

主に地面（学校のグラウンド：土+草）反射によるマルチパスの影響について

周囲の障害物が存在しない場合、GPS 測位におけるマルチパスの影響は地面からによるもののみである。そのような場所に**同じ高さかつ同じ種類**のアンテナを2つ設置し、同じ種類の2つのGPS受信機で測位した場合、**ほとんど同じマルチパスの影響を受けることが想像できる（遅延距離がほとんど同じなので）。逆にアンテナ高を変えると異なるマルチパスの影響を受ける（遅延距離が異なるので）ことになる。**このことを実際に確認するために以下の実験を行った。なお予備実験を3月31日に行ったが、アンテナ高を1mと2mにして実験した時大きな差が見られなかった（若干のマルチパス誤差の違いは確認された）ため、4月3日に再度アンテナ高を20cmと2mにしてデータを取得した。

日時 2004年4月3日 18:00-19:00

場所 東京海洋大学 グラウンド

目的 地面反射によるマルチパスの影響調査

基準局： 研究室屋上 ノバテル製OEM3+JAVAD製チョークリング

移動局： 海洋大グラウンド ノバテル製OEM3+GPS600 2セット 30分

ノバテル製OEM4+GPS600 2セット 30分

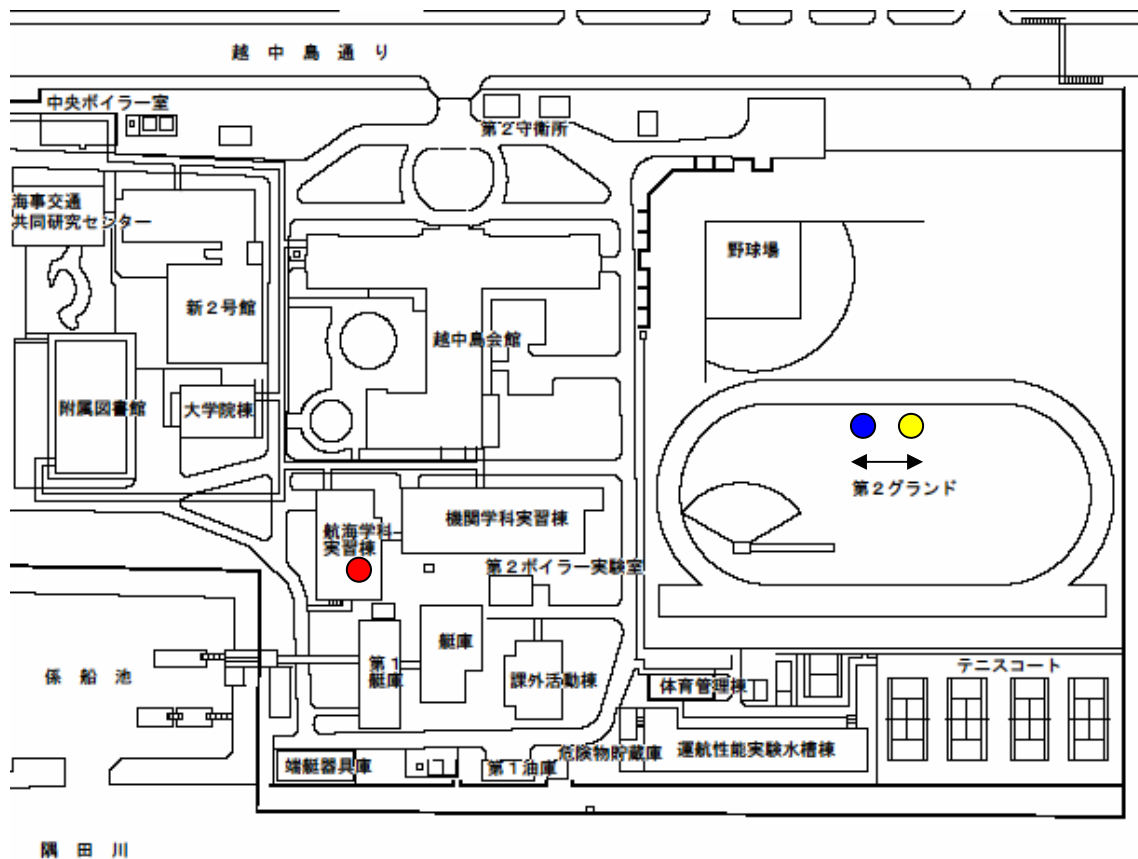
データ取得概要

グラウンドに約20m程度離して（お互いの影響を受けないように）2つのアンテナを設置し、それぞれのアンテナでデータ取得できるようにGPS受信機とノートPCを設置する。アンテナと受信機間のケーブル長は同じ長さ（15m）とする（信号強度をできるだけ同じにするため）。概要図と周囲の写真を次のページに示す。

- 1) 18:00 - 18:30 2つのアンテナ高を20cmと2mとする。OEM3で取得
- 2) 18:30 - 19:00 2つのアンテナ高を20cmと2mとする。OEM4で取得

データ解析概要

- 1) まず、基準局データと2つの移動局データより基線解析を行い、移動局の精密位置を算出する。移動局はアンテナ高が20cmのときと2mのとき。
- 2) 移動局それぞれに対して、cc-difference 値（コードと搬送波位相値の差）を算出しアンテナ高が等しい場合と等しくない場合で比較する。
- 3) 基準局に対してDGPS測位を行いアンテナ高が異なる場合で比較する。



赤丸：基準局

青丸：アンテナ高が 20cm の移動局

黄丸：アンテナ高が 2m の移動局

アンテナ (20cm、2m)



アンテナ周囲の状況 (方位を 8 等分)



上記の写真を見るとわかるように、グラウンド周囲には照明灯などを除いてそれほど障害物は存在しない。なお 2 番目と 3 番目の写真に見える打撃用のネットは、ヤンキーズの松井選手が使用していたもの？大学に寄付してくれたのでしょうか？わかりません。来年もお待ちしています！

精密位置について

次に移動局の精密位置を OEM3 のデータを利用して求めた。可視衛星数が十分にあり、衛星配置も良好なため FIX 解は容易に算出された。基線長が 100m 程度で強いマルチパスも受けていないので精度は良好であった。以下に水平方向と高さ方向のそれぞれの精密位置を示す。

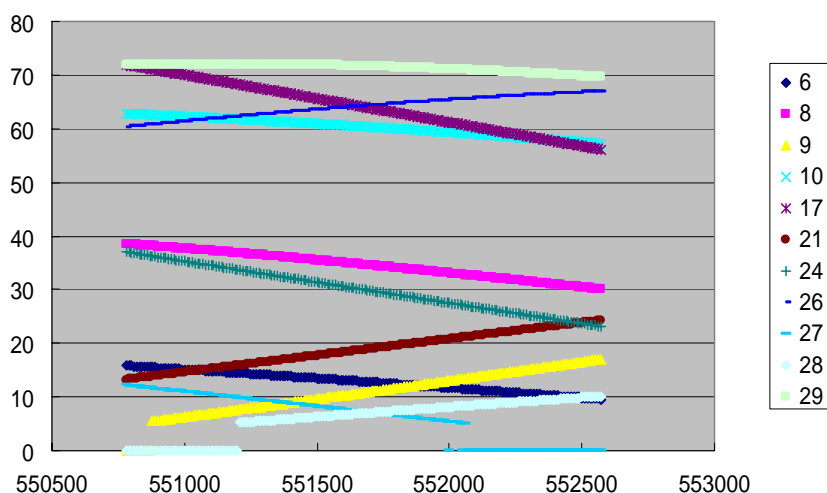
	緯度	経度	高さ	水平 2drms	高さ 2drms
20cm	35.66559293	139.7937076	40.215	6.7mm	18.2mm
2m	35.66568461	139.793601	38.380	18.2mm	19.1mm

マルチパス誤差について

上記にも書いたように、マルチパスの影響はほとんど地面からのものである。ここでは、アンテナのパターンで抑制することのできない地面からのマルチパス誤差を観測することにした。なお観測値の基準として cc-difference 値を利用している。OEM3 受信機の結果と OEM4 受信機の結果を分けて示す。

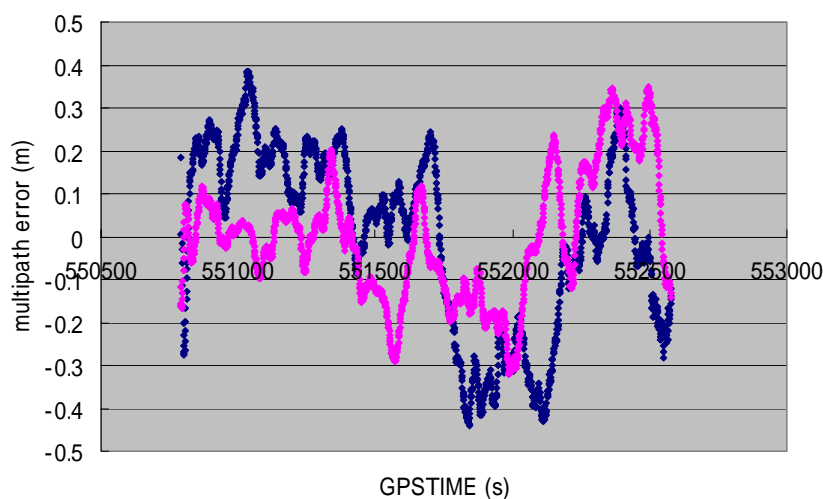
OEM3 受信機による結果

取得中の仰角推移を以下の図に示す。

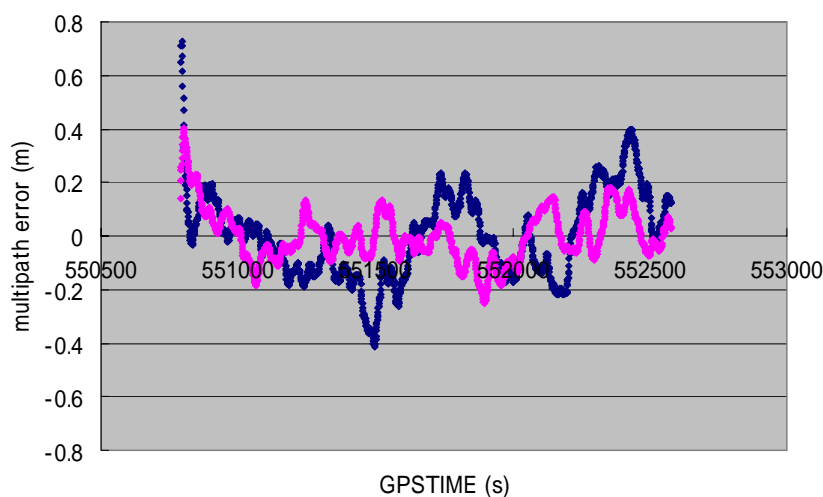


上図より、仰角で 20 度程度以上の衛星のみ (24,8,10,26,17,29) 解析することにした。それは仰角の低い衛星は地面以外によるマルチパスを含むことが避けられないからである

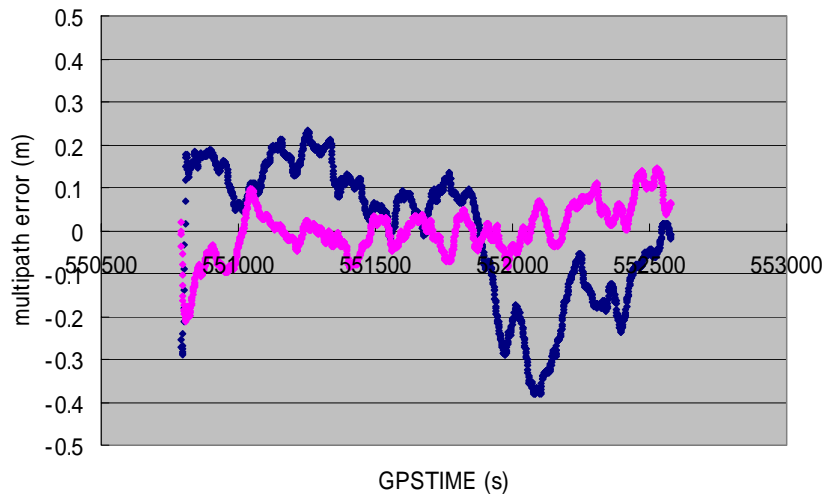
(アンテナ周辺の写真を見てわかるように)、以下に各衛星のマルチパス誤差を示す。青がアンテナ高 2m のもので、赤がアンテナ高 20cm のものである。なお cc-difference 値は 0 平均してある。また細かな熱雑音等を取り除くためにキャリアスムージングを 100 秒行っている。



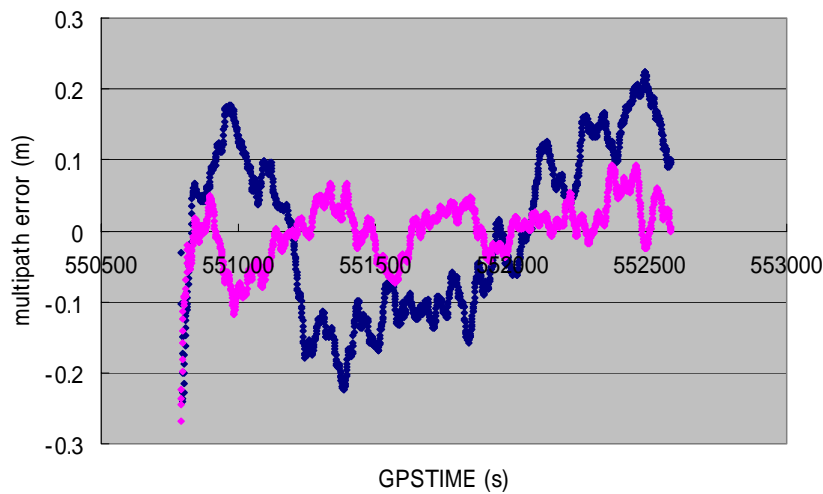
上図は 24 番衛星 (37 度から 23 度) の結果である。ほとんどアンテナ高による差は見られないが、ややアンテナ高が 20cm の場合のほうが、マルチパス誤差が小さいように見える。それぞれの標準偏差値は 21.0cm (アンテナ高 2m)、14.9cm (アンテナ高 20cm)。



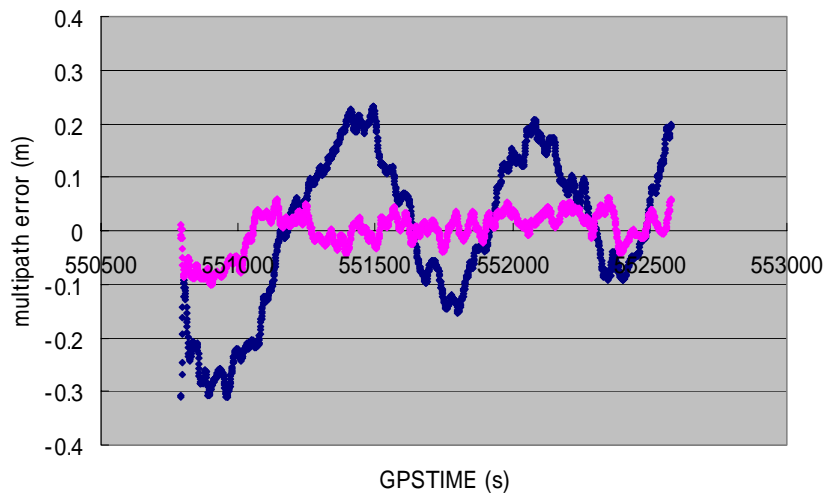
上図は 8 番衛星 (39 度から 30 度) の結果である。アンテナ高が 20cm の場合のほうが、マルチパス誤差が 1/2 程度に抑えられているように見える。それぞれの標準偏差値は 16.2cm (アンテナ高 2m)、9.8cm (アンテナ高 20cm)。



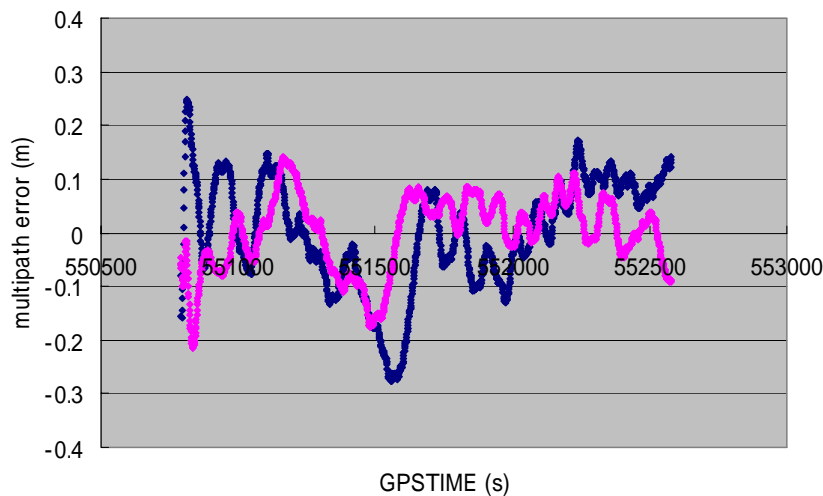
上図は 10 番衛星 (63 度から 58 度) の結果である。アンテナ高が 20cm の場合のほうが、マルチパス誤差が 1/3 程度に抑えられているように見える。それぞれの標準偏差値は 15.9cm (アンテナ高 2m)、9.8cm (アンテナ高 20cm)。



上図は 26 番衛星 (60 度から 67 度) の結果である。アンテナ高が 20cm の場合のほうが、マルチパス誤差が 1/3 程度に抑えられているように見える。それぞれの標準偏差値は 11.9cm (アンテナ高 2m)、4.1cm (アンテナ高 20cm)。



上図は 17 番衛星（72 度から 56 度）の結果である。アンテナ高が 20cm の場合のほうが、マルチパス誤差が 1/4 程度に抑えられているように見える。非常に顕著である。それぞれの標準偏差値は 14.4cm（アンテナ高 2m）、3.5cm（アンテナ高 20cm）。



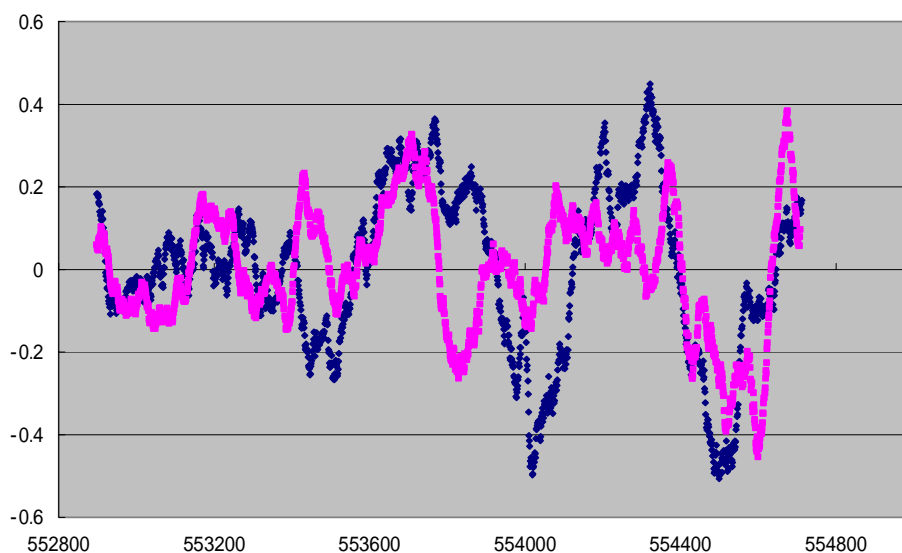
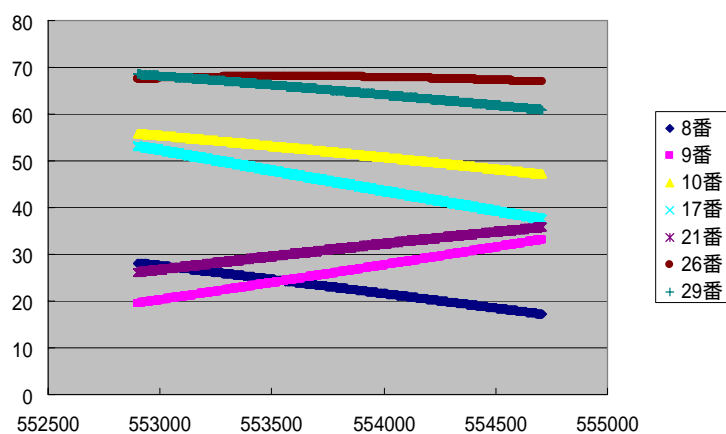
上図は 29 番衛星（72 度から 70 度）の結果である。アンテナ高が 20cm の場合のほうが、マルチパス誤差が 1/2 程度に抑えられているように見える。それぞれの標準偏差値は 10.4cm（アンテナ高 2m）、7.1cm（アンテナ高 20cm）。

以上の結果より、**衛星の仰角が 60 度程度まで高くなるにつれてアンテナ高によるマルチパス誤差の大きさの違いが顕著に表れているように見えた。これは仰角に応じて地面からの反射のみを受ける確率が高くなることと、地面からの入射角によるアンテナパターンの違い、遅延距離などに関係している（後で述べる）。** いずれにしてもアンテナ高を低くすることによりマルチパス誤差が低減されることが確認された。これは理論的にも実証済みで

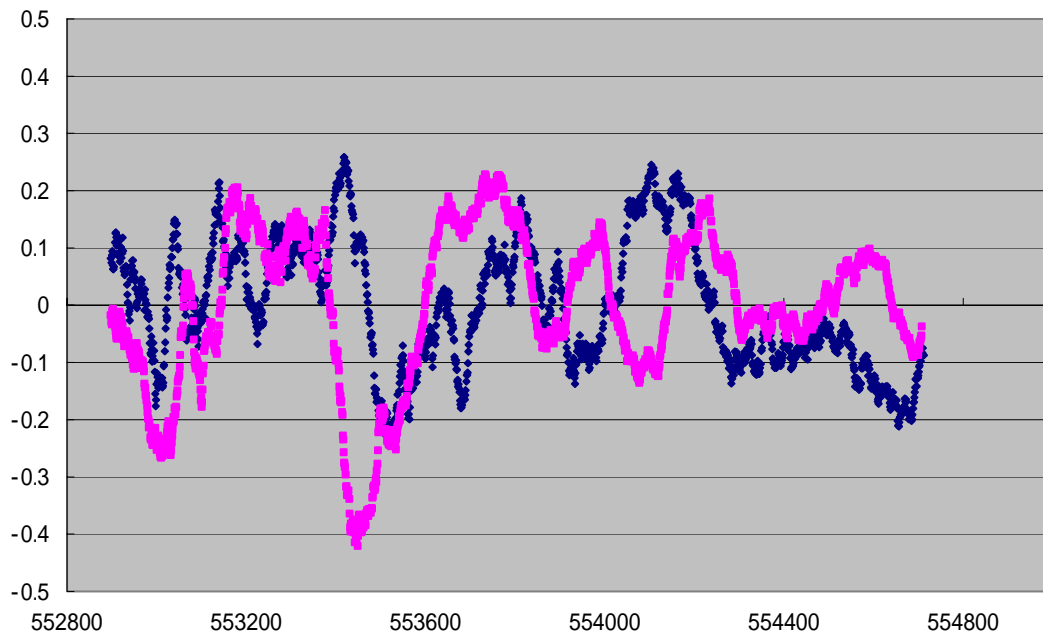
ある。今回の実験の場合、地面反射によるマルチパス波の遅延距離はせいぜい数 m 程度である。よって遅延距離が短いほうがマルチパス誤差の大きさが小さくなることは当然であるといえる。シミュレーションからも検証することは可能であるが、ここでは行わない。

OEM4 受信機による結果

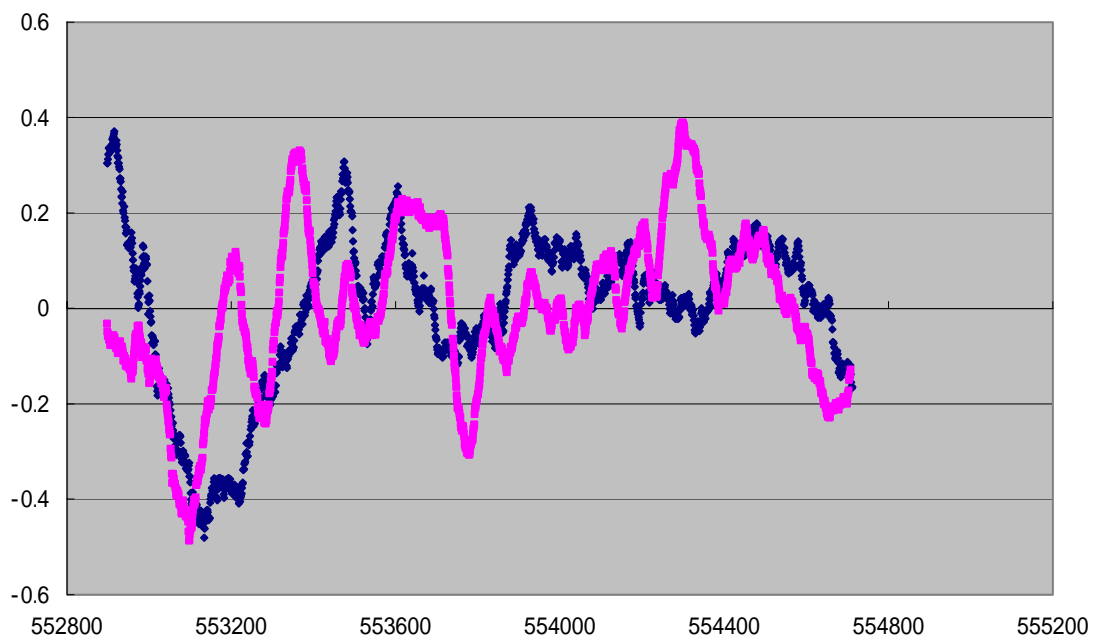
データ取得した時間帯の仰角推移を以下の図に示す。



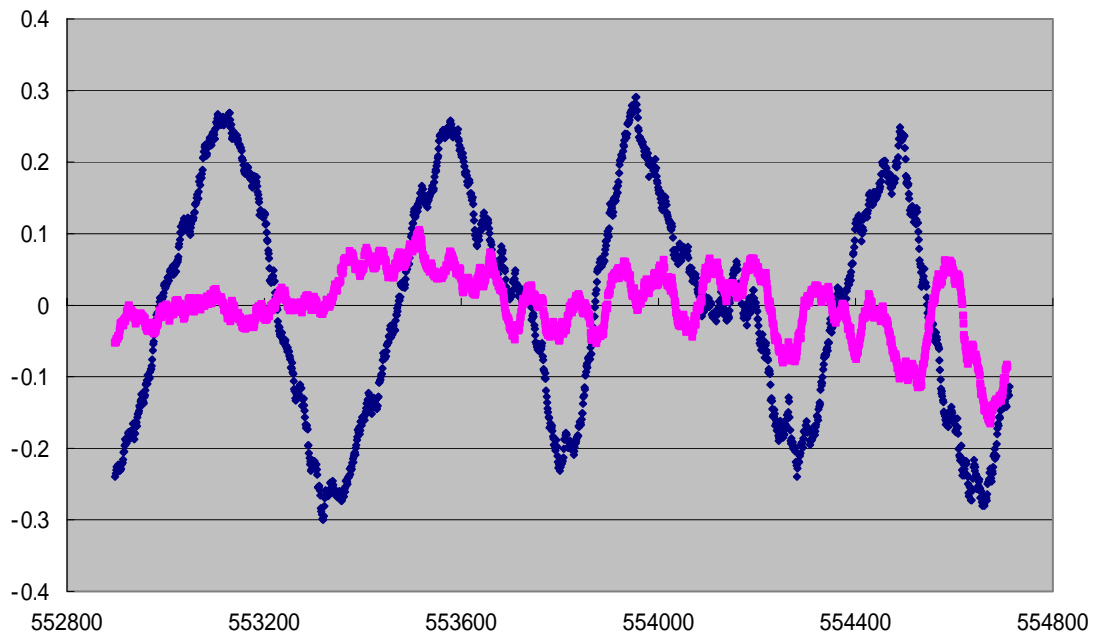
解析方法は上の OEM3 の場合とまったく同様である。上図は 8 番衛星 (28 度から 18 度) の結果である。アンテナ高が 20cm の場合のほうが、マルチパス誤差がやや抑えられているように見える。標準偏差値は 19.7cm (アンテナ高 2m)、14.9cm (アンテナ高 20cm)。



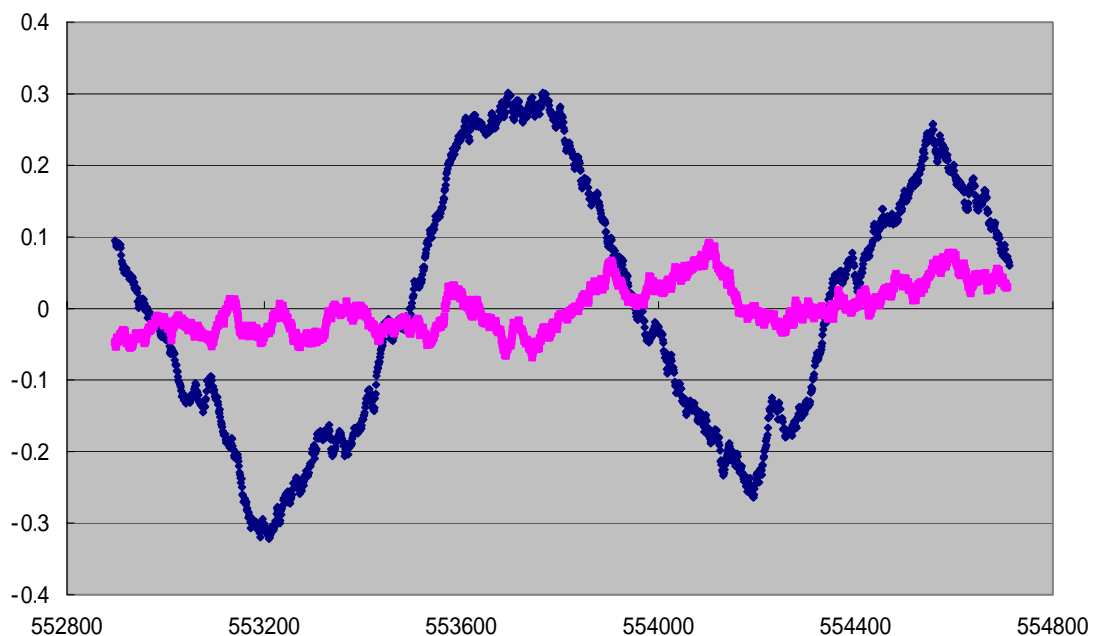
上図は 9 番衛星 (19 度から 23 度) の結果である。アンテナ高が 20cm の場合と 2m の場合でほとんど差は見られない。 値は 11.2cm (アンテナ高 2m)、13.4cm (アンテナ高 20cm)。



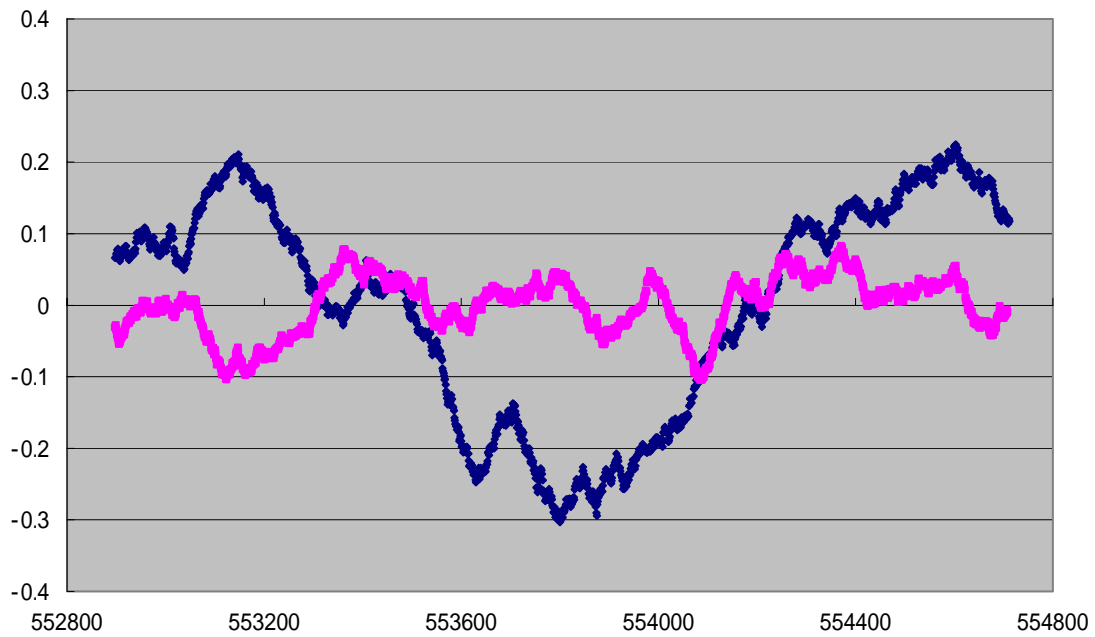
上図は 21 番衛星 (28 度から 17 度) の結果である。9 番衛星と同様にアンテナ高が 20cm の場合と 2m の場合でほとんど差は見られない。 値は 16.5cm (アンテナ高 2m)、16.6cm (アンテナ高 20cm)。



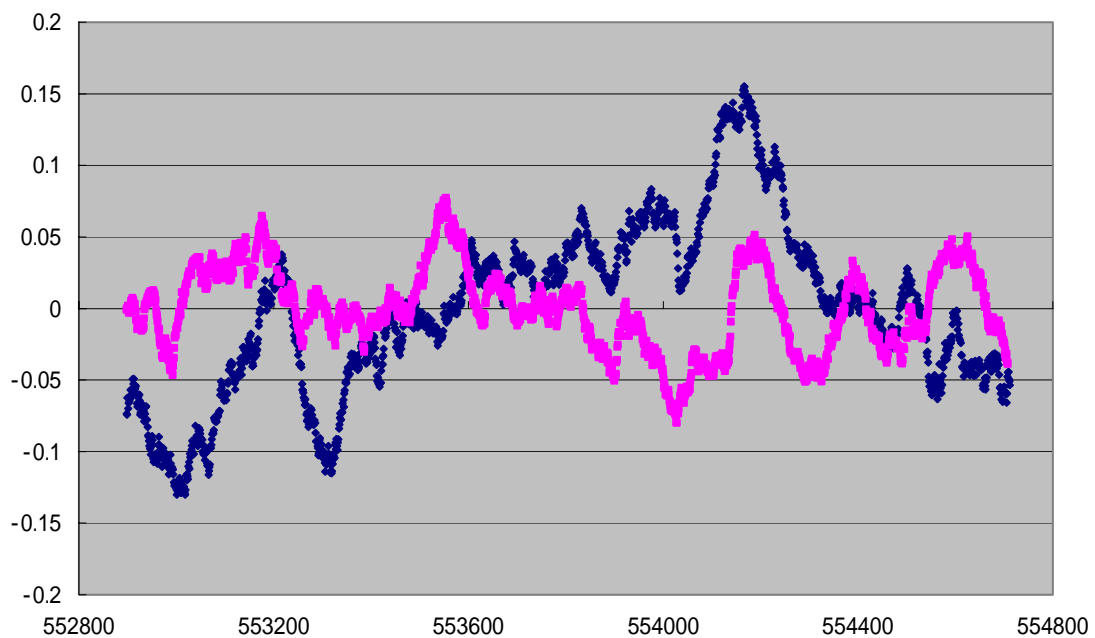
上図は 17 番衛星（53 度から 38 度）の結果である。アンテナ高が 20cm の場合のほうが、マルチパス誤差が 1/4 程度まで抑えられていることがわかる。シミュレーションで計算したような結果である。 値は 15.6cm（アンテナ高 2m）、4.7cm（アンテナ高 20cm）。



上図は 10 番衛星（56 度から 48 度）の結果である。17 番衛星と同様にアンテナ高が 20cm の場合のほうが、マルチパス誤差が 1/5 程度まで抑えられていることがわかる。 値は 17.5cm（アンテナ高 2m）、3.3cm（アンテナ高 20cm）。



上図は 29 番衛星（68 度から 60 度）の結果である。アンテナ高が 20cm の場合のほうが、マルチパス誤差が 1/3 程度まで抑えられていることがわかる。値は 15.1cm（アンテナ高 2m）、4.0cm（アンテナ高 20cm）。



上図は 26 番衛星（68 度から 68 度）の結果である。アンテナ高が 20cm の場合のほうが、マルチパス誤差が 1/3 程度まで抑えられていることがわかる。値は 5.9cm（アンテナ高 2m）、2.9cm（アンテナ高 20cm）。

マルチパス誤差におけるまとめ

以下にアンテナ高が 2m の場合 (青) と 20cm 場合 (赤) の仰角に応じた地面反射によるマルチパス波の遅延距離の関係図 (図 1) を示す。さらに遅延距離に対するマルチパス誤差の関係図 (図 2) も示す。図 1 より、遅延距離は仰角に応じて長くなっていることがわかる。またアンテナ高が低いほうが、遅延距離が短くなることは一目瞭然である。図 2 より、マルチパスの遅延距離が数 m 程度のときは、遅延距離の長さがマルチパス誤差の大きさに直結していることもわかる。図 1 のみから判断すると仰角が高くなるほどマルチパス誤差は大きくなることになるが、実際はそのような結果には必ずしもなっていない。この理由はアンテナ下方部より入射されるマルチパス波はアンテナパターンによって受ける信号の強さが異なることも影響している。アンテナの真下に近づくほど信号は受信されにくくなるはずなので、衛星仰角が 70 度程度の結果を見るとマルチパス誤差がやや低減していることがわかる。OEM3 と OEM4 における違いはあまり見られなかった。これは遅延距離の短いマルチパス誤差はどちらの受信機も抑制することができず、同じような影響を受けているものと考えられる。

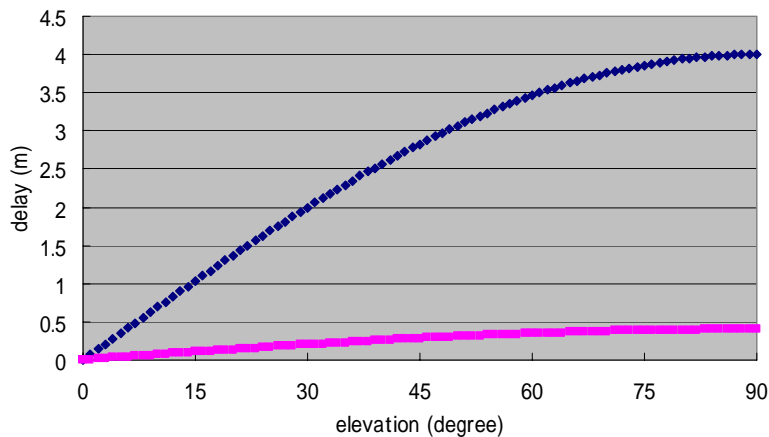


図1 仰角と地面反射のマルチパス波の遅延距離との関係

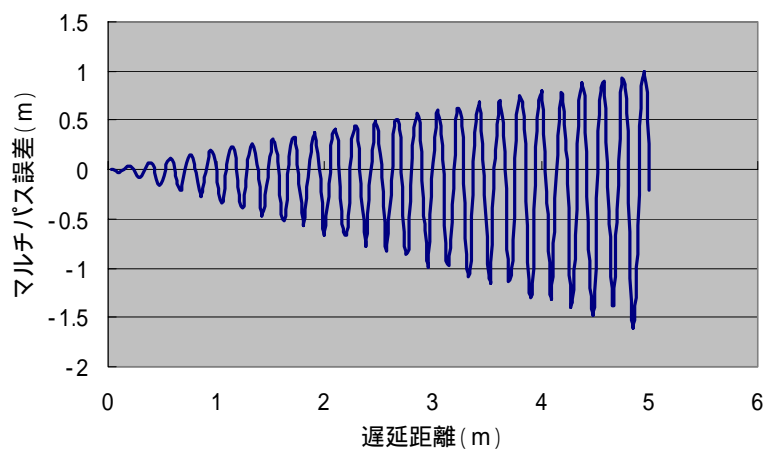
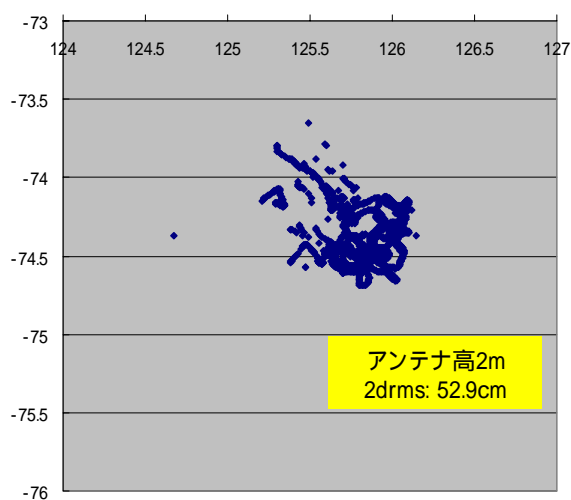
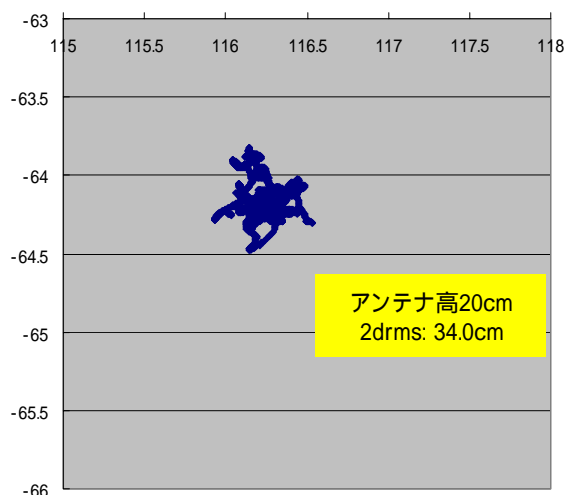


図2 遅延距離とマルチパス誤差の関係 (振幅比0.25)

DGPS測位結果の比較

アンテナ高の違いによるマルチパス誤差の違いについて確認することができた。ここでは、アンテナ高の違いによる DGPS 測位結果の差について示しておく。なおキャリアスムージングは 100 秒としている。



上の2つの結果より、アンテナ高の違いによる測位精度を比較すると、やはりマルチパス誤差の小さかったアンテナ高 20cm の結果のほうがやや精度が良いことがわかる。周囲に障害物がないグラウンド等で、アンテナ高をできるだけ低く設置すると、キャリアスムージングありの短基線（10km 未満程度）DGPS 測位誤差はおそらく 2drms でも 30cm 程度になることが予想される。