

平成 22 年度共同利用研究・研究成果報告書

研究課題名 和文：チェレンコフ望遠鏡サイトサーベイのための大気透過率測定器の開発
英文：Development of an atmospheric transmittance meter for the site survey of Cherenkov telescopes

研究代表者 大石 理子（宇宙線研究所・助教）
参加研究者 遠山 健（宇宙線研究所・大学院生），吉越貴紀（宇宙線研究所，准教授）

研究成果概要

申請書に記載した研究計画に基づき、小型光学望遠鏡と分光器を用いたポータブルな簡易大気透過率分光測定器を構築し、柏市における試験測定とデータ解析を行った。

測定原理・装置構成：大気外のスペクトル既知の光源の光を望遠鏡で集光して分光器に導入すると、得られる単位波長当たりの A/D カウント数 $N(\lambda)$ は

$$N(\lambda) \propto F(\lambda) \times T_{atm}(\lambda, z) \times R_{telescope}(\lambda) \times T_{eff}(\lambda) \quad (1)$$

λ : 波長 $F(\lambda)$: 光源スペクトル $T_{atm}(\lambda, z)$: 大気透過率 z : 天頂角

$R_{telescope}(\lambda)$: 望遠鏡集光効率 $T_{eff}(\lambda)$: 測定器の検出効率

と期待される。望遠鏡の集光効率 $R_{telescope}(\lambda)$ 及び測定器の効率 $T_{eff}(\lambda)$ （光ファイバーの透過率・回折格子の効率・CCD の量子効率・集光レンズの透過率等の合算）の波長依存性はハロゲンランプ等のスペクトル既知の地上光源を用いて測定し、この値を用いて $T_{atm}(\lambda)$ の波長依存性（相対値）が求められる。

測定器の集光系には口径 130mm のニュートン反射型望遠鏡と自動追尾機能付経緯台(図 1)を選択した。分光器には OceanOptics 社製 USB4000(波長分解能 0.22nm, 測定波長範囲 200-850nm)を使用した。望遠鏡経緯台は単三電池駆動、分光器は USB バスパワー駆動が可能であり、データ収集用ラップトップ PC を含めて全測定系について外部 AC 電源が不要な可搬性に優れたシステムとなっている。

柏市における試験測定とそのデータ解析

上記システムを用いて 2011 年 3-4 月に柏市で試験測定を行った。大気外の光源として測定地で観測可能な明るい恒星(α Cma: 実視等級 -1.46 等)を使用した。また、天頂角変化による大気透過率の分光特性の相対変化の測定については光源スペクトルが既知である必要はないため、S/N 面で利得の大きい月を光源として使用したデータも取得した。

図 2 に α Cma (試験測定での天頂角は 61 度から 66 度) を光源とした二日間の測定の分光器カウントデータのプロットを示す。分光器の 0.22nm の波長分解能は、今回のような弱い連続的(黒体輻射で近似されるような)スペクトル光源に対する測定については小さすぎるため、S/N 比を向上させる目的で一定の波長範囲に渡る平均化フィルタ処理を施してある(11/4/5 のデータのフィルタは 55nm 幅, 11/4/6 のデータは 17.9nm 幅)。フィルタ幅の違いによる微細構造を除いて、連続した二日間の測定結果はほぼ一致し



図 1 本測定に使用した直径 130mm のニュートン反射型望遠鏡。焦点面の光をファイバーで分光器に導入する。

ている。

次に、発光スペクトルが既知であるタングステンハロゲンランプを用いて検出器各部効率の分光特性（相対値）を実測した結果を図3に示す。較正に用いた光源が波長360nm以下をカットするガラス球内にあるため、現在の手法では360nm以下の波長領域では検出器効率の較正を行うことはできない。

上記の結果を用い、式(1)において α CMaのスペクトルを $T=9900\text{K}$ の黒体輻射スペクトルで代用して、柏での大気透過率の波長依存性を粗く推定した結果を図4に示す。(ただし高温の恒星の実際のスペクトルが黒体輻射のそれからずれていることは知られており、精度の高い推定を行うには大気外の測定文献などを用いたより正確な光源スペクトルの設定が必要である。) 55nm幅の平均化フィルター処理を施したデータを使用しているため、ライン構造は存在しても平滑化されている。

光源選択や解析手法などに依然改善の余地があるが、大気チェレンコフ望遠鏡のサイトサーベイなどに活用できるポータビリティに優れた簡易大気透過率分光特性測定システムを構築し、上記試験測定によってその機能を確認した。今後は測定データ量を増やし、MODTRANなどの大気透過率シミュレーション計算結果との比較などを行う予定である。

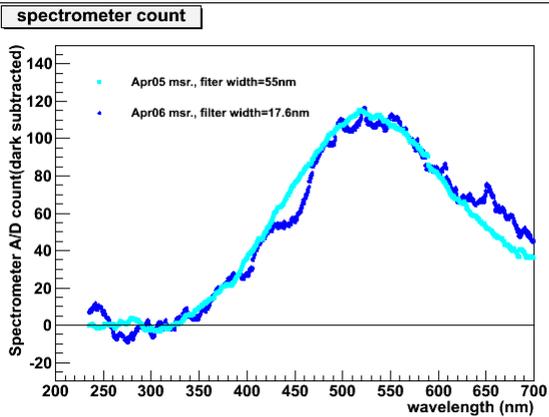


図2 α CMa (天頂角 61度-66度) を光源とした測定データ。60秒間積算に対する分光器 A/D カウント値で、バックグラウンドデータ値を減算したもの。

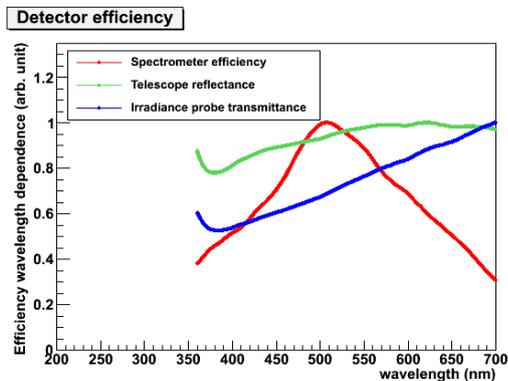


図3 タングステンハロゲンランプを用いて実測した検出器各部の効率の分光特性（相対値）。

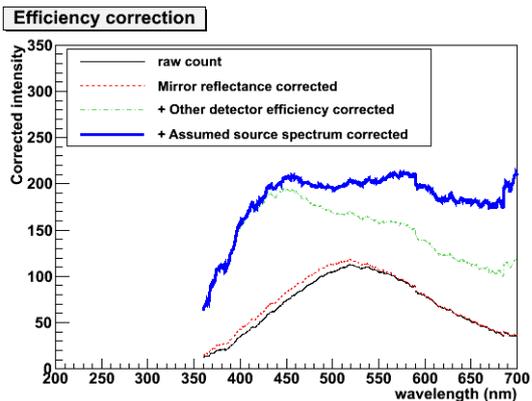


図4 上記データを用い、光源スペクトルに粗い仮定を置いて推定した柏での大気透過率の分光特性（相対値）。強い平均化フィルター(55nm)をかけているため、水の吸収線などのライン構造は平滑化されて拡がっている。