

南極点全天撮像装置の概要と初期データ解析

岡田 雅樹¹・江尻 全機¹・岡野 章一¹・田口 真¹・竹下 秀²

System Design and Initial Results of All Sky Imager at South Pole

Masaki OKADA¹, Masaki EJIRI¹, Shoichi OKANO¹,
Makoto TAGUCHI¹ and Shu TAKESHITA²

Abstract: We have developed an all-sky optical imager (ASI) which was installed at the Amundsen-Scott South Pole Station (SP) in the 1996-1997 austral summer season. ASI consists of a highly sensitive (monochromatic and panchromatic) optical lens, CCD camera, and a data-taking workstation. The ASI is equipped with interference filters of N_2^+ 427.8 nm, OI 557.7 nm, OI 630.0 nm, and OH 730.0 nm. The image sensor is a back-illuminated air-cooled CCD camera with 512×512 pixels. The size of each pixel is $24 \mu\text{m} \times 24 \mu\text{m}$. The workstation (WS) is controlled from NIPR via the internet and stores the image data to a digital linear tape (DLT) drive. Selected image data can be sent to NIPR via the Internet during the observational period. We present the detailed system configuration, the data formats and the initial images taken by the ASI-SP system.

要旨: われわれは高感度全天撮像装置 (ASI: All-sky optical imager) の開発を行い、1996年から1997年の南半球夏期間において、南極点基地 (South Pole Station; SP) に同カメラを設置した。ASIは、高感度 (モノクロおよびパネクロ) の光学レンズ系および CCD カメラ部、およびデータ取得用ワークステーション部 (WS) から構成される。光学系のフィルターとして、 N_2^+ 427.8 nm、および OI 557.7 nm, OI 630.0 nm, OH 730.0 nm のフィルターを装備している。WS部はインターネットを介して国立極地研究所より制御され、全データはデジタルリニアテープに記録される一方、一部のデータはインターネットを使って国立極地研究所に電送される。本論文では、システム構成およびデータフォーマットの詳細についてまとめるとともに、初期データの解析結果について述べる。

1. はじめに

地上観測の利点である時間空間解像度の高いリモートセンシング技術を、これまで用いられてきた衛星観測による現場観測データと結び付けることにより、これまで区別することが困難であった時間変動と空間変動を判別することが可能になる。また、昭和基地およびハレーベイの短波レーダーとの共同観測により超高層プラズマと中性大気との相互作用を解明する手がかりを得ることができるようになることが予想される。このような国際的な共同観測を通じ

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

² 東海大学総合科学技術研究所, Research Institute of Science and Technology, Tokai University, 1117 Kitakaname, Hiratsuka 259-12.

て、磁気圏、電離圏、中間圏/熱圏物理の解明を進めるため、国立極地研究所では中国中山基地に全天カメラを設置するとともに、本論文で述べる南極点基地にも全天撮像装置を導入した。

南極点におけるオーロラ画像に関しては、1957年にIGYの一環としてアムンゼンスコット南極点基地が開設されて以来、国立極地研究所は世界データセンターの一部として南極点におけるオーロラ画像を集積してきた。これまでの南極点の全天画像は、アラスカ大学とユタ州立大学によって得られた35ミリフィルムによる画像データとして収集、蓄積されてきた(NATIONAL INSTITUTE OF POLAR RESEARCH, 1995)。

南極点はオーロラ観測にとって次の四つの点において地理的に重要な位置にあるといえることができる。

- (1) 太陽風の侵入領域につながった昼間側カスプ/クレフト領域を観測することができる。
- (2) 夜側磁気嵐あるいはサブストームの関連すると思われる午後側オーロラを観測することができる (EATHER, 1985)。
- (3) 惑星間空間磁場の極性に相関があると考えられている極冠域オーロラを観測することができる (ELPHINSTONE *et al.*, 1996)。
- (4) 複数波長による大気光観測により、地球自転軸の極という特異点における大気重力波等の伝播を観測することができる (TAYLOR and GARCIA, 1995; TAYLOR *et al.*, 1995a, b, c, d)。

2. ASI システム概要

本論文では、光学系、カメラ系、ワークステーション系それぞれの詳細について述べる。さらに、取得データのデータフォーマット、較正データに続いて、運用方法について述べたのち、1997年南極点基地の冬期間中に取得した初期データの一部について解析を行った結果について述べる。

2.1. 光学系

ASIの全体構成は図1のようになっており、光学系、カメラ部、ワークステーション部、時刻系に大別される。ここではまず、光学系について詳細を述べる。

ASIの光学系は、大きく二つの部分に分けられ、対物レンズとなるメイン光学系と、フィルターを通すために平行光線を作るリレー光学系からなる。メイン光学系、リレー光学系はそれぞれ9群15枚、8群12枚のレンズで構成されている。対物レンズは、F0.9, $f=6\text{ mm}$ ニコン製魚眼レンズ(図2)を使用し、視野角は 180° である。レンズの射影方式は正射影で、入射角(θ)と結像座標系とは正比例の関係にある。実際に画像を処理する際には背景の星によって地理座標系あるいは磁気座標系に展開を行う方法をとる。中心からのリレー光学系内部において入射光は一旦平行光を形成し、干渉フィルターを通過後、CCD素子上に像を結ぶ。最終的な像の

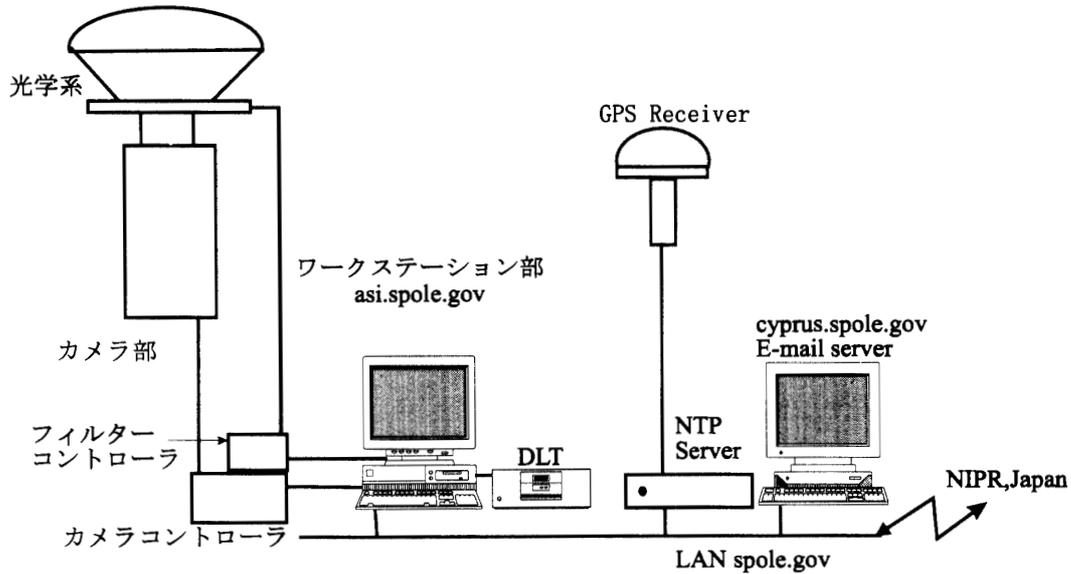


図1 南極点基地に設置した ASI システムの全体構成図。光学系、カメラ部、ワークステーション部、および時刻サーバからなっている。インターネットとの通信は基地内電子メールサーバ (cyprus.spole.gov) を経由して行われる。

Fig. 1. System configuration of ASI installed at the South Pole Station. The system consists of an optical section, the camera section, the workstation section, and the time server. Communication with NIPR uses the Internet via the mail server cyprus.spole.gov.

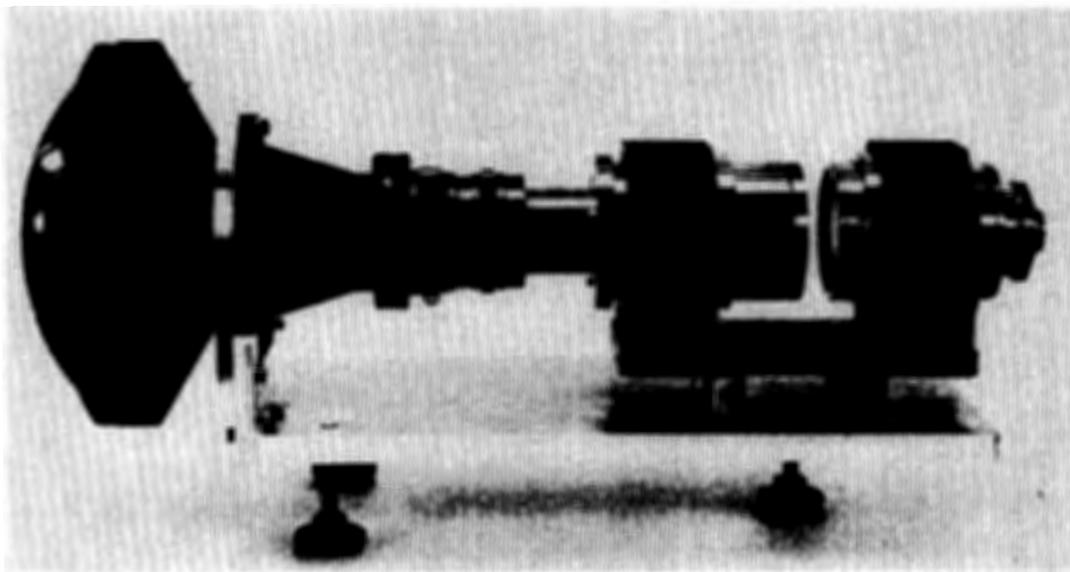


図2 光学系 (レンズ系, リレーレンズ系) の全体写真。F0.9 ($f=6\text{ mm}$) の対物レンズと、フィルター挿入用の平行光線部を持つリレーレンズ系から成る。

Fig. 2. Optical lens section including the object lens (F0.9, $f=6\text{ mm}$) and the relay lens, which has a filter slit in the middle.

大きさは直径 12 mm の大きさになって CCD 上に投影されることになる。光学系の性能をあらわす $A\Omega$ は $0.91\text{ cm}^2\cdot\text{str}$ である。平行光線部分には干渉フィルターを挿入することができるように設計されており、ワークステーションからの制御によって、6 枚のフィルター位置を交

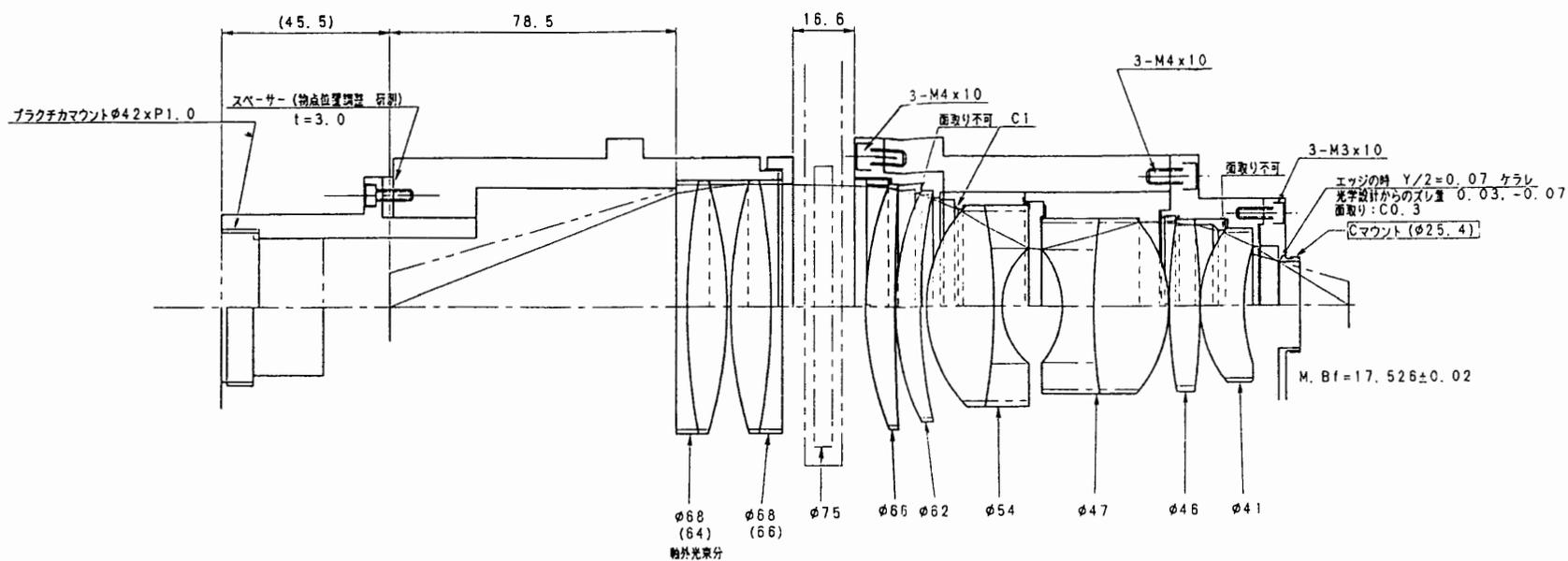


図3 リレー光学系の詳細図面。中央部に幅16.6mmのフィルター挿入用スリットを持つ8群12枚のレンズで構成されている。
 Fig. 3. Design figure of the relay lens, which consists of 8 groups and 12 elements and has a filter slit of 16.6 mm in the middle.

換しながら観測を行うことができるフィルターホイールを持っている。リレー光学系の詳細図面を図3に示す。1997年の観測では、直径80mmの干渉フィルターを4枚装備するとともに、フィルター無し、およびシャッターの2ポジションを設定して観測を行った。表1に1997年の観測に用いたフィルターの詳細を示す。

フィルターホイールはステッピングモータによって回転し、1ポジション移動するのに約2秒必要とする。フィルターの交換はワークステーションのRS-232Cによって制御されており、ワークステーション上のプログラムによって任意のフィルター順序で撮影を行うことが可能であるが、フィルターホイールの回転方向が1方向に限定されるためフィルターの交換順序の決定には注意が必要である。

表1 フィルターの中心波長と半値幅。6つのポジションの交換はフィルターホイールを回転させることによって行う。

Table 1. The central wavelength and the width of the half-widths of the filters.

フィルター位置	中心波長 (nm)	FWHM (nm)	透過率 (%)
1	557.7+1/-0	4.0±1.0	25
2	630.0+1/-0	3.0±0.5	25
3	427.8+1/-0	3.0±0.5	40
4	730.0+1/-0	3.0±0.5	40
5	Shutter	—	—
6	Panchromatic	—	100

2.2. カメラ部

カメラ部には、背面照射型フレームトランスファー型 (浜松ホトニクス製 S1502A) で、512ピクセル×512ピクセルの画素数を持つ CCD 撮像素子を使用している。1画素あたりの画素サイズは $24\ \mu\text{m} \times 24\ \mu\text{m}$ である。CCD 素子の暗電流は -30°C の状態において $50\ \text{pA}/\text{cm}^2 = 0.2\ \text{electron}/\text{pixel}/\text{s}$ 、読み出しノイズは $14\ \text{electron rms}$ である。冷却方式としては空冷でペルチェ電子冷却を用いており、冷却することにより暗電流を減少することができる。最大冷却温度は、外気温が 24°C の場合 -46°C まで冷却することが可能である。A/D 変換の解像度は 14 bit で、高精度読み出しモードを使用した場合 1 フレームあたり 1.19 秒の読み出し時間を必要とする。アンプのゲインは low, high, super high の 3 段階あり、それぞれ 16, 4, 1 electron/count の感度に切り替えることができる。実際の観測の際は super high ゲインで使用する。実際の観測結果から、正確な物理値を得るためには、各フィルターごとに標準光源をあらかじめ計測し、校正データとして物理値変換係数を作成しておく。実際の観測データは、この物理値変換係数によって観測データを物理量として得ることができる。暗電流については、観測時の温度に大きく影響されるため、観測時の実際の温度を観測データとともに保存し、フィルターをシャッター位置にして観測を行い暗電流を求める方法を採用することとした。校正についての詳細は後の項で述べる。レンズ系を取り付けたカメラ部の全体を図4に示す。

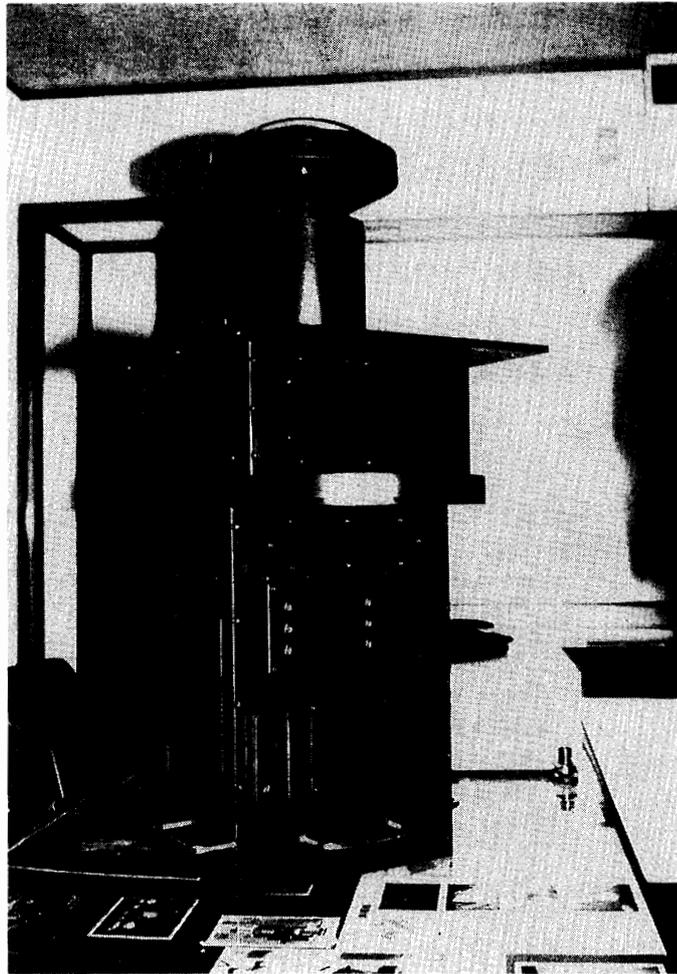


図4 光学系を取り付けたカメラ部の全景。下方に見える窓がカメラ部の温度表示用LED，中央部の円形部分がフィルターホイールである。

Fig. 4. Whole system with the camera attached to the optical section. The small window indicates the camera temperature. The filter wheel can be seen as a round portion in the middle.

2.3. ワークステーション部

カメラ部の制御として積分時間，フィルターホイールの制御，データの取り込み，圧縮，保存，転送，時刻管理などはワークステーション (HP9000/C110) で行っている。時刻管理は，ネットワーク接続されたネットワーク時刻同期 (NTP) サーバ (True Time 社製 NTS-100) によって GPS システムを利用した時刻にワークステーションの時刻を同期させることによって行う。データ保存用の磁気テープ記録装置としては，デジタルリニアテープ (DLT) を使用し最大 40 GB のデータを保存することができる。カメラ部からの画像フレームは，内蔵のフレームグラバカードを介してワークステーション部に入力された後，適正な積分時間を計算するため画像フレームの統計情報を抽出している。その後，一旦固定磁気ディスク上に記録し，1日分のデータを蓄積した後，1日単位でテープアーカイブコマンド (tar) によって磁気テープ媒

体への退避を自動で行っている。ワークステーション内部では直前に同じフィルターで撮影した画像から適正な積分時間を計算によって求め、その時間をカメラ部に設定した後、撮像を開始する。

2.4. 運用

実際に運用を行う場合には、フィルターの制御順序と積分時間を決定しなければならない。フィルターはフィルター位置を示す1から6の数字で指定する。一方、積分時間の決定方法は二通りあり、一つはあらかじめ決まった積分時間を秒単位で指定する方法であり、もう一つの方法はあらかじめプログラムされたアルゴリズムにしたがって直前に撮像した画像の検出カウントから次に同じフィルターで撮像する場合の最適な積分時間を計算によって求める方法 (auto) である。運用では、このフィルター番号と積分時間の組をどのような順序で変えながら観測を行うかを設定することによって、対象とする物理現象にあわせた観測モードを選択することが重要である。共同観測モードや、オーロラ観測モード、大気光観測モードなどに対応して、フィルター番号と積分時間の組を複数組み合わせたものをファンクションとしてあらかじめ定義しておく。一連の組み合わせを別に設定された期間中の観測モードとして連続的に繰り返すことによって冬期間中の観測を行った。1997年の観測で使用したファンクションの一覧を表2に掲げる。基本的な機能を定義したF0からF6に加え、SuperDARNとの共同観測のために設けられたF7、ASIシステム全体の機能、性能試験用の観測モードとしてF10、幅広い物理現象を対象として撮像が可能なF9が設定されている。これらの観測モードを運用期間中ど

表2 1997年の観測で使用したフィルター制御記述ファイルの内容。1対のフィルター番号と積分時間の組が1つの撮像に対応し、それを複数連ねることによって1ファンクションを定義する。

Table 2. The list of filters and integration time control functions used in the 1997 season. One filter number paired with one integration time corresponds to one image observation. A function is defined with a series of observations.

F 番号	フィルター, 積分時間 (s) 制御順序
F0	1, auto
F1	1, auto
F2	2, auto
F3	3, auto
F4	4, auto
F5	5, auto
F6	6, auto
F7	1, auto-2, auto
F8	1, auto-2, auto-3, auto-4, auto-5, auto-6, auto
F9	1,16-22,16-3,16-4,16-5,16-6,16-1,32-2,32-3,32-4, 32-5,32-6,32-1,64-2,64-3,64-4,64-5,64-6,64-1,128-2,128-3,128-4,128-5,128-6,128
F10	1, auto-4, auto

のように変化させるかはあらかじめ計画された観測スケジュールを共同研究者と議論の上、一カ月を単位として計画立案を行った。本格的な観測を行った 1997 年 6 月から 9 月 2 日までの間における観測スケジュールを附表 1, 2, および 3 にそれぞれ掲載する。

2.5. 較正

観測で得られた画像データから、物理量としての光強度に変換するためには ASI によって標準光源を計測した際に検出される A/D 変換後のカウント値を得ることによって行う。国立極地研究所内に備えられた標準光源を撮像した結果を図 5 に掲げる。中央部に見えるやや明るい領域が較正された標準光源からの光である。この領域をとって横軸に平行な ($y=256$) の位置における断面をとったものを図 6 に示す。この図は波長 557.7 nm のフィルターを通して計測した場合のデータであるが同様の計測を行うことによって各フィルターごとの感度特性係数を求めることができる。これによって求められた感度特性係数を表 3 に示す。

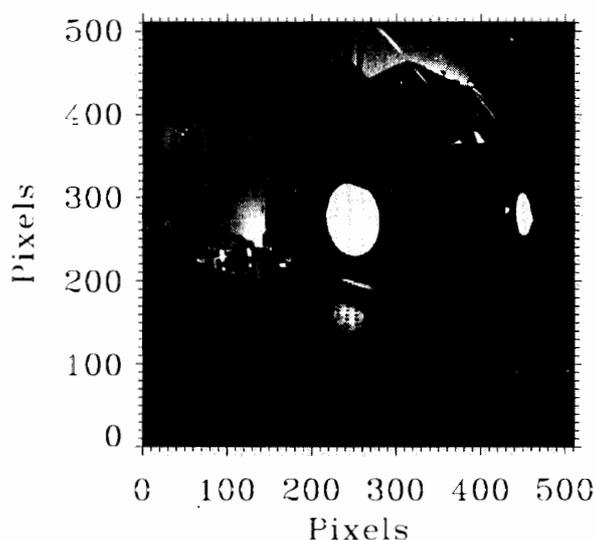


図 5 標準光源を super high ゲインによって撮像した画像。中央部の円形の領域が標準光源からの光である。

Fig. 5. Test image taken in super high gain mode. The white spot in the center is the standard source of light.

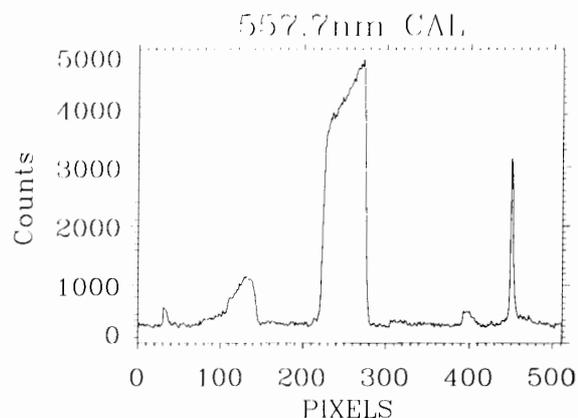


図 6 図 5 の $y=256$ における断面。各フィルターに対応して同様の絶対強度測定を行っている。

Fig. 6. Section through Fig. 5 parallel to the x axis at $y=256$. Similar test images have been taken with each filter to calibrate the absolute intensity of the image.

2.6. データフォーマット

観測データは現地で、ワークステーション上においてフレーム ID, 日付, 時刻 (UTC), CCD 温度, カメラハウス温度, フィルター番号, 露出時間の情報をフレーム情報としてヘッダーに

表3 フィルタの感度特性係数。この係数を読み出したデータに乗ずることによって物理値 (R・s) に変換することができる。

Table 3. The filter sensitivity characteristic coefficient. The observed intensity of the image can be converted to the physical intensity (R・s), with this coefficient.

波長 (nm)	感度特性係数 (R/count)
557.7	10.7
630.0	6.57
427.8	31
730.0	15.7

付加して1フレームごとに保存される。フレーム ID は毎日 0 時 00 分から起算し、日付ごとにディレクトリを変えながら 7 桁のフレーム ID をファイル名として、1 フレームを 1 ファイルとして保存される。フレーム情報はデータファイル先頭の 512 バイトのヘッダー領域に記録されている。データ部分は 512×512 の 2 バイト整数の形式で同様に格納されている。フレーム情報、およびデータを読み出すための構造体を表 4 に示す。

2.7. 試験観測

ASI システム全体の動作および性能試験を行うために、南極点に輸送する前に 1996 年 10 月 10 日深夜から 11 日早朝にかけて、東北大学蔵王観測所において試験観測を行った。観測は、主

表4 ASI-SP で記録に使われているデータフォーマット。この構造体を C 言語プログラムに組み込むことにより読み出しが可能となる。

Table 4. The data format used for the ASI-SP images. This structure definition can be used to read the data with C language.

```

struct {
    int    frame;
    int    date;
    int    time;
    int    sec;
    float  temp;
    int    hk_temp;
    int    filter;
    int    exp_time;
    char   reserv [256-sizeof(int*8)];
} id;

struct {
    int    data[512][512];
} dd;

```



図7 1996年10月11日の蔵王において観測された画像
 Fig. 7. Observed image taken at Zao observatory on October 10, 1997.

に焦点調整と感度特性の確認を中心に行い、11日午前0時45分から4時19分の間、557.7 nmのフィルターによって観測を行った。積分時間は前半60秒、後半30秒とした。この時に取得された画像は、全部で115フレームであった。このデータのうちの1枚を図7として掲げる。3時間30分あまりの観測時間中に数回にわたり水平波長が数kmの波状構造が発達、消滅する様子が見られた。115フレームのデータを動画像の形で時間を短縮してみるとよりはっきりとその様子を見ることが出来る。

2.8. 南極点基地設置

1996年11月に南極点基地 Aurora Lab. 屋上に ASI システムを設置後、1997年6月より本格的に観測を開始した。設置状況に移した写真を図8に示す。屋上に設置したガラスドームの直下に ASI の魚眼レンズを見ることが出来る。室内からみた ASI カメラ本体および、ワークステーション部の全景を図9に示す。南極点基地と国立極地研究所の間はインターネットによって結ばれているが、途中日米回線および米国-南極点間の衛星回線を経由するため実効データ

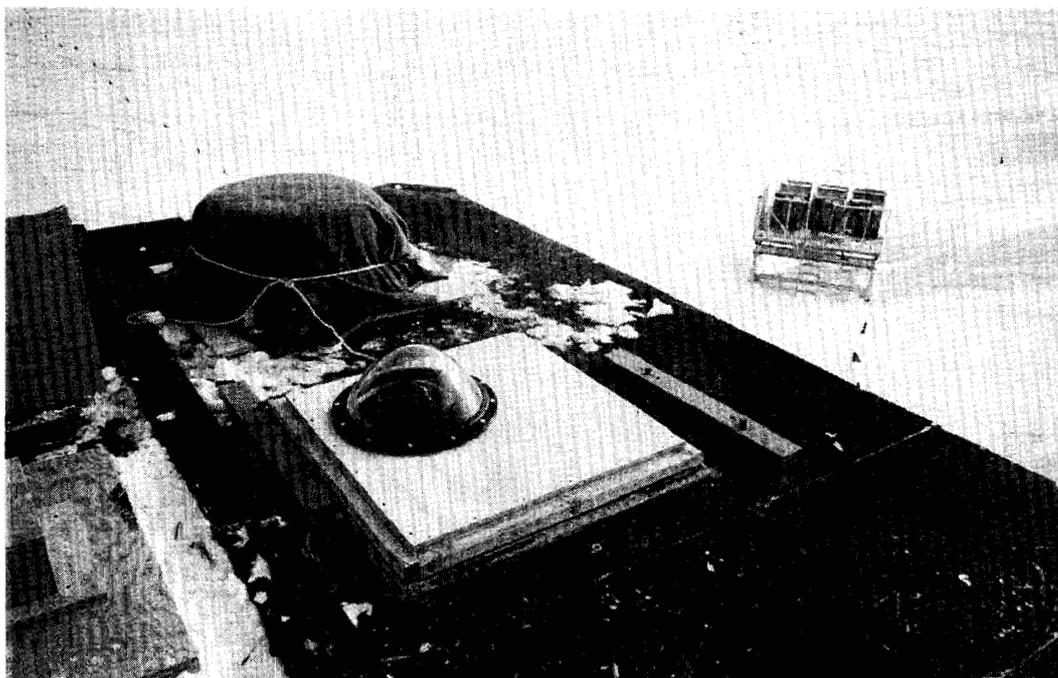


図8 南極点基地 Aurora Lab. 屋上に設置された ASI-SP システムを
レンズ側から見た写真

Fig. 8. The ASI-SP installed at Aurora Lab. in South Pole Station.

図9 ASI-SP システムを室内から見た写真。
ワークステーション部はカメラ部と
ともに暗室に設置されており、ドームの霜
除けのための暖気還流されている。

Fig. 9. The whole ASI-SP system in Aurora
Lab. The system is installed in a dark
room. Warm air blows inside the
dome to prevent frost.



伝送速度は 1200 bps 程度、接続時間は 1 日あたり約 8 時間である。この回線を通じて、運用スケジュールの設定、サマリーデータの電送を行うことができる。毎日 0000 UT に前日の観測結果のサマリー情報が電子メールにより国立極地研究所に伝送され、その結果により次の観測スケジュールの変更等を行うことも可能である。

2.9. 観測結果

1997 年 6 月から 8 月までの間観測を行い、取得した画像数の推移を図 10 に示す。月の出入りやオーロラの活動度に対応して画像の明るさが変化するため、自動積分を行った場合、取得した画像の枚数を見ることである程度のオーロラ活動状況を把握することができる。1997 年 6 月 25 日 11 時 19 分 UT にフィルター 557.7 nm で撮影された画像を図 11 に示す。自動露出モードで運用していた期間であるが、64 秒の露出で撮像された。激しく運動するオーロラと背景の星が写っている様子を見ることができる。南極点でのカメラは画面上方がグリニッジ方向になるよう設置されている。この画像を見ても明らかであるが、オーロラの発光強度は非常に短時間に大きく変化するため、非常に多くの画像において画素値の飽和現象が見られた。月の影響を避けるためにレンズ周辺に遮光板を手作業で挿入することとしたが、月の高度が高い期間には特に画素の飽和が頻繁にみられた。これらの画素値の飽和現象を回避するため、7 月 31 日に自動積分アルゴリズムの変更を行った。この変更の詳細および効果については、全データの詳

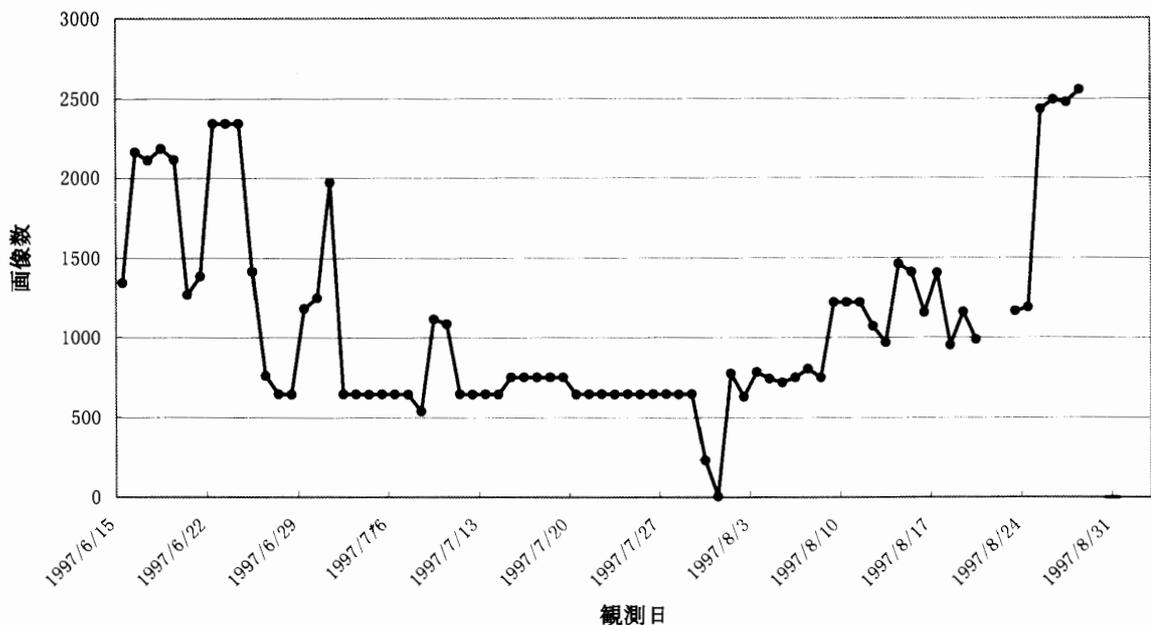


図 10 1997 年の観測によって取得された 1 日ごとの画像取得数の推移。主に自動積分による撮像を中心に行ったため、取得枚数の変動が見られる。

Fig. 10. The number of images per day taken in 1997. The number of images varies due to automation of the integration time.

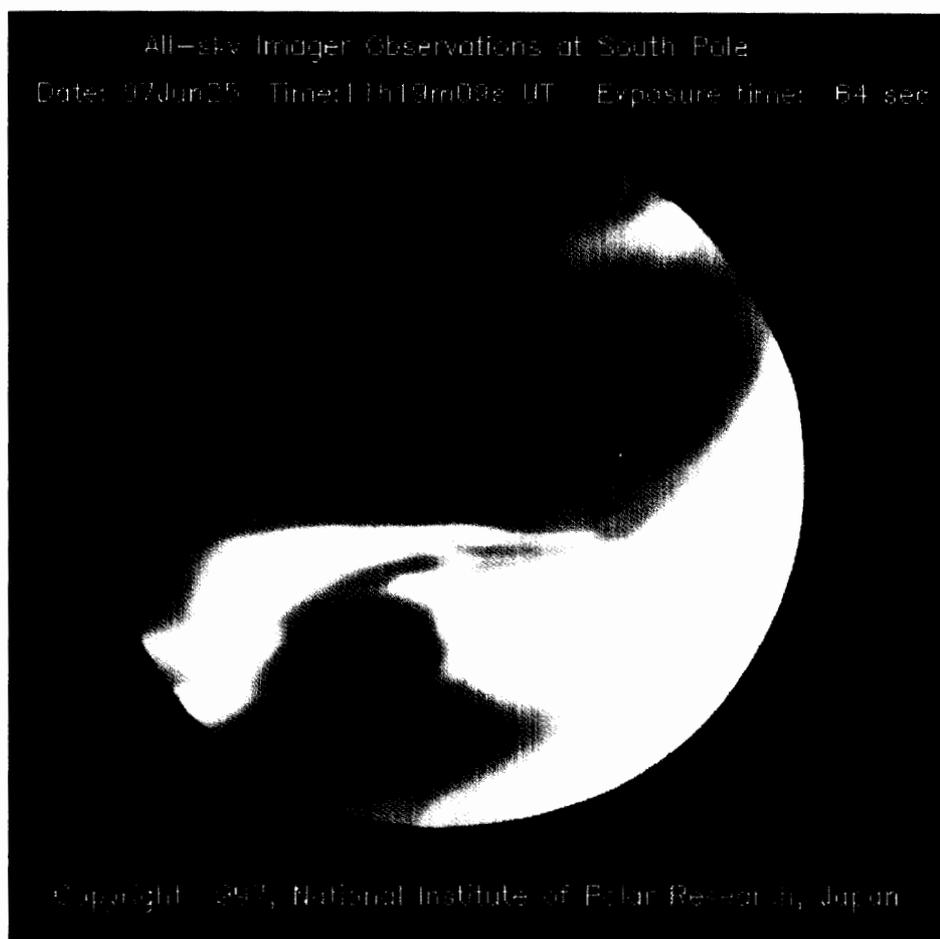


図 11 1997 年 6 月 25 日に観測され、インターネットによって電送された画像
Fig. 11. Observed image taken on June 25, 1997 and sent via the Internet.

細な解析を行い、アルゴリズムの良否等の詳細な検討が必要であると思われる。一方、オーロラの活動が活発な日には 1 日の間にも積分時間の変化としてみる事ができることがわかった。

1997 年 8 月期のオペレーションは、同一オーロラを多波長で観測し、かつ、システム全体の機能、性能試験を兼ねた観測モード F8, F9 及び F10 を用いて運用した。自動積分アルゴリズムの動作は、自動露出設定がオーロラの明るさ及びフィルター交換に応じて、観測イメージ強度が飽和しないように変化していることで確認することができた。同一オーロラを波長（フィルター）を変えて観測することにより、オーロラ発光源のオーロラ粒子（電子）のエネルギーが推定できる。その一例を図 12 に示す。これは、1997 年 8 月 11 日 11 時 50 分 30 秒（UT）及び 11 時 50 分 55 秒（UT）に取得された 557.7 nm と 630.0 nm のオーロライメージで、観測モードは F9、露光時間は 16 秒であった。南極点の MLT（磁気地方時）は約午前 8 時である。酸素緑線（図 12a, 557.7 nm）で見ると低緯度に東西に強いアークがあり、磁気天頂にはコロナ

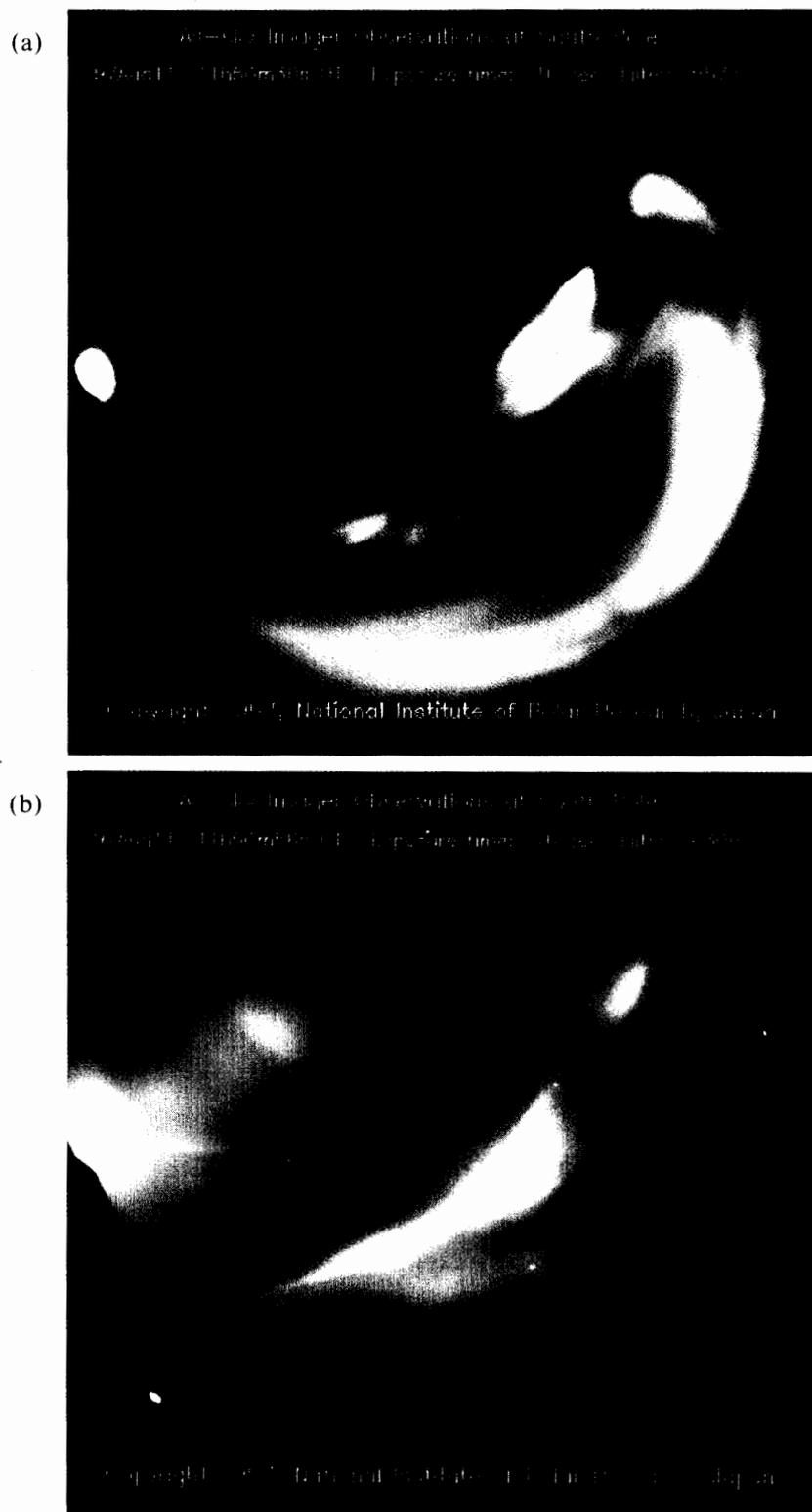


図 12 (a) 1997 年 8 月 11 日 11 時 50 分 30 秒 (UT) に取得された 557.7 nm の画像と (b) 同日 11 時 50 分 55 秒 (UT) に取得された 630.0 nm の画像

Fig. 12. (a) Observed image taken with a 557.7 nm filter at 1150:30 on August 11, 1997 and (b) with a 630.0 nm filter at 1150:55 on the same day.

状オーロラが観測されている。酸素赤線 (図 12b, 630.0 nm) は、低緯度アークに対応するものではなく、コロナ状オーロラの発光強度が強く観測されている。さらに、高緯度側にもコロナ状オーロラが出現している (画面左のスポットは月)。即ち、低緯度アークを発光させているオーロラ粒子のエネルギーは数 keV 以上で低エネルギー成分を含まず、磁気天頂付近では低エネルギー成分を含み、高緯度では逆に、高エネルギー成分がなくなっていることが推測される。これまでの南極点でのオーロラ全天カメラはパングロ (可視全域) 画像であったため、これらの物理過程を知ることができなかった。他の波長でのイメージも含めオーロラ発光過程の MLT 依存性、太陽風磁場との関係、オーロラ粒子の起源、磁気嵐やサブストーム発達過程と昼間側カスプ/クレフトと夜側オーロラ発達過程等、詳細な解析が計画されている。

3. おわりに

本論文では、ASI システムの概要および初期結果について述べた。本 ASI のような単色フィルターを搭載した CCD カメラによる撮像システムは、その感度、解像度等の点においてオーロラ観測、大気光観測の分野においては世界で例を見ないものであり、これからの観測結果に大きく期待されている。また、CCD を使った地球科学観測システムは近年急速に進歩しつつある分野であり、さまざまな応用が可能であるとともに、計算機を使用した画像処理、波動解析などの技術と組み合わせることによりさらに定量的な物理現象の解明に役立つものと予想される。さらに、インターネットを利用したネットワーク技術との連携により、衛星観測を始め、他の地上観測と準リアルタイムでの地球環境のモニタリングが可能になるという新しい可能性を秘めているという点においても大きな期待が持たれている。

今後の課題として、昭和基地へ同等の機器を設置することによりさらに多面的な地球物理現象の解明を進めていく必要がある。

最後に、ASI-SP を用いて得られた観測データの一部については、インターネット上 (<http://www.nipr.ac.jp/~asi-dp>) で公開を行っていることを申し添える。但し、公開されている画像は、グリニッジ方向 (北) を画面下方向、右が東になっている。

謝 辞

試験観測を行わせていただいた東北大学理学部蔵王観測所の森岡昭氏および阿部利弘氏に感謝いたします。南極点での観測に現場で尽力をいただいた ASA, the AURORA Science Technician; Chris CLEAVELIN 氏に感謝いたします。リレーレンズ系制作に多大な協力を頂いた (株) ニコン技術工房技術部門の方々に末筆ながらお礼を申し上げます。

文 献

鮎川 勝・巻田和男 (1996): 南極点基地で見られる昼間側オーロラの特長。南極資料, 40, 267-305.

- EATHER, R.H. (1985): Polar cusp dynamics. *The Polar Cusp*, ed. by J.A. HOLTET and A. EGELAND. Dordrecht, D. Reidel, 149-162.
- EATHER, R.H., MENDE, S.B. and WEBER, E.J. (1979): Dayside aurora and relevance to substorm current systems and dayside merging. *J. Geophys. Res.*, **84**, 3339-3359.
- ELPHINSTONE, R.E., MURPHREE, J.S. and COGGER, L.L. (1996): What is a global auroral substorm? *Rev. Geophys.*, **34**, 169-232.
- NATIONAL INSTITUTE OF POLAR RESEARCH (1995): Data Catalogue in World Data Center C2 for Aurora, **5**, 173 p.
- TAYLOR, M.J. and GARCIA, F.J. (1995): A two-dimensional spectral analysis of short period gravity waves images in the OI (557.7 nm) and near infrared OH nightglow emissions over Arecibo, Puerto Rico. *Geophys. Res. Lett.*, **22**, 2473-2476.
- TAYLOR, M.J., BISHOP, M.B. and TAYLOR, V. (1995a): All sky measurements of short period waves images 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.
- TAYLOR, M.J., FRITTS, D.C. and ISLER, J.R. (1995b): Determination of horizontal and vertical structure of an unusual pattern of short period gravity waves imaged during ALOHA-93. *Geophys. Res. Lett.*, **22**, 2837-2840.
- TAYLOR, M.J., TURNBULL, D.N. and LOWE, W.P. (1995c): Spectrometric and imaging measurements of a spectacular gravity wave event observed during ALOHA-93 campaign. *Geophys. Res. Lett.*, **22**, 2849-2852.
- TAYLOR, M.J., GU, Y.Y., TAO, X., GARDNER, C.S. and BISHOP, M.B. (1995d): An investigation of intrinsic wave signatures using coordinated lidar and nightglow image measurements. *Geophys. Res. Lett.*, **22**, 2853-2856.

(1997年9月17日受付; 1997年9月24日改訂稿受理)

附表 1 1997年6月の観測スケジュール
Appendix 1. Observation schedule in June 1997.

日付	開始	終了	モード	日付	開始	終了	モード
970601	0000	2359	F0	970616	0000	2359	F0
970602	0000	2359	F0	970617	0000	2359	F0
970603	0000	2359	F0	970618	0000	2359	F0
970604	0000	2359	F0	970619	0000	2359	F0
970605	0000	2359	F0	970620	0000	2359	F0
970606	0000	2359	F0	970621	0000	2359	F0
970607	0000	2359	F0	970622	0000	2359	F0
970608	0000	2359	F0	970623	0000	2359	F0
970609	0000	2359	F0	970624	0000	2359	F0
970610	0000	2359	F0	970625	0000	2359	F0
970611	0000	2359	F0	970626	0000	2359	F0
970612	0000	2359	F0	970627	0000	2359	F0
970613	0000	2359	F0	970628	0000	2359	F0
970614	0000	2359	F0	970629	0000	2359	F0
970615	0000	2359	F0	970630	0000	2359	F0

附表 2 1997年7月の観測スケジュール
Appendix 2. Observation schedule in July 1997.

日付	開始	終了	モード	日付	開始	終了	モード
970701	0000	2359	F1	970717	1100	1959	F7
970702	0000	2359	F1	970717	2000	2359	F1
970703	0000	2359	F1	970718	0000	1059	F1
970704	0000	2359	F1	970718	1100	1959	F7
970705	0000	2359	F1	970718	2000	2359	F1
970706	0000	2359	F1	970719	0000	1059	F1
970707	0000	2359	F1	970719	1100	1959	F7
970708	0000	2359	F1	970719	2000	2359	F1
970709	0000	2359	F1	970720	0000	2359	F1
970710	0000	2359	F1	970721	0000	2359	F1
970711	0000	2359	F1	970722	0000	2359	F1
970712	0000	2359	F1	970723	0000	2359	F1
970713	0000	2359	F1	970724	0000	2359	F1
970714	0000	2359	F1	970725	0000	2359	F1
970715	0000	1059	F1	970726	0000	2359	F1
970715	1100	1959	F7	970727	0000	2359	F1
970715	2000	2359	F1	970728	0000	2359	F1
970716	0000	1059	F1	970729	0000	2359	F1
970716	1100	1959	F7	970730	0000	2359	F1
970716	2000	2359	F1	970731	0000	2359	F1
970717	0000	1059	F1				

附表3 1997年8月の観測スケジュール
Appendix 3. Observation schedule in August 1997.

日付	開始	終了	モード	日付	開始	終了	モード
970801	0000	2359	F7	970818	0000	2359	F10
970802	0000	2359	F7	970819	0000	2359	F2
970803	0000	2359	F7	970820	0000	2359	F2
970804	0000	2359	F7	970821	0000	2359	F2
970805	0000	2359	F7	970822	0000	2359	F2
970806	0000	2359	F8	970823	0000	2359	F2
970807	0000	2359	F8	970824	0000	2359	F2
970808	0000	2359	F8	970825	0000	2359	F7
970809	0000	2359	F9	970826	0000	2359	F7
970810	0000	2359	F9	970827	0000	2359	F7
970811	0000	2359	F9	970828	0000	2359	F7
970812	0000	2359	F10	970829	0000	2359	F1
970813	0000	2359	F10	970830	0000	2359	F1
970814	0000	2359	F10	970831	0000	2359	F1
970815	0000	2359	F10	970901	0000	2359	F1
970816	0000	2359	F10	970902	0000	2359	F1
970817	0000	2359	F10				