

CTA 小口径望遠鏡用焦点面カメラの統合試験

中村 裕樹

名大ISEE

宇宙素粒子若手の会 第3回 秋の研究会、宇宙線研究所、2018/10/04

自己紹介



- » 中村 裕樹 (なかむら ゆうき)
- » 名古屋大学 宇宙地球環境研究所 (ISEE)
- » 博士後期課程1年 (D1)
- » Cherenkov Telescope Array (CTA)
 - » 小口径望遠鏡 (Small-Sized Telescope, SST)
 - » 焦点面カメラ
 - » 光検出器 (SiPM)
 - » キャリブレーション



講演プログラム

一日目 (10/15) 場所: 宇宙線研究所 6F 大セミナー室		
14:00-14:45	受付	
14:45-15:00	開会式	
15:05-15:20	ナビゲータートーク: 重力波	長野 晃士 (東大 ICRR)
15:25-15:40	ナビゲータートーク: 大気検出器	石崎 渉 (東大 ICRR)
15:45-16:00	ナビゲータートーク: 地下実験	中野 佑樹 (東大 ICRR)
16:05-16:20	ナビゲータートーク: 原子核乾板	森下 美沙希 (名古屋大)
16:25-16:40	ナビゲータートーク: 素粒子実験	伊藤 博士 (神戸大)
16:40-17:00	休憩	
	招待講演 1 (座長: 石崎 渉)	
17:00-18:30 (17:30-17:40 休憩 18:10-18:30 質疑)	Introduction to Gamma-ray Astrophysics - Active Galactic Nuclei & Cosmic Gamma-ray Background	井上 芳幸 (国立研究開発法人 宇宙航空研究開発機構)
19:30-21:00	懇親会	

二日目 (10/16) 場所: 宇宙線研究所 6F 大セミナー室		
	招待講演 2 (座長: 森下 美沙希)	
10:30-12:00 (11:00-11:10 休憩 11:40-12:00 質疑)	(IceCUBEにまつわるお話)	吉田 滋 (千葉大学)
12:00-13:00	昼食	
	session1: 開発 1 (座長: 中村 輝石)	
13:00-13:20	CTA 小・中口径望遠鏡焦点面カメラ用 SiPM の開発状況	中村 裕樹 (名古屋大)
13:20-13:40	改良されたラドン検出器の性能評価について	岡本 幸平 (東大 ICRR)
		稲田 知大 (東大)

大気チェレンコフ望遠鏡



複数の望遠鏡での
イメージから到来方向を決定

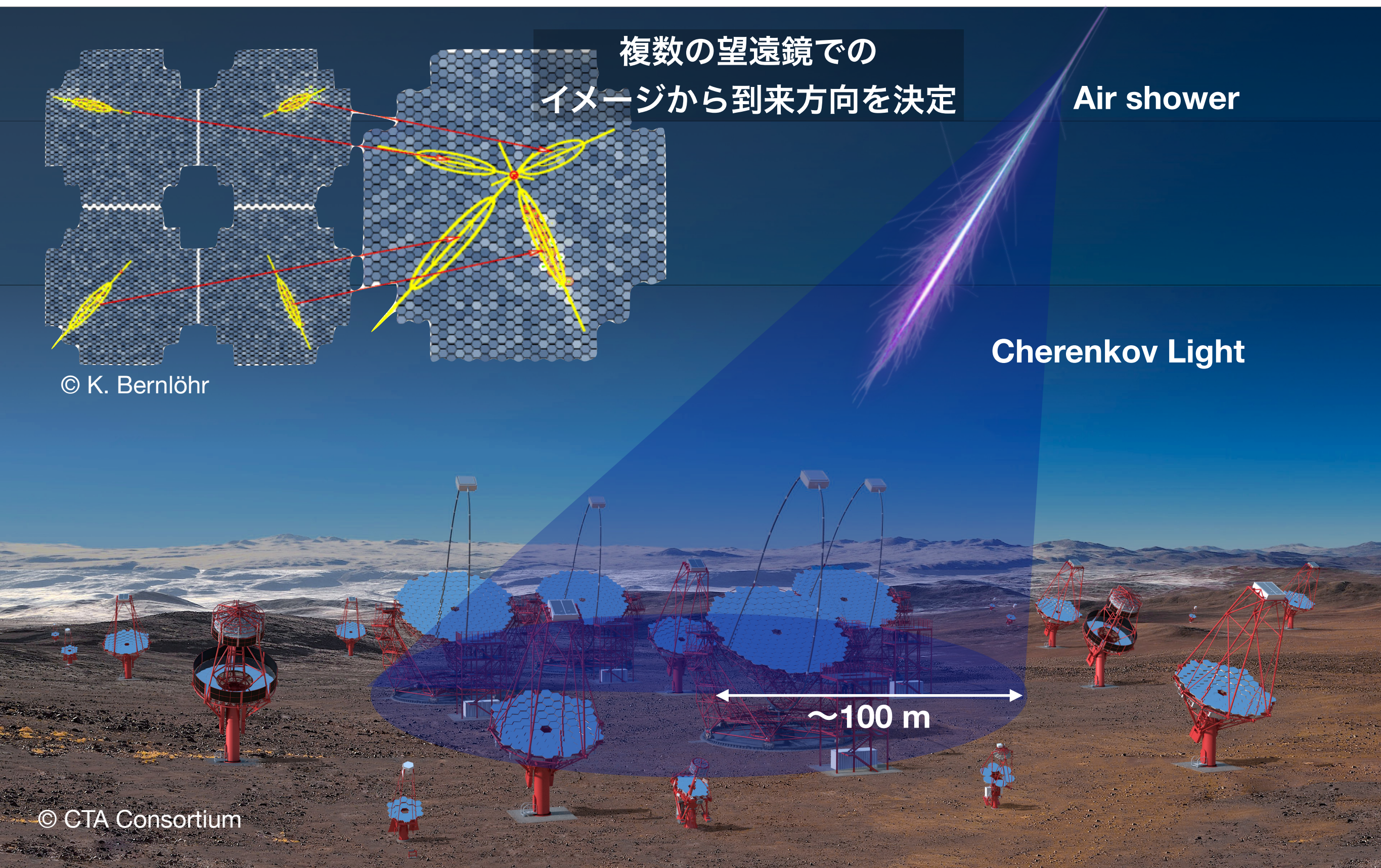
Air shower

Cherenkov Light

© K. Bernlöhr

~100 m

© CTA Consortium



Cherenkov Telescope Array (CTA)



大口径望遠鏡 (LST)

直径：23 m

エネルギー：20 GeV - 3 TeV

台数：4 (北) + 4 (南)

中口径望遠鏡 (MST)

直径：12 m or 9.6 m

エネルギー：80 GeV - 50 TeV

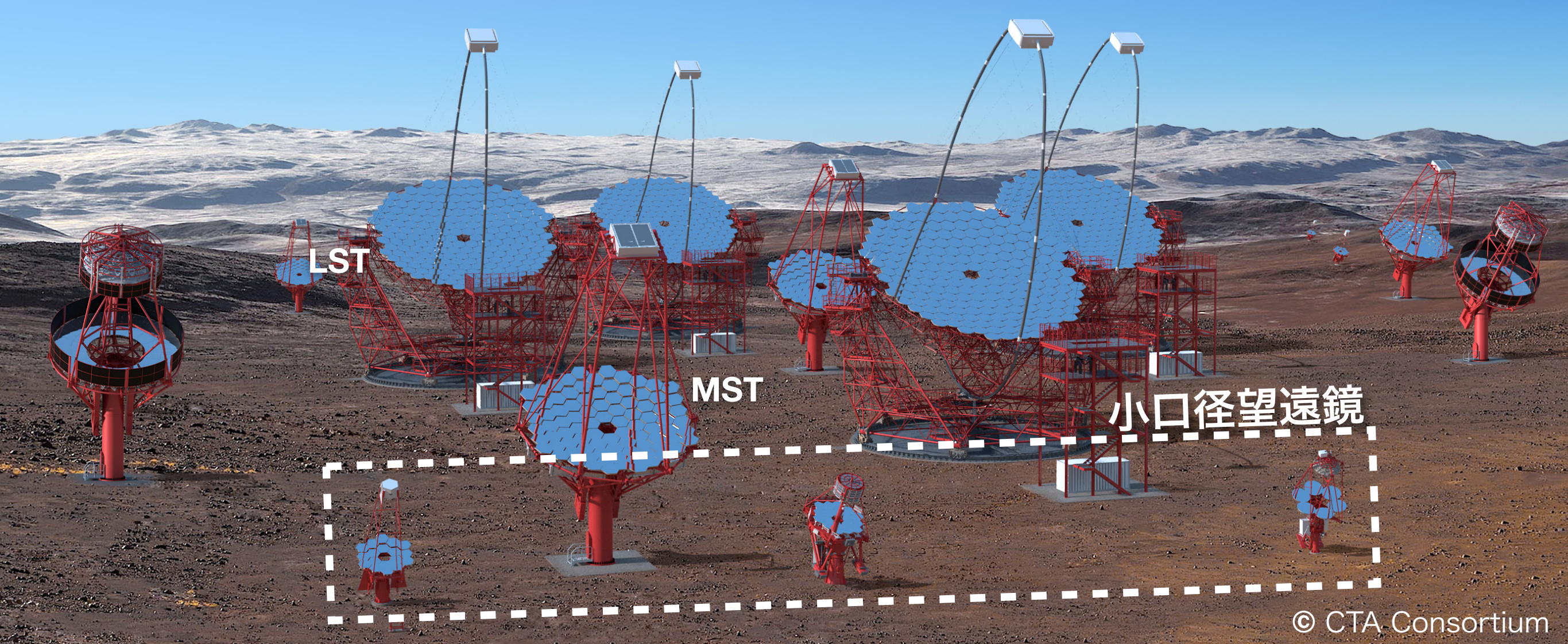
台数：15 (北) + 25 (南)

小口径望遠鏡 (SST)

直径：~ 4 m

エネルギー：1 - 300 TeV

台数：70 (南)



© CTA Consortium

大口径望遠鏡 (LST)

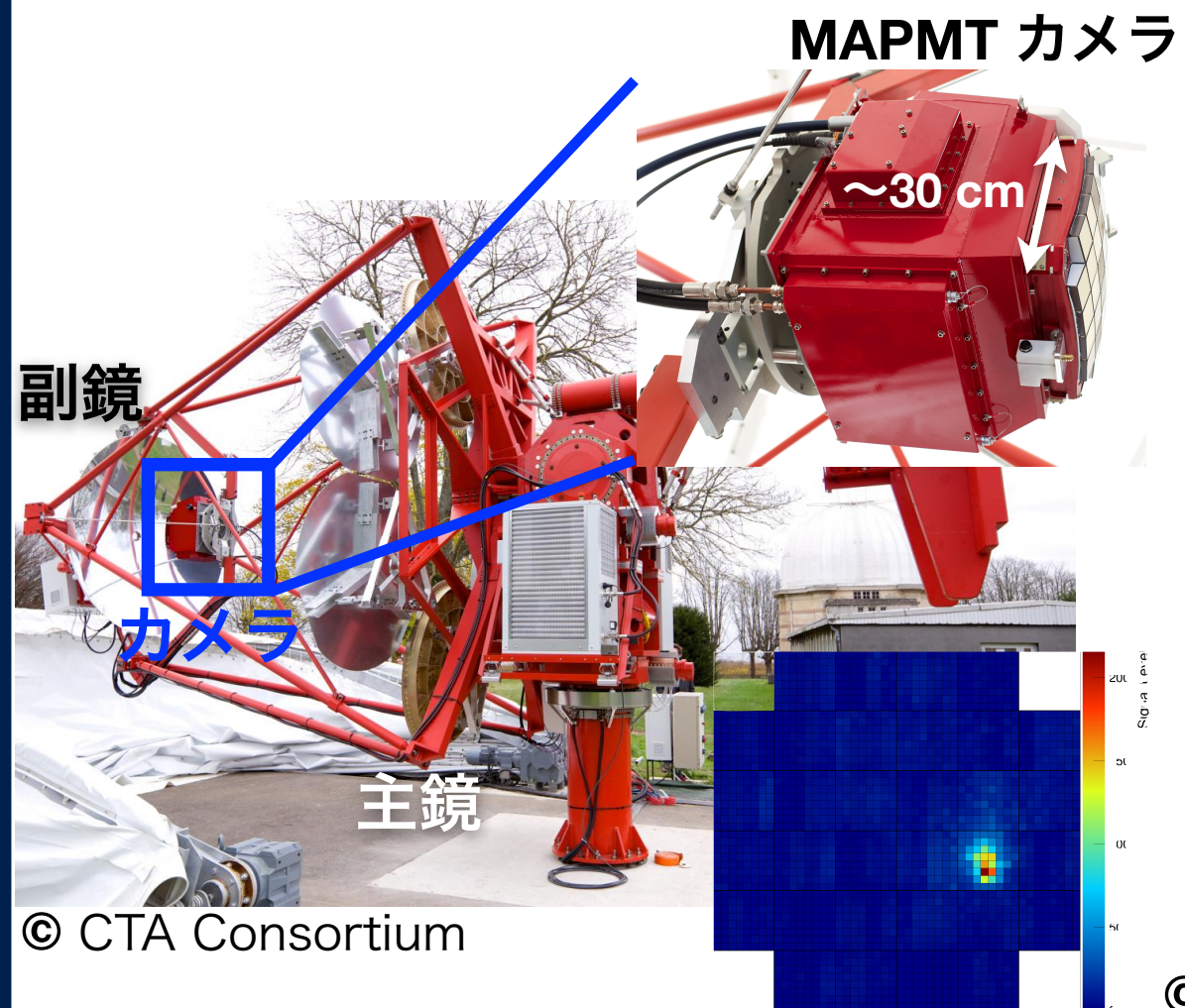


© Daniel López / IAC

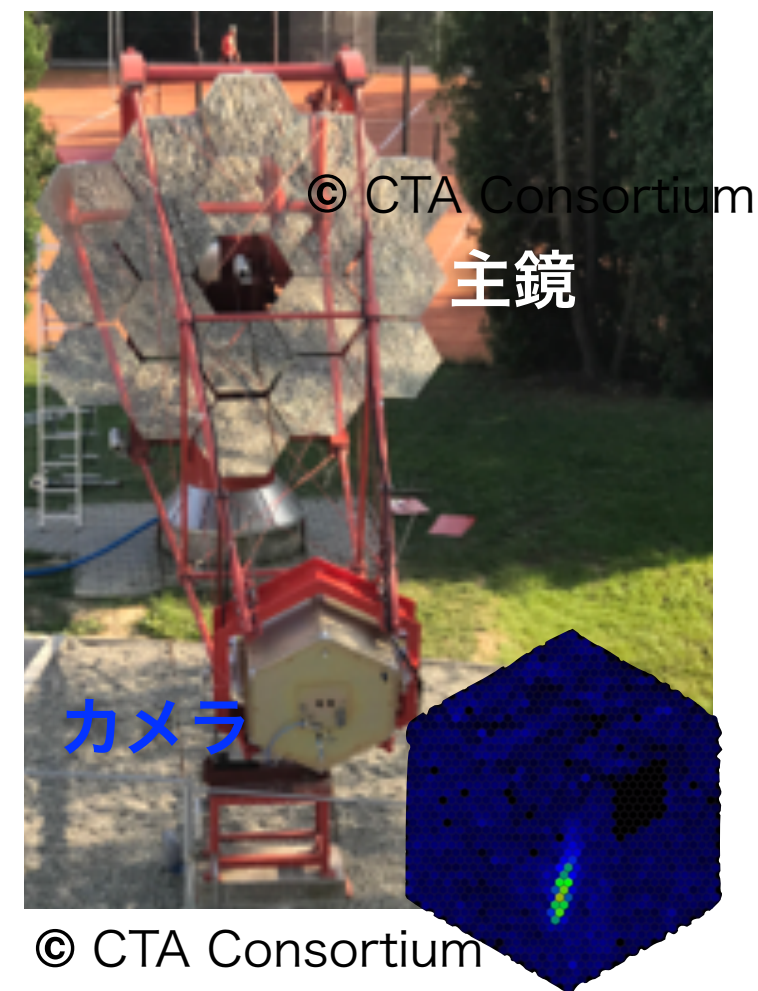
小口径望遠鏡

- » 3 種類の望遠鏡が提案され、それぞれの試作望遠鏡でチェレンコフ光の観測を成功させた
- » 小口径望遠鏡デザインの最終決定に向けて進めている

Schwarzschild-Couder (副鏡あり)



Davies-Cotton



半導体光電子増倍素子 (SiPM)

- » MAPMT を用いたカメラでのチェレンコフ光の観測を成功させた (J. Zorn et al. 2018)
- » カメラのアップグレードに向けて光検出器を半導体光電子増倍素子 (SiPM) に置き換えた

- » **高い光検出効率：40% 以上**

- » **低い動作電圧：～50 V**

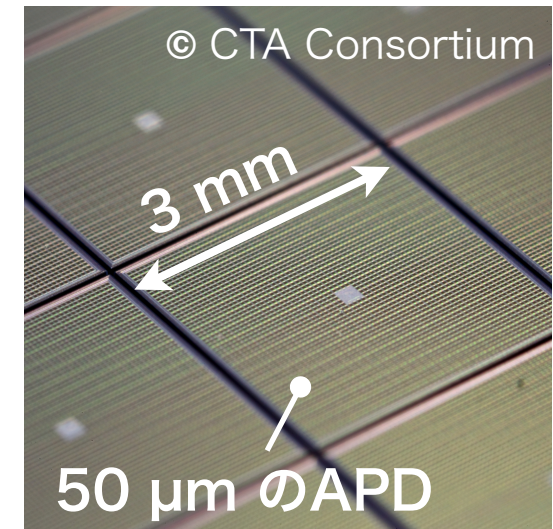
- » **夜光の多い状況でも観測可能**

- » **オプティカルクロストークの発生**

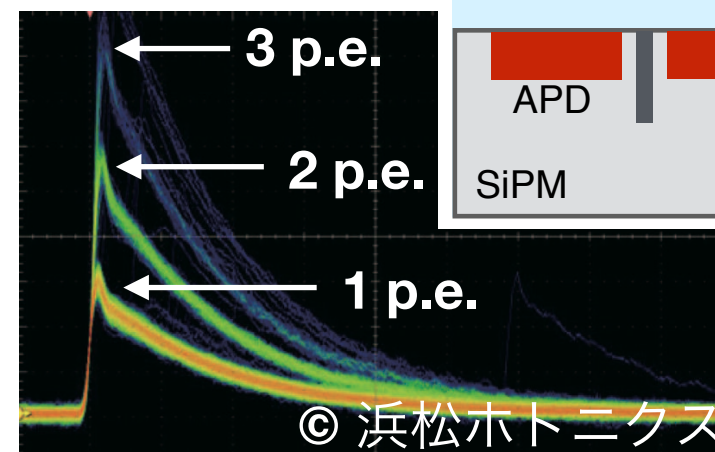
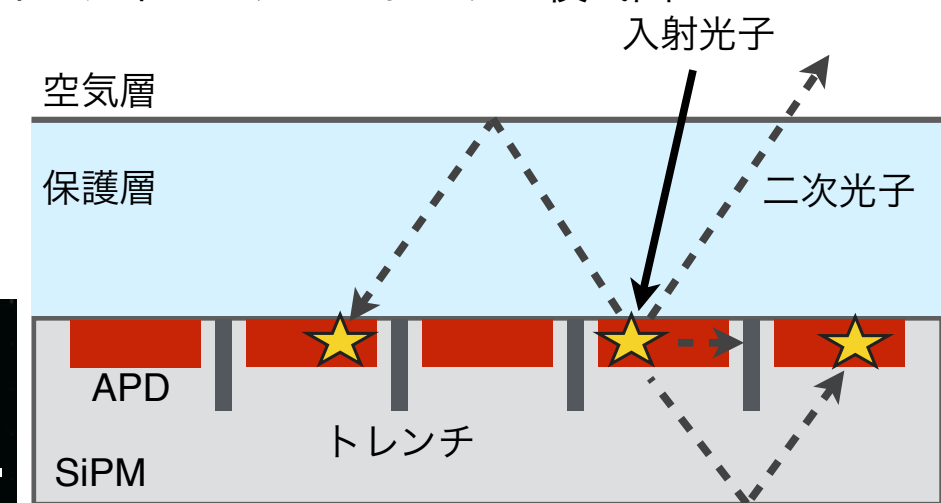
- » 単一光電子を増幅し、複数光電子として検出してしまう現象
- » トリガー閾値を下げられない
- » 電荷分解能を悪化させる

- » **ゲインの温度依存性**

- » ダイナミックレンジ、トリガー閾値を変化させる
- » 温度をモニターし、補正することが必要



オプティカルクロストークの模式図



なぜ SiPM を使いたいのか？



» TeV ガンマ線源に対する感度向上が重要

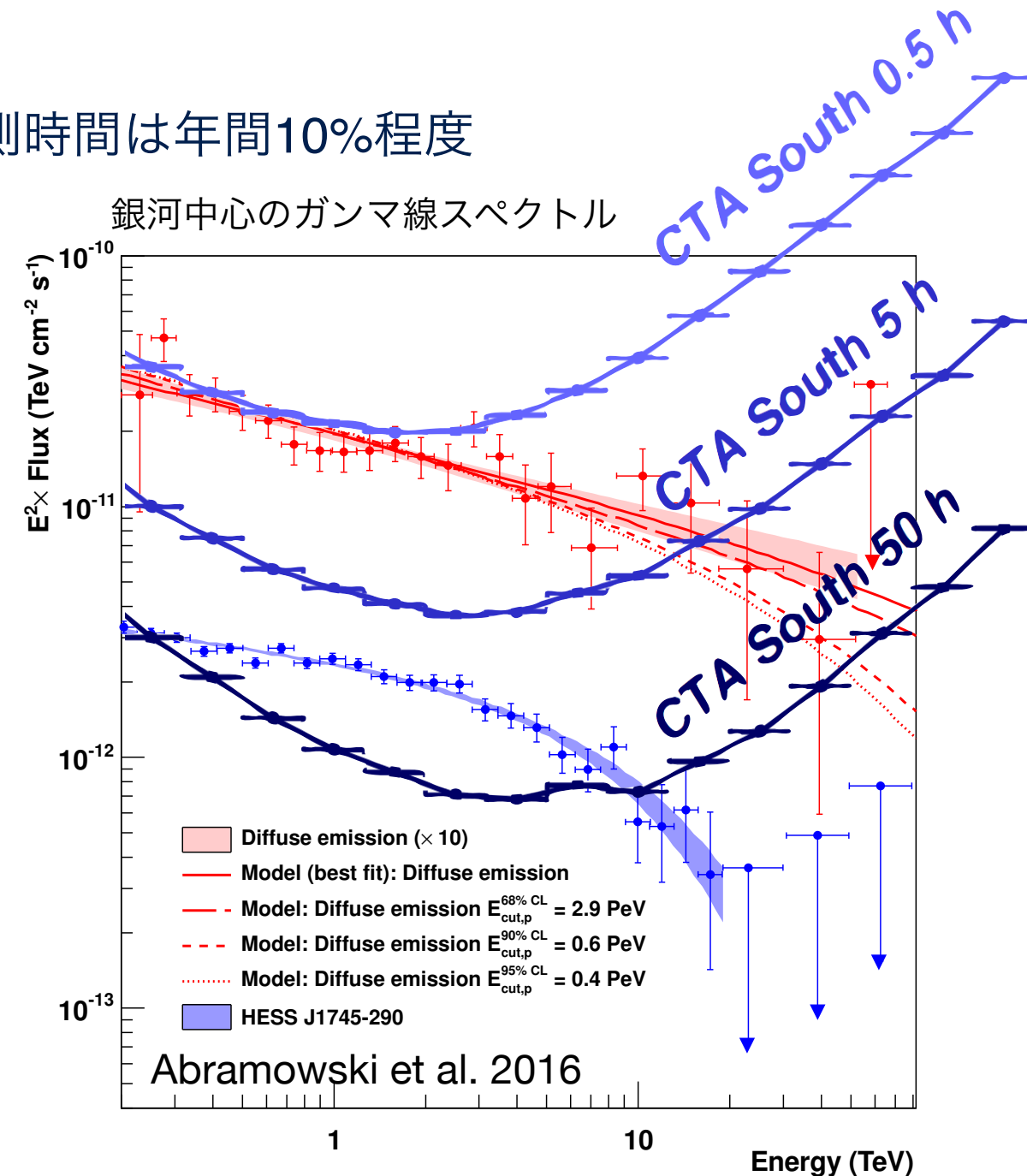
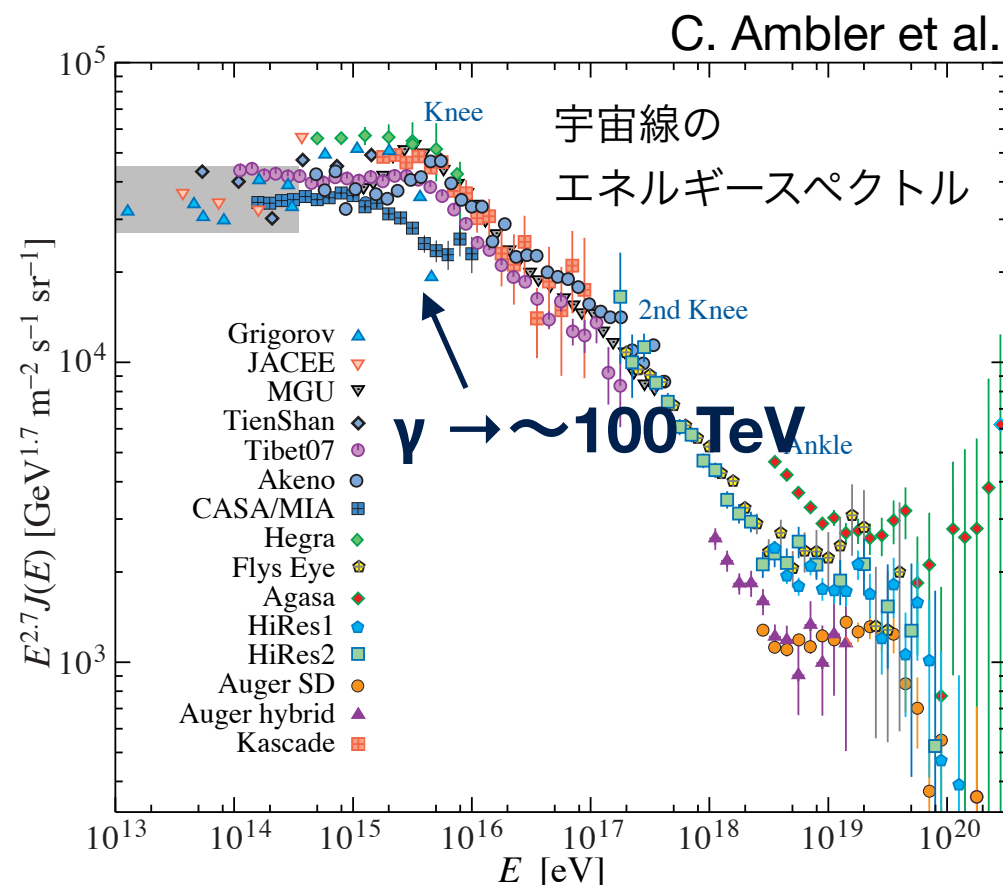
» 有効面積の拡大 ✓

» 観測時間の増加

» PMT の寿命の制限によって月夜の観測が難しい観測時間は年間10%程度

» SiPM では寿命の制限を受けない

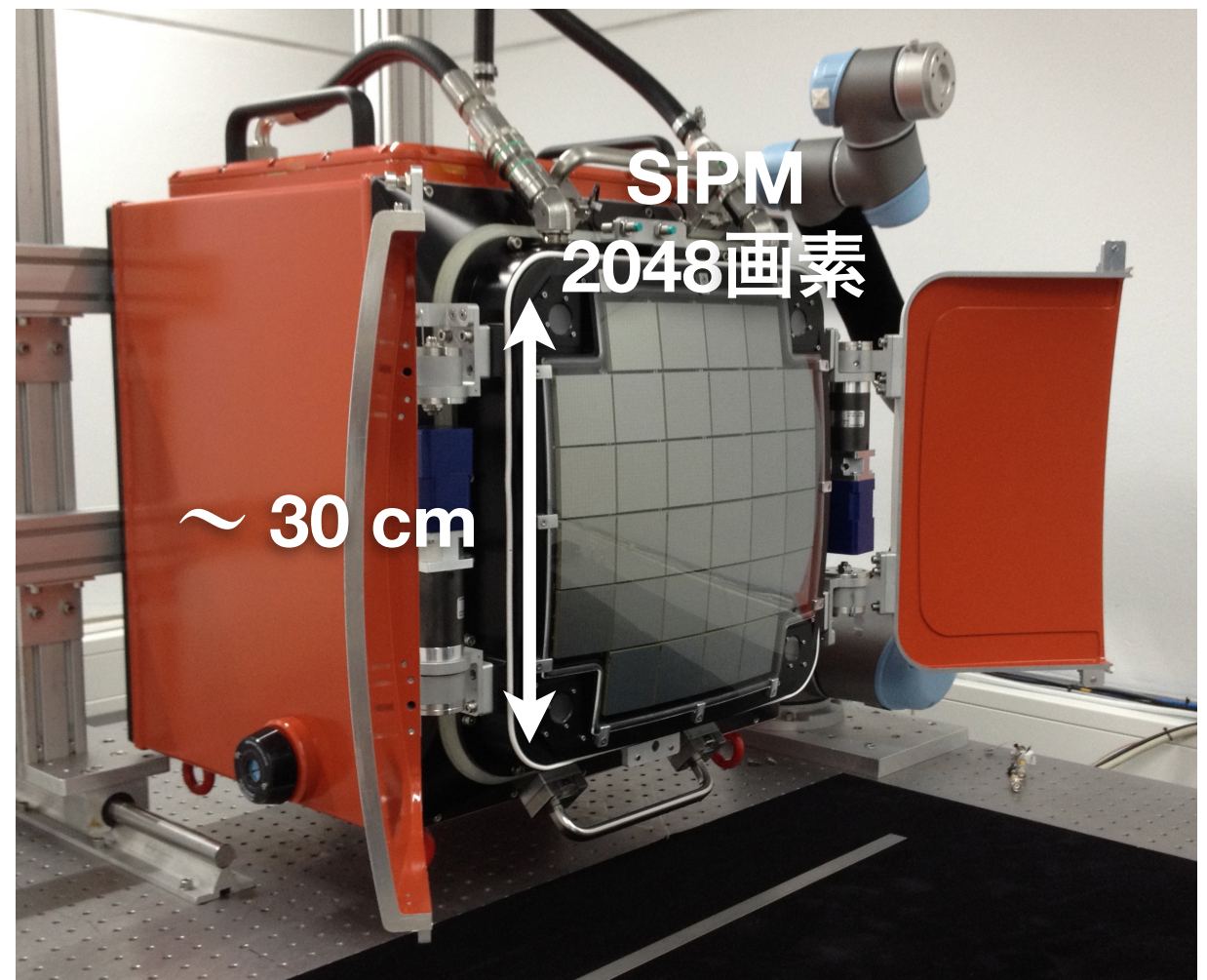
→ 月夜でも観測可能なため観測時間の増加
を実現できる



» SiPM に置き換えた焦点面カメラを組み上げ統合試験を進めている

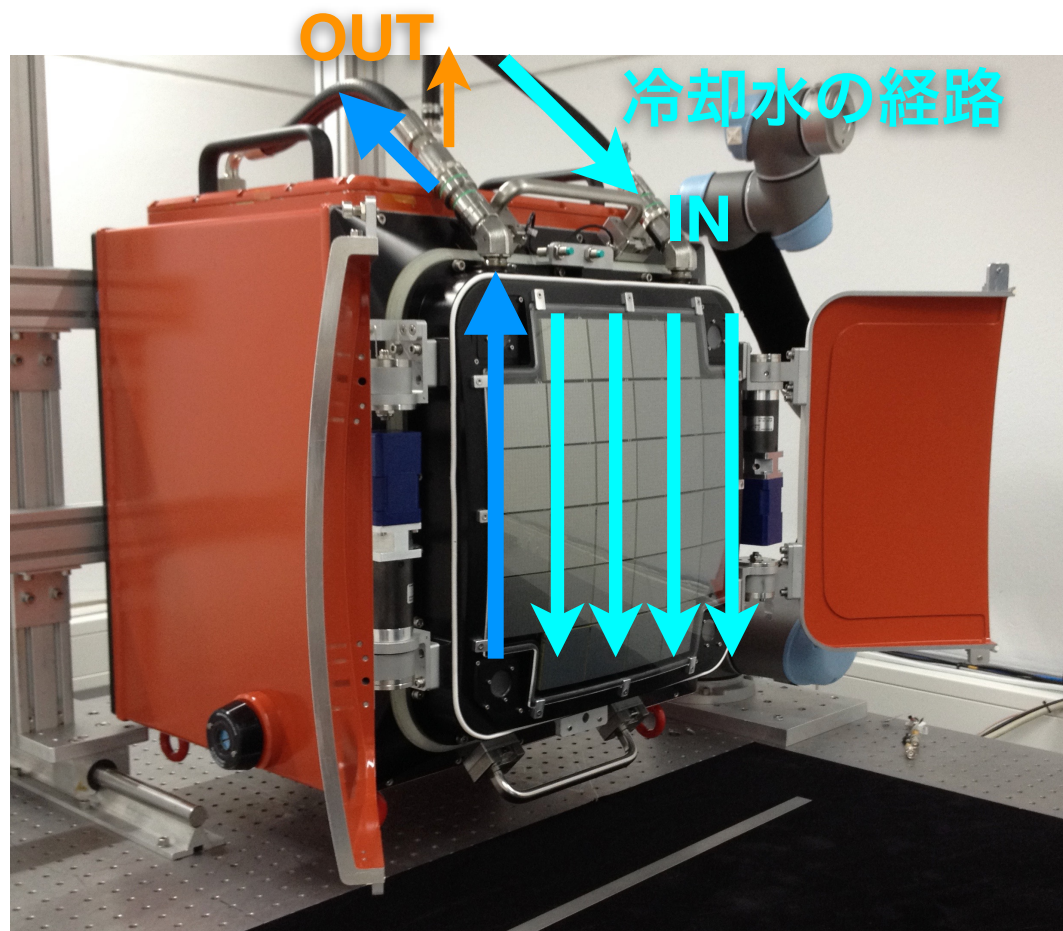
- » ダイナミックレンジの調整
- » 波高積分値分布の作成と SiPM の特性評価
 - » ゲイン
 - » オプティカルクロストークレート
- » 波高積分値と検出光電子数の関係の決定
- » 電荷分解能
- » トリガー性能
- » 温度特性
- » モニタリング
 - » 温度
 - SiPM
 - カメラモジュール
 - バックプレーンボード
 - » トリガーレート

» 望遠鏡に搭載しての試験観測を予定している

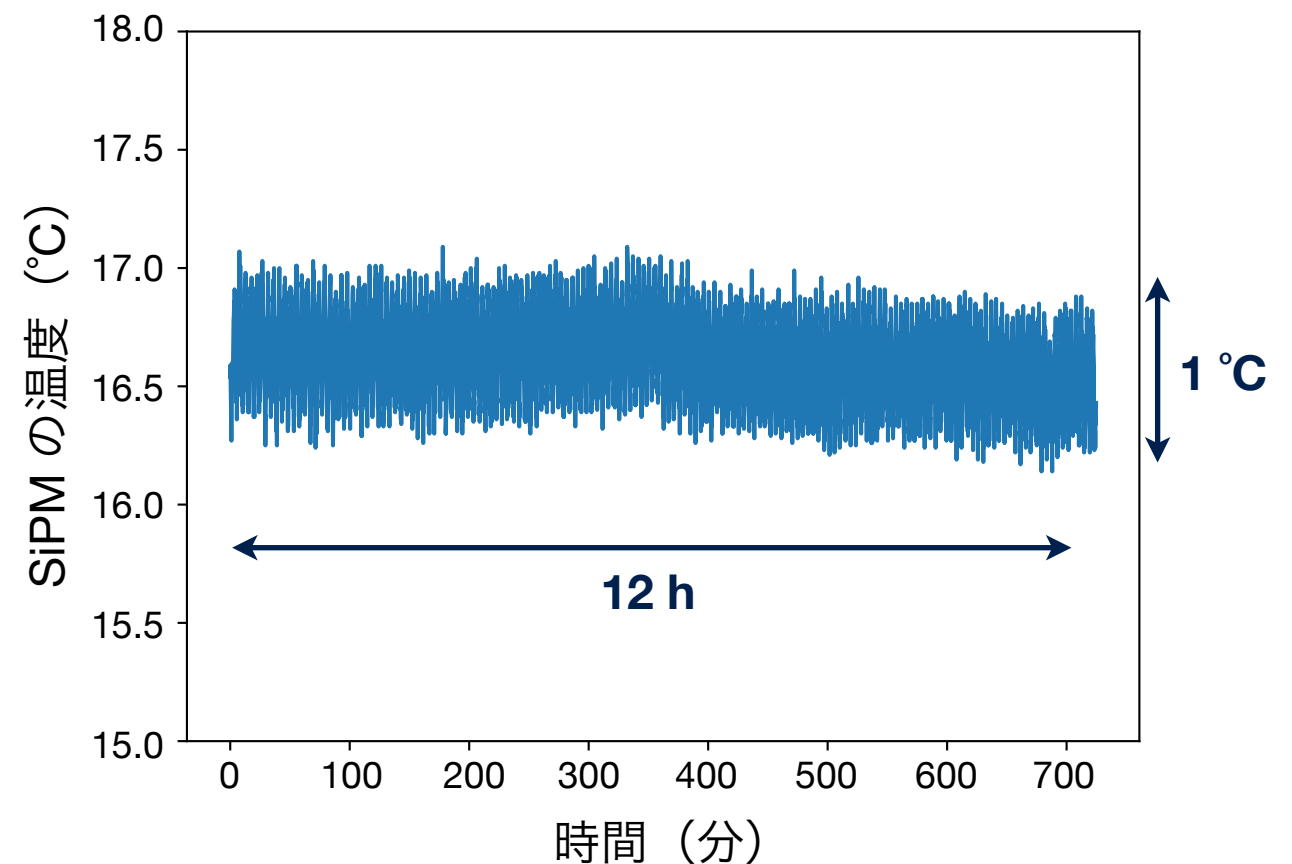


焦点面カメラの温度特性

- » SiPM の降伏電圧は温度依存性を持つ
 - » 温度によってゲイン、ダークカウント、光検出効率が変化する
 - » 温度の変化に応じて印加電圧の調整が必要である
- » 焦点面カメラは 400–500 W の熱が発生するため、水冷でカメラを冷却している
- » 室温での測定ではSiPM の温度を最大 1 °C 程度の変化で制御可能（温度変化 ~5 °C）

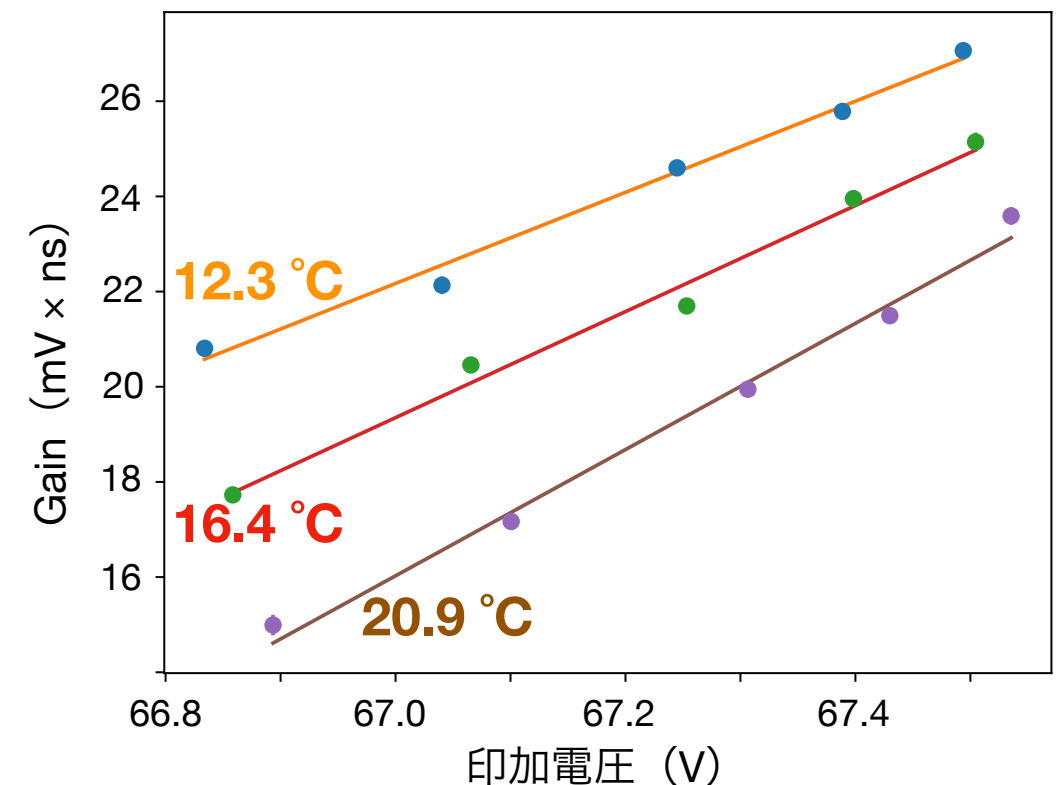
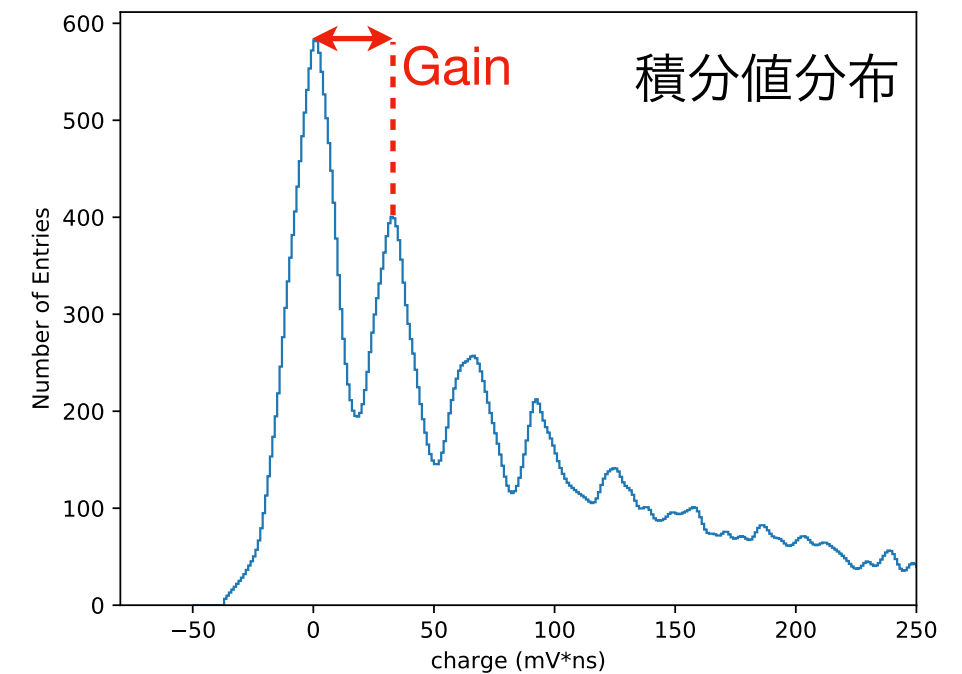
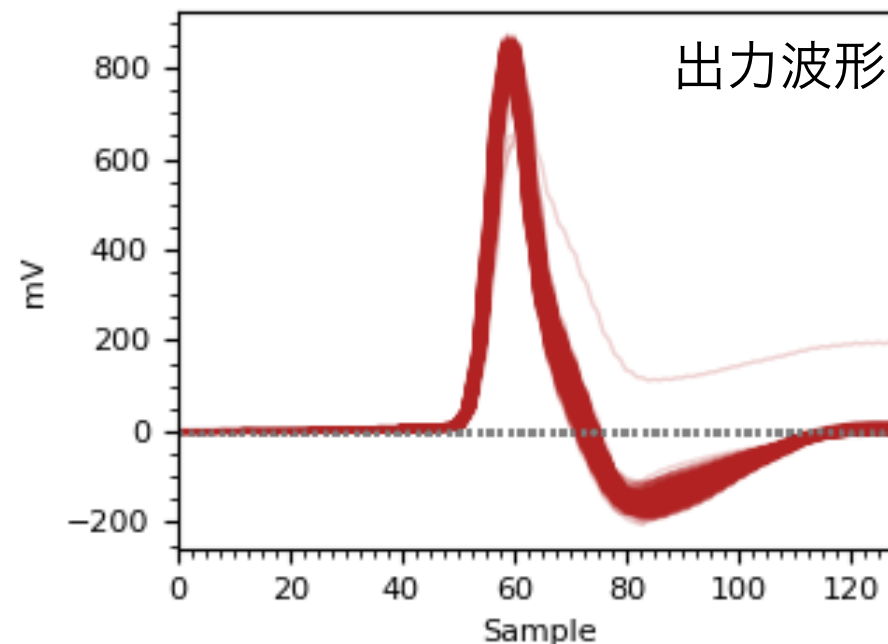


© CTA Consortium



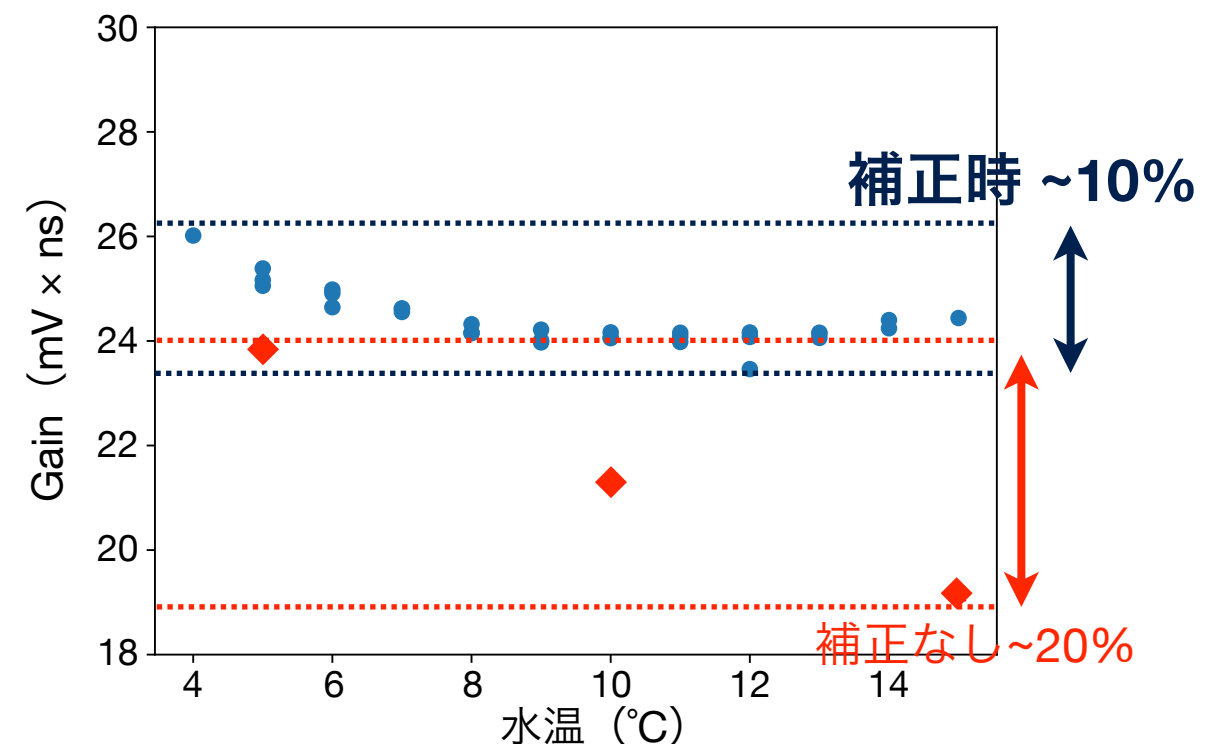
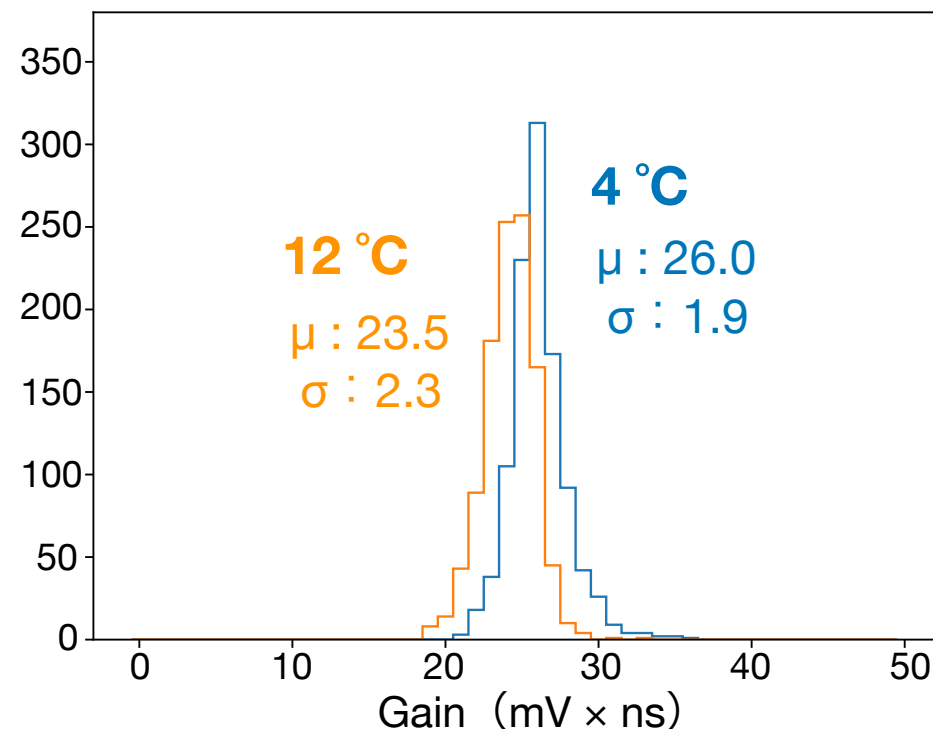
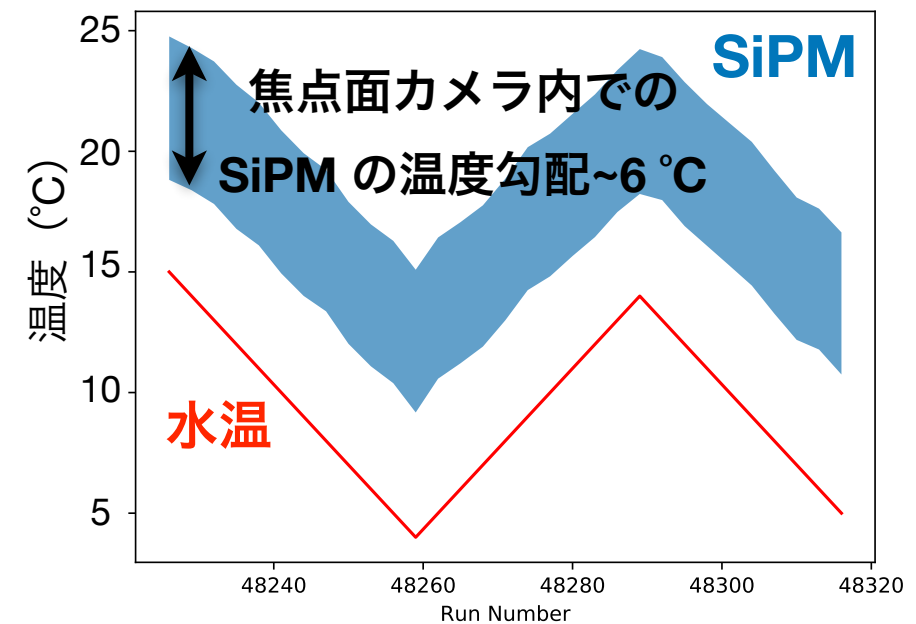
ゲインの温度依存性の測定

- » 冷却水の温度を変化させ意図的にカメラの温度を変化させることでゲインの温度依存性を測定した
- » 観測中のトリガー閾値を安定にするために印加電圧を調整する
 - » 印加電圧は 4 画素ごとに設定するため、4 画素の平均を代表値とした
 - » フィット直線からのずれは 3% 程度であり 1 p.e. の波高値に対して十分小さい
 - » 傾きの変化は ASIC の温度依存性が含まれている
- » SiPM の温度から最適な印加電圧を計算する



温度補償によるゲインの安定性の検証

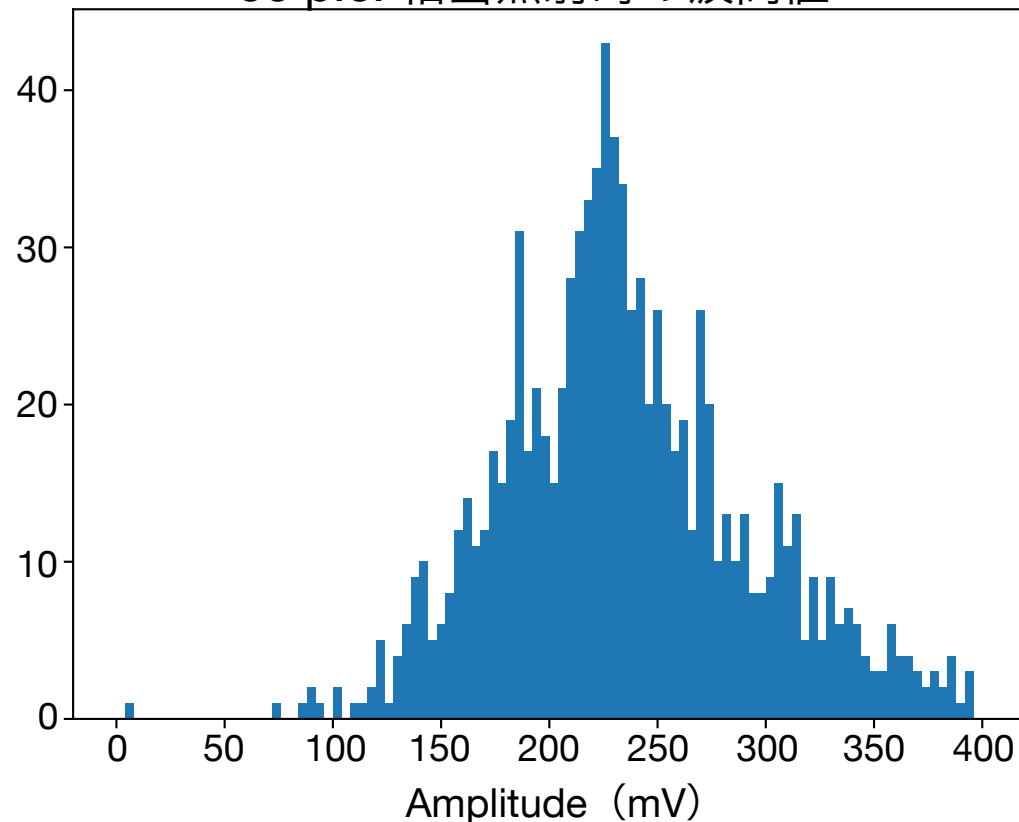
- » 冷却水を用いて SiPM の温度を変化させてゲインの安定性を検証した
 - » SiPM の温度から印加電圧を決定した
 - » 実際の観測時はカメラの温度が 15–25 °C で使用することを想定している
- » ゲインの平均値の変化
 - » 印加電圧補正時：～10%（補正なし：～20%）
 - » 閾値の設定に対して十分小さな変化



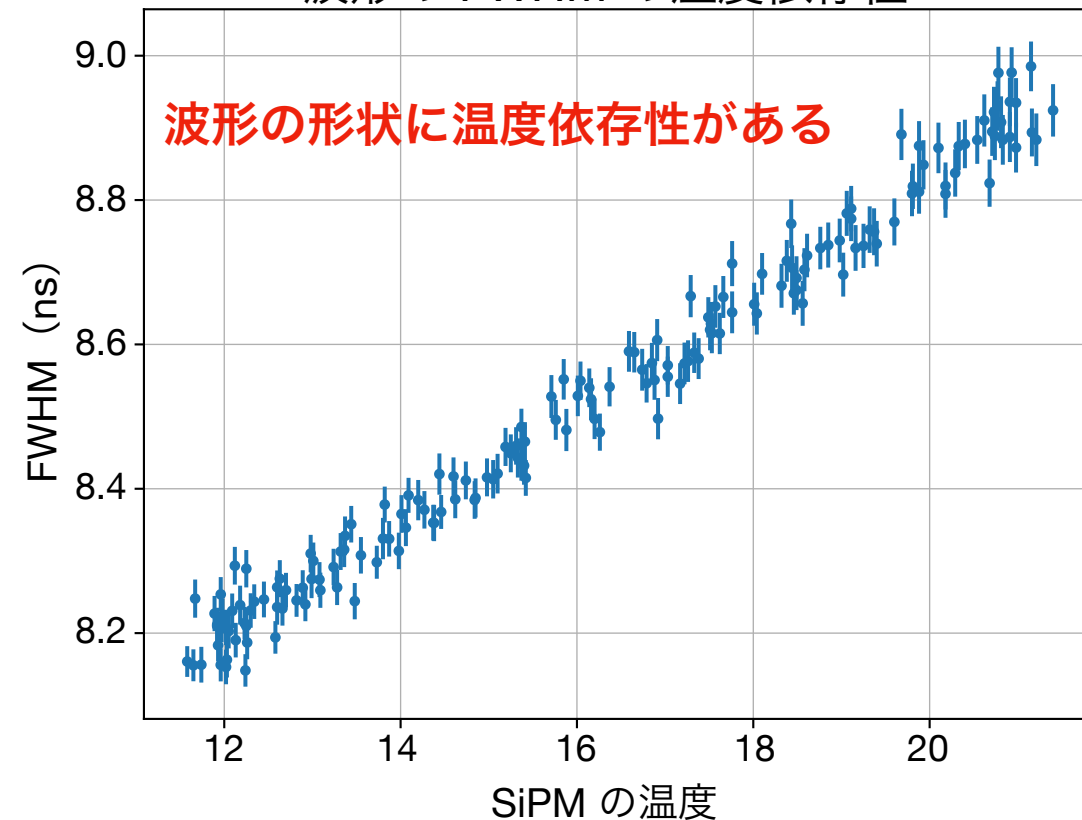
温度補償時の波高値の確認

- » 50 p.e. 相当照射時の波高値を確認した
- » 簡単のため波高積分値で温度依存性を測定したが、波高値が揃っていなかった
 - » トリガーを安定にするという観点から波高値を揃えないといけない
 - » ASIC の温度依存性が記録電圧値によって異なる
- » 波高値の分布からゲインを測定し補正值を決定する
- » ASIC 単体で温度依存性を測定する
- » 印加電圧は SiPM の超過電圧の調整のみ行う

50 p.e. 相当照射時の波高値



波形の FWHM の温度依存性



≫ SiPM を光検出器に置き換えた焦点面カメラの統合試験を進めている

≫ 温度特性試験

- ≫ 印加電圧の調整によってゲインの変化を 8% に抑えることができた
- ≫ 波高値の分布から温度依存性を測定する
- ≫ ASIC 単体での温度依存性を測定し補正する
- ≫ SiPM の降伏電圧の変化のみ印加電圧を補正する

≫ 望遠鏡に搭載しての試験観測を予定している

- ≫ ガンマ線由来のチェレンコフ光を観測する
- ≫ μ 粒子から生じるチェレンコフ光を用いたエネルギー較正を実施する
- ≫ 複数の夜光条件で観測し、エネルギー分解能・トリガーへの影響を調査する

≫ LST 初号機で良い結果が出ることに期待！