

FORMOSAT-2/ISUALを用いた630nm大気光観測に基づく電離圏三次元構造の研究

山岡 雅史¹, 足立 透¹, 山本 衛¹, 大塚 雄一², 塩川 和夫²,
Chen Alfred Bing-Chih³, Hsiao Chun-Chieh⁴, Hsu Rue-Ron³

¹ 京大 RISH, ² 名大 STE 研, ³ 台湾成功大, ⁴ 台湾 NSPO

1 はじめに

電離圏 F 領域では、酸素原子による 630nm 大気光が発生する。これは酸素分子が昼間の紫外線によりイオンとなり、夜間に電子と再結合する際に起こる発光現象である。この大気光について、日本での全天カメラ観測と GPS 観測の比較から、630nm 大気光と電磁圏全電子数 (Total Electron Content: TEC) の変化に対応あり [1]、また日本とオーストラリアでの全天イメージャ観測により、プラズマバブルの磁気共役性が示されている [2]。このようなことから、電離圏 F 領域の物理的、化学的過程を明らかにするために、630nm 大気光の観測が有効であると考えられる。しかし大気光の観測は主に地上から行われていたため、その空間構造は十分には理解されていない。そこで我々は、大気光の三次元構造を明らかにするため、FORMOSAT-2 衛星に搭載された光学観測器 ISUAL を用いて 630nm 大気光の光学リム観測を行った。

本研究では、波状構造を捉えた衛星・地上同時観測の結果から大気光の三次元構造を推定する。また波状構造を捉えた衛星リム観測の結果のみから大気光の三次元構造を推定する。

2 観測概要

FORMOSAT-2 衛星は地方時 9:30–21:30 の太陽同期極軌道を高度 891km で飛翔する。衛星に搭載された ISUAL は地球夜側の軌道を北進する際、真夜中方向の地球のリムを観測する。ISUAL は、イメージャ、スペクトロフォトメータ、アレイフォトメータから構成され、本研究ではイメージャによって取得された大気光データの解析を行う。ISUAL のイメージャは 6 つのフィルタを持ち、その内の 1 つを選択して観測を行う。今回の大気光観測では波長 630nm のフィルタを使用した。

観測は 2006 年 12 月 20、21 日、2007 年 5 月 14–16 日、6 月 11 日–13 日、2008 年 4 月 3–4 日、5 月 3–6 日の 14 日間行われた。観測領域は高度約 30–300km、東経 125 度–155 度で、オーストラリア–日本間の上空に当たる。観測の結果、1 日に 2–5 箇所の発光増大領域が観測された。図 1 はその典型的な例の発光強度を表した図で、オーストラリア上空を撮像した画像である。図中の左が北、右が南であり、見かけ上画面の左から右へと移動している。図の上部に見られる明るい発光領域が 630nm 大気光であるのに対し、下部の薄い発光は OH 大気光である。酸素原子大気光は OH 大気光に比べて鉛直方向に厚みを持った分布であることがわかる。衛星観測が行われた日のうち、衛星・地上同時観測が成立し天候条件が最良であった日は 2007 年 5 月 16 日であった。この日、ISUAL は東経 130 度付近、高度約 30–300km の領域を、南緯 50 度から北緯 20 度にかけて 14:45–15:13UT の間に観測し、その時間分解能は約 20 秒、ダーウィン上空の通過時刻は 15:00UT 前後であった。一方、全天イメージャは東経 125–135 度、南緯 7.5–17.5 度の領域を 5.5 分の時間分解能で連続的に観測した。図 2 は衛星との同時観測が成立したときの地上からの撮像画像である。図 2 のように全天イメージャは中規模伝搬性電離圏擾乱 (Medium-Scale Traveling Ionospheric Disturbance; MSTID) を捉えていた。そこで、両者の観測が一致するダーウィン上空の 15:00UT 前後のデータを中心に解析を行った。

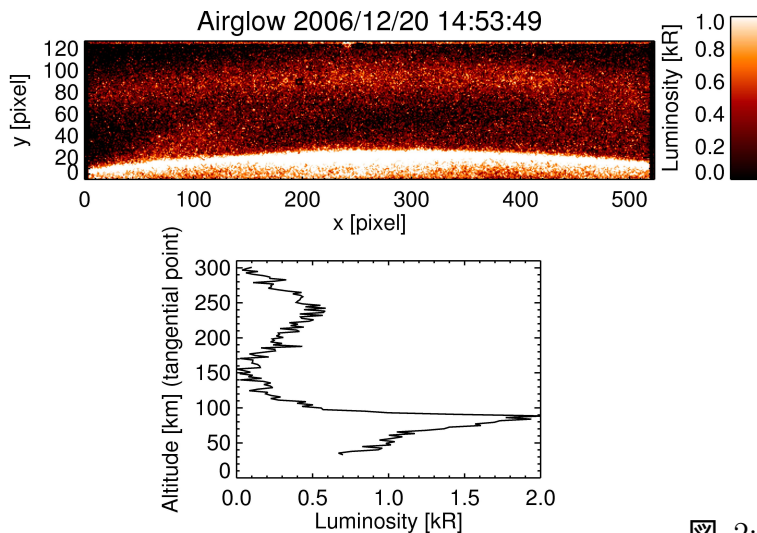


図 1: ISUAL による撮像画像の例 (上) と撮像画像を正接点に投影して得られた見かけの高度分布の例 (下)。下図では撮像画像の中央から左右 11pixel の光強度を平均した。

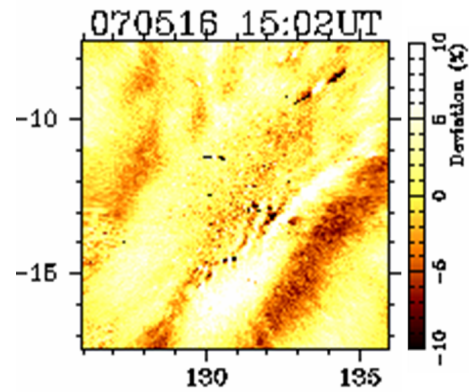


図 2: 2007 年 5 月 16 日世界時 15 時 2 分におけるダーウィンからの地上全天観測により得られた 630nm 大気光発光強度の水平分布 (作成: 名大 STE 研)。高度 220km 面に投影している。

3 衛星地上同時観測に基づく大気光三次元構造の推定

以下の手順を用いて衛星・地上同時観測の結果から大気光の三次元構造を推定した。

1. 衛星からの撮像画像を基に発光層の高度分布を推定
(水平に一樣かつ高度方向にガウス分布の発光層を仮定し、観測結果に最もよく適合する高度分布を使用)
2. 推定されたピーク高度に地上からの撮像画像を投影
3. 投影した画像から、4 つのパラメータ (波の山の位置, 波長, 幅, 波面の向き) を持つ正弦波を用いた波面の分布モデルのパラメータを抽出し水平分布を推定

以上により大気光発光強度の三次元分布が推定される

4. 推定された三次元分布を基に衛星から観測されるべき画像を生成し、実際の撮像画像と比較して光の位置・形状が一致することを確認

高度分布を推定した結果、図 3 左のような高度分布が得られ、発光ピーク高度は約 220km と求められた。この高度面に地上からの撮像画像を投影して MSTID の波面の分布モデルを生成し、大気光の三次元構造を推定した結果、図 3 右のような水平分布が推定された。こうして得られた三次元分布から図 4 のような衛星から観測されるべき画像が生成された。実際の撮像画像と比較したところ増光の位置・形状が良く一致し、衛星・地上観測が同じ MSTID を捉えたことが示された。画像の右側部分において観測されるべき画像と実際の撮像画像の発光強度の差異が大きいが、これは背景光を無視していること、画像の端の観測器の感度が悪いことが要因として挙げられる。

4 衛星観測結果に基づく大気光三次元構造の推定

衛星観測が明瞭な波状構造を捉えた 2006 年 12 月 21 日オーストラリア上空における観測結果を用いて、衛星観測の結果のみから三次元構造を推定した。手順は前節とほぼ同様である。ただし、

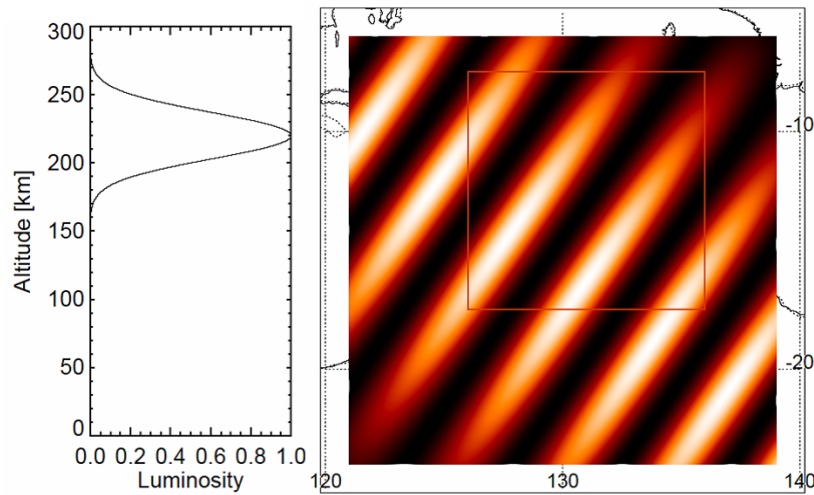


図 3: 推定した高度分布 (左) と波面の分布 (右)。赤線は地上観測の観測域を表す。

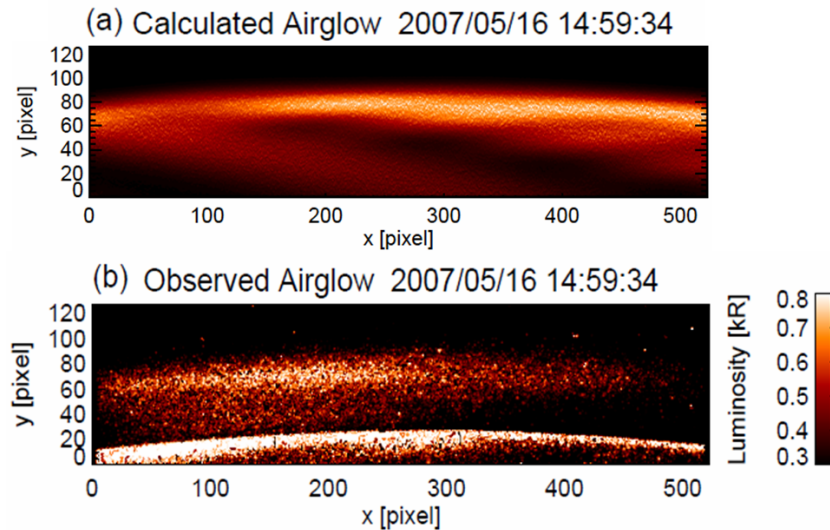


図 4: 推定した三次元分布モデルから生成された衛星から観測されるべき画像 (a) と衛星からの撮像画像 (b)。図 (a) の光強度は相対値である。

三次元分布から生成した観測されるべき画像と実際の撮像画像を比較し、発光の位置・形状が一致するように波面の分布モデルのパラメータを調整した。また、一枚の画像だけでは正接点に対する前後関係を判別できないため、複数の視点からの画像から波の位置を判別した。大気光の三次元構造を推定した結果、図 5 のような鉛直・水平分布が推定された。こうして得られた三次元分布から図 6 のような衛星から観測されるべき画像が生成された。実際の撮像画像と比較したところ複数の視点において増光の位置・形状が良く一致し、また水平分布において典型的な MSTID と同等なスケールの波長を持つ波状構造が推定されたことから、用いた推定手法は大気光の位置・形状を定めるには妥当であると考えられる。

5 まとめ

電離圏の三次元構造を明らかにすることを目的として FORMOSAT-2/ISUAL を用いた 630nm 大気光のリム観測を実施し、ダーウィン上空における衛星地上同時観測の結果から MSTID の三次元

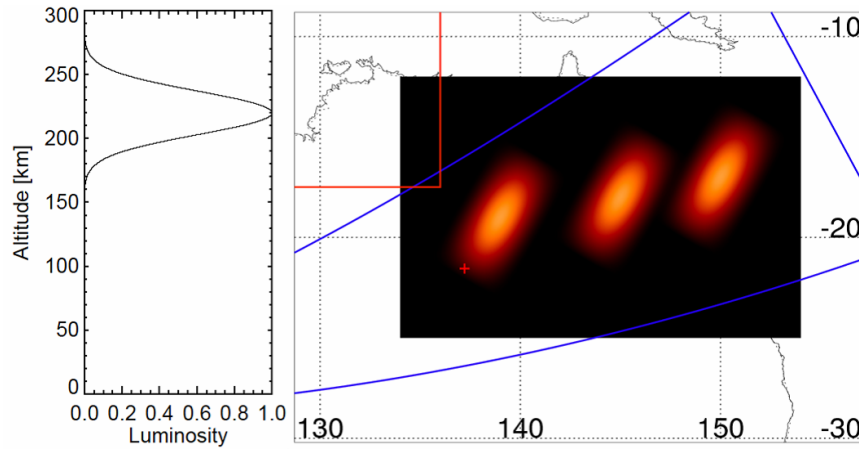


図 5: 推定した高度分布 (左) と波面の分布 (右) . 赤線は地上観測の観測域、青線は衛星観測の観測域、赤点は画像の中央のピクセルにおける正接点の位置を表す。

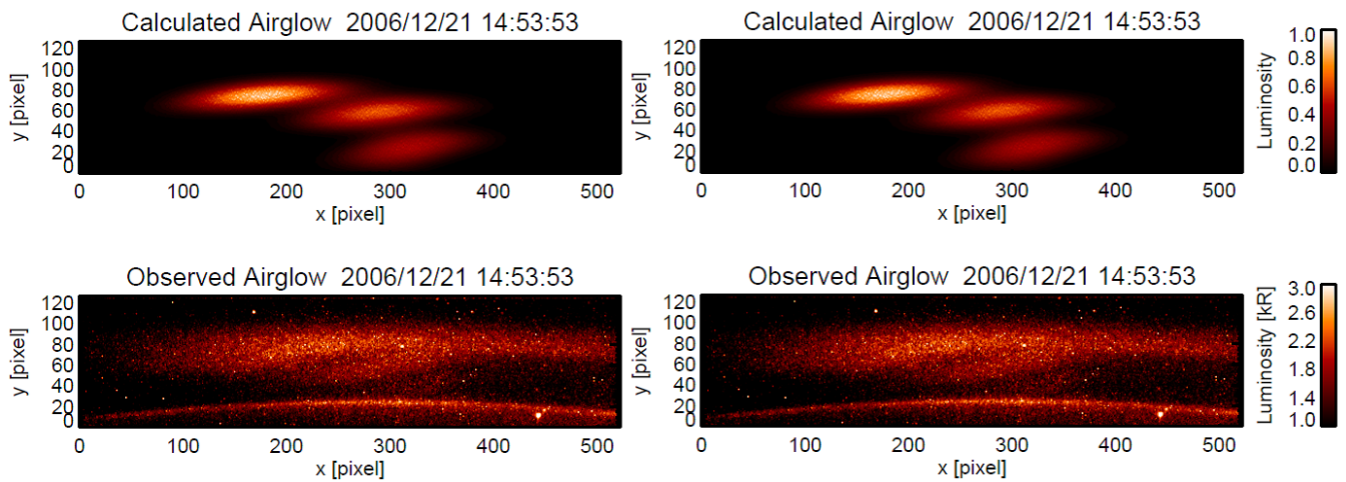


図 6: 推定した三次元分布モデルから生成された衛星から観測されるべき画像 (左上) と衛星からの撮像画像 (左下)。右図は左図の 1 分後のデータである。上図の光強度は相対値である。

構造を推定した。同様の手法で衛星観測の結果のみから MSTID の三次元構造を推定したところ複数の視点において観測されるべき画像と実際の撮像画像の位置と形状を合致させることができた。用いた手法は大気光の位置・形状の推定に有効であると考えられる。

参考文献

- [1] A. Saito, M. Nishimura, M. Yamamoto, S. Fukao, M. Kubota, K. Shiokawa, Y. Otsuka, T. Tsugawa, T. Ogawa, M. Ishii, T. Sakanoui, and S. Miyazaki: Traveling ionospheric disturbances detected in the FRONT campaign, *J. Geophys. Res.*, **28**, 689–692, 2001.
- [2] Y. Otsuka, K. Shiokawa, and T. Ogawa: Geomagnetic conjugate observation of medium-scale traveling ionospheric disturbances at midlatitude using all-sky airglow imagers, *J. Geophys. Res.*, **31**, L15803, doi:10.1029/2004GL020262, 2004.