

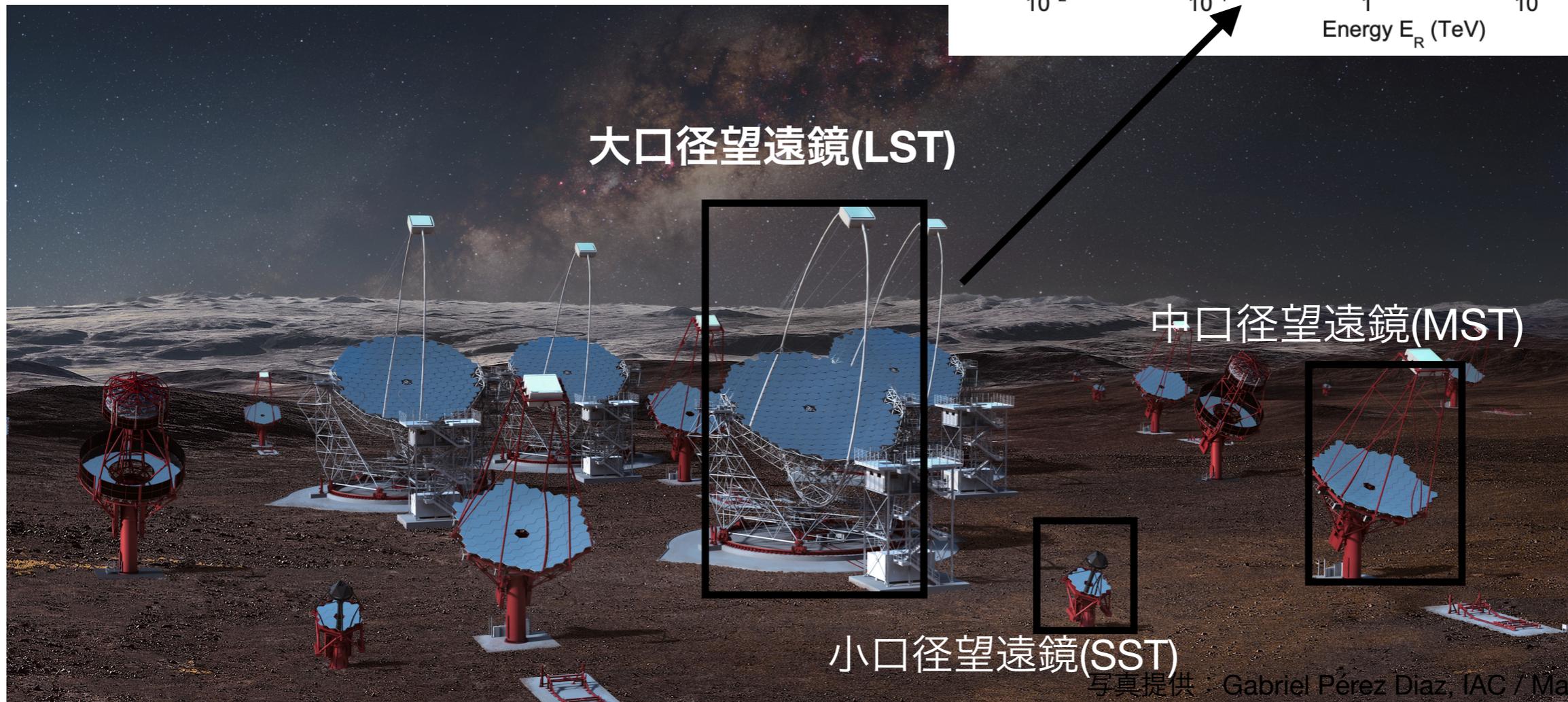
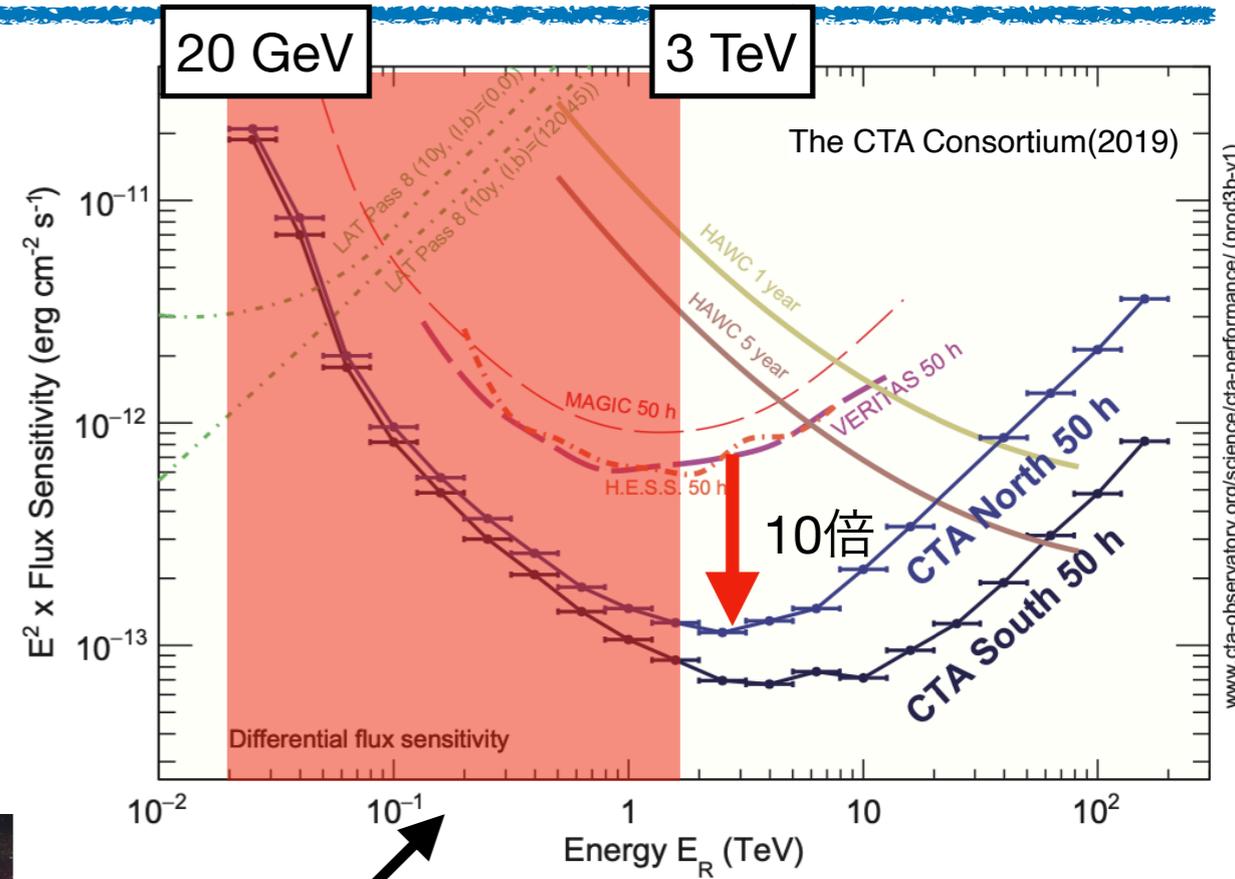
CTA報告197:CTA大・中口径望遠鏡のカメラ のSiPM化に向けた、集光器を用いた夜光低減 手法の検討（2）

芳賀純也^A,奥村暁^{A,B},田島宏康^A,折戸玲子^C,片桐秀明^D,櫛田淳子^E,窪秀利^F,
郡司修司^G,齋藤隆之^H,櫻井駿介^H,佐々木寅旭^I,砂田裕志^I,高橋光成^H,立石大^I,
田中真伸^J,手嶋政廣^{H,K},寺内健太^F,寺田幸功^I,中森健之^G,西嶋恭司^E,野上優人^D,
野崎誠也^F,野田浩司^H,Daniela Hadasch^H,Daniel Mazin^{H,k},山本常夏^L,吉田龍生^D,
他CTA-Japan Consortium

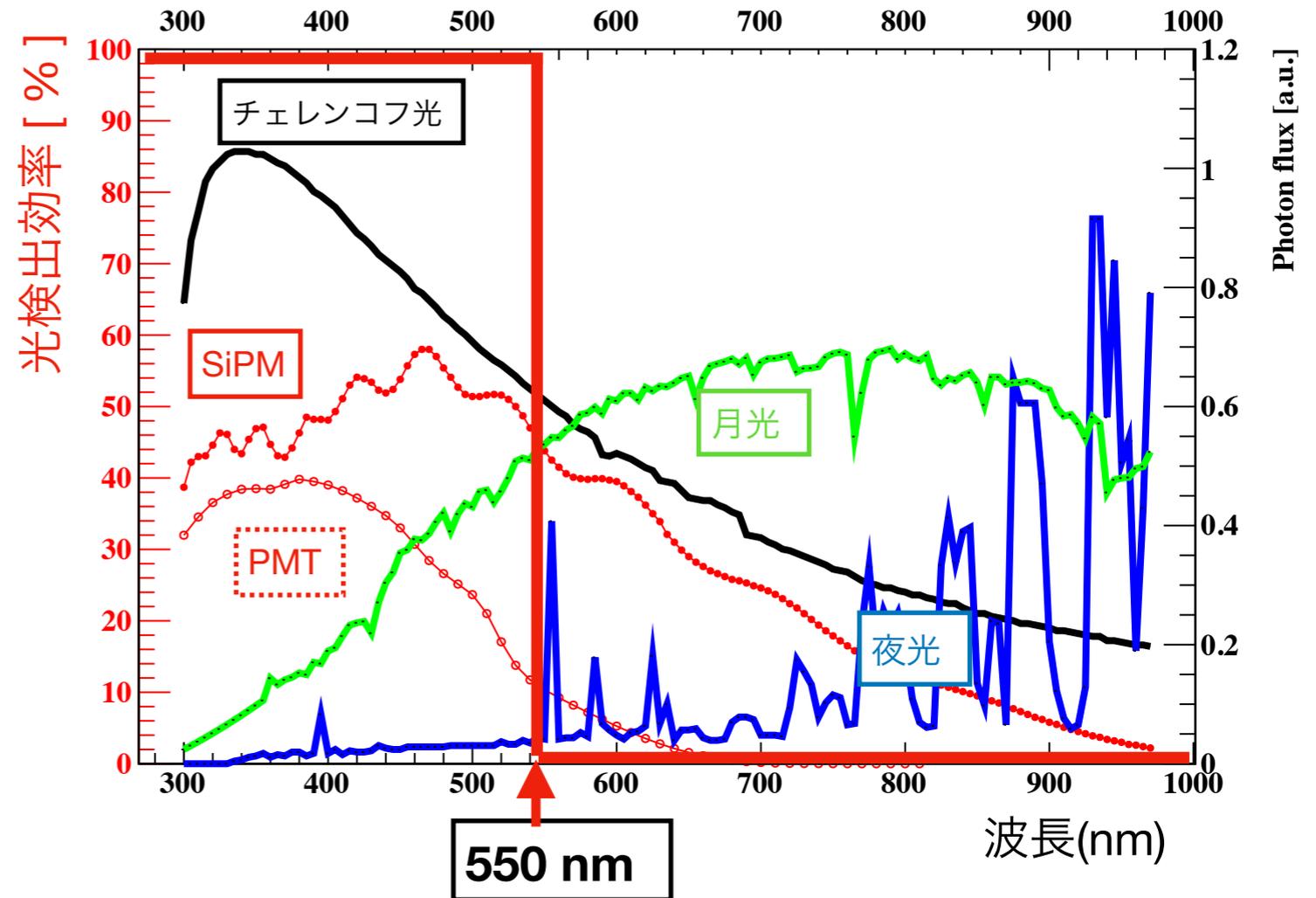
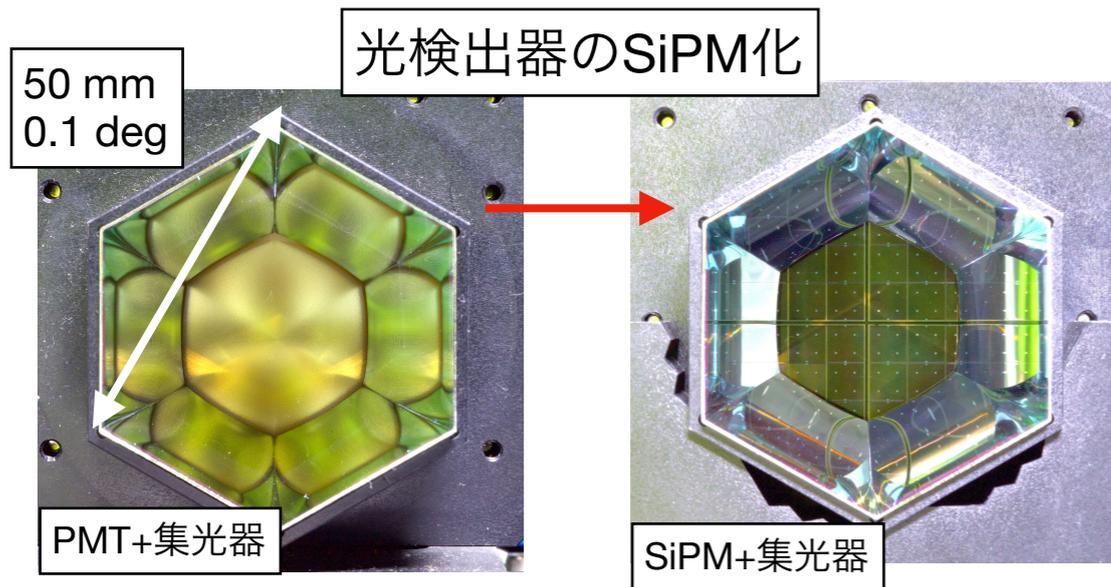
Cherenkov Telescope Array(CTA)計画

大中小の異なる口径の大気チェレンコフ望遠鏡を南・北半球の二箇所に合計100台近く配置して現行の望遠鏡に比べ

- ・ 10倍の感度向上
- ・ 20 GeV - 300 TeVの広いエネルギー領域の観測を実現する。



将来的なSiPMの採用の利点と課題



SiPMの利点

- PMTに比べ高い光検出効率→チェレンコフ光の検出量が約1.5倍増加
- 受光量に起因する劣化が起きないため、月光下での観測が可能→観測時間の拡大
- 多画素化が可能→ハドロン弁別性能の向上

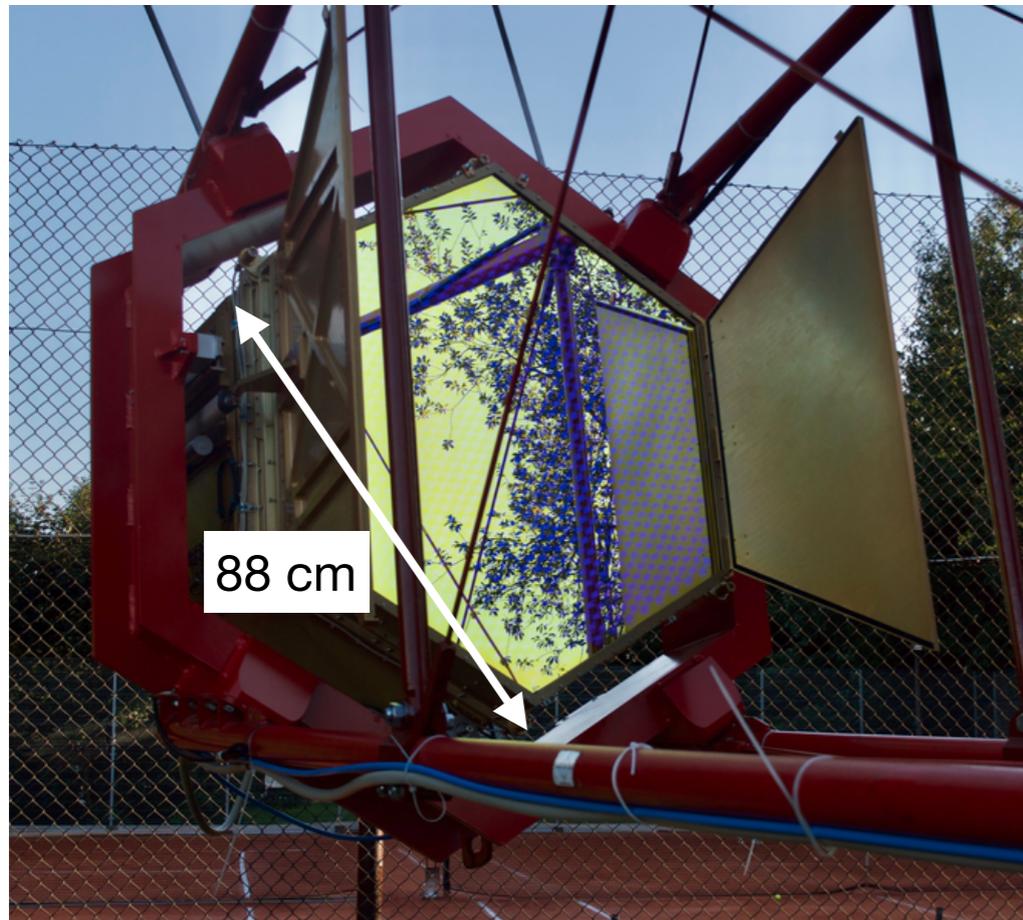


SiPMの課題

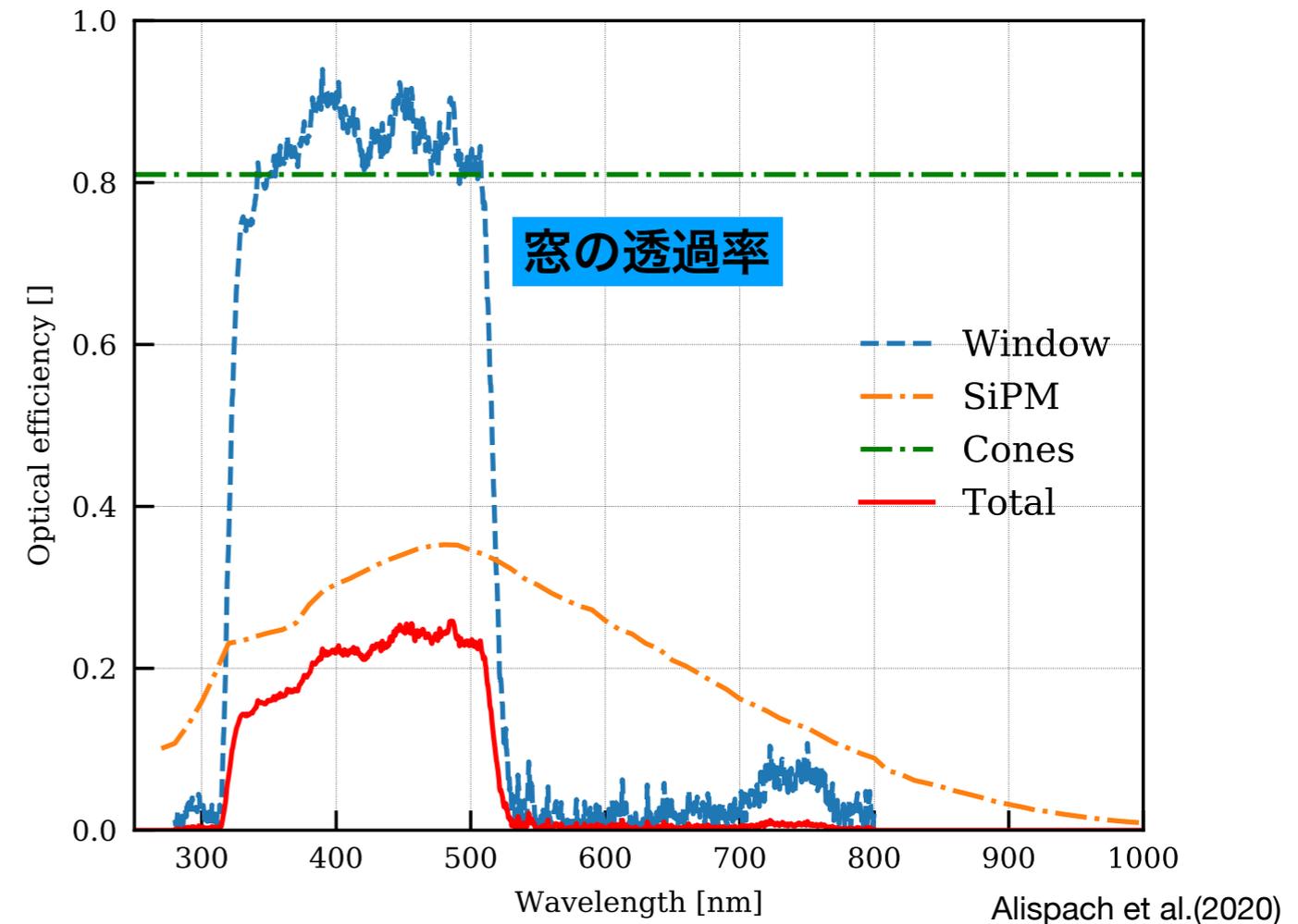
- PMTに比べ、長波長の夜光への感度が高い → 夜光検出量が増加
- チェレンコフ光の夜光に対するSN比の悪化 → エネルギー推定精度やトリガー性能の悪化
- SiPMの高い光検出効率を保ちつつ、夜光検出量を低減するような

550 nmにカットオフを持つバンドパスフィルターが必要

焦点面カメラ(SiPM使用)の窓に長波長を反射する多層膜を蒸着する手法



Alispach et al.(2020)



利点と欠点

○：カットオフ波長の調整が可能

✗：LSTでの使用に向けた窓の巨大化は技術的に困難

(LSTカメラ直径：2.2m)



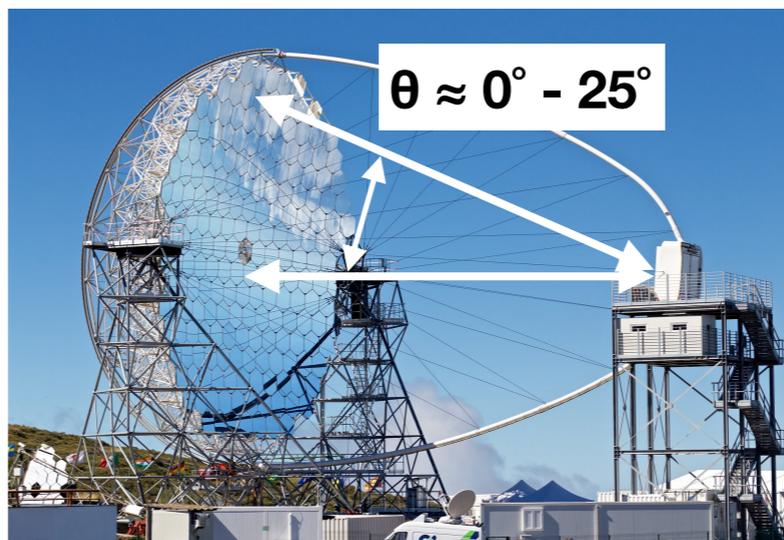
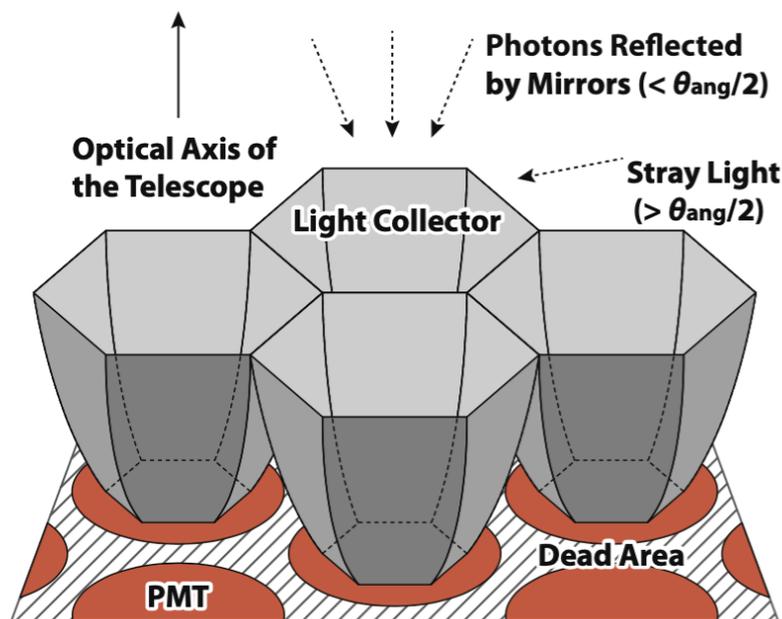
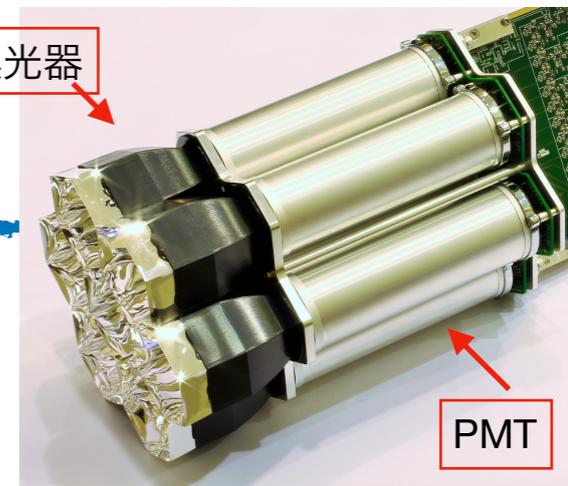
焦点面カメラの窓以外に
フィルターの役割を追加

集光器

集光器の役割

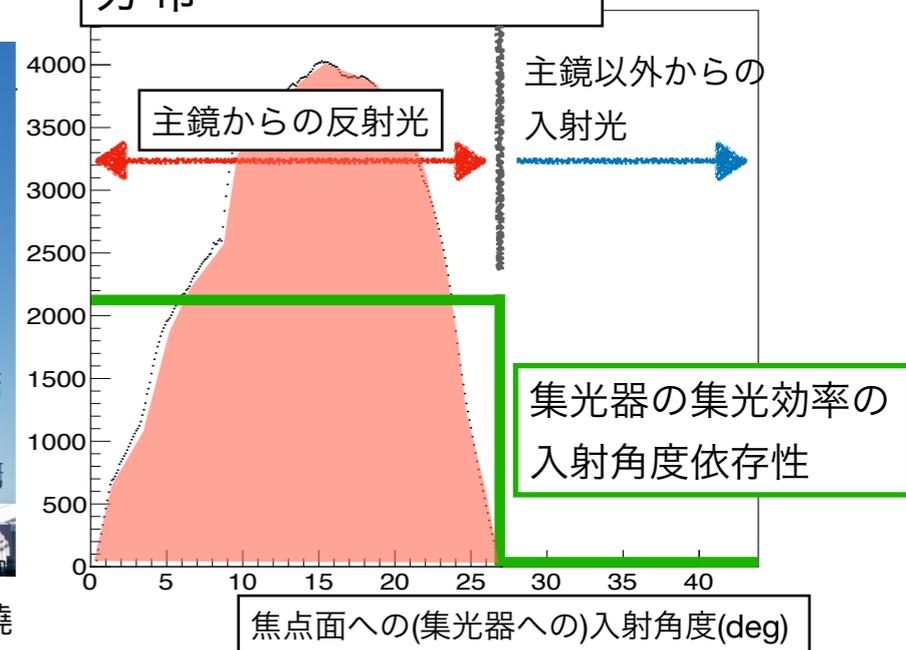
1. 焦点面での不感領域を減らす。

2. 主鏡以外からの入射光を低減

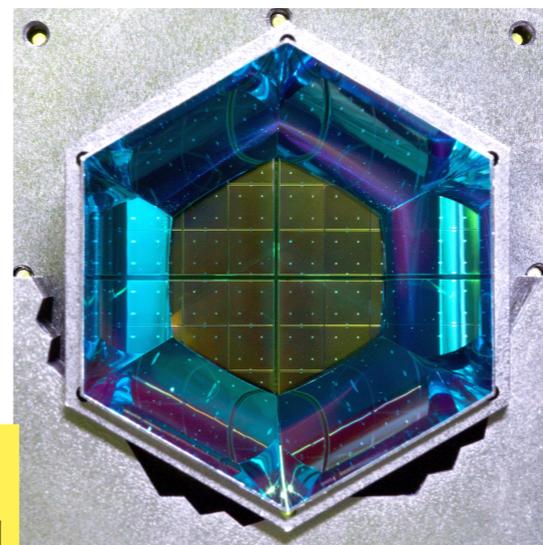
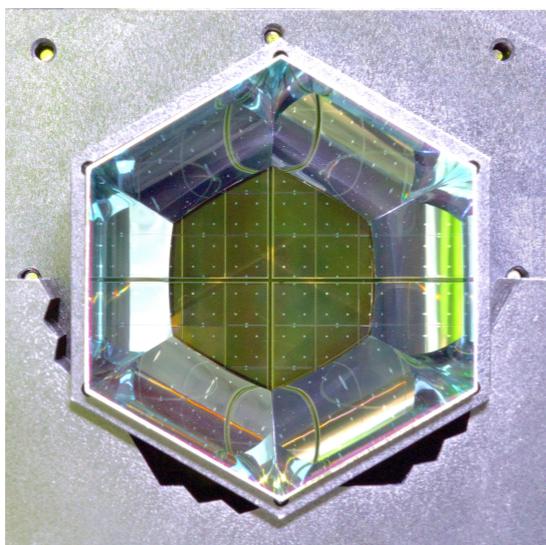


画像提供：奥村暁

焦点面への入射角度分布



3. **バンドパスフィルター (NEW)**

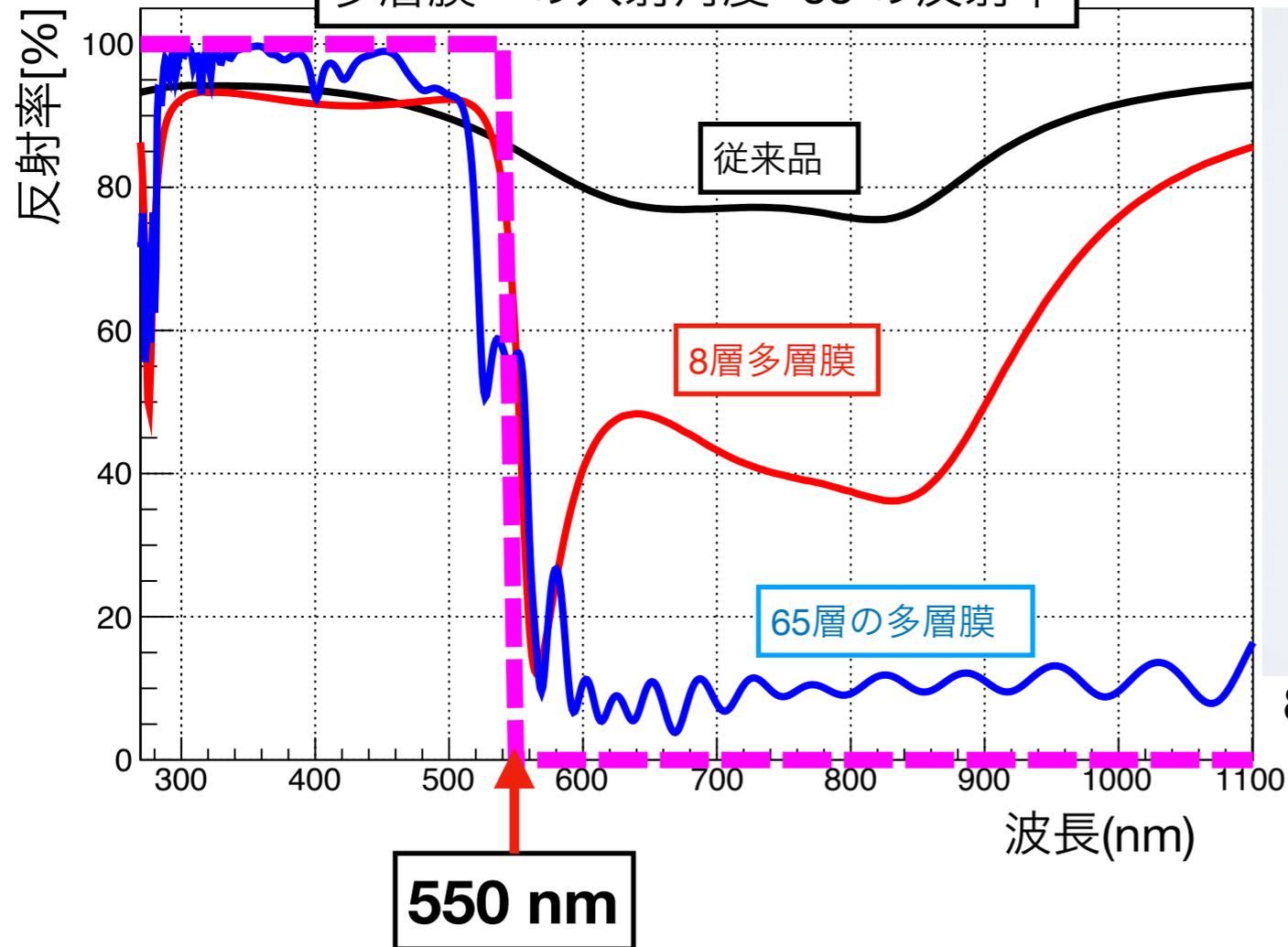


長波長の光(赤色)を落とすフィルターを追加

画像提供：奥村暁

夜光低減のためには550 nmでのカットオフ

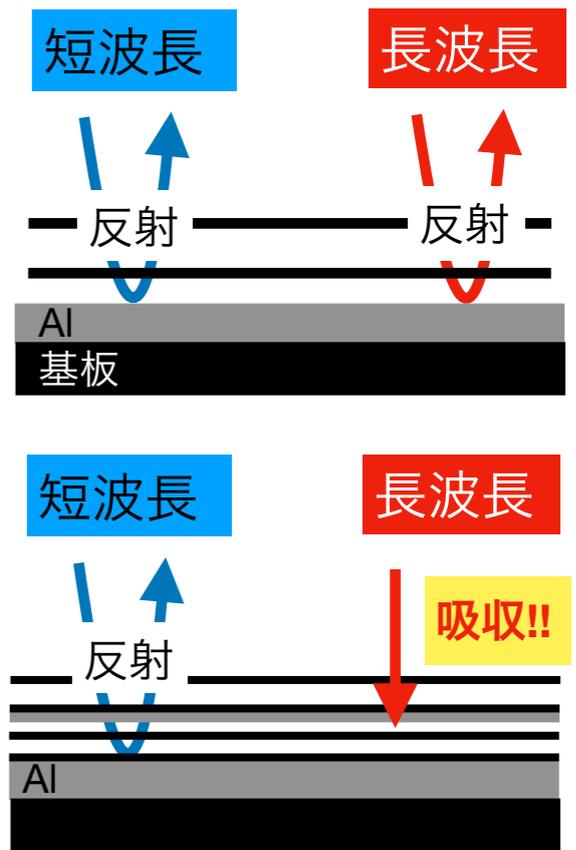
多層膜への入射角度=65°の反射率



従来品



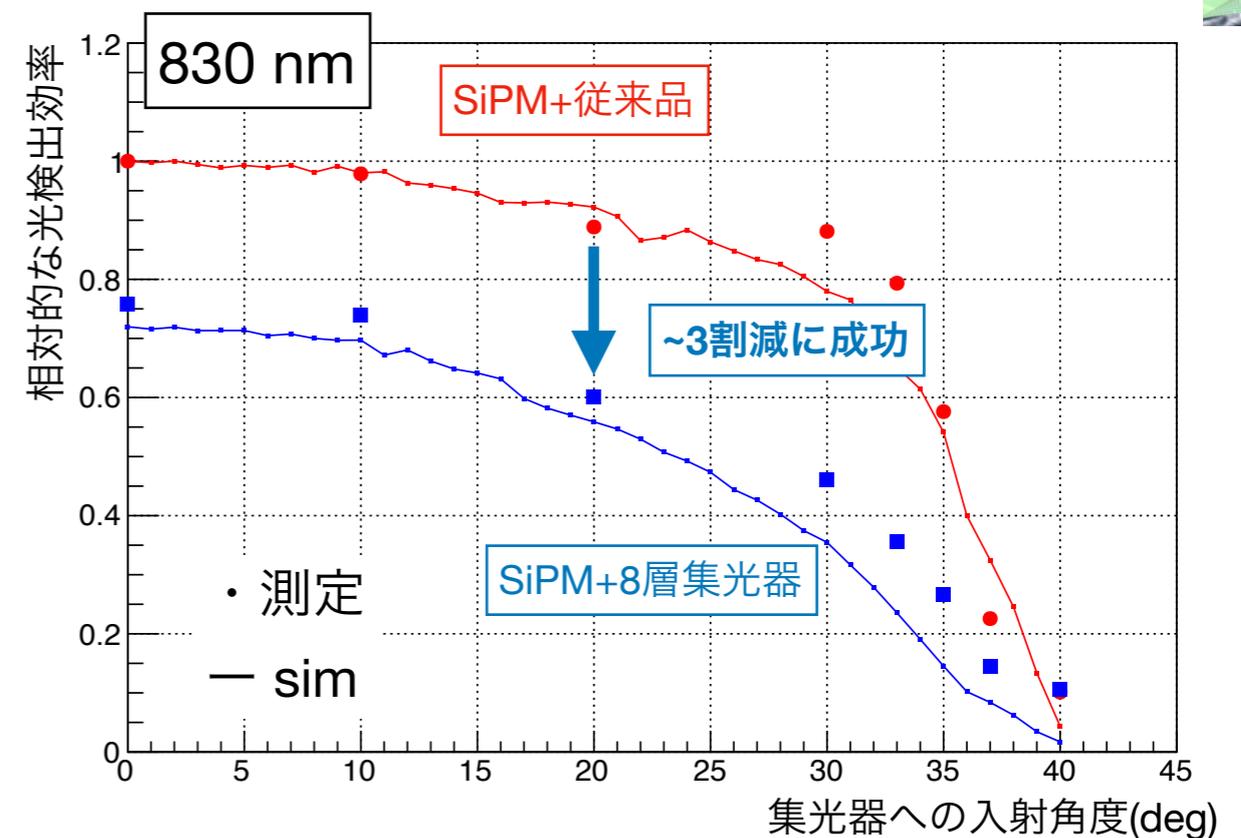
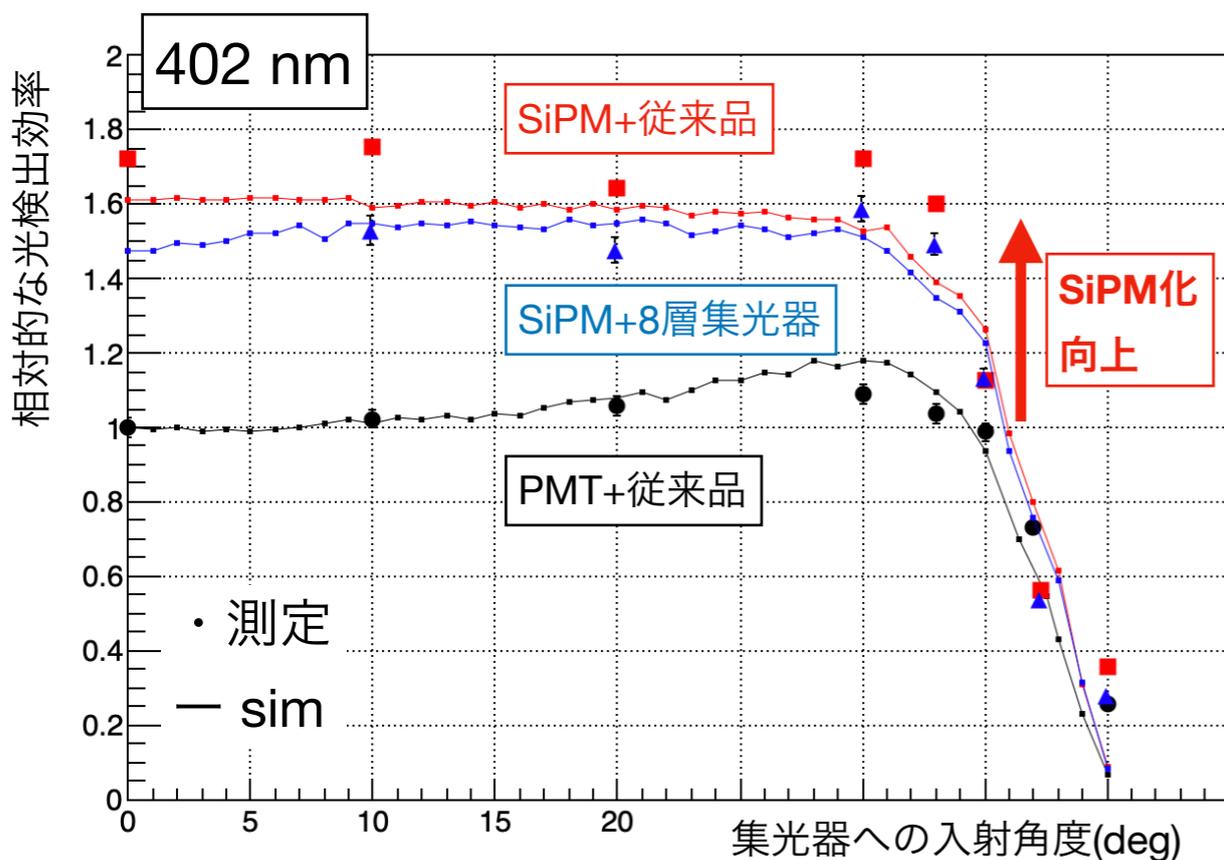
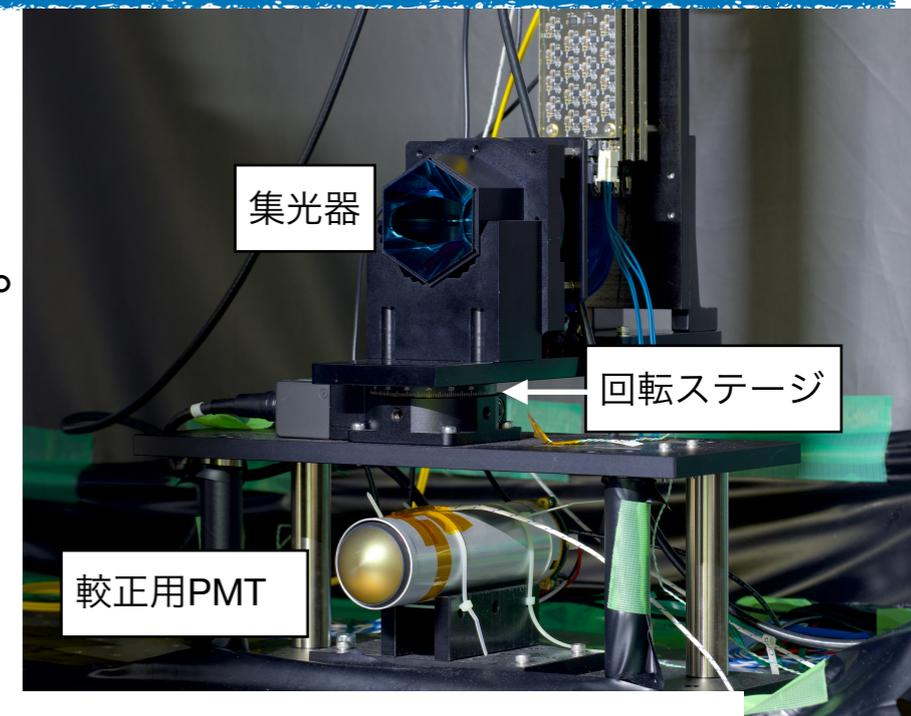
8層多層膜、8層集光器



- 数十層の多層膜で550 nm程度にカットオフを持つ反射率を原理的には実現可能
問題点：総膜厚大→基板の変形、製作費用増大
→総膜厚を抑えた多層膜が必要
- 名大と東海光学により長波長の光を吸収する計8層の多層膜が開発された
アルミ (Al) 層を2層持つ、(8層多層膜、8層集光器と呼ぶ)

集光器の集光効率の実測による評価

- 相対的な光検出効率をシミュレーションと実測で比較した。
- 入射角度ごとに較正用PMTに対しての相対的な検出光量を比較。



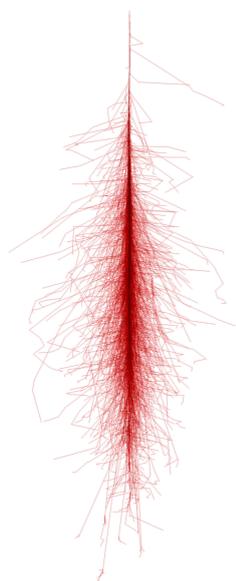
- 両者の差異が最大で15%ポイント程度、この差は系統誤差として結論に影響しないことを確認。
→シミュレーション結果を用いてこれ以降議論する。

有効検出面積を用いた評価

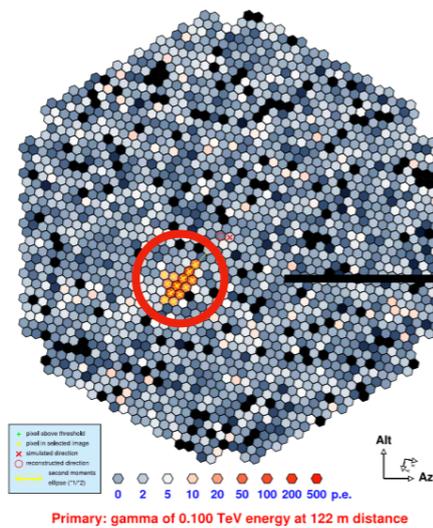
より定量的な評価のためにモンテカルロシミュレーションからガンマ線に対する有効検出面積を算出し、集光器への多層膜蒸着による手法が有効であるかを検証する。

シミュレーションの流れ

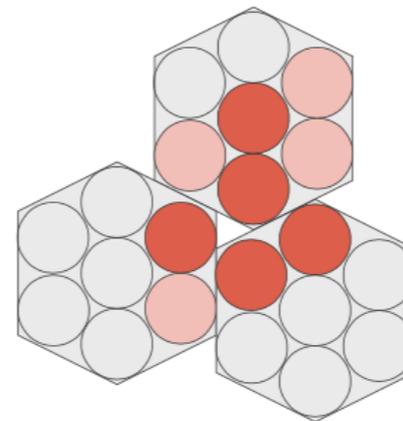
1. 空気シャワー
CORSIKA



2. 装置応答
sim_telarray

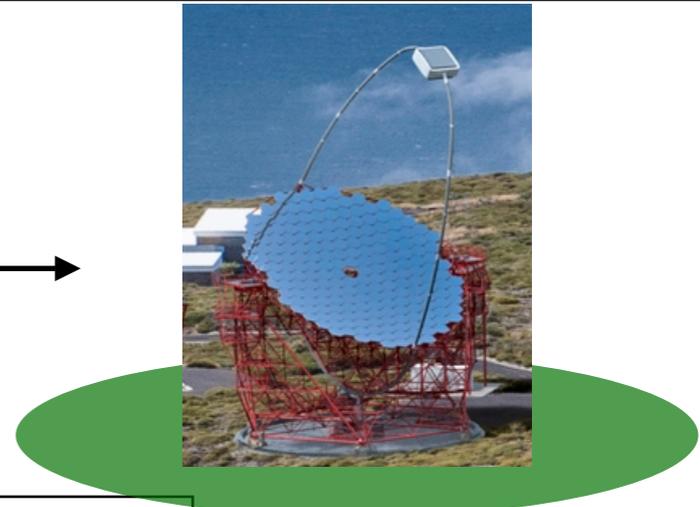


3. トリガー判定



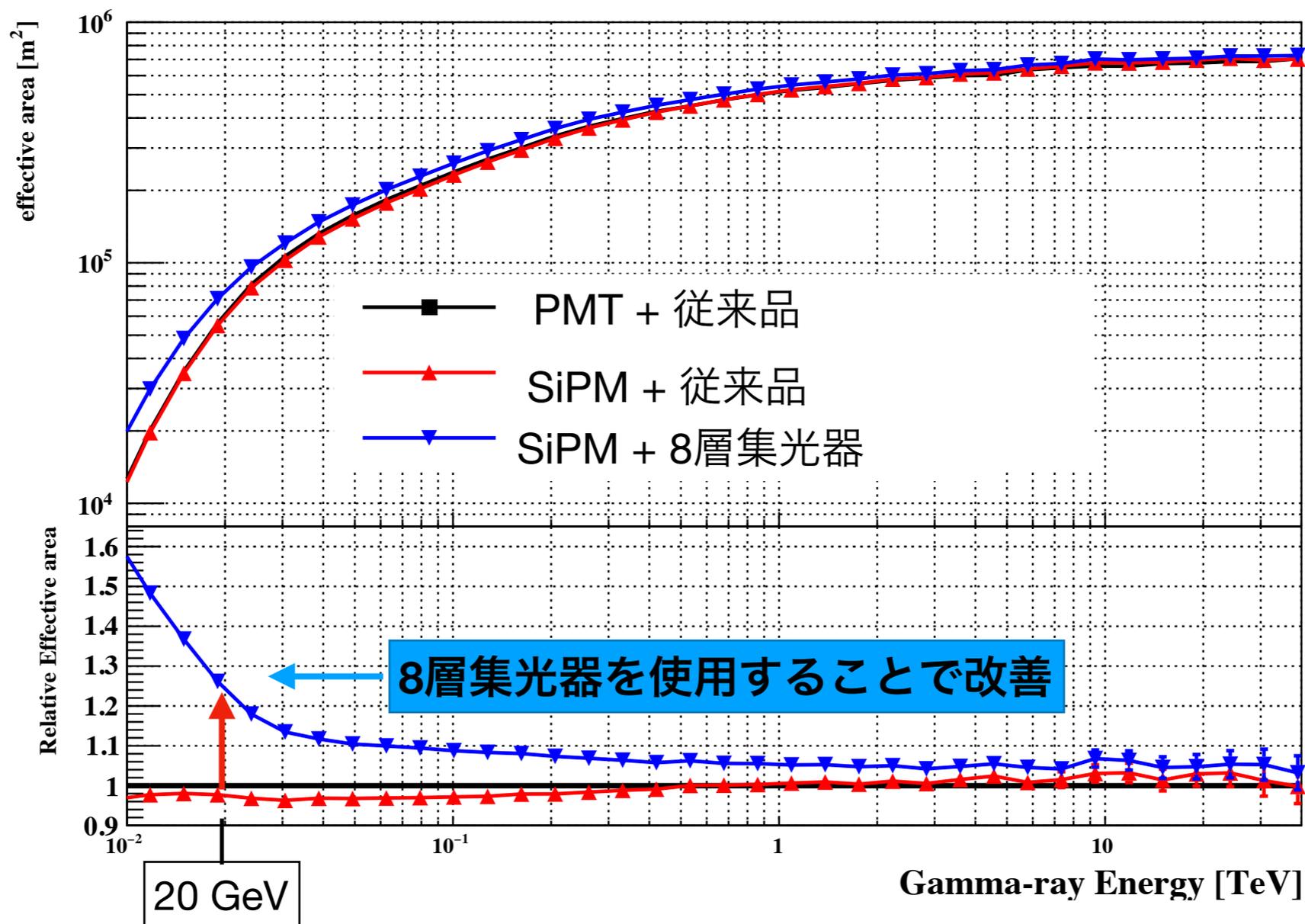
隣接の3モジュールの波高値の合計値をトリガー閾値によって判定。

4. 有効検出面積の算出
・イメージクリーニングなし
・トリガー判定のみ



夜光と宇宙線のトリガー頻度によって変化

SiPM化と多層膜蒸着した集光器の有効性

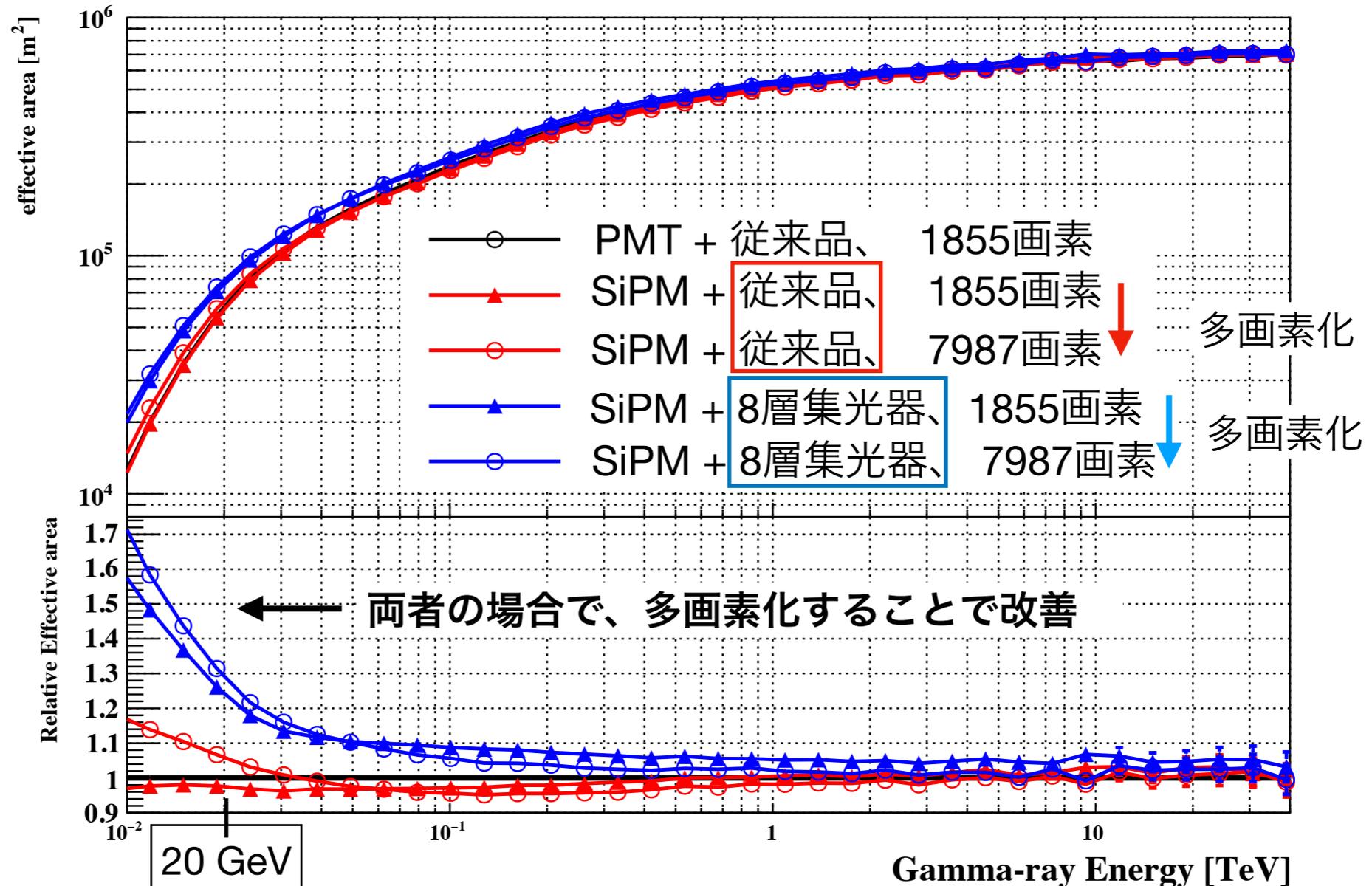


- SiPM+従来品(赤線)は、PMT+従来品(黒線)に比べ、有効検出面積が悪化することがわかった。
 - SiPM+8層集光器(青線)はPMT+従来品(黒線)に比べ、有効検出面積が改善することがわかった。
- 多層膜蒸着した集光器による夜光低減手法はSiPM化に向け有効であることが示された。

多画素化による有効検出面積への影響

変更点

- ・画素サイズ→約4分の1
- ・49画素(変更前の面積換算で12.25画素に相当)でトリガー判定



・多画素化することで、有効検出面積が改善することがわかった。
→多画素化に伴い、LSTの結像性能を活かしきることができ、信号光が多く入射する画素でSN比が向上。
→トリガー判定に使用する画素数も面積比で変更前に比べ小さくなっているため、トリガー判定としてもSN比が向上。

目的

LSTの光検出器のSiPMの採用に対し、集光器への多層膜蒸着による夜光低減手法が有効であるかを検証した。

結果

- ・ 実測によって、多層膜蒸着した集光器の性能を評価した。その結果SiPMの高い光検出効率を保ち、長波長の集光効率を低減することがわかった。
- ・ ガンマ線の有効検出面積の比較を行い、**闇夜観測において多層膜蒸着した集光器はSiPM化に対して、有効な夜光低減手法であることが明らかになった。**

今後の展望

- ・ 多層膜蒸着した集光器を使用した望遠鏡のガンマ線の検出感度を算出する。
- ・ 蒸着条件や手法の改善による、短波長側（300 ~ 550 nm）の反射率の改善。