

衛星を使ったGPS測位システムとその応用

Oshima, Taichi / 大嶋, 太市

(出版者 / Publisher)

法政大学工学部

(雑誌名 / Journal or Publication Title)

法政大学工学部研究集報 / 法政大学工学部研究集報

(巻 / Volume)

26

(開始ページ / Start Page)

213

(終了ページ / End Page)

226

(発行年 / Year)

1990-02

(URL)

<https://doi.org/10.15002/00003911>

衛星を使ったGPS測位システムとその応用

大 嶋 太 市*

Global Positioning System using Satellite and its Application

Taichi OSHIMA*

Abstract

The Global Positioning System (GPS) is a one part of Defense program, managed by the US Air Force, with the Department of Transportation (FAA) participation. This system from the point of navigation system has three segments:

- 1) The Space Segment—twenty four satellites (Now eleven are in flight) distributed in six different orbits each broadcasting two beacons. The most important feature of these statellites is their collection of highly precise atomic clocks (rubidium and cesium).
- 2) The Control Segment—Five worldwide monitor stations and a master control and upload station. This segment monitors and control every aspect of the GPS.
- 3) The User Segment—Relatively inexpensive civilian and military receivers for worldwide, continuous, high accuracy navigation and survey.

Spac Segment

Today seven NAVSTAR satellites, made by Rockwell, circle the earth every twelve hours about 11,000 nautical miles high. Soon twenty four satellites will be launched into six orbits insuring adequate coverage from anywhere on earth.

The heart of these satellites is a collection of the most precise clocks built today—three cesium and three rubidium atomic clocks along with three quartz clocks for backup. GPS broadcasts the most precise time ever available outside a laboratory.

The satellites have two radio beacons, Links 1 and 2, or L1 and L2, having a carrier frequency of about 1 giga Hertz. Think of these beacons as two rightnous radio stations broadcasting two rockin' ranging tunes (raspy C/A and the slick P codes) and the hourly news (the NAV message).

The C/A coarse/acquisition code is a short string of ones and zeros which seem random and which repeats a thousand times per second. A series of ones and zeros which have no apparent pattern, but which are exactly reproducible is called a pseudo-random noise (PRN) code. Each satellite broadcasts its own unique PRN code. Since

* College of Engineering, Hosei University

the C/A code is short and repeats many times, it is easy for a receiver to acquire and lock onto.

The P, or protected, code is a long, fine-grained PRN code. The P code is restricted to military and other approved users who require its high speed navigation and anti-jam capabilities.

The L1 beacon broadcasts both the C/A and P codes while L2 transmits only the P code. Civilian receivers use the C/A code and thus are known as C/A or L1 C/A receivers.

The NAV message is broadcast by each beacon. This message contains a running prediction of the location of each satellite, the ephemeris, and the ionospheric and time correction parameters. All these informations have been uploaded from the Control Segment.

Five Monitor Stations, located around the world at low latitudes, constantly monitor signals from the GPS satellites. Data from these stations are relayed via communication satellites back to the Master Control and Upload Stations in Colorado Springs.

Most GPS receivers determine user position, velocity and time from measurements made on signals from at least four satellites. Hopefully, we'll see low cost GPS receivers in airplanes, boats and rental cars in the future. The potential for low cost arises from putting the most expensive part, the atomic clocks, into the orbiting satellites and from high volume production.

The distance between survey receivers can be precisely determined with computer processing. These receivers have already proven themselves in the marketplace.

§ 1. は じ め に

GPS は Global Positioning System の略号で対応する日本語の定訳が未だないが、全地球（あるいは、全地球）測位システムとでも呼ばれるべきものである。人工衛星を利用した測位システムの一種で、これを利用することにより測定点の位置を知ることができる。1980年代に登場した最新のシステムである。

人工衛星を利用した測位システムとして、従来、NNSSがひろく利用されてきたが、いずれ、近い将来、この NNSS は GPS にとって代わられると考えられている。

NNSS 同様、GPS も米国の施設であり、国防総省により維持管理されている軍事システムの一種であるので、軍事上の理由によって、一部、民間の利用に解放されていない、(すなわち、軍事機密に属する) 部分がある。

§ 2. 目 的

GPSの目的は端的に表現して、衛星の電波を受信して、受信点の位置を高精度で決定すること

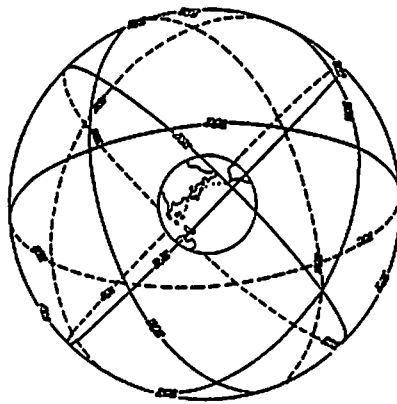


図 1 GPS衛星の軌道

軌道高度約 20,000 km, 周期0.5恒星日(約11時間58分), 6つの軌道面に4個ずつ, 合計24個の衛星を配置する。

である。

GPSでは、測位と同時に、高速で運動する受信点の運動速度をリアルタイムで測定することも可能である。1989年現在では衛星の数がシステム完成時の配備予定数（21個＋予備3個，図1参照）に達していないので，1日のうちで利用できる時間帯が限られている。

§ 3. 特 徴

GPSは衛星を利用した1980年代における最新の高精度測位システムであり，種々の特徴を持っている。いま，それらの主なものをあげてみれば，以下のようなだろう。

(1) 高精度である。

後述の干渉測位法では近距離の場合なら測位誤差 cm 級か，それよりよい遠距離の地点間の相対測位では恐らく 10^{-7} 代の精度が実現できると目されている。

(2) 鉛直線を基準としない純幾何学的測定である。

従来の測量がほとんど鉛直線を基準として行われざるを得なかったため，ジオイドの不整による複雑な問題を引き起こしたのに比べ，GPSにはその点の問題がない。

(3) 相対測定の場合，地点間の見通しは必要ない。

このことは，途中に山岳をはさんでも，あるいは広水域が存在しても，一向に差し支えないことを意味し，測量作業能率が格段に向上するばかりでなく，従来の測量では不可能であった新しい形の作業形態が採用できることにもつながる。

(4) 天候に左右されない。

従来の測量は測距にせよ，測角にせよ光を利用していたので，視程の劣下する悪天候時には事実上作業ができなかった。GPSでは，衛星の電波を受信することが現地作業の形態であり，天候の善し悪しは問題とならない。

(5) 作業に熟練を要しない。

衛星電波の受信は受信機が自動的に行うので、作業者は現地で受信機、アンテナを設置するだけでよい。従って、作業要員として必ずしも高級技術者を確保しなくともよい。

(6) 経済的である。

以上の特徴から判断して、従来の地殻変動検出手段に比べ、GPSでは経費の節減が可能であると思われる。

以上のように、高精度測位の手段としてみた場合、GPSは非常に大きな特徴を持ち、測量学の世界に革命的な変化をもたらすことが予想される。

§4. 測 定 法

GPSは、元来、人工衛星から発射されている電波を利用する電波航法の1種として開発されたものであるが、電波の巧妙な利用法により、測位精度が格段に向上することが認められ、地球物理学への応用に関心が高まったものである。本来の電波航法としての利用法は、1点測位法(単独測位法)といわれ、一方、高精度測位の方は、干渉測位法(相対測位法)と呼ばれている。

単独測位法は衛星の位置は何等かの手段で分かっているとして、衛星と衛星電波の受信点(測位点)との距離が測定できれば、測位点は衛星を中心とし、半径が測定距離に等しい球面上の1点としてあたえられる。

複数の衛星について同様の測定を実行できれば、測定毎に1枚ずつの球面がえられ、測位点はこれらの球面交点としてもとめられる。(図2)

衛星測点間の距離は衛星電波の伝搬時間に光速度を乗じて得ることができるので、問題は伝搬時間の測定に帰せられる。もし、衛星に正確な時計を搭載し、測位点でも同様に正確な時計を使うことができれば、衛星電波に電波発射時の時刻マークをつけ、受信電波のこれらの時刻マークを測位点の時計の表示する時刻と比較することで伝搬時間が測定できる。

しかし、受信点の時計を送信点のものに同期させることは技術的に問題があり、また受信機を安価にする見地からも好ましくない。そこで、信号を受信する衛星の数をもう一個増加することでこの問題を解決する。図3は二次元でこの関係を示している。もし、受信点の時計が Δt_u だけ各衛星の時計より遅れていたとすると、測定される三つの円(球)の直径は実際のものよりも Δt_{uc} (c は光速度)だけ大きくなり、本来1点で交わるべき三つの円は交わらなくなる。そこで、この三つの円が1点で交わるように Δt_{uc} の値を調整して行けば、受信点 P の位置と同時に Δt_u も求めることができる。

GPSでは、このような Δt_{uc} だけ異なる距離の測定値を擬似距離と呼ぶ。衛星 i に対する擬似距離を $\tilde{R}_i$ とすると、 $\tilde{R}_i$ は

$$\tilde{R}_i = R_i + c\Delta t_{ai} + c(\Delta t_u - \Delta t_{vi})$$

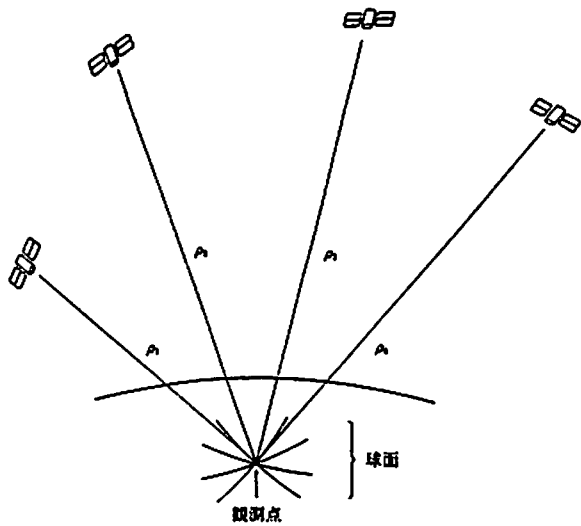


図 2 GPS による単独測位の原理

衛星の位置は軌道情報により既知。 $\rho_1, \rho_2, \rho_3, \rho_4$ は測定値。

$\rho_1, \rho_2, \dots$ を半径とする球面が 1 点に交わるよう地上の時計を調整した時、測定は完了する。

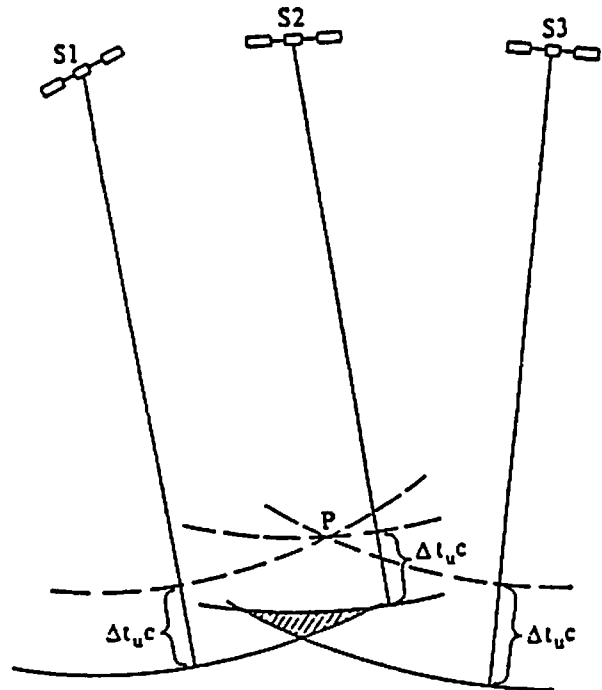


図 3 GPS の測位原理

で表わされる。ここで、 R_i は真の距離、 Δt_{at} は電離層と対流圏における電波の遅延時間、 Δt_{svi} は衛星 i の時計の時間オフセットである。衛星上の原子時計は互に同期させる代わりに、そのオフセット値を測定し、その予測を行い、 Δt_{svi} の値を計算できる形にして衛星から送信をする形をとる。三次元測位をするには、 $i=1\sim 4$ の 4 個の衛星について四つの擬似距離の測定値を使って位置座標三つと Δt_u という四つの未知数を解くことができる。同様にして、衛星からの信号のドップラー周波数、すなわち、擬似距離変化率の測定値を使えば、利用者の三次元の速度の測定ができる。

干渉測位法は複数衛星の発射電波を複数受信点で受信し、波形比較を行なって電波到来時刻の差を測定することを骨子とする測定法である。“干渉”という言葉は 2 地点の受信電波の到来時刻の差を測定するのに、二つの記録データを重ね合わせて（つまり、干渉させて）相関が最大になるために必要なデータのずらし量を測って到来時刻の差を求める、波形比較の実際の過程に由来する。

この測定で高精度で求められるのは、2 地点間の座標差であり、原理的には各点の座標値自体も求められるものの決定精度が低く、現実的な意味では、干渉測定は相対測定と考えてさしつかえない。

測量等の目的で 2 地点間の距離とその方向を測定しようとするときは、それぞれの点にアンテナと受信機を置き、3～4 個以上の衛星の電波を平行して 15 分以上 2 時間程度測定記録する。フロッピーディスク等に記録した両受信機のデータをパーソナルコンピュータで処理して基線ベク

トルを求めることができる。結果を得るには、いわゆるオフラインであるから、測定から少なくとも2～3時間はかかるが、これをほとんど実時間に近い速度で実行する方式(kinematic/dynamic方式)も実験されている。基線の測定精度は1cmのレベルにあって、ある程度以上の距離の測量作業には在来方式よりも有利な点が多い。

§5. GPSシステム構成

GPSシステムの構成は、宇宙部分、制御部分(運用施設)、利用者部分という3つに大別できる。(図4)

宇宙部分を構成する衛星としては、現時点(1/10/89)でブロックIと呼ばれる衛星6個(SV#06, #09, #11, #13, #12, #03)と今年になって打ち上げられた運用型のブロックIIの4衛星が使用可能である(SV#は衛星に割当てられたPRN#である)。

1988年衛星の軌道配置に大幅な改正があった。すなわち、運用段階の衛星配置は、21衛星(18プラス3アクティブ予備)から24衛星(21プラス3アクティブ予備)へ拡大されることになった。これらの24衛星は、6軌道面の各々に4衛星を配置した構成になる。21主衛星の軌道構成は、どれか一つの衛星に故障が起きても最良のカバレッジを与えるために最低限必要と考えられている。

衛星軌道のもう一つの改正は、軌道高度の変更である。すなわち、GPSの長半径は26559.8kmから26609.0kmへやく50km増加することが検討されている。これによって、軌道上の衛星位置

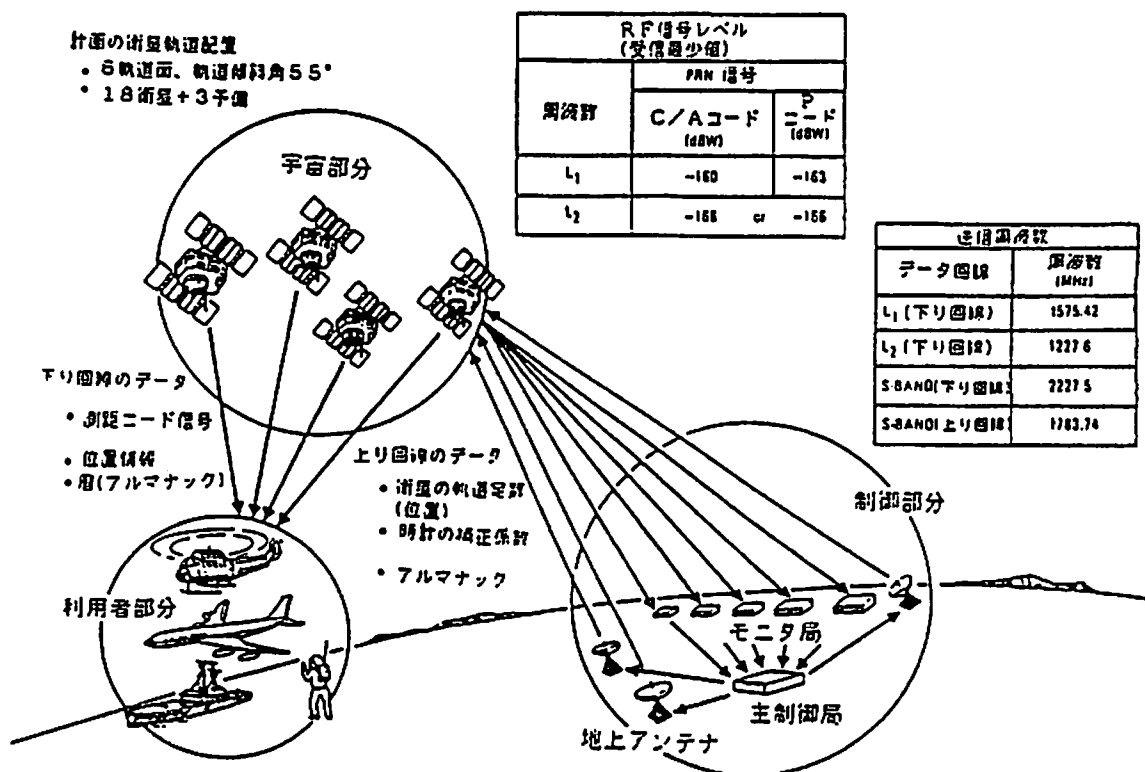


図4 GPSのシステム構成

保持の操作による衛星のダウンタイムを減少させ、同時に衛星のドリフトに起因するカバレッジの劣化を減少できると考えられている。

GPS システム構成は前述したように

- (1) 宇宙に打ち上げる GPS 衛星部分
- (2) 地上において(1)の GPS 衛星を監視・制御する衛星コントロールシステムの部分
- (3) そのシステムを利用するための受信装置の部分からなりたっている。

(1)及び(2)は JPO で管理運営されているが、(3)における部分は、米国を中心とする JPO 加入メンバー諸国の国家に管理される部分と、広く民間の開発および利用に任せられている部分がある。

(3)の中で、国家で管理される部分とは軍事に利用される部分です。GPS 衛星は2種類の電波が発射されるように作られており、一つは限られた目的で、限られた利用者のみに使われる P コードと呼ばれる軍用の電波（これは軍用の為、必要に応じて Y コードと呼ばれる秘密のコードに変えられる）で、他の一つは広く世界の一般の利用者に無料で解放される C/A コードとよばれる電波であり、基本的には C/A コードとよばれる電波を利用したものが、世界の一般利用者の対象として、一般の民間会社における受信装置の開発に任されている。

地上のコントロール局はアメリカのコロラド州のコロラドスプリングにあり、太平洋・インド洋・大西洋などに配置したモニター局も地上制御局の部分としてシステムの制度維持の役割を、になっている。すなわち世界各地のモニター局はすべての GPS 衛星の軌道の追跡を行い、マスター局を通して毎日計算し直した位置や軌道のデータを衛星に送り更新している。また GPS 衛星に搭載されている原子時計の狂いを計算し、それを修正して頻繁にそのデータを衛星に送ったり、その他機器や電波信号の監視を行っている。それらの更新されたデータが衛星から常時電波にのせてユーザの受信機に送られてきている。このように GPS システムは常に一定の精度を世界中どこからでも、いつでも保つように運営されている。

§ 6. GPS 受信機の種類・精度・誤差

GPS 受信機はその用途により大きく分けると以下のようになる。

- (1) 単一受信機による通常の航法装置。
- (2) 2 台の受信機を組み合わせ精密測位用の航法装置。
- (3) 2 台以上の受信機の組み合わせによる精密測量用の装置。
- (4) 時刻や周波数のモニター用の装置。

一般に GPS と言えば(1)を指すのが普通で、この方法では通常25メートルの誤差範囲である。従って(2)の場合のように2 台の GPS 受信機を使用して、さらにその誤差を小さくする方法がある。それは、ディファレンシャル GPS システムと呼ばれ、1 台の受信機をあらかじめ正確に計

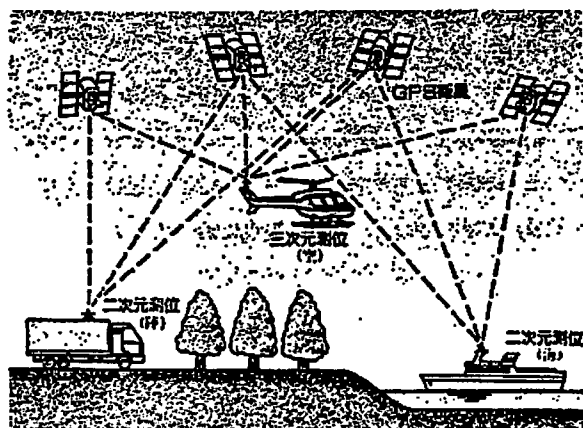


図5 単一受信機によるGPS移動体の測位

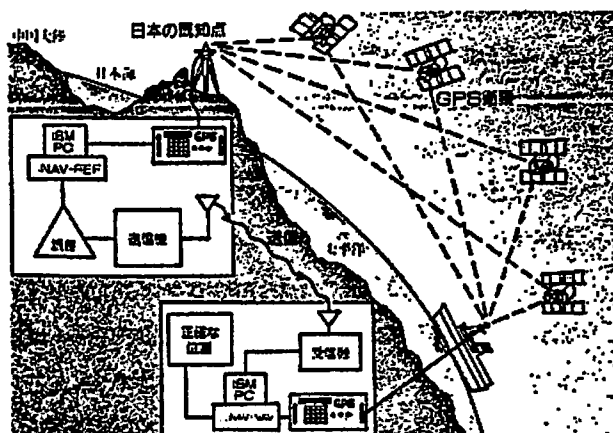


図6 ディファレンシャルGPS方式

測された陸上の固定点に設置し、もう1台は船舶、航空機などの移動体に搭載して両方の受信機で同じ衛星からの信号を受信し、陸上の固定点に設置した受信機の値と固定点の値の差を、移動体に搭載した受信機で計測した値から差し引きしてシステムの持つ誤差をキャンセルし、より正確な位置をもとめる方法である。(図5参照)

6.1 ディファレンシャルGPS方式

しかしこのシステムを使用するには条件があり、2台の受信機が同時に3個以上の同じ衛星からの電波を受信していなければならないことと、誤差のデータを陸上などの固定点の受信機側から移動体側の受信機に電送しなければリアルタイムの正確な位置は求まらない。従って2台の受信機間で使用できる送信装置の制限や、電波法の制限などもあり、この方法が一般化するためにはこれらの点がさらに研究し、法律の整備が必要である。しかしそれぞれの受信機で同時に計測したデータを後処理計算を行い、高精度の位置を求めることはすでに行われ、調査船による海上などでの精密測量など、特定の領域で特定の目的のためにこの方法によるシステムを使用することは、現在すでに可能となっている。(図6参照)

6.2 GPSによる精密測量

以上は移動体の航法装置としてのGPSの使用分野でGPSのA/Cコードを用いた受信機であるが、(3)は数ミリメートルから数センチメートルの誤差で2点間を計測するためのGPS受信機である。(図7参照)

この方法は(1)及び(2)とは異なる方式を使用し、現在ではリアルタイム処理はできるものではない。すなわち(1)及び(2)はコード受信機と呼ばれ、各衛星がそれぞれ異なるコードのパターンを持っていて、そのコードをロックした後、電波の伝搬時間(Time of Arrival)の方法により移動体の位置を求めるのに対し、(3)の方法は2台の受信機を使用し、さらにGPS衛星から送られてくる搬送波の位置やドップラー、あるいは積算ドップラーなども計測し1～2時間のデータを記録してそれをコンピュータで計算処理をして答えをだす方法である。

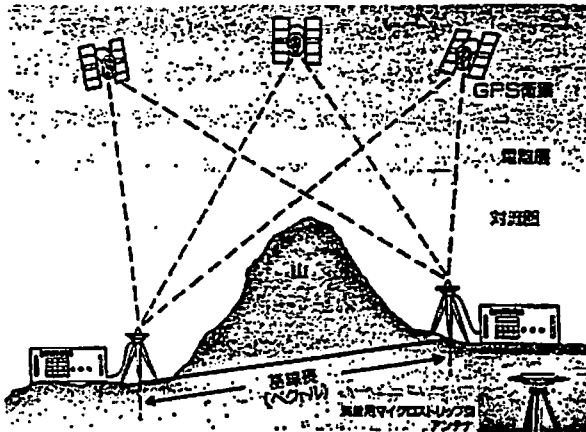
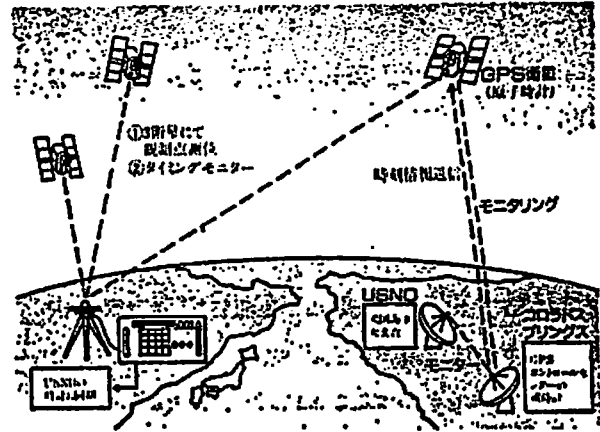


図 7 GPSによる精度測定

図 8 GPSによるタイム・フリークエ
ンシー・モニター

この領域の受信機は様々な高等技術を使用して測位精度を高める努力がなされている。例えば GPS 衛星は電離層の上に位置しているので、電波が受信機まで届くには電離層を通過しなければならない。電波が電離層を通過する場合は電波の通路を曲げるので到達時間に遅れが生ずる。これは電波の周波数の違いによってその曲げられる度合が異なる為、GPS 衛星が発射している 2 種類の電波（軍用と民間用）を同時に計測し、両方の電波の到達時間のずれから電離層により曲げられる度合を計算して伝搬遅延の補正をする（いわゆる 2 周波受信機方式の受信機）。また GPS にはすべて原子時計が搭載していて、GPS の地上局で常にすべての衛星の原子時計が同調しているようにコントロールしているが、1 日のうち何回というようにその時計合わせをする。しかし時計合わせをした後、時間の経過とともに、それぞれの衛星の時計の間でわずかですが狂いが生じ、すべてが完全に同調している訳ではない。従って一つの受信機で 2 個の衛星から時刻データを受け取ってその誤差をキャンセルし、また二つの受信機で一つの衛星から時刻データを受け取り、その誤差をキャンセルしたりする方法で時刻の誤差を取り除き、電波到達までの距離の精度を高めるような方法（すなわちダブルディフェレンス＝二重差）をとっている。

また精度を高めるには衛星から受信機までの距離が正確に計算できる必要がある。GPS 衛星からはその衛星の軌道データが送られてくるが、これも地上局のモニター局などで常時衛星を監視・計測していて、毎日その計算結果を衛星に送りデータを更新している。しかし更新と更新の間は GPS 衛星が秒速約キロメートル位の速度で飛んで飛行中に多少のぶれが生ずる。従って場所や、時間により衛星から送られて来る軌道データと実際の精密測定によるデータの差は、数十メートルとも数百メートルとも言われているが、それが電波の伝搬を計算する場合に影響する。そのため日本の上空で測量している時に同時に軌道観測を行い、リアルタイムの正確な軌道データを使用して更に精度を高める研究が行われている。（図 8 参照）

しかし現在では 1 周波を使用した受信機で、GPS 衛星から送られてくる軌道データをそのまま使用して計測した精度は代表例として 2 PPM 位である。つまり 2 点間の距離に対する誤差範囲

の割合は約100万分の2くらい(10キロメートルに対してセンチメートルの誤差範囲)である。また電離層伝搬遅延を補正する機能をもった2周波受信機では100万分の1くらいの精度が標準となっている。

現在の日本における官庁や大学の研究機関では、精密軌道観測システムを建設したり対流圏の温度、湿度、気圧などによる電波の伝搬遅延の補正を行い、将来は現在の10倍の1,000万分の1の精度まで高める方法を研究している。そして固定点に設置して地殻変動を検出し地震予知システムとしてGPSを利用しようとの開発努力がなされている。

図9は単独測位と2台の受信機での計測(ディファレンシャル測位)の場合について、それぞれコード受信の方法によりまた、位相計測を実施した場合、また特に固定点で測量した場合についての程度の精度が得られるかを示したものである。

また最近のデータ処理方法の研究開発により、最新の技術としてキネマティック測量という方法が開発された。これは名前の示すとおり、映画のフィルムが流れる様に測量をごく短い時間に何点も精密測量する方式である。映画のフィルムは1コマ1コマが実は一瞬の間止まっているが連続してコマを流すとあたかも動いているように見える。キネマティック測量はこれと同じように測量を行う方法で、このような呼び名がついたのである。すなわち1測量点につき、わずか45秒から2～3分間くらい衛星の観測を行うだけで、これまでのように2点の固定点測量で1～2時間の観測をして出していたのとはほぼ同等の結果が得られるテクニックである。従来の光波を使った測量機はモヤがなくなる時間を何日も待って計測しなければならなかったがGPSは全天候

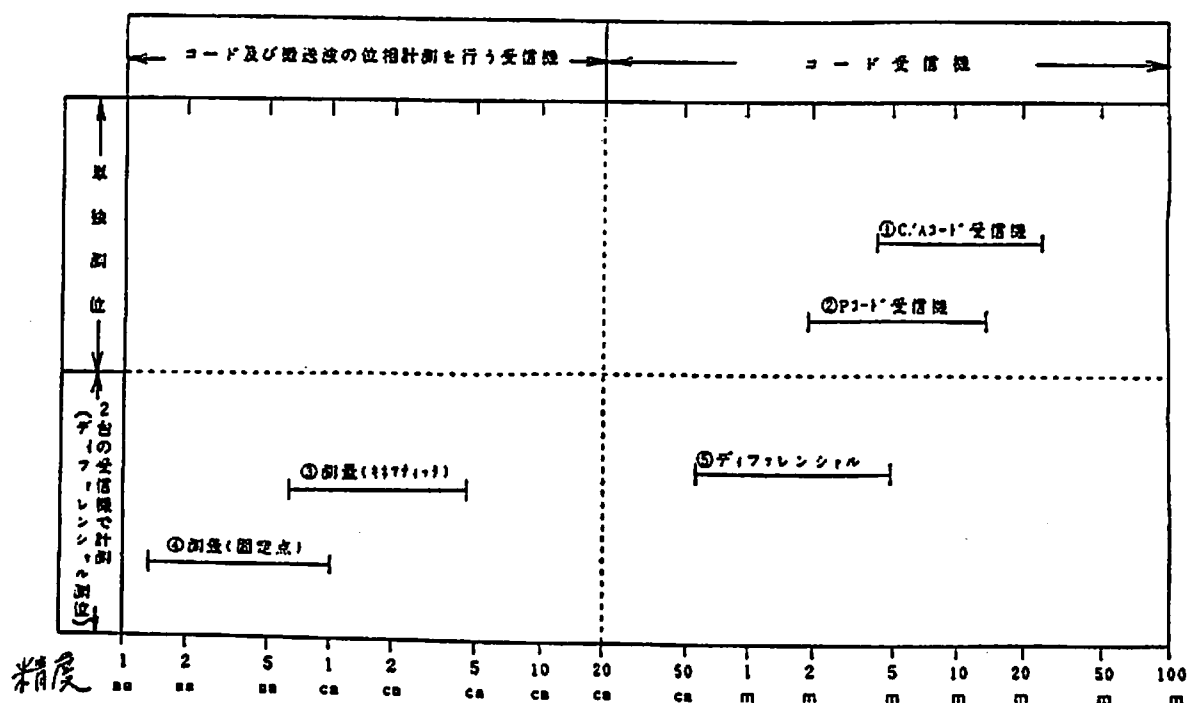


図9 緯度/経度の標準的誤差範囲

の測量機であり、さらにキネマティック測量方式の開発により、飛躍的に精密測量の効果が上がり、測量コストが下がることが期待されている。

GPS の測量は1周波受信機の場合、2点間の距離が50キロメートル位までなら対流圏や電離層の影響を無視して標準の精度を維持でき、それ以上の200から300キロメートルになると、2周波受信機でないと無理があると言われている（注：光波測距離の場合は数キロメートルから十数キロメートルまで）。

§ 7. GPS の 利 用

7.1 海での利用

GPS の最もポピュラーな利用分野は、数年前からすでに利用されはじめてるように、遠洋漁船、遠洋商船などに航法装置として利用され、その精度の確かさは各方面からレポートされている。数年前に利用され始めた当初は、既存のロランや NNSS などと常に比較が行われ、GPS との位置の誤差が数百メートルも異なり GPS 自身の精度に疑問がだされましたが、GPS 受信機の中には、世界各国の座標系に変換できるプログラムが内蔵されているものがあり、それによって日本の海図にそのまま使用できるようにしてあったので、従来からの多くの航海機器の表示との差に起因するものでした。

7.2 空での利用

航空機では主にジャイロコンパスと他のロラン、デッカなどと組み合わせた航法装置を使っているが、GPS は緯度、経度、高度の三次元の位置をリアルタイム測定できるため、今後システムが完成すれば GPS が広く取り入れられて行くものと思われる。またより精度を高めたディファレンシャル GPS 方式による利用の研究も米国などでは行われており、やがて自動離着陸のセンサーとして、究港などでの設備される事が予想される。一方ではロケットや人工衛星などへの応用の研究も行われ、宇宙での利用といった分野もあり、個別の分野では例えば、農薬散布や航空写真用のラジコンヘリコプターの位置センサー、航空測量、あるいは赤外線カメラと組み合わせて送電線の電線の疲労箇所を特定するパトロールシステム、またコンパクトディスクに記憶させた電子地図を TV 画面上に表示し GPS の位置情報と合わせて、現在の航行位置を夜間でも確認しながら飛行できるシステムなど、いろいろな分野での GPS の応用が検討されている。

7.3 陸での利用

近い将来この分野での GPS の利用が急速に、しかも広範にわたって進むものと思われる。従来のロラン、オメガなどの陸での応用がそれほど進まなかった理由の一つには、精度の問題がある。すなわち陸での応用は、その位置が道路に乗る位の精度を必要としますが、従来の測位システムではまず不可能であったため、いろいろなアイデアはあったものの、どの地点においても[正確でリアルタイムの位置]を入手するセンサーが存在しなかった為に、実現が不可能であった

ものがたくさんあった。しかしここにきてGPSが現れたために、各分野で一斉にそれぞれの開発競争がここ数年の間に行われてきて、その中で最も大きな規模で利用されるであろう分野として、カー・ナビゲーション・システムがある。文字通り自動車の道案内のシステムで、これは今はやりのコンパクトディスクに正確な電子地図情報を記録し、小型TVの画面上に地図を表示し、そこにGPSの受信機で計算した位置を表示し、自分の車が今どこにいて、どの方向に進んでいくかを正確に示すことができる装置である。

この基本的な考え方を基礎にして、様々な応用が考えられている。例えば電子地図上に道路の混雑情報を取り入れたり、ライトペンで自分の目的地をTV画面上の電子地図にマークすると最短コースを自動的に表示してくれるとか、交差点にさしかかると電子の音声で右折や左折を指示してくれるとか、その他、パーキングの位置情報や、銘柄別ガソリンスタンドの位置情報、ゴルフ場の位置及びコースガイド情報、ホテル情報、観光地情報、レストラン情報など様々な情報と自分の現在位置との相関関係がリアルタイムで確認できるシステムとして自動車に取の入れられるようになると思われる。これらの情報の格納に関しては、現在音楽用として市場に販売されているCDと同じサイズのもので、わずか十センチたらずのコンパクトディスクに2万5,000分の1の地図で、ほぼ日本全土が記録できるほどの記憶容量をもっている。日本では1990年代に、このようなシステムが自家用車に搭載されるようになると言われ、その規模は年を追って普及し西暦2000年ころまでには年間150万台位にまでなるといわれています。

一方、このシステムに通信機能を追加し、各車両からの位置をセンターのモニター画面にリアルタイム表示して車両の動静を把握して、様々な応用システムが作られると考えられる。例えば、現金輸送車の安全管理、タンクローリーの位置の把握による輸送計画、路線バスのロケーション制御、列車の安全運行システム、トラック便や宅急便の集配システム、社用車、タクシーと顧客情報を組み合わせた運行管システムなど、日常の業務の中で、効率運営をめざした新システムがGPSを利用して開発されるだろうと思う。

現在は移動体とコントロールセンター間の通信は無線を利用しなければなりませんので、電波法などの制約もあり、いろいろ解決されなければならない点も多々あるが、一方では急速な進歩を遂げている通信衛星や自動車電話、ファクスなどの発達と相まって遠からず解決されてゆくものと思われる。

このように移動しているものの正しい位置をリアルタイムで把握できるという単純な事が、他のシステムと結合して新たなシステムを生み、一般の社会生活の中での効率を飛躍的に高めてゆく事が理解できると思う。

上記に述べた事はGPS本来のナビゲーションという分野での利用ですが、もう一つの大きな分野では精密測量の分野がある。これは前にも述べたとおり10キロメートルの2点間に付き1〜2センチメートルの誤差範囲で計測できる機能をもっている。この分野では世界中ですでに実用

化されていて、実際に使われている。測量といっても、現在は主に基準点測量のような高精度を要求される分野で使用されているが、毎年、受信機の新機能が開発され前述のキネマティック測量のように、短時間で何点もの精密測量ができるようになっている。GPSの測量の最大の利点は何と言っても、従来の測量方法に比較して大幅な測量コストダウンができることである。本来、測量は人権費の占める割合が、非常に大きいと言われている。例えば、精密測量用として現在使用されている光波測距儀は一方の点にミラーを置き、もう一方の点に据え付けた機器から光を発射して、その光がミラーに反射してかえってきた時間から距離をわりだすと言う原理のもので、非常に2点間の距離を測定できるようになっている。しかしご承知のように光はモヤがかかっていたり、スモッグが発生していたりした場合は使用不可能である。

また光が届く距離には限界があり、標準的には数キロメートル以内でしか使用できない。それにもうひとつの制約は計測する2点間を結んだ間には何の障害物があっても計測が不能で、必ず2点間の視通を確保しなければならない。このような制約のため、日本でも地図の基本となる十万点あまりの基準点(三角点)は、視通が確保された山頂などにあり、基準点の測量には非常に大掛かりな準備を要し、食糧や機材を担いで登山をし、モヤがはれるまで数週間も留どまり、明け方などの一瞬について計測をする。このように基準点の位置の制約と天候の制約、それに計測可能な距離の制約があり、1点を計測または再計測するのに多大の労力と費用がかかる。その点GPSによる測量は、

- (1) 2点間の視通を必要としない為、2点の間にある森林などを伐採する必要はないほか、山のむこうとこちらとでも上空が開けていれば計測できる。
- (2) 全天候型で雨の多い時期でも計画を変更することなく、正確に計画通りの測量が可能である。
- (3) 前述のGPSの種類ので述べましたように機器の違いにもよるが、一般的に1周波型受信機で50キロメートル位、2周波型受信機では数百キロメートルの2点間を、標準誤差の範囲以内で計算できる。

土木測量で長いトンネルの両端の位置をきめたり本四架橋のような長大橋の架橋地点の精度測量等にも容易に利用できるもので、これらの測量学に大きな技術的な革命をもたらす技術になるものと考えている。

謝 辞

本稿をまとめるに当たり、木村小一先生(東京商船大、舩トリンブルナビグーション)村田一郎教授(東大・地震研究所及び村田正秋博士(科学技術庁、航空探査技術研究所))の方々からGPSに関する最新の資料を多数ご提供いただき、又種々御教示いただきましたので深甚なる謝意を表したい。

参 考 文 献

- 1) Guide to GPS Positioning: Canadian GPS Association (1986).
- 2) 改訂版 GPS—人工衛星による精密測位システム(1987): 日本測地協会編著.

- 3) 木村小一：NAUSTAR/GPSの開発とそのシステム．造船技術，Vol. 20, No. 5, May 1987.
- 4) 島本秀幸：GPS時代へのカウントダウン．造船技術，Vol. 22, No. 6, June 1989.
- 5) 村田正秋：GPSの現状と将来および航法への応用．第14回リモートセンシング部会（研究会計測自動制御学会），Oct. 14, 1989.
- 6) 村田一郎：講義ノート．
- 7) 現代測量学（第2巻）日本測量協会編（1981）.
- 8) 理科年表 国立天文台編，丸善発行．
- 9) 大嶋太市：新しい測量技術について—GPSを中心として—．大阪土地社屋調査士会会員研修会テキスト，平成元年11月15日・大阪郵便貯金会館ホール．