

ISS-IMAPにより観測された赤道プラズマバブルの季節-経度依存性

中田裕之・高橋明・鷹野敏明（千葉大学大学院工学研究科）
齊藤昭則（京都大学大学院理学研究科）
坂野井健（東北大学大学院理学研究科）

赤道プラズマバブル (Equatorial Plasma Bubble : EPB)

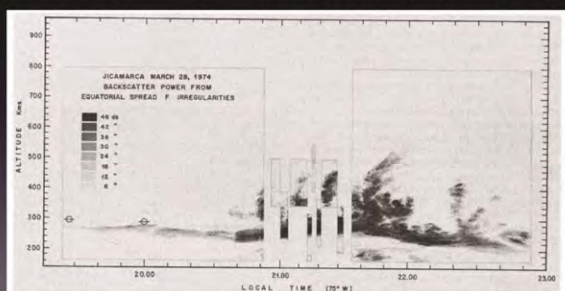
- ・ 磁気赤道電離圏において発生する、電子密度の減少
- ・ 内部にさまざまなスケールの電子密度擾乱が存在するため、広い帯域の電波を散乱させる → 衛星通信、GPSなどに影響
- ・ 太陽活動に同期して、発生頻度が変化
- ・ 地上からでは、全球的な観測は難しい



鹿児島県佐多岬での630 nm大気光観測

ISSからの撮像データを利用し、プラズマバブルの発生頻度の季節・経度依存性について解析

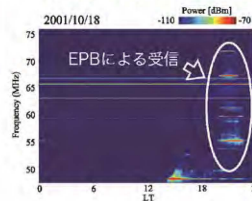
VHFレーダー観測によるEPB



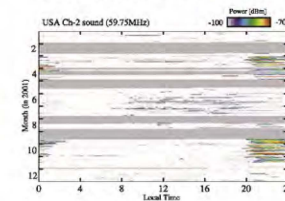
Jicamarca Radio Observatory (Peru、周波数50 MHz)にて観測されたEPBの様子。黒く写っている部分からの電波が強く受信されている。[Woodman and LaHoz, 1976]

館山でのVHF観測

49.75 - 76 MHzの観測



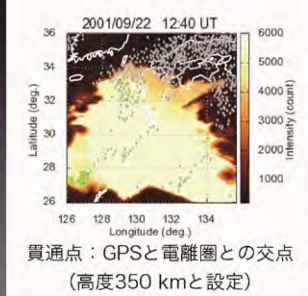
2001年の59.75の受信頻度



[Nakata et al., 2005]

地上大気光とGPSとの同時観測

Rate of LOL
■ over 60%
▲ 30 - 60%
ROTI
● over 1.5
○ 1.0 - 1.5
○ 0.7 - 1.0
○ 0.4 - 0.7
○ 0.2 - 0.4
○ 0.1 - 0.2
○ 0.0 - 0.1

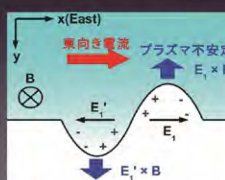


貫通点：GPSと電離圏との交点 (高度350 kmと設定)

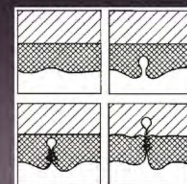
- ・ GPSと大気光により観測されたプラズマバブル。
- ・ 背景は鹿児島県佐多岬にて行った大気光観測データ。
- ・ 点状プロットは、GPSでロック損失が観測された点 (LOL) + 電子密度変動が大きな点 (ROTI)。
- ・ 赤道プラズマバブル電場によるドリフトで東に移動する。

EPBの発生メカニズム

- ・ 春、秋の日没直後に発生。磁場と電離圏密度成層と磁力線が平行になった状態で、電離圏の擾乱により分極電場が発生し、プラズマ不安定が擾乱を成長させる。



EPB発生の様式図



EPB成長の様子

[Woodman and LaHoz, 1976]

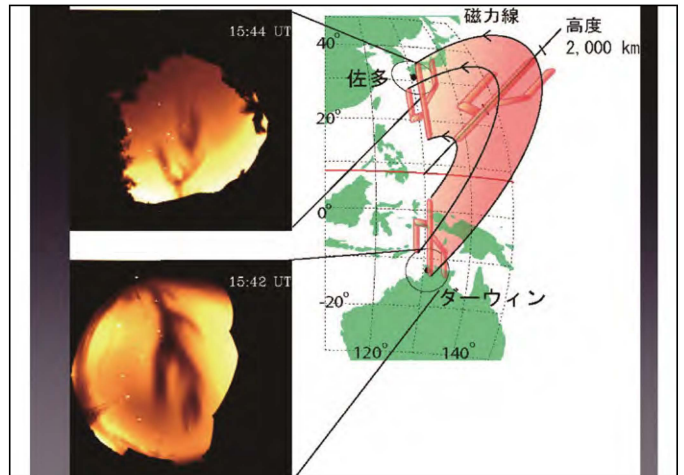
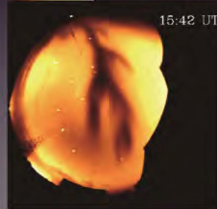
EPBの全体像

- 630 nmでの大気光観測によるEPB。南北磁気共役点
で対称に観測される。

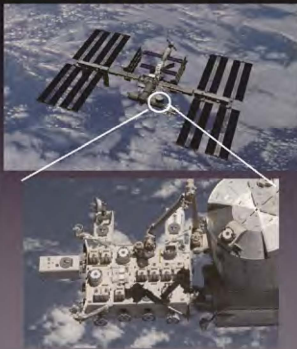
佐多



ダーウィン
(オーストラリア)



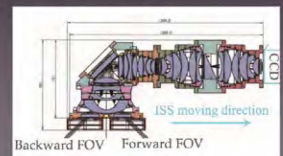
IMAP mission



- 国際宇宙ステーション
実験棟「きぼう」から
の地球超高層大気撮像
観測ミッション。
- VISI(可視・近赤外分
光撮像装置)、EUVI(極
端紫外光撮像装置)の
2台のカメラで観測。

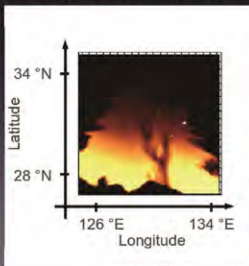
VISI(可視・近赤外分光撮像装置)

- 3種類の波長で、撮像観測を行っている。
- 730 nm (高度85 km、OHによる発光)
- 762 nm (高度95 km、O₂)
- 730 nm (高度250 km、O) <= 今回利用

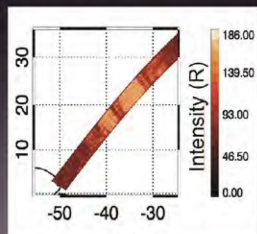


ISS-IMAPによるEPB観測

佐多での地上観測



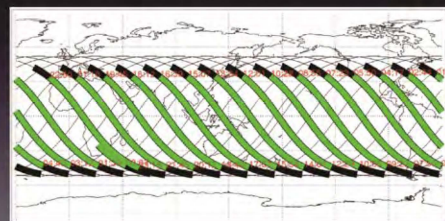
IMAPからの観測



視野の幅から、EPBの全体像は捉えられず、
大気発光領域の中での線状領域として観測される

ISS track

2013/3/01



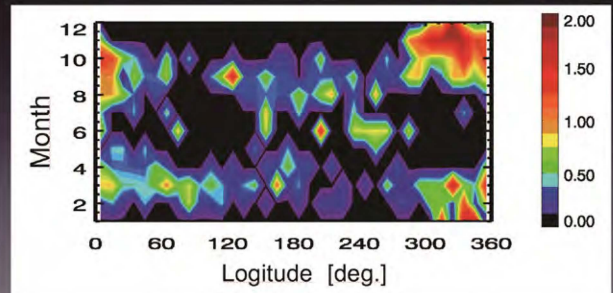
夜間(満月時は除く)のみの観測のため、
どの季節でも同じように赤道域を観測できない。

Event selection

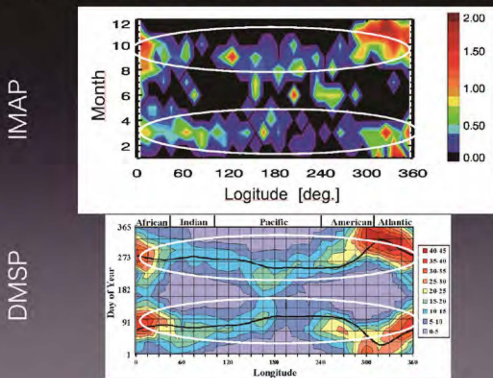
- 軌道に沿って明暗差が大きなところを抜き出し、コンタミなどの影響により拾い上げたものを除去。
- 413イベント (2012/9 - 2014/4) を抽出。
- 発生頻度を磁気赤道±30°以内の観測時間に対する発生個数で算出。

$$\text{発生頻度} = \frac{\text{(発生個数)}}{\text{(±30°以内の領域の観測時間)}}$$

Occurrence rate of EPB



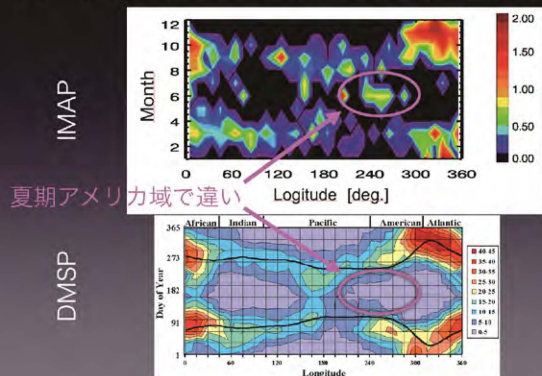
Comparison of Occurrence Rate



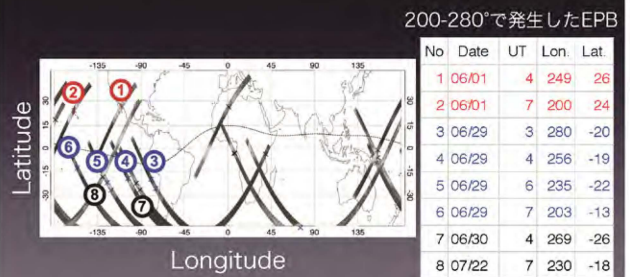
| | 観測高度 | 期間 |
|-------------------|--------|------------------------|
| ISS-IMAP (大気光) | 250 km | 2012-2014 (太陽活動極大期) |
| DMSP (電子密度) | 840 km | 1989-2002 (太陽活動1周期) |

観測高度は異なるが、全体の分布には大きな違いは見られない→発達高度については、太陽活動による依存性は小さい

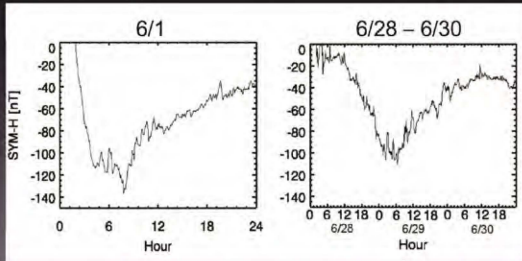
Comparison of Occurrence Rate



夏期EPB発生位置

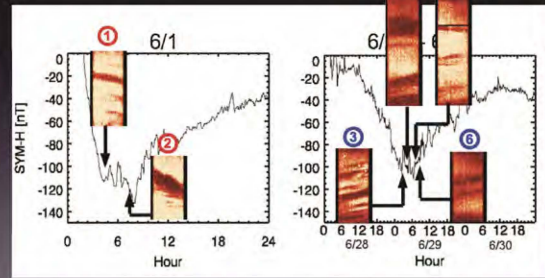


磁気嵐 (SYM-H index)



赤道域での北向き磁場について、静穏時からの差を示したものの。値が小さいほど（絶対値が大きいほど）磁気嵐の規模が激しいことを示す。

夏期EPB発生時刻

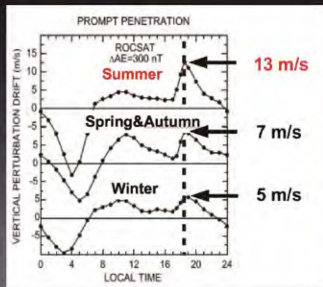


・ 6/7、6/29の連続したイベントは全て磁気嵐に伴うもの → 磁気嵐によるプラズマバブルの発生・成長促進

磁気嵐に伴う変動（侵入電場）

EPBの成長要因について

- 東向き電場の強度が大きく影響
- 磁気嵐時には極域に印加された電場が赤道域に侵入



磁気擾乱時における日没付近のプラズマの鉛直方向ドリフト速度 [Fejer et al., 2008]

Summary

- ・ ISS-IMAPデータを利用して、赤道プラズマバブルの発生頻度について解析を行った
- ・ 観測高度が高い衛星データを利用した先行研究と比較して、夏期アメリカ域で特異な発生 → 磁気嵐により発生が促進された事象
- ・ それ以外の地域については、先行研究とほぼ同様の発生頻度分布 → 到達高度には明確な依存性は見当たらない