

農業土木における GPS 利用技術 (その 1)

GPS の仕組みと現状

樋口 良彦[†]

(HIGUCHI Yoshihiko)

講座「農業土木における GPS 利用技術」の趣旨

農業土木学会誌講座小委員会

GPS (Global Positioning System) は、人工衛星を用いた測位システムで、カーナビゲーションシステムをはじめとして、高精度のものは測量にも用いられるなど、我々の日常生活の中にもその存在が知られるようになってきました。一方、2000 年 5 月にはアメリカ合衆国政府により発信されていた GPS の測位精度を低下させる信号 (S/A) の解除や低価格化により、利用環境が整いつつあります。

一言に GPS といっても、各機器が採用する方式により測位精度も異なります。このため、その利用にあたっては、技術者の創意工夫により更なる展開が期待されます。

そこで、学会誌編集委員会では GPS の仕組みを平易に解説するとともに、農業土木に関連した GPS 利用技術を紹介することにより、農業土木技術者の測位に関する技術の向上を目的として、講座「農業土木における

GPS 利用技術 (全 6 回)」を企画しました。

本講座は、GPS に関する基礎的事項と農業土木に関連した GPS 利用事例を、以下のような構成 (予定) で解説することとしています。本講座が読者の技術向上に役立ち、実務に活用されることを願います。

(その 1) GPS の仕組みと現状

トリプルジャパン 樋口良彦

(その 2) GPS の測位精度と現場調査への適用性

農業工学研究所 奥山武彦

(その 3) レーザーによる三次元地形の航空測量

国際航業 斎藤和也

(その 4) GPS を用いた地滑り測定

農業工学研究所 中里裕臣

(その 5) 中山間直接支払制度における圃場データ収集・測量

トリプルジャパン 樋口良彦

(その 6) 精密農業における GPS の利用

東京農工大学農学部 澁澤 栄

1. はじめに

人間は今まで、多くの発明をしてきており、測位技術に関しても古くからさまざまなものが考え出されてきた。たとえば、古くは星を利用しての航海を行っていたが、星を用いた航海では慎重な計測が必要になり、また、計測は晴れた夜に限られていた。

近代になって、ロラン (Loran) やデッカ (Decca) など電子機器を用いた測位技術が開発されてきたが、これらの方法では沿岸水域以外の地域での使用は困難で、その正確さも受信機の性能や地理的条件により異なるという問題があった。また、過去のトランジットシステムやサテライトナビゲーションといわれた衛星を用いたシステムでは使用する衛星の軌道が低く、数も少なかったため、衛星の位置を確認することが容易でない上、低い周波数を利用したドップラー測定法によっていたため、測

定誤差が大きかった。

そこで、アメリカ合衆国防総省は、GPS (Global Positioning System : 全世界測位システム) を打ち出し、非常に高い軌道にある 24 個の人工衛星の軌道体系をもとにした測位方法の確立を図った。ある意味では、これら GPS 衛星は今までの航海法に伝統的に用いられてきた夜空の星に代わる日中でも使える人工の星ともいえよう。GPS の開発により、全天候、世界中どこからでも 24 時間、位置情報と時間情報を得ることが可能となった。GPS は軍事目的に開発されたシステムであるため、民間利用においては、測位精度を低下させる信号 (Selective Availability : S/A) が発信されていたが、2000 年 5 月にそれが解除され、測位精度が飛躍的に向上した。このため、機器の低価格化とも合わせて、今後その適用範囲の拡大が期待されるものである。

GPS に関する資料はこれまで数多く出されている

Application of GPS on Irrigation, Drainage and Reclamation Engineering (1)

Fundamentals and Present State of Global Positioning System (GPS)

[†]トリプルジャパン (株)



GPS, 単独測位, ディファレンシャル補正, 干渉測位

がたとえ(1-3)、本講では改めてGPSの仕組みと現在の状況について解説を行う。

II. GPSの原理

1. GPS衛星

GPSはGPS信号を発する人工衛星(以下、「GPS衛星」という)から信号を受け、GPSアンテナからそのGPS衛星までの距離を計算することで、地球上の位置を計算する(図1)。GPS衛星の諸元は、表1のとおりである。

GPS衛星は、周波数の異なる2つの信号(L1, L2)を放送しており(図2)、現在、各々のコードに対応し

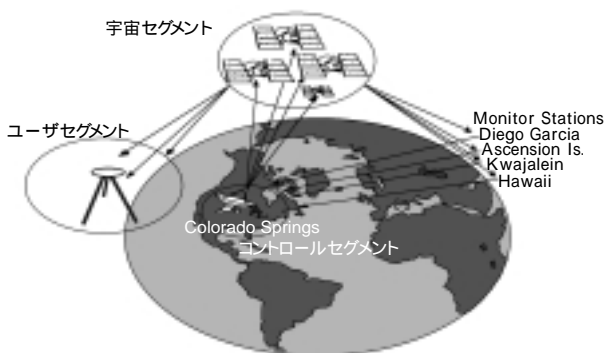


図1 GPSのセグメント

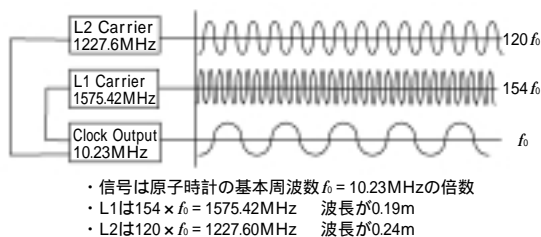


図2 GPSの搬送波

表1 GPS衛星の諸元

項目	諸元
名称	ナブスター(Navstar)
製造者	ロックウェル・インターナショナル
高度	20,186.8 km
重量	862.6 kg(軌道に於て)
全長	約5.18 m(ソーラーパネルを広げた状態)
軌道周期	約11時間58分
軌道面	赤道面に対して 55°
寿命	7.5年
製造数	ブロックIタイプ 11機 ブロックIIタイプ実用型 28機
運用衛星数	24個
衛星軌道数	6軌道

たGPS受信機が市販されている。GPS衛星が放送する信号には、測距のためのコードとともに衛星の軌道暦が含まれており、GPS受信機の電源投入時などに衛星を捕捉・予測するのに利用される。

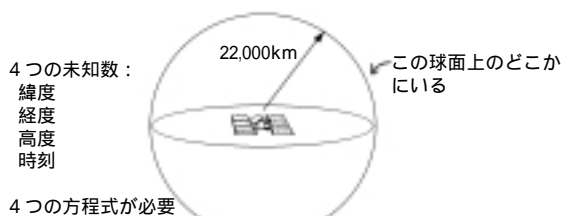
2. 位置計測の仕組み

GPSでは、複数のGPS衛星からGPSアンテナまでの距離をもとに、GPSアンテナの位置を計測するシステムである。

GPS衛星からの距離は、GPS衛星からGPS受信機への信号の到達時間を計ることによって行われる。信号到達時間を計るためには、GPS受信機の信号がいつGPS衛星を出たかを知る必要がある。このため、GPS受信機とGPS衛星の双方で同じ信号を同時刻に生成し、GPS受信機では衛星から送られてきた信号を調べ、同じ信号の到達時間を計算する。この到達時間に光の速度を掛けることにより、GPS衛星までの距離を計算することができる。この方法により求められたGPS衛星とGPSアンテナの距離には誤差が含まれるため、擬似距離(pseudo range)と呼ばれるが、本講では単に距離ということとする。

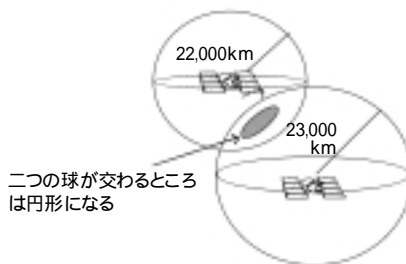
GPS衛星とGPSアンテナの距離をもとに位置計測を行う仕組みは、以下のとおりである。

- ① 1つのGPS衛星からの距離がわかった場合、計測を行うGPSアンテナの位置は、対応するGPS衛星を中心とした球の表面に絞ることができる(図3)。



ひとつの衛星を用いた距離測定は、位置がその球面上のどこかにあることを示す。

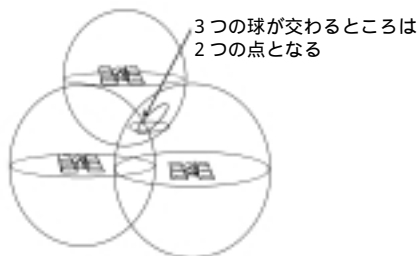
図3 人工衛星を用いた位置計測(その1)



二つの球が交わる場所は円形になる

2つの人工衛星との距離がわかれば、現在位置は2つの球が交わる円上にある。

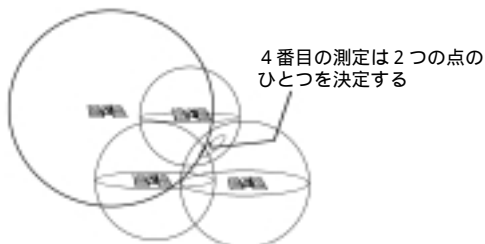
図4 人工衛星を用いた位置計測(その2)



3番目の距離を測ると2つの点が得られる。

- ・実用上、位置の決定には3つの距離を測るだけで十分である。
- ・この理由は一方の解は宇宙の中にあり、しかも高速で移動する。
- ・したがって、解のひとつは無視することができる。

図5 人工衛星を用いた位置計測(その3)



4番目の距離の測定は2つの点のいずれかを決定する。

- ・4番目の観測は受信機の時計の誤差を解くことができる。

図6 人工衛星を用いた位置計測(その4)

- ② 2つのGPS衛星からの距離がわかっているならば、GPSアンテナの位置は2つの球面が交わった円周上に絞り込むことができる(図4)。
- ③ 3つのGPS衛星からの距離がわかれば、GPSアンテナの位置は2点のいずれかということになる(図5)。
- ④ 4つのGPS衛星からの距離がわかれば、GPSアンテナの位置を1点に決定することができ、3次元の座標が求められることになる(図6)。

III. 測位誤差

1. 誤差要因

GPSを用いた測位において、誤差を生じさせる要因には、以下のものが挙げられる(図7)。

- ・S/A (Selective Availability)
- ・電離層
- ・大気圏
- ・GPS衛星の配置
- ・時計の誤差(クロックエラー)

S/Aとは、前述のとおり、アメリカ合衆国政府が防衛の関係上、GPS衛星から放送される信号に入れていた誤差であり、2000年5月2日に解除されている。

一方、GPS衛星の幾何学配置によっても測位誤差を生じる(図8)。すなわち、GPS受信機の上空に十分な

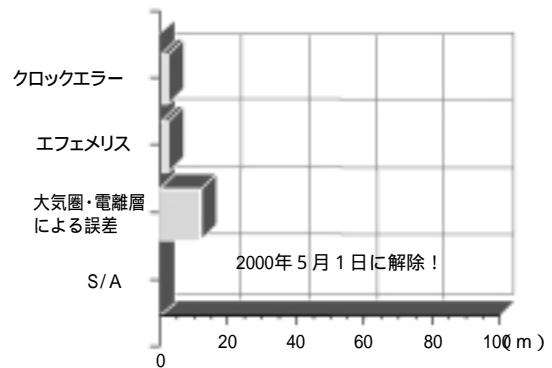


図7 GPSの誤差要因

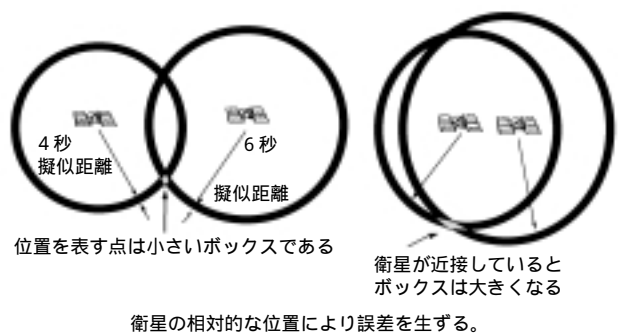


図8 GPS衛星の幾何学的配置による精度劣化

数のGPS衛星が存在したとしても、それらの配置により大きな測位誤差が生じる可能性がある。上空のGPS衛星が1カ所に集中している場合には測位精度が低下し、上空に均等に配置されている場合が理想的な状態となる。GPS衛星の配置に関する情報として、PDOP(Position Dilution of Precision)という値がGPS受信機から出力され、測位結果の精度を評価する指標となる。

GPS受信機では測距コードの時間同期により距離を計算していることから、非常に正確な時間、同期が要求される。このため、GPS衛星には原子時計を搭載し、1ナノ秒以上の高精度で時刻を計算する。一方、地上に設置されるGPS受信機の時計は誤差を含んでおり、この時間誤差が位置精度にも影響を与える結果となる。GPSにおける距離計算では、非常に微小な時差によることから、わずかな時間誤差も重大となる。このため、4番目のGPS衛星による距離の測定がGPS受信機の時計の誤差を除くためと、3次元位置を得るために用いられる。

2. GPSの精度

GPSの精度は機器、データ処理の手法、そして他の要因により、1cmから10mの範囲にある。通常、カーナビゲーションなどのコンシューマ製品で利用されているものは、アプリケーションにより10mの誤差を生じ

る可能性がある。

IV. GPSの種類と特徴

1. 単独測位

II. の方法で位置を計算する手法を単独測位といい、カーナビゲーションや船舶用のGPSなど多くの民生品に活用されている。しかし、単独測位による精度は一般的に10m程度とされており、測量・地理情報システムなどへの応用は難しいのが現状である。

2. ディファレンシャル補正

ディファレンシャル補正は、誤差の大きい単独測位による測位結果の精度を向上させるために導入される技術である。

ディファレンシャル補正では、位置座標が既知の場所に固定局の受信機を設置し、もう一方の受信機で移動局のGPS位置を収集する。固定局で収集されたデータをもとに、どの程度の誤差がGPS衛星からのデータに含まれているかが決定される。固定局で得られた誤差の情報を移動局で収集されたデータに適用することにより、移動局の測位結果から誤差を除くことができる(図9)。ディファレンシャル補正の絶対位置精度は固定局の座標の精度に依存するので、固定局の位置を正確に知っておく必要がある。

このように、搬送波のコードを利用して行うDGPSをコードディファレンシャルといい、一般的にDGPSとも呼ばれている。

リアルタイム・DGPS(Differential Global Positioning System)では、固定局はデータを受信した各衛星の誤差を計算し、放送(無線信号を通して)する。この補正は移動局で受信され、計算した位置に補正を適用する。結果の画面上で見られる位置はディファレンシャル補正された位置で、現場にいるときにどこにいるかを知りたいときに役立つ。これらの補正された位置はデータコレクターのファイルに、リアルタイム補正は通常RTCM SC 104と呼ばれる形式で保存される。

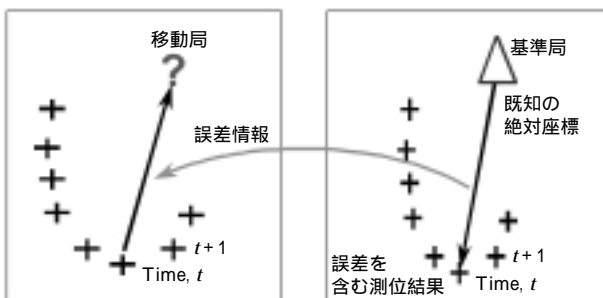
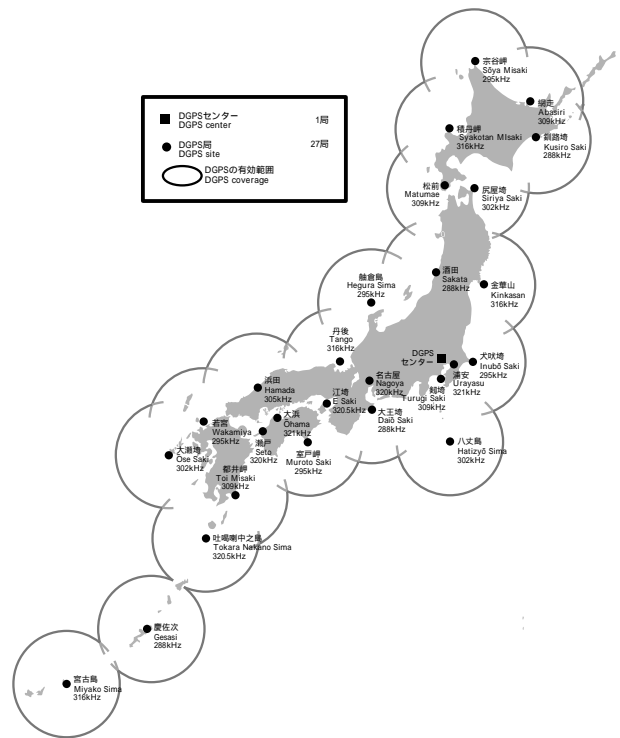


図9 ディファレンシャル補正の原理



海上保安庁ホームページより転載

図10 全国の海上保安庁提供 DGPS 局

1999年4月から、海上保安庁が全国の主要灯台でDGPSの補正情報の放送を開始した(図10)。これにより、ほぼ全国でリアルタイムに補正情報を受信することができるようになり、数十cmの精度を実現している。

3. 干渉測位

干渉測位は、少なくとも2つ以上の場所で、同時に共通の4衛星以上を観測し、その位相差からバイアス解を計算する手法であり、最も高精度な測位を行うことができる。単独測位やDGPSがC/AコードとPコードを利用しているのに対して、干渉測位はL1およびL2の搬送波を利用して測定を行う。L1、L2の波長は非常に短いため、精密測量で誤差数センチメートルの測定が可能である。

干渉測位にはキネマティック方式とスタティック方式がある。キネマティック方式では、移動しながらの観測が可能である。中でも、観測中に結果が得られるものを、リアルタイム・キネマティックGPS(RTK-GPS)という(図11)。この手法を利用することにより、約1cmの誤差精度での測位が可能である。ただし、本方式を公共測量に利用しようとした場合には計画機関の承認が必要となるので注意が必要である。

リアルタイム・キネマティック方式のシステム構成(図12)は、基準局と移動局を無線でリンクさせなければ

擬似距離を計算するために、
搬送波の位相を観測する。

RTK - GPSの特徴

- ・既知点に2周波受信可能なGPSを設置し、位相を観測する。
- ・高精度(1cm)でリアルタイムなので、基準点・地形・工事測量に適する。
- ・GISへの対応が可能。
- ・基準局と移動局間の無線リンクが必要なので、距離に制限を受ける。

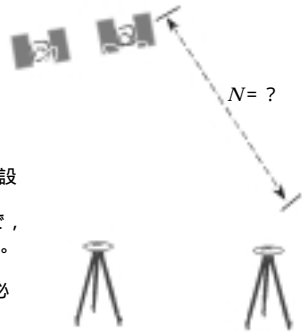
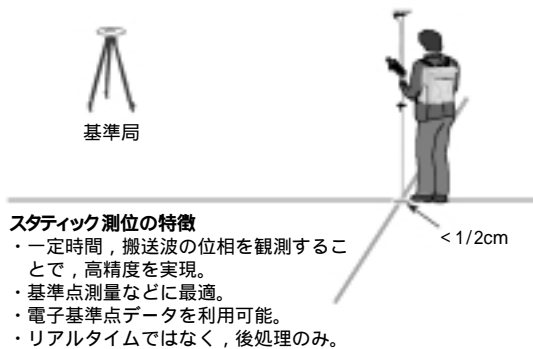


図 11 RTK - GPS の概念



スタティック測位の特徴

- ・一定時間、搬送波の位相を観測することで、高精度を実現。
- ・基準点測量などに最適。
- ・電子基準点データを利用可能。
- ・リアルタイムではなく、後処理のみ。

図 13 スタティック測位の概念

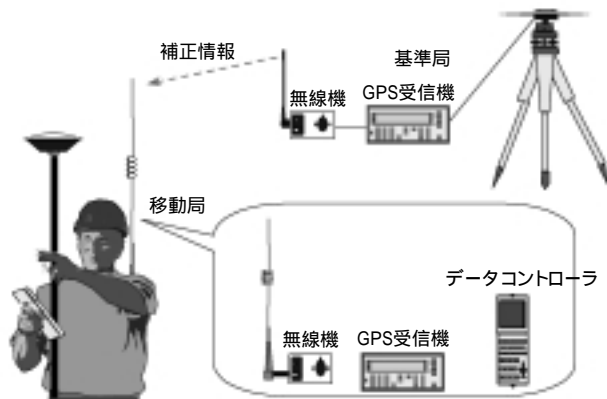


図 12 RTK - GPS 方式のシステム構成

ばならないのと、精度を保つために移動局と基準局の距離(基線長)に制限がある。この基線長は、約 20 km とされている。

一方、長時間 GPS を固定し、位相を観測することにより精度を向上させるのがスタティック方式である。スタティック方式による測位(図 13)は、現在、基準点の測量として認められている。本方式で利用できる補正情報サービスには、国土地理院が全国に設定している電子基準点があるが、公共測量へは測量法が改定され、測地成果 2000 へ移行した時点で使用可能となる予定である。

V. おわりに

本講では、農業土木技術者へ GPS 利用技術紹介を目的として、GPS がどのようにして測位を行っているのか、また、各種 GPS 測位技術が現在どのような環境にあるのかについて解説を行った。

現在、GPS は、カーナビゲーションをはじめ日常生活のさまざまな場面で利用されるようになってきたが、高精度のものは今後次第に現地での測量においての使用が認められる機会が増えると考えられる。

また、市販の GPS 機器が安価になるとともに、さらに多くの場面への適用が期待され、これらの機器を使用する現場技術者の工夫により測位技術を基盤とした更なる技術開発を期待するものである。

参 考 文 献

- 1) 地理情報システムのための GPS 入門, トリブルジャパン(株)1999)
- 2) GPS 測量入門, トリブルジャパン(株)1994)
- 3) What's GPS A Guide to the Next Utility, Trimble Navigation Ltd (1999)

[2001 .8 .17 . 受稿]