

2004年2月7日のデータ取得実験について

場所 新宿、丸の内

使用受信機 基準局 OEM3 移動局 OEM3+SQM 受信機

使用アンテナ GPS600

取得時間 新宿：12時30分より16時40分

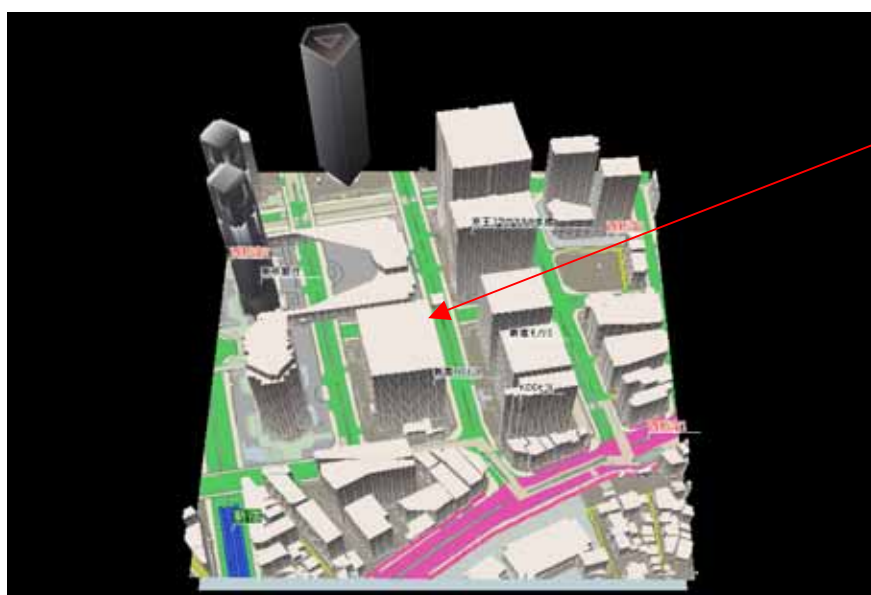
丸の内 17時10分より17時40分

新宿における解析結果等を順番に載せる。

データ取得した場所の平面図（真上が北、赤丸がアンテナ設置場所）



データ取得した場所の3次元図（真上が北）



アンテナ設置  
場所付近

実際のデジタルカメラによる写真

(順番に前、後、北、北東、東、南東、南、南西、西、北西、受信機)

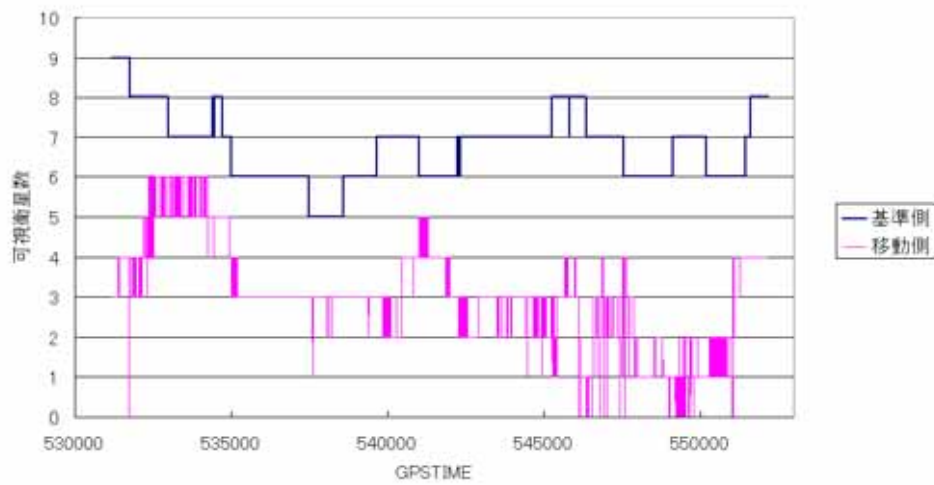




### 基準局及び移動局における可視衛星の推移

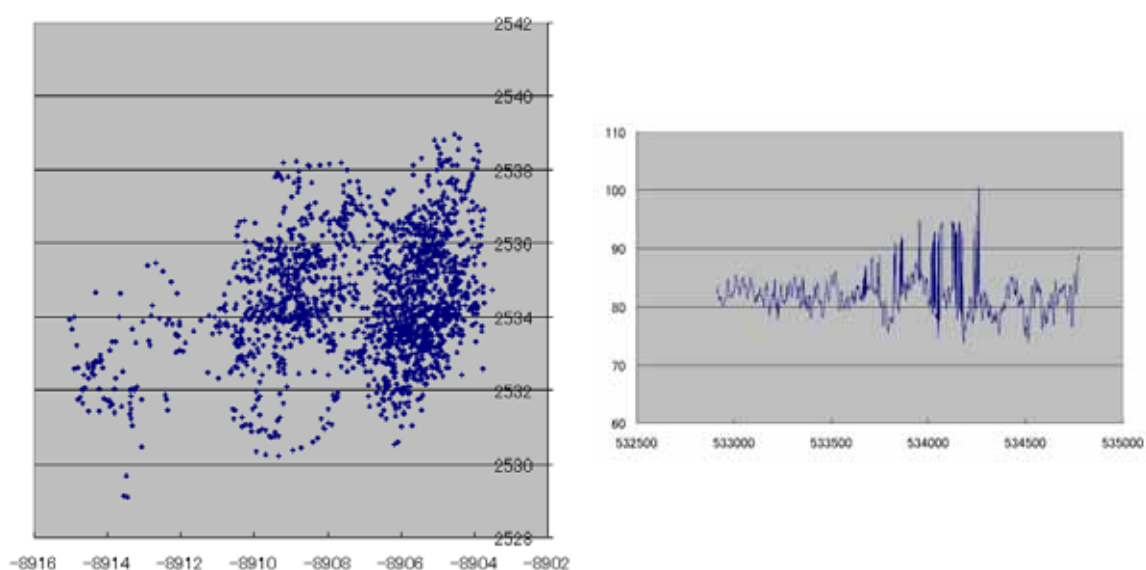
上図の可視衛星数より、移動局では明らかに使用できる衛星数が少ない。データ解析に

マスク10度における可視衛星数



必要となる精密位置を求めるために、可視衛星数が 5 個から 6 個で推移している時間帯 (533000-535000) のデータを利用して精密位置を求めることにした。基線長は約 9.2km であるので、電離層と対流圏の影響を避けることはできないが、ワイドレーンを利用すれば特に補正をしなくても FIX 解が求まると考えた。以下にワイドレーンを利用した後処理精密測位の概要を示す。

精密測位方法は従来の測位領域と残差領域における検定を利用している。さらに残差の ratio 比によるチェックも行っている。まず DGPS 測位結果を以下に示す。左が水平方向で、右が高度方向である。

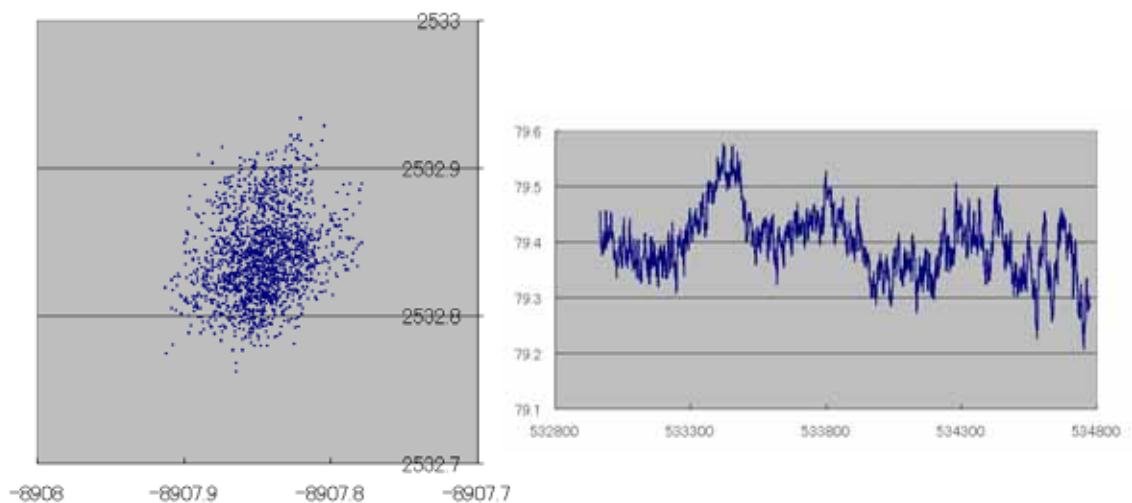


上の結果より、通常の DGPS 測位よりも非常に誤差が大きいことが明らかである。これはマルチパスによる影響といってほぼ間違いはない。通常の OEM3 受信機同士の DGPS 測位では、基線長が 10km 程度では 1rms で水平 1m 弱、高度 1m 程度である。上記の 1rms は、水平が 2.9m、高度が 3.4m であった。次にワイドレーンと L1 による精密測位結果を示す。精密測位の際には、DGPS の測位精度が悪いことから、解の探索領域については、擬似距離標準偏差値を上げることによって広げている。通常擬似距離の精度は 1rms で 50cm 程度 (スムージングは受信機のデフォルトで) を与えているが、今回は 1m 程度として計算している (詳細略)。残差領域における検定 (95%としていたが) で誤って正しい解を落としてしまうことはなかったが、測位領域の検定 (99%) では、DGPS 測位結果が非常に揺れていることから、適切な標準偏差値の設定が重要であると思われる。また解を求めている時間帯で DGPS 測位に悪い影響を与えている衛星が判別していた (3 番衛星) ので、その衛星を省いた場合は解の収束がやや安定していた。ただし、可視衛星が 5 個か 6 個であったので、実際に全ての時間帯にわたってはぶくことはできない。なお FIX 解の結果については、院生の岡本君のソフトでも二重に検証した。大気圏の影響については無視している。

以下にワイドレーンによる精密測位結果を示す。左が水平、右が高度方向（楕円体高）である。単位は m、時刻は GPS 時刻である。

平均値 (-8907.85m, 2532.84m, 79.40m) (N:39.68901298, E:139.6937918)

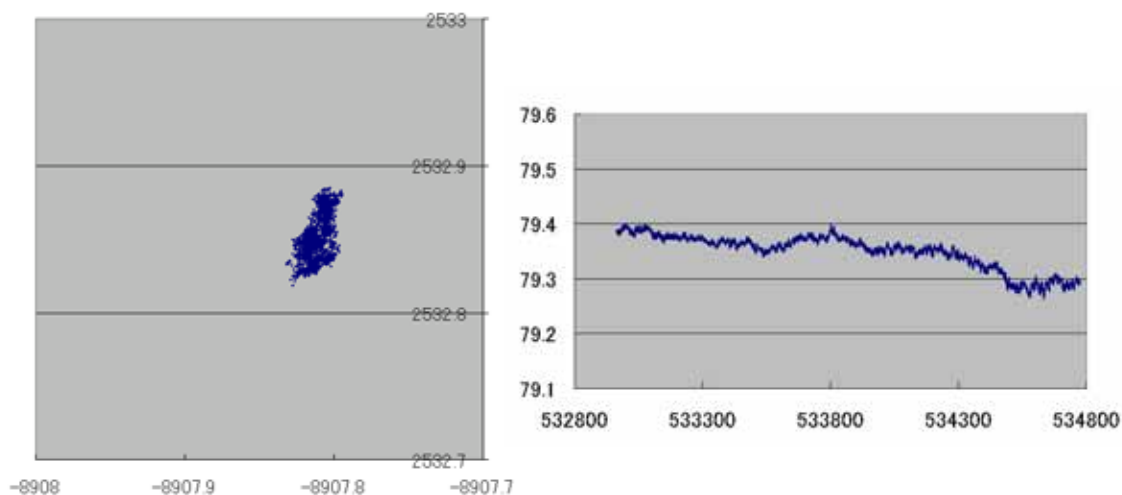
標準偏差値 (Horizontal:3.7cm, Height:5.8cm)



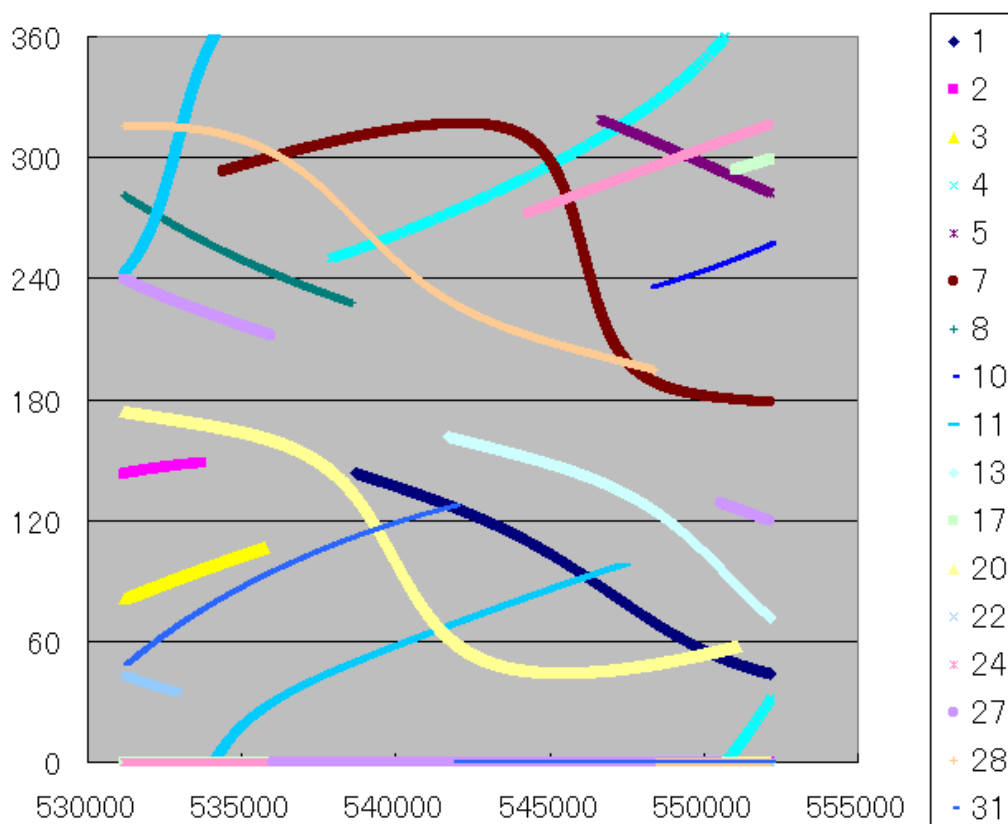
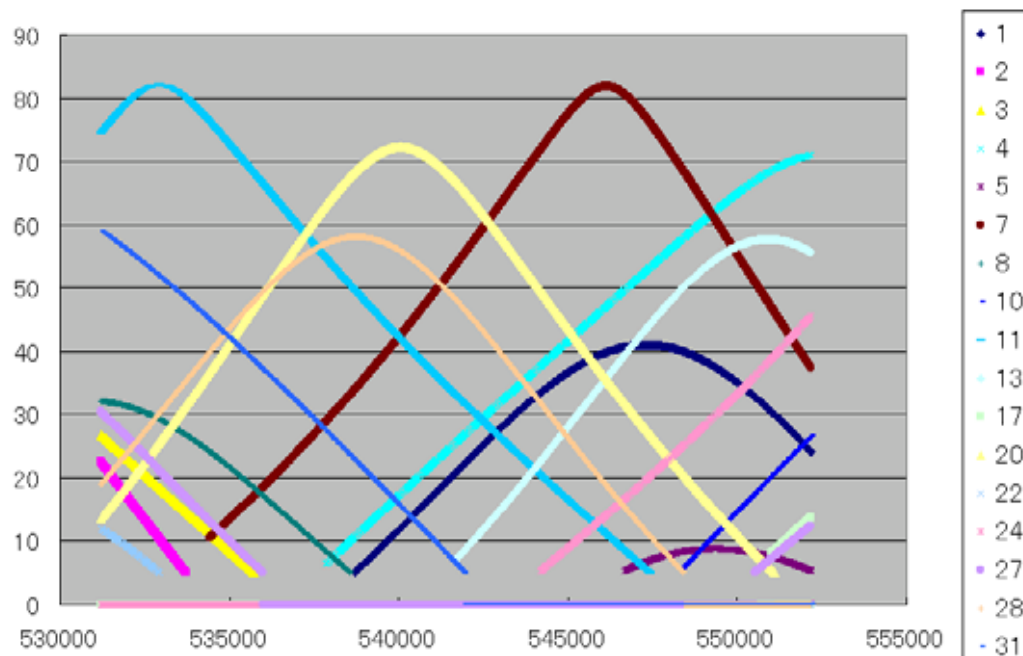
以下に L1 で求めた場合の精密測位結果を示す。左が水平、右が高度方向（楕円体高）である。単位は m、時刻は GPS 時刻である。明らかに江東区より新宿区のほうが楕円体高は数 10m 高い。

平均値 (-8907.81m, 2532.85m, 79.35m) (N:39.68901301, E:139.6937921)

標準偏差値 (Horizontal:1.6cm, Height:3.2cm)



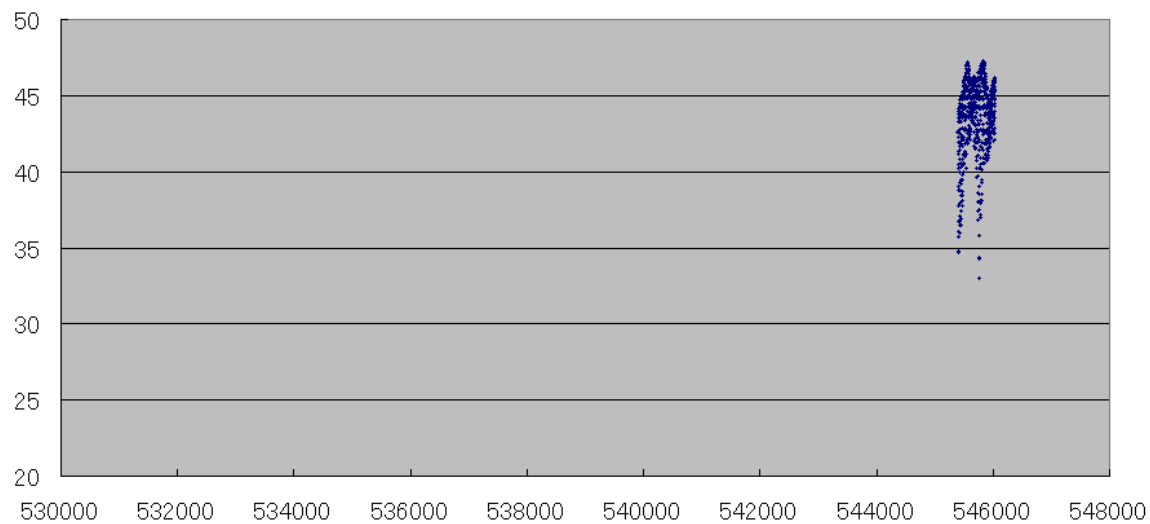
以下に各衛星の仰角、方位角そして信号強度のグラフを列挙する。さらにマルチパス誤差についても示す。また測位結果とマルチパス誤差の関連についても考察する。



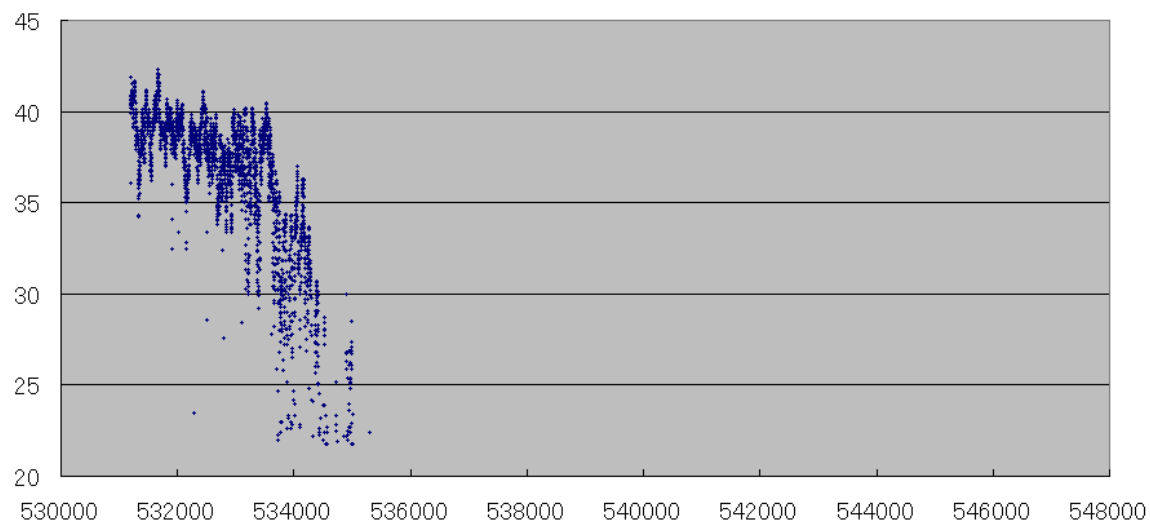
上が移動局における仰角と方位角の推移（実際には見えない衛星ものせてある）

信号強度を 1 1 , 3 , 4 , 7 , 8 , 1 0 , 1 1 , 1 3 , 2 0 , 2 4 , 2 8 , 3 1 番衛星  
について順番に以下に示す。

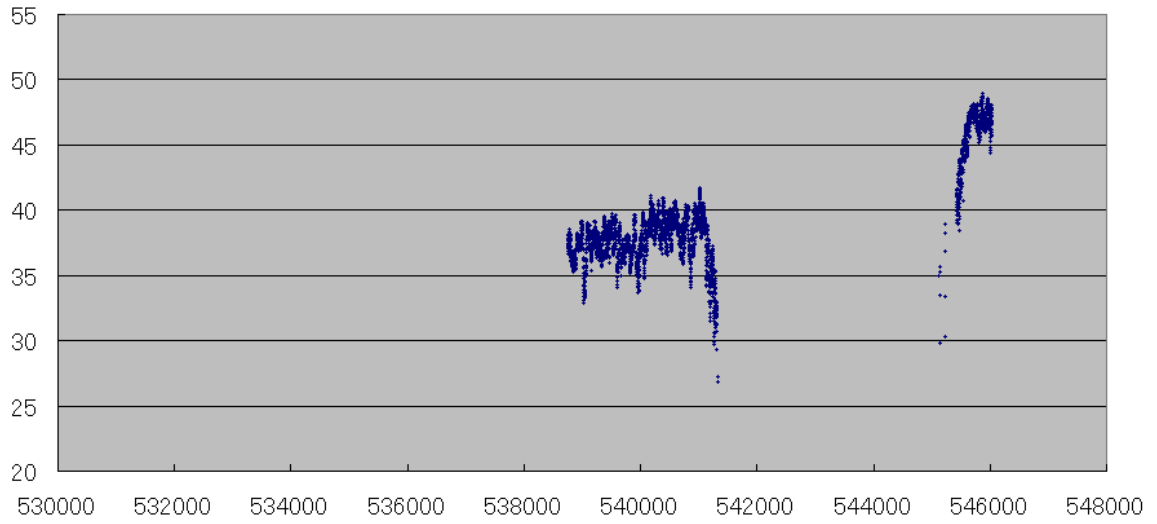
信号強度 PRN1



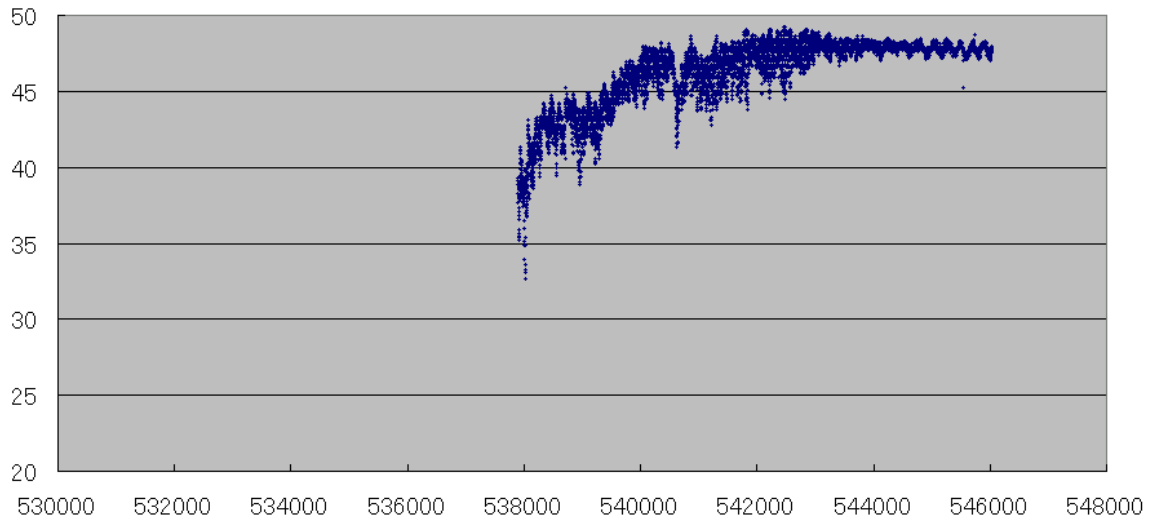
信号強度 PRN3



信号強度 PRN4

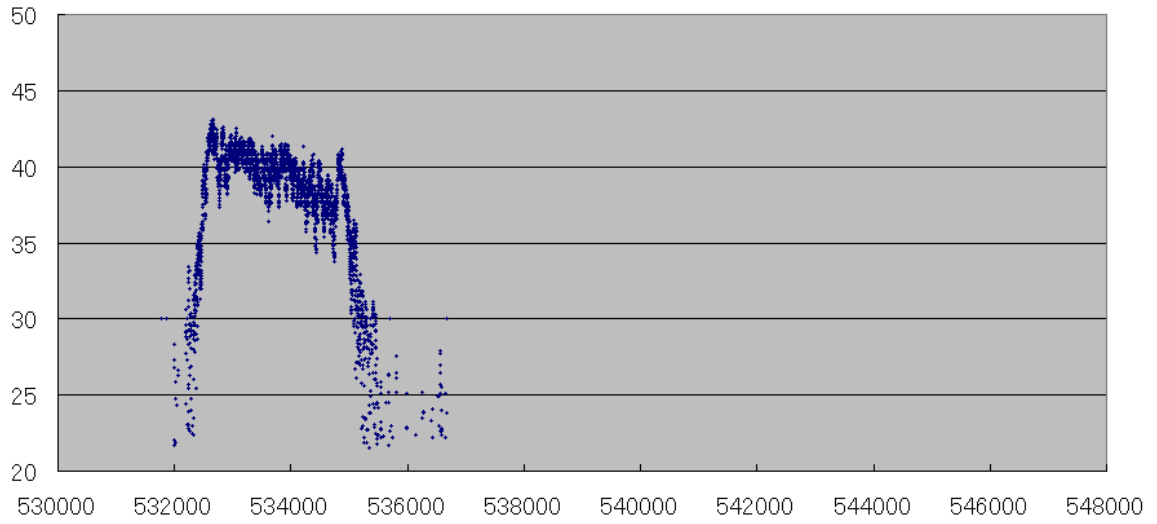


信号強度 PRN7

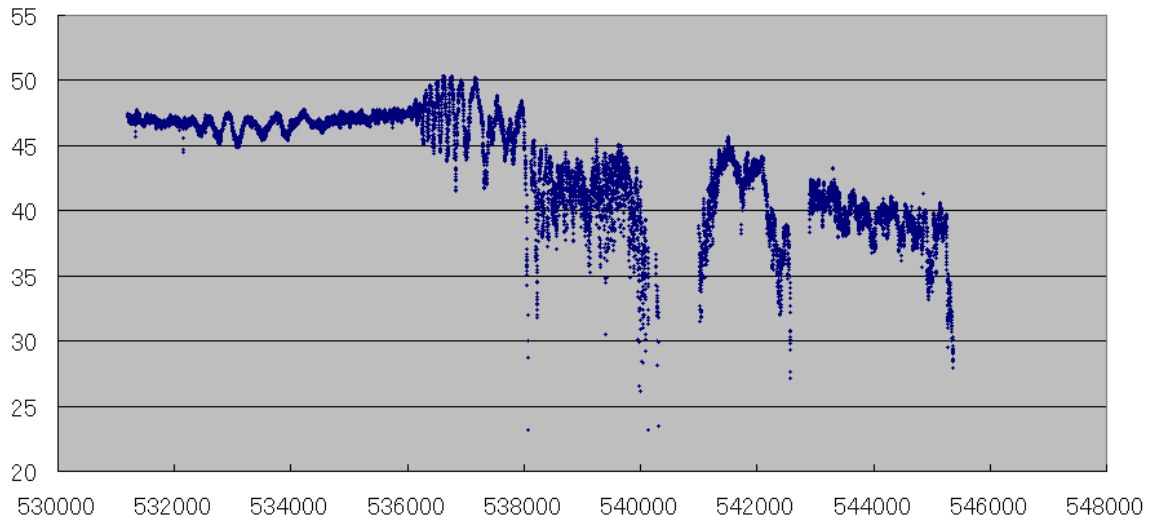




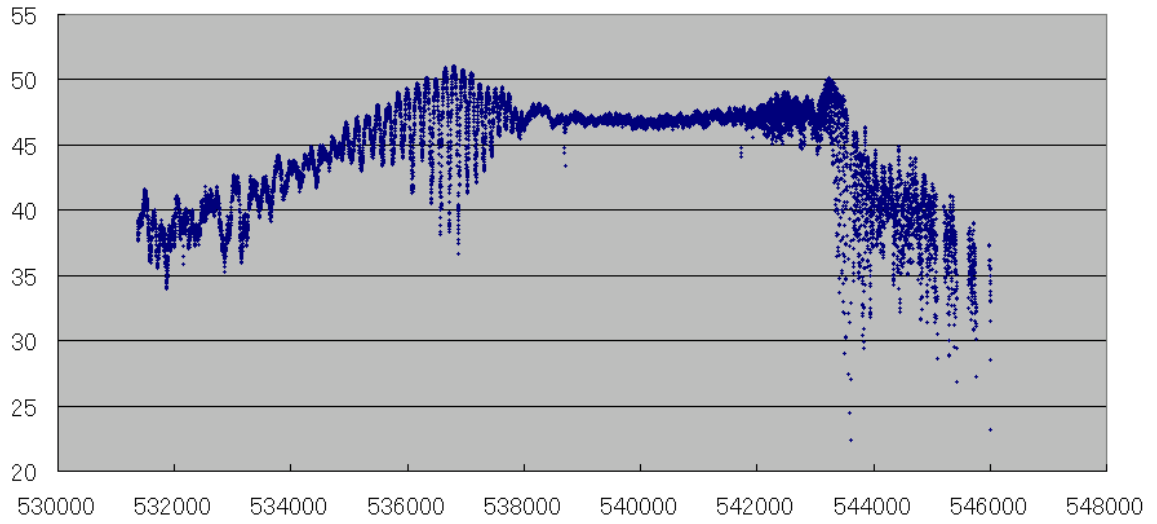
信号強度 PRN8



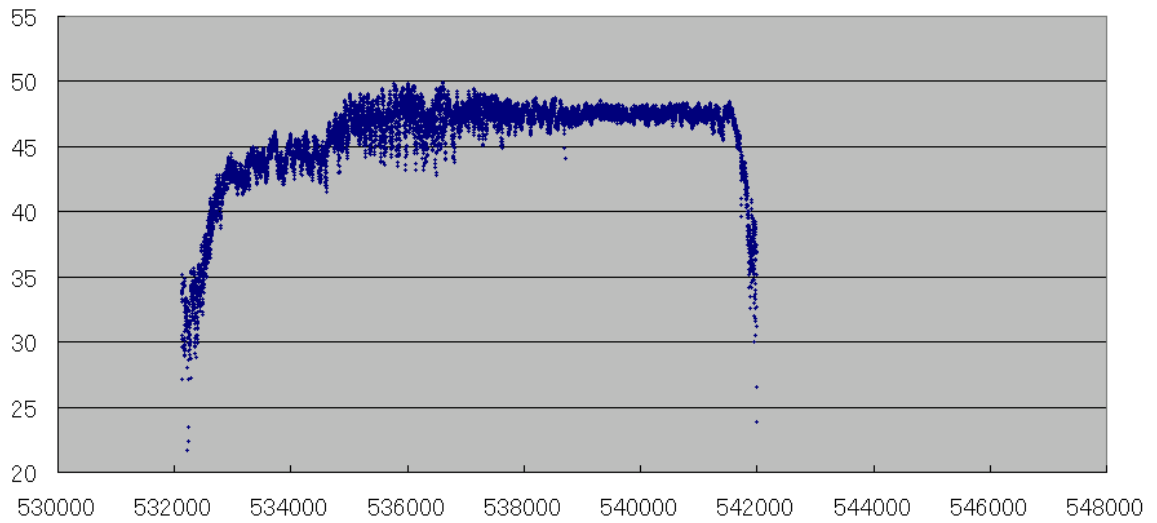
信号強度 PRN11



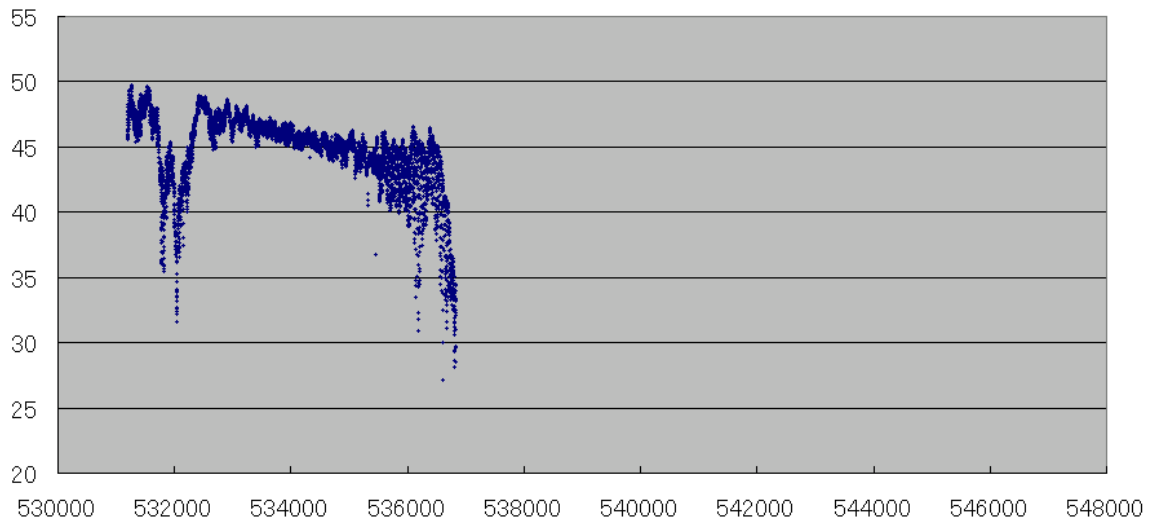
信号強度 PRN20



信号強度 PRN28

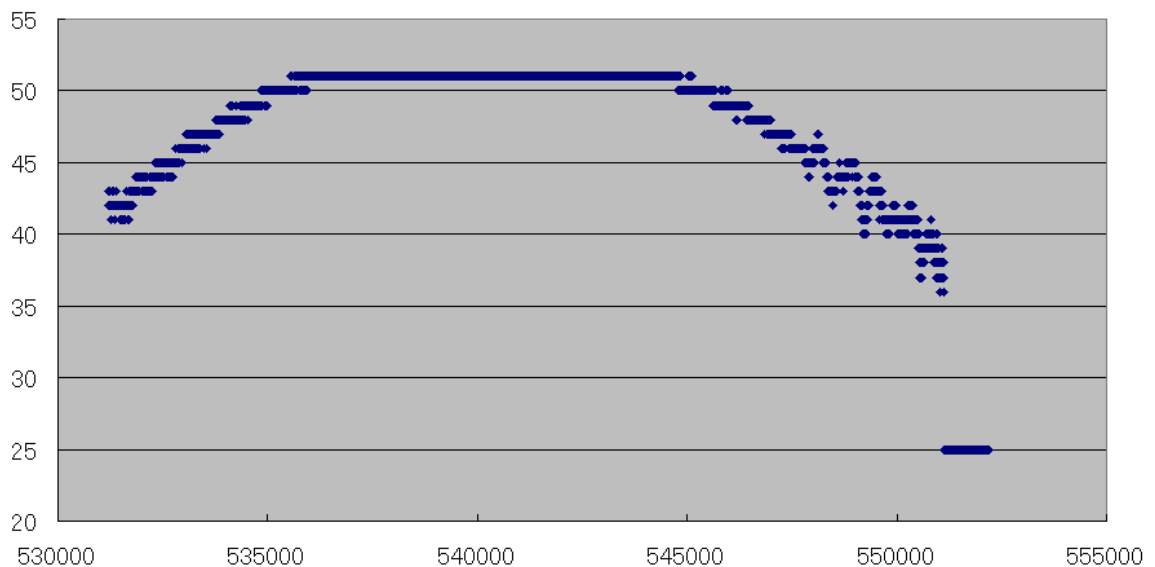


信号強度 PRN31



上に示した信号強度の値はすべて移動局のものである。明らかにマルチパスによる反射及び回折の影響を受けていることがわかる。なお、参考のために周囲に障害物のない基準局においては信号強度がどのようになっているかここで示す（20番衛星）。また20番衛星のマルチパス誤差について少し調べてみた。

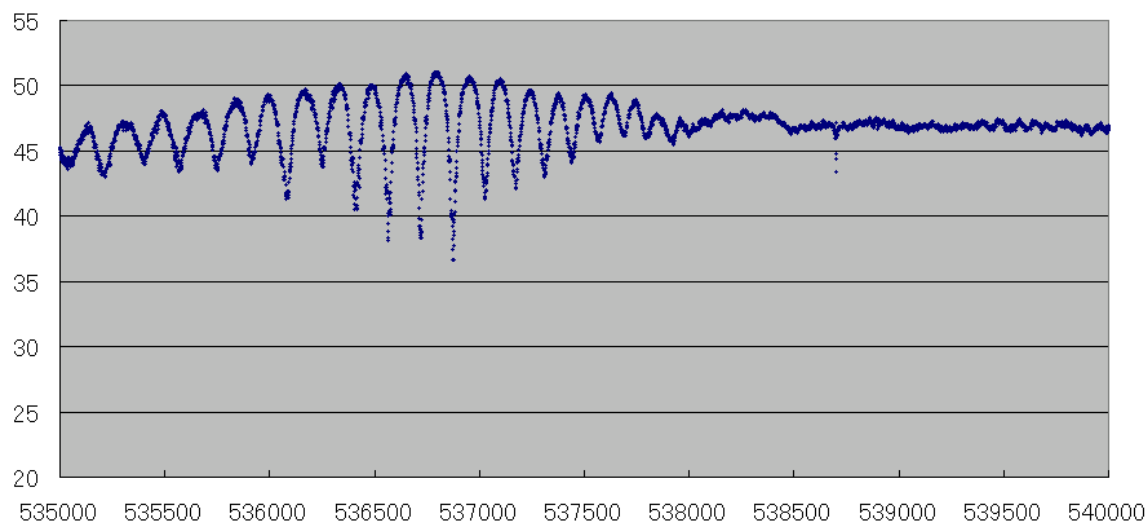
信号強度 PRN20 基準局



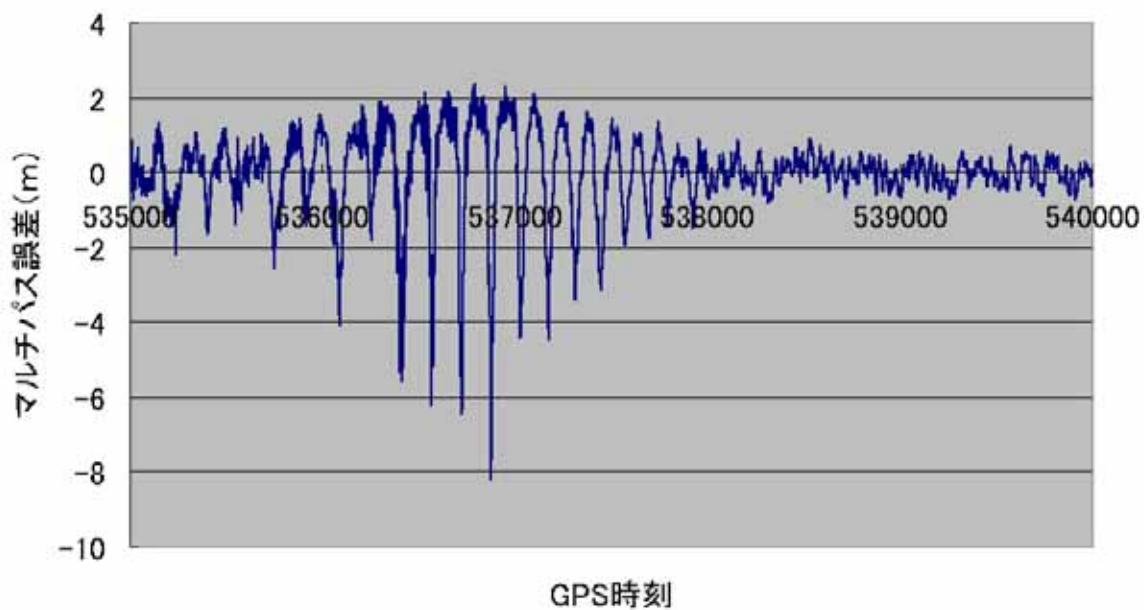
上の基準局の信号強度を見ればわかるように、通常仰角が高くなるにつれて信号強度は増加し、仰角が低くなるにつれて信号強度は減少する（約40dB-Hzから50dB-Hz）。基準

局は信号強度を少数点以下まで評価していないため、整数値による段差が見られるが、基本的に周囲が開けている場合はなめらかに変化する。この図は、移動局の同じ時間帯の 20 番衛星の信号強度とは明らかに異なっている。次に、移動局における 20 番衛星の信号強度とマルチパス誤差を示す。

信号強度 PRN20 抜き出し

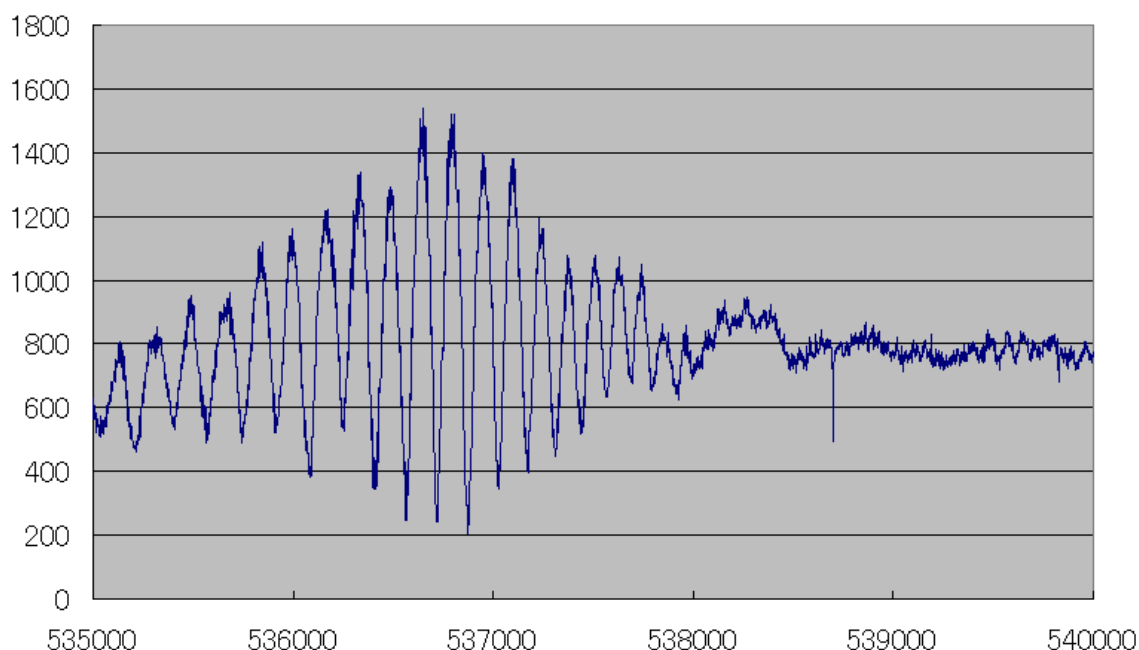


マルチパス誤差(m) PRN20



上の2つの図より明らかなように、20番衛星は535000秒から538000秒にかけてマルチパスの反射の影響を大きく受けている。周期も比較的早いため、遅延距離の長いマルチパスと思われる（アンテナ設置場所20-30mの範囲には障害物は存在しない）。コンクリートによる反射係数が直接波対マルチパス比で0.2前後あったとしても、平らかつある程度の面積で反射しないとマルチパス誤差が10m前後になることは予想されない。この時間帯におけるSQM受信機の結果を以下に示す。

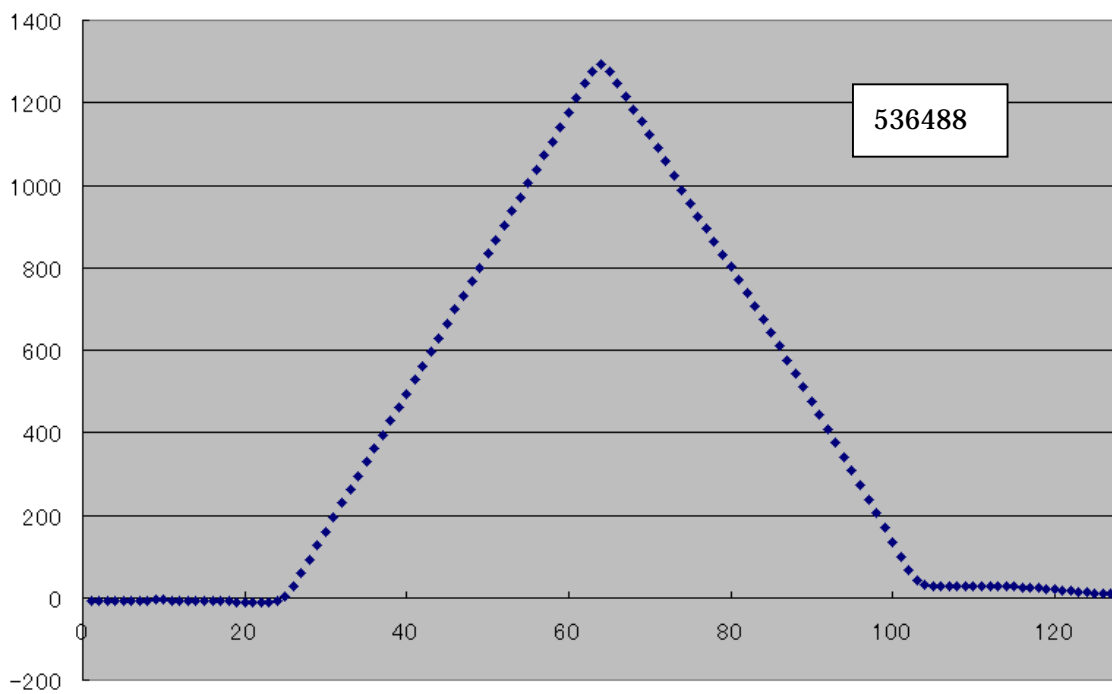
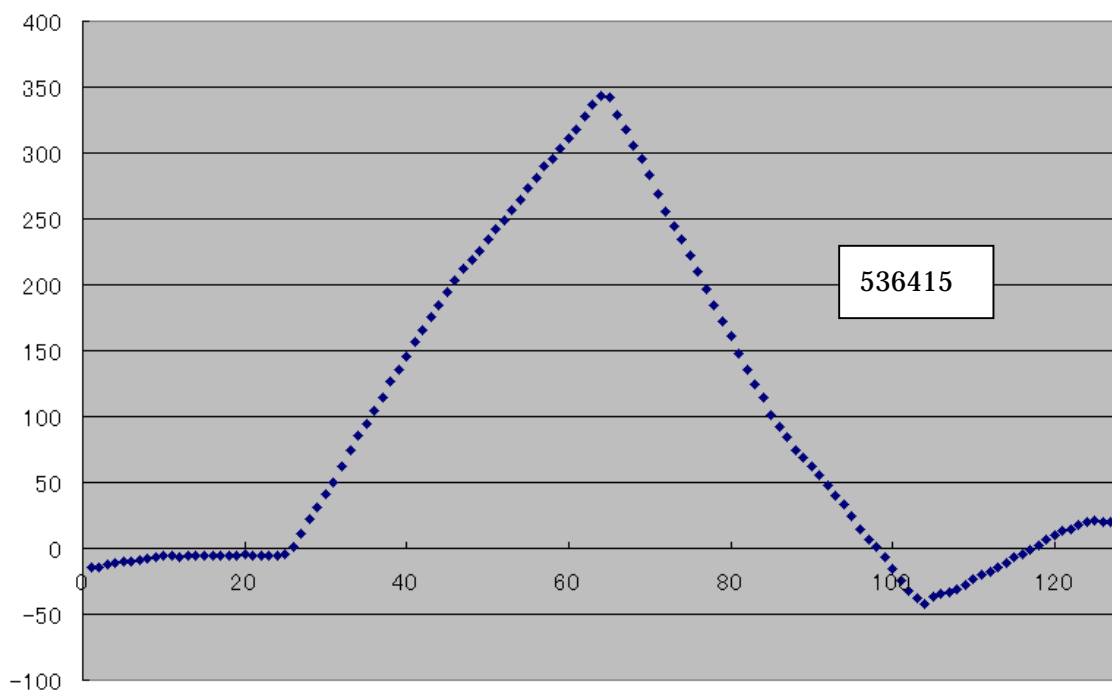
I相の相関値 (0chip)

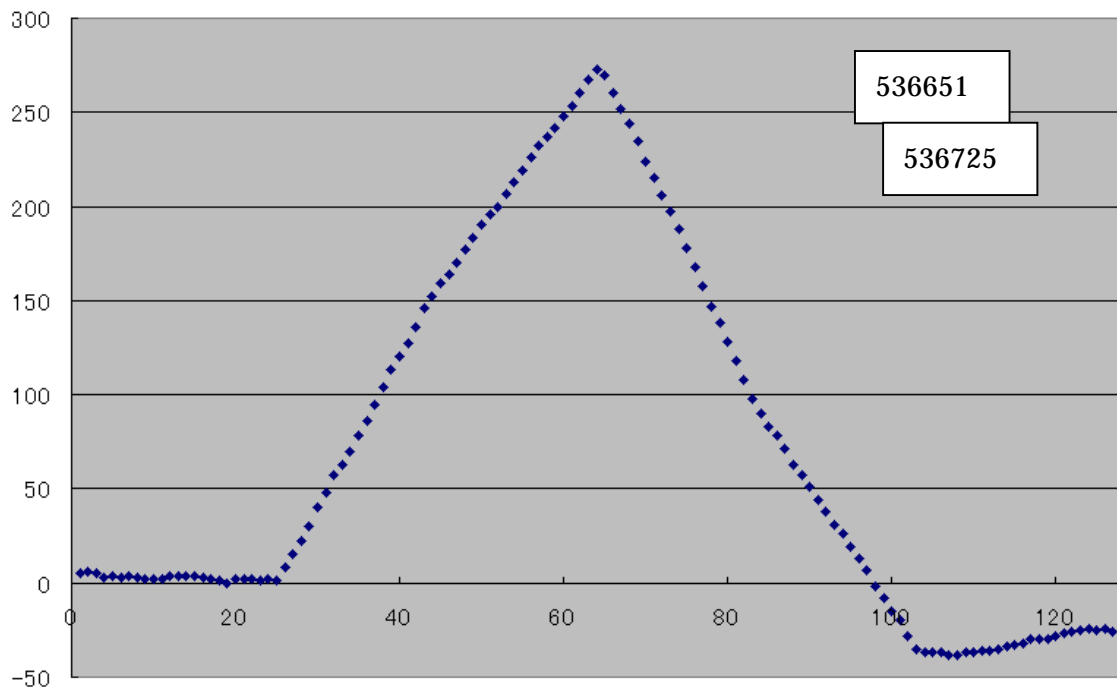
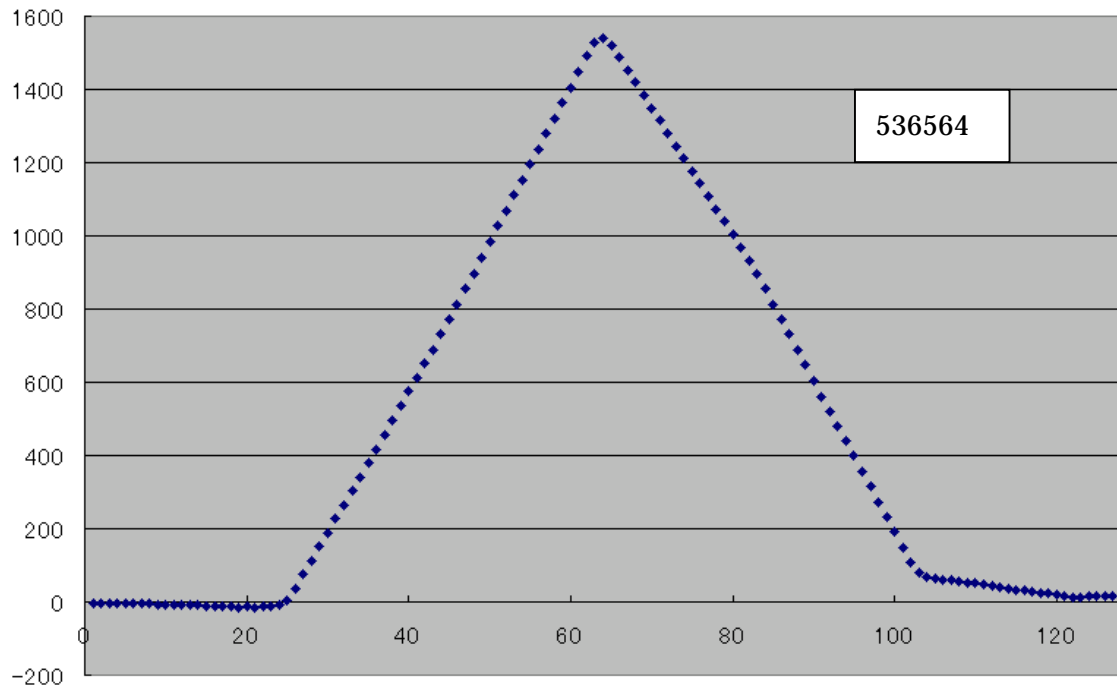


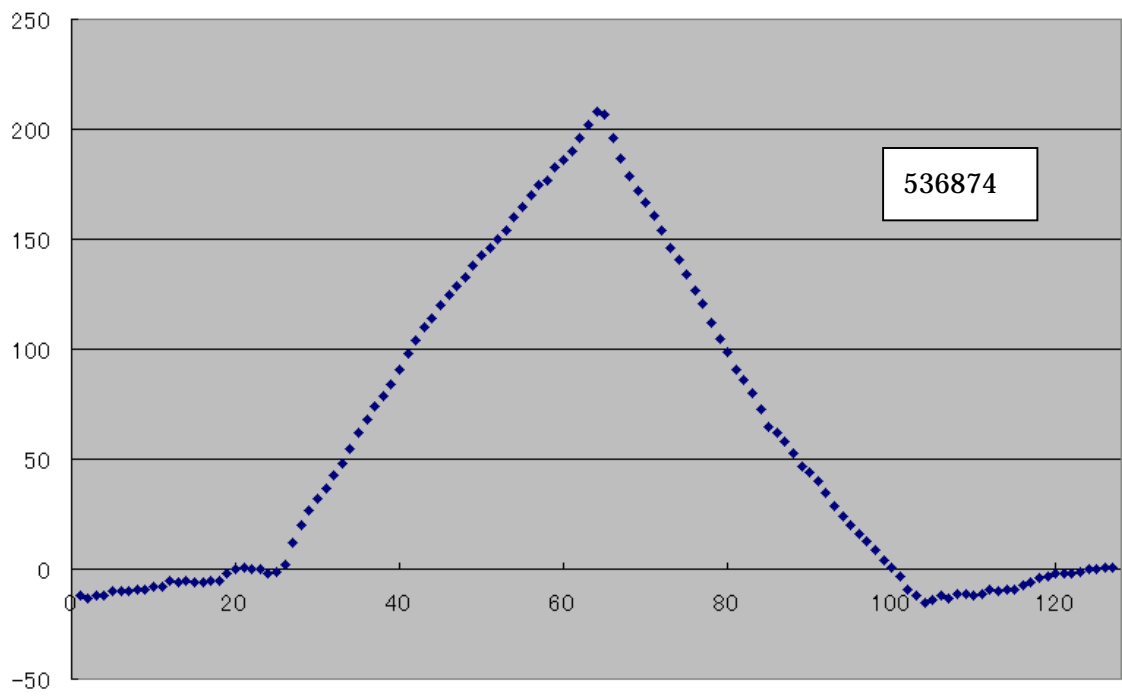
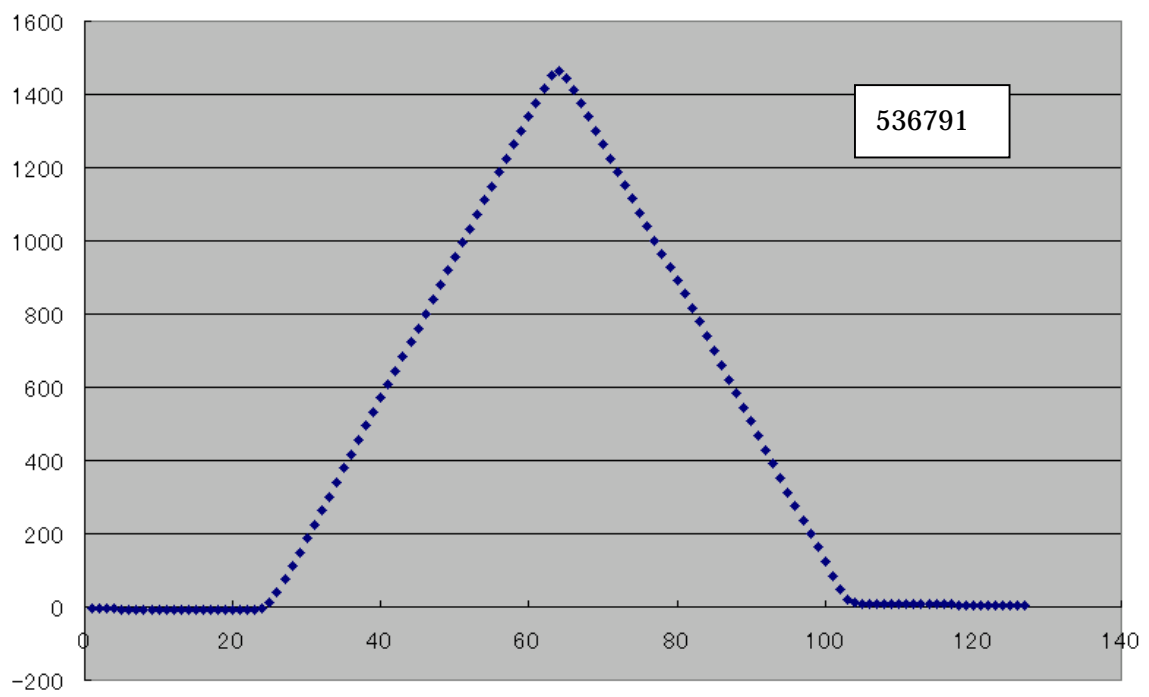
この図の結果と先に示したOEM3受信機による信号強度とマルチパス誤差には、周期に相関が見られる。I相の相関値（prompt）は信号強度を計算する際に利用されているのではないかと予想されるが確認したわけではない。次にマルチパス誤差の極大、極小のGPS時刻におけるSQM受信機の相関波形を見てみることにした。取り出したGPS時刻は以下のとおりである。

|         |        |        |        |        |        |        |        |
|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| GPS時刻   | 536416 | 536502 | 536566 | 536652 | 536725 | 536791 | 536877 |
| cc-diff | -5.57  | 1.89   | -6.23  | 2.15   | -6.646 | 2.36   | -8.20  |

cc-diffとは、搬送波とコードの差より電離層の影響を取り除いた値のことで、大部分はマルチパス誤差をあわらしている。以下に上記のGPS時刻の順番でSQMによる波形を示す。



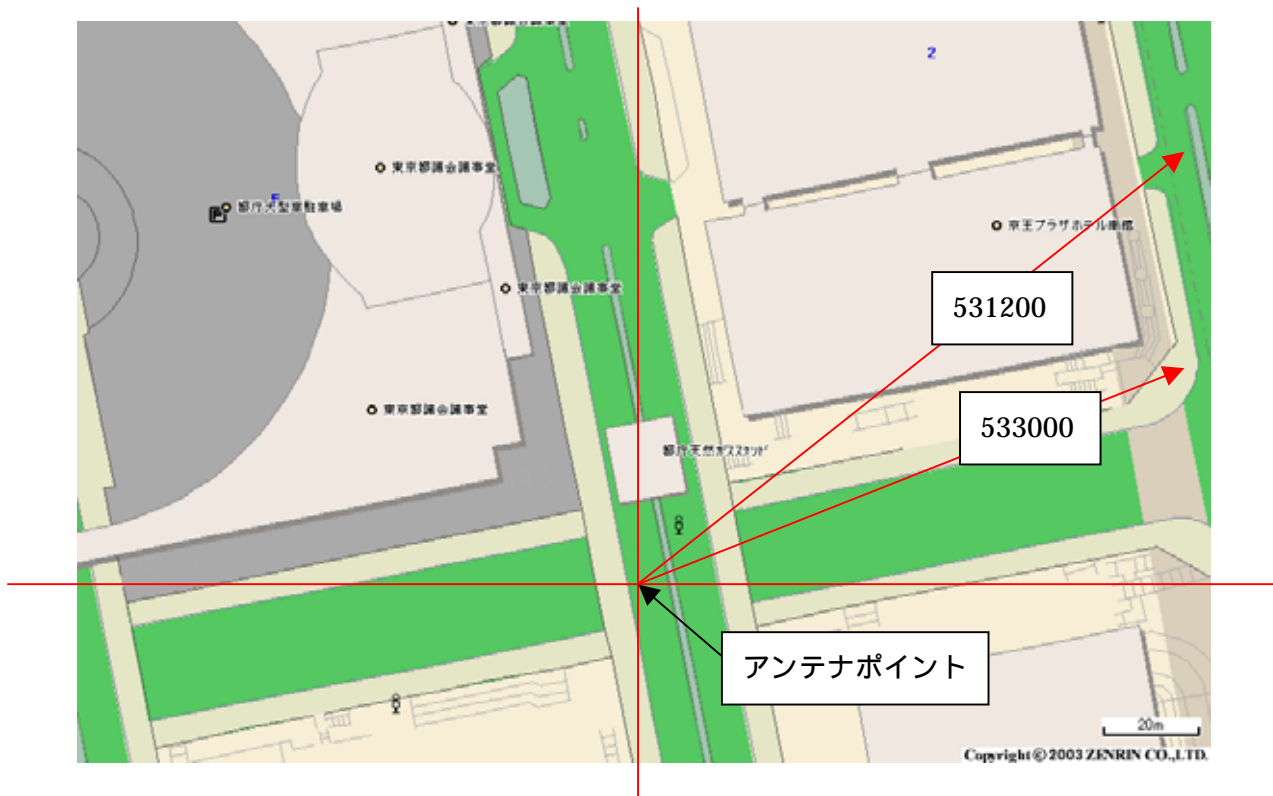




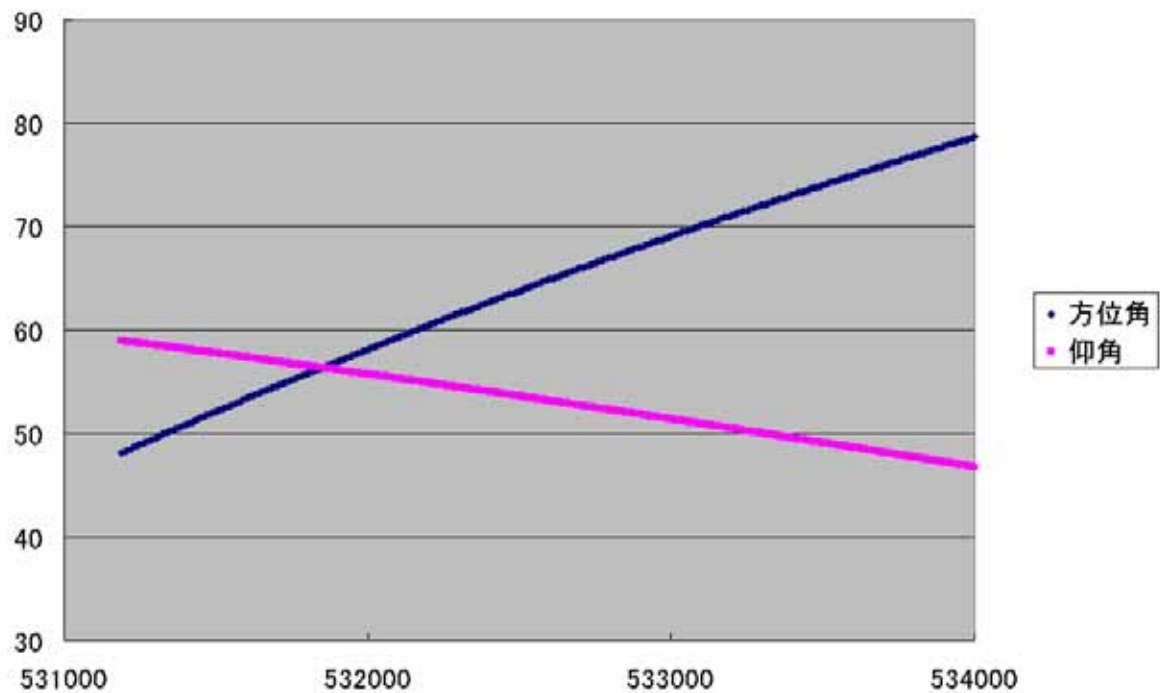


上記の SQM の 7 つの GPS 時刻における相関波形より、OEM 3 受信機で求めたマルチパス誤差との間に明らかな相関があることがわかる。特にマルチパスの位相が 180 度ずれているときは図で見ると顕著である。理論的に 180 度位相がずれたマルチパス波が混入してきた場合と全く同じ波形をしている。Early-minus-late のコリレータで計算すると、10m を超えるマルチパス誤差が発生してもおかしくないほど波形がくずれていることがわかる。GPS 時刻で 536566 秒の結果を見ると、ちょうど逆相のマルチパス波が混入している。この波形よりマルチパス波の遅延距離を予測すると、逆相のマイナス最大が約 21 チップから 22 チップ遅れた地点にきているので、およそ 160m から 170m の遅延距離をもつマルチパス波が混入していると思われる。536566 秒における 20 番衛星の仰角と方位角がそれぞれ、53.7 度、156.7 度であることから、おそらく京王プラザホテル本館の南側の壁に反射しているのではないかと考えている。ただし、遅延距離が少し合わないので要調査である。20 番衛星のみを解析したわけだが、新宿都丁街のように、高層ビルの立ち並ぶ間の道路では、遅延距離の長いマルチパス波が混入するため、マルチパス対策を施していない受信機では、非常に大きなマルチパス誤差を発生することになる。本実験で使用した GPS 受信機は 0.1 チップ幅のナローコリレータを利用しているため、その影響はやや緩和されているはずである。もし 1 チップ幅のワイドコリレータを用いた場合、ちょうど GPS 時刻が 536566 秒付近では数 10m 程度のマルチパス誤差が記録されたと思われる。

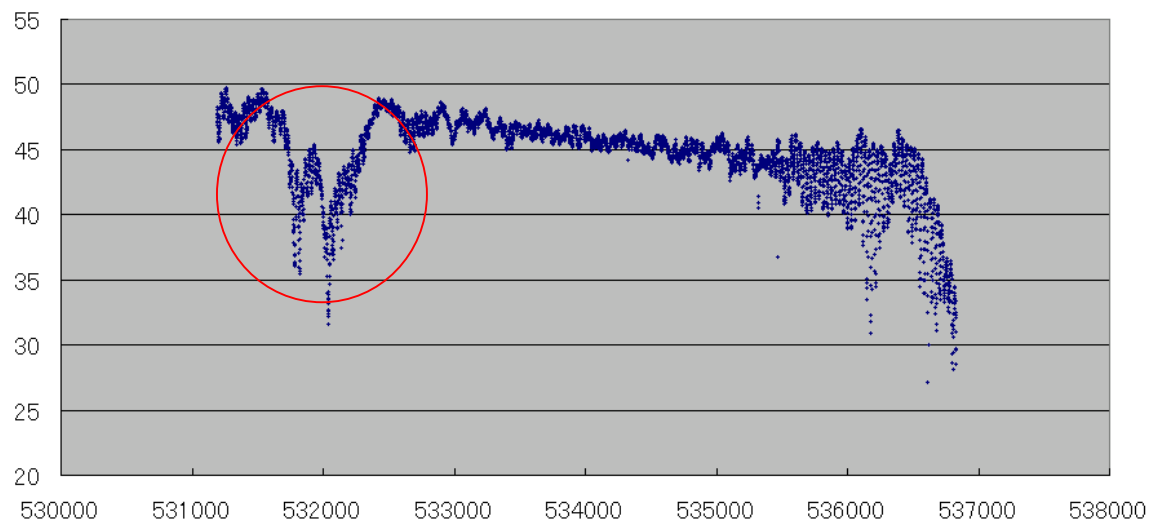
次にビルに衛星が隠れる場合の結果を示す。衛星は 31 番でアンテナから北東側にある京王プラザの本館と南館のほうに位置していたときの結果である。写真、仰角と方位角、信号強度そしてマルチパス誤差を示す。



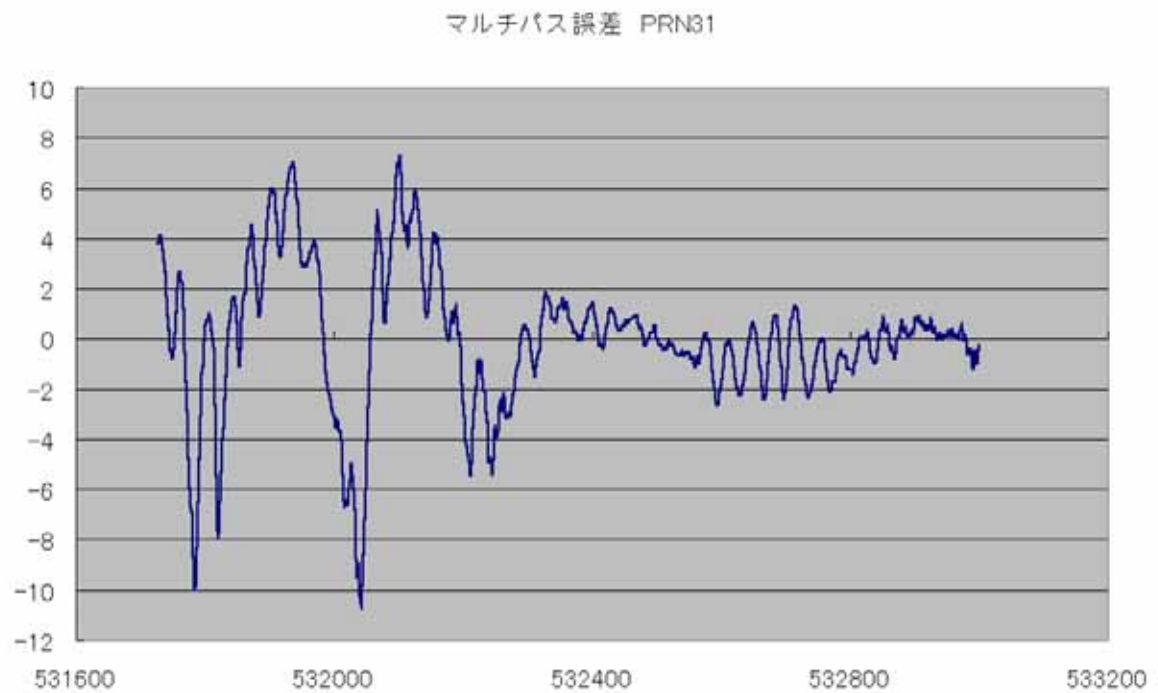




信号強度 PRN31



信号強度の図で、赤丸を囲んだ部分はちょうど、31 番衛星が京王プラザの南館の屋上部分を通り、回折の影響を受けているのではないかと考えられる。回折だけでなく、京王プラザの向かいにあるビルに反射していることも考えられる。次にマルチパス誤差を示す。



前述の反射の場合と同じようにマルチパス誤差には信号強度との間に相関が見られる。この図より、前半部分で周期がやや遅く大きな変化と周期が早くて小さな変化が同時に見られる。周期がやや遅く大きな変化は、京王プラザの向かいのビルに反射してきたマルチパス波によるものかもしれない。要調査。下に京王プラザ向かいのビルの写真をのせる。残念ながら、この時間帯の測位結果（単独もしくはDGPS）は衛星が4個でPDOPが非常に悪かったので精度の評価はできなかった。

