

月面天測望遠鏡の地上モデルを用いた 精度評価と観測実験

Accuracy evaluation using a ground experiment model of the telescope for
In-situ Lunar Orientation Measurements(ILOM) and some experiments

#鶴田誠逸¹・花田英夫¹・浅利一善¹・荒木博志¹・野田寛大¹・鹿島伸悟¹
船崎健一²・佐藤 淳²・谷口英夫²・加藤大雅²・菊池 護²・千葉皓太²
横川琳吾²・新毛翔太²

1: 国立天文台RISE月惑星探査検討室

2: 岩手大学工学部

月面天測望遠鏡の概要

ILOM: In-situ Lunar Orientation Measurement (月面天測望遠鏡計画)

○計画と目的

月面に位置天文観測用小型望遠鏡を設置して、多数の星の位置を1年以上にわたって観測し、望遠鏡の視野内の星の位置の予測値とのずれを調べることによって、月の回転変動を求めることができる。月の回転変動を調べることで月の内部構造が推定できる。

○望遠鏡概要

- ・極域への設置を想定して写真天頂筒(PZT)型
- ・口径100mm、焦点距離1,000mm
- ・反射鏡: 水銀面
- ・受光: CCD
- ・目標分解能: 1ミリ秒角



1画素 $5\mu\text{m}$ のCCDでは1/1000の分解能で星像の中心位置を求めることが必要
この分解能を達成するためには12等級以下の星を100秒間の積分が必要



PZT (@旧水沢緯度観測所)

地上観測の目的

1. 鏡筒の温度変化による変形の評価

- ・温度勾配による傾斜・・・80秒角以下
- ・温度変化による長さ変化・・・0.6mm以下



光学解析で低熱膨張率のCFRP等の使用で条件を満たすことを確認

2. 光学系の評価

- ・合成石英による回折レンズ
- ・ゼロ膨張ガラスのクリアセラムZ-EXによるプリズム



熱構造解析・光学解析で熱変形を許容範囲内に収まることを確認

3. 星像中心位置決定精度の評価

- ・疑似光源を用いた室内実験が有効
- ・屋外での実際の星の観測



野外で問題となる影響の評価
(振動・温度変化・・・)

現在のところ、回折レンズ以外の光学素子及びCFRP製の鏡筒の製作ができていないため、地上観測による1及び2の評価は今後の課題である。

今回は室内実験と屋外観測で得られた星像中心位置の決定精度について報告する。

地上観測の目標精度

望遠鏡の分解能は主に下記3つで決まる。

1. 回折限界
2. シーイング
3. CCDピクセルサイズ

1. 回折限界

$\theta_{\text{rad}} = 1.22 \times \lambda / D$ (D:口径、 λ :波長)

口径100mm、波長600nmの場合、 $\theta = 7.32 \times 10^{-6}$ (1.5秒角)

2. シーイング・・・場所や気象条件によって変わるが、

例:ハワイ・すばる望遠鏡 0.4秒角、岡山天体物理観測所 1.1～1.2秒角

3. ピクセルサイズ

星像を1ピクセル内に入れる場合、分解能はそのサイズ以下にはならない。

(5 μm の場合、 $f=1\text{m}$ で1秒角)

星像を数ピクセルに広げる場合には約1/300ピクセル(約3ミリ秒角)の分解能を達成している。

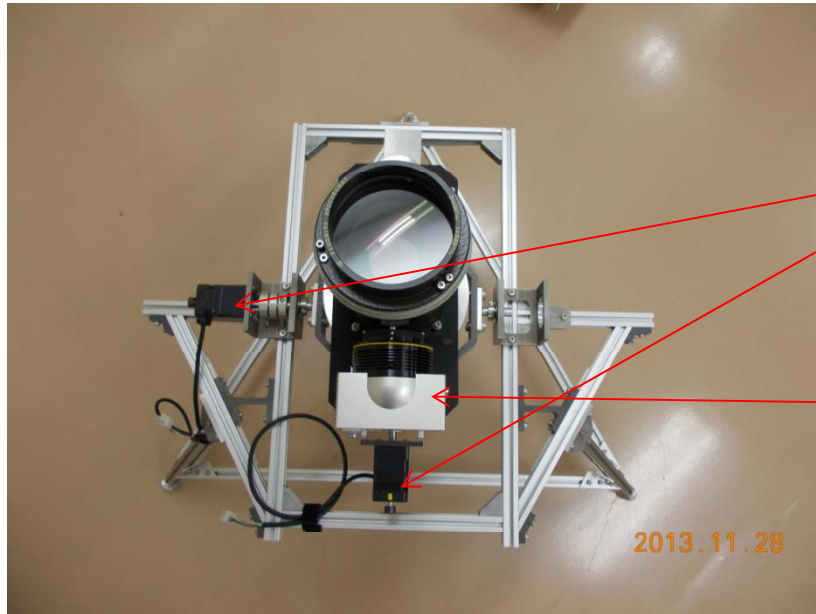
これまでのPZT型の実績

写真乾板を用いたPZT(緯度観測):約1秒角

CCDを用いたPZT(鉛直線偏差):約0.1秒角

これらを考慮して、**地上モデルの目標分解能は0.1秒角とする。**

地上モデル



姿勢制御用モータ
分解能: 6.5秒角

CCDカメラ
静止画像連
続撮影



CCDカメラ
動画画像撮影
30コマ/秒

Z軸ステージ
(焦点調整)

仕様

口径: 100mm

焦点距離: 1000mm

CCDピクセルサイズ:

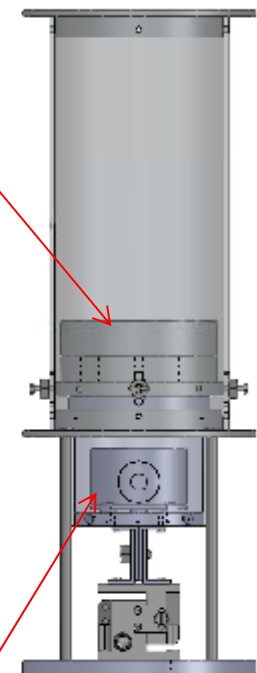
$7.4 \times 7.4 \mu\text{m}$

ピクセル数: 512×512

視野角: $12' \times 12'$



水銀皿



傾斜計
分解能: 3.6秒角

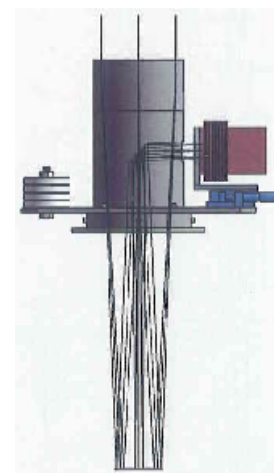
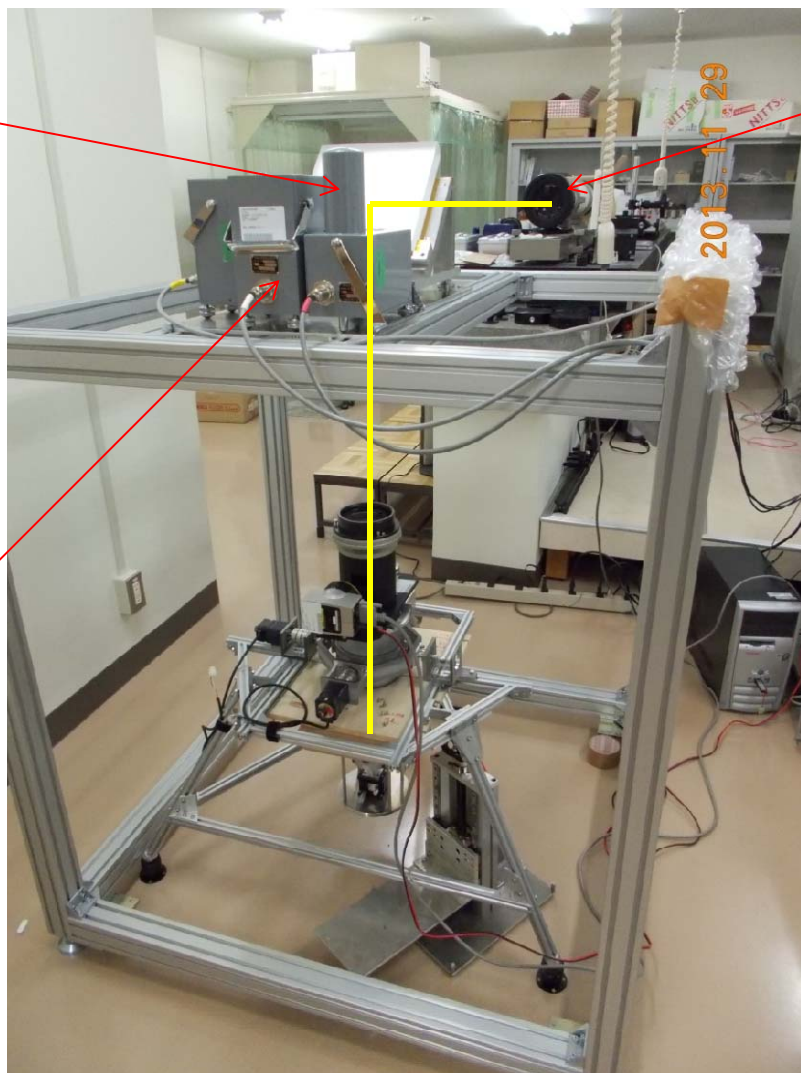
疑似星像を使った室内実験

ミラー

コリメータ

ピンホールを通した光を
コリメータで平行光線に
して、鏡筒に導入する

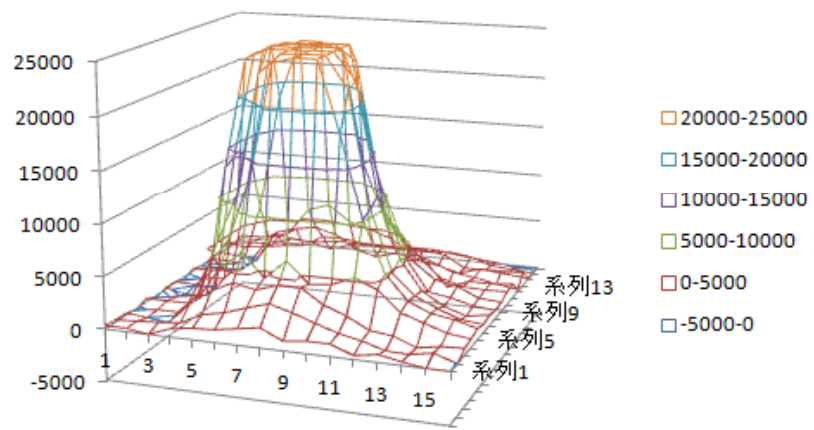
振動計



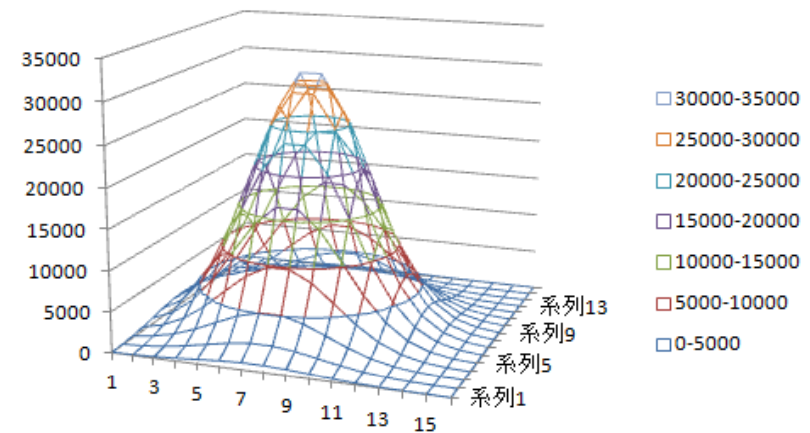
疑似星像の例



CCD上の受光強度分布

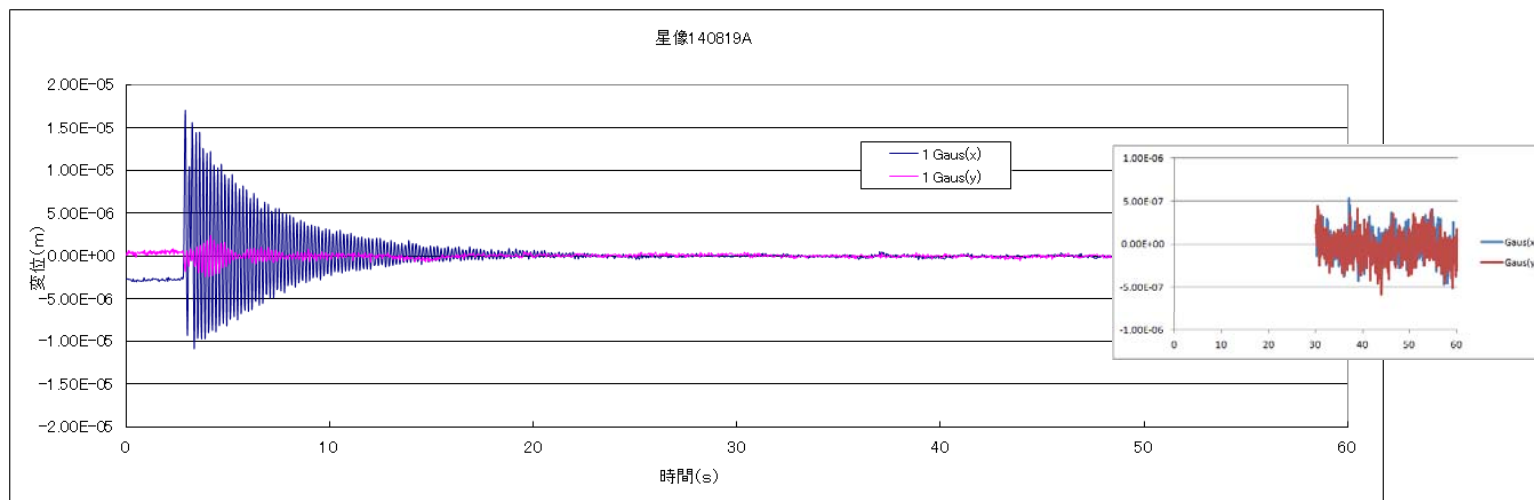


ガウス分布で近似して星像中心を求める



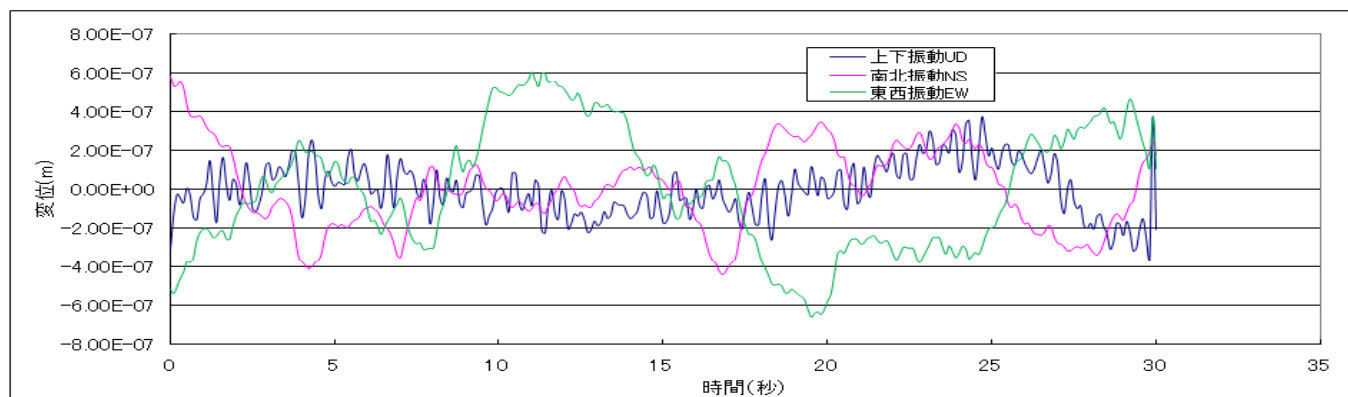
疑似星像中心位置変化

動画データ



撮影開始数秒後に鏡筒の姿勢制御を行い、その振動の影響が見られるが、その後は安定しており、**星像変位は $\pm 0.5\mu\text{m}$ (± 0.1 秒角) 以下**の安定性を示している。

床振動(振幅 $\pm 0.6\mu\text{m}$ 、周期0.5Hz)



屋外観測

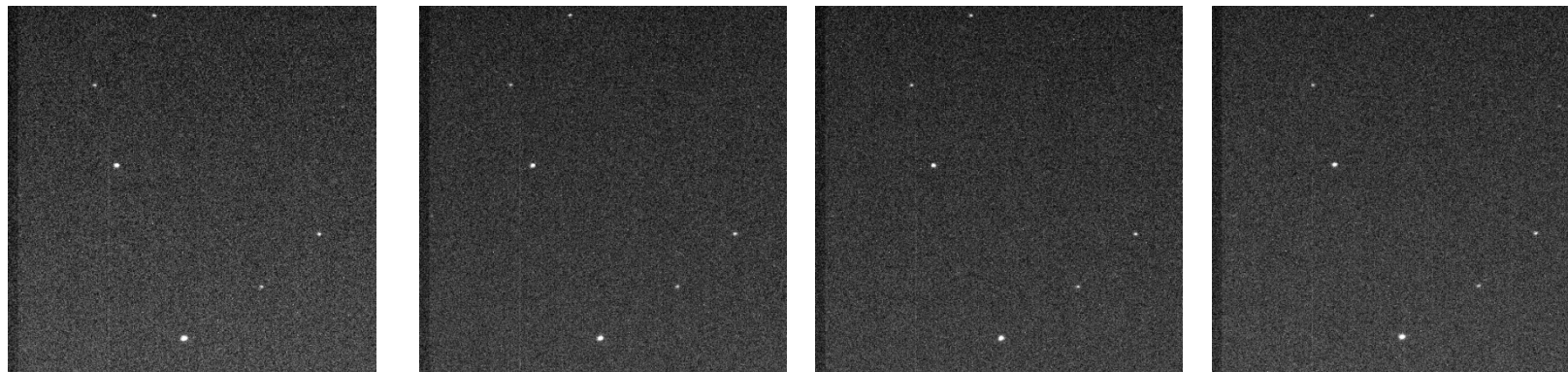
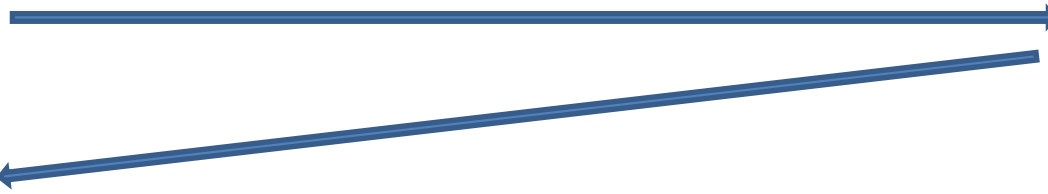
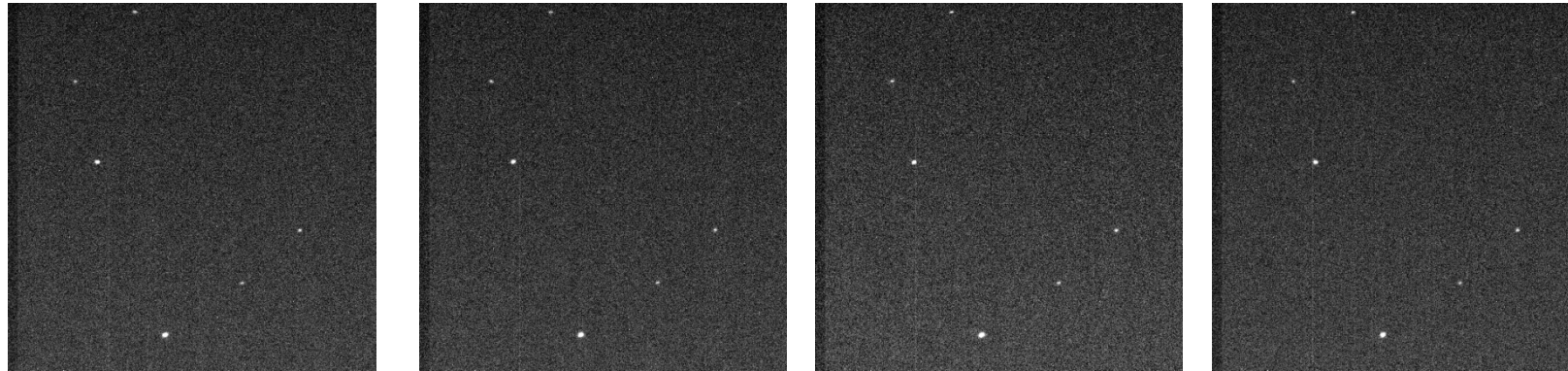


待ち受けによる観測



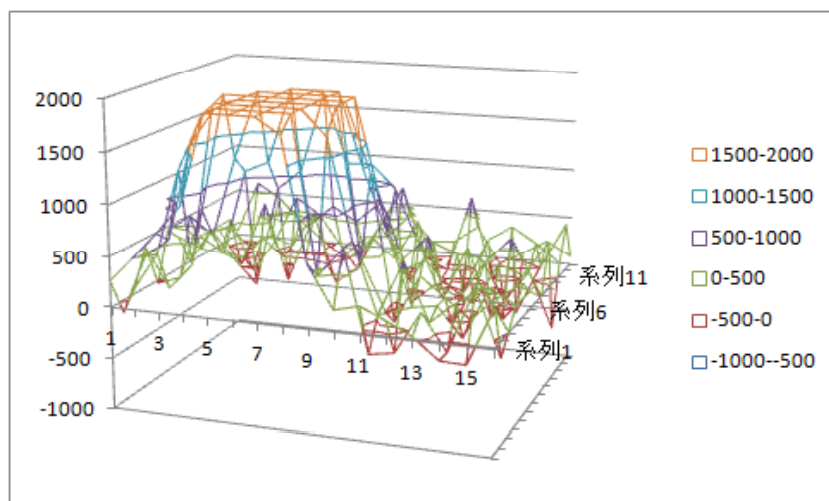
観測された星像例

静止画像 1秒積分

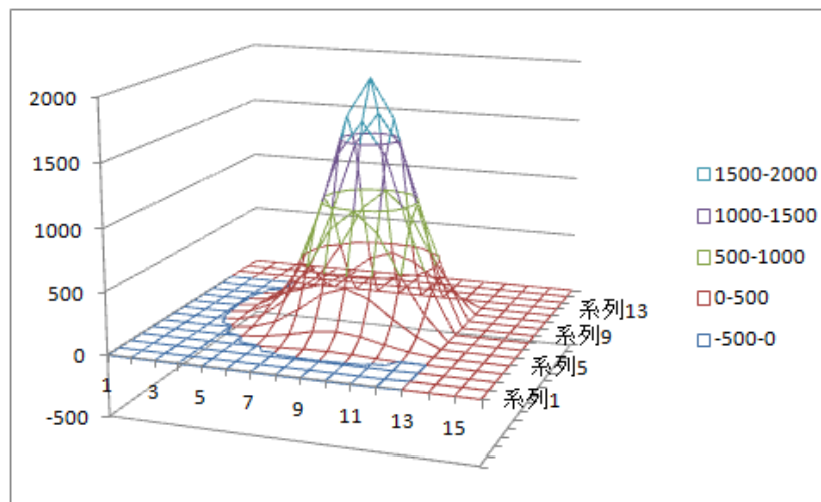
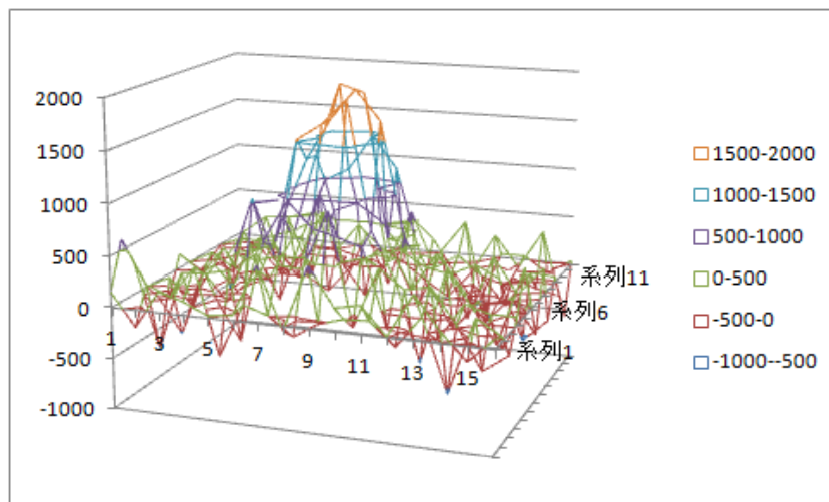
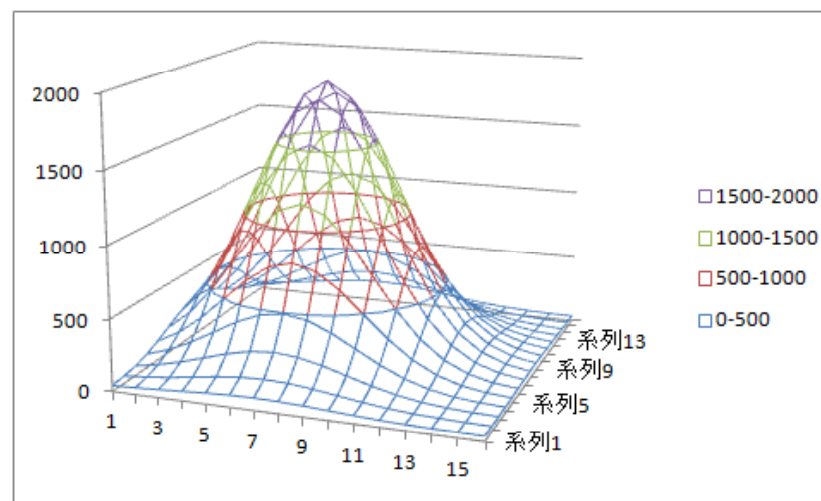


星像中心決定例

CCD上の受光強度分布



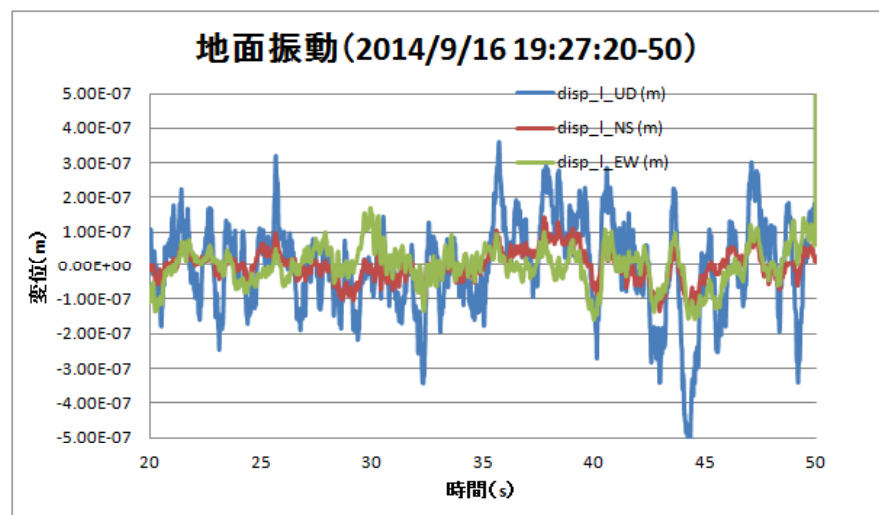
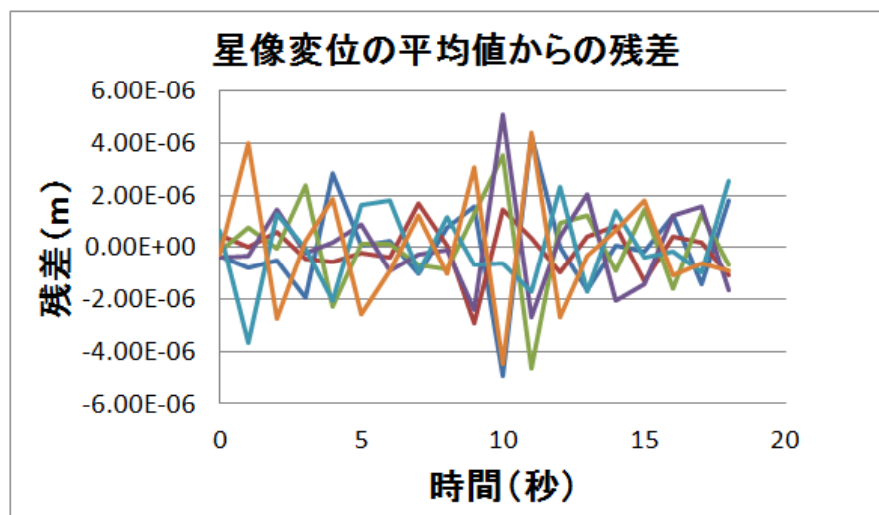
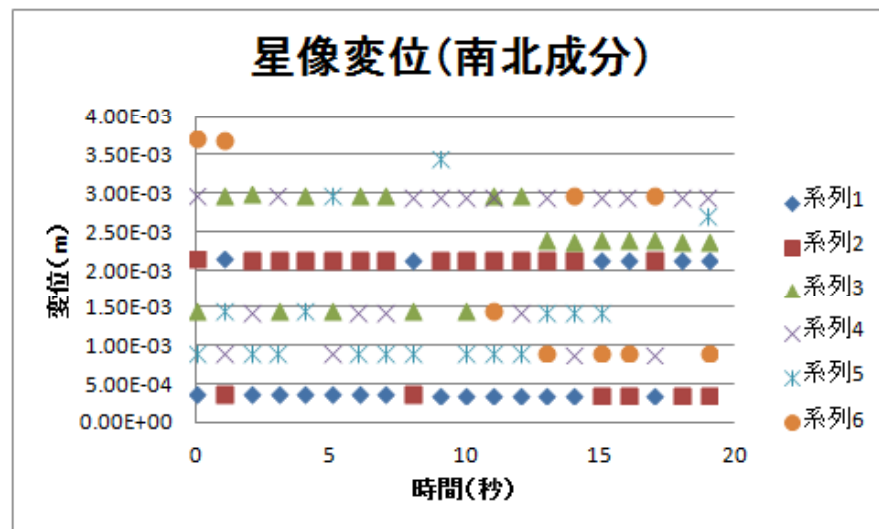
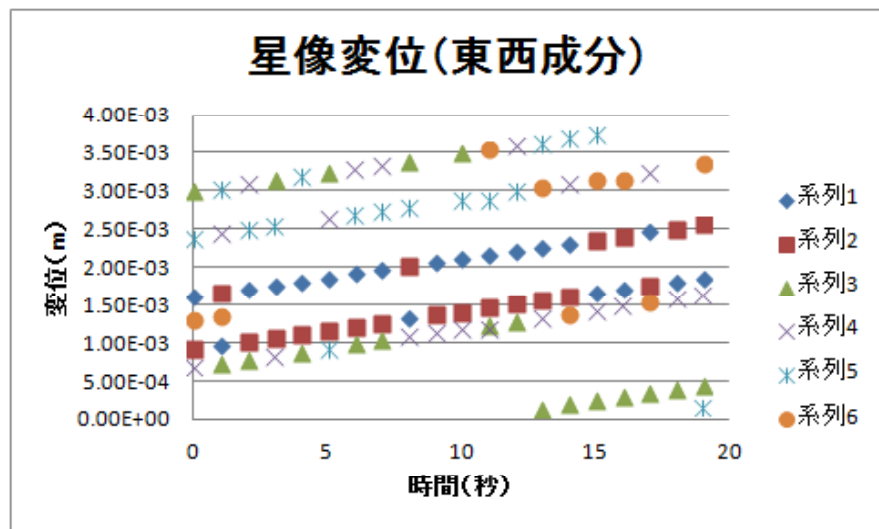
ガウス分布で近似



カメラの感度不足等で星像中心の決まりが悪い

星像中心位置変化

2014/9/16 19:19:45-19:20:05



星像中心位置決定精度・ $\pm 2\mu\text{m}$ (± 0.4 秒角)

まとめ

月の回轉變動を観測することを目的とした月面天測望遠鏡(ILOM)の地上モデルを用いて、室内での疑似星像を使った星像中心位置決定評価と、屋外において星の観測による星像中心位置の決定精度の評価を行った。その結果、

- ・室内での実験: 目標分解能 ± 0.1 秒角を得ることができた。
- ・屋外観測: ± 0.4 秒角の分解能で、目標には達しなかった。

屋外での観測で目標に達しなかった原因は実際に観測した星は疑似星像に較べて暗く、星の明るさに対して、CCDカメラの感度が不足し、星像中心が良く決まらなかったためと思われる。高感度カメラの利用や、より明るい星を観測できれば精度が上がると期待できる。

現在、姿勢制御系の改修が岩手大学で行われており、改修後、屋外での観測による目標分解能を達成したいと考えている。