

地球型惑星における超高層プラズマ大気計測のための 短波長赤外高分散分光計の開発

西山尚典、国立極地研究所 研究教育系 助教

【研究目的】

太陽系惑星の超高層プラズマ大気の発光現象（オーロラ・大気光・共鳴散乱光など）は大気中の組成や密度（混合比）、その時空間変化を遠隔で推定するための重要な現象である。これらを高分散分光観測する事により温度やドップラー速度、さらにリム観測やリトリバル法を用いる事で鉛直分布を導出する事が可能となるため、惑星大気のダイナミクスの理解にとって極めて有用な手法である。そこで本共同研究では、地球の超高層プラズマ大気を対象に、薄明時および低太陽高度角の時間帯まで観測時間を拡張するために、短波長赤外に感度を有し、背景光の影響を低減可能な高分散分光器を開発し、オーロラおよび大気光観測への有効性を実証することを目指す。各開発要素は、太陽系内外の惑星大気観測に共通な汎用なものとする。

【研究方法】

今までに本申請グループでは 1.1-1.3 μm を観測波長とするイメージング分光器「NIRAS-2: Near InfraRed Aurora and airglow Spectrograph-2」の開発を進めてきた。2021年度は、表1の通りハードウェアおよびソフトウェアの改修を進めた。

表1：2021年度に実施したNIRAS-2の開発・改修項目

項目	目的
シャッター取り付け	遠隔でのダークフレーム取得
分光器筐体アルマイト加工	分光器筐体内での迷光の低減
モータ制御ソフトウェア改修	遠隔でのグレーティングポジション等の変更

また、NIRAS-2の開発と並行して、OH大気光をターゲットとした国内試験観測を複数晩実施した。図1に高分散および低分散グレーティングを用いた観測結果の例を示す。

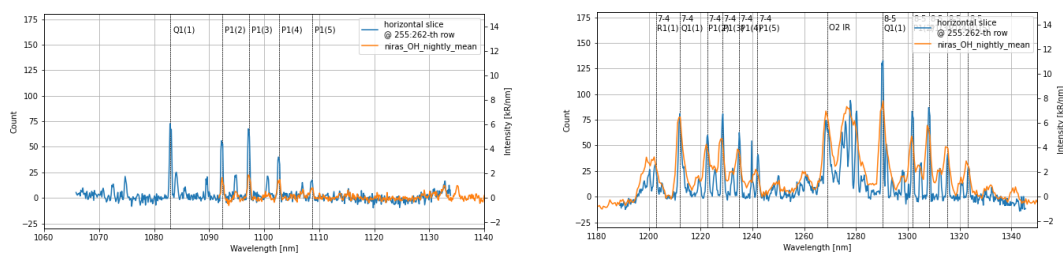


図1：(左) 高分散と (右) 低分散グレーティングで観測されたOH大気光のスペクトル。

青色が NIRAS-2 の観測結果（カウント値）、橙色は昭和基地での先行機 NIRAS での結果（校正済み、R/nm）。

それぞれ 1 分露光のデータを 2 時間分平均化したスペクトルで、60 μm スリット（1 素子サイズ:15 μm ）を使用して FWHM 0.3~0.4 nm および FWHM 0.8~1.0 nm を達成している。先行機 NIRAS の結果と比較して、特に低分散グレーティングを使用した際に波長分解能が著しく向上していることが確認された。また、観測されたスペクトルから OH 分子の回転温度を計算し、得られた絶対温度および測定誤差を異なるバンドで比較し、どのバンドが回転温度の導出に最適であるかを検証した。対象としたのは表 2 に示したバンドで、それぞれ 15 分分解能で導出した温度を比較した。評価に使用した温度観測結果の時系列変化を図 2 に示す。

表 2: 各 OH バンドに対する NIRAS-2 設定と導出した回転温度の推定誤差

バンド名	波長	グレーティング/スリット	温度推定誤差
OH 5-2	1.08-1.11 μm	高分散/60 μm	4.0~14 K, 中央値 7.0 K
OH 5-2	1.08-1.11 μm	高分散/90 μm	0.65~8.1 K, 中央値 3.4 K
OH 6-3	1.15-1.18 μm	低分散/60 μm	3.7~17 K, 中央値 16 K
OH 7-4	1.22-1.25 μm	低分散/60 μm	0.97~4.9 K, 中央値 2.9 K
OH 8-4	1.30-1.33 μm	低分散/60 μm	0.97~4.7 K, 中央値 3.1 K

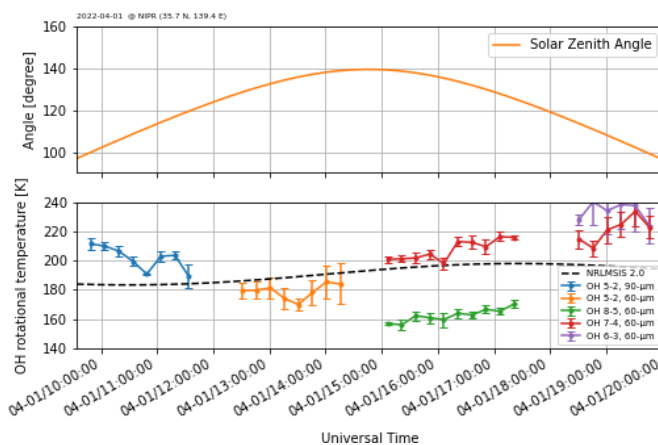


図 1: (上) 観測した時間帯の太陽天頂角と (下) 各 OH バンドの観測より導出した OH 回転温度の変化。黒破線は経験モデルにおける温度変化を示す。

温度推定誤差の観点からは、低分散グレーティングを用いた OH 7-4 あるいは 8-5 バンドの温度推定が最も良い結果を示した。しかし、8-5 バンドにおいては温度絶対値が 7-4 バンドや標準モデルとの結果から大きく外れており、正しく温度導出するためには、絶対感度校正の必要性があることが示唆された。また高分散グレーティングによる OH 5-2 バ

ンドの観測も 90 μm スリットを使用すれば、10 K 以下の誤差で温度導出が可能である。

以上の OH 大気光観測の結果から、NIRAS-2 を用いた温度推定には低分散グレーティングによる OH 7-4 あるいは OH 8-5 バンドが有効であることが確認された。また、同じ波長帯の大気光よりも 10 倍程度発光強度の強いオーロラであれば、装置の性能上十分に観測出来ることが予想され、オーロラの出現が期待できる際は 30 μm スリットを使用するなど、状況に応じてグレーティングとスリットを変更させて運用することが望ましい。

【成果発表】

- T. Nishiyama, M. Kagitani et al., Spectroscopic and imaging observations for short-wavelength infrared aurora and airglow at Longyearbyen (78.2° N, 15.6° E) coordinated with EISCAT Svalbard radar and VLF/LF radio wave receivers, JpGU Meeting 2021, PEM13-P10, June 4, 17:15-18:30, Online
- T. Nishiyama, M. Kagitani et al., Spectroscopic and imaging observations of SWIR aurora (1.1-1.3 microns) at Longyearbyen: Current status of the developments, SGEPS 2021, R006-58, November 4, 15:00-15:15, Online