

ILOM計画における地上試験観測用 望遠鏡の水銀皿を用いた撮像実験

Stellar imaging experiment using a mercury pool as a ground test
of the telescope for In-situ Lunar Orientation Measurements(ILOM)

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

1: RISE月惑星探査検討室/NAO

2: 岩手大学工学部

第14回宇宙科学シンポジウム 2014年1月9－10日

概要

月面天測望遠鏡 (ILOM: In-site Lunar Orientation Measurement) 計画では反射鏡として水銀皿の水銀面を利用することを検討している。

昨年度は開発した数種類の水銀皿について、水銀面の面精度や振動の影響などの測定結果について報告した。

その後、ILOM地上試験観測用望遠鏡を利用して、開発した中で最適な水銀皿について、疑似星像を用いて振動の影響や星像中心位置決定精度について実験を行った。今回はその測定結果と問題点について報告する。

実験は国立天文台水沢実験室と、共同研究している岩手大学工学部施設で行った。

ILOM計画

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

○計画と目的

月面に光学望遠鏡を設置して星を観測し、月の回轉變動を直接計測することで月の物理秤動の観測精度をあげ、月の進化と内部構造の解明を目指す

○望遠鏡概要

- 極域を想定して写真天頂筒 (PZT (Photographic Zenith Tube)) 型
- 反射面: 水銀皿の水銀面
- 目標分解能: 1ミリ秒角

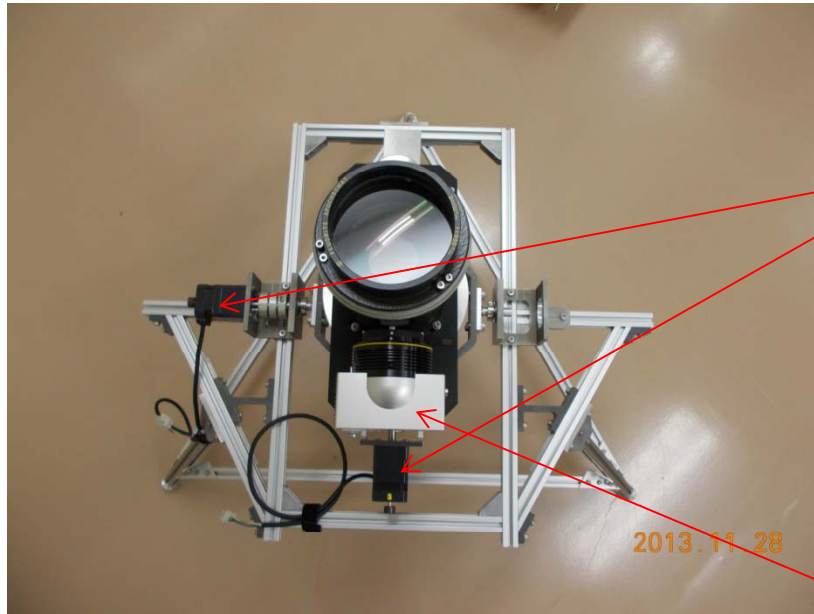
○PZTの特徴

- ・焦点距離をかせげる
- ・若干の傾斜は相殺でき、星像中心がずれない



PZT (@旧水沢緯度観測所)

ILOM地上試験観測用望遠鏡



口径: 100mm
焦点距離: 1000mm

姿勢制御用モータ
分解能: 6.5秒角

CCDカメラ

水銀皿
or
平面鏡



Z軸ステージ
(焦点調整)

傾斜計
分解能: 3.6秒角



地上試験観測用望遠鏡の目標精度

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

例:すばる望遠鏡 0.4秒角、岡山 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。

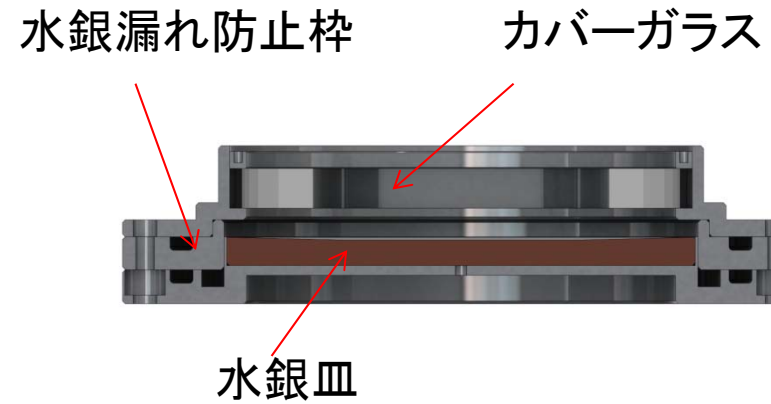
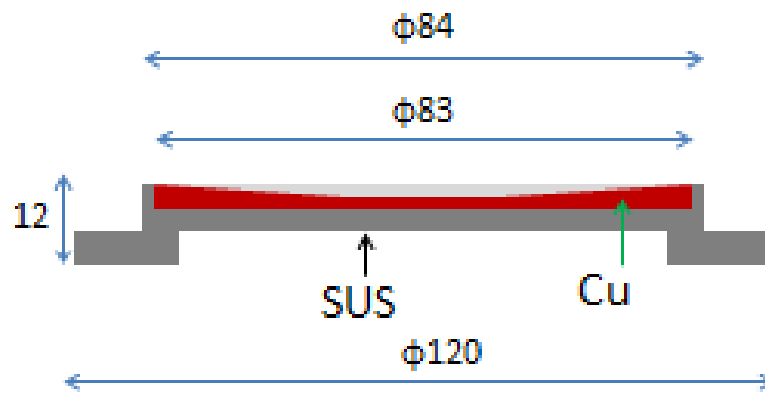
これまでの実績

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

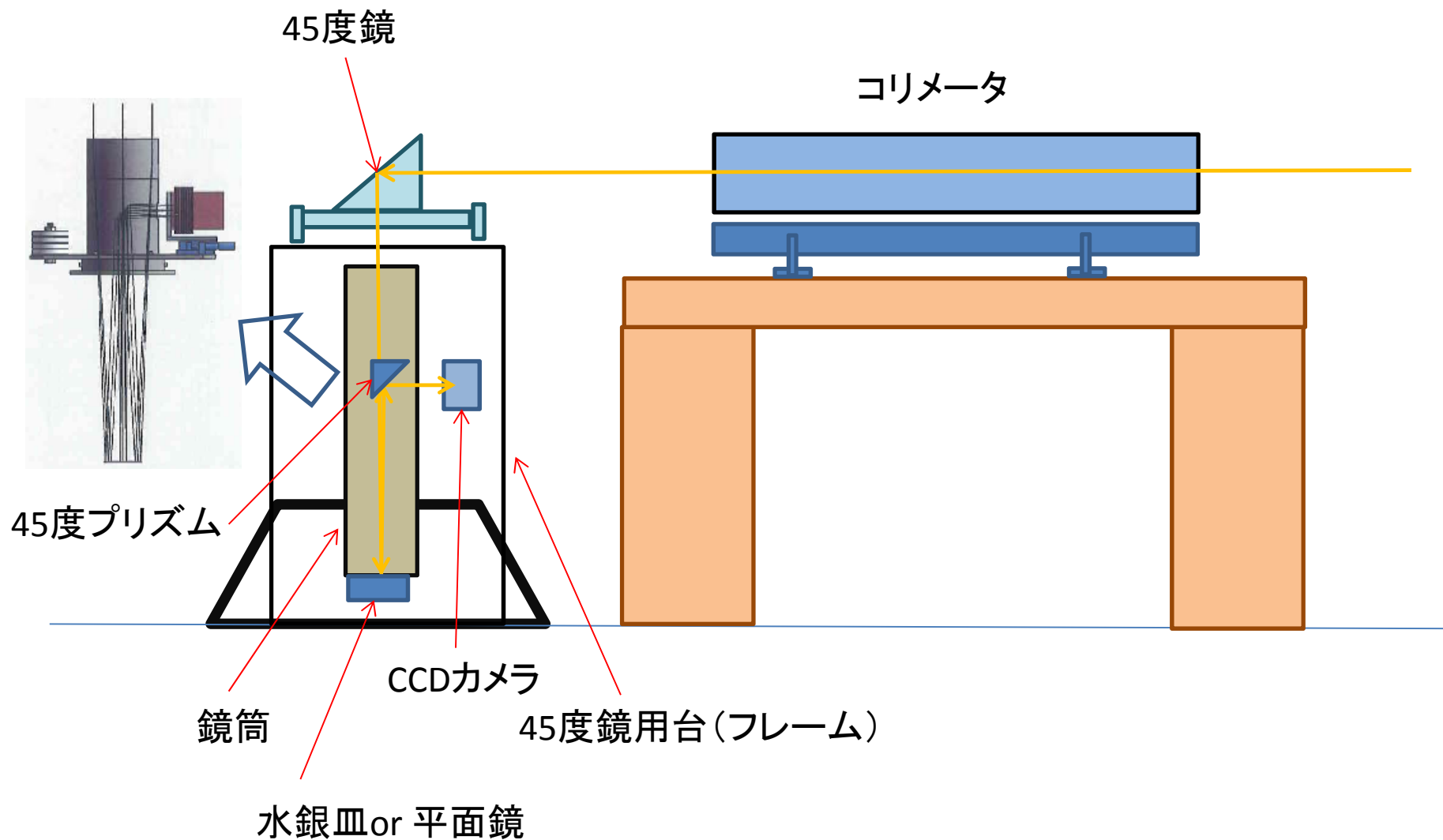
これらを考慮して、**地上試験観測用望遠鏡の目標分解能は0.1秒角とする。**

開発した水銀皿

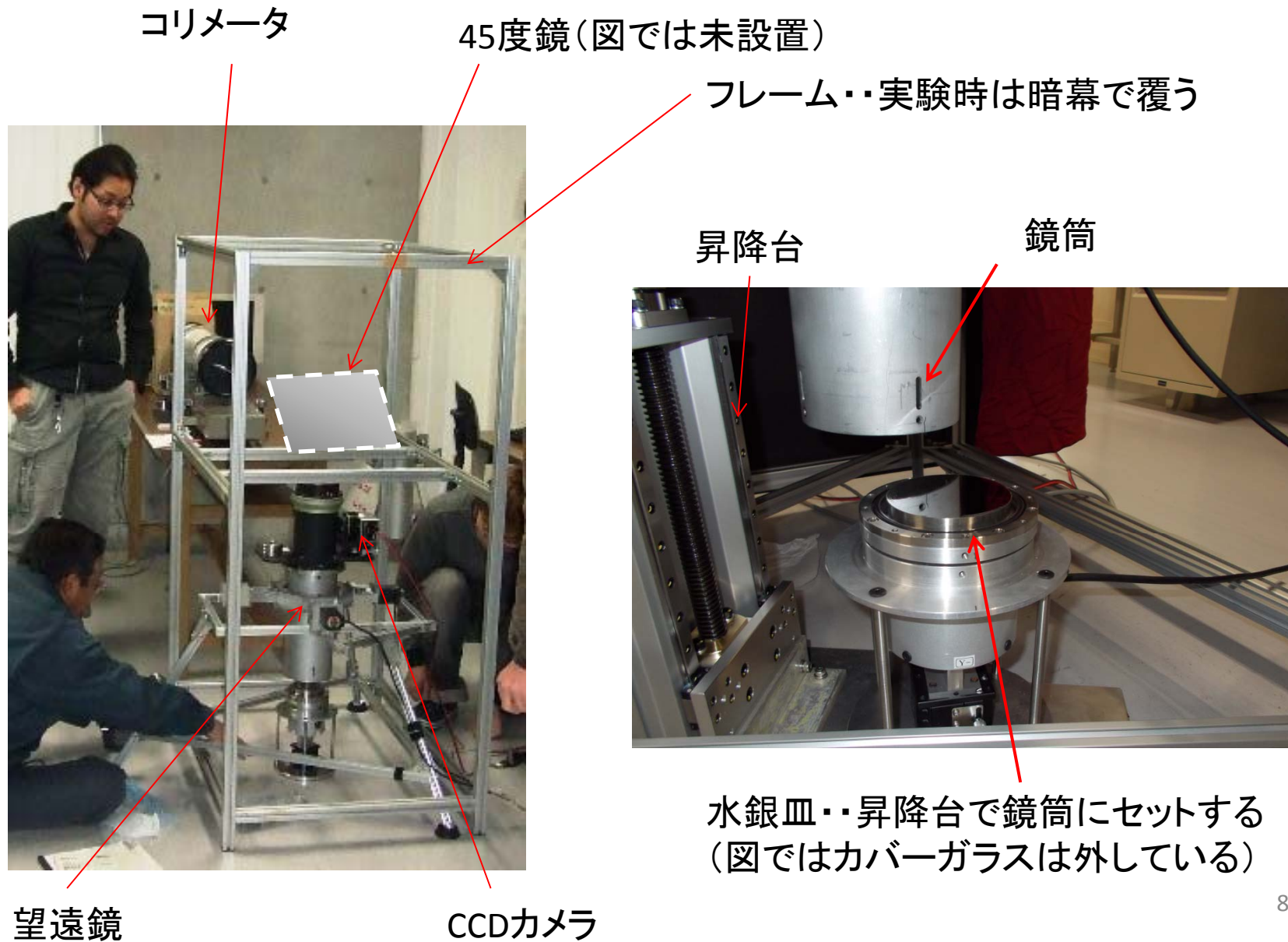


水銀深0.5mm 光学的有效径62mm 水銀面精度 0.3λ

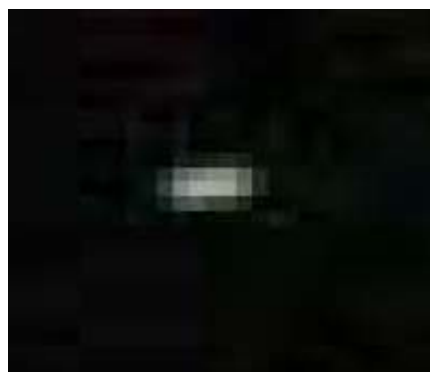
疑似星像撮像実験配置図



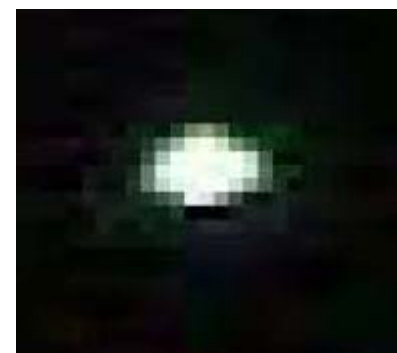
実験の様子@岩手大学



疑似星像の例

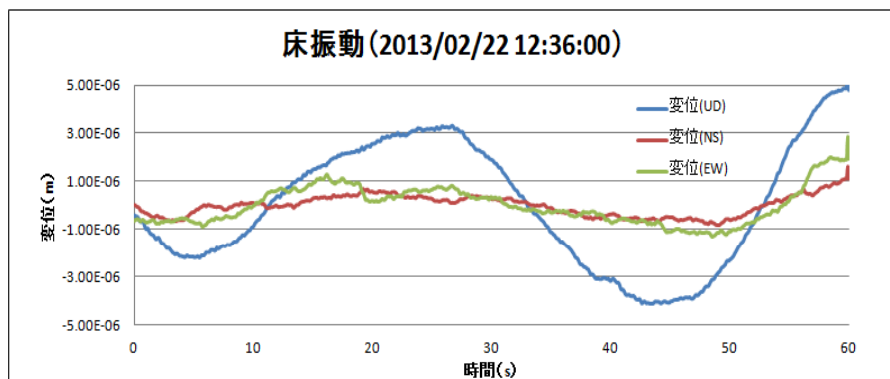
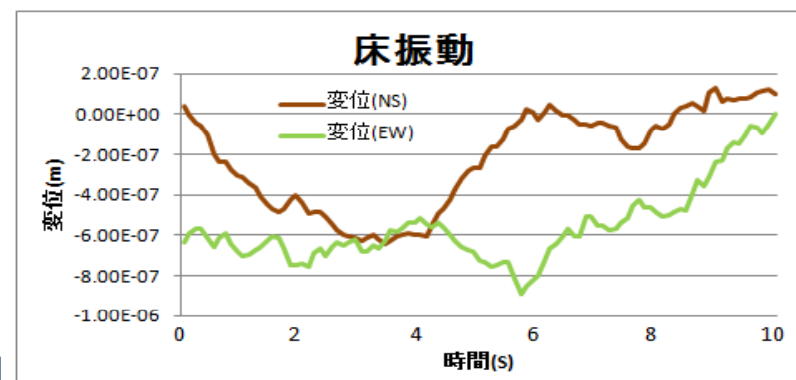
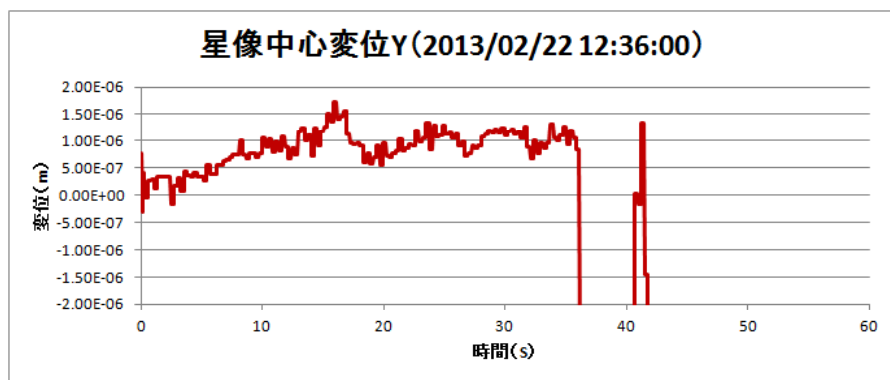
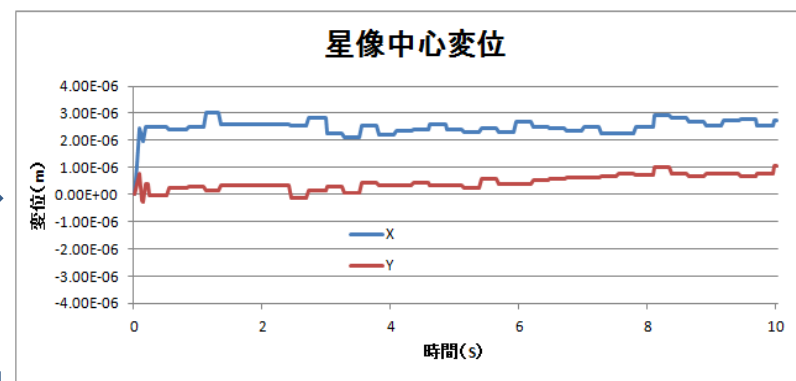
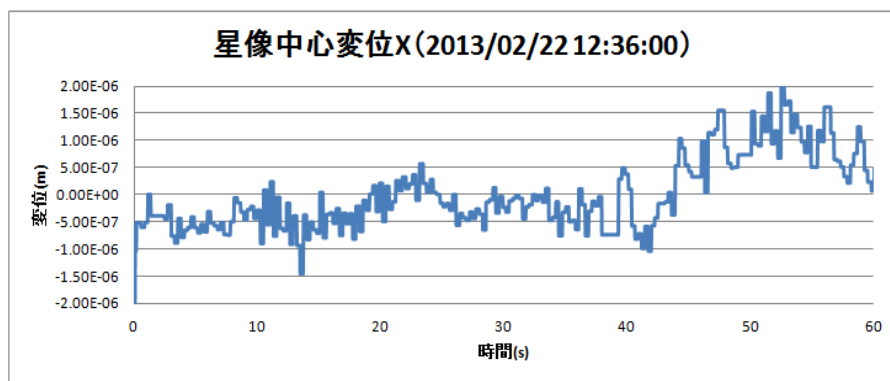


水銀皿



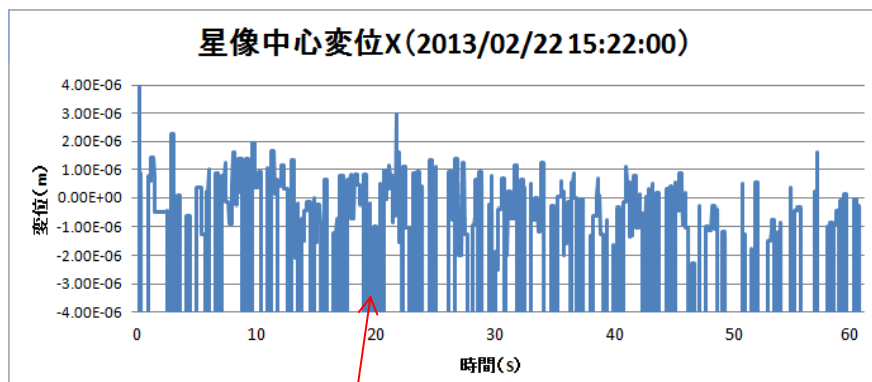
平面鏡

平面鏡での実験結果@岩手大学

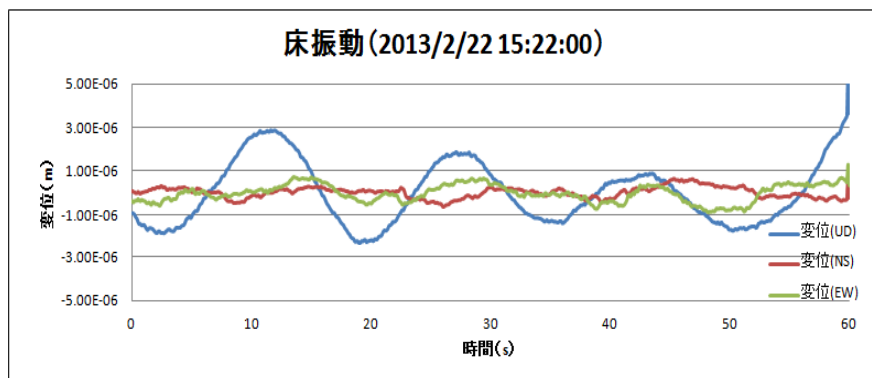
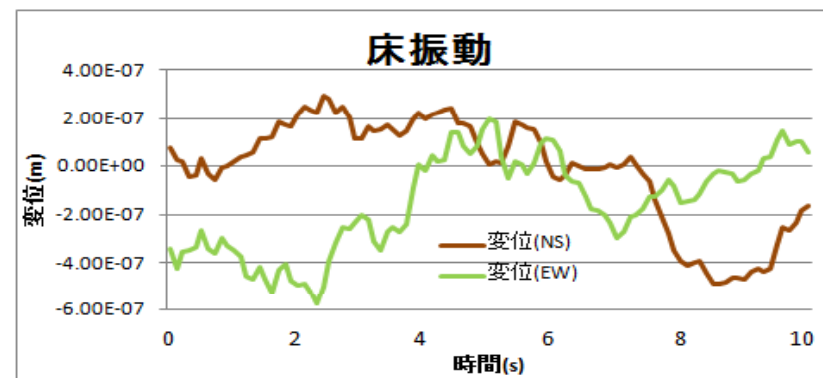
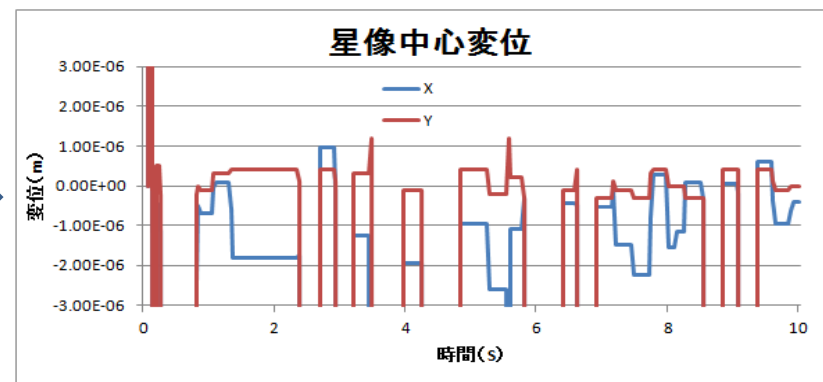
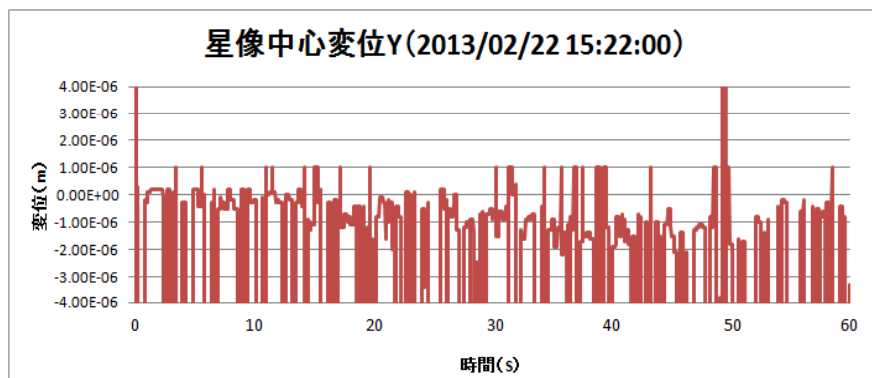


- ・星像中心変位: 短周期成分の振幅は $0.5\mu\text{m}$
- ・床振動: 水平振動・長周期成分の振幅は $\pm 1\mu\text{m}$ 、短周期成分の振幅は $0.1\mu\text{m}$
- ・星像中心変位の短周期成分の変動周期と床振動(NS・EW)のそれとは相関が見られる

水銀皿での実験結果1@岩手大学

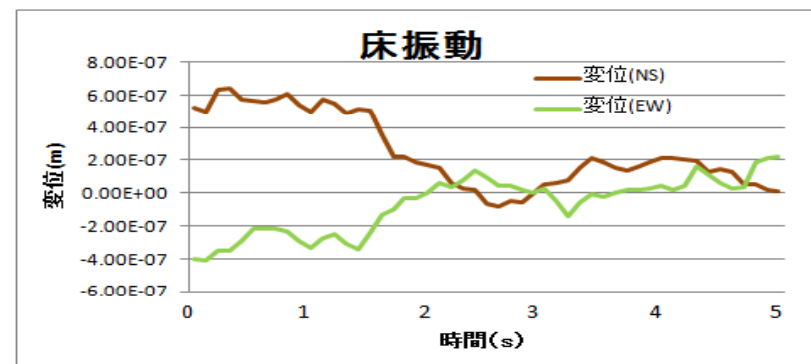
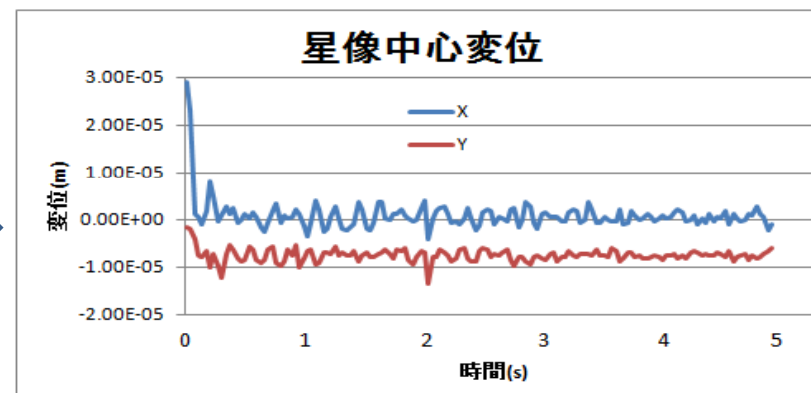
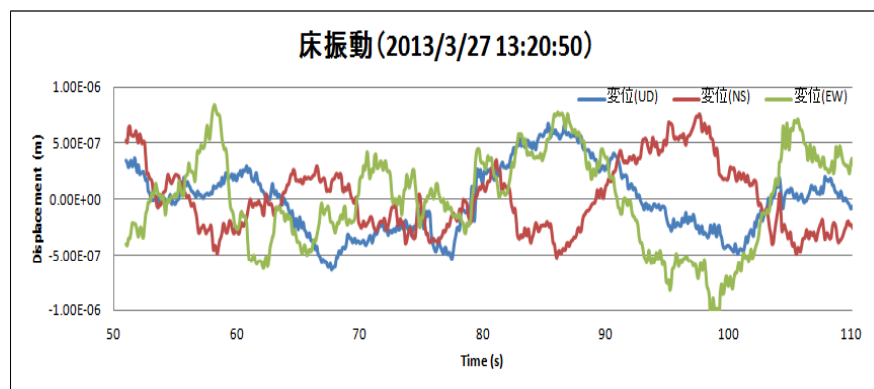
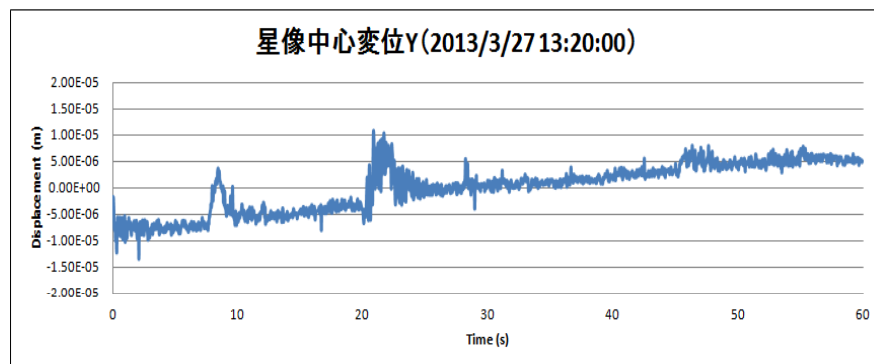
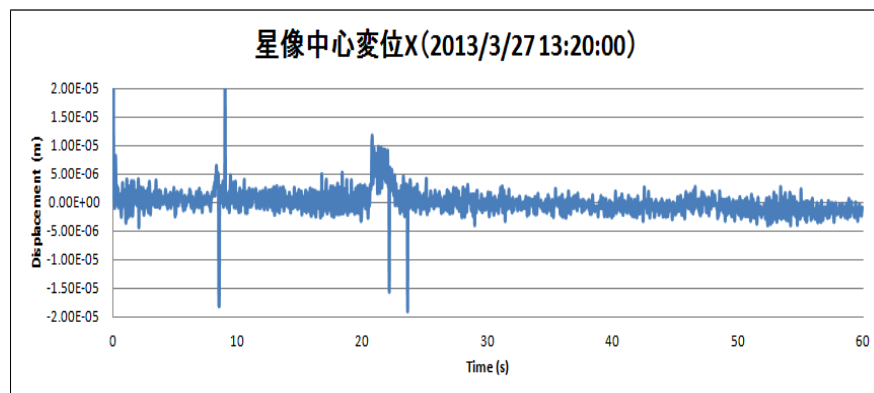


星像中心不確定



- ・星像中心変位: 短周期成分の振幅は $2\mu\text{m}$
- ・床振動: 水平振動・長周期成分の振幅は $\pm 1\mu\text{m}$ 、短周期成分の振幅は $0.1\mu\text{m}$
- ・星像中心の不確定が多いため、その短周期成分の変動周期と床振動のそれとの関係は不明である

水銀皿での実験結果2@岩手大学



- ・星像中心変位: 短周期成分の振幅は $3\mu\text{m}$
- ・床振動: 水平振動・長周期成分の振幅は $\pm 1\mu\text{m}$ 以下、短周期成分の振幅は $0.1\mu\text{m}$
- ・星像中心変位の短周期成分の変動周期は床振動(NS・EW)のその約2倍である

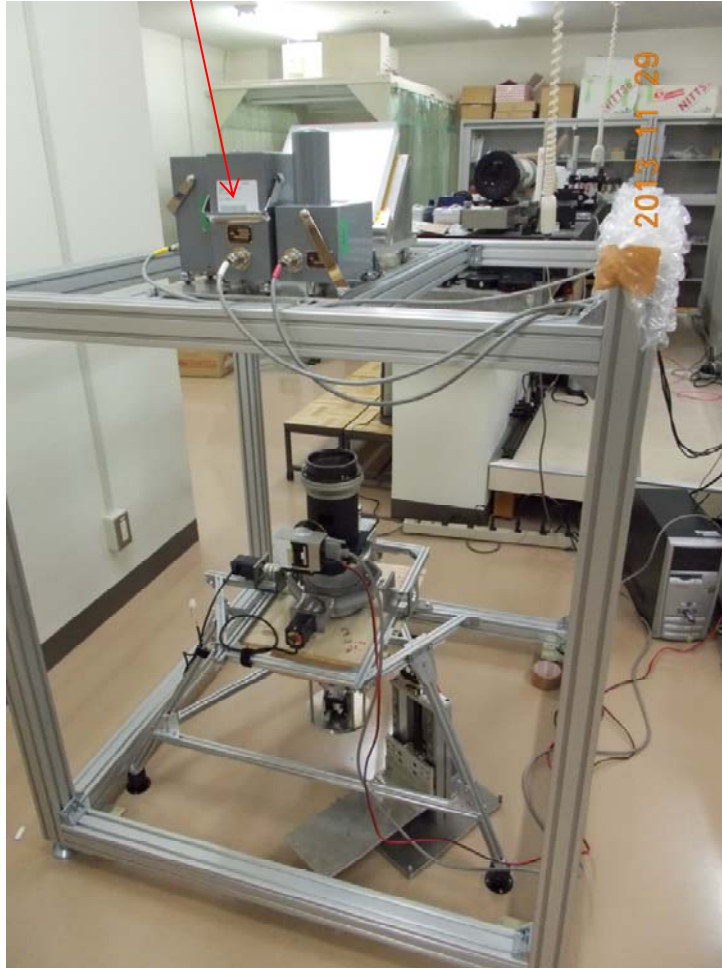
岩手大学での実験のまとめ

	平面鏡	水銀皿1	水銀皿2
星像中心変位	短周期成分の振幅は $0.5\mu\text{m}$	短周期成分の振幅は $2\mu\text{m}$	短周期成分の振幅は $3\mu\text{m}$
床水平振動	長周期成分の振幅は $\pm 1\mu\text{m}$ 、短周期成分の振幅は $0.1\mu\text{m}$	長周期成分の振幅は $\pm 1\mu\text{m}$ 、短周期成分の振幅は $0.1\mu\text{m}$	長周期成分の振幅は $\pm 1\mu\text{m}$ 以下、短周期成分の振幅は $0.1\mu\text{m}$
星像中心変位と床水平振動の関係	星像中心変位の短周期成分の変動周期と床振動(NS・EW)のそれとは相関が見られる	星像中心の不確定が多いため、その短周期成分の変動周期と床振動のそれとの関係は不明である	星像中心変位の短周期成分の変動周期は床振動(NS・EW)のそれの約2倍である

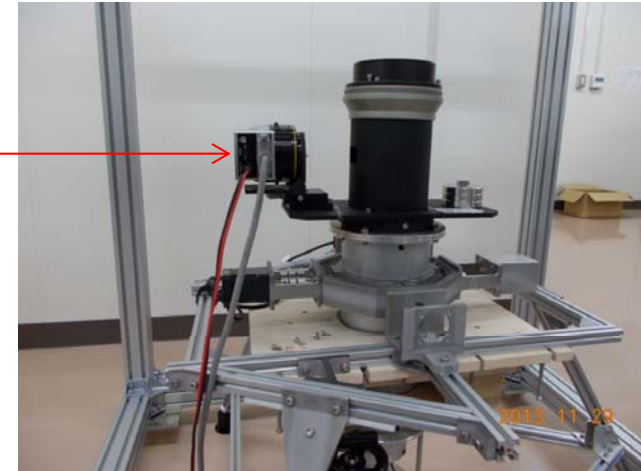
3回の実験で、実験室の床水平振動変位はほとんど同じであるが、星像中心変位は水銀皿の場合、短周期成分の振幅が平面鏡の約5倍の変位であり、床の振動の影響が大きい事が確認できた。

実験の様子@水沢

振動計(3台)



CCDカメラ
静止画像
連続撮影



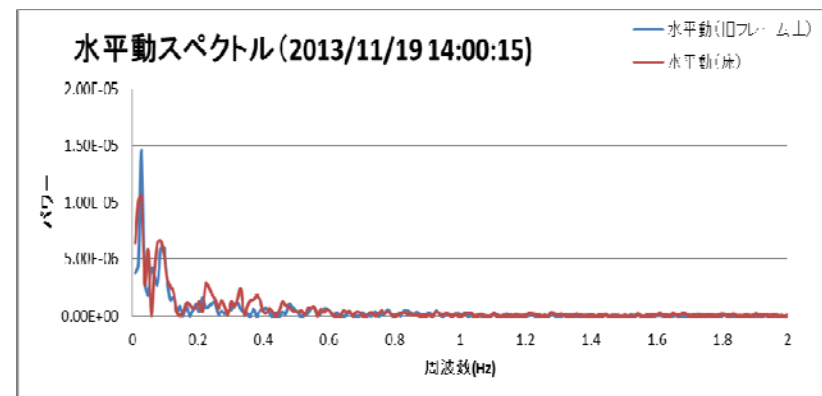
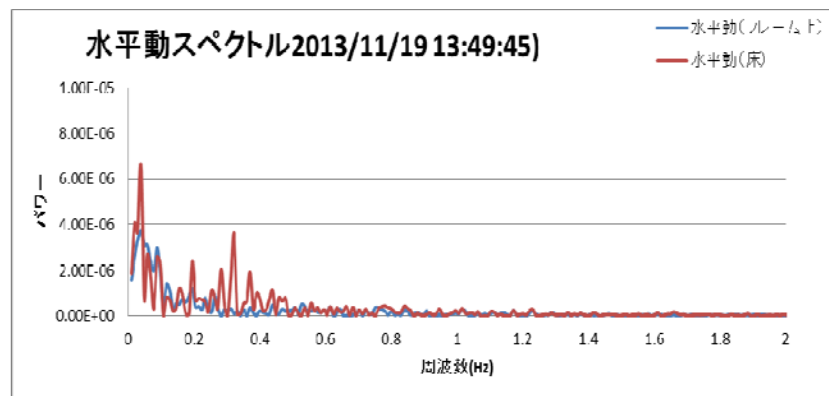
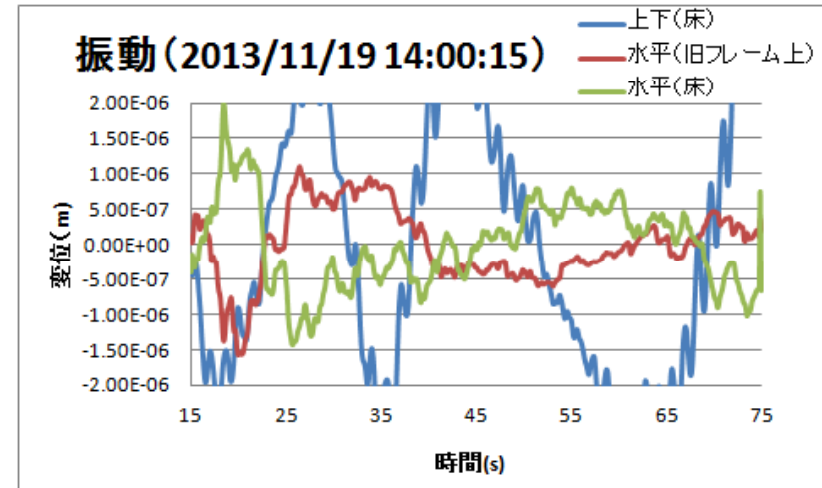
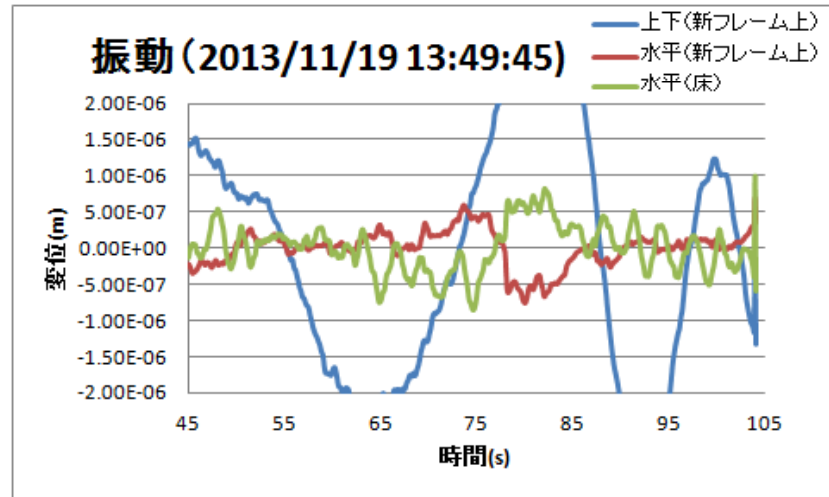
CCDカメラ
動画画像
撮影



- ・岩大での実験結果から、アルミフレームの振動が45度鏡に影響することが推定されることから、フレームサイズを30mm角から60mm角に変更した。
- ・鏡筒姿勢制御用傾斜計は調整中のため、木枠で鏡筒を固定した。

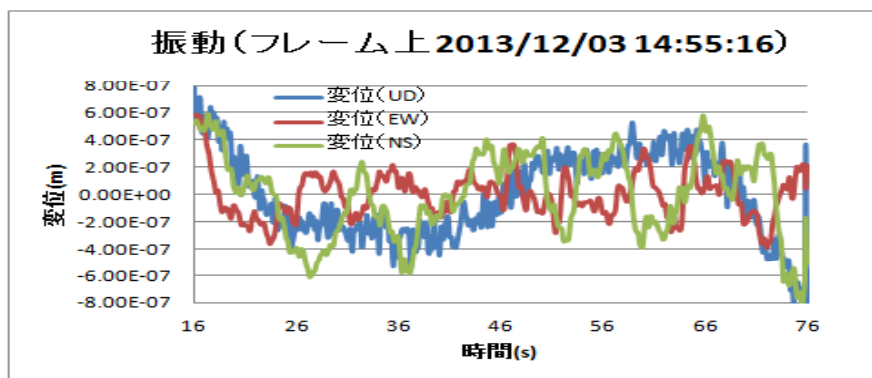
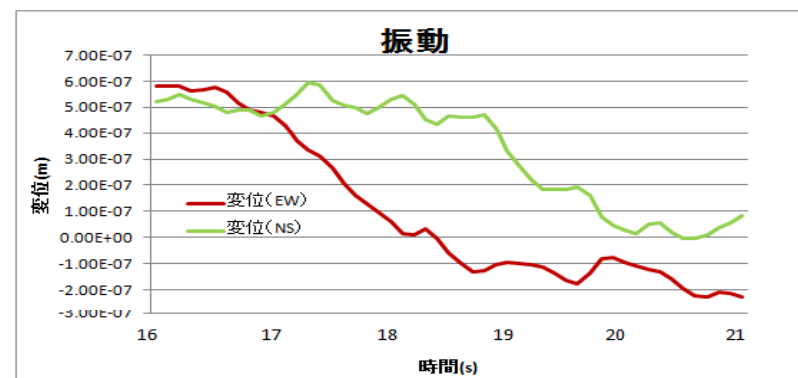
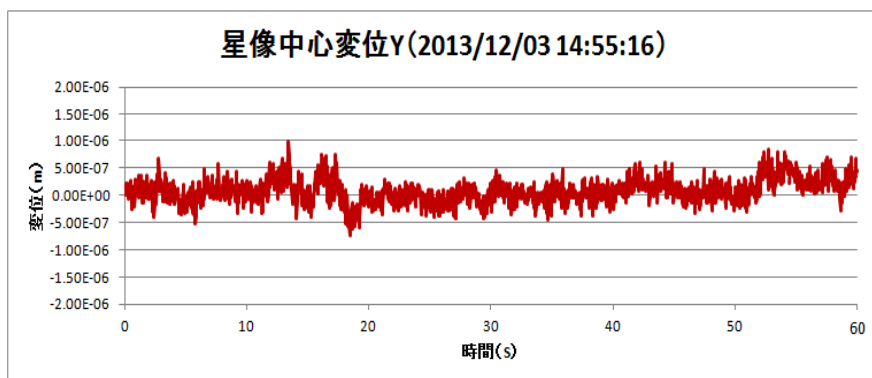
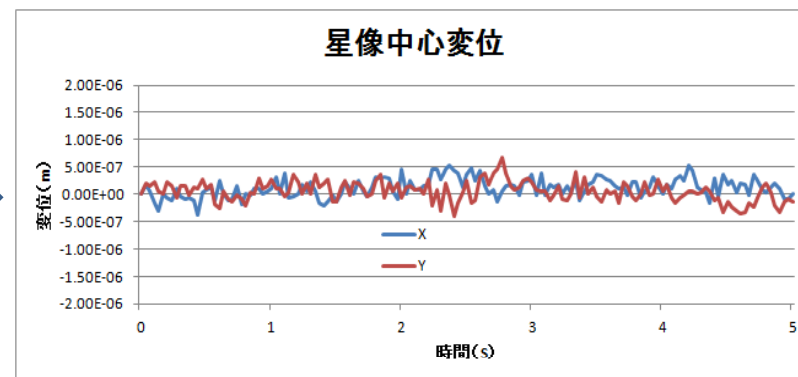
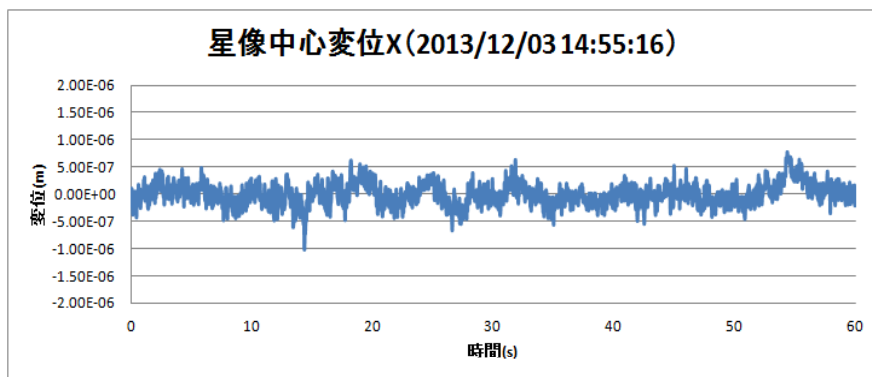
新旧フレームの水平振動

新旧フレーム上の振動を比較測定した



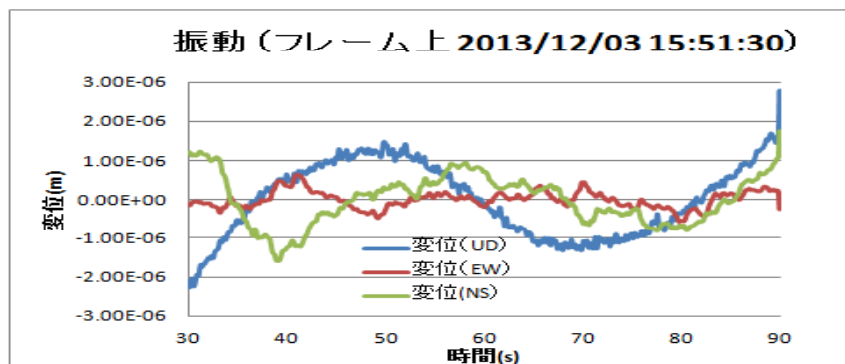
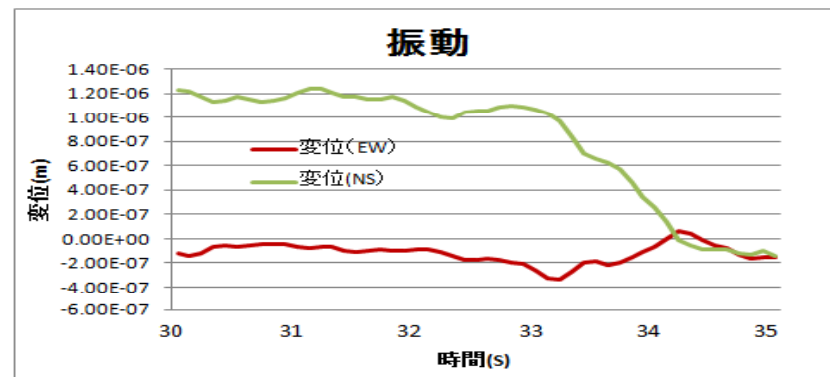
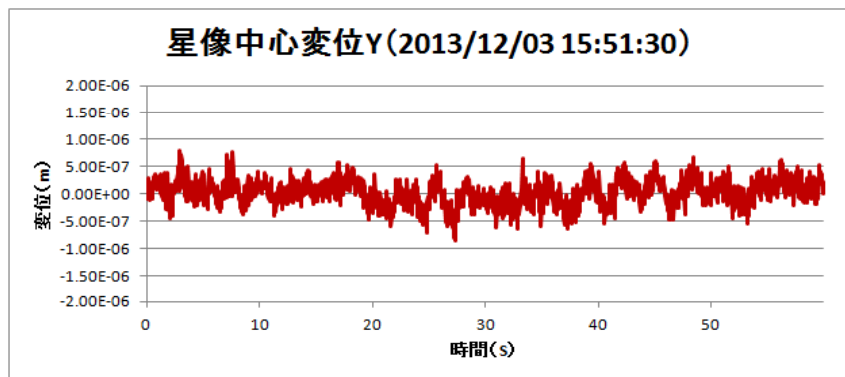
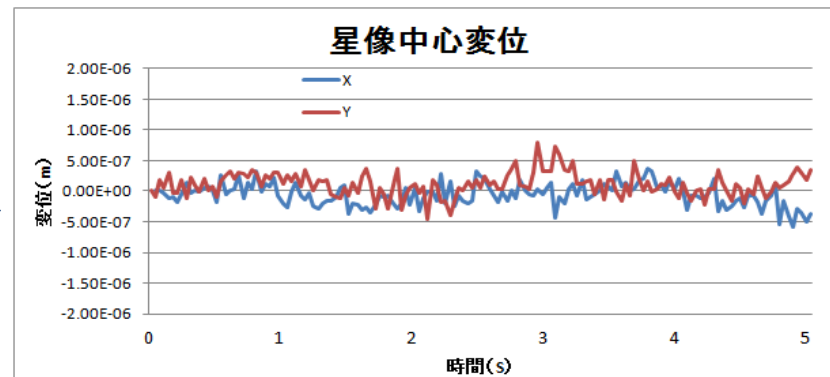
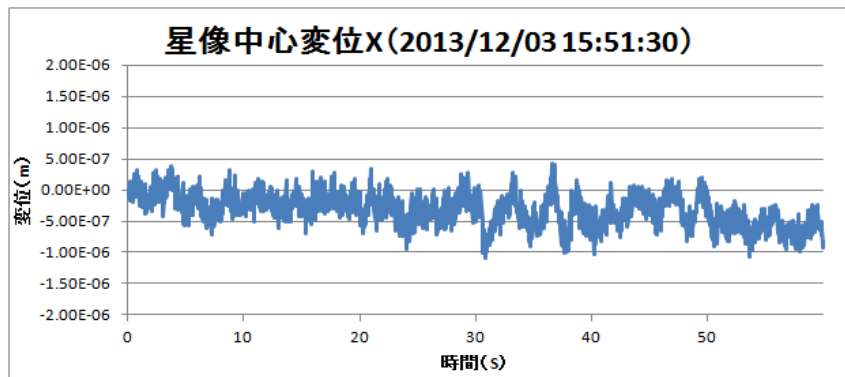
旧フレーム(30mm角)上の水平動は床水平動の影響が大きい
のに対して、新フレーム(60mm角)上の水平動は床水平動の
おおよそ半分に抑えられている。

平面鏡での実験結果@水沢



- ・星像中心変位: 短周期成分の振幅は $0.5\mu\text{m}$
- ・床振動: 水平振動・長周期成分の振幅は $\pm 0.5\mu\text{m}$ 以下、短周期成分の振幅は $0.1\mu\text{m}$
- ・星像中心変位の長周期の変動周期と床振動のそれとは相関関係があるように見える

水銀皿での実験結果@水沢



- ・星像中心変位: 短周期成分の振幅は $0.5\mu\text{m}$
- ・床振動: 水平振動・長周期成分の振幅は $\pm 1\mu\text{m}$ 以下、短周期成分の振幅は $0.2\mu\text{m}$
- ・星像中心変位の長周期の変動周期と床振動のそれとは明確な相関関係は見えない

水沢での実験のまとめ

	平面鏡	水銀皿
星像中心変位	短周期成分の振幅は $0.5\mu\text{m}$	短周期成分の振幅は $0.5\mu\text{m}$
床水平振動	長周期成分の振幅は $\pm 0.5\mu\text{m}$ 、短周期成分の振幅は $0.1\mu\text{m}$	長周期成分の振幅は $\pm 1\mu\text{m}$ 、短周期成分の振幅は $0.2\mu\text{m}$ 以下
星像中心変位と床水平振動の関係	星像中心変位の短周期成分の変動周期と床振動(フレーム上)のそれとは相関が見られる	星像中心変位の長周期の変動周期と床振動のそれとは明確な相関関係は見えない

2回の実験で、実験時の床水平振動(フレーム上)が水銀皿の場合、平面鏡の約2倍となっているが、星像中心変位はどちらの場合もほぼ同程度である。

実験結果まとめ1

	岩手大学			水沢	
	平面鏡	水銀皿1	水銀皿2	平面鏡	水銀皿
星像中心変位	短周期成分の 振幅は $0.5\mu\text{m}$	短周期成分の 振幅は $2\mu\text{m}$	短周期成分の 振幅は $3\mu\text{m}$	短周期成分の 振幅は $0.5\mu\text{m}$	短周期成分の 振幅は $0.5\mu\text{m}$
床水平振動	長周期成分の 振幅は $\pm 1\mu\text{m}$ 、 短周期成分の 振幅は $0.1\mu\text{m}$	長周期成分の 振幅は $\pm 1\mu\text{m}$ 、 短周期成分の 振幅は $0.1\mu\text{m}$	長周期成分の 振幅は $\pm 1\mu\text{m}$ 以下、短周期成 分の振幅は $0.1\mu\text{m}$	長周期成分の 振幅は $\pm 0.5\mu\text{m}$ 、 短周期成分の 振幅は $0.1\mu\text{m}$	長周期成分の 振幅は $\pm 1\mu\text{m}$ 、 短周期成分の 振幅は $0.2\mu\text{m}$ 以 下
星像中心変位と 床水平振動の 関係	星像中心変位 の短周期成分 の変動周期と床 振動(NS・EW) のそれとは相関 が見られる	星像中心の不 確定が多いた め、その短周期 成分の変動周 期と床振動のそ れとの関係は不 明である	星像中心変位 の短周期成分 の変動周期は 床振動(NS・ EW)のそのの 約2倍である	星像中心変位 の短周期成分 の変動周期と床 振動(フレーム 上)のそれとは 相関が見られる	星像中心変位 の長周期の変 動周期と床振動 のそれとは明確 な相関関係は 見えない

実験結果まとめ2

1. 岩手大学での実験と水沢の実験時の床振動に大きな差は見られないが、フレームの変更によって、45度鏡に対する床振動の影響はほぼ半分に抑えられた。
2. その結果、水銀皿での星像中心変位の短周期成分の振幅が水沢での測定では岩手大学でのそののほぼ1/5程度に抑えられた。
3. 水銀皿での星像中心決定精度は $0.5\mu\text{m}$ (=0.1秒角)程度であり、本望遠鏡での目標分解能0.1秒角をほぼ達成できた。
4. しかし、振動の影響は除去できず、星像中心の短周期変動が観測された。また、平面鏡での測定では星像中心変位が床振動との相関関係が見られるが、水銀皿での測定では明確な相関が見られず、水銀皿の場合、振動による影響の補正方法が課題である。