

最近のGNSSの動向と 研究報告

東京海洋大学
久保信明

これまで

- 学部→電気工学(通信系は避けた)
- 大学院→人工衛星の電気推進機の推進部分のシミュレーション(電磁気+流体、プラズマ)
- 企業(3年半)→航空機着陸補強用のDGPSシステム(とにかくDGPSで1m以内の安定した測位結果を出すソフトを開発、ノバテル)→マルチパス
- 大学(5年)→GPS関連全般。RTK等のソフト開発、都市部移動体での精度を調査→マルチパス

発表の内容

- マルチパス低減技術
- 高感度受信機評価
- RTK及びPPP (precise point positioning)
- まとめ

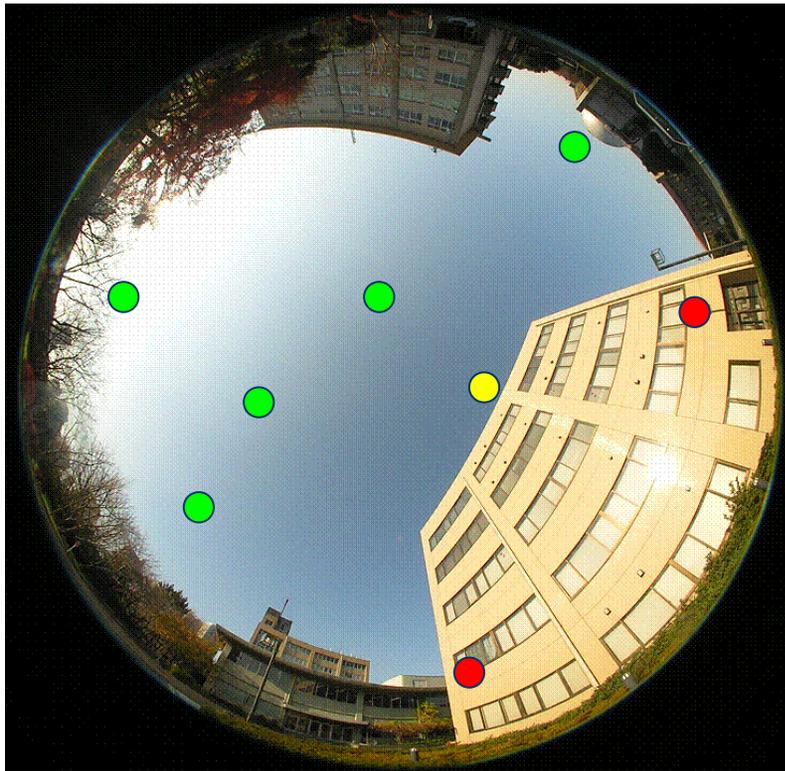
なぜマルチパスか？

- DGPSにおいて、数mから10mを超える誤差の要因は、ほとんどマルチパスの影響。
- RTKにおいて、できるだけ早く(できれば1エポックで)数cmの精度を得るには、どうしてもDGPSの測位精度が1~2m以内で安定していることが重要。

GPSにおけるマルチパス

- 船舶、航空機や自動車などを対象とする移動体衛星通信の伝搬路では、それら地球局が移動することによって**伝搬路が遮蔽**されるなど、伝搬特性が絶えず変化する特徴がある。
- 移動地球局の周囲にある障害物、すなわち、海面、樹木、建物、陸橋、移動体自身の構造物からの**電波の反射、散乱、回折や遮蔽**などを考慮に入れなければならない。
- GPS測位では、特に周囲の障害物によるマルチパス波が問題になる事が多い。**衛星を見通せる状態での通信が前提**。見通しがない場所で測位可能な高感度受信機技術の開発が、近年活発に行われているが、数m程度の精度を期待することは現段階ではできない。

2つの地点の天空写真(架空の衛星配置)



海洋大構内



銀座交差点

2007/5/23

市街地での問題点

- なによりも可視衛星数が足りない→**ガリレオ又は準天頂に期待**
- 可視衛星数が4～5個程度の時、衛星配置が悪くなることがよくある(特に壁付近だと片側の配置になりやすい)→**同様に、ガリレオや準天頂に期待**
- 電波の反射、散乱、回折や遮蔽の影響が起こりやすい→**回折等は信号強度で判別可能**

反射の影響については低減手法の部分で詳しく見ていく

測位精度を決定する主要因 (コードを用いた場合)

誤差源	誤差の大きさ	誤差低減効果
衛星時計と軌道 予測値	時計と軌道は、ともに2m程度 (rms)	DGPSで双方ともに 0.1m 程度
電離層遅延	天頂方向は2mから10m程度で、 仰角が低いとさらに増大	放送モデルで50%程度 低減。DGPSで 0.2m程度
対流圏遅延	天頂は2m程度で、仰角が低いと さらに増大	モデル使用で1m以内。 DGPSで 0.2m程度
マルチパス	環境良で1m以内程度	アンテナ固有なのでなし
受信機雑音	10cmから50cm程度	受信機固有なのでなし

測位誤差 = 衛星配置 (DOP) × 上記の誤差

都市部では、衛星配置とマルチパス誤差が**同時に**問題になる事が多い

様々なマルチパス誤差低減手法

- アンテナによる低減→まずはアンテナで低減
- 空間的なdiversityを利用したもの
- 1日毎に同じ誤差を繰り返すことを利用(静止)
- 最尤推定法でマルチパスを推定
- 信号の品質でまずチェック→わりと重要
- コリレータによる低減技術

擬似距離の受信時刻を決定

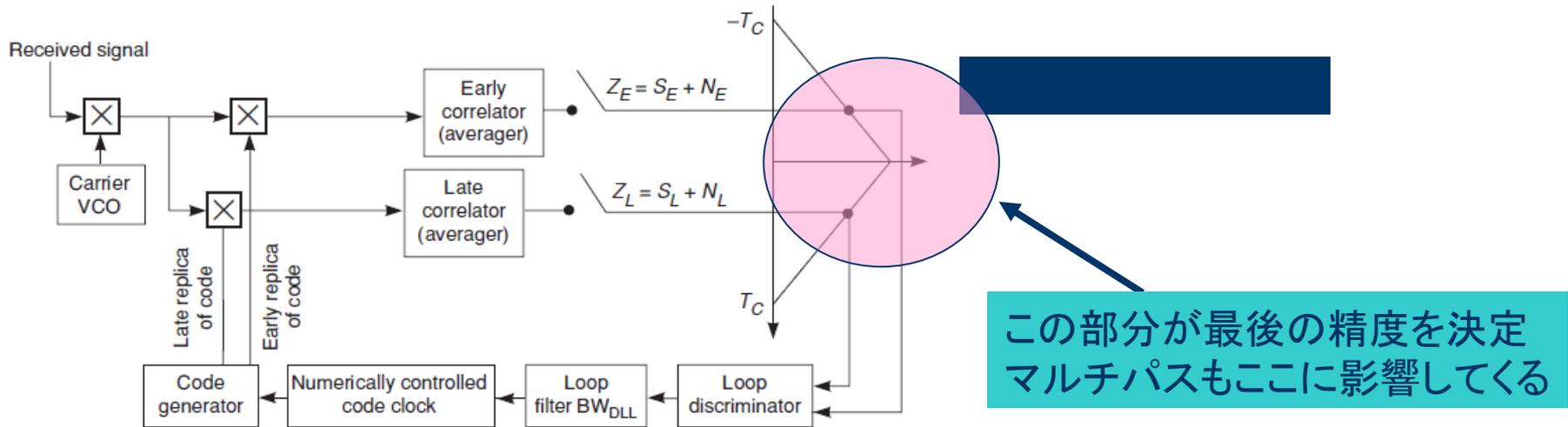
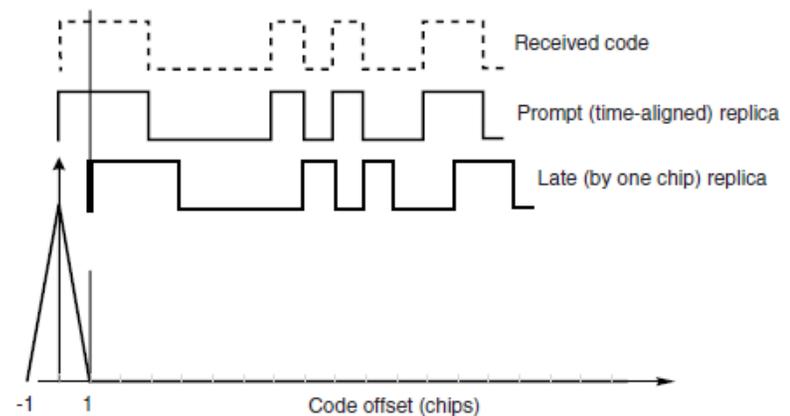


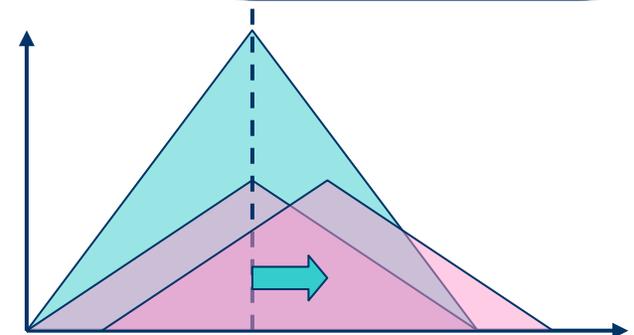
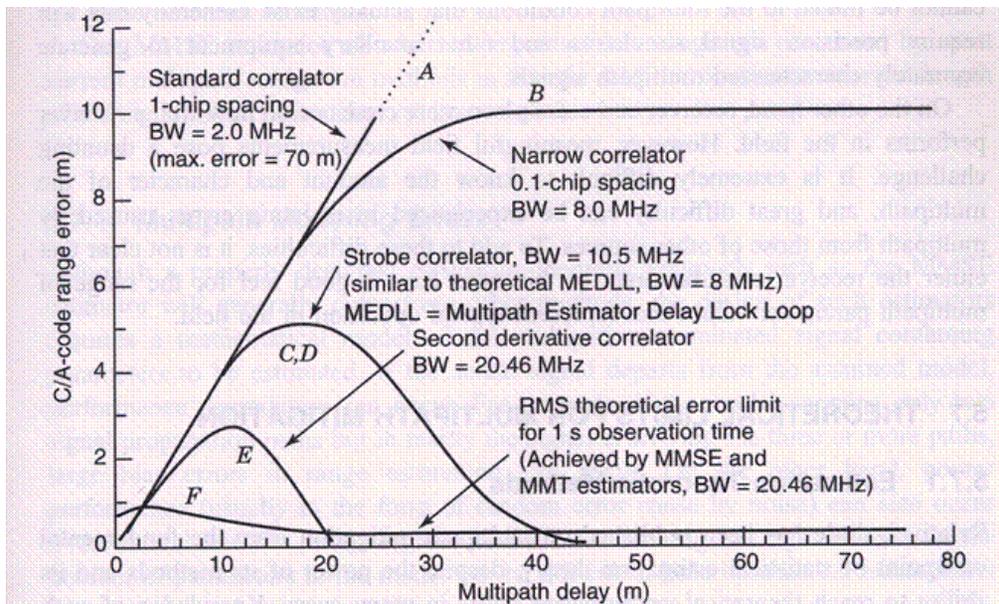
Figure 8.11 GPS delay lock loop to track code phase.



マルチパス低減効果の評価方法

- 実際の観測データを用いて評価
- 仮想的にマルチパス波を発生させて評価

直接波前提
あくまでも最大誤差
1つのマルチパス



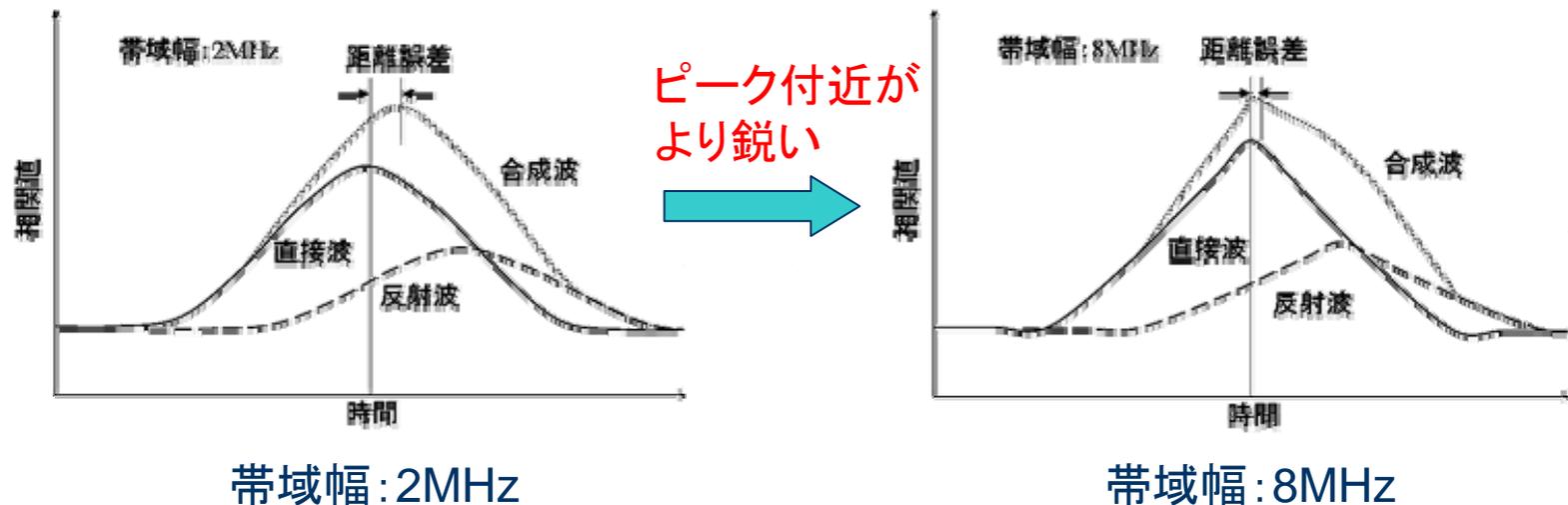
振幅比0.5のマルチパス波が
遅延距離で0~80m付近まで
存在したと仮定した場合の
マルチパス誤差を左に示した。

マルチパス誤差低減技術の紹介

- Narrow-Correlator
- Strobe-Correlator
- Multipath Estimation

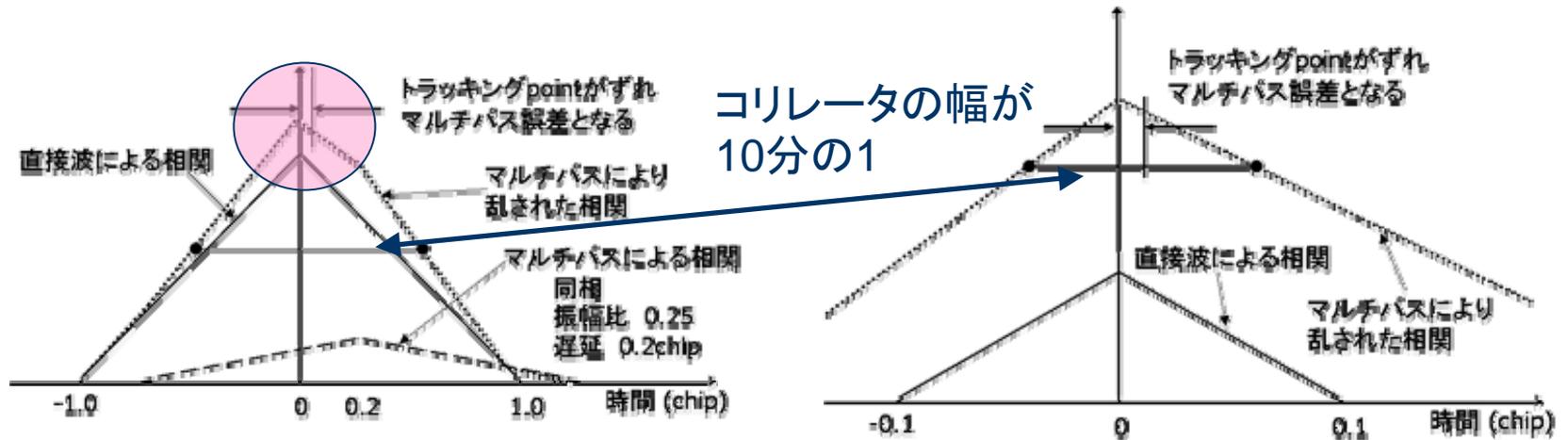
Narrow-Correlator (帯域幅について)

帯域幅とは、受信機の帯域特性を支配している中間周波フィルターにおける帯域幅のことである→RFの性能による



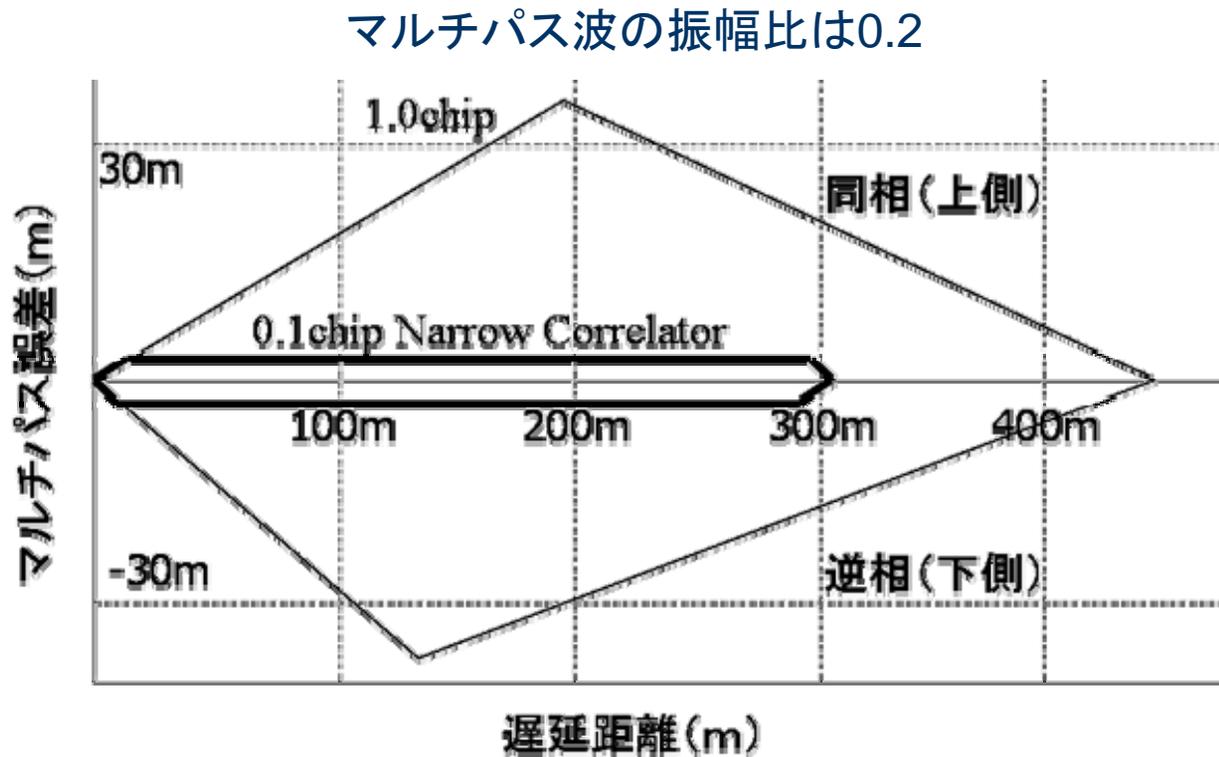
同じ条件のマルチパスが混入し、同じ受信機を用いているにも関わらず、帯域幅の違いだけで、生じるマルチパス誤差に違いがある。

実際の低減効果



理想的な相関波形(帯域無制限)を想定した場合でも、コリレータの幅を狭めるだけで上記のような差が生じた。

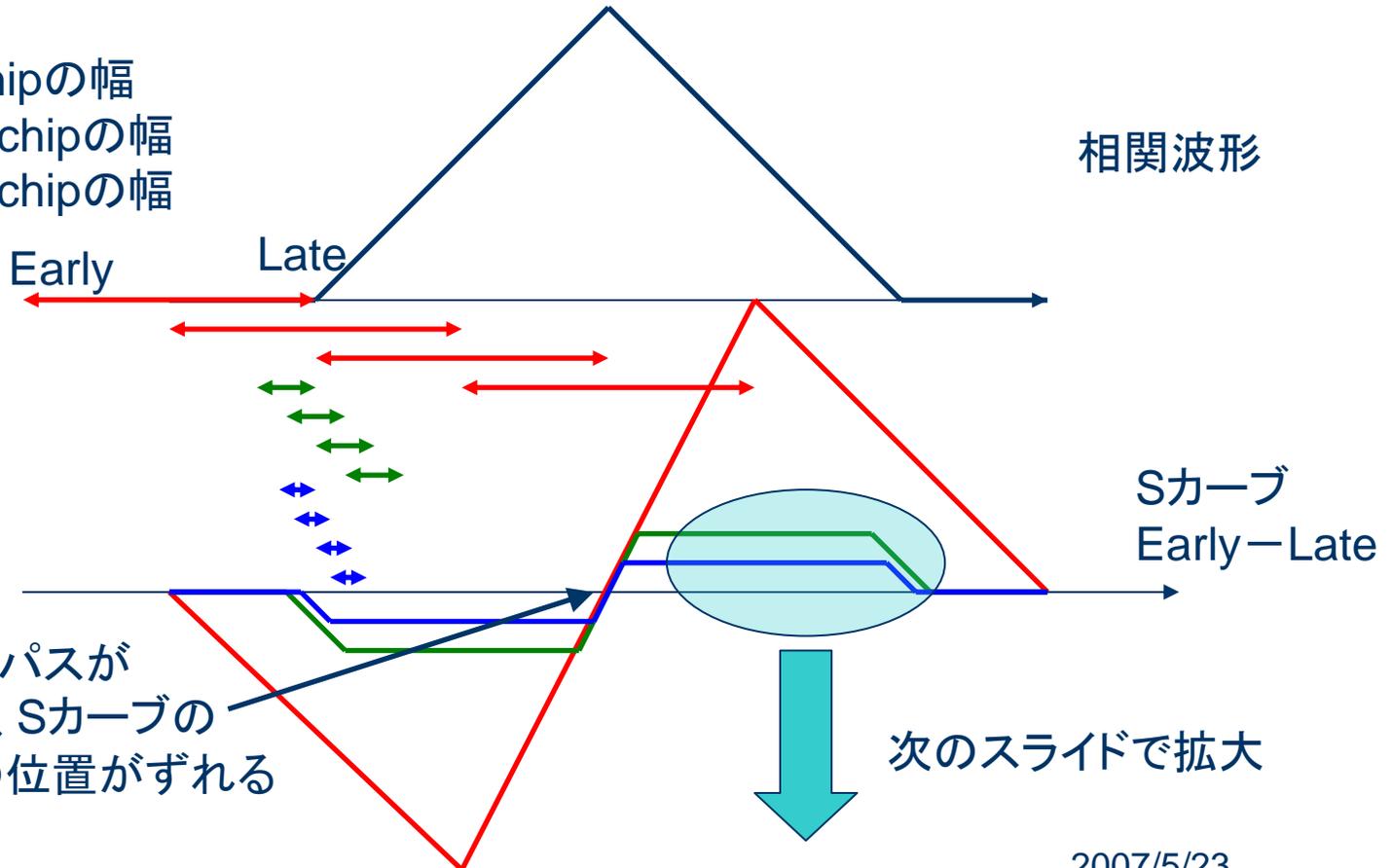
遅延距離とマルチパス誤差の関係



Strobe-Correlator

赤: 1chipの幅
緑: 0.2chipの幅
青: 0.1chipの幅

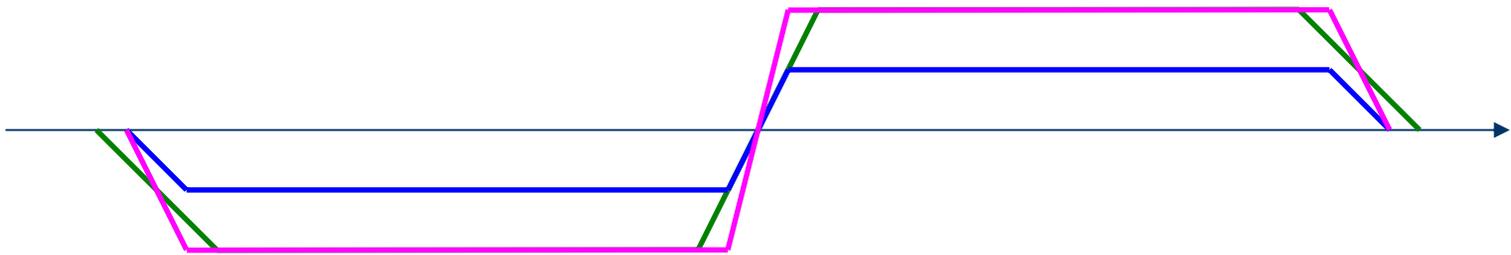
相関波形



マルチパスがあると、Sカーブの交点の位置がずれる

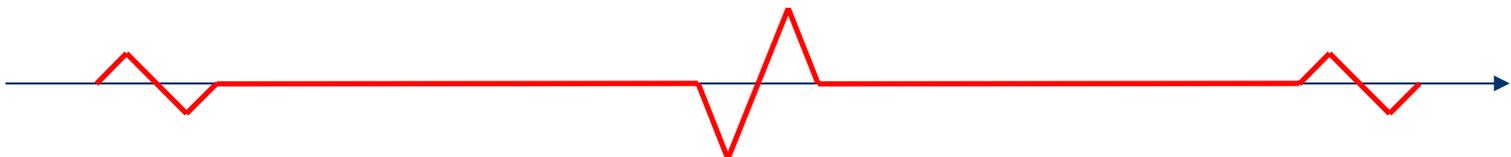
次のスライドで拡大

つづき



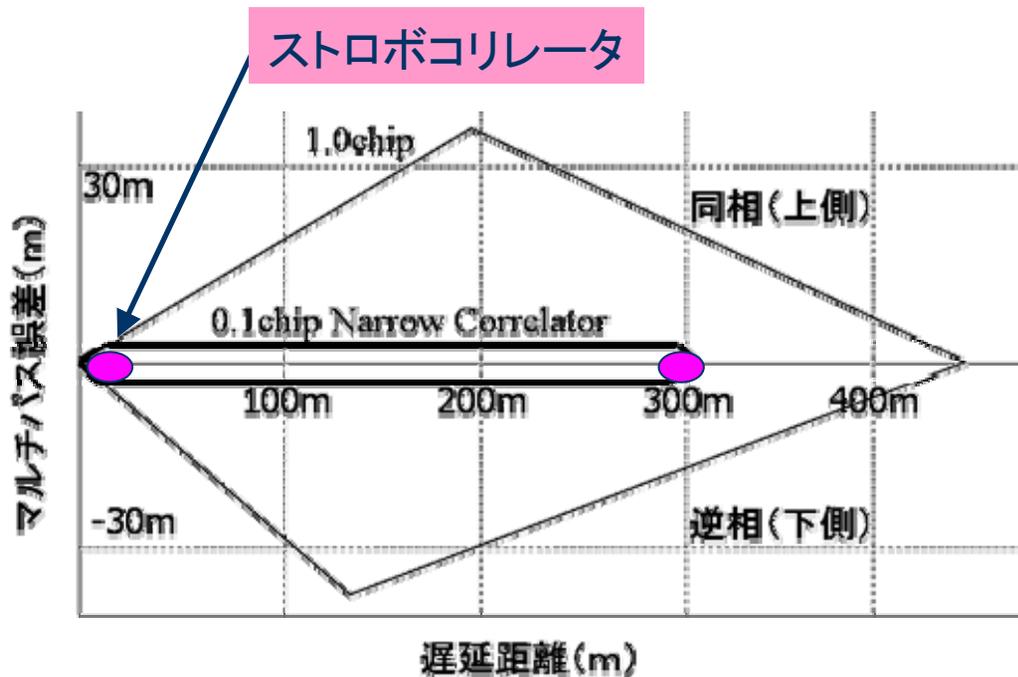
0.1chipの出力を2倍して0.2chipのほうの値を引くと

$$2 \times \text{*narrow*}(d/2) - \text{*narrow*}(d)$$



これがStrobe-Correlatorの相関パターン
大部分でマルチパスの影響を受けない

遅延距離とマルチパス誤差の関係



大幅にマルチパスの影響を低減
遅延距離が短い領域だけ残る
多数のコリレータを必要としない

問題点

- ・信号強度の低下
- ・トラッキングロス

マルチパス波を推定する手法

マルチパス存在下において、GPS受信機が受信した信号は以下のように表される。

$$r(t) = \sum_{i=0}^M a_i p(t - \tau_i) \cos(\omega t + \theta_i) + n(t)$$

ここで、Mは到来信号の数、tは時刻、n(t)は白色雑音、 a_i は信号の振幅、 τ_i は信号の遅延、 θ_i は信号の位相を表す。

GPSの場合において重要なパラメータは直接波の**振幅、遅延、位相**である。

最尤推定法に従って、以下の式にある平均二乗誤差が最小になるように、マルチパス信号のパラメータを推定する。

$$L(\hat{a}, \hat{\tau}, \hat{\theta}) = \int_{t-\tau}^t [r(t) - s(t)]^2 dt$$
$$s(t) = \sum_{i=0}^M \hat{a}_i p(t - \hat{\tau}_i) \cos(\omega t + \hat{\theta}_i)$$

誤差評価式

$r(t)$ が実際に観測した波形。
 $s(t)$ は反射波を含んだ観測波形をパラメトリック表現したもの。

マルチパス波を推定することによるメリット

$$r(t) = \sum_{m=0}^{M-1} a_m p(t - \tau_m) \cos(\omega t + \theta_m) + n(t) \quad \text{実際の受信信号}$$

$$s(t) = \sum_{m=0}^{M-1} \hat{a}_m p(t - \hat{\tau}_m) \cos(\omega t + \hat{\theta}_m) \quad \text{推定されるモデル化された信号}$$

$$L(\hat{a}_m, \hat{\tau}_m, \hat{\theta}_m) = \int_{-T}^T [r(t) - s(t)]^2 dt \quad \text{Lが最小になるように推定}$$

M : 信号の数

t : 時刻

$p(t)$: コード

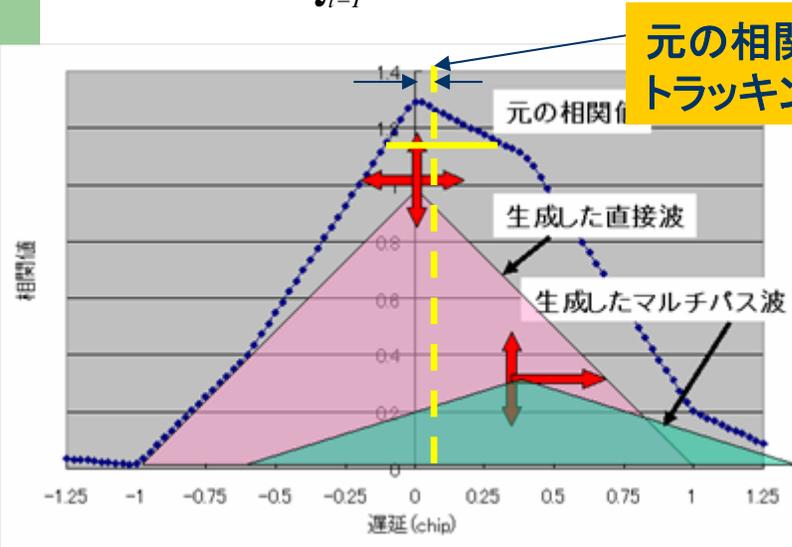
$n(t)$: 白色雑音

a_m : 信号の振幅成分

τ_m : 信号の遅延成分

θ_m : 信号の位相成分

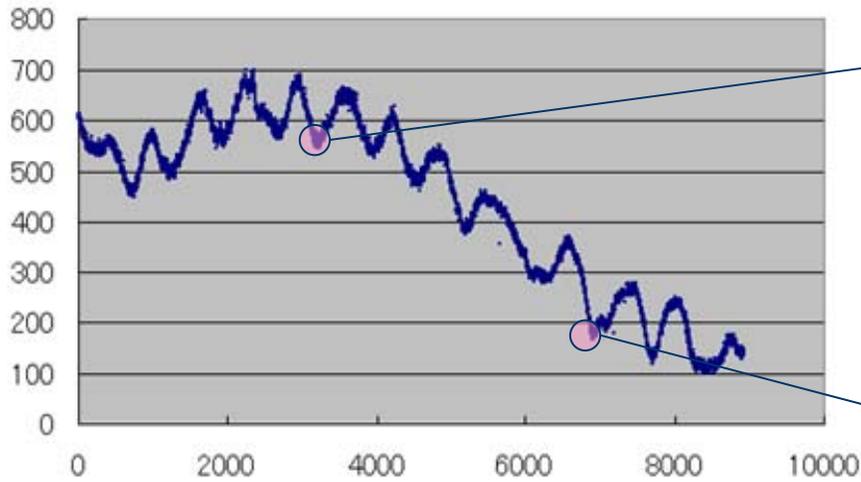
T : 積分時間



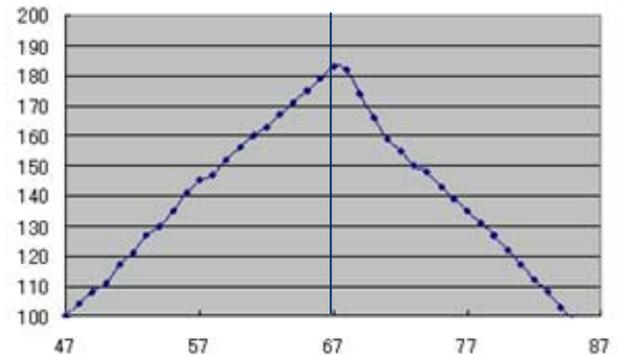
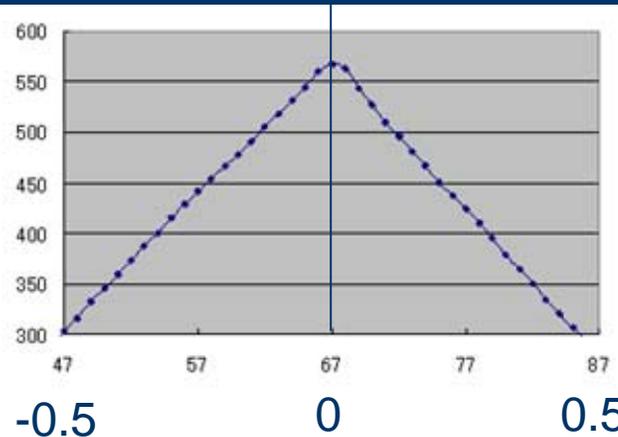
元の相関値による誤った
トラッキングポイント

マルチパス波の影響を相関波形から一部でも排除し、直接波を復元すれば、より正しい擬似距離を得ることができる。探索範囲を狭めることも重要なポイントである。

実際の相関波形(近傍に大きな壁が存在) 縦軸は全て相関値

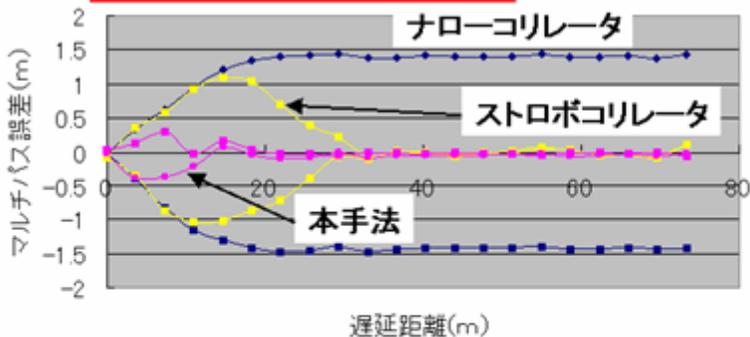


ピークのみの時系列変化

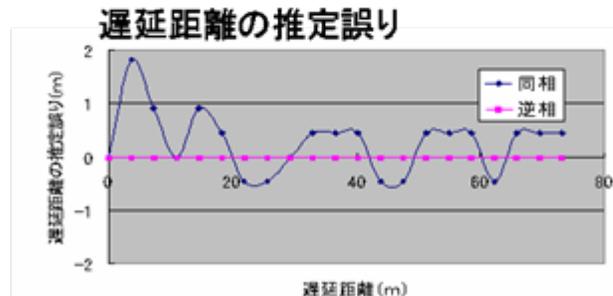
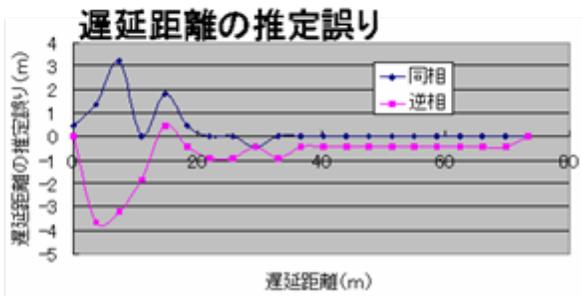
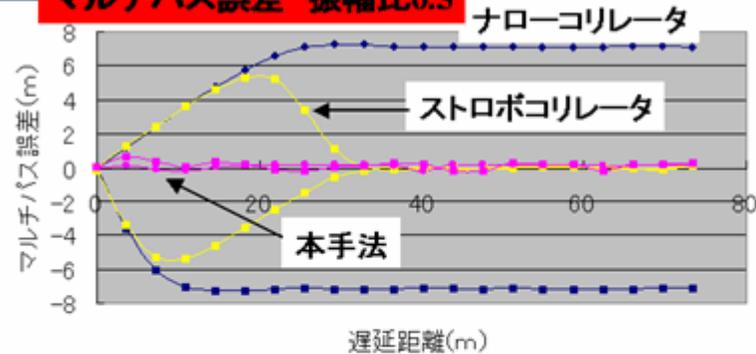


本手法を用いた場合の性能シミュレーション (1つのマルチパス波の遅延距離を変動)

マルチパス誤差 振幅比0.1



マルチパス誤差 振幅比0.5

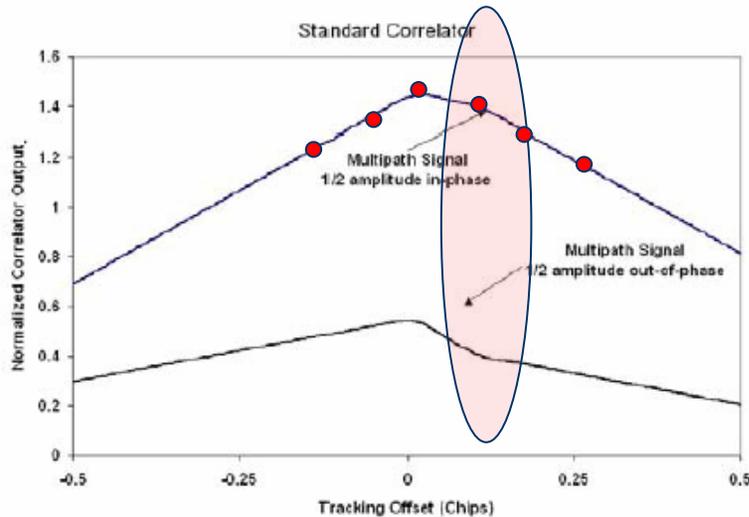
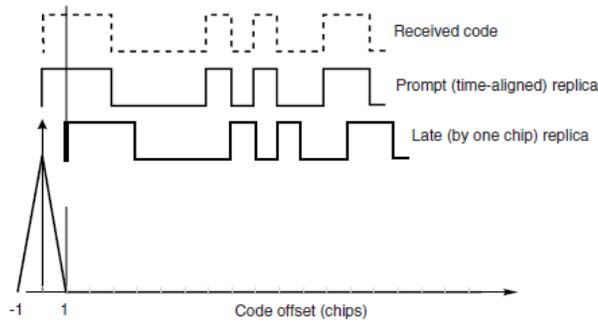


マルチパス誤差を1m以内に低減。遅延距離の推定精度は数mであるが、実際のマルチパス誤差推定に重要な直接波の推定精度は1m以内である。

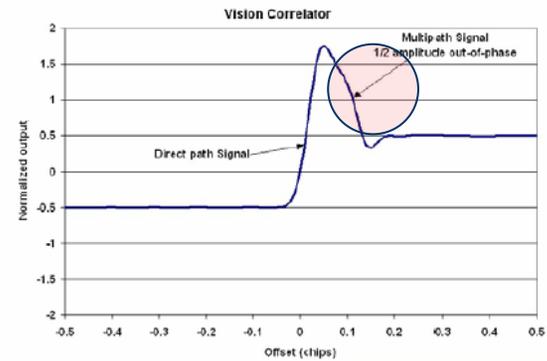
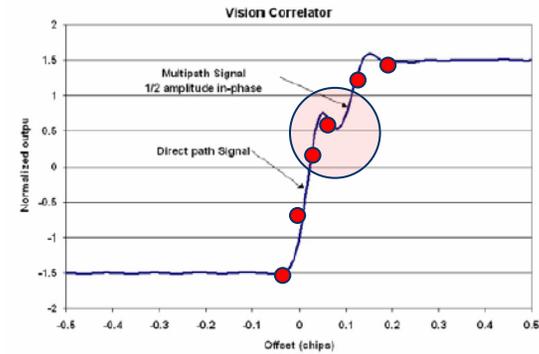
2年前に発表された技術のポイント (Vision Correlator)

- マルチパス波を推定する際の最尤推定法で、**その時間を短縮する技術を導入した**。具体的には、既存のMMT (Multipath Mitigation Technology) という技術を用いた (Dr. Fisher, Dr. Weill)。
- マルチパス波を推定する際に、**従来の相関波形を使用せずに、直接コード波形を観測し、(The Vision Correlator is generated by filtering all of the transitions over a period of time)**。従来の相関器による方式はコード波形をコードのタイミングに関して積分した結果であり、**マルチパスによる変化が鈍ってしまう**。そのため、マルチパスの影響が**傾きの変化**として現れるので、マルチパスの影響を正確に把握し難いという課題があった。コード波形を直接観測すると、マルチパスの影響をより正確に推定することが可能となる。
- 本研究室で2003年に博士号を取得された舘田さんもD論で同じ提案をしていた

相関波形と直接観測の違い



通常の相関波形

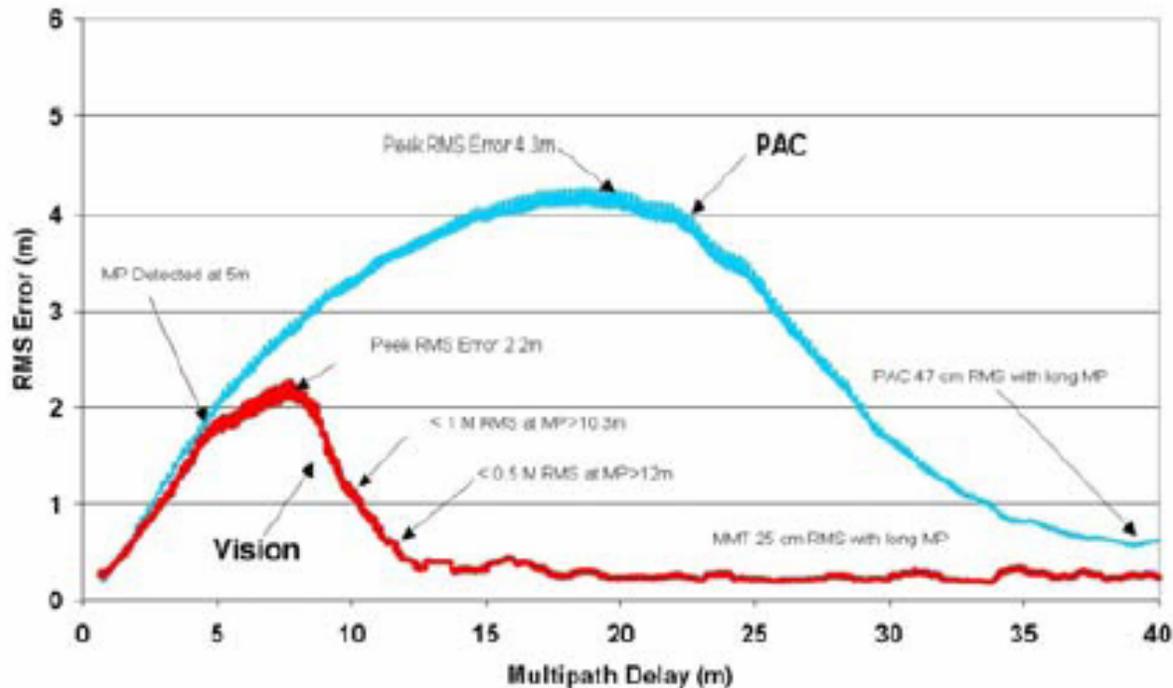


直接観測方式

2007/5/23

遅延距離とマルチパス誤差の関係

Vision vs. PAC From Proto FPGA and Signal Generator
Multipath 6dB less power than Signal



まとめと課題

- 代表的な低減技術について紹介してきた。この他にも信号強度を利用する技術なども見られるが、効果はほぼ同じ。
- 後処理では、全く別の手法も考えられる。搬送波位相のマルチパス誤差低減も今後重要。
- GPS近代化に伴う、チップレートの増加や変調方式による効果も、本稿では述べていないが、例えば、L5帯は現在のC/Aコードのチップレートの10倍になることが予定されているので、現状のStrobe-Correlatorと同等の効果があると予想される。
- 将来、可視衛星数が倍増することを見込んで、より品質の良い電波を取捨選択するアルゴリズムを設ける。
- 遅延距離の短い領域のマルチパス波を、ロバスト性も確保しつつ低減する。

高感度受信機の評価

- 高感度受信機とは
- 携帯電話会社様の評価例
- 海洋大周辺評価（車と歩行）

高感度受信機の特徴

- 数年前までは、信号強度で30dB-Hz未満のデータはあえて使用することはなかった。
- しかしながら、実際の環境（都市部や建物）では、アンテナを置いたと仮定すると、30dB以上の領域（面積）は多くなく、15dBから30dBの領域が多いことがわかる。なお屋上では、おおよそ38dBくらいから50dB程度。
- その領域のavailabilityをかせぐには、高感度化が必要と考えられる→実際に現存の高感度受信機は上記の信号強度であればトラッキング可能である。

信号強度とノイズによる誤差(m)の関係 (チップ幅に応じた結果)

dBm	dB-Hz	0.75chip	0.5chip	0.1chip
-124.0,	50.0,	0.492,	0.464,	0.124
-128.0,	46.0,	0.782,	0.735,	0.197
-132.0,	42.0,	1.246,	1.168,	0.312
-136.0,	38.0,	2.003,	1.859,	0.495
-140.0,	34.0,	3.281,	2.981,	0.786
-144.0,	30.0,	5.604,	4.860,	1.250
-148.0,	26.0,	10.315,	8.214,	1.998
-152.0,	22.0,	20.997,	14.864,	3.231
-156.0,	18.0,	46.935,	29.657,	5.368
-160.0,	14.0,	111.560,	65.249,	9.421

コリレータのチップ幅を狭くすることは、マルチパス低減だけでなく、ノイズの低減にも役立っている。

実際の建物付近での信号強度

- u-bloxによるデータのデモ(海洋大構内)

携帯電話会社様の評価例

- 実際に去年の機種に搭載されているもの。

PNDの例(ゴリラ)

NV-SD10DT / NV-M10 **GORILLA**

詳細 >> 基本仕様 メモリーポータブルナビゲーション ワンセグ その他の機能

ワンセグ

メモリーポータブルナビゲーション
という新ジャンル。
ミニゴリラ新登場。

ワンセグ地上デジタルTVチューナー内蔵
メモリーポータブルナビゲーションシステム

NV-SD10DT *New*

メーカー希望小売価格
91,350円(税抜87,000円)

PORTABLE NAVIGATION **Mini**
GORILLA



▶ こちらで、ミニゴリラの実画像解説ムービーをご覧いただけます。

>>> **[カーナビLabo]**

セット内容 (本体+標準アクセサリ)

(SiRF Star3搭載PND)

ホーム > GPS内蔵ポータブルナビ > 高感度ポータブルナビ(GV-370)

商品詳細

商品イメージ



高感度ポータブルナビ(GV-370)

ハード詳細仕様はこちら！
ソフト詳細仕様はこちら！

【ナビ端末】 GV-370

- CPU：Samsung S3C2410 266MHz
- メモリ：NAND FLASH 64MB、SDRAM 64MB
- OS：Windows CE.NET 4.2
- 表示：3.5インチ半透過型カラーTFT液晶(320×240) 65,536色)
- I/O：スピーカ(1W)、イヤホン(φ3.5mm)、USB1.1
- カードスロット：SD/MMCカード
- GPS：SiRF Star3チップセット(-159dBm)
- バッテリー：リチウムイオン充電電池1400mAh内蔵式
- 外形寸法：110mm(高さ)×86.8mm(幅)×20.5~25.5mm(厚さ) 重量183g
- ケース：PC-ABS樹脂
- 付属品：AC電源アダプタ、シガーライター型カー電源、車載ホルダーキット、USBケーブル

【カーナビソフト】 GM-Navi

研究室で取得した結果

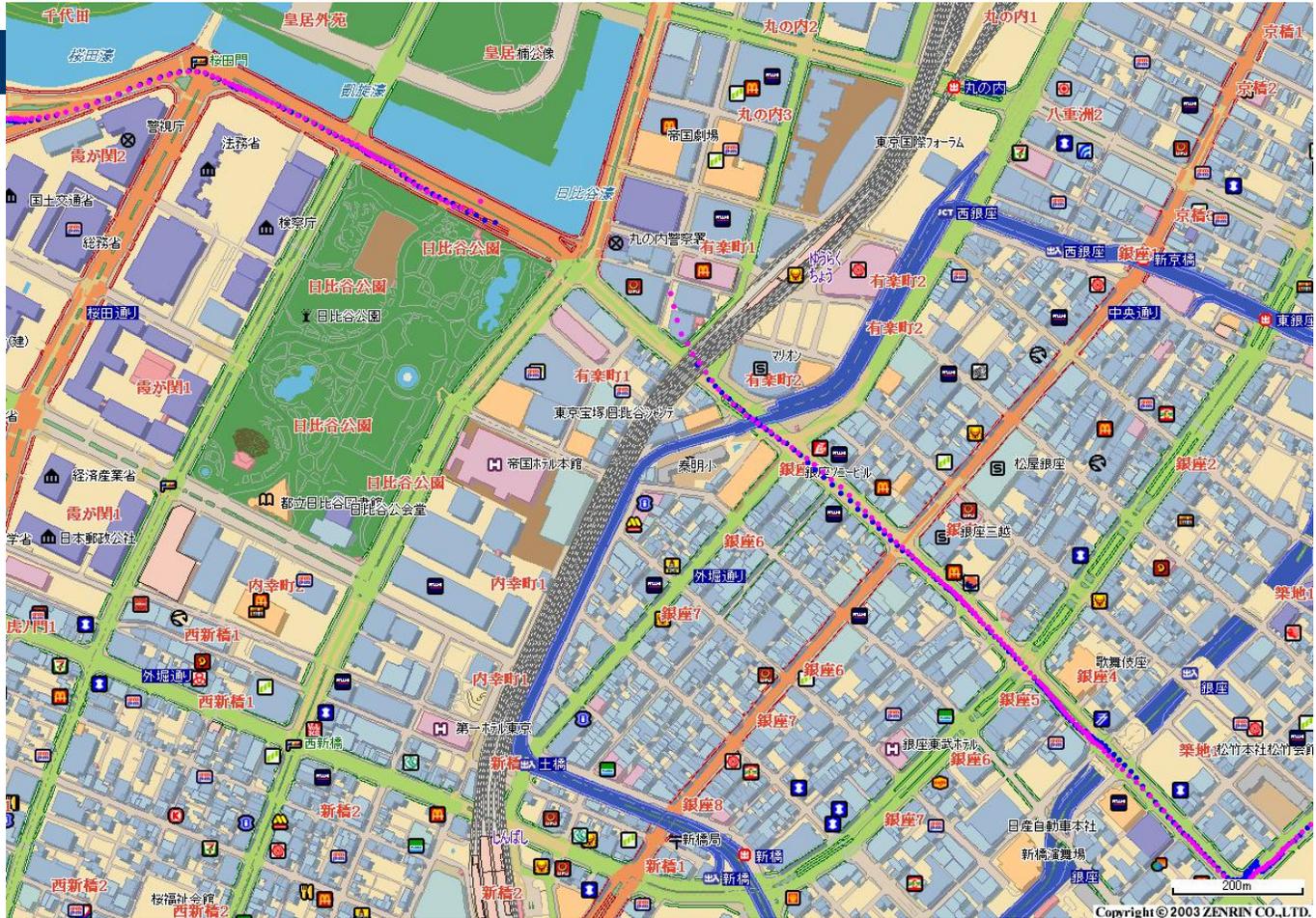
- 使用した機器の紹介
- 銀座付近
- 新宿付近
- 門前仲町付近
- 海洋大での比較(衛星数 多と少で)
- 精密解との比較(海洋大テニスコート)

使用した高感度受信機



- 左から
1. U-blox
 2. MTK
 3. SiRF

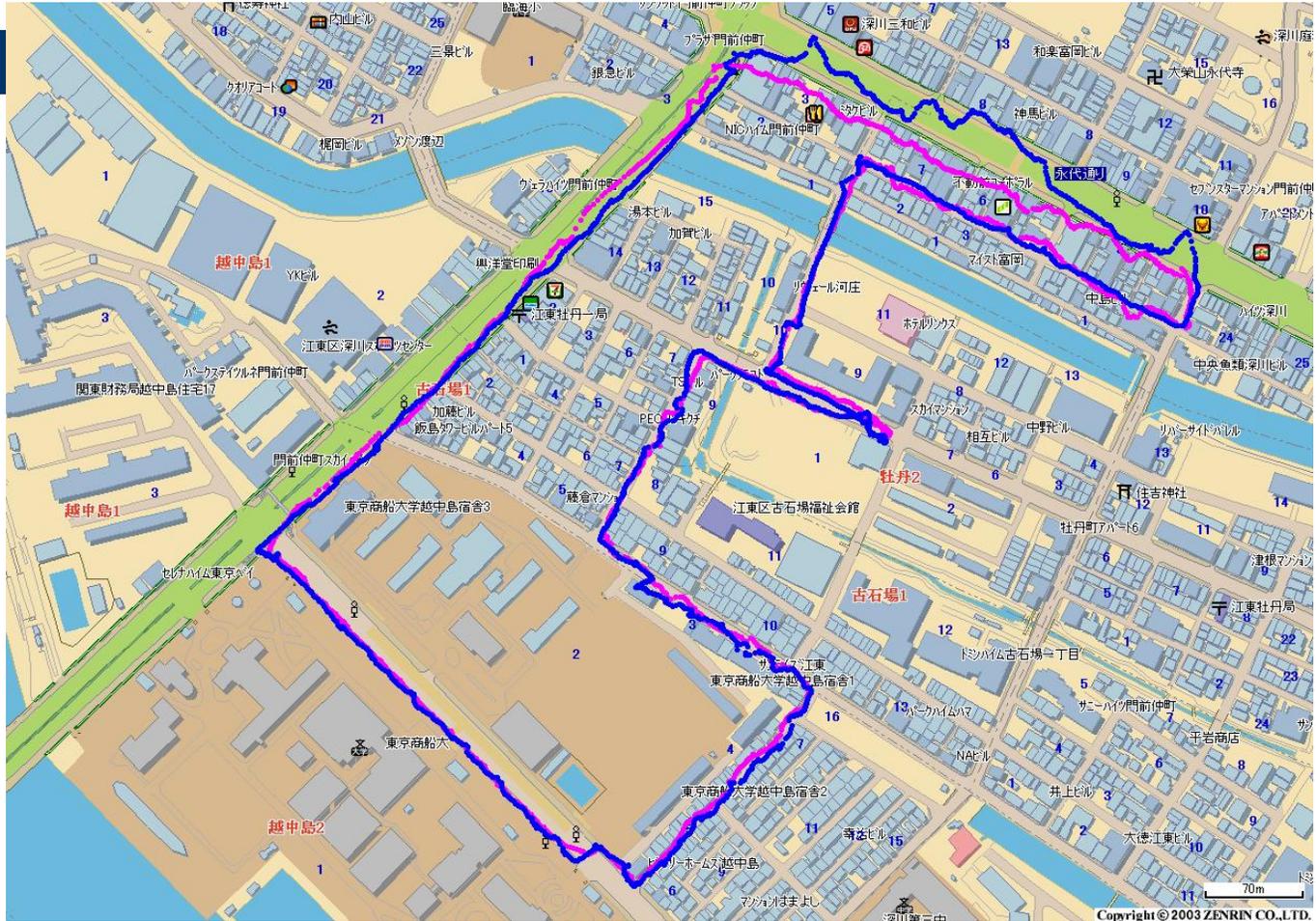
銀座付近(赤MTK 青u-blox)



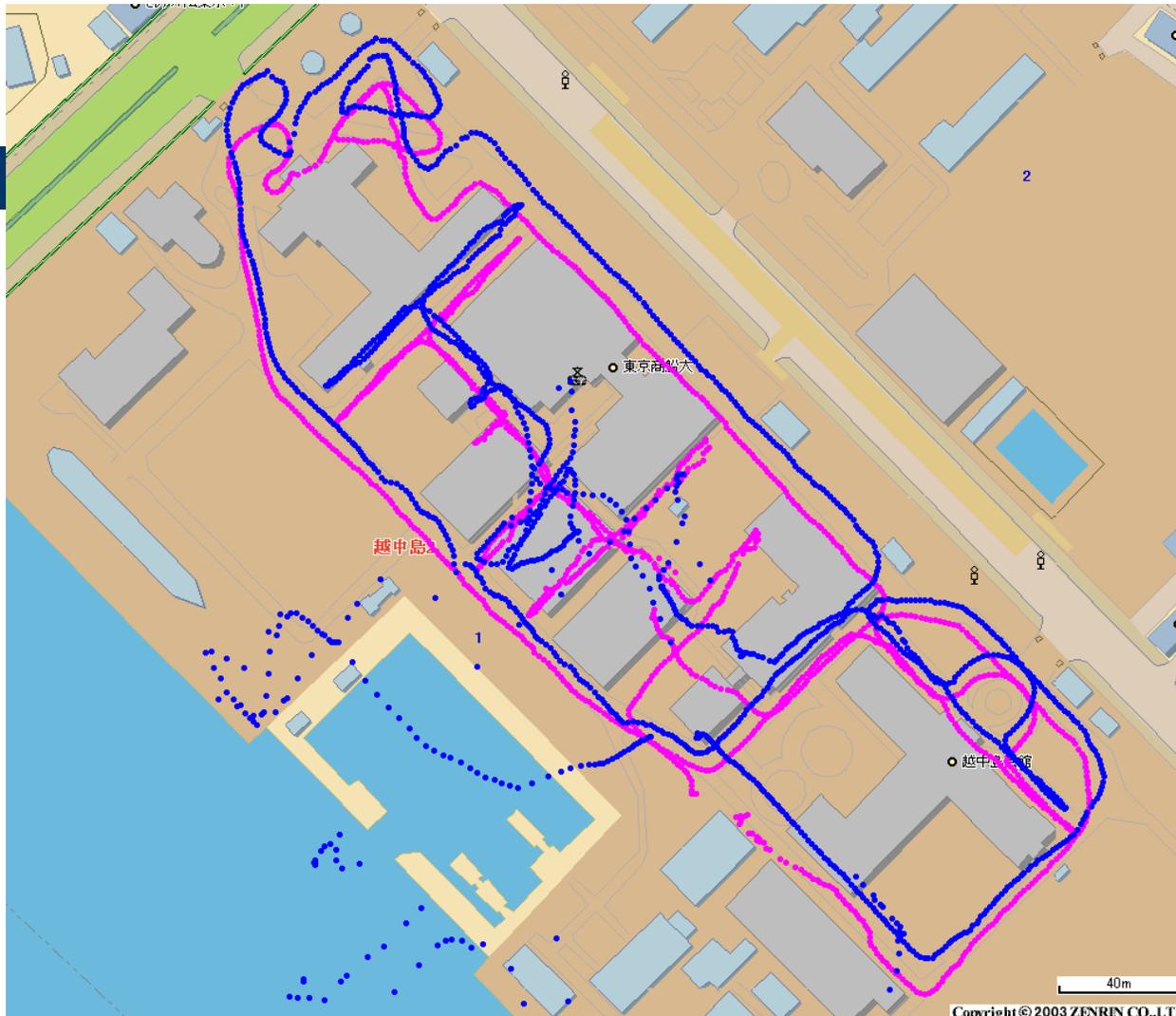
新宿付近(赤MTK 青u-blox)



門前仲町付近(赤MTK 青u-blox)



海洋大内での比較(歩行 u-blox) (衛星数6個と11個の時間帯 同じ日)



青:6個
赤:11個

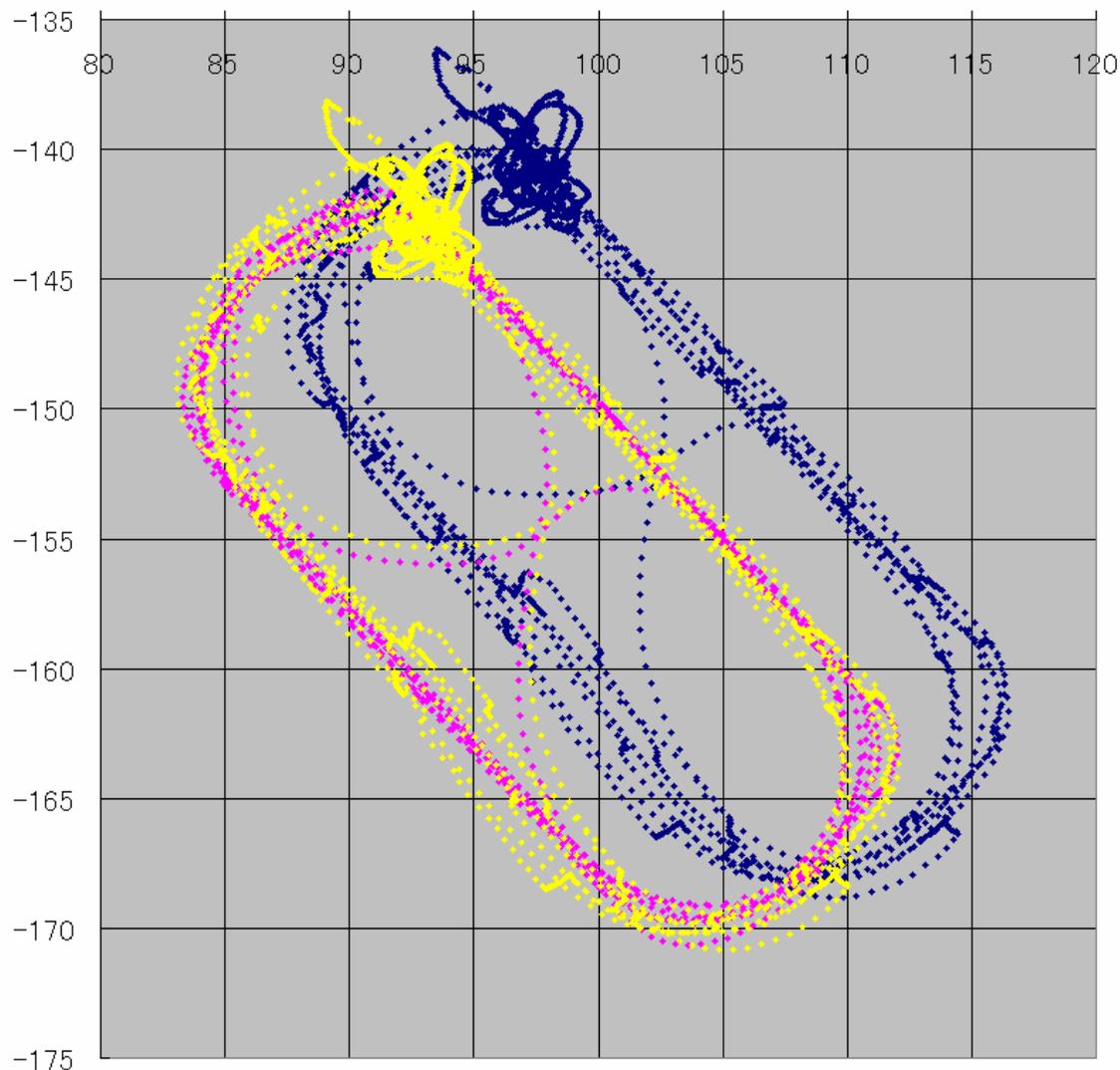
精密暦との比較(データ取得概観)



精度検証

- u-bloxの精度をきっちり評価するために、高精度受信機(OEM4)で同時にデータを取得して(基準、移動ともに)、FIX解(搬送波位相による測位で精度は1cm程度)を出した。データ取得中、衛星の変化はほとんどなかったため、全解析時間帯でFIX解を得ている。
- フィルターのかかり具合等もチェックするため、テニスコートの歩行スピードでの周回に加えて、ストップアンドゴー(5秒、10秒程度毎)を繰り返した。

水平精度比較(単位はm)



横: 経度方向
縦: 緯度方向

青: u-blox

赤: FIX解

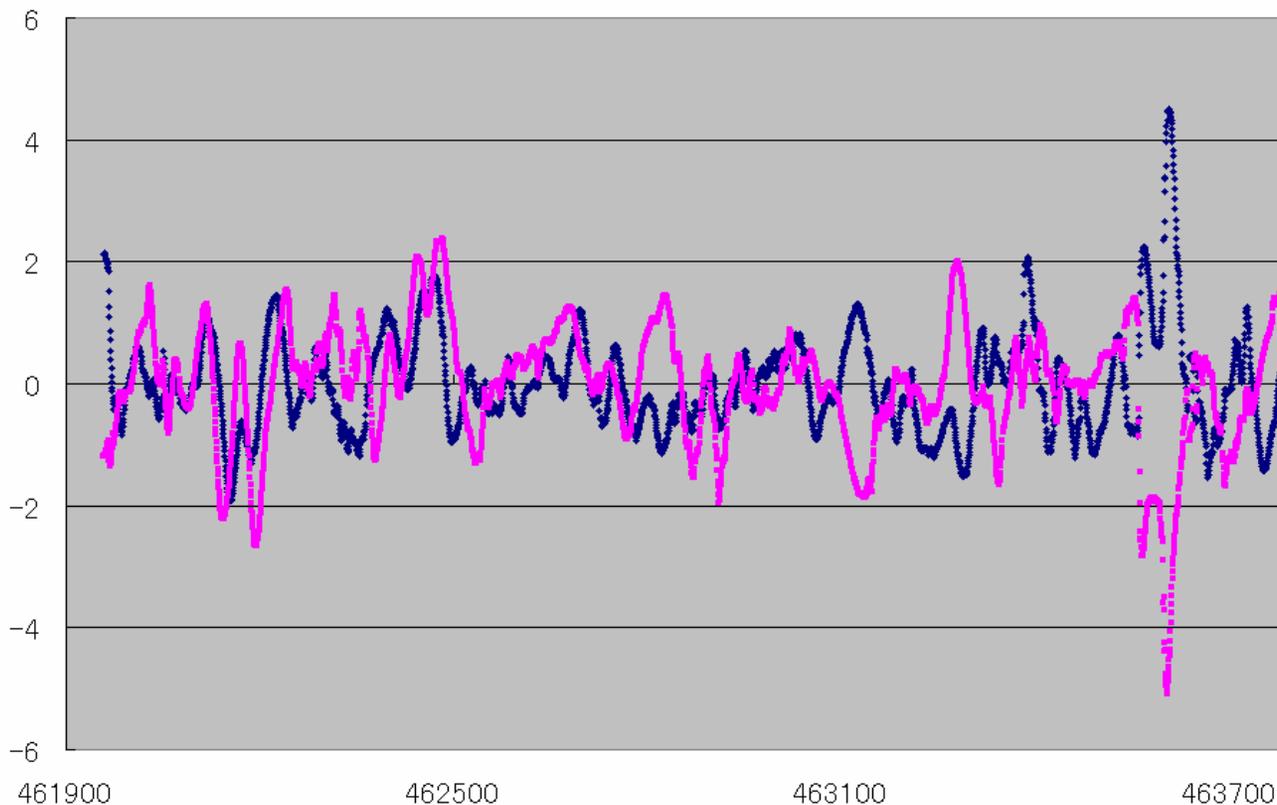
黄: u-blox

+オフセット

このオフセット量は
ちょうどDGPSに
よる補正值にほぼ
等しいことを確認

緯度及び経度方向の 時間軸での比較

精密解との差(m)

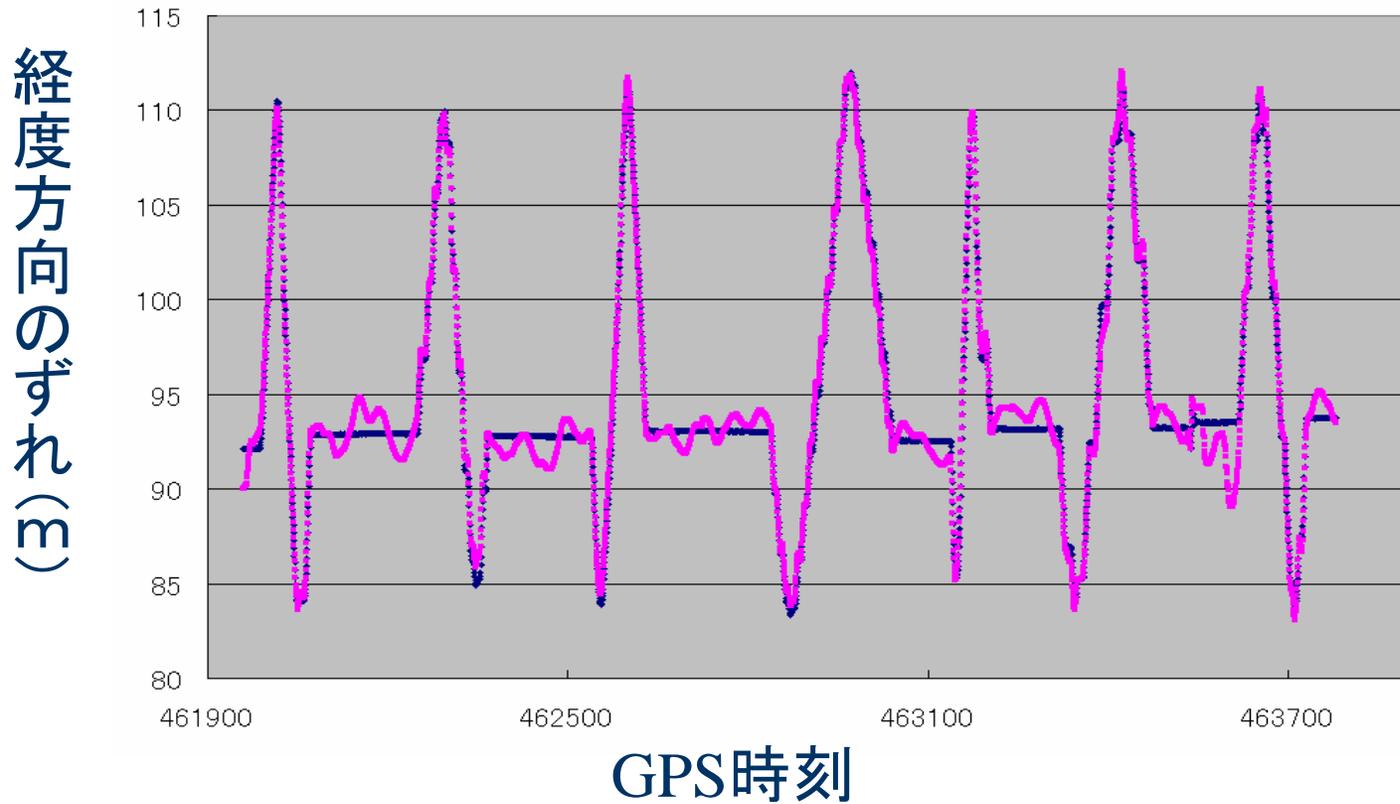


GPS時刻

青が経度方向、赤が緯度方向

経度方向の時間軸でのずれ

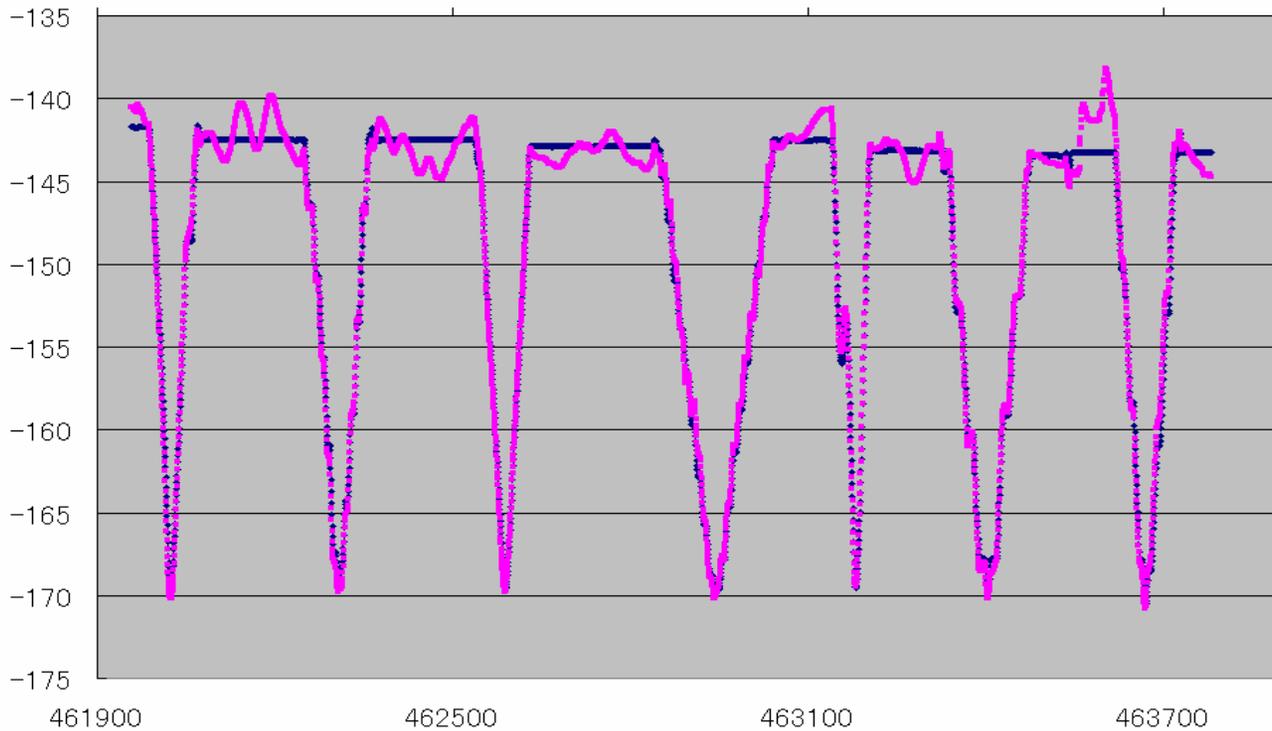
青:精密解 赤:u-blox



緯度方向の時間軸でのずれ

青:精密解 赤:u-blox

緯度方向のずれ(m)



精密解との比較まとめ

- 全体を通して、最初のDGPS補正分のオフセットを考慮すれば、8から9割以上の時間帯で、真値からの絶対精度は2m以内であることがわかった。フィルターの影響も（歩行の速度では）あまり出ていない。
- ただし、衛星配置なども重要
- また最初のオフセットを正確に算出しておくことも重要。

RTKの紹介

- ノバテルのAdVance RTK
- NTM2007でのNAVCOMの話
- 研究室の話題

NovAtelのAdVance RTK(特徴)

- AdVance RTK delivers significant performance enhancements, including more reliable ambiguity solutions and faster narrow lane convergence **on short, medium and long baselines.**
- Faster Time to Narrow Lane (TTNL) at all baseline lengths
- Ambiguity fixing out to **40+ km**
- More fixes in all conditions than old engine
- **Higher fix reliability**
- Same interface and commands as previous engine
- Available on OEMV-2 and OEMV-3 receivers
- Time to ambiguity resolution on baselines **up to 20 kilometers is virtually instantaneous.** AdVance RTK continually monitors and determines when additional filter states may be required based on longer baselines or larger elevation differences. AdVance RTK offers fixed solutions at baselines **up to at least 40km with very competitive time to resolution.** Performance at the longer baselines varies depending on actual baseline length and environment at the rover. The following figures illustrate these fast resolution times on short and medium baselines.

基線長4mでの性能比較(昔と)

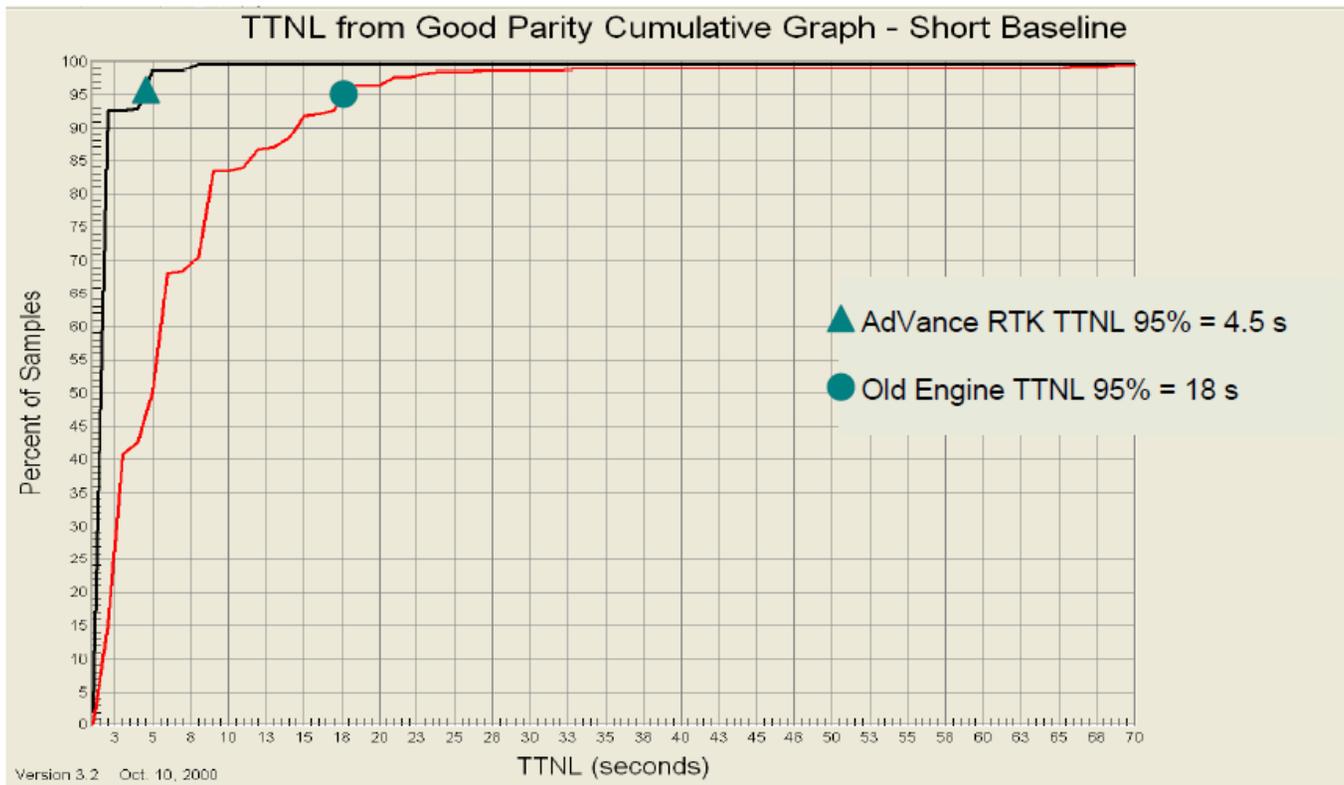


Figure 2: TTNL on a 4 m Baseline Under Open Sky

基線長15kmでの性能比較(昔と)

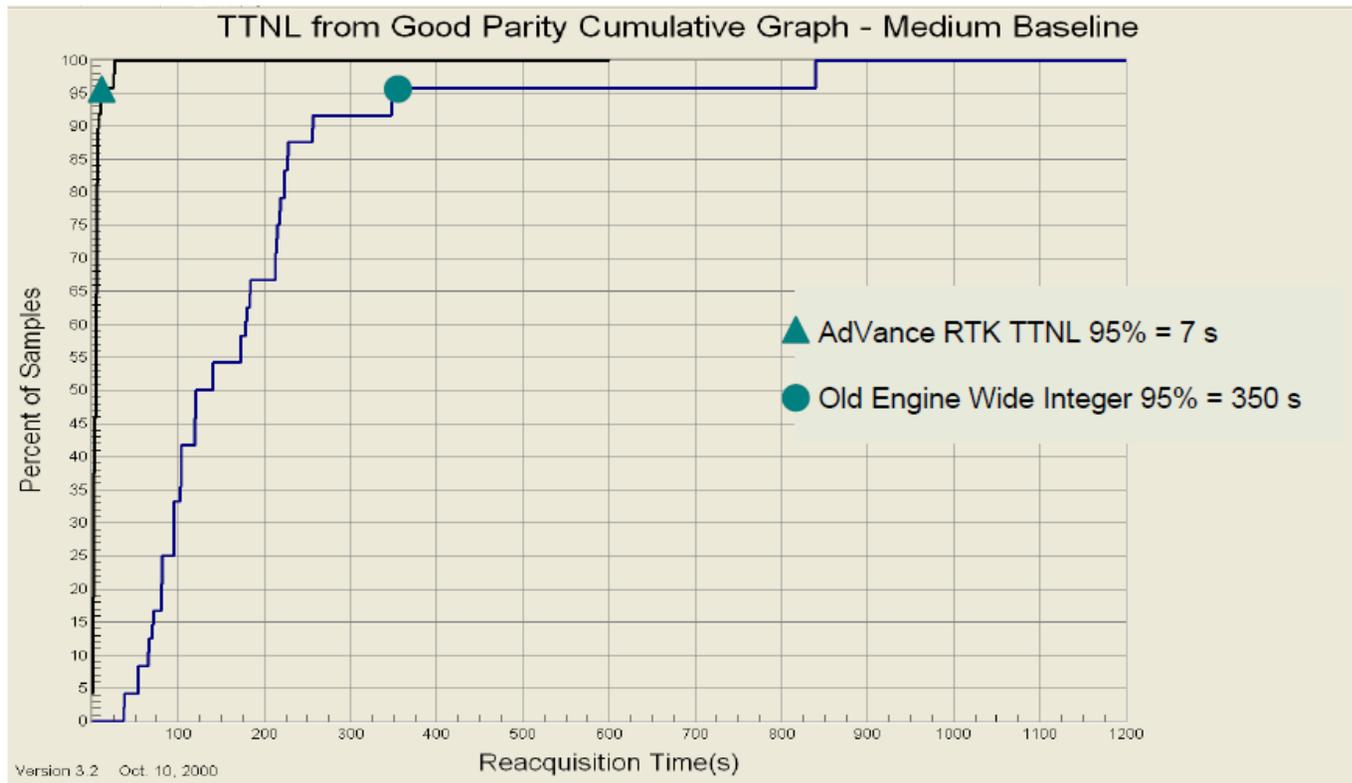


Figure 3: TTNL on a 15 km Baseline Under Open Sky

基線長34kmでの性能比較(昔と)

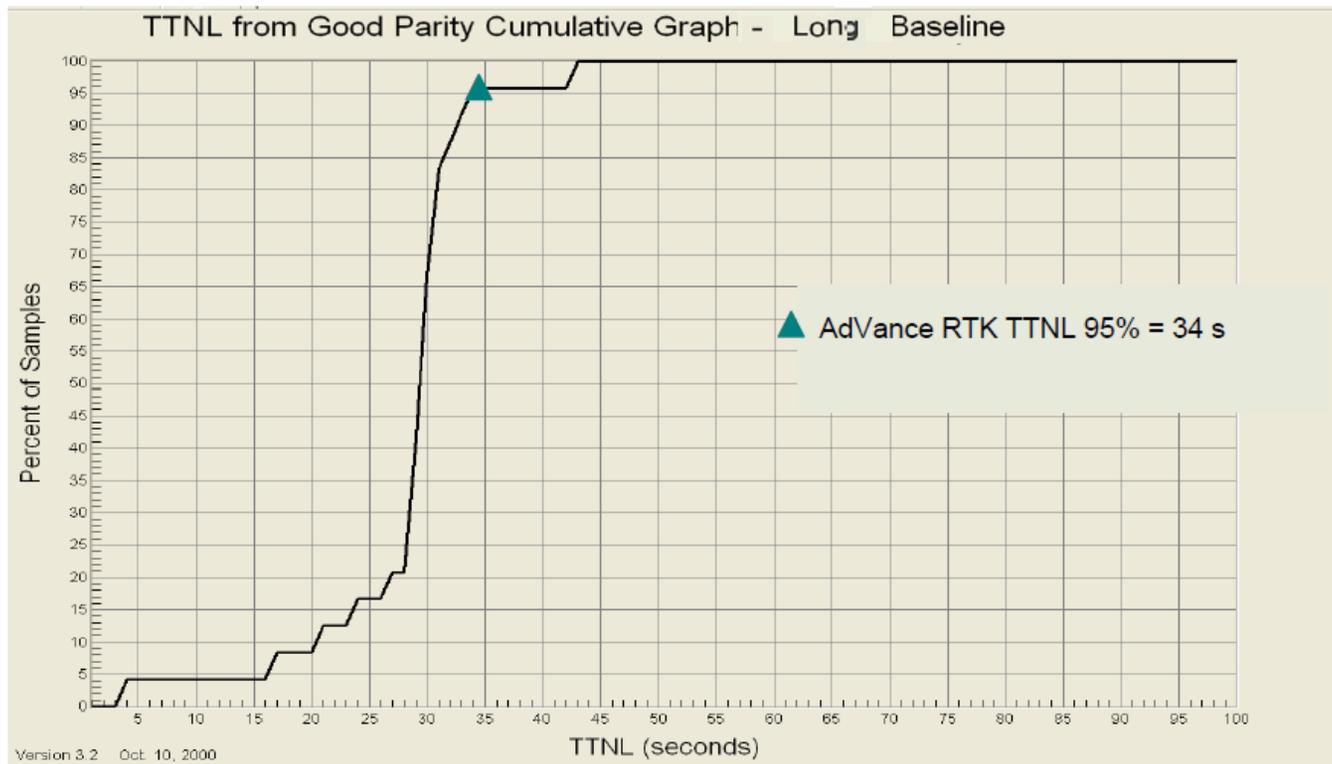


Figure 4: TTNL on a 34 km Baseline Under Open Sky

再捕捉後のFIXまでの比較(昔と)

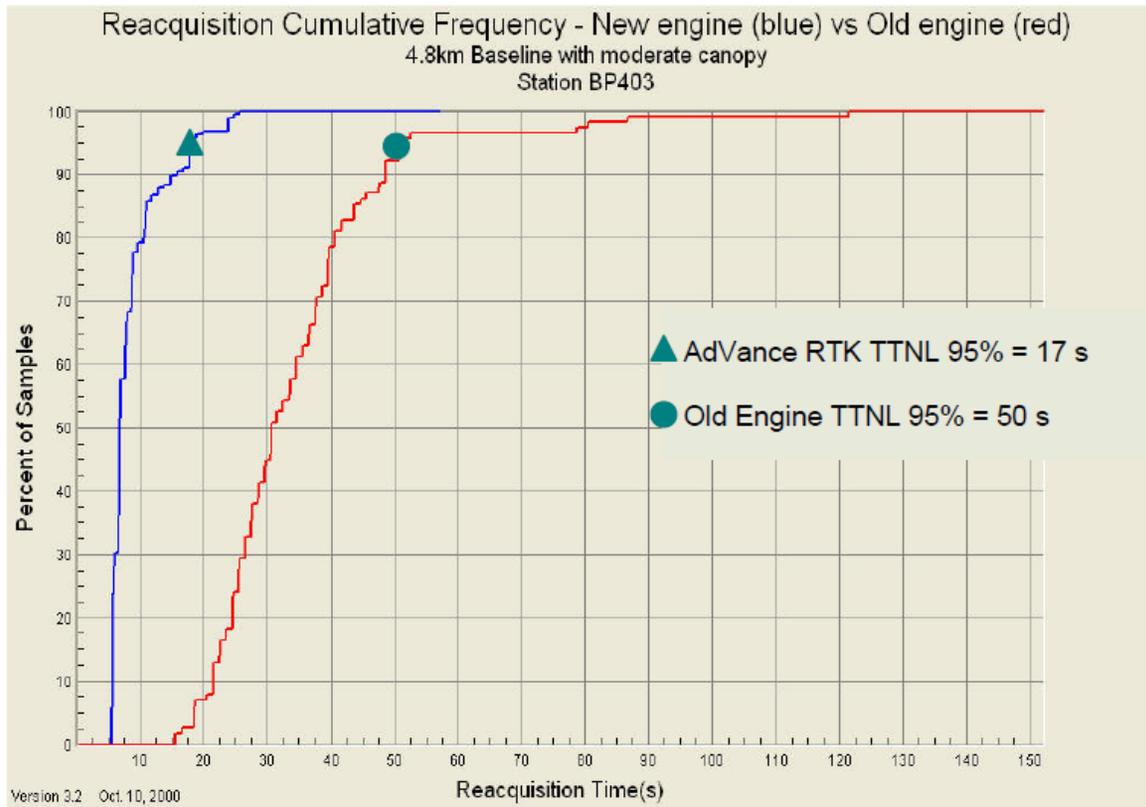


Figure 5: Reacquisition Time Under Moderate Canopy



Figure 9: Moderate Foliage

基線長7.8kmでの位置精度の改善(昔と)

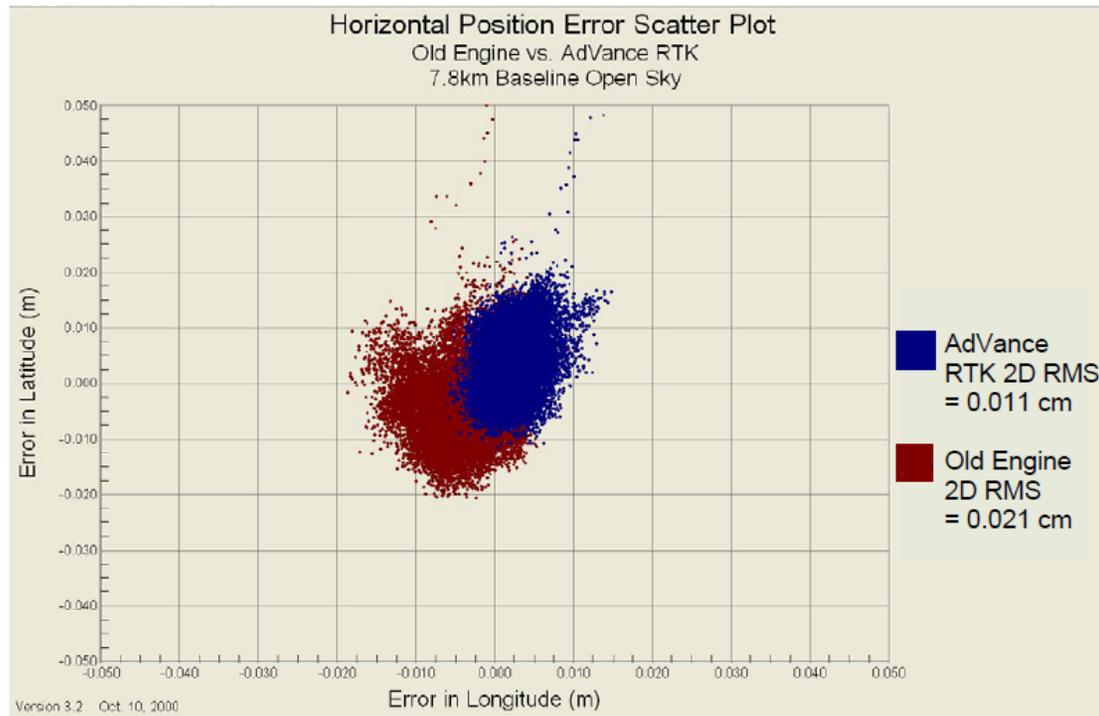
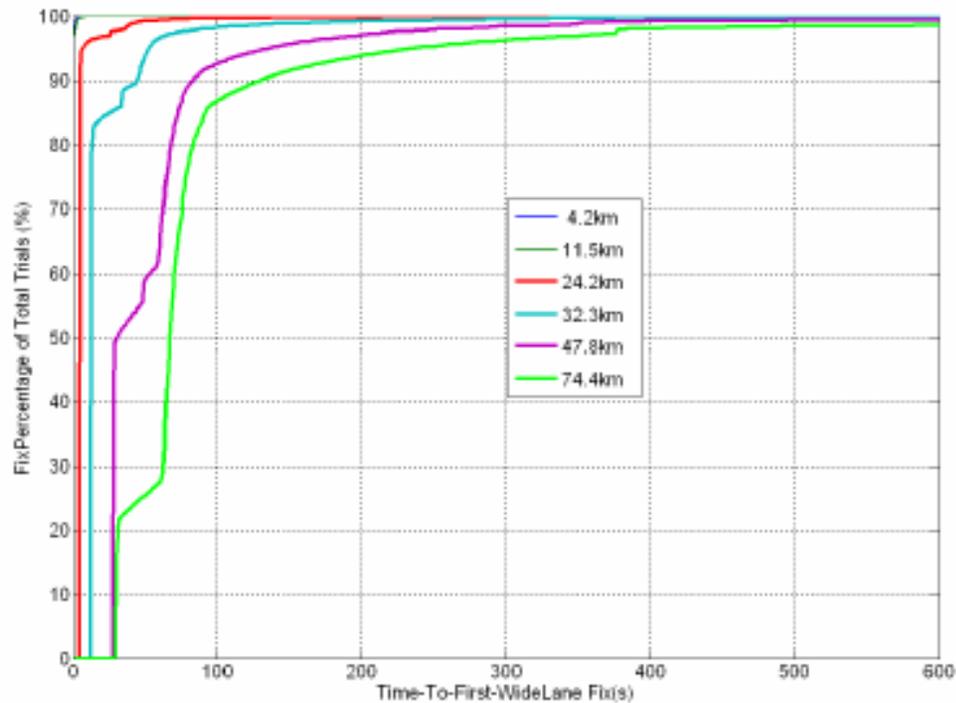


Figure 6: Old Engine vs AdVance RTK Horizontal Position Error

NAVCOMのRTKソフトの特徴

- 題目は「Innovative Algorithms to Improve Long Range RTK Reliability and Availability」
- Modified LAMBDA→最適なサイクルスリップとコードの outliersの検知を持つ
- 大気圏のバイアスやWADGPSシステムからのリアルタイムの軌道補正値を推定するための拡張モデル
- KFのパラメータ推定に組み込まれた部分サーチとFIXストラテジー

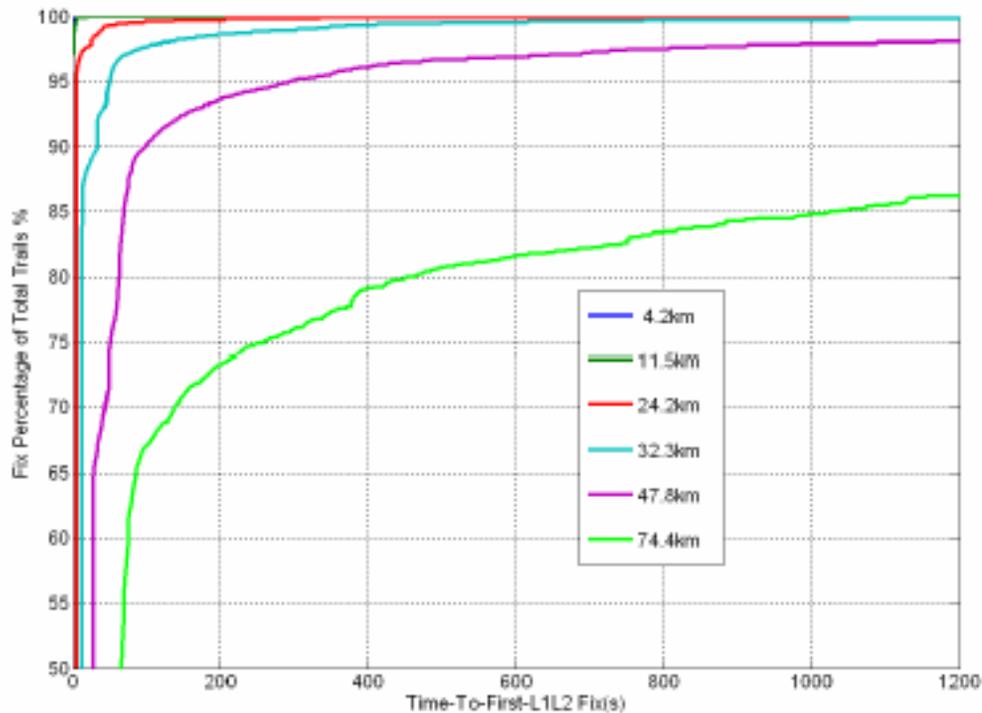
様々な基線長でのWLでのFIX率



20日間テスト
95%以内で
4.2km 1s
11.5km 1s
24.2km 7s
32.3km 53s
47.8km 135s
74.4km 232s

Figure (2) Time-To-WL Fix

様々な基線長でのL1L2でのFIX率



20日間テスト
95%以内で
4.2km 1s
11.5km 1s
24.2km 8s
32.3km 81s
47.8km 294s
74.4km 5096s

Figure (3) Time-To-First L1L2 Fix

FIXの信頼性

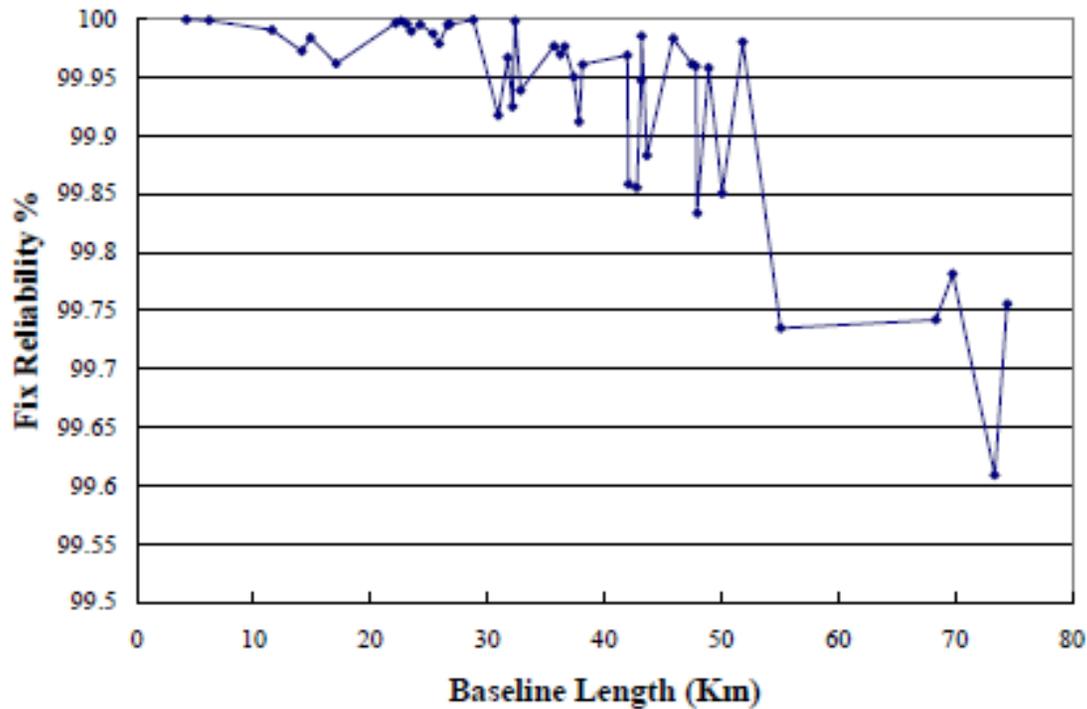


Figure (4) RTK fix reliability

RTKによる位置精度

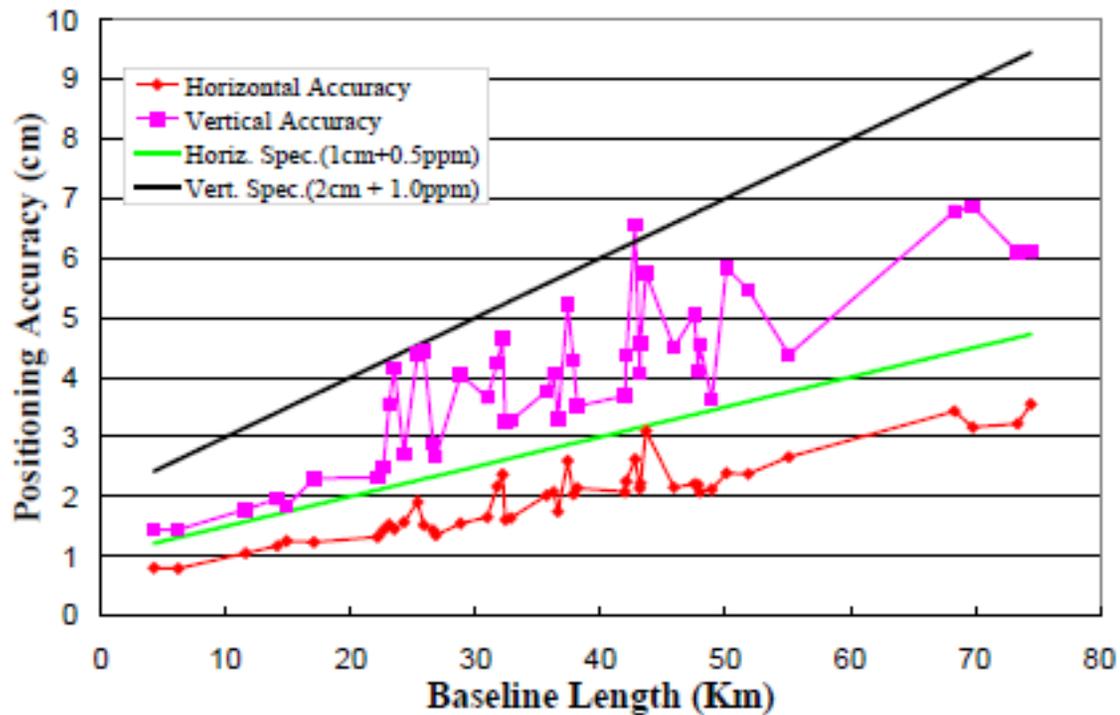


Figure (5) RTK Positioning Accuracy

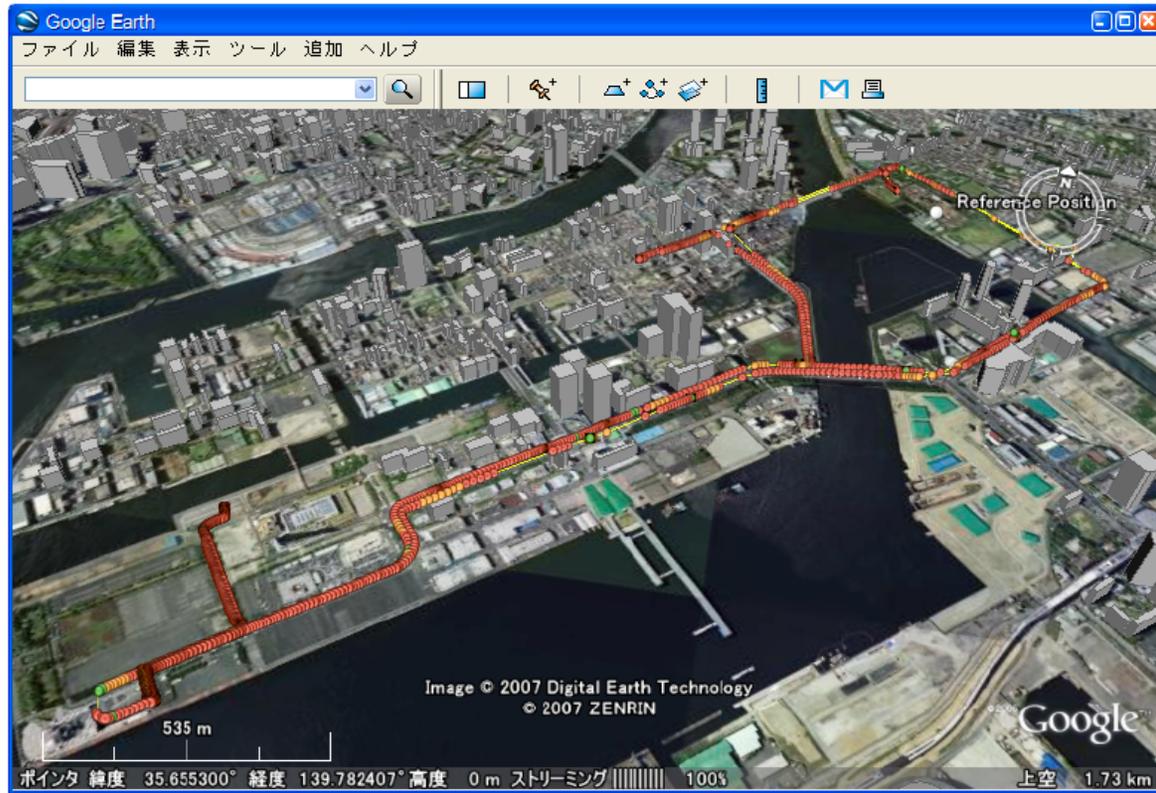
研究室での話題

- MLAMBDAベース
- 後処理もしくはシングルエポックで、都市部移動体データでどの程度FIX解を得られるかを調査
- ただし、移動体なので実際にFIXしたかどうかは調査する必要がある。

測位条件

- (1) プログラム : RNX2RTKP ver. 1.0
- (2) 観測データ : 2005/7/19 11:12:32～11:54:32、1 秒間隔、自動車搭載、NovAtel OEM4
2006/6/12 10:26:30～11:20:55、0.5 秒間隔、自動車搭載、NovAtel GPSCard
- (3) 測位モード : 相対測位/キネマティック/Forward または Forward/Backward
- (4) 使用周波数 : L1+L2
- (5) 仰角マスク : 15 度
- (6) 整数 Ambiguity 決定 :
 - 連続 AR : Multi-Epoch 解
 - 瞬時 AR : Single-Epoch 解 (Instantaneous AR)
- (7) 整数 Ambiguity 検定 : Ratio Test (Threshold=3.0)
- (8) 基準局 : 東京海洋大ビルディング屋上設置、地上約 20m
NovAtel OEM4/GPSCard
基準局座標 : 単独測位解平均

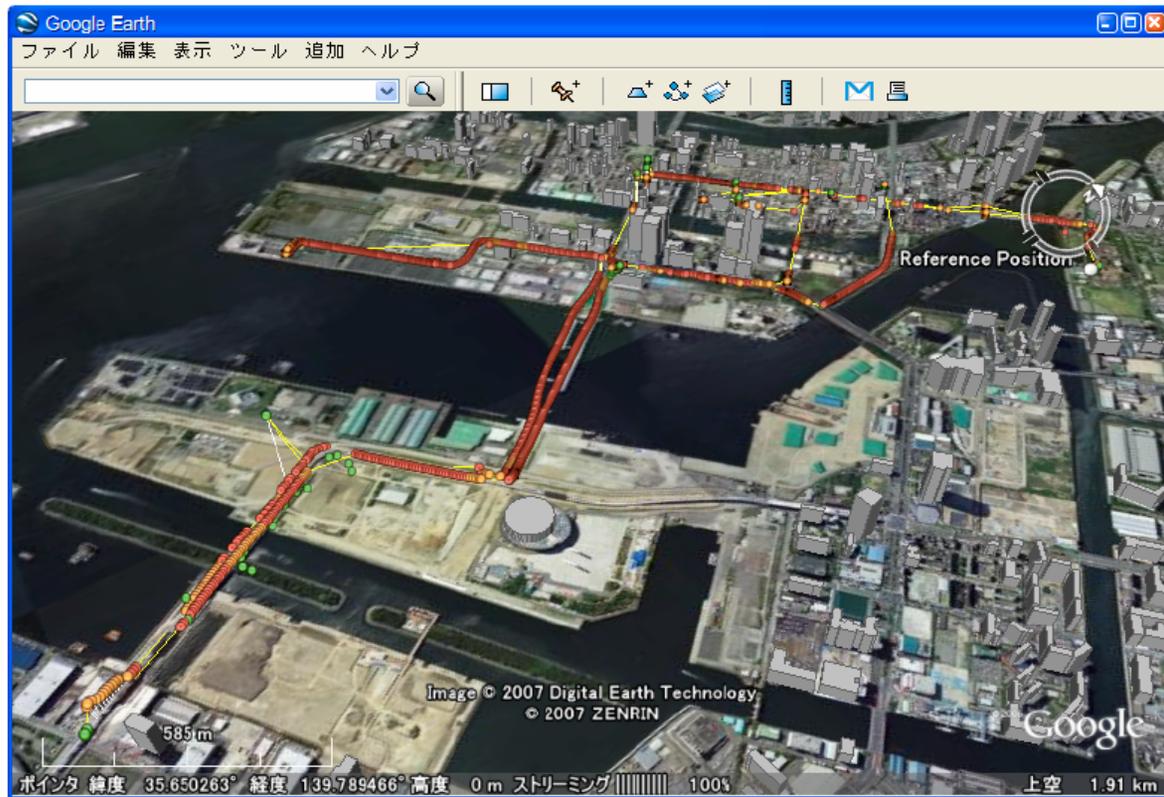
2005年7月の海洋大周辺(車)



赤 : FIX
橙 : Float
その他

図 3-1 2005/7/19 移動体測位解 軌跡 Google Earth 投影図

2006年12月の海洋大周辺(車)



赤 : FIX
橙 : Float
その他

図 3-2 2006/6/12 移動体測位解 軌跡 Google Earth 投影図

評価結果

表 3-1 測位解数及び割合

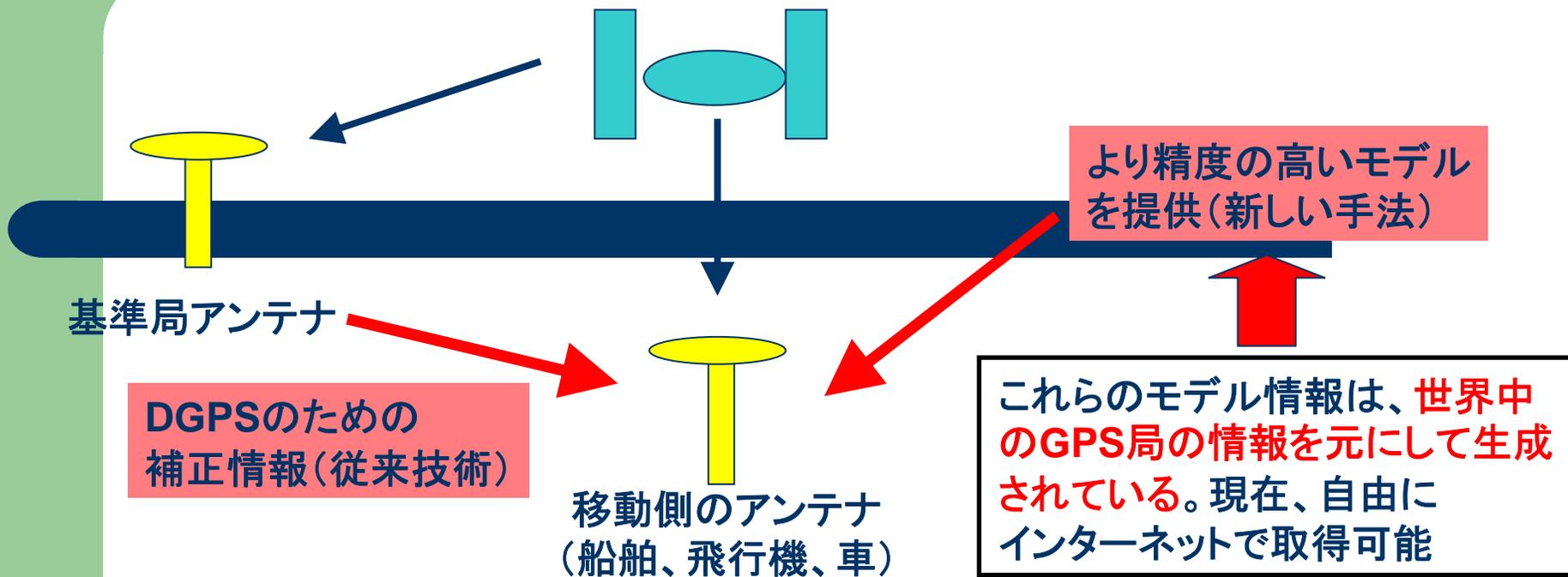
観測データ	基線長	測位条件	測位解数 (割合)		
			FIX 解	FLOAT 解	単独測位以下
2005/7/19 自動車	0.2～2.7 km	Forward 連続 AR	1859 (85.6%)	252 (11.6%)	60 (2.8%)
		Forward 瞬時 AR	1738 (80.1%)	395 (18.2%)	38 (1.8%)
		Forward/Backward	2062 (95.0%)	70 (3.2%)	39 (1.9%)
		(市販基線解析 SW)	562 (30.8%)	40 (2.2%)	1169 (67.0%)
2006/6/12 自動車	0.1～3.1 km	Forward 連続 AR	2083 (61.9%)	1103 (32.8%)	180 (5.3%)
		Forward 瞬時 AR	1499 (44.5%)	1742 (51.8%)	125 (3.7%)
		Forward/Backward	2637 (78.3%)	590 (17.5%)	139 (4.1%)
		(市販基線解析 SW)	914 (31.0%)	49 (1.6%)	1989 (67.4%)

PPP(コード利用)について 測位精度を決定する主要因

誤差源	誤差の大きさ	誤差低減効果
衛星時計と軌道	時計と軌道は、ともに2m程度(rms)	DGPSでともに0.1m程度
電離層遅延	天頂方向は2mから10m程度で、仰角が低いとさらに増大	放送モデルで50%程度低減。 DGPSで0.2m程度
対流圏遅延	天頂は2m程度で、仰角が低いとさらに増大	モデル使用で1m以内。 DGPSで0.2m程度
マルチパス	環境良で1m以内程度	アンテナ固有なのでなし
受信機雑音	10cmから50cm程度	受信機固有なのでなし

現状の一般ユーザが達成できる単独測位精度は、上記の赤の部分。
単独測位の高精度化では、上記のDGPSの部分の効果を、補正情報
という形ではなく、より精度の高いモデルを用いて計算する。

比較イメージ図



- 例えば地震等における変位を測定する際(2周波、搬送波位相利用)に、基準局も動いてしまう影響を考慮なくてよい。
- 補正データ伝送手段のための設備を設けなくてよい。
- GPS測位自体の本来の性能を見極めることができる。
- 現状の10m以内程度の誤差から1m程度へ低減されることによる衛星測位サービスの向上(もともと利用者が多い)。

本研究(コードのPPP)の目的

- 既に、世界中の研究者の間で、上記の高精度化により、コードで1m以内、搬送波を利用して1cm程度を達成するソフトウェアは開発されている→ただし、使用されている受信機は、いずれも測地用の高価なものが多く、2周波かつ搬送波位相を利用したものが大部分である。
- 本研究の目的は、以下の通りである。
 - ・コード測位で1周波のみ利用した場合を想定→ユーザが多い。
 - ・精密な推定値を有効に利用して、自らソフトを試作しノウハウを蓄積すること。
 - ・実際の船舶の移動体に適用して評価を行うこと。
 - ・比較的 low コスト受信機を用いた場合の評価を行うこと→ユーザが多い。

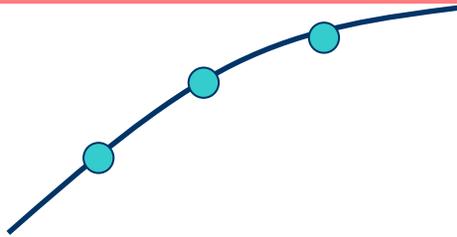
実際の測位計算の流れ(比較)

通常の単独測位	高精度単独測位
航法暦と観測ファイルの読み込み	精密暦(最終)、電離層MAP(当日)、観測ファイルの読み込み
衛星位置を航法暦より推定。	上記データより内挿し、衛星位置、衛星時計誤差を推定。DCBについても考慮。
汎用モデルを利用して電離層遅延量の推定	全地球電離層MAPを利用して電離層遅延量の推定
汎用モデルを利用して対流圏遅延量の推定	汎用モデルを利用して対流圏遅延量の推定
上記の誤差推定量を元に、通常の単独測位計算を最小二乗法を用いて行う。	上記の誤差推定量を元に、通常の単独測位計算を最小二乗法を用いて行う。

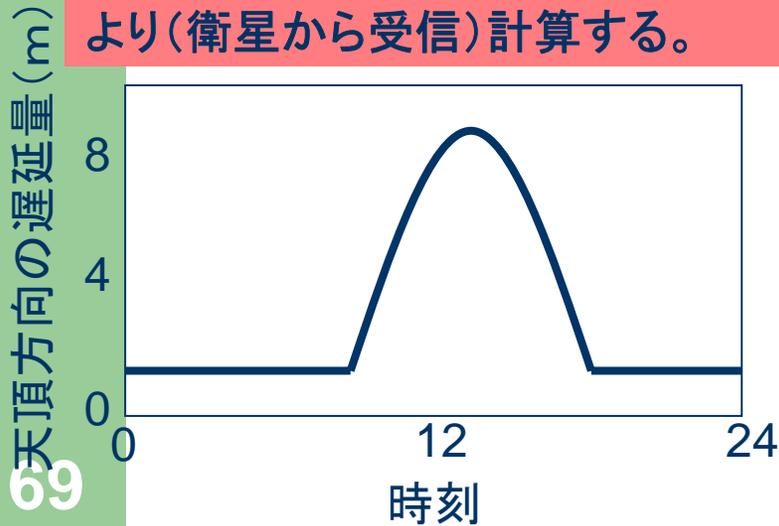
推定モデルの違いについて

通常の単独測位

ある時刻の衛星位置を2時間ごとに更新される航法暦(衛星から受信)を用いて計算する。

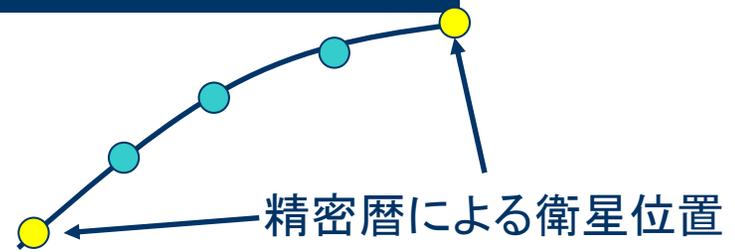


ある時刻の電離層遅延量(天頂)を、下記のような毎日更新されるモデルより(衛星から受信)計算する。

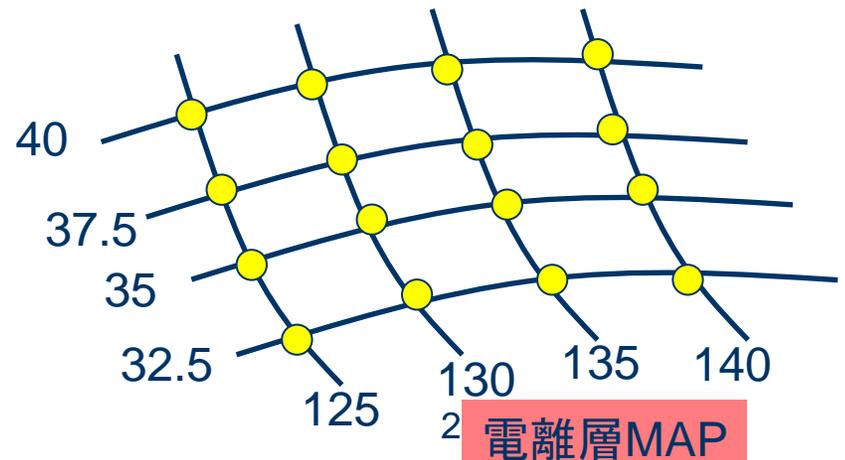


高精度単独測位

ある時刻の衛星位置を、精密暦の値より(別取得)内挿して計算する。



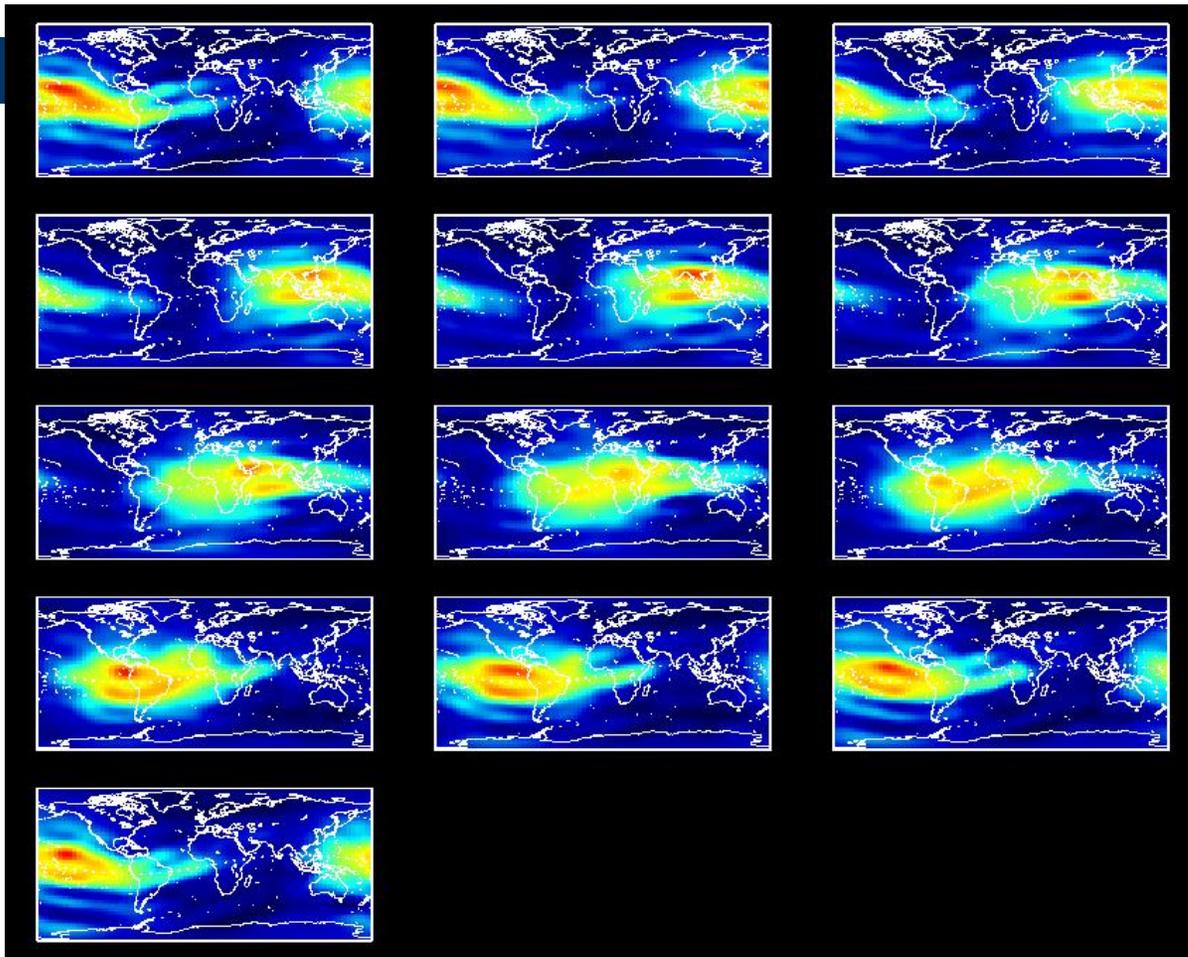
ある時刻の電離層遅延量(天頂)を、下記の全地球電離層MAPの値より内挿して(時間・空間)計算する。



精密暦の例
1日で約200KB

*	2005	9	7	0	0	0.00000000		
P 1	20309.288824	14484.869968	-8994.904458				7.165833	
P 2	-15268.075436	-3046.205411	-21790.131239				-27.394014	
P 3	22181.168714	7324.969991	12765.094569				32.077103	
P 4	-8299.146831	-16879.934939	-18628.451969				-31.326259	
P 5	-20518.316416	13758.246404	-9701.989347				129.177517	

全地球電離層MAPの例
1日で約800KB

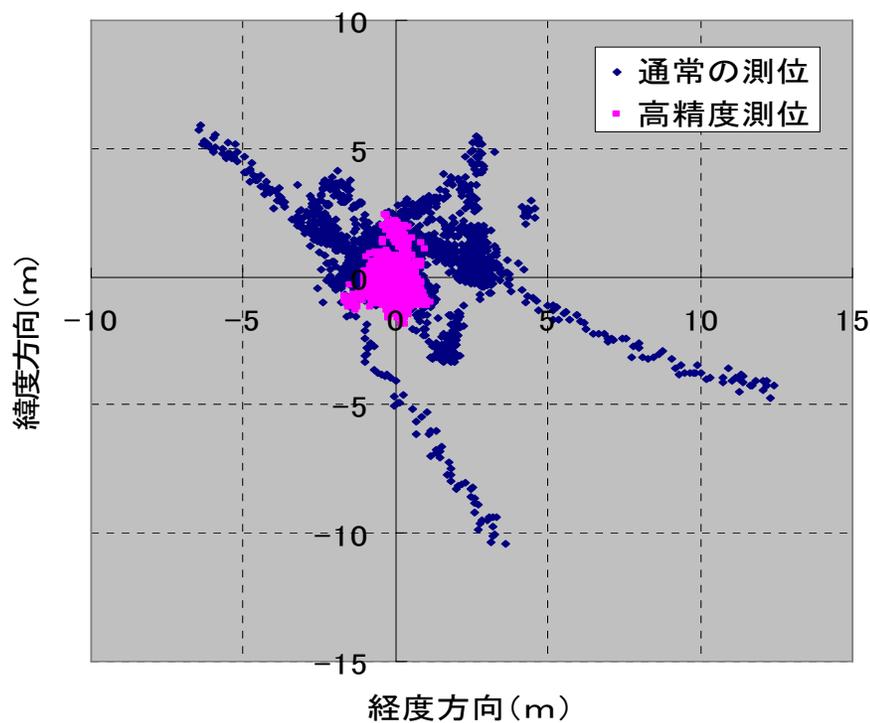


生データによる検証

- 国土地理院の電子基準点データ(9/7)。場所は市川(約1日で30秒間隔)
→Trimble製2周波受信機(1周波、コードのみ利用)
- 「やよい」で海洋大ー東京湾を航海したときのGPSデータ(6/30)。(約1時間で2Hz:ドック内含む)
→NovAtel製2周波受信機(1周波、コードのみ利用)
- 研究室屋上で1周波低コスト受信機により取得したGPSデータ(9/7)。(約3時間で1Hz)
→Superstar製1周波受信機

上記の生データに対して、後処理精密位置(2,3cmのオーダーで決定)からの水平及び高度方向のずれと精度を観測することにより、評価を行った。測位に使用した衛星は双方で同じとした(マスク角10度)

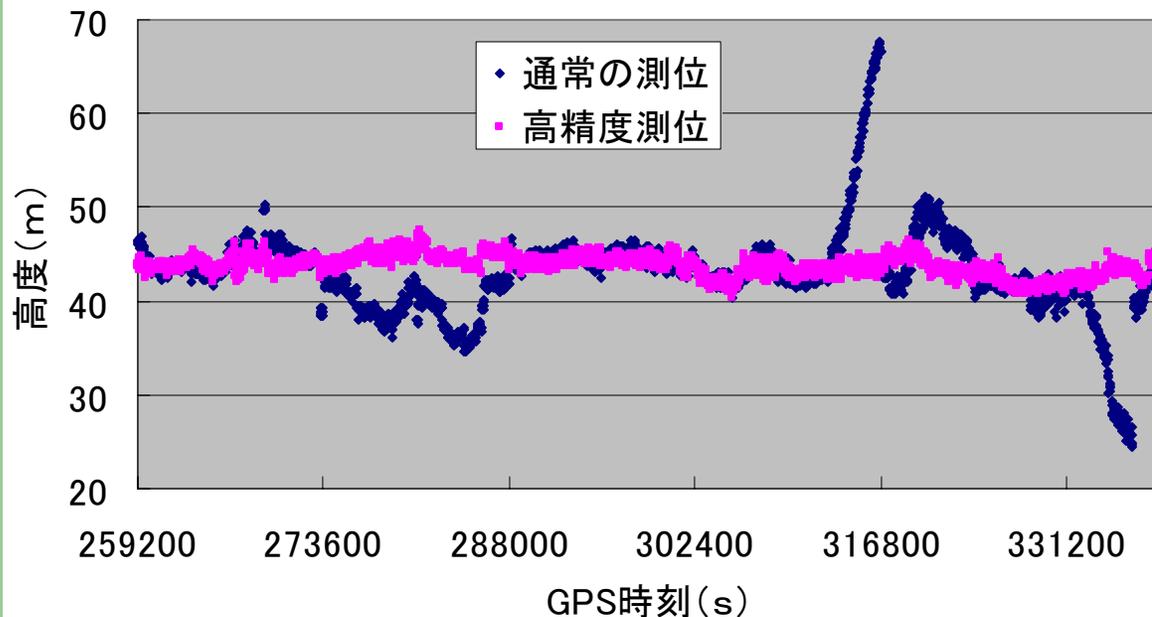
電子基準点データ(水平)



水平精度(2drms)
通常→5.69m
高精度→1.38m

真値からのずれ
(経度/緯度)
通常→0.35m/0.44m
高精度→-0.27m/-0.07m

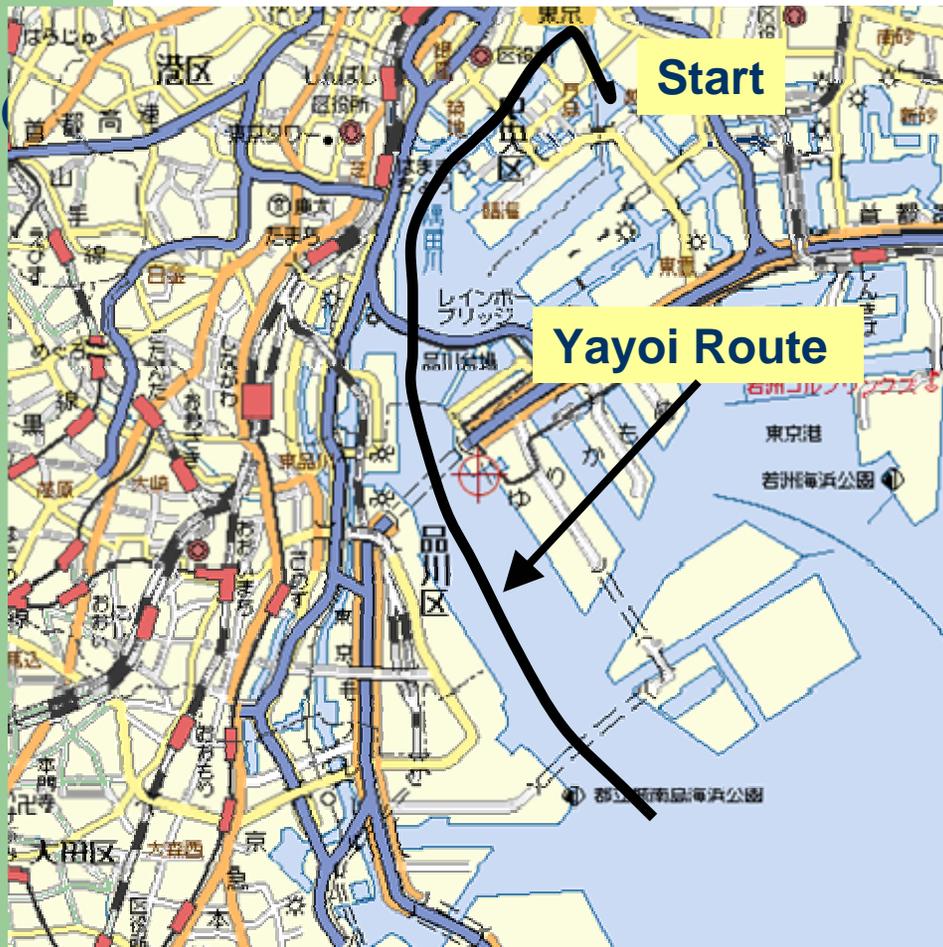
電子基準点データ(高度)



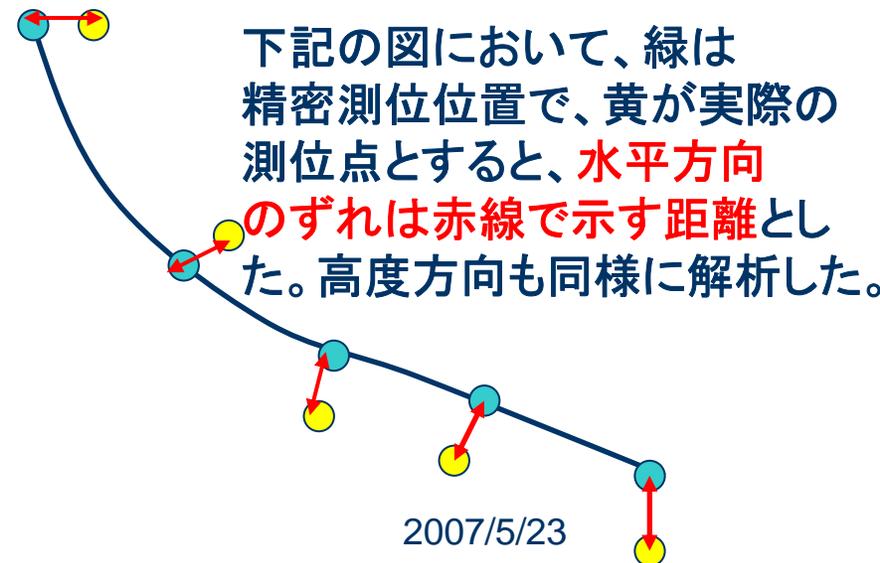
高度精度 (2drms)
通常→9.66m
高精度→2.23m

真の高度からのずれ
通常→-0.51m
高精度→0.23m

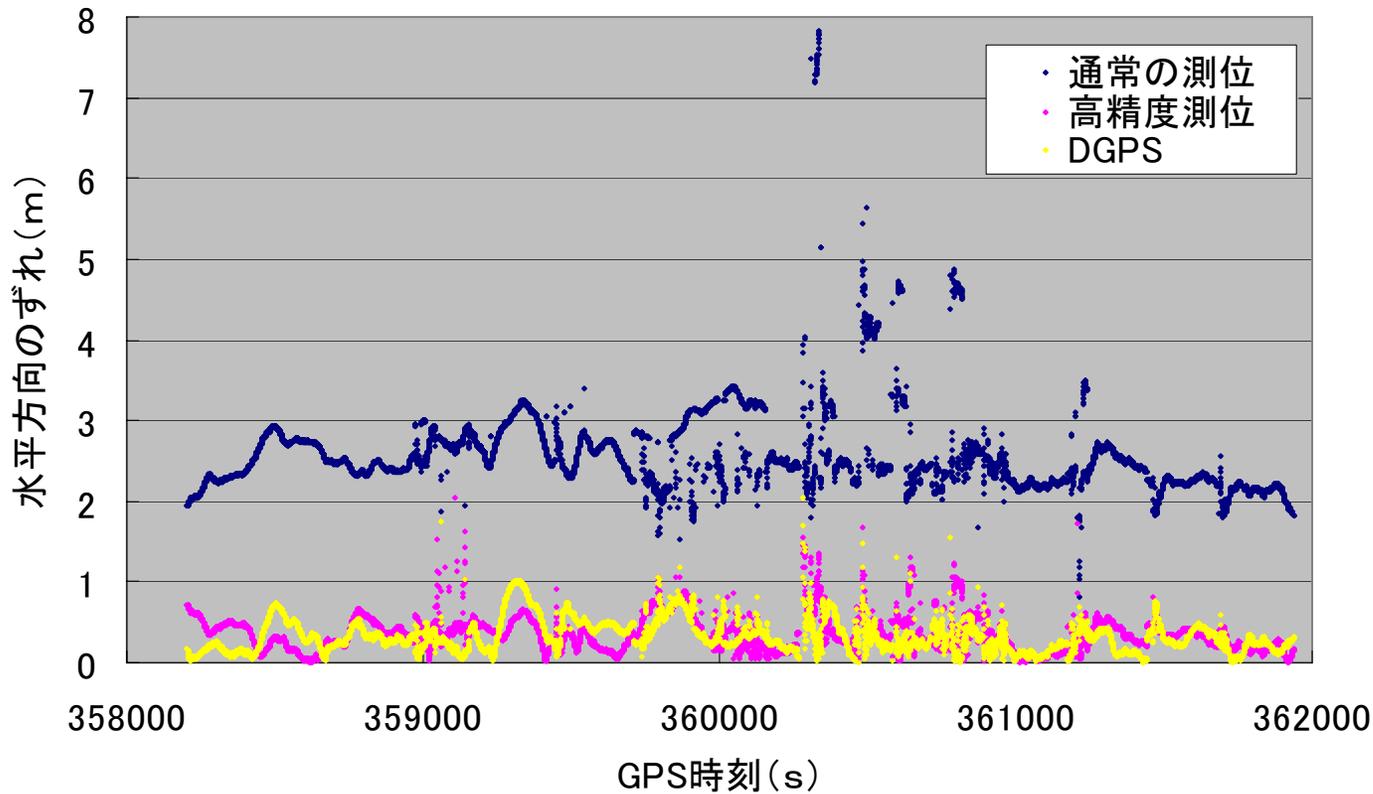
「やよい」による航路と解析方法



左図の赤線が実際の航路(海洋大より直線で約10km付近まで)
航海中の可視衛星数は5つの橋以外7-8個以上存在したので精密測位位置計算は容易であった。



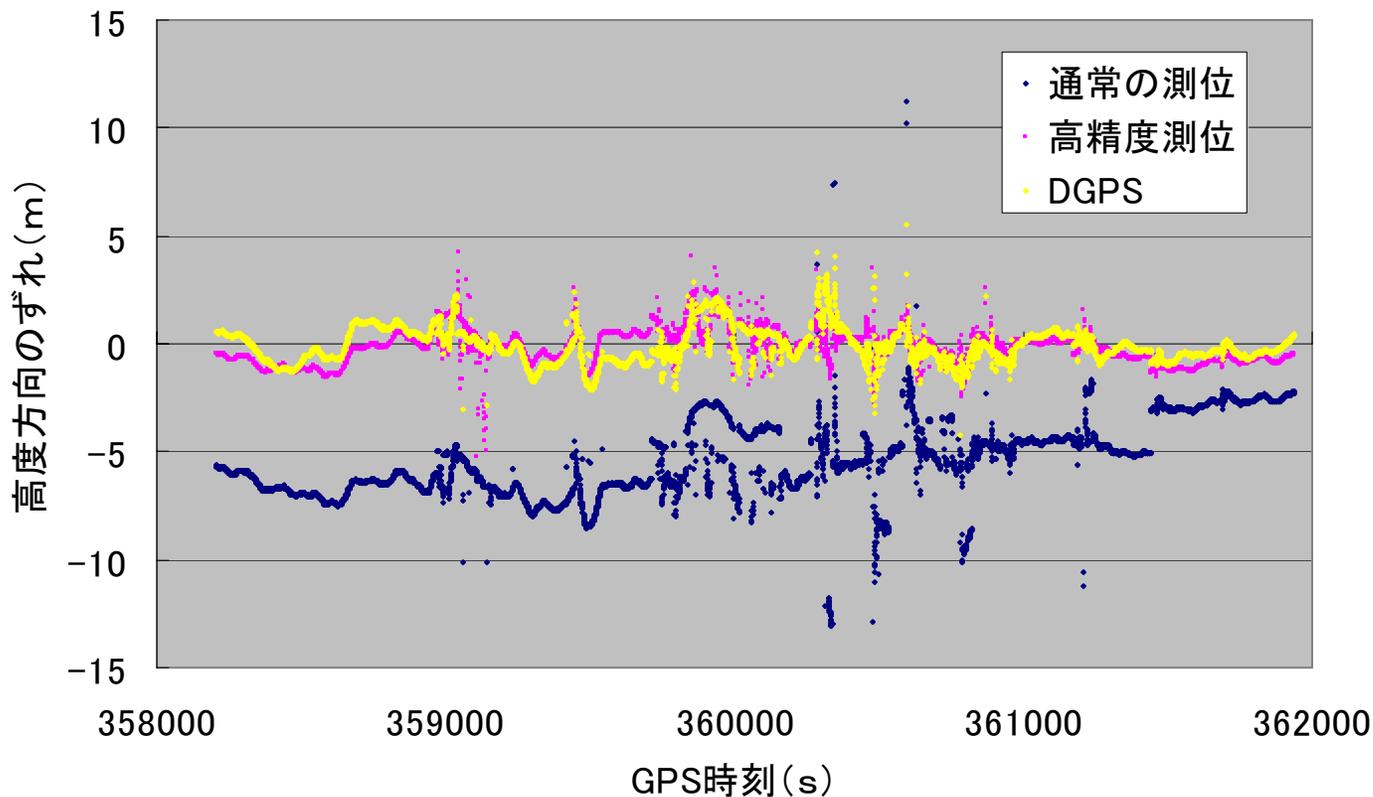
水平方向のずれの評価 (やよい航行中)



ずれ精度(平均)
通常→2.58m
高精度→0.35m
DGPS→0.32m

DGPSと高精度単独測位の結果が類似→推定が良好

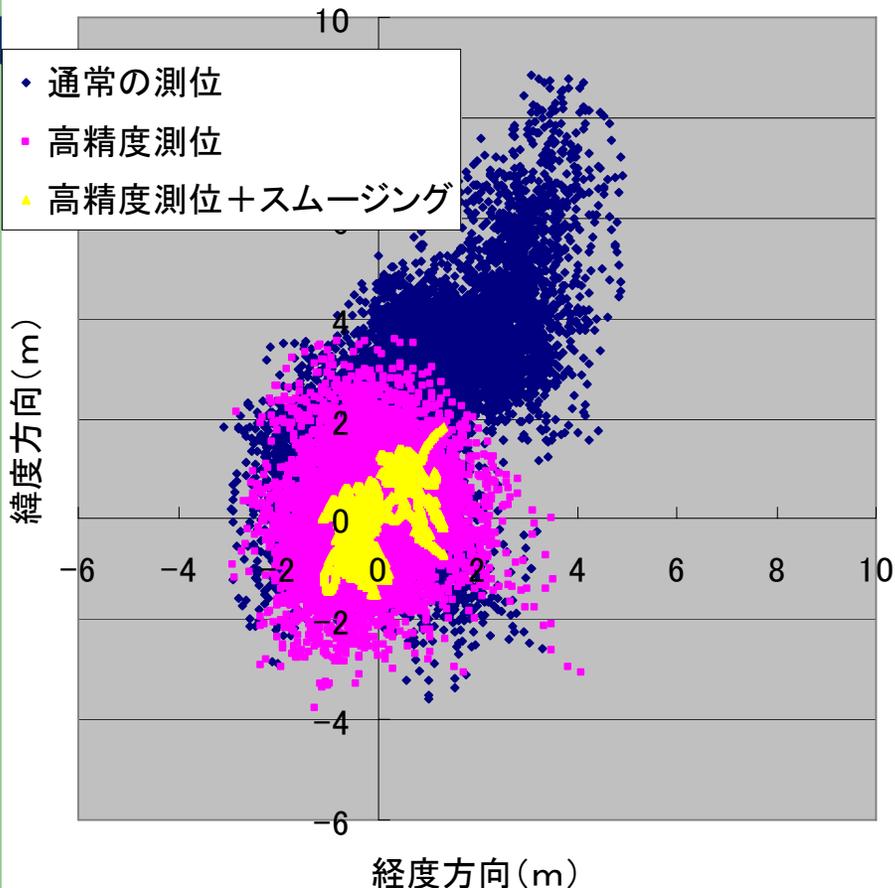
高度方向のずれの評価 (やよい航行中)



ずれ精度 (2drms)
通常→3.51m
高精度→1.60m
DGPS→1.58m

ずれの平均
通常→-5.39m
高精度→-0.20m
DGPS→-0.11m

1周波低コスト受信機データ(水平)



水平精度 (2drms)
通常→4.78m
高精度→2.55m
スムージング→1.59m

真値からのずれ
(経度/緯度)
通常→0.52m/2.03m
高精度→-0.18m/0.07m
スムージング→-0.15m/-0.04m

低コスト受信機は、帯域等の制限により高精度受信機と比較して、ノイズが2-3倍以上大きいことが知られている。よって搬送波位相で100秒のスムージングを行った結果も示した。それにより、高精度受信機相当の精度が得られている。

高精度測位のリアルタイム性

衛星の位置と時計補正計算について

暦/時計	精度(暦/時計)	リアルタイム	更新	サンプル
航法暦	2m/7ns	○	2hour	1日
IGS最短1	0.1m/5ns	○	4/day	15分
IGS最短2	0.05m/0.2ns	3時間	4/day	15分
IGS高速	0.05m/0.1ns	17時間	1/day	15/5分

当日に公表されるもの、1日予測情報、2日予測情報等入手できる。
ただし、それらの精度については調査中です。

全地球電離層MAPについて

今回発表した程度の精度を個人で達成することは、準リアルタイムで可能。
また商用及び研究機関ベースで、精密暦等を生成している機関も世界中に
数箇所存在する。日本国内でも発表が見られる。

今後の研究活動

- 準天頂衛星の評価かつ利便性の検証
- RTKソフトの充実化→1エポックでの信頼性が高まると実用化が見えてくる。
- ソフトウェアGPSをうまく利用した研究
- マルチパス低減技術の開発
- GPSと他のセンサーの融合(KFの勉強)
- 社会人の方の積極的な受け入れ(共同研究含む)及び学生の充実

下記アドレスにアップいたします

- <http://www.denshi.e.kaiyodai.ac.jp/kubo/>