

# GPS が広げる 位置情報の世界

舘田良文

松下通信工業 (株) 技術本部 ITS 開発センター

近年、カーナビゲーションシステムが普及しつつある。もともと潜在的な需要があった、コンピュータ関連のハード・ソフト技術やセンサ技術が進歩した、地図データベースが整った、などが要因であろう。中でも1992年頃より、米国の国防総省がGPS衛星 (NAVSTAR : Navigation System with Time and Ranging) の本格運用に入り、GPS受信機によれば世界中でいつでも絶対位置が測定できるようになったことが大きいように思う。

カーナビゲーションシステムは1981年頃から商品例がある。初期のカーナビゲーションシステムは、地磁気、車輪の回転差やジャイロスコープで方位や方向変化を求め、走行距離と組み合わせて軌跡を求めるものであった。その後、この軌跡と地図上の道路とのマッチングを評価する、マップマッチング技術が開発された。しかし、初期位置の設定や誤った位置からの復帰を自動化するために、絶対位置のセンサが求められ、路側や路上より光や電波で位置を知らせるサービス等が検討されていた。これが、GPS受信機を搭載することで一挙に解決した。初期のGPS受信機は、衛星の信号を測定する部分にアナログ回路が含まれていたが、今ではすべてデジタル化されている。加えて、高度に集積化された専用LSIが開発され、本格運用の時期に合わせて実用的な大きさ、価格、性能になった。

## <構成と測位原理>

GPSはGlobal Positioning Systemの略で、地球上どこにいても、GPS衛星からの電波が受信できれば、絶対位置が測定できる航法システムである。米国の国防総省は、それまでの衛星や地上局による種々の電波航法システムに替わるシステムとして、1973年から開発に着手している。1978年から11個のブロックIタイプの実験衛星、1989年からはブロックIIタイプの実用衛星が打ち上げられている。

GPSは、地上に配置された管制局と衛星と利用者の受信機によって構成される。衛星は25個ほど運用されており、10～5個が同時に受信できる。システムには固有のGPSタイムが決められており、衛星はこの時刻に合った

原子時計を搭載し、この時計の時刻と衛星の軌道要素を送信している。

GPS受信機は、衛星の電波から時刻 $t$ を観測する。さらに、受信した軌道要素を使って、衛星位置 $(x, y, z)$ を計算する。図-1測位の原理において、衛星と観測点の距離を $r$ 、光速を $c$ とおき、観測点の位置を $(x_u, y_u, z_u)$ と仮定すれば、GPSタイム $T$ は

$$T = t + r/c \quad (1)$$

$$r^2 = (x-x_u)^2 + (y-y_u)^2 + (z-z_u)^2 \quad (2)$$

の関係がある。当然、 $T$ は観測点の仮定位置によって変化する。もし、異なる方向に衛星が4個あれば、それらの衛星を同時に観測し、それぞれの衛星について、(2)式を使って(1)式の距離 $r$ を消去して連立方程式を立てると、解として観測点の位置とGPSタイムが求まるのである。観測する衛星は、散らばっている方が精度の良い位置が得られる。より多くの衛星を観測し、最小自乗法で計算すればさらに精度が向上する。また、受信した電波の搬送波周波数を測定し、受信機と衛星の相対速度によるドップラー効果の違いで方程式を立てると移動速度も同時に測定できる。

なお、時刻を伝達するため、スペクトル拡散と呼ばれる通信技術が使われ、拡散符号であるC/AコードとPコードまたはYコードのタイミングで時刻を伝達している。符号1ビットは、C/Aコードで距離にして300mに相当する。この符号は、搬送波を位相変調することで伝送する。符号は2値のビットパターンであって、衛星によって違っている。この違いにより、同じ周波数で送信される衛星信号を個別に測定できるのである。搬送波は1.57542GHz (L1) と1.2276GHz (L2) の2波ある。受信機では、衛星と同じ搬送波と符号を発生し、この発生した搬送波と符号に対する、受信信号との相関を調べる。この相関が大きくなるように、受信信号の搬送波と符号に追尾して、衛星の時刻を測定する。衛星の軌道要素等の情報は30秒周期で送られ、2時間程度有効である。なお、伝送速度が遅いので、感度が低く指向性の広い、小さなアンテナで受信可能である。

拡散符号のうち、民生用としてL1のC/Aコードが利用できる。GPS衛星は米の軍事衛星であるが、突如使えなくなったり、精度が悪くなったり、利用料が請求されたりなどの心配は当分ない。米国は利用料を徴収しない方針で、運用を停止する場合10年以上前に関連機関に通告することを約束している。米国民も広く利用しているので、よほどのことがない限り止まらないだろう。

## <位置の測定精度>

民生用GPS受信機で得られる位置の精度は、空が開けている場所で50m程度である。見える衛星の数が少なくなれば精度が劣化し、2衛星以下になれば測定できない。カーナビゲーションでは、マップマッチングなど自立航法の技術で精度を補っている。最近、FM多重放送によ

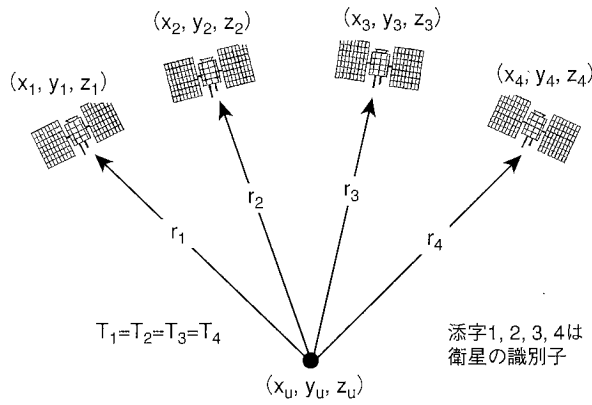


図-1 測位の原理

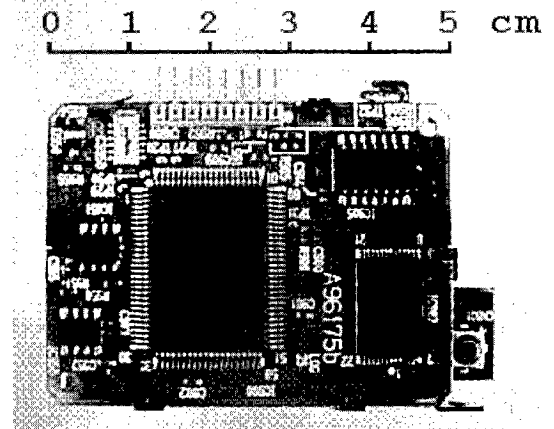


図-2 GPS受信機の基板の外観

る DGPS (Differential GPS) で 5 ~ 10m の精度が得られるようになった。これは、位置のずれが地域によってほぼ同じであるため、この分を補正する方式である。船舶向けにも中波ビーコンにより、DGPS 情報が提供されている。

さらに、キネマティックに対応した特殊な受信機によれば、10Km も離れた受信機間の距離を、数 10cm (動的) ないし 1cm (静的) 以下の精度で測定できる。キネマティックは、波長が 19cm の搬送波について、観測点の間で位相を比較する測定方法で高い精度を得ている。観測点の間で、搬送波の位相が何個分違っているのかを推定する特別の技術が必要である。

なお、DGPS を使わない場合、民生用受信機は軍用より精度が劣るような仕組み (SA: Selective Availability) になっているが、米大統領は、民生用であっても、将来もっと精度が得られるようにするとした内容の書簡を発表している。

車で走行中に、GPS で実際に得られる位置の精度は、観測できる衛星の数や配置、電離層や大気中の伝播遅延、衛星の健康状態などによって変わる。これらの影響による測定精度については、通常は受信機で評価できるであろう。しかし、受信した電波が反射信号であった場合は、受信機でこれを判断するのは困難で、アンテナの設置状況と観測結果から判断するしかない。自立航法対応のカーナビゲーションでは、反射信号の影響で GPS 受信機が誤った位置を出力した場合でも現在地を間違えないように、走行軌跡と地図とのマッチングでこれを検出し、対処できる。

航空機の場合はさらに高い信頼性が必要である。そのため、地上で衛星の健康状態を監視し、その情報を DGPS 情報とともに、静止衛星を介して航空機に伝えるシステム (MSAS) が 2001 年に運用開始される。

### < GPS の用途 >

おそらく日本のカーナビゲーション分野で、最も多数の GPS 受信機が使われていると思われる。軍事用に

は、ミサイル、航空機、衛星、艦船等の誘導・姿勢制御その他多くの用途に使われる。軍事以外でも、船舶の航法、カーロケーション、トラクタの自動運転、ゴルフのコース案内、通信システムやコンピュータの時刻同期、天体観測における世界規模の時刻同期、など幅広く使われている。図-2 の GPS 受信機基板の外観は松下通信 (株) 製の、カーナビゲーション用小型受信モジュールの例である。このモジュールは、衛星信号を周波数変換するアナログ部と、時刻測定と軌道要素等データの受信および位置計算を行うデジタル部を、それぞれ集積化することにより小型化したものである。ほかの小型化した例に、アンテナ以外を PCMCIA カードに納めたノート PC 向けの製品もある。

キネマティック測位は、測量、電子基準点などで使われている。特に、建設省が全国に約 900 点設置した電子基準点 (国土地理院のホームページに解説がある [http://mekira.gsi-mc.go.jp/hendou\\_1.html](http://mekira.gsi-mc.go.jp/hendou_1.html)) は、高精度の GPS 受信機が配置されており、観測結果を筑波にある国土地理院に集めて、日本全体の地殻の変化を cm 以下の精度で観測している。これによって、地殻のゆっくりとした動きも正確に捉えられるようになり、地殻変動の研究に大いに役立っている。また、建設省国土地理院が定める現行の測地系から、新しい技術による測地系への変更が計画されているが、ここでも従来の三角点に加えて、電子基準点が大きな役割を担うことになろう。

今後も GPS 受信機の小型化、軽量化、省電力化が進み、いずれは現在の時計のように、携帯電話やカメラなどいろいろなところに組み込まれ、気軽に位置の情報が利用できるようになるであろう。

#### 参考文献

- 1) Leick, A.: GPS Satellite Surveying, Wiley & Sons, Inc., USA (1990). ISBN 0-471-81990-5.
- 2) 日本測地学会編著: 新訂版 GPS: 人工衛星による精密測位システム, (社)日本測量学会(1989).

(平成 10 年 10 月 2 日受付)