

共役点オーロラ画像処理システムの開発

港屋浩一¹・小野高幸²・佐藤夏雄²・巻田和男³・芳野赳夫⁴Development of Image Data Processing System
for the Conjugate Auroral TV DataHirokazu MINATOYA¹, Takayuki ONO², Natsuo SATO²,
Kazuo MAKITA³ and Takeo YOSHINO⁴

Abstract: An image data processing system has been developed in order to analyze auroral conjugacy of auroral positions, shapes and motions. The new system has the following advantages: 1) A large amount of image data can be quickly and efficiently analyzed by using the system. 2) The geomagnetic coordinate display and auroral dynamic display produced by the system are useful for comparison of auroral positions, shapes and motions between two hemispheres. 3) The smooth combination techniques of auroral image data make it possible to investigate auroral conjugacy with wider field of view than that of one station.

The developed processing system is applied to conjugate auroral TV camera data of September 9-10, 1991 events observed at Syowa and Asuka stations, in Antarctica and Husafell in Iceland.

要旨: オーロラの位置、形および動きに関する南北共役性の解析を行うためにオーロラ画像処理システムの開発を行った。本システムは以下の3点で重要な特徴をもっている。1) 本システムにより、大量の画像データを高速かつ効率的に解析できる。2) 磁気座標展開図およびオーロラダイナミック表示図により、オーロラの位置、形および動きに関する南北比較が容易である。3) 昭和基地とあすか基地の画像を合成することにより広範囲のオーロラ像を確認することができる。本システムを用いた実データ解析として、1991年9月9日~10日、昭和基地、あすか基地、Husafellの3点同時に観測されたSITオーロラTVカメラデータに適用してみた。

1. はじめに

一般にオーロラ粒子は夜側磁気圏赤道面付近で生成され、南北に分かれて磁力線に沿って極域電離層に降下し、オーロラを光らせると考えられている。地球磁気圏はほぼ南北対

¹ 電気通信大学電子工学専攻, Graduate Course of Electronics Engineering, The University of Electro-Communications, 5-1, Chofugaoka 1-chome, Chofu-shi, Tokyo 182.

² 国立極地研究所, National Institute of Polar Research, 9-10, Kaga 1-chome, Itabashi-ku, Tokyo 173.

³ 拓殖大学工学部, Faculty of Engineering, Takushoku University, 815-1, Tate-Machi, Hachioji-shi, Tokyo 193.

⁴ 電気通信大学電子工学科, Department of Electronics Engineering, The University of Electro-Communications, 5-1, Chofugaoka 1-chome, Chofu-shi, Tokyo 182.

称形の磁力線構造を持つため、極域の磁気共役点においては、同じ源の降下粒子で光るオーロラが見られると考えられる。この仮設に基づきオーロラの共役性の有無が検証されてきた (BELON *et al.*, 1967, 1969; BOND, 1969; DAVIS *et al.*, 1971; STENBAEK-NIELSEN *et al.*, 1972, 1973a, b; FEHRENBACH *et al.*, 1974; MAKITA *et al.*, 1981; SATO *et al.*, 1986; SATO and SAEMUNDSSON, 1987; FUJII *et al.*, 1987a, b)。これまでの観測結果によると、磁場モデルを用いて推定された共役点付近では必ずしも共役オーロラが見られるとは限らないことが分かってきた。また共役オーロラが見られる場合でも、位置、動き、大きさ、微細構造、明るさなどが両半球で異なる場合があることも分かってきた。すなわち、これらの結果からオーロラ粒子の注入から発光までの間に南北非対称なメカニズムが作用していると考えられている。

オーロラの共役性について定性的な特徴は分かりつつあるが、未だその原因についての本質的な解明には至っていない。これまでの研究から、観測、解析上の障害としては以下のことが考えられている。

1) 1観測点对の観測視野の狭さ。いままでの解析結果によると、1観測点对データでは観測視野は狭く(半径約500 km程度)、不十分であることが分かってきた。たとえば、共役点の経度方向のずれが、観測視野範囲外にも及んでいる可能性が高い例が報告されている (FUJII *et al.*, 1987a, b; SATO and SAEMUNDSSON, 1987)。また、両半球で異なるオーロラが見られる例や片半球だけにオーロラが見られる例が報告されているが、この場合も共役点の位置が観測視野外に移動してしまっている可能性も考えられている (BELON *et al.*, 1968, 1969; DAVIS *et al.*, 1971)。通常の観測では、広範囲のオーロラを撮像するためのレンズとして観測角が90°(天頂-地平線)に近い魚眼レンズが用いられる。計算上の理想的な魚眼レンズの観測視野は、オーロラ高度を100 kmと仮定すると、半径約1100 kmにも及ぶ。しかし、実際は撮像面の空間分解能によって、有効観測視野は約500 km以下(およそ視野角81°に相当:付録Aの図A4参照)になる。広範囲のオーロラ共役現象を調べるためには、一つの方法として隣接する複数の観測点で観測を行うことにより、実効的な観測視野を拡大する方法が考えられる。

2) 画像データ処理能力不足。全天画像を磁気座標面に投影するためには、画像データをデジタル化し、演算処理を行うことが必要である。ところが、従来の解析技術では膨大な情報量を有する画像のデジタル化、演算および保存等の作業を行うことは困難であった。最近の技術開発によりコンピューターの演算処理の高速化、データ保存媒体の大容量化および解析周辺機器の性能の向上がなされ、大量の画像データに対する効率的な画像処理が可能となった。

本論では以上に述べた諸問題を解決する方法として、1) 南極では昭和基地に隣接したあすか基地でも観測を行った。これにより、実効的な観測視野を拡大させた。2) 解析シ

システムの開発を行い、処理能力の向上を図った。すなわち、

- a) 本オーロラ画像データ処理システムにより、大量の画像データを高速かつ効率的に解析できるようになった。
- b) 磁気座標展開図およびダイナミック表示により、南北オーロラの位置、形および動きに関する比較が容易になった。
- c) 昭和基地とあすか基地の画像データを合成することにより、連続的かつ広範囲のオーロラ空間構造を確認することができる。

本論文では開発した画像処理システムを中心に紹介する。

2. 観測データ

1983年以來、アイスランド-昭和基地におけるオーロラの共役点同時観測が毎年実施されている (SATO *et al.*, 1984; 佐藤ら, 1985)。1987年からはあすか基地でも越冬観測が開始され、昭和基地と同様に超高層現象に関する総合的な観測が行われるようになった。特に共役観測期間中は昭和基地と同様、集中的なオーロラ観測を実施してきた。

1991年3月5~18日、9月1~11日にはアイスランドの Husafell と Tjörnes, そして南極の昭和、あすか両基地において TV カメラによるオーロラ同時観測が実施された。この2観測点对は南北でそれぞれほぼ共役の関係することが IGRF (International Geomagnetic Reference Field) モデル (IAGA, 1987) によって推定されている (ONO, 1987)。観測には SIT-TV カメラが用いられ、観測データは NTSC ビデオ信号 (VHS, SVHS, または 8 mm ビデオテープ) として収録されている。対物レンズとしては魚眼レンズが用いられ、最大観測角が約 90° (天頂-地平線) の全天画像となっている。

IGRF モデルの経年変化の大きさは、1年間で緯度方向では最大 0.02° (2~3 km)、経度方向では最大 0.07° (3~4 km) であり、数時間の共役点の変位を議論するうえでは磁気

表 1 南北共役観測点の位置。経度は東経を表す。磁気緯度、経度、 L 値は IGRF'90 モデルを用いて計算した。経年変化をみるために、1991年と1992年、1月1日 00 UT の値を示した。

Table 1. Location of conjugate-pair stations in Iceland and Antarctica. Geomagnetic latitude, longitude and L-value are calculated with IGRF '90 model for 00 UT on January 1, 1991 and 1992 to demonstrate IGRF secular variation during the 2 years.

観測点	地理緯度, 経度	磁気緯度, 経度		L 値	磁気緯度, 経度	
		1991年1月1日 00 UT			1992年1月1日 00 UT	
Husafell	64.67°, 338.97°	65.97°, 68.88°		6.03	65.95°, 68.81°	
Tjörnes	66.20°, 342.88°	66.93°, 73.28°		6.51	66.91°, 73.21°	
Syowa Station	-69.00°, 39.58°	66.54°, 71.79°		6.31	66.54°, 71.83°	
Asuka Station	-71.53°, 24.14°	65.41°, 58.83°		5.77	65.41°, 58.89°	

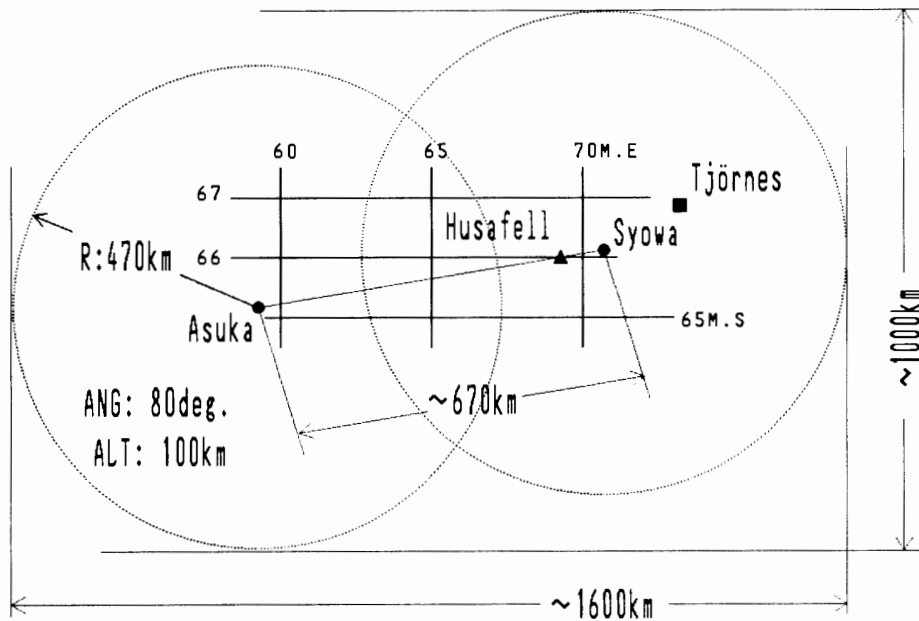


図1 昭和基地、あすか基地、および Husafell、Tjörnesの磁気的位置関係。Husafell、Tjörnes は磁気共役点を表す。有効最大観測角を 80° と仮定すると、オーロラ高度 (100 km) では有効最大観測半径が約 470 km に相当する。昭和基地とあすか基地における観測エリアを合わせると磁気経度方向に約 1600 km、緯度方向に約 1000 km になる。

Fig. 1. Magnetic locations of Syowa, Asuka, Husafell and Tjörnes. Locations of Husafell and Tjörnes show the geomagnetic conjugate points. If the effective observational angle is 80° from the zenith, the effective maximum observation radius becomes about 470 km from the zenith at 100 km altitude.

In this reason, the total observational areas of Syowa and Asuka become about 1600 km in the magnetic longitudinal direction and about 1000 km in the magnetic latitudinal direction at auroral height (100 km).

緯度、経度の経年変化量は解析上十分小さいと考えられる。表1は各観測点の位置を示す。磁気座標値は IGRF 1990年モデルを用いた計算結果である。経年変化をみるために、1991年と1992年の1月1日00 UTの各観測点の磁気緯度、経度を示した。本解析では1991年1月1日00 UTにおけるIGRFモデルによって定義される磁気座標を用いている。

図1に南半球側の磁気座標面上に示した各観測点の磁気的位置関係を示す。観測点にて魚眼レンズを使用して観測した場合、有効最大観測角を 80° と仮定するとオーロラの発光高度 100 km では有効最大観測半径が約 470 km となる。有効観測エリアは図中の円内になる。今回、南半球側での観測は昭和基地、あすか基地の2点において行われたため、経度方向で約 1600 km、緯度方向で約 1000 km の広範囲のオーロラ現象を調べることが可能となった。

3. データ解析

国立極地研究所のオーロラデータセンターには、ワークステーション AS3260A (SUN-3/260c)、画像処理専用周辺機器、および画像処理ソフトウェアから構成される ARSAD (automatic retrieval system for auroral data) が設置されている (ONO, 1993)。この ARSAD はフィルムおよびビデオ信号形式で記録された画像データのデジタル化、並びに記録媒体 OD (optical disk) への保存を行うことができる。また、データ形式が全天画像であるならば、IGRF 磁気座標系を参照して作成される磁気座標展開図、オーロラダイナミック表示図および任意磁気座標点強度の時間変化図を得る機能を有する。ARSAD はオーロラデータセンターの一般ユーザー向けに設計されており、上述の画像処理を容易に行うことができる。

オーロラ共役現象を解析するうえで、ARSAD を利用するのは有効である。しかし、特定のデータ処理しか行うことのできない ARSAD をそのまま使用するのでは、解析方法が制限されてしまう。そこで、本解析では ARSAD の一部を利用し、本解析目的に合ったソフトウェアを新たに加え、効率良く解析できる画像処理システムを開発した。本画像解析システムでは従来の ARSAD に比べて次のような改善点がある。

1) ARSAD は、南極の昭和基地およびあすか基地で得られた全天画像データに対してだけ磁気座標展開などの画像処理を行う限定使用のものであった。本システムでは、さらにアイスランドの Husafell, Tjörnes など、任意点の全天画像に対して画像処理を行うことを可能とした。また、この画像処理の際に全天画像と磁気座標との対応付け作業が必要であるが、これを AS3260A で行うには長時間の演算を必要とする問題点があった。そのため、高速演算能力を有する情報科学センターの大型計算機 (M-680D) を用いることによって、作業効率の向上を図った。

2) 画像のデジタル化の際には画像ごとの観測時刻、観測点名称などを付加することにより、演算処理の段階で希望時刻、観測点のデータを自動的に選出できるようにした。また、画像サイズの縮小、並びに画像の回転および反転処理を行うことにより、効率良く解析できるようにした。

3) ARSAD では特定の画像処理および結果の表示しかできないが、本システムでは外部記憶装置間入出力およびグラフィック処理に関する基本的プログラム関数を作成し、解析目的に応じて、それらを組み合わせることにより、容易に画像処理プログラムを作成できるようにした。

以下にビデオデータから磁気座標展開図などの作成までの処理方法について述べる。本システムを大別すると、1) 画像データのデジタル化、並びに 2) オーロラの磁気座標面への投影に分けられる。

3.1. 画像のデジタル化

図2にビデオデータをデジタル化し、データの保存およびグラフィックディスプレイへの表示までの手順を示す。すなわち、

- 1) オリジナルデータをOVD (optical video disk) に編集する。
- 2) OVD 画像をデジタル化する。
- 3) デジタル画像の演算および結果のグラフィックディスプレイへの表示、並びにMO (magnetic optical disk) およびODに保存する。

図3a, b, cにオリジナルデータのデジタル化からグラフィックディスプレイへの表示、並びにデータ保存までの画像処理システムを示す。

3.1.1. ビデオテープからOVDへの画像編集

図3aでは、ビデオテープに記録されたオリジナルデータをOVDに編集するまでのシステムを表す。ビデオテープから出力された画像信号は、TBC (time-base corrector) とリアルタイム画像処理装置image- Σ を介してOVDに書き込まれる。OVDに編集する理由は、

- 1) 画像はアナログデータとしてOVDに光学的に書き込まれるため、基本的にデータの劣化が無い。
- 2) 画像を1秒以上の任意サンプリング周期でコマ撮りすることができ、長時間データを保存できる (54000 画像/片面)。
- 3) OVDに編集された画像にはアドレスが付加されるので、高速な検索と表示が可能である。
- 4) 画像のデジタル化には、時間的に正確かつ安定した出力信号が必要であるが、OVDの出力信号はジッタ (水平同期信号の不安定さ) が少ない。

観測には民生用ビデオデッキ (VHS, SVHSおよび8 mm video) が用いられているため、観測時の記録及び帰国後の再生時のテープ速度には不安定さとずれが生じる。また、ビデオテープは記録保持能力が良くないので再生波形はなまり、水平同期信号周波数はずれやすい。OVDに画像を記録する場合、入力水平同期信号には中心周波数15.750 kHzに対して ± 3 Hz以内の高精度が要求される。そのため、ビデオ信号をそのままOVDに入力したのではOVDはビデオ信号と同期をとることができず、記録することができない。したがってTBCによって、ビデオテープから出力されるビデオ信号の波形整形を行う。

オリジナル信号の出力レンジに関しては、デジタル化後の解析に不十分な場合がある。また、通常TVカメラの画像は30 frames/sであり、超高感度TVではTV画像特有のランダムノイズが見られ、画像はざらつく。そこで、オリジナルビデオデータからOVDに編集する段階でリアルタイム画像処理装置 (image- Σ) を用いて、画像のゲークレレベル (brightness)、明るさ (contrast) の調節および時間平均処理を行い、画像のSN

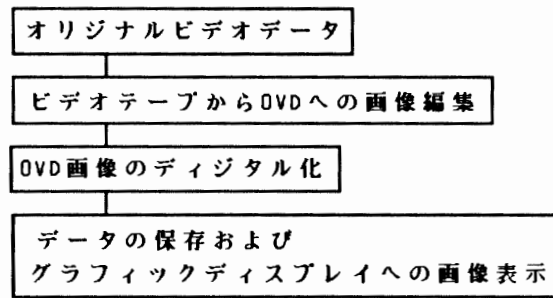


図2 ビデオデータのデジタル化の手順

Fig. 2. Operation procedure for the digitizing of video image data.

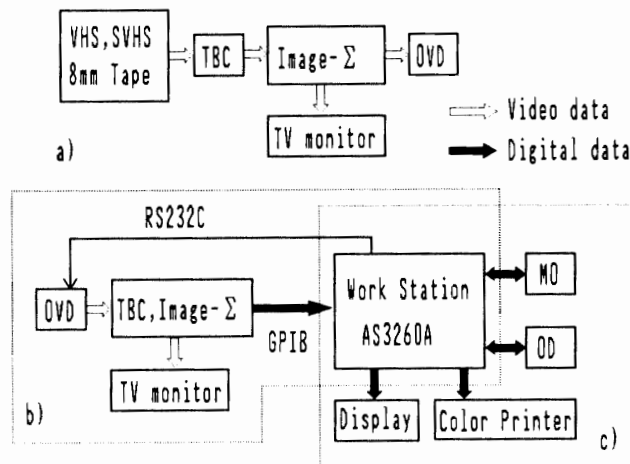


図3 オーロラ画像データ処理システム a) オリジナルデータをOVDに編集する。 b) OVDに編集された画像をデジタル化する。 c) デジタルデータを演算および結果表示、並びにMOおよびODへの保存を行う。

Fig. 3. Processing system of auroral image data. a) Original data are edited to OVD at any sampling rate. b) Image data on OVD are converted into digital data. c) Digital data are analyzed and displayed on the graphic display, which is saved on MO or OD.

比を改善する。

Image- Σ はリアルタイムで入力画像をAD変換後に演算処理し、再びDA変換出力する機能をもっている。時間平均処理では平均枚数を多くすると画像のSN比は改善されるが、平均時間以下のオーロラの動きの変化は認識できなくなるため、実際の解析では平均処理枚数は画像のざらつきが見えなくなる程度の10枚とした。

画像のOVDへの記録には、OVD装置が有する機能、「インターバル録画モード」を用いる。インターバル録画では、OVD装置内部のカウンターにて1秒以上のサンプリング時間で録画できる。したがって、OVD片面で1秒サンプリングの場合、54000枚=15時間分の大量録画が可能となる。

オーロラ観測時の時刻情報は、ビデオ画像中（時刻表示）、並びに音声チャンネル

(IRIG コード) に記録されている。データ処理システムでは IRIG コードを参照しつつ録画させることも可能であるが、IRIG コード記録がない場合、画面中に表示されている時刻を使用する。

ビデオを再生すると、TV モニターではオーロラ画像の変化とともに時刻がカウントされていくが、時刻変化は再生されるテープスピードに依存するため、再生時の時刻カウント間隔は正確ではない。したがって、あるサンプリング周期で OVD インターバル録画していると、それに相当する時刻カウント数がずれてくる。このことは後述の画像データデジタル化の際に、希望時刻の画像を OVD から選出できなくなるという問題につながる。

この対策としては、後の解析に支障がない程度の短いサンプリング周期で OVD に録画する方法が考えられる。たとえば、通常 3 時間ほどのオーロラ形態の変化を解析する場合、10 秒に 1 コマ程度の割合でオーロラ画像を OVD に録画しておけば良いが、これでは録画される画像の時刻は最大 10 秒以内の不確実性を有する。そこで 2 秒ほどの短いサンプリング周期で録画すると、2 秒の誤差で 10 秒ごとの画像が得られることになり、解析には支障が無くなる。この場合、録画枚数は 5400 枚であり、OVD 容量の面でも支障は無い。

3.1.2. OVD に記録された画像のデジタル化

図 3b に OVD に編集録画された画像データをデジタル化し、AS3260A 主記憶部に転送するまでのシステムを示す。

OVD から出力された画像データは、TBC を介して image-Σ に入力される。OVD は AS3260A によって RS232C インターフェースを経由して制御される。OVD 画像はそれぞれアドレスをもち、本システムで開発したソフトウェアでは AS3260A 上から指定されたアドレス画像を選出し、再生することができる。Image-Σ の画像データ出力にはアナログ出力端子のほかにデジタル出力端子があり、GPIB インターフェースを経由してデジタル画像は AS3260A に転送される。この作業が完了したとき、AS3260A 側では RS232C インターフェースを経由して次の指定アドレス画像を出力するように OVD に命令する。

以上の一連の動作を繰り返すことによって、画像のデジタル化が逐一行われる。画像のデジタル化は 1 枚当たりおよそ 6 秒で完了する。デジタル化は基本的に image-Σ では瞬時に行われるため、1 画像のデジタル化にかかる時間は image-Σ 内のイメージフレームメモリから GPIB インターフェースを経由して MO へ転送、書き込みする際にかかる時間が主である。

転送されたデジタル画像は 1 画素 1 byte (256 階調) データであり、1 枚のサイズは横 640 画素×縦 480 画素=307.2 kbyte である。本システムでは後のデータ保存、解析効率を考えて、4 分の 1 のデータサイズの $320 \times 240 = 76.8$ kbyte に間引いて扱うことにした。

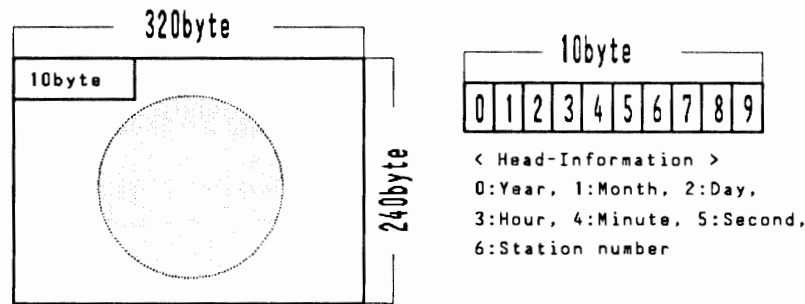


図4 デジタル画像のサイズ、および先頭情報のフォーマット

1画像は320×240バイトから成り、先頭の10 byteに画像の日付、時刻、観測点番号を記録するようにした。

Fig. 4. Image size and format of the digital image data header. Image size is 320×240 bytes. The header (10 bytes) contains the date, time and station number.

(a) 画像の時刻管理

画像のデジタル化をコントロールするプログラムでは、画像に観測時の日付、時刻および観測点情報を数値として書き込むように設計している。この処理によって、デジタル画像データセットから指定日時および観測点の画像を効率的に検索することが可能となる。

ところで、前述のようにインターバル録画モードで記録されたOVDデータセットでは時刻カウント値が整数秒値にはならない問題がある。このため、多観測点からの画像データの比較解析を行う場合、各点同一時刻の画像を得ることは困難になる。この対策としては解析に支障の無い誤差範囲内で各点ほぼ同一時刻の画像を選出する方法が採られる。

本解析では多観測点のOVDデータセットから各点同一の解析サンプリング周期で同一時刻の画像を選出する場合、解析画像の開始および終了時刻、並びにその間の画像枚数から画像1枚あたりのサンプリング周期を算出し、それを参照してほぼ解析サンプリング周期に近い画像を選出する方法を用いている。

画像中の表示時刻と解析時刻との間にはOVDデータセット1枚分の誤差が生じる。しかし、あらかじめ解析に支障の無いほどの短いサンプリング周期でOVD記録が行われていれば問題はない。

選出された画像には解析サンプリング周期および選出画像枚数から算出された時刻（解析時刻）、日付および観測点情報が画像ファイルの先頭10 byteに付加される。

図4にデジタル画像データ1枚のサイズおよび先頭情報の内容を示す。年は西暦の下2桁を記すことにし、観測点は昭和：1、あすか：2、Husafell：3、そしてTjörnes：4と設定した番号で表すことにした。

(b) 画像の回転および反転処理

観測される全天像は長方形の撮像領域のほぼ中央に結像される。観測では基本的に長方

形の縦または横軸方向をほぼ磁気子午線に沿うように TV カメラを設置して行われる。ところが各観測点のオーロラ TV 画像において、縦または横軸の方向はそれぞれ観測点の設置条件の理由で異なる。このため各観測点のオーロラの様相を調べる場合、原画像のままオーロラの形動態の特徴を認識することは非常に困難である。したがってデジタル化の際に必要な応じて画像の反転および 180° の回転処理を行い、観測方位の統一を図った。本解析では、ほぼ上側が磁気高緯度、右側が磁気東になるように処理を行った。

3.1.3. データの保存およびグラフィックディスプレイへの出力

図 3c にデジタル画像の MO および OD への保存、並びに演算処理画像のグラフィックディスプレイへの表示システムを示す。

デジタル化を行うプログラムによって、画像データはデータサイズの縮小、時刻情報の付加、回転および反転処理等の演算を受けた後、MO に一時的に保存される。MO の容量は片面でおよそ 512 Mbyte ほどであり、1 枚 $320 \times 240 = 76.8$ kbyte のデータを保存するとおよそ 6600 枚の画像を保存することができる。

MO は AS3260A 上の他ユーザーと共用しているため、一時的なデータの保存および作業用にしか使用しないことにする。最終的なデータの保存にはデータ書換不可能な OD を用いる。OD は片面 400 Mbyte の容量を有する。OD 装置はユーザーレベルでの OD の脱着が可能であるので、各ユーザーは各自所有の OD を使用する。

MO または OD に保存された画像データは、再び画像処理プログラムによって演算が行われる。その結果はグラフィックディスプレイ上に表示される。グラフィックディスプレイは横 $1152 \times$ 縦 900 画素を有する。画像表示環境は sun view を用いている。色は 128 階調 RGB カラーテーブル値によって決められ、1 バイトデータは 128 階調で色分けされる。必要に応じて、ディスプレイの出力画像はカラープリンターによってハードコピーをとることができる。

本システムでは外部記憶装置 (MO および OD)、並びにグラフィック表示に関する基本的プログラム関数を作成し、それらを組み合わせるだけで容易に画像処理プログラムを作成できるようにした。これらの基本的関数は C 言語記述であり、インクルードファイルとして AS3260A ユーザー作業領域にインストールしてある。これらの関数では基本的に引き数を入力するだけで、画像の演算結果を容易に表示することができるという特徴をもつ。付録 C に主な基本的プログラム関数例、およびそれらを使用した画像表示プログラム例を示す。

3.2. オーロラの磁気座標面への投影

魚眼レンズを用いた全天 TV による全天画像は、中心からの距離が天頂角に比例するという特性を有するため、そのままオーロラの磁気共役性を議論するには限界がある。本

解析では全天画像を磁気座表面に投影することによって、オーロラの磁気的空間特性（位置、形および動き）を容易に認識できるようにした。具体的には瞬時のオーロラの形、位置を表すための磁気座標展開図とある時間帯の任意経（緯）度方向のオーロラの動きを表すためのオーロラダイナミック表示図を作成する。座標系は IGRF モデルによって定義される地磁気座標系（不変磁気緯度、経度：1990 年モデル (IAGA, 1987)）を用いている。

3.2.1. 磁気座標展開図の作成

磁気座標展開図を得るためには全天画像画素と磁気座標との対応付けが必要である。ところで全天画像中の全画素に対する磁気座標への写像処理に膨大な時間がかかり、実用的な解析は不可能である。本解析では ONO *et al.* (1987), 小野ら (1988) によって考案された方法に準じて、高速かつ効率的に磁気座標展開図を作成している。

磁気座標展開図作成の手順を大別すると、図 5 において

- 1) 全天パラメーターを設定する。
- 2) 高度 0 km および 100 km における 1° 刻みの磁気格子点→地心座標変換テーブルの作成を行う。
- 3) オーロラ高度における磁気座標→全天画像処理変換テーブルの作成を行う。
- 4) 磁気座標展開図を作成する。

以上の手順の詳細を付録 A に記す。全天パラメーターとは全天画像の中心の位置、半径、観測方位およびレンズの集光特性、並びに磁気座標展開する磁気座標範囲である。

観測方位およびレンズの集光特性は全天画像中に見られる星と天文計算による星位置を比較し、両者に見られる同一の星を合致させて推定する。観測方位は星を合致させたときの両図間の回転角、並びにレンズの集光特性は両半径の比である。全天画像の有効観測角を 80°（高度 100 km）とすると、星の重ね合わせで ±2 画素分の誤差が見込まれ、これ

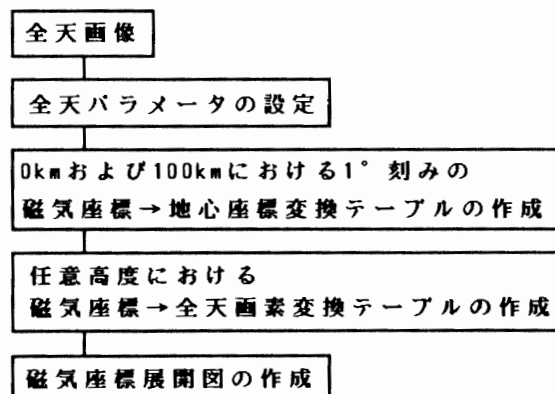


図 5 磁気座標展開図作成の手順

Fig. 5. Procedure for production of geomagnetic coordinate display.

により最大約 ± 51 kmの誤差範囲内で観測方位およびレンズの集光特性を確定することができる。

磁気座標展開図を得るためには、全天画像画素と任意高度における磁気座標との対応付けを行う必要がある。この作業は手順2)と3)の2段階に分割することによって効率化および高速化を図っている。手順2)では磁気格子点に対応する地心座標値を求めることを目的としている。ところが、通常IGRFモデルでは地心座標から一義的に磁気座標値を求めることができるが、その逆は容易にはできない。この解決方法として求める磁気座標点付近で地心座標 \rightarrow 磁気座標変換を集束するまで行う方法が採られている。この計算は時間がかかるので高度0~200 kmにおける全天画像をカバーする範囲の 1° 刻みの磁気格子点だけに対して行う。本解析では磁気格子点範囲を天頂を中心とする磁気緯度幅 20° 、磁気経度幅 35° とした。計算結果は要素数 21×36 から成る変換テーブル値として保存される。この変換テーブルは高度0 kmおよび100 kmに対して作成される。

手順3)では2)の変換テーブルおよび1)の全天パラメータを用いて、一次近似的に任意高度における 1° 以下の磁気座標に対する全天画像画素アドレス値を求める。ここで磁気座標展開範囲に相当する磁気平面を要素数が縦 $320 \times$ 横 320 である配列テーブルで表現する。そして全要素に対して各要素ごとの計算結果(全天画像画素アドレス)をテーブル値として保存する。2)および3)の作業は大型計算機上で行う。2)および3)の作業を68020 CPUを使用するAS-3260A上で実行すると、それぞれ約1.5日および約50分間かかるが、大型計算機では約30分および約1分間に短縮される。IGRFモデルでは経年変化が少ないと考えられるので、本解析では日時を1991年1月1日00 UTを仮定した磁気座標を使用している。したがって2)の作業は長時間かかるが、一度だけ実行すれば良い。3)では解析の目的、観測日時によって全天パラメータの変更があるため、その都度計算する必要がある。したがって、磁気座標展開図の作成において手順を2)と3)に分割することによって作業の効率化が図られる。1)で作成されたテーブルはネットワークを經由してAS3260Aに転送される。全天画像から磁気座標展開図への変換はこの変換テーブルを参照するだけなので、高速に行われる。

3.2.2. オーロラダイナミック表示図の作成

3.2.1節で作成した磁気座標展開図において、指定経(緯)度線に沿った任意緯(経)度幅の領域成分を抽出することにより、指定磁気経(緯)度線上の平均強度プロファイルを得ることができる。これを任意時間帯について編集し、表示することにより、指定磁気経(緯)度方向のオーロラの動きおよび活動状況を表現することができる。

4. 共役点オーロラの画像処理結果

1991年の観測結果では、共役同時観測例は合計11夜であった。本論ではこれらのう

ち、天候が快晴であり、活動的なオーロラが見られた3点同時観測例（9月9日2210 UT～10日0130 UT, Husafell, Syowa および Asuka の同時観測）を用いて処理および解析を行った。

4.1. 画像処理結果

3観測点における、9日2210 UT～10日0130 UT（200分間）のオーロラの様子（共役性）を調べるために10秒ごとのデジタル画像データセットを作成し、それを用いて3点の指定時刻（時間）の全天画像、磁気座標展開図、およびオーロラダイナミック表示図を作成した。以下に示す作業の所要時間およびデータ量を表2に示す。

- 1) ビデオテープからOVDへの編集作業（サンプリング周期1秒）
- 2) OVDデータのデジタル化およびMOへの保存（サンプリング周期10秒）
- 3) 磁気座標→全天画像画素変換テーブルの作成
- 4) 全天画像の表示
- 5) 磁気座標展開図の作成および表示
- 6) オーロラダイナミック表示図の作成および表示

ただし、データ量は作業1), 2) および3) は作成されるデータ量で、作業4), 5) および6) はMOから読み込まれるデータ量を表す。

表2に示されるように、本システムを使用することにより、効率的なデータ処理が可能であることが分かった。すなわち、

- 1) 作業1), 2) では合計16時間ほどの長時間が必要であるが、この作業は一度実行すれ

表2 9月9日2210 UT-10日0130 UTにおける3点観測データに対して画像処理に要した時間およびデータ量。10秒ごとのデジタル画像データセットを作成し、それを用いて全天画像、磁気座標展開図およびオーロラダイナミック表示図をグラフィックディスプレイ上に表示した。

データサイズは作業1), 2) および3) では書き込み作業時、並びに4), 5) および6) では読み込み作業時に要したサイズである。

Table 2. Operation hours and data sizes used for the image processing for the data of 3 stations in the period from 2210 UT to 0130 UT on September 9-10. Digital data set is edited at every 10 s, then all-sky images, geomagnetic coordinate displays and auroral dynamic displays are analyzed onto the graphic display.

Data size means the size required at the time of writing in 1), 2), 3), and that required at the time of reading 4), 5), and 6).

作業	時間	データ量
1) Video → OVD	3×約200分=約10時間	36000枚 (OVD 2/3 [片面])
2) OVD → MO	3×約120分=約6時間	276.48 Mbyte (MO 約1/2 [片面])
3) 変換テーブル	3×約30秒=90秒間	3×204.8 kbyte
4) 全天画像	約10秒間 (3枚)	3×76.8 kbyte
5) 磁気座標展開図	約20秒間 (3枚)	3×102.4 kbyte
6) オーロラダイナミック表示図	3×約4分(360枚)=約12分間	3×360×76.8 Mbyte

ば済む。

- 2) OVD 画像の可変速再生機能によって、長時間のオーロラ活動の様子を高速かつ効率的に確認することができる。
- 3) デジタル化データは MO の片面に収録されるので、MO の入れ替えなしに効率的に解析を続行することができる。
- 4) 本システムで使用されるソフトウェアでは、希望時刻（時間帯）のデータを MO の長時間データセットから読むために、画像データに付加されている時刻を参照して瞬時に選出できる機能を有する。そのため、作業 4)~6) に示されるような短時間（合計約 13 分）で画像処理を行うことが可能となった。また、各々の画像処理は MO に保存された長時間データセットを基本に行い、演算結果だけを MO またはその他の外部記憶装置に保存する方式を採っているため、データの MO およびその他の外部記憶媒体への保存効率は良い。
- 5) 磁気座標→全天画像画素変換テーブルの作成は、大型計算機によって高速（合計約 90 秒）に行われるので、全天パラメータ（特にオーロラ高度、および磁気座標展開範囲）の変更による磁気座標展開図等の再表示が効率的に行われる。

次に各表示図を用いた共役解析例について述べる。作成された図では、オーロラは強度に応じてカラーバーで示された疑似カラーで表示してある。図中、Husafell の解析例に見られる黒く塗りつぶした部分 (D) は、太陽光、ノイズの混入および建物の影による解析不可能な領域である。また、明瞭な空間構造をもち、解析にて注目しているオーロラには点線で周囲を強調してある。

4.2. 全天画像および磁気座標展開図を用いた解析例

全天画像において上が磁気高緯度方向、右が磁気東方向を表す。オリジナルデータでは、各観測点の観測方位が異なり、南北オーロラ形態の類似性を調べるのは困難であったので、回転および反転処理によって方向を揃えた。

磁気座標展開では展開範囲を Husafell と昭和基地について磁気緯度 $64\sim 68^\circ$ 、経度 $64\sim 76^\circ$ 、あすか基地の場合にはそれぞれ $64\sim 68^\circ$ 、 $64\sim 76^\circ$ とした。また、オーロラ高度については、昭和とあすか画像中にみられるトーチ構造が最も合致する高度として、80 km と仮定した。磁気座標展開およびオーロラダイナミック表示図上の緯度、経度値には、観測方位およびレンズの集光特性の不確定さから、高度 80 km では最大約 ± 45 km の誤差が生じる。

磁気座標展開図では全天画像固有の空間特性が修正され、オーロラの磁氣的空間分布（位置、形）が明確に示されるようになった。さらに、あすかと昭和基地の合成画像では連続的かつ広範囲のオーロラ空間構造が明確に分かるようになった。このことにより、オ

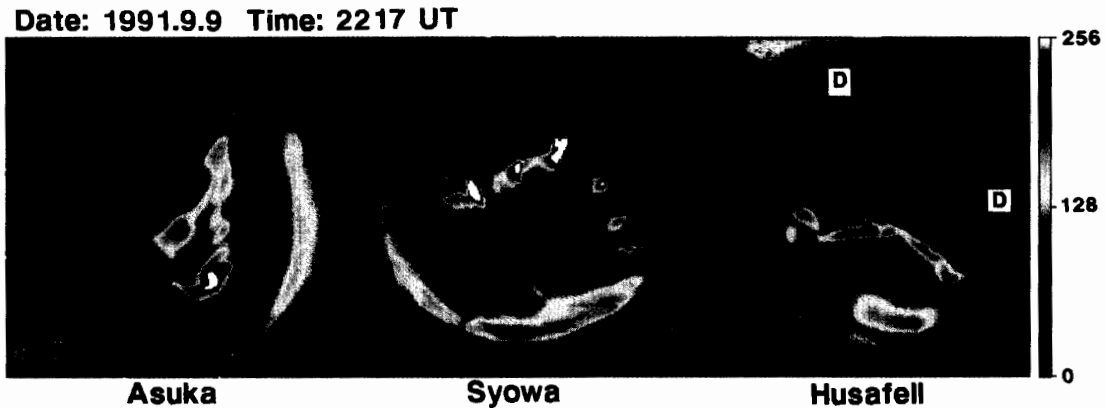


図6 9月9日, 2217 UTにおける3点の全天画像出力例. 各全天画像の方角は右側が東, 上側が高緯度に統一してある.

Fig. 6. All-sky images of 3 stations at 2217 UT on September 9. Right and up directions in each all-sky image are magnetic east and high latitude, respectively.

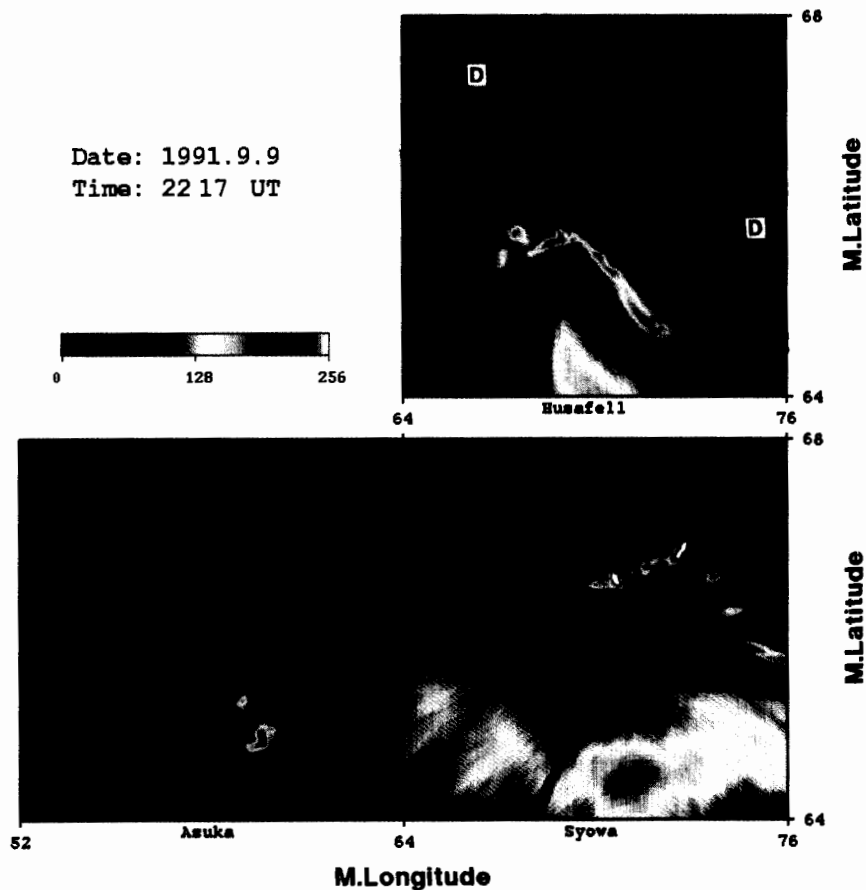


図7 9月9日, 2217 UTにおける3点の磁気座標展開図. 展開した範囲は緯度 $64\sim 68^\circ$, 経度は Husafell, 昭和基地では $64\sim 76^\circ$, およびあすか基地では $52\sim 64^\circ$ である. 昭和基地とあすか基地の図を合成することによって, 広範囲のオーロラ像が示される.

Fig. 7. The displays in geomagnetic coordinates for 3 stations at 2217 UT on September 9. Magnetic ranges are $64\sim 68^\circ$ in latitude for all stations, $64\sim 76^\circ$ at Husafell and Syowa, and $52\sim 64^\circ$ at Asuka in longitude.

Combining Syowa and Asuka image data, wider auroral features can be revealed.

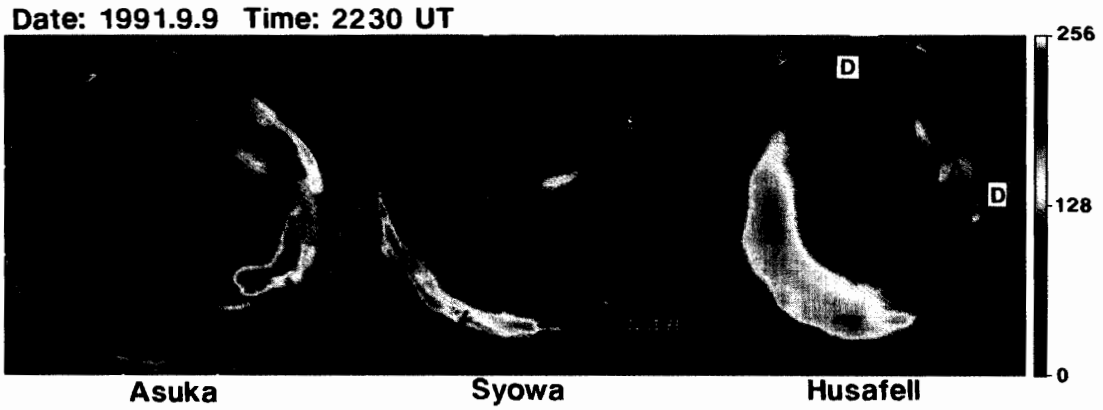


図8 9月9日, 2230 UTにおける3点の全点画像出力例。様式は図6と同様。
 Fig. 8. All-sky images of 3 stations at 2230 UT on September 9. The display format is the same as that of Fig. 6.

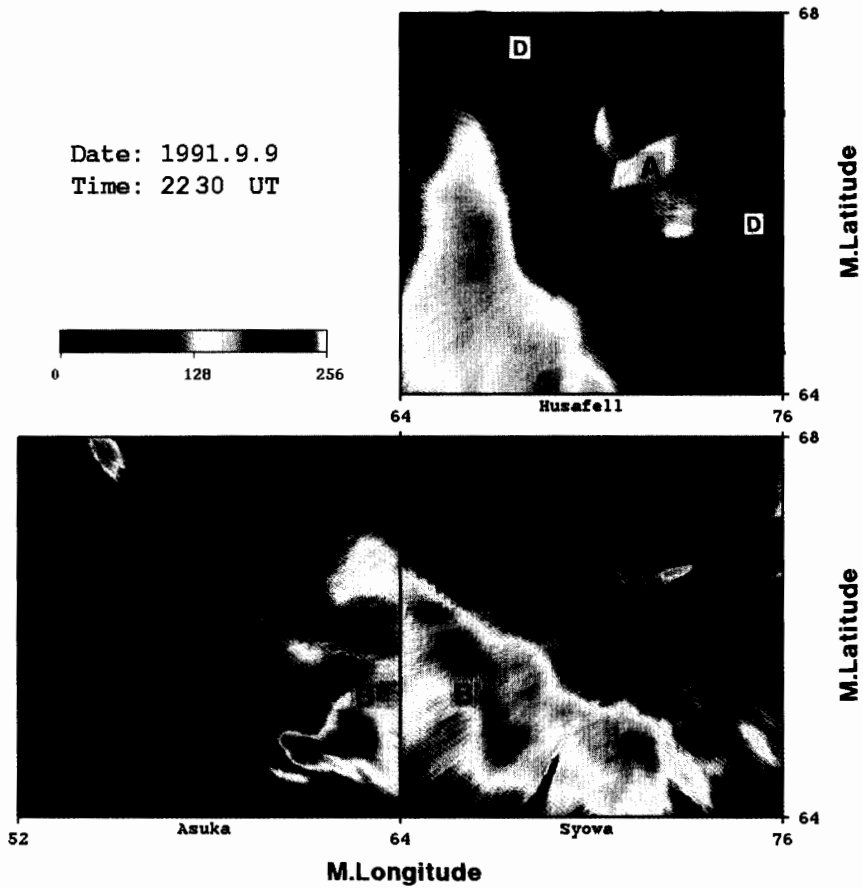


図9 9月9日, 2230 UTにおける3点の磁気座標展開図。様式は図7と同様。
 Fig. 9. Display onto geomagnetic coordinate for 3 stations at 2230 UT on September 9. The display format is the same as that of Fig. 7.

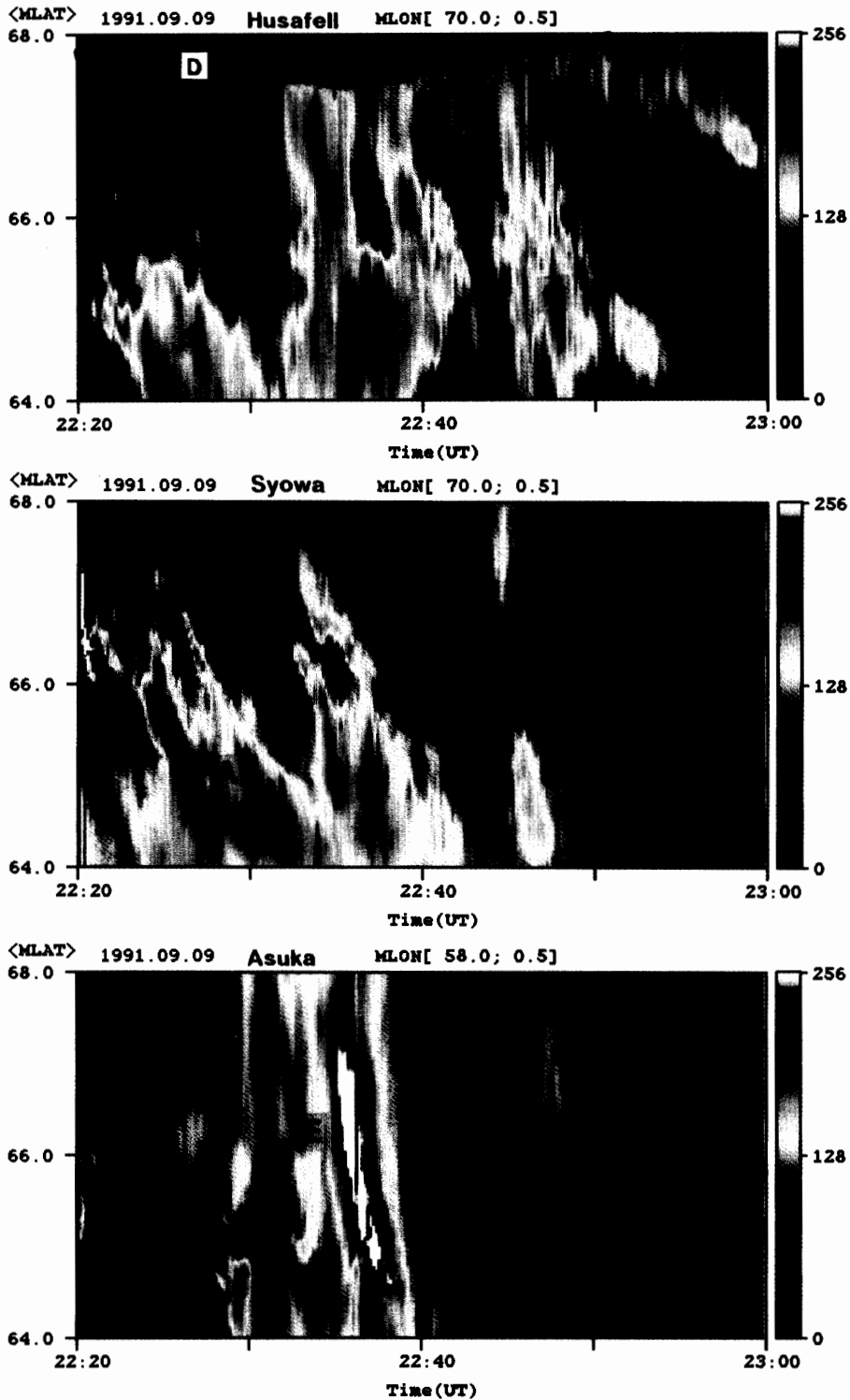


図 10 9月9日, 2220~2300 UTにおける磁気緯度 (64~68°) 方向のオーロラダイナミック表示図. Husafell, 昭和基地は中心経度を 70°, あすか基地は 58°とし、平均経度幅を $\pm 0.5^\circ$ とした.

Fig. 10. Dynamic display of aurora along geomagnetic meridian (64~68°) during 2220~2300 UT on September 9. The geomagnetic longitude of Husafell and Syowa is fixed to 70° and that of Asuka is 58° with averaging width of $\pm 0.5^\circ$, respectively.

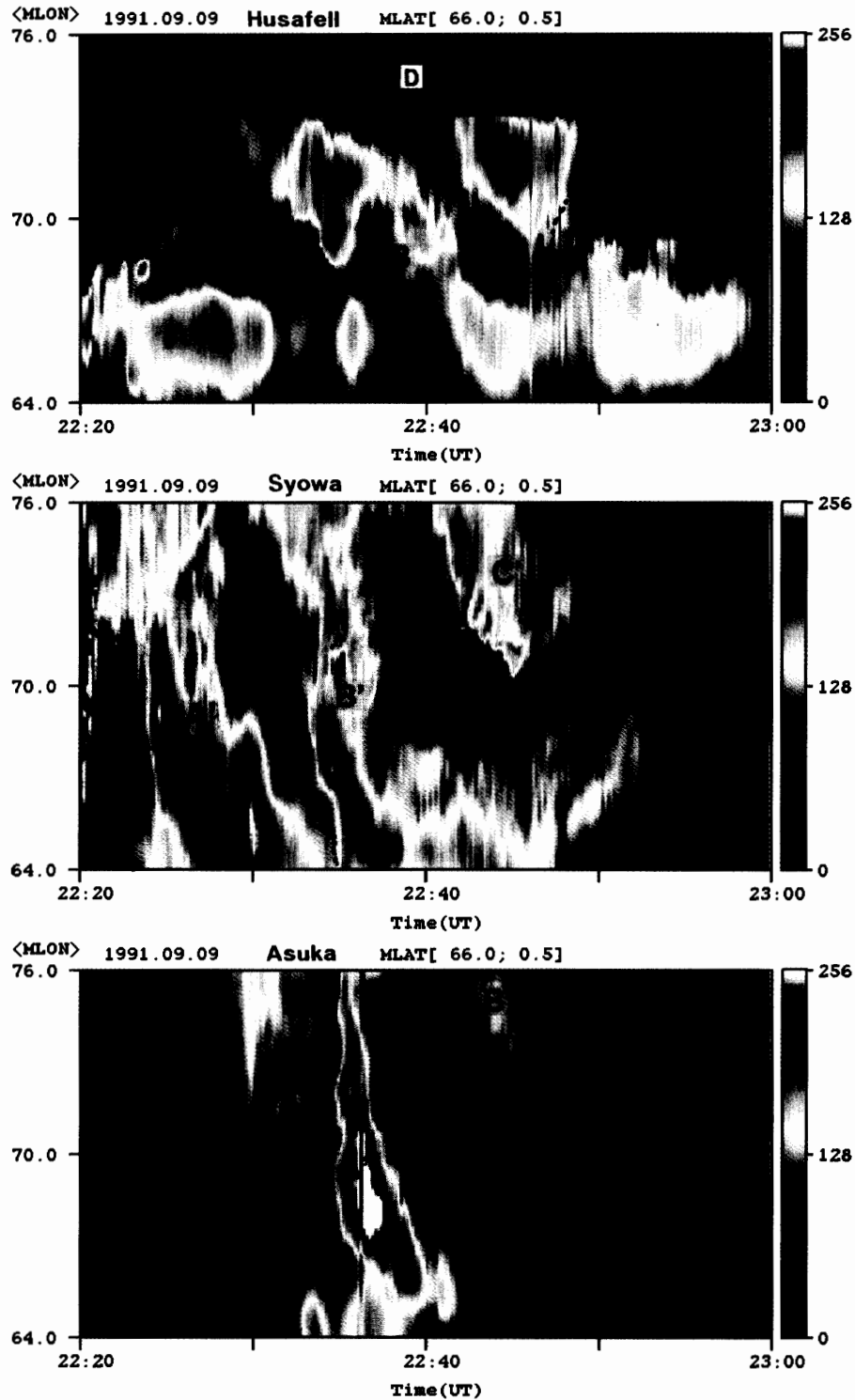


図 11 9月9日, 2220~2300 UTにおける磁気経度方向のオーロラダイナミック表示図, 経度幅は Husafell, 昭和基地は 64~76°, あすか基地は 52~64° の場合, 中心緯度は 66° とし, 平均緯度幅を $\pm 0.5^\circ$ とした.

Fig. 11. Dynamic display of aurora along geomagnetic longitude during 2220~2300 UT on September 9. The longitudinal ranges are set to 64~76° at Husafell and Syowa, and 52~64° at Asuka. The latitude is fixed to 66° with averaging width of $\pm 0.5^\circ$.

ーロラの位置、形に関する南北比較が容易になった。

4.2.1. 2217 UT に見られるオーロラ

図6に2217 UTにおける3点の全天画像を示す。Husafellと昭和基地の画像のほぼ中央で見られるディスクリートオーロラ A, A'は、共役オーロラである可能性が高い例である。全天図においても a, b, c および a', b', c' を結ぶ形状は南北で類似している。もし両者が共役関係にあるとすれば、特徴的な空間構造を呈する点 a と a', 並びに b と b' は共役点であるといえる。

図7に3点の磁気座標展開図を示す。Husafell側では、オーロラ A はおよそ経度 66.8~74.3°, 緯度 64.5~66.0° の範囲内に位置し、昭和基地側では、A' はそれぞれ経度 69.3~76.0° および緯度 65.6~67.0° の範囲内に位置している。

点 a, a' について共役関係を調べると、北半球側の点 a を基準にして南半球側の点 a' は東側に約 2.5°, 高緯度側に約 0.9° ずれている。同様に点 b を基準にして b は東側に 3.5°, 高緯度側に 1.0° ずれていることになる。

すなわち、オーロラから求められる共役点（オーロラ共役点）は、IGRF モデルから推定される共役点（IGRF 共役点）から上記の値だけずれた位置に存在する。磁気緯度、経度各 1°（高度 80 km）に相当する距離は、両半球間で平均すると、それぞれ約 126 km および約 53 km である。この値を用いると、オーロラ共役点のずれは、IGRF 共役点から点 a, a' の場合、東側に約 133 km, 高緯度側に約 113 km であり、同様に点 b, b' の場合は、それぞれ約 190 km および約 126 km となる。

4.2.2. 2230 UT に見られたオーロラ

図8に2230 UTにおける3点全天画像を示す。Husafellの画像では、右上（北東）側にディスクリートオーロラ A と左下（南西）側にトーチ構造 B がみられる。昭和の画像ではほぼ中央にディスクリートオーロラ A' があり、下（北）側にはオーロラ B' がみられる。あすかの画像をみると、昭和で見られるオーロラ B' と連続していると思われるオーロラ B'' がみられる。すなわち、両オーロラを合成した構造 B'-B'' は北半球で見られるオーロラ B と同様のトーチ構造であると推定される。

図9に図8の磁気座標展開図を示す。Husafellでは、ディスクリートオーロラ A がおよそ経度 70.0~73.9°, 緯度 65.6~67.1° の範囲内に位置し、昭和ではディスクリートオーロラ A' がおよそ経度 70.7~73.8°, 緯度 66.3~67.0° の範囲内に位置している。また、Husafellのトーチ構造 B はオーロラ A の西側にみられ、同様に南半球側ではオーロラ A' の西側にトーチ構造 B'-B'' がみられる。すなわち、全天画像では明確には分からなかった空間構造が、昭和とあすかの磁気座標展開図を合成することによって、明確に分かるようになった。

南北でオーロラ形態を比較すると、東側にディスクリートオーロラ (A, A') が位置

し、西側にトーチ構造 (B, B'-B'') が位置していることから、これらのオーロラは共役関係にあると考えられる。もし、オーロラ (A, A') が共役関係にあるとすると、オーロラ A を基準にしてオーロラ共役点の位置は IGRF 共役点から東側に $-0.1 \sim +0.7^\circ$ 、高緯度側に $-0.1 \sim +0.7^\circ$ の位置にあるといえる。変化量を距離に換算すると、それぞれ東側におよそ $-5 \sim +37$ km、高緯度側におよそ $-13 \sim +88$ km に相当する。全天画像では、オーロラ (A, A') は両者の位置関係が経度方向に大幅にずれているようにみえるが、磁気展開図により IGRF 共役点からほとんどずれていないことが明らかとなった。

4.3. オーロラダイナミック表示図を用いた解析例

2220~2300 UTのオーロラダイナミック表示図を用いた解析例を以下に示す。この時間帯では、南北で同様の形および動きを呈する複数のトーチ構造の通過が3点のOVD画像の連続再生、全天画像および磁気座標展開図から確認されている。

4.3.1. 磁気緯度方向の解析例

2220~2300 UTにおける中心経度を Husafell, 昭和基地では 70° 、あすかでは 58° とし、経度幅を 1° とした場合の磁気緯度 ($64 \sim 68^\circ$) 方向のオーロラダイナミック表示図を図 10 に示す。図中、昭和と Husafell における A, B, C と A', B', C' が示すパターンは、それぞれトーチ構造の東西方向の通過に伴う緯度方向の強度変化を表している。同様に E, F はあすかで見られたトーチ構造の通過を表している。

Husafell と昭和では、A と A', B と B' そして C と C' の対応関係にみられるように、ほぼ同時刻に同様の強度変化を呈している。一方、あすかでは前者と異なる強度変化 (E, F) を呈している。すなわち、この時間帯では Husafell と昭和でオーロラ活動状況が似ていることから、Husafell 周辺と昭和周辺はオーロラ活動度に関して共役関係にあるといえる。ただし、両パターン A, B, C と A', B', C' の細部をみると、両者間に違いが見られる。このことは Husafell と昭和基地はほぼ共役関係にあるが、局所的には非共役性が存在することが分かる。

4.3.2. 磁気経度方向の解析例

2220~2300 UTにおける、中心緯度を Husafell, 昭和基地では 70° 、あすかでは 58° とし、経度幅を 1° と設定した場合の磁気緯度 ($64 \sim 68^\circ$) 方向のオーロラダイナミック表示図を図 11 に示す。

図 11 において、前解析例と同様に、Husafell と昭和でトーチ構造の通過を表す、ほぼ同時刻帯に示される3対のパターン (A-A', B-B', C-C') が確認される。一方、あすかではこの間に二つのパターンしかみられない。すなわち、この時間帯の経度方向のオーロラ活動度に関しては、Husafell と昭和が共役関係にあるといえる。

パターン A' および A'' に注目すると、明瞭な強度分布をもつ構造が時間とともに西側

へ移動する様子を表している。すなわち、2220~2240 UTではトーチ構造が約1.9 km/sの速度で昭和からあすかへ移動していった様子を表している。一方、パターンAでは時間と共に西側へ移動する強度分布ではないように見える。つまり、2220~2235 UTではパターンA、A'およびA"の経度方向の動きに関しては非共役性が存在する。パターンBおよびB'に注目するとそれぞれ約1.3 km/sおよび2.0 km/sの速度でトーチ構造が西側へ移動している。したがって、2230~2243 UTではパターンBおよびB"の経度方向の動きに関して、Husafellと昭和でほぼ共役性が成り立っている。

5. まとめ

オーロラ共役現象の解析のために開発したオーロラ画像処理システムとそれを用いた解析方法について詳述した。本システムにより、オーロラの共役性に関する解析を高速かつ効率的に行うことが可能となった。

本論で示したオーロラの位置、形および動きに関する比較解析は、南北パターン比較による主観的判断による段階であるが、磁気座標展開図およびオーロラダイナミック表示図に示されたパターンの相互相関解析によって、定量的な解析が可能となる。また、この解析システムに明るさの絶対値の評価方法を導入することによって、オーロラの明るさの共役性の解析も可能である。本システムのデータ処理速度はワークステーションの演算速度および外部記憶装置のアクセス速度に依存するので、高性能の機種を導入することにより、さらにデータ処理の高速化を図ることができる。

謝 辞

本システムの開発および解析は、国立極地研究所情報科学センターおよびオーロラデータセンターの施設を利用して行った。また、幸運にも多点における共役観測データを取得・解析することができ、これらの共役点観測に協力していただいたアイスランド観測メンバー、並びに第32次南極地域観測隊隊員に感謝します。

文 献

- BELON, A. E., MATHER, K.B. and GLASS, N.W. (1967): The conjugacy of visual aurorae. *Antarct. J. U. S.*, **2**, 124-127.
- BELON, A.E., DAVIS, T. N. and GLASS, N.W. (1968): Conjugacy of visual auroras during magnetically disturbed periods. *Antarct. J. U. S.*, **3**, 117-119.
- BELON, A.E., MAGGS, J.E., DAVIS, T.N., MATHER, K.B., GLASS, N.W. and HUGHES, G.F. (1969): Conjugacy of visual auroras during magnetically quiet periods. *J. Geophys. Res.*, **74**, 1-28.
- BOND, F.R. (1969): Auroral morphological similarities at two magnetically conjugate stations: Buckles Bay and Kotzebue. *Aust. J. Phys.*, **22**, 421-433.
- DAVIS, T.N., HALLINAN, T.J. and STENBAEK-NIELSEN, H.C. (1971): Auroral conjugacy and time-dependent geometry of auroras. *The Radiating Atmosphere*, ed. by B.M. McCORMAC. Dordrecht, D. Reidel, 160-169.

- FEHRENBACH, M., WEILL, G., ROLDUGIN, V.K., STARKOV, G.W. and VASILKOVA, E.A. (1974): Auroral conjugacy between Kerguelen Island and north-west, U. S. S. R. *J. Atmos. Terr. Phys.*, **36**, 407-416.
- FUJII, R., SATO, N., ONO, T., FUKUNISHI, H., HIRASAWA, T., KOKUBUN, S., ARAKI, T. and SAEMUNDSSON, Th. (1987a): Conjugacies of rapid motions and small-scale deformations of discrete auroras by all-sky TV observations. *Mem. Natl Inst. Polar Res., Spec. Issue*, **48**, 72-80.
- FUJII, R., SATO, N., ONO, T., FUKUNISHI, H., HIRASAWA, T., KOKUBUN, S., ARAKI, T. and SAEMUNDSSON, Th. (1987b): Conjugacies of pulsating auroras by all-sky TV observations. *Geophys. Res. Lett.*, **14**, 115-118.
- HAKURA, Y. (1965): Tables and maps of geomagnetic coordinates corrected by the high order spherical harmonic terms. *Rep. Ionos. Space Res. Jpn.*, **19**, 121-157.
- IAGA DIVISION I WORKING GROUP 1 (1987): International Geomagnetic Reference Field Revision 1987. *IAGA News*, **26**, 87-92.
- MAKITA, K., HIRASAWA, T. and FUJII, R. (1981): Visual auroras observed at the Syowa Station-Iceland conjugate pair. *Mem. Natl Inst. Polar Res., Spec. Issue*, **18**, 212-225.
- McLWAIN, C.E. (1961): Coordinates for mapping the distribution of magnetically trapped particles. *J. Geophys. Res.*, **66**, 3681-3691.
- McLWAIN, C.E. (1966): Magnetic coordinates. *Space Sci. Rev.*, **5**, 585-598.
- 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. (1993): Data Catalogue in World Data Center C2 for Aurora (Division of Data Collection and Processing National Institute of Polar Research). **4**, 173p.
- ONO, T., EJIRI, M. and HIRASAWA, T. (1987): Monochromatic auroral images observed at Syowa Station, in Antarctica. *J. Geomagn. Geoelectr.*, **39**, 65-95.
- 小野高幸・江尻全機・平澤威男(1988):単色光撮像システムによるオーロラ観測とデータ処理. 南極資料, **32**, 38-76.
- SATO, N. and SAEMUNDSSON, Th. (1987): Conjugacy of electron auroras observed by all-sky cameras and scanning photometers. *Mem. Natl Inst. Polar Res., Spec. Issue*, **45**, 58-71.
- SATO, N., FUKUNISHI, H. and SAEMUNDSSON, Th. (1984): Operation plan for the Iceland-Syowa conjugate campaign in 1983-1985. *Mem. Natl Inst. Polar Res., Spec. Issue*, **31**, 169-179.
- 佐藤夏雄・藤井良一・国分 征・荒木 喬・SAEMUNDSSON, Th. (1985): 1984年アイスランドにおけるオーロラ現象の共役点観測報告. 南極資料, **87**, 78-95.
- SATO, N., FUJII, R., ONO, T., FUKUNISHI, H., HIRASAWA, T., ARAKI, T., KOKUBUN, S., MAKITA, K. and SAEMUNDSSON, Th. (1986): Conjugacy of proton and electron auroras observed near $L=6.1$. *Geophys. Res. Lett.*, **13**, 1368-1371.
- STENBAEK-NIELSEN, H.C., DAVIS, T.N. and GLASS, N.W. (1972): Relative motion of auroral conjugate points during substorm. *J. Geophys. Res.*, **77**, 1844-1858.
- STENBAEK-NIELSEN, H.C., WESCOTT, E.M. and PETERSON, R.W. (1973a): Pulsating auroras over conjugate areas. *Antarct. J.U.S.*, **8**, 246-247.
- STENBAEK-NIELSEN, H.C., WESCOTT, E.M., DAVIS, T.N. and PETERSON, R.W. (1973b): Differences in auroral intensity at conjugate points. *J. Geophys. Res.*, **78**, 659-671.

(1994年1月5日受付; 1994年5月25日改訂稿受理)

付録 A 全天画像から磁気座標展開図への変換について

図 A1に磁気座標と全天画像画素との対応付けを行い、磁気座標展開図を作成するまで

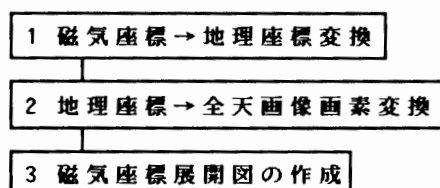


図 A1 磁気座標と全天画像画素との対応付けを行い、磁気座標展開図を作成するまでの手順。

Fig. A1. Operation process of identification from all-sky images to geomagnetic coordinate displays.

の手順を示す。

以下に全天画像から磁気座標展開図を得るまでの導出方法について述べる。また、導出方法に基づいて作成した画像処理プログラムのリストを付録 B に記す。

A1. 磁気座標→地理座標変換

A1.1. 高度 0 km および 100 km における 1° 刻みの磁気格子点→地心座標変換テーブルの作成

IGRF モデルでは観測点の位置（地心緯度，経度），時刻（年月日，時分秒）を仮定すると，球面調和関数展開式によってその点の磁場 B が定義される。すなわち，磁場を形成する原因が地球内部にあると仮定すると，

$$B = -\text{grad } W, \quad (1)$$

$$W = a \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=0}^n \{ (g_n^m \cos(m\phi) + h_n^m \sin(m\phi)) (a/r)^{n+1} \} P_n^m(\cos\theta). \quad (2)$$

ただし， a ：地球半径， ϕ ：地心経度， θ ：地心余緯度

r ：中心から観測点までの距離， m ， n ：整数

P は Schmit の規格化を行った Legendre 陪関数

g ， h は経年変化を考慮した IGRF ガウス係数

上式をもとに磁気不変量から不変磁気緯度 (McILWAIN, 1961, 1966) が，また双曲子磁気赤道面上にて地理的な極と双曲子磁極を通る平面が交差する線を基準に磁気経度 (HAKURA, 1965) が定義される (ONO *et al.*, 1987)。

式(1)，(2) に示されるように地心座標→磁気座標変換は容易であるが，その逆は容易ではない。逆変換を行うためには求めようとする磁気点の周辺で収束するまで地心座標→磁気座標変換を行う方法が採られる。しかし，この方法では 1 点の座標変換に長時間かかる。さらに，全天画像画素それぞれについて計算を行うと，非常に膨大な時間を要するため，効率良く大量のデータ変換を行うのは不可能となる。

この対策としては，まず，観測点の上空 100~300 km をカバーする範囲の 1° 刻みの磁気格子点群に対してだけ高度 0 km と 100 km における磁気座標→地心座標変換を行い，配列要素が磁気格子点に相当する変換テーブルの値として保持する。そして，その変換テーブルを利用して一次近似的に任意高度における磁気座標に対する地心座標値を得る方法が採られる。

A1.2. 任意高度の磁気座標→地理座標変換

A1.1 で作成された変換テーブルを利用して，一次近似的に任意高度における磁気座標と地理座標との対応付けを行う。手順としては

1) 高度 0 km および 100 km における 1° 刻みの磁気格子点→地心座標変換テーブルから一

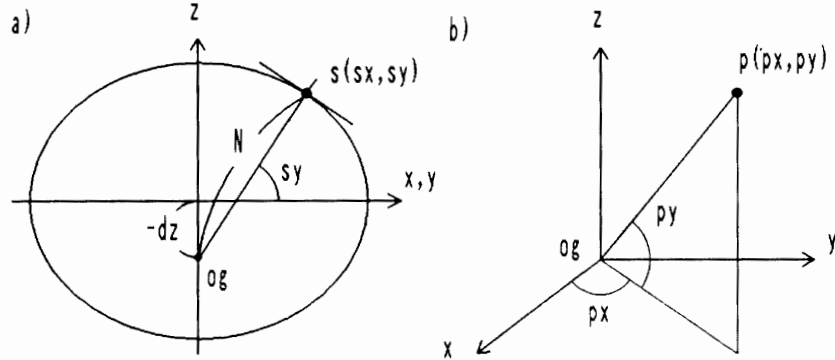


図 A2 a) 地球楕円体における観測点の地理座標値の定義。
b) 地心座標から地理座標への変換。

Fig. A2. a) Definitions of geographic latitude and longitude at an observational station. The earth is represented by an ellipsoid.

b) Transformation from geocentric coordinates to geographic coordinates.

- 次近似的に任意高度における 1° 刻みの磁気格子点→地心座標変換テーブルを作成する。
 2) 1)の変換テーブルを用いて、一次近似的に任意磁気座標に対する地心座標値を求める。
 3) 地心座標値を地理座標値に変換する。

以下に地心座標から地理座標への変換方法について述べる。地心座標は原点が地球中心の座標系であるのに対し、観測点の位置の表現に使用される地理座標（緯度，経度）の定義では原点は地球中心ではない。

ここで、地心直交座標で表された点 $p(x, y, z)$ に対する地理座標値を考える。図 A2a に回転楕円体を子午線で切ったときの側面（地軸を z 軸， xy 平面を赤道面）を示す。観測点の地理経度，緯度を $s(sx, sy)$ とすると、緯度は地理座標系では楕円体への法線および赤道面（ xy 平面）とのなす角によって定義される。地球の赤道面における半径を a ，離心率を e とおくと、観測点 s における曲率半径 N は

$$N = a / (1 - e^2 \cdot \sin^2(sy))^{1/2}. \quad (3)$$

ただし、 e ：離心率，

図中の dz は

$$dz = -N \cdot e^2 \cdot \sin(sy), \quad (4)$$

で与えられる。したがって地心直交座標で表された点 $p(x, y, z)$ の地理直交座標への変換は z を $z - dz$ で置き換えることで行われる。

図 A2a で示す点 og を原点とした座標系（地理直交座標系）を図 A2b に示す。この座標系にて 3 成分 $p(x, y, z - dz)$ を地理経度，緯度 $p(px, py)$ に変換すると

$$zg = z - dz, \quad (5)$$

$$xy = (x^2 + y^2)^{1/2}, \quad (6)$$

$$px = \tan^{-1}(y/x), \quad (7)$$

$$py = \tan^{-1}(zg/xy), \quad (8)$$

となる。

A2. 地理座標→全天画像画素変換

A2.1. 地理座標→地平座標変換

以下に全天画像上の地理座標と地平座標の関係について述べる。地平座標は観測点にて天頂を基準とした観測角および地理北を基準とした方位角によって定義される。図 A3a, b に全天像上および電離層における地平座標パラメータ（方位角 τ , 観測角 θ ）を示す。

いま、全天像上の点 P にオーロラが位置し、オーロラ高度を h , 方位角が τ , 観測角が θ である場合を仮定する。最大観測角 90° （天頂-地平線間）の魚眼レンズを使用した

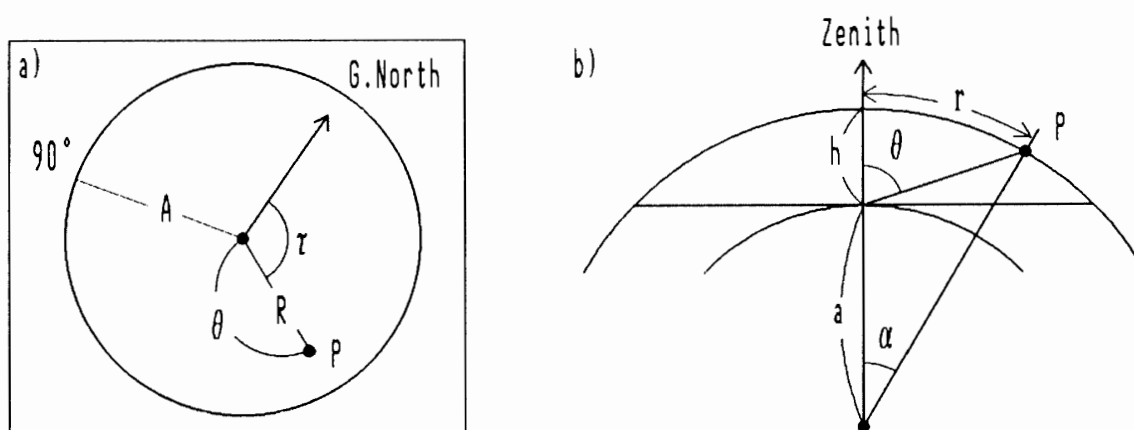


図 A3 観測目標の全天画像上に定義される位置と電離層中に推定される位置との関係図。

a) 全点画像上に定義される位置パラメータ。全天画像上の観測目標 P の方位は地理北の方角を基準に定められる。全天中心は天頂、円周は地平線に相当する。 P の中心からの距離は観測角に比例する。

b) 観測点と観測目標間で定義される位置パラメータ。地平座標で表された観測目標の位置（方位，観測角）と地理座標で表された位置（緯度，経度および高度）は関係づけられる。

Fig. A3. Relations between positions of observed objects defined on the all-sky image and those estimated in the ionosphere.

a) Position parameters defined on the all-sky image. The azimuth of the point "P" on the all-sky image is defined with reference to the geographical north direction. The center and the edge are correspond to the zenith and the horizon respectively. The distance from the center to the point "P" corresponds to the observational angle.

b) Parameters for the position defined between observatory and observational object. The positions of the object in horizontal coordinates (azimuth and observational angle) are related to that in geographic coordinate (latitude, longitude and altitude).

場合、全天像の中心からの距離 r は観測角 θ に比例する。すなわち、図 A3a の点 P では

$$\theta = 90 \cdot R/A \text{ (deg)} \quad (9)$$

$$= \pi/2 \cdot R/A \text{ (rad)}, \quad (10)$$

$$(a + h) \sin \alpha = \{(a + h) \cos \alpha - a\} \tan \theta, \quad (11)$$

$$r = (a + h) \cdot \alpha.$$

ただし、 π ：円周率、 a ：地球半径、 A ：全天像の半径

R ：全天像上の点の中心からの距離

h ：オーロラ発光高度

r ：オーロラ高度における天頂からの距離

が成り立つ。

図 A4 に式 (9)～(11) から求めたオーロラ高度 (100 km) における観測角に対する天頂と観測視線方向間の距離の関係を示す。本解析では有効観測角 80° 以内のオーロラを解析することにし、これはオーロラ高度を 100 km と仮定した場合、有効視野半径 470 km 以

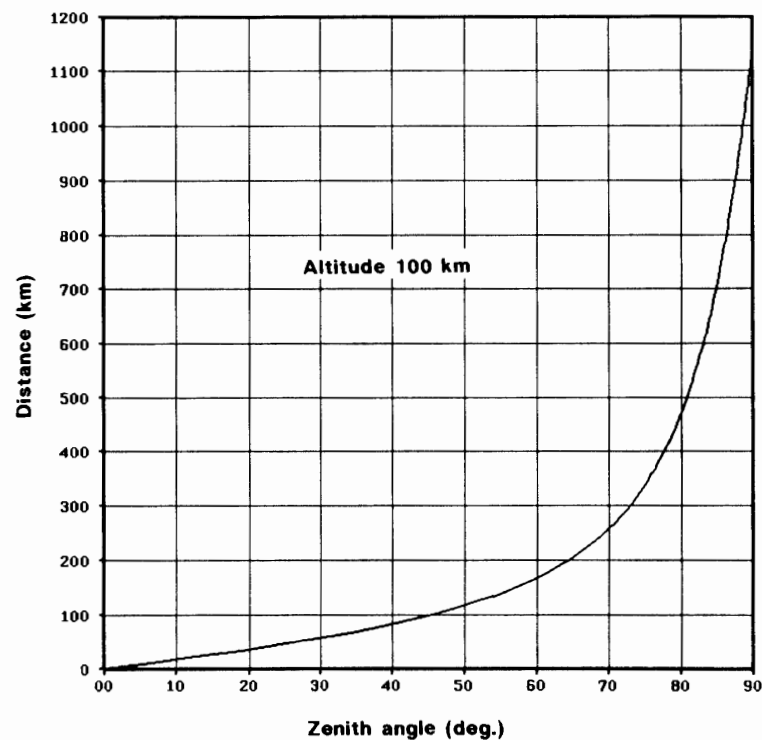


図 A4 オーロラ高度を仮定した場合の全天像上における観測角に対する天頂から観測視線方向間の距離関係。有効観測角を 80° 以下とすると、オーロラ高度 100 km では有効観測距離は 470 km に相当する。

Fig. A4. Relations between the observational angle in the all-sky image and the distance from the zenith to observational direction defined at auroral height. Supposing that the effective observational angle is less than 80° , the effective observational distance corresponds to less than 470 km at the height of 100 km.

内に相当する。

次に観測点の地理座標（経度，緯度，高度）を $S(X_s, Y_s, 0)$ ，同様に高度 h の点 P の位置を $P(X_e, Y_e, h)$ とすると，観測点 S からオーロラ的位置 P を見通す場合の方位角 τ および観測角 θ との関係式は

$$\cos\alpha = \sin Y_s \cdot \sin Y_e + \cos Y_s \cdot \cos Y_e \cdot \cos(X_e - X_s), \quad (12)$$

$$\sin\tau = \cos Y_s \cdot \sin(X_e - X_s) / \sin\alpha, \quad (13)$$

$$\tan\theta = (a+h) \sin\theta / \{(a+h)\cos\theta - a\}, \quad (14)$$

となる。よって，地理座標から地平座標への対応付けが可能となる。

A2.2. 地平座標→全天画像画素変換

地平座標と全天画像画素を対応づけるためには全天像上の地理北の方向を知る必要がある。

全天画像は長方形の撮像領域のほぼ中央に円形の全天像を結像させた形である。観測では長方形の縦軸をほぼ磁気子午方向に向けて撮像しており，全天像の中心を通過する地理

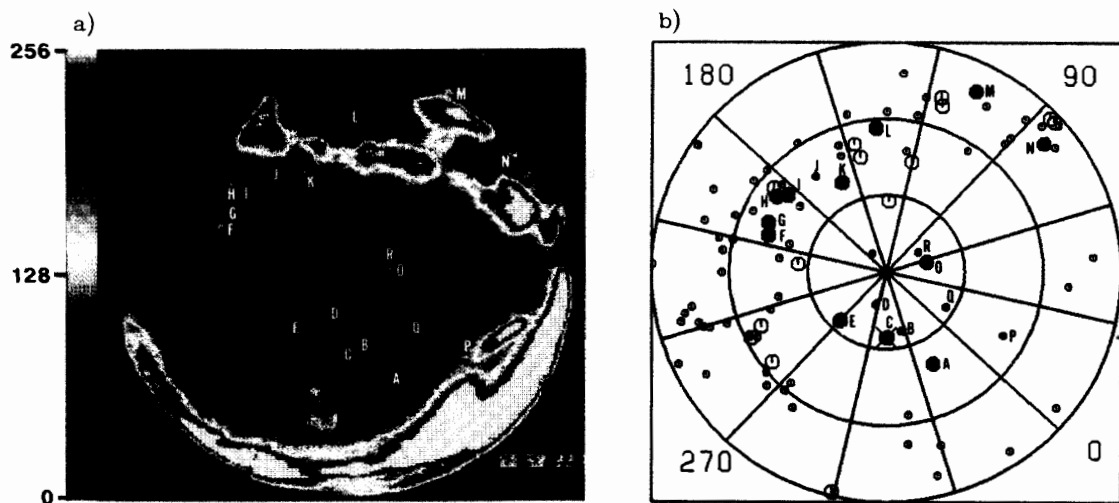


図 A5 オーロラ全天画像出力例と星座シミュレーションパターン

- a) デジタル化，および回転による方向の統一処理後の疑似カラー表示された全天画像例。明るさはカラーバーに従う。（昭和基地，1991年9月9日，2205 UT）
 b) 同時刻の星座シミュレーションパターン。a 図では星が確認され，b 図の同時刻シミュレーションパターン内に a 図と対応する星が確認される。両図の星近傍に記された同じ文字（A-R）がそれぞれ対応する。

Fig. A5. Auroral all-sky image and simulated star pattern.

a) An example of an image in pseudo-color after digitizing and rotating or reversing. The magnitude of intensity is represented by the color bar. (Syowa Station, 2205 UT on September 9, 1991)

b) Simulated star pattern at the same time as Fig. A5a. Some stars in Fig. A5b are identified with the stars in Fig. A5a. Each star identified by a letter (A to R) in the same in both figures.

子午線は縦軸を基準として、ほぼその地点の地磁気偏角ほど回転させた位置にある。

ここで、全天像の中心を通過する縦軸と地理子午線間の角度を観測方位と定義する。この観測方位を用いることによって、地平座標と全天画像画素との対応付けが可能となる。

観測方位の推定には全天画像中の星と計算によって求められた星の位置（シミュレーションパターン）との比較を行う。手順としては、

- 1) 全天像の中心の位置および半径を求める。
- 2) 全天像の星とシミュレーションパターンが重なり合うように後者の半径および回転角（地理子午線と縦軸のなす角度）を調整する。
- 3) 重なり合ったときのシミュレーションパターンの半径および回転角を求める。

図 A5a に 1991 年 9 月 9 日 2205 UT における昭和基地の全天画像表示例を示し、図 A5b に同時刻のシミュレーションパターンを示す。図 A5b では図 A5a に対応した星が示される（両図中のアルファベットが示される位置の星が対応している）。また、図中 0~270 で記された数字は地理方位を示し、0 が地理北、並びに 90 が東の方向を表す。

両図の星の重ね合わせを行った結果、約 ± 2 画素の誤差で重ね合わせることができた。観測方位は右回りを正の方向として $+44^\circ$ であることが分かり、シミュレーションパターンの半径は全天像半径よりも 1.06 倍大きいことが分かった。

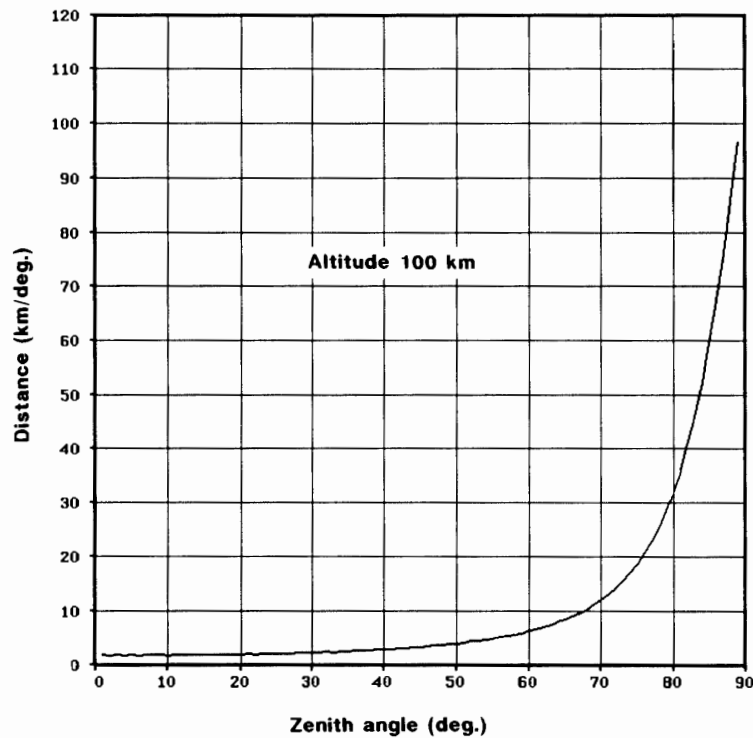


図 A6 高度 100 km における観測角 1° に対する天頂と観測視線方向間距離の増加率。
 Fig. A6. The increasing rate of the distance from the zenith to the horizon for the observational angle of 1° at the height of 100 km.

両図の半径の大きさの違いはシミュレーションパターンは最大観測角 90° の理想的な像を表しているのに対し、全天像の方は使用レンズの最大観測角が 90° 以下であることが原因である。この例では、全天像の最大観測角は約 85° に相当する。

図 A6 に高度 100 km、観測角 $0\sim 90^\circ$ における観測角 1° あたりの天頂と観測視線方向間の距離の増加率を示す。この図から観測角 80° では 1° あたり約 32 km の増加が示される。星の重ね合わせでは誤差 ± 2 画素分生じたとすると、これは観測角では約 $\pm 1.6^\circ$ に相当し、高度 100 km では ± 51 km に相当する。すなわち、地平座標および観測角を用いた全天画像画素の対応付けでは最大 ± 51 km の誤差で位置を確定することができる。

ここで全天像中の星における全天中心からの距離を r_0 、同様にシミュレーションパターンによる星の距離を r_1 とし、

$$f = r_1 / r_0, \quad (15)$$

と表される係数 f をレンズの集光特性とする。

このレンズの集光特性を全天像の半径 A にかけることにより、最大観測角 90° のレンズを想定した実効的な全天像半径が求められる。すなわち、式(9)にて

$$A' = A \cdot f, \quad (16)$$

と置き換える。

観測方位を ϕ とすると、式(13)にて

$$\tau' = \tau + \phi, \quad (17)$$

と置き換えることによって、地平座標と全天画像画素を対応づけることができる。すなわち、全天画像の左上を原点としたとき、画素 $P(Ix, Iy)$ の位置は

$$Ix = Xc + A' \cdot \sin \tau', \quad (18)$$

$$Iy = Yc - A' \cdot \cos \tau', \quad (19)$$

ただし、 (Xc, Yc) は全天像の中心の位置、

A は全天像の半径、

となる。

ここで全天像中心の位置 (Xc, Yc) 、半径 A 、レンズの集光特性 f 、オーロラ高度、観測方位 ϕ および磁気座標展開範囲（緯度、経度）を全天パラメーターとして定義する。

A3. 磁気座標展開図の作成

A1, A2 節にしたがうと、磁気座標 \rightarrow 全天画像画素変換が可能となる。図 A7a, b, c に Husafell, 昭和およびあすか基地における全天像中の磁気座標の様子を示す。

この変換法を用いて磁気座標平面に対応する全天画像画素値を編集することによって磁気座標面に投影した図（磁気座標展開図）の作成を行うことができる。

いま、観測点の任意高度における磁気緯度、経度範囲を限定した磁気座標面を想定す

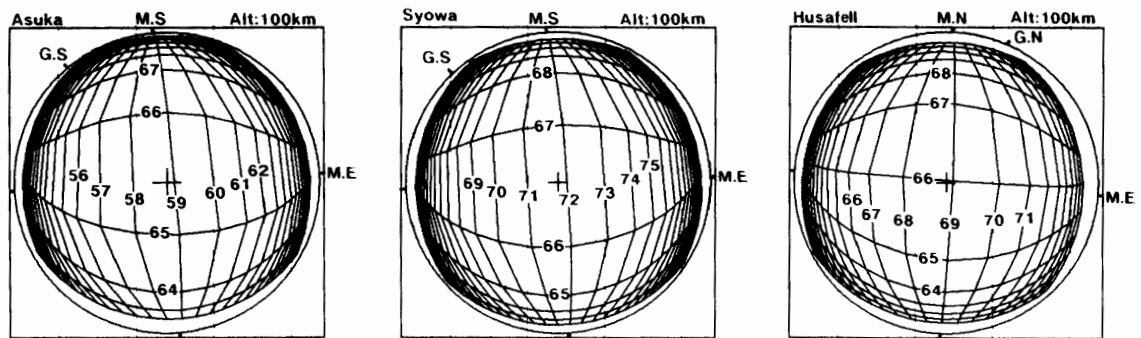


図 A7 3観測点の全天画像に定義される磁気座標。オーロラ高度は 100 km と仮定した。
 Fig. A7. Geomagnetic coordinates in all-sky image defined at the 3 observatories. The auroral height is assumed to be 100 km.

る。この座標面を縦 320 × 横 320 要素からなる配列テーブルで表現する。ここで、テーブルの各要素が示す磁気座標について全天画像上の画素が対応づけられ、この全天画像画素値をテーブル値として保持しておく。この操作をテーブルの全要素に対して行うことによって磁気座標→全天画像画素変換テーブルが作成される。任意の磁気座標値から全天画像画素の変換は、逐一計算すること無しに、この変換テーブル画素が示すデータを参照することによって効率的に行われる。

付録 B 画像処理プログラムについて

解析時に作成した画像処理プログラムの詳細について述べる。作成した画像処理プログラムはオーロラデータセンターのワークステーション AS3260A および情報科学センター大型計算機のオーロラデータセンター専用作業領域にインストールした。

B1 節は大型計算機上で実行させるプログラム、並びに B2 節は AS3260A 上で作動させるプログラムの内容を表す。

AS3260A 上で使用するプログラムには、ソースプログラム中に記述されている入力パラメーターを変更し、再コンパイルした後、実行させる形式のものと、すでにコンパイル済みの実行形式プログラムを起動させ、対話形式で逐次必要なパラメーターをコンソールから入力するものがある。

AS3260A で使用する解析プログラムは Fortran, または C 言語によって記述されている。AS3260A でソースプログラムをコンパイルする場合、以下のように行う。

フォートランプログラム test. f の場合

```
f77 -o test test. f /usr/ap/maint/aura/lib/libaurora. a -lgpib -ldf -lm
```

C 言語プログラム test. c の場合

```
cc -o test test. c /usr/ap/maint/aura/lib/libaurora. a -lgpib -ldf -lm
```

コンパイルの結果、プログラム名と同じ名前をもつ実行ファイル test* が作成される。
AS3260A の sunview 上にて作画を行う場合はオプションとして上述の後に

-lksuntool -lksunwindow -lkPixrect -lpixrect -lnkanakan

を付加する。

B1. 大型計算機上で実行するプログラム

B1.1. STAR. FORT(STAR)

[目的] 指定時刻 (年月日時分秒) の全天星座パターンをプロットする。全天画像の方位は、地理北を基準として左回りに北-東-南-西で出力される。

[入力] 日付 (年月日), 時刻 (時分秒), 観測点位置 (地理緯度, 経度)。

B1.2. MGF. FORT(GMLGRD)

[目的] 全天画像中にて指定高度に定義される地理座標 (1° ごと) 格子をプロットする。

[入力] 高度, 観測点位置 (地理緯度, 経度), 全天画像縦軸と地理北間の角度。

B1.3. IGRF. FORT(@MAGCRD)

[目的] IGRF モデルを用いて指定時刻 (年月日時分秒) および高度の磁気緯度, 経度値を計算する。

[入力] 日付, 時刻, 観測点位置 (地理緯度, 経度), 観測点標高, 高度, 球面関数展開の次数。

[出力]

- 1) ダイポール磁場を仮定したときの磁気緯度, 経度値。
- 2) 不変磁気緯度, 磁気経度, 地方時, L 値, 指定高度における磁力線のディップ角, および方位角

B1.4. MGF. FORT(@MGTBL)

[目的] 高度 0 km と 100 km における 1° 刻みの磁気座標→地心座標変換テーブルを作成する。各高度の磁気座標範囲は緯度方向に 20° , 経度方向に 35° の幅を有する。

[入力] 日付, 時刻, 磁気範囲, 南北半球の区別。

[出力] 高度 0 km および 100 km における磁気座標→地心座標変換テーブル (MGTBL. DATA)。変換テーブルは各高度 1° 刻みの磁気格子点に相当する 21×36 の要素を有する配列データであり, 各要素がもつ値がその点の地心座標値である。

B1.5. MGF. FORT(MLGRD)

[目的] 全天画像中にて指定高度に定義される 1° 刻みの磁気座標格子をプロットする。

[入力]

- 1) オーロラ高度, 観測方位 (全天画像縦軸と地理子午線間の角度)
- 2) B1.4 で作成した 0 km および 100 km における観測点上空の磁気座標→地心座標変換

テーブル(MGTBL. DATA).

3) 観測点を中心とした適当な磁気範囲

B1.6.a. ファイル ASPARM

[目的] B1.6.b で使用する全天パラメータをまとめて記入しておくデータファイル.

[入力]

- 1) デジタル全天画像の中心の位置, 半径, 観測方位.
- 2) オーロラ高度, 観測点標高, 磁気座標展開範囲 (磁気緯度, 経度範囲)

B1.6.b. MGF. FORT(@PXLAD)

[目的] 要素数 320×320 で構成される配列テーブルで磁気座標展開平面を表現する. 各要素が示す磁気座標に対する全天画像画素を対応付け, そのアドレス値をテーブル値として保持する.

[入力]

- 1) B1.4 で作成した磁気座標→地心座標変換テーブル(MGTBL. DATA)
- 2) 全天パラメータ(ASPARM)

[出力] 磁気座標→全天画像画素変換テーブル (PXAD)

B2. AS3260A 上で実行するプログラム

B2.1. /OVDIMG/imgwork/ovdamd. f

[目的] OVD に録画されたビデオ画像をデジタル化し, MO に保存する. 出力画像サイズは 320×240 バイトである.

[入力] プログラム中にパラメータを入力し, コンパイルを行う.

- 1) OVD 画像の start/end アドレス, 日付, 時刻 start/end (時分秒)
- 2) 出力画像のサンプリング周期 (秒), 画像の反転, 回転処理の有無
- 3) 画像出力ファイル名

[出力] 320×240 バイトから成る画像が MO 内の指定ファイルに出力される. 先頭 10 バイトには, 日付, 時刻および観測点情報が書き加えられる.

B2.2. /OVDIMG/imgwork/dspimg. c

[目的] MO から読んだ 1 画像をグラフィックディスプレイに表示する.

[入力] データ読み込みファイル名

[出力] 画像は 640×480 画素に拡大して表示される.

B2.3. /OVDIMG/imgwork/dspimg2. c

[目的]

磁気座標→全天画像画素変換テーブル(PXAD)を参照し, 全天画像を磁気座標展開し, グラフィックディスプレイに表示する.

[入力]

磁気座標→全天画像画素変換テーブル(PXAD), 画像データファイル名

[出力]

ASPARM で指定された磁気範囲で磁気座標展開された図 (320×320 バイト)

B2.4.a. /OVDIMG/Mla/mlat. c

[目的]

指定時間帯における磁気緯度方向かつ任意磁気経度幅の平均強度を得る。演算結果は MO に保存される。磁気緯度の範囲は ASPARM で指定した範囲である。

[入力]

- 1) 磁気座標→全天画像画素変換テーブル(PXAD), 全天画像データ名
- 2) 解析 start/end 月日時刻, end-start 時間 (秒)
- 3) 全天画像の回転, または反転処理の有無, データサンプリング時間 (秒)
- 4) 磁気経度, 磁気経度幅

[出力]

指定時間帯の磁気緯度方向の平均強度データ。

B2.4.b. /OVDIMG/Mla/mlplot. c

[目的]

B2.4.a で作成した画像データを読み, グラフィックディスプレイに表示する。

[入力]

- 1) B2.4.a で作成したデータ
- 2) start/end 時刻, end-start 時間, データサンプリング時間 (秒)

[出力]

縦軸を磁気緯度, 横軸を時刻として指定時間帯の磁気緯度方向の平均強度を 128 階調の色で表示する。

B2.4.c. /OVDIMG/Mlo/mlon. c

[目的]

全天画像データから指定時間の磁気経度方向かつ任意磁気緯度幅における平均強度を得る。結果は MO に保存される。磁気経度の範囲は ASPARM で指定した範囲である。

[入力]

- 1) 磁気座標→全天画像画素変換テーブル (PXAD), 全天画像データ名
- 2) 解析 start/end 月日時刻, end-start 時間 (秒)
- 3) データサンプリング時間 (秒), 磁気緯度幅, 全天画像の反転および回転処理の有無

[出力]

指定時間帯の磁気経度方向の平均強度データ。

B2.4.d. /OVDIMG/Mlo/mlplot.c

[目的]

B2.4.c で作成したデータを読み、グラフィックディスプレイに表示する。

[入力]

- 1) B2.4.c で作成したデータ
- 2) start/end 時刻, end-start 時間, データ数, サンプル時間 (秒).

[出力]

縦軸を磁気経度, 横軸を時刻として指定時間帯の磁気経度方向の平均強度を 128 階調の色で表示する。

付録 C 基本的画像処理関数およびプログラムについて

AS3260A 上で作成した画像処理用基本的関数およびプログラムについて述べる。作成したプログラムはオーロラデータセンターのワークステーション AS3260A のユーザー作業領域にインストールした。

C1. 基本的画像処理関数およびプログラム

基本的関数およびプログラム (C 言語記述) の主なものを以下に示す。関数はインクルードファイル形式である。

1) OD 装置に関する入出力プログラム: ディレクトリ/OVDIMG/Od/

odput: 外部記憶領域 (MO および磁気ディスク) の任意サイズの画像データを OD に書き込む。

odget: 任意サイズの画像データを OD から外部記憶領域に読み込む。

2) AS3260A の外部記憶領域間の入出力関数: ディレクトリ/OVDIMG/IO/

miopen() : 入出力ファイルを指定する。

miread() : 指定ファイルに任意サイズのバイナリデータを読み込む。

miwrite() : 指定ファイルに任意サイズのバイナリデータを書き込む。

miclose() : 入出力ファイルを閉じる。

3) 画像表示環境設定関数: ディレクトリ/OVDIMG/Gh/

mcanvset() : Sun View 上の作図領域とカラーテーブルを設定する。

mwinout() : 作図領域への画像表示を実行する。

4) 画像表示関数: ディレクトリ/OVDIMG/Gh/

mtone() : 指定の位置に任意サイズの画像データを作図領域に表示する。

mline() : 2 点間を線でつなぐ。

mrect() : 指定点から任意サイズの長方形を描く。
 mtext() : 指定位置に文字を表示する。
 mcolbar() : カラーテーブルで設定された色でカラーバーを描く。

C2. 画像表示プログラム例

画像処理用関数は引き数を指定するだけで容易に画像データを表示することができる。以下にプログラム例を示す。プログラムは、データセット“img.dat”から画像サイズ横320×縦240バイトから成る画像データを読み、作図領域の点(200, 300)に表示する内容である。

```

/* sample program/OVDIMG/imgwork/sampl.c */
#include <stdio.h>
#include <math.h>
#include ". . /IO/@mio.h"      /* 外部記憶装置間(MO)入出力関数ファイル */
#include ". . /UT/@mut.h"      /* 画像表示関数用ユーティリティファイル */
#include ". . /Gh/@mgh.h"      /* 画像表示用関数ファイル */
main ()
{
  int fd, sta;
  unsigned char img[240][320];

  miopen("img.dat", "r", &fd); /* "img.dat"をリードモードでオープンする */
  miread(&fd, img, 320 * 240, &sta); /* 320×240バイト読み, 配列imgに入力する */
  miclose(&fd); /* "img.dat"を閉じる. */
  mcanvset(1); /* 作図領域を設定する. 既定値は縦900×横1150アドレス
               カラーテーブルを番号で指定する. */
  mtone(200, 300, 320, 240, img); /* 点(200, 300)の位置に横320×縦240の幅で
                                   imgで示される画像データを表示する. */
  mrect(200, 300, 320, 240); /* 表示画像の外縁を長方形で囲む.
                               色の既定値は黒. */
  mtext(200, 550, "Aurora image"); /* 点(200, 550)の位置に文字列を表示する. */
  mcolbar(600, 300, 20, 240, 1) /* 点(600, 300)の位置に横20×縦240のカラー
                                   バーを描く. */
  mwinout(); /* 画像表示を実行する. */
}

```