

惑星観測用赤外エシェル分光器開発の現状

Development of the infrared echelle spectrometer for observation of the planetary atmosphere

宇野 健 [1]; 坂野井 健 [2]; 笠羽 康正 [1]; 小鮎 格久 [2]; 武山 芸英 [3]

Takeru Uno[1]; Takeshi Sakanoi[2]; Yasumasa Kasaba[1]; Tadahisa Kobuna[2]; Norihide Takeyama[3]

[1] 東北大・理; [2] 東北大・理・惑星プラズマ大気; [3] ジェネシア

[1] Tohoku Univ.; [2] Planet. Plasma Atmos. Res. Cent., Tohoku Univ.; [3] Genesia Co.

木星は強力な磁場により巨大な磁気圏を形成し、約 10 時間で高速自転している。惑星本体に固定された磁場に対して遅れる磁気圏プラズマの運動は、極域電離圏に赤道向き電場を印加し、赤道向き Pedersen 電流と経度方向のイオン風 (Hall drift) を駆動する。これによりプラズマシートでは共回転方向へのプラズマ加速が、電離圏では反共回転方向へのイオン風加速がおきる。この結合過程で、惑星の角運動量が熱圏から電離圏、磁気圏へと輸送される。熱圏では、イオンと中性大気の摩擦により加熱と中性風駆動が生じる [Stallard et al., 2001]。

電離圏から磁気圏へ輸送される運動量・エネルギーの定量的議論には、熱圏でイオンと相互作用する中性風速度分布の理解が決定的に重要である [Millward et al., 2005]。これは、電離に流れる Pedersen 電流が、中性大気と電離大気との相対速度に依存するためである。モデル計算の典型値は中性大気速度/イオン速度=0.2 (1 bar 気圧面からの高度 1000 km) 程度であるが、これは定常状態での評価である。1 日で数割程度の変動を示すイオン風に対し、中性風の挙動はほとんど理解されていない。また中性風が下層や太陽フラックスの影響で変動し、イオンとの衝突を介し電離圏、磁気圏に影響を与える効果も重要である。

木星のイオン風、中性風は、 H_3^+ および H_2 の 2 μm 帯発光で観測可能である。 H_3^+ の発光高度は 700-1500 km、 H_2 の発光高度は 400-1000 km であると考えられている。これまでに H_3^+ 3.9 μm 帯の輝線を用いて行われたイオン風の観測では [Rego et al., 1999; Stallard et al., 2001; Lystrup et al., 2007]、1-3 km/s 程度のイオン風が報告されている。一方、中性風速度はメインオーバル付近の高度 500 km で 100 m/s、1000 km で 400 m/s というモデル計算結果があるが、直接観測研究は行われていない。中性風観測の困難さは、(a) 対象が暗く、(b) にも拘らず高速度分解を要求される点にある。 H_2 の発光強度は $5 \times 10^{-7} W/m^2/str$ 程度と見積もられており、これは典型的な H_3^+ 3.9 μm 帯発光強度の 100 分の 1 程度である。この速度を 50 m/s の誤差で決定しようとするれば、波長分解能 R は 6,000,000 と、極めて高分解能が必要となる。観測された輝線の中心位置をガウシアンフィッティングすることで求めた [cf. Rego et al., 1999] としても、現存する観測装置群では、(a) プレートスケールが小さく、十分な S/N が得られない。(b) 波長分解能が十分でない、の 2 点から中性風の導出は困難である。また、イオン風についても、大型共同望遠鏡に取付けられた装置ではマシンタイム制約から観測は年 1 回程度に限られ、数日で数 10 % の変動が示唆されるそのダイナミクスの解明に必要な中長期連続観測には限界がある。

我々はこれらの問題を解決するため、風速場導出に適した高分散赤外エシェル分光器の開発を行っている。本分光器は、将来、東北大・ハワイ大・チューリッヒ工科大が共同で建設準備中の「惑星・系外惑星望遠鏡」(口径: 約 1.9 m) への常設を想定する。要求性能は以下の通りである。(A) 明るさ $0.5-1 \times 10^{-6} W/m^2/str$ の H_2 (2.12 μm) 輝線および同程度の明るさの H_3^+ (2.05 μm) 輝線を同時に捉える。(B) オーロラ帯を東西方向に一括スキャンできるよう、スリット長 40 arcsec。(C) 空間分解能はシーイング程度の 0.6 arcsec。(D) 木星自転と太陽風変動、中性大気変動の時定数を考慮し、時間分解能は 30 分。(D) 300 m/s 程度と見られている中性風速度、および変動を観測するため、速度決定誤差は 60 m/s。

本要求に基づく装置性能検証に向け、装置パラメーターを考慮した速度決定誤差シミュレーションを行い、それをもとに惑星大気の風速場導出に最適化した装置の設計を行った。この結果、プレートスケール 0.3 arcsec/pixel、ピクセルサイズ 30 μm 、スリット幅 1.2 arcsec、積分時間 30 分の条件で、新ハレアカラ望遠鏡のクーデ焦点に設置した場合、放射輝度 $1 \times 10^{-6} W/m^2/str$ の H_2 (2.12 μm) 輝線を捉え、速度決定誤差 60 m/s で速度を決定できるという結果を得た。

本装置が実現すると、惑星大気の色決定に最適化された唯一の波長 1-4 μm 帯分光器となり、木星熱圏-電離圏結合の理解に大きく貢献する。また、その高波長分解能と惑星観測用望遠鏡への常設という利点を生かし、継続的なイオン風の長期観測や、他の惑星、例えば金星の 1.2 μm 帯観測等にも適用していきたい。今後、前置光学系とスリットの可換化による他望遠鏡への適合性向上の検討を行う。