

GNSS近代化に伴うアンビギュイティ 決定の考察

東京海洋大学
久保信明



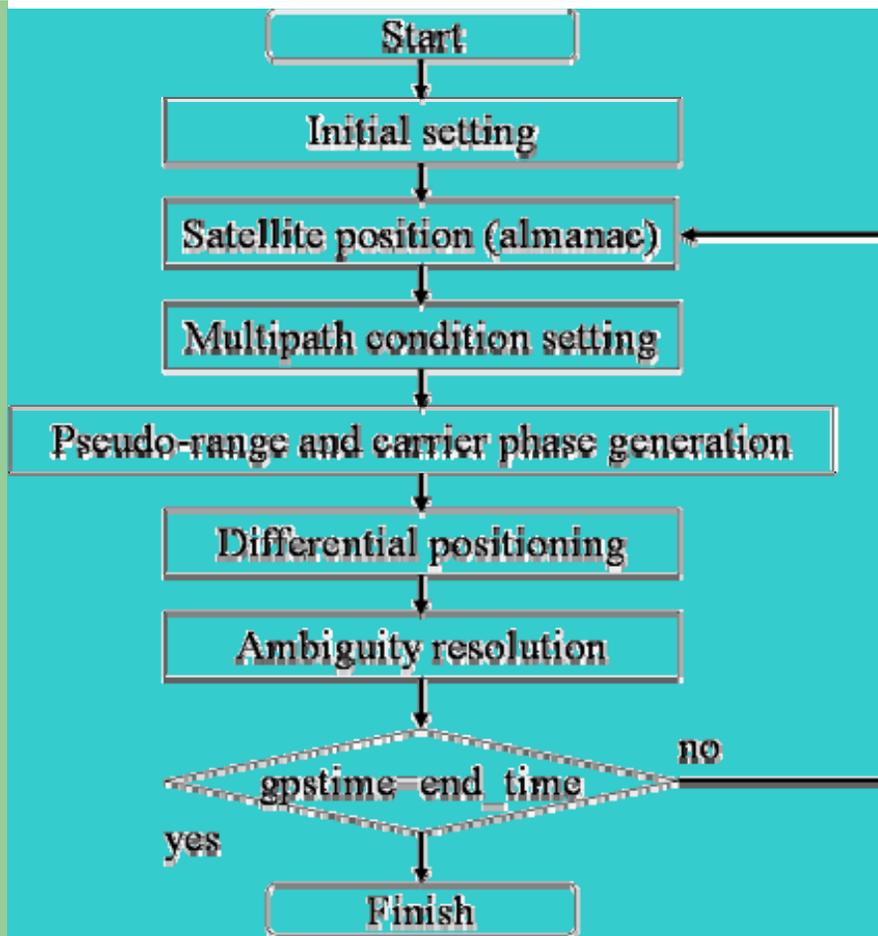
背景

- 以前より、L2-L5及びL1-L2を線形結合することによるアンビギュイティ決定の効率化は議論されている。
- 既に、3つの周波数を用いた場合(LAMBDA法)に、短基線では、そのFIX率が向上することが知られている。ただし、中基線以上では、電離層等の影響により短基線ほど向上しない。
- GPS及びガリレオの3周波アンビギュイティ決定を比較した場合、ガリレオのほうがやや優位。

本発表の課題

- 既に教科書等で紹介されている、L2-L5(EWL)及びL1-L2(WL)の線形結合を利用することにより、どの程度アンビギュイティ決定が効率化されるのかをシミュレーションで議論する。
- 特に、コード測位(DGPS)の精度に応じてどのように変化するかを示した。
- EWLからWLへの移行がスムーズにいくのか？
- 電離層や対流圏等の影響は無視できる、短基線での話とする。

シミュレーションの流れ



左がフローチャート図

初期設定で、アンテナのパターンやDLL及びPLLの様々なパラメーターを設定

信号強度は、仰角とアンテナパターンに応じて計算

マルチパスは、今回は地面反射のみとした。

DLL及びPLLの雑音について

$$\sigma_t DLL = \lambda_c \sqrt{\frac{4F_1 d^2 B_w}{c/n_0} \left[2(1-d) + \frac{4F_2 d}{Tc/n_0} \right]} \quad (m)$$

擬似距離の雑音

$$\sigma_t PLL = \frac{\lambda_L}{2\pi} \sqrt{\frac{B_w}{c/n_0} \left[1 + \frac{1}{2Tc/n_0} \right]} \quad (m)$$

搬送波位相の雑音

上記の式は、擬似距離及び搬送波位相の誤差生成も使用される。上記の通り、様々なパラメータが上記の雑音に関係していることがわかる。

今回は、この雑音と地面反射の誤差より、コード測位の誤差を与えた。
基準局及び移動局のアンテナ高は1.5m、2.5m。中乾燥大地を想定。

複数の周波数の線形結合

$$\varphi_{i,j,k} = i \cdot \varphi_1 + j \cdot \varphi_2 + k \cdot \varphi_3$$

搬送波位相の結合

$$f_{i,j,k} = i \cdot f_1 + j \cdot f_2 + k \cdot f_3$$

$$\lambda_{i,j,k} = c / f_{i,j,k}$$

合成された周波数

$$N_{i,j,k} = i \cdot N_1 + j \cdot N_2 + k \cdot N_3$$

合成されたアンビギュイティ

$$M_{i,j,k} [\text{cycle}] = \sqrt{i^2 + j^2 + k^2} \cdot M_0 [\text{cycle}]$$

各周波数における雑音が全て M_0 で等しいと仮定した場合の雑音の係数
(M_0 は 5mm 相当として計算)

$$M_{i,j,k} [m] = M_{i,j,k} [\text{cycle}] \cdot \lambda_{i,j,k}$$

$$\varphi_{i,j,k} = \frac{\rho}{\lambda_{i,j,k}} \cdot \frac{i + 77j/60 + 154k/115}{i + 60j/77 + 115k/154} \cdot \frac{1}{\lambda_{i,j,k}} \cdot \frac{1}{f_1^2} + N_{i,j,k} + \varepsilon_{\varphi_{i,j,k}}$$

→ $K_{i,j,k}$

この式の中央の赤丸部分が、L1帯の電離層遅延量の何倍かを示す係数。

代表的な線形結合

$\Phi_{i,j,k}$	$f_{i,j,k}$ [MHz]	$\lambda_{i,j,k}$ [m]	$M_{i,j,k}$ [m]	$k_{i,j,k}$
$\Phi_{-6,1,7}$	10.23	29.305	13.588	717.22
$\Phi_{-1,8,7}$	10.23	29.305	15.645	-16.52
$\Phi_{3,0,-4}$	20.46	14.653	3.663	-180.45
$\Phi_{-3,1,3}$	30.69	9.7684	2.129	118.1
$\Phi_{1,-7,6}$	40.92	7.3263	3.397	1.98
$\Phi_{0,1,-1}$	51.15	5.861	0.414	-1.72
$\Phi_{1,-6,5}$	92.07	3.256	1.282	-0.07
$\Phi_{1,-1,0}$	347.82	0.862	0.061	-1.28
$\Phi_{1,0,-1}$	398.97	0.751	0.053	-1.34

L2とL5のコンビネーションからアンビギュイティ決定を始めることは妥当。

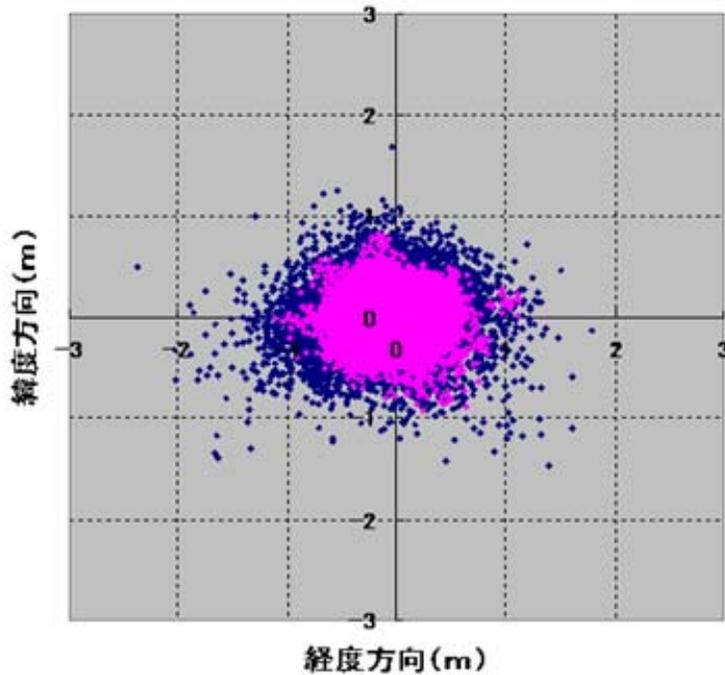
シナリオについて

- 衛星配置はYUMA355(2006年6月)を使用。
- 時間は日本時間の午前9時から午後9時の12時間
- アンビギュイティの初期化を100秒ごとに強制的に繰り返し、合計432回行う。
- 4つのシナリオの設定値は以下の通り。

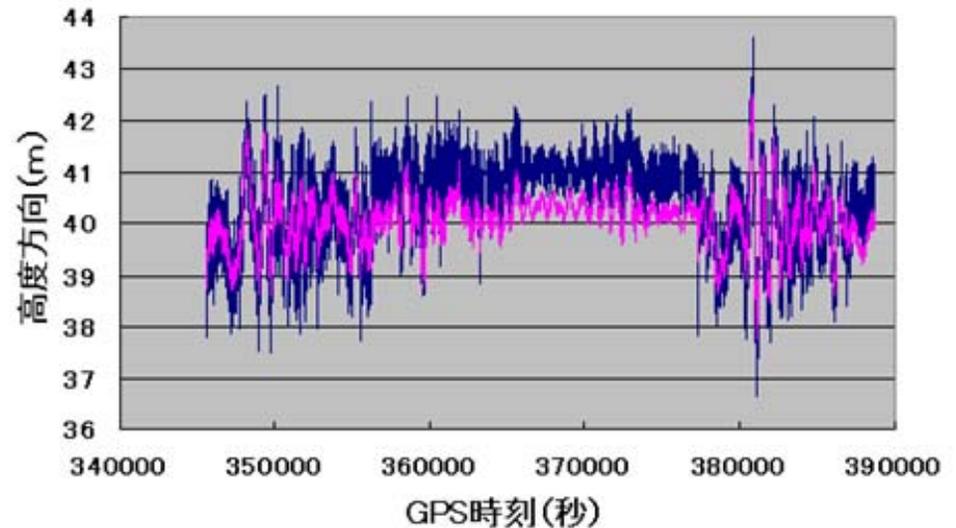
	code_bw	carrier_bw	コリレータchip	mask
scn1	0.05Hz	5Hz	0.1	10度
scn2	0.5Hz	5Hz	0.1	10度
scn3	0.5Hz	5Hz	0.1	20度
scn4	0.5Hz	5Hz	0.5	20度

code_bwの逆数は、キャリアスムージングの秒数に相当

各シナリオでのDGPS測位誤差 (scn1,2)



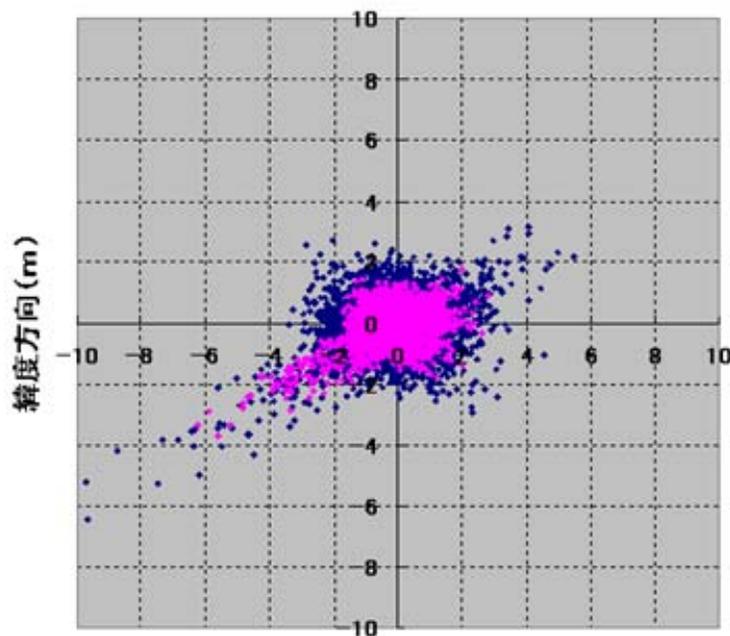
赤→scn1 青→scn2



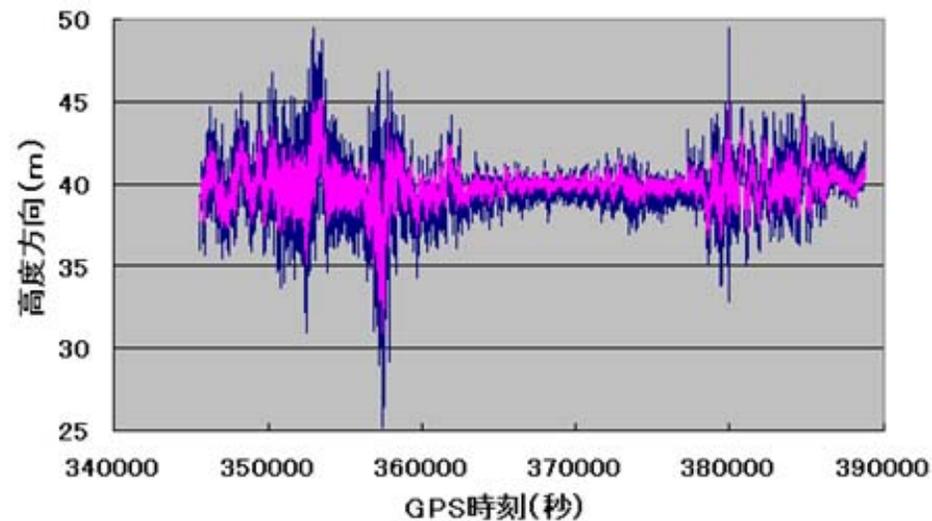
コードループバンド幅による雑音の大きさの違いがわかる

DGPS測位結果 (scn3,4)

赤→scn3 青→scn4



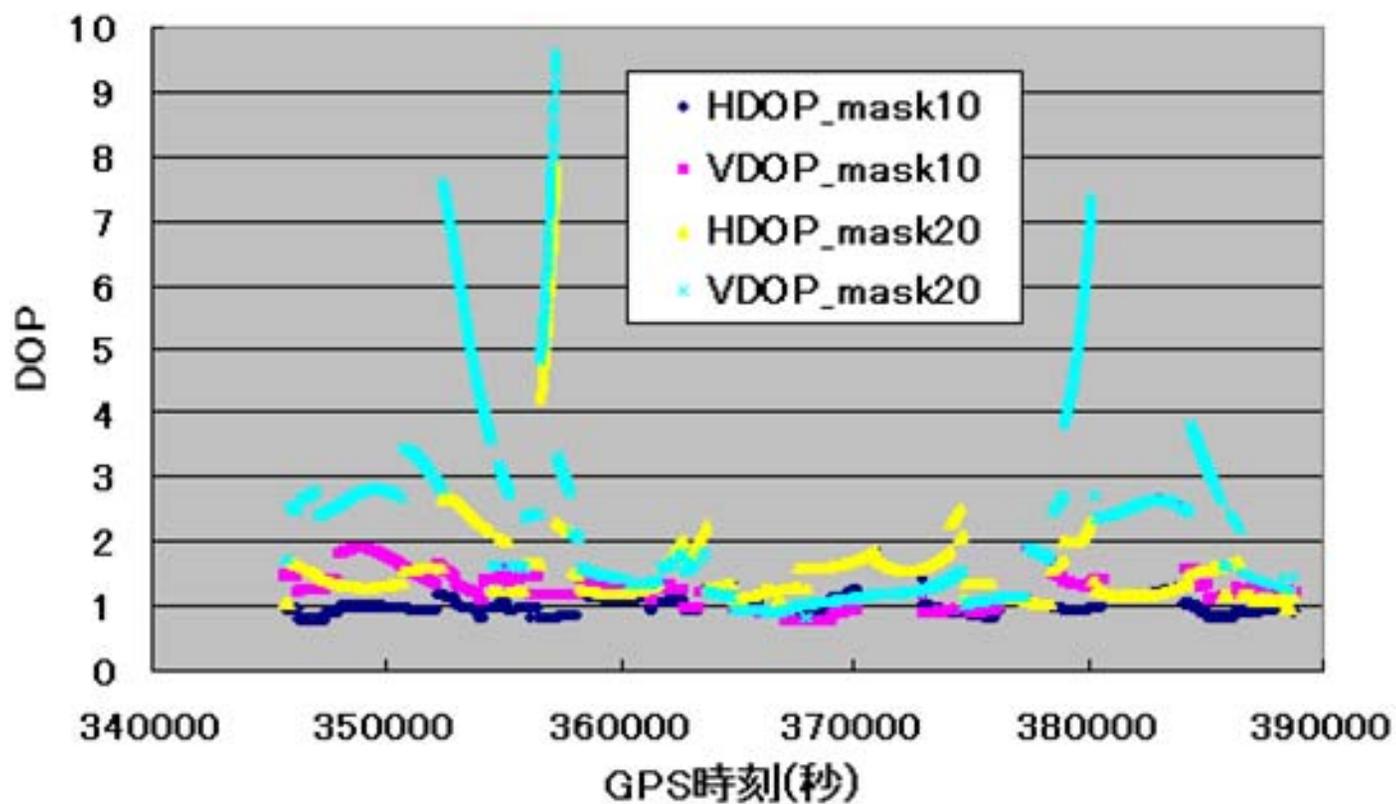
水平結果



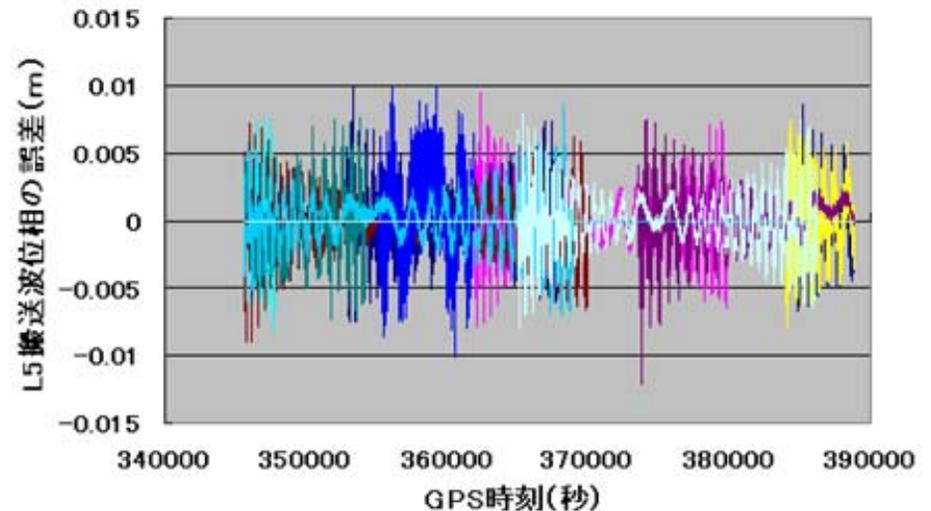
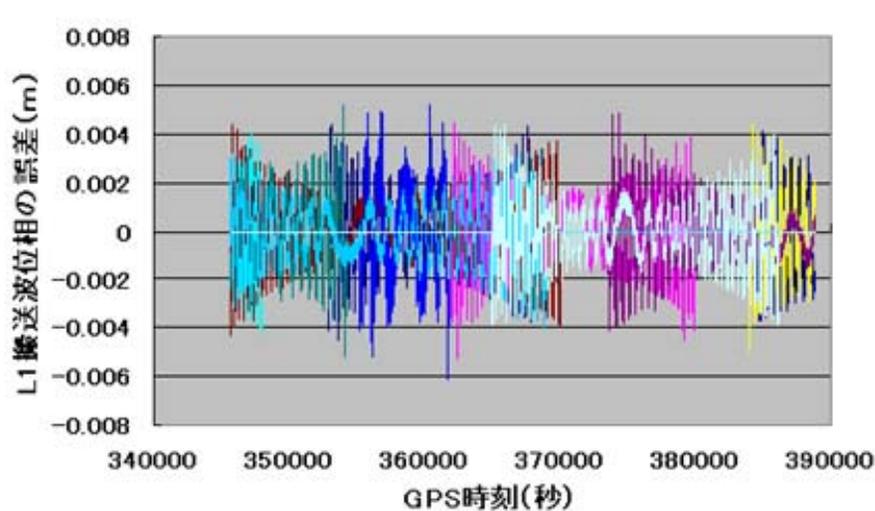
高度結果

コリレータのチップ幅による雑音の大きさの違いがわかる

計算時間帯における衛星配置



搬送波位相の誤差の概観(L1とL5)



左がL1帯の誤差で、右がL5帯の誤差。
L1及びL5ともに10衛星分の12時間の搬送波位相の誤差を示した。
波長の長さの関係でL5帯のやや大きい誤差となっている。
通常、搬送波位相の誤差は1cmを超えてくると大きいと言える。

アンビギュイティ決定方法

- 基準衛星と主衛星(4つ)、従衛星(残り)を決める。
- 各周波数帯の擬似距離をベースにして、二重位相差のアンビギュイティの初期値を求める。
- このとき、WLとEWL(→WLまで求める)について求める。
- 初期値を中心にして、正しい解を探索する(WLは±3、EWLは±2)。この探索において、二重位相差のアンビギュイティ候補と4つの主衛星が存在すれば、測位値候補を算出することができ、その値が仮に正しいとした場合に、従衛星のアンビギュイティが整数にどれだけ近いかで検定を行う。さらにDGPSとの測位結果との差でも検定を行う。
ratio_testは全てに実施(5を設定)

各候補の探索について

- WLの場合

従衛星による残差 < 自由度に応じた設定値 (99.5%)

2.0m > fabs (DGPSの水平結果 - WL候補の水平結果)

3.0m > fabs (DGPSの高度結果 - WL候補の高度結果)

- EWLの場合

従衛星による残差 < 自由度に応じた設定値 (99.5%)

4.0m > fabs (DGPSの水平結果 - EWL候補の水平結果)

6.0m > fabs (DGPSの高度結果 - EWL候補の高度結果)

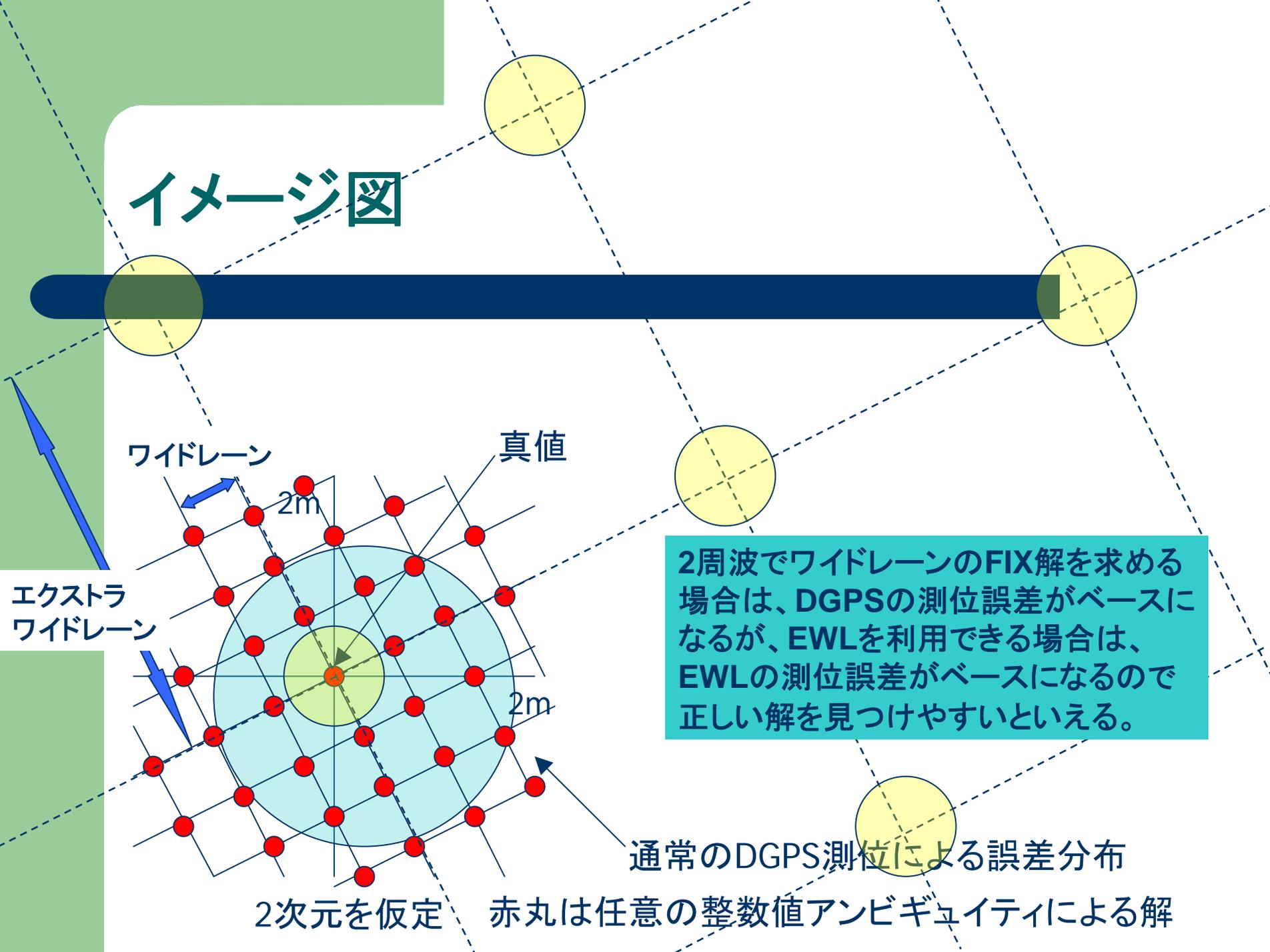
さらにWLの探索に移行

従衛星による残差 < 自由度に応じた設定値 (99.5%)

1.0m > fabs (EWLの水平結果 - WL候補の水平結果)

1.5m > fabs (EWLの高度結果 - WL候補の高度結果)

イメージ図



2周波でワイドレーンのFIX解を求める場合は、DGPSの測位誤差がベースになるが、EWLを利用できる場合は、EWLの測位誤差がベースになるので正しい解を見つけやすいといえる。

通常のDGPS測位による誤差分布

2次元を仮定

赤丸は任意の整数値アンビギュイティによる解

各シナリオに対する実際のFIX率

	WL	EWL→WL
scn1	19(95.6%)	0(100%)→1(99.8%)
scn2	13(97.0%)	0(100%)→1(99.8%)
scn3	53(87.7%)	2(99.5%)→7(98.4%)
scn4	96(77.8%)	2(99.5%)→9(97.9%)

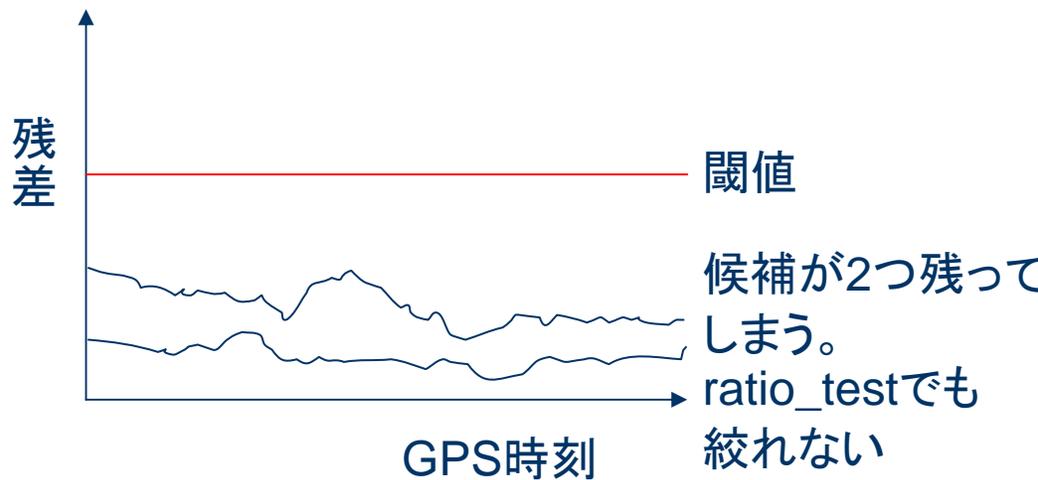
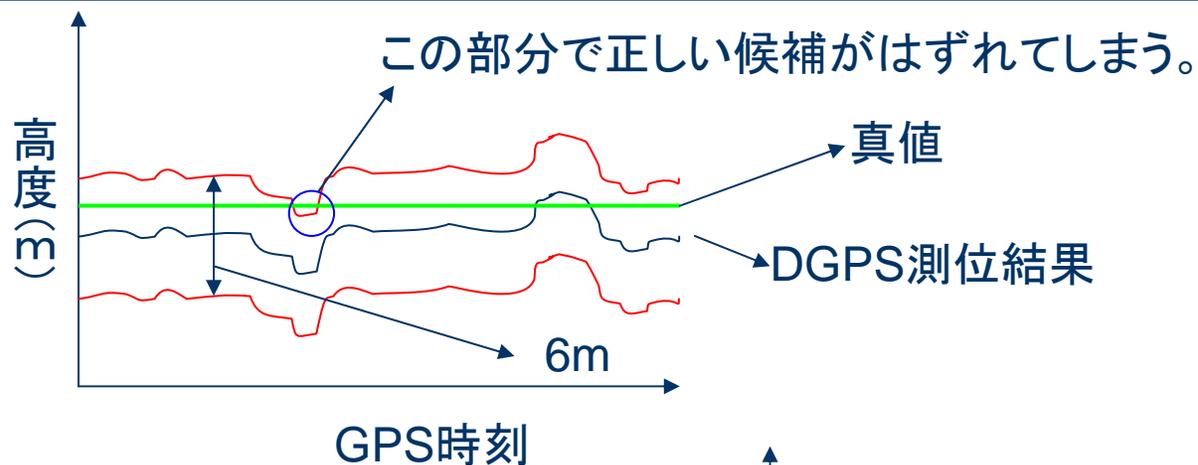
- ・上図内の数値で、ミスFIX数(432回のうち)とカッコ内にFIX率を示した
- ・シナリオの上のほうより、誤差が徐々に大きくなっている。
- ・初期化は432回なので、100秒以内にFIXした回数を432で割ったものを、上記のFIX率として計算した。
- ・EWLを介してWLを求めたほうが、有効であることがわかる。

WLでFIXしなかった結果の詳細

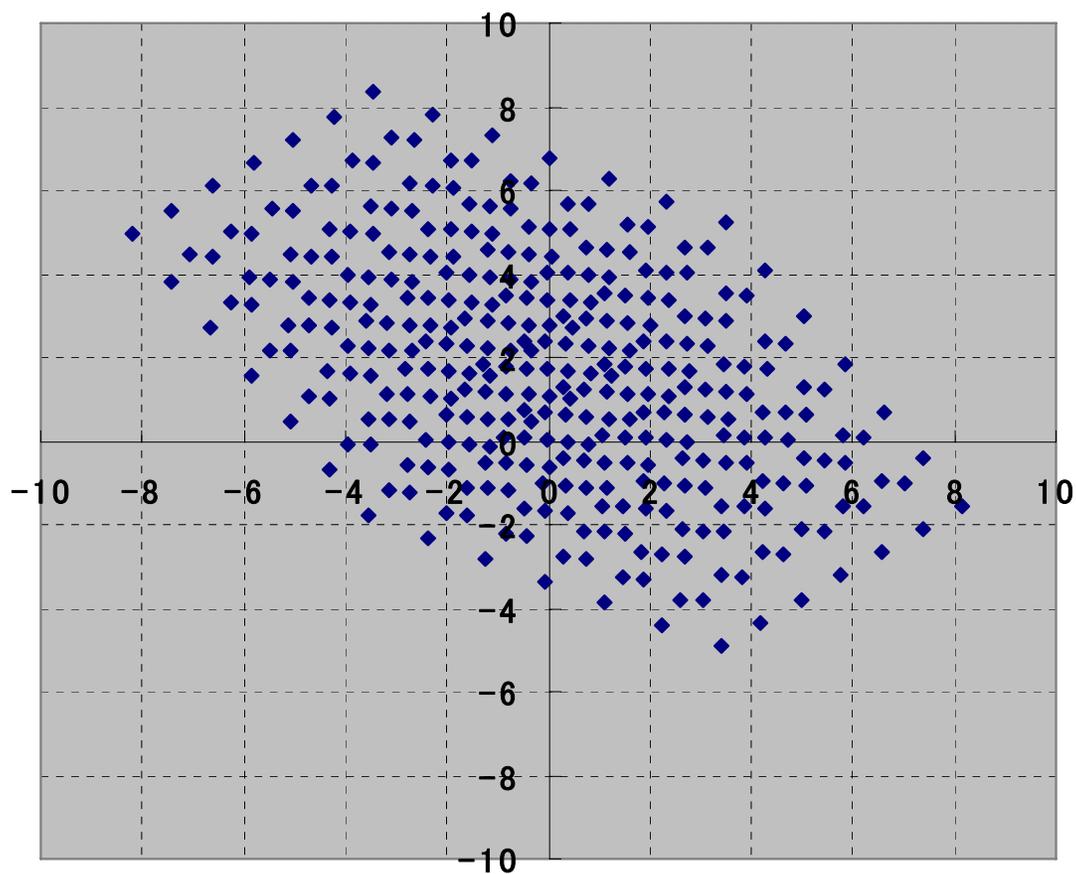
	候補が0個	候補が1つ にならず	誤った位置 にFIX	合計
scn1	0	17	2	19
scn2	0	9	4	13
scn3	13	14	26	53
scn4	49	0	47	96

候補が0個になった場合は、DGPSの測位誤差が大きかったため、最初のエポックで正しい解の候補を棄却してしまっている場合が多い。

FIXしなかった原因



実際の373個の候補(±3)の水平位置 (原点が真値)



まとめと今後

- DGPSの測位精度に応じたFIX率の違いを検証した。
- DGPS測位精度が良好でない場合に、EWLを用いて、アンビギュイティ決定が行いやすいことがわかった。
- 今まで確認していなかった、EWL→WLへの移行もわりとスムーズにいくことがわかった。
- アンビギュイティ決定方法をLAMBDA法等に変更して計算を行う。
- コード及び搬送波生成におけるパラメータ設定を、さらに変更した場合の性能について調査する。マルチパスも含む。