

V211b

日本天文学会2024年秋季年会
2024年09月11日

多数枚撮像による高精度 星像位置決定の地上実験 における実証

矢野太平, 三好真, 浅利一善(国立天文台)

概要

- JASMINEは様々な画像データを取得し、そこから星像位置を高精度に求める必要がある。最終的には 10^{-4} ~ 10^{-5} ピクセルレベルの位置決めが要求されている。
- すでに、1回の撮像により検出器上の1ピクセルの100分の1レベルの星像の位置決めが可能である事、また、多数回繰り返し得られるデータから枚数に応じて誤差が低減されることが地上実験で示されている。
- 以上解析にあたり、生じた系統誤差は原因問わず補正してきたが、そうした系統誤差が確かに物理的実体である事、そして、その微細な系統誤差が較正により取り除けているという事を、明らかにする。それにより、誤差低減できる事をより明確に示すというのが目標である。
- 再度地上実験装置を組み上げ、その動作確認を含めて撮像試験を行った。

これまでの経緯

- 星像の位置決定実験については、以前にも行っており、JASMINE旧MDR終了をもって、一旦終了した。その際以下の事を示している。

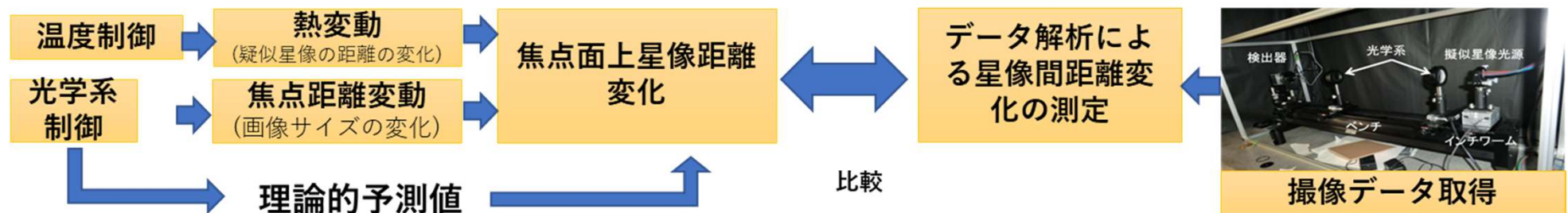
- 1回の撮像で0.01ピクセルレベルの位置決めが出来る事
- 多数回撮像で枚数に応じて位置決定誤差が低減する事

- 今後、多数枚撮像による誤差低減により、微小位置決めが出来ている事をより明確に明らかに示す事とした。

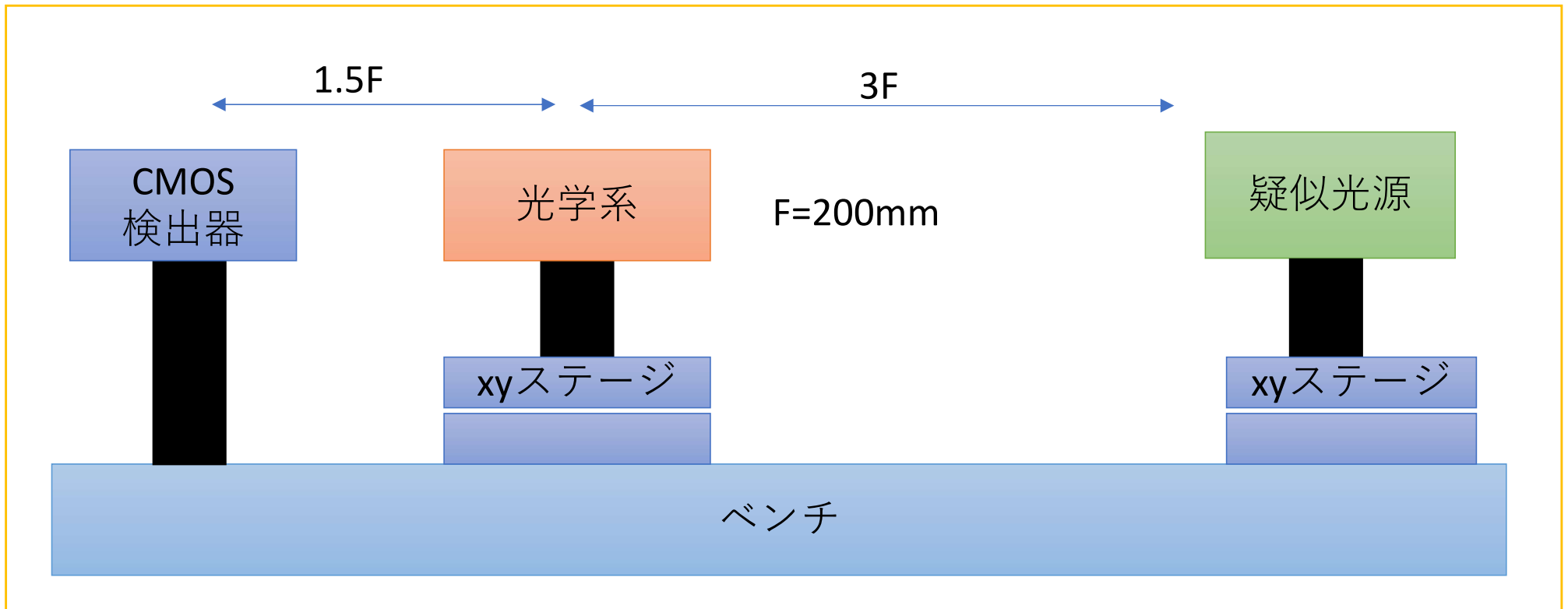
具体案

- 系統誤差として生じた微小変位が確かにとらえられ、示すために、人為的に変位を定量的に与える。そしてその変位が期待通りに確か測定できている事を示す。

- 1. 光学系レンズ位置を制御する事により焦点面上の星像サイズを制御し、その星像位置変動が正しく測定できるのかという事を示す。
- 2. コントロールされた熱環境で熱による装置の変形を撮像データから正しく測定できるかという事を示す。



装置



・ CMOS BITRAN BJ70M

ピクセル数 1604×1100
ピクセルサイズ $9 \times 9 \mu\text{m}$

現在の準備状況

完了事項

- CMOS検出器、他制御用PC、xyステージ
- 疑似星像移動用ステージの設置、動作確認
- 光学系の制御用ステージの設置、動作確認
- 検出器の設置、動作確認
- ベンチ上に検出器、レンズ、疑似星像の設置完了
- 検出器、疑似星像、光学系の位置調整完了
- 疑似星像ファイバ調整
- 撮像試験（星像データ取得）

未完了

- 熱電対の設置

今後改良

- 疑似星像の改善

撮像試験

- 以下、撮像試験の結果を示す。
- 実験装置のセットアップは完了しつつある。一方で、熱環境の把握のためのセットアップは未着手である。
- そこで以下のような撮像試験を行う。
- 1回の測定で0.01pixレベルの測定ができる事の確認
- 300回程度のデータ撮像中、光学系を調整し、焦点面上で2星間距離が0.01pix変化するようにする。これは人為的に与えた系統誤差である。これが確かに検出されるか確認する。

星像中心決定

この解析では、比較的容易なため、以下で示すようなガウシアンのパーク位置と分散をパラメータとするPSFfittingで行う事とする。

PSF-fittingのモデル関数 $L(x - \delta x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{(x - \delta x)^2}{2\sigma^2}\right)$ パラメータは $\delta x, \sigma$

x	座標
δx	ガウス分布のピークの座標
σ	分散値(標準偏差)

$\delta x, \sigma$ の線形化→ $L(x - \delta x) \approx L(x) - \frac{\partial L(x)}{\partial x} \delta x + \frac{\partial L(x)}{\partial \sigma} \delta \sigma$

最小2乗法

線形化された $\delta x, \sigma$ をパラメータとし、撮像データのカウント値との誤差が最小になる $\delta x, \sigma$ を求める。

得られた $\delta x, \sigma$ をもとに新たに線形化を行う事を繰り返す事により $\delta x, \sigma$ の値を更新する。(数回繰り返すと値は収束)

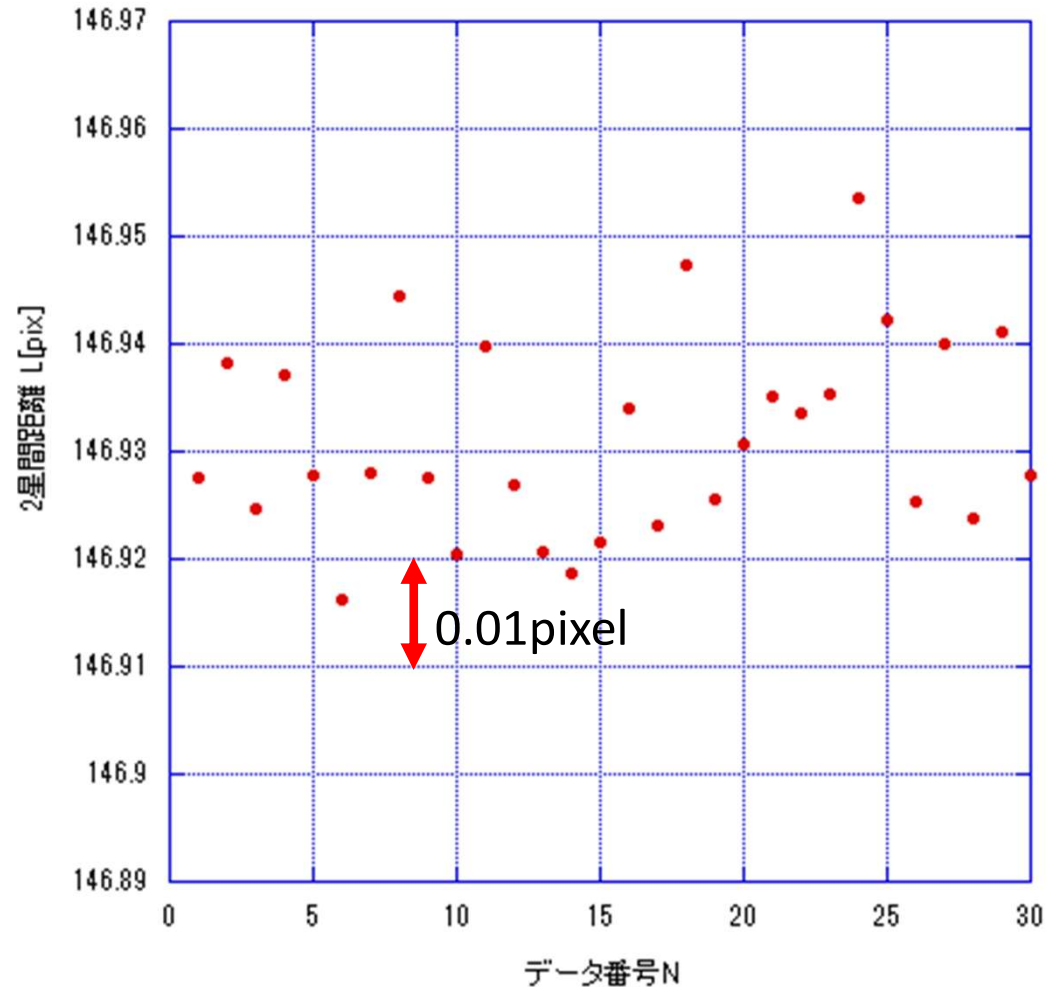
撮像試験1

2つの星の位置測定を行い、その間の距離を見積もった。

30回の測定結果を右図に示す。横軸はデータ番号、縦軸は2星間の距離を表す。

すべて2星間距離が146.93pix前後0.01pixの範囲で求められている。

およそ0.01pixの精度の誤差で測定できている事が確認された。

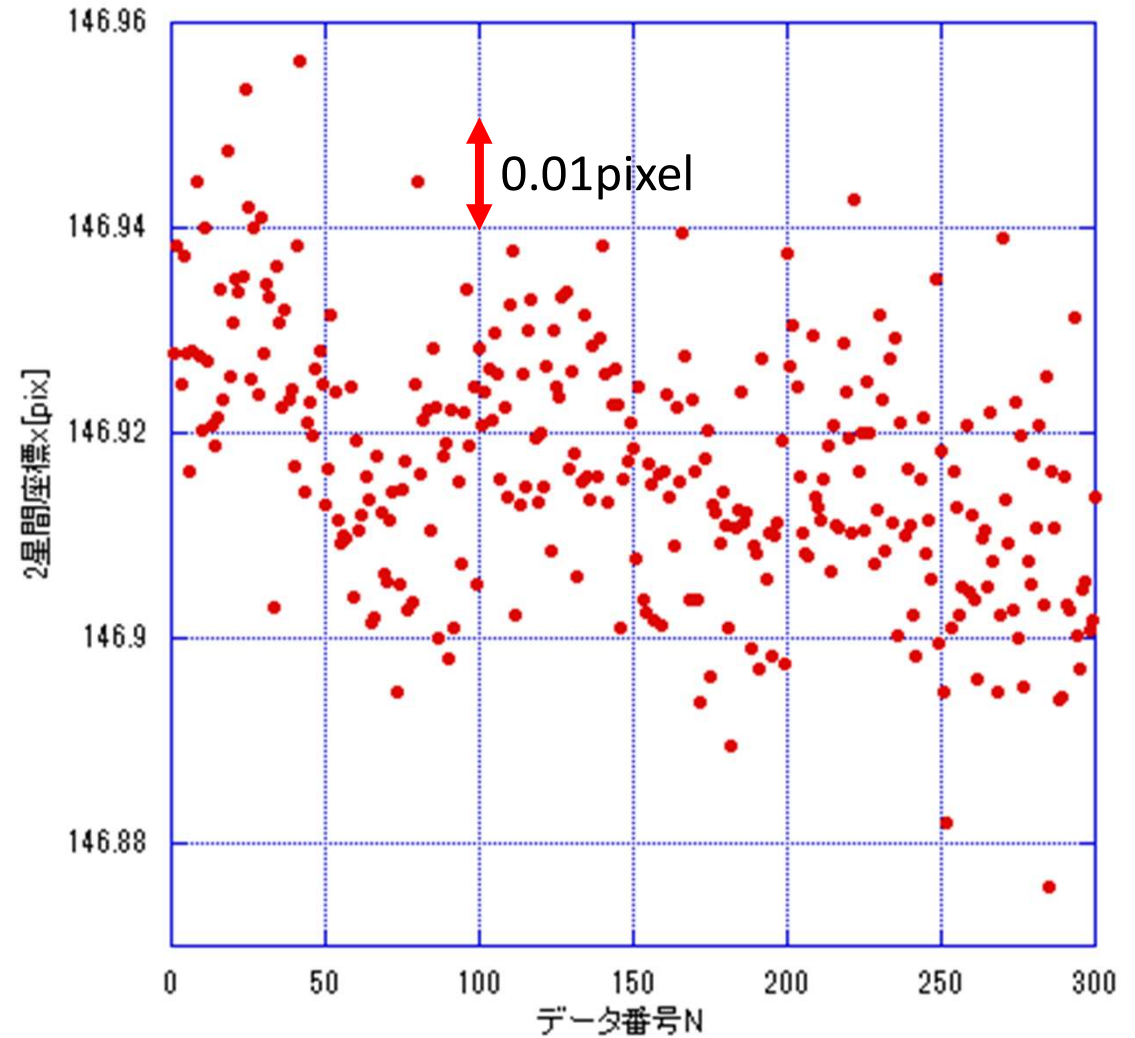


撮像試験2

疑似星像300回の撮像を行った。

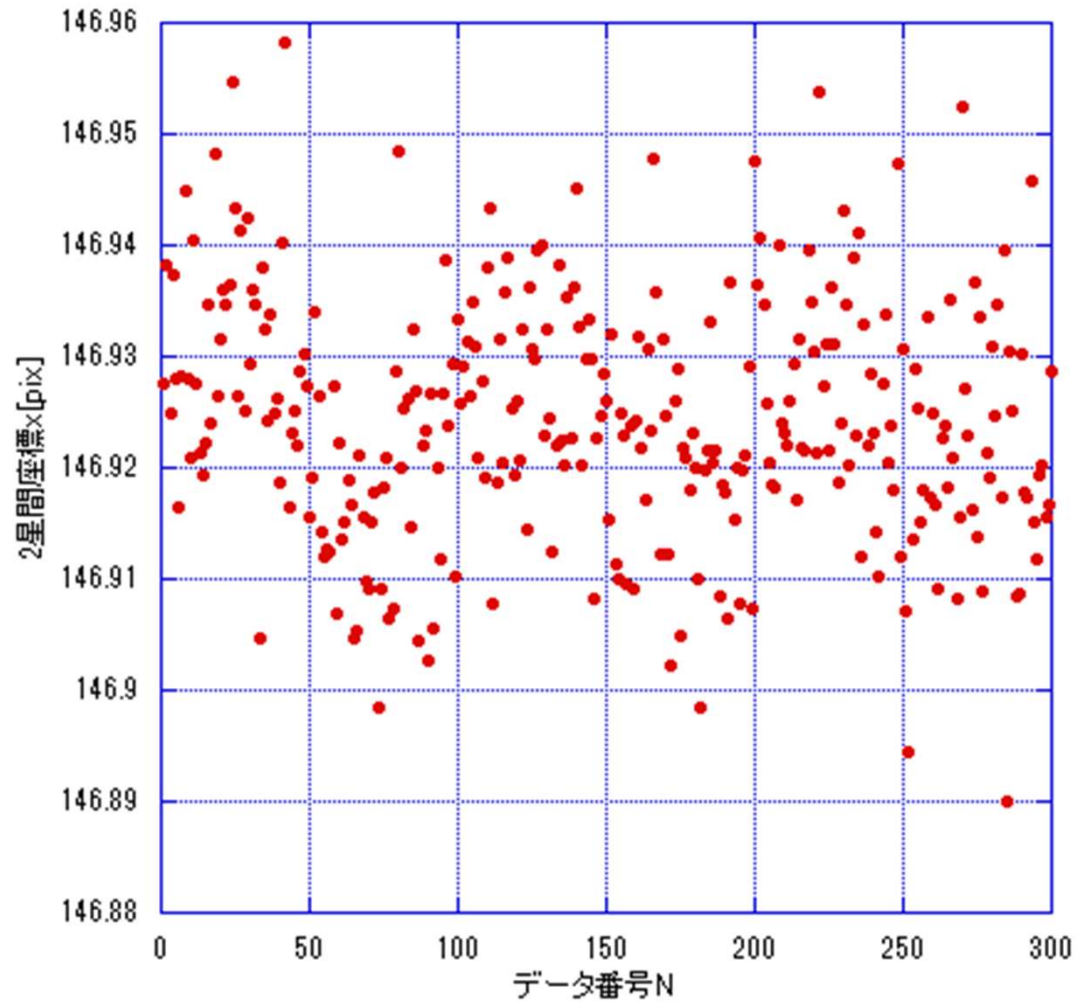
データ番号Nに対する
2つの星の間の距離を右図に示す。

⇒おおよそ0.01pixelの精度で位置決めが出来ている。
ただし、300回の撮像の間に2星間距離が大域的にゆっくりと減少しているのが確認される。
(熱環境による変化などが原因として考えられる)



撮像試験2

前スライドの単調減少成分を補正したものが右のグラフである。



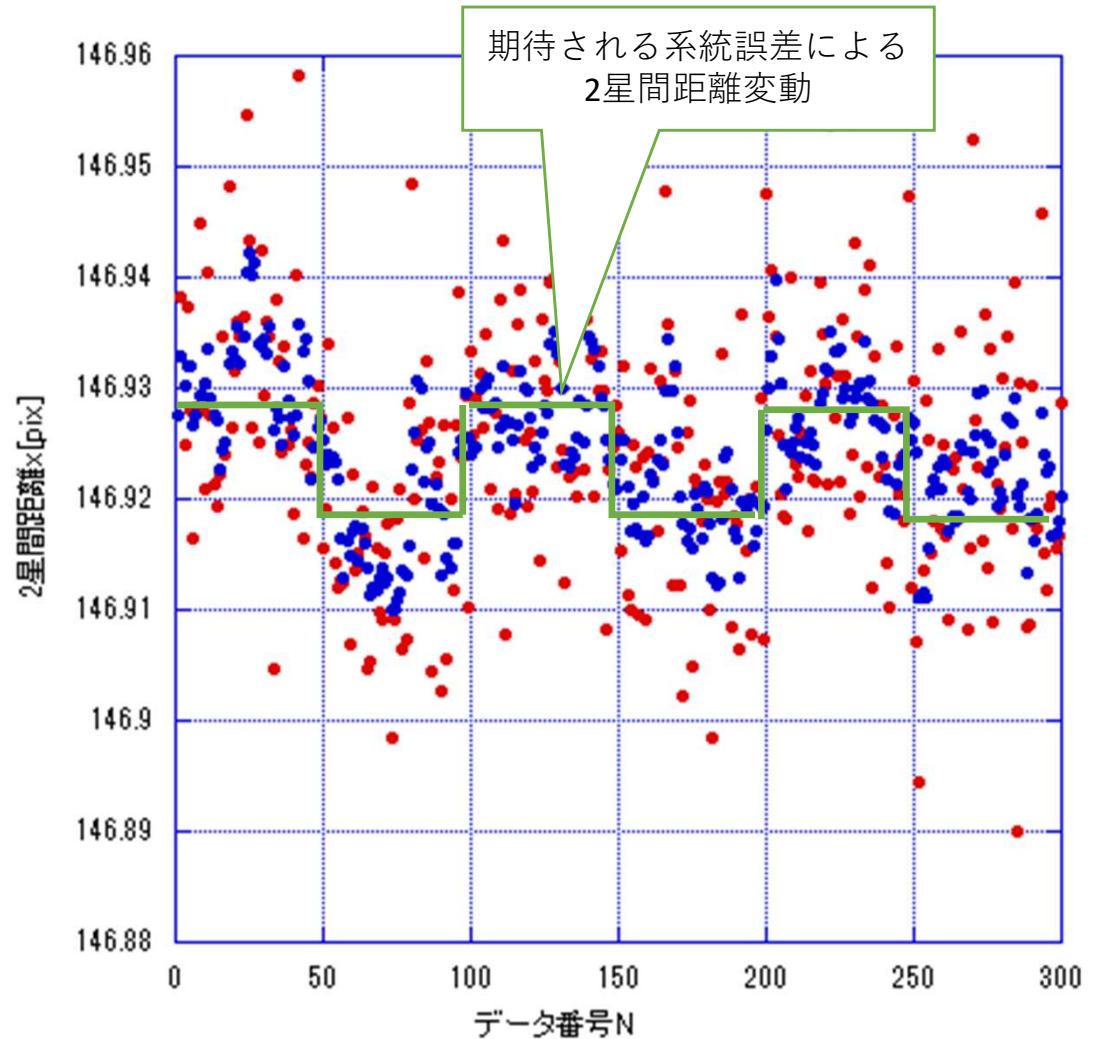
撮像試験2

前スライドに加え、各データ番号に対し、近接する4データを平均化した値を青プロットで重ね合わせたものが右図である。

100枚の周期で大きい値と小さい値が繰り返される様子が見える。

実際に期待される系統誤差による0.01pixの2星間距離変動を緑色のラインで示した（絶対的値は意味はない）。

光学系を制御して与えられた0.01pixelの系統誤差が識別された。



まとめと今後

- 実験装置の基本部分のセットアップおおよそ完了
- 1回の撮像で0.01 pixelレベル位置決めが出来る事が確認された。
- 300回の撮像データから0.01pixの系統誤差を検出した。

今後

- より多数の測定データからさらに微細な系統誤差を抽出
- 熱環境変化も含めた系統誤差の抽出と補正