

GPS Group (Kazama , Suzuki , Takahashi , Yamazaki ) Tokyo University

# GPS観測 @草津白根

2005年9月9日

風間卓仁・鈴木秀彦・高橋昇吾・山崎優

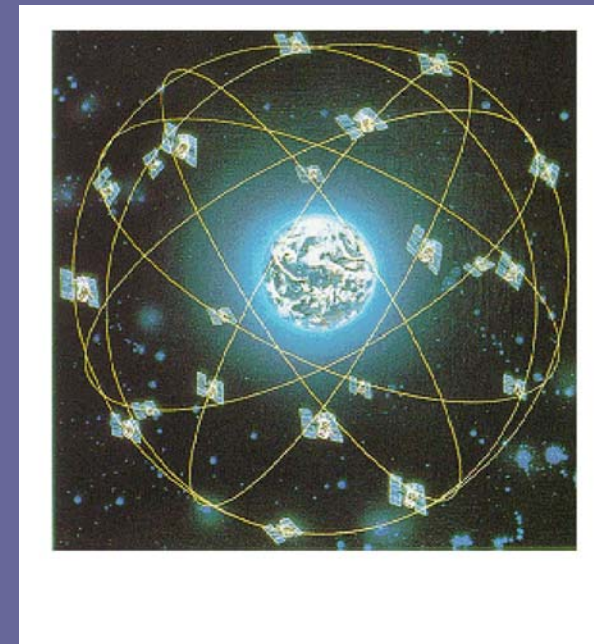
September 9th 2005

# GPSって何？

---

**Global Positioning System** の略

24個 +  $\alpha$  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「相対測位」とがある。  
電波を使うため地表と周辺的空間では利用できるが、  
地中や水中では機能しない。

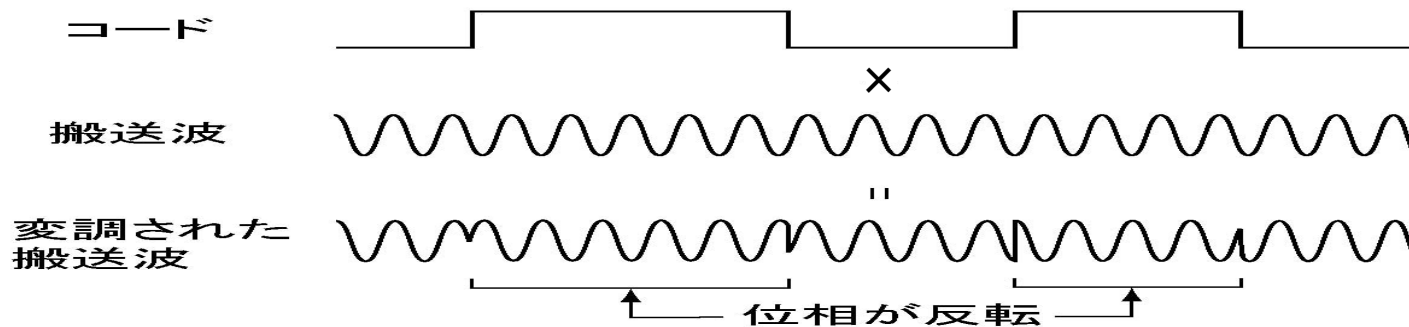


# GPSの信号構造

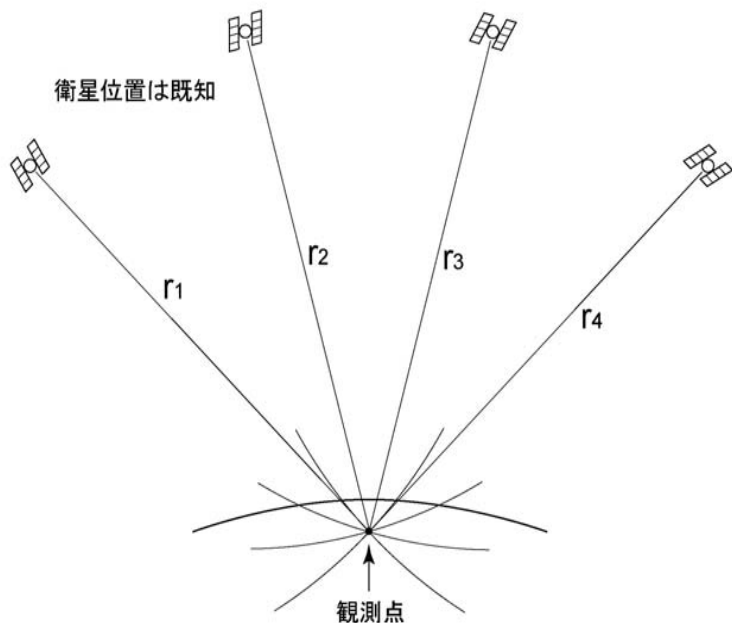
擬似乱数列のコードパターンを繰り返す



|        | 最小単位        | チップレート    | コード長 |
|--------|-------------|-----------|------|
| C/Aコード | 1 $\mu$ s   | 1.023Mbps | 1ms  |
| Pコード   | 0.1 $\mu$ s | 10.23Mbps | 1週間  |



# 単独測位



衛星を中心に擬似距離を半径とする球面を描く。4つの球面が1点で交わるように、受信機内の時計を調整する

3次元の位置座標と受信機時計の誤差のため、同時に4個以上の衛星からの距離が必要



擬似距離の利用

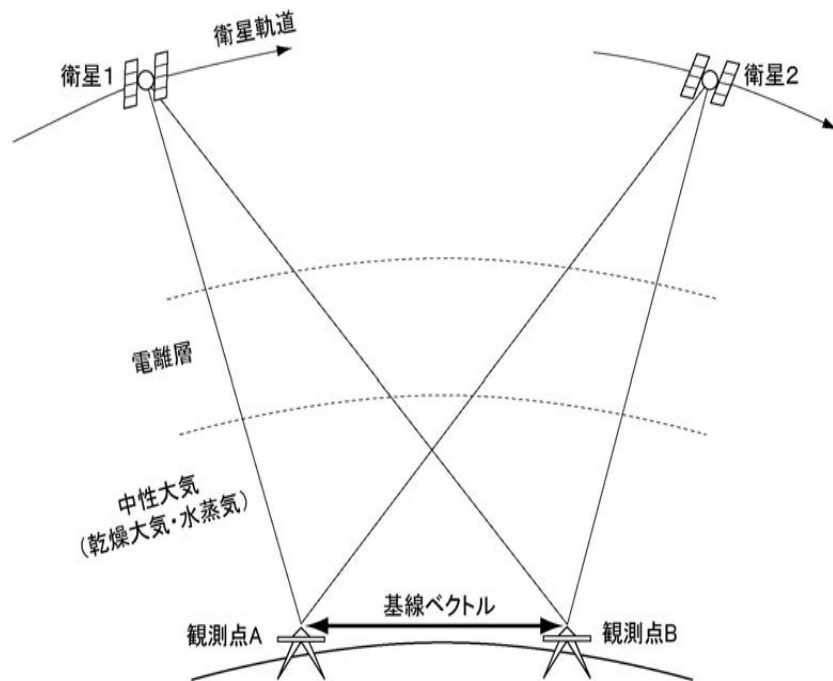
擬似距離: 真の距離に対して、時計誤差も含めた上での距離

$$r_i = \sqrt{(x - X_i)^2 + (y - Y_i)^2 + (z - Z_i)^2} + s$$

精度: 数10~10 m

車両, 船舶, 航空機などの航法支援には十分だが, 一般に地殻変動観測の手法としては精度不足

# 干渉測位(相対測位)



2つの衛星と観測点の間で二重の位相差を作成すると、時計誤差は完全に、衛星軌道のずれと経路上での電波伝播遅延はほとんどが相殺される。

- ・2点間の相対的な位置関係を求めること
- ・基準地点と未知空間の基線ベクトルを測定する技術
- ・単独測位より精度がかなり高い (精度: 数cm)

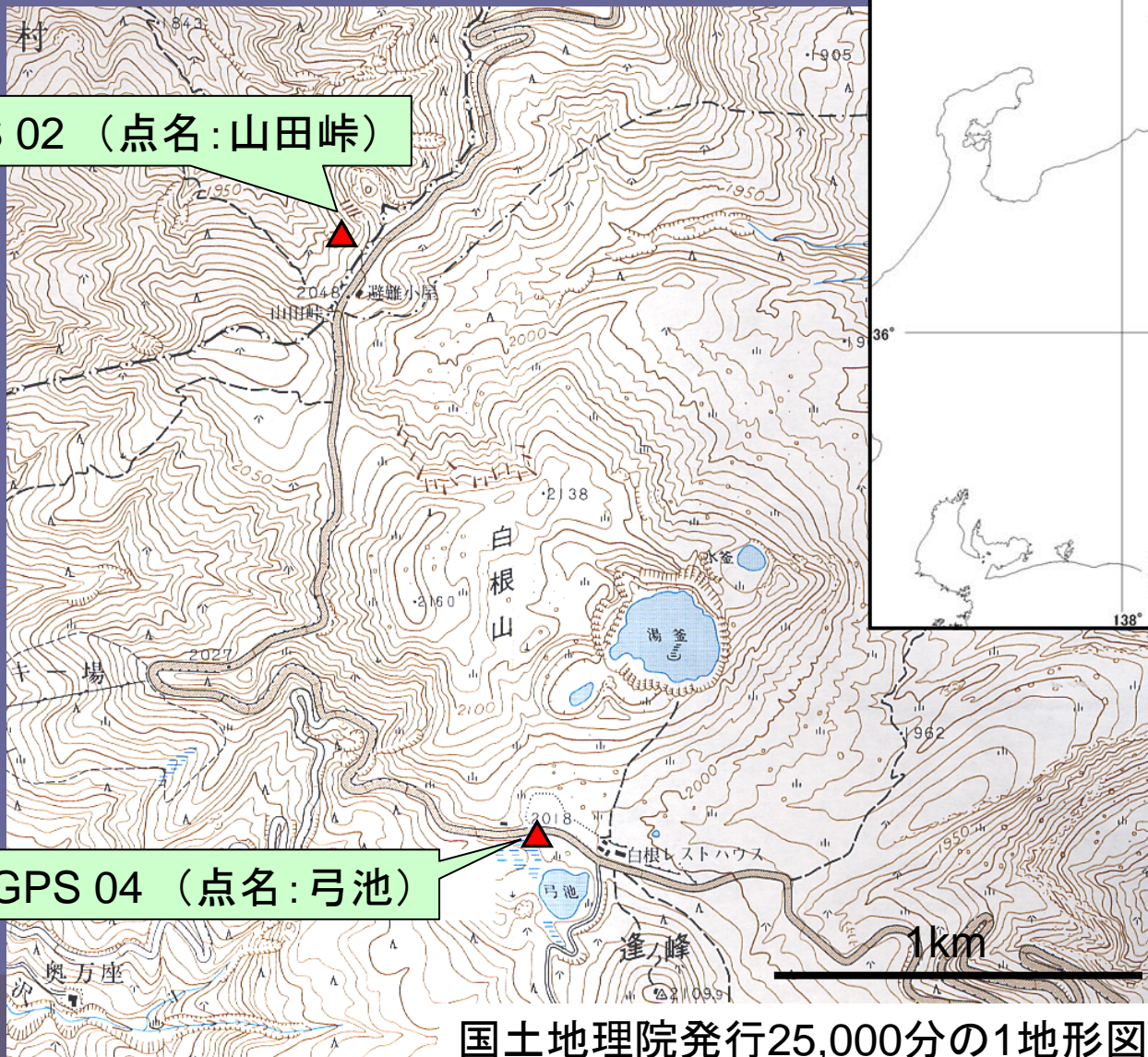
# GPS実習の目的

---

- ・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る
- ・過去のデータとの比較から、最近2年間の地殻変動を調べる

# 観測点の紹介

GPS 02 (点名:山田峠)



GPS 04 (点名:弓池)



国土地理院発行25,000分の1地形図「上野草津」より引用

# 観測機材一式

アンテナ

受信機



アンテナの中心をぴったりとベンチマークの中心に揃えなければならない。

→風が強くてかなり難航

三脚



ベンチマーク



あとは受信機を設定して作動させるのみ！！！！



## ところが・・・



持参した4個のバッテリーがいずれも不良(規定の電圧が出ない)で, 受信機が動作せず.



新品のバッテリーを急遽購入

←東京へ緊急電話の図

バッテリー調達の間は, 電磁気, 構造探査班に飛び入り参加.

両グループの皆様, お世話になりました.  
m(\_ \_)m

構造探査班の元で掛け矢を振るわせてもらおう



新品バッテリー到着 → 改めて受信機を設定 → 観測開始



観測開始時刻 (GPS 02)

3:33 (国際標準時)

12:33 (日本時間)

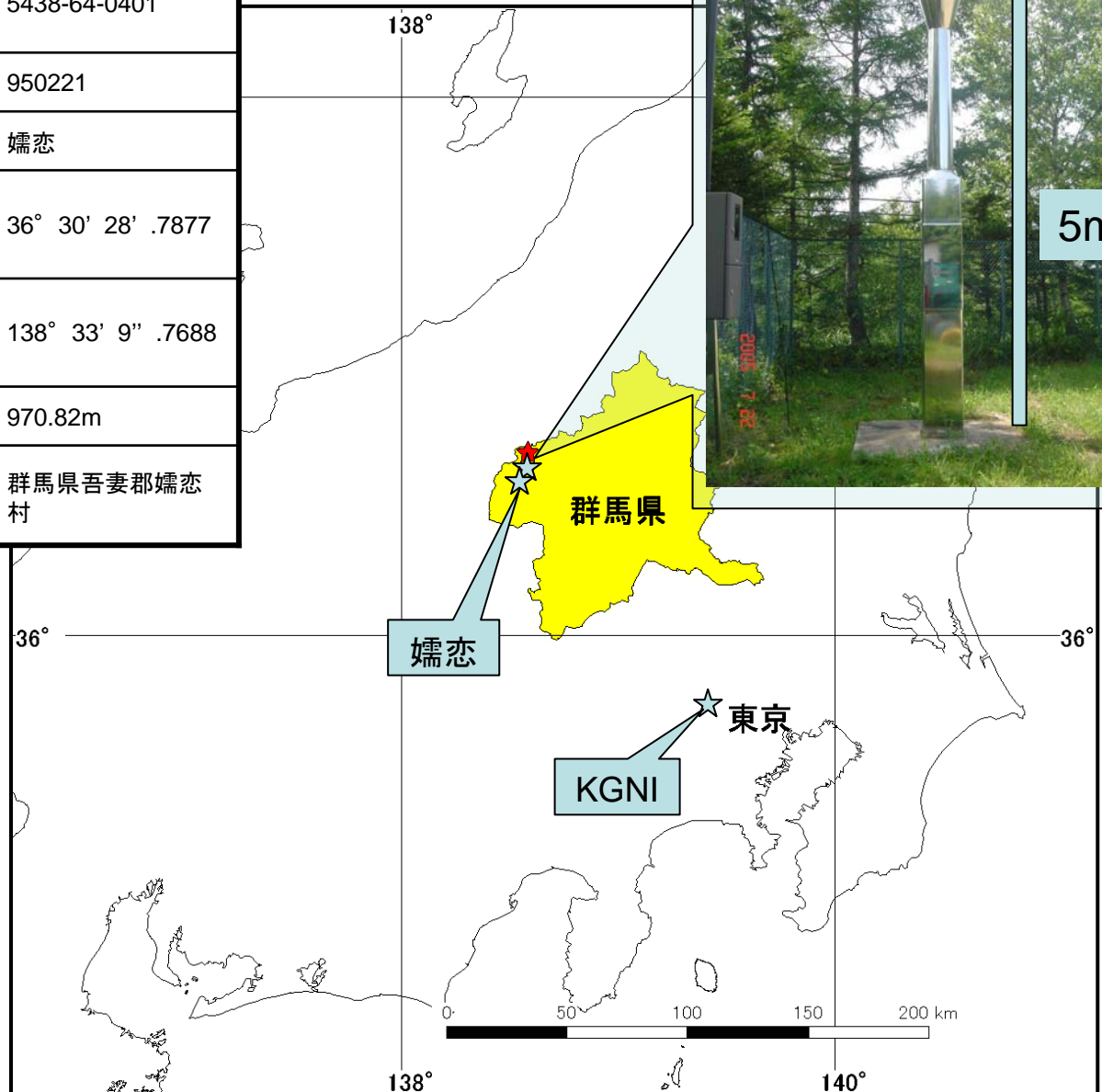
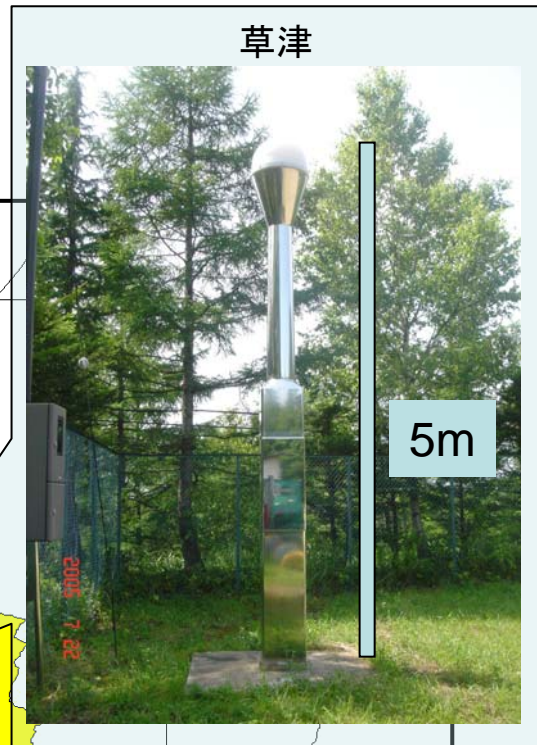
## 観測条件・解析について

- 観測日           2005年7月21日(木)
- 観測点           GPS02 (12時33分から3時間57分観測)  
                      GPS04 (13時14分から3時間16分観測)
- 観測周期        30秒間隔
- 解析ソフト      GIPSY, BERNESE

国土地理院電子基準点(草津, 孺恋)およびIGSの観測点(**KGNI**)のデータを解析に利用

# 基準点について

|            |                    |                   |
|------------|--------------------|-------------------|
| 基準点コード     | 5438-74-3701       | 5438-64-0401      |
| 局番号        | 960591             | 950221            |
| 点名         | 草津                 | 孺恋                |
| 緯度<br>(北緯) | 36° 36' 58" .7475  | 36° 30' 28" .7877 |
| 経度<br>(東経) | 138° 35' 29" .2039 | 138° 33' 9" .7688 |
| 標高         | 1233.88m           | 970.82m           |
| 行政名        | 群馬県吾妻郡草津町          | 群馬県吾妻郡孺恋村         |



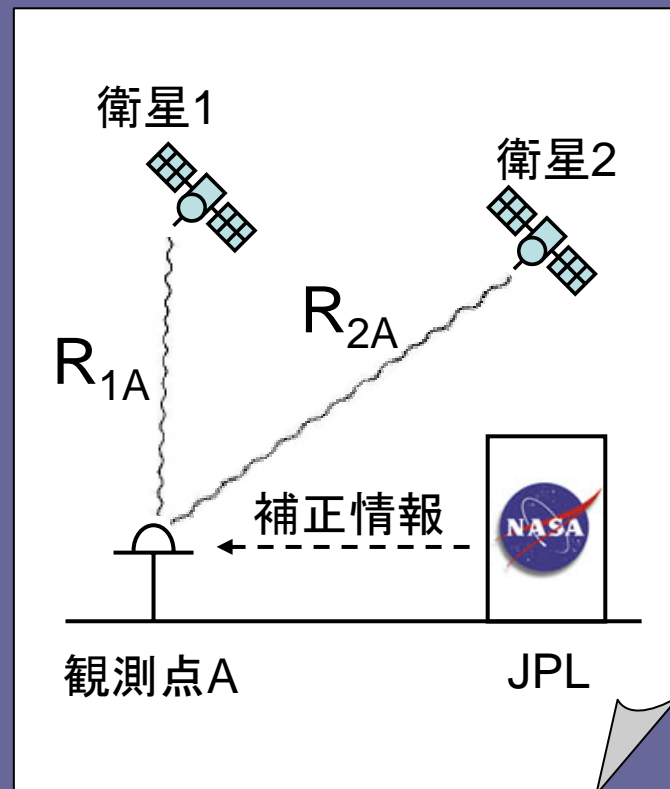
国土地理院公表分から一部抜粋

|            |                  |
|------------|------------------|
| 点名         | KGNI             |
| 緯度<br>(北緯) | 35° 42' 37" .08  |
| 経度<br>(東経) | 139° 29' 17" .16 |
| 標高         | 85.3m            |
| 行政名        | 東京都小金井市          |

IGS公表分より一部抜粋

# データ解析① 精密単独測位

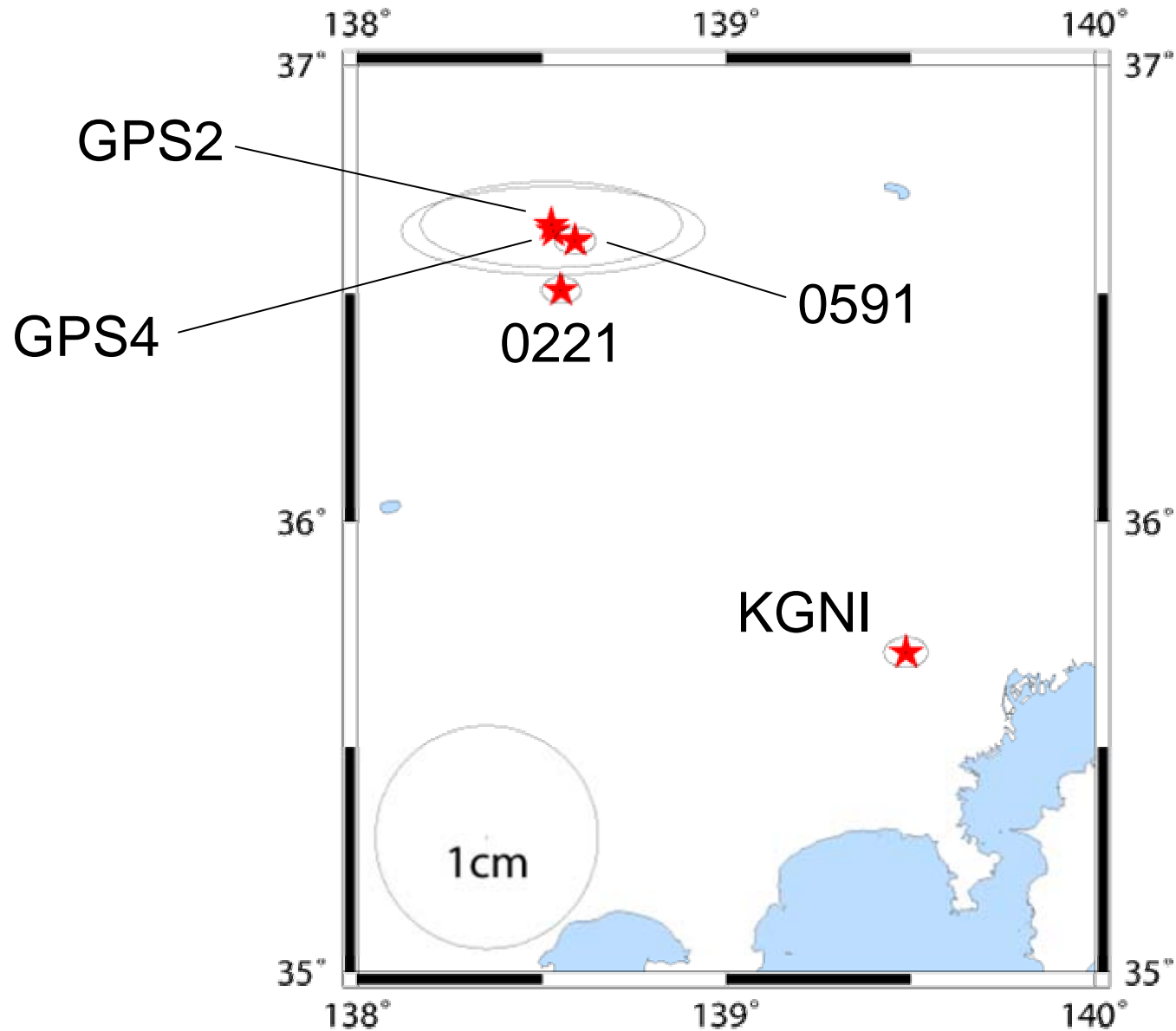
- GIPSY (©NASA/JPL)
  - 衛星時計の誤差  
→JPLの補正情報で消去
  - 受信点の位置  
大気遅延量  
観測点の時計誤差
  - カルマン・フィルター
- を計算



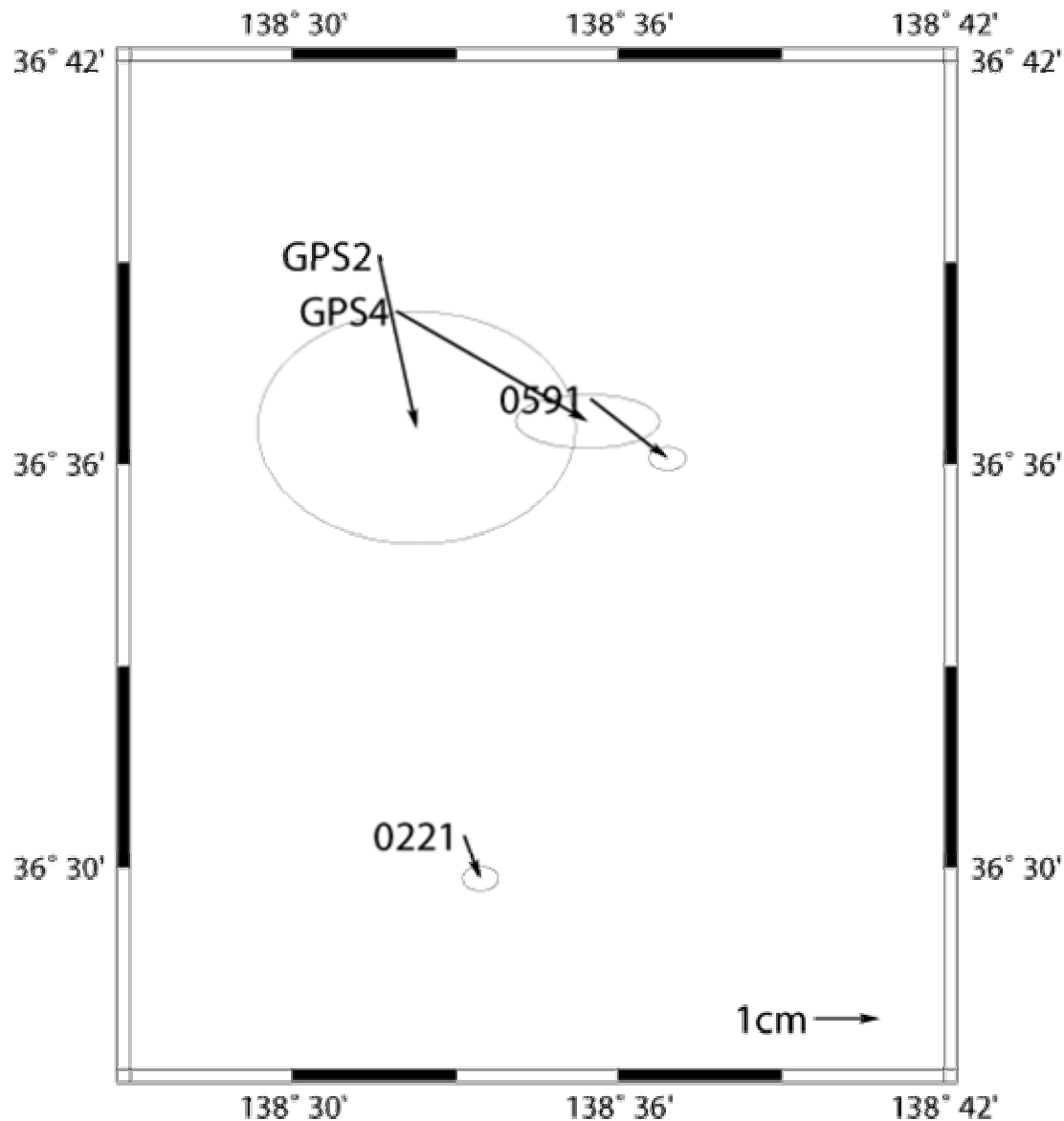
# 精密单独測位 結果

|      | GPS2              | 誤差(m)   | GPS4              | 誤差(m)   |
|------|-------------------|---------|-------------------|---------|
| 緯度   | 36° 39'06.28022"  | 0.0038m | 36° 38'16.88182"  | 0.0040m |
| 経度   | 138° 31'35.00489" | 0.0117m | 138° 31'54.90381" | 0.0136m |
| 楕円体高 | 2096.8788m        | 0.0119m | 2066.5448m        | 0.0109m |

# 精密单独测位 结果



# 精密単独測位 相対変位



小金井基準  
2年間での相対変位



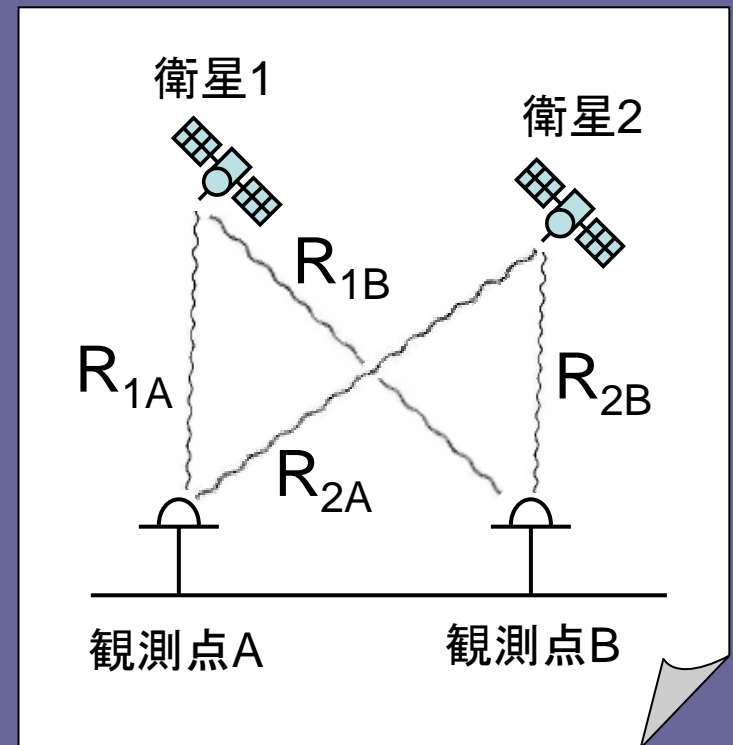
# データ解析② 相対測位

- BERNESE (©University of Bern)

- Double Difference

→衛星・観測点の  
時計誤差を消去

- 受信点の位置 } を計算
- 大気遅延量 }
- 最小二乗法 }

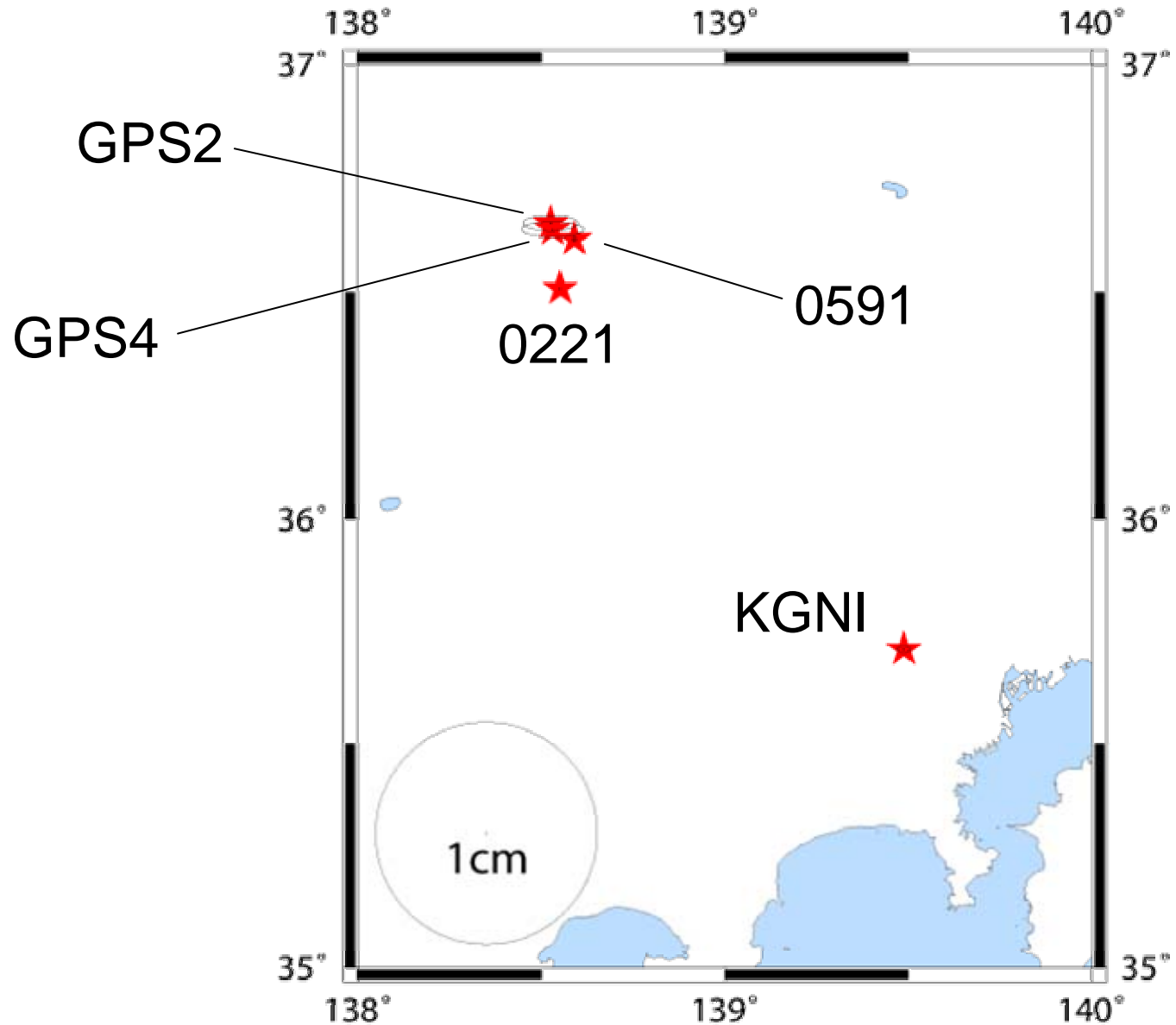


# 相対測位 結果

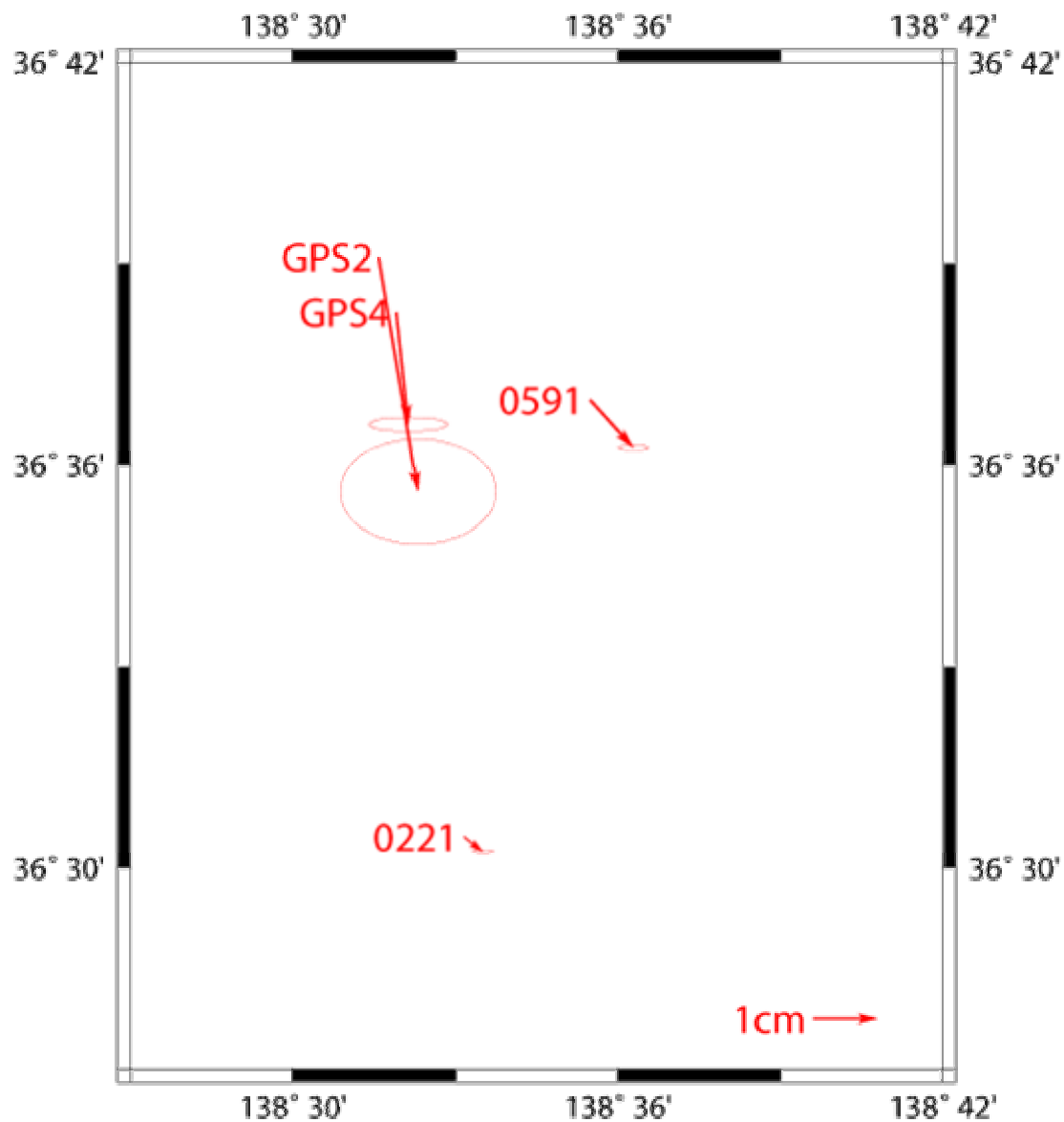
|      | GPS2                            | 誤差(m)   | GPS4                            | 誤差(m)   |
|------|---------------------------------|---------|---------------------------------|---------|
| 緯度   | 36° 39'06.279 <sup>97</sup> ''  | 0.0025m | 36° 38'16.881 <sup>58</sup> ''  | 0.0028m |
| 経度   | 138° 31'35.005 <sup>32</sup> '' | 0.0007m | 138° 31'54.903 <sup>66</sup> '' | 0.0007m |
| 楕円体高 | 2096.88 <sup>12</sup> m         | 0.0034m | 2066.53 <sup>79</sup> m         | 0.0033m |

GIPSYの解と(数mm以内の差で)同様の解を得ることができた!

# 相对测位 结果

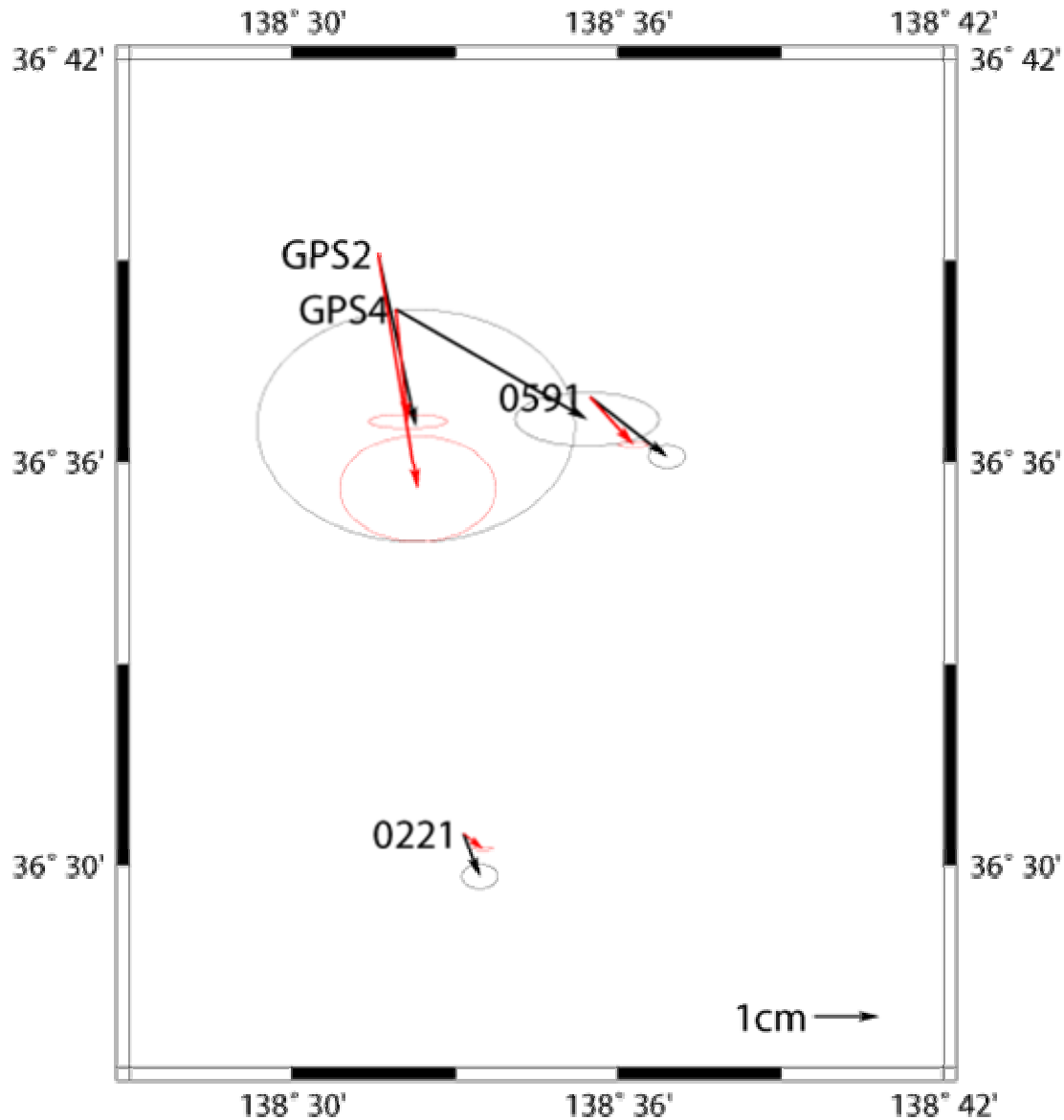


# 相对測位 相对変位



小金井基準  
2年間での相对変位

# 2結果の比較



- GIPSY  
(精密単独測位)
- BERNESE  
(相対測位)

# 考察・国土地理院のデータとの比較①

— 1cm

**Kusatsu (GPS 0591)**

**Tsumagoi (GPS 0221)**

Koganei

国土地理院データ

\* 始点のデータ

2004/07/29-2004/08/12

\* 終点のデータ

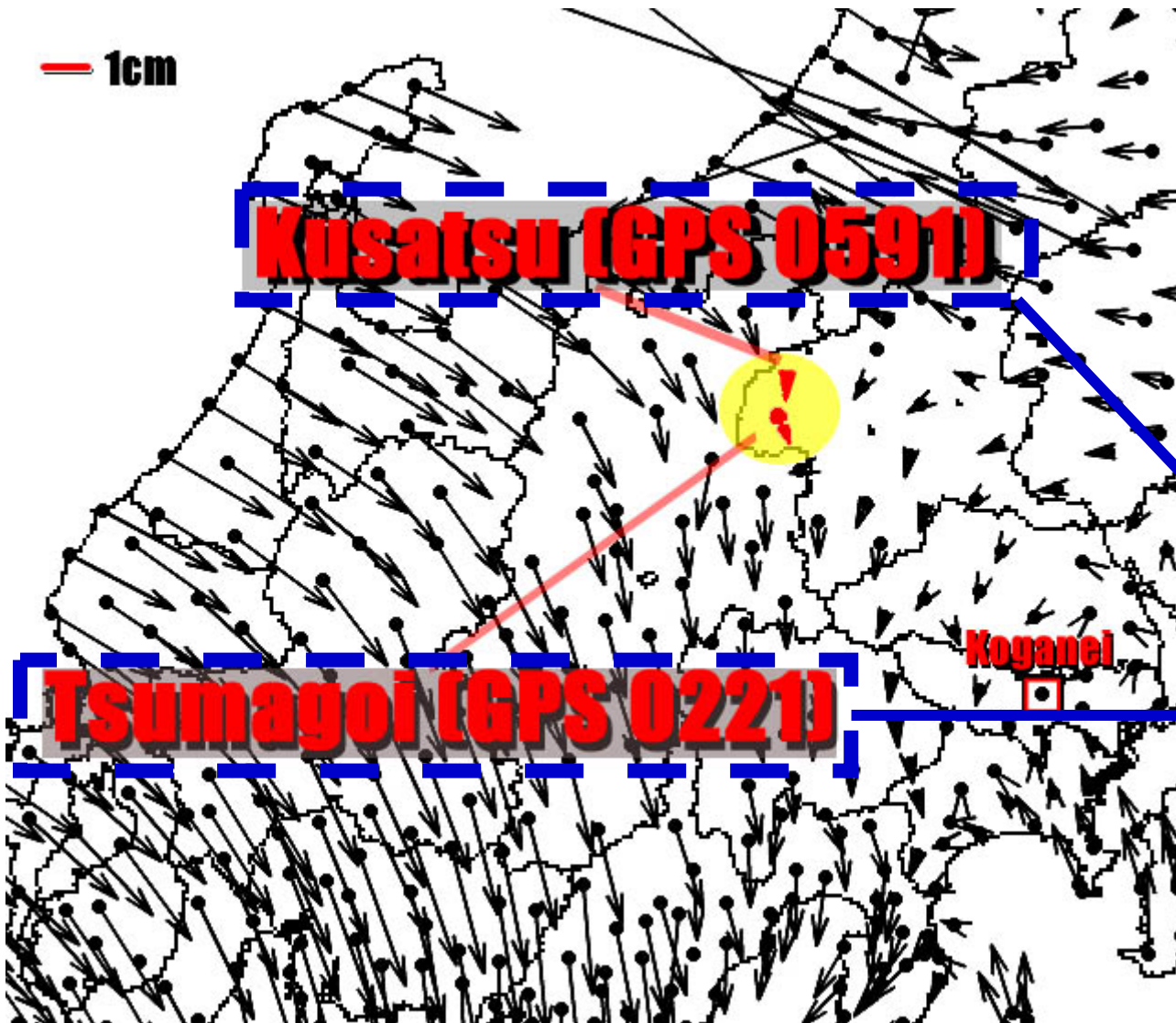
2005/07/30-2005/08/13

のものをプロット。

やや西の成分を  
含む南方移動

南東方向へ移動

\* GPS小金井固定点を  
基準点とした相対変位



## 考察・国土地理院のデータとの比較②

**南への移動** ……GIPSY、BERNESE解析ともに示した傾向  
国土地理院データとの比較にも整合がある。

**東への移動** ……GIPSY、BERNESE解析ともに示した傾向  
国土地理院データでは西への移動となっている。

### 考察・国土地理院のデータとの比較③

ベクトル始点: 2003/12/17-2003/12/31

ベクトル始点: 2004/07/29-2004/08/12

～ 終点: 2004/12/17-2004/12/31

～ 終点: 2005/07/30-2005/08/13



2年分のデータを見積もっても東方向への移動はない

上段が草津基準点 下段が孺恋基準点



## 誤差について①

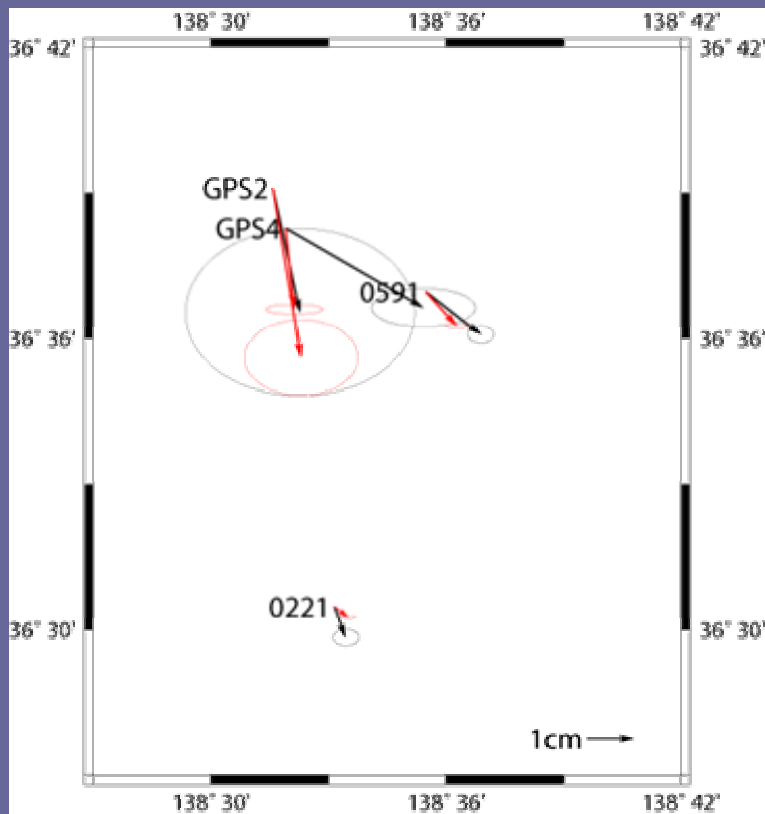
| 観測点  | 解析手法    | 東方向変位 (m)          | 誤差               |
|------|---------|--------------------|------------------|
| GPS2 | GIPSY   | <b>0.005803476</b> | <b>±0.016152</b> |
|      | BERNESE | <b>0.006032101</b> | <b>±0.007938</b> |
| GPS4 | GIPSY   | <b>0.029339413</b> | <b>±0.007301</b> |
|      | BERNESE | <b>0.001840535</b> | <b>±0.003968</b> |

\* 誤差のほうが変位よりも大きい場合が目立ち東方向の変位値はあまり信頼できない

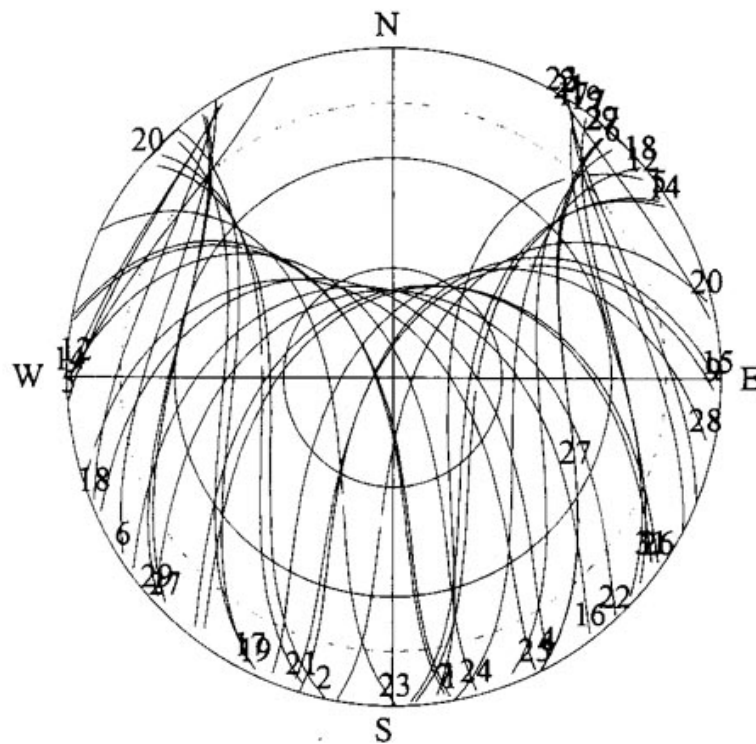
\* 相対変位を出す前の段階で 測定された位置 (XYZ) の誤差が大きいと、その誤差程度以下の変位は捉えられない。

\* BERNESE解析のほうがGIPSY解析よりも誤差が小さい

## 誤差について②



相対変位において誤差を示す円はいずれも東西方向に長辺をもつ楕円である。

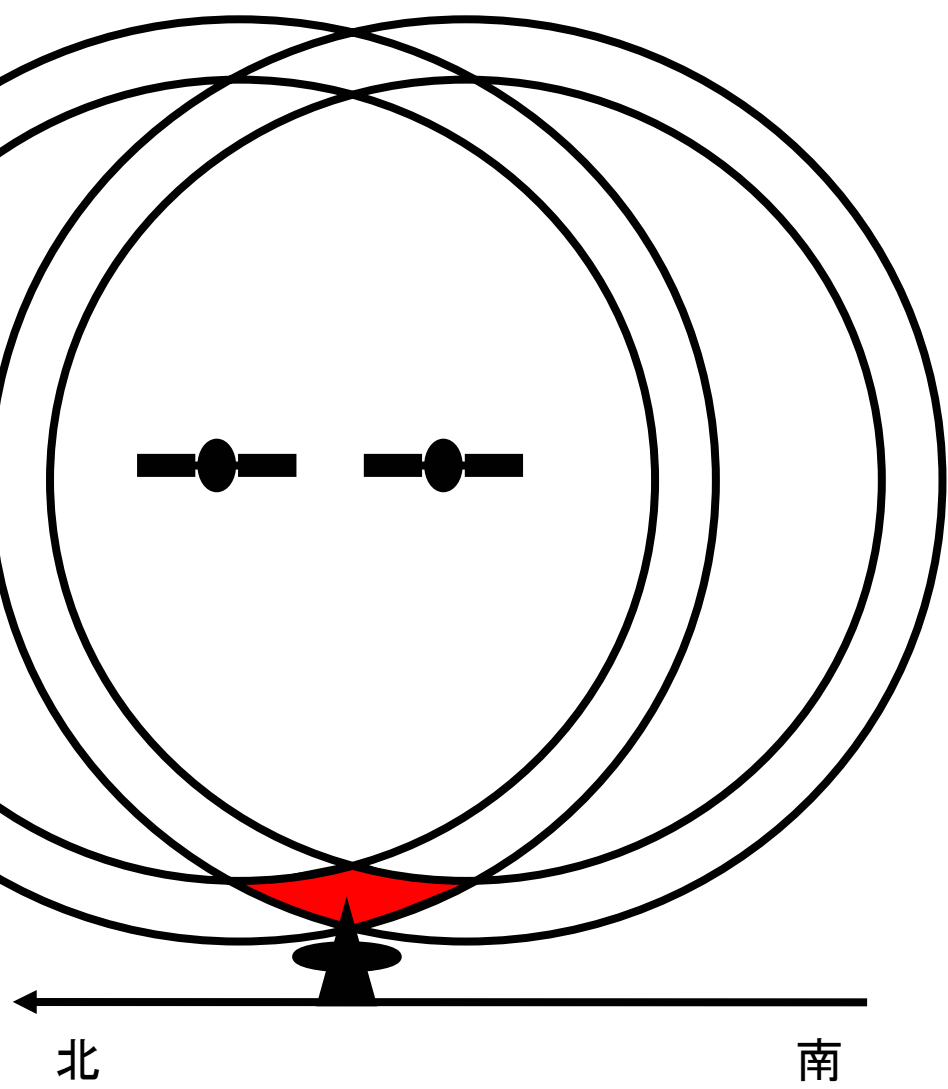


平成 7 年 3 月 16 日 UTC 0<sup>h</sup>-24<sup>h</sup>

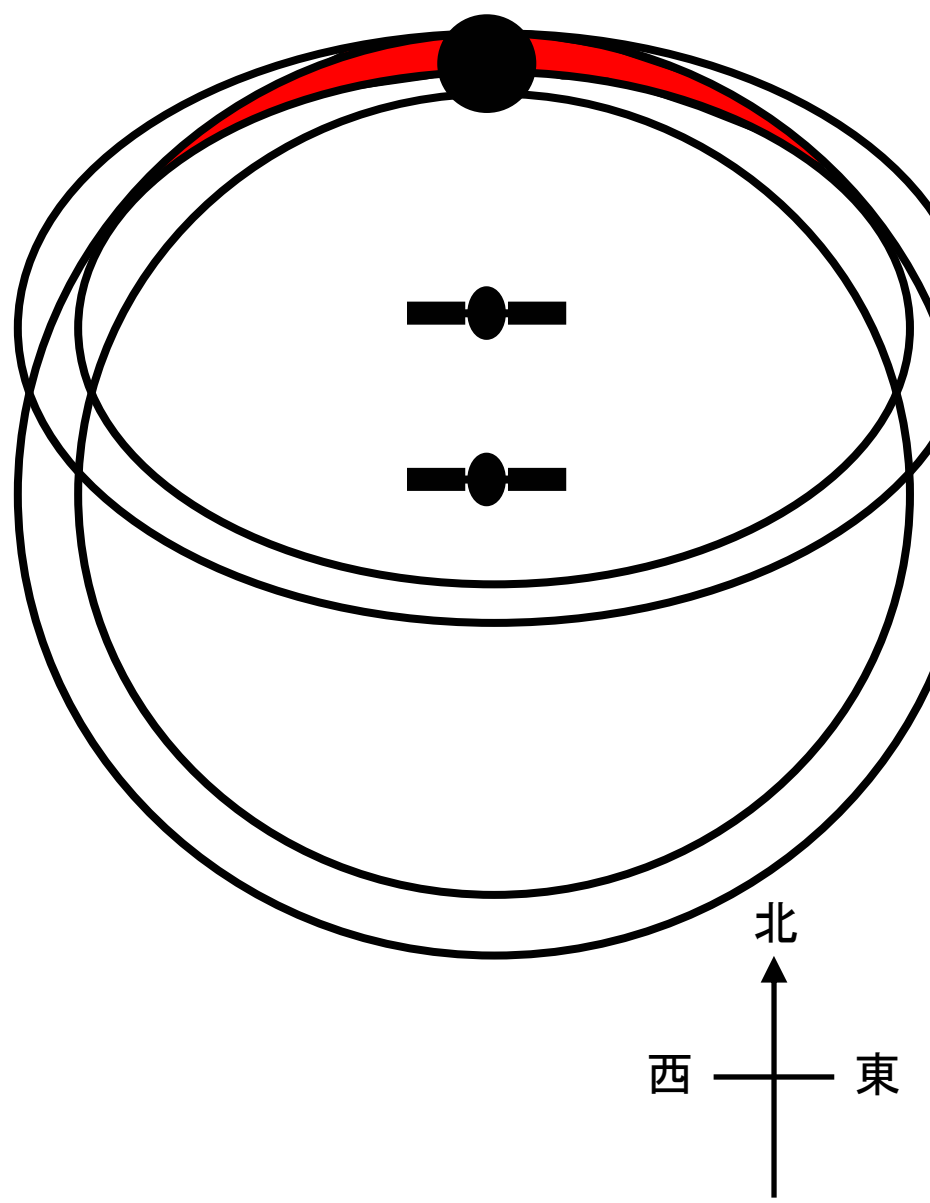
図-2.6a 1995年3月の筑波における半天球上での衛星の軌跡

(GPS測量の基礎、日本測量協会)

横から見た図

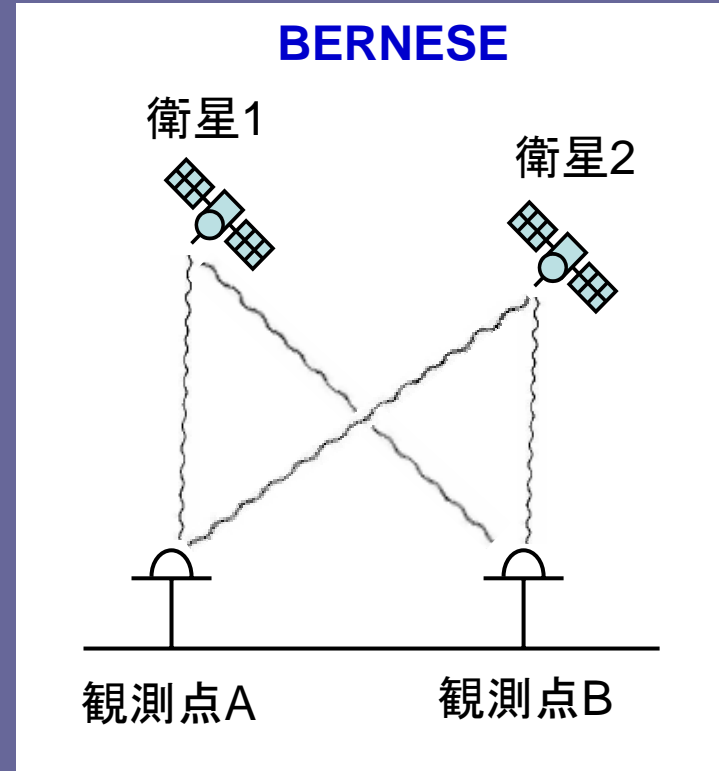
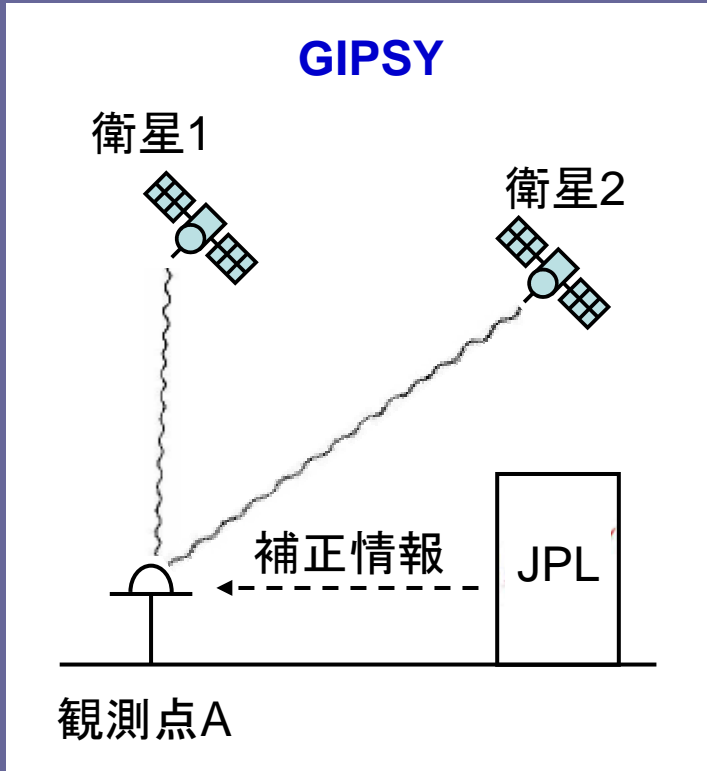


上から見た図



## 誤差について③

BERNESE解析のほうがGIPSY解析よりも誤差が小さい



- \* BERNESEは2つの衛星を使って、衛星・観測点の時計誤差を消去している
- \* GIPSYはJPLの補正情報によって誤差を補正している→JPL情報に依存

## 誤差について④


さらに誤差を大きくする要因として…

- \* **観測時間** … 長ければ長いほど誤差は小さくなる
- \* **初期設定** … 三角点に対していかに正確にGPS受信機を設定するか



- \* 今回はトラブルもあり、観測時間は3時間ずつと短めであった。
- \* 相対変位を求める上で利用した2003年の観測データは観測時間が2時間しかなかった。
- \* GPS2の設置場所に関しては風が強く地盤もやや不安定であった

## まとめ



\* GPS観測を通じて データ解析、原理の方法を勉強した。  
\* 精密単独測位よりも相対測位のほうが誤差が小さかった。  
\* 計測時間が長いほど誤差は小さくなり、データは正確になる事がわかった。

\* 小金井を基準とした過去2年の相対変位を求めた。  
\* 南方向への変動が捉えられた。これは国土地理院データと同じ傾向を示す。  
\* 東方への変動が求められたが、衛星軌道に起因した誤差が大きく国土地理院データとの整合性もなかった。