

精度の決め手 “マルチパス”

DX アンテナ(株) GPS 事業部 小神野 和貴

はじめに

GPSには様々な誤差をもたらす要因がある。今月はその中で比較的誤差要因として大きい、そしてメーカーがしのぎを削ってその除去機能を開発しているマルチパスについて、その他の除去技術も交え説明していこうと思う。

1. 現在までの道のり

現在、カーナビゲーションを含め、様々なGPS受信機が登場している。カーナビゲーション登場の当初は、GPSナビゲーションであることをうたい文句にして、他社のナビゲーションと差別化することが多かった。ほんの数年前までこの状況は続いていたが、その後カーナビゲーションメーカーはGPS以外の機能を強化して他社の製品に対抗するようになってきた。これはGPS以外の機能を強化することで十分に製品を差別化できることがわかったからである。GPSであるということだけでは差別化を図ることや、ユーザーの興味をそそることはできなくなった。逆に言えば、GPS自体はすでに一般化しているということの現れでもある。

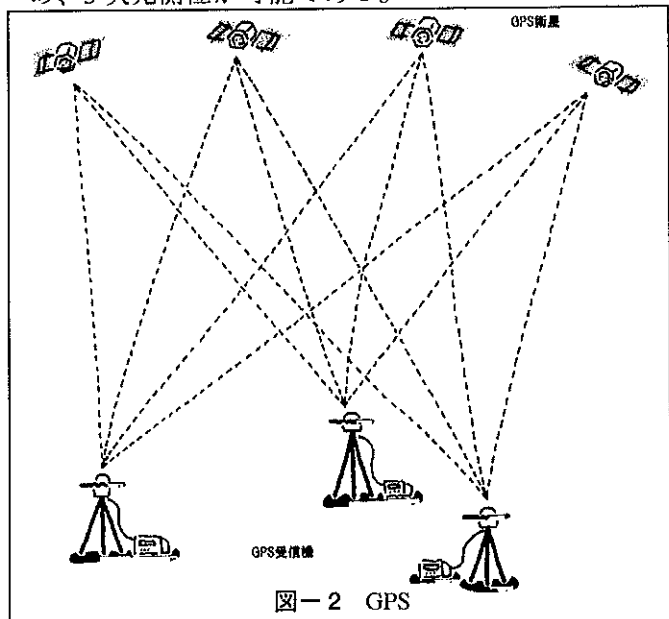
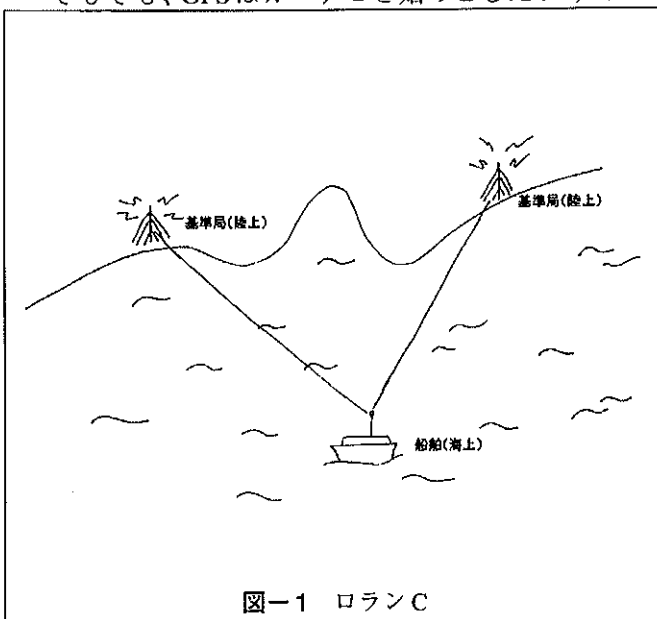
そもそも、GPSはカーナビを始めとしたわけでは

ない。もちろん、船舶や測量などの高精度測位に関するGPSの研究も盛んである。はじめは受信技術、そして測位技術、誤差要因の推定・除去技術というように、開発の焦点は推移してきている。

2. 精度維持＝誤差要因の推定・除去

では、GPSの誤差とは何者だろうか？ これを理解するためにはまず、GPSの仕組みを理解する必要がある。

GPSでは衛星からの距離（「擬似距離」という）を計測して、ある一点の位置を計測する。これは最低3機のGPS衛星の電波を利用し、双曲線航法を用いて行う。双曲線航法はGPSに限らず、それ以前からあったロランCやデッカでも同様である。ロランCやデッカは地上に発信装置を数箇所設置し、その地点との双曲線で位置を計算する測位システムである。これは地上に設置されているため、水平面の測位のみとなり、発信装置の電波の届く範囲がカバレッジとなる。GPSはこの発信装置を人工衛星として上空20000kmの円軌道上に配置されている。地上に対して高さ方向にも双曲線を持つことができるため、3次元測位が可能である。



双曲線航法は身近なものでも理解できる。誰でも公園のブランコに乗ったことはあるだろう。あのブランコは、基本的に前後には動くが左右には動かない。これは動く方向に対して直角方向に2本鎖がつながっているからだ。この鎖はもちろん伸びも縮みもしない、だから鎖が伸び縮みする方向（左右）には動かないのだ。それでは、もう一本鎖を増やしてみよう。それも前後方向に対してである。もう想像つくと思うが、その鎖におさえられブランコは動かなくなる。これが双曲線航法の原理である。しかし、“ガタ”はある。ちょっとだけ動く、無理やり動かそうとすると、鎖が“ガチャガチャ”と音を立てる。では、この“ガタ”とはなんだろうか？ もちろん、鎖は鉄であるからその鉄自体は伸び縮みしない。“ガタ”の原因は鎖自体である輪、一つ一つのズレである。輪同士、多少の空間や引っかかり、ねじれなどにより厳密にまっすぐではない。もちろん、たるみもあるだろう。これこそが誤差である。鎖ではなくピアノ線や鋼線でブランコを作れば、びくともしないだろう。

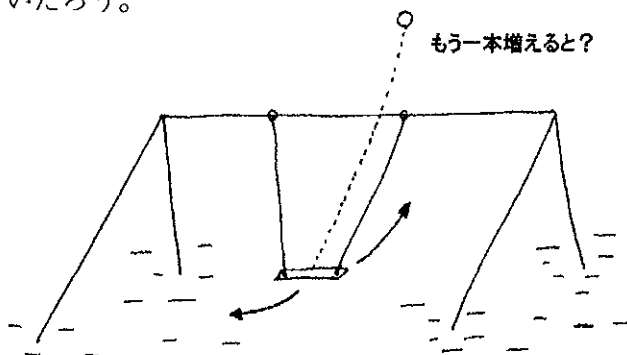


図-3 双曲線航法（動かないブランコ？）

GPSにもこれと非常に似たことが言える。GPSの場合、鎖ではなく電波だ。この電波は通常、真空中で1秒間に30万kmものスピードがあり、このスピードは非常に安定している。だからこの速度一定を利用し、時間を計ることで電波が進んだ距離を測ることができる。その際、電波自体の速度はある条件下で一定であることを頭に入れておいてほしい。

GPSでは、それぞれの衛星で同じ時間（タイミング）に信号を発信している。受信機ではそれぞれの衛星ごとの発信された信号を受信している。しかし受信機から見ると、それぞれの衛星が発信した信号が時間的にずれて受信される。これは先ほどの“電波自体の速度はある条件下で一定である”ことから言えるように、衛星と受信機の距離に換算することができる。

では、誤差はなぜ発生するのか、GPSでは一般的に以下の誤差要因を持っている。

- ①衛星搭載の原子時計の精度
- ②衛星の軌道精度とその軌道情報精度
- ③SA（Selective Availability：選択利用性）
- ④電離層による屈折伝播遅延
- ⑤大気圏水蒸気による屈折伝播遅延
- ⑥マルチパス
- ⑦受信機の時計誤差
- ⑧トラッキング性能
- ⑨受信機雑音

これでおおよそ100mの誤差を発生する。その中で一番大きいものが③SA（Selective Availability：選択利用性）である。これは他の誤差要因と違い、米国国防総省により故意に与えられているものである。2000年5月以降、このSAは停止され、GPSの単独測位の精度が向上し、おおよそ90mの誤差がSA停止により除去されたことで、現在数mまで単独測位による誤差が減少した。

上記の誤差を除去する技術も存在する。DifferentialGPS（以下DGPS）はその代表である。DGPSでは誤差要因のうち以下のものを除去できる。

- ②衛星の軌道精度とその軌道情報精度（エフェメリス）
- ③SA（Selective Availability：選択利用性）
- ④電離層による屈折伝播遅延
- ⑤大気圏水蒸気による屈折伝播遅延

ここまでの除去で数mまで精度を向上することができる。

以下はDGPSでは除去できない誤差である。

- ①衛星搭載の原子時計の精度
これはGPSシステムの誤差の中では非常に小さいものである。
- ⑥マルチパス
あとに述べるが、反射波による誤差。
- ⑦受信機の時計誤差
受信機のハードウェア的な誤差で、主に水晶発信器の安定度により発生する誤差。
- ⑧トラッキング性能

衛星の時計にどれだけ忠実に追尾できるかの能力。

⑨受信機雑音

受信システムのハードウェア的固有雑音。

上記の“⑦受信機の時計誤差”“⑧トラッキング性能”“⑨受信機雑音”は主に受信機の内的要因であるため、コストとの釣り合いで改善は可能である。

3. 「マルチパス」って何者？

では、最後に残った“⑥マルチパス”とは何者だろう。映りの悪いテレビを見たことはあるだろうか？

移動中のカーテレビでも同じであるが、画像に縞々模様が入ったり、映っているものが2重に見えたりすることがある。あれも同じマルチパスである。テレビ受信の場合これを“ゴースト”とっている。

電波塔から発信されるテレビ電波が、通常であれば直接住宅の屋上のテレビ受信アンテナに受信されている場合は起こらない。しかし、近傍に建設物が建つと電波塔から直接受信アンテナに到達している電波＝直接波と、電波塔から建設物に当たって反射して受信アンテナに到達している電波＝反射波の2通りの経路をたどった電波が受信アンテナに到達することになる。これにはそれぞれ到達する時間差があり、反射して遅れて到達した方がテレビのゴーストとなり、画面の右側に現れる。テレビ受信では、電波塔と受信アンテナが基本的に移動しないために、直接波と反射波の遅延量は一定であり、このゴーストが起きないように受信システムを構築している。

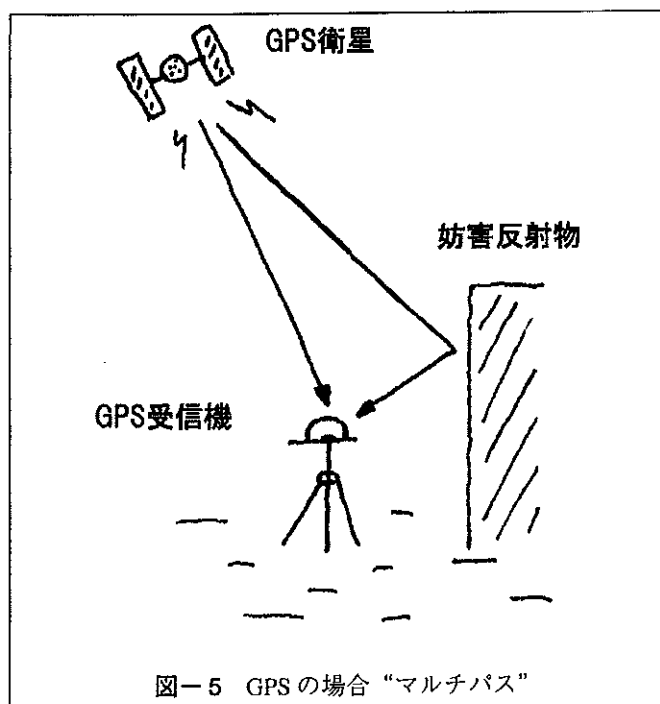
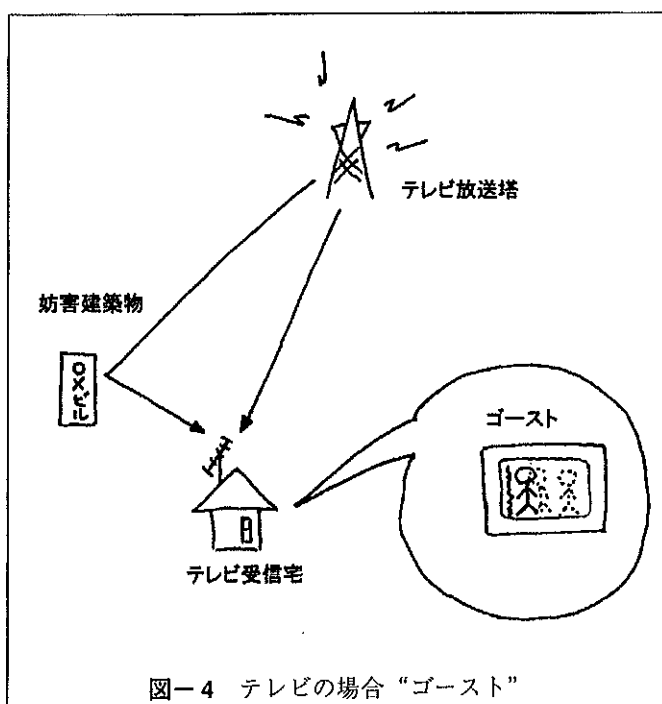
GPSでもこれとまったく同様なことがおきる。しかし、GPSの特徴でもある衛星航法のため、衛星自体が移動し、もちろんGPS受信システム自体も移動するため、直接波と反射波の遅延量は一定ではない。このマルチパス除去は非常に難しい技術である。

マルチパスがなぜ厄介かという、この誤差自体が外的要因であるためである。“⑦受信機の時計誤差”“⑧トラッキング性能”“⑨受信機雑音”は受信機内部のことなので、あまり変化することはない。設計時に改善することも可能である。しかしマルチパスによる反射波は、GPS自体衛星航法であるため衛星が常時移動しており、変化している。これはテレビ受信と違って、常にこの反射波を検出し、能動的に除去する必要があることを意味している。

このマルチパスは、通常の無線通信では有効に活用されている。そして一部のGPS受信機でも同様に用いられており、とくにカーナビゲーションやハンドヘルドGPSでは、マルチパスを有効に使っている。都心部などの高層ビル街では、ほとんどがマルチパスとなってGPS受信機に到達する。高精度GPS受信機では、その機能を発揮することは現状では不可能で、今後の衛星測位技術に期待される。カーナビゲーションやハンドヘルドGPSでは、測位精度よりも測位安定性を優先していることがマルチパス有効活用につながっている。

4. 飽くなきマルチパス除去技術開発

では、どのような技術でマルチパスを除去してい



るのだろうか？ ここでは、最先端GPSメーカーであるMAGELAN社Ashtech Precision Productsの最新マルチパス除去技術を紹介する。

「Ashtech Enhanced Strobe Correlator」

Ashtechでは以前から高性能マルチパス除去技術を発表してきた。「Edge Correlator」や「Strobe Correlator」は、すでに各種の受信機に採用されている。これらのマルチパス除去技術はおもにC/Aコードにのみ有効な技術であり、搬送波に対しては無効であった。今回の「Enhanced Strobe Correlator」は、Ashtechの第3世代のマルチパス軽減技術であり、C/Aコードのみではなく搬送波に対するマルチパスにも有効である。

以下の図は、コードに対するマルチパス軽減効果と搬送波に対するマルチパス軽減効果を、これまでに発表されたさまざまな技術で軽減したときの効果を表したものである。テストはGPSシミュレータを用い、直接波に対して反射波を-3dBの強度として仮想的に測定した結果である。

図の縦軸はエラー量、横軸はマルチパス遅延量であり、この面積が小さい方が軽減効果が発揮されていることを意味している。図-6を見ると、「Enhanced Strobe Correlator」は他の軽減技術よりもこの面積が遥かに小さいことがわかる。これは今までの軽減技術よりもコードマルチパスに対してさらに有効であり、一般的に除去が難しいとされているショートレンジのマルチパスに対しても有効であることを意味している。「Enhanced Strobe Correlator」の感度は最高約24m (80ns)、トラッキング誤差は3.5mである。図-7は搬送波に対するマルチパス軽減効果であるが、他の軽減技術はほとんど無効であ

り、通常1チップの相関器とほぼ同等の感度であった。「Enhanced Strobe Correlator」はその軽減効果ははっきりと現れている。これにより搬送波の感度は約24mとなっている。

5. 今後の展望

最近、GPSを用いたアプリケーションが急速に増加してきた。この中で、より高性能、よりコストパフォーマンスに優れた受信機が求められるようになり、需要の増加に伴いその要求は満たされていくと思われる。衛星測位システム自体もGPSのみからGLONASS、そしてGALILEOなど。DGPSインフラもWAAS、MSAS、EGNOSへとその規模を拡大していく計画がある。RTKのインフラとして、仮想基準局Virtual Reference Station(RTK-VRS)も現在弊社や国土地理院殿、その他関係機関と6月に実験を行い検証していくことになっている。VRSについては、順次本特集で紹介していく。また、現在の衛星測位システムの問題点であった測位精度の信頼性や安定性は、各々のシステムがインテグリティを確保し合うようになり、次第に解決されていくであろう。

参考文献

- L.Garin, Dr.F.van Diggelen, J.M.Rousseau (1996)
"Strobe & Edge Correlator-Multipath Mitigation for Code"
ION GPS-96, pp.657-664
- L.Garin, Jean-Michel J.M.Rousseau (1997)
"Enhanced Strobe Correlator-Multipath Rejection for Code & Carrier"
ION GPS-97, pp.559-568

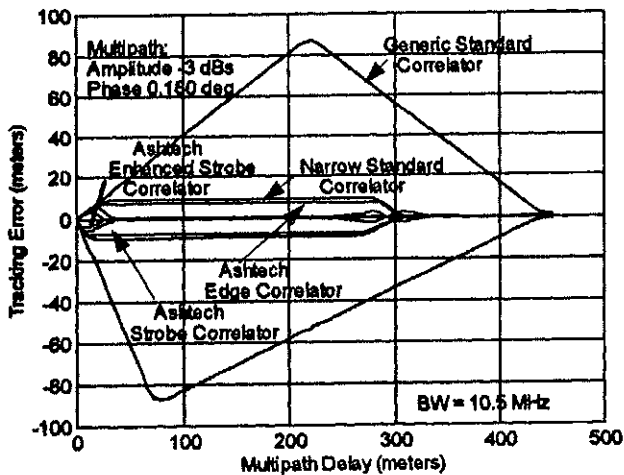


図-6 コードのマルチパス軽減効果

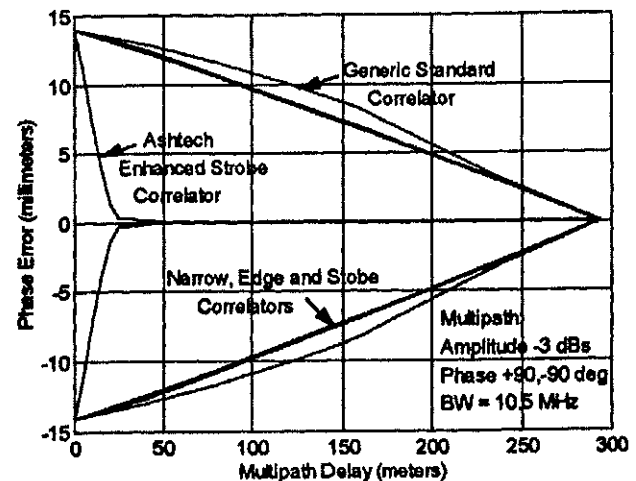


図-7 搬送波のマルチパス軽減効果