

JASMINEの星像位置決定技術

矢野 太平 (NAOJ)

- Introduction
- 高精度位置決定手法
- 実証実験
- まとめ

Introduction

- 小型JASMINE

小型科学衛星を用いる主鏡口径30cm級の赤外線位置天文観測衛星

バルジ領域の星の位置、距離、固有運動の測定をおこなうため、数平方度にわたる星同士の位置関係を $10\ \mu\text{as}$ (焦点面上では 10^{-4} - 10^{-5} ピクセルレベル!)の精度の位置決定をおこなう

Introduction

- 10 μ as レベル精度への手順

手順1
一回の撮像データにおける
星像位置を高精度に求める。
($\sim 10^{-2}$ pix レベル)

ピクセル上の星のデータから星像中心
位置を求める手法

- ・重心法
- ・PSFフィッティング法

手順2
多数枚の撮像データから
位置決定精度を向上させる。
($\sim 10^{-4} - 10^{-5}$ pix レベル)

多数枚データから系統誤差を抽出し補
正をおこなう手法

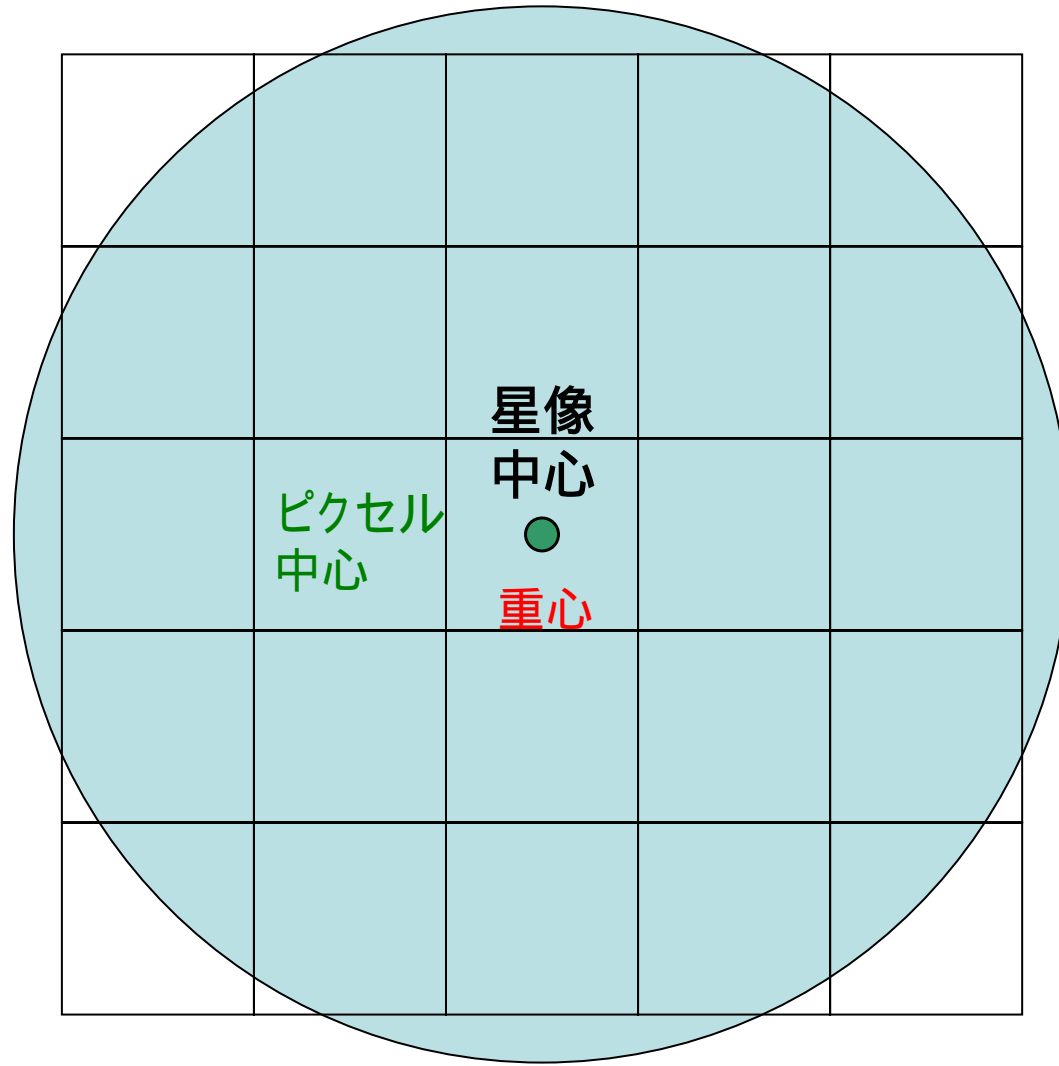
手順1

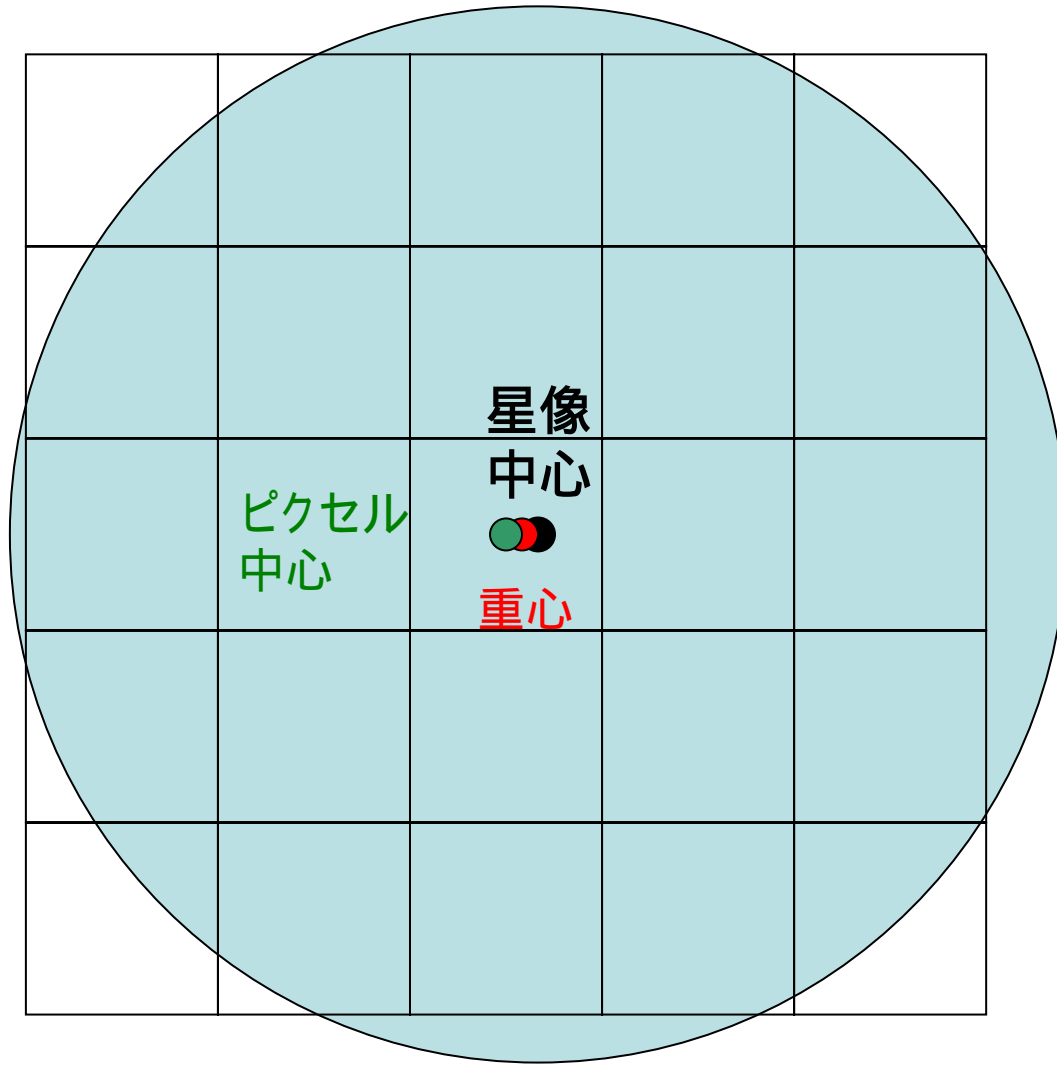
- 一回の撮像データにおける星像位置を高精度に求める
(ピクセル上の星のデータから星像中心位置を求める手法)
 - ・重心法
 - ・PSFフィッティング法

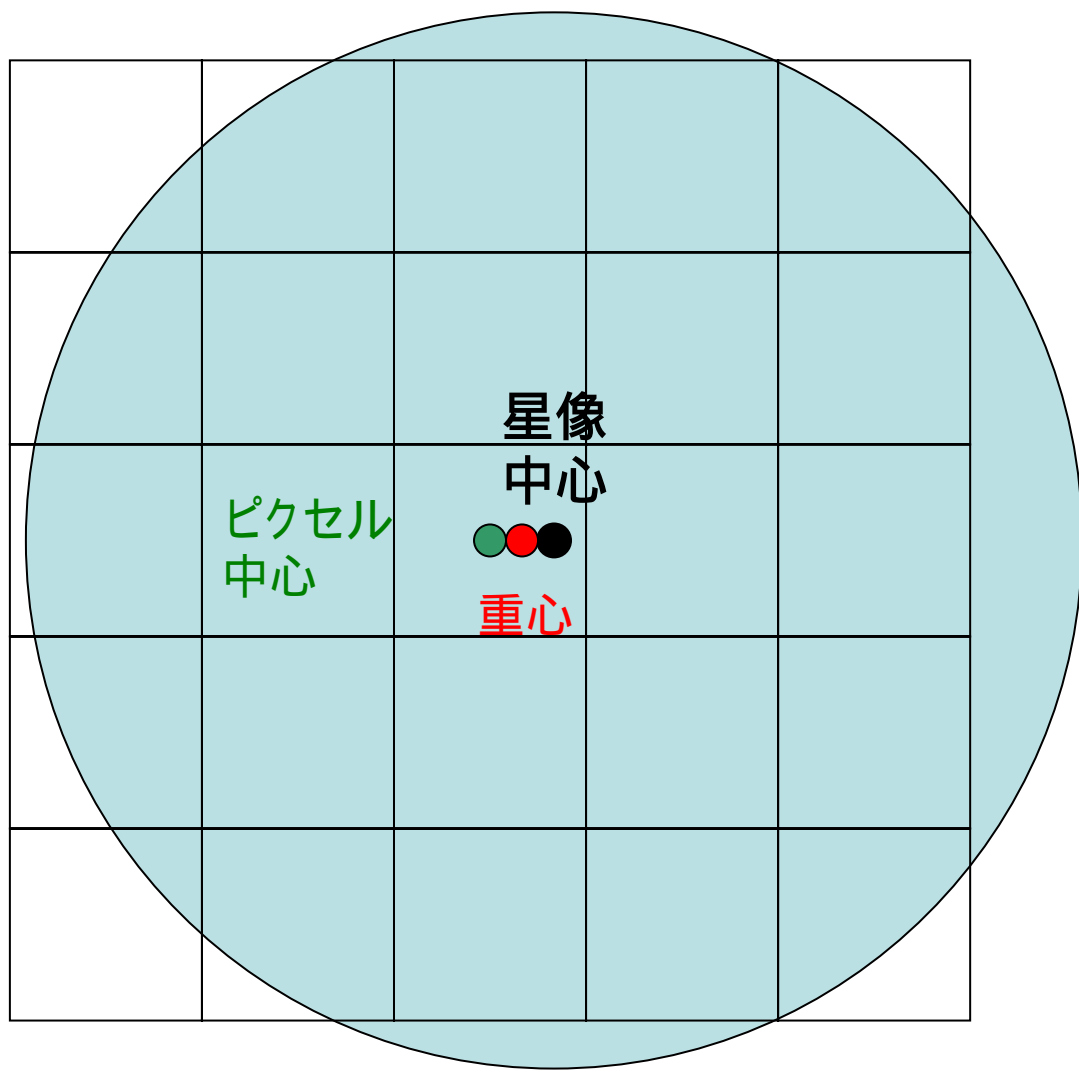
重心法

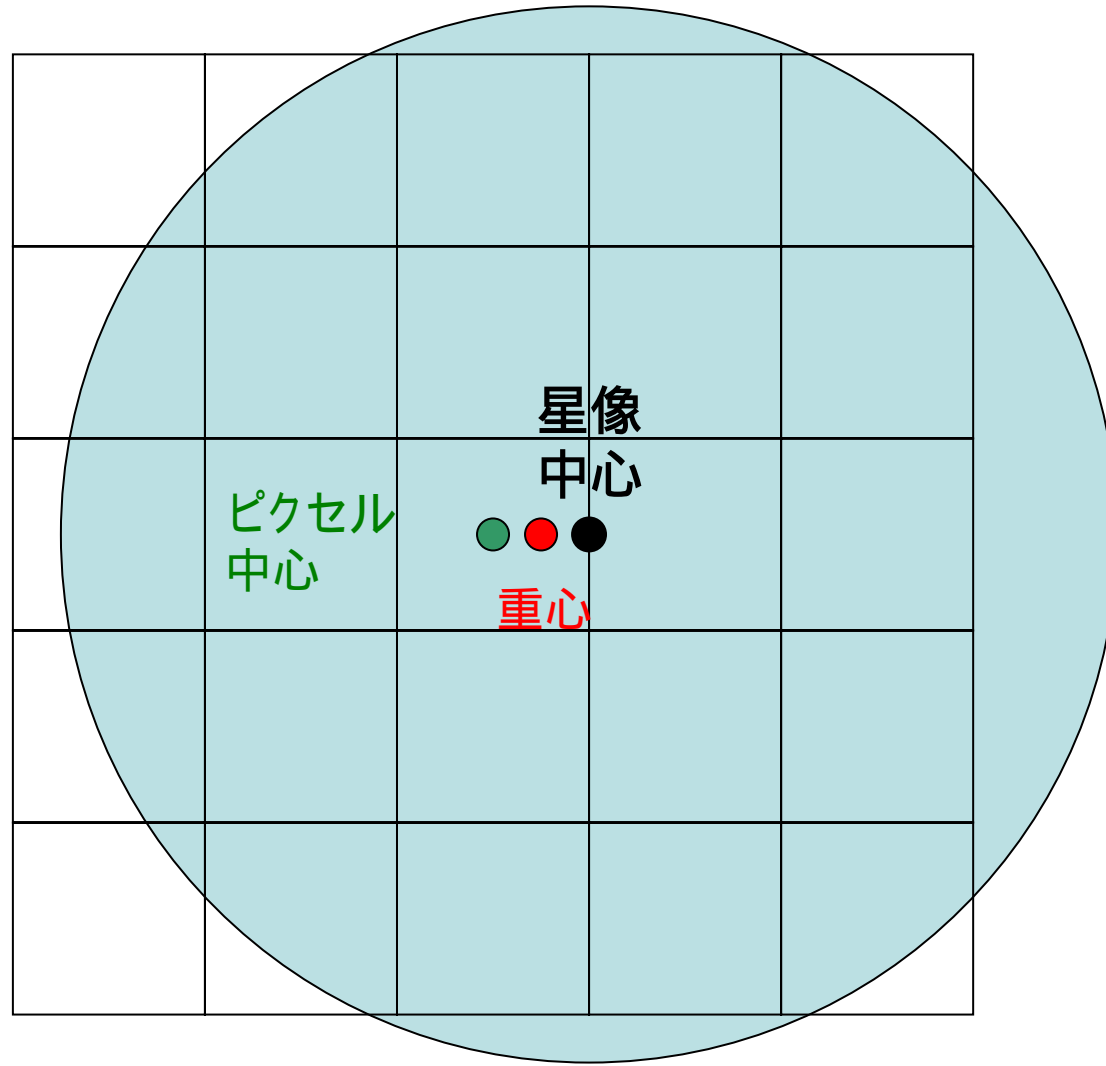
- 星像ピーク周りピクセルのサブセット (5 × 5pix) を切り出す。
- サブセット内の重心を求める。
- 星の中心位置は重心位置とは異なる。短期間に多数回撮像したデータは星像間距離が変化しないとし、
Xa: 中心位置 - ピクセル中心
Xc: 重心位置 - ピクセル中心
が比例関係にあると仮定しその係数を最小2乗法にて求める。

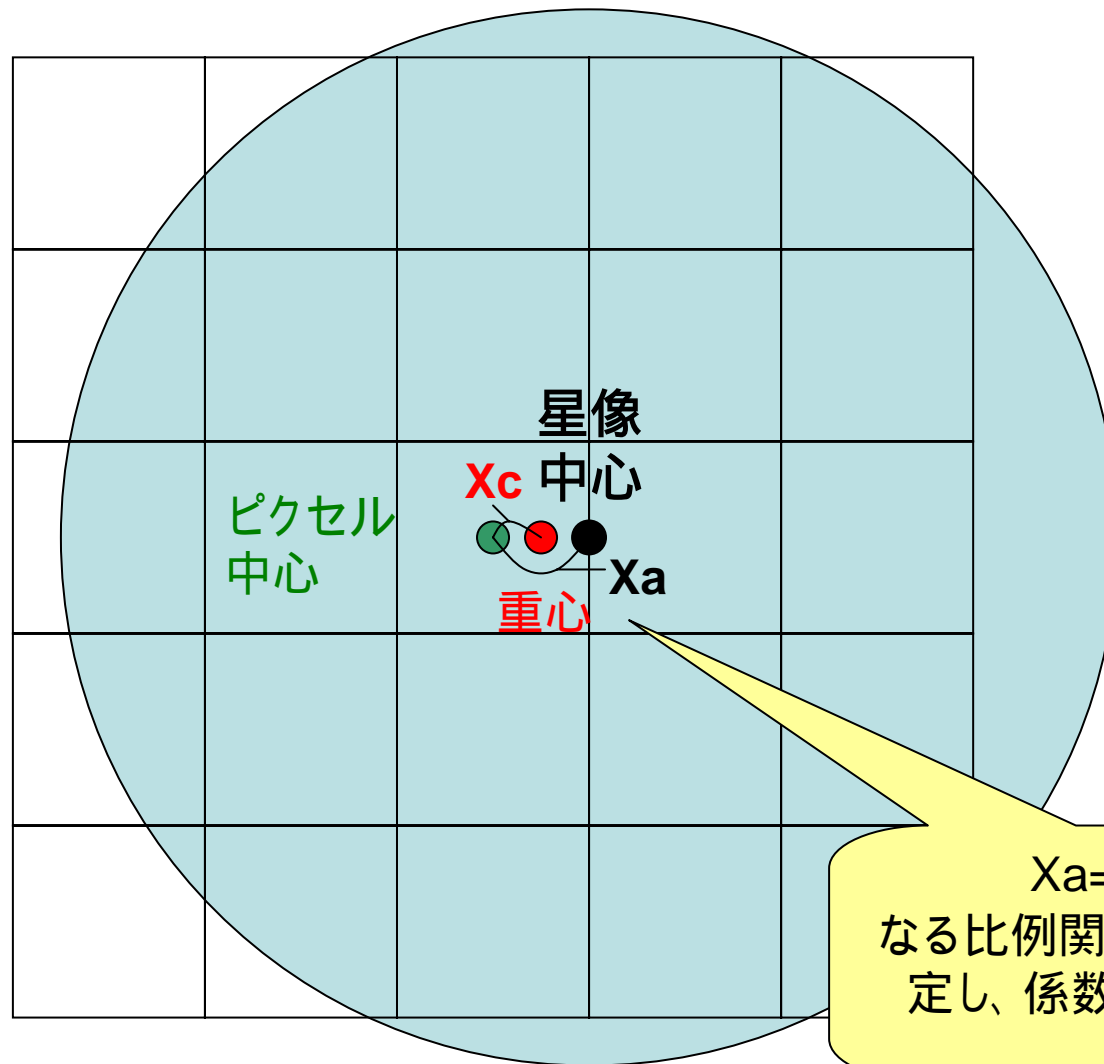
$$X_a = \quad X_c$$











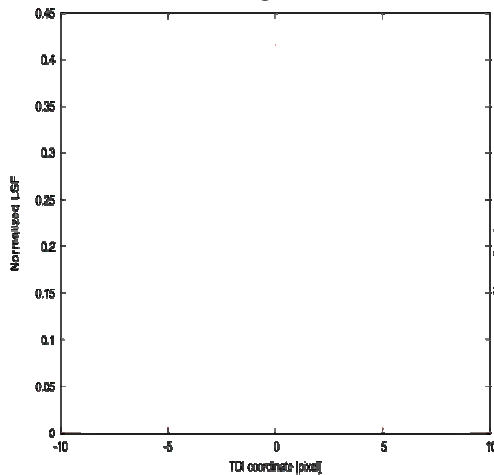
$X_a = X_c$
なる比例関係があると仮
定し、係数 を求める

PSF (LSF) フィッティング

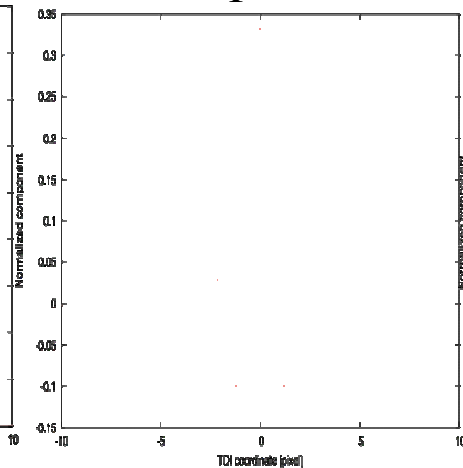
- 直交基底関数の和でLSFをあらわす
- 基底関数の係数, 中心位置(b_n , u)を最小2乗法で求める。

$$\text{LSF}_{\text{model}}(u - \delta u) = \sum_{n=0}^N b_n B_n(u - \delta u)$$

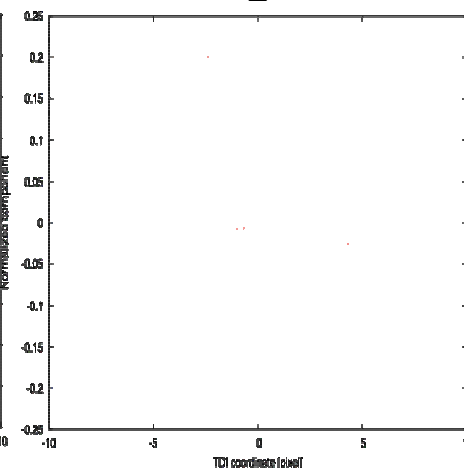
$B_0(u)$



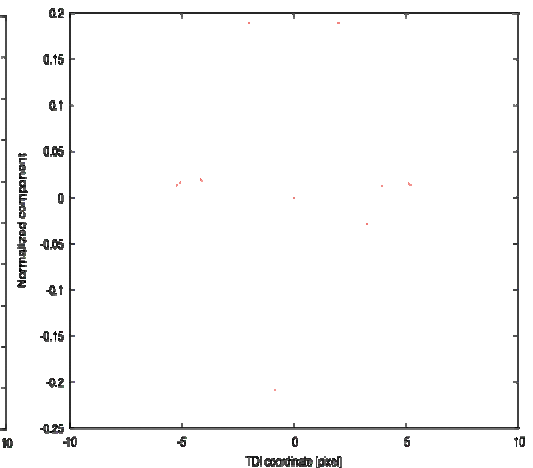
$B_1(u)$



$B_2(u)$



$B_3(u)$



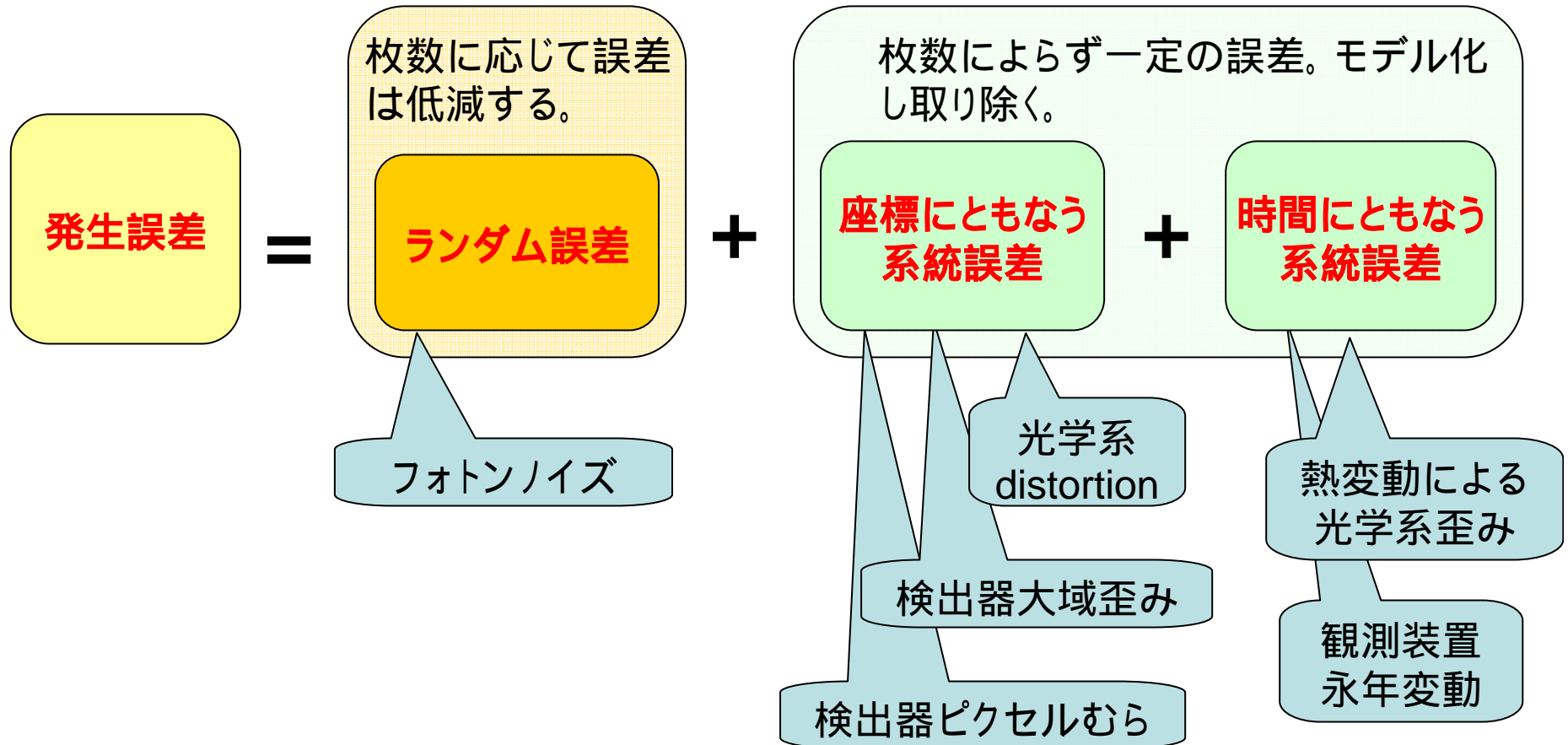
手順2

- 多数枚撮像データから位置決定精度を向上。
($\sim 10^{-4} - 10^{-5}$ pixレベル)

多数枚データから系統誤差を抽出し補正をおこなう手法

系統誤差を補正しないと、観測枚数を増やしても所定の精度を達成することができない。

主な誤差



考えうる系統誤差を抽出モデル化し、取り除く。残るランダム誤差は、枚数を稼いで高精度化する。

実証実験

- 手順1

- 一回撮像データにおける高精度星像位置決定
($\sim 10^{-2}$ pixレベル)

- 手順2

- 多数枚の撮像データから位置決定精度を向上
($\sim 10^{-4} - 10^{-5}$ pixレベル)

に分けて考える。水沢の実験装置を用いたデータの解析をおこなう。

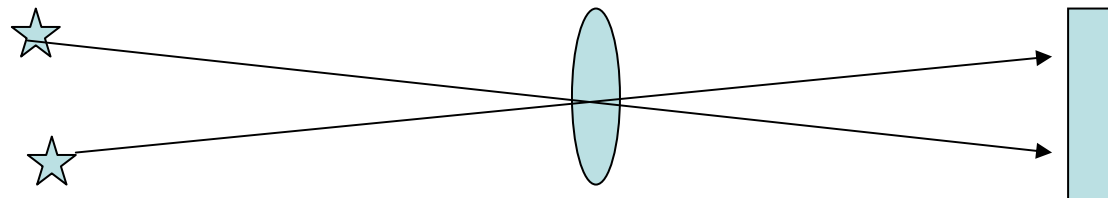
実証実験の装置概観



光源

光学系

検出器



実証実験

- 手順1

一回撮像データにおける高精度星像位置決定
($\sim 10^{-2}$ pixレベル)

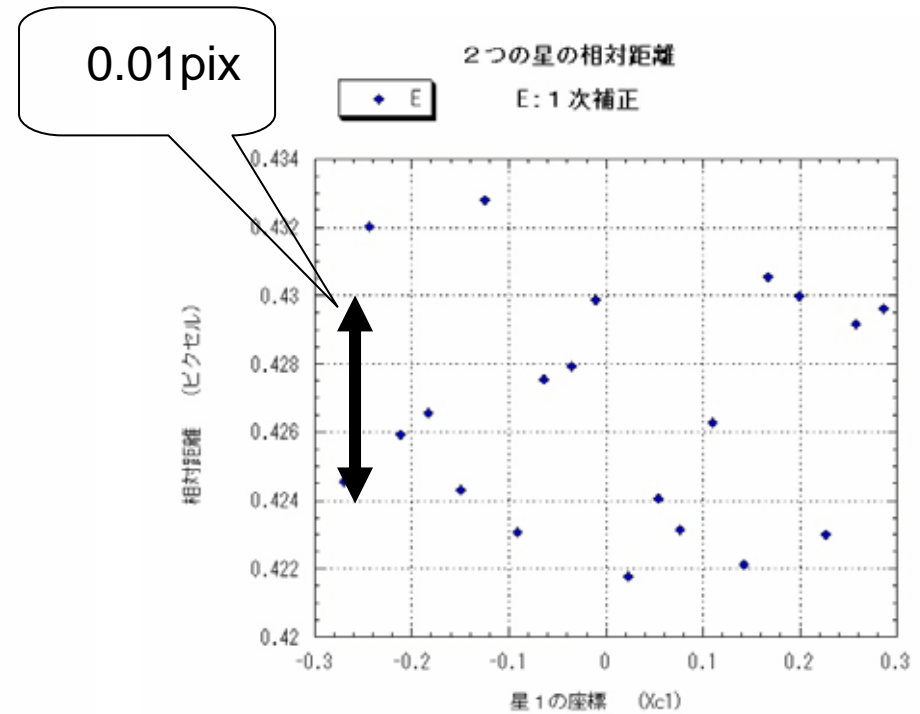
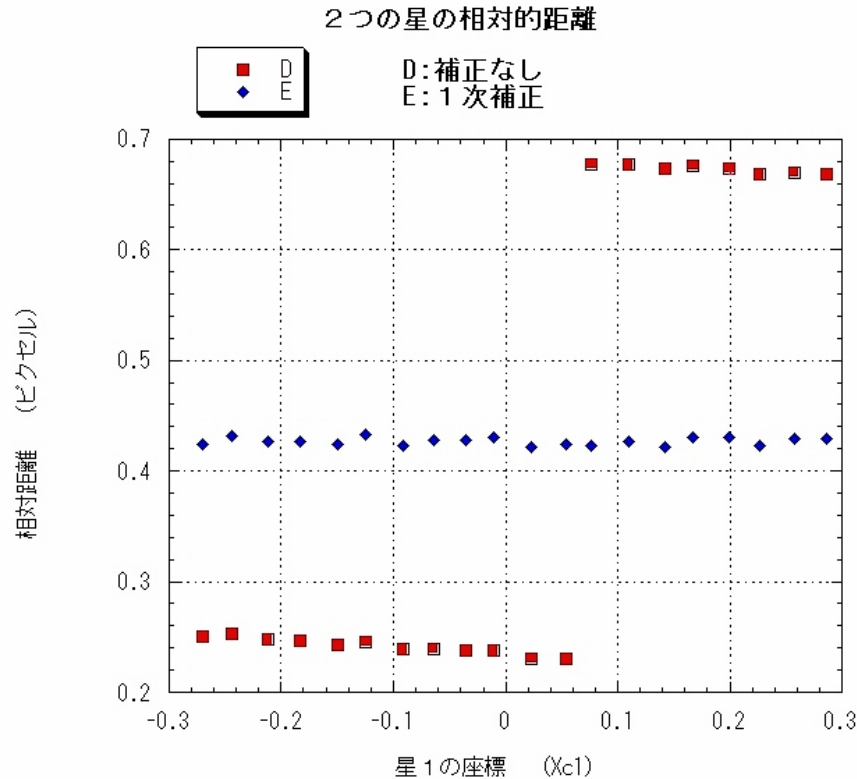
- 手順2

多数枚の撮像データから位置決定精度を向上
($\sim 10^{-4} - 10^{-5}$ pixレベル)

方法

- 20枚の画像を用いる
- 1ピクセル以内のわずかな移動で画像取得
- 重心法を用いて重心の値から中心を見積もる

解析結果



は2つの星の重心距離
は2つの星の見積もった距離(重心 - 中心補正を行なう)
~ 100分の1ピクセル程度以下におさまる

実証実験

- 手順1

一回撮像データにおける高精度星像位置決定
($\sim 10^{-2}$ pixレベル)

- 手順2

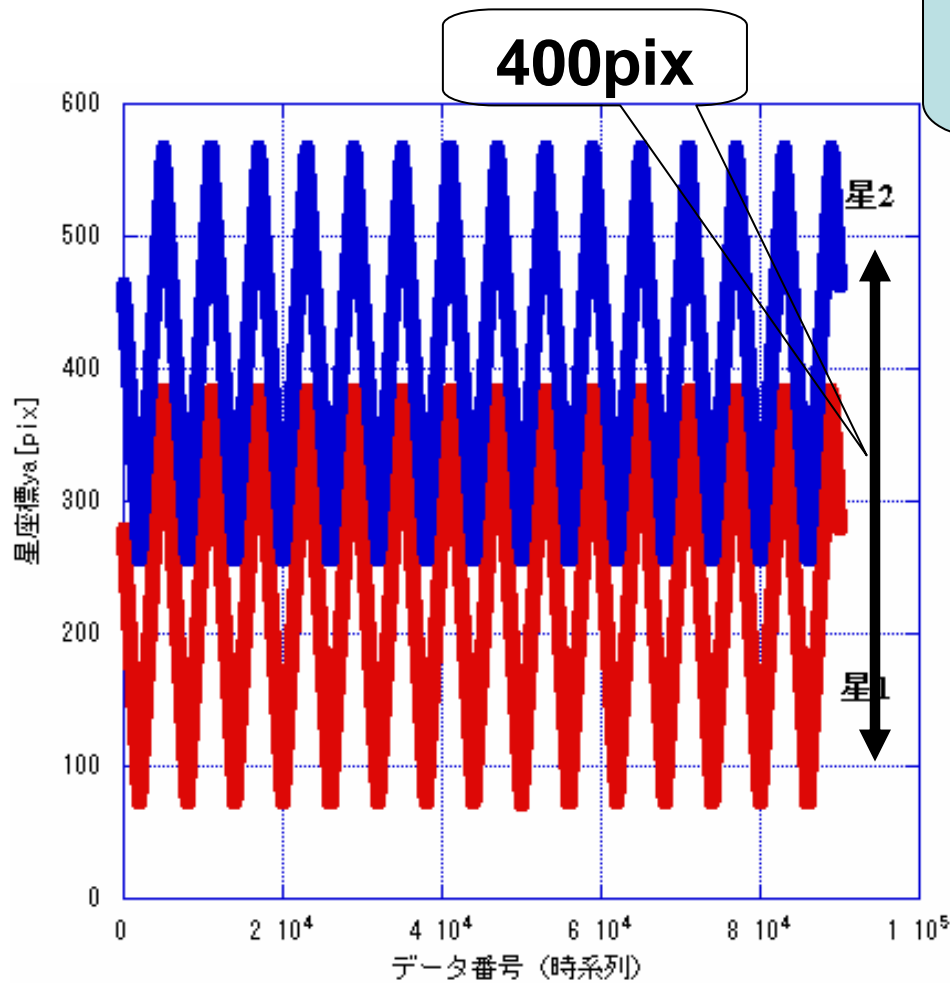
多数枚の撮像データから位置決定精度を向上
($\sim 10^{-4} - 10^{-5}$ pixレベル)

方法

- 90000枚のデータを解析
- 6000枚周期の往復運動で、検出器上のさまざまな場所のデータを取得
- 見積もられた中心位置から系統誤差を抽出し、モデル化して補正

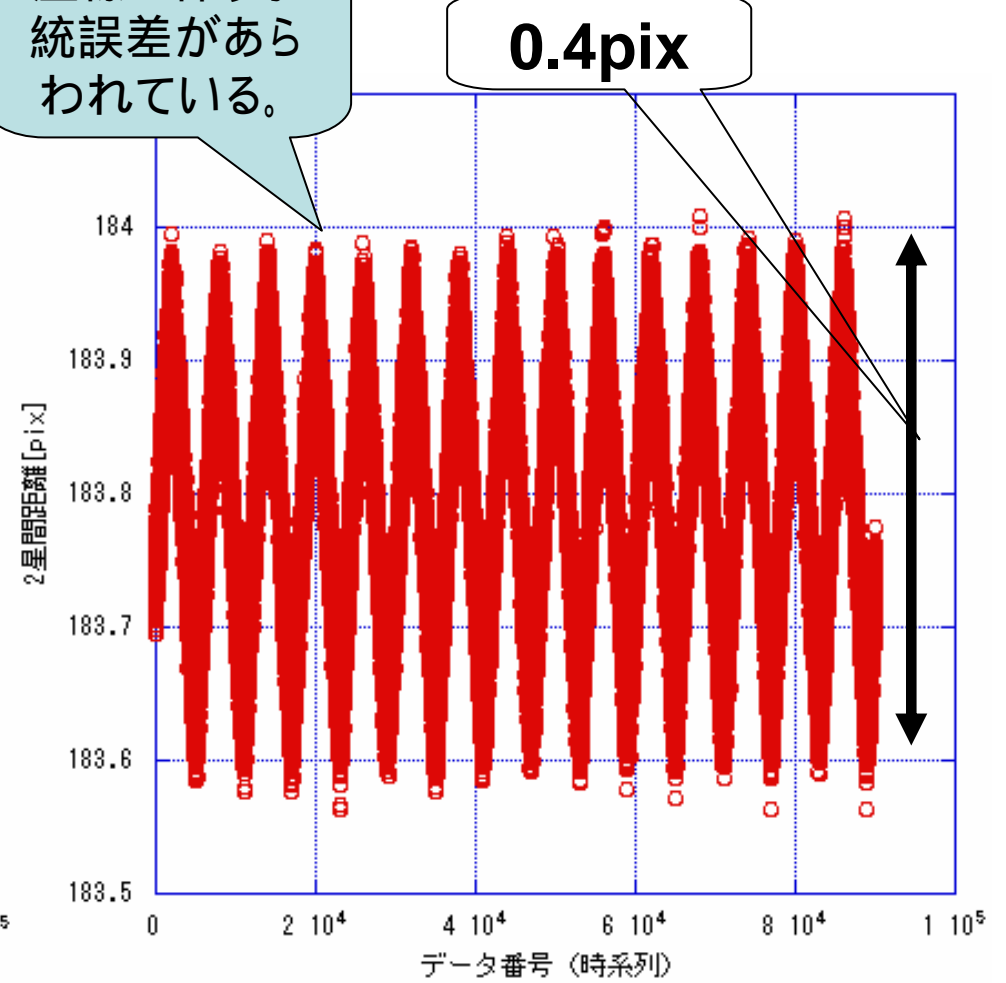
結果

2星の焦点面上の移動



座標に伴う系
統誤差があら
われている。

2星の距離



座標にともなう系統誤差

多項式であらわされる大域的な歪みがあるとして補正する。

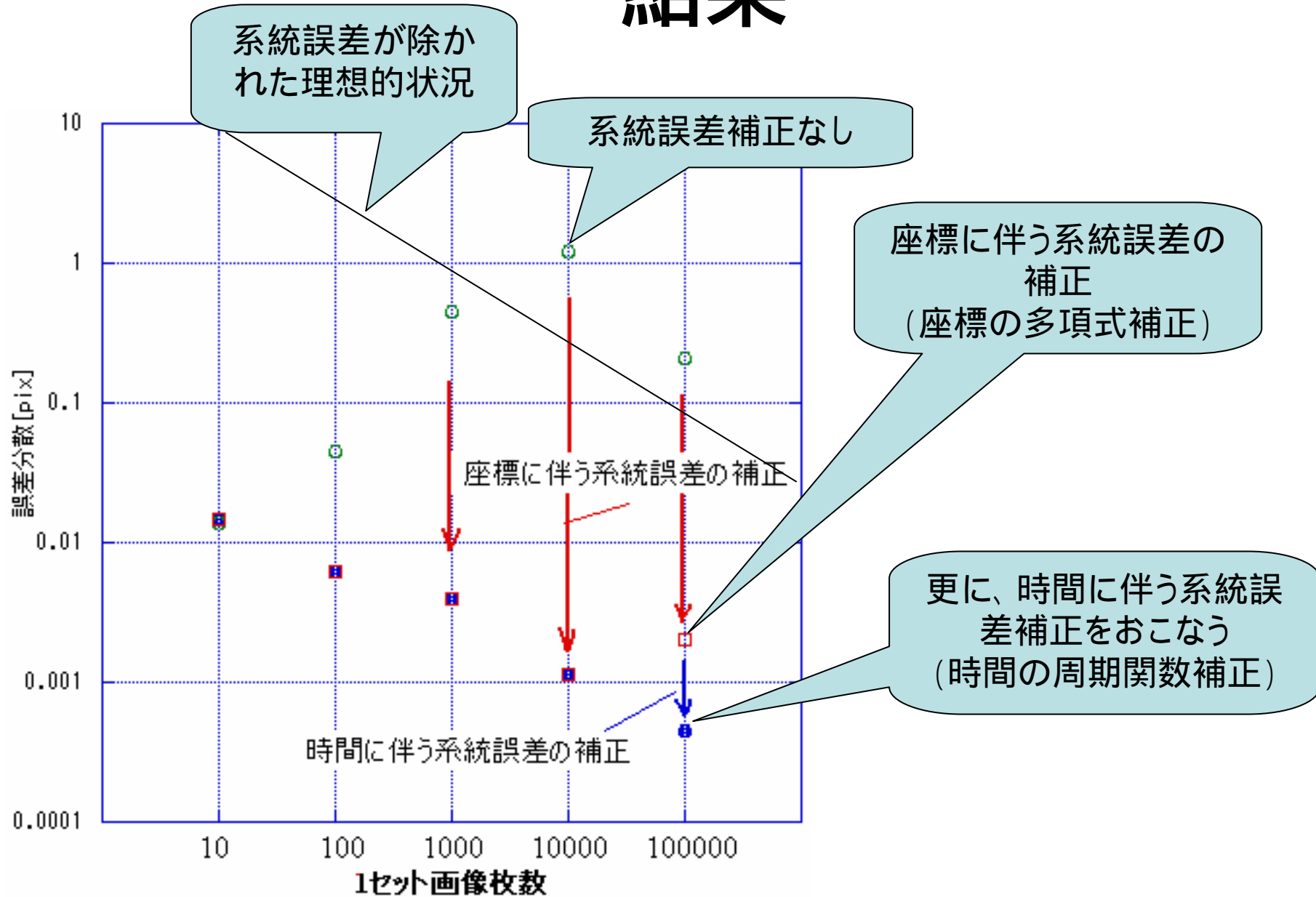
$$\delta y(y) = \sum_{k=1}^3 C_k y^k$$

時間にともなう系統誤差

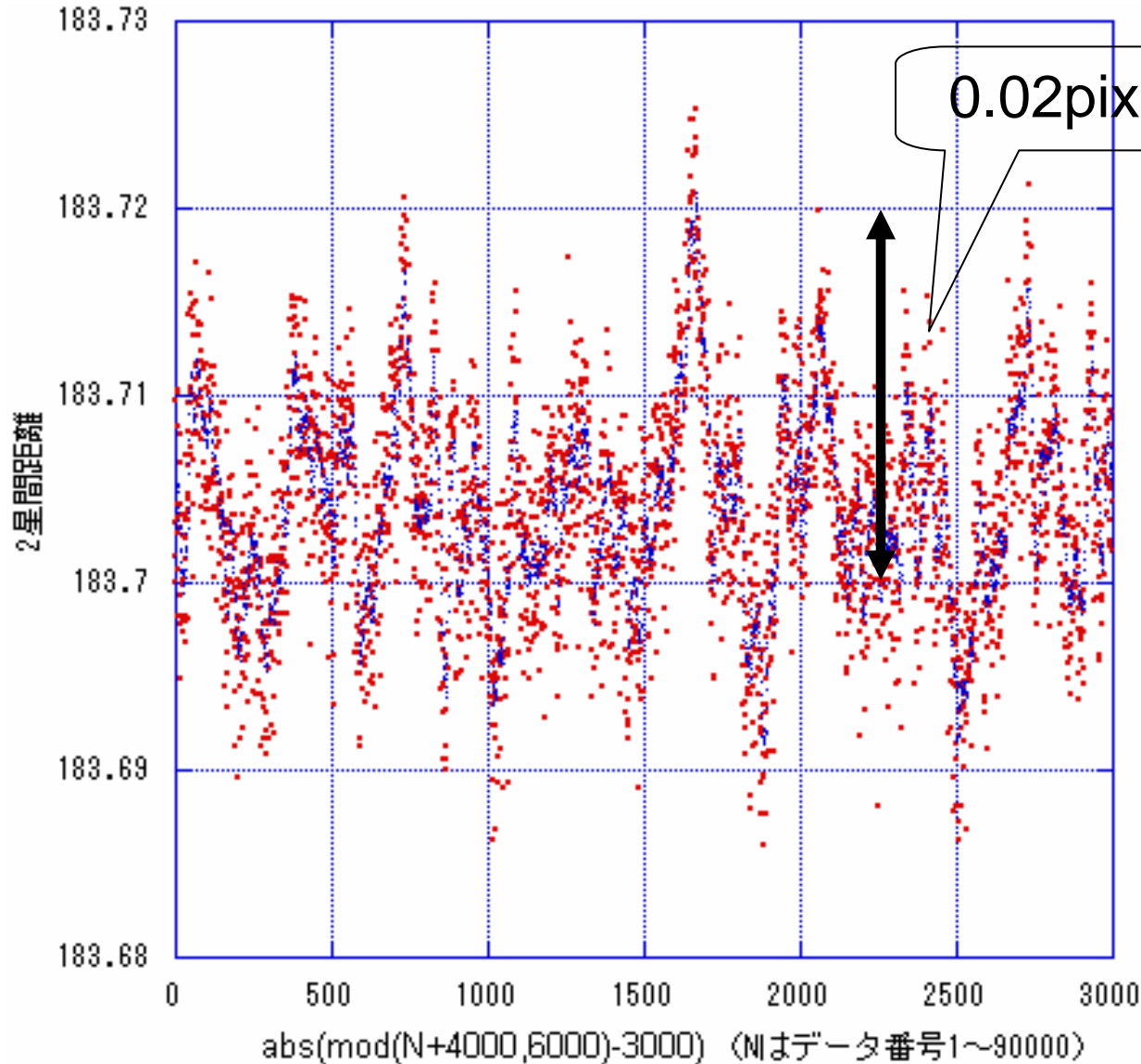
データ取得時間スケールでの周期的な熱歪みがあるとして補正する。

$$\delta l(t) = \sum_{k=1}^2 A_k \cos(2\pi k \frac{t}{T}) + B_k \sin(2\pi k \frac{t}{T})$$

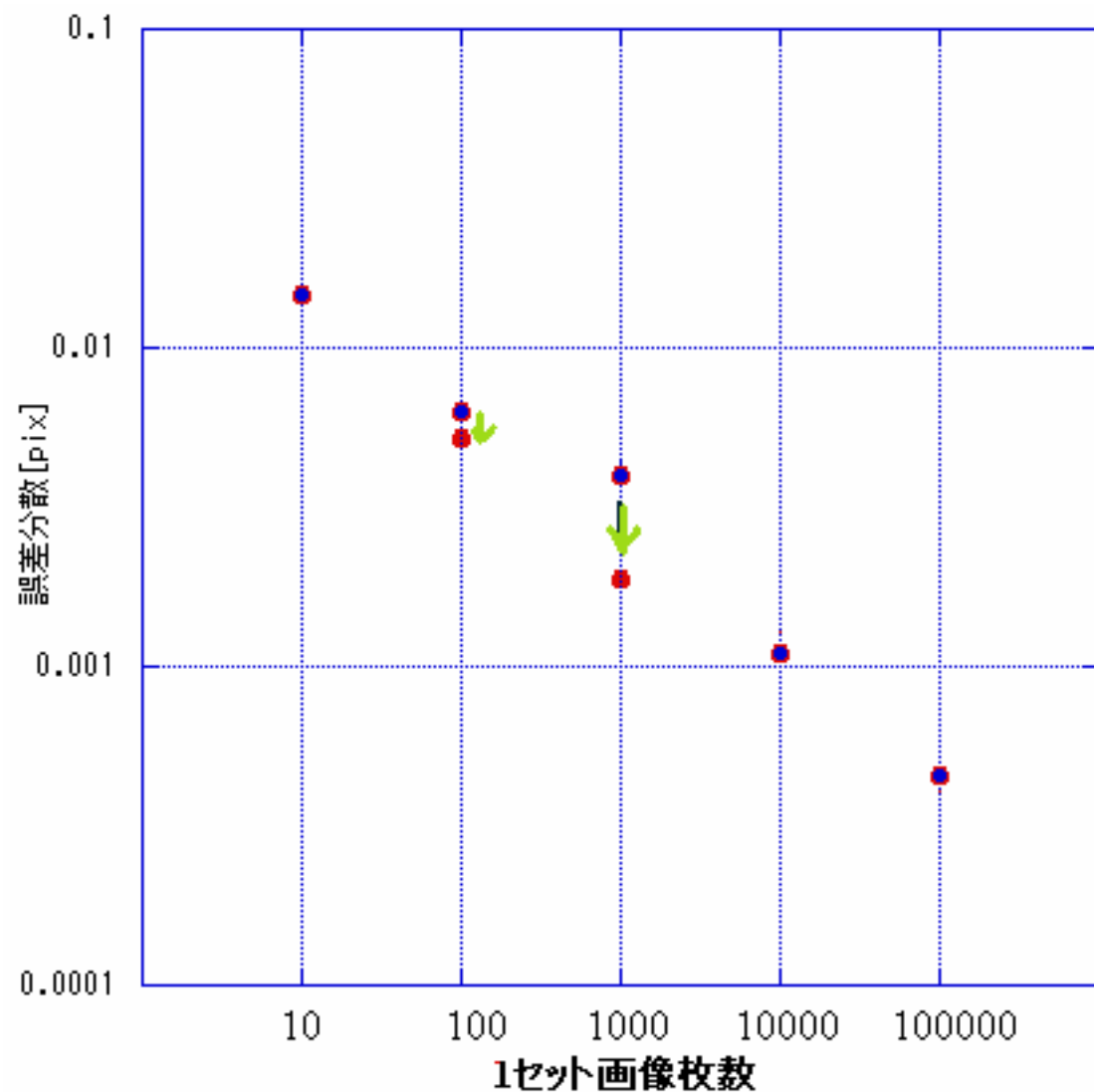
結果



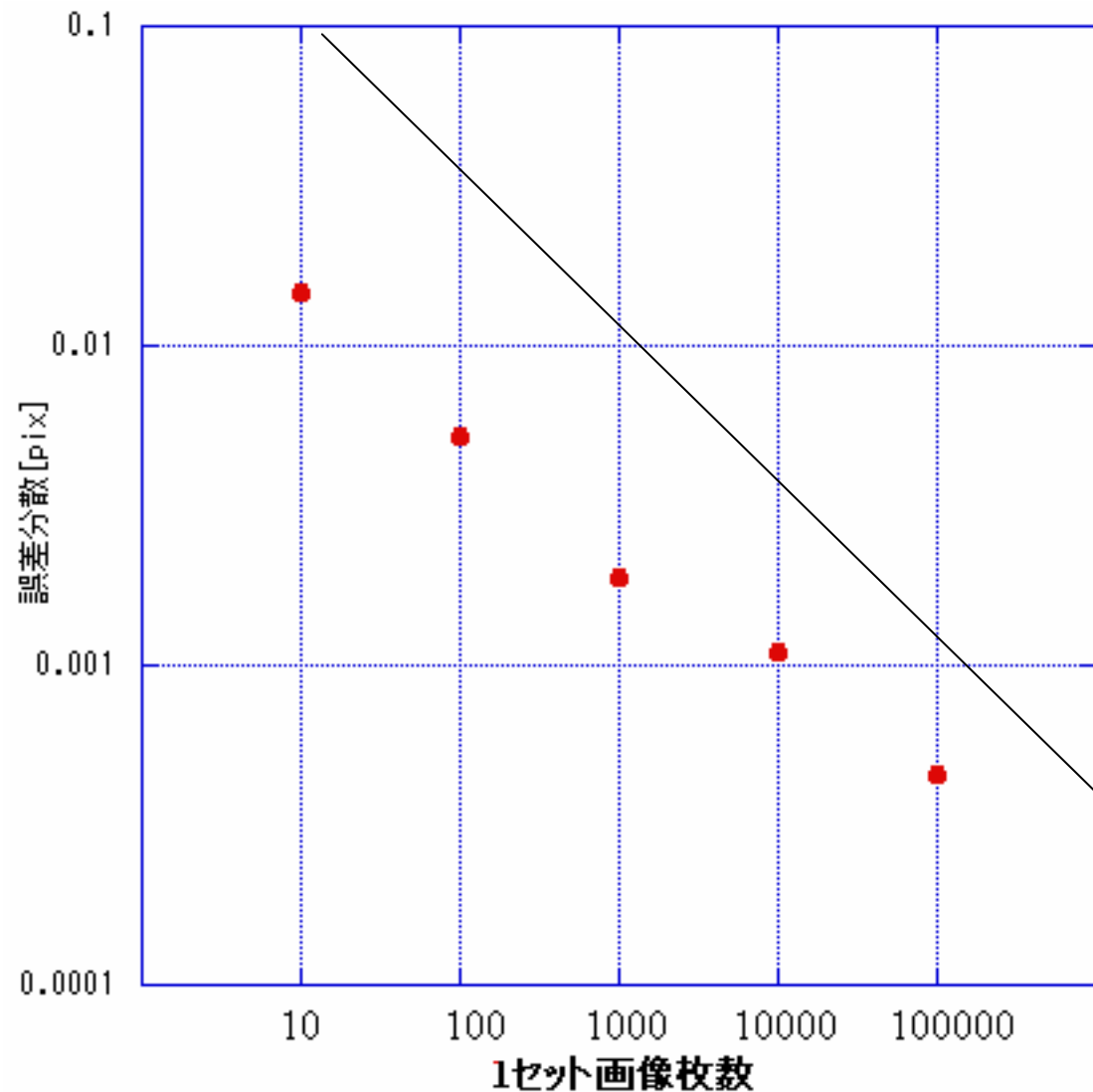
ピクセルむら



- 座標にともなう系統誤差として、大域的な歪み以外のピクセルむらによる系統誤差を調べ、補正をおこなう。1往復6000枚、90000枚のデータすなわち、15データの平均化処理をすると**ピクセルむらの系統誤差が浮かび上がる**。



- 1000枚スケールでの改善がみられ、ほぼ、 $1/N$ に比例して誤差が低減するのが見て取れる。



- 1000枚スケールでの改善がみられ、ほぼ、 $1/N$ に比例して誤差が低減するのが見て取れる。

まとめ

- 1回の撮像から 10^{-2} pixレベルの位置決めができる。(重心法、PSFフィッティング法などいくつかの方法が考えられる)
- 多数枚撮像から、座標に伴う系統誤差、時間に伴う系統誤差を適切にモデル化し補正する事により、残る誤差はランダムノイズとして、 $1/\sqrt{N}$ に比例し、誤差低減する

ありがとうございました