

GPSの測位方式 (1)

キーワード：単独測位、DGPS

DX アンテナ(株) GPS 事業部

河口 星也

はじめに

前回、衛星測位システムの現状として、現在運用されている米国のGPS、ロシアのGLONASS、また欧州において計画されている第3の衛星測位システムGalileoについて触れたが、今回より数回にわたってGPSの測位方式そのものについて紹介していく予定である。

GPSを用いることにより利用者は正確な3次元位置を測定することが可能となるわけであるが、その位置決定精度は測位方式により1cm～100mと非常に幅広い。それぞれの方式がどのような原理に基づいて測位を行っているのか、またどのような特徴をもっているのかをまず理解することが、今後GPSを有効な手段として活用するための第一歩ではないだろうか。

今回はまず、GPSの最も基本的な測位方式である単独測位を紹介し、次にその応用として、現在様々な分野において普及に拍車がかかっているDGPS(ディファレンシャル測位)について紹介する。

1. 単独測位

GPSは衛星から送信される電波を受信することにより、利用者の位置を決定するシステム全体の総称である。位置決定精度は測位方式により異なり、最も精度の高いスタティック(静止)測位において数mm、最も簡単に利用できる単独測位において100m程度である。

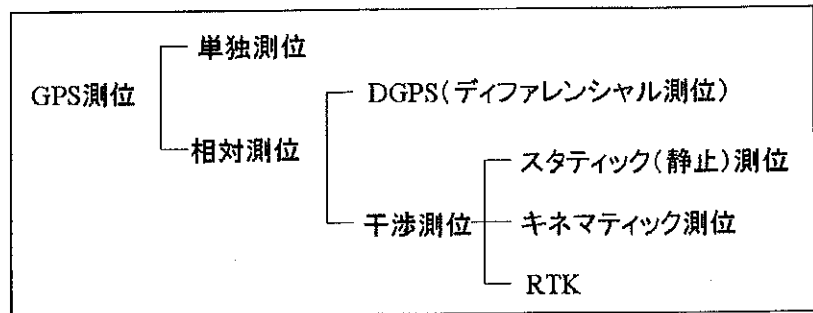


図-1 GPSの主な測位方式

図-1にGPSの主な測位方式を示す。

GPSの測位方式は大別すると、単独測位と相対測位の2つに分類される。単独測位とはその名の通り、単独(1台)のGPS受信機を用いてGPS衛星の電波を受信し、利用者の位置を決定する方式で、GPSを利用する上で最も基本となる測位方式である。一方、相対測位とは単独測位の拡張版とも言うべき測位方式で、複数の受信機を同時に利用することによって、正確な座標のわかっている点(基準点)からの相対的な位置を決定する方式である。

GPS衛星は測位に必要な信号とともに、衛星の軌道情報(ephemeris)を含む航法メッセージと呼ばれる情報を搬送波(carrier)に乗せて連続的に送信している。この搬送波にはそれぞれL1帯(1575.42MHz)およびL2帯(1227.6MHz)と呼ばれる2種類の電波が用いられており、L1帯にC/AコードやP(Y)コードと呼ばれる測位用の符号、および

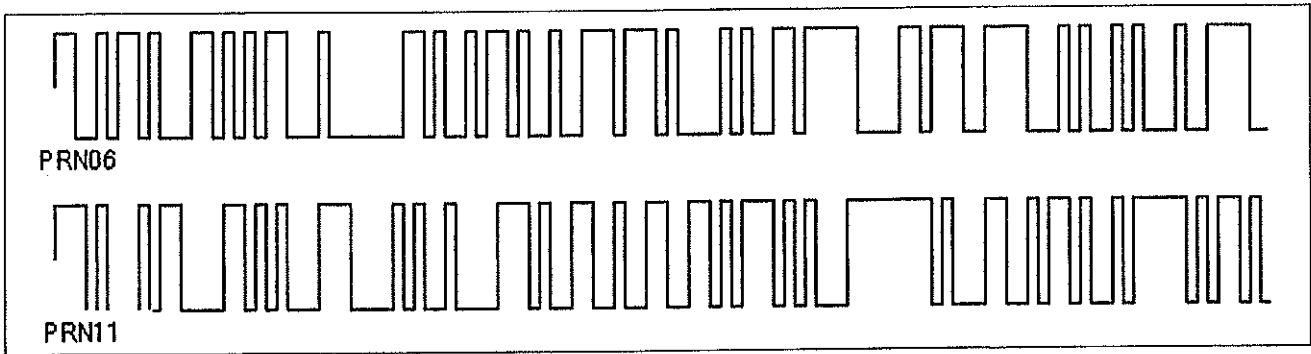


図-2 C/Aコードパターンの例

航法メッセージが、またL2帯にはP(Y)コードのみが乗せられている。各衛星ごとにそれぞれ異なるコードパターン(図-2)が割り当てられており、これにより衛星の識別が可能となっている。

前号で紹介したようにGPSは民間用のSPS(Standard Positioning Service)、および軍用のPPS(Precise Positioning Service)という2つの枠組みに基づき運用されているが、民間用の1周波受信機(L1帯のみ受信)ではP(Y)コードは利用できないことになっている。つまり通常の単独測位およびDGPSでは、上記測位用符号のうちL1帯のC/Aコードのみを利用するわけである。

GPS受信機内部には各衛星のコードパターンが組み込まれており、この受信機内で生成されるコードパターン(レプリカと呼ぶ)と受信したC/Aコードとが同期するようタイミングを調整し、その遅れをもとにGPS電波の伝播時間、すなわちGPS衛星から

受信機までの電波の到達時間を求めている。この求められた伝播時間に光速をかけることでGPS衛星と受信機間の距離が求められることになる。

ここでGPS衛星が正確な原子時計を搭載しているのに対して、受信機側に内蔵されているのははるかに精度の低い時計である。すなわち、上記方法で測定した伝播時間には受信機の時計誤差が含まれており、これに基づいて計算された衛星-受信機間距離も正確な値からはほど遠いということになる。そのため、この距離のことを「擬似距離(スードレンジ)」と呼ぶ。

今、ある瞬間に、利用者の位置を単独測位により決定しようとした場合、利用者の3次元位置(x, y, z)に加えて、その瞬間の受信機時計誤差 δ という計4つの未知数をかかえることになる。この際、各衛星の3次元位置は衛星から送信されている航法メッセージ内の軌道情報から計算可能であるため、既知と見なして構わない。すなわち、この4つの未知数を解くためには最低4衛星の電波を受信し、4つの擬似距離を求めてやれば良いわけである。

こうして単独測位により決定された利用者(=GPS受信機)の位置は、しかしながら、いくつかの誤差要因により水平成分で100m(2drms)程度の精度を実現するに過ぎない。その主な誤差要因を表-1に示す。

これらの中で最大の誤差要因となるのは、②の「衛星の時計誤差」、言い換えれば、SAによるC/Aコードのタイミングのゆらぎに

単独測位の概念

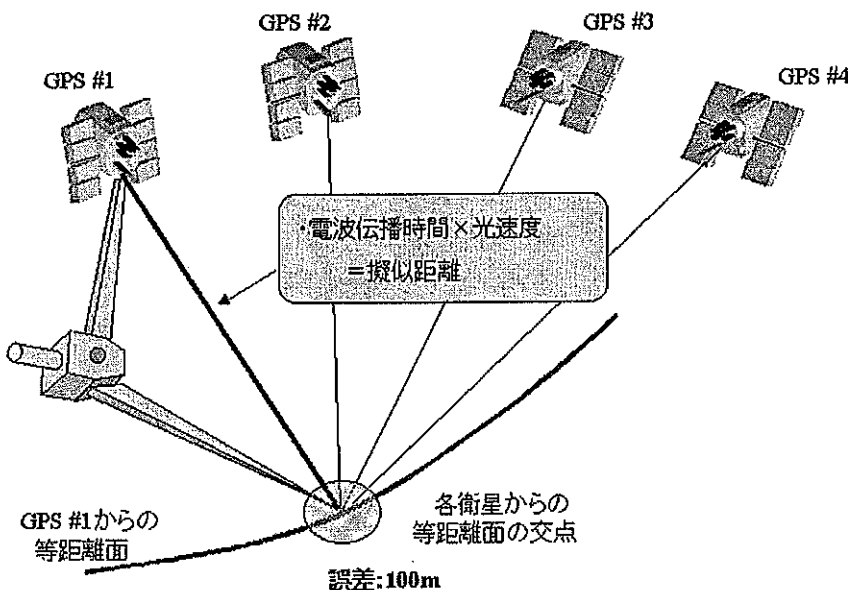


図-3 単独測位の概念

表-1 単独測位における主な誤差要因

① 衛星の軌道誤差	実際の衛星位置と軌道情報から計算される位置との差
② 衛星の時計誤差	主にSAによる意図的なC/Aコードのタイミングのゆらぎ
③ 電離層遅延補正誤差	航法メッセージ内の補正パラメータの誤差
④ 対流圏遅延補正誤差	計算に用いる対流圏モデルの誤差
⑤ マルチパス	観測点環境に依存
⑥ 受信機ノイズ	受信機内回路の性能による

起因する誤差である。過去にSAがまだ発動されていなかった時期においては、測位精度30mが実現していたとのことであり、これがC/Aコードを利用した単独測位“本来”の実力であると考えられている。

2.DGPS(ディファレンシャル測位)

単独測位における上記誤差要因を、複数の受信機を利用することによって相殺し、測位精度を向上させる測位方式を総称して相対測位と呼ぶ。相対測位は図-1に示したように干渉測位とDGPS(ディファレンシャル測位)に分類されるが、干渉測位については次号以降で説明するとして、以下今回のテーマであるDGPSについて説明する。

DGPSは既に正確な座標の求められている点(基準点)と、実際に測定したい点(未知点)とで同時に単独測位を行い、両者で共通する誤差を相殺する

ことにより測位精度を10~100倍程度向上させる測位方式である。(図-4)

表-1の誤差要因を改めて見直すと、①、②に関しては衛星に起因する誤差、③、④に関しては、衛星の電波伝播経路に起因する誤差であることがわかる。この中で①、③、④に関しては、基準点-未知点間距離(基線長)がそれほど大きくない場合(~数100km程度)は、ほぼ同じ大きさと同方向を持っていると考えられるため共通誤差として相殺することが可能である。また②に関しても、同じ衛星を用いて測定した擬似距離内には同じ大きさの誤差として存在することになり、共通誤差として相殺可能である。ちなみに⑤は観測地点固有の誤差、また⑥はノイズによるデータのふらつきで、これらは共通誤差として相殺できずに残る誤差である。

DGPSの概念

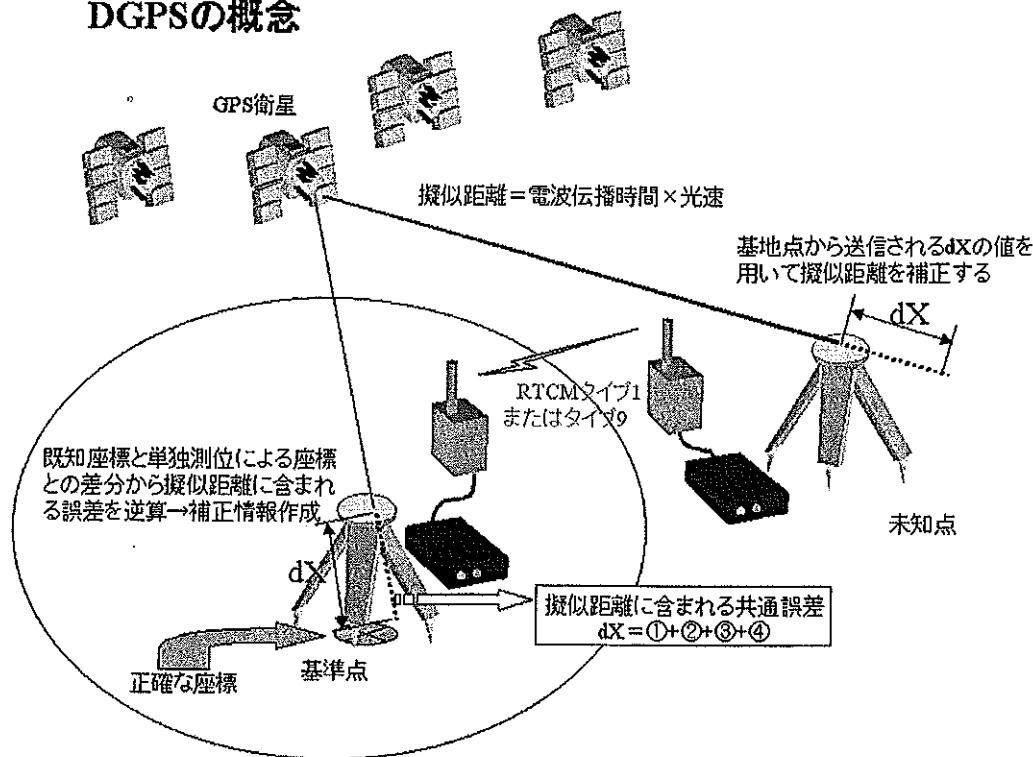


図-4 DGPSの概念

ここで前節の話に戻るが、単独測位において基本観測量となる擬似距離の中には、これらの誤差が見えないながらも含まれており、それが単独測位の精度の上限を決定しているわけである。もしこれら共通誤差を、基準点において測定した各衛星との擬似距離に含まれる誤差量として求めることができれば、その誤差量をそのまま未知点の擬似距離補正に利用することで、結果として単独測位精度を大きく向上させることが可能となる。

ここで基準点の正確な座標値はわかっているため、基準点において計算された単独測位による座標値と正確な座標値との差分から逆算して、各衛星との擬似距離にそれぞれどの程度の誤差が含まれているかを計算することが可能である。この各衛星ごとに計算された擬似距離誤差＝補正量を総称して「補正情報」と一般的に呼んでいるが、この補正情報を基準点から未知点へリアルタイムで送信することができれば、未知点側ではその補正情報を用いて擬似距離を補正し、補正した擬似距離を用いて単独測位計算を行い、結果的に1～10mの精度で位置を決定することが可能となる。

3. DGPS の現状

近年 DGPS の有用性が理解されるにしたがって、より高精度の航法、GIS、そのほか様々な分野において DGPS の利用が進んできている。基本的には単独測位用の受信機に擬似距離補正計算（補正情報の出力、または補正情報の入力）用のソフトウェアを組み込むことで実現するため、比較的安価に購入できることも人気の理由のひとつであろう。

現在一般的な単独測位受信機は、ほぼ全てと言っていいほど補正情報の入力機能を標準で備えている。よって必要となるのは補正情報をリアルタイムで出力してくれる“ソース”、つまりはインフラストラクチャということになるわけだが、一例として海上保安庁が無償で提供している中波ビーコン

を用いたサービスがある。

現在日本の沿岸に合計27局の中波ビーコン局が展開されており、各局より約300kHz前後の中波に乗せてRTCMと呼ばれる世界標準のフォーマットに基づいたDGPS用の補正情報が放送されている。利用者は標準的なビーコン受信機を購入して手持ちのGPS受信機（補正情報入力機能が必要）と組み合わせることで、非常に簡単にDGPS（精度1～10m）を実現することが可能である。対象エリアはビーコン局から半径200kmとされている。

また、別の例としては全国の東京FM系列の放送局から、主にカーナビを対象とした補正情報がFM多重放送により提供されており、こちらは専用のFM多重受信機を購入することでそのサービスを利用できることになる。また、この他にもTV放送を用いたDGPSサービス、インターネットを用いたDGPSサービス等が現在検討されており、その早い実現が期待される場所である。

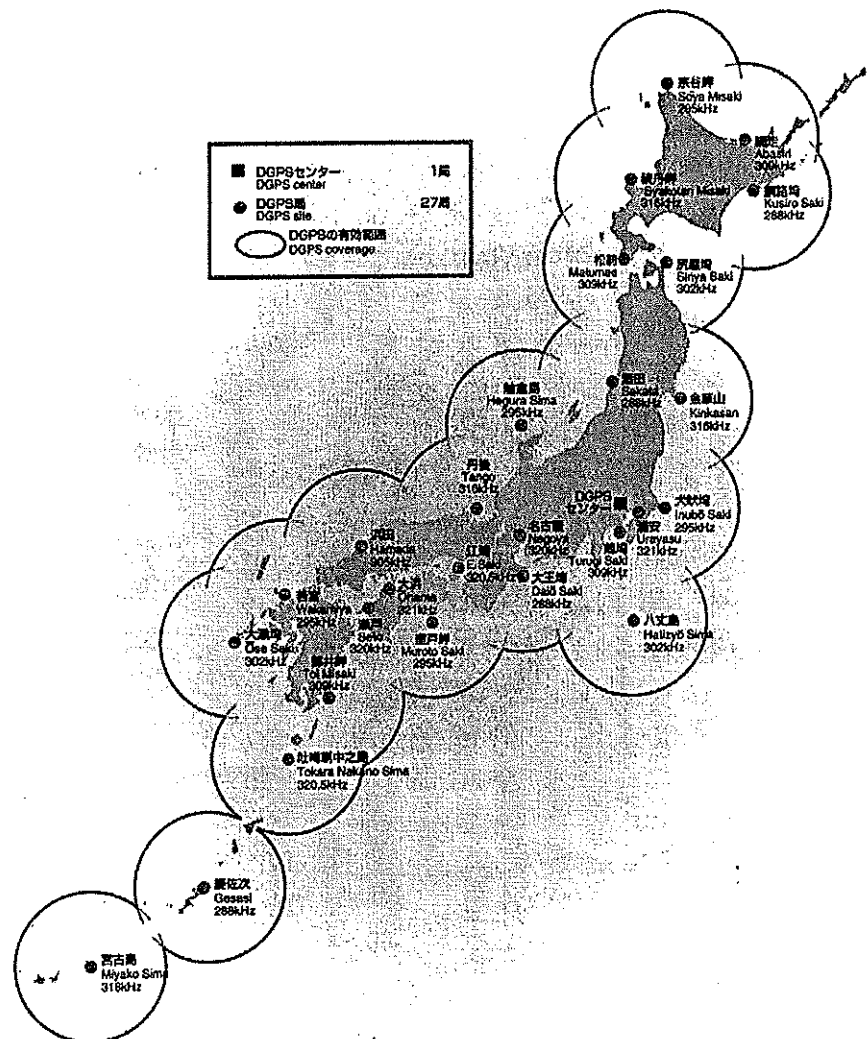


図-5 海上保安庁 DGPS 局