

# 次世代地上 TeV 領域ガンマ線観測プロジェクト CTA に用いる光学素子開発

茨城大学大学院理工学研究科理学専攻 1年  
加賀谷 美佳 黒田和典

数 10GeV から TeV にわたる超高エネルギー領域のガンマ線の天体観測は、大気チェレンコフ光を用いたいわゆる地上チェレンコフ望遠鏡によって行われる。反射鏡によってチェレンコフ光を集光し、光電子増倍管 (PMT) アレイによって撮像される。現在では、ステレオ観測技術、高感度光センサー、高速電子回路などの技術を用いた地上ガンマ線望遠鏡 H.E.S.S、MAGIC、VERITAS により、銀河系内外にある多くの高エネルギーガンマ線源を発見することが可能になっている。Cherenkov Telescope Array (CTA) ではこれまでのガンマ線望遠鏡から一桁感度を向上するとともに、観測可能なエネルギー領域を拡大することを目的として研究が進められている。感度の向上は、1つのシャワーをより多くの望遠鏡でステレオ観測することにより、ガンマ線と宇宙線シャワーの分離度を向上でき、またエネルギー・角度分解能をあげることができる。多くの望遠鏡で、広い面積をアレイ状に覆うことにより、統計を増やすのみならず、データの質を格段に向上することができる。また、ガンマ線観測エネルギー領域を拓げるために、3種類の大口径、中口径、小口径の望遠鏡を中央から順に設置する。数 10GeV 領域では、遠方 AGN、ガンマ線バースト、EBL、パルサーの研究が重要なテーマとなる。100GeV-10TeV 領域では銀河面、近傍銀河のディープサーベイ、10TeV を超えるエネルギー領域では、銀河宇宙線の起源が重要なテーマとなる。

茨城大学ではライトガイド、鏡の開発を行っている。

ライトガイドは望遠鏡のカメラとして用いる光電子増倍管の前方部に取り付ける光学部品である。光電子増倍管アレイの隙間 (デッドスペース) を埋め、カメラに入射してきた光を光電子増倍管に効率よく集光させるのが目的である (図 1)。

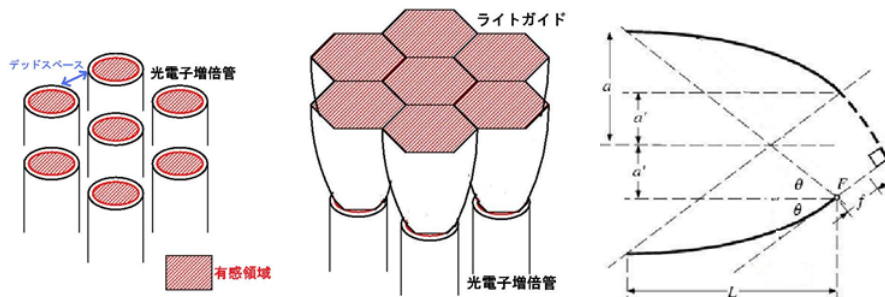


図 1 : デッドスペースをなくすための形状 図 2 : 2次元の Winston Cone

Winston Cone の最大入射角  $\Theta$  と入口開口部  $a$ 、出口開口部  $a'$ 、Winston Cone の長さ  $L$  には以下のような関係がある。

$$\Theta = 2\theta = 2\sin^{-1}\theta \frac{a'}{a} \quad (1)$$

$$\tan\theta = \frac{a + a'}{L} \quad (2)$$

現在、大口径望遠鏡 (LST) に搭載するライトガイドの形状の最適化を行っている。大口径望遠鏡用ライトガイドの最大入射角は 25 度である。ライトガイドの基本形状には Winston Cone と呼ばれる形状を用いる (図 2)。

この形状は 2次元では最大入射角度以内で入射した光をほぼ 100% 集光することができ、それ以外の光はすべて Cone の外へ出すことができる。しかし、3次元では斜めからの入射を考えると多重反射により必ずしも 2次元のときのように集光しない。ROBAST(Root Based Simulator for ray Tracing, ROOT を基にした ray tracing を行うためのライブラリ) を使用して光線追跡 (ray tracing) を行い、できるだけ集光率

が高く、ノイズの少ないライトガイドの形状を探している (図 3)。

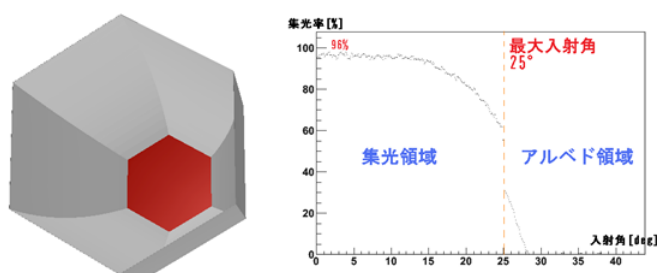


図 3 : 左 : ROBAST で描いた Winston Cone 型ライトガイド  
右 : ray trace の結果 (入射角に対する集光率)

鏡に関して、CTA-Japan では大口径望遠鏡 (LST) に用いられる分割鏡の開発に取り組んでいる。大口径の望遠鏡では 1.5m の大型分割鏡を約 200 枚用いる。鏡の口径は 23m で放物面状に分割鏡を配置する。CTA では約 20 年の観測を予定しているが、LST のような大きな分割鏡のメンテナンスを行うには高いコスト・時間がかかってしまう。そのためメンテナンスの回数を限りなく少なく、10 年に 1 度程度を目標に反射率の低下率が低い、つまり長く使用できる鏡の製作を目指している。これらの分割鏡には 90% 以上の反射率、2 分角以下の角度分解能、50kg 以下の重量、10 年以上の耐久性などの高い性能に加え、コストを低く (<50 万円/枚) 抑えることが要求されている。これらの要求を満たすため、我々は、曲率のあるモールドの上にガラスシート・アルミハニカム・ガラスシートを乗せ、プレスした状態で固定しモールドの表面曲率を写しとる ColdSlump 法を用いて試作および性能評価を行っている。(図 4) ガラスシートの上には反射率を向上させるために厚さ数十 nm の多層膜をスパッタリングという技術を用いてコーティングを施している。スパッタリングとは、真空のチャンバー内に薄膜としてつけたい金属をターゲットとして設置し、高電圧をかけてイオン化させたアルゴンや窒素を衝突させ、ターゲット表面の原子をはじき飛ばし、基板に到達させて製膜するという技術である。

現在、長く使用できる鏡の製作を目指し、鏡の反射率の低下の原因を探ることを目的に実験を進めている。鏡を製作するスパッタリングの段階で表面にダストが付着し、さらにそれがスパッタリングによって吹き飛ばされると、ダストの跡がピンホールといわれる小さな穴となってしまう。この製作段階で生じるピンホールから入りこんだ水分などにより、金属面の腐食が生じると考えられている。下地となるガラスシートは塩水によって腐食することがないため、ピンホールは横方向に拡大していくと考えられている。この横方向の広がりによって鏡のコーティングは剥がれ、それにもなって反射率が低下していくという予測が立てられている。このピンホールをできるだけ取り除いてコーティングをかけることで、金属表面を保護し腐食せずに長期的に運用可能となることが考えられている。現在では様々な条件でピンホールの経年変化を定量的に観察することを行っている。実際の実験では、ピンホールの拡大が反射率の低下とどのような関係があるのかを定量的に調べることを目的としていて、サンプルとなる鏡を塩水に浸し、時間経過とともに拡大していくピンホールの面積と反射率を測定するという方法で行っている。SEM による表面の観察や、鏡の裏側から光を当て穴を通ってくる光をデジタルカメラで撮影する方法を用いて面積を求める。図 5 は時間の経過に伴って反射率が低下していることをグラフで示していて、今後この反射率と面積との関係を探っていくことを予定している。

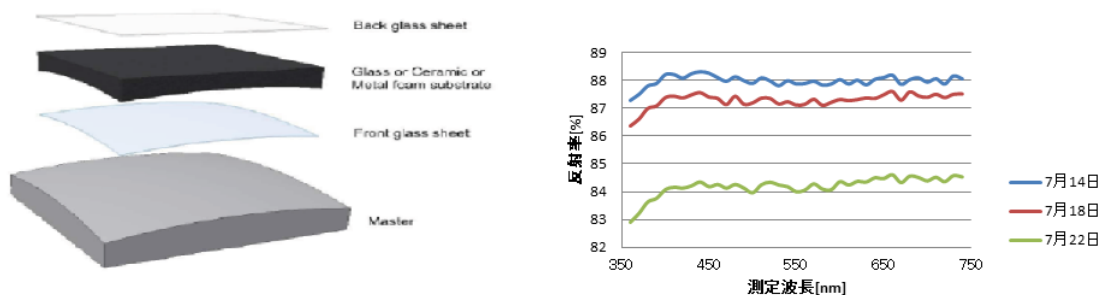


図 4 : ColdSlump 法を用いた鏡のモデル図 5 : 反射率の経時変化