

積分球とスペクトロメーターを用いた全天カメラ及び 掃天フォトメーターの校正

加藤泰男・塩川和夫・佐藤 貢・江尻 省・小川忠彦*

Calibration of All-Sky Cameras and Tilting-Photometers Using an Integrating-Sphere and a Spectrometer

Yasuo KATOH, Kazuo SHIOKAWA, Mitsugi SATOH,
Mitsumu K. EJIRI and Tadahiko OGAWA*

Abstract: We report calibration of the optical instruments of the Optical Mesosphere Thermosphere Imagers (OMTI) using facilities at the National Institute of Polar Research. OMTI has been developed to investigate dynamics of the upper atmosphere through nocturnal airglow emissions. OMTI consist of an imaging Fabry-Perot interferometer, three all-sky cooled-CCD cameras, three tilting-photometers, and a spectral airglow temperature imager (SATI). The all-sky cameras and the photometers have been calibrated using a 2-m integrating-sphere and a spectrometer. Absolute sensitivity and image-flattening data are obtained together with filter transmission functions. Inhomogeneity of transmission function on the filter surface is found from the calibration using the spectrometer. We also find that filters with highly-flattened image-quality surfaces may cause serious Newton's Ring pattern on final images. Examples of the data are shown for the cameras and the photometers based on the airglow observation at Shigaraki (35°N, 136°E), Japan.

要旨: 名古屋大学太陽地球環境研究所では、超高層大気イメージングシステム (Optical Mesosphere Thermosphere Imager System) として、ファブリ・ペロー分光器、単色全天カメラ (3台)、掃天フォトメーター (3台)、分光温度計を開発している。これらの機器のうち、単色全天カメラと掃天フォトメーターの分光感度特性、カメラ画像の2次元感度特性を国立極地研究所の2m積分球及び分光スペクトロメーターを用いて求めた。分光スペクトロメーターによる校正実験により、一つの干渉フィルターの面内における分光感度特性のばらつきが見いだされた。また、積分球による校正実験により、いくつかの干渉フィルターにおいて、フィルターのゆがみによる干渉 (ニュートン環) によるフリンジパターンが、最終画像に現れる場合のあることが新たに見いだされ、これを補正するデータを得ることができた。これらの校正実験により、大気光の分光観測に対して、絶対光度を議論できるデータが得られるようになった。

1. はじめに

名古屋大学太陽地球環境研究所では、国内の研究グループの支援・協力を得て、「超高層大気イメージングシステム (OMTI)」を開発中である。OMTIは、ファブリ・ペロー分光計1式、全天カメラ3台、フォトメーター3台、OH、O₂の回転温度を計測する分光器1台からなり、

* 名古屋大学太陽地球環境研究所. Solar-Terrestrial Environment Laboratory, Nagoya University, 3-13, Honohara, Toyokawa 442-8507.

85–350 km 高度の夜間大気光を複数の波長 (主に 557.7 nm, 630.0 nm 及び OH のバンド発光) で総合的に観測し, 大気光の輝度, 風速, 温度の 2 次元分布をいくつかの高度で同時に計測することができる. 特に CCD カメラによる大気光の撮像観測では, 近年, 冷却 CCD の高性能化に伴い鮮明な画像が得られるようになってきた (TAYLOR *et al.*, 1995; 岡田ら, 1997). しかし, OMTI のように複数のカメラで撮像観測を行えるシステムは, これまで世界的にみても無かった.

このような光学機器を用いた夜間大気光の観測において, 絶対光度の変動を議論することは, 多地点での観測データの比較などにおいて非常に重要であるが, 簡単に校正実験を行える施設がないために, これまでは機器の校正が非常に難しかった.

本論文では, 国立極地研究所に新しく導入された直径 2 m の積分球及び分光スペクトロメーターを用いて, OMTI を構成する主要な観測機器である 3 台の単色全天カメラと 3 台の掃天型フォトメーターについての校正実験を行う事ができたので, その結果について報告する. 測定項目は, 全天カメラについては絶対感度と画像の非一様性及びフィルターの透過関数, 掃天フォトメーターについては絶対感度とフィルターの透過関数である

2. 観測機器の概要

2.1. 単色全天カメラ

単色全天カメラは, 図 1 に示すように光学系を含むカメラ本体と, カメラコントロールユニット (CCU), パーソナルコンピュータから構成される. 心臓部に当たる冷却 CCD カメラ

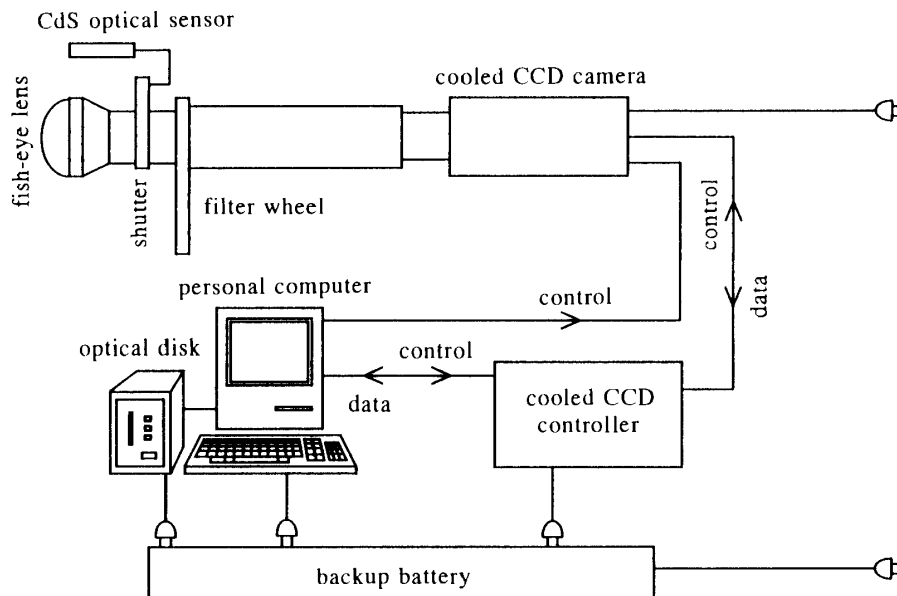


図 1 単色全天カメラの構成図

Fig. 1. Schematic diagram of the all-sky CCD camera system.

表1 冷却CCDカメラの主要諸元
Table 1. Details of cooled CCD camera.

CCD撮像素子	: 背面照射型
画素数	: 512 × 512
冷却方式	: ペルチェ素子による電子冷却
A/D変換ビット数	: 14ビット

には浜松ホトニクス製 C4880 型を使用している。この冷却 CCD カメラの主な仕様は表 1 のとおりである。

対物レンズにより集光された光は、シャッターを経てリレーレンズ系によって平行光線となり、最大 4.4° の角度で干渉フィルターを通過する。次に後部リレーレンズ系によって再び集光され、冷却 CCD カメラの撮像面上に結像する。カメラから出力されたアナログの画像信号は、カメラコントロールユニットで 14 ビットのデジタルデータに変換されてパーソナルコンピューターに取り込まれ、640 MB の光磁気ディスクに保存される。干渉フィルターは直径 3 インチのものがフィルターホイール上に 5 枚まで装着でき、パーソナルコンピューターのシリアルポートからの制御によって、シャッターの開閉及びフィルターホイールの回転が行われる。

2.2. 掃天フォトメーター

掃天フォトメーターは図 2 に示すように、光学系とパーソナルコンピューターを含めたコントローラー及びエアーコンディショナーから構成されている。受光窓から入り掃天ミラーによって反射された光は、シャッターを通過後ダイクロイックミラーによって二つの光路に分けられる。そして、それぞれの波長に対応した干渉フィルターを通過した後に集光されて光電子増倍管に入り、入射光の強度に応じた電圧として取り出される。掃天ミラーをステッピングモーターによって回転させる事によって天頂方向 ±90° の範囲を任意にスキャンして観測することができる。フォトメーターの視野は、#1, #2 が 8°, #3 が 3° に設計されている。

干渉フィルターの特性として、光の入射角がフィルター面に対して 0° より大きくなった場合、中心波長が短い方向にシフトする。この特性を利用して、ステッピングモーターでフィルターの光軸に対する相対角度を変えることによって、観測する波長を任意に変化させることができる。光電子増倍管は、観測する波長と光の強度に応じて 3 台のうち #1, #2 のフォトメーターにサイドオン型の R636-10 (浜松ホトニクス) を、#3 にはヘッドオン型の R268 (同) を使用し、加速電極にはそれぞれ -1250V, -1000V を加えている。光電子増倍管の出力は帯域幅 10 kHz の低雑音プリアンプで増幅された後、信号ケーブルを経てコントローラーに送られ、さらに増幅、フィルタリングされてパーソナルコンピューターの A/D ボードからデジタルデータとして取り込まれる。一方、パーソナルコンピューターの拡張スロットに挿入された

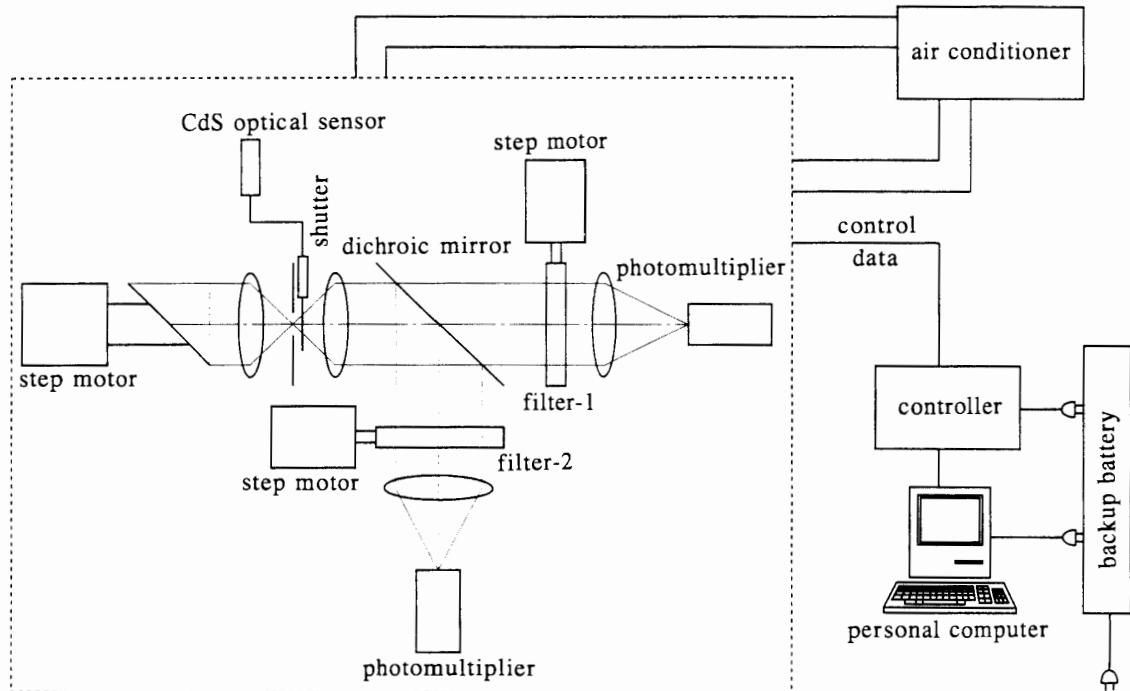


図2 掃天フォトメーターの構成図

Fig. 2. Schematic diagram of the meridian-scanning tilting photometer system.

モーターコントロールボードからの信号は、コントローラーを経てスキャン用及びフィルターテイルト用ステッピングモーターを駆動する。

A/D コンバーターのサンプリング間隔は、#1、#2 については 2.5 s/サンプル、#3 については 10 s/サンプルである。#1、#2 のフォトメーターは、各波長のピーク、背景光の強度を得るために、それぞれ 4 カ所、#3 のフォトメーターは発光波長域を連続的にスキャンするために 0° から 13.68° までを 0.72° ごとに 20 カ所、フィルターを傾けてサンプルする。このために、全体の時間分解能は、#1、#2 のフォトメーターは 1 min (天空の 5 点を観測する場合)、#3 のフォトメーターは 10 min (天空の 3 点を観測する場合) である。

光学系 (図 2 の破線で示す部分) は屋外に設置されるため防水構造の箱に収められており、温度コントロールされた乾燥空気を循環させる事によりほぼ 20°C ± 5°C に保たれ、光学窓の結露と温度変化によるフィルターの中心波長の変化を防いでいる。なお、フィルターの中心波長のシフトはカタログによれば 10°C あたり 0.2 nm 程度である。

3. 校正

3.1. 光学機器の校正法

一様な面輝度を持った積分球から光学系に $I(\lambda)$ (R/nm) の明るさの光を入射した場合、CCD カメラの出力における各ピクセルのカウント数 N は、

$$\begin{aligned}
 N &= \frac{10^6}{4\pi} \int I(\lambda) A\Omega F(\lambda) \frac{p}{S} k d\lambda + N_D \\
 &= G \int I(\lambda) F(\lambda) k d\lambda + N_D.
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

で表される。ここで $A\Omega$ は光学系の見込む立体角と受光面積の積 (エタンデュ), $F(\lambda)$ はフィルターの透過関数, k は光学系の透過率と CCD チップの量子効率 (電子/フォトン) と CCD 読み出し回路の変換効率 (カウント/電子) の積, p は 1 ピクセルの面積, S は最終結像面積, N_D はダークカウントである。積分球からの光の像を得ることで、カメラの各ピクセルごとに感度 G (カウント/s/R) が求められる。

実際の観測では大気光の発光スペクトルがある波長 λ_0 のみの発光 (明るさ $I(\lambda_0)$ (R) とする) であるため、得られるカウント数 N は

$$N = GT(\lambda_0)I(\lambda_0) + N_D + N_B, \tag{2}$$

となる。 N_B はバックグラウンドの連続光輻射である。

フォトメーターの場合は、上記の式中の N を V (mV/R), k を $T\eta eG_pRG_a$ (mV/R) と置き換えることで同様に表すことができる。ただし、 T はフィルターを除いた光学系の透過率, η は光電子増倍管の量子効率, e は素電荷, G_p は光電子増倍管の電流増幅率, R はプリアンプの電流-電圧変換係数, G_a はメインアンプのゲインである。

3.2. フィルターの透過関数

干渉フィルターの透過関数は、国立極地研究所に設置されている日立製の分光スペクトロメーター (U-3300 型) を用いて測定した。この装置はウィンドウズ 95 ベースのソフトウェアでコントロールされ、試料をセットしパラメーターをコンピューター画面から設定するだけで測定、結果のプリントアウト、データの保存を自動的に行うことができる。

全天カメラ用 15 枚のフィルターについては、入射角 0° の光線に対して透過関数を求め、フォトメーター用 6 枚については、スペクトロメーターの資料セット用治具に刻まれた目盛りを基に光の入射角を 0° から約 0.72° ステップで変化させながら 20 点での透過関数の測定を行った。また、干渉フィルターの中心と周辺部との透過関数の違いを調べるために、フォトメーター用については透過光線の位置を変えての測定も行った。

フォトメーター用フィルターの測定結果の一例を図 3 に示す。この図において右端の曲線が光の入射角 0° の場合であり、順に入射角を約 0.72° ステップで 13.68° まで大きくしていった場合の特性である。このデータから分かるように、入射角が大きくなるに従って、中心波長は短波長側へずれていくが、通過帯域幅が広くなると共に透過率が低下している。

図 4 では、“*”で示す曲線がフィルターの中心部、その他が周辺部での入射角 0° における

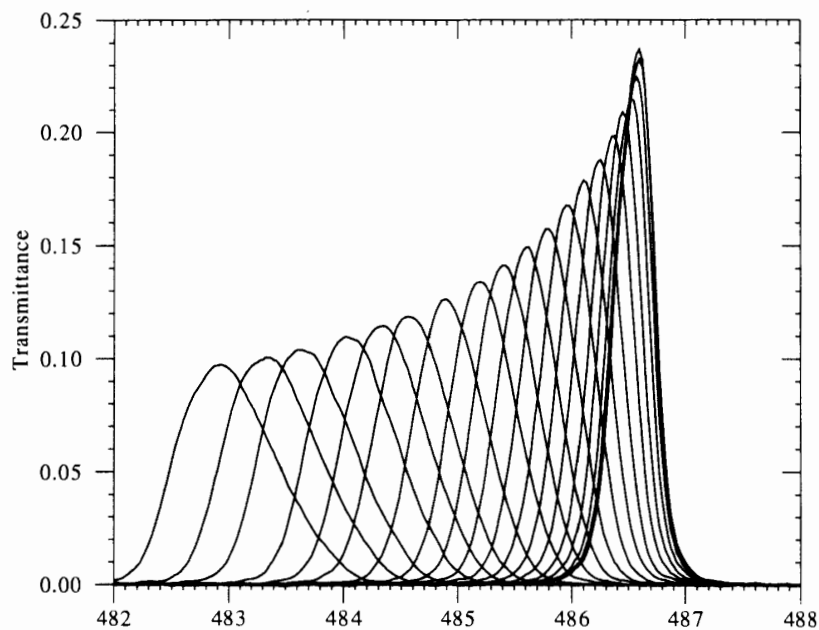


図3 掃天フォトメーター用フィルターの透過特性の例. フィルターへの光線の入射角を 0° (一番右の曲線) から 13.68° (一番左の曲線) まで、 0.72° おきに変えて計測した.

Fig. 3. Filter transmission function for different angles of incident light from 0.0° (rightmost curve) to 13.68° (leftmost curve).

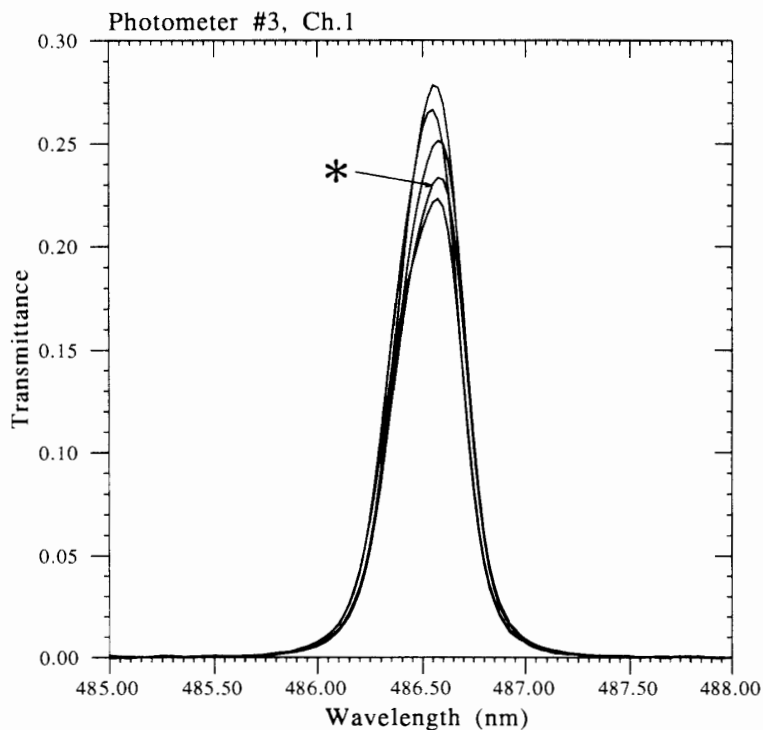


図4 掃天フォトメーター用フィルターの測定位置による透過特性の変化. *はフィルターの中心付近における透過関数. 他はフィルターの周辺部におけるもの.

Fig. 4. Filter transmission function for different part of a filter. * indicates the function at the center of the filter, while other curves are that around the edges of the filter.

透過特性である。中心部と周辺部において、透過特性に若干の違いが見られることがわかる。この違いは主に透過率を変えるが、ピーク波長の移動はほとんど見られなかった。

3.3. 全天カメラ及びフォトメーターの絶対感度校正

光学機器の校正においては、使用した校正機器の精度が得られた校正結果の信頼性を決定する。今回の校正実験に使用した積分球 (OKANO *et al.*, 1997) は、NIST (National Institute of Standard and Technology, USA) の校正基準による分光放射輝度計で校正され、校正精度は±5%以内であり、また、面輝度の一様性は、 2π の視野内において±5%以内である。今回の校正実験では面輝度を $2 \times 10^{-6} \text{W/m}^2/\text{nm}/\text{sr}$ で使用した。これは 630 nm の波長において $8.467 \times 10^3 \text{R}/\text{nm}$ に相当する。

全天カメラの校正は次のような手順で行った。

- (1) 積分球のランプの輝度が十分に安定した時点で、全天カメラの対物レンズ部分を積分球の側面にある測定用の窓から挿入して、外部からの光が入らないように隙間を暗幕で覆う。
- (2) 積分球のシャッターを開き、カメラを動作状態にして画像を取り込む。この時、外光の影響を少なくするため実験室内の照明も可能な限り暗くする。
- (3) 1台のカメラについて5枚のフィルターと3組の対物レンズ+前部リレーレンズ (焦点距離 24 mm 用, 45 mm 用, 80 mm 用) があり、計 15 枚の画像データを撮る必要がある。露光時間はフィルターの帯域幅とレンズ系の組み合わせによって最適な値があるため数回の試し撮りを行って求める。なお、CCDチップの温度は -50°C に設定して行った。

このようにして得られた画像の一例を示す。図5は、カメラ#2に557.7 nmのフィルターを装着した場合の魚眼レンズ (焦点距離 24 mm) の画像であり、図6は、図5で画面の中心付近を横切る1本のデータ列を抜き出し、Y軸に感度をとって表示したものである。なお、3台分のデータを1枚の図上にプロットしてある。これらの図から、画面周辺部における感度低下は概ね20-30%であることがわかる。この原因は光学系にあり、リレー系のレンズ構成を変えると変化があることから、主としてリレー系での周辺減光に起因しているものと考えられる。表2は全天カメラ用の各フィルターの特性と観測波長、画面中央部における絶対感度、典型的な露光時間をまとめたものである。なお、波長は公称値で表示してある。

感度が0.05 (カウント/R/s) の場合、100 Rの大気光に対して100 sの露出時間で500カウントが得られる。それに対して、CCDカメラの読み出しノイズはばらつきが10カウント程度、ダークノイズも100 sで数十カウント程度となる。今回の校正実験及び後で述べる試験観測の結果から、各波長に対して15 s-3 min程度の露出で良好な大気光の像が得られることがわかった。

図7、図8は図5、図6と同様にしてカメラ#1に630.0 nmのフィルターを装着した場合の結果であるが、画面の上部に縞模様が見られる。今回の積分球の校正実験から、いくつかのフ

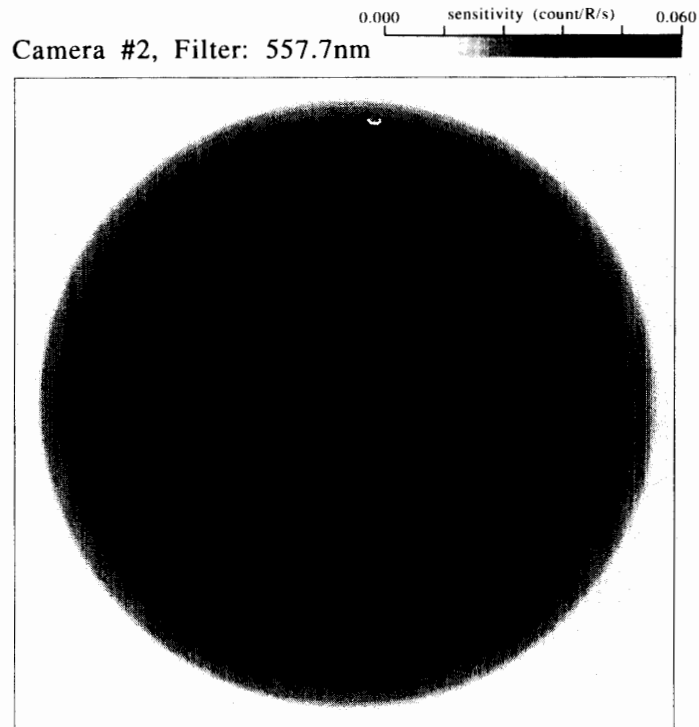


図5 魚眼レンズを装着した全天カメラの積分球による画像の例. カメラ#2に557.7 nmのフィルターとF=24 mmのレンズを装着したもの.

Fig. 5. An example of the sensitivity image obtained by the integrating-sphere for all-sky camera #2 with the 557.7 nm filter.

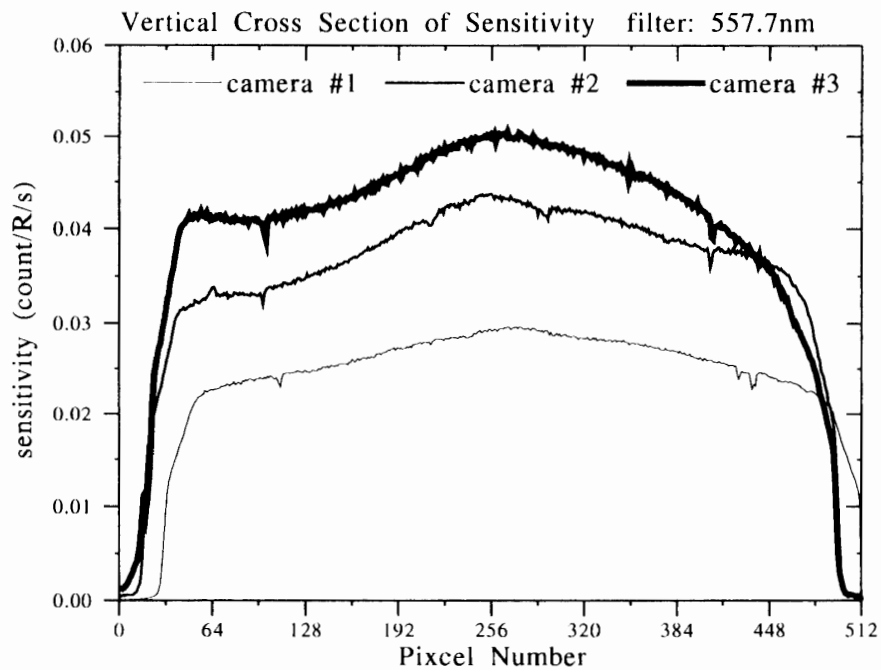


図6 魚眼レンズを装着した全天カメラの感度特性の例. 256番目のピクセル付近の5列の平均値. 横軸は画素の番号(0=上, 511=下), 縦軸が感度を表す. フィルター: 557.7 nm.

Fig. 6. Sensitivity of three all-sky cameras for 557.7 nm. The cross sections are taken as an average of 5 lines around 256th vertical line of sensitivity images.

表 2 3台の全天カメラの感度特性, 中緯度大気光観測における積分時間及び, 組み込まれたフィルターの特性. 感度は画面中央部におけるもの.

Table 2. Filter details, typical exposure times, and sensitivity for three all-sky cameras. The sensitivities are for the center of image.

Emission	Wavelength (nm)	Bandwidth (nm)	Exposure time (s)	Sensitivity (counts/R/s)
camera #1				
OI	557.7	1.76	105	0.029
OI	630	1.9	165	0.038
OH*	720-910	190	15	-
Na	589.3	1.83	105	0.032
Bg	572.5	1.75	105	0.031
camera #2				
OI	557.7	1.85	105	0.044
OI	630	1.94	165	0.055
OH*	720-910	190	15	-
O ₂ (0,1)	865	10	105	-
Bg	572.5	1.95	105	0.05
camera #3				
OI	557.7	1.78	105	0.049
OI	630	1.82	165	0.053
OH*	720-910	190	15	-
H β	486.1	1.92	not tried	0.005(at 465.1 nm)
Bg	572.5	1.77	105	0.05

*with a notch at 865 nm to suppress the O₂(0,1) emission.

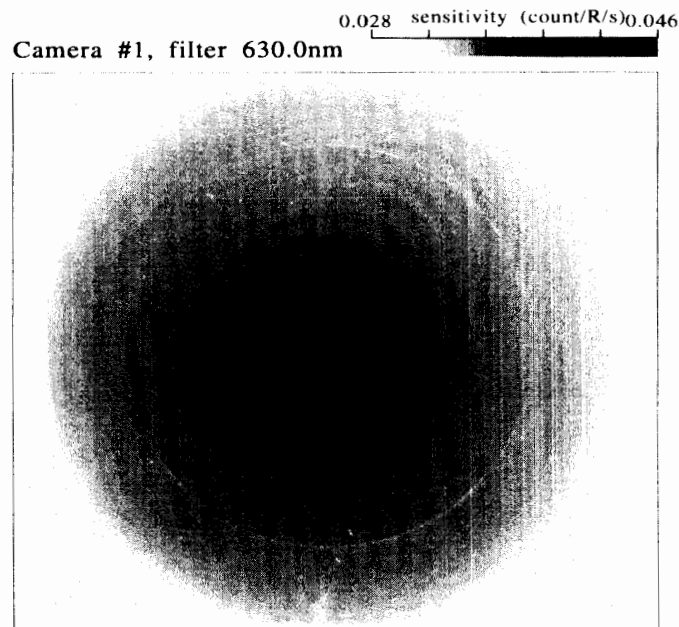


図 7 魚眼レンズを装着した全天カメラの積分球による画像の例. カメラ #1 に 630.0 nm のフィルターと F=24 mm のレンズを装着したもの. フィルター内の干渉によるニュートン環と思われるリング状の縞模様が画面の上部に見られる. 白い円は積分球の継ぎ目が見えているものである.

Fig. 7. An example of unusual interference pattern (Newton's Ring) on the sensitivity image obtained using the integrating-sphere. The pattern is seen in the upper half part of the image. The white circle with a diameter of about half of the image diameter is due to a circular defect (joint of two hemispheres) of the integrating-sphere.

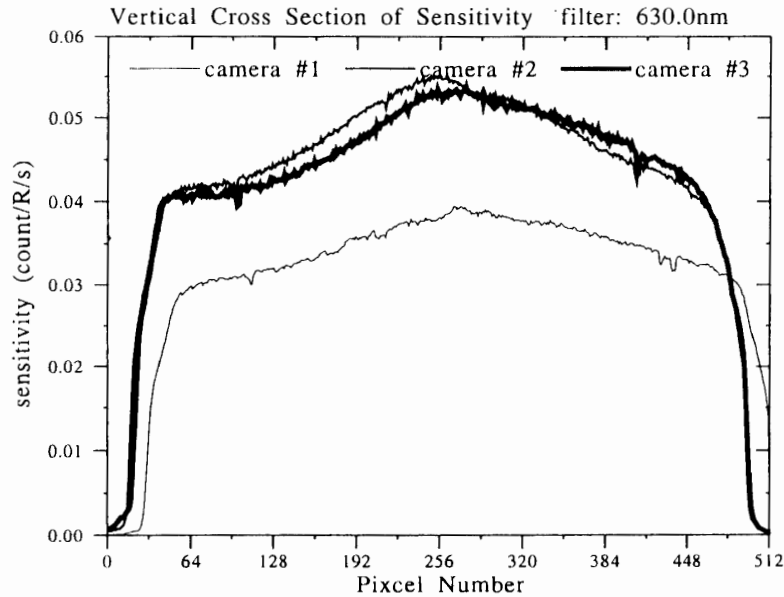


図8 魚眼レンズを装着した全天カメラの感度特性の例。256番目のピクセル付近の5列の平均値。横軸は画素の番号(0=上, 511=下)、縦軸が感度を表す。フィルター：630.0 nm。

Fig. 8. Sensitivity of three all-sky cameras for 630.0 nm. The cross sections are taken as an average of 5 lines around 256th vertical line of sensitivity images.

フィルターについてこのような縞模様が見られることがわかってきた。図8の細線(カメラ#1の線)の128–256ピクセル付近に見えるように、この縞模様の凹凸は、全体の感度に対して数%程度である。これは、フィルターを制作したBarr Associates社、光学系を制作したKEO Consultants社のコメントを含め考察した結果、フィルター内部の干渉によるニュートン環であると考えられる。

2枚の平行平板によって起こる干渉縞の自由スペクトル領域 $\Delta\lambda$ は

$$\Delta\lambda = \lambda^2 / 2n d \cos\theta, \quad (3)$$

で表すことができる。屈折率 $n \sim 2$ 、 $\cos\theta \sim 1$ とすると、フィルターを通過した幅約2 nmの光線が干渉縞を作るためには、 d は0.01 mmのオーダーになる。従って、干渉を起こしているのは、フィルター内の多層膜の間であると考えられる。

イメージクオリティーオプションを選択することによって表面が非常になめらかなフィルターを作成した場合、少しでもフィルター面にゆがみがあるとこの様なニュートン環を形成してしまうことが考えられる。なお、問題のあるフィルターは交換される予定である。

フォトメーターの感度校正も同様の手順で積分球を用いて行った。ただし、スキャンミラーは固定してフィルターのティルトのみを行い、ティルトごとにフォトメーターのシャッターを閉じてダーク値を得る。得られるデータは2チャンネルの時系列電圧値であり、こ

表3 3台の掃天フォトメーターの感度特性. 組み込まれたフィルターとその傾け角に対する中心波長, 帯域幅, 感度.

Table 3. Filter and tilting details and sensitivity for three tilting photometers.

Channel	Tilt angle (°)	Peak wavelength (nm)	Bandwidth (nm)	Sensitivity (mv/R)	Emission
photometer #1					
1	3.60	846.5	0.53	0.23	OH (96-2)
1	6.48	845.8	0.87	-	background
1	11.52	843	1.43	0.092	OH (6-2)
2	0.00	558.5	0.41	-	background
2	6.48	557.7	0.7	0.44	OI
photometer #2					
1	3.60	843	0.57	0.49	OH (6-2)
1	7.20	841.8	0.85	-	background
1	10.80	839.9	1.32	0.2	OH (6-2)
2	0.00	631.2	0.44	-	background
2	7.20	630	0.8	0.089	OI
photometer #3					
1	0.00	486.6	0.42	-	background
1	8.64	485.1	0.71	13.25	H β
2	0.00	429.1	0.48	-	background
2	7.82	427.8	0.81	12.35	N $_2^+$ (ING)

れをパーソナルコンピューターに取り込むと同時にペン書きレコーダーにも記録した。

解析によって得られたフォトメーターの特性を表3に示す。感度は受光窓からすべてを含めたものである。

これらの実験から得られた各機器の感度は、全天カメラについては事前に計算により求めた値 (0.1 カウント/R/s) に対して約 1/2 ~ 1/3 という結果になった。この原因に関しては、CCDの量子効率 (0.7 と仮定)、光学系の透過率 (同 0.6) が予想より小さいことなどが考えられるが、今回の実験データだけからでは特定が困難である。

一方、フォトメーターの感度は計算値が 0.29 mV/R (量子効率を 0.07、光学系の透過率を 0.2、光電子増倍管の特性はカタログ値) に対してほぼ同程度の値が得られている。

4. 試験観測

以上の様にして校正を終えた全天カメラ、掃天フォトメーターを含む超高層大気イメージングシステム一式は 1997 年 11 月から 1998 年 1 月にかけて、京都大学信楽 MU 観測所に仮設置された。全天カメラ 3 台は、観測用コンテナ (2.4 m × 6 m × 高さ 2.4 m) の屋上にアクリルドームを取り付け、天井からつり下げる形で設置された。掃天フォトメーター 3 台は、コンテナの屋上に南北方向をスキャンする様に設置され、ケーブルによって屋内のコントローラーと結ばれている。フォトメーターの観測は月の出ていない日の夜間連続で行っている。データ収集用コンピューターはワークステーションを中心にネットワークを構成しており、外部

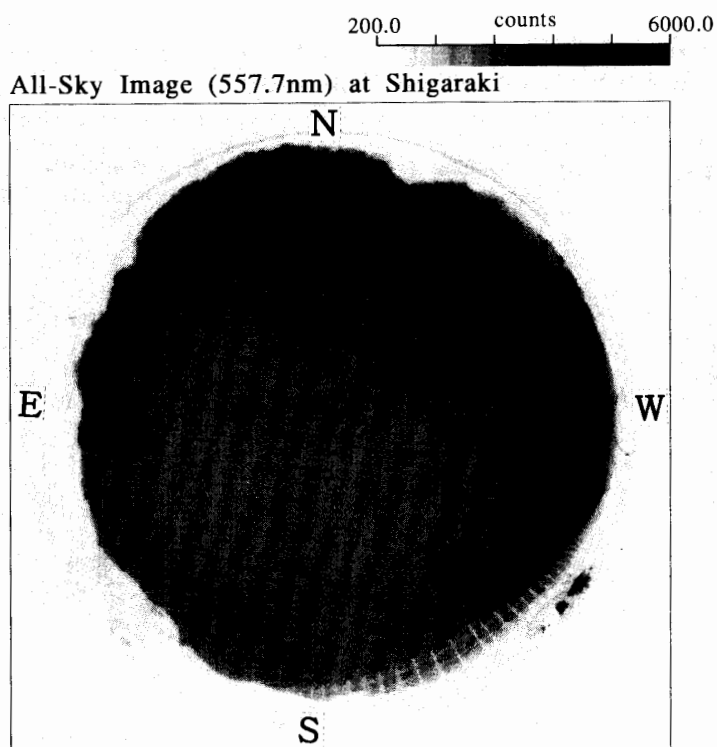


図 9a 1998 年 1 月 25 日午前 3 時に京都大学信楽 MU 観測所で得られた 557.7 nm における大気光画像の例. 魚眼レンズを使用したデータの例.

Fig. 9a. A nightglow image at 557.7 nm taken at Shigaraki, Japan at 0300 LT on January 25, 1998.

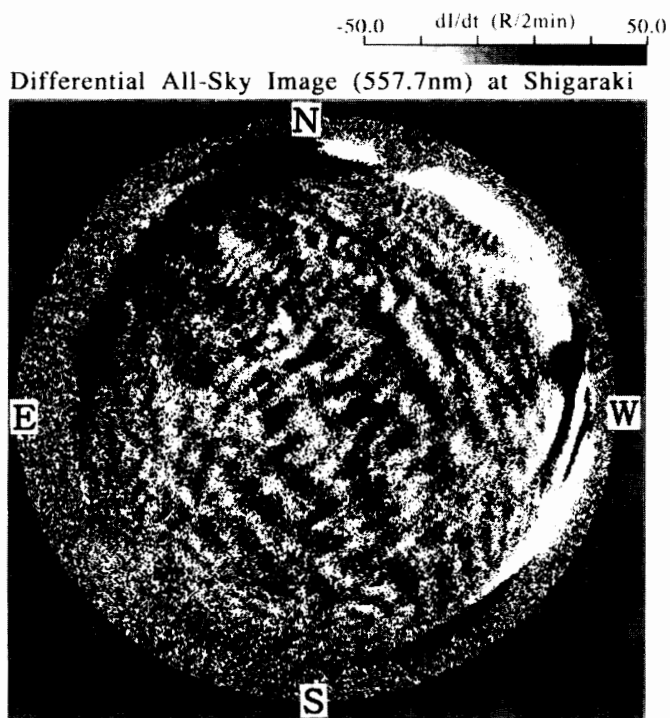


図 9b 波の振幅をはっきり示すために、図 9a のデータを 2 min 前の像との差分で表したもの.

Fig. 9b. A nightglow image at 557.7 nm taken at Shigaraki, Japan at 0300 LT on January 25, 1998. To show fluctuation component clearly, the image is shown as differences of two successive images taken with a sampling interval of 2 min.

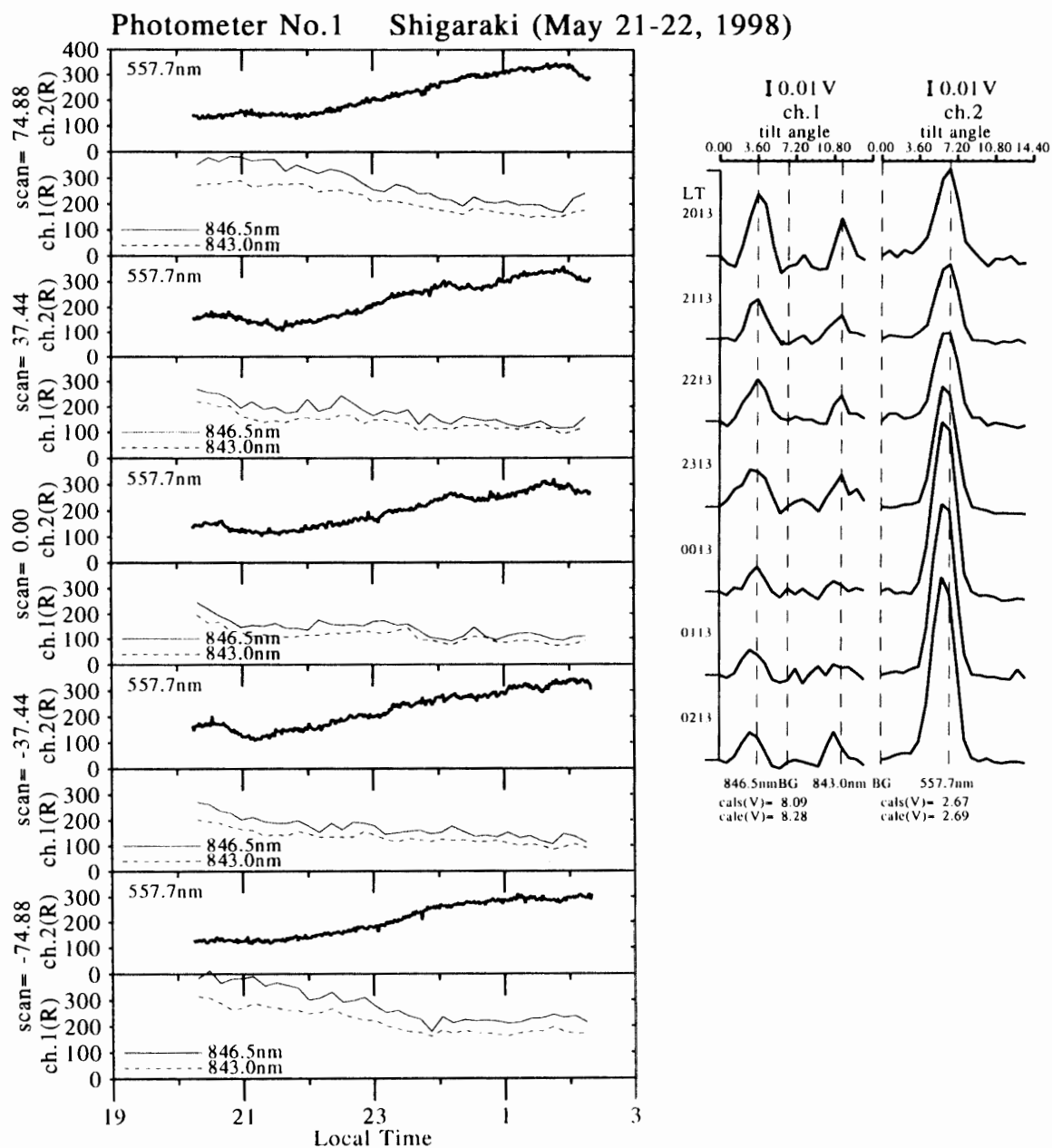


図 10 掃天フォトメーター #1 によって、1998 年 5 月 21-22 日に信楽 MU 観測所で観測された酸素原子 (557.7 nm) 及び OH 分子 (846.5 nm, 843.0 nm) の発光量の時間変化. 掃天は南北方向に -74.88° (北) から $+74.88^\circ$ (南) までを 5 点に分けて行われた. 1 時間に 1 回、1 min 間かけて、天頂における発光のスペクトルを取ったデータを右側に示した.

Fig. 10. Intensity variations of OI (557.7 nm) and OH Meinel (6-2) (846.5 nm and 843.0 nm) airglow emissions observed by the meridian-scanning tilting photometer #1 at Shigaraki (35°N , 136°E), Japan on May 21-22, 1998. The meridian scanning is for five zenith angles from -74.88° (northward) to $+74.88^\circ$ (southward). Line spectra obtained every hour by taking 1-min full-tilt data at the scan angle of 0° (zenith) are also shown in the right side.

からのアクセスによってデータの転送が可能である。

信楽で得られたデータの一例を次に示す。図9aは1998年1月25日午前3時に、全天カメラによって得られた波長557.7 nmでの大気光のイメージである。同図9bは、大気光の波状構造を強調するために撮影間隔2分ごとに得られる画像の差分で表したものである。北西から南東方向に伸びる小さな構造と北東から南西方向に伸びる大きな構造の波が見られる。この波の振幅は、100 R/2 minにも達する非常に強いものであることがわかる。

図10は1998年5月21日の#1の掃天フォトメーターによる観測データの一部である。今回のキャリブレーションデータを基にそれぞれの天頂角(図中のscan, —が北方向)における発光強度の変化を波長ごとにプロットしたものである。時間の経過に従って酸素原子の発光である557.7 nm成分が増加する一方で、OH分子の発光である846.5 nm, 843.0 nm成分が減少する様子が見られる。また、同図右側の曲線は、フィルターを0°から13.68°まで連続的に傾けて観測波長をスキャンさせることによって得られた、天頂角0°における発光スペクトルの1時間ごとのプロットである。それぞれの発光輝線がきちんととらえられていることがわかる。

図11は同日の#3フォトメーターのデータから波長ごとの強度変化をプロットしたものである。このフォトメーターは、磁気嵐時の水素原子(485.1 nm)及び窒素分子イオン(427.8 nm)のごく弱い発光を計測するように設計されている。この日は磁気嵐は起きていないので、顕

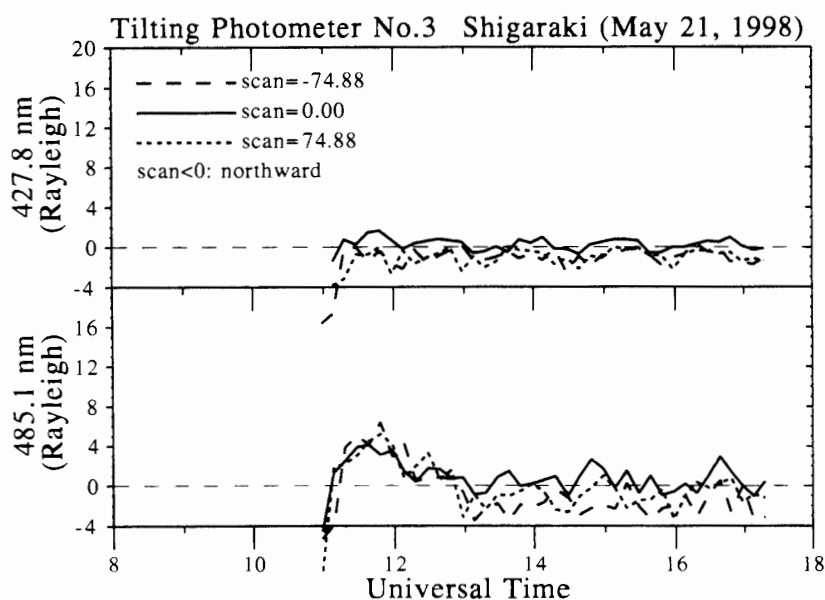


図11 掃天フォトメーター#3によって、1998年5月21-22日に信楽MU観測所で観測された水素原子(485.1 nm)及び窒素分子イオン(427.8 nm)の発光量の時間変化。掃天は南北方向に -74.88° (北)から $+74.88^\circ$ (南)までを3点に分けて行われた。水素原子のH β 線の発光波長は486.1 nmであるが、ドップラーシフトを考慮して485.1 nmをプロットした。

Fig. 11. Intensity variations of Doppler-shifted Hydrogen Balmer line (485.1nm) and N₂+First Negative line (427.8nm) measured by the meridian scanning tilting photometer #3 at Shigaraki on May 21-22, 1998. The meridian scanning is for three zenith angles from -74.88° (northward) to $+74.88^\circ$ (southward).

著な発光は見られないが、フォトメーターのノイズレベルが数 R という高感度であることがこの図からわかる。11–12 時 UT (日本時間で 20–21 時) の 485.1 nm の発光は、ジオコロナによるものと考えられる。

5. まとめ

本論文では、国立極地研究所に設置された積分球及び分光スペクトロメーターを用いた全天カメラ及び掃天フォトメーターの校正実験と、その後の初期観測結果について述べた。今回の校正実験から、それぞれの機器の絶対感度を得ることができた。また、新たに分かったこととして、干渉フィルターの面内で、透過関数に若干の非一様性があること、イメージオリエーターのフィルターは、ニュートン環による干渉の縞模様を画像に作ってしまう可能性のあることが挙げられる。

これらの機器のうち、フォトメーターは 1998 年 5 月より、全天カメラは 1998 年 7 月より、京都大学信楽 MU 観測所において、コンピューターコントロールによる全自動観測を開始している。データはネットワークを介して常時モニターが可能で、将来はデータベースとして公開していく予定である。

謝 辞

今回の校正実験は、国立極地研究所の光学校正実験施設を利用して行われました。利用に当たり様々なお助言を頂いた国立極地研究所の岡野章一教授、田口真助教授並びに東海大学の竹下秀博士に感謝いたします。また試験観測は京都大学超高層電波研究センターの信楽 MU 観測所において行われました。同センターの津田敏隆教授及び中村卓司助教授に感謝いたします。

文 献

- 岡田雅樹・江尻全機・岡野章一・田口 真・竹下 秀 (1997): 南極点全天撮像装置の概要と初期データ解析. 南極資料, **41**, 613–630.
- OKANO, S., TAKESHITA, S. and TAGUCHI, M. (1997): Absolute calibration system at NIPR for auroral/airglow measurements using a 1.9-m integration sphere. Proc. 24th Annual European Meeting on Atmospheric Studies by Optical Method. Andenes, Norway, 30.
- TAYLOR, M.J., BISHOP, M.B. and TAYLOR, V. (1995): All-sky measurements of short period waves imaged in the OI (557.7 nm), Na (589.2 nm) and near infrared OH and O₂ (0,1) nightglow emissions during the ALOHA-93 campaign. Geophys. Res. Lett., **22**, 2833–2836.

(1998 年 8 月 3 日受付; 1999 年 2 月 1 日改訂稿受理)