

# その1 1メートルの世界

## (ディファレンシャルGPS編)

DXアンテナ(株) 石井 真

### 1. はじめに

最近では、乗用車にカーナビゲーションは当たり前という時代になってきています。そんな時代に、あえてGPSについて「衛星からの信号を受けてなんたらかんたら…」などという説明は、まったく必要がなくなってきました。

では、「GPSを利用してリアルタイムにセンチメートルでのポジションができますよ!」、「位置だけでなく、方位やローリング、ピッチングといった3次元の姿勢制御での方位分解能が、0.1度の単位で計測できますよ!」、「まもなく日本中どこでも、GPS単体で1メートル以下の位置が得られる可能性がありますよ!」、「ロシアのGPSシステム=GLONASSとGPSを両方受信して、ダムだとか絶壁の下でもセンチメートルの位置が測位できてしまう受信機もありますよ!」と

なってきたら、この辺はまだまだ、ごく少数の人たちのみの知る世界ではないでしょうか?

そこで今回は、まだなかなか知られていない最新技術の高精度GPSの世界について、そしてそれが、産業界でどのように応用されているのかといった現状について、概略をご紹介していきたいと思います。

### 2. 1メートルの世界

ご存知のとおりGPSの単独測位では、95%の確率で100m、そして残り5%の確率で300mというのがGPSの精度です。もともとGPSの単独測位では、受信機的能力によって異なりますが、約20~30mの測位能力はあります。しかし、米国防総省によって、意図的にGPS衛星の軌道情報にごまかしを与えられ、かつ、GPS衛星からの時刻に揺らぎが与えられているために、先程の

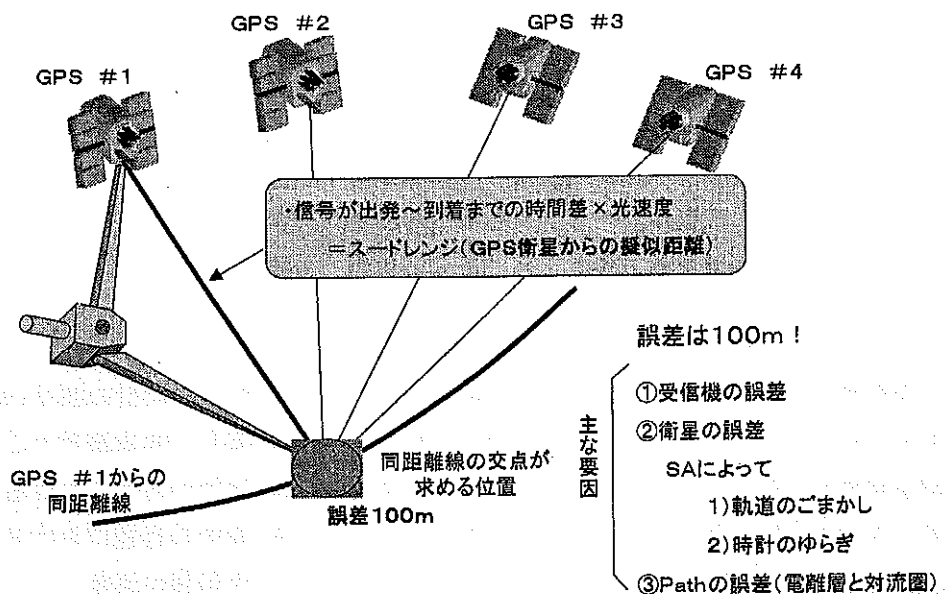


図1 単独受信原理

## DGPSとは

GPS衛星～受信機間の距離を補正することで

精度100mが数mに(0.3～5m)

精度は使用GPS(機械精度、時計精度等)による

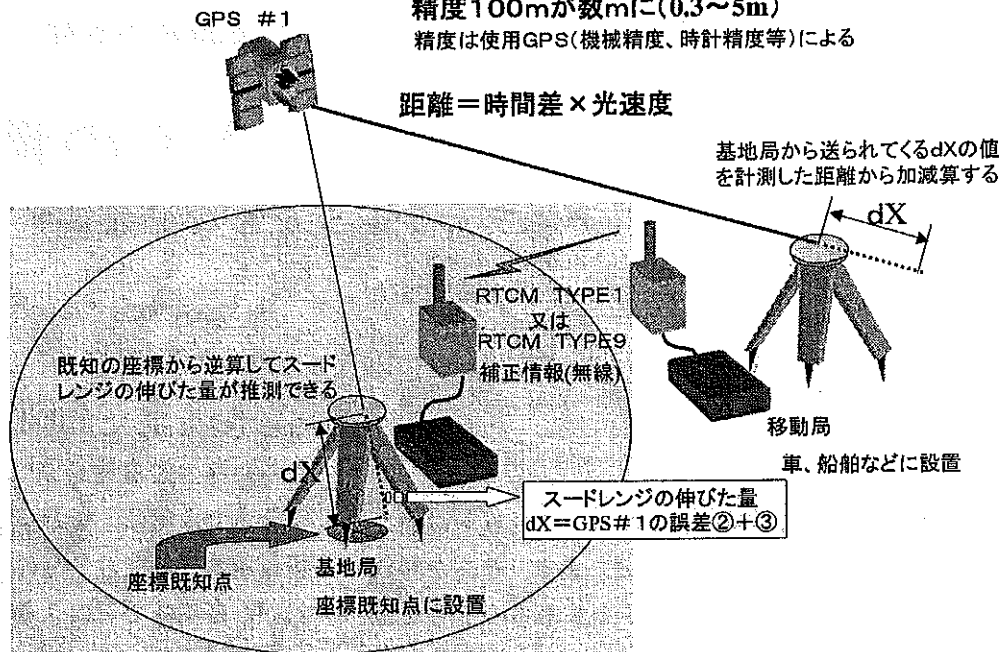


図2  
ディファレンシャル原理

ような測位結果になっています。

「私の車のカーナビは、そんなに精度悪くない!」とよく言われますが、それは、カーナビのソフトの方で調整しているからなのです。代表的なマップマッチングといった技術で、地図上の道路の脇を蟻地獄的にスロープを設けて、多少の精度範囲は、強制的に道路上へ乗せてしまうといった技術の存在で、リカバリーしているのです。

そこで登場してくるのが、ディファレンシャルGPSの技術です。こここのところを簡単に整理する意味で確認しましょう。

### ディファレンシャルGPSの測位原理

図1に単独受信原理を、図2にディファレンシャル原理の模型図を示します。

最初に、単独測位の原理を知らなければなりません。GPSによる測位は、GPS衛星からGPS受信機までの距離を測定することによって求めます。

まず、GPS衛星から発せられた信号が、GPS受信機まで到着した所要時間を、正確に測定します。かといって、GPS受信機に高価な原子時計を搭載するわけにはいきませんので、GPS衛星から時刻情報が発信されています。それをまず読み取って、GPS受信機はGPS衛星の時計と同期させます。その結果、信号の発信時間と到着

時間が正確にわかりますから、そこに光の速度を乗じると、(光速)×時間=距離ということで、その瞬間の受信機のアンテナから衛星までの距離が求まります。これをスードレンジ(擬似距離)とっています。

1つの衛星のスードレンジから、コンパスで描いたような等距離線(実際には、球面)が得られます。それを3つの衛星から同様に等距離線を得たとすると、その交点が3次元位置となります。しかし、その場合の未知数としては緯度、経度、高さ、時間といった4つの未知数があるので、4つの方程式が必要になります。そのため、よく言われる3次元の位置を得るには、最低4つの衛星、2次元の位置を得るためには、3つの衛星ということになっています。

しかし、実際にはその交点は、1点で交わりません。信号が発してから受信機アンテナに到着する行程の中で、次のような誤差が含まれることから、結果として、100m精度に劣化しているのです。

- ① 衛星の時計の誤差(意図的な揺らぎ)
- ② 衛星の軌道情報のごまかし
- ③ 途中の行程における対流圏による遅延
- ④ 途中の行程における電離層による遅延
- ⑤ 受信機の誤差

ここで精度を、100mから1mに向上させるた

めの手法が、ディファレンシャルGPSの技術なのです。

### ディファレンシャルGPSの精度向上技術

さて①～⑤の誤差要因によって、受信機で測定されるスードレンジ(疑似距離)は、正しい距離より伸びて計測されます。そこが、誤差量なのですが、誤差の中身を見てみると、⑤の受信機の誤差以外は、衛星と伝播経路上の誤差だということがわかります。

それならば、もう1台、位置の正確にわかったところにGPS受信機を設置したらどうなるでしょう?これが、基地局受信機です。基地局受信機でも同じ時間に、しかも極端に離れていない場所で測定している限り、①～④の誤差は共通のはずです。ということは、基地局では、アンテナの位置があらかじめ正確にわかっているはずですから、逆算すると、正確であるはずのスードレンジの長さで誤差によって、伸びた分の長さがわかるはずです。その伸びた量が補正量となります。

基地局では、上空に見えるすべてのGPS衛星の補正量を計算します(最大12個、通常、基地局受信機における仰角マスクが10度に設定している場合が多いので8個～9個)。その各衛星の補正量を、何らかの通信で移動局に届けられれば、移動局は、自分がトラッキングしている各衛星毎に補正量を減じて、①～④の誤差は、100%キャンセルすることができます。

基地局からの有効範囲は100kmといわれていますが、我々の実験では、800kmは離れた場所でも、各受信機のカatalog記載の精度には収まっていることを確認しています。しかし、あまり離れると、信号の通過する対流圏と電離層の状態が異なりますので、通常100km位が有効だといわれています。

この補正量は、世界的な標準フォーマットで伝送されるのが普通で、そのフォーマットはRTCM—SC104です。ただし、航空の世界では利用状況が異なるので、RTCAといった他のフォーマットで対応しています。このRTCMには、

ディファレンシャルの規定だけでなく、後述するRTK(リアルタイムキネマティック)の情報や、GLONASS(ロシアの衛星測位システム)の情報も規定されています。

### 3. ディファレンシャルGPSの 応用の現状

リアルタイムで1メートルの世界を利用して

ディファレンシャルGPSにおける測位可能な精度は、使用する受信機によって異なりますが、1m以下から15m前後の範囲です。1mの精度では、マシンコントロールや測量の世界においては、その目的から精度が不足しています。GPSによってリアルタイムにセンチメートル単位の測位は可能ですが、これは搬送波を使った干渉測位の世界の話なので次回にするとして、今回は、1mのディファレンシャルGPSについて焦点を絞って紹介していきます。

まず、一番利用用途の多いのが、ご存知のナビゲーションの世界です。GPS以前では、ロランやオメガ、そしてINS(推測航法)といったもので現在位置の確認は、必要不可欠な技術でした。それがGPSの出現により、急速にその利用範囲が拡大してきました。

しかし、単独のおおよその位置(100m)では、ナビゲーション以上の普及は見込めませんが、今日のディファレンシャルGPSの普及によって、さまざまな世界での利用が始まりつつあります。特に今回は、5～10mといったカーナビゲーションの世界ではなく、1mもしくはそれ以下の精度の、高精度ポジショニングの世界での応用状況を紹介していきます。

#### GISでの応用

GIS(ジオグラフィック・インフォメーション・システム)は、これから大きく普及すると思われます。このGISとは簡単に言ってしまうと、図面や地図といった紙の上での情報を、コンピュータ上でCADの考えをベースにして、地図や施設の情報を多重階層に同時に保管して、必要

用途毎に必要な情報だけを取り出そうといったものです。ユーザーとしては、多岐にわたりますが、代表的なところでは、電話、電気、ガス、などといったインフラをもつ企業です。

今のところ日本では、いままでの紙に載せてあった情報を、GISに移し替えているといった形が多いようです。しかし、欧米諸国では、DGPSを利用してマンホール、電柱といった施設の座標を計測して、その座標の上にID番号、状況、付帯設備、その他の属性情報を組み入れてGISを整備する、FMS(施設管理システム)が急速に整備されつつあります。

2000年から日本でも従来の日本特有の測地座標から、GPSと同じWGS84といった世界共通座標に変わっていくので、この動きはますます盛んになっていくものと思われます。実際にはどのように利用されているかという点、測定者がバックパック内にGPS受信機およびバッテリーを背負って、手元のハンディターミナルに現在の位置が表示されます(写真1)。

リアルタイムに、1m以内の精度が常時確保されていますから(基地局からの通信が確保できないときは、後処理も可能)、測定者はその施設の



写真1 GISでの応用

場所に立って、必要な現場での属性情報を打ち込むだけです。

ハンディターミナルに保管されたデータは、データ収集ソフトウェア(ほとんどのGPSメーカーで用意している)にダウンロードされ、GIS側のフォーマットに変換されます。そのデータをGISに挿入することで、目的の施設の位置と属性情報がGIS上に組み込まれ、自由に出し入れができることとなります。今後は、FMSだけでなく、実際GPSで測定した座標データを基に、地図を作成するGPSマッピングといった世界も注目されています。

### 農業での応用

日本の農業では、まだこれから始まるといった状況ですが、農業も生産法人の動きが活発化してきており、個人の農業から企業の農業へ移行しつつあります。そこで、考えられているのが、農作業の管理です。GPSの応用例で主なところでは、農業機械にDGPS端末装置を設置して、その作業軌跡を記録し、だれが、いつ、どこを作業したかの管理をしようといったものです。

その他での農業の応用例では、農薬の散布にラジコンヘリコプターや小型セスナを使った誘導システムがあります。DGPS端末機を機上に搭載して、リアルタイムな誘導や飛行軌跡を記録して、作業管理しています。また、水田や畑作の農業機械の自動化を図るプレジジョンファーミングといった世界でも研究が進んでいますが、この分野は精度がセンチメートル単位で要求されるため、これについては、後述のセンチメートルの世界で紹介します。

### 海上工事など海上船舶での応用

この分野は、初期段階から導入が積極的で、さまざまな工事で応用されています。また、東京湾や大阪湾など主要な地域では、海上DGPS利用促進協会というところから、後述するRTK(リアルタイムキネマティック)やディファレンシャルの補正データが放送されて、インフラが整備さ

れているので、さらに加速度的に利用が進むものと考えられます。

具体的に、いくつかの例をあげます。まず、深淺測量システム(図3)です。測量船舶に音響測深器を取り付けて、海底の地形を把握します。この音響測深器もシングルビームから、一度に広い範囲の測定ができるマルチビームなどが盛んに利用されています。しかし、このシステムにおいて、音響測深機のビームがどこから発信されたかの、その時の位置が非常に重要になってきます。そこでDGPSを搭載して、高精度な位置とを組み合わせたのがGPS深淺測量システムです。

最近では、ダムなどの湖底の状態を把握するために、このシステムが用いられていますが、GPSでは、ダムなど切り立った山の斜面の下を測定するとき、衛星が遮断されて測位が不可能な場所がでてきます。そこで、そのようなGPSの問題点である上空が制限されているような状況下で注目されているのが、ロシアの測位システム：GLONASSを併用した受信機です。これは、GPS衛星24個に加えて、GLONASSの衛星24個(現在は13個が稼働)の中で測位するため、視界が制限された状況下でもたくさんの衛星を確保でき、安定した測位が可能になっています。現在は、このGPS/GLONASS共用型の受信機では、ディファレンシャルだけでなく、RTK測位も可能になっています(写真2)。

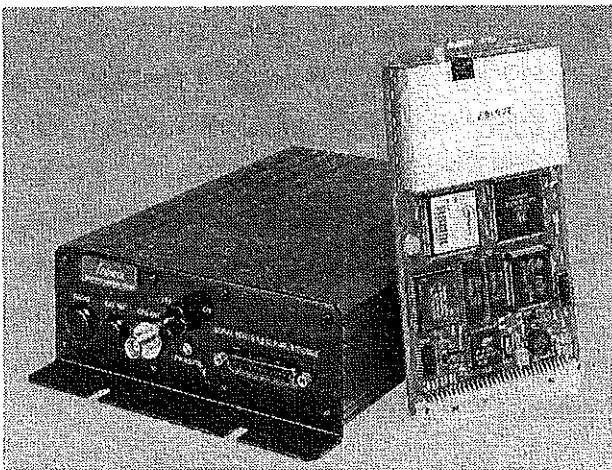


写真2 /GPS/GLONASS共用受信機

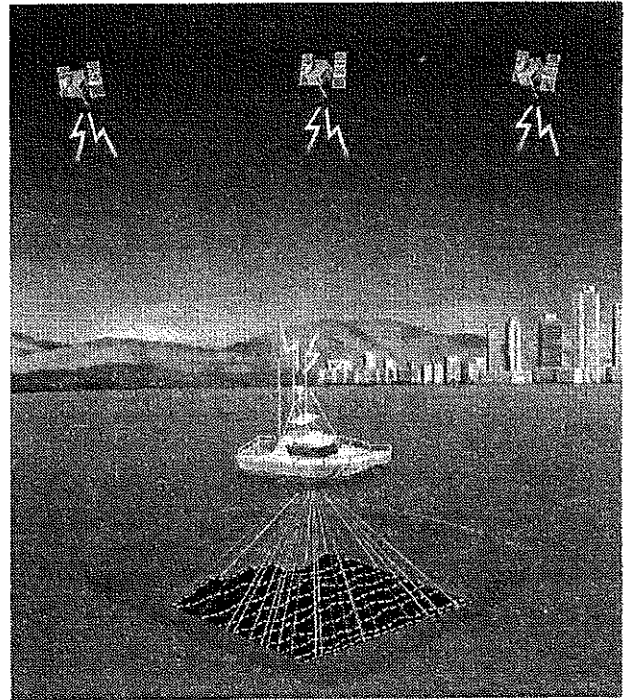


図3 自動深淺測量システム

その他、大規模現場で稼働する膨大な数の作業船舶の位置をDGPSで把握して、それをMCA無線か電話、今後は衛星データ通信のオープンコムなどのコミュニケーションを用いて、遠隔地にある管理センターで、全船の稼働状況を把握するモニタリングシステムなどが構築されつつあります。また、漁礁や土砂などの設置や投げ込みなどの誘導作業では、初期段階から積極的に導入されています。

#### 航空機関係での応用

今の航空機の位置測位はINS(推測航法)が主流ですが、広域において高精度な測位を得るための、広域補強システムが構築されつつあります。米国では、WAAS、日本ではMSAS、欧州では、EGNOSとって全世界的な動きです。地上の基地局で測定されたディファレンシャル補正情報を静止衛星にアップリンクして、その他のデータと一緒に航空機へ放送します。航空機では、WAAS対応の受信機が設置され、メートルレベルの位置が、飛行している間も得られることとなります。

注目されるのは、WAAS対応のGPS受信機

です。静止衛星からの補正情報を受信するために別の受信機を用意することなく、GPS受信機ボードの中の1チャンネルが、この静止衛星の周波数に対応していて、結果として1台のGPS受信機と1個のアンテナで、1m以下の測位ができるという世界が、すぐそこまできているのです。

#### 4. ディファレンシャルGPSを 取り巻くインフラの整備状況

現在は、複数のDGPS補正情報を放送するインフラが、複数整備されています。ここに至る前には、メートルの位置を得ようとする、自前でDGPS基地局GPSを設置し、そこから特定小電力などの、誰でも利用できる無線を用いて補正データを伝送していました。この場合、通信の能力から、到達範囲が制限されます。実際には、ディファレンシャルGPSの基地局からの有効範囲は100km以上はあるにも関わらず、通信の問題で、小さなエリアでしか行なわれていませんでした。

そこで、まず登場したのが、NTTドコモの電話によるDGPS補正情報サービスです。DGPS基地局は川崎に設置されており、サービス加入者は、専用のアクセスユニットからセンターにDGPS補正情報を要求すると回線が接続され、補正情報を得ることができます。アメリカでは、ポケットベルのページャーを利用したDGPS補正情報サービスが、早くから展開しています。

日本では、他に利用できるDGPS補正情報は、海上保安庁の中波ビーコンから放送されているものがあります。2年前に神奈川県の大磯局と三重県の大津局から放送がスタートし、現在運用中が13局、そして今年度の4月には14局が稼働し、日本沿岸で利用が可能になります。このサービスを受けるためにビーコン受信機が必要ですが、各GPSメーカーや無線機メーカーから、いろいろ発売されています。

実際に利用してみると非常に安定しており、基地局から数10km離れた内陸でも受信できるとい

う例もあります。上記のDGPSサービスは、いずれもRTCM-104という標準フォーマットに準拠していますので、端末機はメーカーを問わず、どの受信機でも利用できます。

また、カーナビユーザーに、より高精度な測位を提供しようという目的で、FM多重のサブキャリアにDGPS補正情報を乗せての放送が始まっています。ただし、この場合、5秒に1回の割合で放送され、フォーマットはRTCMを独自のDARCフォーマットに変換して放送されています。専用FM受信機では、DARCフォーマットを、GPSが受け入れられるようにRTCMへ変換して出力します。

この他、海上DGPS利用促進協議会では、関門、大阪湾、東京湾などにおいて、RTKおよびDGPSサービスが行なわれています。さらに将来的には、航空機のための静止衛星から、補正情報を放送するMASASが計画されています。また、インターネットに補正情報を流して、次世代自動車のインテリジェント化に利用しようという動きも出ています。

#### 5. 今回のまとめ

今回は、ディファレンシャルGPSについて、いろいろ紹介してきました。日々、受信機の技術が発達し、精度は向上しています。ディファレンシャルGPSは、次回にお話する搬送波を利用してセンチメートル単位の測位をする干渉測位方式受信機とは別に分類され、コード受信機と総じて呼んでいます。

この世界の技術はこれからますます向上し、より高精度な測位の実現、価格の低価格化、インフラの充実など、まだまだ普及していくことになりそうなので、ぜひ、今後注目していただきたい分野です。今回は、センチメートルの世界と題して、RTK(リアルタイムキネマティック)を中心にした搬送波を利用した干渉測位についていろいろ紹介したいと思います。