

トロムソ/ロングイアビンにおける オーロラ観測用並列イメージャーの大量データ処理と可視化

小川泰信^{*1} 門倉昭^{*1} 元場哲郎^{*1,2} 田中良昌^{*1} 細川敬祐^{*3}

Processing and visualization of large amounts of auroral data obtained with All-sky/Narrow field-of-view parallel imagers in Tromsø and Longyearbyen

Y. OGAWA^{*1} A. KADOKURA^{*1} T. MOTOKA^{*1,2} Y. TANAKA^{*1} and K. HOSOKAWA^{*3}

Abstract

We report current status and future plans of processing, analysis methods, and visualization of large amounts of auroral data obtained with All-sky/Narrow field-of-view parallel imagers in Tromsø Norway and Longyearbyen Svalbard. Observations of the parallel imagers started in October, 2010, and the optical data provide important information for various studies on auroral physics, as well as other in-situ and ground-based data such as European incoherent scatter (EISCAT) radars. We have developed several methods of data processing and visualization of the auroral database in order to find valuable auroral data among the abundant data. This experience can be applied to development of a global network aurora observation system using automated imagers with high sensitivity in the future.

Keywords: Polar ionosphere, aurora, imager, EISCAT, IUGONET

概 要

本論文では、トロムソ及びロングイアビンで国立極地研究所が展開している全天/狭視野並列イメージャー観測による、高時間分解能のオーロラカラー画像の大量データベース化や、データ解析手法、データ可視化手法を中心に現状と今後の予定を紹介する。このデータベースは、様々なオーロラの研究を進める上で重要なオーロラの基本情報を含んでおり、欧州非干渉散乱 (EISCAT) レーダー等の関連観測データを組み合わせた総合的な研究を全国共同利用で実施する上でも不可欠であると考えている。得られた大量のオーロラ画像データから、オーロラ研究に利用可能な（ごく一部の）質の高いオーロラ画像データを抽出する方法や、その抽出された画像データを更に詳細かつ総合的に解析する手法の開発・発展が求められており、我々は様々な画像処理プログラムや複数のデータを同時に可視化するプログラムの開発に取り組んでいる。このイメージャー観測システム構築と可視化を含むデータ処理の経験を基に、将来的には多地点のオーロラ画像データを統合して扱うことが可能なシステム開発や、省電力・無人オーロラ観測システムの多点展開等への発展が期待される。

*1 国立極地研究所 (National Institute of Polar Research, Japan)

*2 Now at APL/JHU (The Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory, USA)

*3 電気通信大学 (The University of Electro-Communications, Japan)

1. 背景

極域におけるオーロラ研究は長い歴史を持っているが、近年では、高時間・高空間分解能の人工衛星観測や地上レーダー観測などと組み合わせた総合的なデータ解析が行われることが多く、従来に比べてより時間分解能の高い（数秒以内程度の）データを連続的に取得することの重要性が増してきている。また、解析に使用出来るオーロラ観測データは晴天夜のものに限られるため、そうした連続的に取得された大量のデータから晴天夜のデータをまず抽出し、さらに解析対象とするオーロラ活動が観測されたデータを抽出する、という作業も必要となってきた。

微弱なオーロラ発光の高速サンプリング観測には、高価かつ慎重な扱いが必要な機材（ICCD カメラなど）が従来用いられてきた。そのような機器を用いた主にキャンペーンベースの観測に加え、最近普及が進んでいる簡易型の超高感度 CCD カメラを用いた定常観測が、例えば南極昭和基地やアイスランドのオーロラ観測拠点で 2009 年から開始されている。この簡易型カメラ観測の利点としては、月が多少出ている CCD の劣化をあまり気にせずにオーロラ観測が可能であるため、定常観測に適していることが挙げられる。

このような先行観測の経験を基に、ノルウェー・トロムソの EISCAT サイト敷地内にある分反射実験（PRE）用ビルディング別棟の光学観測施設（図 1 参照。地理緯度：北緯 69.6°, 東経 19.2°, 不変磁気緯度：66.2°）と、スバルバル・ロングイアビンの Kjell Henriksen Observatory 光学観測所（図 1 参照。地理緯度：北緯 78.2°, 東経 16.0°, 不変磁気緯度：75.2°）の 2 地点において、全天及び狭視野カメラによる日陰期間（10-3 月）のオーロラ定常観測を 2010 年 10 月より本格的に開始した。その後様々な試行錯誤を経て、現在は複数の簡易型高速イメージャーの組み合わせを用いたオーロラの高速カラー画像データの定常取得を実現している。オーロラの定常観測は極域の様々な地点で行われているが、カラー画像データを 1 秒以内の時間分解能で取得する全天オーロラ定常観測は他に類を見ない。オーロラ画像を白黒画像ではなく、多波長のカラー画像として取得するメリットについては、(1) 画像内の明るい領域がオーロラか雲かを区別しやすいこと、(2) オーロラの色の違いから様々な情報（発光高度や降下粒子エネルギー等）を引き出し得ること、(3) オーロラ以外の特定の光（ナトリウム光など）を光学フィルターで取り除くことができること、等が挙げられる。

高時間分解能によるオーロラ定常観測では、膨大な量のデータが蓄積されるが、最近では高い演算処理能力をもつ CPU や速いデータ転送速度を持つネットワーク技術が普及し、また大量のデータを扱うことが可能なストレージシステムも容易に構築可能となってきた。また、自動運用や遠隔運用を可能にする技術も進んできている。本論文で扱っているオーロラ観測用並列イメージャーも、そのようなデータ転送及びストレージ容量に関する最近の劇的な発展の上に成り立っている。1 つのイメージャーで得られる 1 画像当たりのファイルサイズは約 80 kBytes とそれほど大きくないが、高いサンプリングレートで複数のカメラを同時に運用しているため、全体のデータ量は莫大となり、2010 年 10 月から 2012 年 3 月までの全データ容量は、約 22 TBytes にも及んでいる（その内訳は、観測日数（約 250 日）× 1 日当たりの平均観測時間（約 40,000 秒）× サンプリング頻度（約 2 枚 / 秒）× 画像サイズ（70-140 kBytes）× イメージャーの数（5 台 / 8 台 / 12 台）の計約 16 TBytes に加え、3 色合成処理後のデータなど約 6 TBytes）。これらの膨大な画像データを、研究目的に合わせて効率よく処理し可視化するシステムが必要とされる。本論文では、全天 / 狭視野並列イメージャーシステムとそのデータ取得の概要を説明すると共に、そのデータ処理や可視化の現状と、今後の予定や方向性を紹介する。



図 1 （左図）トロムソ大学が運用する分反射実験（PRE）用ビルディング別棟の光学観測施設。（右図）ロングイアビン・スバルバル大学センター（UNIS）が運用する光学観測所 Kjell Henriksen Observatory（KHO）

2. 全天／狭視野並列イメージャーシステム及びデータ取得について

全天／狭視野並列イメージャーシステムは、同じ種類の複数のカメラ及びレンズ、透過波長の異なるフィルター、カメラからのビデオ信号を画像ファイルに変換するビデオエンコーダ、ネットワークを介してデータを保存する PC 及びハードディスクで構成される。全天観測と狭視野観測では、用いているレンズ(魚眼レンズもしくは狭視野レンズ)と光学フィルターを変えており(図2参照)、それに応じてカメラの観測設定を調整している。このオーロラ観測用並列イメージャー観測に用いている機材と仕様を、表1にまとめて記載する。カメラについては、超高感度 CCD を用いたフレーム積分が可能な WAT-120N+ (ワテック社製) を複数台用いている。レンズは光学的に明るく CS マウントが可能な製品を利用し、光学フィルターは(オーロラ入射光の角度を考慮して)半値幅が約 100 nm と広く、かつ透過率の高い(約 90%)製品を加工して用いている。並列イメージャーシステムで用いている光学フィルターの波長透過特性を図3に示す。これらの光学系により、微弱なオーロラ発光を1秒以内の高時間分解能で取得することに成功している。

これまでの観測状況の概要を表2にまとめて記載した。2010年3月のトロムソでの試験観測を経て、2010年10月から2011年3月の観測シーズンに定常観測をトロムソ及びロングイアビンで開始した。その後、本格的な並列イメージャーシステムの構築を2011年4月から開始し、2011年10月から2012年3月の観測シーズンに現地におけるシステム運用を行った。これまでに得られたデータのデータベース化や解析処理を進めると共に、2012年9-10月からはトロムソ及びロングイアビンにおいて統一された運用システムでの同時観測を実施する。

観測地点における観測システムの概要を図4の左側(a)に示す。その特徴として、(1)データ量が莫大となるため、データ欠損が発生しないように転送速度を最大限考慮したシステムを構築していること、(2)PCやハードディスク等の記録装置に不具合が生じた場合のバックアップ体制を用意していること、の2点が主に挙げられる。(1)に関して、ビデオエンコーダには1Gbpsでのネットワーク転送が可能な AXIS Q7404 を使用し、PC 転送されたデータは、SATA 接続された内蔵ハードディスク或いは USB3.0 接続の外付けハードディスクにカメラ毎に別々に分けて記録される。(2)に関して、並列イメージャーシステム毎に2台のPCを用意しており、もし1台のPCに不具合が生じた場合には、ビデオエンコーダがその状況を察知し、もう1台のPCに画像データを記録するように自動で切り替える設定となっている。

これらの観測データを用いた研究対象としては、(1)数秒で大きく変化するオーロラ(例:周期が数秒程度の脈動オーロラ¹⁾やオーロラブレイクアップ前に生じるオーロラビーズ構造²⁾³⁾)、(2)ミクロスケール(数km以内)のオーロラの微細構造⁴⁾、(3)ミクロスケールとメソスケール(数10km - 数100km)のオーロラ構造の間のスケール間結合、(4)オーロラサブストームの発達過程⁵⁾、等が挙げられる。

トロムソとロングイアビンでは、EISCAT レーダー⁶⁾が稼働しており、オーロラ発光が生じている電離圏大気の温度や密度などの物理量を定量的に取得することが可能である。また、名古屋大学太陽地球環境研究所がトロムソに展開しているモノクロ全天イメージャーや中間圏・下部熱圏温度観測を行うナトリウムライダー⁷⁾などの複数の地上光学機器観測(参照ウェブページ: http://www.stelab.nagoya-u.ac.jp/~eiscat/prephoto_data.html)との相補的な同時観測もこれまでに実施してきている。

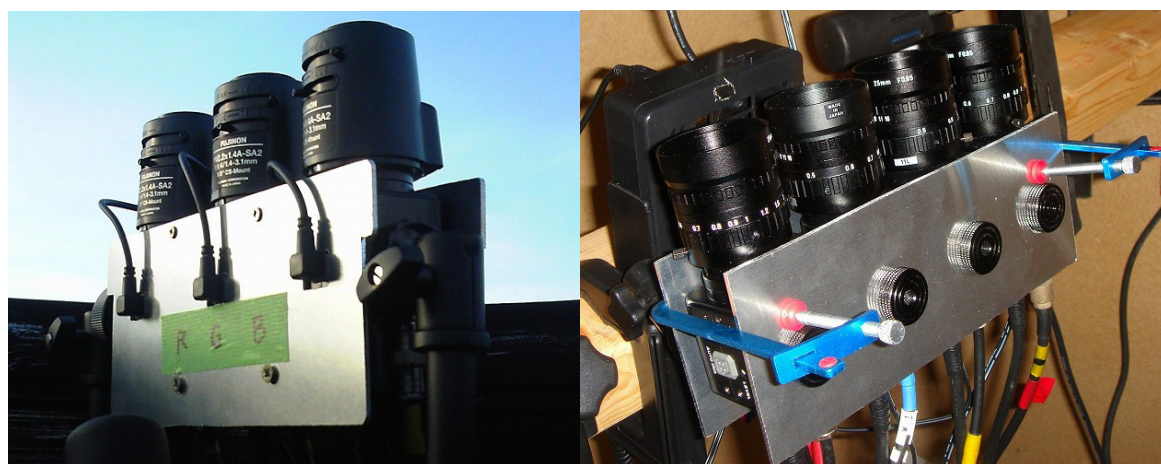


図2 (左図) 全天ワテック並列イメージャー(AWI)の写真。(右図) 狭視野ワテック並列イメージャー(NWI)の写真。NWIの背後には、イメージャー冷却用のファンが設置されている。

表 1 オーロラ観測用並列イメージャー観測に用いる機材とその仕様

ビデオカメラ	ワテック社製 WAT-120N+ (CCD : Sony 社製 ICX418ALL) 最低被写体照度 0.00002 ルクス . フレーム積分可能 (最大 8.5 秒間)
全天観測用レンズ	フジノン社製魚眼レンズ YV2.2x1.4A-SA2 (絞り DC 駆動) (トロムソ) , YV2.2X1.4A-2 (絞り手動駆動) (ロングイアビン) 焦点距離 : 1.4 mm, 絞り : F1.4, 画角 : 185°x 185° (水平 x 垂直)
狭視野観測用レンズ	八雲社製狭視野レンズ YMV2595N 焦点距離 : 25 mm, 絞り : F0.95, 画角 : 14.6°x 11.0° (水平 x 垂直)
光学フィルター	バーダー社製 LRGB 撮影用フィルター (型番 2458475)
ビデオエンコーダ	アキシス社製 AXIS 241Q ビデオサーバー (2010 年 10 月 ~ 2011 年 3 月) アキシス社製 AXIS Q7404 ビデオエンコーダ (トロムソ : 2011 年 11 月 ~ , ロングイアビン : 2011 年 10 月 ~) 画像分解能 : 640 ピクセル x 480 ピクセル 保存ファイルフォーマット : jpeg 形式 (8 ビット)
ビデオタイムインサータ	Alexander Meier Elektronik 社製 TIM-10 (2010 年 10 月 ~ 2011 年 3 月) (注 : 2011 年 10 月からは NTP サーバー PC を用いた時刻同期を実施)

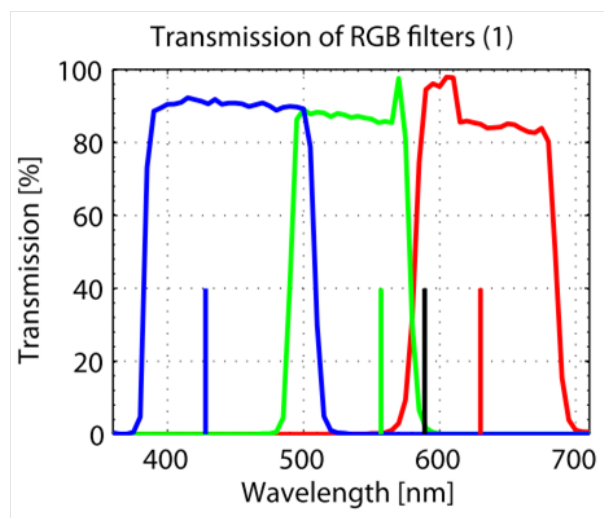


図 3 イメージャー観測に用いた光学フィルターの波長透過率特性 (国立極地研究所の光学校正機器を用いて測定) . 青色 , 緑色 , 赤色の直線で描かれた箇所は典型的なオーロラの発光波長 (それぞれ 428, 558, 630 nm) の位置を表す . 黒い直線で描かれた波長はナトリウム発光 (589 nm) を表す .

表 2 トロムソとロングイアビンにおける観測状況の概要

	トロムソ AWI	トロムソ NWI	ロングイアビン AWI	ロングイアビン NWI
2010 年 3 月	テスト観測実施	—	—	—
2010 年 10 月～ 2011 年 3 月	BW (2 Hz) [11 月～]	BW (2 Hz)[10 月] G (2 Hz)[11 月～]	BW (2 Hz) [1 月～]	G&R (2 Hz) [1 月～]
2011 年 10 月～ 2012 年 3 月	RGB (2 or 1 Hz) & BW (2 Hz)	BW (2 Hz) [10 月～1 月] G2 台 & R2 台 (4 Hz)[1 月～]	RGB (1 Hz)	BW (2 Hz)
2012 年 9 月～	RGB (1 Hz)& BW (2 Hz)	RGB (2 Hz)& BW (4 Hz)	RGB (1 Hz)& BW (2 Hz) [10 月～]	RGB (2 Hz)& BW (4 Hz) [10 月～]

注 AWI : 全天ワテック並列イメージャー
NWI : 狭視野ワテック並列イメージャー

BW : カメラ 1 台によるパンクロ (白黒) 画像観測
RGB : カメラ 3 台による RGB カラー画像観測
(G : 緑フィルター, **R** : 赤フィルター, **B** : 青フィルターによる観測.
括弧内はサンプリング周波数を表す.)

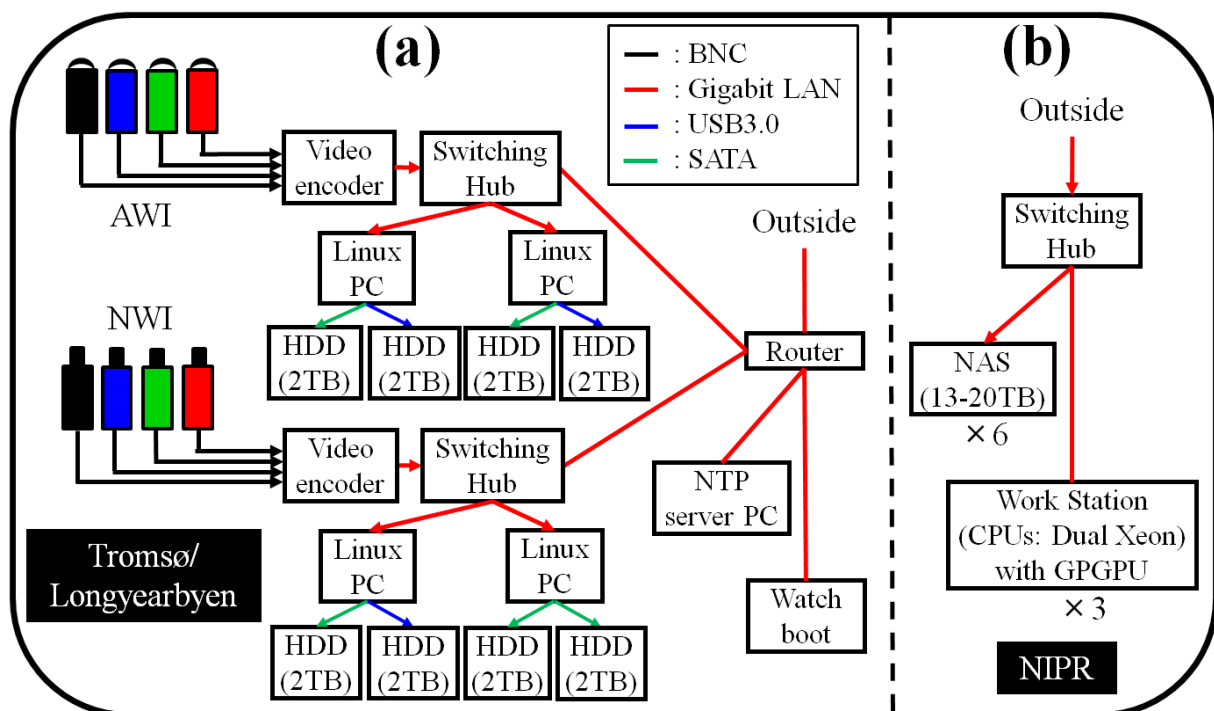


図 4 観測システム概要 (左側(a). 2012 年 9 月以降のトロムソでの観測)と極地研究所内のデータ処理システム概要 (右側(b)). 矢印は画像データの流れを表す。

3. 全天／狭視野並列イメージャーデータ処理と画像解析について

3.1. ルーチン的なデータ処理の流れ

トロムソ／ロングイアビンの両観測点で取得された画像データは極地研に転送され、極地研内に構築された画像データベースに収納される（そのデータ処理システム構成図については図4の右側（b）に示す）。表3にそのデータ処理の流れを示す。観測シーズン（10-3月）の日陰時に取得されたリアルタイムのデータから3色合成画像を30秒毎に自動作成し、極地研ウェブサーバーに転送している。その画像をホームページに掲載することにより、リアルタイムのオーロラ観測状況やシステムの不具合をチェックできるようにしている。現地PCに蓄えられた画像データについては、1時間毎にディレクトリに分けて保管し、晴れてオーロラの見られた時間帯のデータのみ優先して極地研に転送している。現在はその判断を観測サマリープロットから目視で行っているが、画像から雲やオーロラを認識することによる自動化を進めている。極地研に優先して転送された画像データについては、3色合成画像（図5参照）や1時間毎の動画ファイル、発光輝度の南北子午面ケオグラムやアスキーファイルなどの作成を速やかに行い、ホームページ（<http://polaris.nipr.ac.jp/~eiscat/optical/>）上で公開している。また、トロムソとロングイアビン共に晴天でオーロラが見られるイベントについては、（オーロラの発生高度を高度120 kmと仮定して）両方の画像を地図上に投影した図を作成し、広い緯度幅（約1400 km）のオーロラ分布と変動を把握可能なプロット（図6参照）を作成している。また、観測シーズン終了時（毎年3月）には、すべての画像データを現地から極地研究所に持ち帰っている。

表3 データ処理の流れ

(1)	リアルタイムデータを30秒毎に極地研ウェブサーバーに転送し、ホームページ内（ http://polaris.nipr.ac.jp/~eiscat/optical/realtime.html ）に公開。 （RGB3色画像データについては3色合成画像を自動作成しホームページに公開。）
(2)	0.25-1秒毎に得られる複数の画像データを1時間毎にディレクトリに分けて保管。
(3)	晴れてオーロラの見られた時間帯のピックアップ。 （現在は目視で、画像から雲／オーロラを認識することによる自動化を試行中。）
(4)	RGB3色画像データについては、色調整と3色合成した画像の作成。 さらに全天画像と狭視野画像を並べた画像（図5参照）及び動画の作成。
(5)	動画やケオグラム、数値ファイル（10秒平均値と1-4Hzオリジナルデータ）の作成と、ホームページ（ http://polaris.nipr.ac.jp/~eiscat/optical/ ）での公開。
(6)	トロムソ及びロングイアビン画像を地図上に投影した画像（図6参照）の作成。

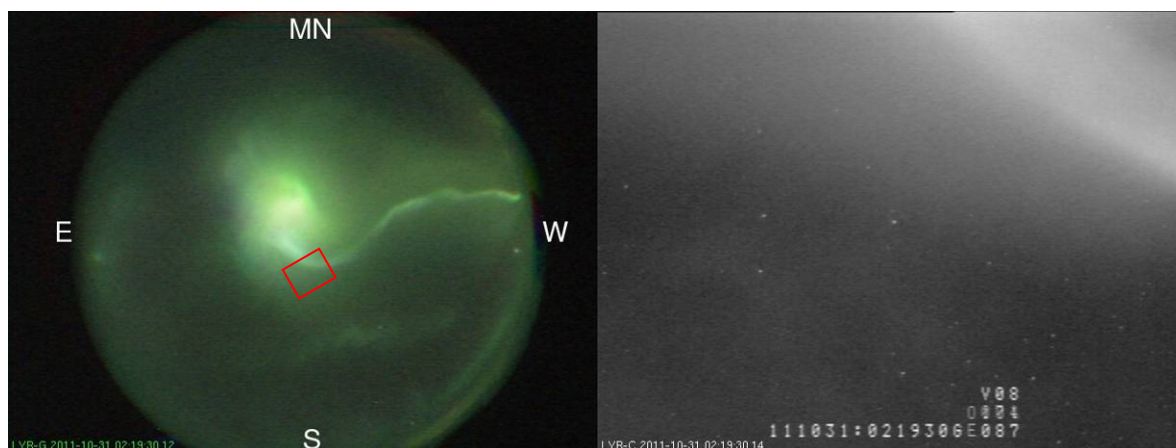


図5 ロングイアビン KHO で取得した同時刻の全天及び狭視野画像の一例。左側の全天イメージャーの視野内に赤色の四角で描かれている領域は、右側の沿磁力線方向の狭視野イメージャーの視野の大きさを表す。

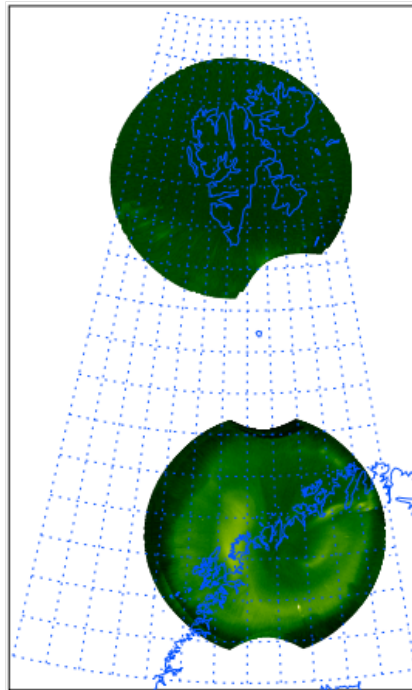


図 6 トロムソ画像とロングイアビン画像を地図上に投影した画像例（2012 年 01 月 22 日 2107:00 UT 取得データを利用．オーロラの発生高度を 120 km と仮定して地図上に投影．）

3.2. 高度画像処理

これらの画像データベース構築及びその公開作業と平行して進めている、高度な画像処理の現状と今後想定している展開を以下に記載する。

まず、画像から雲やオーロラを認識する方法として、均等量子化法による減色処理を行い、RGB 画像を（4³ の）64 ビット化して定量的に扱うことを行っている。その例を図 7 に示す。図 7 の左図のような 558 nm の緑色のオーロラ発光の場合、緑色のみ強度が高いピクセル（赤色の矢印の部分）が多く存在するようになる。それに対し、曇りの場合には町明かりを雲が反射して、RGB 全色が同等な色分布を示す。このような違いを利用して、雲やオーロラの観測を自動認識する手法の開発を現在行っている。その手法を観測現地 PC に組み込み、優先してデータ処理すべき時間帯を自動でピックアップするシステム構築を検討している。さらに今後、オーロラを（オーロラアークなどの）形状からも認識できるように、アルゴリズムを改良することが期待される。

2 つ目にコンボジット積分によるランダムノイズの軽減が挙げられる。その結果の例を図 8 に示す。図 8 の右図のように、4 つの並列イメージャーで同時刻に得られた 4 枚の画像を重ね合わせた合成画像（注：この画像取得時には 4 台のイメージャー共に光学フィルターを不使用）では、1 枚の画像に比べランダムノイズが 1/2 に軽減し、薄いオーロラや小さな星がより明確になっている様子が見て取れる。このような手法は、ディフューズオーロラ中の脈動オーロラなどの暗いオーロラ発光（すなわちシグナルがノイズレベルに近い場合）に対して効果的と考えている。

その他に、本データから特徴的なオーロラの波数を取り出すためのスペクトル解析についても現在進めているところである。オーロラアークの崩壊時などには、オーロラビーズやカールなどが特徴的な波数を持つ構造が発生する²⁾。これらの現象はオーロラ微細構造の生成機構やサブストーム発達機構を理解する上での鍵となると考えられる。また、データベース構築や各種画像処理にはかなりの時間を要する状況（具体的には、1 時間分のデータに対して約 30 分間の処理時間）であるが、現在は複数のワークステーション（図 4 の右側（b）参照）を用いて、できる限り効率よく行っている。今後は Matlab の Parallel Computing Toolbox と GPU による汎目的計算（GPGPU）を組み合わせ用いた並列処理によるデータ処理速度の改善を図ることを予定している。

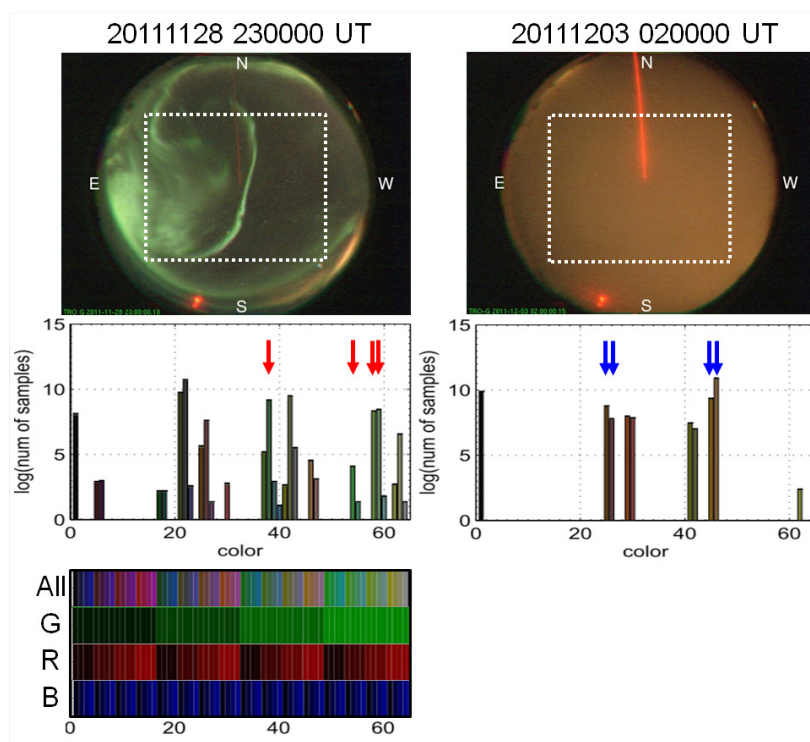


図 7 均等量子化 (64 ビット) を用いた画像解析例。左側に 2011 年 11 月 28 日 2300:00 UT に得られたオーロラ全天画像とその色分布を、右側に 2011 年 12 月 03 日 0200:00 UT に得られた曇り画像とその色分布を示す。一番上の画像に白い点線で描かれた四角の領域のデータを中央のグラフで用いている。オーロラに起因する典型的な色の位置を赤色の矢印で、雲に起因する色の位置を青色の矢印で示している。なお、全天カメラ画像の北から中央に延びている赤い直線はナトリウムライダーによる波長 589 nm の発光である。一番下の図は色の配列(上から順に、3 色合成、緑色、赤色、青色)を表す。

(Before) only 1 picture



(After) a composite picture

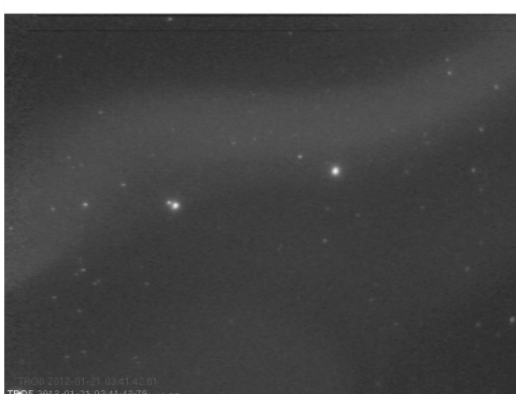


図 8 狭視野イメージャーによるオーロラ画像のコンポジット合成処理を行った結果の例。左側は処理を行う前の元画像。右側は 4 つの並列イメージャーで同時刻に得られた 4 枚の画像を重ね合わせた合成画像。ランダムノイズが軽減し、薄いオーロラや小さな星がより明確になっている様子が分かる。

4. 全天 / 狭視野並列イメージャーデータの可視化と検索手法について

背景で述べたようにオーロラの総合観測・研究を進める上では、本並列イメージャーで得られたオーロラデータを、電離圏プラズマ物理量等と同時に表示することが求められる。そこで、大学間連携プロジェクト (IUGONET, <http://www.iugonet.org/>) で開発が進められている、超高層大気の地上観測データを表示・解析するためのソフトウェア TDAS/UDAS⁸⁾ 上で、本並列イメージャーデータを表示するプログラム開発を進めてきた。現在はウェブ上に公開している数値ファイル (10 秒平均値) を読み込んで、同時刻の関連観測データとの比較プロットを容易に作成することが可能である。図 9 にその同時観測データのプロット例を示す。この例では、15 UT 頃に太陽風動圧 (図 9 (e)) の急激な増加に伴い、オーロラがロングイアビン上空 (図 9 (c)) からトロムソ上空 (図 9 (d)) に移動し、その後 18 UT からオーロラが極方向に急激に広がる様子 (ポールワードエクспанション) が見て取れる。また、トロムソ VHF レーダーデータ (図 9 (b)) からは、19 UT 付近のオーロラの増光に伴い、高度 120 km 付近の電子密度が増加していることが分かる。

この TDAS/UDAS を用いて表示可能なプロットは、現在のところ南北子午面方向の発光強度ケオグラムのみである。今後は数値ファイルを CDF フォーマット化することにより、画像データのファイル容量を減らし、任意の方向のケオグラムと特定の時刻のオーロラの投影画像 (図 6 参照) を TDAS/UDAS 上で表示できるようにする予定である。さらに、学術論文に使えるように質を高めたプロットを使えるように、データの精度を高めたデータベースと画像データの投影などのデータ処理プログラムの向上を図っている状況である。

その他に、複数のイメージャーによる定常観測を行うようになり、利用可能なデータの情報は莫大となったため、様々な研究者がデータを効率よく検索するシステムの構築が不可欠と言える。この並列イメージャーの観測機器の情報に関しては、国立極地研究所の学術データベース (<http://scidbase.nipr.ac.jp/>) にメタ情報を登録し随時更新すると共に、IUGONET プロジェクトのメタデータ検索ホームページ (<http://search.iugonet.org/iugonet/>) でも検索可能な体制を整えている。観測データのメタ情報 (データの有無や観測の設定情報等) についても、IUGONET メタデータ検索と連携を取り、日時を指定することでイメージャーデータの有無と詳細情報を検索可能なシステム構築を進めているところである。現状では光学観測用ホームページ内に観測日時とデータ処理の進行状況をリスト化してホームページ内に公開している。

データ公開と利用のポリシーに関しては、全国共同利用によりデータが多目的で広く用いられるために、得られたデータをリアルタイムで公開すると共に、速やかにデータ処理をしてウェブページに公開することを基本としている。非営利の研究及び教育目的の場合には、ウェブに公開したオーロラ画像データを (引用元を記載した上で) 自由に使用できる方針としている。また、大量の画像データを扱う場合や 2 次処理を必要とする場合には、データ責任者に事前にコンタクトをとることを推奨している。このようなデータ利用ポリシーは、日本を含めた 6 ヶ国による国際共同で運営されている EISCAT レーダーで得られたデータの利用ポリシーと同じ方針と言える。

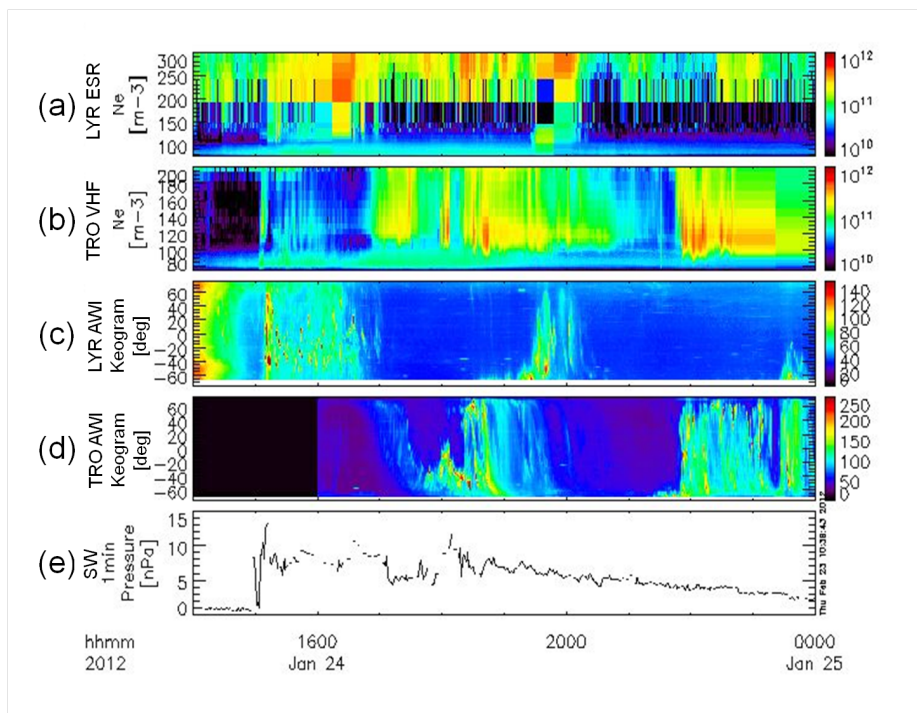


図9 TDAS/UDASを用いて作成した時系列プロット(2012年1月24日14–24 UTの各データを使用)．上から順に，(a) ロングイアビン ESR32m 電子密度分布(高度80–300 km)，(b) トロムソ VHF 電子密度分布(高度80–250 km)，(c) ロングイアビン AWI オーロラ発光分布(磁気南北子午面)，(d) トロムソ AWI オーロラ発光分布(地理南北子午面)，(e) 太陽風動圧の時間変化．

5. まとめと今後の方向性について

本論文では、トロムソ及びロングイアビンで国立極地研究所が展開している全天/狭視野並列イメージャー観測による、高時間分解能のオーロラカラー画像の大量データベース化や、データ解析手法、データ可視化手法を中心に現状と今後の予定を紹介した。このデータベースは、様々なオーロラの研究を進める上で重要なオーロラの基本情報を含んでおり、EISCAT レーダー等の関連観測データを組み合わせた総合的な研究を全国共同利用で実施する上でも不可欠であると考えている。得られた大量のオーロラ画像データから、オーロラ研究に利用可能な(ごく一部の)質の高いオーロラ画像データを抽出する方法や、その抽出された画像データを更に詳細かつ総合的に解析する手法の開発・発展が求められており、我々はオーロラ/雲画像認識プログラムや複数のデータを同時に可視化するプログラム等の各種開発に取り組んでいる。

この並列イメージャー観測システム構築と可視化を含むデータ処理の経験を基に、将来的には(1) アイスランドや南極昭和基地、南極点などに多点展開をしているオーロラ画像データを統合して扱うことが可能なシステム開発、(2) フィンランド気象研究所(FMI)が中心に推進している Global Auroral Imaging Access (GAIA) プロジェクト (<http://gaia-vxo.fmi.fi/viewer/>) との連携、(3) 省電力・無人オーロラ観測システムの多点展開への発展等が期待される。

謝辞

本論文で述べられているオーロラ観測用並列イメージャー観測及びデータ処理の一部は、国立極地研究所研究プロジェクト KP-9 (「EISCAT レーダーならびに地上拠点観測に基づく北極圏超高層・中層大気の国際共同研究」) の支援を受けて実施している。KP-9プロジェクト及び光学観測施設の維持に責任を持つ宮岡宏博士と、並列イメージャー観測データの整備に尽力を費やして下さっている杉田郁美氏に感謝の意を表する。また、 Tromsø 及びロングイアビンにおける光学観測を継続して行うに当たり、観測施設を運用する Tromsø Geophysical Observatory (TGO) 及び The University Centre in Svalbard (UNIS) のスタッフに感謝する。

参考文献

- 1) Hosokawa, K., Y. Ogawa, A. Kadokura, H. Miyaoka, and N. Sato, Modulation of ionospheric conductance and electric field associated with pulsating aurora, *J. Geophys. Res.*, Vol. 115 (2010), A03201, doi:10.1029/2009JA014683.
- 2) Sakaguchi, K., K. Shiokawa, and E. Donovan, Azimuthal structures of ray auroras at the beginning of auroral substorms, *Geophys. Res. Lett.*, Vol. 36 (2009), L23106, doi:10.1029/2009GL041252.
- 3) Motoba, T., K. Hosokawa, A. Kadokura, and N. Sato, Magnetic conjugacy of northern and southern auroral beads, *Geophys. Res. Lett.*, Vol. 39 (2012), L08108, doi:10.1029/2012GL051599.
- 4) Blixt, E. M., and M. J. Kosch, Coordinated optical and EISCAT observations of black aurora, *Geophys. Res. Lett.*, Vol. 31 (2004), L06813, doi:10.1029/2003GL019244.
- 5) Akasofu S-I., The development of the auroral substorm. *Planet. Space Sci.*, Vol. 12 (1964), pp 273-282.
- 6) 小川泰信, 野澤悟徳, Ingemar Häggström, 大山伸一郎, 元場哲郎, 津田卓雄, 齋藤昭則, 宮下幸長, 田中良昌, 堀智昭, 上野玄太, 宮岡宏, 藤井良一, 欧州非干渉散乱 (EISCAT) レーダーの大規模データ処理と可視化, *宇宙科学情報解析論文誌*, 第 1 号 (2012), pp 83-89.
- 7) Tsuda, T. T., S. Nozawa, T. D. Kawahara, T. Kawabata, N. Saito, S. Wada, C. M. Hall, S. Oyama, Y. Ogawa, S. Suzuki, T. Ogawa, T. Takahashi, H. Fujiwara, R. Fujii, N. Matuura, and A. Brekke, Fine structure of sporadic sodium layer observed with a sodium lidar at Tromsø, Norway, *Geophys. Res. Lett.*, Vol. 38 (2011), L18102, doi:10.1029/2011GL048685.
- 8) 田中良昌, 新堀淳樹, 鍵谷将人, 堀智昭, 阿部修司, 小山幸伸, 林寛生, 吉田大紀, 河野貴久, 上野悟, 金田直樹, 米田瑞生, 田所裕康, 元場哲郎, 三好由純, 関華奈子, 宮下幸長, 瀬川朋紀, 小川泰信, IUGONET 解析ソフトウェアの開発, *宇宙科学情報解析論文誌*, 第 1 号 (2012), pp 91-98.