2000年　8月
APA No.76-7
財団法人 日本測量調査技術協会

中波ビーコンによるDGPS測位の都市部における利用可能性

片　哲也　斉藤　章*　鈴木芳朗**

1．はじめに

海上保安庁が平成７年末から運用している中波ビーコン波を利用したDGPS測位は、手軽に高精度なリアルタイム測位ができることから、様々な用途に対して省力化・効率化の面で有効である。しかしながら、建物の密集した都市部では十分な精度が得られない可能性があり、また、このような条件下でDGPS測位の精度・可能性を評価したものは今まで見られなかった。

そこで、本研究では、都市部の様々な環境条件下にある測点でのDGPS測位精度を確認し、測点周囲の環境の影響を評価しようとした[1)]。

さらに、評価を進めるうち、いくつかの測点でビーコン波の受信状況が悪く単独測位となり、ディファレンシャル補正の利用可能性が低下する場合があったため、ビーコン波の受信状況についても調査を行い、このような条件下にある都市部において補正を維持し、良好な測位精度を得るための方法を模索した。

2．実験の概要

DGPS測位の都市部における利用可能性を評価するために以下のような実験・評価を行った。

・都市部でのDGPS測位状況の確認

都市部での測位精度評価実験

世田谷区内50点と、川崎市内にある樹木下の７点で測位を行い、都市部でのDGPS測位の精度を示そうとした。

環境条件がDGPS補正に及ぼす影響の確認

上記の結果をもとに、環境条件の違いがDGPS補正の状況、あるいは測位結果にどの程度影響するかを確認した。

・ビーコン波の受信に影響する要因の確認

都市部での測位精度の評価実験を行った結果、ビーコン波が良好に受信できず単独測位となる場合が多いことが判明したため、その原因を明らかにするため以下の内容について確認した。

ビーコン波受信状況の地理的要因による影響の確認

ビーコン波の受信状況に対して、地理的要因に左右される環境条件（標高・障害物・特定の雑音源）がどの様に影響するかを確認するための実験を行った。

ビーコン波受信状況の時間的要因による影響の確認

いくつかの測点でビーコン波の受信状況に時間の経過による変動が見られるかの確認を行った。

ビーコン波受信時の周波数分布の確認

利用したビーコン局の周波数近傍での周波数スペクトラムを測定し、ノイズの周波数分布にどのような特徴があるか確認を行った。

3.　実験の内容と結果

3.1 都市部でのDGPS測位状況の確認

3.1.1 都市部での測位精度評価実験

調査地域の選定

市街地の環境の代表例として、東京都世田谷区内の2 km ×1 km四方に散在する50点と、樹木密生環境である川崎市内の三角点７点を選定した。世田谷区内の対象地域は、地下鉄の駅を中心とした街区で、首都高速道路の高架・住宅地・商店街・マンション／ビル等が密集しており、GPS測位が困難であると思われる測点が多数あった。

利用したビーコン基準局

海上保安庁が船舶の航行支援用に設置したビーコン

基準局のうち剱埼局を利用した。剱埼局は、約55km離れた神奈川県三浦半島にあり、309kHz で補正情報の送信を行っている。

使用機材

L1 12チャンネル GPS 受信機を内蔵する DGPS 受信機 PENTAX PTX-Pro に、アンテナ MGL-3（中波用は H-フィールド　ループアンテナ)を接続し、ハンディターミナル Workabout（PSION 社製）にてデータ記録を行った。

なお、PTX-Pro はGPS の出力フォーマットとして一般的な NMEA フォーマットのうち、GGA，GSA，SAT，VTG，ZDA の各フォーマットと、独自フォーマットによるビーコン波の信号強度、信号対ノイズ比（以後、SS・SNR と呼び、単位はそれぞれ dB μV/m，dB とする）を出力することが可能である。

この PTX-Pro で、天空障害やビーコン波に影響を与える電波障害がない比較的良好な条件下での測位データの分布は、図１に示したようになり、水平方向で1.15m rms（平均二乗誤差）の精度が得られることを確認している。

観測に際しては、キネマティック測量用の三脚を使用し1.9m の高さにビーコン／ GPS 一体型アンテナを設置し、各点において、６秒間隔で平均10データ、時間にして１分程度の観測を行った。

世田谷区内の測点50点の座標値はあらかじめ求めておいたものを使用し、今回の評価に対して十分な精度をもっている。

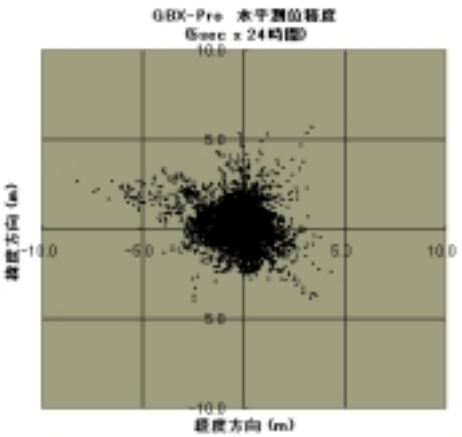

図１　比較的良好な条件下での測位データ分布状況

測位結果

各測点上で取得した GGA フォーマットのデータを元に、測位データの基準座標値から水平方向のズレ量の標準偏差を計算した結果、図２の様になった。

測点によっては、何らかの原因によりビーコン波が受信できず、部分的に補正されていないデータを含んでいたが、この図ではこのような単独測位データはその部分だけ除外してある。

図２より、測定した50点のうち水平精度1 m rms が得られた点は21点で42%であった。

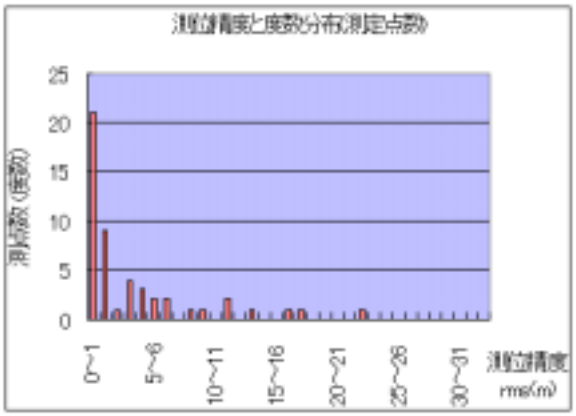

図２　世田谷区内50測点の測位精度ー度数分布

3.1.2　環境条件が DGPS 補正に及ぼす影響の確認

測位を行った場所の周囲の環境を、種類に応じて独自の基準により分類し（樹下・住宅地・高層ビル等)、各測点で記録した約１分間のデータによる測位精度を確認したものが図３である。

しかしながら、これらの分類と補正状況・測位結果との目立った関連性はみられなかった。

3.2　ビーコン波の受信に影響する要因の確認

3.2.1　ビーコン波受信状況の地理的要因による影響の確認

方法

自転車に DGPS 受信機を取り付け、ゆっくりと約１時間移動しながら位置情報（NMEA　GGA フォーマット）とともにビーコン波の SS とSNR を１秒毎に記録した。

また、移動の際には AM ラジオを受信可能な最も低い周波数（520kHz 近辺）に同調し、ビーコン波の受信状況の悪い地点では、周囲の状況を確認し、ラジ

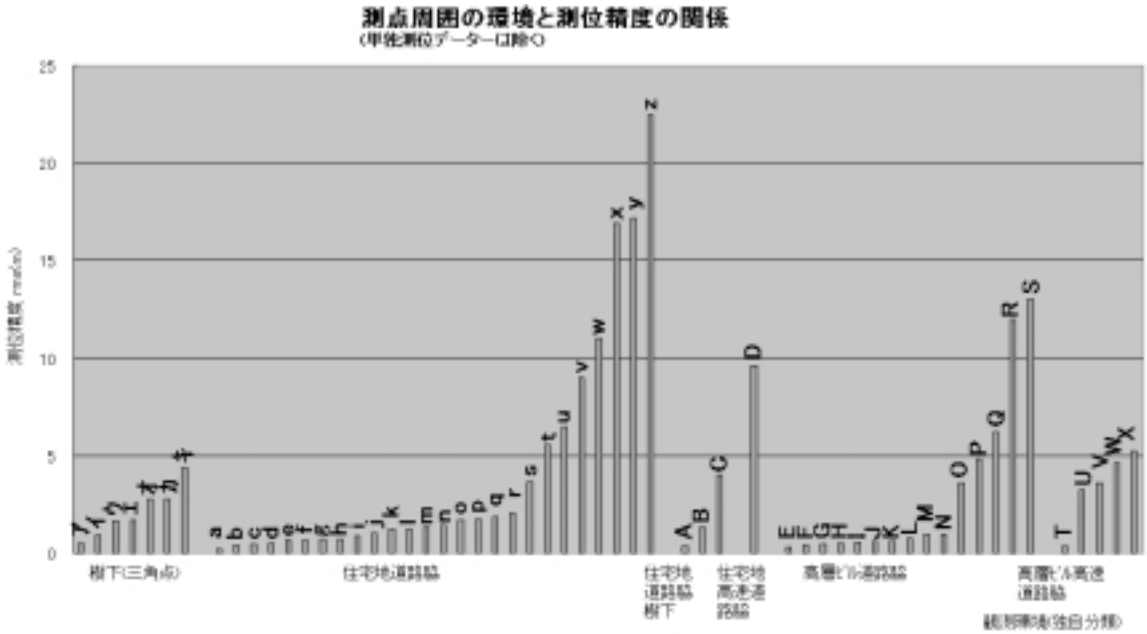

図３　測点周囲の環境と測位精度の関係

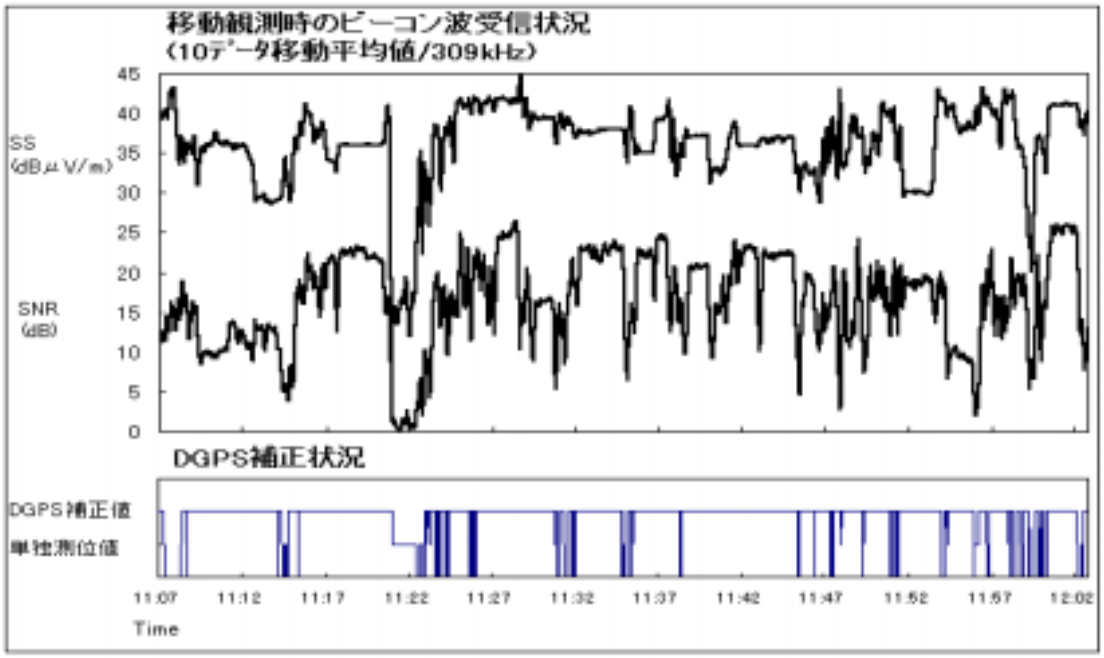

図４　自転車により移動したときのビーコン波受信状況と DGPS **補正状況（時間的変化）**

オのノイズが増大するか音感により確認した。

結果

移動時の SS とSNR、そして DGPS の補正状況を図４に示す。

全データの85.3%で DGPS 補正可能となっている。

図５は、図４のデータを平面図にあらわしたものであり、これらの図では、特定の時刻、すなわち特定の地域で SNR が低くなっているが、図５を地図と重ね

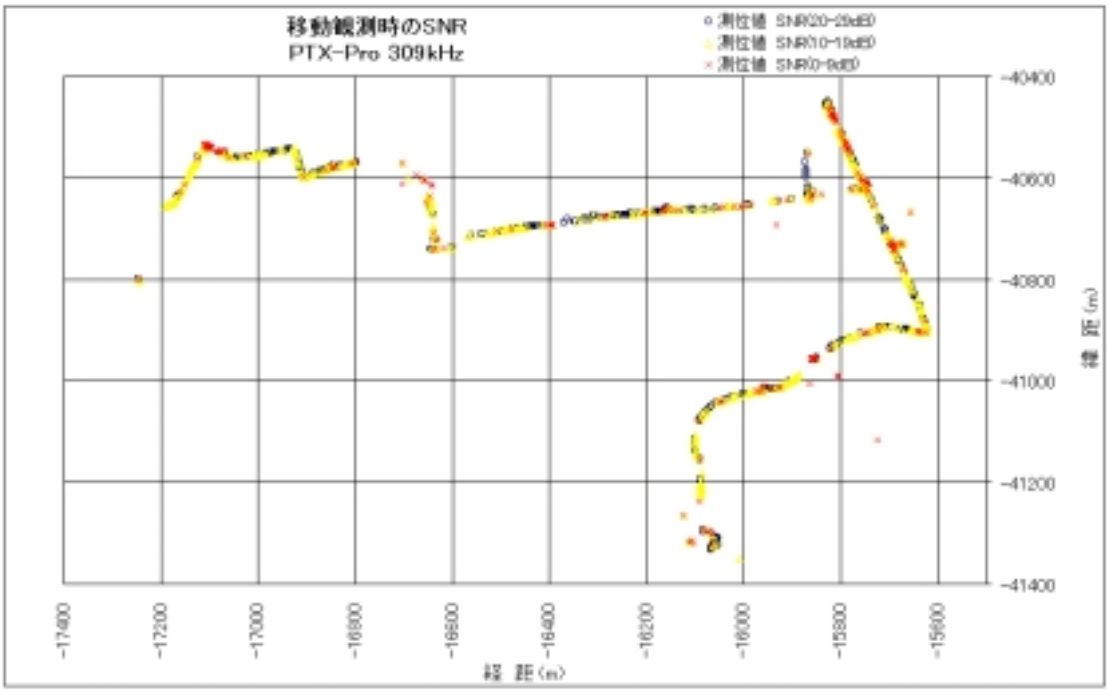

図５　自転車により移動したときのビーコン波受信状況（位置的変化）

てみても、これらの地域で特に標高が低くなっていたり、ビーコン送信局方向に顕著な障害物があるなどの特徴は見られなかった。

しかし、AM ラジオを利用してノイズをモニタした結果、ビーコン波の受信状況の悪い地域では、顕著なフェージングはなかったが、ブーン、あるいはピーと言うノイズが継続的に聞こえていた。これらの場所では、電線や柱上トランス、あるいは PHS・携帯電話中継アンテナ等がある場合が多かったが、これらのいずれかがノイズ発信源であるとの確証は得られなかった。

つぎに、ビーコン波の SNR とFix 率（測位データ数に対して DGPS 補正が可能であった割合）の関係を図６に示す。

ビーコン基準局の補正信号がある程度の強度で受信できていても SNR が悪く DGPS 補正が出来ず、結果として良好な精度が得られない場合があるが、図６からは、SNR が10dB を切ると徐々に Fix 率が低下することがわかる。

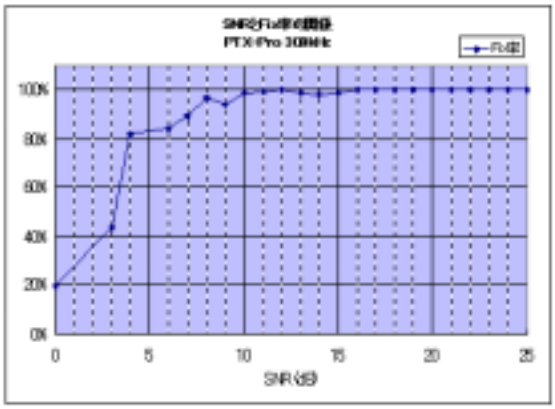

図６　SNR **と**DGPS **の**Fix **率との関係**

3.2.2　ビーコン波受信状況の時間的要因による影響の確認

方法

世田谷区内の50点のうち３点（H 点，f 点，y 点とする）を選び、各測点でアンテナを三脚上に30分間固定し、SS とSNR、および、測位データを記録した。また、ビーコン波の伝播状況の確認用として、比較的

表１　使用した測点と SS・SNR・測位精度一覧

測点	測定時間 (hh:mm:ss)	周波数	SS（平均）	SNR（平均）	FIX率	測位精度*1 水平方向（rms）
H点	00:30:00	309kHz	42.0	24.9	100%	3.18m
f点	00:34:00	309kHz	33.9	13.6	99.3%	6.90m
y点	00:30:00	309kHz	26.3	12.3	98.4%	7.41m
参考点	02:10:00	309kHz	44.1	19.2	---	---

＊１　単独測位データを除外した値。

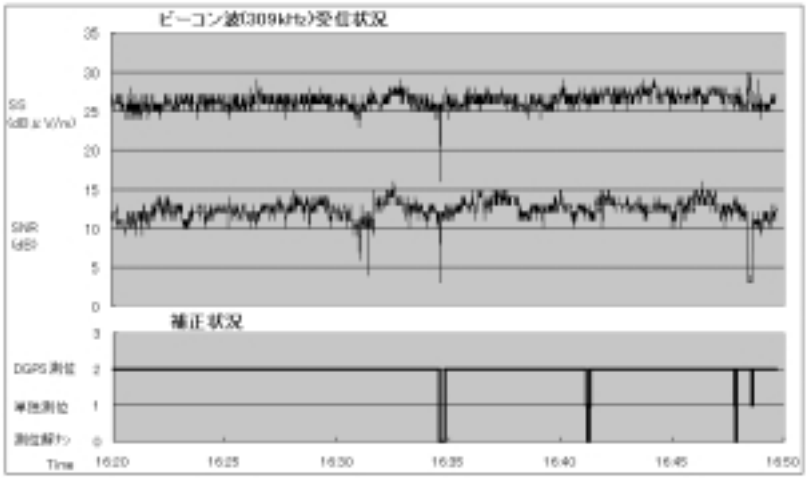

図７　y 点でのビーコン波受信状況と測位状況

受信状況の良い場所でワゴン車上にアンテナを設置し“参考点”とした。

結果

SS・SNR の平均値の低い測点では、その時間的変動も比較的大きかったが、測点の違いによる受信状況の差の方が顕著であった。

つぎに、受信状況の時間的変動の一例として y 点にて記録した SS とSNR を図７にグラフ化して示す。

y 点では、他の測点と比べて、全般に SS･SNR は低く、30分の測位時間内でも特に悪化する時があり、これに伴い補正不可能となる場合があった。

また、f点で他の日に測位を行った際には、SS が低く DGPS 補正が全く出来ないときがあったが、今回の測定では SS･SNR とも低いながらも受信可能であり、この測点ではビーコン波の受信状況は日によっても異なっていたといえる。

3.2.3　ビーコン波受信時の周波数分布の確認

方法

283.5～324.5kHz の周波数帯域をスキャンし SS･SNR の測定を行った。

結果

最初に、y 点にて約５分間の間隔をあけて測定した結果を図８に示す。図８ではビーコン局によるピークの部分は一定で、谷の部分に変動が見られる。

図９では、３つの測点で測定した周波数分布を合成したものを示す。

f 点、y 点では、良好に受信できていた H 点にくらべ、309kHz のビーコン局の送信周波であるピークの高さにも差が見られ、さらに、ピークの部分と谷の部分との差も小さい。

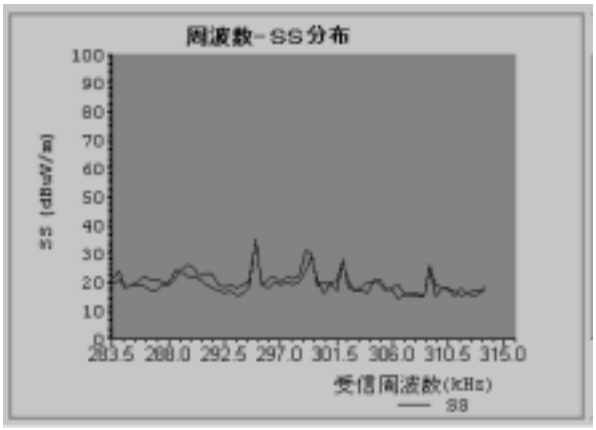

図８　y 点における周波数分布の変動

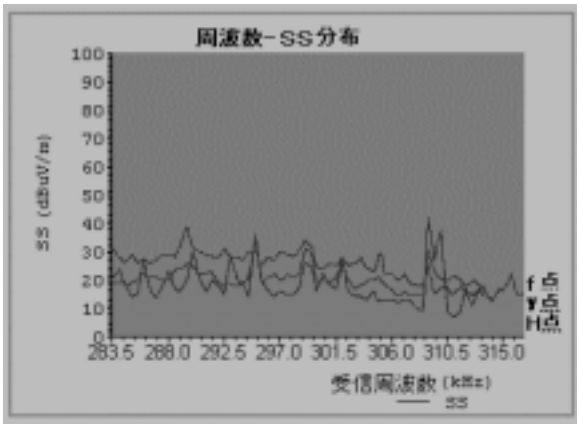

図９　f 点，y 点，H 点（上から）での周波数分布

４．考察

・「都市部での測位精度評価実験」について

世田谷区内で測定した50測点のうち42%の測点では水平精度1 m rms が得られた。

また、ビーコン波受信が不安定であったために精度の良い結果が得られなかった測点を除外することにより全体の精度が向上する。この場合、13点の測点を除外すると5 m rms 以内の精度が確保できることがわかった。

林の中でも良好な測位結果が得られたのは、DGPS 測位では C/A コードによる測位を主体としているため、木の葉等に遮られても結果に大きな影響を及ぼさないためであると思われる。

・「環境条件が DGPS 補正に及ぼす影響の確認」について

今回使用した分類と DGPS 測位結果には顕著な関連性は見られなかったが、これは測位結果が観測時の衛星配置状況・マルチパス・ビーコン波受信状況等のより細かな状況に左右されるからであると思われる。

衛星配置状況については、天空障害高度角が大きいと可視衛星数が少なく、HDOP が悪化し、ひいては測位精度が悪くなるので、HDOP の良否により測位精度がある程度予測できる。

ビーコン波受信状況が不安定な条件下では Fix 率が低下し、その結果として、測位精度が悪くなるため、PTX-Pro では出力する SNR が10dB 以上となる条件を選択することが望ましい。

・「ビーコン波受信状況の地理的要因による影響」について

今回の実験では、ビーコン波の受信には、地形・障害物の方向の影響はあまり受けない事が理解された。

また、ビーコン波の受信状況の悪い場所で、AM ラジオにより受信したノイズの音色に違いがあったことから、ノイズの原因は単一ではなく、主に、付近の PHS・携帯電話の中継アンテナ等の通信設備系に起因するノイズ、および、トランス・電線などの電力設備系に起因するノイズの影響が想定された。

特に、後者の電力設備系に起因するノイズは、電線直下を移動したときにも確認できる場合があり、工場等の設備を原因として発生したノイズが電線等を経由して放射されている可能性も疑われた。

そこで、配電線路図との照合を行ったが、あまりビーコン波の受信状況の良くなかったf点では6600V の高圧電線や電灯用トランス（100V）、y 点でも6600 V の高圧電線と動力用トランス（200V）があったが、受信状況の良かった H 点でもこれらの設備が存在しており、必ず影響を受けるとは断定できなかった。

しかし、AM ラジオを受信してノイズが顕著に大きかったエリアでは6600V の高圧電線よりもさらに高圧の電線が地下に埋設されていることを確認し、これが影響を与えていた可能性が高い。

・「ビーコン波受信状況の時間的要因による影響」について

図７の結果より、ビーコン波の受信状況が悪化した場合でも５分程度で状況が改善されることが理解され

た。しかし、このような受信状況の変動があるとDGPS補正の可能性の低下につながりやすい。

また、f点では受信状況が日によっても異なることがあり、伝播状況の変動の影響も疑われたが、今回のエリアではビーコン局からの地表波を受信していると思われ、電離層等の影響は少ないはずであり、むしろ、工場の設備等で発生するノイズが電灯線経由で混入する等、ノイズ発生源の動作の有無によるものであると推測される。

・「ビーコン波受信時の周波数分布の確認」について

同一測点で異なる時刻の信号強度を記録した図８からは、ビーコン波周波数を示すピーク部以外で谷の変動の見られる部分が、受信した帯域のノイズレベルの高さを示していると考えられる。

また、異なる測点での信号強度を記録した図９からは、測点によって、ビーコン局の送信周波であるピークの高さに差が見られ、さらに、受信状況の良くない測点ではピークの部分と谷の部分との差も小さかった。

しかし、ビーコン波によるピーク以外にはノイズの影響によるピークや特徴的な周波数分布はみられなかった。

上記の３つの実験結果よりビーコン波の受信に影響する要因を確認した結果、今回の対象地域においてはビーコン波の受信には高圧電線等の電力設備系に起因するノイズの影響が最も大きかったと考えられる。

都市部での DGPS 測位の問題点

今回の実験を通して以下のような課題が発生した。

・本来、水平1 m rms 程度の精度を達成可能なDGPS受信機を使用しても、都市部で同等の精度が得られたのは全測点のうち42%で、観測実施時の条件にも影響される。

・ノイズ等の影響によりビーコン波がうまく受信できず、補正ができない状況になった測点が全測点のうち26%でみられた。

・異なる種類のノイズが受信状況に影響しているとみられ、発生原因に応じた対応が望まれたが、原因の特定は困難であること。

対策

ビーコン波に影響を与えるノイズがある場合にどのような対応が出来るか以下に列挙する。

・選点

測点の位置を選択可能な場合には、天空障害にも配慮しながら、可能であればAMラジオ等でノイズの発生がないかを確認し、電灯線などノイズ発生源となり得るものを避ける。

・モニタリング・選局

しかし、測点位置を選択可能な場合はむしろ稀であるので、ビーコン波のSS・SNRのモニタを行い、変動がある場合には数分程度モニタを継続して状況を見極め、必要に応じて他のビーコン局に選局し直してみる。

・測定時間に余裕を持たせる

より高精度な成果を得たい場合には、比較的長時間の測定を行い、衛星の配置状況や補正情報の遅延に留意して良好な部分のデータを使用する事や、平均化することが推奨される。

５．注釈

１）本論文中の測位結果は全て2000年５月のSA（Selective Availability）解除前のものである。

SA解除後は単独測位の精度向上が顕著であるが、DGPS測位においては、測位結果に顕著な精度向上は見られなかった。これは、DGPS測位では補正によりSAによる誤差の一部が既に消去されていたためであると思われるが、特に、今回実験を行った市街地等では、単独測位の場合には衛星配置状況により大きな誤差の発生する可能性があり、DGPS測位の有効性には変わりがないと思われる。

６．謝辞

本論文の作成にあたって、関東テクノコンサルタント㈱の木下課長には観測の際に多大なご支援を頂いた。また、旭精密㈱の西川室長、中村健一氏には適切な助言を頂いた。ここに感謝の意を表する。

７．参考文献

１）長谷部　望（1995）:「電波工学」，コロナ社　P.107

２）西田　之重（1997）:「中波ビーコンによるDGPS補正データ放送の現状」，GPSシンポジウム'97 TEXT　P.119-132

3）吉沢　孝和・新田　隆三・山下　伊千造・日高　基裕（1997）：「環境及び災害の現地踏査における小型GPS受信機の利用に関する基礎的検討」，応用測量論文集　Vol.8 P.41-51

（　旭精密株式会社
*関東テクノコンサルタント株式会社
**日本大学理工学部）