

木星赤外オーロラ高分散分光観測による木星電離圏プラズマ運動

*坂野井 健、小鮒 格久、岡野 章一、笠羽 康正（東北大理）

佐藤 毅彦（ISAS/JAXA）

1. はじめに

木星磁気圏は地球のように地方時で固定されておらず、木星の system-III に固定され、自転と共に共回転を行っている。木星磁気圏のプラズマは主に衛星イオ起源で、イオ軌道 $5.9R_J$ から外側に輸送される。角運動量の保存から共回転は $30R_J$ 付近で崩れ始めるが、それを補うための電離圏からの角運動量の輸送が行われる。輸送のメカニズムを示したのが図 1 である。赤道面動径方向に流れる電流により、プラズマは共回転方向に加速される。

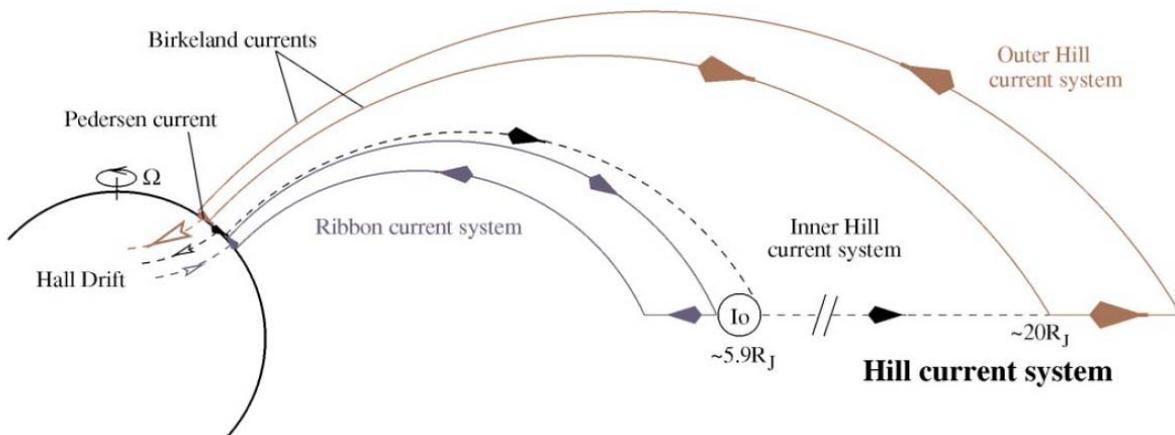


図 1. 木星磁気圏電離圏熱圏を結ぶ Hill 電流系 [Stallard et al., 2001]

動径方向電流の両端ではそれぞれ磁力線沿いの電流が発生しそれらは木星本体の電離圏でつながる、これは Hill 電流系と呼ばれ、木星の磁気圏電離圏熱圏結合に大きな役割を果たしている。Hill 電流系では磁気圏側では $\mathbf{J} \times \mathbf{B}$ ドリフトにより磁気圏プラズマに共回転方向の加速を与えるが、電離圏側では共回転と逆方向の Hall ドリフトを引き起こす。オーロラ発光は上向き沿磁力線電流のフットプリントで発生する。

木星磁気圏の様相を知るには、in-situ 観測等により変動の様子を知ること等が不可欠であるが、地球からの距離が遠いこと、放射線帯などの過酷な環境等が原因で直接探査例は限られている。そのため電波やオーロラ等が磁気圏の様相を映し出すモニターとして利用した観測が行われている。また、地上からの観測ではオーロラ領域を一度に観測することができるため、木星の全球的な変動を捉えることができる。特に、木星 H_3^+ オーロラのドップラーシフトから、極域イオンドリフト速度を求めることができる。木星電離圏モデルから、 H_3^+ オーロラ発光高度においてイオンドリフト速度は電場ドリフトにより決定されることが分かっている。従って、 H_3^+ オーロラのドップラーシフトの空間分布を測定すれば、極域電場分布を推定することが可能である。これから、上記の Hill 電流計に結合される電離圏-磁気圏電流系の検証が可能となる。

本研究では、高分散分光による H_3^+ イオンドリフトの連続観測から、木星電離圏・磁気圏の変動現象のモニタリングを行うことを目的としている。我々は、2008 年 8 月の約 3 週間ハワイ・マウナケア山

山頂の NASA InfraRed Telescope Facility(以下、IRTF)/CSHELL を用いた木星赤外 H₃+オーロラの高分散分光観測を行った。また、この観測データと、地球における太陽風データをもとに木星における太陽風コンディションを推定するモデルを用いて、太陽風と木星磁気圏の応答性を調べた。

2. 観測

木星赤外 H₃+オーロラ観測は、IRTF/CSHELL におり、衝の約一ヶ月後の 2008 年 8 月の 3 週間間に計 6 回行われた。IRTF はハワイ島マウナケア山頂(北緯 19 度 45 分 32.4 秒 西経 155 度 27 分 22.8 秒, 標高 4,205 m)に位置する。望遠鏡の口径は 3m であり、CSHELL はカセグレン焦点に取り付けられているエシエル分光計である。今回もちいたスリット (0.5") に対応する波長分解能は約 43000 であり、視野角は 30" である。これを用いて、波長 3.9530 μm(Q(1,0-)の振動準位 v 2(1→0))の H₃+オーロラの高分散分光観測を行い、木星極域に対してスリットをスキャンすることにより、空間二次元×波長の三次元データキューブを取得した。この観測ジオメトリを図 2 に示す。

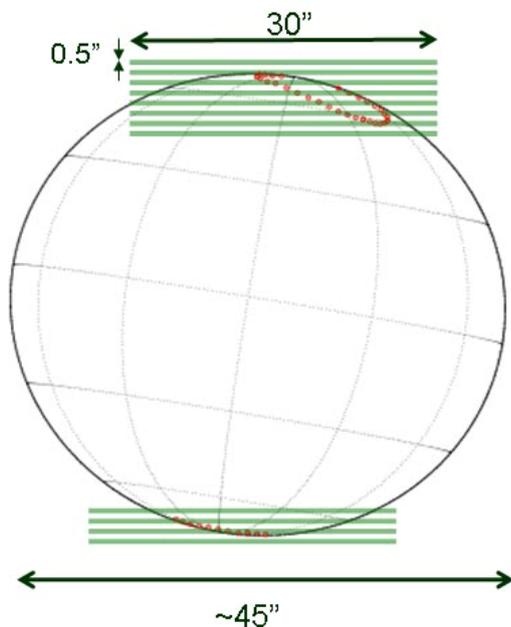


図 2. 観測ジオメトリ。緑の線がスリットを表す。

一晩の観測のシーケンスは以下の手順の組み合わせで行われた。

- (1) ダーク、フラット、波長較正用ランプ等の較正用データ取得
- (2) フォーカス合わせ：恒星 SAO187581 を用い、オーロラ観測シーケンスの開始前など、一晩に数回行った。
- (3) 本観測(木星ディスクスキャン：図 2 のとおり)。
- (4) フラックス較正用データ取得：スリット幅を 4.0" に広げ、一晩に一回分光標準星 SAO187883 の分光のデータ取得を行った。

3. 結果

観測データは、以下の手順で解析された。各手順の詳細は割愛する。

- ・ダーク、フラット、スカイ処理

- ・標準星を用いた Flux 較正
- ・波長較正
- ・撮像・分光の位置補正
- ・オーロラ輝線のガウシアンフィッティング
- ・イメージングデータを使ったスリット位置の決定
- ・木星共回転、地球木星相対速度成分の差し引き
- ・オーロラ輝線のドップラーシフトから視線方向速度導出

解析結果を図3ならびに図4に示す。まず、dusk 側メインオーバルにおける共回転と逆向きのドリフト速度構造と polar emission 領域における対流構造が確認された。また対流構造の南北極域の対称性が確認された。

dawn 側メインオーバルにおいては、周囲の領域と比べ tailward 速度の減少が見られた。これは磁気圏対流の朝夕非対称性により、dawn 側中間磁気圏において共回転速度遅延量が小さいために、Hill current system による角運動量輸送と、それに伴う Hall ドリフトが減少したことを示唆する。ここで問題となるのは、dawn 側オーロラオーバルにおいて、ドリフト速度が正、すなわち sunward になっている点である。これは、木星電離圏のプラズマドリフトモデル（図4左下）から考えると、解釈困難である。これは、今回の観測で図3のラインプロファイル中に示されたオフセット誤差（ 1σ ）の量が大きく、dawn 側オーロラオーバルでドリフト値が正であることを言い切ることができないこと、図4右上の Stallard et al. [2001]では相対的にわれわれの結果とよく一致する結果となっているものの、dawn 側オーロラオーバルでドリフト速度の絶対値が負であることから、今回の解析ではこの問題をこれ以上取り上げないこととする。

次に、東西ドリフト速度差とオーロラ発光の対応関係を調べるために、メインオーバルの dawn と dusk の2カ所の発光ピークの場所における、発光強度の和とドリフト速度の差を変動の指標として用いた。ここでは、南北非対称性やオーロラの観測ジオメトリの CML 依存性を排除するために、南北別に調べ、南北それぞれの半球で同一 CML の時の観測値を用いている。この結果を図5に示す。これから、北半球側の11日と南半球側の19日に増光がみられたこと、発光強度とドリフト速度の関係に正の相関があることが分かった。この事実は、Pedersen 電流の増加、さらには Hill 電流系における電流量の増加がオーロラ発光の増光を引き起こすことを示唆している。

さらに、今回の観測時は、衝からひと月のずれであり、木星近傍での太陽風動圧を地球近傍での太陽風データから外挿する伝播モデル[Tao et al., 2005]が適用できると判断される。このモデルを用いて見積もられた太陽風パラメータとメインオーバルにおける発光強度の比較を行った（図6）。この結果、2008年8月の観測期間中5日や22日で顕著な太陽風変動イベントが発生しているが、この晩の観測は存在しなかった。観測で確認された発光強度の増大(北半球11日、南半球19日)時には、太陽風動圧に明確な対応は見られなかった。これは、この観測時に著しい太陽風変動は存在しなかったためと解釈される。この太陽風変動とオーロラ・磁気圏変動の対応関係の解明のためには、さらなる観測が必要である。

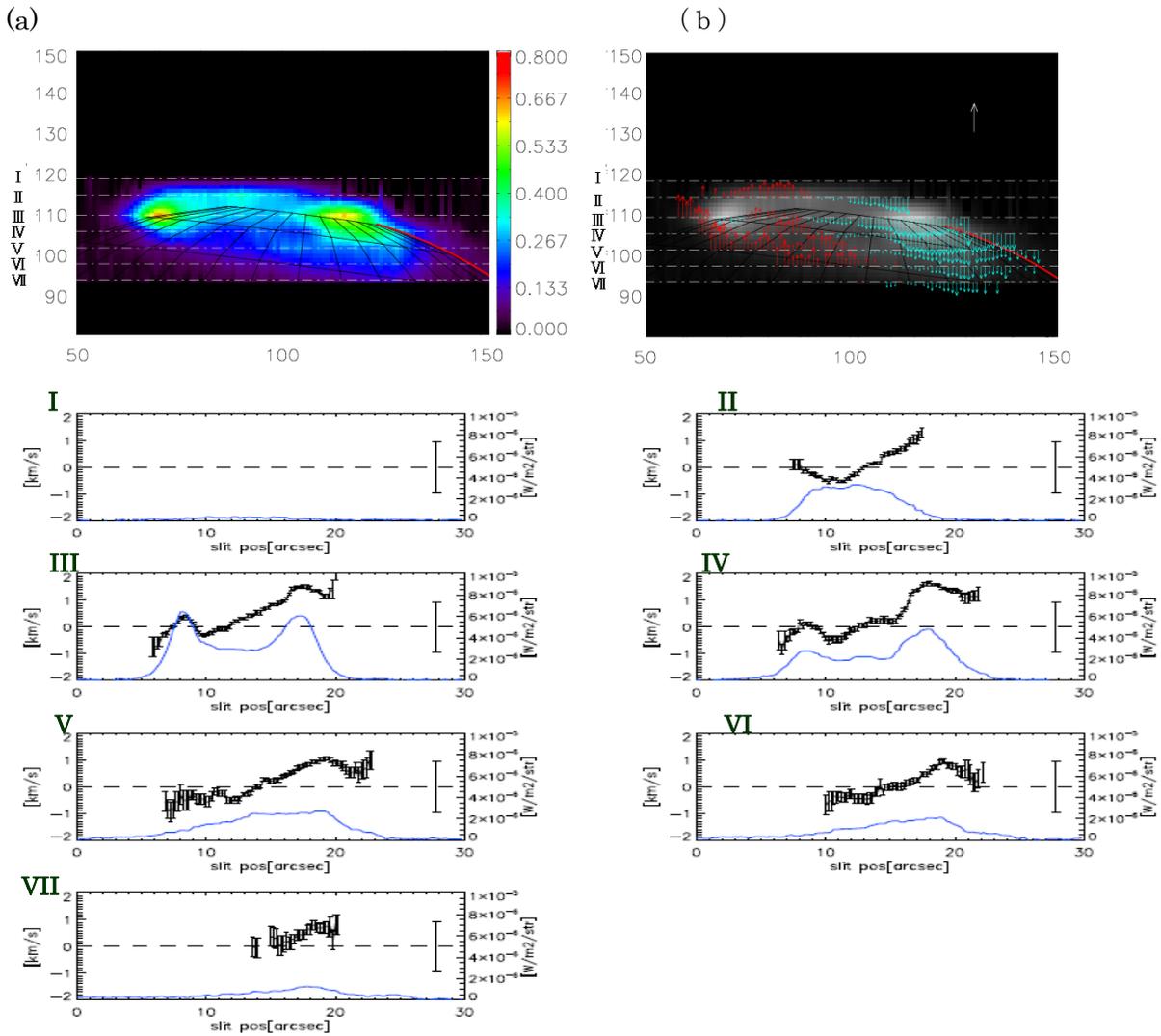


図3. 観測結果例 (a)発光強度分布(b)視線方向速度分布 (I-VII)各スリット位置における速度(黒線)と発光強度(青線)のラインプロファイル。ラインプロファイル中の縦バーはオフセット (1σ) を表す。

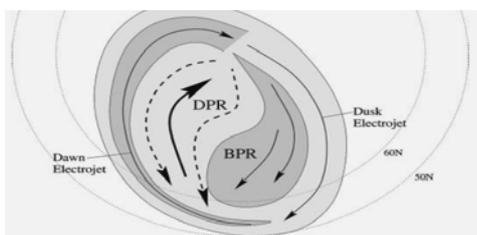
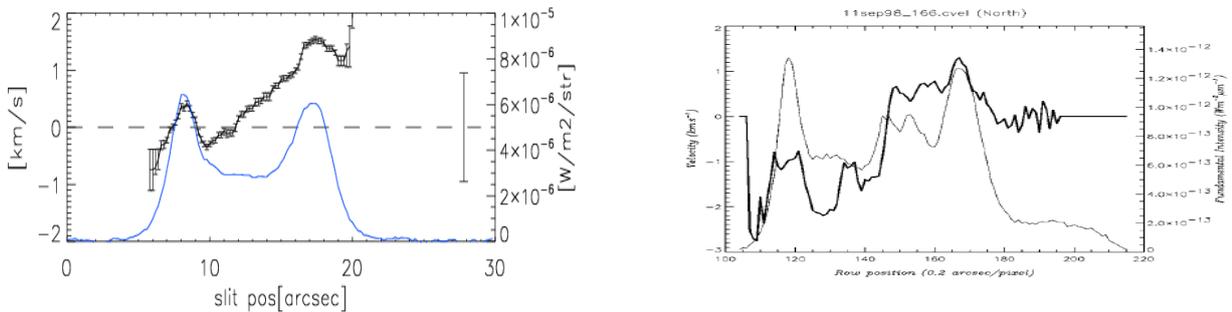


図4. (左上) 図3の III と同じ。(右上) Stallard et al.[2001]による観測結果。(左下) Stallard et al.の観測結果を示す模式図[Stallard et al.,2001]]。

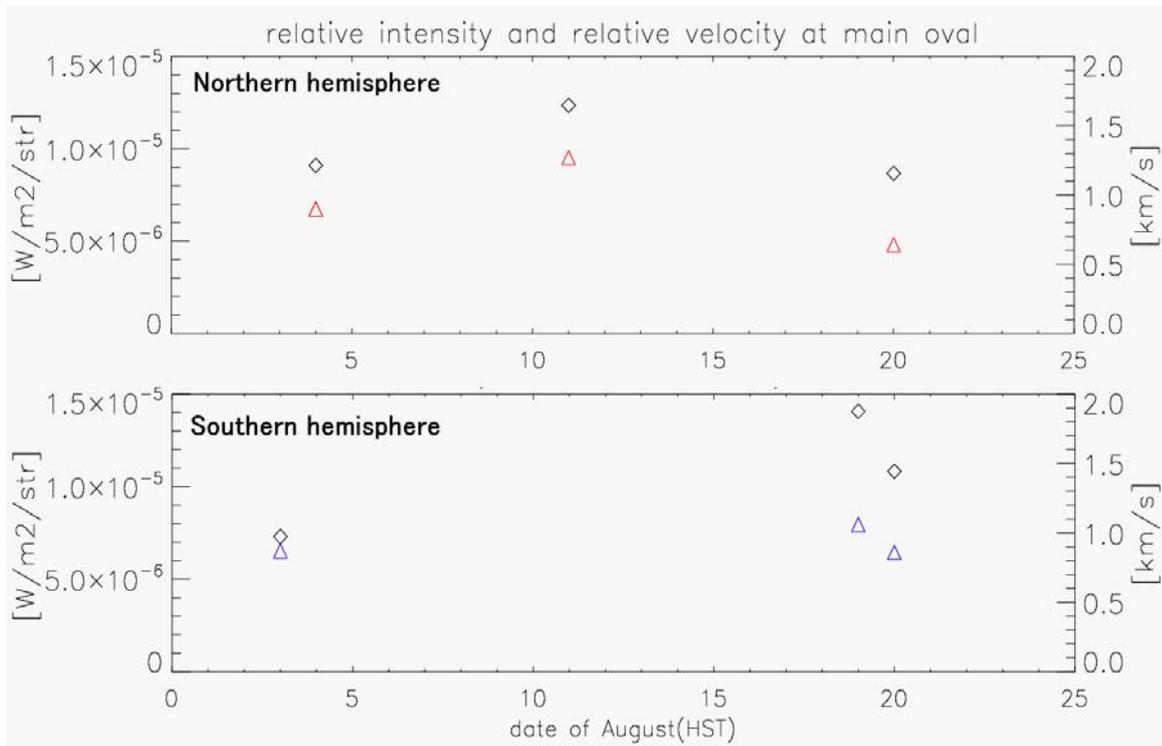


図5. 南北極メインオーバルにおける発光強度(◇)とドリフト速度(△)の変化

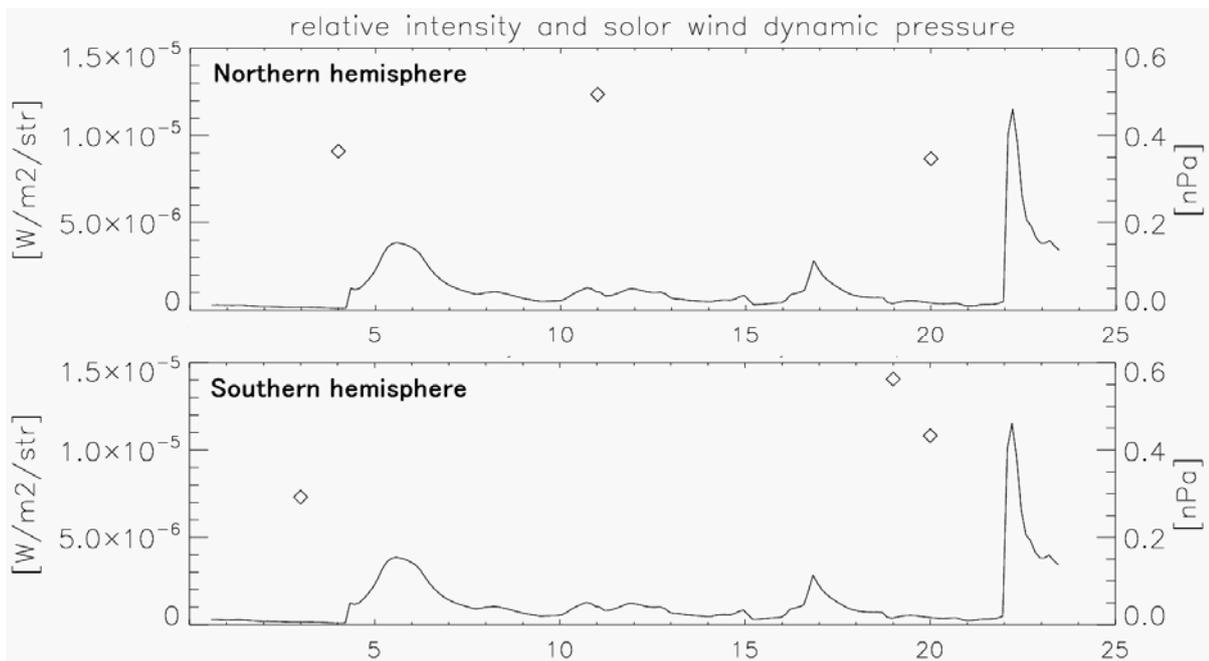


図6. メインオーバルの発光強度変動(◇)とモデルから計算した木星近傍での太陽風動圧(実線)

4. まとめ

本研究では、IRTF/CSHELLによる木星赤外 $3.9530 \mu\text{m}$ H3+オーロラの高分散分光観測により、オーロラ輝線のドップラーシフトから極域電離圏イオンドリフトの視線方向速度の導出を行った。木星ディスクに対しスリットスキャンを行い、木星電離圏における共回転系から見た視線方向のH3+イオンドリフト速度を南北の極域について二次元分布として示した。1週間の間を空けた2日ずつ計6夜の観測を行い、発光強度とドリフト速度の変動を調べた。結果を以下に示す。

- ・ dusk 側メインオーバルにおける、共回転方向と逆向きのドリフト速度構造と polar emission 領域における対流構造が確認された。また対流構造の南北極域の対称性が確認された。
- ・ dawn 側メインオーバルにおいて、周囲の領域と比べ tailward 流れの成分の減少が見られた。これは磁気圏対流の朝夕非対称性により、dawn 側中間磁気圏において共回転速度からの遅延量が小さいために Hill current system による角運動量輸送とそれに伴う Hall ドリフトが減少したためであることを示唆するものである。
- ・ メインオーバルにおいて、発光強度の変動とドリフト速度の変化に対応が確認された。これは Hill current system における電流量の増加が、オーロラ発光の増光とメインオーバル付近の Hall ドリフトを引き起こすことを示唆するものである。

5. References

Stallard, T., S. Miller, G. Millward, R. Joseph, On the Dynamics of the Jovian Ionosphere and Thermosphere. I. The Measurement of Ion Winds, Icarus, Volume 154, Issue 2, pp. 475-491, 2001.