

GPSを利用した 望遠鏡姿勢の自動較正（2）

東大宇宙線研

中山幸一、大石理子、遠山健、吉越貴紀

日本物理学会 2010年春季大会

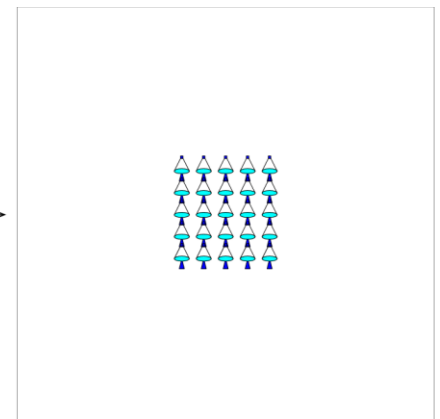
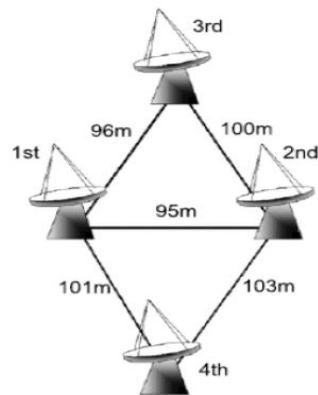
Introduction

超高エネルギーガンマ線望遠鏡の現状

- 大気チェレンコフ望遠鏡～4基のアレイ
- 望遠鏡回転軸の調整は手作業(測量)

次世代地上ガンマ線天文台計画→望遠鏡～100基

- 大有効検出面積→高感度



- 回転軸測定の仕事が大幅増

目的

望遠鏡の姿勢(回転軸)測定の作業負担を軽減するために、
自動化システムを導入したい

→GPSコンパスの応用を検討

□ GPSコンパスの性能に応じた3つの利用形態

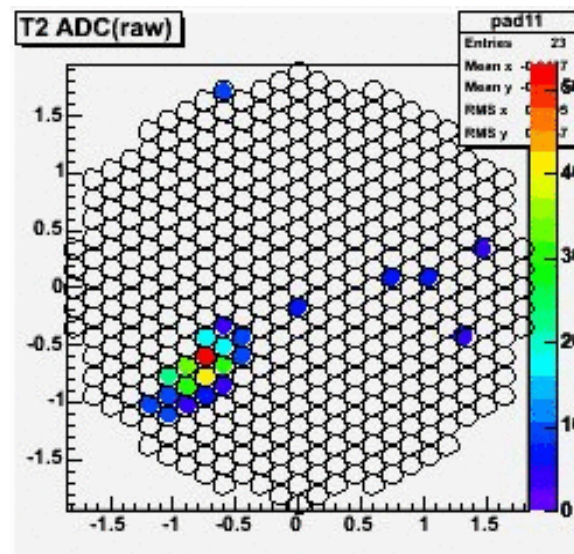
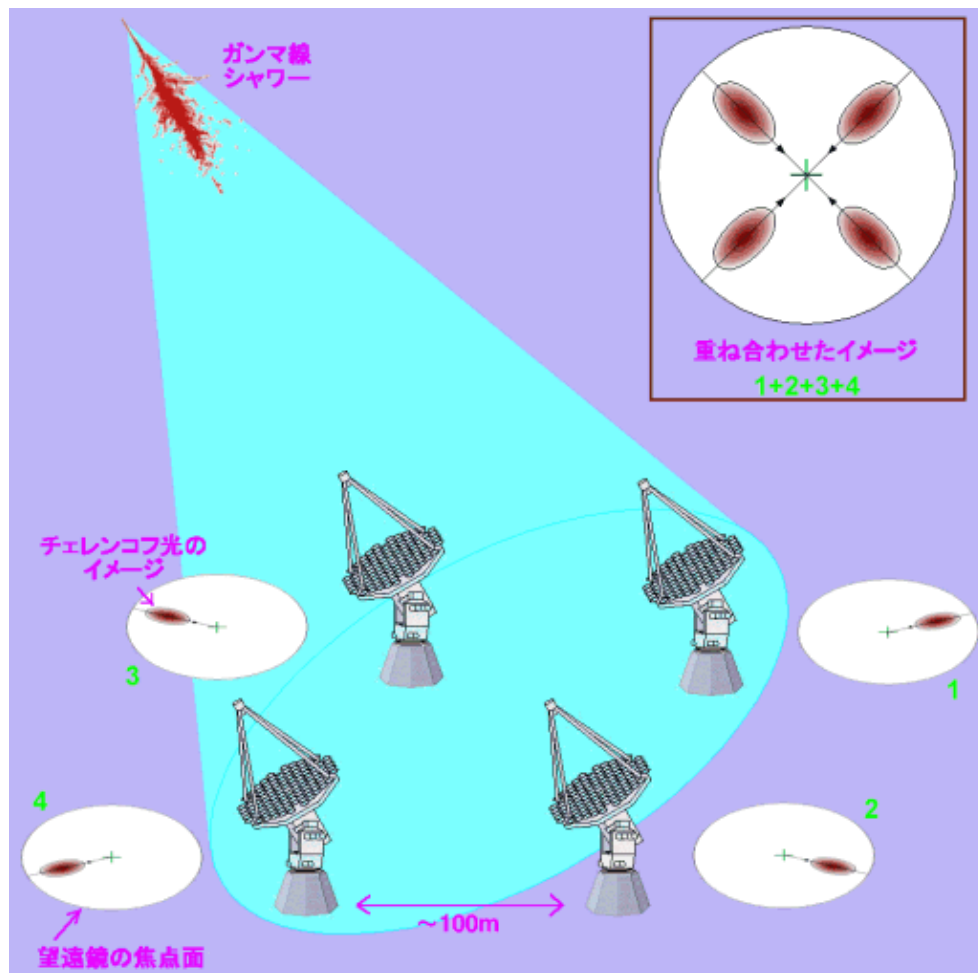
- GPSコンパスで粗測定→CCDカメラと基準星で精密測定
- GPSコンパス単独で精密測定(分角精度が必要)
- GPSコンパスで駆動制御(短時間で分角精度)

GPSコンパスの性能を調べる(どの利用形態が可能か?)

- 望遠鏡静止時の角度測定精度
- 望遠鏡回転時の追従性能

解像型大気チェレンコフ望遠鏡アレイ

観測原理



- ガンマ線シャワーの横方向の広がり $\sim 0.1^\circ$
- PMTカメラのピクセルサイズ $\sim 0.1^\circ$

➔ 指向精度 ~ 1 分角

GPSの概要

GPS : Global Positioning System

衛星数 : 24機(4機×6軌道面)
軌道半径 : 地上約20200km
搬送波 : L1帯 1575.42 MHz 波長19.03cm

GPS測位の種類

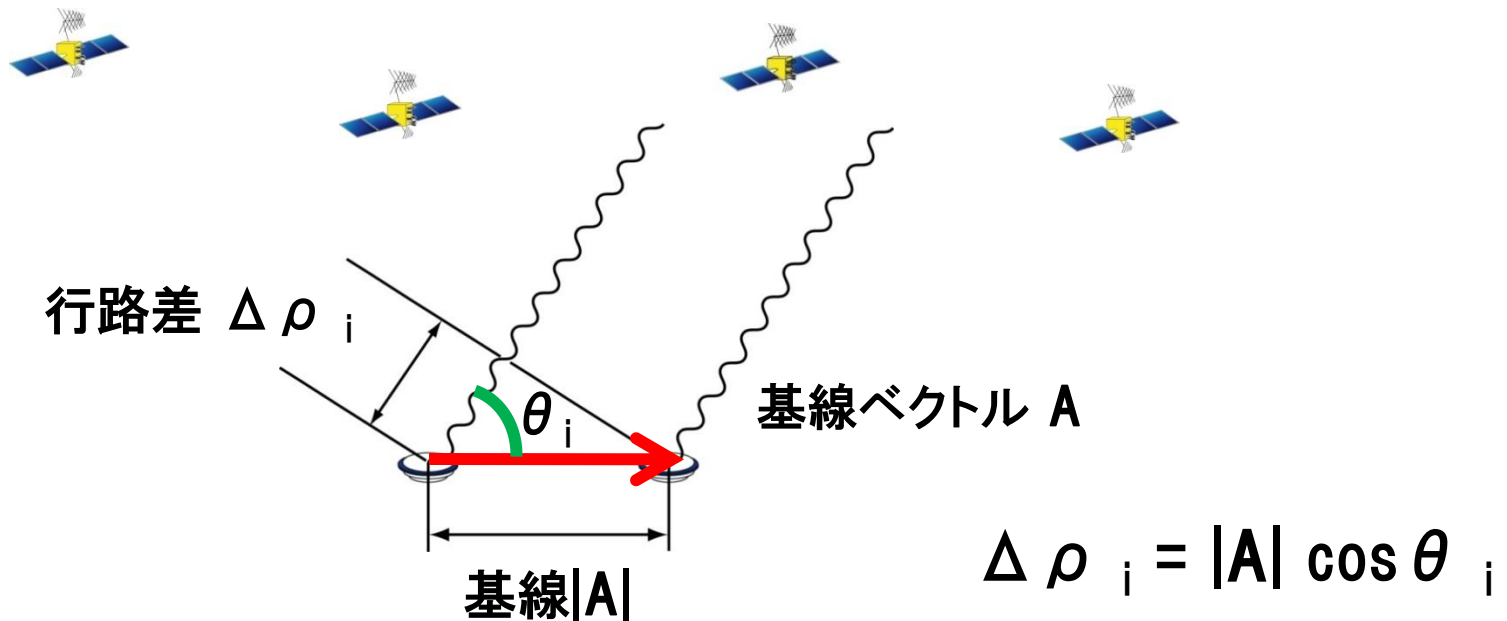
位置精度の概略値

単独測位 : 10 m ~ 100 m
干渉測位 : 1 mm ~ 10 cm

GPSの搬送波の位相を用いることで、高精度の測位が可能。

干渉測位

2つのアンテナで観測する電波の位相差を利用する。



- 4機以上の衛星を用いる。

基線延長→精度向上

※ 測位が始まらない可能性あり

GPSコンパス

GPSコンパスを用いて、**姿勢の測定**を行うことができる。



GPSアンテナ

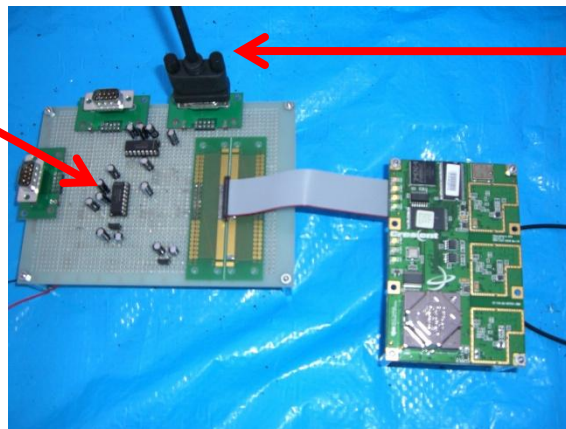
NovAtel 社製 GPS-701GG
直径185mm 重さ 500g

GPSコンパスボード

Hemisphere 社製
CRESCENT VECTOR OEM
ボーレート:19200
サンプリング周期:100msec
インターフェースレベル: CMOS

信号読み出し回路(自作)

CMOS レベルを
RS232-C レベルに変換



RS-232C
シリアルケーブル
ノートPCと接続

測定の概要

GPSコンパス試作機を用いて、実用可能性を検討

- 実用のための角度測定精度の基準
→1分角(=0.017°)(CANGAR00-Ⅲ望遠鏡の仕様精度)

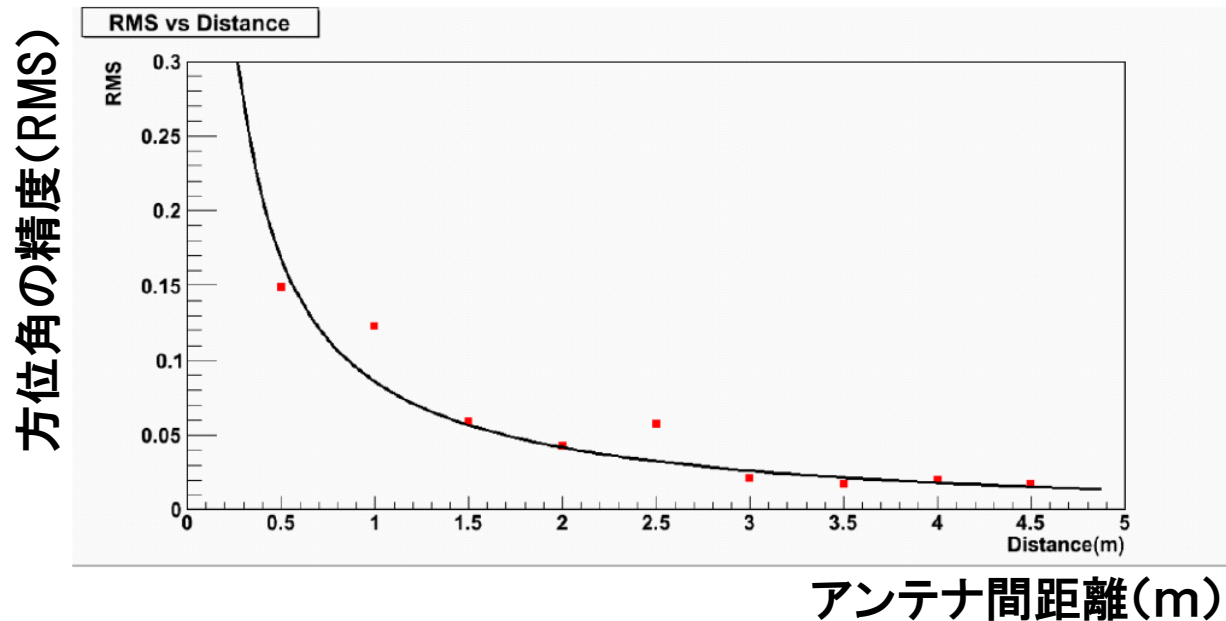
測定:

- 1、 予備測定(測定計画立案のための基礎測定)
- 2、 較正された角度基準(CANGAR00-Ⅲ望遠鏡)との比較測定
 - 絶対角度測定とその方向依存性
 - 望遠鏡回転時の追従性能
- 3、 長時間測定
 - 測定精度と系統誤差の評価

予備測定

- ・ 見晴らしの良い場所で測定(宇宙線研屋上)
- ・ アンテナ間距離を50cmずつ延長
- ・ 測定時間 : 1000s × 9距離
- ・ サンプル数 : 10000 × 9距離(サンプリング周期: 100ms)

方位角の精度とアンテナ間距離の関係



- ・ 方位角測定の精度→アンテナ間距離延長で改善
- ・ アンテナ間距離4.5m: $RMS=0.017^\circ$
- ・ アンテナ間距離→4.5mが上限

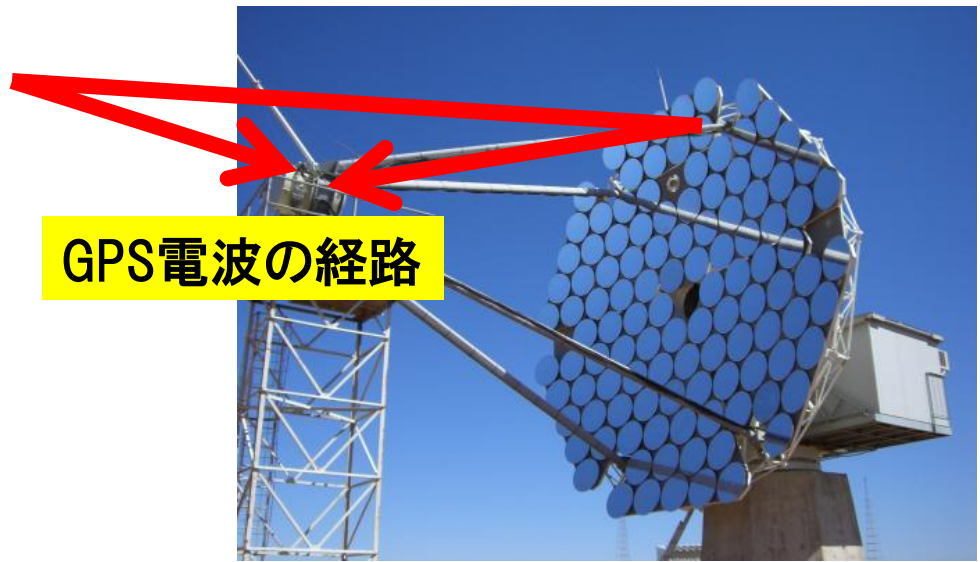
CANGAROO-III 望遠鏡を基準に用いた測定

- カメラドラム部に治具を用いて GPS アンテナを取り付けた。

測定で起こった問題

- 測位が始まらない
- 姿勢データの出力が途切れる

→ マルチパスの影響



長時間測定

- 見晴らしの良い場所で、**24時間連続測定**
- アンテナ間距離 : **4.5m**
- サンプルング周期 : 100ms
- サンプル数 : 864000



測定精度と系統誤差を見積もる

- 積分時間 t (n サンプル)の N データセットに分割して、1データセット当りの精度を2種類の方法で評価し比較

A. 通常の評価法

n サンプルの平均値の誤差 $\frac{\sigma_i}{\sqrt{n}}$ → 全データセットで平均 $E = \frac{\sum \frac{\sigma_i}{\sqrt{n}}}{N}$

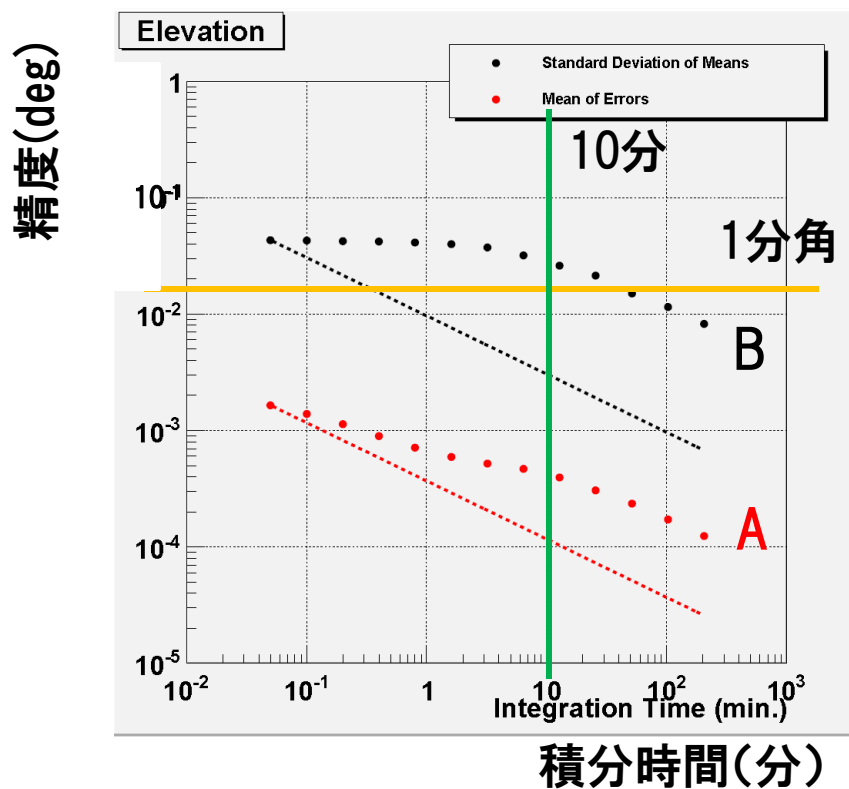
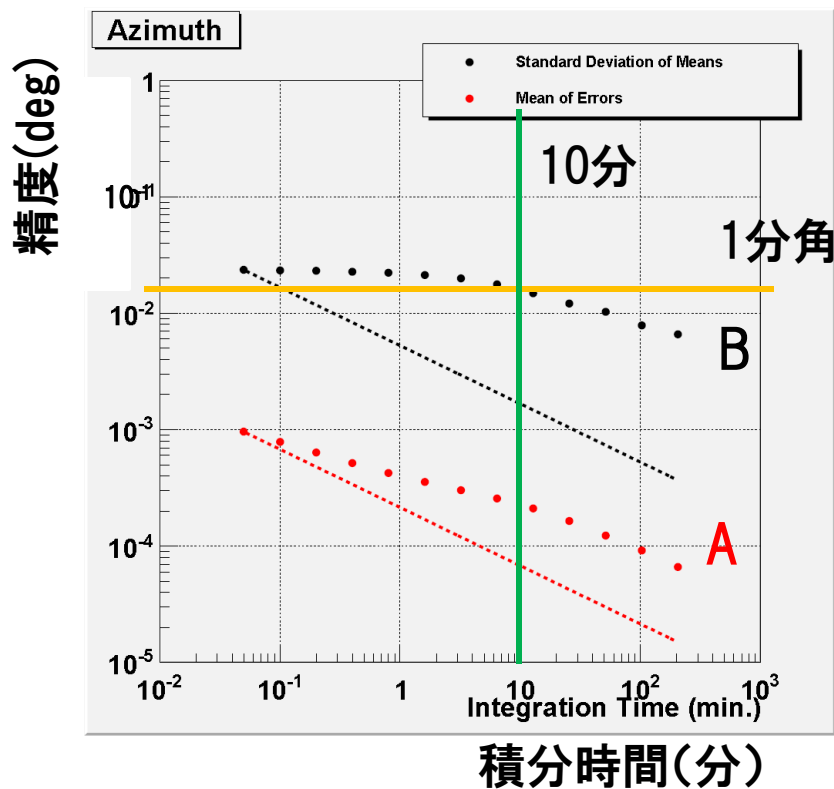
B. 実際の精度

n サンプルの平均値 \bar{x}_i → 全データセットの標準偏差 $\sigma_{\bar{x}}$

- ゆらぎが単純な正規分布に従う場合、
 - 両者は一致
 - 積分時間を増やすと $t^{-1/2}$ で改善

長時間測定の結果

精度と積分時間の関係



- 揺らぎの成分→少なくとも2種類
- 遅い方の揺らぎの変動スケール→1～10分
- 通常の評価法による精度(A) →実際の精度(B)より10倍以上良い値

結論

試作機の測定精度

アンテナ間距離**4.5m**、積分時間**100分**での精度

方位角精度: $\sim 0.008^\circ$ 高度角精度: $\sim 0.012^\circ$

指向精度: $\sim 0.014^\circ < 1\text{分角}(=0.017^\circ)$

→ **単独で精密測定可**

望遠鏡の姿勢(回転軸)測定自動化 → GPSコンパスの応用可

※ ただし、望遠鏡に取り付けて用いる場合には
マルチパスの影響を調査・克服する必要がある。