

FORMOSAT-2 衛星搭載光学観測器 ISUAL による 630nm 大気光の鉛直構造解析

山岡 雅史¹, 足立 透¹, 山本 衛¹,
Chen Alfred Bing-Chih², Hsiao Chun-Chieh³, Hsu Rue-Ron²

¹ 京大 RISH, ² 台湾成功大, ³ 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 大気光と電離圏全電子数 (Total Electron Content:TEC) の変化に対応が見られることが示されており [1]、また日本とオーストラリアでの全天カメラ観測によりプラズマバブルの磁気共役性が見られている [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、その三次元構造は十分には理解されていない。そこで我々は、大気光の鉛直構造を明らかにするため、FORMOSAT-2 衛星に搭載された ISUAL 観測器を用いて 630nm 大気光の光学リム観測を行った。

本研究では、観測結果を解析することで大気光の鉛直プロファイルを導出する。また、観測された大気光の発光強度の日々変化を示し、磁気赤道に対する非対称性について述べる。

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 日、21 日、2007 年 5 月 14 日-16 日、6 月 11 日-13 日の 8 日間行われた。観測領域は高度約 30km-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。2006 年 12 月は南緯 30 度から北緯 50 度までを約 30 分かけて、2007 年 5 月、6 月は南緯 50 度から北緯 20 度までを約 25 分かけて観測した。

3 観測結果

観測の結果、1 日に 2 箇所-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示したものである。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。

この大気光が正接点にあると仮定し、発光強度と正接点の高度をグラフにしたものが図 2 である。ただし、有限の厚みと曲率を持った大気光の光学リム観測では、正接点高度を用いて大気光強度を表現すると、ピーク高度が真の値より見積もられる。例えばこの図では、発光強度のピーク高度は 200km であり、モデル計算から推定されている真夜中の大気光のピーク高度 280km[3] より低い値であった。そのため、次章で鉛直プロファイルを推定し、より正確なピーク高度を導出する。

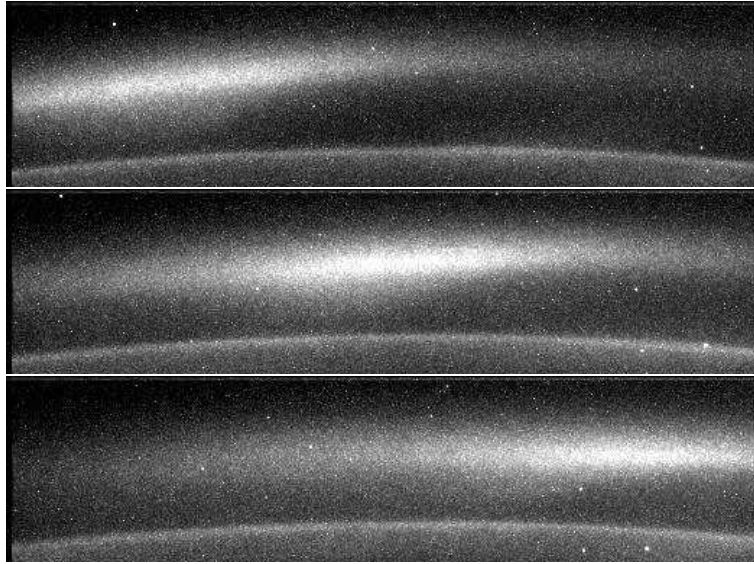


図 1: 630nm 大気光のリム撮像データ。2006 年 12 月 20 日 14:56UT から 1 分毎に、FORMOSAT-2 衛星から観測されたデータを表示している。

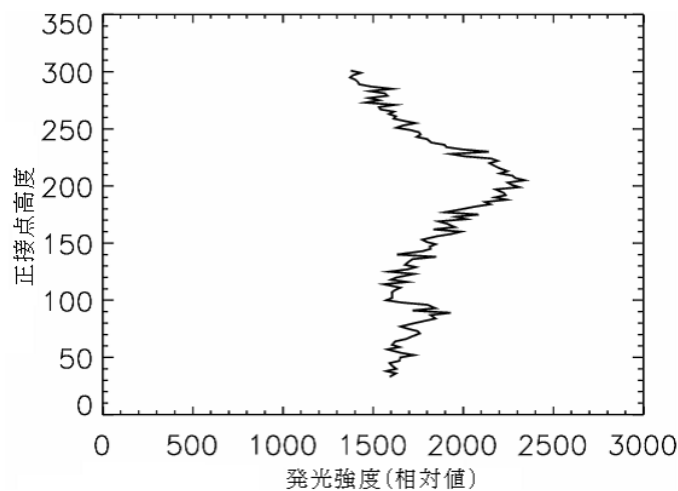


図 2: 2006 年 12 月 20 日 14:57UT における大気光発光強度の鉛直プロファイル。ただし高度には正接点高度を用いている。

4 630nm 大気光の鉛直プロファイルの導出

以下の手順を用いて鉛直プロファイルを導出した。

- 鉛直方向にガウス分布、水平方向に一様を仮定し、発光強度分布を作成する。
- 視線上の発光強度の総和を求め、観測値を再現する。
- 再現結果と観測結果の残差が最小となるように、ガウス分布のパラメータを変化させる。
このとき、OH 大気光のある領域より高い高度の観測結果を用いる。

その結果、図 3 のように観測値が再現され、図 4 の鉛直プロファイルが得られた。導出されたピーク高度が正接点での高度より約 20km 高く、220km-280km の値となり、モデル計算による値 [3] により近い値となった。また、発光強度の高い場合に、観測結果と再現結果との差異が比較的大きくなることがわかった。このことから、図 1 に示すような発光増大領域では大気光の水平分布が一様でないと考えられる。

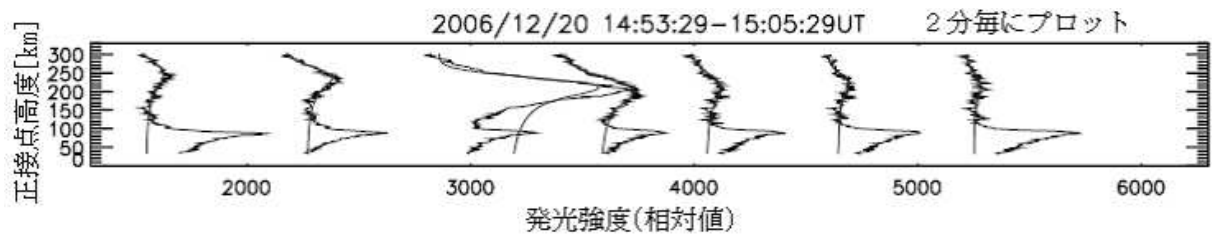


図 3: 大気光発光強度の観測結果と再現結果の比較

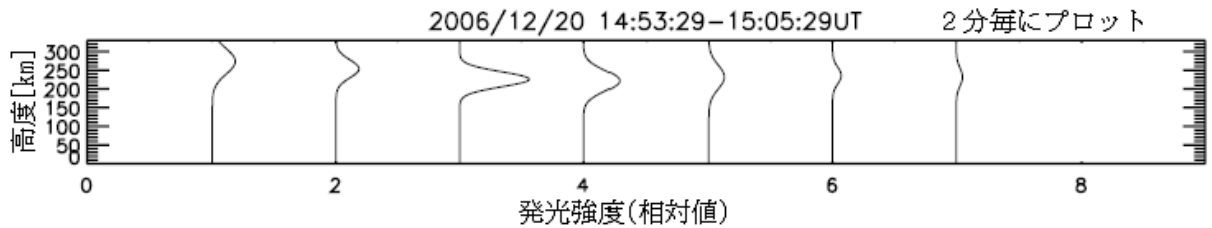


図 4: 大気光発光強度の鉛直プロファイル

5 630nm 大気光の日々変化

大気光の発光強度の日々変化を図5に示す。これらの図から、大気光が増光する緯度帯が日によって大きく異なり、特に磁気嵐の時期(2006年12月20日-21日)は平穏時に比べて日々変化が激しいことがわかった。このことから630nm大気光の増大領域が磁気嵐の影響を強く受けていることが考えられる。

また、磁気赤道に対する対称構造は不明瞭であるものの、5、6月の平穏時は赤道付近と南緯30度付近に共通して強い発光が観測された。これらの成因を探るため、今後中性風などとの関連を調べる予定である。

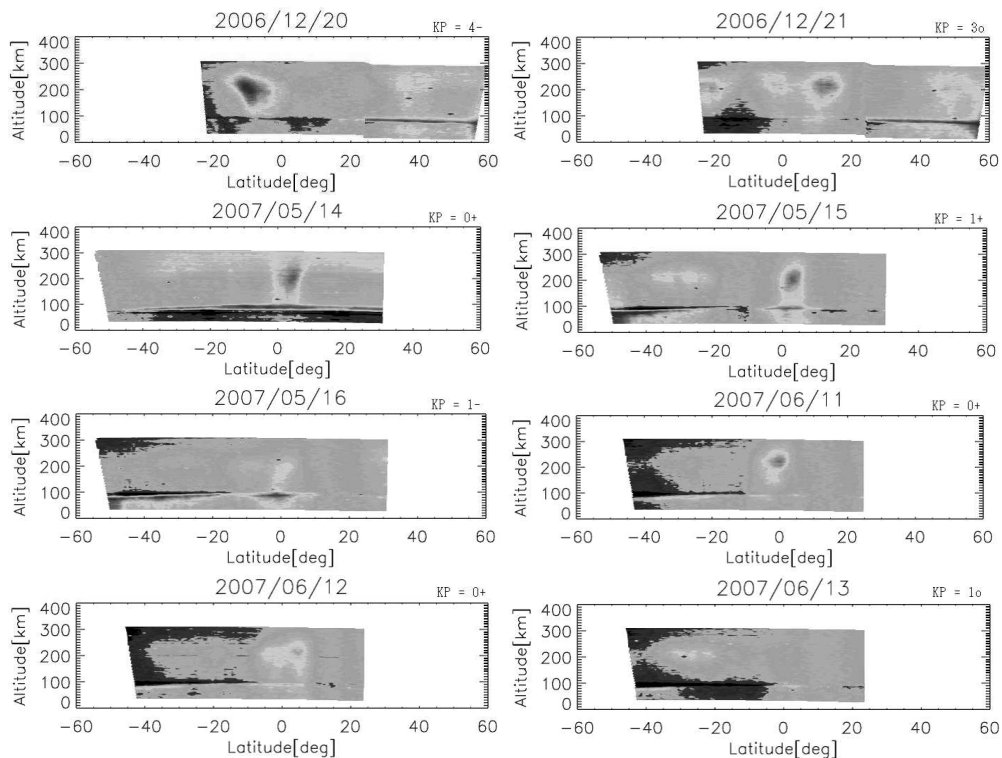


図 5: 大気光発光強度の日々変化

6 まとめ

630nm 大気光の鉛直構造を明らかにするため、FORMOSAT-2 衛星 ISUAL による電離圏 F 領域の光学リム観測を行った。観測によって得られたデータを解析し、大気光の鉛直プロファイルを導出したところ、大気光のピーク高度が 220km–280km の値であった。特に発光増大領域では観測結果と再現結果の差異が大きく、水平一様ではないことが考えられる。

また、大気光の日々変化では磁気赤道に対する対称性は不明瞭であった。大気光が磁気嵐や中性風の影響を受けている可能性が示唆される。

今後は、IRI モデルや MSIS モデルから推定した大気光の高度分布モデルと、観測された鉛直プロファイルを比較検討するほか、FORMOSAT-3 衛星 COSMIC の GPS 掩蔽観測による電子密度の高度分布との比較や GPS-TEC との比較も行う。

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. Sakanoi, 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.
- [3] Y. Otsuka, T. Kadota, K. Shiokawa, and T. Ogawa: Optical and radio measurements of a 630-nm airglow enhancement over Japan on 9 September 1999, *J. Geophys. Res.*, *108*, 1252, doi:10.1029/2002JA009594, 2003.