

DX アンテナ(株) GPS 事業部

齊藤 浩治

はじめに

前回(7月号)では、RTK(リアルタイム・キネマティック)の原理とその基本となる干渉測位について述べたが、今回は同じ干渉測位の原理を用いたスタティック測位について説明する。スタティック測位は、その測位精度が高いことから、現在、公共測量や学術的な精密観測など、幅広く測量に用いられている。また、近年では可降水量の測定といった気象学面(「GPS気象学」という)にも応用・研究されている。

スタティック測位はこれまで紹介してきたGPS測位の中では、もっとも高精度な測位を約束する。スタティック測位が他のGPS測位と大きく異なる点は単独測位、DGPS(ディファレンシャルGPS)、RTKの測位方法は実時間でポジショニング結果が得られたのに対し、スタティック測位では複数台の受信機を用いて、データを取録し、観測終了後にデータを持ちより、PCなどの計算機によって解析を行う後処理方式となっている。

1. スタティック測位の原理

スタティック測位はRTKと同様に干渉測位であり、搬送波位相を利用し、あらかじめ座標の測定されている既知点から1つ以上の未知点の座標を相対的に計算する方法である。ここでは前回説明した干渉測位の原理の補足を含めて、スタティック測位の原理を説明したい。

干渉測位ではGPSから送信される搬送波の位相を既知点、未知点で同時観測し、この2点間ベクトル(これを「基線ベクトル」という)を計算する。スタティック測位、キネマティック測位、RTKを含めた干渉測位では、C/Aコードを利用し衛星-受信機間

の擬似距離を計算して測位する単独測位やDGPSと異なり、それぞれの点における搬送波位相を測定し、既知点、未知点で共通に観測される衛星の位相差を計算する。ここでは衛星-観測点間の搬送波数が分からないため、解は整数値バイアスとなって複数表れる。整数値バイアスについては前回で説明した通り、3組の衛星を複数組み合わせることにより、真の解を計算し未知点座標を決定する。

ここで、GPS測位の誤差要因について考えてみる。衛星軌道誤差、対流圏・電離層による送信電波の伝播遅延、衛星および受信機の時計誤差等が挙げられるが、この中で最も大きな誤差となりうるのが衛星時計および受信機時計誤差である。干渉測位ではこの2つの誤差は二重位相差をとることにより、ほぼ完全に取り除いている。次に、二重位相差についての概略を簡単に述べる。

干渉測位では、既知点および未知点で計算された電波の位相カウント数から、衛星-受信機間の電波の行路“差”を求める。この行路差の中にそれぞれの時計誤差が含まれる。

ここでまず、受信機時計誤差について考えると、この誤差は1つの受信機上で各衛星から受信した電波に同一量の下駄を履くことによって生じる。このことから、受信機と各衛星間の行路差をとることにより、受信機時計誤差を相殺できる。この行路差を「衛星間一重位相差」といい、図-1(A)に示す。次に衛星の時計誤差を考えると、ある衛星から送信された電波は各受信機の間、同一量の下駄を履くことになる。これについては、この衛星と既知点間、未知点間の行路差をとることにより衛星時計誤差が相殺できる。これを「受信機間一重位相差」といい、図-1(B)に示す。

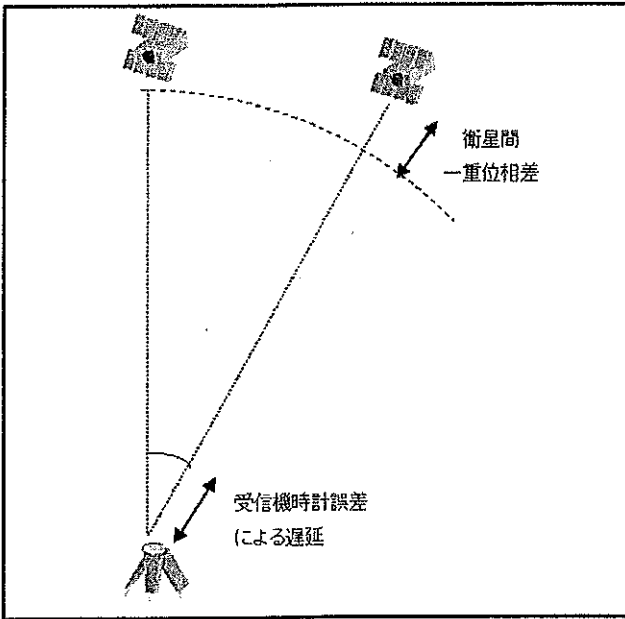


図-1 (A) 衛星間一重位相差。各衛星からの行路差をとることにより、共通する受信機時計誤差を消去できる。

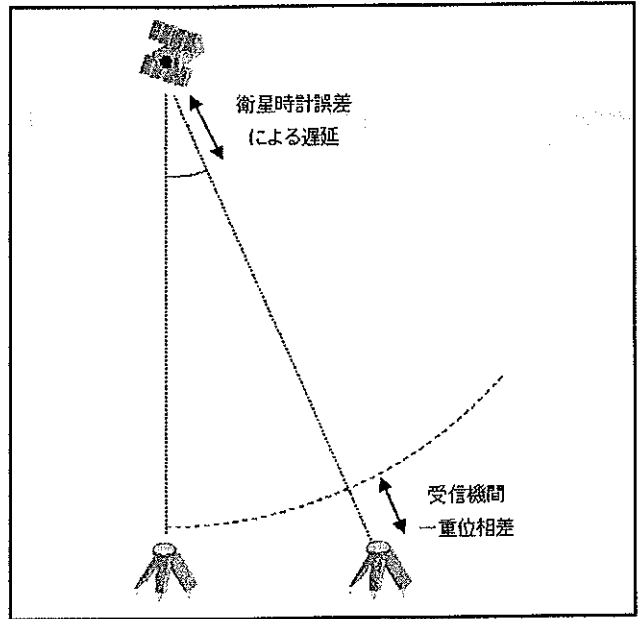


図-1 (B) 受信機間一重位相差。各受信機への行路差をとることにより、共通する衛星時計誤差を消去できる。

しかし、これら一重位相をとった段階では、衛星一重位相では衛星時計誤差が、受信機一重位相では受信機時計誤差が残っている状態である。この2つの一重位相を組み合わせ二重位相を行い、衛星時計および受信機時計誤差を取り除くことができる。これを図-2に示す。

未知点における二重位相を3組の衛星について行い、3組の2重位相双曲面の交点が未知点の解となる。この未知点の解は前回示したが、整数値バイアスのため格子状に解が表れ、複数の3組の二重

位相解を組み合わせることにより整数値バイアスの決定、つまり真の解を求められる。

ここまでは、干渉測位の原理であり、スタティック測位のみならずRTK、キネマティック測位の測位計算にも用いられている。スタティック測位では、さらに整数値バイアスの決定において、衛星の移動を利用している。衛星移動による整数値バイアスの相殺を三重位相と呼ぶ。整数値バイアスは時間とともに移動するが、真の解のみ移動がないため、長時間観測することで未知点座標の決定を行う(図-3)。スタティックで長時間受信機を設置するのはこのためである。

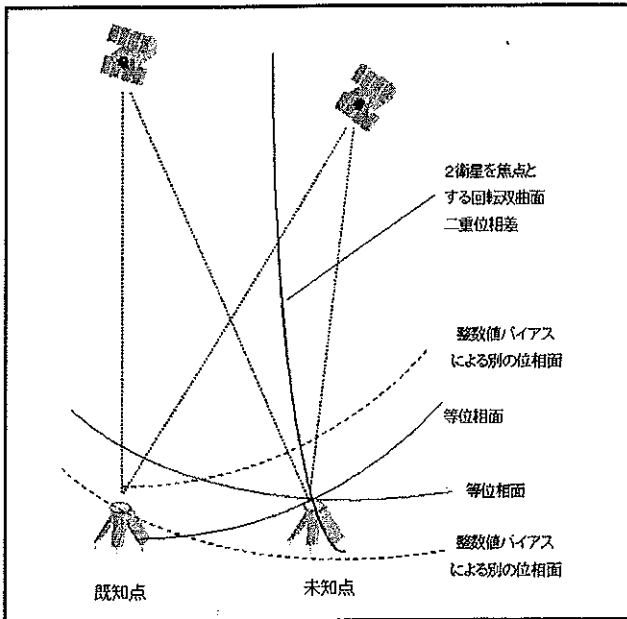


図-2 二重位相により、衛星時計誤差・受信機時計誤差を消去することができる。そして、各衛星の組による回転双曲面をとることにより、三次元座標値の解を決定する。ただし、この双曲面は整数値バイアスにより複数存在する。

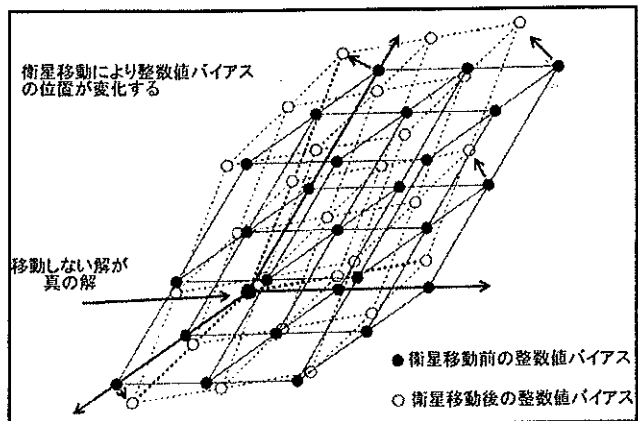


図-3 衛星位置変化による整数値バイアスの変化。

2. スタティック測位の方法

スタティック測位では2台以上の複数台の受信機を用い(図-4)、観測場所、期間、取得するデータのサンプリング間隔等の観測計画を立てる。この観

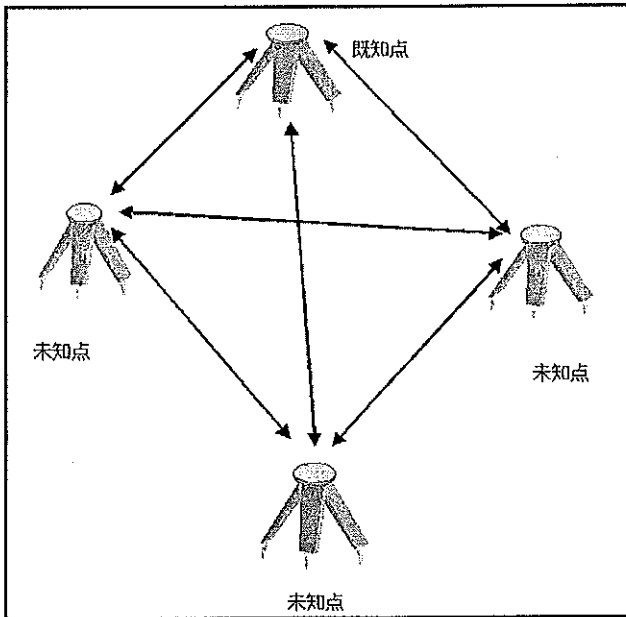


図-4 スタティック測位における受信機配置。複数台の同時観測や、各受信期間の基線解析が可能である。

測計画をセッションと呼び、データサンプリングはエポックと呼ばれる。

観測時間は、基線間距離や測位精度の許容範囲にもよるが、衛星移動を利用するため、3時間以上が望ましいと言われている。また、基線距離に関しては、1周波GPS受信機を用いる場合、電離層による影響により10km以内程度が望ましいとされている。今年のような太陽活動が活発な時期では電離層の影響が大きく、前述の距離より短い距離での解析が良いと考えられる。2周波受信機を用いる場合、収録されたデータはL1帯、L2帯を独立で解析、解析ソフトウェアによっては2周波線形結合により電離層遅延を補正できるため、1周波のものよりも長基線での解析が可能である。学術ソフトウェアでは数千km間の基線距離でも解析可能となっている。

解析結果では、既知点、各未知点座標値の他、セッション設定条件や、FIX率、標準偏差値などが出力される。

収録データフォーマットには各受信機メーカー独自のフォーマットと、受信機種種に依存しない共通フォーマットであるRINEX(Receiver INdependent EXchange)ファイルがある。現在の測量用受信機および解析ソフトウェアの多くはRINEXファイル対応となっている。

3. スタティック測位の現状

スタティック測位を利用した解析としては、国土地理院が地殻変動検出のため行っている全国GPS連

続観測システムGEONET(GPS Earth Observation Network)がある。これは日本全国900点以上設置されたGPS電子基準点により(図-5)、24時間連続観測が行われている。この解析結果は国土地理院のホームページに公開されている。また、これらGPS電子基準点におけるRINEXファイルも公開されている。絶対的な位置を求める測量にこれらを用いることはできないが、科学的な意味合いにおいて相対的な位置を知る目的であれば、これらのデータは利用可能となっている(申請が必要)。

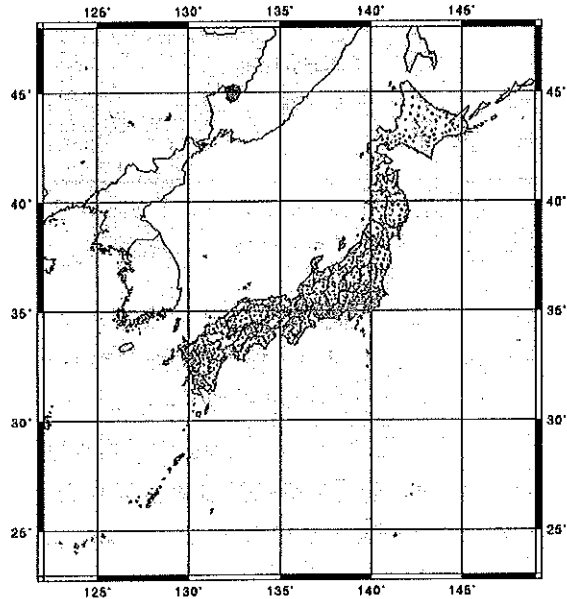


図-5 国土地理院GPS電子基準点配置図。

世界的には世界各地に設置されたIGS観測点(図-6)により、プレート運動検出や、ITRF系座標の決定に利用されている。

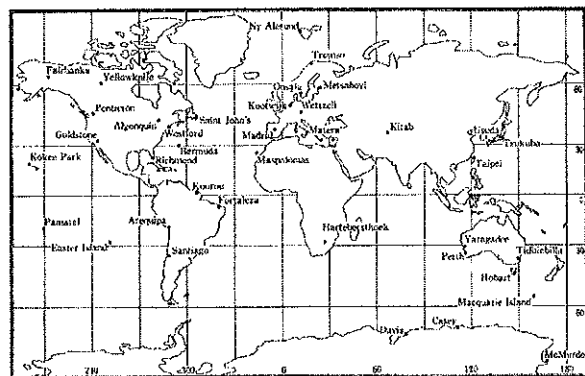


図-6 IGS観測点配置図。日本にはつくば、白田に観測点がある。

RTKなどの新技術が現れているが、スタティック測位は現在、最も精密なGPS測位が可能であり、基準点測量や地殻変動の検出など、高精度が必要とされる測量においては今後も利用されていくと考えられる。