



超高エネルギー宇宙線観測のための フレネルレンズ型単眼大気蛍光望遠鏡の開発

CRAFT

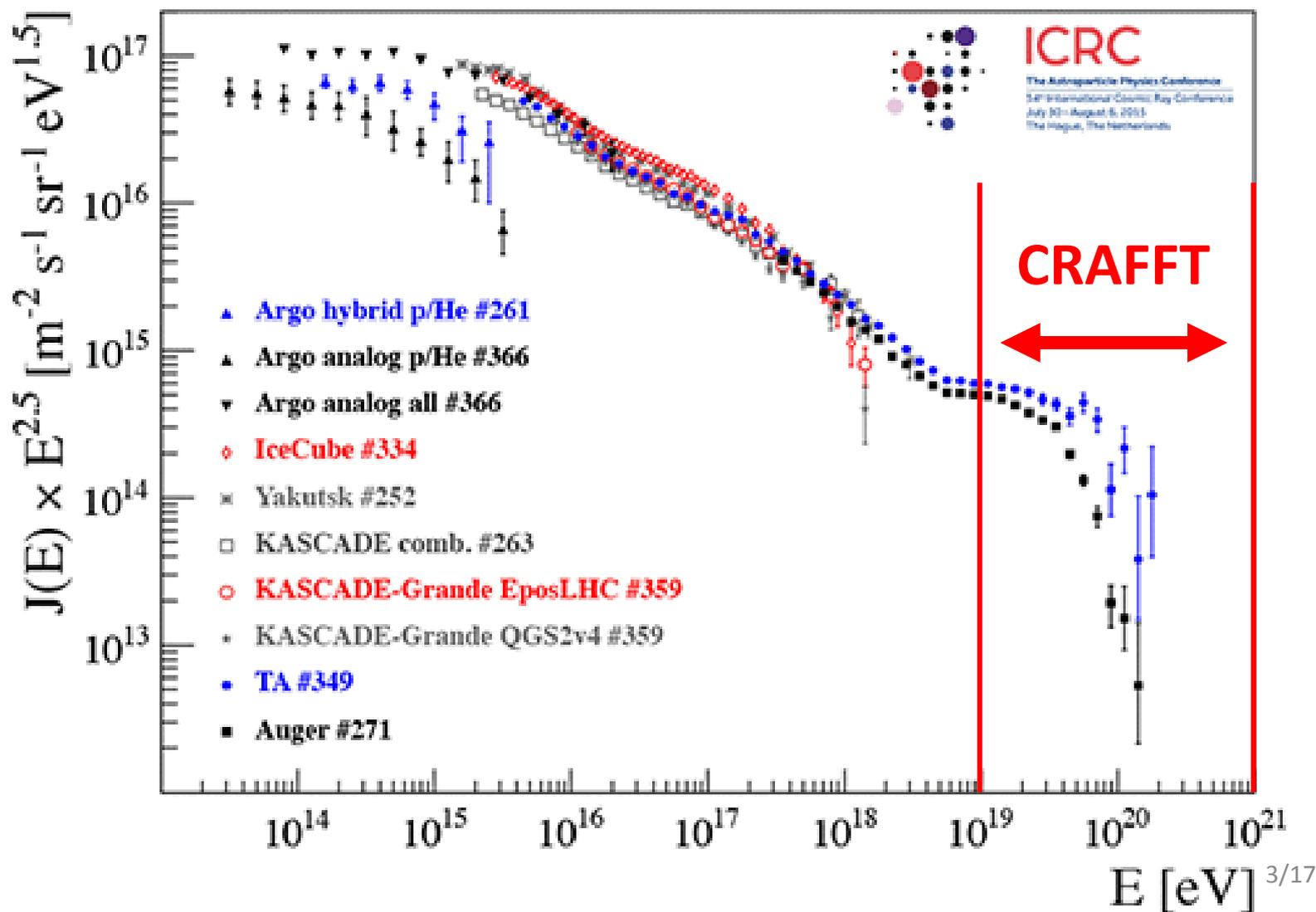
Cosmic Ray Air-shower Fluorescence Fresnel lens Telescope

信州大学 山本 真周

目次

- 超高エネルギー宇宙線
- 現在の超高エネルギー宇宙線観測
- 新型大気蛍光望遠鏡CRAFTの紹介
- 今まで行った実験
- まとめ

超高エネルギー宇宙線



超高エネルギー宇宙線観測

現在は、TA実験やAuger実験により超高エネルギー宇宙線の観測が行われている

両実験共に、多数の地表検出器(SD)と大気蛍光望遠鏡(FD)を併用して宇宙線を観測している

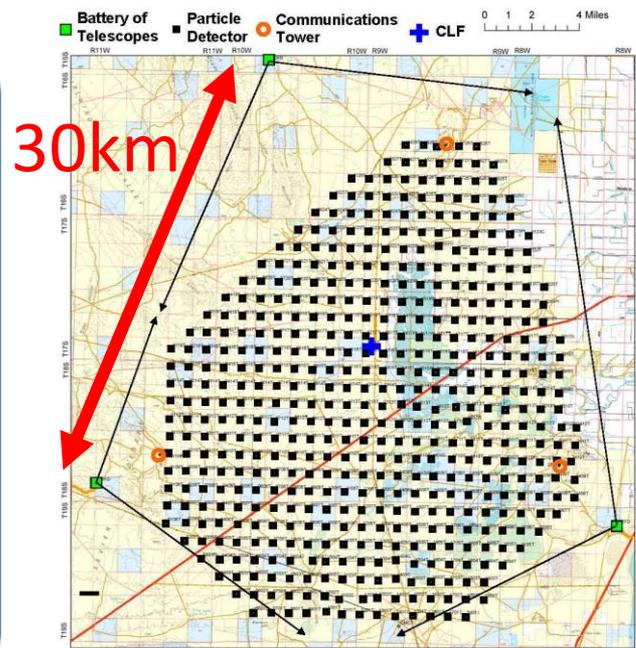
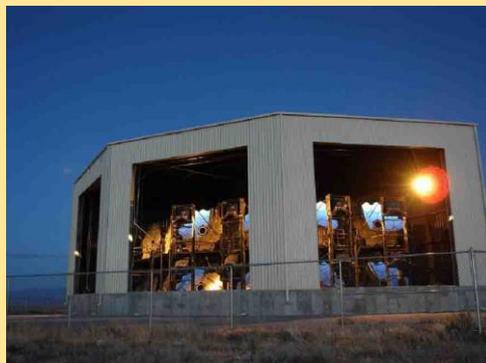
TA地表検出器(SD)

- ・荷電粒子を観測
- ・507台



TA大気蛍光望遠鏡(FD)

- ・蛍光を観測
- ・3か所のステーションに合計38台



TAサイト

TA実験検出器

	SD	FD
観測対象	荷電粒子	蛍光
質量組成	×	○
エネルギー	○	◎
到来方向	◎	◎
建設コスト	150万円	2000万円
観測方法	自動	遠隔手動

超高エネルギー宇宙線は到来頻度が少ないため、観測データの統計量を増やすために実験の大規模化が必要

低コストで空気シャワーの発達を観測できる検出器

※CRAFTではTAの10倍の観測領域を目指す

CRAFFT望遠鏡の構造



8inch PMT

防水・防塵ケース入り
FADCボード

構成要素	コスト(千円)
フレネルレンズ	40
UV透過フィルタ	320
PMT	205
FADC	31
フレーム	100
高圧電源	165

TA実験検出器とCRAFFT望遠鏡

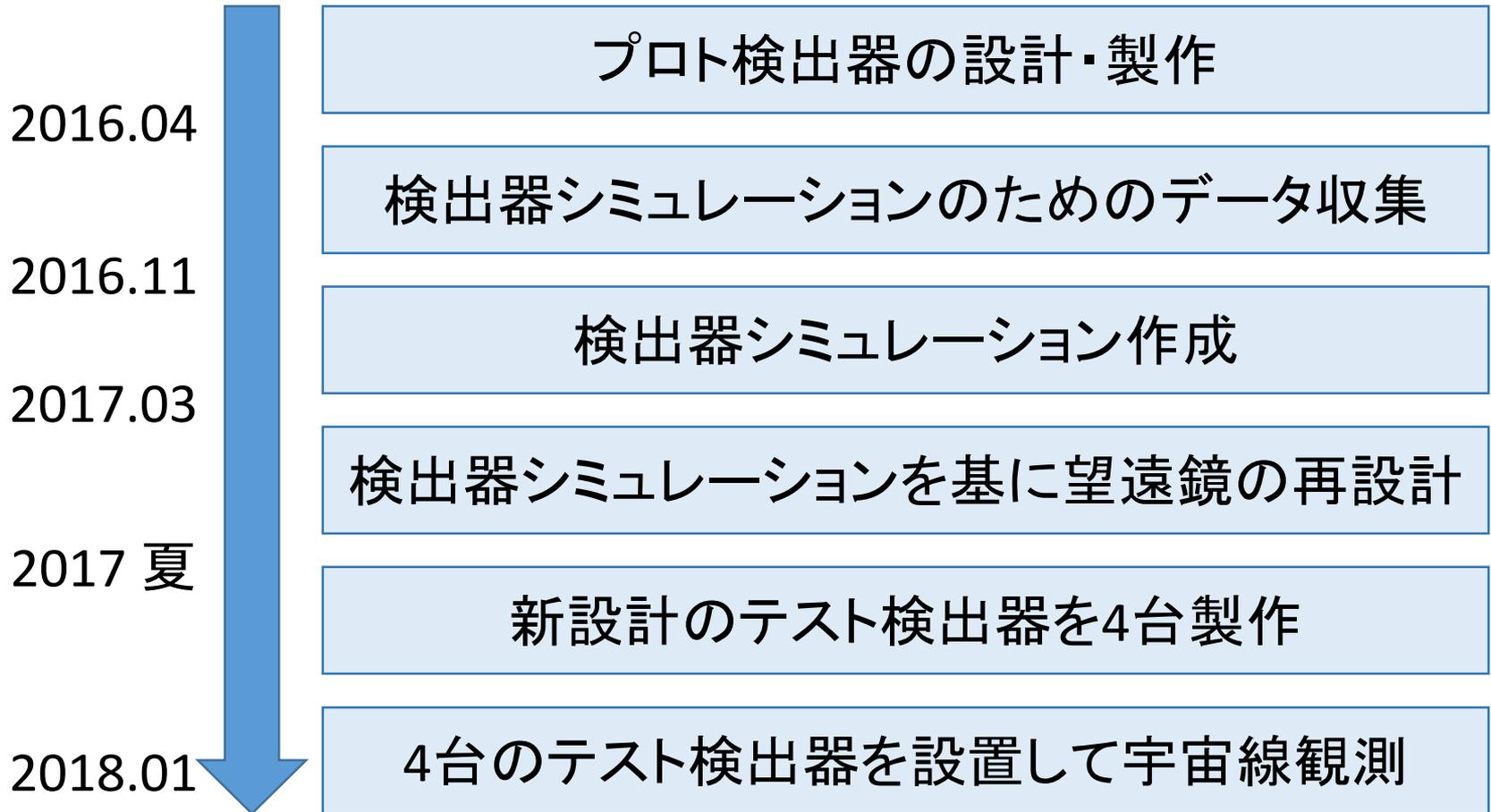
	SD	FD	CRAFFT
観測対象	荷電粒子	蛍光	蛍光
質量組成	×	○	○*
エネルギー	○	◎	◎*
到来方向	○	◎	△
建設コスト	150万円	2000万円	100万円
観測方法	自動	遠隔手動	自動？

CRAFFT望遠鏡に求められるもの

- 低コスト
 - 資材費
 - 少人数で製作
 - 自動観測

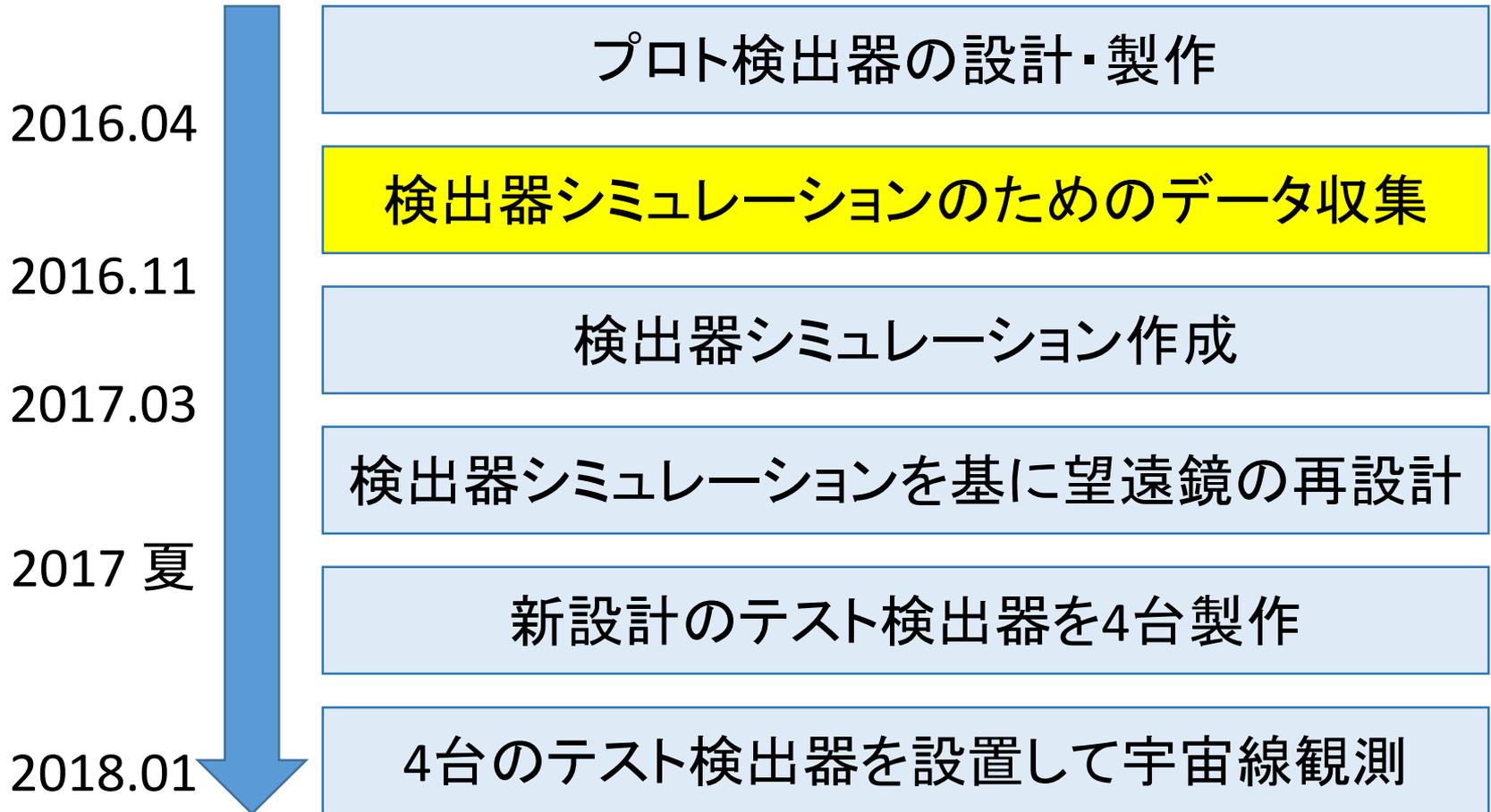
* SD等による到来方向補正により高精度化が可能

CRAFFT開発計画



空気シャワーの観測が目標

CRAFFT開発計画



空気シャワーの観測が目標

シミュレーションに必要なデータ

フレネルレンズ

- ・透過率
- ・焦点距離
- ・視野角

紫外光透過フィルタ

- ・透過率

ADC

- ・応答関数
- ・エレキノイズ

PMT

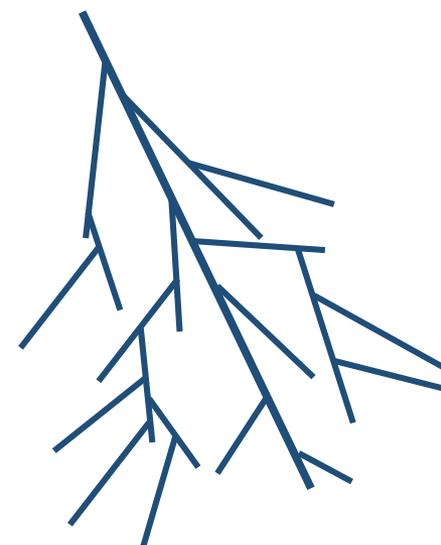
- ・QE & CE
- ・応答関数

大気の透過率
夜光ノイズ

空気シャワー

- ・MC

検出器の構造



シミュレーションに必要なデータ

フレネルレンズ

- ・透過率
- ・焦点距離
- ・視野角

紫外光透過フィルタ

- ・透過率

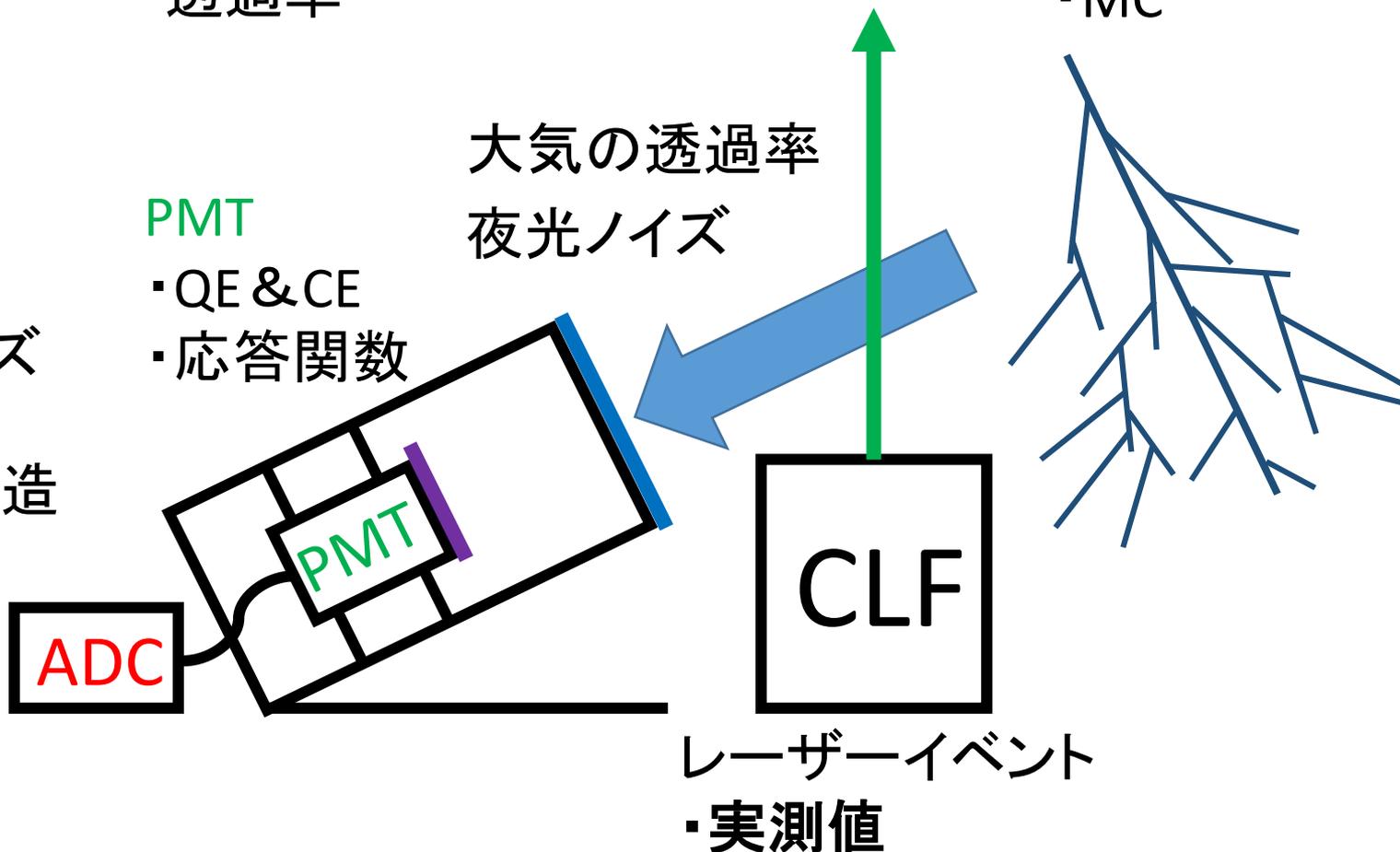
ADC

- ・応答関数
- ・エレクトロニクスノイズ

PMT

- ・QE & CE
- ・応答関数

検出器の構造



シミュレーションに必要なデータ

フレネルレンズ

- ・透過率
- ・焦点距離
- ・視野角

紫外光透過フィルタ

- ・透過率

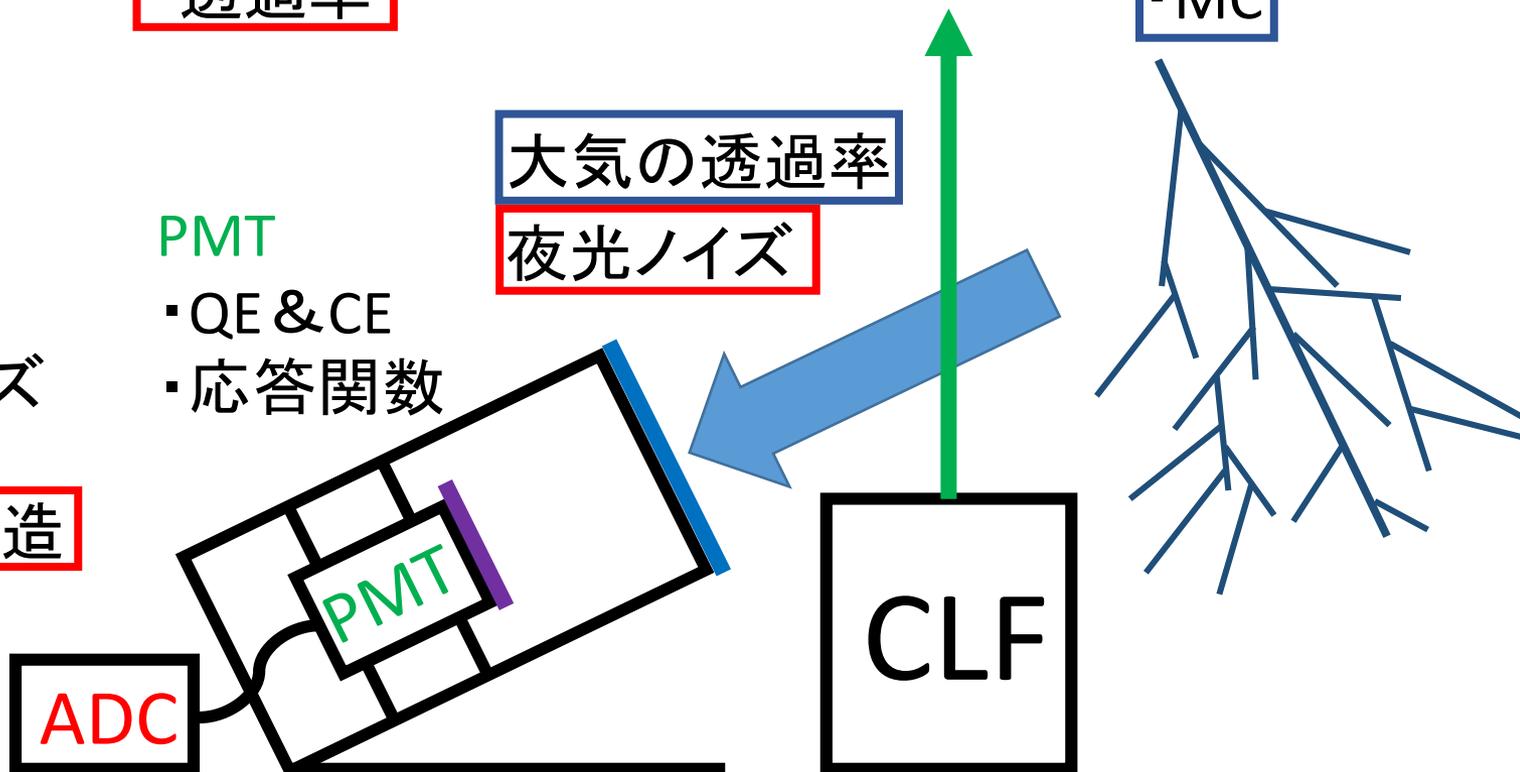
ADC

- ・応答関数
- ・エレクトロニクスノイズ

PMT

- ・QE & CE
- ・応答関数

検出器の構造



大気の透過率

夜光ノイズ

空気シャワー

・MC

CLF

PMT

ADC

レーザーイベント

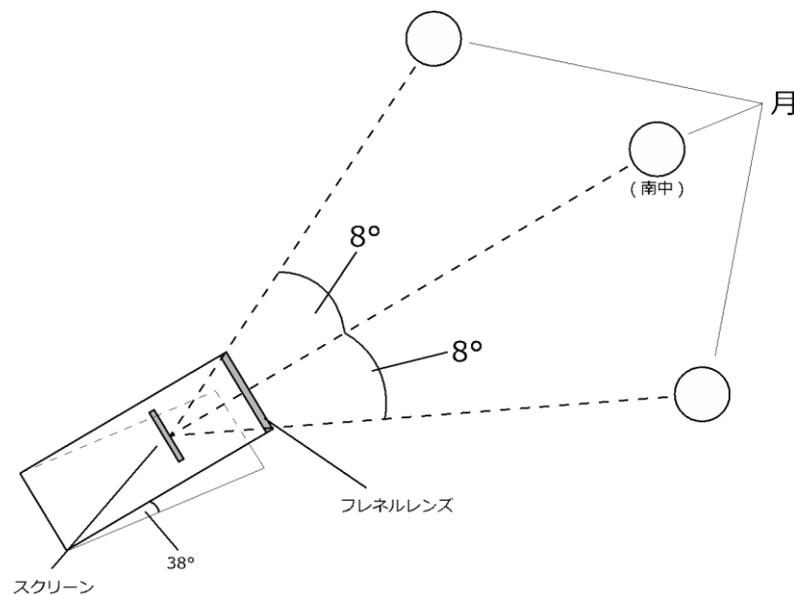
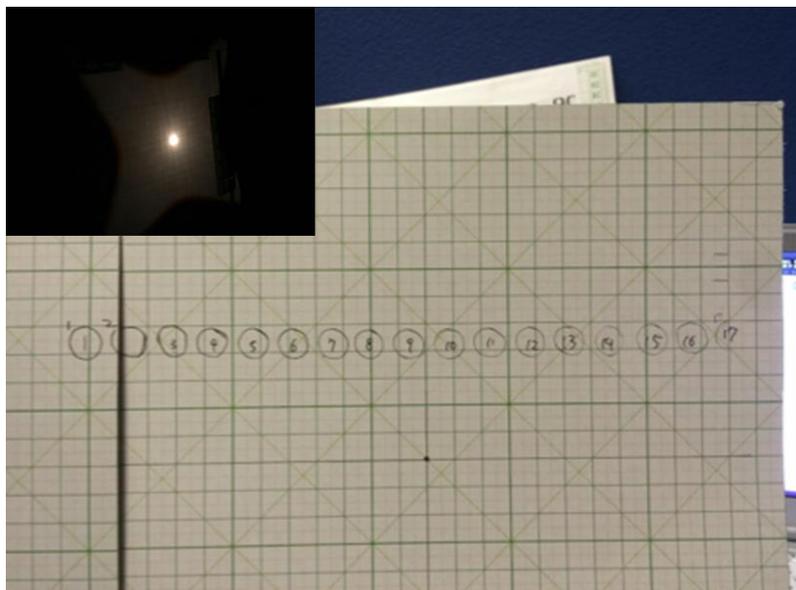
・実測値

光学系の試験

望遠鏡の焦点距離・視野角を測定

- 月をフレネルレンズで集光
- 焦点面のスクリーンに結像
- 3分ごとに記録

焦点距離1206mm
視野角 12.4°



透過率測定(レンズ、フィルタ)

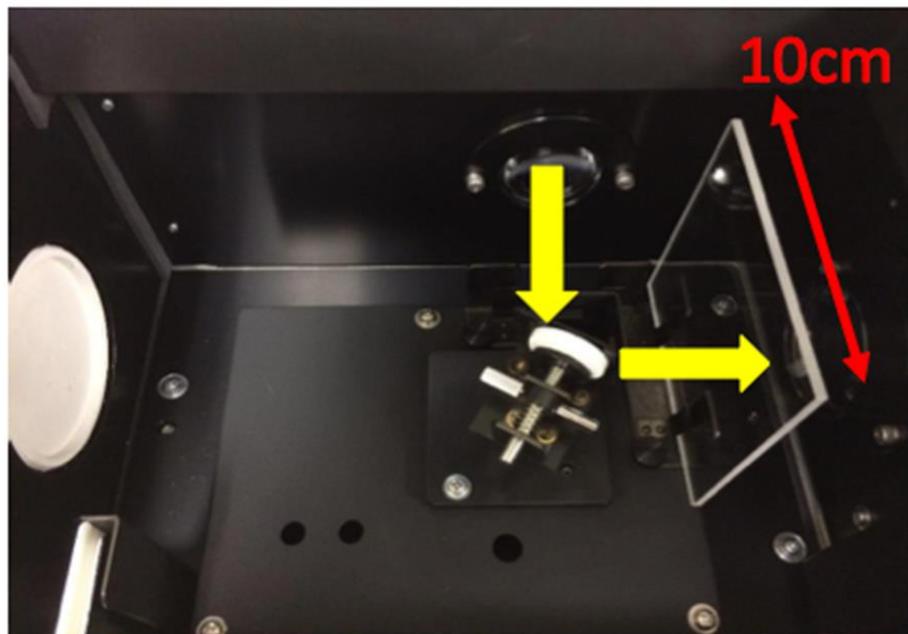
透過率測定

フレネルレンズ

($10 \times 10\text{cm}^2$ サンプル)

紫外光透過フィルタ

(UL330)



測定方法

分光蛍光光度計 (F-7000, HITACHI)

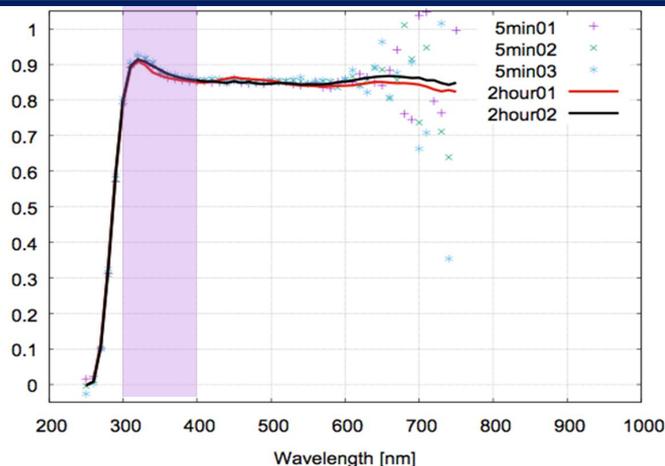
測定波長: 250 ~ 750 nm (10nm毎)



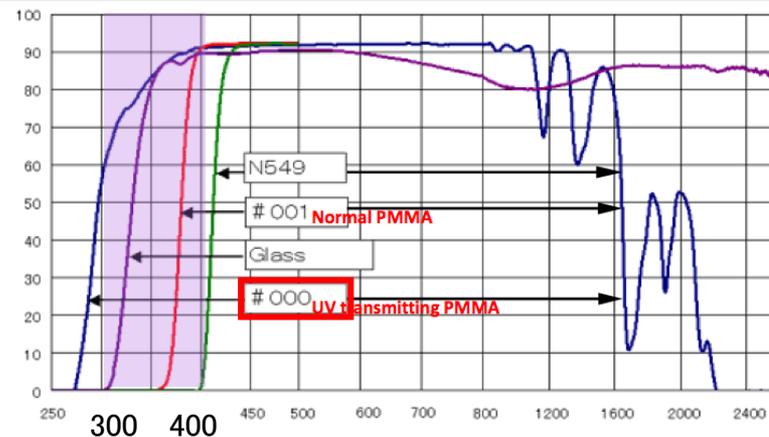
透過率測定結果

フレネルレンズ

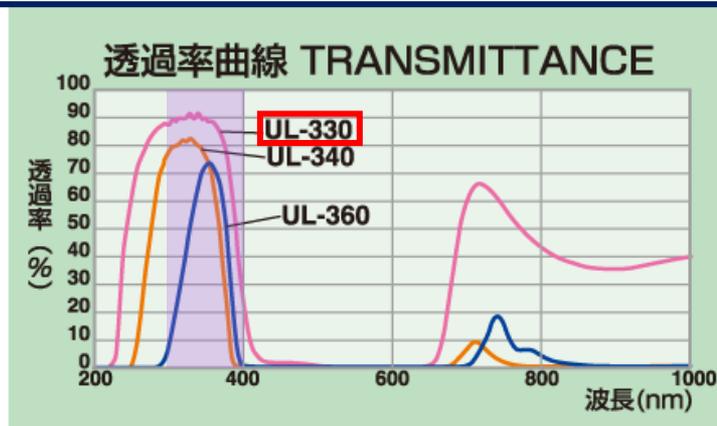
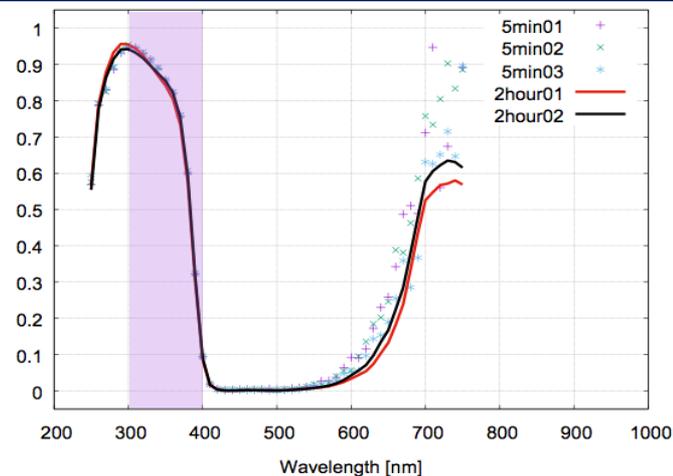
測定した透過率



データシート透過率



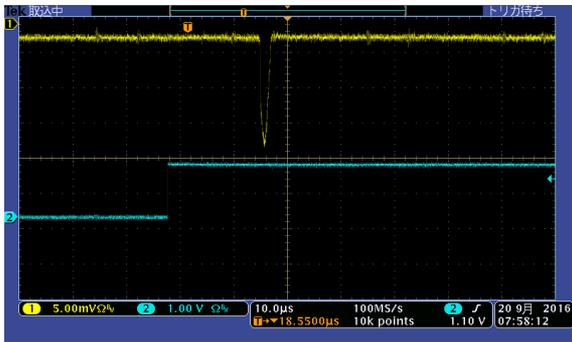
UV透過フィルタ



他研究機関にも測定を依頼中

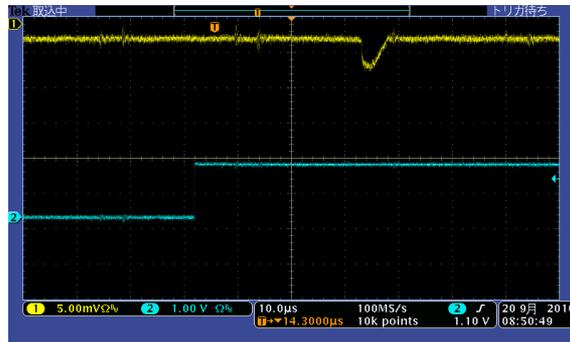
レーザーイベント取得

2016年9月20日 @TA FD サイト

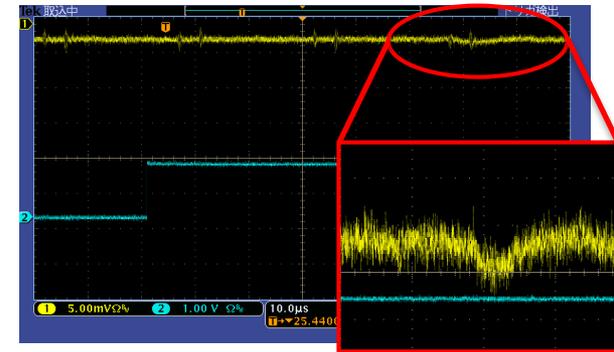


10µs/div

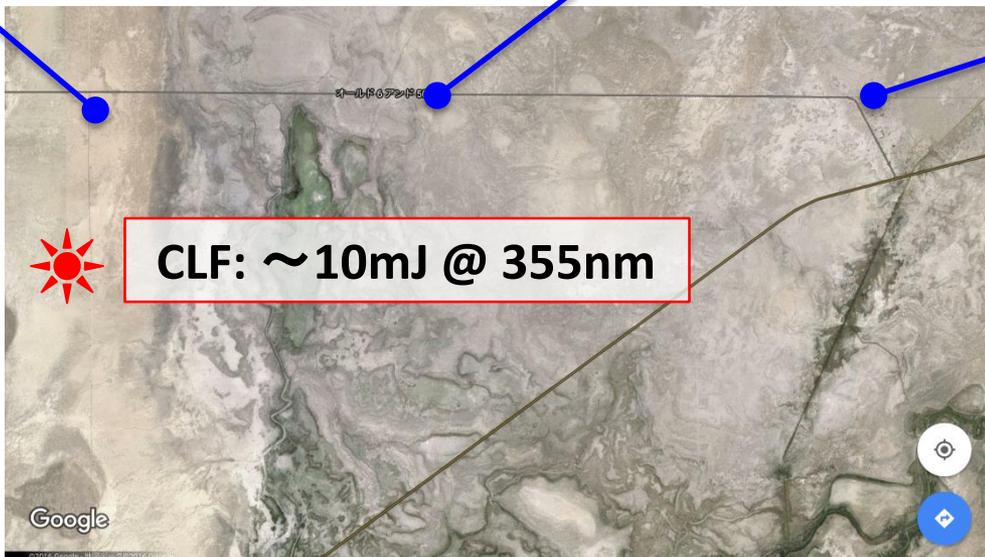
2km from CLF



5km from CLF



10km from CLF



まとめ

フレネルレンズを用いた新型大気蛍光望遠鏡の開発

• 低コスト

- 資材費 → TAFDの1/20コスト
- 少人数で製作 → 製作・運搬が1人で可能
- 自動観測 → 簡易発電機での観測

TA実験で使われているレーザーイベントの観測に成功

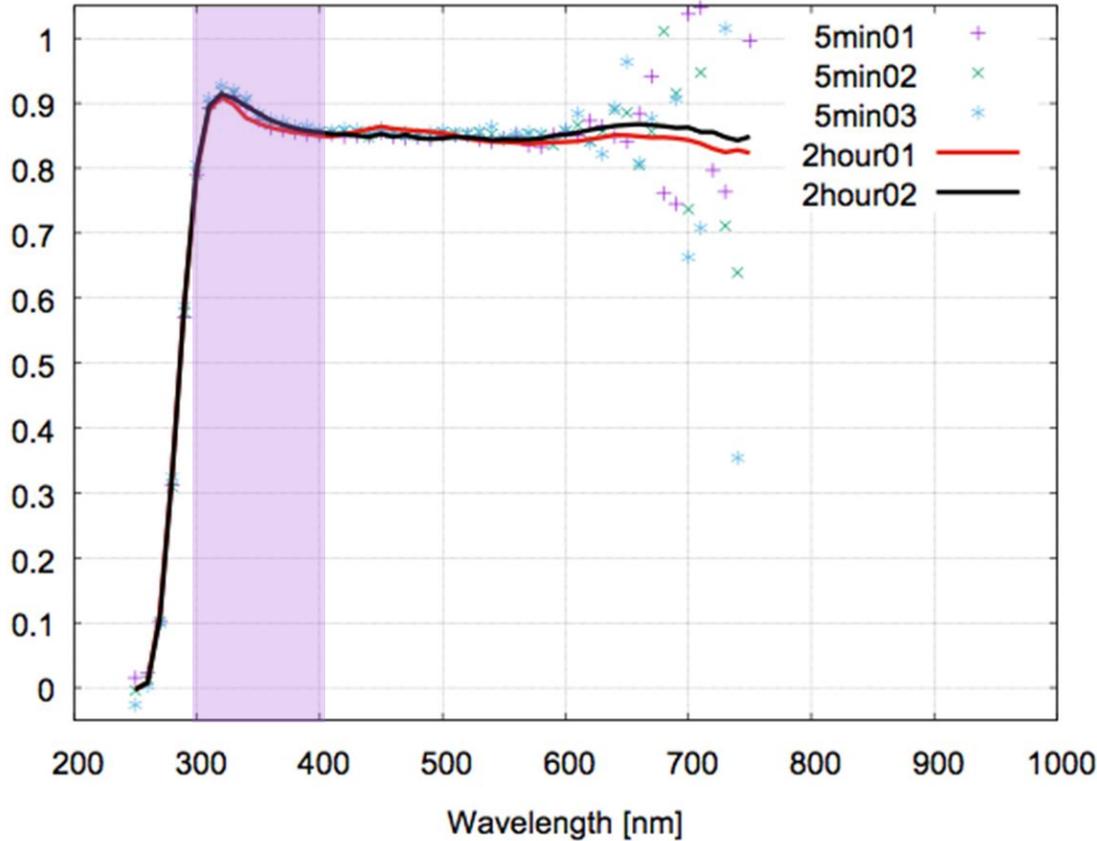
今後の予定

2017年度： シミュレーションによる検出器の最適化

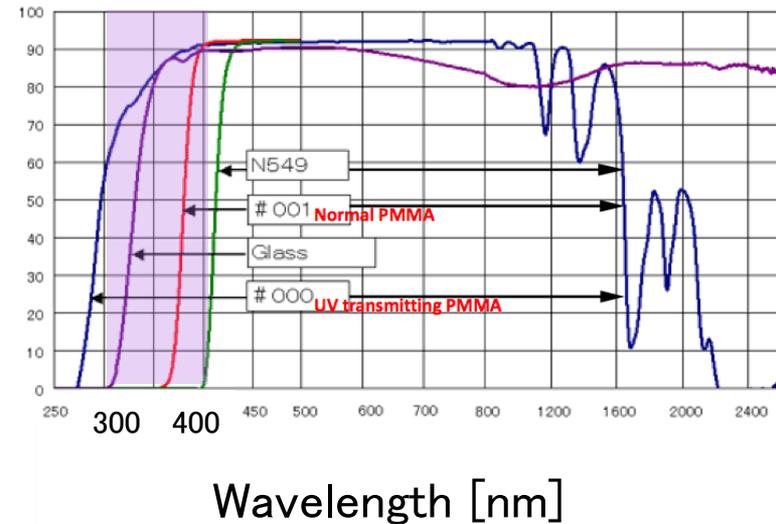
2018年度： 4台のCRAFFT望遠鏡を用いた宇宙線観測

BACKUP

フレネルレンズ透過率

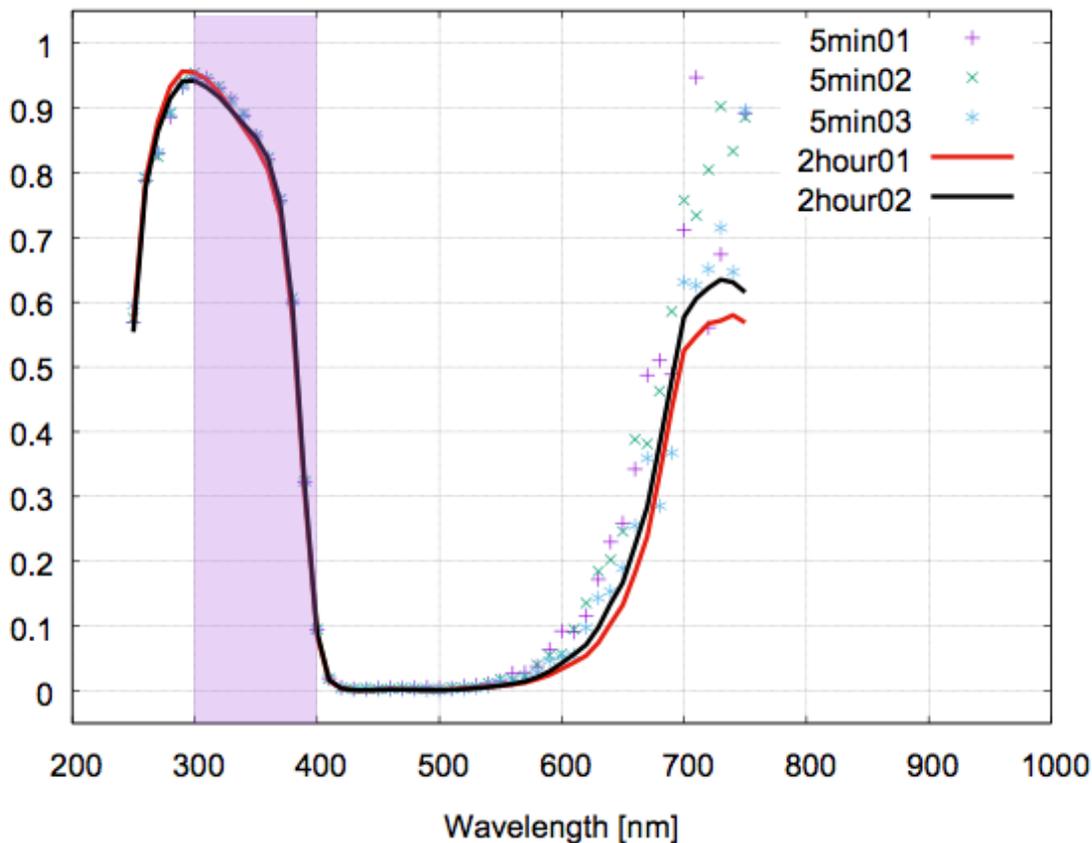


データシート

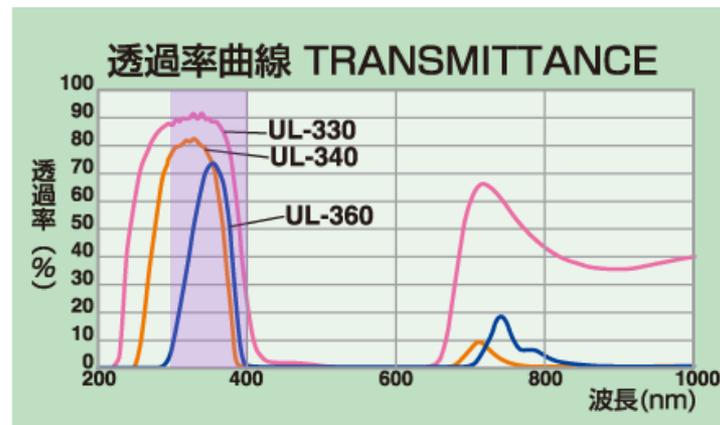


他研究機関にも測定を依頼中

UVフィルタ透過率



データシート



Wavelength [nm]

他研究機関にも測定を依頼中

DAQ試験 明野試験場

2015/05/17,18 明野観測所

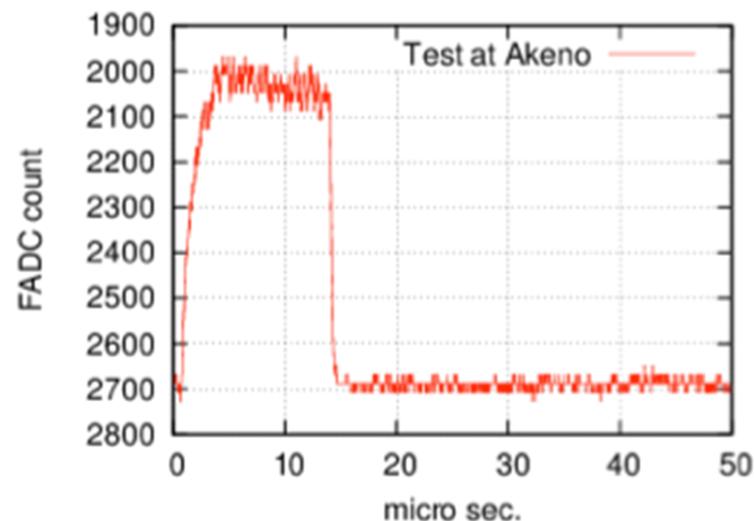
観測システムの試験

- DAQシステムの確認
- 夜光の取得
- 擬似イベントの取得

擬似イベントは紫外LED(375nm)

光源搭載オクトコプターを視野内で飛行

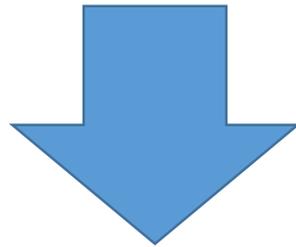
波形取得に成功



超高エネルギー宇宙線の観測

エネルギーが高くなるほど到来頻度が減るので、超高エネルギー宇宙線の観測には観測領域の大規模化が必要不可欠

現行の望遠鏡は製作・運用コストが高い(二千万/一台)ため、大規模化に使用するのには現実的ではない



より安価な検出器の開発

CRAFFTの特徴

- 構造が簡単
 - 構成要素が少ない
 - 組み立て、設置が容易
 - コストはTA FDの1/10程度



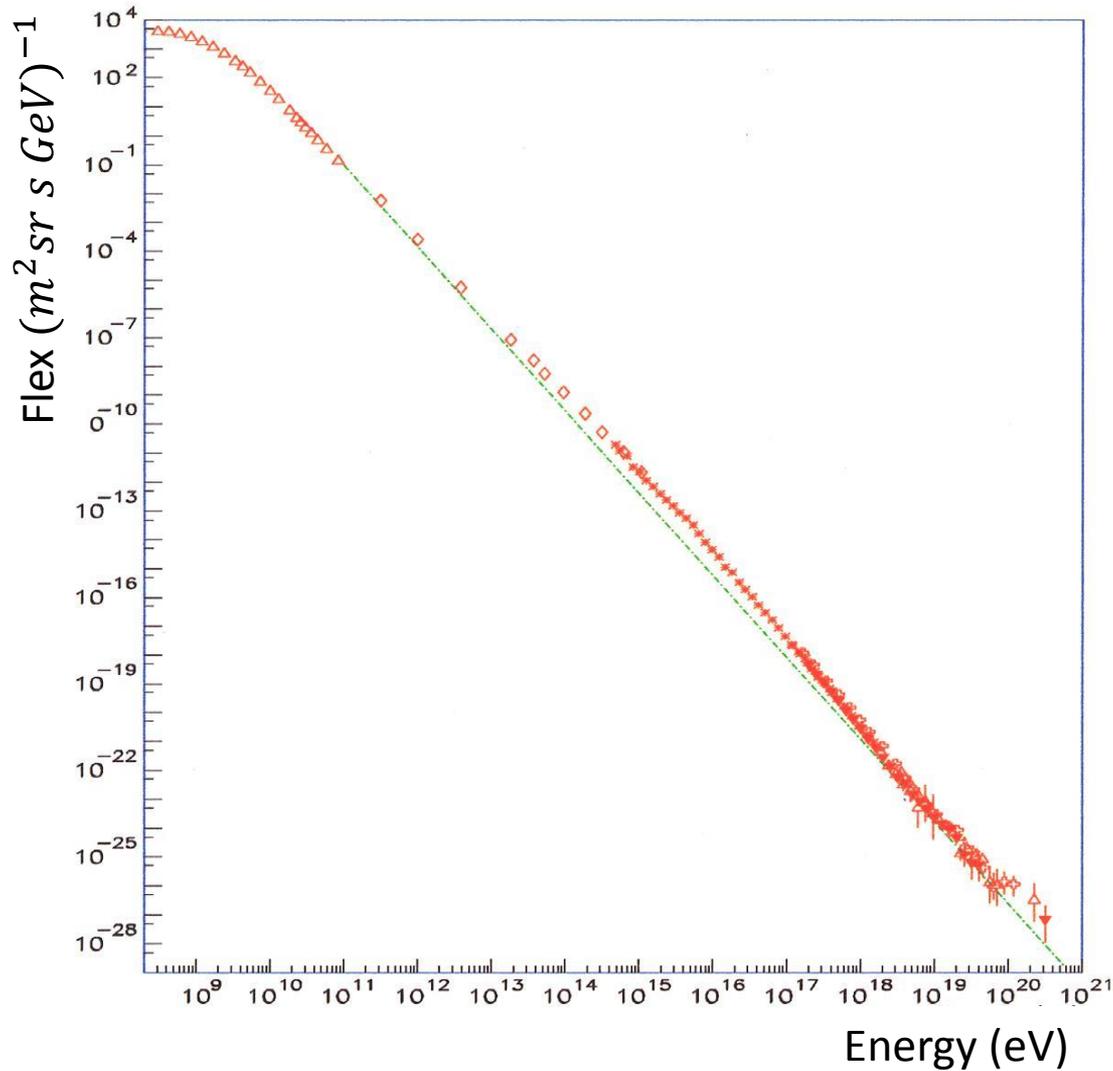
- 空気シャワーの縦方向発達を観測できる
- 望遠鏡視野はおおよそTA FD一台に相当 ($16^{\circ} \times 16^{\circ}$)

CRAFFTのコスト

構成要素	品名	仕様	金額(千円)
フレネルレンズ	日本特殊光学樹脂 CF1200-B	1m ² , f=1.2m	25
フレーム	MIWA		100
高圧電源	CAEN, N1470AR		165
FADC	特殊電子回路 Cosmo Z	80MHz, 12bit	31
光電子増倍管	浜松ホトニクス, R5912	8 inc.	205
紫外線透過フィルター	O.M.G., UL-330	300-360nm, 90%	320
			846

TA FDの1/10以下のコスト

超高エネルギー宇宙線



SDとFDの違い

	SD	FD
観測対象	荷電粒子	蛍光
分かること	宇宙線の天頂角 エネルギー	空気シャワーの発達
建設コスト	100万円	2000万円
観測方法	自動	遠隔手動

SDは面積を4倍にするTAx4が進んでいる
FDもステーションを増やす計画があるが、高コストな
今のFDのまま面積を4倍にするのは現実的でない

レーザーイベント・夜光ノイズ

場所：米国ユタ州、TA実験サイト

期間：2016/09/19 ~

試験内容：レーザーイベント（CLF）の取得（2,5,10km,BRM）
夜光ノイズデータ取得



CRAFFTの概要

	SD	FD	CRAFFT
観測対象	荷電粒子	蛍光	蛍光
分かること	宇宙線の天頂角 エネルギー	空気シャワーの発達	空気シャワーの発達
建設コスト	100万円	2000万円	100万円
観測方法	自動	遠隔手動	自動？

CRAFFTに求められるもの

- 低コスト
- 少人数で製作・運用可能
- 自動観測
- 宇宙線の観測

観測器による違い

	SD	FD
観測対象	荷電粒子	蛍光
分かること	宇宙線の 天頂角 エネルギー	空気シャワー の発達
建設コスト	150万円	2000万円
観測方法	自動	遠隔手動

SDは面積を4倍にするTAX4が進んでいる

FDもステーションを増やす計画があるが、高コストな今のFDのまま面積を4倍にするのは現実的でない

低コストで空気シャワーの発達を観測できる検出器

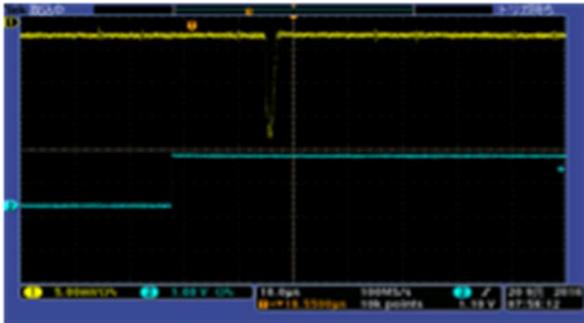
シミュレーションに必要なデータ

1. 検出器の構造
2. フレネルレンズ
 - 焦点距離
 - 視野角
 - 透過率
3. 紫外光透過フィルタ
 - 透過率
4. 夜光ノイズ
5. レーザーイベントの実測値
6. ADC
 - 応答関数
 - エレキノイズ
7. PMT
 - 応答関数
 - QE & CE

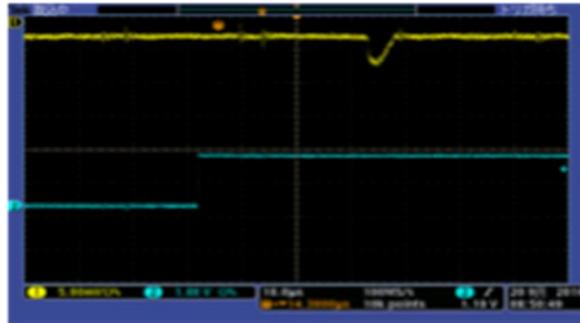
大気の透過率等、すでに測定されているデータは、論文から引用する

レーザーイベント取得

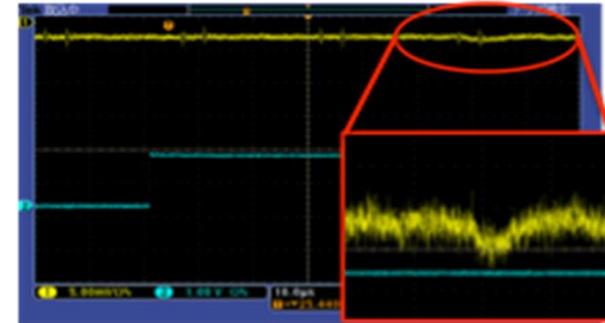
2016年9月20日 @TA FD サイト



2km from CLF



5km from CLF



10km from CLF

