

月面小型望遠鏡計画

(ILOM: In situ Lunar Orientation Measurements)

ILOMグループ(国立天文台:花田英夫)

ILOMの科学目標

ILOM

月の回轉變動(物理ひょう動、自由ひょう動)、潮汐を1ミリ秒角以下の精度で1年以上観測し、月の内部構造、物性を通して月の起源・進化を解明する

月に金属核があるか無いか?

月は地球のマントルと成分が同じか?

月に流体核があるか無いか?

月の熱史、過去のダイナモ、マグマオーシャンへの制約

月の流体核に固体内核があるか?

月のマントルの物性

月面望遠鏡の第一段階(技術実証)

月の基準座標系の確立

ILOM計画

ILOM

ILOM計画

月面上で望遠鏡による位置天文観測を行い月回転を1年以上観測する(目標精度1ミリ秒角)

ILOM計画の目標

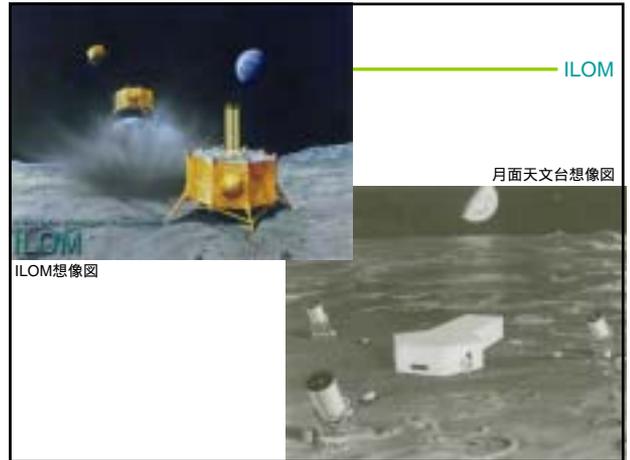
超高角度分解能で月の中心核の構造等に起因する微小な回轉變動を検出する

将来性

月の回轉變動の正確な観測による暦・基準座標系の確立
月面でしかできない究極の観測につなげる技術実証

月面とは

月面は大気がない、振動ノイズが小さい、自転速度が小さい等、超高精度天文観測が可能な場所



ILOM

月面天文台想像図

ILOM想像図

月の核、流体核の存在を何の観測で調べるか?

ILOM

現象	(観測)	計画
慣性モーメント (力学的扁平率 + 低次重力場係数)		SELENE / RISE
核マントル境界の形状 (月震観測等)		LUNAR-A
自転速度のカッシニ状態からの進み (自転速度)		LLR ILOM
自由ひょう動の消散 (自由ひょう動の振幅と減衰)		LLR ILOM
物理ひょう動の消散 (物理ひょう動の位相)		LLR ILOM
		LLR:月レーザ測距

LLRのみではなぜ不十分か

ILOM

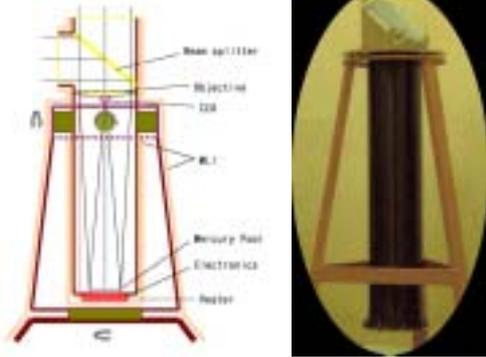
長期観測(約25年)で測定精度3cm以下を達成しているが、

大きな振幅の地球回転や月の公転運動が含まれる
視線方向の観測のみ
満月や新月での観測が困難
逆反射器の位置の不確定

LLRと独立なもう一つの観測を組み合わせることによって月の公転運動、月回転パラメータが分離でき、精度が飛躍的に向上する。系統誤差の議論も可能になる。

月面天測望遠鏡の略図(左)と熱モデル(右)

ILOM

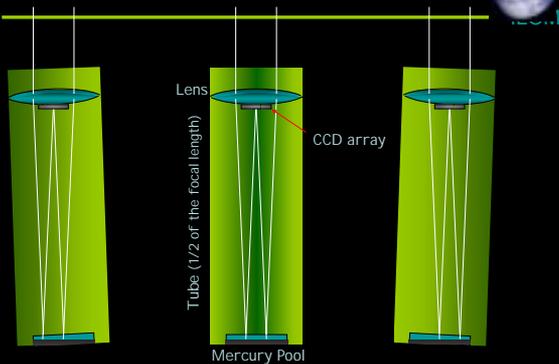


口径、積分時間と観測限界等級、観測星の数(括弧内)

ILOM

		積分時間		
		1秒	10秒	100秒
口径	15cm	8.7(2.2)	11.2(26)	13.7(259)
	20cm	9.3(4.0)	11.8(45)	14.3(442)
	30cm	10.2(9.8)	12.7(104)	15.2(972)

Photo Zenith Tube (PZT)



Tilts of the tube are nearly cancelled (after Heki)

月面天測望遠鏡の仕様

ILOM

口径	0.2m
焦点距離	2m
形式	PZT
検出器	CCD
1画素の大きさ	10mm × 10mm (1" × 1")
画素数	4,096 × 4,096
視野	1° × 1°
積分時間	10s
観測星の等級	M < 12
読みとり精度	1画素の1/1,000 (1mas)

月面の評価

ILOM

	月面	人工衛星	地球
空気のゆらぎ	無し	無し	不可避
振動雑音	静穏	機械振動	微動、地震
安定な基盤	可能	無し	可能
温度環境	過酷	きびしい	平穏
ダスト	多い	少ない	少ない
機械制御	困難	困難	容易
環境維持	困難	困難	容易

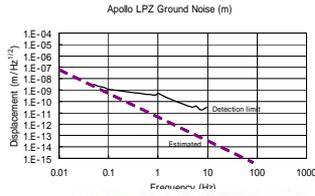
月面での天文観測の利点と欠点

ILOM

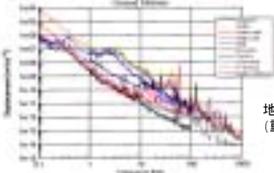
	利点	欠点
大気無し	全波長観測可能 ゆらぎ無し 風圧無し	宇宙線等の被曝 温度の緩和無し
電離層無し	低周波電波観測可能	
低振動ノイズ	高分解能観測	
安定な基盤	長時間積分可能	
低重力	構造物の重力変形小	
長い自転周期 同期回転	温度の変化速度小 地球の影響のない裏側 長時間積分	夜の電力供給困難 昼夜の温度差大 観測周期が長い

月面と地球の振動レベルの比較

ILOM



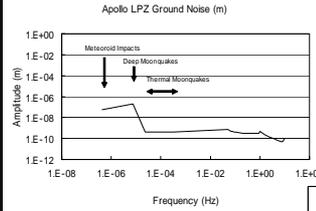
月面の振動レベル
(アポロの長周期地震計記録から推定)



地球上の振動レベル
(重力波推進室)

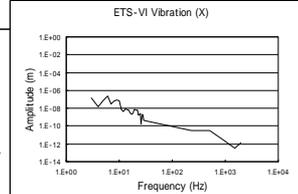
月面上と衛星内の振動レベルの比較

ILOM



月面の振動レベル
(アポロの長周期地震計記録から推定)

衛星のリアクションホイールによる振動 (ETS-VI)



その他の擾乱因子

ILOM

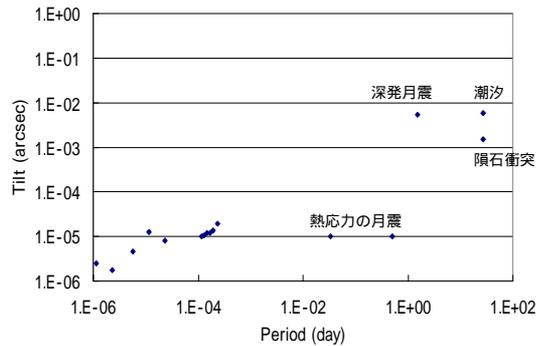
直径100mmの水銀皿の最大傾斜: 5.7mas以下
(地球の場合 1.5mas以下)

ひょう動によるポテンシャル面の変化 - 無し

潮汐による傾斜: 5.9mas以下
(影響が小さい観測場所の選定で回避)

振動データから換算した月面上の傾斜変動

ILOM



ILOM観測精度と着陸位置

ILOM

天頂方向のみの観測

高緯度 自転軸方向の変化 > 自転速度変化
低緯度 自転速度変化 > 自転軸方向の変化

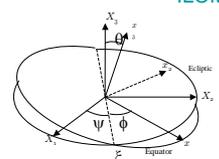
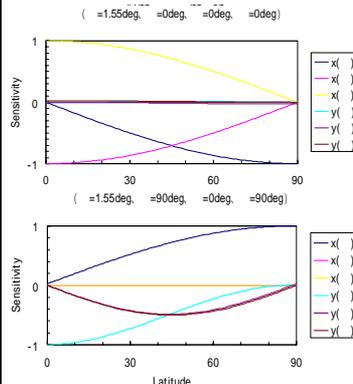
天頂方向、水平方向同時観測

どの緯度でもあまり差がない? (解析中)

電力確保、温度環境の観点では極域の全日照域が理想 (夜が無い、温度変化が小?)

望遠鏡の設置場所(緯度)によるひょう動の観測精度

ILOM



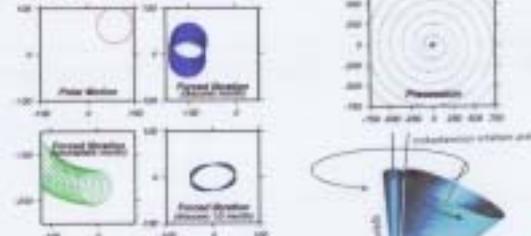
ひょう動成分(、)、
望遠鏡視野内の星像位置
測定方向(x, y)

1年間の観測から得られる星の軌跡と月回転の影響

ILOM

Decomposition of star trajectory

2006 June - 2007 September



Estimated Parameters

1. Forcible libration (amplitude/phase, prograde/retrograde)
 Precession: 18.5 years
 Forced libration (amplitude, 11 months)
2. Shift of the pole from the pole of the reference frame

ILOM計画を実現するために必要な技術開発

ILOM

- | | |
|----------------|-------------------------|
| CCDによる星像位置決定精度 | 1/300ピクセル |
| CFRP鏡筒の伸縮と傾斜 | 鏡筒熱モデルの実験
CFRP鏡筒とMLI |
| レゴリスの沈下と傾斜 | シミュラントを用いた実験 |
| 水銀皿の面精度 | 接触角補償リング |
| レンズ系の収差 | 光学解析 |

今後

- 安定な水平基準面の実現
- 鏡筒の熱制御、熱歪みの除去
- 耐宇宙線、低熱膨張の光学素子
- 光学素子の防塵
- データ処理のアルゴリズム
-

鏡筒の温度分布($\epsilon = 0.8$)

ILOM

鏡筒の回りを多層断熱膜で覆った場合の解析結果(野田、2004)

(CFRPM13.mod)

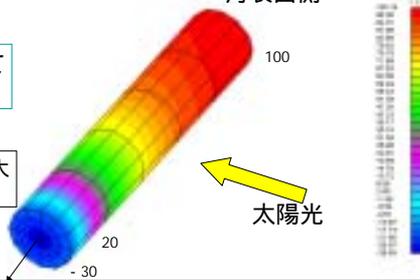
-30 ~ 100

月表面側

光軸について
対照に分布

鏡筒の熱容量大
(熱伝導率低)

望遠鏡開口部



世界的に見たILOM計画の位置づけ

ILOM

月回転関連の観測計画

- 月レーザー測距 (米国、継続中)
- 能動型月レーザー測距計画 (日本NICT、ILOMと相補的)
- 月回転観測月面望遠鏡 (ロシア、構想、詳細不明)

月面天文台計画

- 月からの天文観測 (IAU、20年間の天文観測計画)
- 月面天文観測基地 (中国の月探査プログラム、2020まで)
- 月探査長期計画検討中 (日本)