

コード測位における高精度化と マルチパス除去技術の可能性

東京海洋大学
久保信明

DGPSによる現状の精度

- 周囲の障害物のない場所(6-12):数10cm-1m
- 少し障害物が存在する場所(3-9):1-3m
- 高層ビルの存在する場所(1-6):2-10m以上
- RTKに要求されるDGPSの精度:2m未満

精度は1 値

括弧内は可視衛星数(マスク10度程度)

受信機は標準的なナローコレクタの場合

アンテナは高精度用

高精度化への道

- ガリレオや準天頂衛星による可視衛星数の増加(高層ビル街でもDOPをある程度確保)
- コードマルチパス誤差の低減と(安定して最大でも1-2m以内)大きなマルチパスの検知
- トラッキング能力の向上(耐サイクルスリップ、衛星捕捉時間の更なる短縮)
- 外部情報の利用
- 更なるアンテナの改良

移動体データによる具体例



前のスライドで述べた高精度化を阻んでいる要因について実際のデータを用いて示します。

取得日時: 2004/2/14

使用受信機

narrow correlator

pulse aperture correlator

使用アンテナ

高精度用アンテナ

構内を車で6周(速度は以下の通り)

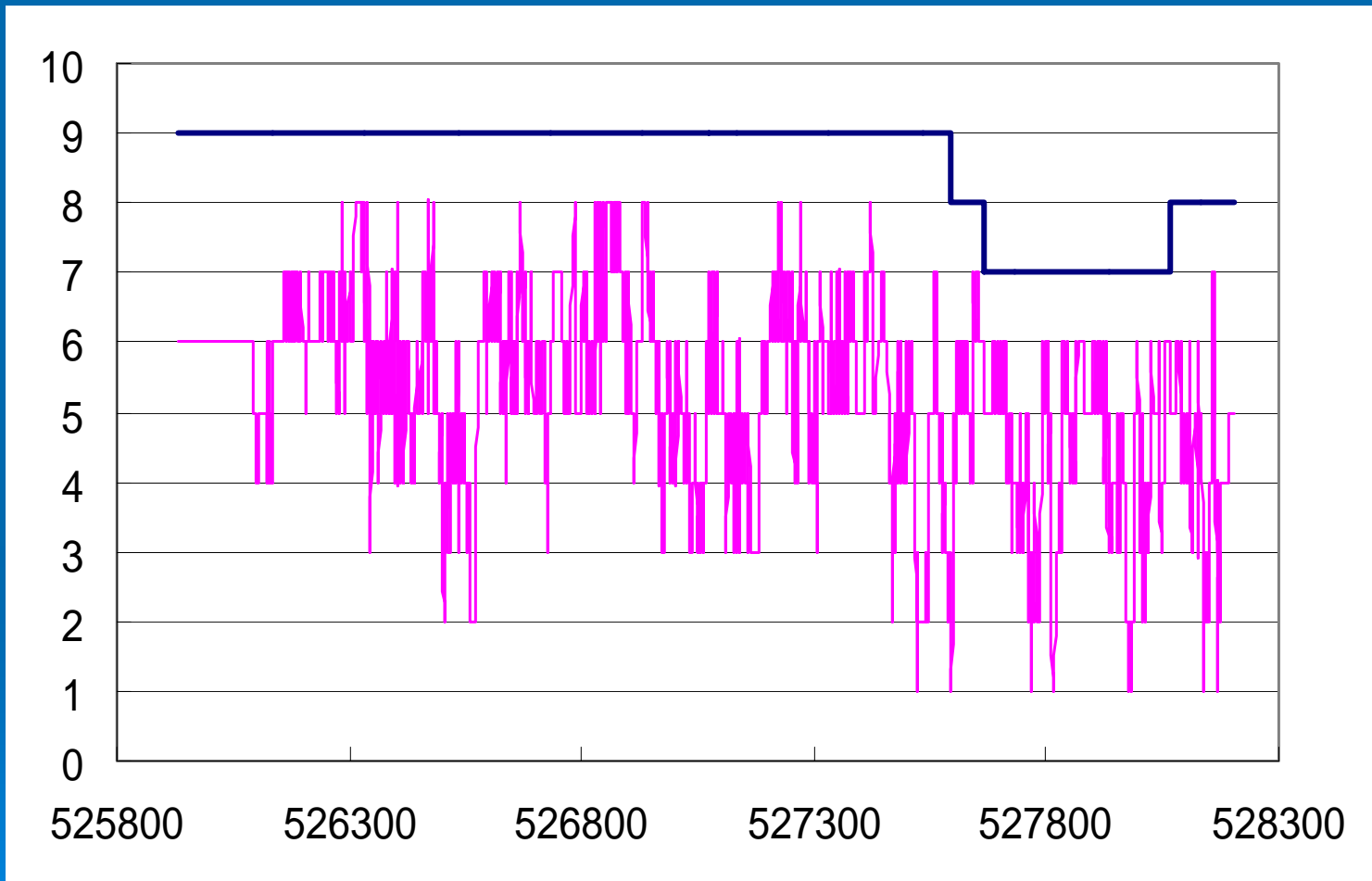
5, 10, 15, 20, 25, 30km

マスク角: 10度

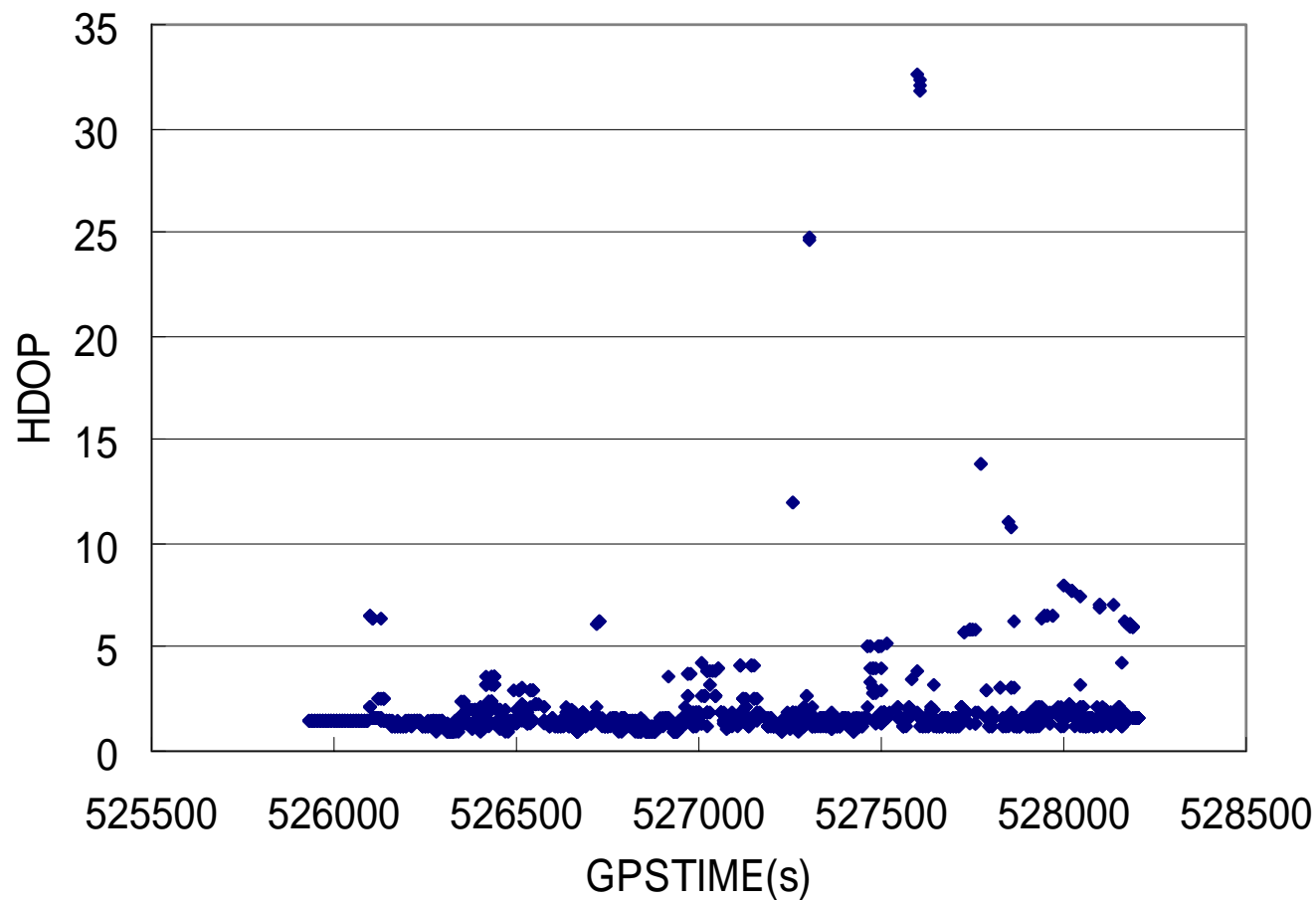
最低信号強度: 32dB-Hz

取得頻度: 1Hz

取得時の可視衛星変化 (OEM3)



取得時のHDOP (OEM3)

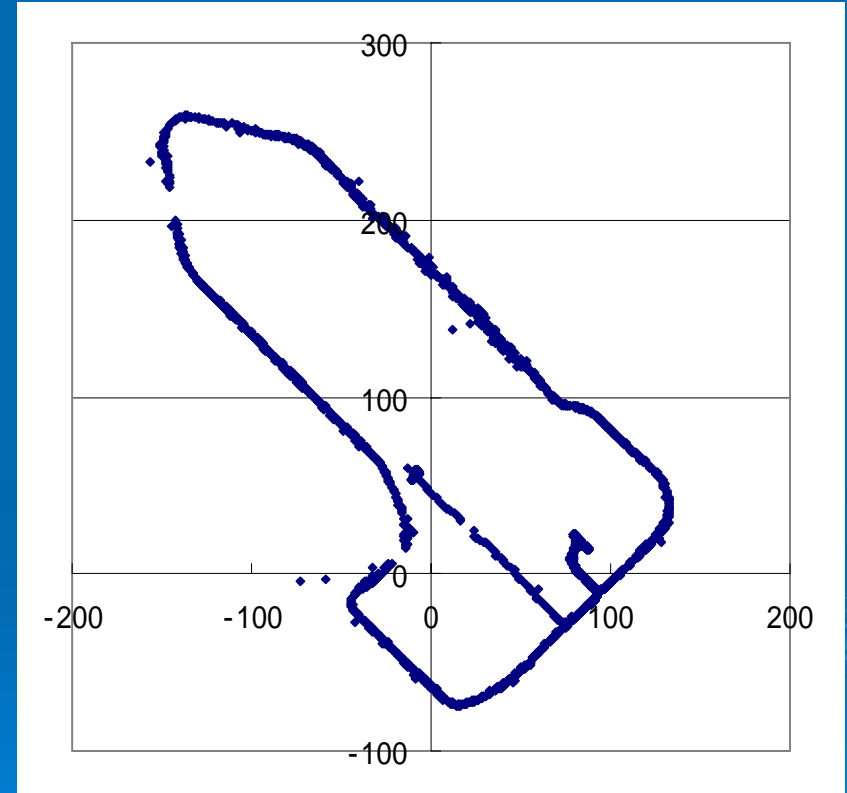
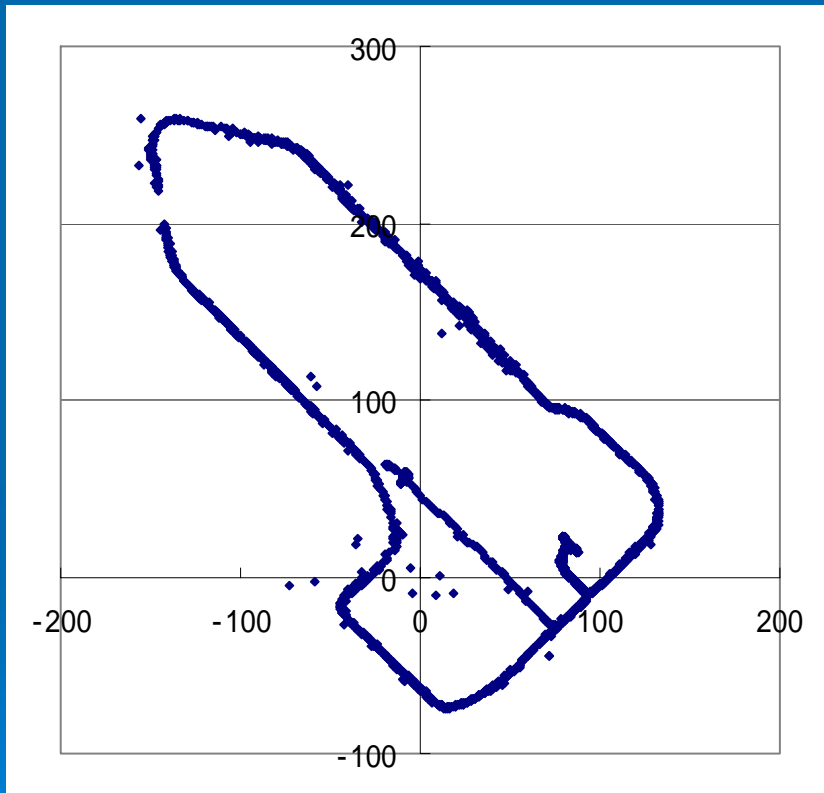


DGPS測位結果 (OEM3)

可視衛星数

頻度

0	1	2	3	4	5	6	7	8
	15	90	151	283	625	781	254	75



測位可能率 2019/2275 88.7%

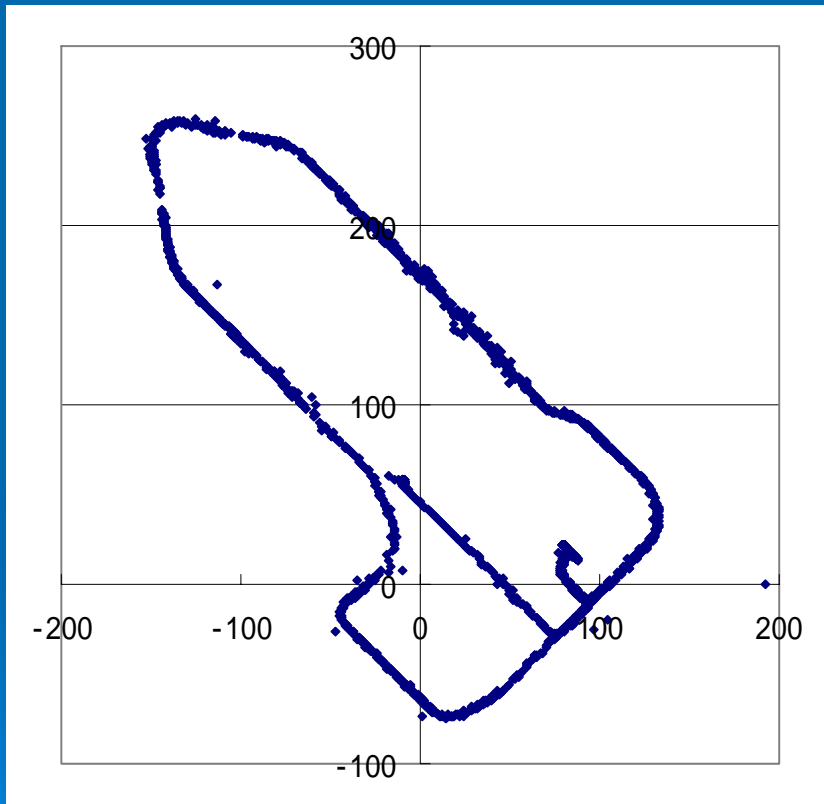
測位可能率 1935/2275 85.1%
HDOPが5以上の結果を排除

2004/3/26

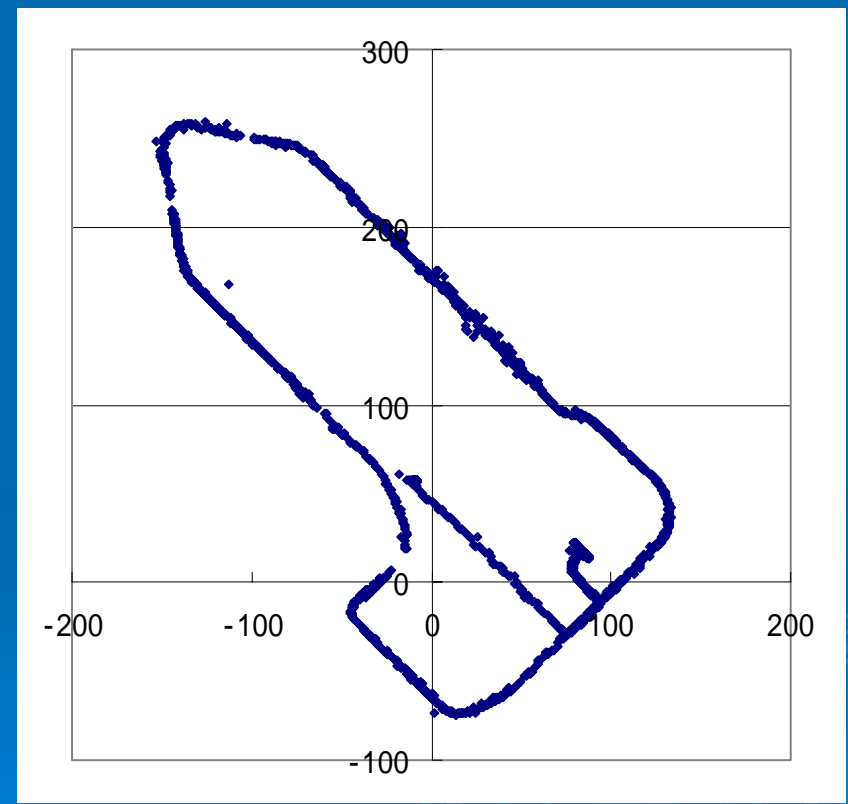
大きな測位誤差の一部はHDOPによるものであった。

DGPS測位結果 (OEM4)

Narrow correlatorとpulse aperture correlatorの違いが精度に表れている。

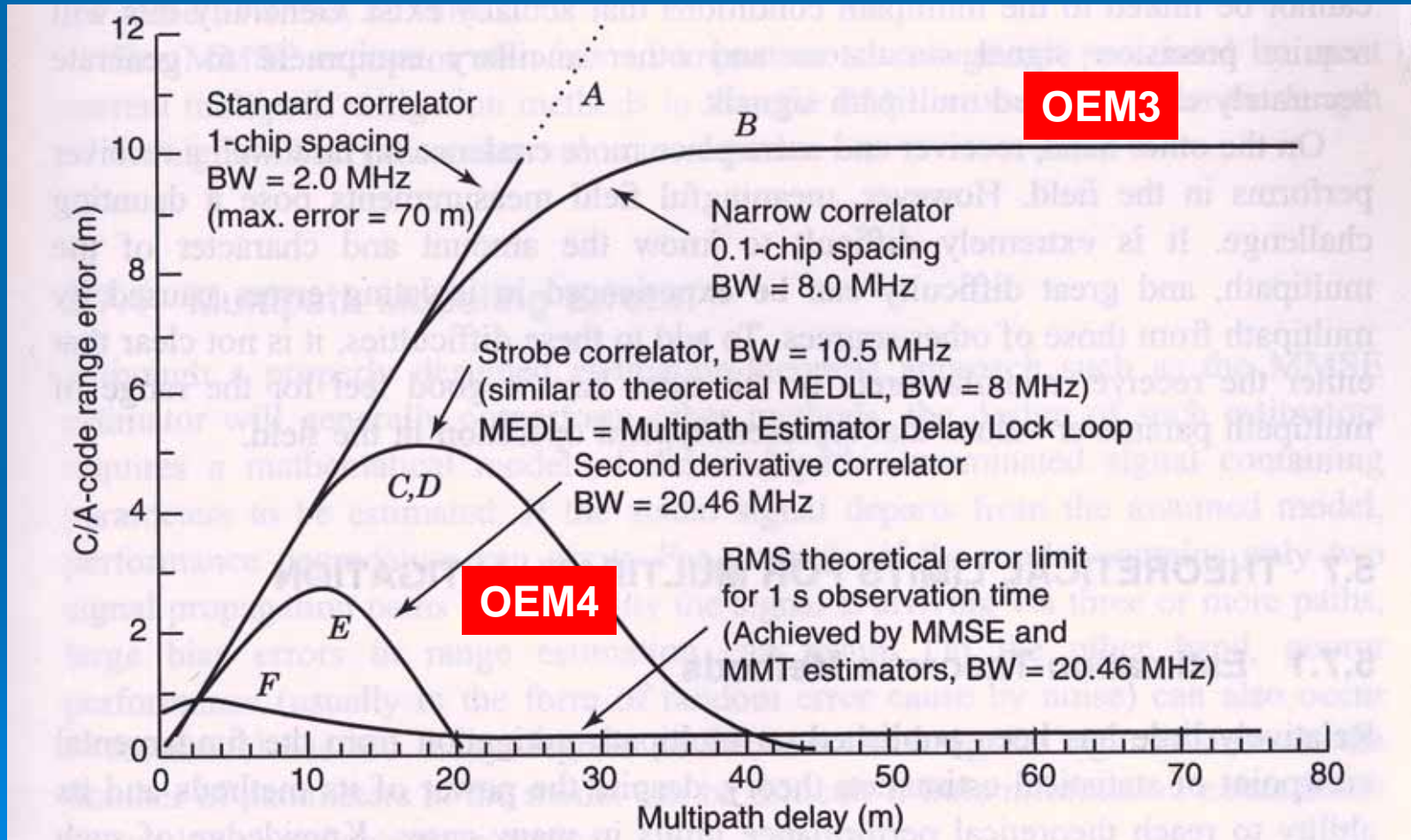


測位可能率 1832/2234 82.0%

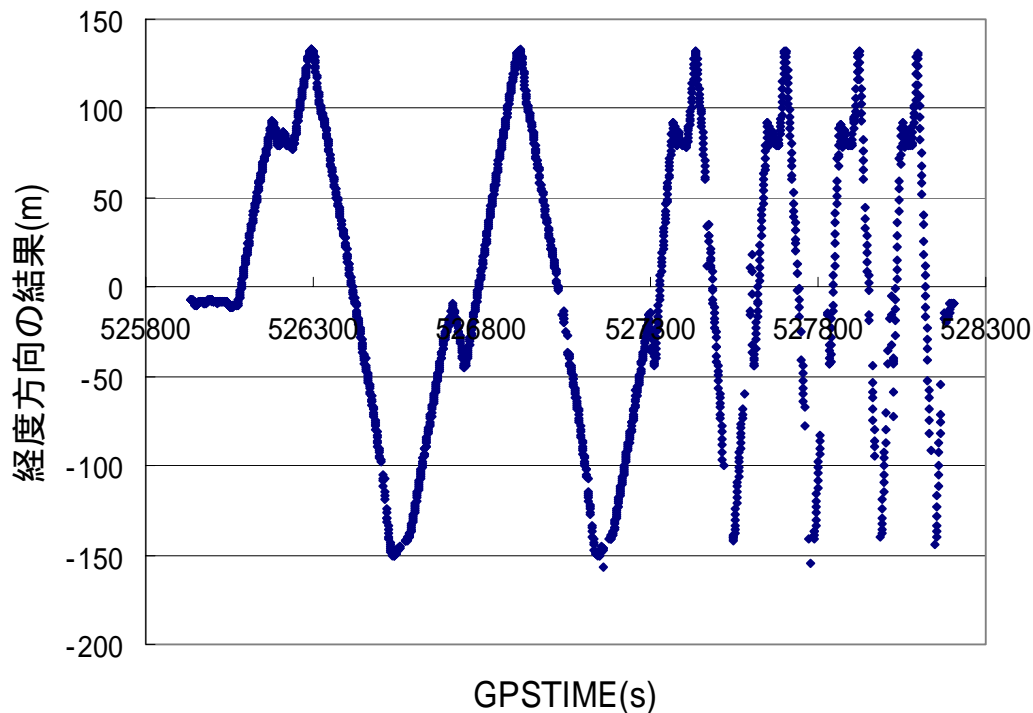


測位可能率 1779/2234 79.6%
HDOPが5以上の結果を排除

Correlatorの違いによる性能比較



Tracking能力について



左図はOEM3による経度方向の結果を示している。速度が上昇するにつれてやや測位率が低下しているように見える。
(5,10,15,20,25,30km)

そこで、各周回ごとに分けて測位率(%)を比較してみた。OEM3とOEM4の双方の結果を示す。

周回	1	2	3	4	5	6
OEM3	96.6	91.9	82.1	75.9	78.7	83.2
OEM4	94.3	88.6	77.2	60.0	60.3	67.2 ₁₀

サイクルスリップについて

- OEM3では、取得時間中(2275秒)、移動側で5072回、基準側で50回発生。
- OEM4では、取得期間中(2234秒)、移動側で2149回、基準側で50回発生。



サイクルスリップはL1帯もしくはL2帯で発生した場合にカウントされる。OEM4受信機は擬似距離のトラッキング能力がやや劣っていたが、搬送波位相の追尾能力は優れているといえる。よって搬送波位相を利用したRTK測位のサービス率はOEM4受信機のほうが高いといえる。実際に後処理RTK測位を行うと、OEM4受信機の出力のほうが利用しやすいことがわかった。

マルチパス除去技術の可能性と新しい信号(L5帯)の利用について

- 新たなL5帯信号が利用できるようになった場合、**コードマルチパス誤差の削減及びRTK測位サービスの向上が見込まれる。**
- マルチパス除去技術の可能性としては、現在の信号と新たな信号に適用できて、かつ**マルチパス誤差の最大値が1m前後(反射係数0.5の時)のものである。**

L5帯: 2005年米国打ち上げ予定。
2012年運用開始か?
1176.45MHz。送信帯域は24MHz。QPSK。

L5を利用する場合の利点

- チップレートが現在のPコードの10.23MHzになるため、コードの雑音自体が小さくなる(未確定)
- コードマルチパス誤差はチップ幅を狭くすることなく現在のstrobeコリレータ(PAC)相当になる。ただし帯域の制限(衛星側で24MHz?)があるため、0.1チップにした場合期待する効果は望めない。
- 現在L1とL2で非常によく利用されているワイドレーンよりも長い仮想的な波長(5.861m)をambiguity決定に利用できる。geometry-free(各衛星の搬送波位相のwhole-cycle ambiguityを求める)において有効。

Code tracking loopにおける精度 について

Early/Late 1チップコリレータにおけるCode tracking loop (Delay lock loop:DLLとも呼ばれている)の精度は以下のように与えられる。

$$\sigma_{DLL} = \sqrt{\frac{\alpha dB_L}{c/n_0} \left[1 + \frac{2}{Tc/n_0} \right]} \lambda_c$$

ここで α は無次元値でDLL相関器の種類によって決まる。

B_L はコードループの雑音帯域幅 (Hz)。

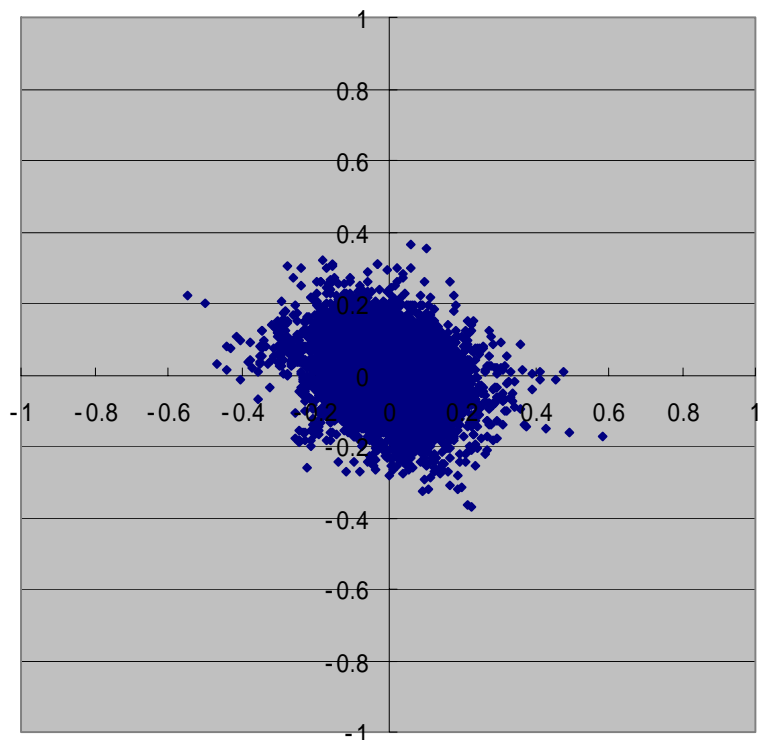
c/n_0 は搬送波電力対雑音電力密度比。 $10^{(C/N_0)/10}$

T はpredetectionの積分時間 (sec)、

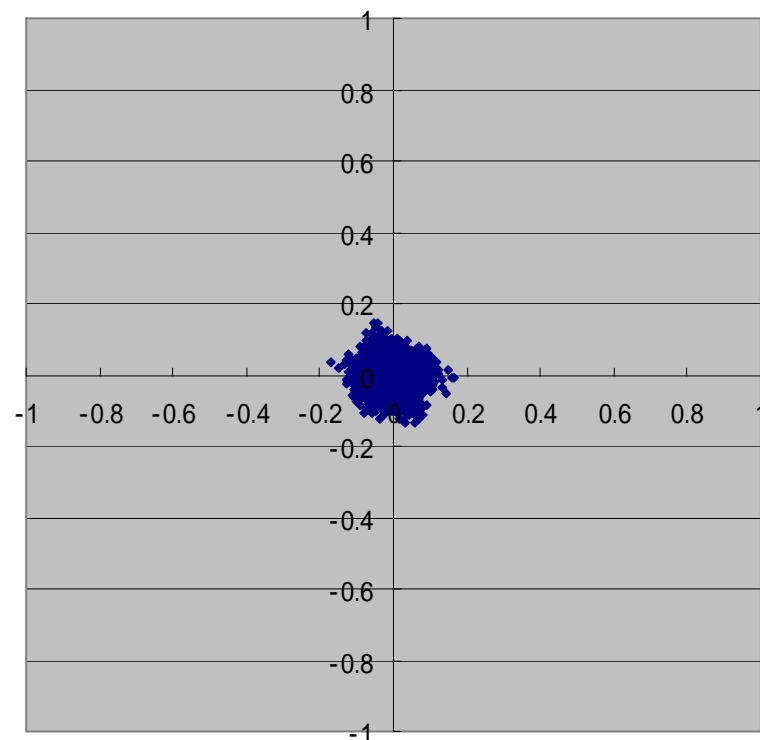
λ_c はPRNコードの波長 (P-code:29.305m, C/A-code:293.05m)。

D はチップ幅。

誤差要因がコードのノイズのみの場合 のDGPS測位精度について



L1帯DGPS (0.1chip)



L5帯DGPS(1.0chip)

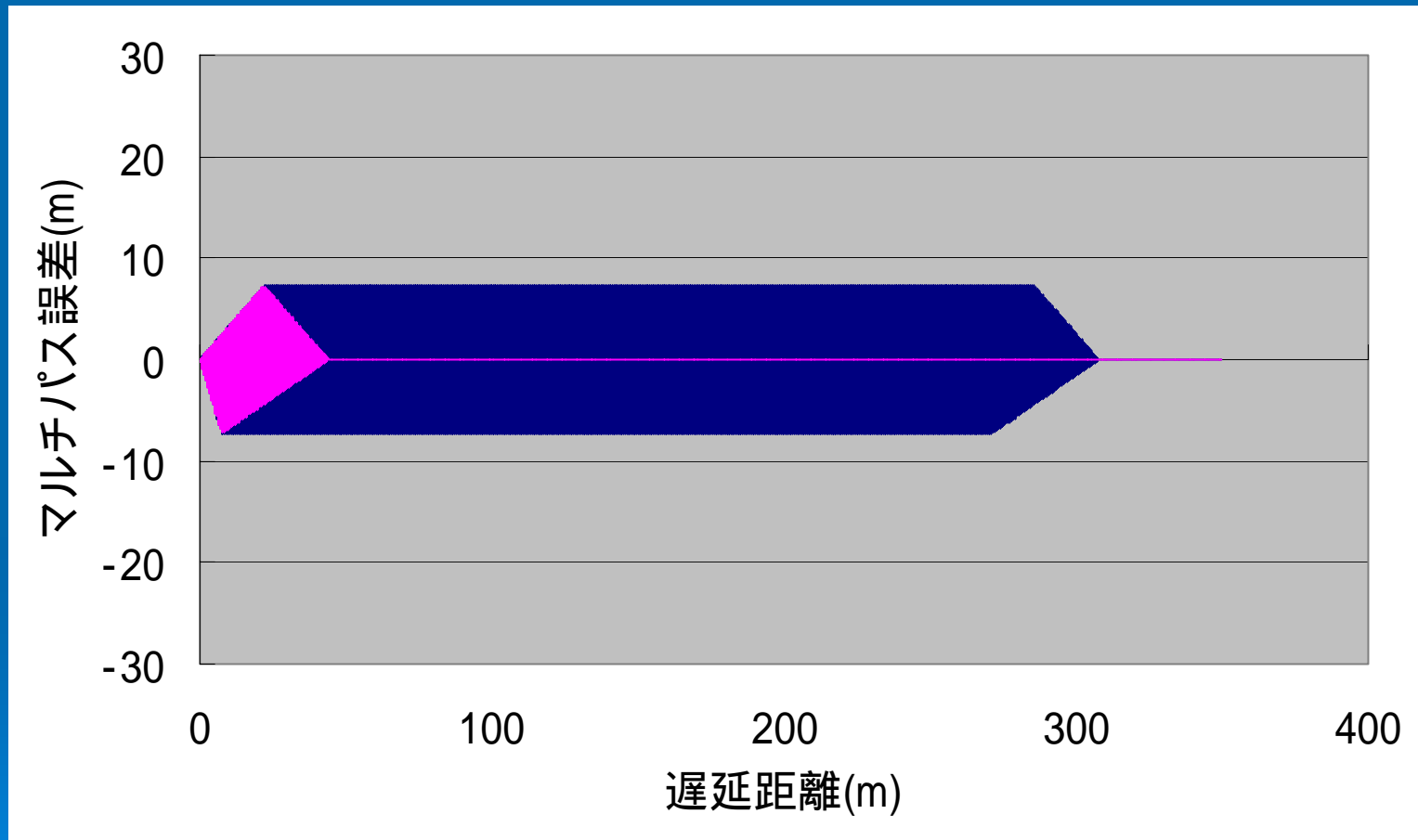
実際は障害物がなくても地面反射が存在するので、この結果よりも大きくなる。

2004/3/26

またL5帯の信号強度はL1帯と同様であると仮定している。

3時間¹⁵データ

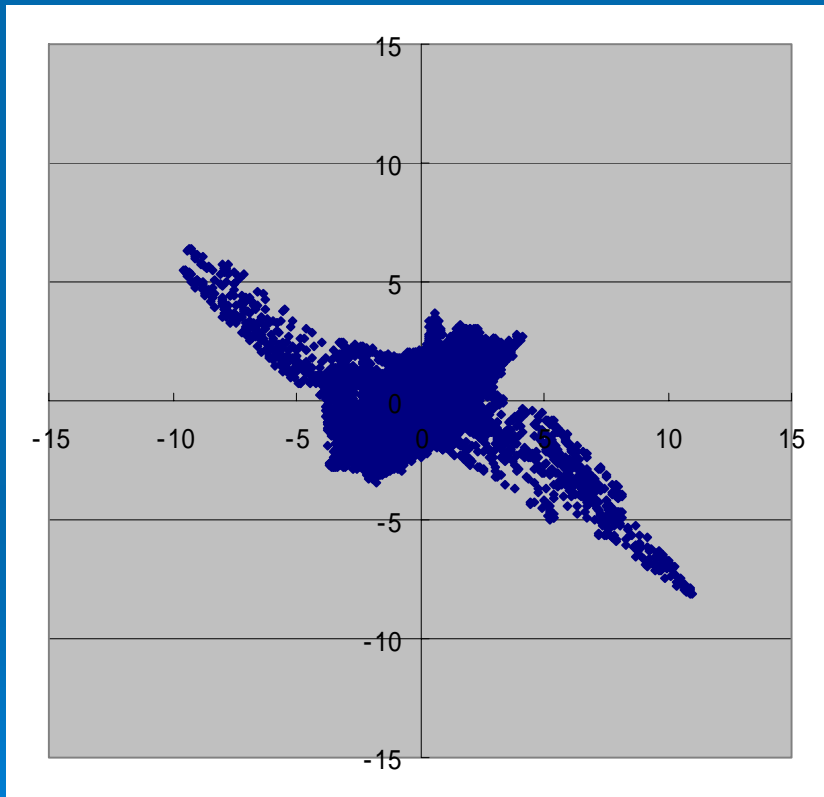
コードマルチパスの概観



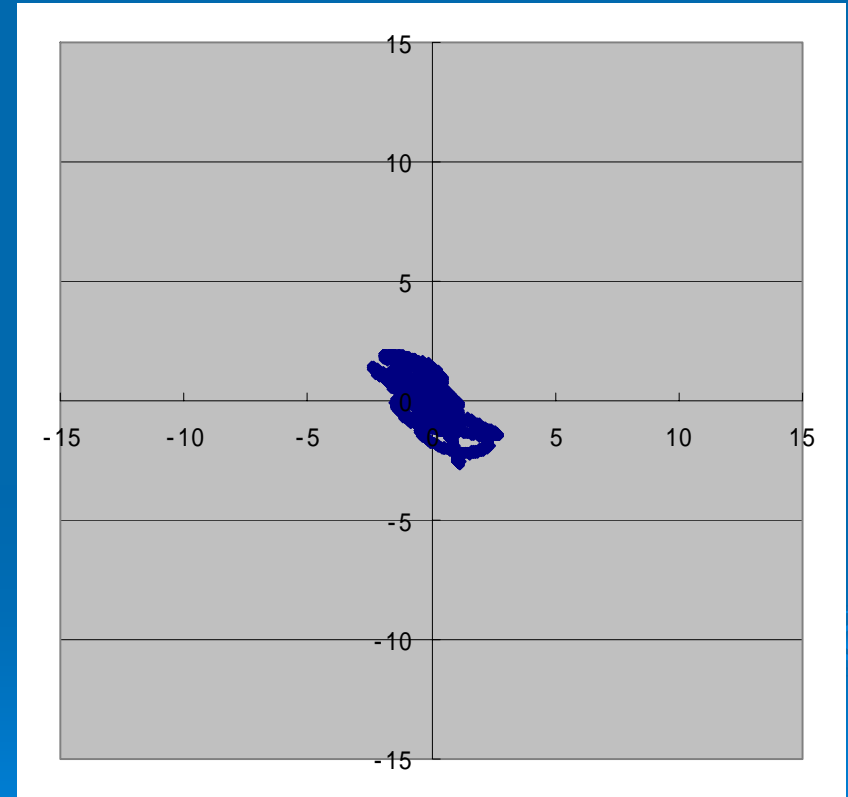
青がL1帯0.1chipコリレータの場合。赤がL5帯1.0chipコリレータの場合
25帯の結果は現在のL1帯のstrobeコリレータに近い。
2004/3/26

誤差要因がノイズ + マルチパス (地面と障害物) の場合のDGPS測位精度について

仰角で60度、方位角で90度分を遮るような壁がアンテナから30mの場所にあることを想定

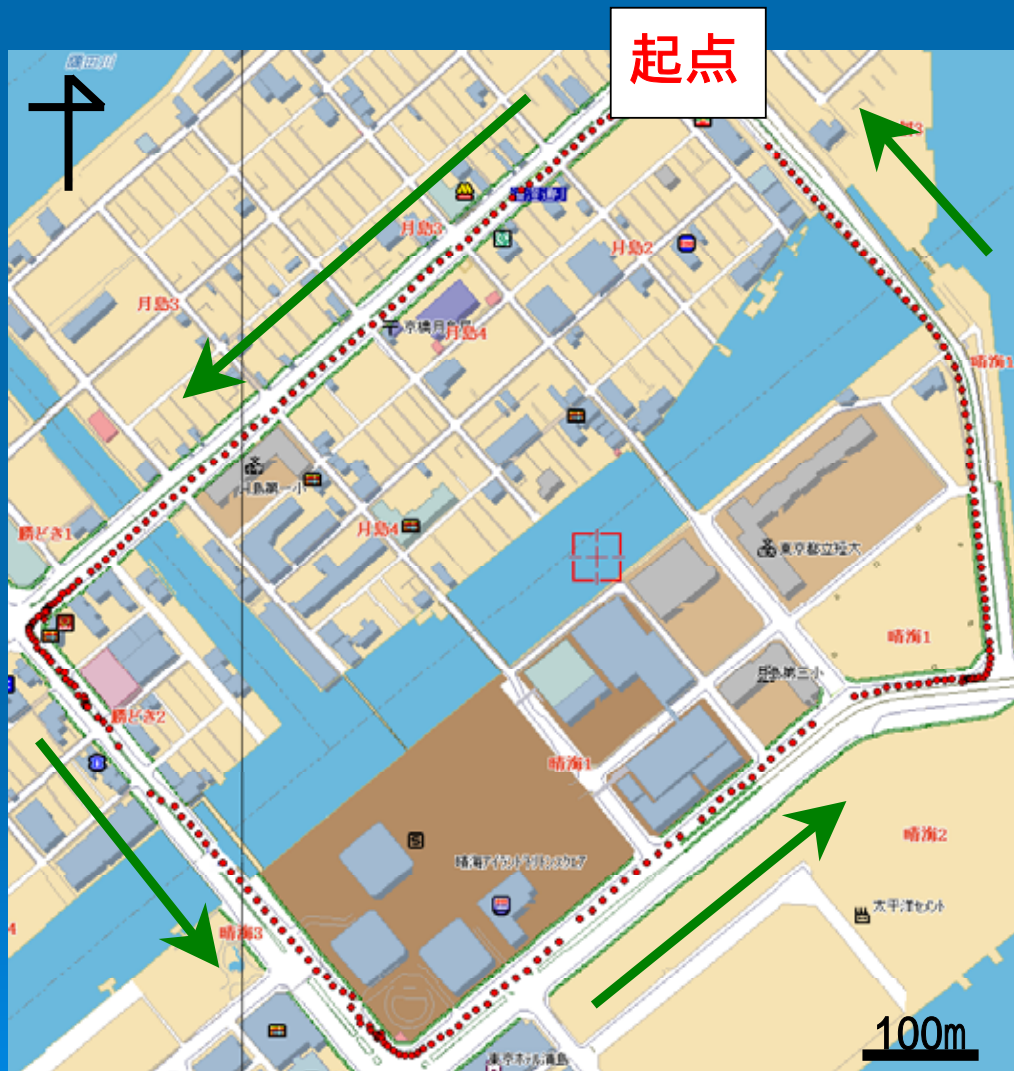


L1帯DGPS (0.1chip)



L5帯DGPS (1.0chip)

月島コースDGPS測位結果



周回所要時間

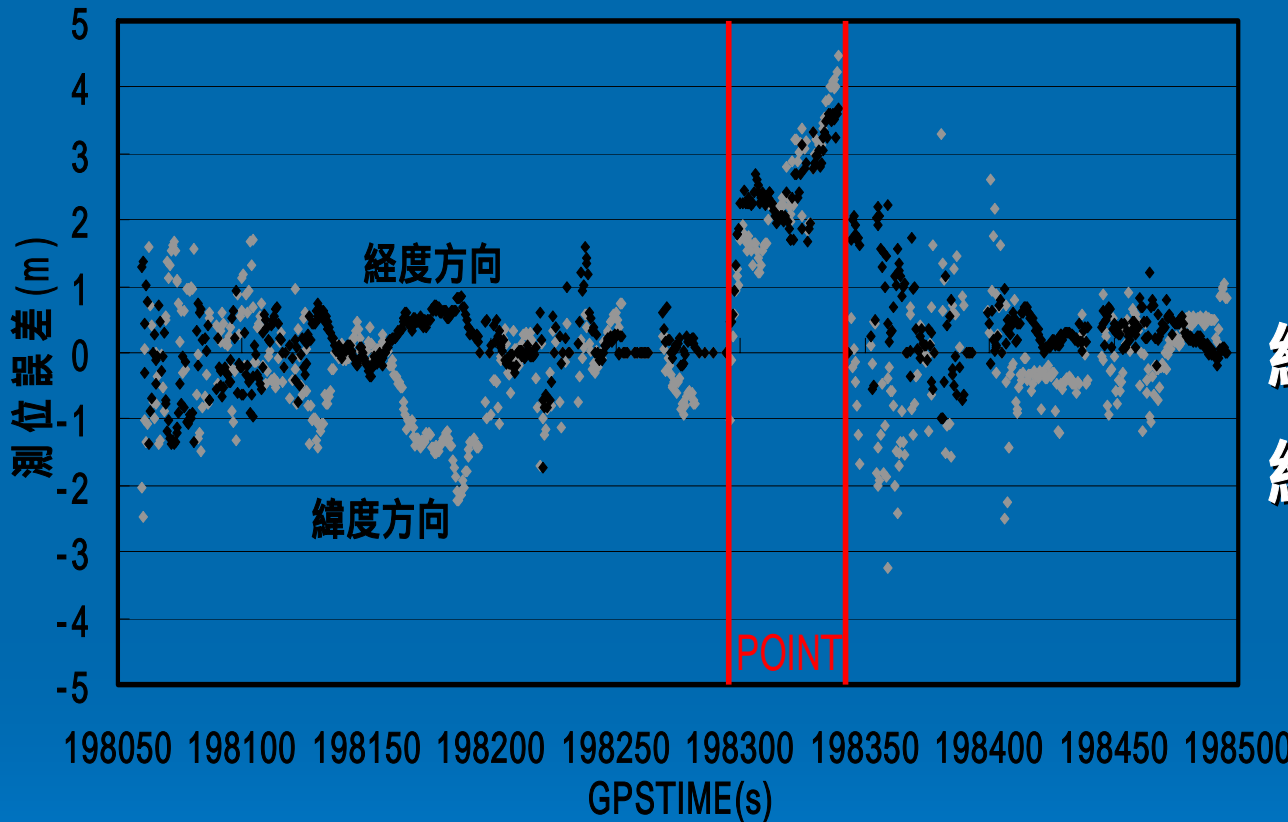
約8分

測位率(衛星4機以上)

約90.4%

- 捕捉衛星が3機以下で測位できない場所がいくつか存在
- 測位結果が悪くプロット点がばらつく場所が存在

月島コース測位誤差



平均誤差

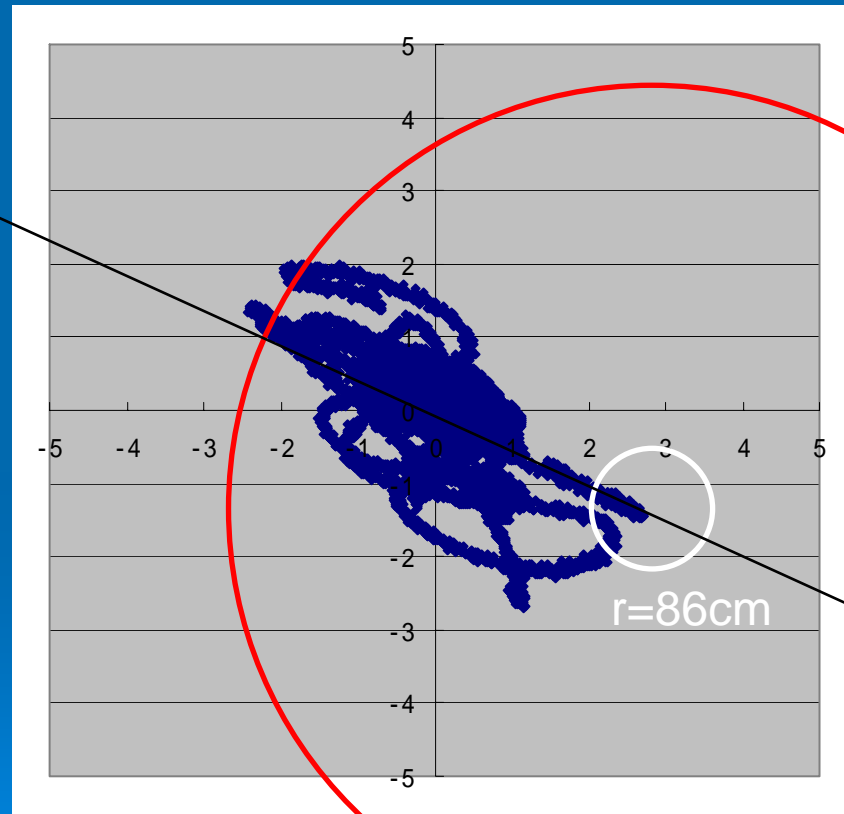
緯度方向 約0.85m

経度方向 約0.66m

測位誤差

搬送波位相測距方式による後処理RTK測位結果とDGPS測位結果の差

Ambiguity決定における L2帯とL5帯の線形結合の利用例



現在利用できるワイド
レーンよりもはるかに
長い波長を利用できる
ためambiguity決定が
スムーズにいくことが
予想される。

Wide lane: 86cm
L2-L5: 586cm

$r=586\text{cm}$

$r=86\text{cm}$

L5帯DGPS (1.0chip) (大きなマルチパス下)

Geometry-freeにおけるambiguity決定

- Geometry-dependent (コードDGPS等でサーチ範囲を決めて残差や測位誤差等を利用してambiguityを求める方法)と違い、各衛星ごとの搬送波位相のwhole-cycle ambiguityを求めるので、求まった衛星から測位にすぐに利用できる。
- 最低5つの衛星が必要ということもない。残差という概念もなく、対流圏遅延量に関しては、コードと搬送波位相に同様に影響するので、ほとんど影響しない。
- 移動体においても、対流圏の場合と同様である。

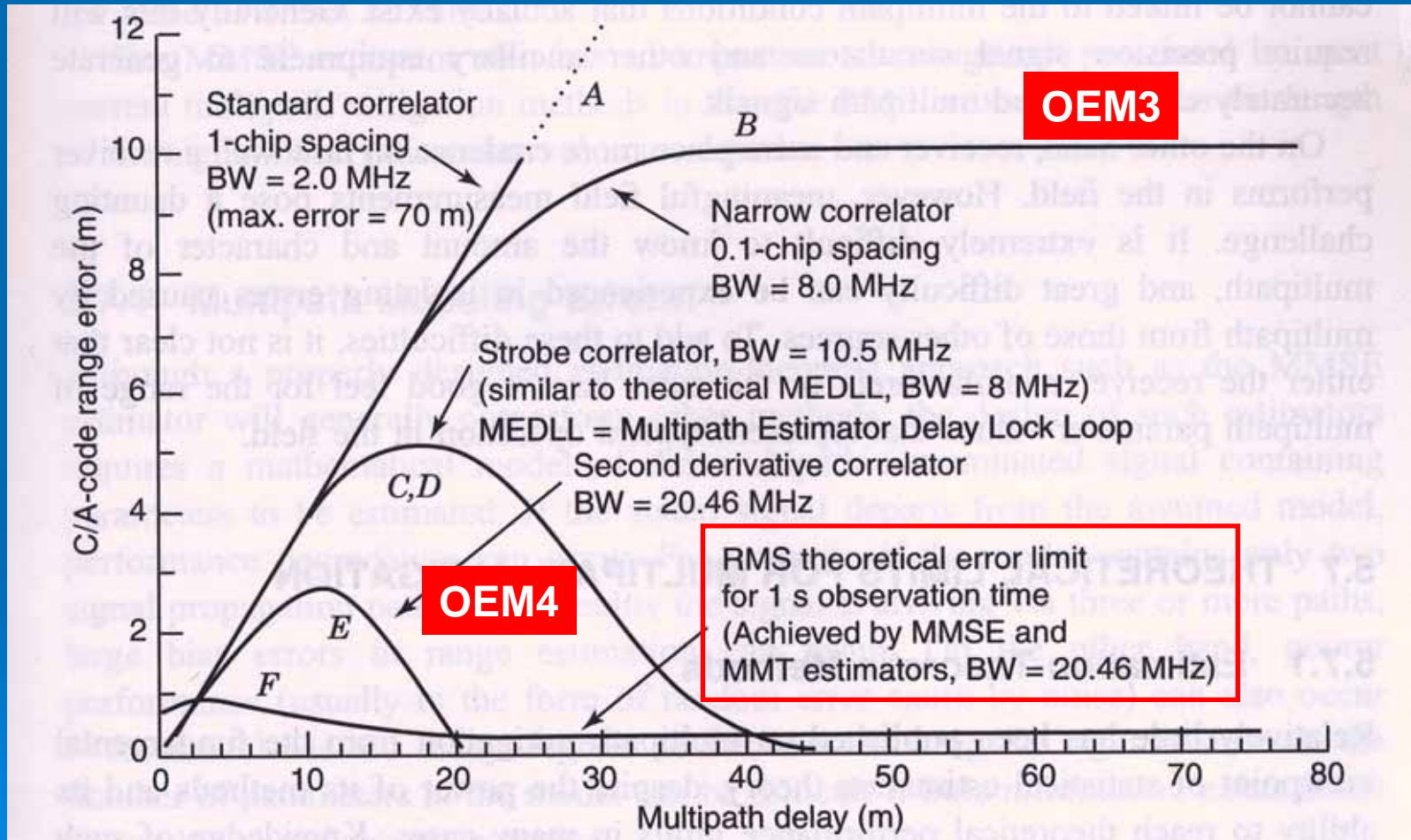


マルチパス除去技術の可能性

- 現在都市部走行中のマルチパス誤差による大きさは**最新のGPS受信機を使用すれば、通常3,4m以内**であると思われる。よってそれ以上の誤差が見られるときは、以下の3つの場合が考えられる
 - 1) HDOPが悪い(5以上)
 - 2) 直接波が到来せずに間接波のみ到来
 - 3) 回折により信号強度が異常に低い

この3,4mをさらに削減することは可能か？

Correlatorの違いによる性能比較



MMTの可能性

- 基本的には最尤推定法 (MEDLLと同様) により相関値よりマルチパスパラメータを直接算出。ただし最尤推定の計算手順を大幅に削減している。
- MEDLLほど多数の相関器を必要としない。
- パラメータ推定は間接波1つの場合でしか検討していないため複数の間接波の場合は？
- 多数の相関器を用いる代わりに、前処理のsignal compressionの量が非常に多い。
- マルチパスパラメータを1秒間固定して計算しているが、実際の移動体では最低200msec以内には結果を出さなければならない。

まとめ

- 以上より、コード測位の精度はいくつかの要因によって向上すると考えられる。
 - 1) 衛星数の増加
 - 2) 新たな信号の利用
 - 3) コードマルチパス誤差の削減
 - 4) 移動体での短時間でのトラッキング能力の向上
 - 5) 受信機以外の情報の利用
- さらに、搬送波位相測位については、新たな周波数帯の信号の利用と、コードマルチパス誤差の削減と相まってそのサービスが向上すると考えられる。