

単色光撮像システムによるオーロラ観測と  
データ処理

小野 高幸\*・江尻 全機\*・平澤 威男\*

Observation of Monochromatic Auroral Images  
and Data Processing

Takayuki ONO\*, Masaki EJIRI\* and Takeo HIRASAWA\*

**Abstract:** A new TV camera was developed and applied to the auroral observation at Syowa Station, Antarctica, in 1984. The TV camera is to obtain monochromatic auroral images at the principal auroral emission lines such as 6300 Å (OI), 5577 Å (OI), 4861 Å (H $\beta$ ) and 4278 Å (1N N $_2^+$ ), and band (6000 ~ 8000 Å; 1P N $_2$ ).

An important merit of the new TV camera is digital recording of the observation data. Successive monochromatic auroral images transferred from the TV camera every few seconds are digitized and converted to digital data stream simultaneously and recorded by a high speed data recorder in a PCM format. Observations by using three sets of the TV cameras were carried out throughout the winter season in 1984 at Syowa Station by JARE-25 wintering party. The TV cameras were used also for cooperations with (i) sounding rocket experiments, (ii) auroral particles, plasma and plasma wave experiments on board the EXOS-C satellite and (iii) conjugate auroral observation campaign which was carried out in Iceland.

The data processing software system was established by using a host computer in the National Institute of Polar Research. We developed the data reproduction software to convert the PCM data to the computer compatible digital data. The data can be monitored by a display software which is also able to make a coordinate transform from the original TV image to an ionospheric geomagnetic coordinate system. By using this method, we found that a diffuse auroral band which is located equatorward of an oval of discrete auroras, corresponds to the proton auroral band in the evening sector. For a special purpose to analyze the pulsating auroral phenomena, we developed an auto-correlation analyses software which gives a two-dimensional display of periodicity and period of pulsating auroras. By using this analysis method, we found a grouping of pulsating auroras with respect to a two-dimensional distribution of periods of pulsating patches.

**要旨:** 昭和基地における JARE-25 オーロラ観測では、新たな試みとして単色光オーロラ撮像を行うテレビカメラシステムが導入され、地上における超高層モニタリング観測、ロケット観測、人工衛星観測および共役点オーロラの同時観測に使用された。本システムは、イメージ増倍管と CCD を用いた新世

---

\*国立極地研究所. National Institute of Polar Research, 9-10, Kaga 1-chome, Itabashi-ku, Tokyo 173.

代のテレビカメラであり、またデジタルデータとして収録される特徴を持っている。この特徴を生かしたデータ再生、ならびに画像解析用ソフトウェア体系が国立極地研究所大型電算機を用いて開発された。この報告ではテレビカメラシステムの概要、ならびにデータ処理用ソフトウェアについて述べ、さらにこれまでに明らかになった主たる結果についてふれる。

## 1.はじめに

オーロラ画像を用いてオーロラと他の観測量とを比較し、オーロラの物理を解明しようとする試みは古くから行われてきた。IGY (International Geophysical Year) の期間を中心とする初期においては、全天カメラデータを用いて解析が行われ、極を中心とするオーロラの全体像が浮彫にされた (FEINSDHTEYN, 1963; AKASOFU, 1968), その後、高感度テレビカメラの出現によりオーロラの速い動きがとらえられ、オーロラの観測はめざましく発達することになる (DAVIS, 1966; OGUTI, 1975; ROYRVICK and DAVIS, 1977; VALLANCE JONES and GATTINGER, 1981; OGUTI *et al.*, 1981), 一方テレビカメラ装置の高感度化が進んだことにより、単色光によるオーロラ撮像の試みが始められた (MENDE and EATHER, 1976; MENDE *et al.*, 1977). それまでオーロラの分光学的観測は天の一方向の光を長時間かけて分光する方法がとられ、オーロラのスペクトルがいくつかの波長における輝線、あるいはバンドにより構成されていることが知られていた (VALLANCE JONES, 1971). 一方、オーロラ発光のメカニズムに関する理論からは、オーロラのスペクトルは原因となるオーロラ粒子の種類やそのエネルギーによってコントロールされることが知られている (EATHER, 1968; BARKS *et al.*, 1974; REES and LUCKEY, 1974). オーロラの分光画像はオーロラの原因となるオーロラ粒子の性質、ならびにその空間的な広がりを知り、ひいては磁気圏の構造およびそのダイナミクスを解明するために有力な手段である。MENDEらの観測装置は干渉フィルターを使用して分光されたオーロラの画像をイメージ蓄積管を使用して撮像するもので、干渉フィルターを自動的に変換していくつかのオーロラ輝線による単色光オーロラ像をとらえた最初の仕事である。このようにテレビカメラ撮像装置の発達によってオーロラの観測は飛躍的に進歩したが、もう一つ重大な問題が残されていた。テレビカメラ装置からは1秒間に30枚のオーロラ像が得られ、そのデータ量は膨大な量となる点である。従って、これまでテレビ観測データの解析手法としては、画像を写真に変換して並べるか、あるいはテレビ画面上の数点における輝度の変化を読み取ることが行われてきただけで、観測から得られる情報が完全には生かしきれていなかったわけである。

我々は単色光オーロラを撮像し、デジタルデータとして取得するテレビカメラシステム、ならびにその解析に用いるソフトウェア体系を開発した。単色光オーロラ像は干渉フィルターを用いて得るが、撮像部にはイメージ増倍管 (II: Image Intensifier) (CUNY *et al.*, 1979), および CCD (Charge Coupled Device) (SHIRAKI, 1980; SUZUKI *et al.*, 1981) を用い

た固体撮像素子を使用して小形のテレビカメラを構成した。CCDより得られるオーロラ画像信号は、観測時にデジタル量へ変換して記録される。デジタルオーロラ画像は大型電算機を用いた画像処理が行われ、画像を定量的に取り扱えるようソフトウェア体系の開発が行われた。開発されたシステムは1982年スウェーデンのキルナにおける観測 (FUKUNISHI and MIYAOKA, 1984), 昭和基地における観測 (ONO *et al.*, 1987 a, b, c), および昭和基地—アイランド共役点オーロラ観測 (1987) において使用された。ここでは主として、1984年に行われた第25次南極観測にて、昭和基地で使用されたテレビカメラ装置、観測結果、ならびにデータ解析の手法について述べる。

## 2. 単色光撮像システム

単色光撮像システムは、カメラ部、信号処理部およびデータ記録装置により構成される。オーロラ画像はカメラ部にて干渉フィルターを用いた単色光への分離の後、CCDとイメージ増信管とを用いた高感度撮像系にて撮像される。画像データはデータ処理部へ伝送されデジタルデータへと変換された後、PCMデータとしてデータレコーダにより記録されることになる。

### 2.1. カメラ部

単色光撮像を行うカメラ部は、i) 光学系 ii) 光増倍系ならびに撮像系、iii) 高圧電源系および iv) コントロール系より成る。

オーロラを単色光として撮像するため、波長の選択手段としてここでは干渉フィルターが使用されている。干渉フィルターを用いる場合、厳密には入射光は、フィルター入射面に対して垂直である必要がある。しかるに、市販の魚眼レンズあるいは超広角レンズを用いて結像した場合、結像面に入射する光は、平行とはならない。このため結像面の背後にさらにリレーレンズを配置し、光線を一旦近似的に平行光とした後、再び結像させる方法がとられた。中心透過波長 $\lambda$ の干渉フィルターへの入射光がフィルター面の垂線より角度 $\theta$ だけずれた場合、実際の透過波長は短波長側へずれ、その大きさ $\Delta\lambda$ は、

$$\Delta\lambda = \lambda \cdot \frac{\theta^2}{2\mu^2}, \quad (1)$$

となる。ここで $\mu$ は干渉フィルター内エタロンスペーサーの屈折率である。今回使用した干渉フィルターでは、 $\mu=2.1$ 相当のエタロンが使用されている。

さて、干渉フィルターへ入射するオーロラ像の光線を厳密な平行光に近付けようとした場合、レンズ系の集光率が低減し微弱なオーロラ光を撮像することは不可能となってしまう。したがって、システムの最適化を画る必要があるが、ここでは干渉フィルターに入射する光線の平行度を $7^\circ$ までを許容することとした。今、 $5577\text{\AA}$ のオーロラ輝線による撮像を行う場合、式(1)の $\Delta\lambda$ は $10\text{\AA}$ となり、このオーロラ輝線をとらえる干渉フィルターは、

表1 観測に用いられた干渉フィルターの透過中心波長ならびに帯域

Table 1. Transmission parameters of the interference filters for monochromatic auroral imaging.

Emission line	Center wavelength	Bandwidth
4278 Å	4290 Å	50 Å
4861 Å	4870 Å	70 Å
5577 Å	5585 Å	70 Å
6300 Å	6315 Å	90 Å
IPN <sub>2</sub> -Band	7075 Å	570 Å

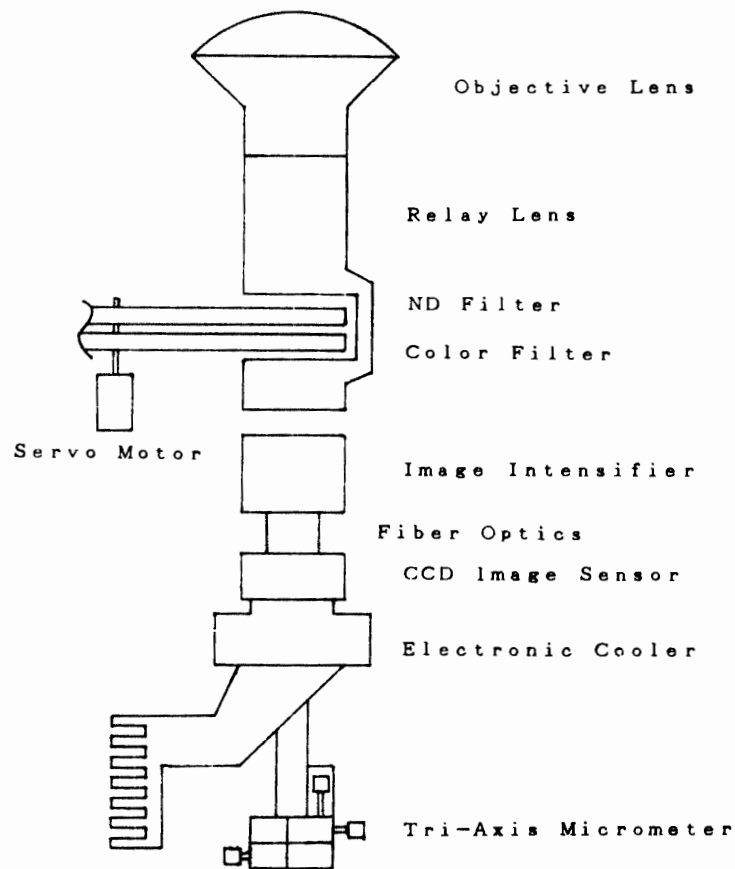


図1 単色光撮像システムのカメラ部光学系および撮像系

Fig. 1. Configuration of a monochromatic low light TV camera. Interference filters are used for monochromatic imaging. Monochromatic auroral images are amplified their intensities by using a proximately focused image intensifier and detected by CCD (charge coupled device) with a spatial resolution of  $380 \times 490$  pixels.

5577 Å ~ 5587 Å の波長帯において高い透過率を保持する必要がある。さらにフィルターの特性の温度変化、経年変化なども考慮し、オーロラ輝線による撮像のための干渉フィルターとして表1のような特性を持つものが使用された。

平行度の許容範囲を  $\gamma$  とした場合、平行光線を作り出すリレーレンズは図1に示される

ように小形で集光率の高いものが使用できる。また図1に示すように、リレーレンズはライカ版用カメラレンズによる画像を CCD 受光面のサイズ (8.36 (H)×6.37mm (V)) へと変換するため、約 1/4 のサイズへ縮小する機能を合わせ持っている。

数 10R (Rayleigh) より数 100kR のオーロラ光強度を高い S/N 比を保ち、かつ、信号が飽和することなく測定するためには、撮像系の特性に合わせた光強度レベルを受光部に入力する必要がある。このため、通常の TV カメラでは、光学系における絞り、あるいは撮像系における増幅度の変更によりこれを調整しているが、ここでは 4000 Å より 8000 Å までの波長帯にてフラットな減衰特性を持つ ND (Neutral Density) フィルターを使用して、ステップ状に入力光強度の調整を行っている。すなわち 100, 35, 10, 3.5 および 0.1% の透過率を持つ ND フィルターが使用された。ND フィルターの使用によりオーロラ光強度をあいまいにすることなく再現することが可能となった。

フィルター透過後、結像面における単色光オーロラ像はイメージ増倍管を用いて増幅を受ける。ここでは ITT 社の F4767 近接型イメージ増倍管が使用されている。F4767 は 4000 Å より 9000 Å までの波長域の光強度を数万倍程度にまで増幅することができる。図2に示されるようにオーロラ光は F4767 の S25 特性を持つ光電面にて電子束に変換される。

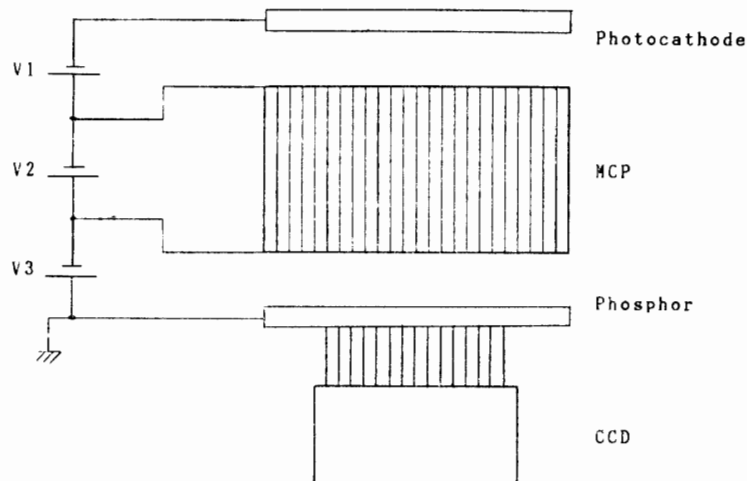


図2 撮像系に用いられるイメージ増倍管およびCCDの接続図

Fig. 2. Illustration of the image intensifier and CCD. The monochromatic auroral photo-emission is converted to electron emission on the surface of a photocathode of the image intensifier. The electrons are multiplied through MCP (micro channel plate) keeping the auroral image. The amplified electron currents are converted again to photo-emissions on the surface of a phosphor. On the phosphor screen the amplified auroral image is reproduced by using the phosphor material of P20, which can emit a green-colored light. Between the phosphor screen and the CCD photodiode array, an auroral image is transferred through a fiber optical conductor which can transfer the image without loss and distortion.

電子束は MCP (マイクロチャンネルプレート) により画像情報を保ったまま電流増幅を受ける。さらに電子束は P20 特性を持つ蛍光面にて電子より光への変換を受け約 5250 Å 付近に中心波長を持つ光として出力され、光ファイバーを通じて CCD 受光面へと導かれる。本テレビカメラ撮像部では、このように近接型イメージ増倍管の採用と光ファイバーによる CCD 受光面への接続方式を採ることにより、画像歪のない、コンパクトな構成とすることが可能となった。

CCD 撮像素子 (TCD-203C) は、8.36 (H)×6.37mm (V) の受光面に、380 (H)×490 (V) 画素の 2 次元フォトダイオードアレイを持つ。素子上の画素のピッチは、22×13μm であり受光面は約 35% の開口率を持っている。さらに蓄積された電荷をインターライン転送方式にて出力するため、高感度特性と合わせて、画像のにじみの少ない撮像が可能である特徴を持つ。また、CCD による撮像データは、受光画素の位置がデータ転送の際の順番号により厳密に規定される。このため、データ取得後のデジタル処理において、オーロラの位置を精密に決定することができる。

イメージ増倍管と CCD とを組み合わせた撮像部の入出力特性は次のように表すことができる。すなわち CCD からの出力電圧  $V_c$  は

$$V_c = \int_0^{T_{\text{exp}}} \left[ \int I_0(\lambda) \cdot S(\lambda) d\lambda + V_d \right] dt, \quad (2)$$

である。ここで

$I_0(\lambda)$  : イメージ増倍管出力光強度

$S(\lambda)$  : CCD の感度

$V_d$  : CCD の暗電流に起因するノイズ出力

$T_{\text{exp}}$  : CCD による撮像時間

である。 $V_d$  は素子の温度に依存し、

$$V_d = \exp(0.099T - 32.17) \text{ [V/s]}, \quad (3)$$

で表される。ここで  $T$  は絶対温度である。昭和基地におけるオーロラ観測期間では、気温  $-20 \sim -30^\circ\text{C}$  と極めて低温であり、数秒間の露光時間 ( $T_{\text{exp}}$ ) の範囲では、 $V_d$  の影響は無視し得る。

式(2)中  $I_0(\lambda)$  はイメージ増倍管の蛍光面の分光特性により決定される。ここでイメージ増倍管蛍光面の P20 特性は比視感度曲線と良く近似できるため、

$$\begin{aligned} & \int I_0(\lambda) \cdot S(\lambda) d\lambda \\ &= I_0 \cdot S_c \text{ [V/s]}, \end{aligned} \quad (4)$$

と、イメージ増倍管出力と CCD 感度との間での波長依存性を無視することができる。ここで CCD の感度は、入射照度に対して規定され、

$$S_c = 4.5 \text{ [V/lux} \cdot \text{s]} \quad (5)$$

である。なお、イメージ増倍管の出力強度 ( $I_0$ ) は一般的には光束発散度で示されるが、イメージ増倍管と CCD が光ファイバーで直結されているため、途中の光の減衰を無視すれば  $I_0$  を CCD への入力照度とすることができる。またイメージ増倍管の出力は

$$I_0 = \int I(\lambda) \cdot G(\lambda) d\lambda + B_1, \quad (5)$$

により示される。ここで

$I(\lambda)$ : イメージ増倍管入射面におけるオーロラ光強度

$G(\lambda)$ : イメージ増倍管の増幅度

$B_1$ : 暗電流に起因するイメージ増倍管のノイズ出力

$\lambda$ : 波長

である。干渉フィルターを用いてオーロラ輝線による撮像を行う場合

$$\begin{aligned} & \int I(\lambda) \cdot G(\lambda) d\lambda \\ & = I_A \cdot G_{\lambda_0}, \end{aligned} \quad (6)$$

と表現できる。ここで  $I_A$  はオーロラ輝線強度、 $G_{\lambda_0}$  はオーロラ輝線の波長  $\lambda_0$  に対するイメージ増倍管の増幅率である。また、式(5)中の暗電流ノイズ ( $B_1$ ) は、一般に等価入力照度 ( $Be$ ) で表現され、F4767 の場合実測された暗電流ノイズは、 $Be \leq 1 \times 10^{-7} \text{ lux}$  である。この暗電流ノイズは 1kR の 5577 Å オーロラ撮像時に期待される結像面照度 ( $I_A(5577 \text{ Å}) \approx 8 \times 10^{-5} \text{ lux}$ ) に比して十分に小さく、通常は無視し得る。よって、CCD より出力される電圧(式(2))は式(4)および式(6)を用いて

$$V_c = \int_0^{T_{\text{exp}}} I_A \cdot G_{\lambda_0} \cdot S_c dt, \quad (7)$$

により表されることとなる。

イメージ増倍管の増幅率  $G_{\lambda_0}$  は、光電面の分光感度特性、光電面・MCP 間の電圧 ( $V_1$ : 約 180 V)、MCP 入出力間の電圧 ( $V_2$ : 約 800 V) および MCP-蛍光面の電圧 ( $V_3$ : 約 5700 V) により決まる(図 2 参照)。本システムでは、CCD 素子への高圧リップルの漏れによる影響を防ぐため、図 2 に示されるように、高圧電源部は、蛍光面電位を共通接地電位と一致させる方式が採用された。

また、明るい光の入射によるイメージ増倍管の損傷を防ぐため、MCP-螢光面間のスクリーン電流が約 20 nA を超えないように  $V_1$  および  $V_2$  を降下させて、光増幅率を減衰させる保護回路が設けられている。しかし保護回路が作動しない通常の観測においては、イメージ増倍管の増幅率は安定であり、カメラの感度は ND フィルターのみによってコントロールされている。

カメラコントロール用電子回路系では、フィルターの交換を自動的に行うサーボ信号の制御ならびに CCD 動作に必要なクロック信号およびバイアス信号の発生を行っている。撮像システム全体のタイミングを制御するクロック信号 ( $14.318 \times 10^6 / 2^n$  Hz;  $n=0,1,2,\dots$ ) はカメラ部のクロック信号発生部にて作られる。なお CCD より出力されるオーロラ強度信号はカメラ部では処理を受けずにバッファアンプを経由した後、信号処理部へと転送される。

## 2.2. 信号処理部

カメラ部は、30 m の複合ケーブルを経て信号処理部へと接続されている。信号処理部で

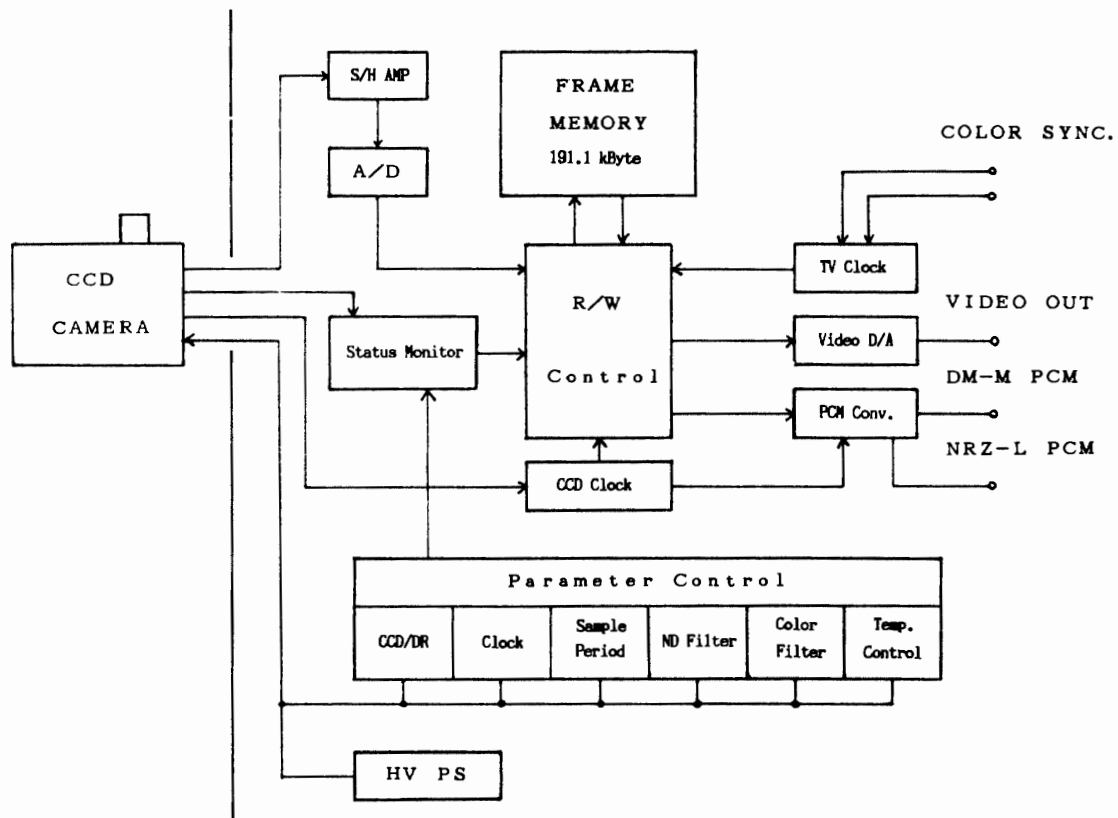


図3 信号処理部ブロック図

Fig. 3. Block diagram of data processing unit. Slow-scan video signals including status data from TV camera are digitized and stored in a frame memory. The stored data are readout successively and converted to a PCM digital data stream. A video signal to be monitored by TV is also generated by the data processing unit by using a high speed D/A converter.



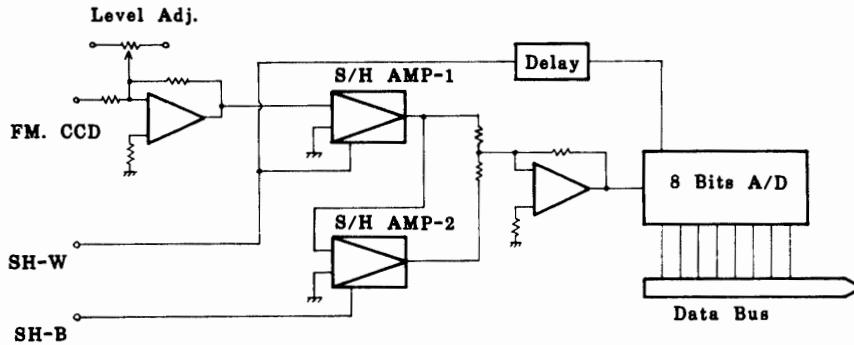


図4 2重サンプルホールドアンプおよびA/D変換回路

Fig. 4. Circuit diagram of a dual sample and hold and the A/D converter unit. The S/H AMP-1 amplifier detects the signal level of auroral intensity, while S/H AMP-2 detects the signal level from the CCD in which no auroral photo-emission is exposed. The difference between the output signal levels from these two amplifiers is free from DC offset and drift of the signal from the CCD, and gives the proportional level with the auroral intensity.

は、i) オーロラ画像信号のデジタル化、ii) デジタル化された信号のPCM変換ならびにモニターTV出力、およびiii) カメラ部の動作パラメータのコントロールが行われる。信号処理部のブロック図を図3に示す。カメラ部から送られてくるオーロラ画像信号は、通常のテレビカメラと同等のコンポジットビデオ信号の波形を持っている。ただし通常のテレビカメラが1/30秒で1画面分のビデオ信号を形成するのに対し、本テレビカメラのビデオ波形は1秒から数秒をかけて送られてくる。オーロラ画像のデジタル化は、カメラ部から同時に送られてくるクロックパルス、ならびに画面掃引の垂直および水平同期パルスに従って行われる。これによりオーロラ画像のCCD上における位置情報はクロックのカウント値として厳密に保存されたままデジタル量への変換が行われることとなる。

テレビカメラより伝達されるオーロラ強度信号は、(式7)に示される信号レベルの他に温度変化に起因する直流的なオフセットレベルの変動が含まれている。これを取り除くため、信号のA/D変換を行う前に図4に示す2重サンプル/ホールド(S/H)回路が設けられている。すなわちS/Hアンプ1においてはCCDのクロックに同期して、各画素における信号強度が保持される。またS/Hアンプ2においては光を感受しない無効画素領域より伝送された信号レベルを保持する。ここで、これら2つの信号レベルの差分をとれば、直流変動分の影響を受けることのないデータが取得でき、その出力はオーロラ光強度と比例することになる。2重サンプルホールド回路を経た後、信号はビデオA/Dコンバータにより8bitのデジタルデータへと変換され、データバスラインを経由してフレームメモリー上へと逐時書き込まれる。

フレームメモリーはCCD画素に対応した390(H)×245(V)の番地を持つ。また、記録されたデータを順に読み出すことにより、PCMデータフォーマットが構成できるように

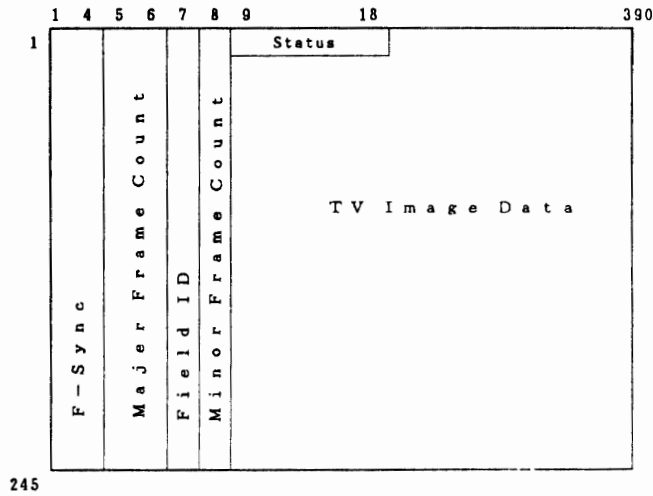


図5 フレームメモリー内データ配置

Fig. 5. Data allocation in the frame memory.

なっている。なお CCD 上の有効画素は 1 行あたり 380 画素であるが、これに対してはフレームメモリー上の第 10 語より第 389 語までが対応している。図 5 にフレームメモリー上のフォーマット構成を示す。なお、第 1 行目にはテレビカメラの動作状態をモニターするデータが第 9 語より第 19 語までの間に書き込まれている。CCD が 490 行の画素を持つのに対しフレームデータは 245 行より成るが、これは CCD が 2:1 インターレース方式の動

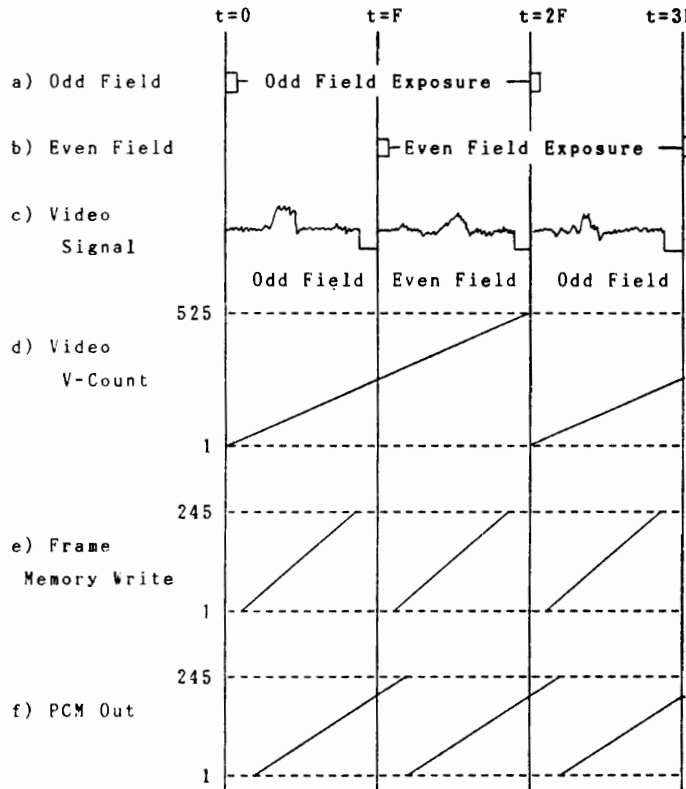


図6 CCDにおける露光、ビデオ信号およびPCM 信号出力タイミング図

Fig. 6. Timing chart of CCD exposure, video signal output, and frame memory data write and read.

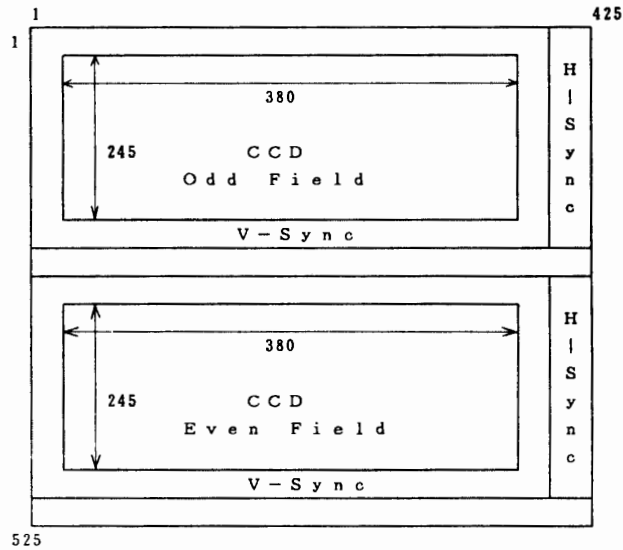


図7 ビデオ信号に対応するCCD上の受光画像領域

Fig. 7. A two-dimensional illustration of video signal and corresponding imaging area on the CCD.

表2 テレビカメラシステムで用いられるクロック信号  
Table 2. Comparison of clock rates in the TV camera system.

	露光時間(s)		
	0.53	1.06	2.13
テレビカメラクロック(kHz)	14312	7160	3850
A/D変換クロック(kHz)	3580	1790	895
フレームメモリー 書き込みクロック(kHz)	447	224	119
PCMビットレート(kbit/s)	2864	1431	716

作をして、奇数番の行および偶数番の行を交互に伝送することによる。図6にCCDの露光、データ伝送とフレームメモリーへの書き込み、およびPCMデータ読出しのタイミング関係を示す。

図6において、2Fの時間CCD上の電荷蓄積部に蓄積された電荷は、露光時間の終了とともに電荷伝送用CCDに移され、直ちに次の露光が開始される。露光時間は偶・奇のフィールドに対応するCCD画素ともに2Fの時間となる。電荷伝送用CCD中のデータは、読出しクロックに従って転送され、ビデオ信号を形成する。

テレビカメラからの出力信号は、スロースキャン形コンポジットビデオの波形を持つため、1枚の画像伝送には、水平455パルス、垂直方向へ525行を転送するクロックが必要である。この中に含まれるCCD上のオーロラ光を露光した有効画素は、図7のように対応づけられる。したがって、ビデオ信号からA/D変換されたデータのフレームメモリーへの書き込みのタイミングは図6eのようになる。また、フレームメモリー内のデータよりPCMデータとするための読み出しクロックは、テレビカメラより送られてくるクロック

Wn	B7	B6	B5	B4	B3	B2	B1	B0
1	Frame Synchronization Code "FAF3208F"							
2								
3								
4								
5	Major Frame Number							
6								
7								
8	Minor Frame Number							
9	HD				TD			
10	UD							
11	TH							
12	TM				UM			
13	TS				US			
14	hms							
15	LG/LN	Color Filter			ND Filter			
16	Clock			Sample			ID	
17	CCD Temp.							
18	Camera Temp.							

図8 PCM データフォーマット. オーロラ画像は245のマイナーフレームよりなるが, 表では先頭のマイナーフレームのフォーマットを示す. 各マイナーフレームは, 第1~4語によるフレーム同期コード, 第5と第6語によるメジャーフレームの番号, 第7語のLSBによりフィールドインデックス, 第8語により245行をカウントするマイナーフレームの番号が格納される. 第9語より第390語までは, オーロラ画像データが格納されている. 第1マイナーフレームについては, 第9語より第18語の中で, 観測の日付け (HD, TD, UD), 時刻 (TH, UH, TM, UM, TS, US, hms), 出力信号の対数圧縮の有無 (LG/LN), 干渉フィルターの種類, NDフィルターの種類, テレビカメラクロック, 画像間引き率, カメラID番号, CCD素子温度およびカメラ温度およびフォトセンサーによるモニターを示すデータが含まれている.

Fig. 8. Format for the first minor frame PCM data giving status data of the TV camera.

と同期を取ることが必要である. 1画面を転送するビデオ信号のクロックパルス数 ( $455 \times 525 = 238875$  パルス) に対して PCM の 2 フィールド分の画素数は  $390 \times 490 = 191100$  であり,  $4/5$  の比となる. したがって, PCM 読み出しクロックは, ビデオ A/D 変換のクロックに対し  $4/5$  の周波数を持つ信号パルスとして作られる. テレビカメラから送られてくるクロック周波数は, カメラの露光時間により決定されるが露光時間 0.53, 1.06, および 2.13 秒に対応するテレビカメラクロック, A/D 変換クロック, および PCM データクロック (PCM bit rate) の関係を表 2 に示す.

また, 図 6 に示すように, フレームメモリーへの読み出しと書き込みが同期しているため, フレームメモリーの容量は, 1 フィールド分 (95.55 kByte) を用意することにより, 1 フレーム分 (191.1 kByte) と同等の機能を持って動作することができる.

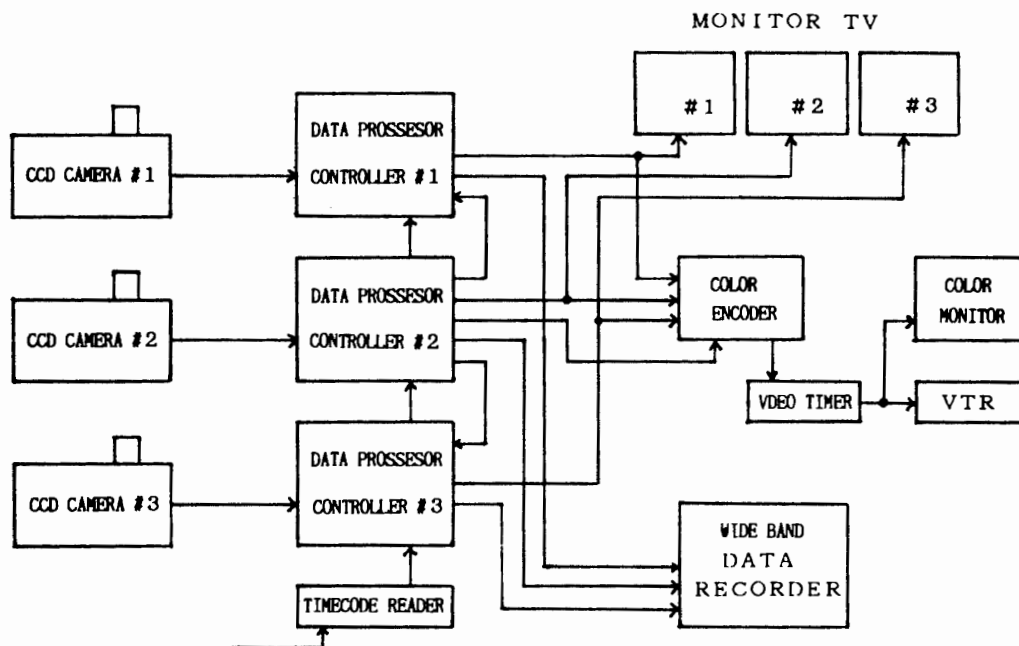


図9 3台のテレビカメラ観測による単色光撮像システム図。3台のテレビカメラを用いる場合、#1、#2および#3の各テレビカメラに対応して、データ処理部ならびにモニターTVが配置されている。また、3台のTV画像はカラー合成されてVTR記録される。PCM記録は高速データレコーダーにより行われる。

Fig. 9. Block diagram of the monochromatic imaging system operated at Syowa Station, Antarctica in 1984. Three TV cameras are operated simultaneously. Auroral images were monitored by TV's. PCM data were recorded by a wide-band data recorder with a maximum data transmission rate of 2.86M bit/s.

フレームメモリーに書き込まれたデータを高速で読み出して、アナログデータへ変換することにより、通常のモニターTVにより撮像されたオーロラ画像をモニターすることができる。ただし、フレームメモリーの読み出しならびに、ビデオ出力用D/Aコンバータを駆動するクロック(14.772MHz)はテレビカメラからのクロックとは非同期で発生している。

PCM信号発生部においては、PCMクロックに従って読み出されるフレームメモリーデータより、NRZ-L、DM-Mの2種類のPCM信号を発生させる。NRZ-L信号はデータレコーダによるPCMデータ記録に際して、最大の記録密度が得られる反面、データに“0”あるいは“1”が連続した場合同期が取れず、データの再生ができなくなる欠点がある。これに対し、DM-M信号は、データの内容にかかわらず同期が取れるが、記録密度はやや落ちてしまう。両者の変調方式の選択は、これらのPCM変調方式の持つ性質を考慮しつつ、実際の観測時において決定された。

PCMフォーマットは図5のフレームメモリーのフォーマットそのものとなる。本テレビ信号は、1マイナーフレームが390バイトと比較的長いため、フレーム同期信号は4バイト(FAF 3 2 0 8 F)を採用した。(図8参照)

### 2.3. データ記録

図9に示すようにデータ記録は高速のアナログデータレコーダおよび、モニター画像を収録するVTRにより行われる。データレコーダ(M-101)は広帯域仕様により最大2.8 MHz(120 IPSにて)までの信号の記録が可能である。しかしながら最大限の周波数特性の性能を出すためには、テープの状態や仕様による細かな調整を必要とし、またPCM信号再生時の誤り率も高くなるため、最高のテープスピード(120 IPS)におけるPCMビットレートは、NRZ-L変調にて2.86 MBPS, DM-M変調にて1.43 MHzとした。データレコーダは7トラック仕様であり、3台のテレビカメラによる同時観測時は、磁気テープの送り1往復の記録が行われることとなる。

3台のカメラを用いた観測のパラメータは通常、#1、#2および#3のカメラにてそれぞれ6300 Å, 5577 Åおよび4278 Å(あるいは4861 Å)の波長における観測が行われ、各カメラの露光時間は6300 Åの撮像が2.13秒、5577 Åが1.06秒、4861 Åおよび4278 Åが2.13秒と設定された。このとき#1および#3のカメラによる信号はDM-Mにて、また#2のカメラによる信号はNRZ-LによるPCM信号として、60 IPSのテープスピードで記録した。1巻の磁気テープは、9200フィートの全長を持ち、約9000フィートが記録に使用されるが60 IPSのスピードにて往復約30分間の連続記録が可能である。この時3台のカメラによるオーロラ画像の合計は、上記観測モードの場合約6800フィールドとなる。

## 3. 昭和基地における観測

### 3.1. 機器配置

昭和基地における単色光テレビ観測は、通常の観測の他に特殊なオペレーションとして i) ロケット観測(S-310JA-8, -9および-10号機)との同時観測, ii) 科学衛星EXOS-Cとの同時観測, iii) S16およびラングホブデとのオーロラ立体観測, および iv) アイスランドとの共役点オーロラ同時観測が実施された。通常のオーロラ観測, ロケットや人工衛星との同時観測, および共役点観測においては, テレビカメラ3台を昭和基地観測棟屋上に配置し(図10参照), 図9に示されたデータ収録システムにて観測が行われた。

また, オーロラ立体観測はS16付近(69°01.00'S, 40°02.28'E, 高度550 m: オングル島周辺作業図(1979)による)において1984年8月22日より8月28日まで, またラングホブデ小湊湾岸(69°10.82'S, 39°41.17'E: ラングホブデ図(1968)による)において1984年9月19日より9月25日までそれぞれ実施した。立体観測は, 昭和基地観測棟との間に約18.5km(S16の場合)あるいは約19.8km(ラングホブデの場合)の基線距離を持つ2点よりオーロラを同時に観測し, その発光高度を測定する目的で実施された。この場合, 移動観測点には#1の撮像システム, データレコーダおよびVTRを各1台, そのほか発電機, 居住カブースな

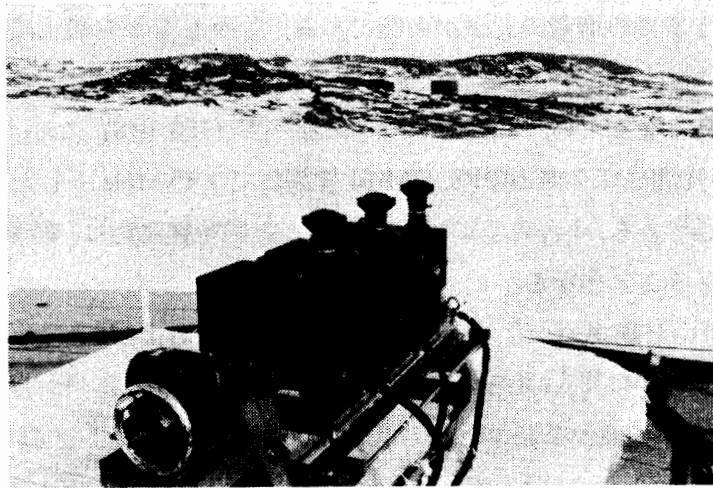


図10 昭和基地観測棟に配置された3台のテレビカメラ

Fig. 10. Three TV cameras mounted on the roof of the observation hut at Syowa Station.

どを配置して観測を行った。また昭和基地においては、#2, および#3のシステム, 並びにデータレコーダなどを用いた観測が行われた。

### 3.2. 観測パラメータ

観測のパラメータは、レンズの種類 ( $f=8, 16$  および  $35\text{mm}$ ), レンズ光軸の方向 (天頂あるいは磁気天頂), PCM 記録データの間引き率, カメラの駆動クロック, ND フィルター番号, および干渉フィルター番号である。レンズの種類および光軸の方向は、観測ノートに

表3 PCM記録されているステータスデータと画像の間引き率, 露光時間, およびNDフィルター透過率の関係

Table 3. Sample rate, exposure time and transmission rate of ND filters corresponding to the status data in PCM data.

ステータスデータ	間引き率	露光時間 (s)	N/Dフィルター透過率 (%)
0	1 : 1	-	100
1	2 : 1	-	35
2	4 : 1	-	10
3	8 : 1	0.53	3.5
4	16 : 1	1.06	0.1
5	-	2.13	-
6	-	4.26	-
7	-	8.58	-

**表4** 1984年の昭和基地における単色光撮像に使用された干渉フィルターならびに対応するテレビカメラステータス

*Table 4. Interference filters used in TV observations at Syowa Station, 1984.*

カメラID	ステータスデータ				
	0	1	2	3	4
#1	Off	Panchromatic	G	5577 Å	Band
#2	Off	Panchromatic	R	6300 Å	5577 Å
#3	Off	Panchromatic	B	4278 Å	4861 Å
(1984年5月23日まで)					
(Panchromatic: 4000~9000 Å) ; (Band: 6700~7400 Å)					
#1	Off	Panchromatic	R	6300 Å	Band
#2	Off	Panchromatic	G	5577 Å	4278 Å
#3	Off	Panchromatic	B	4278 Å	4861 Å
(1984年5月24日より8月14日まで)					
#1	Off	Panchromatic	R	6300 Å	5577 Å
#2	Off	Panchromatic	G	5577 Å	Band
#3	Off	5577 Å	6300 Å	4278 Å	4861 Å
(1984年8月15日より9月30日まで)					

記録が残されているが、詳細な光学的アライメントの較正を行うため、星座を観測する観測モードを適宜設けて較正データが取得されている。データの間引率、カメラの駆動クロック（露光時間と対応する）、ND および干渉フィルターの種類は PCM データ内のカメラステータスマニターにて自動的に判別が可能となっている。ステータスマニターデータとそれぞれのパラメータとの対応を表3および表4に示す。

### 3.3. 感度較正

テレビカメラの感度較正は、昭和基地における標準形フォトメータとの同時観測データに基づく相互比較により行われる。ここでは、フォトメータの較正方法と、テレビカメラ感度較正への適応について述べる。

フォトメータの較正には標準光源を用いたプロジェクターによるものと天空薄明光を用いた薄明時観測データを用いるものと二通りの方法を行った。標準光源によるプロジェクターはスクリーン面が均一な光度となる拡散面となるように作られている。フォトメータよりスクリーンを見込む立体角が、フォトメータの視野立体角（約0.01ステラジアン）より大きい場合には、フォトメータへ入射する光束はスクリーン面とフォトメータの距離によらず一定となる。このため、スクリーン面の明るさは、観測時のオーロラ光強度の単位と同一の単位 (Rayleigh) にあらかじめ較正することができる。今回用いたプロジェクタースクリーン面は、5577 Å 付近では、11.7 R/Å の分光輝度を持つ。5577 Å フォトメータの受光波長幅が 55 Å であるから、このスクリーン面をフォトメータにて観測した場合、フォト



メータに入射する光は、約 640 R の 5577 Å オーロラに対応することとなる。昭和基地においては、3月9日および9月16日に、この方法による較正を実施した。較正の結果、フォトメータのデジタルデータに対して、3.7 R/digit の較正值を得た。また 4861 Å (H $\beta$ ) のフォトメータについても同様にして較正值が得られた。4278 Å についても同様の較正が可能であるが、プロジェクタースクリーン面の輝度は 4278 Å には厳密には較正されていない。このため 4278 Å の較正值は、天空薄明光観測より得た。

薄明時の天空光強度は、太陽天頂角に対して実測したデータが公表されている。快晴時における薄明光観測 (1984年9月15日および9月17日実施) によれば、4278 Å 天頂フォトメータと 5577 Å 掃天フォトメータの較正值は、各々 5.6 および 3.8 R/digit である。5577 Å の較正值が標準光源によるものと良い一致を示すことから、4278 Å フォトメータの較正值として 5.6 R/digit との結論を得た。このようにしてテレビ観測とフォトメータによる同時観測により 5577, 4861, 4278 Å における較正值が得られた。

6300 Å については、標準光源、天空薄明光ともに信頼性の高い標準データが得られていない。このため観測結果の画像中に見られる銀河レベルを抽出し、銀河中心の輻射強度 ( $9.5 \times 10^{-7}$  erg/cm $^2$  · s · Å: 理科年表(1982)による) により較正值とした。

以上の較正值を用いたテレビカメラ観測 (露光時間を 2.13 秒, ND フィルターの透過率 100% とする) 時の較正值の例を表 5 に示す。

オーロラの発光強度はディスクリットオーロラでは数 kR ~ 数 10kR, パルセーティングオーロラでは数 kR 以下, また弱いディフューズオーロラでは数 100 R という観測値が報告されている。表 5 に示される本オーロラ撮像装置の感度はこれらのオーロラを十分な感度にて観測できるものである。また EATHER and JACKA (1966) と EATHER (1968) によれば、オーロラプロトンによる H $\beta$  輝線の発光は約 100 R, また 5577 Å の発光が数 100 R の強さを持つすなわち、これらプロトンオーロラに対しても本システムは十分な感度を持って観測することが可能である。

**表5** 単色光撮像データの感度較正值の例 (1984年5月24日より8月14日に至る感度較正值), ただし, NDフィルターの透過率100%, 露光時間を2.13秒とした場合

*Table 5. Calibrated coefficients for digital data for principal auroral emission lines. Coefficients are given for the 100% transmission rate of ND filter and 2.13 s of exposure time.*

カメラID	オーロラ輝線	感度 (R/digit)
#1	6300 Å	4.8
#2	5577 Å	3.8
#3	4278 Å	66.1
	4861 Å	10.2

## 4. データ処理

### 4.1. データ編集

PCM データとして、広帯域アナログデータレコーダにより記録されたテレビカメラ観測データは、国立極地研究所情報処理センターにおける PCM データ処理装置を用いて、電算機処理の可能なデジタルデータとして編集される。編集作業における処理装置ブロック図を図 11 に示す。

データレコーダより再生される PCM データは、ビットシンクロナイザーにより PCM クロック信号とビットシリアルデータとに分離される。フレームシンクロナイザーにおいては、PCM データのフレーム同期コード（本テレビカメラシステムの場合“FAF 3208 F”）を検出して、ビットシリアル信号を 8 ビットからなるワード単位に変換し、ワード信号を識別する。ただし、PCM データ処理装置は、1 ワード 16 ビット構成での処理まで可能であることから、処理速度を速め、また編集後のデータの記録密度を高めるために、編集作業においては、データの 2 画素分（16 ビット）を 1 ワードとして処理されている。フレームシンクロナイザーにより再生された各ワードデータは、フレーム同期信号より始まるワード順の番号（1～195 ワード）に従って大型電算機（M-260H）内の PCM データ収集用ファイルに格納される。ここでフレーム同期を取るフレームシンクロナイザーのパラメータは、テレビ観測データの形式に合わせて設定する必要があるが、これらは小型電算機 H-20E によりコントロールされる。表 6 に H-20E より入力されるパラメータを示す。ただし、表 6 中、項番 09, 10, 11, 12, 13 および 16 のパラメータは、ここでの 1 次編集処理においては、重要な意味はない。1 次編集作業の結果は、大型電算機内のミニコンデータ収集用ファ

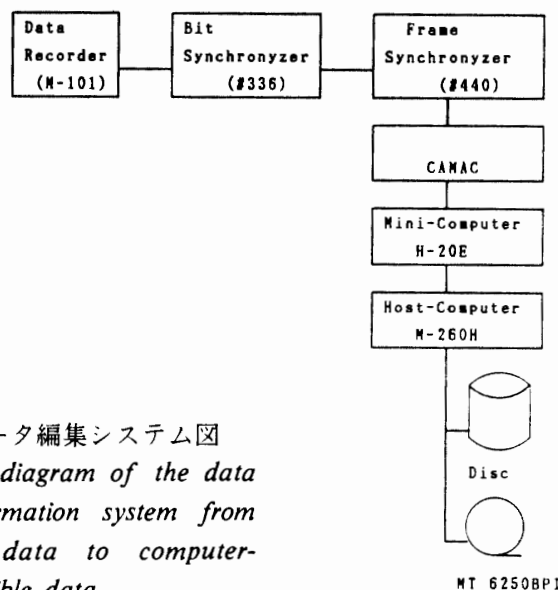


図11 PCMデータ編集システム図

Fig. 11. Block diagram of the data transformation system from PCM data to computer-compatible data.

表6 H-20E 小型電算機に登録されたPCMデータ編集用パラメータ  
 Table 6. Data processing parameters for a mini-computer H-20E.

```

MNO1 H-20E MONITOR START
MQ12 KEY IN USER-ID. (MAX 16 CHAR.)
  0N0
MQ10 REPLY SHORT MODE (T/P/F/A/L/C/Q) ?
P

PNO1 PCM START
PQ10 REPLY PARM. TABLE NO. (0-9) ?
8
*** PARM. TABLE LIST ***      PCM STANDARD TBL ¶
01 SATELLITE NAME (MAX 6 CHAR.)      <VAT   >
02 BIT RATE (MAX 6 CHAR.)            <357500>
03 FRAME SYNC PATTERN IN HEX. (MAX 5 CHAR.) <FAF320BF>
04 WORD LENGTH IN BIT (MAX 2 CHAR.)  <16>
05 MINOR FRAME LENGTH IN WORD (MAX 5 CHAR.) <195   >
06 MAJOR FRAME LENGTH IN WORD (MAX 5 CHAR.) <3900   >
07 440 PROG. TABLE IN BINARY (FST-WINDOW) <11100011>
08 440 PROG. TABLE IN BINARY (BYP-LPATT) <0000000001000000>
09 DATA REC (R410/H101) ?          <R410>
10 TIME CODE (Y/N) ?                <N   >
11 SEARCH TAPE SPEED (SSP3-SSP10)    <SSP9   >
12 PLAY BACK TAPE SPEED (PSP3-PSP10) <PSP7   >
13 LOCK OFF DURATION FOR INTERRUPT IN SEC
   (MAX 2 CHAR.)                    <60>
14 DATA OUTPUT DEVICE (MT1-MT99/DK) ? <DK   >
15 DATA EDIT (Y/N) ?                <N   >
16 EDIT DATA OUTPUT FILE (MT1-MT99/DK) ? <MT4   >
PQ11 PARM. CHANGE (Y/N) ?
N
PQ13 KEY IN ORBIT NO. (NNNNNN)
0001
PQ14 KEY IN DATE (YYMMDD)
840101
PQ15 KEY IN TIME (HHMM)
0001
PQ16 KEY IN END CONDITION (BKNNNN/TIMMMM) ?
T1074
*** PARM. TABLE LIST ***      PCM NON-STANDARD TBL
01 ORBIT NO. (NNNNNN)              <0001   >
02 DATE (YYMMDD)                   <R40101>
03 TIME (HHMM)                      <0001>
04 END CONDITION (BKNNNN/TIMMMM) ? <T1074   >
05 TIME CODE START (DDHMMSS)       <.....>
06 TIME CODE STOP (DDHMMSS)        <.....>
PQ17 PARM. OK (Y/N) ?
Y
PQ21 KEY IN DEC0M-440 (1/2/3=PR0M/MANU/H20) ?
3
      *** DEC0M-440 SENSE INFORMATION ***
      FA F3 20 8F FF FF FF
      FF E0 78 CC ' 30 00 40

PQ17 PARM. OK (Y/N) ?
Y

```

イル'SYS1. H20E. DATA'に収納される。ファイル中には、先頭のヘッダー情報の後、1ブロックごとに20マイナーフレーム分のデータがフレーム同期ワードを先頭に配置されている。1ブロック中の有効データは7800バイトである。1回の1次編集により、約1700フィールド分のテレビ画面に相当するデータが処理されて、大型電算機内の作業ファイル上に格納される。

データの2次編集処理(プログラム VATMT)においては、作業ファイル内へ格納されている1次処理済データを読み出し、データをマイナーフレームのフレーム番号順にならべて磁気テープ上へ出力する作業が行われる。ここでPCM信号より再生されたデータは $10^{-4} \sim 10^{-5}$ の確率で誤りを持っているため、特にデータをマイナーフレームの順にならべる処理においては、この誤りやデータの欠損の可能性を見込んでおく必要がある。ここでは、連続して取得された3つのマイナーフレームのフレーム番号データ相互を比較することにより、三つのうちの一つのマイナーフレームのカウントデータに誤りがあってもこれを検出し、誤りを訂正する方法が取られている。

表7 編集テープの形式  
Table 7. Format of the edited image data tape.

Tape	: 6250BPI, NL
Record Format (RECFM)	: VS
1st block	: 80 bytes (observation parameter data)
Data block	: 95550 bytes

2次編集により出力される磁気テープ上のフォーマットを表7に示す。磁気テープの先頭ブロックは80バイトあり、磁気テープのボリューム番号、観測条件などの情報をユーザーファイル'TSS. DATA ( PARM )'より読み出し、80バイトの長さへ編集した後、これを出力している。第2ブロック以後は、95550バイト(=390×245バイト)で構成され、1回の磁気テープのREAD文により、テレビ画面1フィールド分のデータを1度に読み込みが可能となっている。表8に、2次編集テープを読んで、磁気テープのボリューム番号および100フィールド目のデータの観測時刻をリスト出力するプログラムの例を示す。2次編集の結果については表9の例に示されるようにサマリーリストが出力される他に、各画像におけるテレビカメラのステータス情報並びに磁気テープボリューム番号などが、自動的にユーザーファイル'VAT. DATA'に登録される。これによって、編集済みのデータの管理が集中的に行われることになる。

#### 4.2. 画像処理プログラム

画像処理プログラムは、編集された画像データを表示する表示プログラム群と、画像デ

表8 編集データテープの読み出しプログラム例

Table 8. An example of the FORTRAN program to readout a header information of 80 byte data and also readout the observation time of 100th auroral image data in the tape.

```

INTEGER*2 F(195,245),G(47775),IMT
CHARACTER ISTATE*80,IHH*1,IMM*1,ISS*1
EQUIVALENCE (F,G)
DATA ISKIP/100/
C
READ (10,END=999) ISTATE
CALL MOVEC(IMT,1,ISTATE,1,2)
WRITE (6,100) IMT
100 FORMAT (1H ,5X,`MT VOLUM NO ` , 2X,I3)
C
DO 200 I=1,ISKIP
READ (10,END=999) G
200 CONTINUE
C
CALL MOVEC (IHH,1,F(6,1),1,1)
CALL MOVEC (IMM,1,F(6,1),2,1)
CALL MOVEC (ISS,1,F(7,1),2,1)
WRITE (6,300) IHH,ISS,ISS
300 FORMAT (1H ,5X,`OBSERVATION TIME`,5X,
&Z2,2X`HOUR`,2X,Z2,2X,`MIN`,2X,Z2,2X,`SEC`)
STOP
END
//GO.FT10F001 DD DSN=IN,UNIT=M6250,VOL=SER=MTIN,
//          DISP=SHR,DCB=(RECFM=VS,BLKSIZE=32760),
//          LABEL(1,NL,,IN)

```

表9 データ編集時に出力されるサマリーリスト例

Table 9. An example of a summary list output by the data editing program.

VAT OBSERVATION AT SYOWA												1984 /07/18 19:50:00		START
MT VOLUME		61	LENS: F=		8									
QUIET ARC #2														
	TD	DATE	HH	MM	SS.HS	COLOR	ND(DB)	CLOCK	SAMPLE	LIN/LOG	CAMERA	ID	MJFN	
START	200	7/18	19	45	40.10	5577A	-20	4	0	0	2	2		
	200	7/18	19	48	12.70	5577A	-30	4	0	0	2	286		
END	200	7/18	19	51	24.60	5577A	-30	4	0	0	2	647		
START	200	7/18	21	54	25.30	5577A	-30	4	0	0	2	648		
END	200	7/18	21	56	1.20	5577A	-30	4	0	0	2	827		
START	200	7/18	22	31	34.90	5577A	-20	4	0	0	2	828		
	200	7/18	22	35	11.0	5577A	-30	4	0	0	2	1234		
END	200	7/18	22	36	33.10	5577A	-30	4	0	0	2	1387		
START	201	7/19	0	44	59.10	5577A	-30	4	0	0	2	1388		
	201	7/19	0	47	22.30	5577A	-20	4	0	0	2	1656		
	201	7/19	0	47	25.30	5577A	-30	4	0	0	2	1662		
END	201	7/19	0	47	43.60	5577A	-30	4	0	0	2	1695		
TOTAL OUTPUT												1696	PICTURES	

ータに対しさらに詳しい解析を実行する解析プログラム群とに大別される。ここでは主要な表示プログラムおよび解析プログラムについて述べる。

画像表示プログラム (VAT) においては、磁気テープ上の画像データを指定した時刻に従って検索し、カラーグラフィックディスプレイ (RAMTEC) 装置上に、オーロラの強度を疑似カラー表示する機能のほか、画像を電離層地磁気座標系に変換する座標変換機能および画像の平滑化処理などをカラーグラフィック表示を見ながら行う機能を有する。また、VATプログラムでは表示された画像のオーロラ強度断面図ならびに画像上の任意の点の位置データ (X, Y) をディスプレイ上のカーソルを使用して求めることができる。図 12 に VATプログラムにおけるメインプログラムおよび主たるサブルーチンプログラムの系統図を示す。

オーロラ強度の強調表示の場合、画像データの演算は直接には行われず、COLOR サブルーチンにおいてデータに対応する配色を変更することにより行う。表示される色は 256

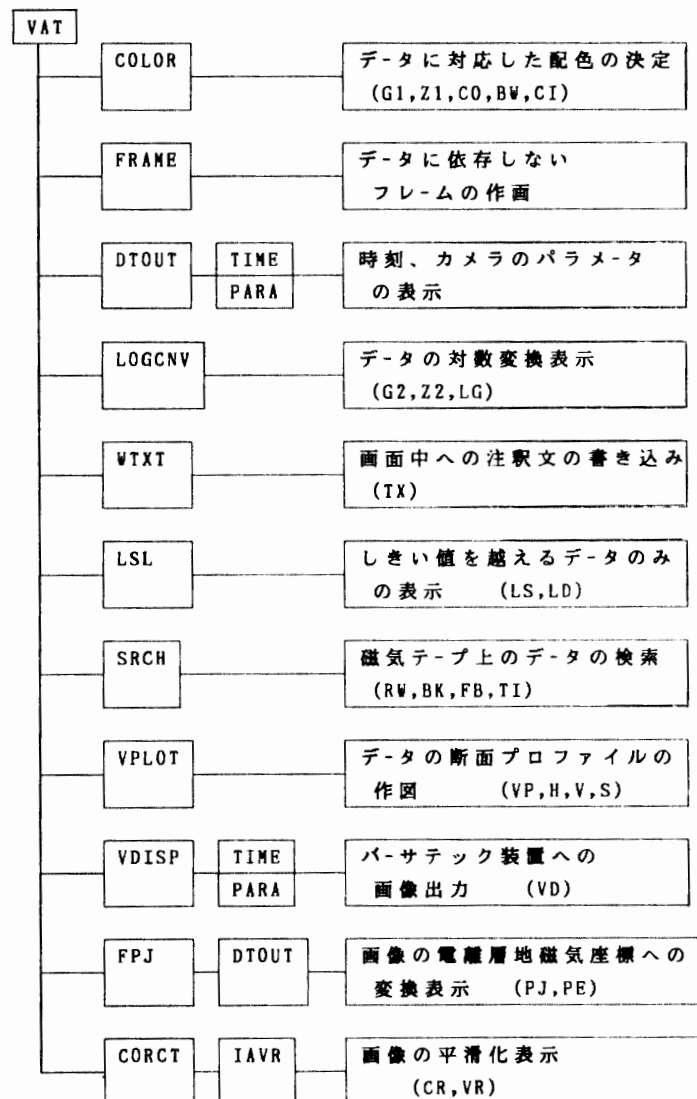


図 12 VATプログラム系統図ならびに主たるデータ処理機能。機能欄の( ) 中にはコマンド名を示す。

Fig. 12. Subroutine profile of the VAT program.

段階に変化する R, G, B の 3 色の組み合わせより、64 種類を選択することが可能であるが、本プログラムでは、疑似カラースケール表示および白黒のグレースケール表示の 2 種類が選択できる。データの検索を行う SRCH サブルーチンでは、画像データの順方向あるいは逆方向のスキップ、あるいは観測時刻を指定してのデータ検索が行われる。オーロラ画像上の任意の基線に沿った強度プロファイルは、VPLLOT サブルーチンにより図形として出力される。この場合、強度断面を得るべき位置はグラフィックディスプレイ上に現われるカーソルにより指定され、強度プロファイルはバーサテック図形出力装置にて出力される。さらにバーサテック装置によりモニター画面上のオーロラ画像を濃度並びに等高線表示にて出力することが、VDISP サブルーチンにより可能となっている。

微弱なオーロラ光を高感度で撮像する場合光の量子効果、イメージ増倍管において発生するランダムなノイズ電流の影響、あるいは PCM データのビットエラーにより観測された画像の S/N 比は見かけ上悪化する。この場合 CORCT サブルーチンを用いて画像の平滑化処理を行い、見かけの S/N を改善することが可能である。平滑化処理の中で使用されている IAVR サブルーチンでは与えられた画素の位置 (Ix, Iy) を中心に  $(2N+1) \times (2N+1)$  個の画像データ中、最大値および最小値となるデータを無視して、その他のデータについての平均値を得る方法が取られている。この方法を採用することにより、特に PCM データ中のビットエラーに基づく S/N の劣化は、ほぼ完全に排除することができる。

昭和基地にて観測されたオーロラの画像をその発光位置における地磁気座標系に変換して表示することは、オーロラの形や運動の解析あるいは人工衛星などによる観測データと照合させての解析に不可欠である。ここでは、地磁気座標系として補正地磁気緯度および経度を使用する (ONO, 1987)。いま、オーロラの発光高度を  $h$  と仮定した場合、その発光位置と観測点よりオーロラを見なす天頂角 ( $\theta$ ) との間には、図 13 に示されるように、

$$(a+h) \cdot \sin \alpha = ((a+h) \cdot \cos \alpha - a) \cdot \tan \theta, \quad (8)$$

ここで

$$r = a \cdot \alpha, \quad (9)$$

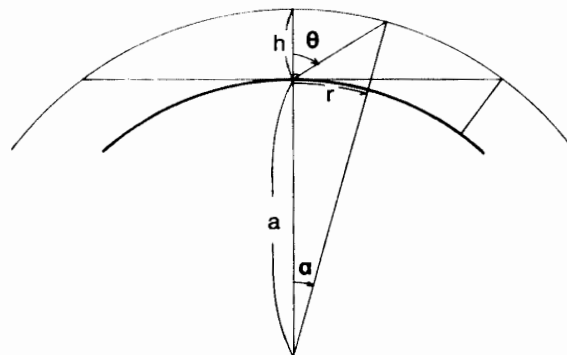


図13 観測点よりオーロラを見なす天頂角とオーロラ発光位置との関係

Fig. 13. Geometrical relationship between the auroral position and observed zenith angle from an observation site.

の関係がある。a,  $\alpha$  は各々地球半径ならびに観測点よりオーロラの発生位置の真下の点に至る距離を示す。上記の関係式およびオーロラ発光位置の地磁気座標を用いることにより座標変換が可能となる。しかし、実際の解析のアルゴリズムにおいては、以下のように、地磁気座標系表示画面上の各画素に対応した観測データ中の画素の位置が求められることとなる。

i) まず、地磁気座標系表示画面上の各画素の補正地磁気座標  $P_m(X_m, Y_m)$  を持つ、地理座標  $P_e(X_e, Y_e, h)$  を求める。h はオーロラの高度である。この計算に先立っては高度 0 および 100 km に対応する 1°きざみの地磁気座標格子点ごとに対応する地理座標があらかじめ求められている。オーロラ高度における地理座標値はこのテーブル (ユーザーファイル 'MGF. MGTBL') を利用した 1 次補間により算出する方法が採られている。

ii) 高度 0 にある観測点  $P_s(X_s, Y_s)$  よりオーロラの発光位置  $P_e(X_e, Y_e, h)$  を見通す場合の方位角 ( $\tau$ ) および天頂角 ( $\theta$ ) を、

$$\cos \alpha = \sin Y_s \cdot \sin Y_e + \cos Y_s \cdot \cos Y_e \cdot \cos(X_e - X_s), \quad (10)$$

$$\sin \tau = \frac{\cos Y_s \cdot \sin(X_e - X_s)}{\sin \alpha}, \quad (11)$$

ならびに式(8)より

$$\tan \theta = \frac{(a+h) \cdot \sin \theta}{(a+h) \cdot \cos \theta - a}, \quad (12)$$

により求める。

iii) TV 画面上の方位角  $\tau$ 、天頂角  $\theta$  の位置を CCD 画素上の番地  $P_c(I_x, I_y)$  として求める。たとえば魚眼レンズにより、光軸を天頂に向けて得られたオーロラ画像データについては、画像中のレンズ光軸の位置を  $P_L(X_c, Y_c)$ 、 $P_L$  より魚眼レンズ像の端 (水平線と一致する) までの距離を  $R$  (魚眼レンズ像の半径) また、 $P_L$  から見た地理北の方向を  $\tau_0$  とし、

$$r = \frac{\theta}{90^\circ} \times R, \quad (13)$$

$$\phi = \tau_0 + \tau \quad (14)$$

とおくと、CCD 画像上の  $P_c$  の位置は

$$I_x = X_c + r \sin \phi, \quad (15)$$

$$I_y = Y_c - r \cos \phi \quad (16)$$

により決定することができる。

このような手順にてオーロラ発光高度  $h$  を仮定した場合の  $P_m(X_m, Y_m) \rightarrow P_c(I_x, I_y)$  の対応表をユーザファイル 'VAT. PXAD' 中にあらかじめ作成する。表示プログラム中では、上記の変換式による計算を各画素に対して逐一行うことはせず、対応表を参照することにより座標変換表示が高速で実施されている。図 14 に魚眼レンズによるオーロラ画像の座標変換結果の例を示す。

オーロラ画像の解析プログラムの一つとして時系列に沿って取得された多数の画像の自



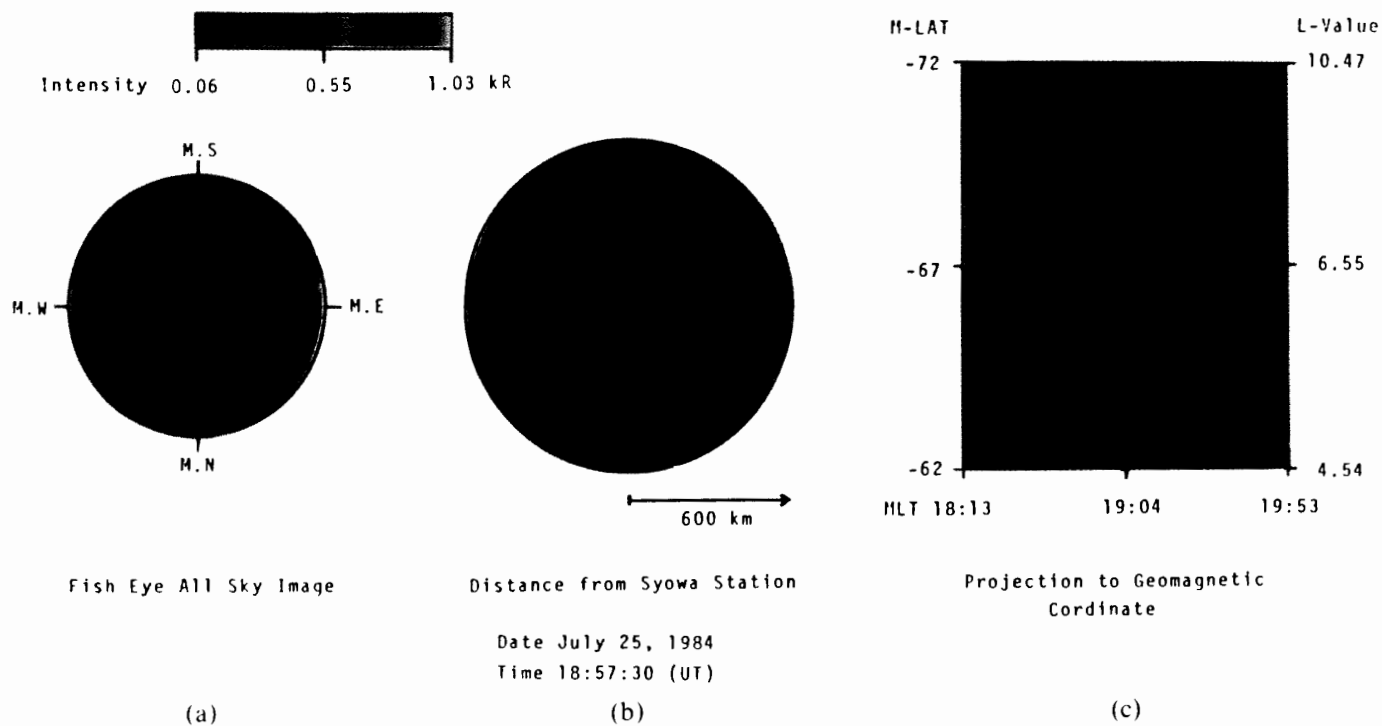


図14 魚眼レンズを用いて撮像されたオーロラ画像の座標変換表示.  $5577 \text{ \AA}$ にて撮像された夕方側ステープルオーロラ(1984年7月25日,18時57分30秒撮像)を,オーロラ高度100kmを仮定し,昭和基地からの距離(図13のrに対応する)による表示(b),ならびに地磁気座標系への座標変換表示(c)を示す.

Fig. 14. A stable aurora observed at Syowa Station at 18:57:30 on July 25, 1984, by using a fish-eye lens. The fish-eye image (a) is converted to an equidistance display of subauroral position (b) and to a geomagnetic coordinate system (c).

己相関解析を行う手法が確立された。これはオーロラの代表的な形態の一つであるパルセーティングオーロラについてオーロラが点滅する様子を2次元的に表現することのできる手法である。時間的に等間隔に取得された  $N$  枚のオーロラ画像中の1画素のデータを  $X_n$  ( $n=1, \dots, N$ ) とする時、その平均値  $\bar{X}$  は

$$\bar{X} = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N X_n \quad (17)$$

となる。

また、 $N$  個のデータの持つ標準偏差  $\sigma$

$$\sigma^2 = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (X_n - \bar{X})^2, \quad (18)$$

ならびに自己相関関数  $Y_m$  ( $m=1, \dots, M$ )

$$Y_m = \frac{1}{N} \cdot \frac{1}{\sigma^2} \sum_{n=1}^N (X_n - \bar{X}) \cdot (X_{n+m-1} - \bar{X}), \quad (19)$$

が定義される。ここで  $Y_m$  の最大値を与える  $m$  を  $J$  とし

$$Y_J = \text{Max}(Y_m, m=1, \dots, M), \quad (20)$$

とおくと、 $J$  は  $X_n$  の周期的変動の周期に相当する量として得ることができる。また、 $Y_J$  の値の大きさは、変動の周期性の強さを表す量と考えることができる。ただし解析の都合上

$$M = N/2 \quad (21)$$

および

$$X_{n+m-1} = \bar{X} \quad (n+m-1 > N \text{ について}) \quad (22)$$

の制限が付加されている。オーロラ画像の各画素について上記の自己相関解析を行い、標準偏差  $\sigma$ 、 $Y_J$  および  $J$  の値を画素の位置に与えることにより、これらを画像として表示することができる。即ち  $\sigma$  の画像はオーロラ光強度変動量の分布を、 $Y_J$  の画像は周期性の高い強度変動を示す領域の分布を、さらに  $J$  の画像は、周期の空間分布をそれぞれ表示することができる。これらの画像はオーロラ画像データと同一のフォーマットに処理結果を格納され、前項の画像表示プログラムによる表示が行われる。

## 5. 観測結果

1984年の昭和基地における観測は3月20日より9月30日まで行われ、約100万コマの単色光オーロラ画像がデジタルデータとして取得された。観測結果はオーロラ活動の状態に応じて、1) faint diffuse, 2) pulsating evening side, 3) stable arc, 4) stable arc with intense 6300 Å, 5) break up, active arc, 6) post break up diffuse, 7) post break up pulsating, 8) pulsating dawn side, 9) 星座観測による Calibration, に区分されて整理されている(付表参照)。

図15に6300 Å, 5577 Å および 4861 Å にて観測された典型的な夕方側ステープルオーロ

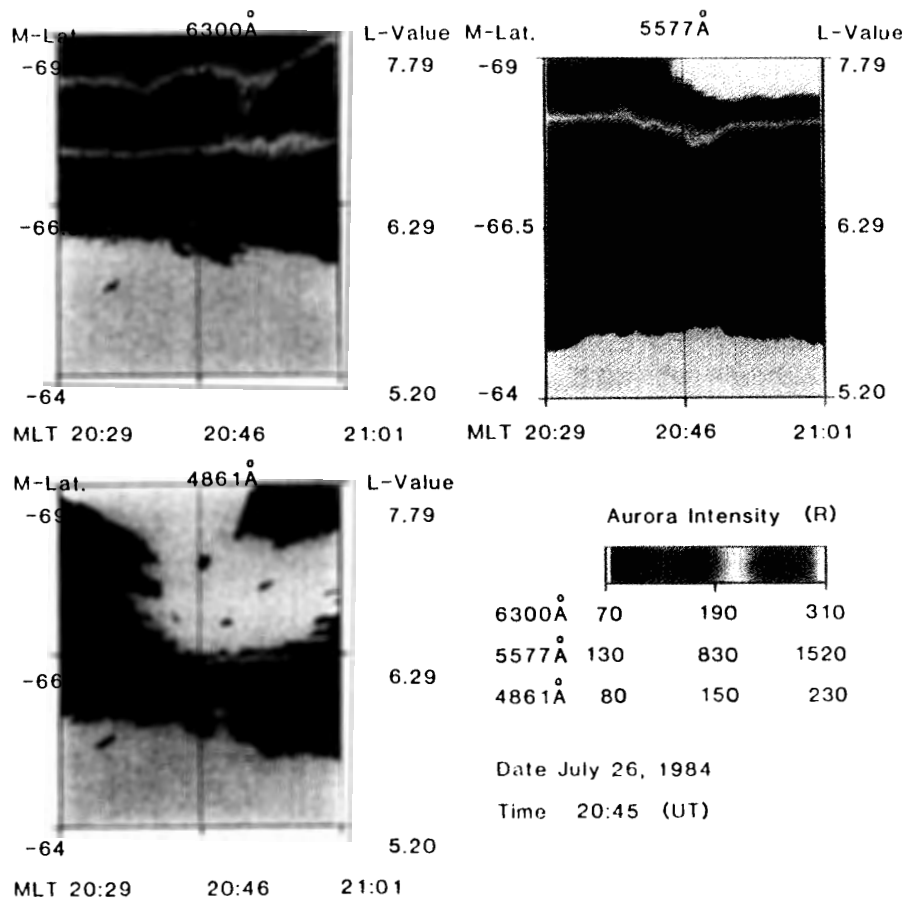


図15 1984年7月26日20時45分において観測された、6300 Å、5577 Åおよび4861 Åのステーブルオーロラ像

Fig. 15. 6300, 5577 and 4861 Å ( $H\beta$ ) images of stable aurora observed at 20:45 (UT) on July 26, 1984 at Syowa Station. Auroral images are displayed in geomagnetic coordinate assuming an auroral height of 100 km. Stable discrete arcs are found in 6300 and 5577 Å images in the higher latitude region from Syowa Station. In 5577 Å image, a diffuse auroral band is observable in lower latitude ( $-66.5^\circ \sim -65^\circ$ ) with good correspondence with a 4861 Å proton auroral region. A displacement of the positions of intense discrete auroral arcs in 6300 and 5577 Å images is interpreted as an effect of difference of emission heights of these auroras.

ラの画像を比較して示す。各画像のほぼ中心が昭和基地磁気天頂と対応する。ここでは、オーロラ発光高度を 100km と仮定した座標変換が行われている。オーロラ強度は、青より白色に至る疑似カラーにて表示されている。また、オーロラ強度のない部分は白く表示している。6300 Å および 5577 Å の画像の上半分中には、ステーブルディスクリートアークが現れている。5577 Å には地磁気緯度  $-66.5^\circ$  より低緯度側にも薄いオーロラがベルト状に見えるが、この領域は  $H\beta$  (4861 Å) で見えるオーロラベルトの位置と一致している。すなわち、5577 Å でオーロラを見た場合、高緯度側には電子で発光するステーブルディスクリー

トオーロラが、低緯度側にはオーロラプロトンにより発光するディフューズオーロラが現れるものと考えることができる。このような夕方側オーロラオーバルにおける電子オーロラとプロトンオーロラとの位置関係は、掃天フォトメータ観測を基に、FUKUNISHI and TOMATSU (1973)や FUKUNISHI (1973) により主張されていたものであるが、今回の単色光撮像の結果は、それを裏付けるものであった。この夕方側オーロラオーバルの構造については、ONO *et al.* (1987c) により、人工衛星によるオーロラ粒子観測との直接比較によっても確認された。

また、図 15 中 6300 Å と 5577 Å で見た場合、ディスクリートオーロラの中心となる緯度は、6300 Å のオーロラの方が低緯度側に存在するように見えるが、これはオーロラ発光高度が 6300 Å 輝線については、5577 Å の発光高度よりも高いことを反映するものである。図 16 に昭和基地天頂を通る地磁気南北の子午面に沿う、6300 Å, 5577 Å および 4861 Å のオーロラ強度プロファイルを示す。

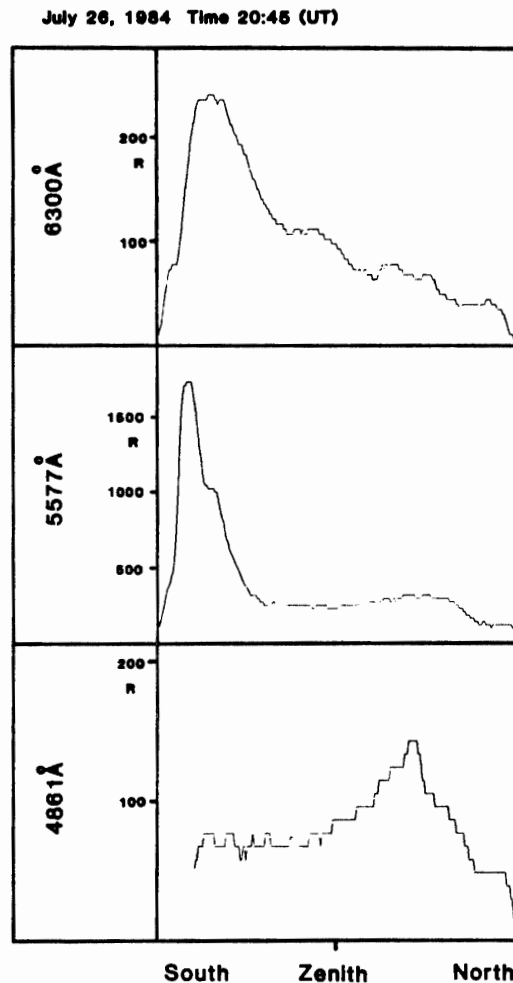


図16 オーロラ強度の磁気子午面断面図

Fig. 16. Magnetically meridional intensity profiles of stable auroras given in Fig. 15.

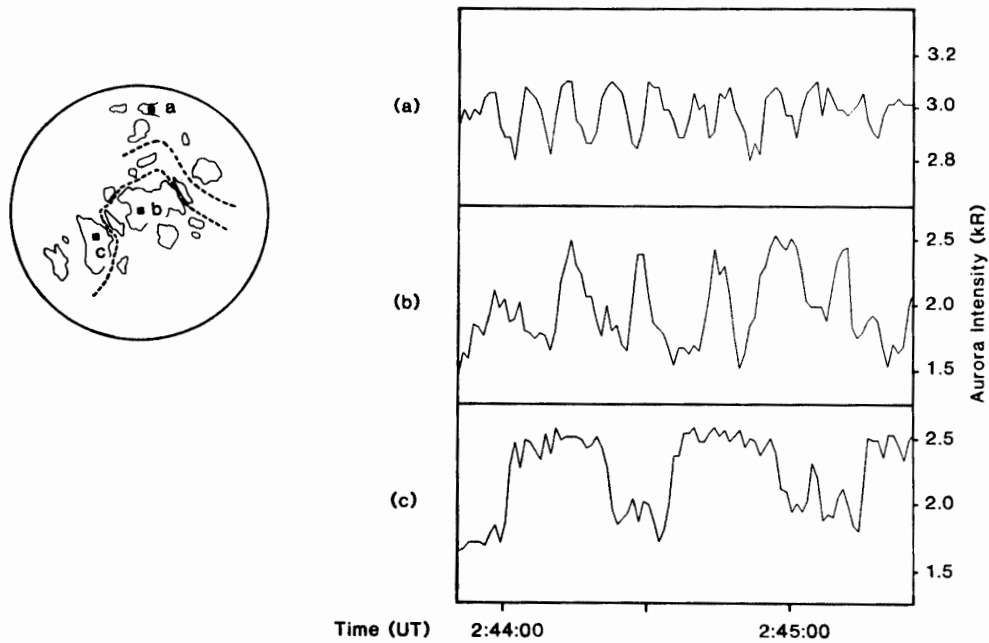


図17 パルセーティングオーロラパッチ強度の時間変化. 1984年7月26日2時43分51秒より2時45分27秒に至る変化を示す. a, b および c の3点における強度の時間変化は大きく異なる様相を呈している

Fig. 17. Time variation of pulsating auroral intensity detected at points a, b and c in successive auroral images observed from 2:43:51-2:45:27 (UT) on July 26, 1984.

図17に、1984年7月26日、2:43:51~2:45:27 (UT)に観測された昭和基地上空に現れたパルセーティングオーロラの強度変化を示す。パルセーティングオーロラの点滅するパッチのスケッチが左上に示されるが、スケッチ中 a, b および c の3点におけるオーロラ強度の変化が右側に図示されている。図に示されるように、オーロラ光強度変化の振幅や、その周期は、空間的に大きく異なることがわかる。この事例に対する自己相関解析の結果を図18に示す。

図18には、式(17)~(20)に示された  $X$ ,  $\sigma$ ,  $Y_j$  および  $J$  の空間的分布が表示されている。この事例は東方ヘドリフトするオメガ型のディスクリートオーロラのより低緯度に現れたパルセーティングオーロラが示されている。平均強度 ( $X$ ) の表示では、パルセーティングオーロラの形態は、強いディスクリートオーロラにマスクされている。標準偏差 ( $\sigma$ ) の画では、オーロラ光強度の変化が激しい領域として東方ヘドリフトしていくオメガバンドの先端領域およびパルセーティングオーロラが活発な領域が示されている。自己相関係数 ( $Y_j$ ) および周期 ( $J$ ) の表示では、高い周期性を保って点滅を繰り返すパルセーティングオーロラの形態が示される。なお、 $Y_j$  および  $J$  の表示では、周期性のない  $Y_j < 0.18$  の部分については表示していない。 $J$  の表示中特筆すべき点は多数のパッチの点滅がほぼ3種類の周期に分類される点である。すなわち周期約9秒のグループ、15秒のグループおよび33秒

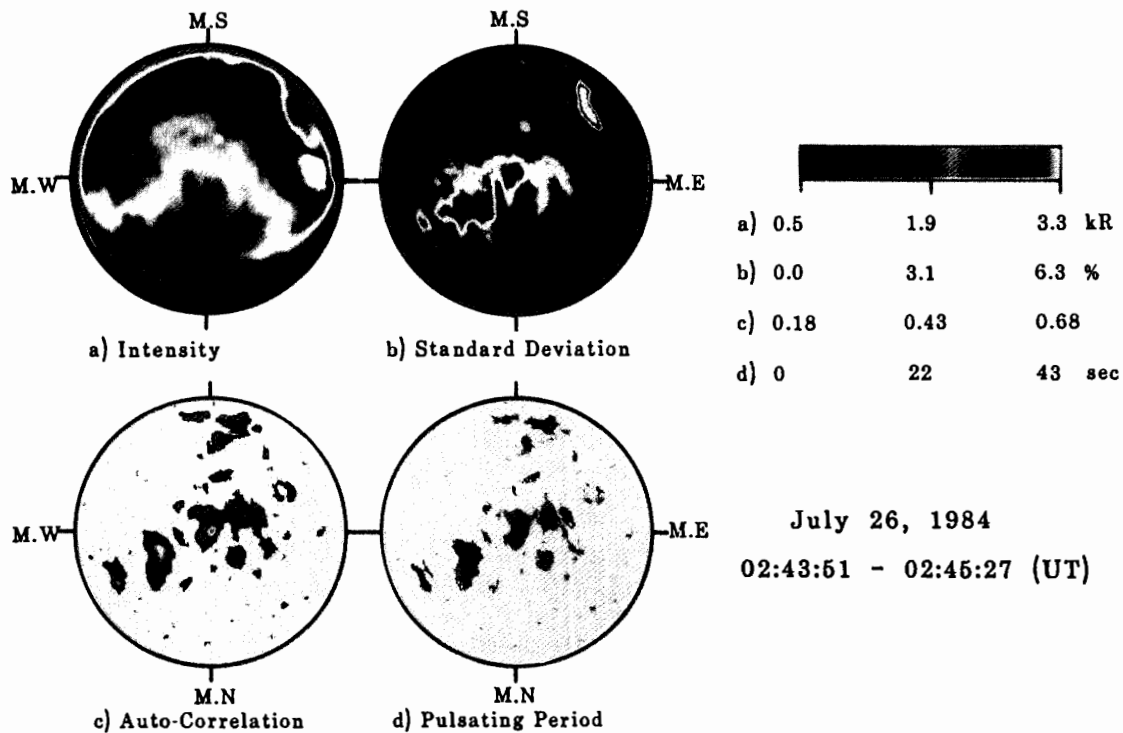


図18 1984年7月26日2時43分51秒より2時45分27秒におけるオメガバンドオーロラに呼応して現れるバルセーティングオーロラの自己相関解析結果 (図17データに対応する). オーロラ画像の各画素における、 a) 平均値 ( $\bar{X}$ ), b) 標準偏差 ( $\sigma$ ), c) 自己相関係数の最大値 ( $Y_1$ ) および d) 周期 ( $J$ ) を示す.

Fig. 18. Auto-correlation analyses of pulsating auroras associated with a drifting omega band observed from 2:43:51-2:45:27 on July 26, 1984 at Syowa Station. By analyzing auto-correlation functions for auroral pixels, a) intensity ( $\bar{X}$ ), b) standard deviation ( $\sigma$ ), c) auto-correlation function ( $Y_1$ ) and d) period ( $J$ ) are displayed. There can be seen a grouping of pulsating auroras with respect to their periods having pulsating periods of about 9 (blue), 15 (green) and 33 (red) s.

のグループが存在し、ほぼ全てのパッチの点滅周期がこれら3つのグループのいずれかに該当している。これら3つのグループの領域は、図17左上図の破線で示す分布をしていることが判明した。

## 6. まとめ

単色光オーロラ画像をイメージ増倍管と CCD とを組み合わせたテレビカメラにて観測し、これをデジタルデータとして記録するシステムが開発され昭和基地におけるオーロラ観測に使用された。デジタルデータによるオーロラ画像は国立極地研究所大型計算機にて処理が行われ、従来の全天カメラやテレビカメラによるオーロラ画像を用いた研究では困難であった地磁気座標へのオーロラ画像の座標変換や、周期変動成分の解析などが行

われるようになった。確立されたこれらのオーロラ観測およびそのデータ解析におけるハードウェアおよびソフトウェアを用いることにより、オーロラとオーロラ粒子との対応、さらには磁気圏の形態ならびにそのダイナミクスについて、より詳しい解析を行うことが可能となった。これまでの解析によっても、オーロラ粒子の種類やエネルギーとオーロラオーバルとの位置関係が明らかにされてきたほか、複雑に点滅するバルセーティングオーロラの実体を数量的にとらえ、その発生メカニズムを検討する研究が行われつつある。さらに本システムを共役点オーロラの観測に適用することにより、地磁気共役点に降下するオーロラ粒子の量や種類、エネルギーの違いなどを詳しく解析することが可能となり、磁気圏の全体像が解明されるものと期待される。

### 謝 辞

本テレビカメラシステムの開発にあたっては、小口高、国分征両教授のご指導をいただいた。ここに感謝の意を表したい。また、昭和基地における観測にあたっては、第25次日本南極地域観測隊メンバーの支援を得ることが不可欠であった。第25次観測隊のメンバー各位には深く感謝したい。データ処理にあたっては国立極地研究所大型計算機を用いてソフトウェアの開発が行われた。プログラムの相談に快く対応していただいた、同計算センターの桜井治男、内田邦男両氏の支援に対し深く感謝したい。なお本報告をまとめるにあたり佐々木真美さんの助力をいただいた。ここに感謝したい。

### 文 献

- AKASOFU, S.-I. (1968): Polar and Magnetospheric Substorms. Dordrecht, D. Reidel, 280p. (Astrophysics and Space Science Library, Vol. II).
- BANKS, P. M., CHAPPELL, C. R. and NAGY, A. F. (1974): A new model for the interaction of auroral electrons with the atmosphere; Spectral degradation, backscatter, optical emission, and ionization. *J. Geophys. Res.*, **79**, 1459-1470.
- CUNY, J. J., JHONSON, C. B. and LYNCH, T. F. (1979): Proximity focused image tube intensified charge injection device (CID) camera for low light level television. *Proc. SPIE*, **203**, 75-79.
- DAVIS, T. N. (1966): The application of image orthicon techniques to auroral observation. *Space Sci. Rev.*, **6**, 222-247.
- DAVIS, T. N. (1978): Observed characteristics of auroral forms. *Space Sci. Rev.*, **22**, 77-113.
- EATHER, R. H. (1968): Spectral intensity ratios in proton-induced auroras. *J. Geophys. Res.*, **73**, 119-125.
- EATHER, R. H. and JACKA, F. (1966): Auroral hydrogen emission. *Aust. J. Phys.*, **19**, 241-274.
- FEL'DSHTEYN, YA. I. (1963): Some problems concerning the morphology of auroras and magnetic disturbances at high latitudes. *Geomagn. Aeron.*, **3**, 183-192.
- FUKUNISHI, H. (1973): Constitution of proton aurora and electron aurora substorms. Part II. Dynamical morphology of proton aurora and electron aurora substorms and phenomenological model for magnetospheric substorms. *JARE Sci. Rep., Ser. A (Aeronomy)*, **11**, 19-77.
- FUKUNISHI, H. and MIYAOKA, H. ed (1984): Campaign operation. Summary Report on International Balloon Campaign in Sweden and Norway, 1980-1982. Tokyo. National Institute of Polar

- Research, 1-29.
- FUKUNISHI, H. and TOHMATSU, T. (1973): Constitution of proton aurora and electron aurora substorms. Part I. Meridian-scanning photometric system for proton auroras and electron auroras. JARE Sci. Rep., Ser. A (Aeronomy), **11**, 1-18.
- MENDE, S. B. and EATHER, R. H. (1976): Monochromatic all-sky observations and auroral precipitation patterns. J. Geophys. Res., **81**, 3771-3780.
- MENDE, S. B., EATHER, R. H. and AAMODT, E. K. (1977): Instrument for the monochromatic observation of all sky auroral images. Appl. Opt., **16**, 1691-1700.
- OGUTI, T. (1975): Metamorphoses of aurora. JARE Sci. Rep., Ser. A (Aeronomy), **12**, 101p.
- OGUTI, T., KOKUBUN, S., HAYASHI, K., TSURUDA, K., MACHIDA, S., KITAMURA, T., SAKA, O. and WATANABE, T. (1981): An auroral torch structure as an activity center of pulsating auroras. Can. J. Phys., **59**, 1056-1062.
- ONO, T. (1987): Temporal variation of the geomagnetic conjugacy in Syowa-Iceland pair. Mem. Natl Inst. Polar Res., Spec. Issue, **48**, 46-57.
- ONO, T., EJIRI, M. and HIRASAWA, T. (1987a): Monochromatic auroral images observed at Syowa Station, in Antarctica. J. Geomagn. Geoelectr., **39**, 65-95.
- ONO, T., EJIRI, M., HIRASAWA, T., KAYA, N. and MUKAI, T. (1987b): A case study of an active aurora observed by monochromatic auroral TV on the ground and particle analyzers on board the EXOS-C satellite. J. Geomagn. Geoelectr., **39**, 119-128.
- ONO, T., HIRASAWA, T. and MENG, C. I. (1987c): Proton auroras observed at the equatorward edge of the duskside auroral oval. Geophys. Res. Lett., **14**, 660-663.
- REES, M. H. and LUCKEY, D. (1974): Auroral electron energy derived from ratio of spectroscopic emissions: I. Model computations. J. Geophys. Res., **79**, 5181-5186.
- ROYRVICK, O. and DAVIS, T. N. (1977): Pulsating aurora; Local and global morphology. J. Geophys. Res., **82**, 4720-4740.
- 白木広光 (1980): CCD イメージセンサー. 応用物理, **49**, 362-369.
- SUZUKI, N., MATSUNAGA, Y., ENDO, Y., HAYASHIMOTO, Y., SATO, S., EGAWA, Y., FURUKAWA, A., HARADA, N. and YOSHIDA, O. (1981): An interline transfer CCD image sensor for single sensor 2/3" color camera. TEBS 69-6, ED **558**, 31-36.
- VALLANCE JONES, A. (1971): Auroral spectroscopy. Space Sci. Rev., **11**, 776-826.
- VALLANCE JONES, A. and GATTINGER, R. L. (1981): TV morphology of some episodes of pulsating auroras. Can. J. Phys., **59**, 1077-1082.

(1988年1月7日受理: 1988年1月13日改訂稿受理)

## 付録

1984年昭和基地において行われた単色光オーロラ画像観測結果は、オーロラの形態ごとに分類され整理された。付表1~9にはそれぞれ、1) faint diffuse, 2) pulsating evening side, 3) stable arc, 4) stable arc with intense 6300 Å, 5) break up, active arc, 6) post break up diffuse, 7) post break up pulsating, および 8) pulsating dawn side の各オーロラ活動, および 9) 星座観測による calibration について観測日時, PCM データを収納したアナログ磁気テープ巻番号, モニター画面を記録した VTR テープの巻号ならびにテープカウンター数, 使用したレンズの種類 (F:魚眼レンズ (f=8 mm), W:広角レンズ (f=16 mm), 35:広角レンズ (f=35 mm))を示す。なお, remarks 欄の“EX”は EXOS-C 衛星, “IS” は ISIS-II 衛星との同時観測, “JA-8”, “JA-9”および “JA-10”はそれぞれ S-310JA-8, 9 および 10 ロケットとの同時観測を, また “ST”は立体観測のオペレーションによる観測であることを示す。



付表1 Faint diffuse.

Date	Time(UT)	MT-Vol	VTR	Lens	Re- marks	Date	Time(UT)	MT-Vol	VTR	Lens	Re- marks
4/29	1720-1729	16	17-2716	W		7/25	1857-1859	51	83-4650	F	
5/3	0104-0126	20	26-00	W	EX	7/25	1911-1917	51	83-4793	F	
5/5	0209-0213	23	30-4265	F		7/26	0209-0215	52	85-950	F	
5/10	0053-0109	24	32-00	F		7/26	2012-2015	53	85-4150	F	
5/26	1515-	—	43-46	W		7/26	2025-2027	53	85-4247	F	
5/27	1635-1701	—	47-00	F		7/26	2028-2048	53	85-4380	F	
5/27	1701-1708	30	47-1337	F		7/26	2059-2130	53	85/86-5170	F	
5/27	2123-2129	30	48-3370	F		7/26	2133-2147	53	86-1847	F	
5/27	2259-2324	—	49-00	F		7/26	2214-2229	53	86-1973	F	
5/27	2324-2333	30	49-	F		7/26	2304-2316	53	86-2818	F	
6/4	0209-0226	34	57-5199	W		7/26	2331-2349	53	86-3401	F	
6/4	0326-0329	34	58-3325	W		7/27	0027-0041	54	86-5292	F	
6/19	2236-	37	63-1278	W		7/27	0232-0235	54	87-2119	F	
6/20	0011-0025	38	63-4120	W	EX	7/27	1812-1843	54	87-2310	F	
6/21	0156-0157	38	63-5565	W		7/27	1914-1933	54	87-4140	F	
6/21	2059-2117	38	64-2838	F		7/27	2012-2023	54	87-4928	F	
6/21	2349-00	38	65-1423	W		7/27	2033-2037	54	87-4997	F	
6/21	0006-0043	39	65-2120	W	EX	8/23	2032-2054	56	88-177	W	ST
6/23	0013-0014	40	66-5644	F		8/24	1837-1839	56	89-362	W	ST
6/25	2246-2255	40	68-510	F		8/25	1836-1839	57	89-4482	W	ST
6/25	2312-2315	40	68-1680	F		8/26	1735-	57	89-4821	W	ST
6/26	2343-	40	68-2638	F		8/26	1809-1814	57	89-4999	W	ST
6/27	0122-0138	40	68-5073	F		8/26	1816-1823	57	89-5159	W	ST
6/27	2304-2315	42	70-1470	F		8/26	1848-1850	57	89-5382	W	ST
6/28	1509-1520	44	72-4953	F		8/26	2208-2213	57	89-5613	W	ST
6/28	2328-2332	45-1	74-5310	F		9/16	1827-1855	64	99-836	F	
6/29	0150-0154	45-2	75-510	F		9/16	1908-1909	65	99-2306	F	
6/29	2027-2038	45-2	75-1739	F		9/16	1959-2005	65	99-2331	F	
6/29	2035-2038	45-2	75-2617	F		9/16	2009-2025	65	-	F	
6/30	1902-1905	45-2	76-847	F		9/16	2058-2100	65	99-2472	F	
6/30	2304-2309	45-2	76-1500	F		9/16	2103-2201	65	-	F	
6/30	2329-2331	46	76-2850	F		9/17	0015-0026	66	100-560	F	EX
7/1	0049-0052	46	76-3121	F		9/24	1956-2001	69	-	F	ST
7/4	2100-2108	46	77-390	F		9/26	2019-2118	71	-	F	
7/4	2158-2201	46	77-3578	F		9/26	2119-2145	71	103-1403	F	
7/18	1903-1905	49	80-1417	F		9/26	2200-2219	71	103-1530	F	EX
7/18	1934-1951	49	80-2567	F		9/28	1824-1850	75	-	F	
7/21	2301-2309	50	81-4850	F		9/28	1956-	75	-	F	
7/24	2003-2007	50	82-489	F		9/28	2038-2112	76	104-5586	F	EX
7/24	2312-2314	50	82-1132	F		9/28	2125-2234	76	105-00	F	EX
7/25	0038-0039	50	82-5076	F		9/28	2244-2334	76	105-1861	F	
7/25	0350-0351	50	83-4521	F		9/28	2343-0014	76	105-3392	F	IS

付表2 Pulsating evening side.

Date	Time(UT)	MT-Vol	VTR	Lens	Re- marks	Date	Time(UT)	MT-Vol	VTR	Lens	Re- marks
4/8	1838-1917	11	10-4110	F		7/26	2214-2229	53	86-1973	F	
4/23	2022-2039	12	13-5173	W		7/27	2033-2037	55	87-4997	F	
4/27	2218-2307	15	14-5329	W		7/27	2054-2100	55	87-5693	F	
4/27	2320-2323	15	14-5460	W		7/27	2117-2120	55	88-00	F	
4/27	2357-0027	15	15-1970	W		7/27	2209-2211	55	88-1506	F	
4/29	1745-1804	16	17-3783	W		8/23	2032-2054	56	88-177	W	ST
5/4	2057-2105	21	28-1499	F		8/24	1903-1906	56	89-646	W	ST
5/10	1901-1906	26	33-1935	W		8/26	2208-2213	57	89-5613	W	ST
5/27	2123-2129	30	48-3370	F		8/26	2220-2225	57	89-5772	W	ST
5/27	2324-2333	30	49-	F		9/19	1735-1741	66	100-890	W	ST
6/3	2101-2117	33	55-3055	W		9/19	1747-1757	67	100-1114	W	ST
7/4	2046-2051	46	76-5703	F		9/19	1800-1805	67	100-1480	W	ST
7/4	2110-2122	46	77-1135	F		9/24	2004-2010	69	101-5434	35	ST
7/4	2132-2139	46	77-2390	F							

付表3 Stable arc.

Date	Time(UT)	MT-Vol	VTR	Lens	Re- marks	Date	Time(UT)	MT-Vol	VTR	Lens	Re- marks
4/7	1941-1949	08	08-1670	W		6/22	0228-0230	39	65-5622	W	
4/7	2103-2115	08	08-3361	F		6/22	2357-0001	40	66-5520	F	
4/7	2146-2204	09	08-4600	F		6/25	2246-2255	40	68-510	F	
4/8	1934-1943	12	11-	F		6/25	2312-2315	40	68-1680	F	
4/27	1735-1957	13	14-00	W		6/26	2343-	40	68-2638	F	
4/27	2014-2100	14	14-3306	W		6/27	0014-0028	40	68-3011	F	
4/29	2018-2037	17	18-2055	W		6/27	0201-0215	41	69-309	F	
4/30	2311-2345	18	20-	W		6/27	2304-2320	42	70-1470	F	
5/1	2018-2023	19	22-5234	W		6/28	0018-0023	42	70-4801	F	
5/2	0206-0208	19	24-3758	W		6/28	0112-0114	42	71-350	F	
5/3	1955-1956	20	26-5723	W		6/28	0319-0321	43	71-5623	F	
5/3	2215-2229	20	27-00	W <sub>MZ</sub>	JA-9	6/28	1741-1744	44	73-00	F	
5/3	2229-	20	27-2330	W		6/28	1753-1754	44	73-1385	F	
5/4	0124-0137	21	27-4784	EX		6/28	1804-1823	44	73-2040	F	
5/5	0033-0034	22	29-5293	F		6/28	1848-1851	44	73-4014	F	
5/10	2145-2204	26	33-4452	EX		6/28	2023-2027	44	74-1800	F	
5/10	2239-2258	26	33-4957	F		6/28	2038-2041	44	74-2530	F	
5/10	2338-0026	27	34-1320	F		6/28	2129-2123	44	74-4318	F	
5/25	2155-2159	29	40-3931	W		6/29	0014-0016	45-1	74-5700	F	
6/3	2112-2117	33	55-3718	W		6/29	0123-0126	45-2	75-97	F	
6/3	2143-2203	33	55-4938	W		6/29	2027-2038	45-2	75-1739	F	
6/3	2213-2215	33	55-5735	W		6/29	2044-2047	45-2	75-2617	F	
6/4	0201-0208	34	57-4843	W		6/30	2329-2331	46	75-2850	F	
6/4	0257-0300	34	58-1880	W		7/4	2100-2108	46	77-390	F	
6/4	2127-2129	35	59-394	W		7/5	0306-0318	48	79-900	F	
6/20	0035-0039	38	63-4763	W		7/18	1934-1951	49	80-2567	F	
6/21	2010-2023	38	64-1097	F		7/18	2154-2156	49	80-3423	W	
6/21	2123-2135	38	64-3879	F		7/19	2150-2155	49	80-4750	F	

Date	Time(UT)	MT-Vol	VTR	Lens	Re- marks	Date	Time(UT)	MT-Vol	VTR	Lens	Re- marks
7/21	2120-2122	50	81-1297	F		8/27	2151-2156	59	91-4300	35	ST
7/21	2147-2150	50	81-2057	F		8/27	2201-2210	59	91-4572	35	ST
7/21	2214-2216	50	81-2957	F		8/27	2211-	59	91-4898	35	ST
7/21	2228-2229	50	81-3589	F		8/28	1957-2009	59-2	92-1354	F	
7/21	2242-2252	50	81-4189	F		9/5	0026-0037	62	97-3610	W	
7/24	2003-2007	50	82-489	F		9/5	2236-2240	63	98-1161	W	
7/24	2312-2314	50	82-1132	F		9/5	2250-2255	63	98-1516	W	
7/25	0038-0039	50	82-5096	F		9/5	2301-2304	63	98-1810	W	
7/25	0350-0351	50	83-4521	F		9/5	2335-2343	64	98-2980	W	
7/25	1857-1859	51	83-4650	F		9/13	1908-1911	64	98-4832	W	
7/25	1911-1920	51	83-4793	F		9/15	2102-2112	64	98-4948	F	
7/25	2205-2207	51	84-3836	F		9/15	2126-2130	64	98-5294	F	
7/25	2223-2225	51	84-4354	F		9/17	2050-2109	66	100-00	F	EX
7/26	0201-0203	52	85-880	F		9/17	2142-2154	66	100-269	F	
7/26	2012-2015	53	85-4150	F		9/17	2238-2247	66	100-377	F	EX
7/26	2025-2027	53	85-4247	F		9/19	1825-1835	67	100-1810	W	ST
7/26	2028-2048	53	85-4380	F		9/19	1838-1855	67	100-2360	W	ST
7/26	2214-2229	53	86-1847	F		9/19	1950-1958	67	100-3260	W	ST
7/26	2304-2316	53	86-2818	F		9/19	2003-2010	67	100-3469	W	ST
7/27	1856-	54	87-3439	F		9/19	2011-	67	100-3745	W	ST
7/27	1914-1933	55	87-4140	F		9/19	2023-2028	67	100-3921	W	ST
7/28	0018-0027	55	88-2166	F		9/21	2117-2120	68	101-749	35	ST
8/23	2120-2125	56	88-893	W	ST	9/21	2200-2205	68	101-2148	35	ST
8/24	1951-1956	56	89-995	W	ST	9/21	2206-2207	68	101-2235	35	ST
8/24	2033-2037	56	89-1652	W	ST	9/21	2208-2215	68	101-2380	35	ST
8/24	2146-	-	89-1866	W	ST	9/21	2217-2225	68	-	35	ST
8/24	2209-2214	56	89-2162	W	ST	9/24	1919-1930	69	101-5034	35	ST
8/24	2324-2330	57	89-3625	W	ST	9/24	1937-1939	69	101-5383	35	ST
8/24	2335-2340	57	89-3832	W	ST	9/24	2021-2027	69	101-5616	35	ST
8/26	2121-2126	57	89-5437	W	ST	9/26	1858-1903	70	102-5208	F	
8/26	2253-2309	57	90-00	W	ST	9/26	1919-2018	71	102-5332	F	
8/26	2316-2325	57	90-1301	W	ST	9/27	1833-1853	72	103-4787	F	
8/27	1820-1822	58	91-90	W	ST	9/27	1857-1938	72	103-4874	F	
8/27	1848-1852	58	91-1694	W	ST	9/27	1956-2046	73	103-5562	F	EX
8/27	1911-1915	58	91-1892	W	ST	9/28	1856-1956	75	104-4462	F	
8/27	1918-1921	58	91-2160	W	ST	9/30	2054-2116	76	105-4631	F	
8/27	1927-1930	58	91-2313	W	ST	9/30	2130-2146	77	105-5475	F	
8/27	1932-1939	58	91-2415	W	ST	9/30	2228-2235	78	106-1747	F	
8/27	2141-2145	59	91-4150	35	ST						

付表4 Stable arc with intense 6300 Å.

Date	Time(UT)	MT-Vol	VTR	Lens	Re- marks	Date	Time(UT)	MT-Vol	VTR	Lens	Re- marks
4/8	1934-1954	12	11-	F		4/29	1952-	16	17-	W	
4/27	1800-1845	13	14-1020	W		5/1	1714-1717	19	22-4516	W	
4/27	2330-2350	15	15-80	W		5/3	1808-1811	20	26-2200	W	
4/29	1641-1717	16	17-1709	W		5/9	2253-2309	23	31-00	F	

Date	Time(UT)	MT-Vol	VTR	Lens	Re- marks	Date	Time(UT)	MT-Vol	VTR	Lens	Re- marks
5/10	2130-2140	26	33-4259	W		7/5	0310-0318	48	79-1600	F	
5/27	1701-1708	30	47-1337	F		7/18	1836-1844	49	80-842	F	
6/3	2122-2136	33	55-3718	F		7/18	1903-1905	49	80-1417	F	
6/21	2133-2135	38	64-4300	F		7/18	1934-1951	49	80-2567	F	
6/22	2241-2243	40	66-3382	F		7/24	0350-0351	50	83-4521	F	
6/27	0107-0111	40	68-	F		7/25	1911-1917	51	83-4793	F	
6/28	0227-0230	42	71-3967	F		7/28	0044-0049	55	88-2596	F	
6/30	1902-1905	45-2	76-847	F		7/28	0246-0328	55	88-4347	F	
7/4	2100-2122	46	77-390	F		8/24	1917-	56	89-829	W	ST
7/4	2158-2201	46	77-3578	F		9/30	2121-2130	77	105-5210	F	

付表5 Break up, active arc.

Date	Time(UT)	MT-Vol	VTR	Lens	Re- marks	Date	Time(UT)	MT-Vol	VTR	Lens	Re- marks
4/4	1720-	06	06-	W		6/28	0327-0334	43	72-00	F	
4/4	1926-1941	07	07-538	W <sub>MZ</sub>	JA-8	6/28	0346-0351	43	72-1439	F	
4/4	2058-2103	07	07-3500	W		6/28	0353-0403	43	72-2028	F	
4/7	2247-2307	09	09-00	F		6/28	0416-0458	43	72-3070	F	
4/7	2334-2351	09	09-2800	F		6/28	2102-2115	44	74-3263	F	
4/8	2003-	12	11-	F		6/29	2102-2106	45-2	75-3495	F	
4/27	2100-2145	14	14-3951	W		6/29	2140-2155	45-2	75-5394	F	
4/30	0053-	18	20-	W		6/29	2200-2206	45-2	75-5582	F	
5/1	2340-2346	19	23-3606	W		6/30	2304-2309	45-2	76-1500	F	
5/2	0245-0326	19	24-3758	W		7/4	2247-2318	46,47	77-4283	F	
5/3	2229-2250	20	27-2330	W		7/4	2359-0040	47	78-06	F	
5/4	2154-22	21	28-4179	F		7/18	2231-2236	49	80-3520	W	
5/4	2311-2330	22	29-1900	F		7/19	2342-2346	49	80-4990	F	
5/5	0011-0032	22	29-4565	F		7/20	2234-	49	81-220	F	
5/9	2315-2328	23	31-1708	F	EX	7/25	1956-2025	51	83-1060	F	
5/9	2334-2357	24	31-2153	F		7/26	0052-0104	51	84-4867	F	
5/10	2258-2330	26	33-5169	F		7/26	2133-2147	53	86-1847	F	
5/11	0025-0035	27	34-3680	F		7/26	2331-2349	53	86-3401	F	
5/11	1945-1957	28	36-400	W		7/26	2352-0020	54	86-4254	F	
5/11	2007-2012	29	36-1716	F		7/28	0044-0049	55	88-2596	F	
5/25	2201-2222	29	40-4105	W		7/28	0054-0100	55	88-2749	F	
5/25	2308-2327	29	41-955	W		7/28	0246-0328	55	88-4347	F	
5/28	2100-2106	31	51-4668	F		8/24	2015-2020	56	89-1331	W	ST
5/28	2149-2202	31	52-377	F		8/24	2248-2307	56	89-2467	W	ST
5/28	2206-	31	52-1526	F		8/24	2349-2355	57	89-4431	W	ST
6/3	2241-2254	33	56-00	F		8/25	2135-2140	57	89-4569	W	ST
6/4	0357-0401	34	58-4544	W		8/26	2328-2330	57	90-1872	W	ST
6/18	2226-2239	37	62-00	W	EX	8/26	2331-2336	57	90-2116	W	ST
6/19	2051-2101	37	62-3240	W		8/27	0143-0200	57	90-3472	W	ST
6/21	2258-2305	38	64-5157	W	EX	8/27	1822-1839	58	91-246	W	ST
6/27	2304-2320	42	70-1470	F		8/27	1840-1842	58	91-1580	W	ST
6/28	0018-0028	42	70-4801	F		8/27	1944-1953	58	91-2821	W	ST
6/28	0128-0137	42	71-1630	F		8/27	1955-1958	58	91-3208	W	ST
6/28	0142-0145	42	71-2285	F		8/27	2011-2017	58	91-3420	W	ST
6/28	0232-0242	42	71-4142	F		8/27	2054-2100	59	91-3719	W	ST

Date	Time(UT)	MT-Vol	VTR	Lens	Re- marks	Date	Time(UT)	MT-Vol	VTR	Lens	Re- marks
8/27	2106-2110	59	91-3971	W	ST	9/16	2218-2320	65	99-3017	F	
8/27	2217-2220	59	91-5140	35	ST	9/19	1935-1937	67	100-2740	W	ST
8/27	2255-2258	59	91-5320	35	ST	9/19	1938-1946	67	100-2973	W	ST
8/27	2304-2314	59	91-5421	35	ST	9/19	2059-2105	67	100-4050	W	ST
8/27	2315-	59	91-5421	35	ST	9/19	2112-2125	67	100-4716	W	ST
8/27	2336-2337	59	91-5768	35	ST	9/19	2135-2147	67	100-4776	W	ST
8/28	2009-2015	59-2	92-2110	F		9/19	2225-2232	67	100-5255	35	ST
8/28	2015-2110	59-2	92-2393	F		9/20	1944-1949	67	101-00	35	ST
8/28	2113-2145	59-2	92-4190	F		9/21	2135-2154	68	101-969	35	ST
8/28	2159-2215	59-2	93-00	F		9/21	2242-2240	68	101-2909	35	ST
9/3	0209-0210	61	94-3701	W		9/24	1830-1833	69	101-4640	35	ST
9/3	0215-0221	61	94-3961	W		9/24	1833-1840	69	101-4760	35	ST
9/4	0131-0142	62	94-4900	W		9/24	2043-2049	69	102-00	35	ST
9/5	2120-2123	63	98-946	W		9/24	2110-2113	69	102-639	35	ST
9/5	2323-2329	63	98-2287	W		9/26	2200-2219	71	103-1530	F	EX
9/5	23 -2354	64	98-3114	W		9/27	1938-1947	72	103-5352	F	
9/6	0008-0010	64	98-3505	W		9/27	2046-2048	73	104-00	F	
9/6	0020-0028	64	98-3520	W		9/27	2051-2057	73	104-468	F	
9/6	0058-0112	64	98-3850	W		9/27	2121-2124	74	104-2000	F	
9/6	0128-0130	64	98-4386	W		9/27	2310-2320	74	104-3786	F	
9/15	2135-2144	64	98-5480	F		9/27	2323-2325	75	104-4213	F	
9/16	0125-0135	64	99-00	F		9/30	2146-2152	77	105-5475	F	
9/16	2201-2216	65	99-2600	F		9/30	2235-2243	78	106-2115	F	

付表6 Post break up diffuse.

Date	Time(UT)	MT-Vol	VTR	Lens	Re- marks	Date	Time(UT)	MT-Vol	VTR	Lens	Re- marks
4/7	2307-2321	09	09-2785			7/26	2352-0020	54	86-4254	F	
4/8	2101-2127	12	11-4671			8/27	0018-0031	57	90-2333	W	ST
4/27	2014-2100	14	14-3306	W		8/28	2256-2306	60	93-1225	F	
4/27	2211-2218	15	14-4699	W		8/28	2307-0007	60	93-1946	F	
5/3	2304-	20	27-3879	W		8/29	0013-0049	61	93-4763	F	
5/4	2240-2242	22	28-5757	F		9/4	0144-0151	62	94-5270	W	
6/4	0141-0146	34	57-4107	W		9/4	2330-0020	62	97-900	W	
6/4	0401-0416	34	58-4703	W		9/5	2245-2247	63	98-1409	W	
6/19	2126-2137	37	62-4600	W		9/17	0001-0100	66	99-3157	F	
6/27	2333-2337	42	70-3010	F		9/19	2248-2302	68	100-5480	35	EX,ST
6/28	0023-0028	42	70-5000	F		9/21	2307-2313	68	101-3362	35	EX,ST
6/28	0034-0037	42	70-5368	F		9/22	0032-0056	68	101-3725	35	EX,ST
6/28	0237-0242	42	71-4341	F		9/24	2134-2136	70	102-1613	35	ST
6/28	0255-0300	43	71-4977	F		9/24	2142-2144	70	102-1744	35	ST
6/28	0319-0321	43	71-5623	F		9/24	2153-2200	70	102-1900	35	EX,ST
6/28	0353-0403	43	72-2028	F		9/24	2201-2206	70	102-2256	35	ST
6/28	2144-2147	44	74-4862	F		9/24	2326-2341	70	102-4070	35	EX,ST
6/29	2116-2124	45-2	75-4080	F		9/27	2058-2111	73	104-828	F	
7/5	0012-0040	47	78-1465	F		9/27	2124-2146	74	-	F	
7/26	0108-0119	52	84-5440	F		9/27	2158-2225	74	104-2266	F	EX
7/26	0130-0145	52	84-5753	F		9/27	2235-2310	74	104-3569	F	

Date	Time(UT)	MT-Vol	VTR	Lens	Re- marks	Date	Time(UT)	MT-Vol	VTR	Lens	Re- marks
9/27	2328-0005	75	104-4327	F		9/30	2243-2250	78	106-2541	F	
9/30	2153-2220	77	106-00	F		9/30	2253-2327	79	106-2720	F	

付表7 Post break up pulsating.

Date	Time(UT)	MT-Vol	VTR	Lens	Re- marks	Date	Time(UT)	MT-Vol	VTR	Lens	Re- marks
4/27	2211-2218	15	14-4699	W		8/27	0057-0102	57	90-2966	W	ST
5/11	0042-0053	27	34-4273			8/27	2356-0008	59	91-5799	35	ST
5/25	0121-	29	42-1061			8/28	0012-0015	59	92-618	35	ST
5/28	2305-2306	32	52-3379	W		9/24	2153-2200	70	102-1900	35	EX,ST
5/28	2316-2328	32	52-4246	W	JA-10	9/24	2211-	70	102-2696	35	ST
6/4	0421-	34	58-5385	W		9/24	2217-2229	70	102-2862	35	ST
6/19	2142-	37	62-5184	W		9/24	2249-2259	70	102-3380	35	ST
6/28	0353-0403	43	72-2028	F		9/24	2342-	70	102-4620	35	ST
7/5	0012-0040	47	78-1465	F		9/24	0017-0025	70	102-4892	35	ST
7/25	2120-2122	51	84-2930	F		9/26	2337-2356	72	103-3919	F	EX
7/25	2145-2148	51	84-3061	F		9/27	2111-2116	73	104-1433	F	
7/26	0108-0119	52	84-5440	F		9/27	2328-0005	75	104-4327	F	
7/26	2352-0020	54	86-4254	F		9/30	2327-2340	79	106-2852	F	IS

付表8 Pulsating dawn side.

Date	Time(UT)	MT-Vol	VTR	Lens	Re- marks	Date	Time(UT)	MT-Vol	VTR	Lens	Re- marks
4/8	0155-0210	10	10-2653	W		6/4	0304-0310	34	58-2288	W	
4/8	0215-0230	11	10-3370	W		6/10	0144-0157	35	60-4163	W	EX
4/28	0124-0143	16	15/16-	W		6/10	0232-0239	35	60-5749	W	
4/28	0231-0248	16	16-3241	W		6/10	0254-0313	35	61-00	F	
4/28	0324-0340	16	16-5251	W	EX	6/10	0333-0414	36	61-2175	F	
4/30	0212-0250	18	-	W		6/10	0420-05	36	61-3290	F	
5/5	0124-0138	23	30-2280	F		6/18	0008-0015	37	62-2329	W	EX
5/1	0150-0159	23	30-3521	F		6/20	0035-0039	38	63-4763	W	
5/1	0209-0213	23	30-4265	F		6/20	0042-0054	38	63-4956	W	
5/9	0019-0041	24	31-4597	F		6/21	2323-2325	38	65-00	W	
5/10	0127-0150	24	32-2308	F		6/22	0127-0133	39	65-4431	W	
5/10	-	25	32-3700	F		6/22	0243-0256	39	66-00	W	
5/10	0233-0302	25	32/33-	F	EX	6/22	0320-0322	39	66-1607	W	
5/11	0108-0140	27	34/35-	F	EX	6/22	0335-0337	39	66-1870	W	
5/11	0154-0207	28	35-1564	F		6/22	0416-0419	39	66-2359	W	
5/11	0221-0227	28	35-2989	F		6/23	0424-0434	40	67-499	F	
5/11	0243-0259	28	35-3880	F	EX	6/23	0446-0512	40	67-1781	F	
5/27	0041-0052	30	49-	W <sub>MZ</sub>		6/27	0049-0055	40	68-4235	F	
5/28	0121-0134	30	49-	W <sub>MZ</sub>		6/27	0107-0111	40	68-	F	
5/28	0239-03	30	50-960	W <sub>MZ</sub>		6/27	0201-0215	41	69-309	F	
5/28	0325-0330	31	50-2255	W <sub>MZ</sub>		6/27	0222-0226	41	69-1703	F	
5/28	0419-0436	31	50-4185	W <sub>MZ</sub>	EX	6/27	0242-0255	41	69-2830	F	
5/29	0319-0331	32	53-3122	W <sub>MZ</sub>		6/27	0259-0315	41	69-3532	F	
5/29	0430-	32	53-4159	W <sub>MZ</sub>		6/27	0339-0351	41	69-	F	

Date	Time(UT)	MT-Vol	VTR	Lens	Re- marks	Date	Time(UT)	MT-Vol	VTR	Lens	Re- marks
7/4	0415-0421	46	76-4286	W		8/27	0230-0235	58	90-4960	W	ST
7/4	0430-0440	46	76-4842	W		8/27	0241-0251	58	90-5095	W	ST
7/5	0111-0119	48	78-4185	F		8/27	0254-0301	58	90-5524	W	ST
7/5	0255-0318	48	79-178	F		8/27	0307-0310	58	90-5755	W	ST
7/5	0322-0332	48	79-1950	F		8/28	0051-0055	59-2	92-844	35	ST
7/5	0400-0410	48	79-3740	F		8/28	0058-0100	59-2	92-1153	35	ST
7/19	0045-0048	49	80-3794	W		8/29	0055-	61	94-823	F	
7/19	0235-0239	49	80-4565	W		8/29	0109-0116	61	94-1677	F	
7/20	0259-0308	49	80-5270	F		8/29	0119-0125	61	94-2065	F	
7/25	0204-0214	50	83-3132	F		8/29	0152-0201	61	94-2073	F	
7/26	0240-0249	52	85-2112	F		9/4	0153-0208	62	97-00	W	
7/26	0317-	52	85-2767	F		9/5	0104-0134	63	97-4300	W	
7/27	0027-0048	54	87-5292	F		9/5	0151-0158	63	97-4756	W	
7/27	0122-0124	54	87-497	F		9/5	0204-0211	63	97-5503	W	
7/27	0149-0209	54	87-900	F		9/5	0217-0222	63	98-00	W	
7/27	0232-0235	54	87-2119	F		9/5	0225-0227	63	98-644	W	
8/27	0124-0131	57	90-3189	W	ST	9/5	0229-0231	63	98-836	W	
8/27	0143-0200	57	90-3472	W	ST	9/6	0156-0205	64	98-4449	W	
8/27	0217-0225	58	90-4686	W	ST						

付表9 Calibration.

Date	Time(UT)	MT-Vol	VTR	Lens	Re- marks	Date	Time(UT)	MT-Vol	VTR	Lens	Re- marks
3/20	1934-1936	06	-	W		7/24	1920-1930	50	82-	F	
4/4	2004-2008	07	07-1700	W		8/24	1736-1737	56	89-242	W	ST
4/7	2122-2124	08	08-3393	F		8/25	1726-	57	89-4441	W	ST
4/23	1806-1808	12	13-2503	W		8/26	1706-1707	57	89-4777	W	ST
4/27	2116-2145	14	14-3951	W		8/26	1709-1710	57	89-4779	W	ST
4/28	0036-0039	15	15-3787	W		8/27	1815-1816	58	91-00	W	ST
4/30	0053-	18	20-	W		8/27	2129-2131	59	91-4119	35	ST
5/4	0247-0256	21	27-5231	W		8/28	0119-0120	59-2	92-1246	35	ST
5/4	2017-2021	21	28-00	F		9/13	1858-1900	64	98-4776	W	
5/10	0016-0017	24	31-4460	F		9/16	1906-1907	65	99-2239	F	
5/11	0312-0314	28	35-4971	F		9/21	1836-1838	68	101-395	35	ST
5/27	1710-1711	30	47-1887	F		9/21	2058-2059	68	101-727	35	ST
6/3	2210-2211	33	55-5654	W		9/21	2227-2228	68	101-2849	35	ST
7/4	2055-2056	46	77-00	F		9/24	1908-1909	69	101-4980	35	ST
7/21	1907-1908	50	81-1168	F		9/25	1947-1949	70	102-5155	35	ST
						9/30	2023-2024	76	105-4598	W	