

CTA 大口径望遠鏡の分割鏡の開発(6)

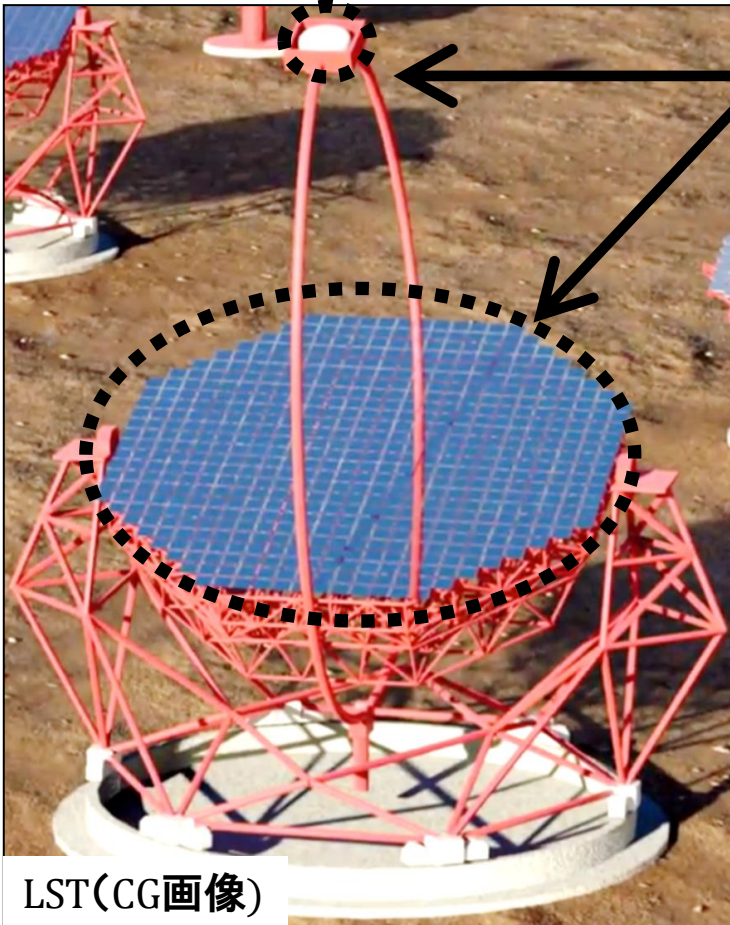
2014年3月22日

茨城大学大学院理工学研究科

馬場浩則

加賀谷美佳, 片桐秀明, 田中駿也, 柳田昭平, 吉田龍生 (茨城大理),
手嶋政廣 (東大宇宙線研, Max-Planck-Inst. fuer Phys.),
荻野桃子, 小島拓実, 斎藤浩二, 中嶋大輔, 花畑義隆, 林田将明 (東大宇宙線研),
奥村曉 (名大STE 研, レスター大),
千川道幸, 野里明香 (近畿大理工),
野田浩司 (Max-Planck-Inst. fuer Phys.),
山本常夏 (甲南大理工), 他CTA-Japan Consortium

CTA-Japan ミラーグループ



Large Size Telescope (LST)の
光学機器について開発

<主鏡周辺>

▪分割鏡

- 分割鏡生産

- 腐食試験

- **集光性能評価法開発**

▪Active Mirror Control (設置した鏡の制御)

- アクチュエーターの制御システム

- インターフェイスプレートの開発

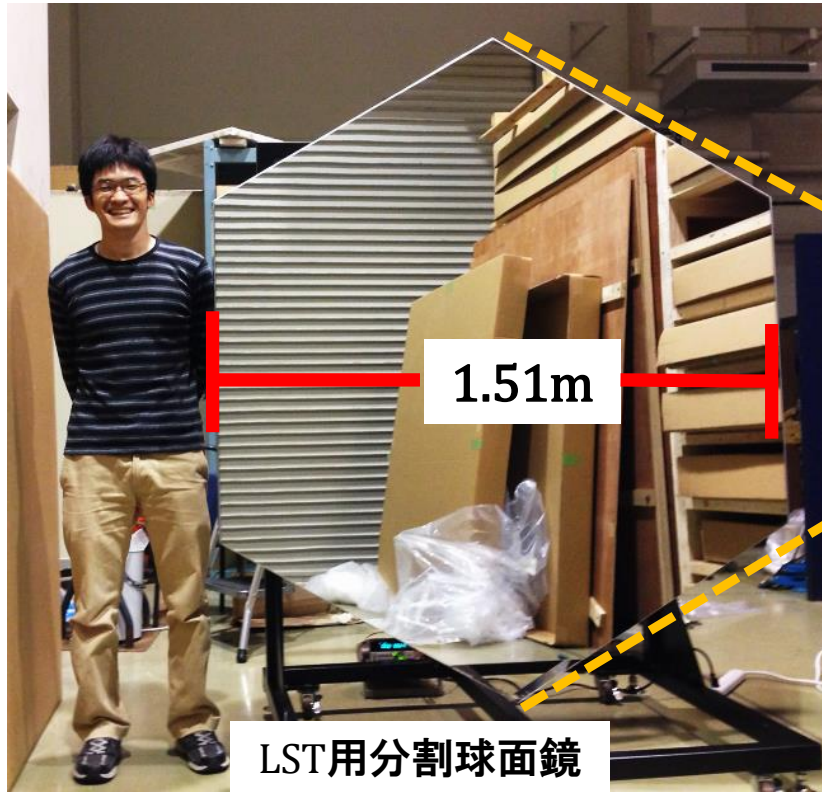
- 主鏡の形状感知システムの開発

<集光面周辺>

▪ライトガイド

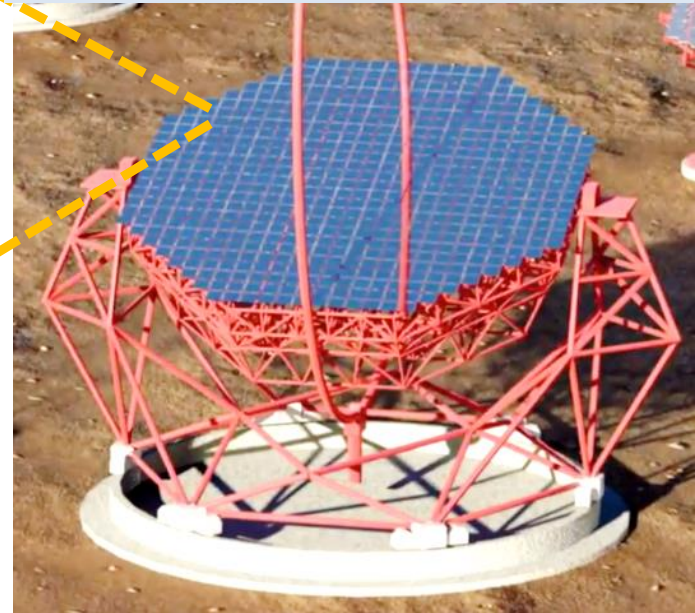
本講演では分割鏡の集光性能評価法開発について発表を行う

LSTとその分割鏡



<LSTの仕様>

口径(d)	: 23m
焦点距離(f)	: 28m
反射鏡面	: 放物面型複合鏡
カメラPixelサイズ	: 0.1度(50mm)



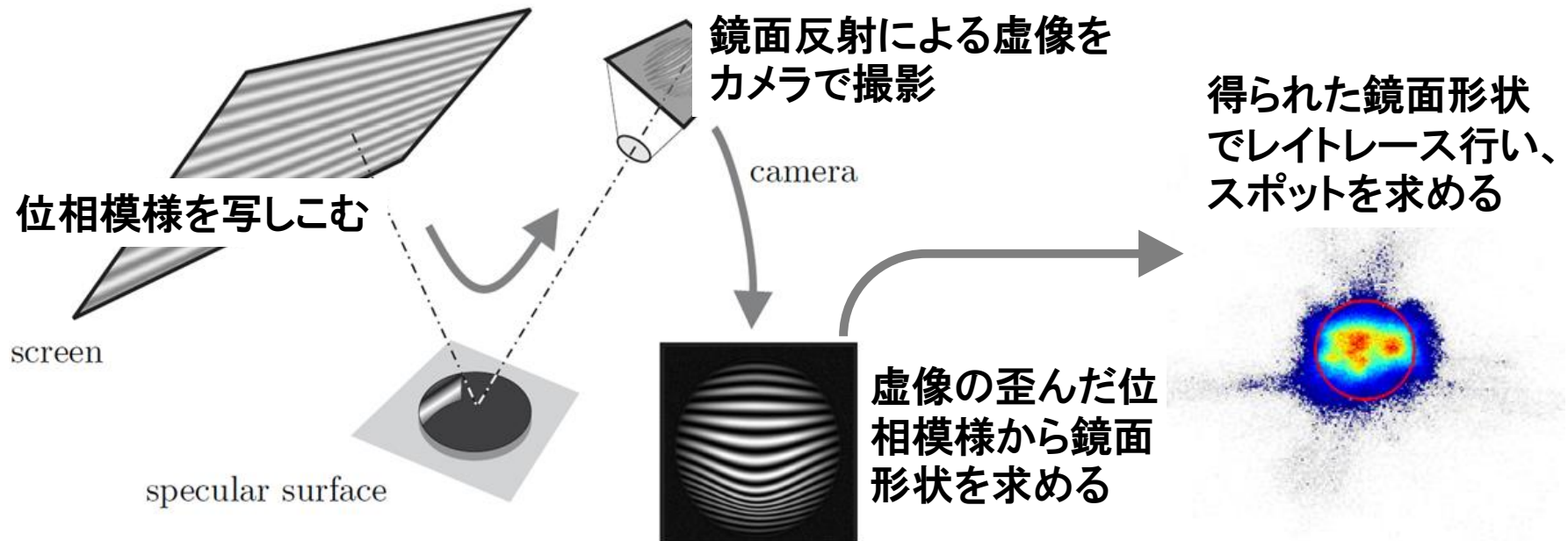
<分割鏡>

対辺間1.51 m、 $1f=28\sim 29.2$ m、スポット光の80%が集光面の1/3 pixelに収まるスポットサイズ(D80 : 80%の光が入る直径 $< 50/3$ mm)の分割鏡がLST一台あたり約200枚必要。

→分割鏡に対して、高精度で効率良く評価できる評価方法が必要となる

Phase Measuring Deflectometry (PMD)法

PMD法とはドイツのエアランゲン大学で開発された測定方法で、位相シフト法、ステレオカメラ写真測量を利用し、**鏡面形状を高精度で測定し、そのデータによる光線追跡シミュレーション(レイトレース)から、スポットを評価する。**



メリット

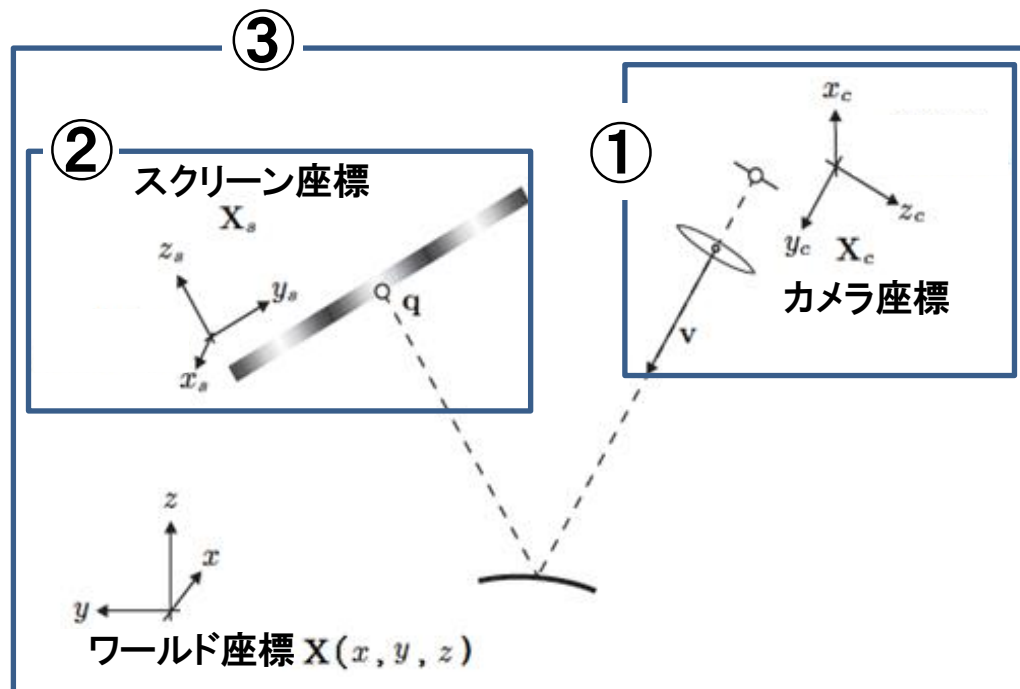
- ・測定作業は鏡を置き撮影するだけ。
- ・**直接鏡面の情報(座標、法線)が得られる。**
- ・カメラ合成視野とスクリーン投影範囲で測定範囲を調整できるため、**大型鏡を測定可能。**
- ・LST用分割用の曲率半径(約56m)に対して**装置が小型(製作した装置は7m)。**

LST用PMD装置開発

宇宙線研究所にて実際にPMD法装置を製作し、キャリブレーションを行った。



設置したPMD装置。CCDカメラ4台使用。
全長7m×3m×3m



1段階目 ローカル座標の較正

①カメラキャリブレーション

カメラレンズが持つ歪みを較正。

②スクリーンキャリブレーション

スクリーン表面が持つ歪みを較正。

2段階目 ローカル座標のワールド座標化

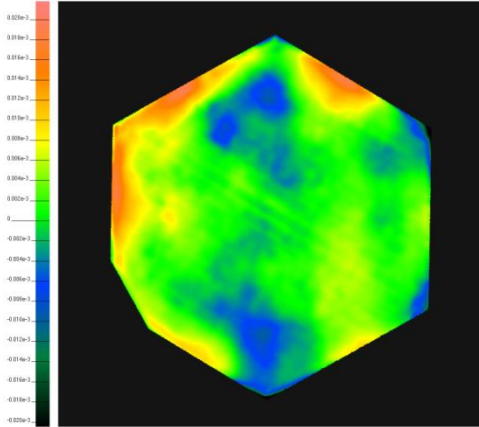
③ワールド座標キャリブレーション

測定のため、較正したカメラ、スクリーン座標(ローカル座標)をワールド座標(装置全体の座標)に適応させる。

測定結果

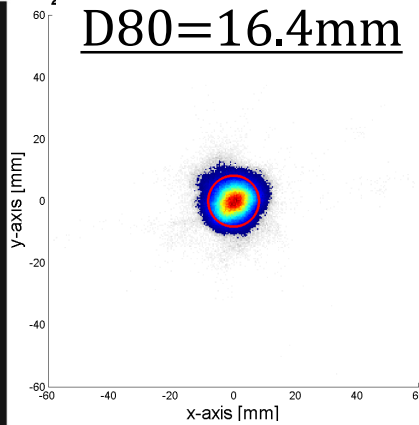
No.7

(カラーバー±20μm)

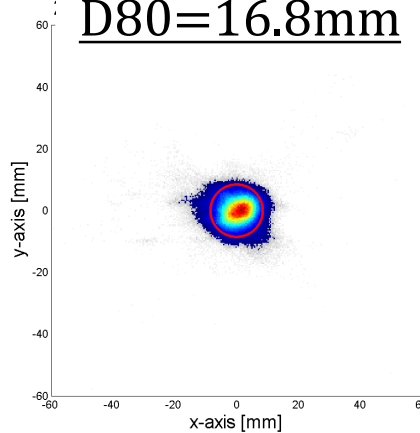


(赤円 : D80)

D80=16.4mm

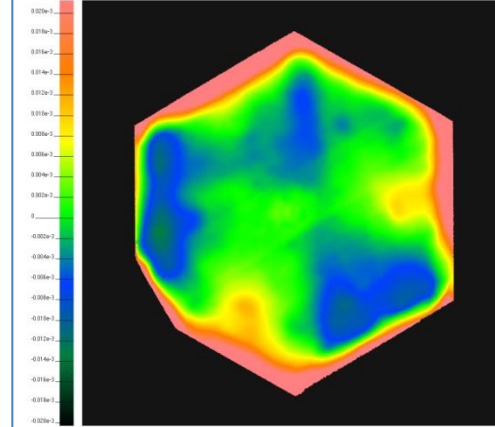


D80=16.8mm



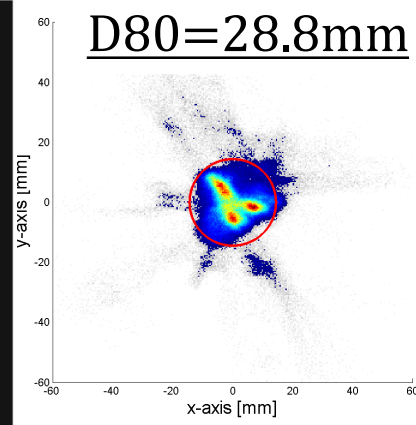
No.9

(カラーバー±20μm)

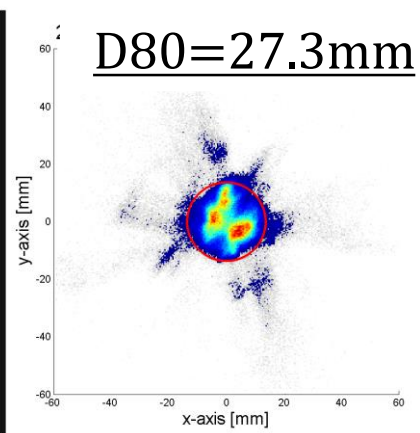


(赤円 : D80)

D80=28.8mm



D80=27.3mm



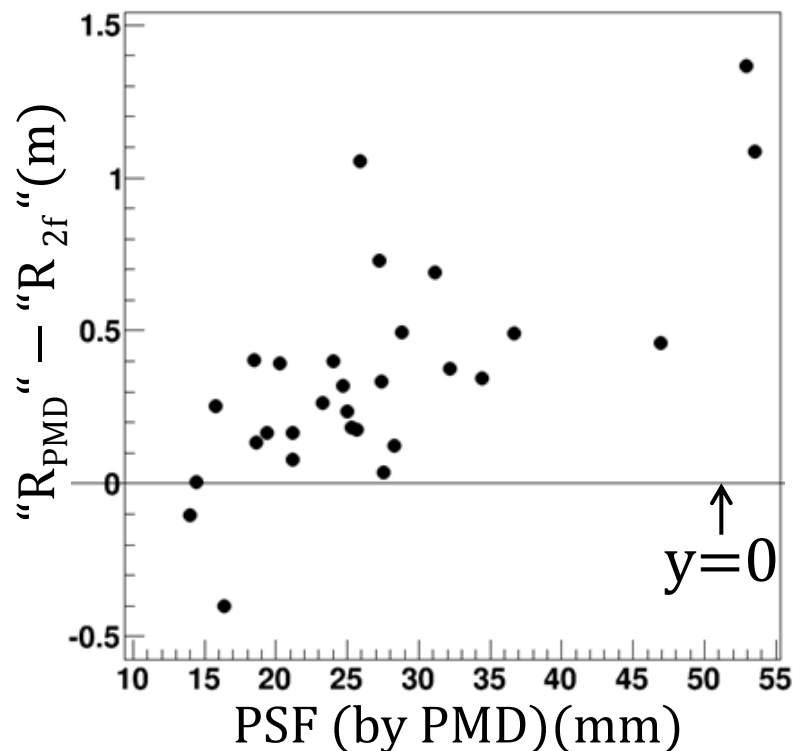
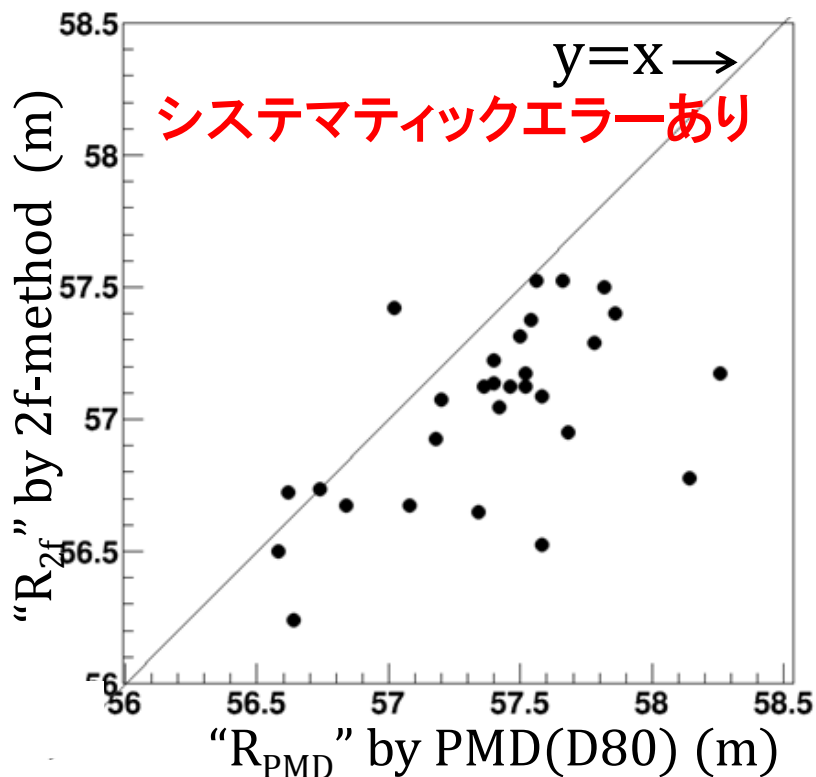
60
度
回
転

表面形状では10μmの縦線形状(生産時にできた)が回転していることが確認でき、複数の鏡を回転させて測定したときのD80の誤差は3mm以下となった。

→スポットサイズの要求を満たすかの判断は可能である。

PMD法と2f法の結果の比較

曲率半径“R”において、実測である2f法の測定結果とPMD法の測定結果の比較を行った。

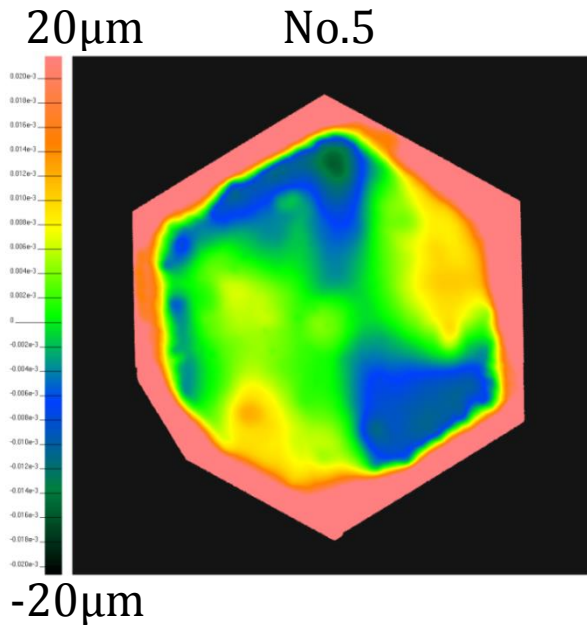


PMD法による曲率半径が2f法のものよりも長くなる傾向がある。

また、その傾向はスポットサイズが大きいほど強くなる

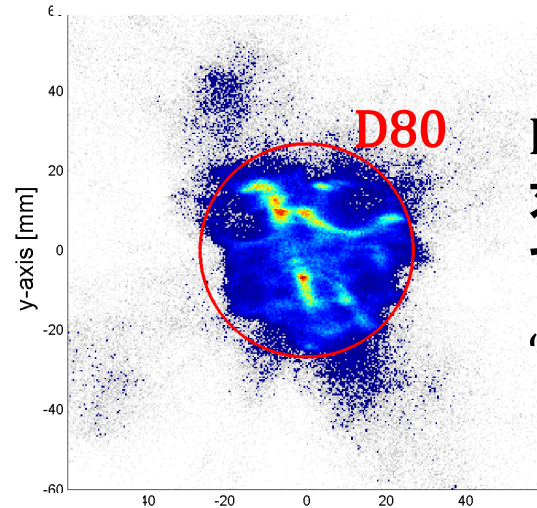
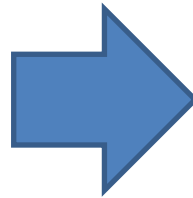
これがPMD装置によるシステムティックエラーなのかを調べる必要がある

レイトレースによるスポットの比較



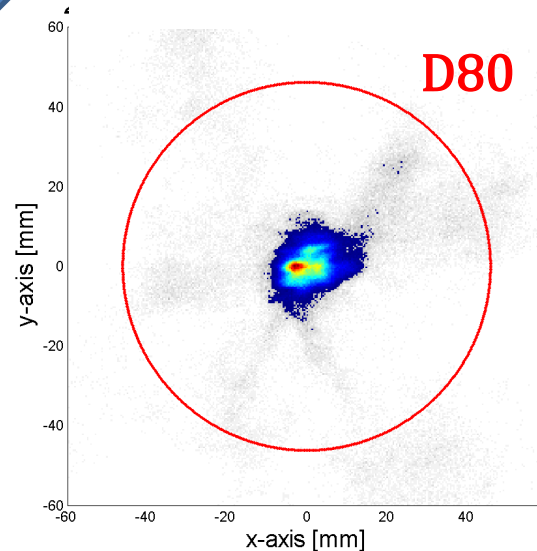
PMD法によって求めた
表面データ

Ray
trace



PMD法(D80)によって
求まる曲率半径(R_{PMD})
でのレイトレース結果

“ R_{PMD} ”=58.26 m



2f法(目視)によって
求まる曲率半径(R_{2f})
でのレイトレース結果

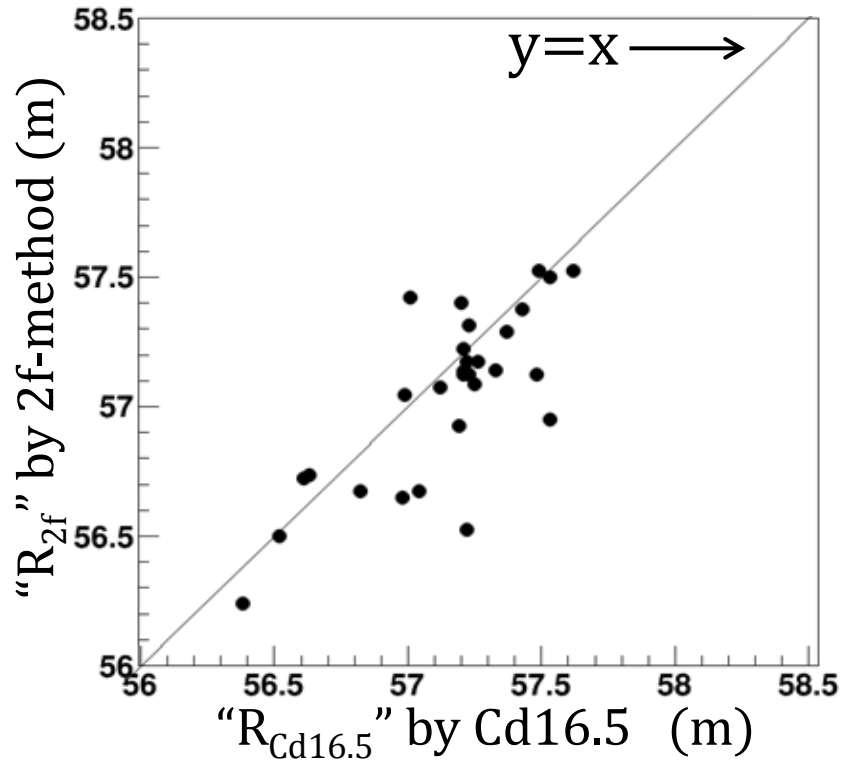
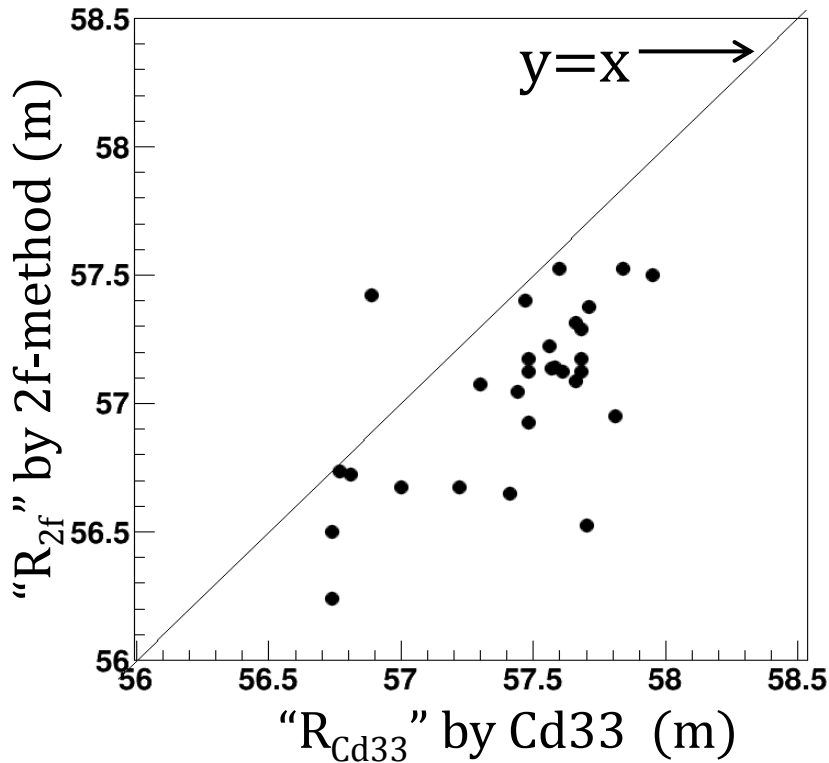
“ R_{2f} ”=57.175 m

R_{2f} でのスポットは一見集中しているように見えるが、薄い光が広範囲に広がっているため、D80が大きくなっている。

新しいパラメータの導入: Constant diameter (Cd)

Constant diameter (Cd) とは

- ・鏡から任意の距離のスポットについて Constant diameter (Cd) に入る光量を計算
- ・光量が最大となる距離を曲率半径(R_{Cd})と定義する



“ $R_{Cd16.5}$ ”は“ R_{2f} ”とほぼ一致した。

2f法の結果は狭い範囲で鋭いピークを持つ位置を曲率半径としている。

→ 誤差はPMD装置のシステムティックエラーではなく、周囲に薄く広がった光を勘定していないという目のバイアスがかかっている

まとめと今後

CTA計画におけるLSTの分割鏡の集光性能評価について研究を行った。

<PMD法>

LST分割鏡用のPMD装置を製作、キャリブレーション、試測定、改善を行った。

→鏡のスポットが要求を満たすかどうかの判断が可能である。

<2f法との比較>

曲率半径において2f法とPMD法の測定結果の比較を行うと、PMD法の結果が長めになる傾向があった。

→Constant diameter(Cd)で解析を行ったところ、それぞれの測定の曲率半径決定の方法によるものであった。

PMD法装置の真のシステムティックエラーを定量的求め、実際に評価装置として使用を可能にする。