

Investigation of Martian Magnetic Topology Response to 2017 September ICME

Xu, S., Fang, X., Mitchell, D. L., Ma, Y., Luhmann, J. G., DiBraccio, G. A., et al. (2018).
Investigation of Martian magnetic topology response to 2017 September ICME.
Geophysical Research Letters, 45, 7337–7346. <https://doi.org/10.1029/2018GL077708>

2020/1/15 火星勉強会

東大M1 坂倉孝太郎

Abstract

2017年9月のICMEイベント中の磁場のトポロジーをMAVENのデータを用いて調べた。

“Closed”と”draped”の境界が、静穏時は800-1400kmなのに対して、イベント中は200-400kmまで下がった。

全球的なトポロジーの変化を追うため、MAVENのデータから得られたトポロジーと、時間変化するMHDシミュレーションから得たトポロジーを比べ、シミュレーションと観測が一致することを確認した。

時間変化するMHDシミュレーションの結果によると、イベント中はIMFが深くまで侵入していただけでなく、openな磁力線が多く出現していた。

Introduction

Quietな状況下での先行研究

MGS (e.g. Brain+ 2017)、MEX(e.g. Liemohn+ 2007)、MAVEN(e.g. Xu, Mitchell, Liemohn+ 2017)などにより、トポロジーがmappingされている。

Disturbedな状況下での先行研究: Crider+ (2005)

MGSの軌道($h=400\text{km}$)では、静穏時は光電子が観測されるが、ハロウィンイベント中はSW電子が観測された。

しかし、“draped”と“open”どちらが変化したかわからなかった。

トポロジーと散逸との関係

openな磁力線に沿ったpolar wind-likeな散逸が起こりうる(e.g. Collinson+ 2015)。また、Luhmann+ (2017) が行った多成分MHDシミュレーションによれば、ICMEイベント中はopenが増え、散逸率が1-2桁上がるらしい。

本論文の流れ

SWEAとMAGのデータを用いてトポロジーを調べる。

結果を時間依存する多成分MHDシミュレーション(Ma+2018)と比較。

MHDシミュレーションの結果を用いて全球的なトポロジーの変化を調べる。

Methodology and Orbit Example

電子は磁力線に沿って移動するため、磁場のトポロジーを調べるのに役立つ。

(1) 電子のロスコーン分布... 磁力線がcollisionalな大気に繋がっている。

(2) 光電子... その磁力線が電離圏に繋がっていることを意味する。

光電子とSW電子を区別するために、
shape parameterを用いる。 (appendix)

	Toward	Away
Br>0	135° – 180°	0° – 45°
Br<0	0° – 45°	135° – 180°

Away Shape	Toward Shape	Away/twd 100-300eV	Inferred Topology
<1 (ph)	<1 (ph)	-	Closed
<1 (ph)	>1 (SW)	-	Open
>1 (SW)	>1 (SW)	< 0.8	Open(夜)
>1 (SW)	>1 (SW)	> 0.8	Draped

磁力線が夜側電離圏に繋がっていたら、
Toward SW電子はcollisionalな大気に吸収され、
Awayに残るのは後方散乱された電子(10-30%)のみ。

Openでもshape parameterが両方1より大きくなる原因は

(1) foot pointが夜側にあり後方散乱されたSW電子がshape>1となる。

(2) SW fluxが大きく、SW電子が光電子のエネルギースペクトルを乱す。

Methodology and Orbit Example

① 22:30 UT (draped)

Toward/Away shape >1

② 22:45-22:50 UT (open)

Toward shape >1

Away shape <1

③ 22:50-23:00 UT (closed)

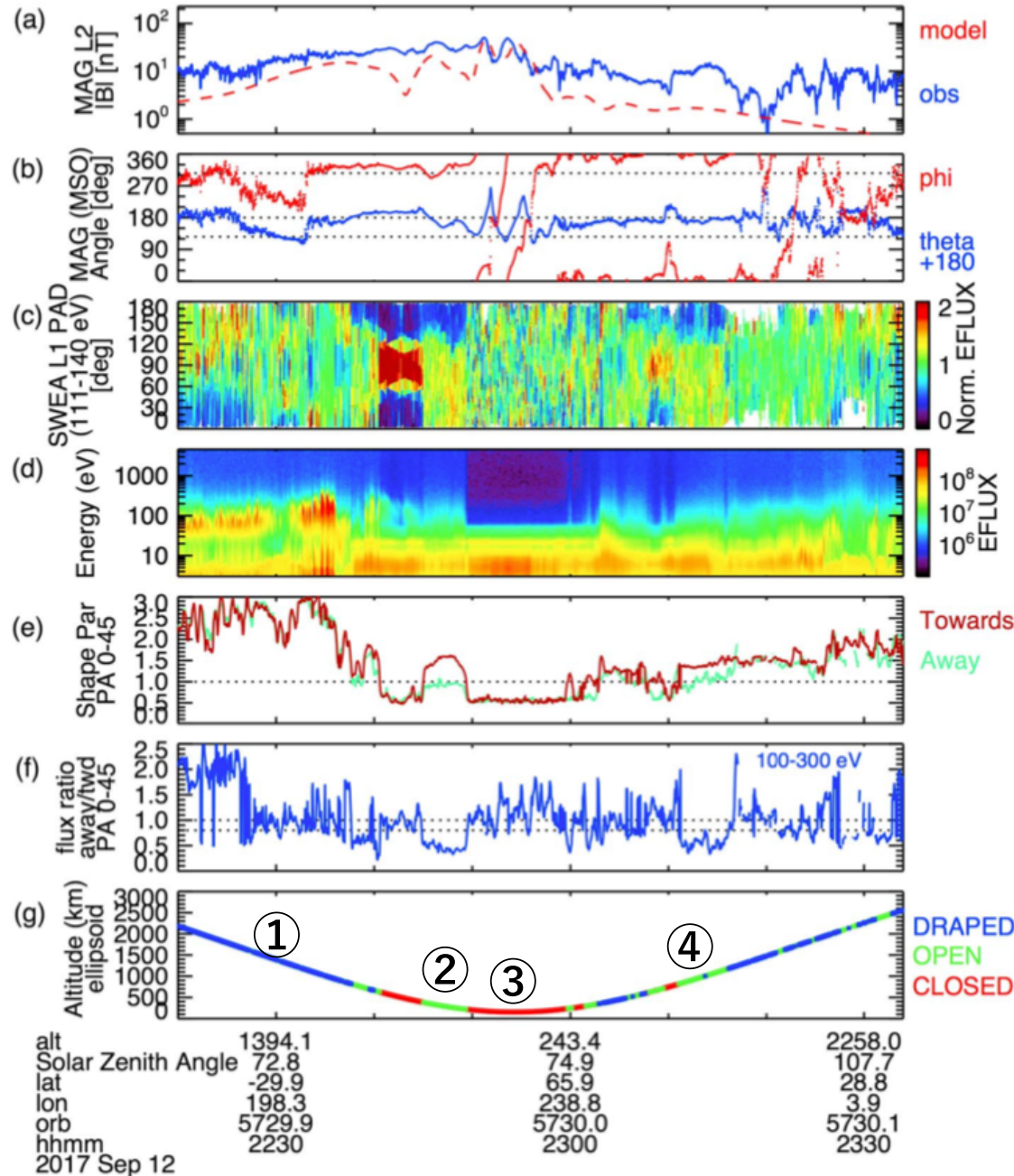
Toward/Away shape <1

④ 23:12-23:16 UT (open)

Toward shape >1

Away shape >1

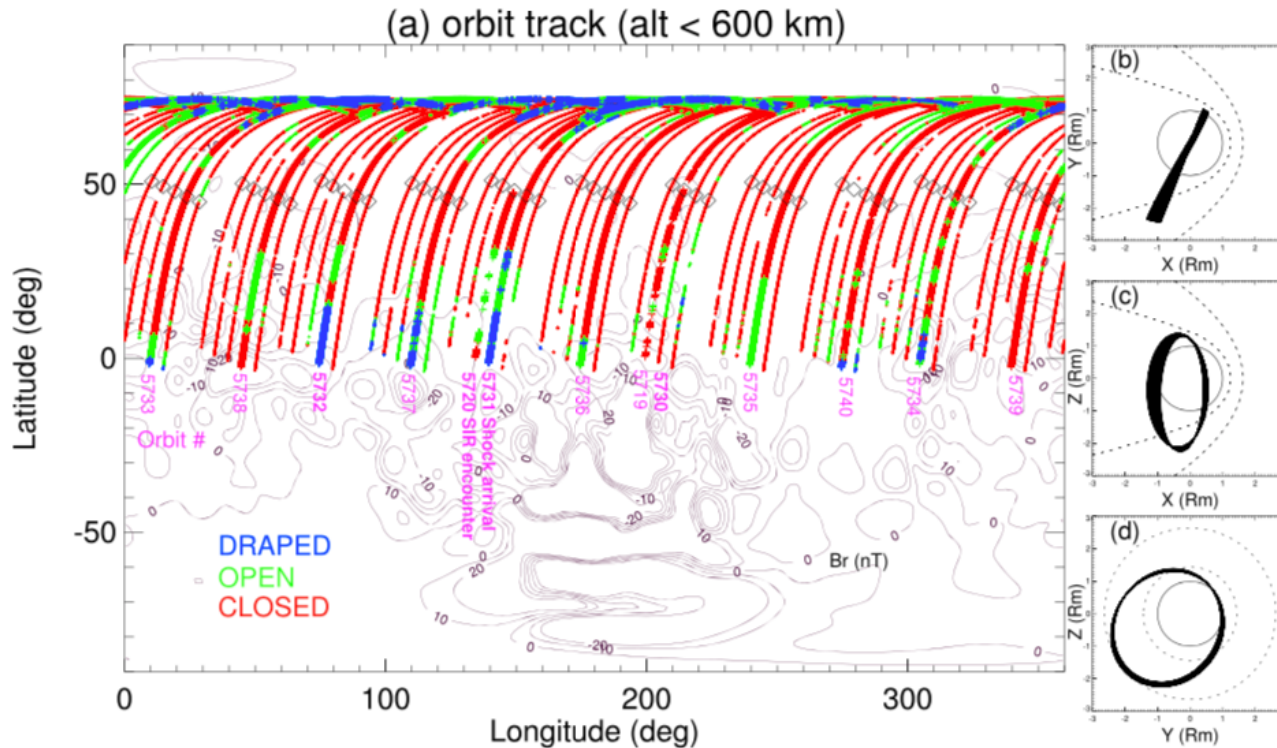
Away/toward < 0.8



Magnetic Topology Response to ICME

Inbound segment: 残留磁化が弱い赤道の方から
近火点: 北半球(latitude=50 くらい)
Outbound segment: 北極側へ抜ける

Terminator plane
に近い軌道



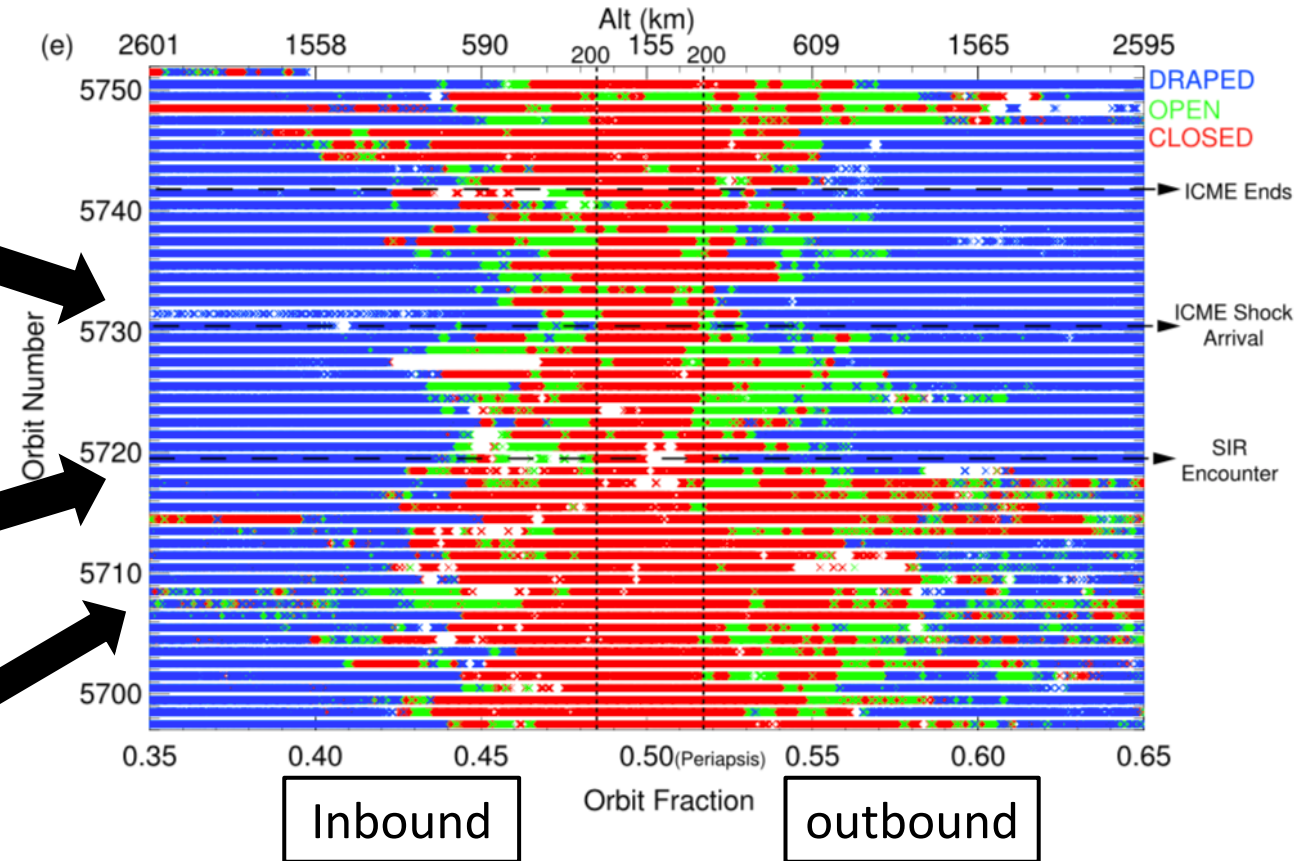
観測される磁場のトポロジーは南半球の強い残留磁化の影響をあまり受けていなさそうだ。

Magnetic Topology Response to ICME

ICME shock arrival
Inbound: 200km
Outbound: 200km

SIR encounter
Inbound: FOV不十分
Outbound: 300km

Quiet condition
Inbound: 600km
Outbound: 1000km



Terminator付近では超熱的電子のexobaseがだいたい200km (それより下は不確定性が大きい)

Inboundは赤道付近で、outboundは北極付近のため、inboundの方がIMFが深くまで侵入している。

Data-model Comparison of magnetic Topology

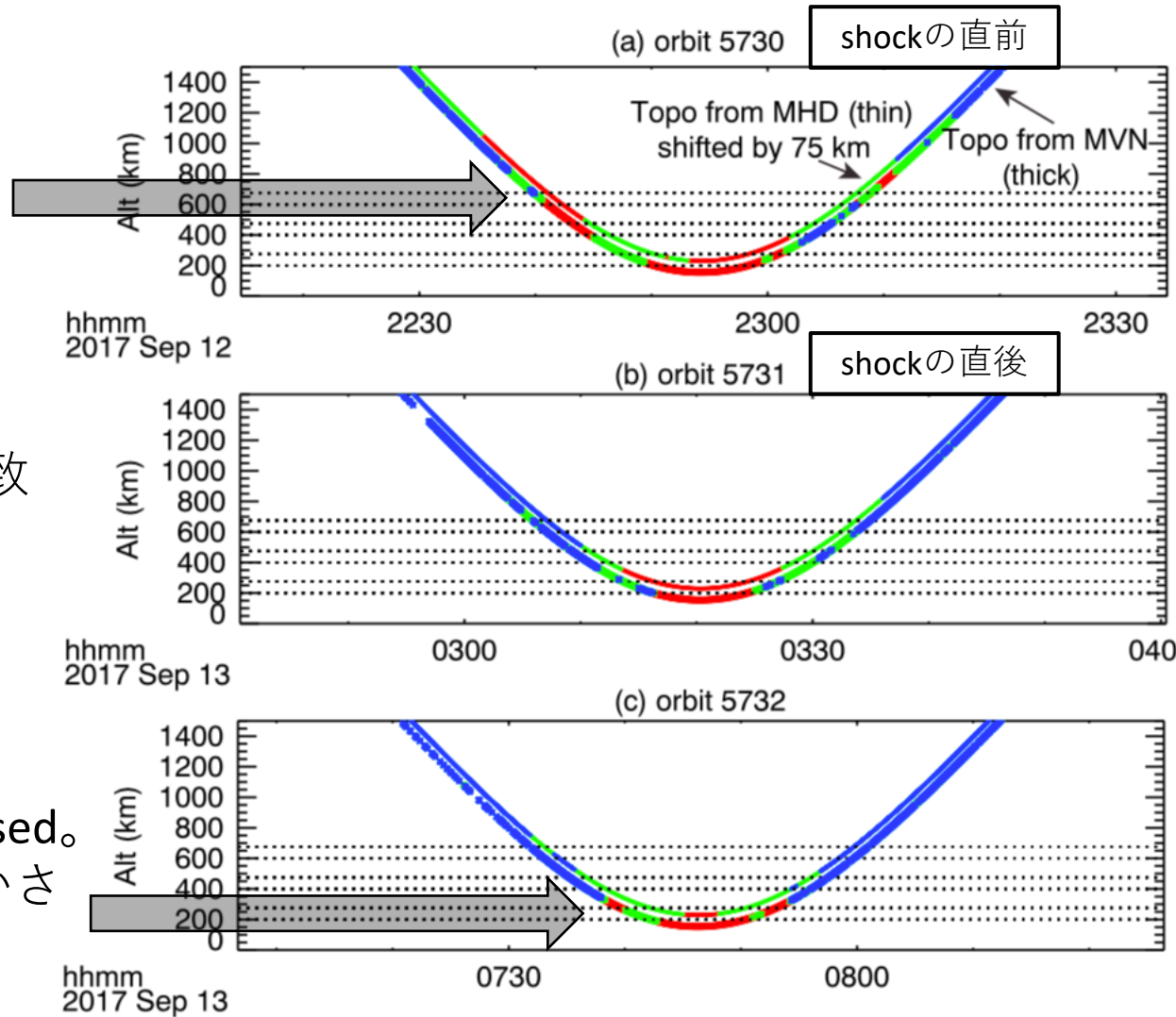
Ma et al., 2018 一流体多成分MHDシミュレーション

MAVENがシースにいるときのSW inputはシースの観測データから推定する。
MAVENがMPBより内側にいる時は前後の期間のSWを線形補間して用いる。

22:33くらいのIMF rotation
(sample orbit)がモデルに入っていないのでズレた。

MAVENとモデルがよく一致

モデルはopen、観測はclosed。
200km以下で観測の不確かさが大きいことに起因？



Data-model Comparison of magnetic Topology

前スライドの比較から言えること

MHDシミュレーションのSW inputが

(1) Sheath の値から推定/線形補間されたもの

(2) 素早い変化は入っていない

ことを考慮すると、よく整合している。MHDシミュレーションで全球的なトポロジーを調べてもよい。

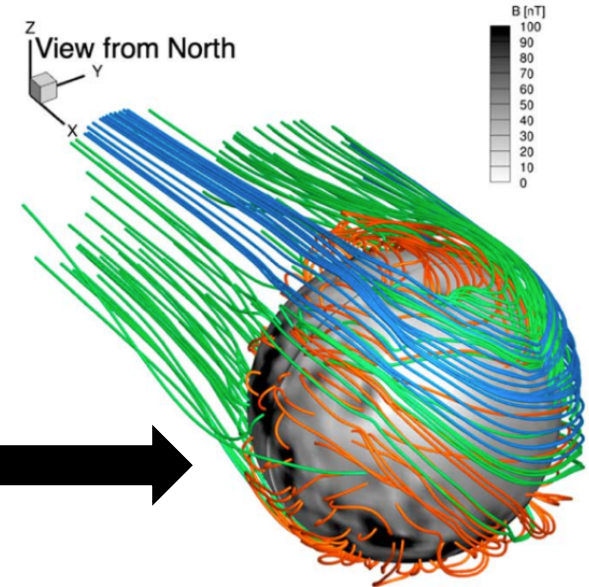
北半球:
draped, open, closed が存在

南半球:
closedが支配的

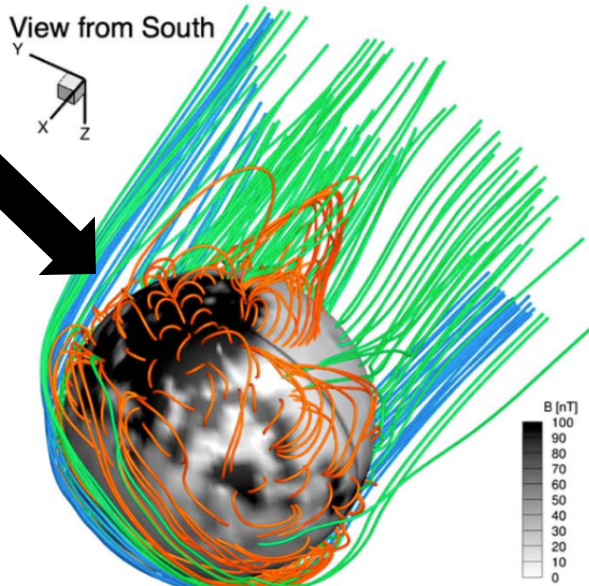
350kmのところから
磁場をトレースした

|B|[nT] @110km
Draped Open Closed

(a) Before Shock Arrival (orbit 5730)



(b) Before Shock Arrival (orbit 5730)



Data-model Comparison of magnetic Topology

Shock到来前後で残留磁場の位置が違うので、単純比較はできないが、南半球でopenが多いのは

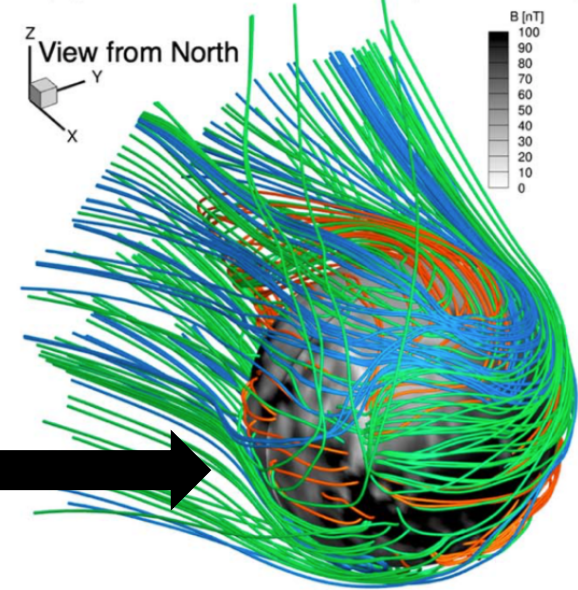
- (1) 残留磁化のclosedとIMFのリコネクション
- (2) その磁力線がSW動圧により低高度まで押されるというメカニズムが働いているから。

北半球:
IMF drapeが支配的

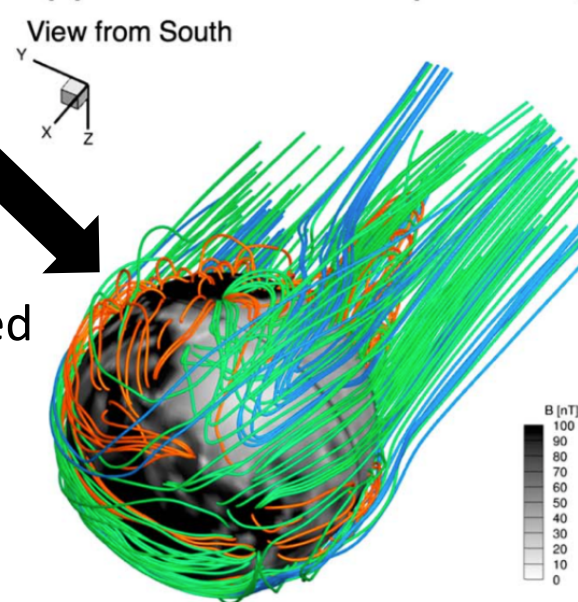
南半球:
Openが支配的

MAVENのデータによると、openの増加ではなく draped の深い侵入が予想されていたが、MAVENは夕方側 terminatorのみを観測していたので、モデルでの全球的な描像と一致していなくても不思議ではない。

(c) After Shock Arrival (orbit 5731)



(d) After Shock Arrival (orbit 5731)



Discussion and Conclusions

MAVENのデータを元にICME期間中の磁場のトポロジーを調べたところ、**draped**と**closed**の境界が、表のように変化。

	inbound	outbound
Before ICME event	834 ± 203 km	1390 ± 490 km
During ICME event	300 km	200~400 km

イベント中は高い**SW**動圧によって**IMF**が深くまで侵入したり、**open**が多く生成されたりしたので、イオン散逸量が増えていると考えられる。

MHDシミュレーションと**MAVEN**の観測でトポロジーを比較した研究はこれが初。**Disturbed**な環境においても**MHD**シミュレーションが磁場のトポロジーの変化を全球的に導出できることを示した。

F: electron energy flux

E: energy

$$\frac{d(\log F)}{d(\log E)}$$

を計算し、観測された60個のスペクトルについて平均をとることで、「光電子の上記の微分値のテンプレート」を作る。

観測された電子のスペクトルに対しても同じく計算し、テンプレートとの差の絶対値を20-80eVで足し合わせる。これが shape parameter となる。

