

ひさき衛星紫外線観測データを用いた 木星イオプラズマトーラス突発増光時における Hot electron流入位置の解析

**Kento Furukawa¹, Fuminori Tsuchiya¹, Masato Kagitani¹, Kazuo Yoshioka²,
Ichiro Yoshikawa², Tomoki Kimura³, Hajime Kita⁴, Go Murakami⁵,
Atsushi Yamazaki⁵, Hiroaki Misawa¹, Yasumasa Kasaba¹**

1. Tohoku University, 2. The University of Tokyo,
3. Tokyo University of Science, 4. Tohoku Institute of Technology, 5. JAXA

Io plasma torus (IPT)

- 木星の衛星「イオ」

火山が存在し、

木星磁気圏に多量のプラズマを供給

特にイオ由来のプラズマが円環状に

取り巻く場所 → イオプラズマトーラス(IPT)

磁気圏のプラズマ源の9割を担う



トーラスの構造や変動を理解することは

磁気圏全体の物質、エネルギー輸送の理解につながる

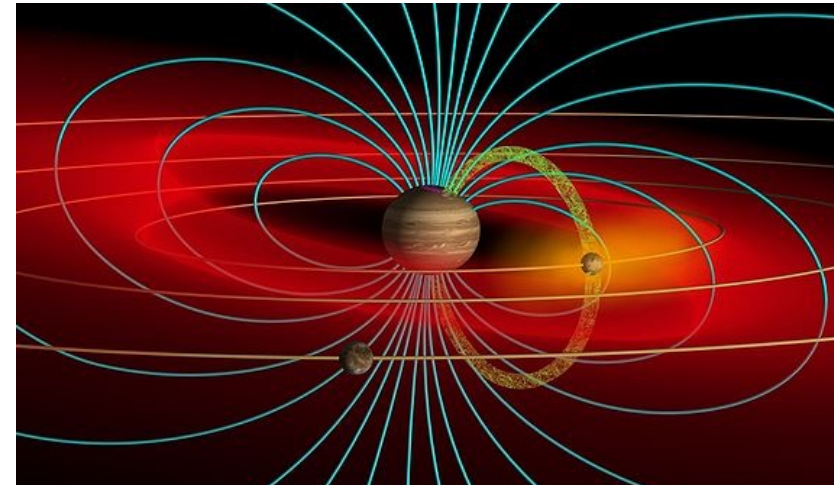


Fig.1 Schematic view of the IPT (John Spencer, 2000)

IPT突発増光現象

- IPTの紫外線発光が突発的に5-10%程度増加する現象
- IPTから増光現象は木星オーロラに伴って発生し、その時間差は約10時間
- 突発増光のエネルギーの担い手はIPT外部からのhot electronの流入

(Suzuki et al., 2018)

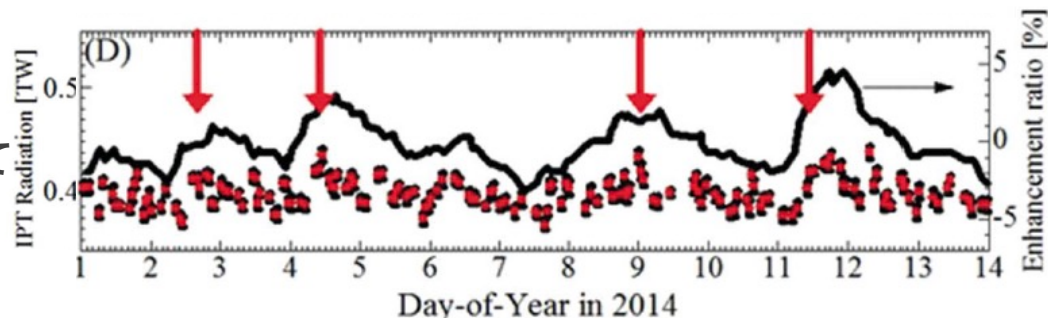


Fig.2 Time variation of UV emission of IPT

(Yoshikawa et al., 2016)



共回転の強い木星磁気圏において動径方向内側への輸送は普通難しいとされる

研究の目的

木星磁気圏の動径方向輸送理解の足掛かりとしてIPTの突発増光の開始位置、すなわちIPTへのhot electron流入位置に傾向があるか調査する

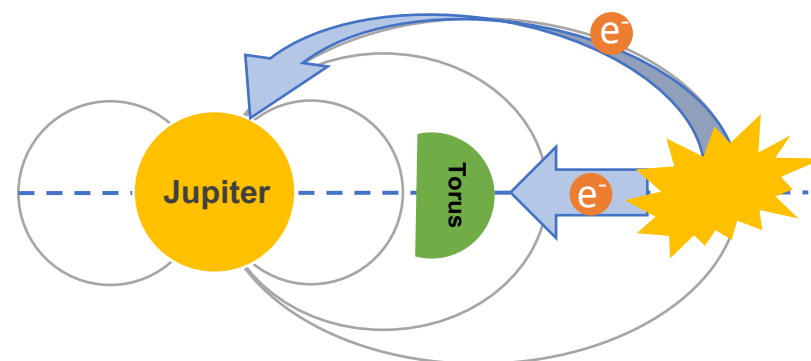


Fig.3 Inflow of hot electron to IPT

ひさき衛星

- 人工衛星軌道で地球を周回する惑星分光観測衛星

→ 惑星専用なので長期間の観測が可能

- 極端紫外線の分光観測が可能

観測可能な波長域 55nm – 145nm

→ 酸素イオンや硫黄イオンの発光

→ ひさきはIPTの突発増光イベントの解析に適している

- 2013年9月に打ち上げ後、現在も運用中
- 今回は140秒角スリットでイオプラズマトーラスを観測したデータを使用



Fig.4 Hisaki satellite (JAXA)

https://www.jaxa.jp/projects/sas/sprint_a/index_j.html

Data set

2015-2016年の2年間のひさきの紫外線観測データを使用

突発的な増光が発生する短波長域(65-77nm)を積分

空間方向にdawn、duskでそれぞれ10分割して解析

Table.1 List of emission lines

S IV	65.7 nm
S III	68.0 nm
S III	72.9 nm
S IV	75.0 nm
S II	76.5 nm
S III	90.0 nm
S II	90.7 nm
S II	104.6 nm
S IV	106.3 nm
S IV	107.3 nm
S III	107.7 nm
S II	110.2 nm
S II	126.0 nm
S IV	140.6 nm

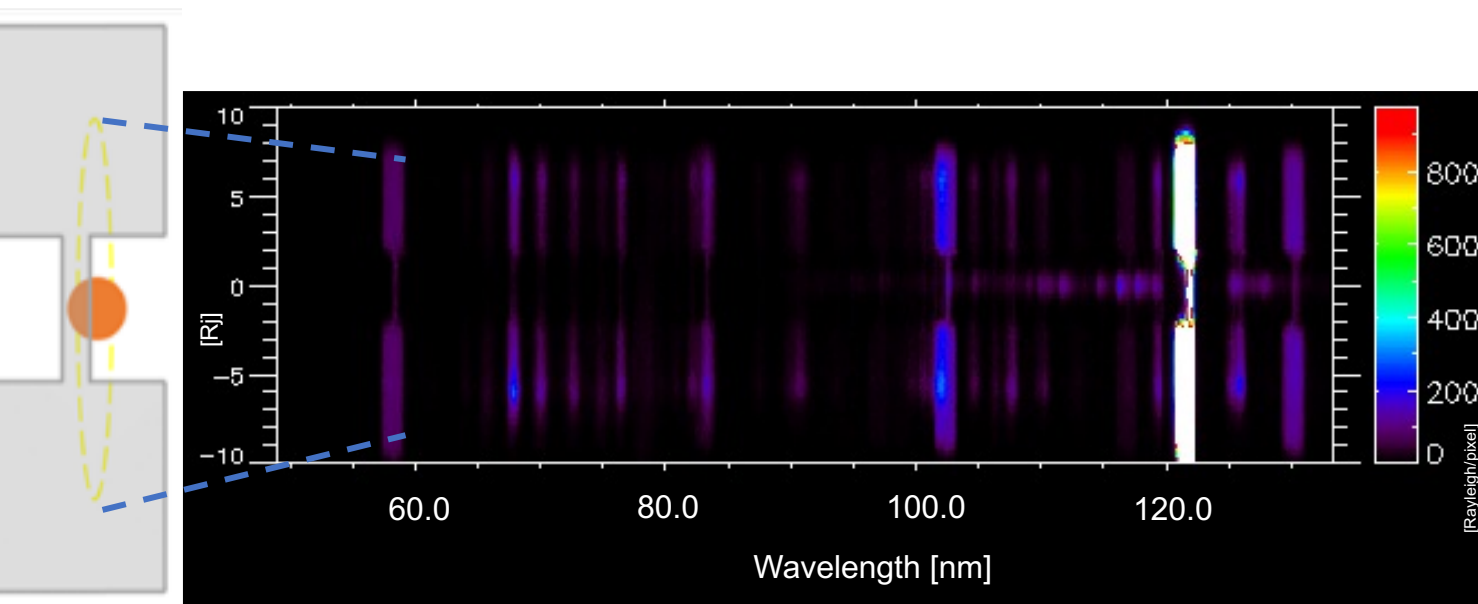


Fig.5 The spectral image obtained by Hisaki on 2015 DOY65.

周期変動成分のフィッティング

増光をクリアに見るために周期変動成分を最小二乗法でフィッティング

$$F(t) = A\sin(2\pi f_{i_o}t + \alpha) + B\sin(2\pi f_{s_3}t + \beta) + C\sin(2\pi f_{s_4}t + \gamma) + Dt + E$$

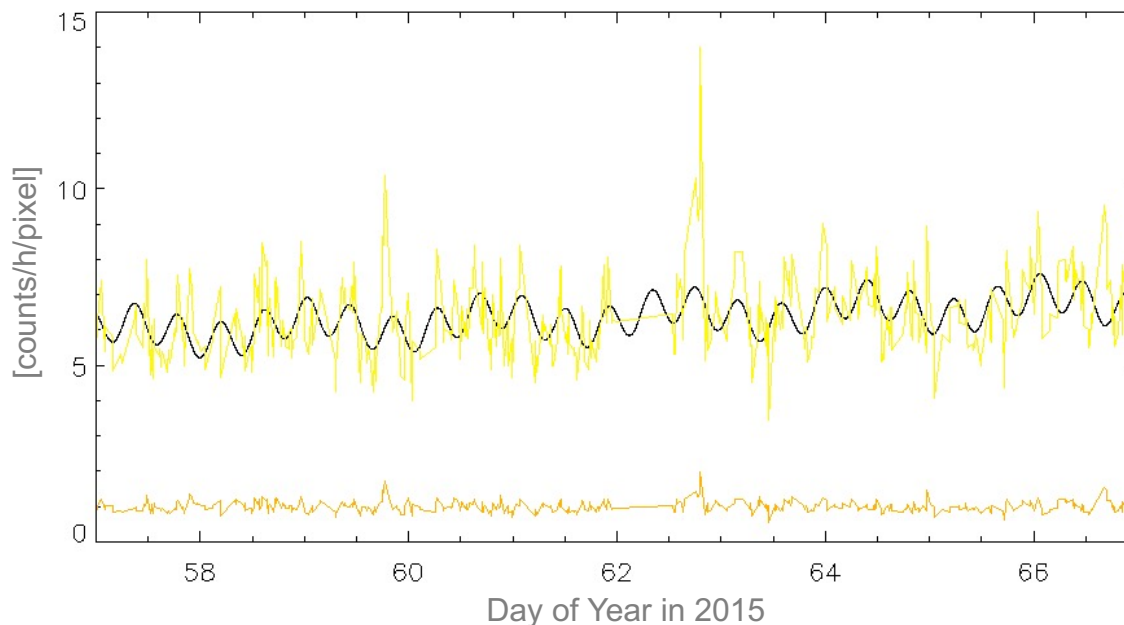
F : IPTの発光モデル

f_{i_o} : イオの公転周期(1/42.46[1/hr])

f_{s_3} : system III 周期(1/9.93[1/hr])

f_{s_4} : system IV 周期(1/10.14[1/hr])

(Suzuki et al., 2018)



Dawn側6.5-7.0Rjにおける

黄 : 短波長域(65-78nm)の発光

黒 : 周期成分のフィッティング

橙 : 観測値/フィッティング値

Fig.6 紫外線観測データと周期変動成分のフィッティング

本研究における突発増光の定義

観測値/フィッティング値(橙)の変化が
その平均から 2σ 以上大きい

→増光した

突発増光の開始位置を議論するために
IPTのDawn、Duskをそれぞれ10ずつ
合計20の領域に分割

本研究における突発増光の定義は

10時間の幅で20の領域のうち
16の領域で増光が確認できる

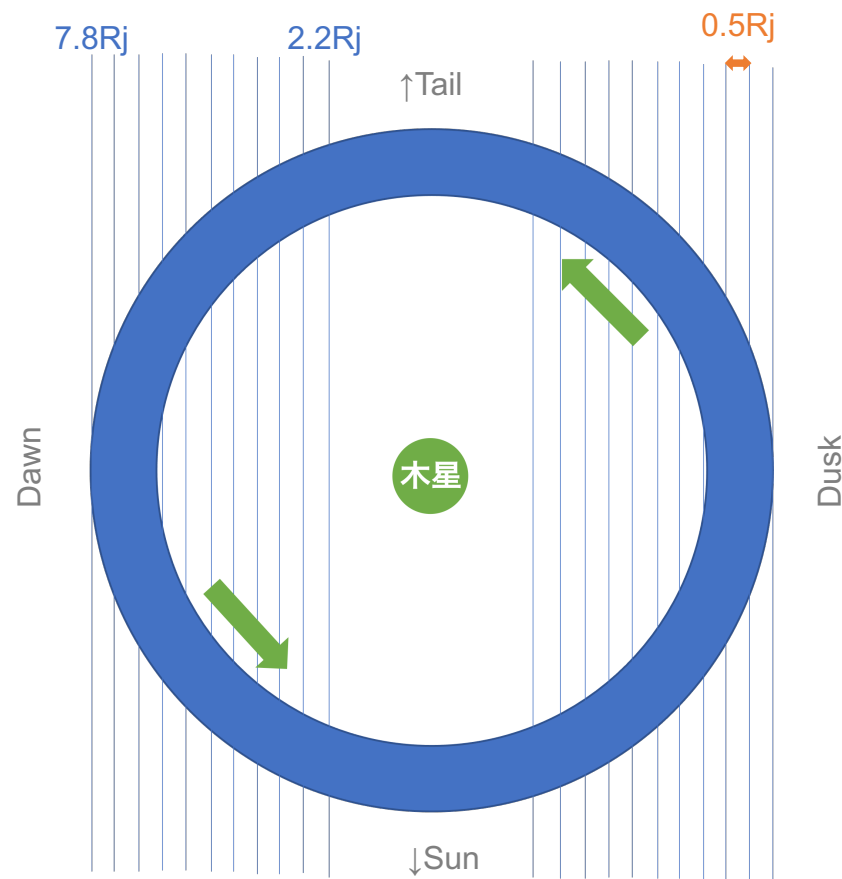


Fig.7 IPT領域分割の模式図

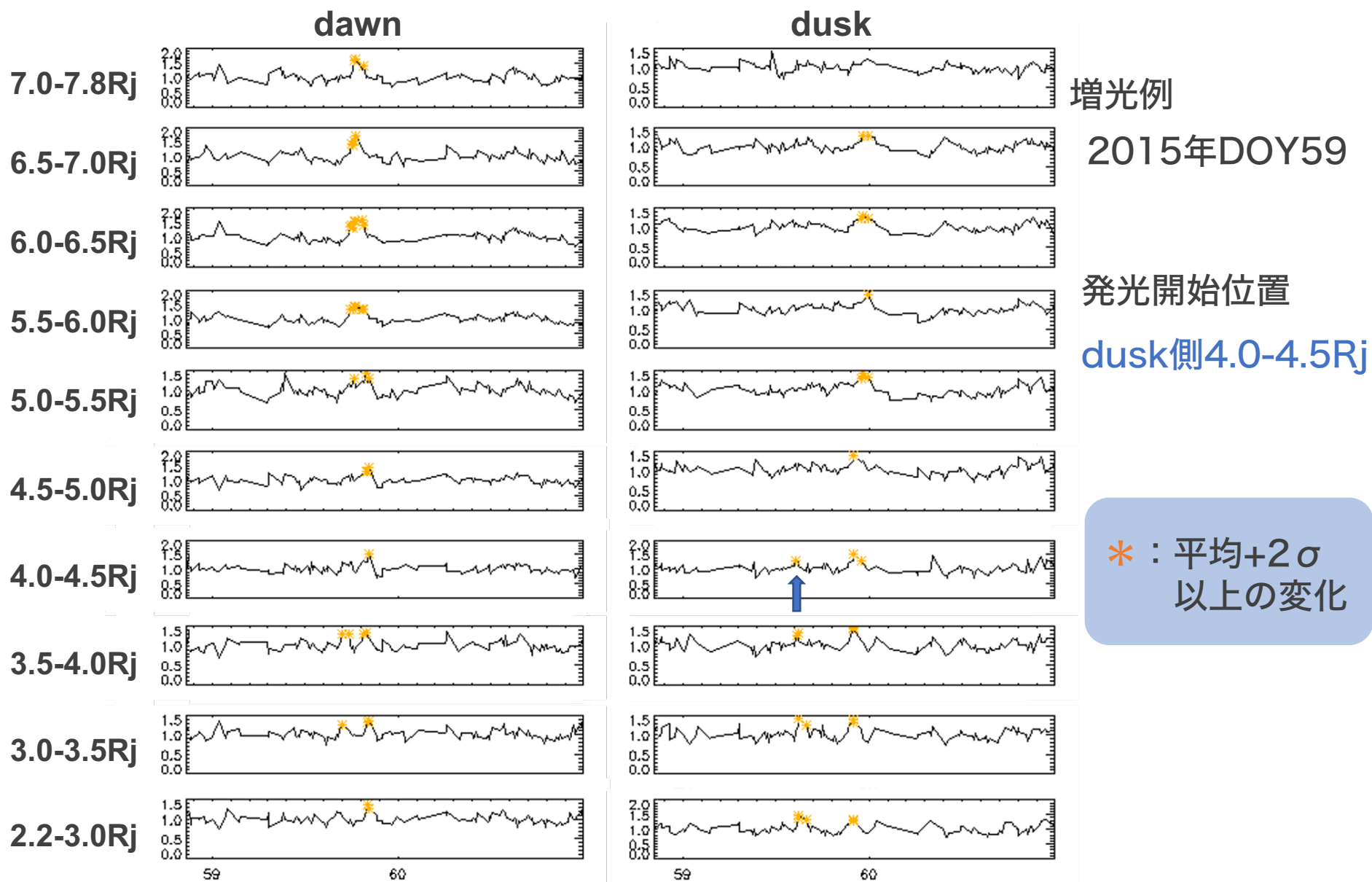


Fig.8 2015年DOY59における観測値/フィッティング値の時間変化

木星からの距離を縦軸、時間を横軸、色で観測値/フィッティング値を表現

白点線：10時間周期のサインカーブの補助線

➡ 図8、9から突発増光の開始位置を導出

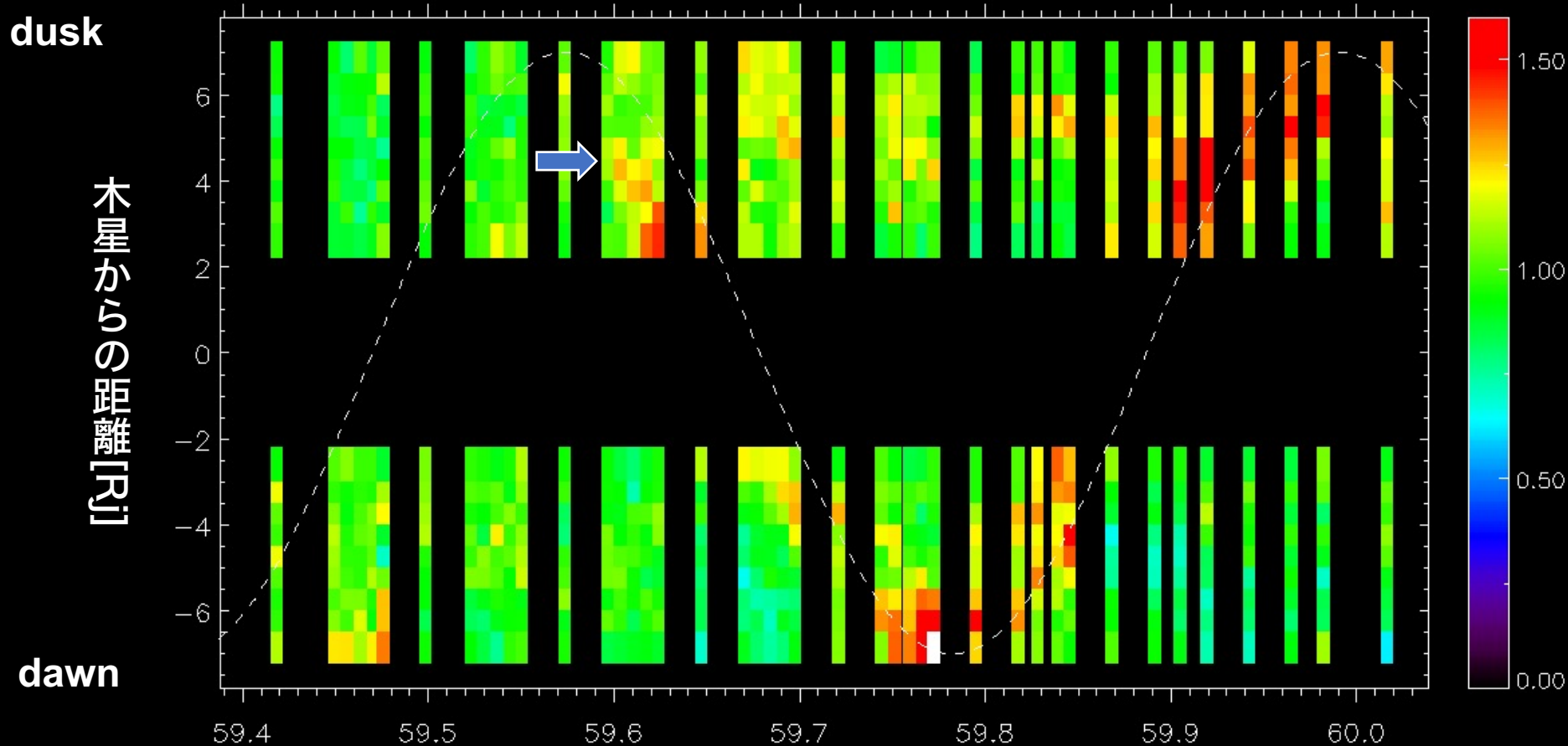


Fig.9 2015年DOY59における観測値/フィッティング値のカラープロット

増光例の解釈

増光開始位置のsun側 or tail側の判別が必要

 発光が移動する方向から判別

2015DOY59増光例の場合

増光はdusk側4.0-4.5Rjから

dusk内→dawn→duskと移動

 開始位置は 

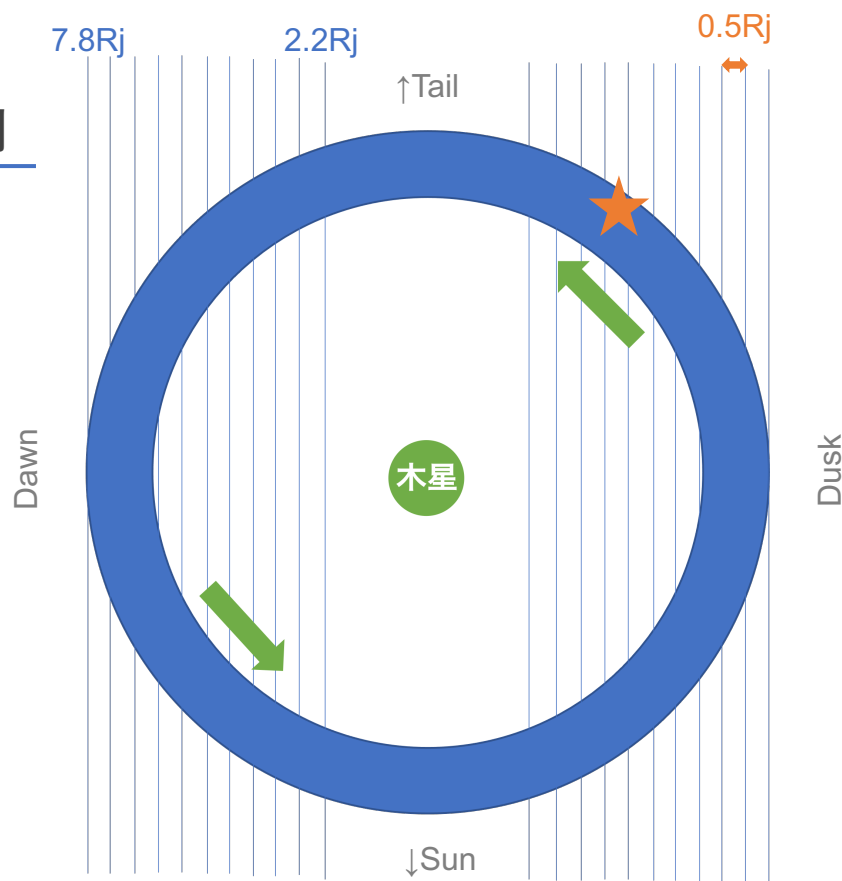


Fig.7 IPT領域分割の模式図

突発増光開始位置の解析結果

2015-2016年で15の突発増光イベントを確認 (Appendix①)

Table.2 突発増光開始位置

2015 DOY	dawn or dusk	領域	sun or tail
35	dawn	全域	
54	判別不能		
54	dusk	4.0-4.5	sun
59	dusk	4.0-4.5	tail
63	dusk	4.5-5.0	sun
66	dusk	3.5-4.0	tail
87	dusk	4.0-4.5	sun
88	dusk	4.0-4.5	sun
2016 DOY			
23	dusk	5.0-5.5	sun
23	dusk	3.0-3.5	sun
70	判別不能		
142	dawn	2.2-3.0	tail
150	dawn	4.0-4.5	sun
150	dusk	5.0-5.5	sun
241	dusk	6.0-6.5	sun

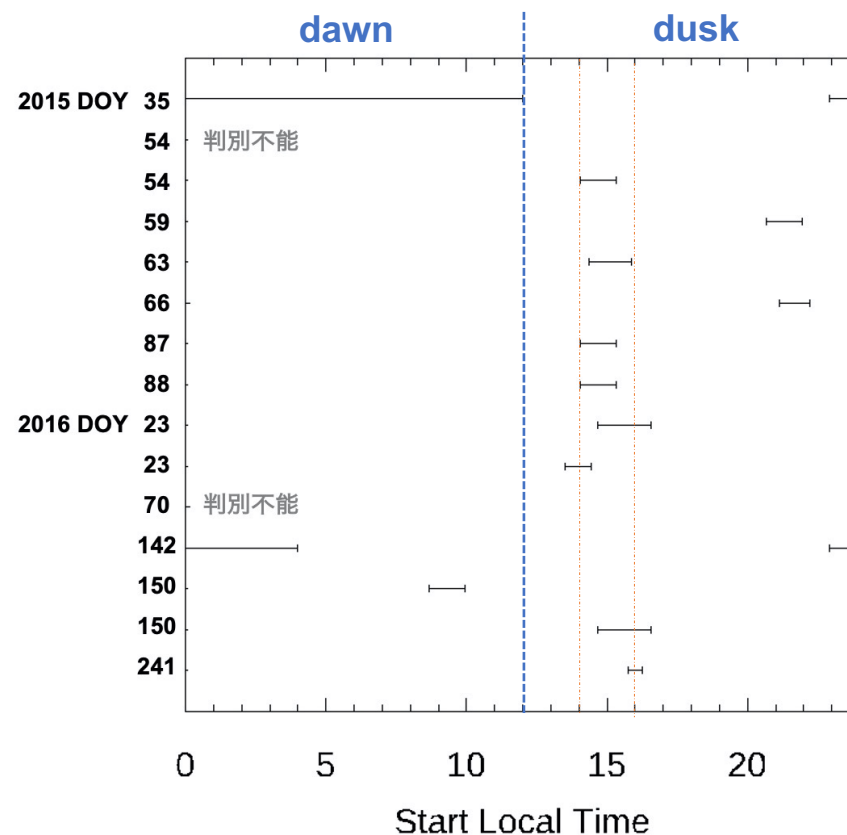


Fig.8 IPT突発増光開始LTのエラーバー

開始位置に偏りあり



15の増光のうち8回は14-16LT付近で開始

IPTへのhot electron流入

先行研究の通り、IPTの突発増光がIPT外側からのhot electronの流入によって引き起こされるとするとIPTへhot electronは14-16LT付近で流入しやすい

hot electronの放出場所が尾部でのリコネクションだと仮定をすると、右図のように共回転に沿った内向き輸送によってdusk太陽側からIPTにhot electronが流入すると解釈できる



木星磁気圏の共回転が支配的な環境と矛盾

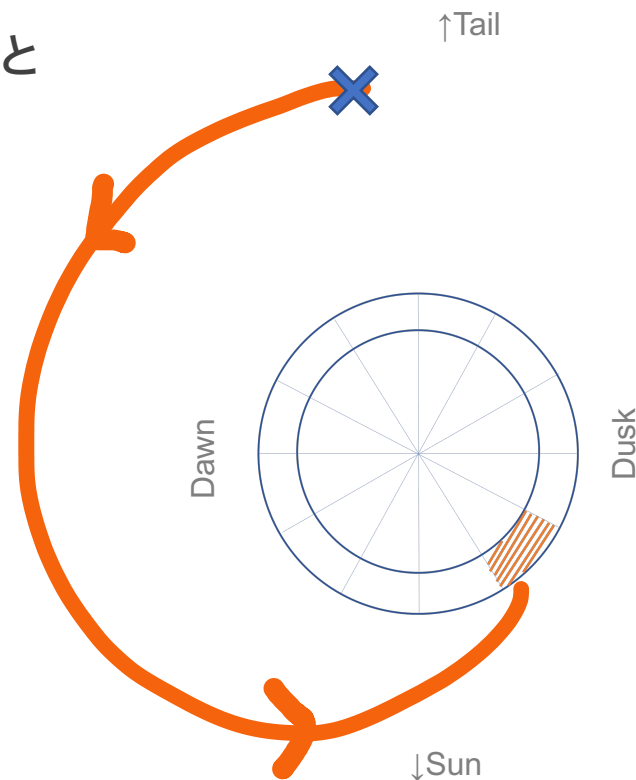


Fig.9 IPTへのhot electron流入

Conclusions

本研究では木星磁気圏の動径方向内向きの輸送を解明する足がかりとして、ひさき衛星の紫外線観測データから、IPTを20の領域に分割、周期成分をフィッティングし、IPT突発増光の開始位置を解析した。

その結果突発増光は14-16LTの領域から開始しやすいという傾向が分かった。これはIPTの外側から共回転に沿った内向き輸送に乗ってhot electronがIPTの14-16LTに流入すると解釈できる。

Future work

- IPTのnKOM電波との関係 → JUNO電波観測データとの比較
- 今回の15イベントは全てhot electron流入によるものか確認
→ オーロラ発光データとの比較

References

- Suzuki, F., Yoshioka, K., Hikida, R., Murakami, G., Tsuchiya, F., Kimura, T., and Yoshikawa, I. (2018). Corotation of Bright Features in the Io Plasma Torus. <https://doi.org/10.1029/2018JA025363>
- R. Hikida, K. Yoshioka, F. Tsuchiya, M. Kagitani, T. Kimura, F. Bagenal, N. Schneider, G. Murakami, A. Yamazaki, H. Kita, E. Nerney, and I. Yoshikawa. (2020). Spatially Asymmetric Increase in Hot Electron Fraction in the Io Plasma Torus During Volcanically Active Period Revealed by Observations by Hisaki/EXCEED From November 2014 to May 2015. <https://doi.org/10.1029/2019JA027100>
- Yoshioka, K., Murakami, G., Yamazaki, A., Tsuchiya, F., Kimura, T., Kagitani, M., et al. (2014). Evidence for global electron transportation into the Jovian inner magnetosphere. <https://doi.org/10.1126/science.1256259>
- Yoshikawa, I., Yoshioka, K., Murakami, G., Suzuki, F., Hikida, R., Yamazaki, A., Kimura, T., et al. (2016). Properties of hot electrons in the Jovian inner magnetosphere deduced from extended observations of the Io Plasma Torus. <https://doi.org/10.1002/2016GL070706>
- Yoshikawa, I., Suzuki, F., Hikida, R., Yoshioka, K., Murakami, G., Tsuchiya, F., et al. (2017). Volcanic activity on Io and its influence on the dynamics of the Jovian magnetosphere observed by EXCEED/Hisaki in 2015. <https://doi.org/10.1186/s40623-017-0700-9m>
- John Spencer's Astronomical Visualizations, <https://www.boulder.swri.edu/~spencer/digipics.html>
- Planetary spectroscopic satellite "Hisaki", JAKA, https://www.jaxa.jp/projects/sas/sprint_a/index_j.html
- P. A. Delamere, F. Bagenal. (2003). Modeling variability of plasma conditions in the Io torus. <https://doi.org/10.1029/2002JA009706>
- Yoshioka, K., Tsuchiya, F., Kimura, T., Kagitani, M., Murakami, G., Yamazaki, A., et al. (2017). Radial variation of sulfur and oxygen ions in the Io plasma torus as deduced from remote observations by Hisaki. <https://doi.org/10.1002/2016JA023691>
- Louarn, P., C. P. Paranicas, and W. S. Kurth.,(2014), Global magnetodisk disturbances and energetic particle injections at Jupiter, J. Geophys. Res. Space Physics, 119, 4495–4511, doi:10.1002/2014JA019846.

突発増光イベントリスト

2015 DOY	dawn or dusk	領域	sun or tail	LT範囲		継続時間(h)
35	dawn	全域		22.91	12	20-25
54	判別不能					10-15
54	dusk	4.0-4.5	sun	14.06	15.31	5-10
59	dusk	4.0-4.5	tail	20.69	21.94	5-10
63	dusk	4.5-5.0	sun	14.35	15.86	5-10
66	dusk	3.5-4.0	tail	19.75	20.24	5-10
87	dusk	4.0-4.5	sun	14.06	15.31	10-15
88	dusk	4.0-4.5	sun	14.06	15.31	10-15
2016 DOY						
23	dusk	5.0-5.5	sun	16.59	14.66	5-10
23	dusk	3.0-3.5	sun	13.51	14.43	10-15
70	判別不能					20-25
142	dawn	2.2-3.0	tail	22.91	4.00	10-15
150	dawn	4.0-4.5	sun	8.69	9.94	10-15
150	dusk	5.0-5.5	sun	14.66	16.59	10-15
241	dusk	6.0-6.5	sun	15.76	16.25	5-10