GPS観測＠草津白根

2003年8月26日

坪井裕樹・岡山悠子・岡田真介

「GPS」とは？

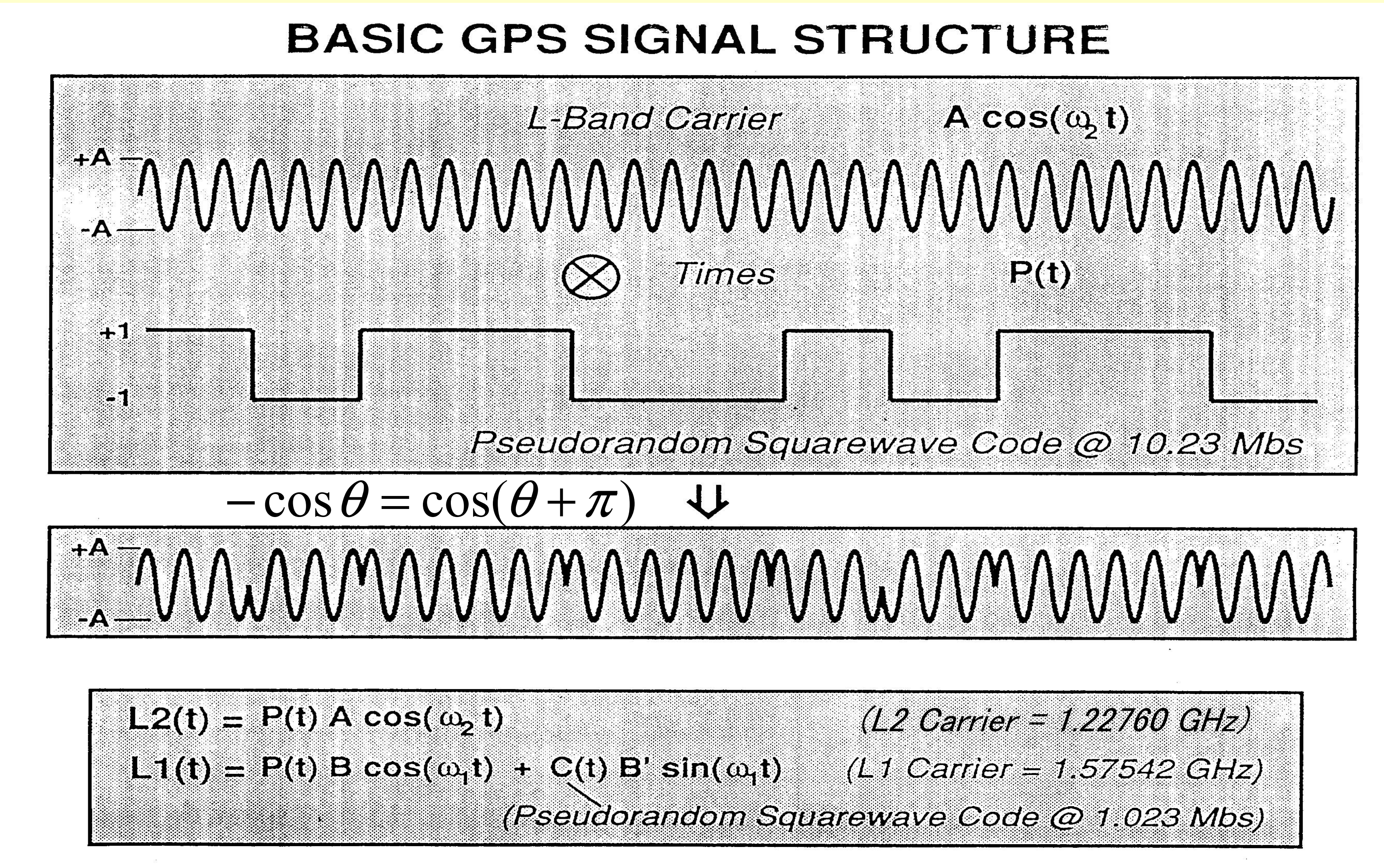
「Global Positioning System」

２４＋α個の衛星からの電波を地球上で受信し，受信地点の位置座標を精密に計測するシステム．

大きく分けて「単独測位」と「干渉測位」とがある．

電波を使うため，地表と周辺の空間では利用できるが，地中や水中では機能しない．

GPSの原理


BASIC GPS SIGNAL STRUCTURE
L-Band Carrier
A cos(ω2 t)
+A
-A
Times
P(t)
+1
-1
Pseudorandom Squarewave Code @ 10.23 Mbs
$-\cos\theta = \cos(\theta+\pi)$
+A
-A
L2(t) = P(t) A cos(ω2 t)
(L2 Carrier = 1.22760 GHz)
L1(t) = P(t) B cos(ω1t) + C(t) B' sin(ω1t)
(L1 Carrier = 1.57542 GHz)
(Pseudorandom Squarewave Code @ 1.023 Mbs)

GPSの測位方法－1

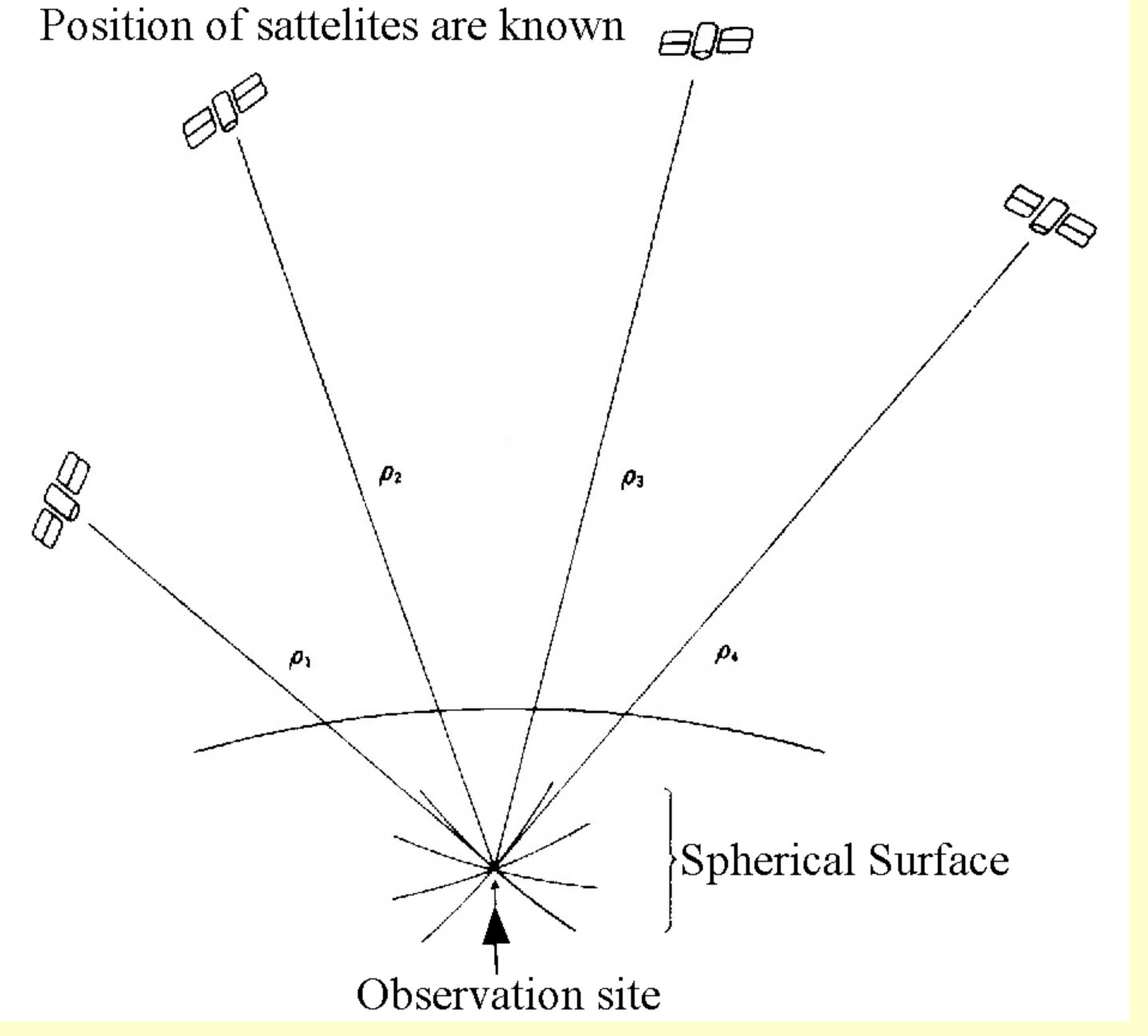
単独測位（一点測位）

衛星と利用者間の距離を測定することによって行う.

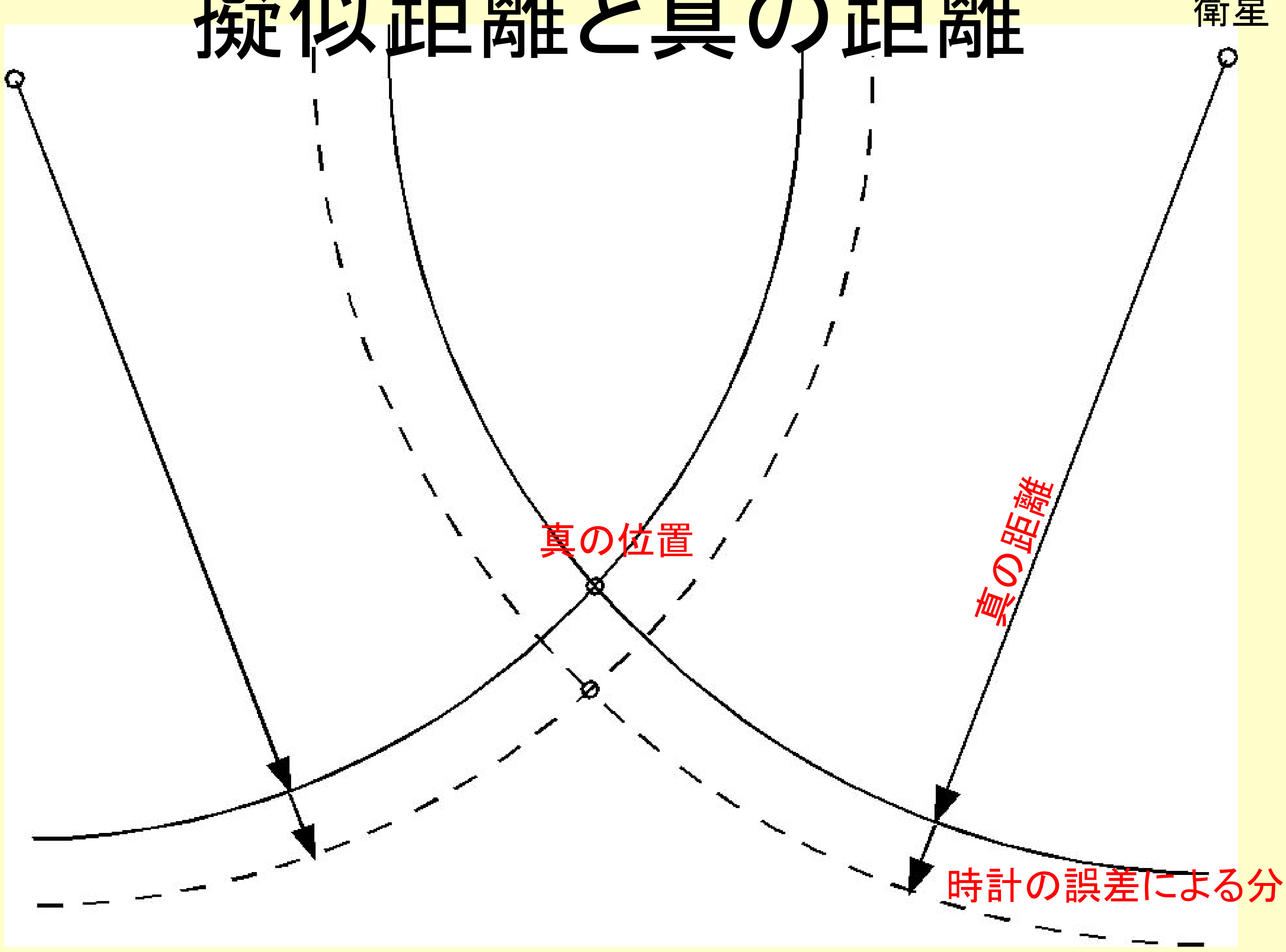
↓

「擬似距離」：真の距離に対して時計誤差も含めた上での距離

精度：数十m



擬似距離と真の距離



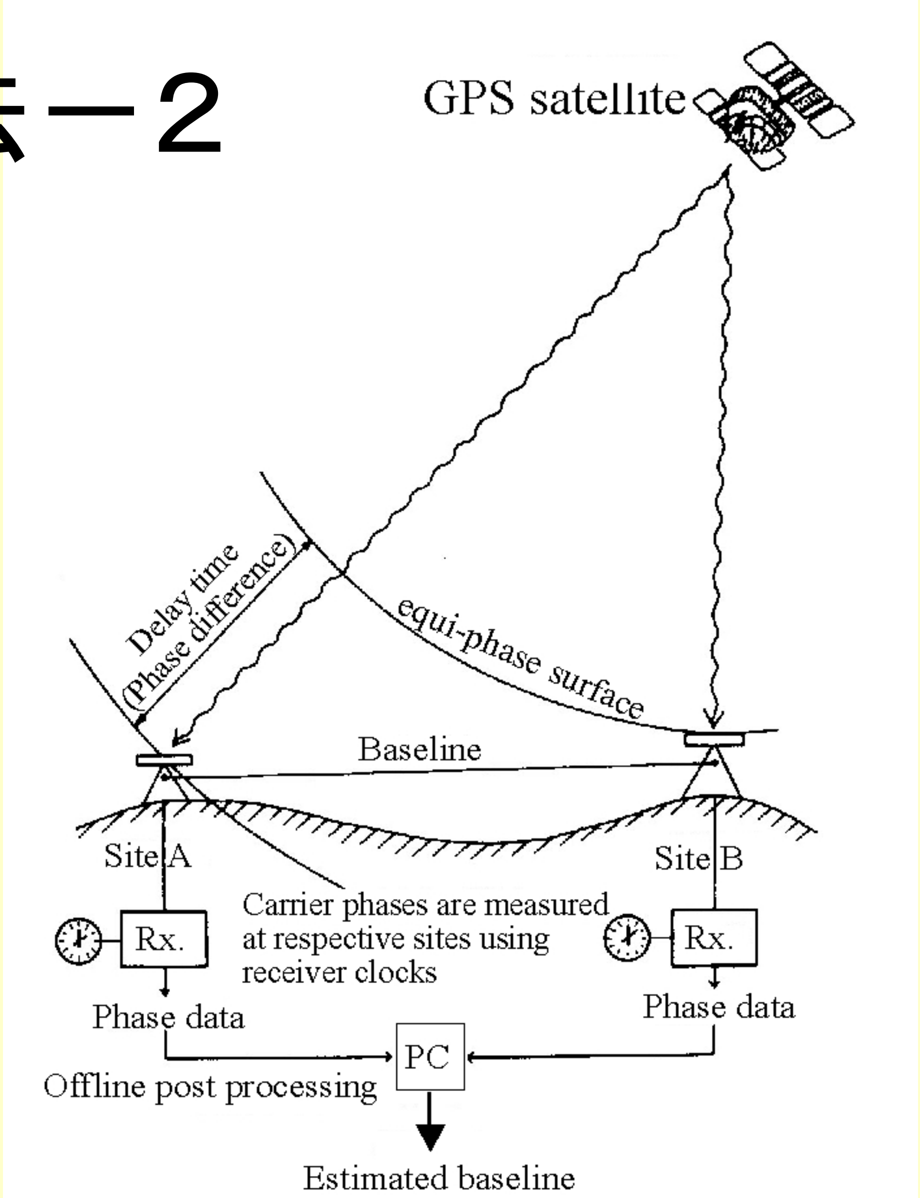
GPSの測位方法－２

<u>干渉測位（相対測位の一種）</u>

２点間の相対的な位置関係を求めること.

参照地点（基準地点）と未知空間の基線ベクトルを測定する技術.

単独測位よりも精度はかなり高い（IGS暦使用時で1~2cm）



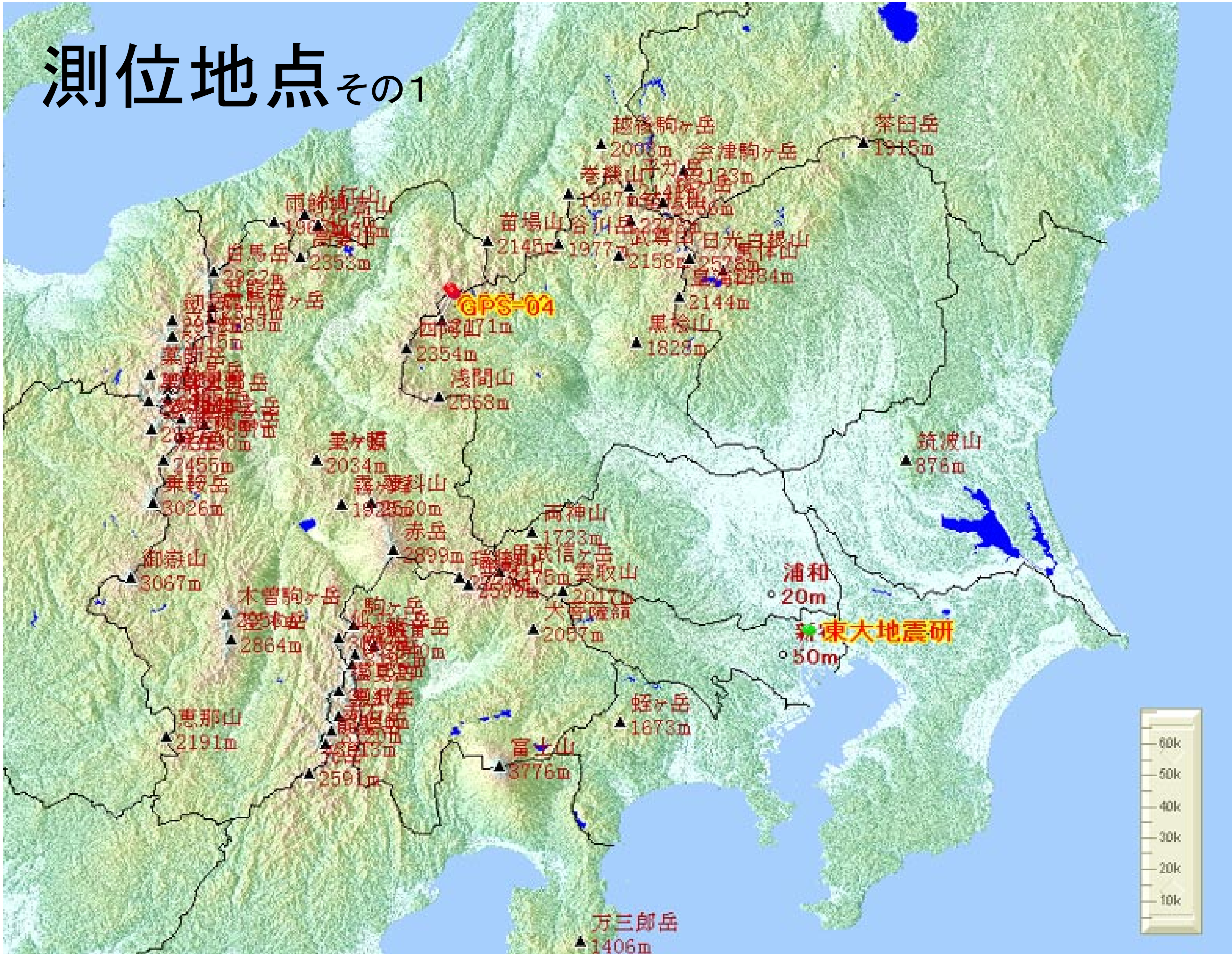
GPS実習の目的

- GPSの原理を理解する
- 単独測位と干渉測位の精度の差を確かめる
- 計測時間の長さと誤差の大きさの関係性を調べ，何分以上計測すれば精度のよいデータが得られるかを調べてみる
- ~~地殻変動をとらえる~~

今回の実習

単独測位と相対測位の2種類の方法で,
GPS-02とGPS-04の地点間の距離を求める.

測位地点その1


越後駒ヶ岳
茶臼岳
1915m
会津駒ヶ岳
苗場山
2145m
谷川岳
1977m
武尊山
2158m
日光白根山
2144m
黒檜山
1828m
GPS-04
2354m
浅間山
2568m
白馬岳
2353m
2034m
2455m
乗鞍岳
3026m
赤岳
2899m
両神山
1723m
甲武信ヶ岳
雲取山
2017m
2057m
御嶽山
3067m
木曽駒ヶ岳
2864m
駒ヶ岳
浦和
20m
東大地震研
50m
筑波山
876m
蛭ヶ岳
1673m
恵那山
2191m
2591m
富士山
3776m
万三郎岳
1406m
60k
50k
40k
30k
20k
10k

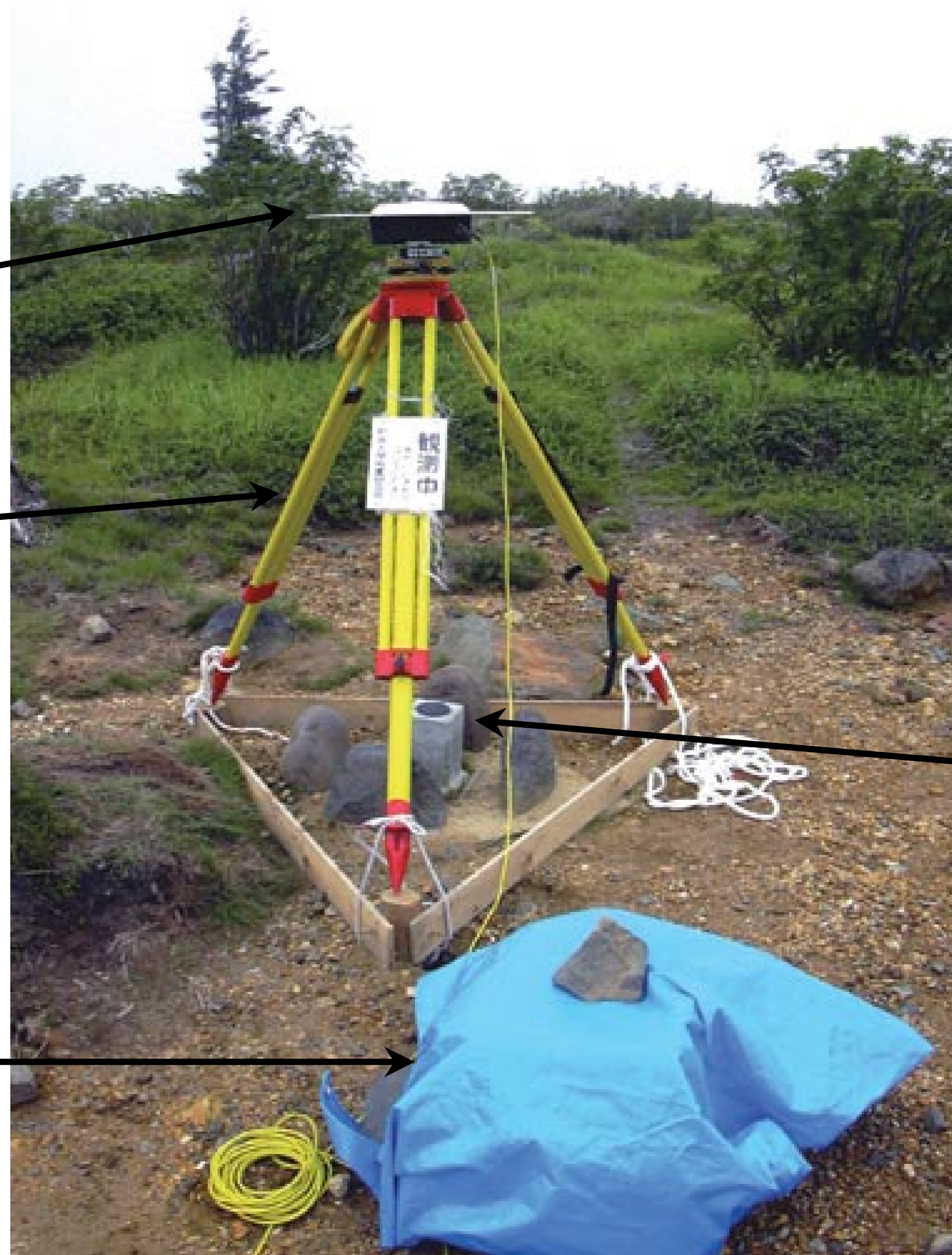
測位地点その2


2145m
1977m
武尊山
2158m
日光白根山
2578m
男体山
皇海山
2144m
GPS-02
GPS-04
2171m
四阿山
2354m
黒桧山
1828m
浅間山
2568m
2034m
876m
霧ヶ峰
1925m
蓼科山
2530m
両神山
1723m
赤岳
2899m
瑞牆山
甲武信ヶ岳
2475m
金峰山
2599m
雲取山
2017m
浦和
20m
駒ヶ岳
大菩薩嶺
2057m
観音岳
2840m
東大地震研
新宿
50m
3189m
塩見岳
3047m
悪沢岳
蛭ヶ岳
30k
25k
20k
15k
10k
5k

測位地点その3

GPS-02
GPS-04
高山村
白根山
芳ヶ平
芳ヶ平ヒュッテ
渋峠ヒュッテ
避難小屋
山田峠
万座山
万座温泉
スキー場
干俣
奥万座
湯釜
水釜
弓池
逢ノ峰
青葉山
白根火山ロープウェイ
小右衛門ノ滝
入道沢
殺生沢
万座川
松川
さんちょう
1816
2217
1832
2138
2160
1994.4
2109.9
2154
1714
1000
900
800
700
600
500
400
300
200
100

観測風景
@GPS-02



アンテナ

三脚

ベンチマーク

受信機

@GPS-04

測定時間

相対測位:

〈GPS-04〉 開始時刻 9:07

測定時間 4時間53分

〈GPS-02〉 開始時刻 11:58

測定時間 2時間2分

15秒おきに緯度･経度･高さなどを測定

14:00に２点同時に計測終了

単独測位:

12:16~12:26の間, 1分おきに2点同時計測

測定結果 — 単独測位

	GPS-02	誤差(cm)	GPS-04	誤差(cm)
緯度平均	36°39'06.378"N	20.806	36°38'16.992"N	12.997
経度平均	138°31'35.048"E	10.473	138°31'54.936"E	12.828
高さ平均	2095.7m	31.269	2064.7m	54.732

⇒平面距離：1600.4591 m，誤差：22.600 cm

立体距離：1600.7593 m，誤差：72.232 cm

測定結果 ― 相対測位１

time (minutes)	N(m)	誤差(㎜)	E(m)	誤差(㎜)	二乗和の平方根	H(m)	誤差(㎜)
4	−1523.241	1.5	494.469	0.7	1.655	−30.330	2.6
6	−1523.242	1.3	494.471	0.6	1.432	−30.354	2.4
8	−1523.241	1.2	494.471	0.6	1.342	−30.331	2.3
12	−1523.241	0.9	494.471	0.4	0.985	−30.358	1.8
15	−1523.240	1.1	494.472	0.6	1.253	−30.334	2.1
30	−1523.235	0.7	494.473	0.4	0.806	−30.337	1.4
45	−1523.234	0.5	494.472	0.3	0.583	−30.362	1.2
60	−1523.231	0.4	494.472	0.3	0.500	−30.336	1.0
75	−1523.230	0.4	494.471	0.3	0.500	−30.362	0.9
90	−1523.229	0.3	494.471	0.2	0.361	−30.337	0.8
105	−1523.229	0.2	494.471	0.2	0.283	−30.361	0.7
120	−1523.229	0.2	494.471	0.2	0.283	−30.336	0.7

測定結果 — 相対測位２

<u>120分間計測した結果</u>

平面距離：1601.47687 m，誤差：0.283 mm

立体距離：1601.76416 m，誤差：0.755 mm

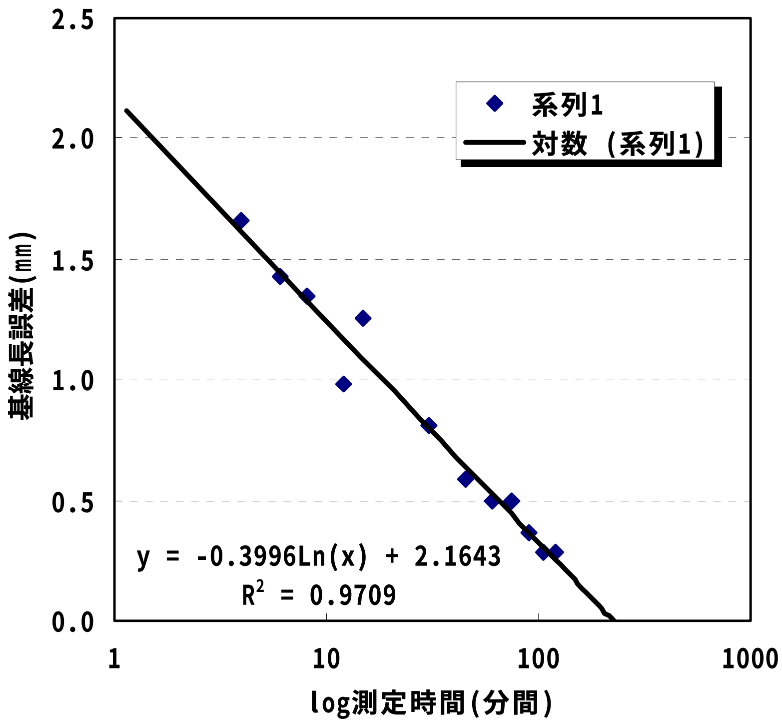
<u>10分間計測した結果（単独測位と比較）</u>

平面距離：1601.48255 m，誤差：1.304 mm

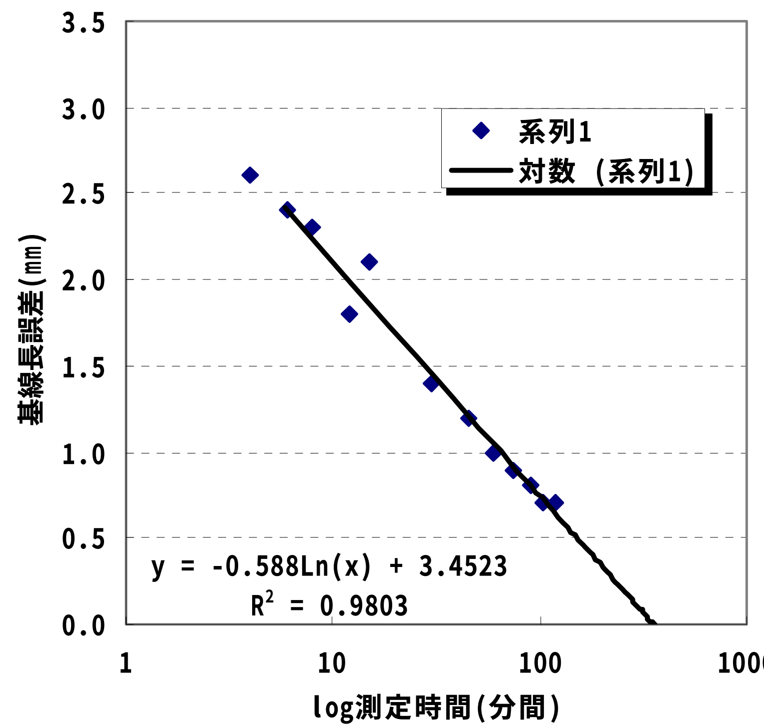
立体距離：1601.77037 m，誤差：2.472 mm

相対測位の基線長誤差

平面誤差



立体誤差



平面，立体とも時間の対数と基線長誤差の関係は直線にのっている

結果と考察（1）

＜単独測位と相対測位の比較＞

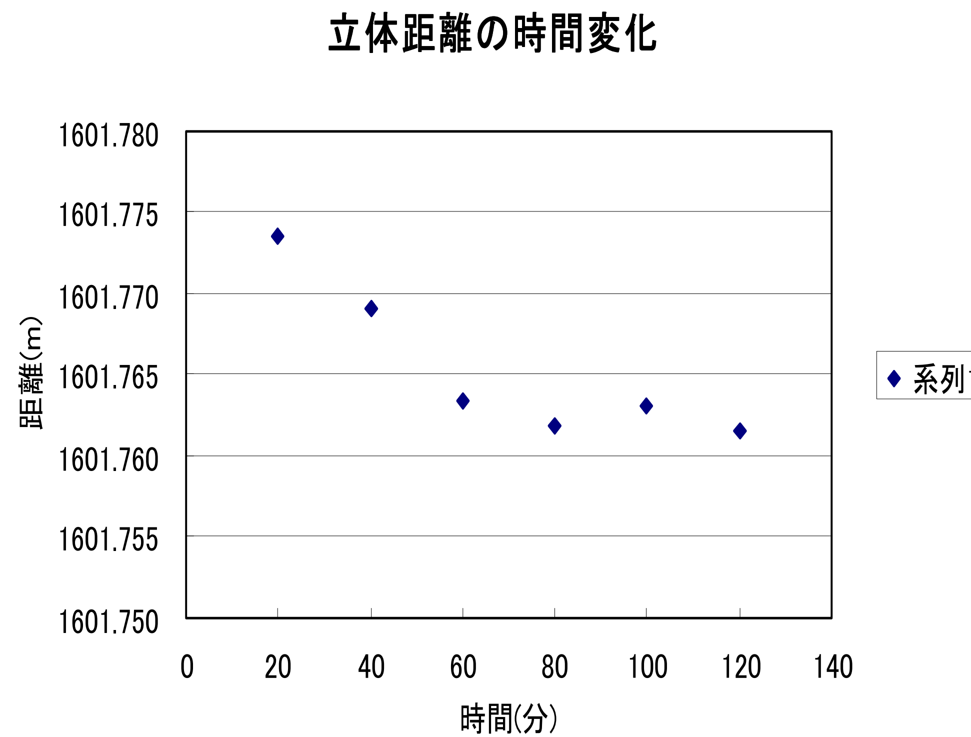
- 1.6 km程度の計測距離では約1mの差がある.
  ⇒精度の差（1m vs. 数cm）に近い.
- 誤差が2，３桁違う.

結果と考察(2)

相対測位における計測距離の時間変化

↓

計測距離は時刻に対して減少傾向にある



結果と考察(3)

＜誤差について＞

- 高さの精度が悪いため，立体誤差は平面誤差より大きい.
- 相対測位において，計測時間の対数と誤差が比例して減少する.
- 地殻変動に応用するために要求される0.1mm以下の誤差内のデータを得るには，平面誤差で約175分，立体誤差で約300分の計測時間を要すると考えられる.

まとめ

GPS観測には少なくとも2種類あり，今回はそれらを用いて計測および解析をおこなった．

解析結果から特に精度の差に注目してそれを検討し，２点間の距離を求めた．

↓

単独測位は相対測位に比べて，簡単で手軽だが，約1.6kmに対して1mの距離差があることが確認できた．

GPS衛星からの信号の構造

$$S_{L1}(t) = A_p P(t) D(t) \cos \omega_{L1} t + A_c C(t) D(t) \sin \omega_{L1} t$$

$$S_{L2}(t) = A_p P(t) D(t) \cos \omega_{L2} t$$

$S_{L1}(t)$	:L1 の信号波形
$S_{L2}(t)$	:L2 の信号波形
A_p, A_c	:Pコード と C/Aコードの振幅
$P(t)$	:Pコード (10.23Mbps)
$C(t)$	:C/Aコード (1.023Mbps)
$D(t)$	: 航法メッセージ (50bps)
ω_{L1}, ω_{L2}	:L1, L2の角周波数

信号の検出方法

- 衛星からの信号$S(t)=G(t)\sin\omega t$, 但し $G(t)$ は +1 か -1
- $S(t-\tau)=G(t-\tau)\sin\omega(t-\tau)$

  受信機の時計で時刻 t に計測した信号は衛星から τ 秒前に射出した信号である.
- $S'(t)=G'(t)\sin\omega t$

  受信機の中で 同じ信号を作成する
- $S(t-\tau)S'(t)=\underline{G(t-\tau)G'(t)\sin\omega(t-\tau)\sin\omega t}$

  $S(t-\tau)$と$S'(t)$をかけあわせる. そして受信機の時計を少し(ε)ずらす.

- $S(t-\tau)S'(t-\varepsilon)=G(t-\tau)G'(t-\varepsilon)\sin\omega(t-\tau)\sin\omega(t-\varepsilon)$
- もし $\tau=\varepsilon$ならば$G(t-\tau)^2\equiv 1$となって信号は単純な形となる.
- すなわち衛星ー受信点の信号の伝播時間 τを知ることができる(＝受信機の時計を衛星の時計に同期することができる).
- $\underline{c\,\tau=\rho}$ $\underline{:\text{擬似距離}}$ (受信機の時計は誤差を持っているため)

単独測位の計算方法

$$\rho_i^j = \sqrt{(x_i - x^j)^2 + (y_i - y^j)^2 + (z_i - z^j)^2} + c\Delta t_i$$

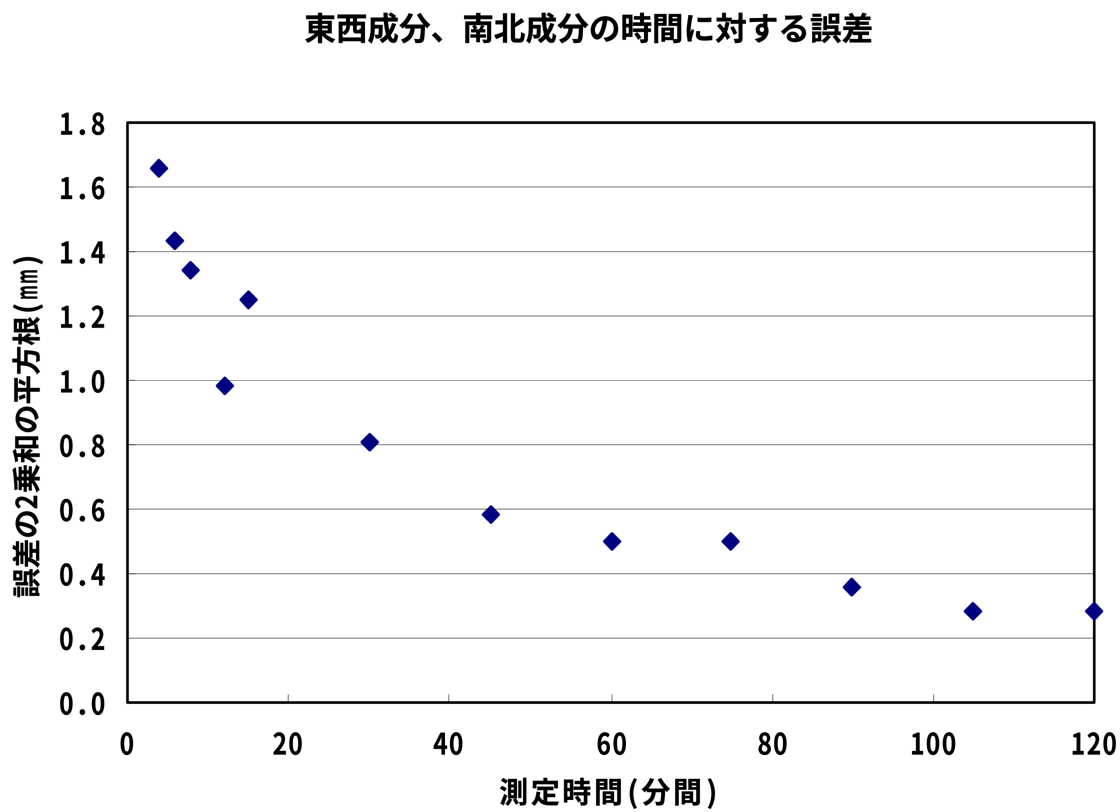
・擬似距離は衛星ー受信点間の距離と受信機時計の誤差による項の和である.

・従って，少なくとも4つの衛星からの擬似距離を取得することにより受信点の座標(x_i, y_i, z_i) と時計の誤差 Δt_i*を算出することができる.*

（但し，衛星の位置は航法メッセージにより既知）

・コード（C/Aのチップレート～300m）を使うことから数m程度の精度が得られる.

東西成分，南北成分の時間に対する誤差



高さにおける時間に対する誤差