えられた。

図1 中波ビーコン電波の周波数スペクトル

表1 衛星数に対するデータ量および伝送所要時間

衛星数	ワード数	データビット数	伝送所要時間 @200bps
1	2+2	120	0.60s
2	2+3	150	0.75s
3	2+5	210	1.05s
4	2+7	270	1.35s
5	2+9	330	1.65s
6	2+10	360	1.80s
7	2+12	420	2.10s
8	2+14	480	2.40s
9	2+15	510	2.55s

3. 実験結果

表2に実験に用いた中波ビーコン受信機、光電製作所製KBR-90の主要諸元を示す。付属のホイップアンテナは長さ2mである。表3に実験に用いたNovAtel Communications社製GPS受信機3151R型の主要諸元を示す。ビーコン受信機はRTCM形式のデータを正しく受信できたとき、「8」の6形式のデータに変換して出力する。（データ中1ワードでもエラーが発生するときはそのデータは出力されない。）GPS受信機はこれを入力することにより、DGPS測位を実行する。図2に送信局と受信地点の位置関係を示す。図中に釧崎を中心とする半径50kmの円を示す。

3.1 東京商船大学における受信状況

釧路ビーコン局から陸上で直線距離約60kmの東京商船大学屋上にGPSアンテナ2台とビーコン受信機アンテナを設置し、2台のGPS受信機でそれぞれ、同時に単独測位とDGPS測位を行った。図3に1時間にわたる1秒毎の単独測位結果を、図4に釧路ビーコン局の補正データを用いて同時に収集した1秒毎1時間にわたるDGPS測位結果を示す。単独測位における2 drmsは24mであるのに対して、同図では測位点の95%を含む誤差楕円より大きく外れた点がいっつか見られるが、2 drmsは1.4mと大幅に精度が向上しており、満足なDGPS測位が行われていると考えられる。図5にこの間の衛星の配置を示す。測定開始から12分間は6衛星、その後21番衛星が加わり7衛星になり、さらに開始35分後には27番衛星が加わり8衛星となった。図6は図4の同時刻内の経度方向、緯度方向の測位結果の経時変化を示す。図7はこの間のデータ受信状況を示し、時間軸は図6と対応している。図中のワード受信率は各ワードに付されたパリティを調べ、正しく受信出来たワード数の1分当たりの割合を示す。1分間の伝送ビット数は12,000ビットなので、400ワード中の割合であり、平均で87%の受信率が得られている。一方、データ受信率はタイプ1メッセージ中のすべてのワードが正しく受信されたものの1分間の割合である。6衛星で33.3データ、7衛星で28.6データ、8衛星で25.0データ中の割合で、平均では約45%である。改善後のデータ受信率はデータ中にパリティエラーの発生したワードを含んではいるが、いくつかの衛星の補正データは利用可能であるものを正受信データ数に加えたものの1分間の割合である。図8は正しく受信されたデータに付されたデータ更新時刻の時間間隔の密度分布を示している。約5秒までのものはほとんど連続的に正しく受信されているが、例えば20秒の間隔で受信できたものはそれまでに数個のデータが受信できなかったことになる。図7において経過時間49分の所で受信率が大きく低下しているが、図6からこの時間に特に精度が劣化しているようにも見えない。20~30秒程度の伝送遅延では一般的にほとんど測位精度の劣化は無い⁽⁵⁾ので、この時間帯では伝送遅延による精度劣化は現れていないと考えられる。図9はこの時間帯ではないが、伝送遅延により測位精度が劣化した例を示す。矢印で示した時間のデータが正しく受信されたことを示す。矢印の上下方向は特に意味がない。最大28.8秒のデータの連続不受信では測位値は徐々にドリフトし、データ受信と共に0付近に戻っている様子が示されている。これはSAによる擬似距離変化率が特に大きい場合である。このときの受信実験では受信機の接地が不十分であったためS/Nが低く、受信率も良くなかったようである。その後接地を改良した結果、90%以上のデータ受信率が得られた。

3.2 海上（東京湾・相模湾）における受信状況

海上での受信実験は本学練習船「汐路丸」のコンパスデッキ左舷側のハンドレール上に、受信機付属の長さ約2mのアンテナを設置し、東京湾と相模湾でデータを収集した。館山沖から伊東沖の相模湾で操船実

表2 光電製作所製KBR-90ビーコン受信機の諸元

周波数	200~330kHz
チャンネル間隔	100Hz
受信変調方式	MSK 25, 50, 100, 200bps
感度	5 μ V/m
信号対雑音比	最小6dB
ダイナミックレンジ	5 μ V/m~100mV/m
受信回路方式	ダブルスーパーヘテロダイン
アンテナ	1~2.5mホイップアンテナ
出力データ形式	NMEA-0183

表3 NovAtel Communications 3151Rの諸元

NovAtel Communications 3151R	
単独測位、DGPS測位、RTK-GPS測位可能	
受信周波数	: L1帯 (1.57542GHz)
受信コード	: C/Aコード
トラッキング衛星	: 12チャンネル
データログ間隔	: 最短0.2秒
データ出力	: RS-232Cポート

図2 釧路ビーコン局と半径50km圏

図3 定点における単独測位分布

図4 定点におけるDGPS測位分布

図5 衛星配置の地平面図

図6 定点のDGPS測位における緯度方向、経度方向の測位値の経時変化

図7 定点における1分ごとのワード受信率とデータ受信率の経時変化

図8 定点における受信データの更新時間間隔毎のデータ数と密度分布

験中の約4.5時間のデータでは約16,000個のうち50個が受信できなかったが、この間のデータの最大受信時間間隔は13.2秒で、測位にほとんど影響を与えない。また伊東沖から東京月島の係船地までの約5時間では約18,000個中、39個の欠足にとどまった。これらのことから、DGPSが効力を発揮する陸岸沿いの航海や入港あるいは港湾内での航行には十分に効果を発揮するものと考えられる。

3.3 市街地における受信状況

一方、陸上での利用可能性を探るために、乗用車にアンテナを設置し走行中の受信を試みた。表4に日中東京商船大学付近の市街地を走行中の10分間の受信状況を示す。正門で左折し、清澄通りを南下し、晴海通りで左折し、ホテル浦島前の交差点を左折し、豊洲まで走行したときのものです。片側2車線以上の比較的周囲の開けた道路である。送信データ総数は285個、データ長は14ワードで7衛星の補正データを持っている。①は正しく受信できたデータ数を受信間隔ごとに集計したものである。②はヘッダは正しく受信できたデータ数でエラーが1ワード以上発生したものの55個を含む。このうち32個は1～2衛星のデータが欠落しているだけである。間隔3秒以下は中断なく連続して受信できたものの数を示す。

図10は東京商船大学から東京駅、皇居前、国会議事堂を経て、新宿高層ビル街、さらに高田馬場、池袋、早稲田、駒込、秋葉原を経て大学までの都内市街地を走行中のデータ受信状況で、高田馬場、駒込、秋葉原付近では片側1車線の狭い道路が多く最大で18分間もデータ受信率0が続いた。一方図11は横浜方面から国道1号線を東京方面に向かったもので、神奈川県内では平均して70%以上のデータ受信率が得られている。

最近のカーナビは、INSと併用されることが多く、数分毎にでも正確な位置が得られれば良いといわれているので、市街地でも十分にその機能を果たし得ると思われる。

4. あとがき

我が国においても、海上保安庁により航行の安全のために、釧崎と大王崎の中波ビーコン局でDGPS補正データ放送の実験放送が開始された。本研究においてはこの有効性を確かめるために、釧崎局から直線距離で陸上約60km離れた東京商船大学の定点および東京湾・相模湾を航行中の船舶上と東京都内・神奈川県内走行中の乗用車で受信状況を調べた。その結果定点ではデータ受信率は50%以下であったが、十分に高精度のDGPS測位が可能であることが示された。また、東京湾・相模湾では送信局に近いということもあってほぼ100%のデータ受信率が得られ、特にDGPSが効力を発揮するであろう陸岸沿いの航海や入港あるいは港湾内での航行には十分にその効果を期待できることがわかった。一方、乗用車での受信では神奈川県内では高い受信率を得ることができたが、東京都内では高層ビルの間の道路で十数分間にわたってデータ

図9 受信データ間隔と測位値変動の一例

表4 東京商船大学付近走行中の受信状況(データ総数285)

更新間隔	3 s以下	3 s～20 s	Times over 20 s
①	136	22	(34 s) (37 s) (70 s)
②	204	10	(28 s) (68 s)

図10 東京都内市街地走行中における受信状況

図11 横浜市から東京商船大学までの市街地走行中における受信状況

の受信ができないという場合もあった。しかしながら、陸上での応用の中心であるカーナビではINSと併用されるので、数分毎にでも正確な位置が入れば十分であるといわれているので、基準局からの距離が近ければ十分に活用できると考えられる。中波ビーコンによる補正データ放送は無料で提供されるので、今後本放送への移行および全国への展開とともに多くの新たな活用が期待される。

平成8年6月現在、データ形式はタイプ9に切り替わっている。この場合1データ当たりのワード数は最大で7なので、データ受信率はさらに良くなるであろう。東京湾・相模湾での受信に関しては全く関係ないものの、車での受信では受信状況の改善が期待される。今回は移動しながらの測位の評価は行わなかったが、改善されるはずのデータ受信率の測定と同時に、測位の評価も試みたいと考えている。

謝 辞

「航行測位衛星システムを使った測位の位置誤差補正に関する調査研究委員会」(財団法人日本航路標識協会)の木村小一委員長はじめ委員の皆様方にDGPSに関し広くご討議頂きました。また、光電製作所、藤野輝久、前田久昭の両氏には、受信機をご貸与頂くとともにデータ処理に関しご教示頂きました。ここに、謝意を表します。

参 考 文 献

- (1) 柿原利治・武田誠一・宮本佳則・野田 明・峰 雄二：基準局・移動局間距離とDGPS測位精度について，日本航海学会論文集第93号，pp.1-6，1995年9月。
- (2) Lt.M.Lunday,J.Spalding and M.Dowd：Verification of USCG DGPS Broadcast Parameter, Proceeding of ION GPS-95, pp.889-897, Sept.1995.
- (3) P. Enge, P. Levin, A. Hansen and R. Kalafus: 'Coverage of DGPS/Radiobeacons', Navigation, J.of ION, Vol.39, No.4, pp.363-381, winter 1992-1993
- (4) 塩山寿男・西田之重：ディファレンシャルGPSの動向について，日本航海学会誌，第125号，pp.46-53，平成7年9月。
- (5) 安田明生・兪 豊・浪江宏宗：DGPSのデータ伝送遅延に対する測位精度評価，日本航海学会論文集第93号，pp.7-10，平成7年9月。

質 疑 応 答

新井康夫(海技大学校)：(1) データ受信率が悪くなる原因について、S/Nやマルチパスの影響が考えられるが、今回の実験で検討されたでしょうか。

(2) 定点位置でデータ受信率が50%であっても精度が1.5m (2σ) であったとのことですが、移動体ではもっと精度が悪くなるのではないのでしょうか。

安田明生：(1) 中波の場合、S/Nはフェーディング(マルチパス)による信号の強弱(S)と周囲雑音(N)の比ですが、これにより検波性能が影響を受けます。したがってS/Nとデータ受信率は強い相関があると思いますが、今回は測定していません。

(2) 移動体の場合は周囲の状況によって使用できる衛星数が制限されたり、干渉により測距精度が悪くなる場合があるので、一般的に測位精度が悪くなると思います。データ受信率が良いか悪いかは定点であるかどうかとは無関係のように思います。