

イメージングリオメーター吸収画像 QL システムの開発

佐藤 貢¹・山岸久雄²・加藤泰男¹・西野正徳¹

Quick-look System of Auroral Absorption Images by Imaging Riometer

Mitsugi SATO¹, Hisao YAMAGISHI², Yasuo KATO¹
and Masanori NISHINO¹

Abstract: Imaging riometer of two-dimensional multi-narrow beams is a powerful radio instrument to investigate the structure of cosmic noise absorption (CNA) in the auroral ionosphere caused by the precipitation of energetic electrons. However, the instrument has a demerit of delay-look for imaging because of the use of a large capacity computer for data processing. Quick-look (QL) system of the imaging riometer was developed by using a personal computer. This system has a function to view the CNA images in real time. Quiet day curves (QDC's) which indicate the condition of quiet ionosphere are determined from daily variations of cosmic noise intensity obtained during the initial ten days. Thereafter the QDC's are set into real-time data processing as a reference. The QL system has an advantage for real-time comparison with auroral images by the all-sky TV camera.

要旨: 高エネルギー粒子の降下による銀河電波雑音の電離層吸収 (CNA) を測定するリオメーターは、粒子降下領域の空間構造を求めるため、二次元高空間分解能化への試みがなされ、イメージングリオメーターが開発された。これまでのイメージングリオメーターによる CNA 観測は、観測データを大容量 MT やディスクに取り込み、ある一定期間観測後、持ち帰り、大型計算機処理により背景となる銀河電波雑音の静穏時の日変化曲線 (QDC) を求めて、その差から真の吸収量を導き出し画像化している。

本論文のイメージングリオメーター吸収画像 QL システムは、データ収集と画像化処理にパーソナルコンピューターを用いて、あらかじめ観測した十数日間のデータから 1 日分の QDC データを作成し、以後の観測では、データ収集と同時にその QDC データを恒星時補正して参照し、観測データと QDC データの比を演算する処理を行い、吸収領域の吸収量及び形状の時間的変動の二次元カラーイメージを実時間で表示することが可能である。これにより、観測現場で、オーロラ TV 観測による映像と二次元 CNA 画像を実時間で比較することができる。

1. はじめに

極域電離層に降下する高エネルギー粒子による銀河電波雑音の電離層吸収 (CNA: Cosmic Noise Absorption) を測定するリオメーター (Relative Ionospheric Opacity Meter)

¹ 名古屋大学太陽地球環境研究所. Solar-Terrestrial Environment Laboratory, Nagoya University, 13 Honohara 3-chome, Toyokawa 442.

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

は、1970年代末より高空間分解能化への開発が進められ、1988年には初めてのCNA二次元画像測定器、イメージングリオメーターが南極点基地に設置された (DETRICK and ROSENBERG, 1990). 日本国内においてもCNAの画像観測器の開発が進められ、その経緯は、山岸ら (1992) で述べられている。

われわれは、CNA画像観測器開発の当初からパーソナルコンピュータによる、データ収集、画像表示システム (Quick Look, 略してQLシステム) の開発に携わった。まず、8本のダイポールアンテナを一行に並べたブロードサイドアレーを東西、及び南北方向に二組設置し、これらのアンテナが形成する東西8本南北8本の扇状ビームを加算合成し、天空約 $\pm 45^\circ$ の範囲の吸収現象を二次元画像表示するQLシステムを製作した (佐藤・加藤, 1990). このシステムは、スピッツベルゲン島ニューオルスン北極基地に設置され、サブストームにともなわれた極冠域のCNA現象の動きや形状が推定されている (NISHINO *et al.*, 1990). われわれは、その後、64ビームのイメージングリオメーターの開発 (山岸ら, 1992) に携わり、前述のQLシステムをベースに新たなQLシステムを開発した。本システムの最大の特徴は、観測現場で、リアルタイムに真のCNA画像を表示できることである。

真のCNAを求めるためには、銀河電波背景雑音のレベルを用いて計算する必要がある。従来のイメージングリオメーター観測では蓄積された観測データを研究室で統計的に処理し、銀河電波背景雑音レベルを求め、その後、初めてCNA画像が得られることになり、観測現場では、オーロラ光学観測の映像と直接比較できるような吸収画像を得ることができなかった。観測現場で電離層吸収領域の形状や移動をオーロラ光学観測と比較することは、現象の理解と、現象に即応した観測体制をとる上で極めて重要である。

本QLシステムの機能は、単に観測データをQL表示するだけにとどまらず、観測システムの中核として、次のようなオンライン機能をもつ。1) アンテナビーム切り替え制御、2) データ収集、3) 記録媒体へのデータ記録、4) データのグラフィック表示。また、オフライン機能として、次の機能をもつ。5) 銀河電波背景雑音レベル (QDC) の算出、6) 蓄積データの検索、表示。

そこで、本論文では、2章で、イメージングリオメーターシステムの概要を述べ、その中におけるQLシステムの機能、位置づけを説明する。3章では、QLシステムのグラフィック表示機能について述べる。4章では、QLシステムのオンライン機能として、アンテナビーム制御、データ収集、データ記録、について述べる。5章では、観測データからCNAを求める方法、及び銀河背景雑音 (QDC) データファイルを作成する手順を説明する。

2. 観測システムの概要

1章で述べたように、われわれは1) アイスランドチョルネス、2) スピッツベルゲン島ニューオルスン、3) 南極昭和基地用の3台のイメージングリオメーターシステムを製作した。こ

これらのシステムは多少異なるハードウェアデザインとなっているが、QL システムは基本的に共通なものを用い、ハードウェアの差異に対応して機能の若干異なるバージョンを用意した。ここでは、昭和基地用システムを例にとり、観測システムの概要を述べ、その中における QL システムの位置づけを説明する。

図1は、イメージングリオメーターの構成図である。図の左半分は、アンテナ及び受信系

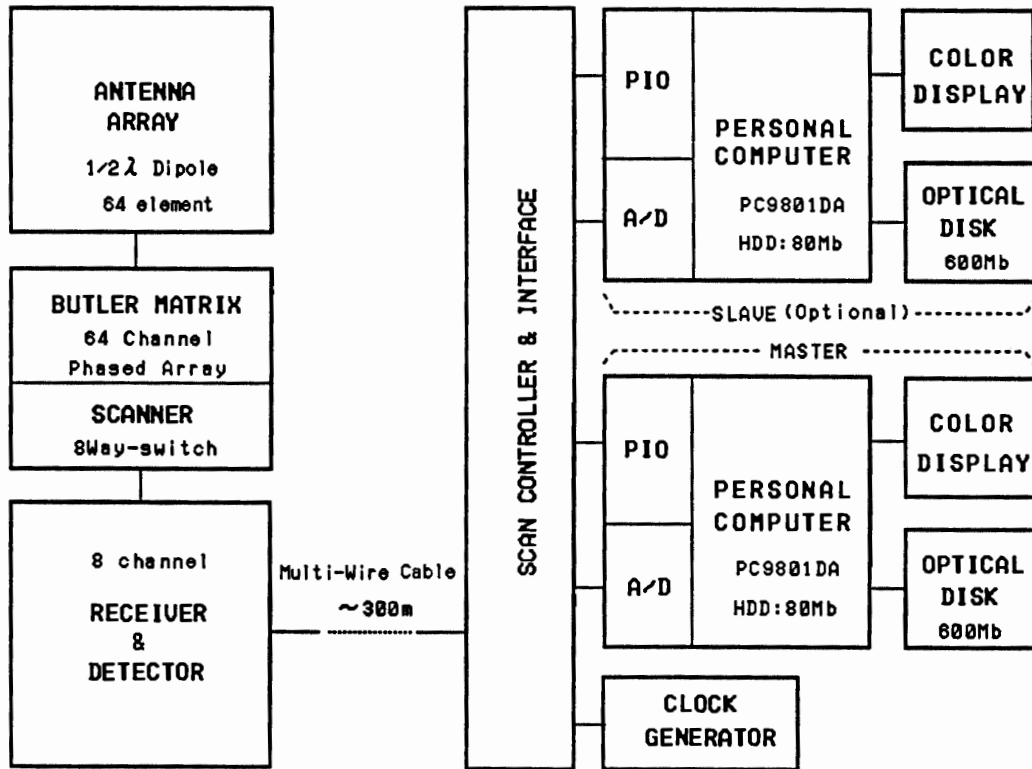


図1 観測システム構成図
Fig. 1. Block diagram of imaging riometer.

で、詳細については、山岸ら (1992) を参照されたい。アンテナ系は、半波長ダイポールアンテナ (観測周波数 30 MHz) を東西南北に 8 列 8 行、0.65λ 間隔に並べたものであり、各アンテナ出力はバトラーマトリクス (8 入力バトラーマトリクスを 8 並列 2 段構成したもの) に接続され、マトリクス出力として、64 方向のアンテナビーム出力が得られる。ここで、南北方向 8 ビームの出力を一つのグループとして、東西方向に 8 ステップで切り替え、8 台の受信器へ供給する。ビーム切り替え信号は、後述する QL システムで作られ 300 m の多芯ケーブルによりバトラーマトリクス内蔵の切り替えスイッチ (スキャナー) に供給される。受信器はシングルコンバージョン型で、IF 周波数 10.7 MHz 帯域幅±100 kHz である。二乗検波された 8 チャンネルの受信器出力は 300 m の多芯ケーブルにより QL システムに供給される。

図1の右半分を占めるのが QL システムであり、そのオンライン機能は、1) アンテナビー

ム切り替え信号の発生, 2) データ収集, 3) 光磁気ディスクへのデータ記録, 4) カラーディスプレイ上へのグラフィック表示, である。ビーム切り替え信号の発生は, NEC 製パーソナルコンピュータ PC 9801 DA に装着したパラレル I/O ボード (アドテック社製 AB98-04A) により, 3 bit TTL 信号として出力され, これがスキャンコントローラー (インターフェイスボックス) にて 3 bit, $\pm 15\text{ V}$ の信号に変換され, バトラーマトリクスへ送られる。ビーム切り替えの最速値は 125 ms で, この時, 1 秒間に 1 フレームの CNA 現象二次元イメージを得ることができる。データ収集は, 受信器からの 8 チャンネルの信号を A/D コンバーターボード (CANOPUS 社製 ANALOG-PRO 8 チャンネル 12 bit 逐次変換型) により A/D 変換して光磁気ディスクに記録する。データ収集と並行して, 得られたデータを処理しカラーディスプレイ上へグラフィック表示を行う。データ収集時のタイムスタンプは, PC9801DA の内蔵時計を使用しているが, その基準クロックは, バッテリーバックアップされた高精度発信器から供給されている。

データ収集には, 2 台のパーソナルコンピュータを並列に運転することもできる。この場合, 1 台をマスター, ほかの 1 台をスレーブとして, ビーム切り替え制御はマスターが行い, スレーブはマスターに同期してデータ収集を行う。マスターとスレーブは, いずれも同一のソフトウェアが走行する。マスターとスレーブの区別は, スキャンコントローラー (インターフェイスボックス) に接続する位置により一義的に決定される。パーソナルコンピュータを 2 台並列に運転するデュアル QL システムとした理由は, QL システムが故障した際, 修理が困難な南極の特殊性を考慮し, システムに冗長性を持たせるためである。もう一つの理由は, 1 台の QL システムがオンライン動作で連続観測を行っている時に, もう 1 台の QL システムをオフラインモードで働かせ, 銀河背景雑音レベルのデータファイルを求めたり, 蓄積された観測データの中から興味深い CNA 現象を検索し, 再生, 表示する (Delay Look 処理) 等, 観測現場における解析を可能にするためである。

データ記録は, アイシーエム社製 MO7616 光磁気ディスク装置をドライブとして用い, 5 インチ光磁気ディスク, ソニー EDM-1DA0, 1024 バイト/セクタ を記録媒体として用いている。ビーム切り替えを最も速くした, 1 フレーム/1 秒で観測した場合, 1 日分のデータは 11 M バイトとなり, 記録容量が約 600 M バイト (両面使用時) の光磁気ディスク上に 54 日分のデータが記録できる。

カラーディスプレイ上のグラフィック表示は, 時系列表示や二次元画像表示など 4 種の表示モードを選択できるようになっており, その詳細は 3 章で述べる。ここで, 本システムの特徴として特に強調したいことは, 各アンテナビームごとの静穏時銀河背景雑音レベル (5 章で詳述) がデータファイルとして, あらかじめ得られていれば, 背景雑音の影響を除いた正味の CNA 二次元画像をリアルタイムで表示できることである。

以上, 昭和基地システムを例にとり, イメージングリオメーターシステムにおける QL シ

システムの役割を概説した。以下、3章ではデータ表示について、4章ではデータ表示以外のQL機能について詳述する。なお、ここで述べるQLシステムのソフトウェアは、MSDOS上で稼動する。その作製には、Cコンパイラとマクロアセンブラーを使用した。(「Lattice C Compiler Ver. 4.1」Lattice, Inc., 「C-TOOL/98 (library)」Lifeboat, Inc., 「MASM Ver. 5.1」Microsoft Co.)

スピッツベルゲン、アイスランドシステムは、昭和基地システムとハードウェア構成、機能に若干の違いが有る。スピッツベルゲンシステムはパーソナルコンピューター1台によるシングルQLシステムとなっている点と光磁気ディスク装置としてNEC社製PC-OD101を用いている点が異なるだけで、ほぼ、昭和基地システムと同一である。アイスランドシステムでは、QLシステムとは別に、ハードウェアロジック回路で構成したビーム切り替えコントローラーがあり、それによりビーム切り替えを行っている。QLシステムによるデータ収集は、ビーム切り替えコントローラーのクロックに同期してA/D変換を行う形となっている。アイスランドシステムも2台のパーソナルコンピューターによりデュアルQLシステムとなっているが、この場合、2台のQLシステムは全く対等であり、ともにビーム切り替えコントローラーにスレーブする形になっている。また、アイスランドシステムの受信器はLaJolla社製の標準型リオメーターを用いている。

3. グラフィック表示機能

オンラインデータ収集時のリアルタイムモニター(QL)表示や、オフライン時の蓄積データの検索、表示(DL)では、機能選択やパラメーターの設定などを階層化された操作メニューの中から選択指示することで行える。図2に操作メニューのフローを示す。機能やパラメーターの選択は、プログラム起動時に「パラメーター設定ファイル」を読み込み決定されるが、起動後も操作メニューを呼び出し適宜変更できる。QLおよびDLのグラフィック表示は、図3a~dに示す4タイプの内の一つを選択できるが、各タイプごとに、増幅度(グラフの振幅)、重ね数(平均化サンプル数)、QCD補正表示のON/OFF(銀河背景雑音除去の有無)、などのパラメーターを設定することができる。以下、4タイプのグラフ表示方法について述べる。

(1) タイプ-1: 64 ビームグラフ表示

図3aに示すように、64ビームの強度データを、CRT画面横軸に時間を、縦軸に強度を設定して8系統8列、計64ユニットのドットグラフで描画する。画面を左右上下にそれぞれ8分割して行相互の間隔を32ドット、列相互の間隔を76ドットで、フルスケールを96ドット相当で表示する。1データごとにプロットし急激な変化も表現できるようプロット間を直線で補間して描画する。画面左から右方向に描画していくが、各ユニット描画エリアをこえる時は、8データごとに左方向にスクロールしながら描画する。

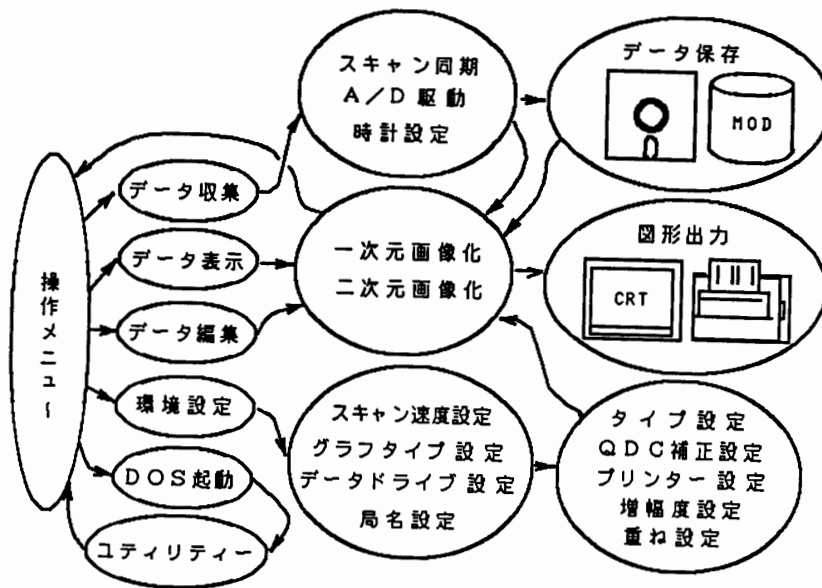


図 2 操作メニュー・フロー
 Fig. 2. Operation flow diagram of data-acquisition and data-analysis.

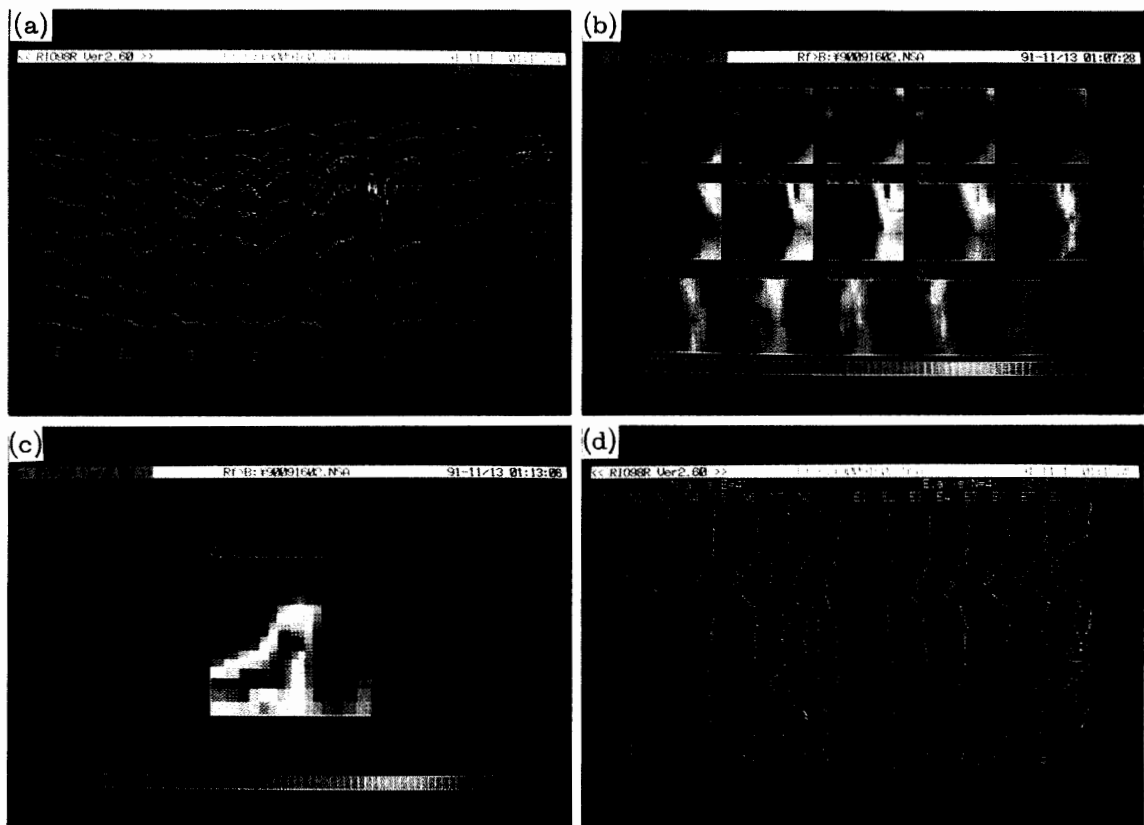


図 3 各グラフィックタイプ描画例
 Fig. 3. (a) Time variations of cosmic noise intensity from 64 beams (Type-1).
 (b) Two-dimensional color images (Type-2).
 (c) Enlarged color images (Type-3).
 (d) Time variations of cosmic noise intensity of 16 beams selected in the orthogonal direction centered at a certain beam (Type-4).

(2) タイプ-2: 二次元画像時系列表示

64 方向のペンシル状アンテナビームにより、天空約 $\pm 45^\circ$ の範囲を掃天して得られた測定データを二次元座標に展開して描画するのだが、その各ビームの半値幅 11° による領域を吸収層高度に投影したとき、その領域は天頂より傾斜するのにしたがい、しだいに広がり斜め隅方向では著しく広がってくる。図 4 は、吸収層高度に投影された 64 本のアンテナビームの中心方向と、その仰角及び方位角方向の半値幅を小円と十字で示したものである。このように 4 隅方向が大きく広がった糸巻き形の視野の観測データは、解析上、不便なので、適当な座標変換により正方形の二次元画像に変換することが望ましい。しかし、QL 二次元画像化プログラムでは、最速で 1 秒/フレームの描画を実行しなければならない等の描画速度を考慮して、同図に四辺型の編目で示すように、正方形の視野を東西・南北方向のアンテナビーム半値幅の広がり比率で直角四辺型に区切る程度の補正とした。天頂を通る東西・南北方向の距離は、電離層高度 90 km で、およそ 200 km となる。なお、この 8×8 画素のデ

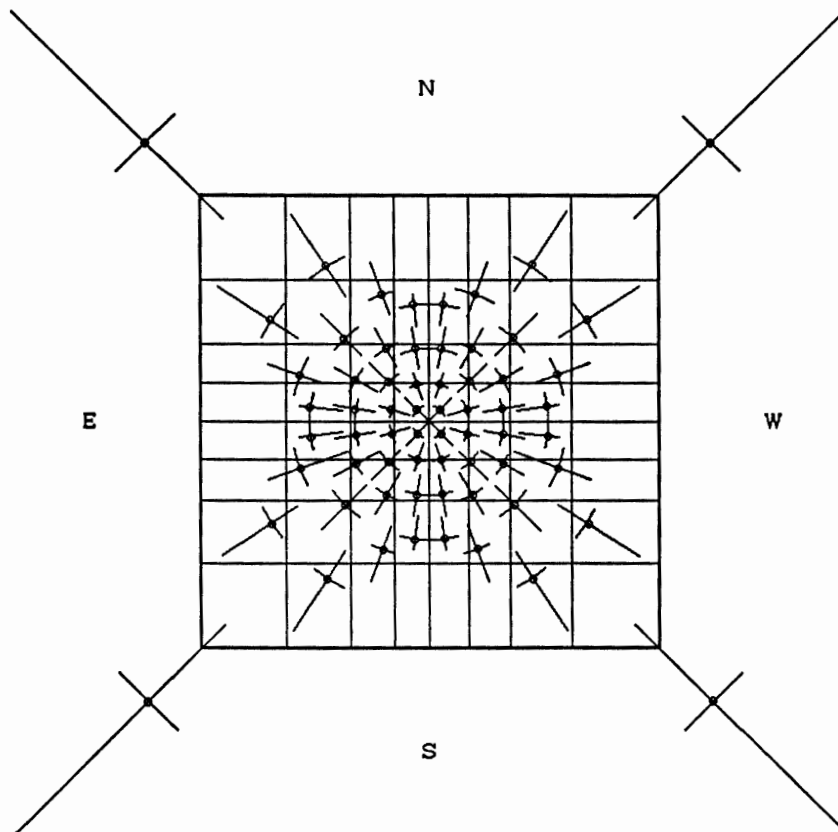


図 4 アンテナビーム投影と二次元座標表示

Fig. 4. The projection of -3 dB crossings of the 64 beams onto the ionosphere at 90 km altitude. A small circle at the center of the crossing indicates the point of maximum sensitivity of each beam. The area including -3 dB crossing is represented by each square segment on the imaging display.

ータは、さらに中間値補間により 16×16 画素に拡張して強度データに応じたカラースケールで描画する。CNA 画像が時間の経過とともに変化してゆく様子を見やすくするため、上記画像を 1 コマとして 1 画面上に横 5 コマ、たて 3 コマの 15 コマ分を表示し、画面の左上のコマから、右下のコマへと、順次、最新データで塗り替えてゆくことにした。このため、1 コマの描画寸法は 88×88 ドットとなる。強度を表現するのに色相による寒色系から暖色系へ順次割り当てていく。使用したコンピューターのグラフィック機能は、 640×400 ドットで、16 色であるが、色の種類を多くするより 4~5 色として、階調はドット比率を変化させるタイリングパターンによる表現のほうが認識しやすい画像が得られる。青、水色、黄色、赤の 4 色を 16 階調のタイリングパターンに従い混合することにより、寒色系から暖色系へ 64 階調スケールのカラーパターンができる。こうして、各画素をその強度データに応じたカラーパターンで描くことにより二次元イメージが描画できる。カラーパターンデータは各画素を描画するごとに演算により求めると描画速度が遅くなる。速度を考慮してパターンデータは、プログラム初期化時にあらかじめデータ配列を作製しておき描画時に参照するようにした。データ配列は、横 8 ビット縦 4 ビットの 64 階調色タイリングパターンデータで、画素の面積に応じて 4 ビット単位で参照される。なお、画像表示にあたって、各ビームの受信強度をそのままカラー階調表示するモードと、QDC ファイルを参照して銀河背景雑音を除去し、正味の CNA をカラー階調表示するモードがある。図 3 b に示したのは、後者の表示モードである。銀河背景雑音除去については 5 章で述べる。

(3) タイプ-3: 拡大画像表示

タイプ-2 と同様に、 16×16 マトリクスに拡張した二次元画像データを 64 階調タイリングパターンにより描画するが、タイプ 2 より大きい 184×184 ドットで描画し、時々刻々、最新データで塗り替えてゆく (図 3 c 参照)。オーロラ全天 TV カメラ観測などと比較するのに適した表示である。

(4) タイプ-4: トレンドグラフ表示

64 ビームの内、東西方向の任意の一行 (8 ビーム)、及び南北方向の任意の一行 (8 ビーム) を選択指定し、これら 2 系列の強度データをドットグラフで描画する (図 3 d 参照)。画面上方から下方に向かって時間軸を設定して描画するが、描画位置が画面下端に達するとスクロール・アップしながら描画する。この表示方法は移動性吸収現象を見つけるのに適している (KIKUCHI *et al.*, 1988)。

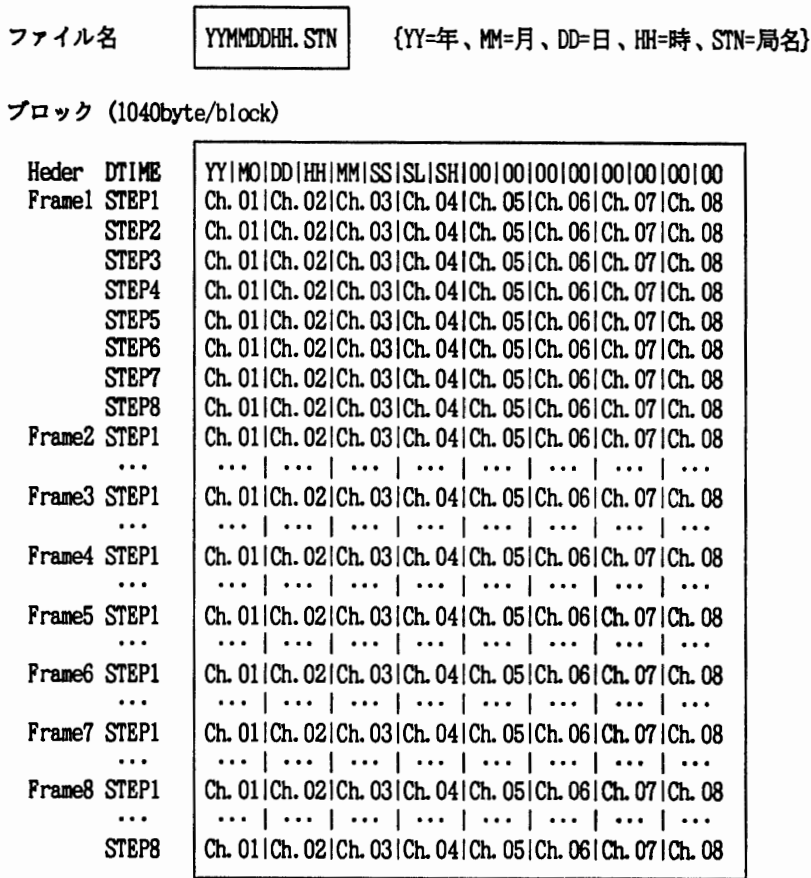
以上、4 つのタイプのグラフ表示について説明したが、タイプ-1: 64 ビームグラフ表示と、タイプ-4: トレンドグラフ表示は、プリンター ON の設定を行うと、CRT 表示と同時にプリンターへもグラフィック印刷が出力できるようになっている。

4. ビーム制御及びデータ収集記録機能

QL システムによる、ビーム制御、データ収集 (A/D 変換)、光磁気ディスクへの記録方法については、すでに 2 章で概要を述べた。ここでは、技術的な観点からやや詳しく述べることにする。

ビームスキャンは、南北方向 8 ビームの出力を一つのグループとして東西方向に 8 ステップで切り替えて行われ、ステップ切り替えと同期して、A/D コンバーターによりデータのサンプリングを行う。ステップ切り替えの可能最高速度は、受信器の過渡応答速度で決まるが、その増幅検波器の過渡応答速度は約 60 ms なのでステップ切り替え速度の最速値を 125 ms とした。この時、描画間隔は 1 秒/フレームとなる。描画間隔は、1 秒、2 秒、4 秒、8 秒の範囲で選択設定することができる。

8 系統のアナログ入力データは、ビームスキャンの 1 ステップごとに起動される割り込みルーチンにより A/D 変換されデータバッファに取り込まれる。データバッファは、データ取得とデータ保存用に各 1 ブロック長をメインメモリーに割り当て、データ取得バッフ



YY|MO|DD=年月日、HH|MM|SS=時分秒、SH/SL=ビームスキャンレート(x10ms)、Ch. nn=信号データ

図 5 収集データファイル構造
Fig. 5. Data file structure.

ャーが満たされるとデータ保存バッファに転送しディスク書き込みルーチンを起動する。この時、データ解析も平行処理して、CRT にグラフィック表示する。データファイルは、タイムスタンプによるファイル名と観測地名（局名）の3文字による拡張子で作成し、日付けが変わるとファイル名を更新して、1日1ファイルのデータファイル作成を行いながら収集データの記録を実行する。

データファイルは、図5に示すフォーマットのブロックデータの連続で作成する。各ブロックは、ブロック長固定でヘッダーと8フレーム分のデータで構成されている。

データは、16 bit 長の unsigned integer であるが、使用したパーソナルコンピュータの CPU, iAPX86 系で最も効率のよい複数バイトのデータは、低位バイトを低位アドレスに、高位バイトを高位アドレスに置くというデータ型式で記録している。なお、後述する QDC データファイル（補正表示参照データファイル）も、これと同一のファイル構造で作成されるので、QDC データもデータファイルと同様に QL 表示の各タイプで描画し確認することができる。データ1ファイルサイズ（1日分）は、描画間隔が1秒/フレーム時では、約11M バイトとなるが、データ記録には、記録容量が約600M バイトの光磁気ディスクを使用しているため、54日分の記録ができる。描画間隔が4秒/フレーム時では、216日分の記録が可能である。

4.1. CNA の算出

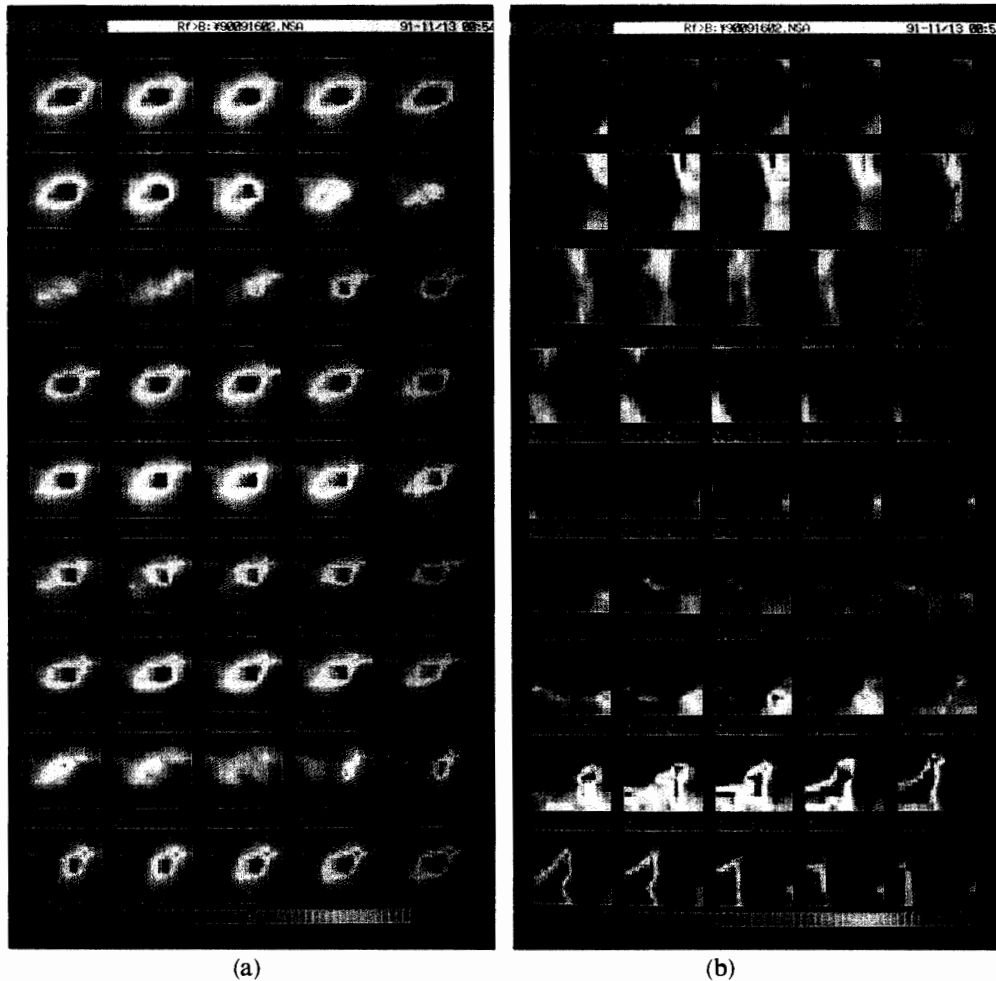
CNA とは降下粒子現象により電離層 D 層での電離度が上昇し、銀河電波の吸収が増大することであり、吸収量 A (dB) は次式で現される。

$$A = 10 \log_{10} \frac{P_A}{P_Q} \text{ (dB)}, \quad (1)$$

ここに、 P_Q は地磁気活動静穏時の銀河電波受信電力であり、一方、 P_A は吸収現象発生時の銀河電波受信電力である。多数のペンシルビームを用いるイメージングリオメーター観測では、ビーム方向により銀河背景雑音強度が大きく異なるため（山岸ら、1992 参照）、各アンテナビームごとに P_Q を求める必要がある。また、地球の自転に伴い、アンテナビームが見る銀河電波源の位置は、時々刻々変化する。そこで、イメージングリオメーター観測では、式(1)のかわりに

$$A_{ij}(t) = 10 \log_{10} \frac{P_{Aij}(t)}{P_{Qij}(t)} \text{ (dB)}, \quad (2)$$

と表現される。ここに、 i, j は、東西、または南北に沿ったアンテナビームの配列番号で、 $1 \leq i \leq 8, 1 \leq j \leq 8$ である。 $P_{Qij}(t)$ はアンテナビーム (i, j) により眺められた銀河電波源の、一日の移り変わりに伴う電波強度変化であり、 t に恒星時 ts を用いれば、 $P_{Qij}(ts)$ は毎日同じ値となる。 $P_{Qij}(ts)$ は、リオメーター観測により実験的に求めることができる。すなわち、



(a)

(b)

図 6 無補正表示と QDC 補正表示

Fig. 6. (a) Two-dimensional color images of cosmic noise intensity.

(b) Two-dimensional color images of the absorption corrected by QDC.

(Tjornes, September 16, 1990).

アンテナビーム (i, j) により受信された毎日のデータを恒星時を時間軸として重ね合わせてゆく。1 か月間程度の重ね合わせをすると、吸収現象が発生している時以外の大部分のデータは、ほとんどぴったり重なり合い、その包絡線が $P_{Qij}(ts)$ を与える。これを QDC (Quiet Day Curves) と称する。イメージングリオメーター観測の場合、アンテナビームの数に対応して、QDC は 64 個の時系列データとなり、これを以後、QDC データファイルと呼ぶ。

山岸ら (1992) で明らかのように、視野方向の違いによる銀河背景雑音強度の変化は、最大 6 倍 (18 dB) に達する。一方、CNA 現象は、高々数 dB である。従って、各アンテナビームの受信強度をそのままカラー階調表現したのでは、CNA 現象を見いだすのが困難である。これを端的に示す例を図 6 に示す。この観測例は、アイスランド、チョルネスのイメージングリオメーターにより 1990 年 9 月 16 日 021657-024025 UT に得られたもので、図 6a は受信強度をそのままカラー階調表現したもの、図 6b は QDC データファイルを用い式 (2)

に従い正味の吸収量 A_{ij} を計算し、カラー階調表現したものである。図 6a では、強い背景銀河雑音電波が中央付近に存在している。022041 (02 時 20 分 41 秒 UT) 頃から 022425 にかけて、さらに 023049 から 023849 にかけて、時間とともにその強度が変化して、CNA の発生が認められるが、背景銀河雑音電波源の強度パターンが支配的で吸収領域の形状を推定することはできない。一方、図 6b では、南北方向に伸びた吸収領域が西側から天頂方向を通過し、東側へ移動していき、つぎに天頂より南西側へ伸びた弱い吸収領域が、その形と吸収量を変えながら天頂より南東側へ移動していく様子が明瞭に見られる。ここで明らかになったように、イメージングリオメーター観測では、QDC データファイルを作成することが極めて重要である。なお、強度表現は、無補正表示はデータ強度が大のとき、補正表示のときは吸収量が大のときに暖色（赤）方向となっている。

4.2. QDC データファイルの作成

ここでは、QL システムのオフライン処理として、パーソナルコンピュータ上で QDC データファイルを作成する手順を示し、次に、QDC データファイルを用いて CNA 二次元画像表示をするまでの手順を示す。

QDC データファイル作成プログラムは、イメージングリオメーターデータ収集システムのユーティリティープログラムの一つとして組み込まれている。適当な期間のデータが収集できた時点で、そのプログラムを起動して QDC データ作成を行う。

プログラムを起動すると操作メインメニューが表示され、その項目を選択指示して作成作業を実行する。項目には、QDC 作成のための本体部分と、その作業を助けるユーティリティーとあるが、QDC 作成には 3 段階にわけて、Pass 1, Pass 2, Pass 3 と順次実行する。この時、参照したデータの内容あるいは処理状況がグラフィック表示され、また、処理中に作製した中間作業ファイルの内容も後にグラフィック表示することができる。作成処理に使用するデータは、最大 20 日間の期間を選択指示するが、地磁気活動の比較的静かな期間で、できるだけ混信等の雑音の少ない期間を選択する。グラフィック表示は、表示色、線モード、表示ビーム軸などのパラメーターを設定変更して 1 日ごとに重ね表示を行えるので、それらの表示を参考にしながら良好な QDC データを作製できるよう妥当な参照データの期間を選択する。その処理手順の概略は、以下のとおりである。QDC 値の決定方法は KRISHNASWAMY *et al.* (1985) により開発された IPM (Inflection Point Method = 屈曲点法) に準じた演算処理を行い求めている。

1) データファイル前処理 1 (Pass 1)

観測データは、1 日分が 1 ファイルごとに、1~8 秒/1 フレームのスキャン速度で記録されている。これを加算平均処理して 32 秒/1 フレームのデータファイルへ圧縮変換する。例えば、4 秒/1 フレームの場合では 8 フレームごとに加算平均を行う。これによりデータの時間あたりのフレーム数が一定となりファイル容量も減少して以後の処理が容易となる。ま

た、混信などの衝撃性の雑音をある程度、軽減することもできる。

2) データファイル前処理 2 (Pass 2)

背景銀河雑音の到来方向は時間とともに推移し、その周期は恒星時に対応して、世界時より 1 日あたり約 237 秒短く除々にずれてくる。このため、Pass 1 で処理したファイルの中から期間を指定して、最初の日を基準とし、以後の日については、1 日あたり 237 秒シフト

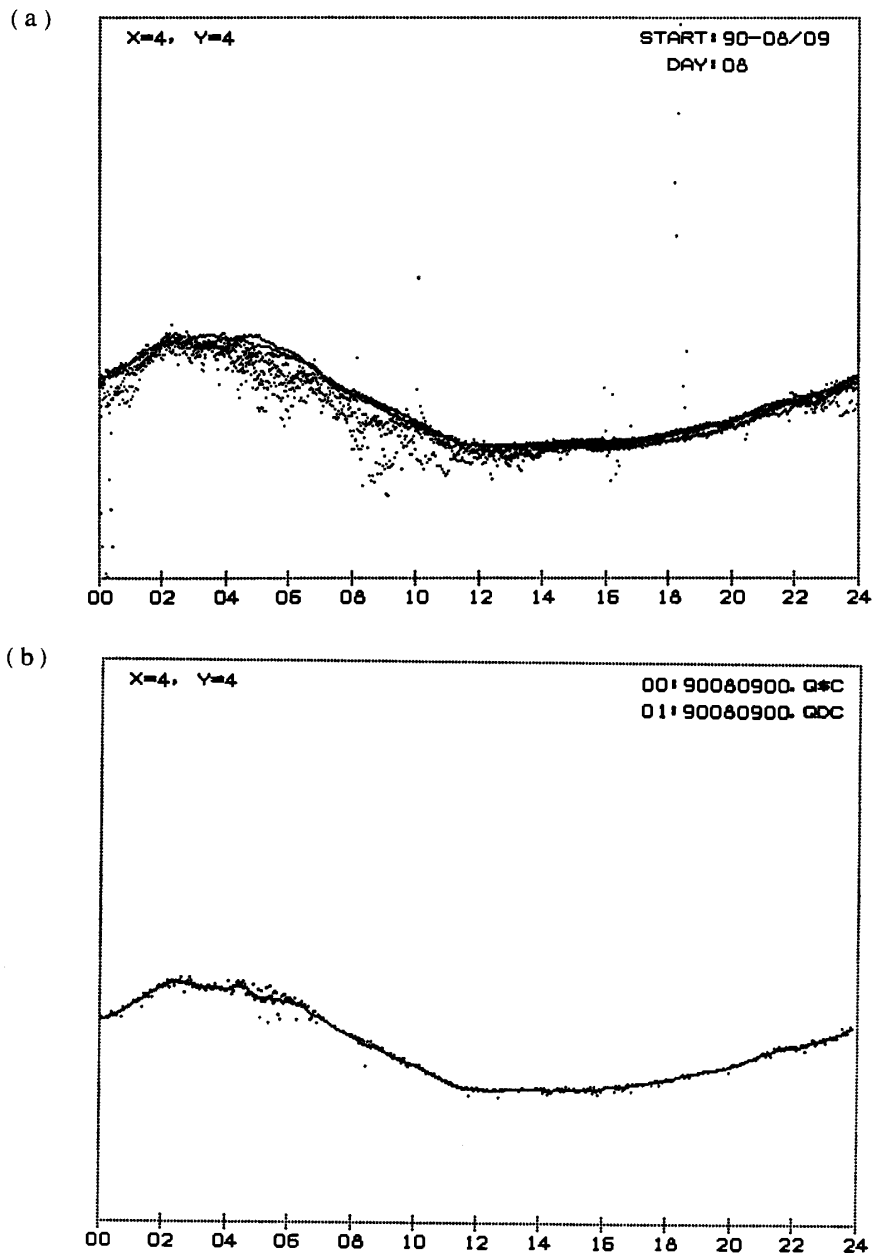


図 7 データ重ねによる強度分布と QDC

Fig. 7. (a) Scatter plot of the eight days of the riometer outputs for a certain beam. (Tjornes, August 9-16, 1990).

(b) Inflection points and a quiet day curve derived from cosmic noise intensities of eight days.

しながら指定期間日数分の中間ファイルを作成する。

3) QDC データ作成 (Pass 3)

Pass 2 で処理された中間ファイル群を重ねて時間枠 192 秒 (6 フレーム) ごとに, 64 ビーム方向ごとに以下の処理を行う。

- ① 0~フルスケール間を 20 ステップで分割し強度分布を演算して強度分布ピーク位置を求める。
- ② そのピーク位置±1 ステップ (フルスケール/20) の間で強度分布曲線を求める。
- ③ 強度分布曲線のピーク位置より強度の強い側での屈曲変化点を求め静穏値とする。
- ④ 静穏値の点を結んだ QDC 中間ファイルを作成する。
- ⑤ 移動平均演算 (8 フレームステップ) 処理によりスムーズ化する。

こうして 1 日分, 450 フレーム (192 秒/フレーム) の QDC データファイルを作成する。

図 7a は, QDC データファイル作成プログラムを実行して, Pass 2 までの処理を行ったモニター出力表示の例である。アイスランド・チョルネスのイメージングリオメーターで得られた 1990 年 8 月 9 日から 8 日間のデータを恒星時シフトして重ねて, ビーム軸は $X=4$, $Y=4$ で, 天頂方向の 1 ビームのデータについて表示している。そして, 図 7b は, Pass

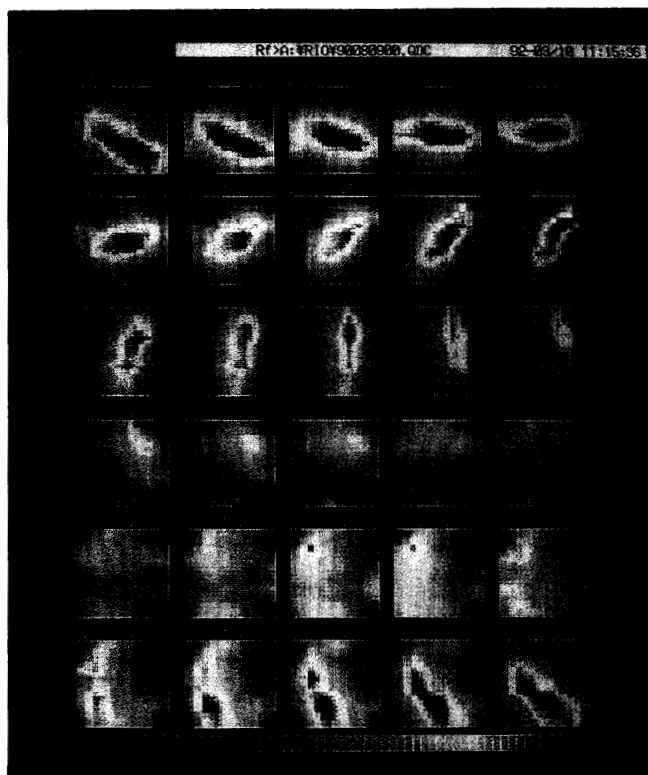


図 8 QDC データ二次元イメージ

Fig. 8. Two-dimensional color images of QDC data. (Tjornes, August 9-16, 1990).

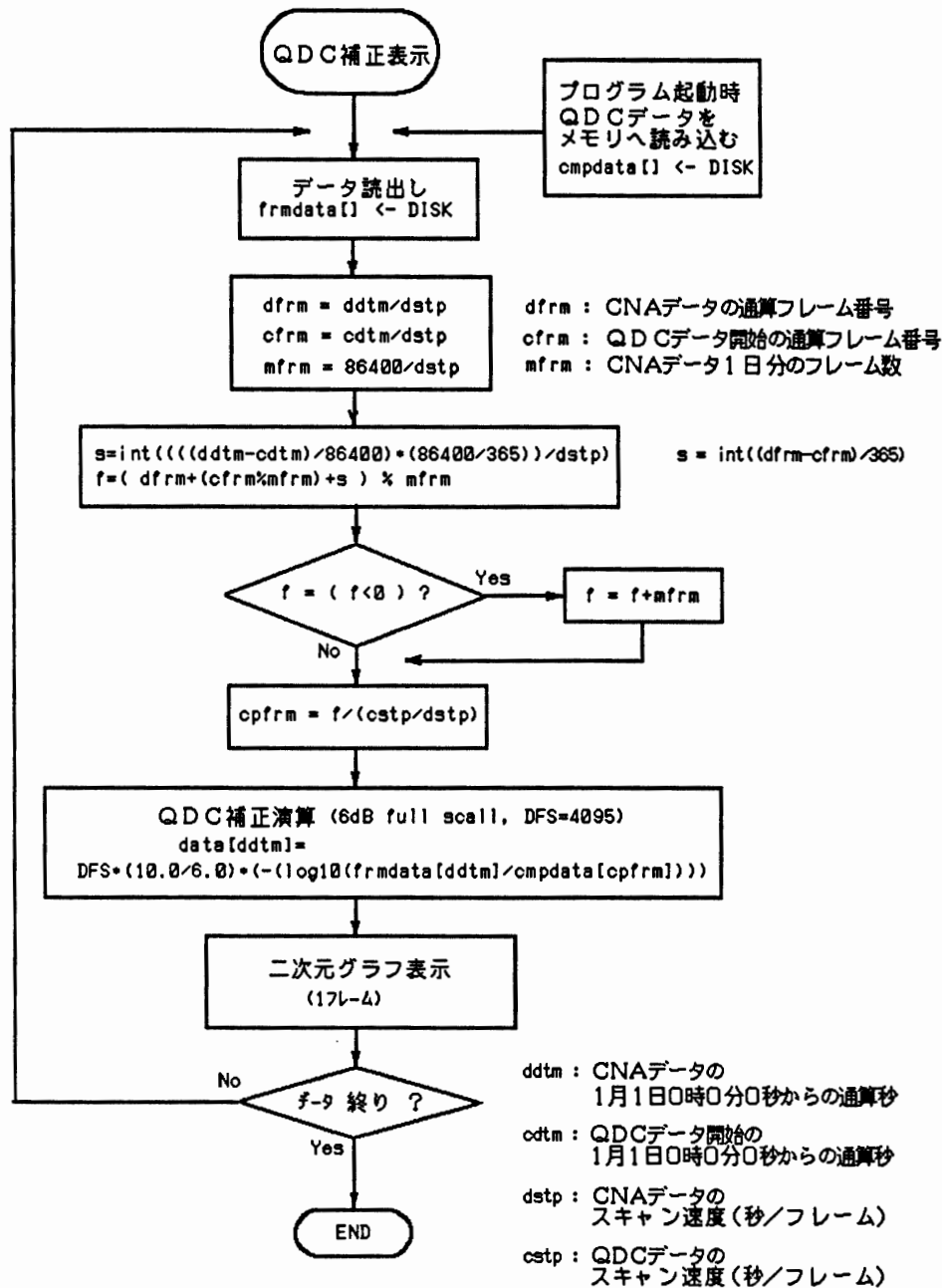


図 9 QDC 補正表示・プログラムフロー

Fig. 9. Flow chart of the data processing of two-dimensional color images by using a QDC correction.

3 の処理を終了した時のモニター出力表示である。ドットで表示されているのが静穏値（上述③）で、連続した曲線が静穏値を移動平均演算処理によりスムーズ化して得られた QDC である。用いたデータ期間には、混信による雑音と、04 時から 11 時にかけて CNA 発生の日を含んでいるが、ほぼ妥当な QDC を求めることができている。図 8 は、この QDC データを二次元画像で表示したものである。

このようにして得られた QDC データファイルは、QL システムのオンライン QL 表示プ

プログラムに組み込まれ、観測時にリアルタイムで CNA 二次元画像表示が得られるという、本 QL システムの最大の特徴を作り出している。QL システムのオフライン処理で作成された QDC データファイルは、パーソナルコンピュータの外部記憶装置上に保存される。電離層の季節変化に伴い、QDC は若干のレベル変動を生じるので、QDC データファイルは季節別に数種類作成することが望ましい。QDC データファイルはプログラム起動時にメインメモリーに読み込み、CNA データ時刻から恒星時に変換し、式 (2) に従い吸収量 A_{ij} を算出し、これをカラー階調表現した二次元画像として表示する。図 9 に、その QDC による補正表示プログラムのフローを示す。

5. おわりに

本イメージングリオメーターは、観測点の上空、電離層高 90 km で約 200 km の範囲内の吸収現象を空間分解能約 17.5 km (天頂方向)、時間分解能 1 秒で求めることができる。本論文では、第 33 次南極地域観測隊によって昭和基地に設置されるイメージングリオメーターを例にとり、パーソナルコンピュータを用いた QL システムの役割、機能を記した。この QL システムの QDC 補正機能により、実際の吸収画像を実時間で得られる点が大きな特徴であり、また、2 台のパーソナルコンピュータを並列に運転することにより、観測を続行しながら吸収画像の評価、改善の操作を容易に実行できる。イメージングリオメーターは、光学観測が不可能な曇天や日照時でもオーロラの出現状況を描くことができる。特に、昭和-アイランド共役点オーロラ観測では、極端にオーロラの光学観測の機会が少ないので、イメージングリオメーターを用いた共役点観測は大いにその有効性が期待される。

謝 辞

チョルネスに設置したイメージングリオメーター装置は、国立極地研究所、名古屋大学空電研究所 (現在・太陽地球環境研究所) 及び郵政省通信総合研究所との共同研究により開発が行われ、その開発結果が本 QL システムの基礎となっている。共同研究者各位に感謝します。本 QL システムの国内仮設調整にあたっては、通信総合研究所山崎一郎主任研究官 (第 33 次南極観測隊隊員) の協力を得た。ご協力に感謝いたします。最後に、イメージングリオメーター装置の開発及び観測に対しご理解と協力を頂いた、名古屋大学太陽地球環境研究所田中義人教授及び国立極地研究所佐藤夏雄教授に深く感謝いたします。

文 献

- DETRICK, D. L. and ROSENBERG, T. J. (1990): A phased-array radiowave imager for studies of cosmic noise absorption. *Radio Sci.*, **25**, 325-338.
 KIKUCHI, T., YAMAGISHI, H. and SATO, N. (1988): Eastward propagation of Pc 4-5 range CNA

pulsations in the morning sector observed with scanning narrow beam riometer at $L=6.1$. *Geophys. Res. Lett.*, **15**, 168-171.

KRISHNASWAMY, S., DETRICK, D. L. and ROSENBERG, T. J. (1985): The inflection point method of determining riometer quiet day curves. *Radio Sci.*, **20**, 123-136.

NISHINO, M., TANAKA, Y., OGUTI, T., KOKUBUN, S., EGELAND, A. and BREKKE, A. (1990): Movement and spatial form of auroral absorption in the polar cap during substorms. *Hokkyoku-iki Chûsô-Chôkôsô Taiki-ken Sôgô Kenkyû Shinpojiumu*, Dec. 1990, 69-84.

佐藤 貢・加藤泰男 (1990): マルチビームリオメーターのデータ収集と画像化システムの開発. *Proc. Res. Inst. Atmos., Nagoya Univ.*, **37**, 61-72.

山岸久雄・西野正徳・佐藤 貢・加藤泰男・小島正宜・佐藤夏雄・菊池 崇 (1992): イメージングリオメーターの開発. *南極資料*, **36**, 227-250.

(1992 年 3 月 26 日受付; 1992 年 4 月 22 日改訂稿受理)