

マルチパス誤差の削減と高精度化への可能性について



東京海洋大学

久保信明、安田明生、鈴木崇史

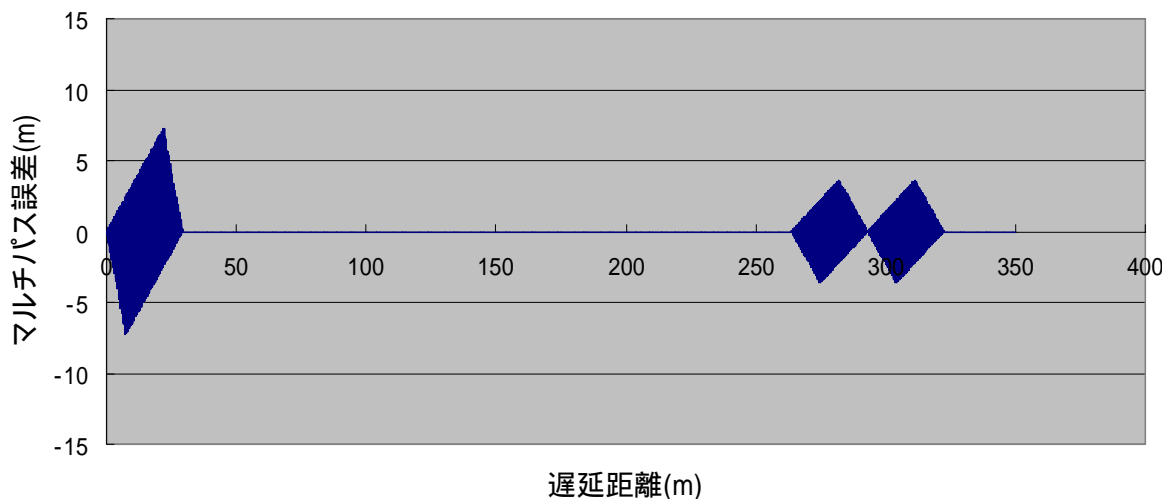


はじめに

- 衛星測位分野における重要な課題として、**可視衛星数の増加とマルチパス誤差の低減、tracking能力の向上が挙げられる。**
- もし可視衛星数が現在よりも2, 3個程度増加し、マルチパス誤差が1-2m以内に低減されると、**DGPS測位の精度が向上し、RTK測位の利用性も飛躍的に高まる可能性がある。**

コードマルチパス誤差の現状

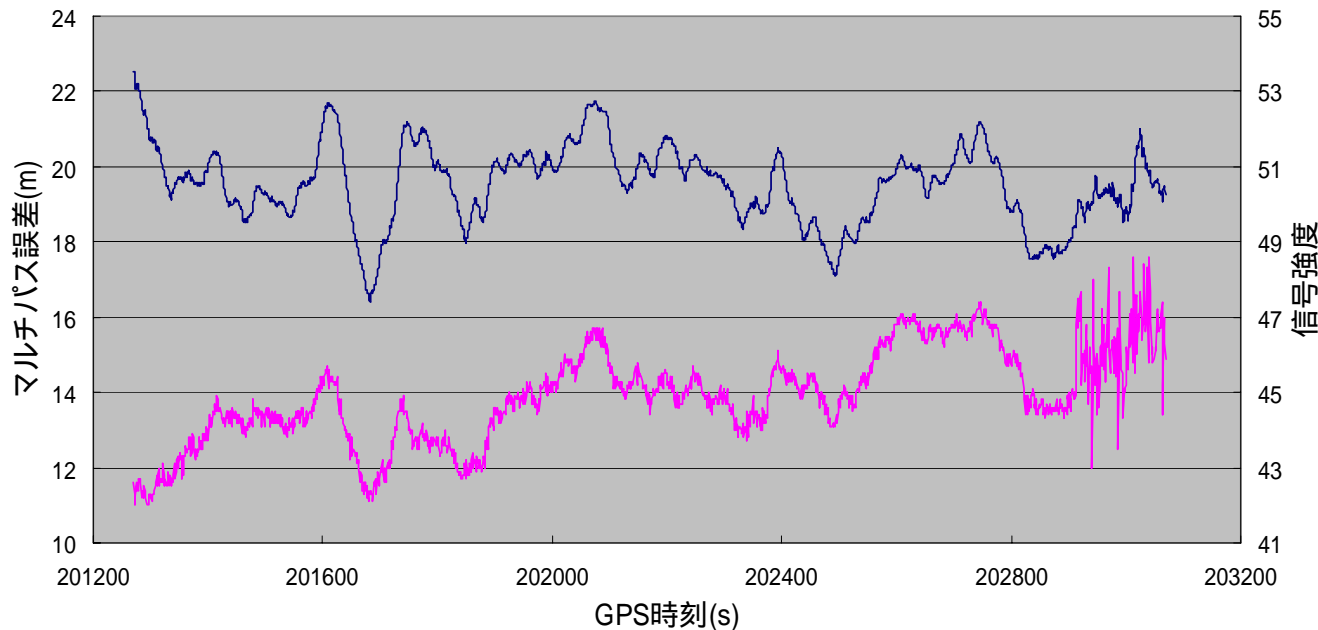
- 現在、実用化されている受信機においては、遅延距離が30m程度以上のマルチパス波はほぼ除去することができ、30m以内のマルチパス波(振幅比0.5)に対しては、**最大6m程度**の誤差を生じる。



0.1chip Strobe-correlator
の場合

マルチパス誤差低減方法の提案

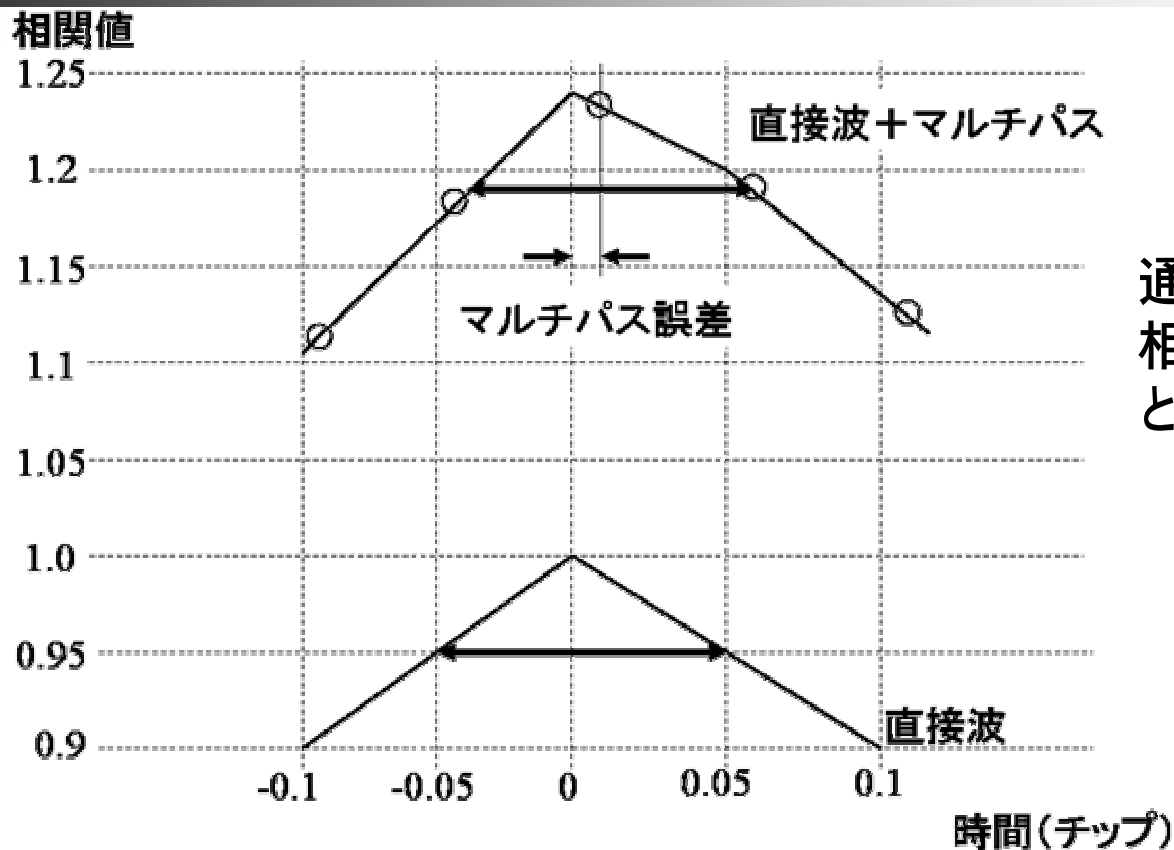
- 以前からマルチパス誤差と信号強度の変動に強い相関があることが知られていた。



青:マルチパス誤差
赤:信号強度

上記に見られる強い相関性をマルチパス誤差の推定に利用することを試みた

マルチパス誤差について



通常ピーク付近の相関値が信号強度としてみなされる。

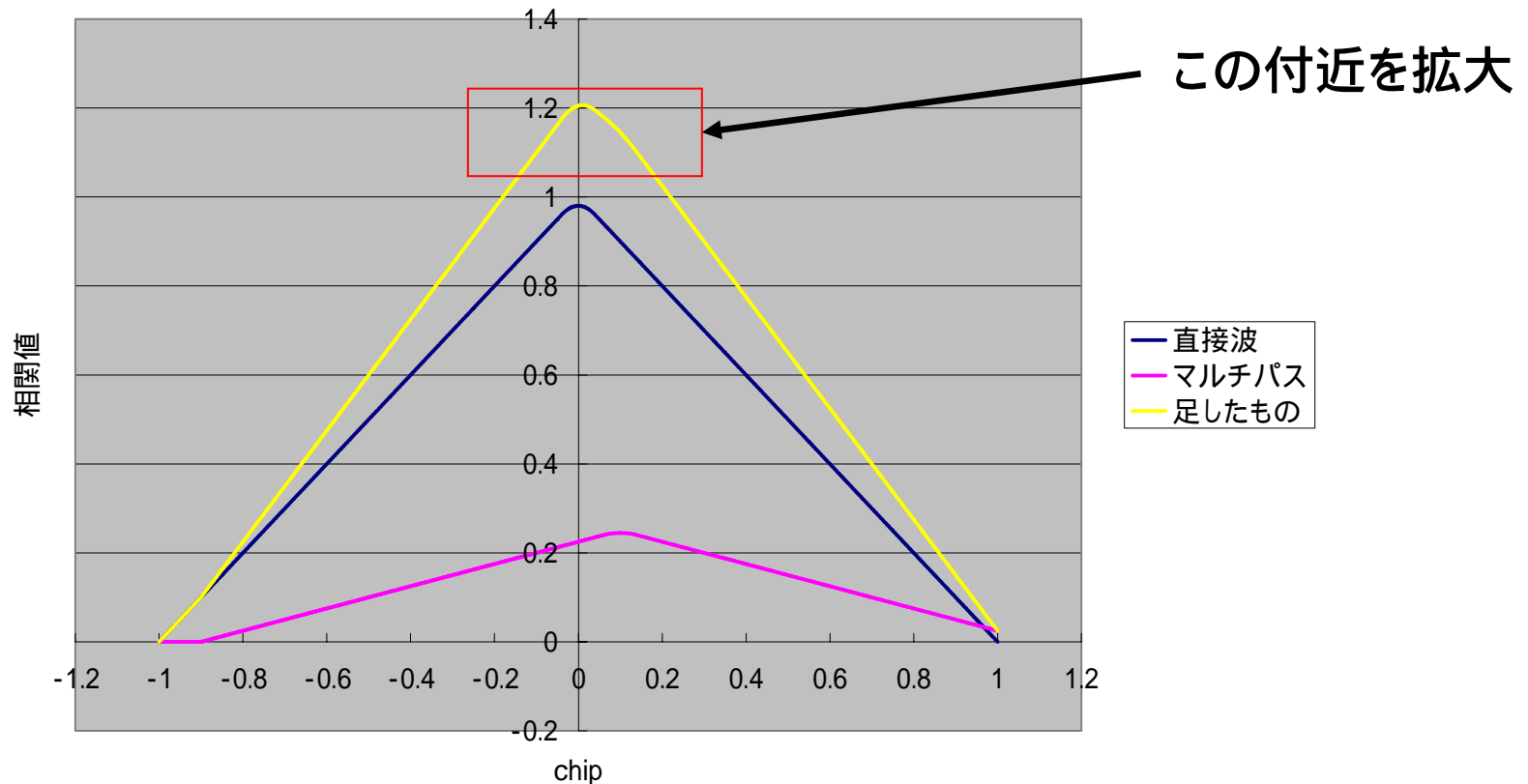
相関処理以前の帯域制限は無視している。実際は2MHzから24MHz程度で帯域が制限されるので、その値に応じてピーク付近はなまる。



マルチコリレータについて

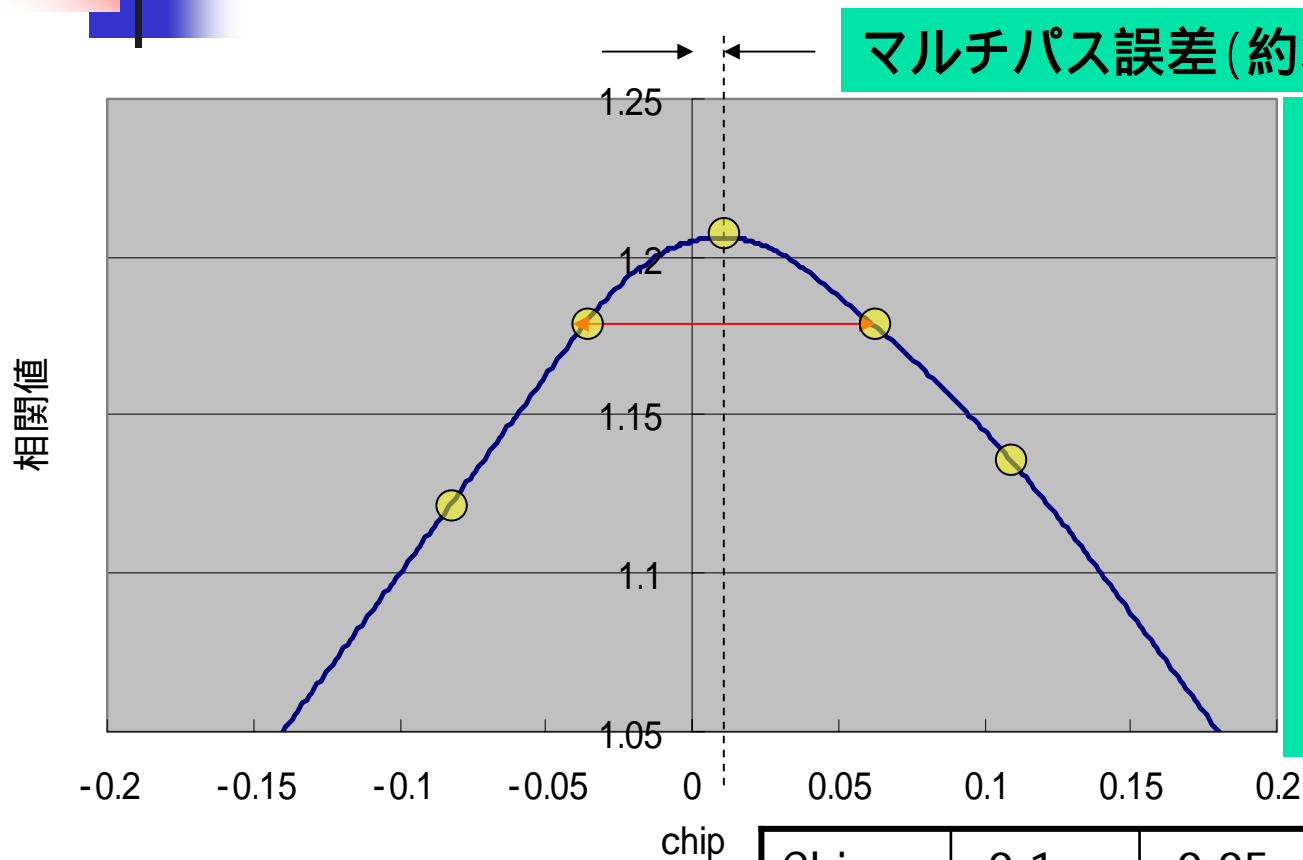
- 実際の相関処理は、前図のように複数のポイントで相関値をとることはせずに、ある**相関器幅**をもった**early**と**late**の**相関値のみ**を利用してコードの到達時間(擬似距離に相当するもの)を測定している。
- もし前図のように**0.05chip**ごとに**相関ポイント**を得たい場合は、**20MHz**のサンプリングが必要。0.025chipの場合は40MHz。ソフトウェアGPSだと容易か。
- マルチコリレータの場合も、**最初の起点 (punctual)**は、earlyとlateによって決めるため、マルチパスが存在する場合、punctualは**すでにずれていることに注意**。

マルチコリレータを利用してマルチパス誤差を推定



帯域を20MHz程度以上確保した場合の相関波形。
0.1chip遅れで振幅比が0.25のマルチパス(同相)が存在する場合。

0.1chipナローコリレータの場合 のマルチパス誤差を推定(同相)



遅延距離が0.1チップ程度で同相のマルチパスが存在する場合は、ちょうど0.1チップ付近の相関値がふくらむことになる。

このふくらみから、今まで困難であった短い遅延のマルチパス誤差を推定することを試みる。

Chip	-0.1	-0.05	0	0.05	0.1
相関値	1.1163	1.1786	1.2061	1.1772	1.1315
規格化	1.2403	1.2406	1.2061	1.2392	1.2572

マルチパス誤差推定の計算式 (経験値から)

$$factor \times \frac{A1 - A0}{A0} \times 293.05$$

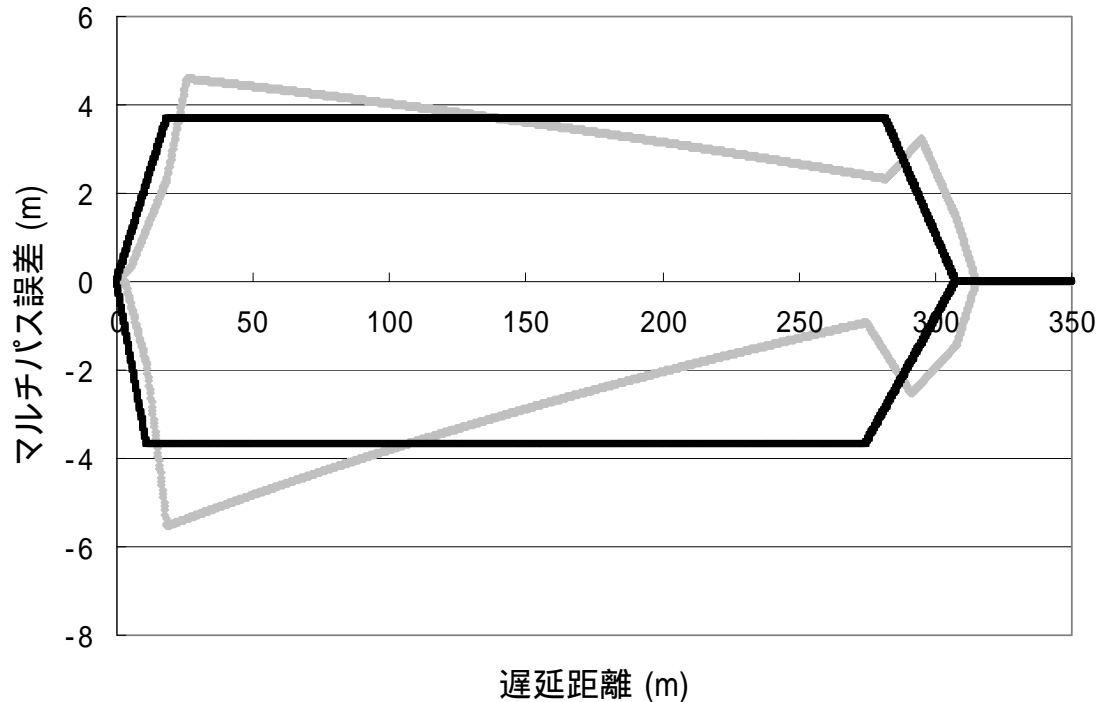
factor: 0.4から0.8程度の値

A1 :punctualから右側のほうの相関値

A0 :punctualの相関値

実際に上記の計算式を用いて、前のスライドの場合のマルチパス誤差を計算すると、**4.5m**となった。実際のマルチパス誤差は**3.7m**であったが、**約80%程度**推定されていることがわかる。この計算式より、遅延距離が0mから300m程度変化した場合に、**どのくらいナローコリレータによって発生するマルチパス誤差を推定することができるか**を次の図で示す。

実際のマルチパス誤差をマルチ コリレータによる推定値



黒がナローコリレータによる生じるマルチパス誤差。薄色がその誤差を推定したもの。遅延距離が20m程度までは良く推定できており、それ以降もある程度推定できていることがわかる。今まで困難であった、短い遅延距離のマルチパス誤差を低減できる。

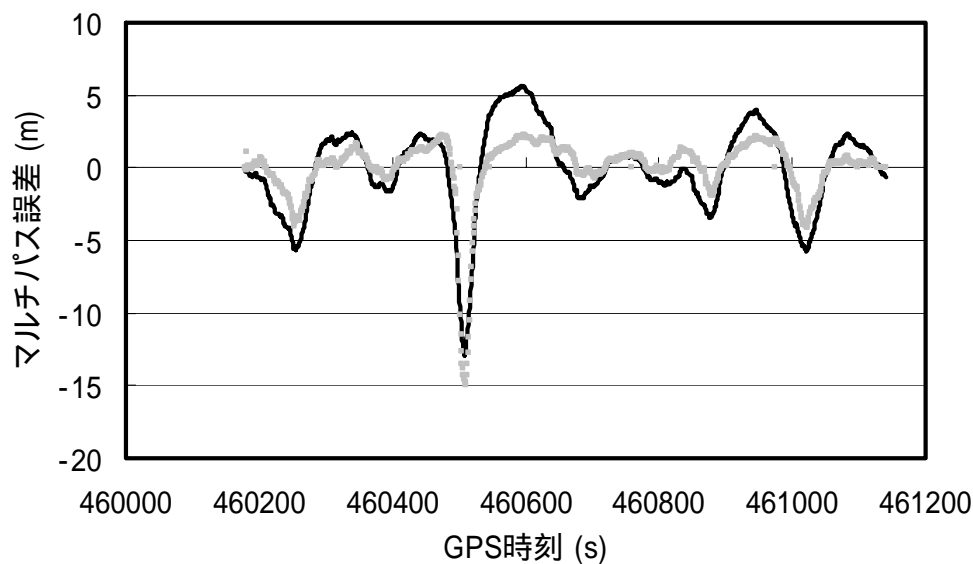
生データによる実験

- マルチコリレータ相関値によるマルチパス誤差推定法の効果の有無を調査。cc-difference値と比較。障害物は近接(遅延距離の短いもの)。
- マルチパス環境の悪い場所でデータを取得。静止の場合と歩行の場合。いずれも20分程度。
- 0.1chipナローコリレータであるOEM3受信機とマルチコリレータ機能を持つSQM受信機(電子航法研究所所有、古野電気製)を使用。同じアンテナで同時に取得。
- DGPS測位結果比較用に、基準局でもデータを取得した。精密位置は後処理である程度把握。

cc-differenceについて

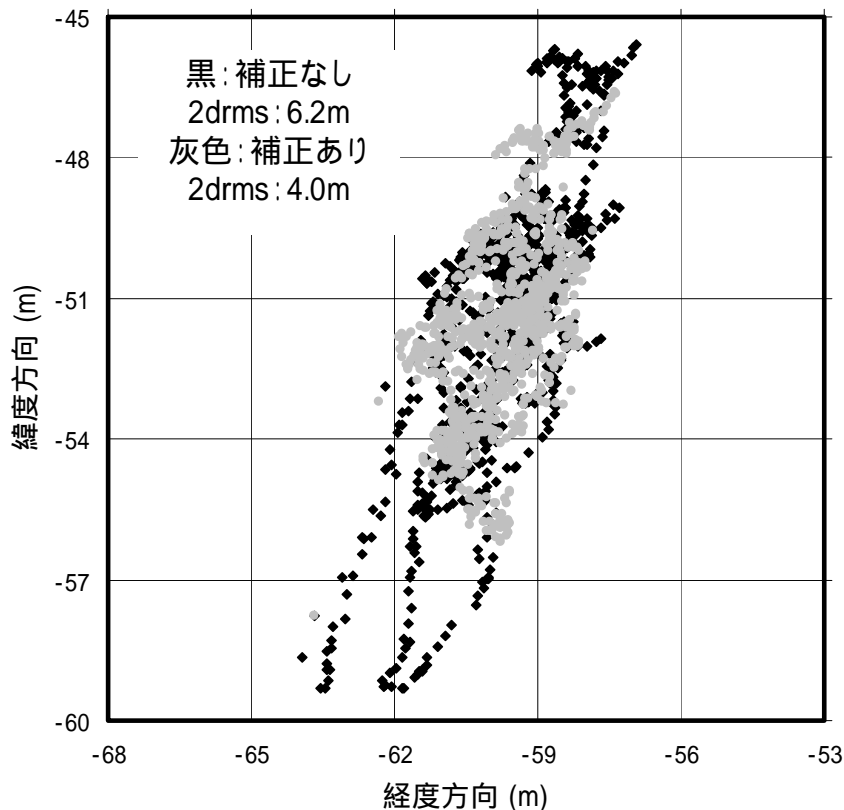
- これは、搬送波位相のマルチパス誤差がコードに比べて極端に小さい(通常ほぼ1cm未満)ことを利用して、コードのマルチパス誤差を求めるものである。
- 2周波利用できれば、電離層の効果(コード搬送波で逆に作用する)も取り除くことができる。
- デメリットとしては、サイクルスリップが多発する移動体では、リアルタイムでの計測が困難となる。またバイアスを有するため、後処理向けである。

静止データの解析結果



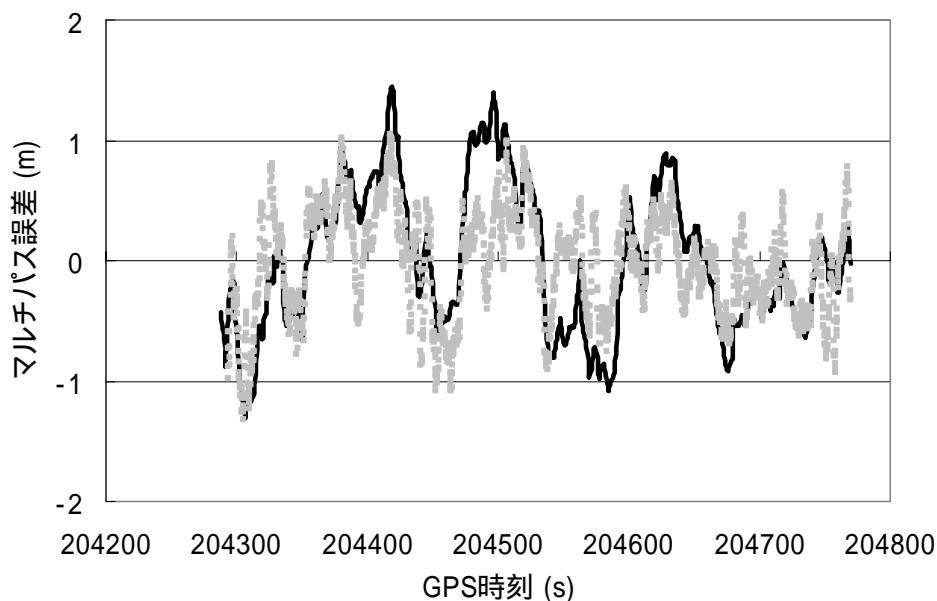
5F建てのビルのそばで取得したデータ。壁に反射している衛星を選択して比較した。黒線はcc-difference(搬送波とコードの差)によって求めたマルチパス誤差。薄色線は本手法により推定した誤差。

静止データの解析結果



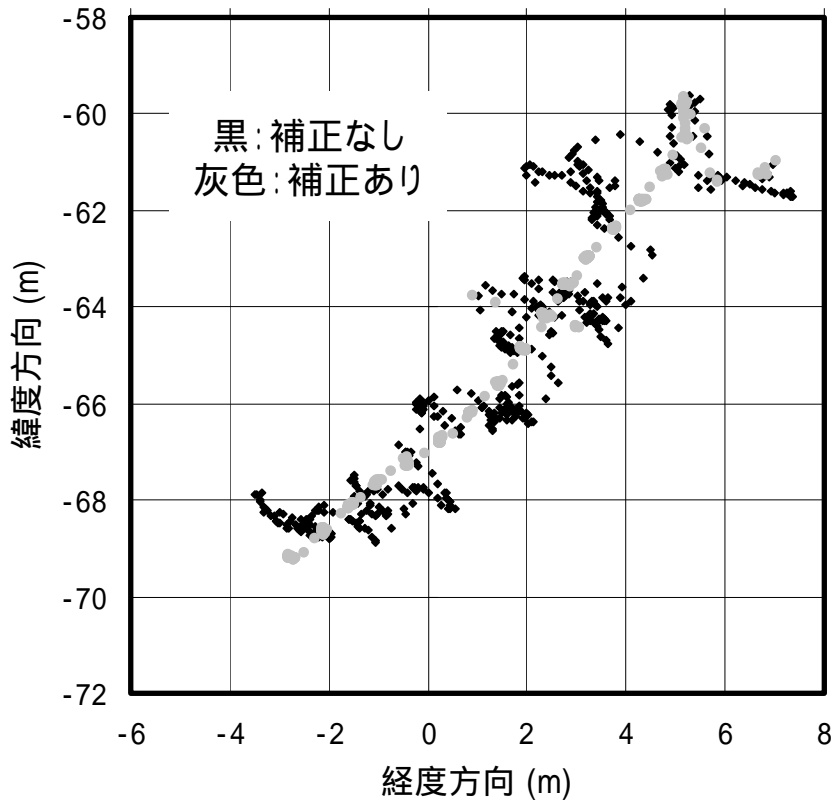
SQM受信機は2チャンネルのみマルチ
コリレータ機能出力可能なため、
2衛星でのマルチパス誤差を推定し
その結果を反映させたDGPS測位結果が
左図である。2衛星のみしか、補正
していないが、測位結果が2drmsで
6mから4mまで低減されている。
通常マルチパスの少ない場所では
2drmsで2m前後である。全ての衛星を
補正できれば、さらに精度は向上する。

歩行データの解析結果



2F建てのビルに囲まれた場所で取得した歩行データ。壁に反射している衛星を選択して比較した。黒線はcc-difference(搬送波とコードの差)によって求めたマルチパス誤差。薄色線は本手法により推定した誤差。

歩行データの解析結果



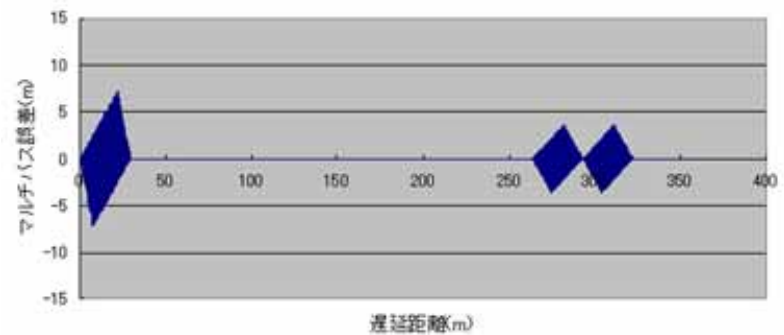
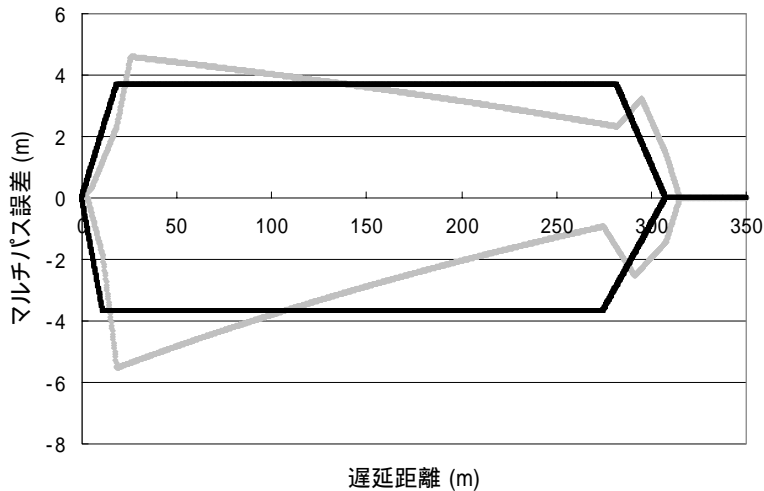
この歩行実験では、SQMデータで選択した2つの衛星がマルチパスをあまり受けておらず、改善効果が望めないため、**cc-difference値で求めたマルチパス誤差を利用して擬似距離を補正しDGPS測位を行った。**補正なしの黒色はまっすぐ歩いたにもかかわらず2m程度変動しているが、補正後はかなり精度が改善されていることがわかる。

実験結果のまとめ



- 静止及び簡単な歩行データより、本手法により、リアルタイムでマルチパス誤差を推定することが可能であることが示された。特に今まで困難であった遅延距離の短い(20m程度)マルチパス波に対して有効であった。さらに多くのデータで検証していく必要がある。

本手法とストロボコリレータの融合



上に、本手法による推定方法と、ストロボコリレータによるマルチパス誤差の概観図を示した。ストロボコリレータを利用すれば、30m程度までの遅延距離のマルチパスに対して誤差を生じるが、それ以降は影響をほとんど受けていない。ここで**ストロボコリレータ(通常) + 本手法(遅延距離の短いものだけ)**を提案した。これには**マルチパス波の遅延距離を検知する必要がある**。

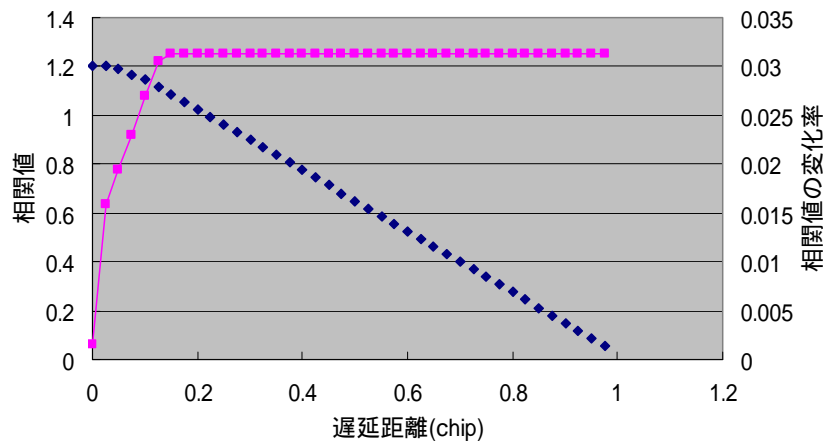
マルチパス波の遅延距離の検知

- ここでもマルチコリレータの出力を利用
- マルチコリレータによる各相関値の隣同士の差を計算し、差の変化率に飛びがみられる部分が一番大きなマルチパス波が到来している部分と考えられる。
- 問題点は、振幅の小さいマルチパス波を見分けにくいこと(同相と逆相が混ざった場合なども)。また複数のマルチパス波が存在する場合に検知が困難か。

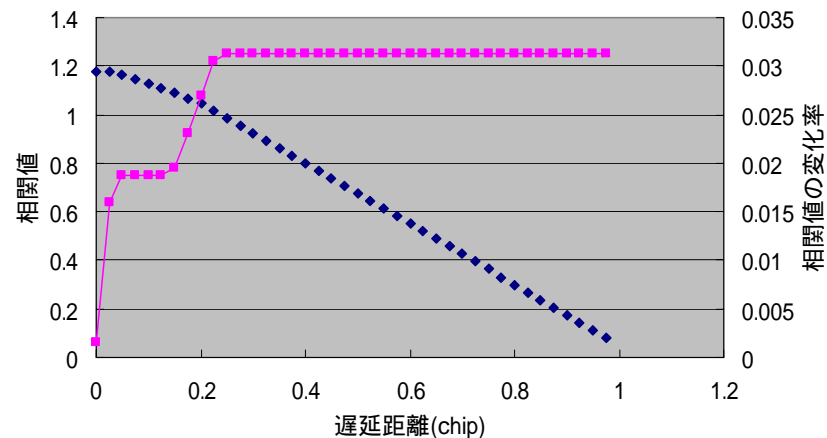
遅延距離検知のシミュレーション

同相の場合

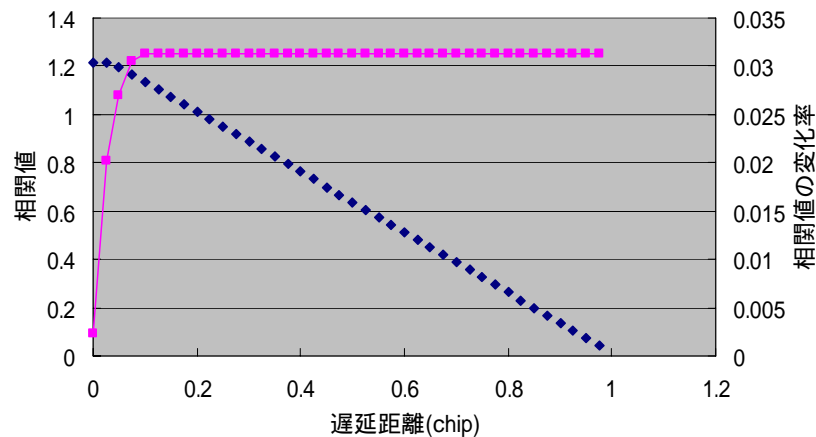
振幅比0.25, 同相, 0.1chip遅れ



振幅比0.25, 同相, 0.2chip遅れ



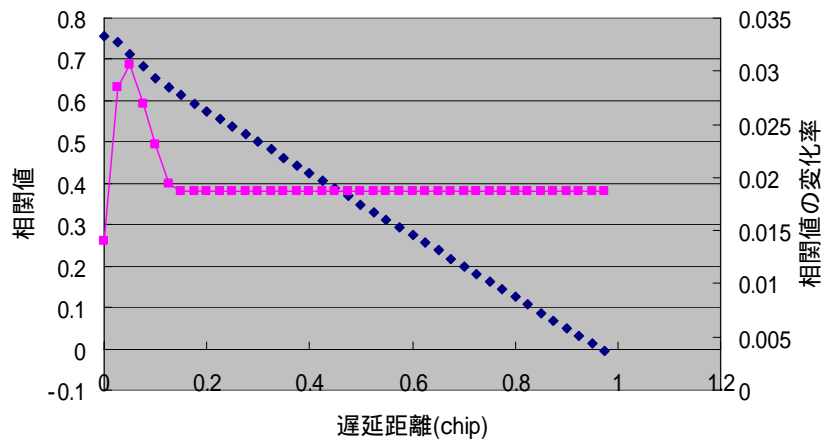
振幅比0.25, 同相, 0.05chip遅れ



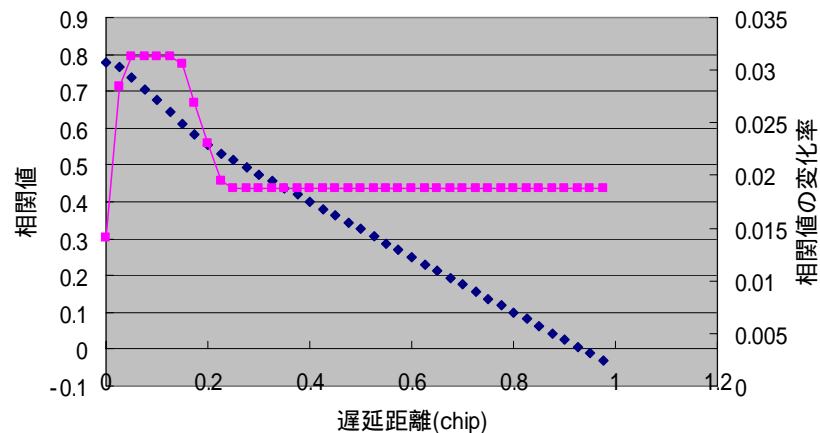
青: 相関値
赤: 変化率

遅延距離検知のシミュレーション 逆相の場合

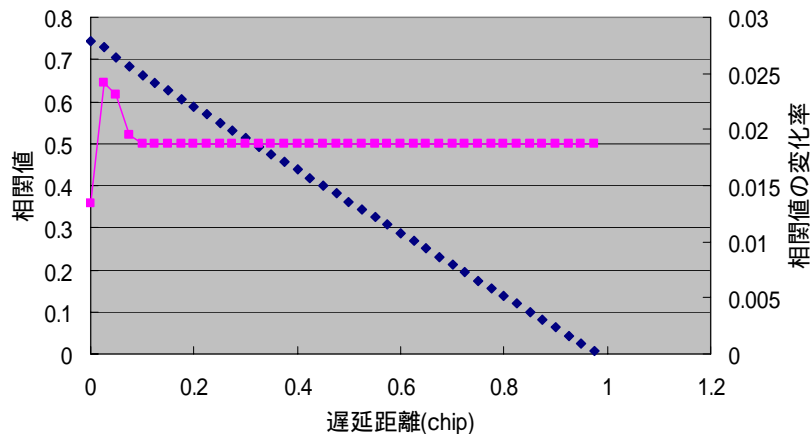
振幅比0.25, 逆相, 0.1chip遅れ



振幅比0.25, 逆相, 0.2chip遅れ



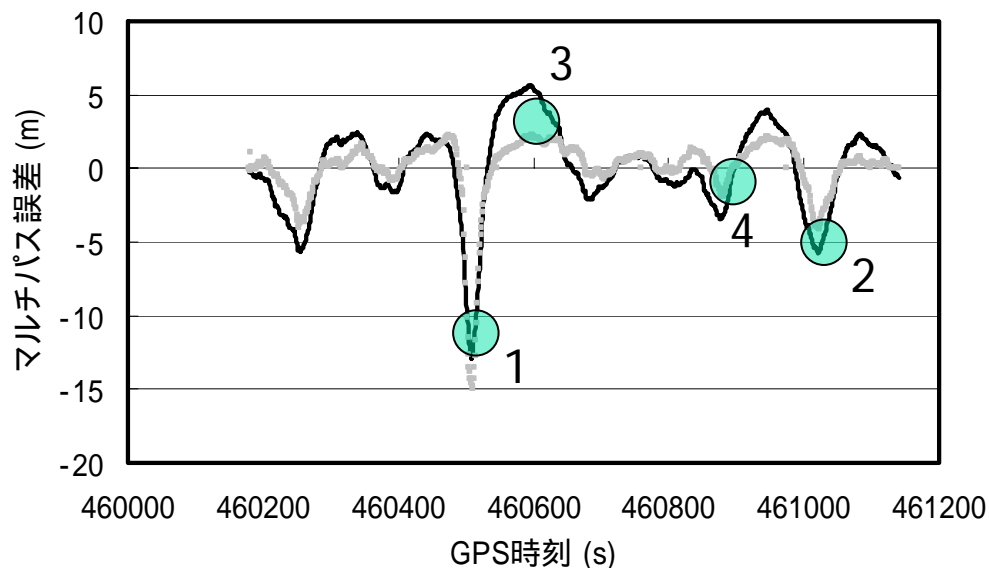
振幅比0.25, 逆相, 0.05chip遅れ



青: 相関値
赤: 変化率

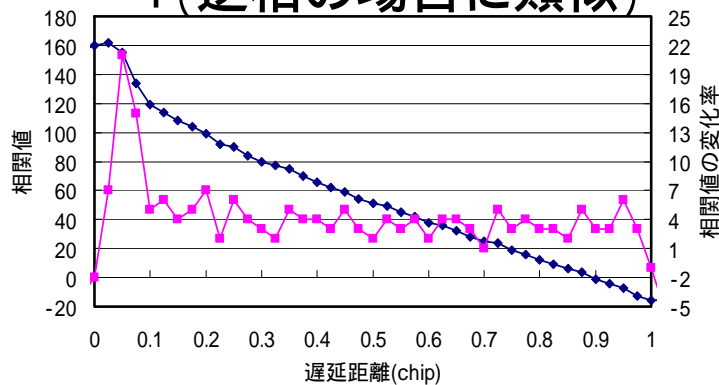
相関値の変化率の生データ

- 取得した生の静止データをもとに調査した。以下に再度マルチパス誤差を示す。このときアンテナと壁間は10m程度なので遅延距離は20m程度と思われる。4つの時間帯の相関値の変化率を次に示す。以下の4ポイントで調査した。

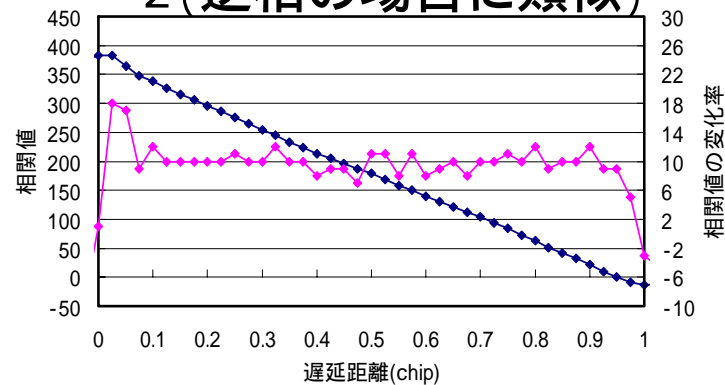


相関値の変化率

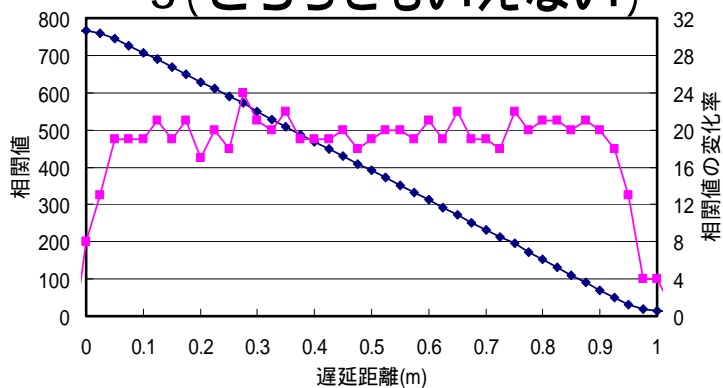
1 (逆相の場合に類似)



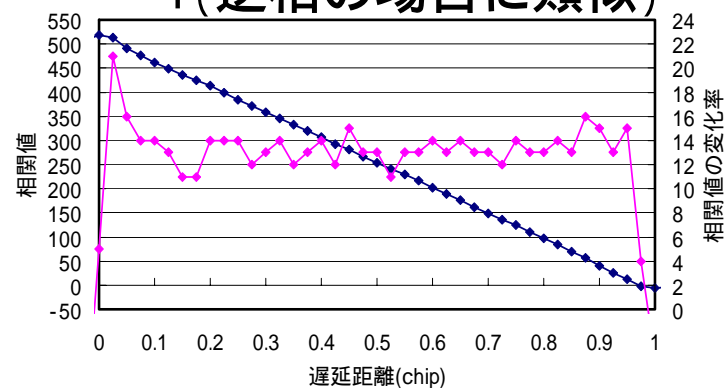
2 (逆相の場合に類似)



3 (どちらともいえない)



4 (逆相の場合に類似)





まとめ

- マルチコリレータの出力(信号強度)を利用したマルチパス誤差の推定手法は、遅延距離の短いマルチパス波に対して有効であった。リアルタイムで利用できることが利点である。本手法 + ストロボコリレータとの併用が可能になれば、マルチパス誤差を1-2m以内に抑制することができる。この性能はアンビギュイティ決定の性能も向上させるものである。
- 遅延距離の検知を行い、ストロボコリレータと併用する可能性も示すことができた。



今後

- 本手法の実用性を様々なマルチパス環境(回折、森林、木、鉄塔)で十分に調査する必要がある。
- 実際の環境では、信号強度が低すぎてtrackingのできていない場所が存在するので、そのような場所でのtracking能力の向上が求められる。trackingできなければ本手法も機能しない。
- ソフトウェアGPS等によって、trackingの限界点(信号強度)を見極めたい。