

# IMF北向き時に現れる夜側電離圏対流の起源

渡辺正和<sup>1</sup>, 蔡東生<sup>2</sup>, 熊沛坤<sup>2</sup>, 藤田茂<sup>3</sup>, 田中高史<sup>1</sup>

1. 九州大学 2. 筑波大学 3. 統計数理研究所

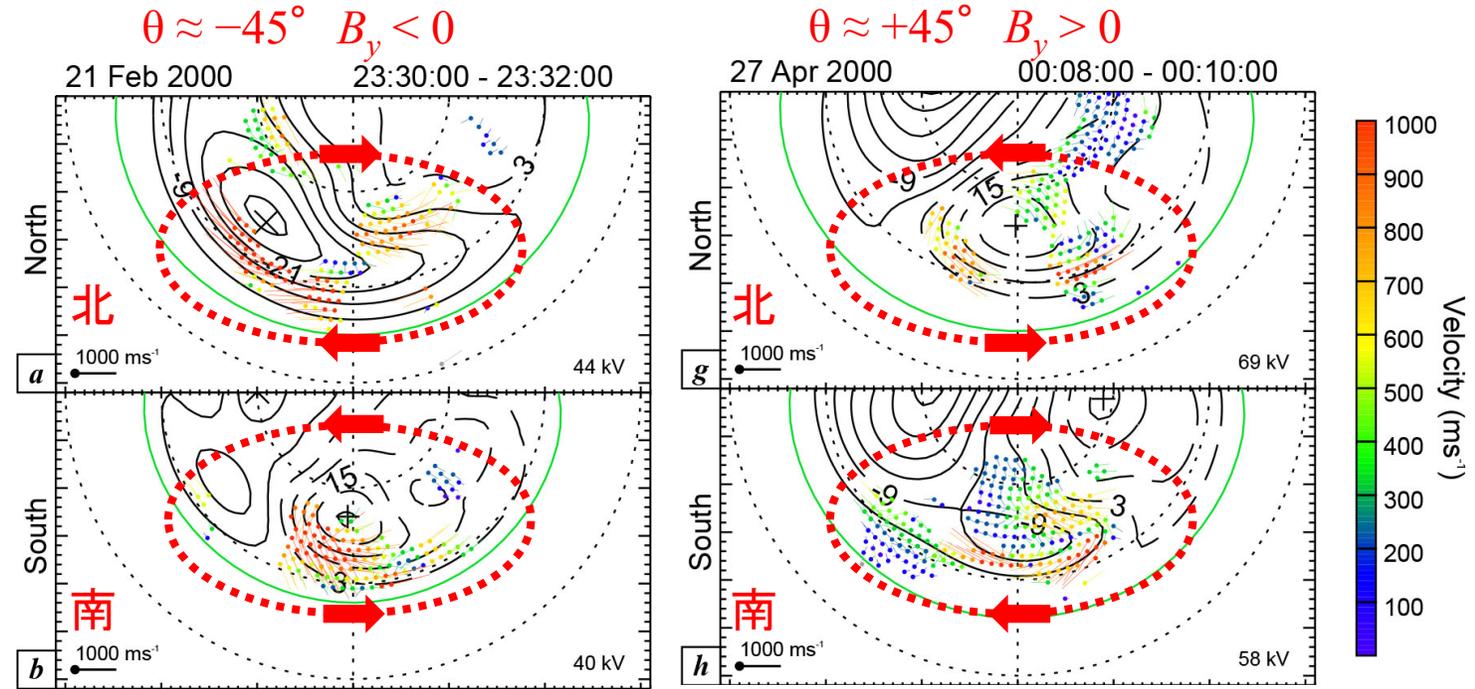
# IMF北向き時の夜側電離圏に現れるプラズマ対流

## ◆ SuperDARN (夜側電離圏対流)

夜側電離圏にIMF  $B_y$ 成分に制御された対流系が出現 (Grocott et al., 2005).

## ◆ MAGSAT/DE2 (夜側沿磁力線電流系)

夜側電離圏にIMF  $B_y$ 成分に制御された沿磁力線系が出現. 上述の対流系と首尾一貫 (Taguchi, 1992; Taguchi et al., 1994).



Grocott et al. (2005)

解釈 :

IMFが北向きでも、磁気圏尾部で南北ローブ磁場がつながり換わるDungeyリコネクションが起こっている。

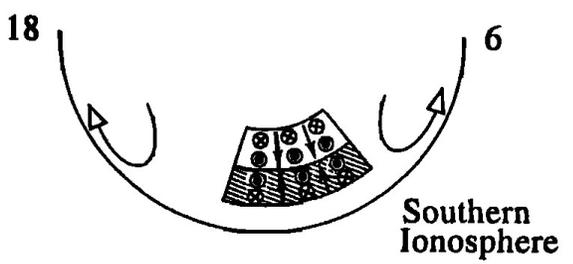
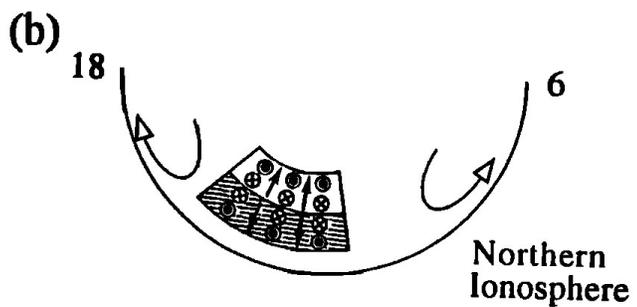
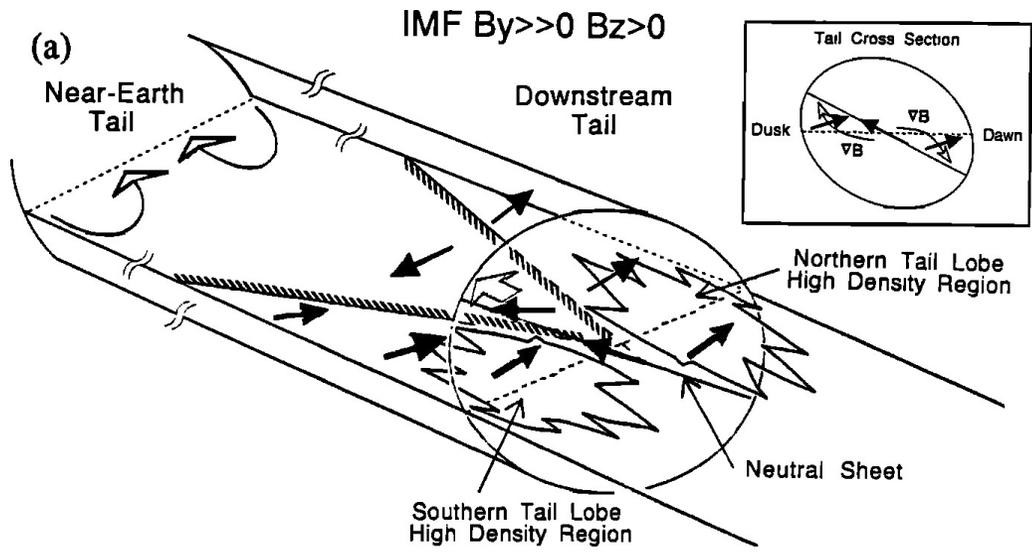
Taguchi et al., 1994; Nishida et al., 1998; Grocott et al., 2005; Milan et al. 2005

この解釈を支持する観測

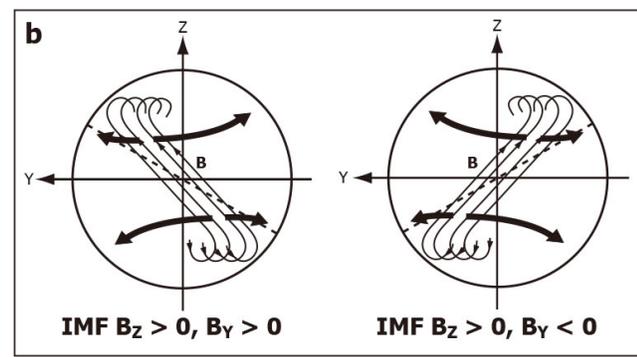
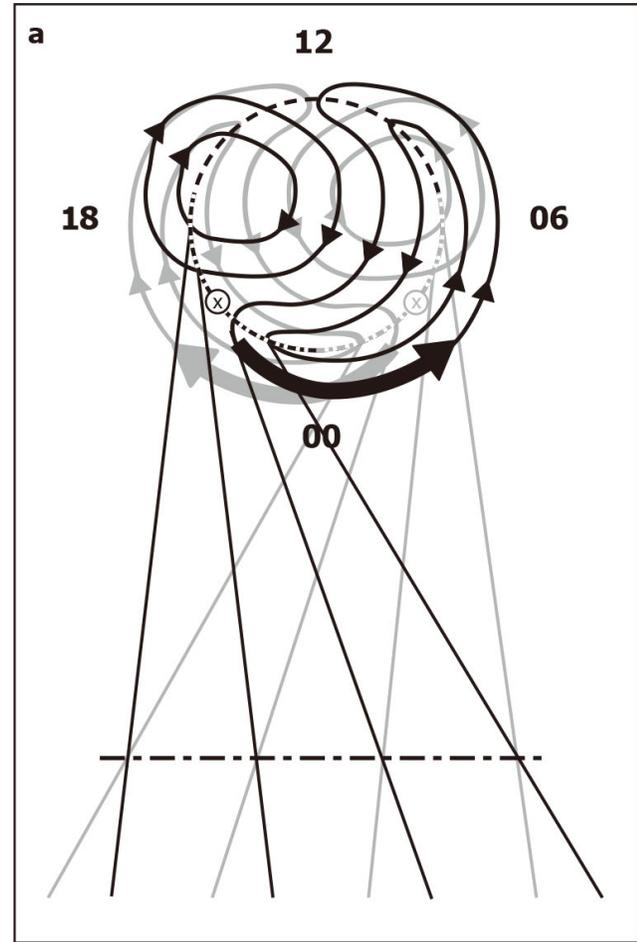
## ◆ Geotail (in-situ magnetotail observation)

磁気圏尾部で北向き磁場を伴った地球向きプラズマ流が観測される. 深尾部 (distant tail) でのDungeyリコネクションの存在を示唆する (Nishida et al., 1998).

# 夜側で閉磁束を作るリコネクション



- ⊗ ⊗ ⊗ REGION OF FAC INTO THE IONOSPHERE
- ⊙ ⊙ ⊙ REGION OF FAC AWAY FROM THE IONOSPHERE
- ELECTRIC FIELD



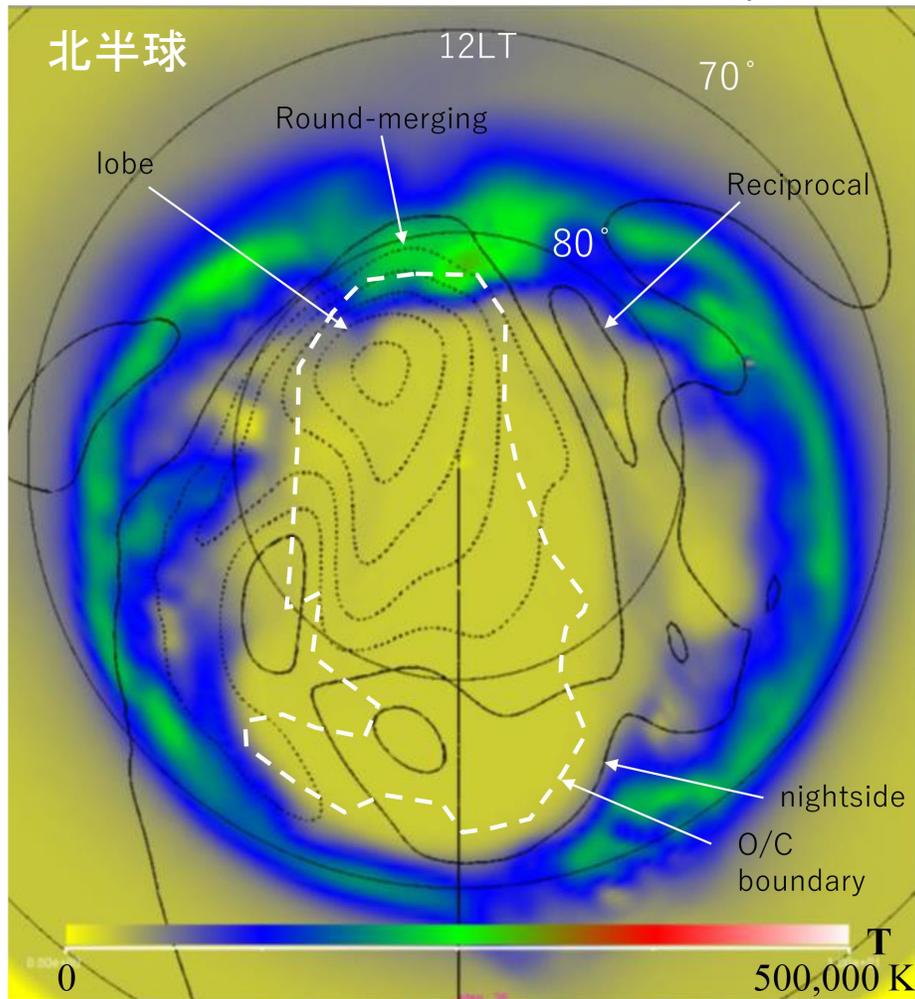
Taguchi et al. (1994)

Grocott et al. (2005)

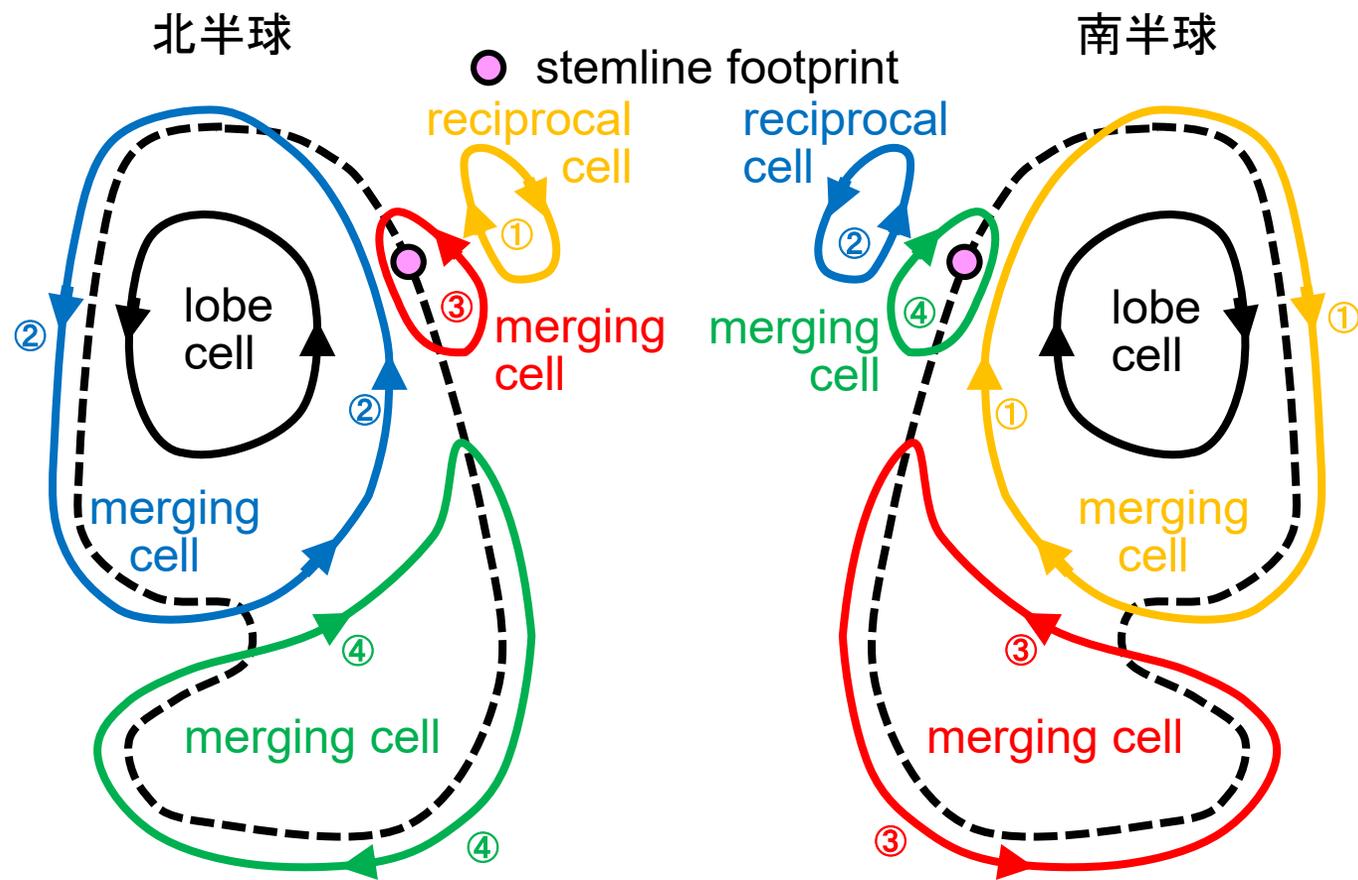
# 数値シミュレーションによる再現と解釈 (Tanaka et al., 2024)

IMF  $B = 2.8 \text{ nT}$ ,  $\theta = -31^\circ$  ( $B_y < 0$ )

Dungeyサイクルを起こすリコネクションは零点 (カusp) 近傍で起こる。



black lines: equipotentials  
white dashed lines: open-closed boundary  
color: temperature at 3Re (projection)



- 南北共役
- ① Interchange cycle (朝方側)
  - ② Interchange cycle (夕方側)
  - ③ Dungey cycle (朝方側)
  - ④ Dungey cycle (夕方側)

実際には, ① ② ③ ④は●近傍で混ざり合っている

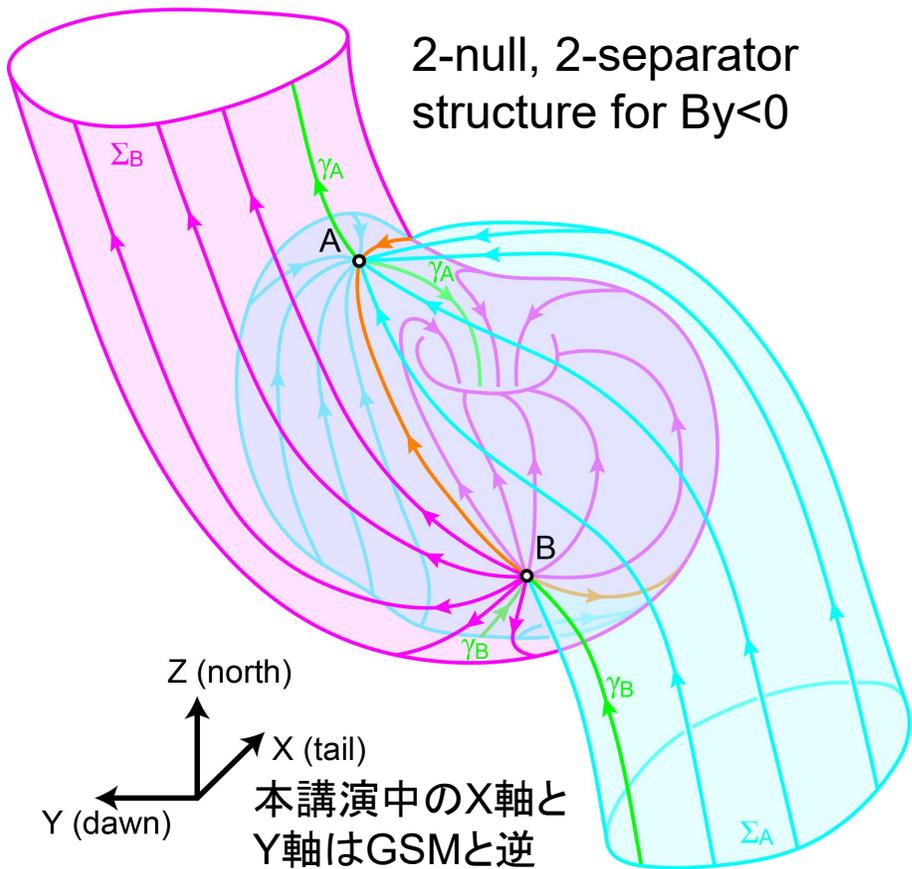
# 問題意識

反平行磁場Rxの描像では、夜側で閉磁束を作るRxを想像できない。

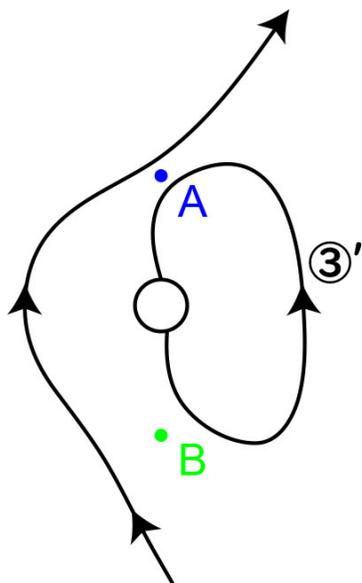
(Rx = reconnection)

# 仮説

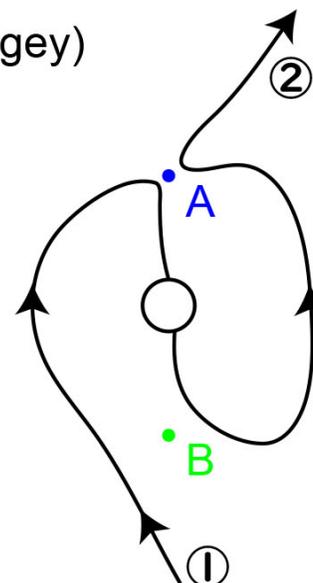
セパレータ(下図の橙色)が、零点近傍で曲がり、同時に交換Rxの電場がセパレータ上に広がることで起こる。



A, Bは大域構造(2-null, 2-separator structure)を決める零点

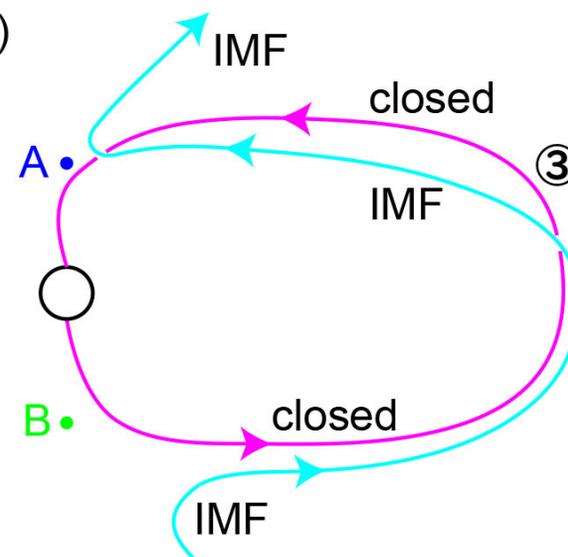
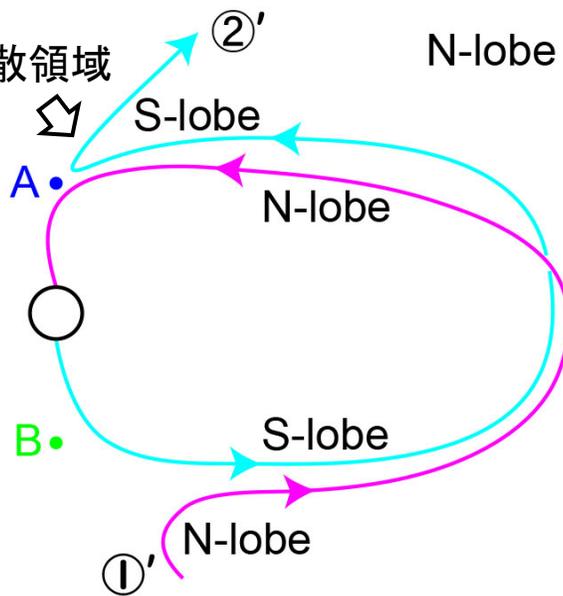


IMF to closed (Dungey)



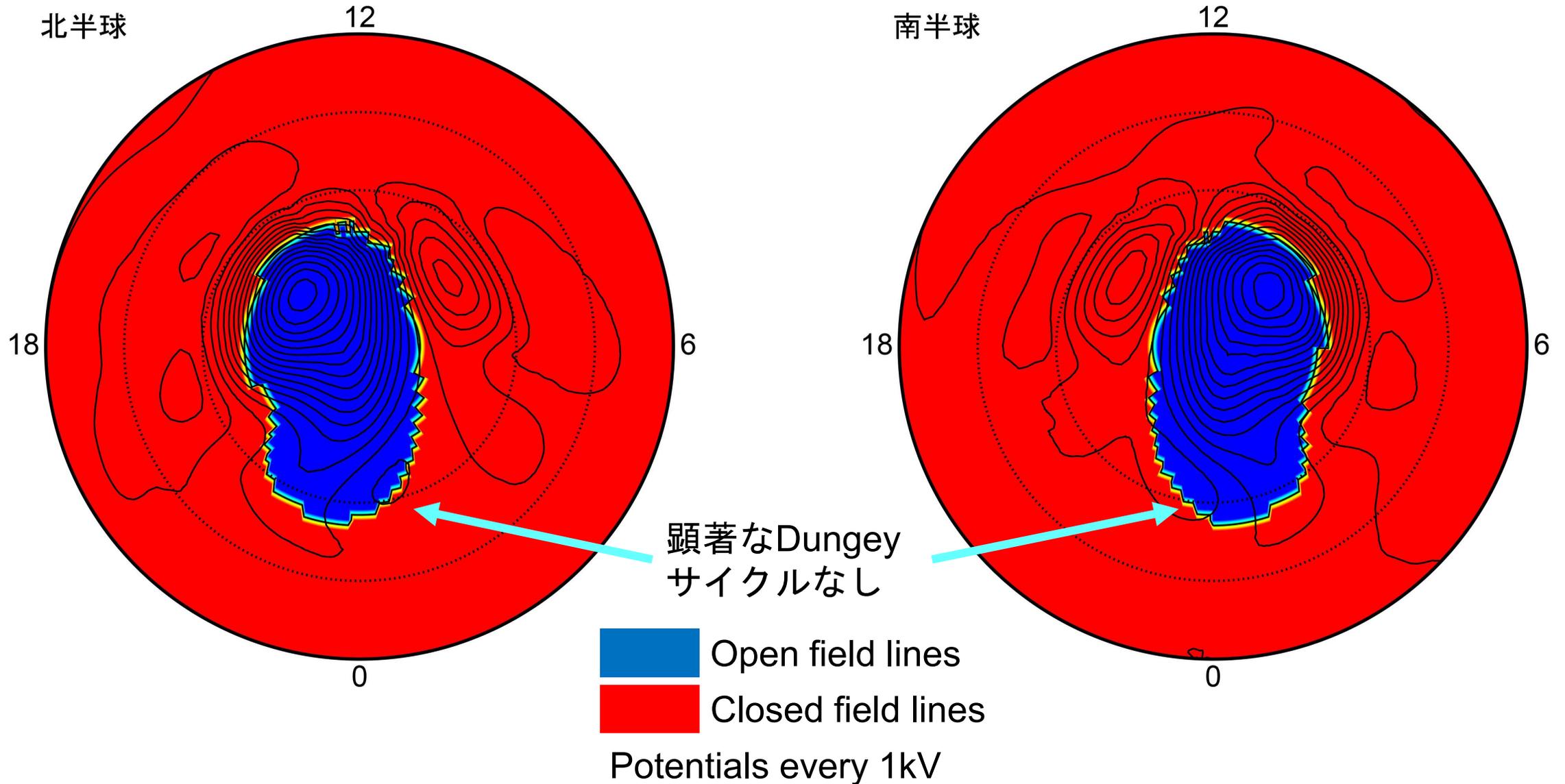
拡散領域

N-lobe to S-lobe (Dungey)



# REPPU シミュレーション：ほぼ交換サイクルのみの例

定常IMF  $B=6\text{nT}$  and  $\theta=-20^\circ$  ( $B_y < 0$ )



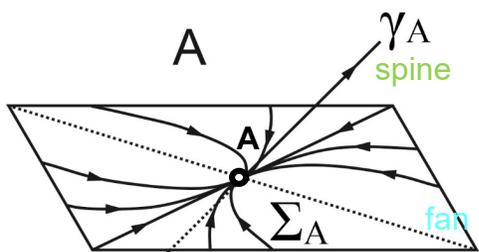
# Global structure of $\Sigma$ surfaces

Coordinates

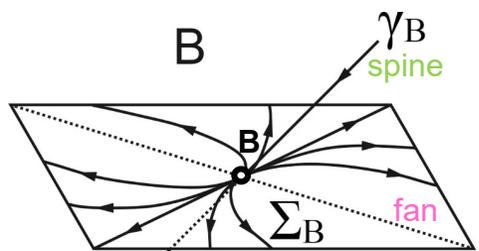
$$X = -X_{\text{GSM}}$$

$$Y = -Y_{\text{GSM}}$$

$$Z = Z_{\text{GSM}}$$



$\gamma_A$  spine



$\gamma_B$  spine

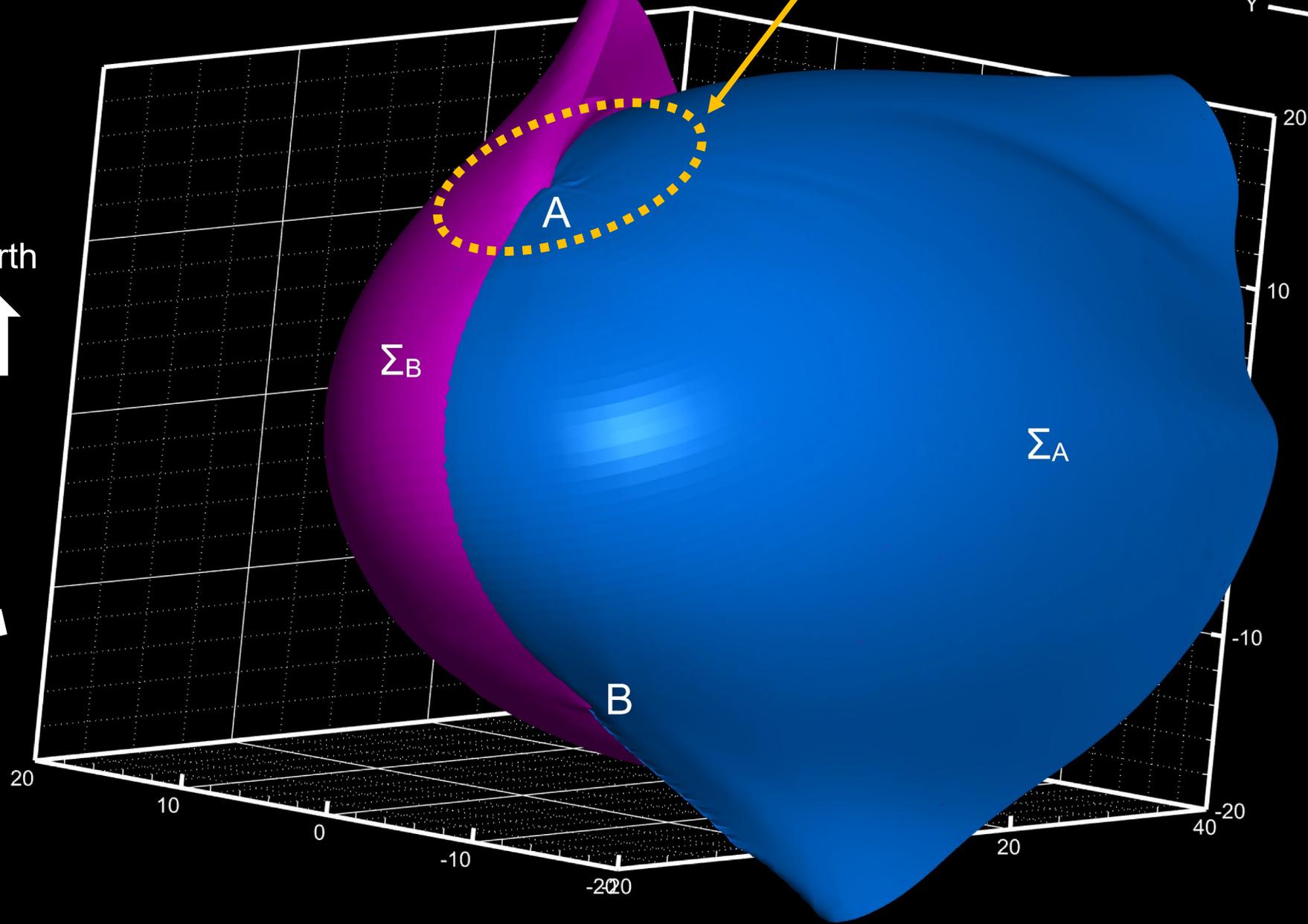
Expand this portion of  $\Sigma_A$  in the following two slides



North

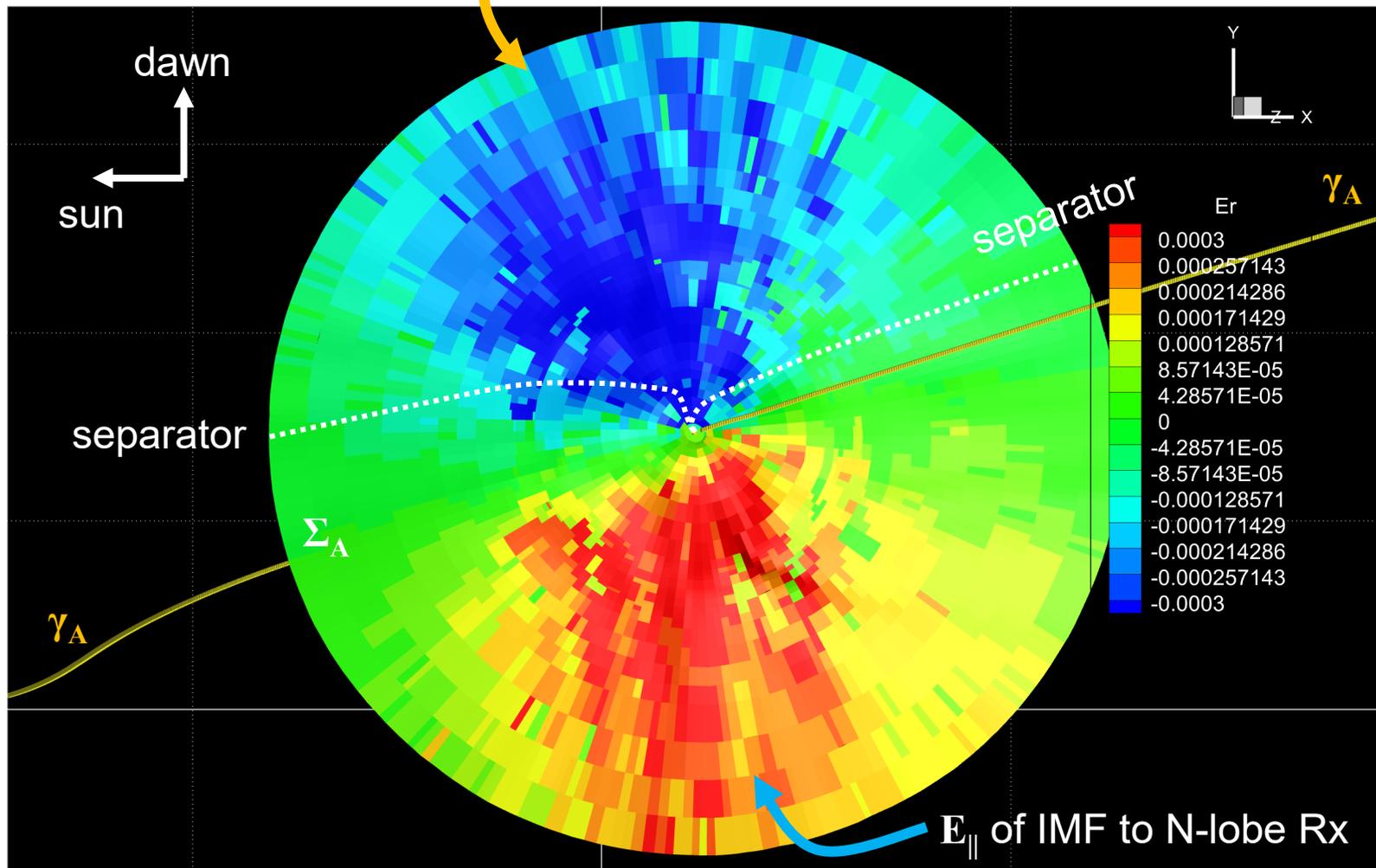


Sun

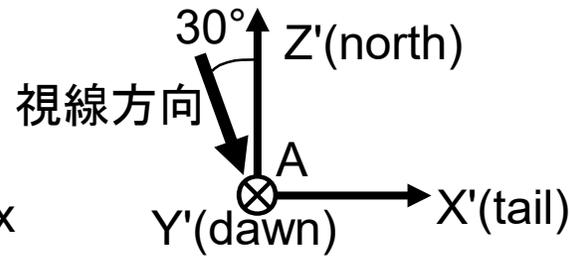


交換Rxはセパレータを曲げセパレータ上に  
に交換Rxの $E_{\parallel}$ が広がる。

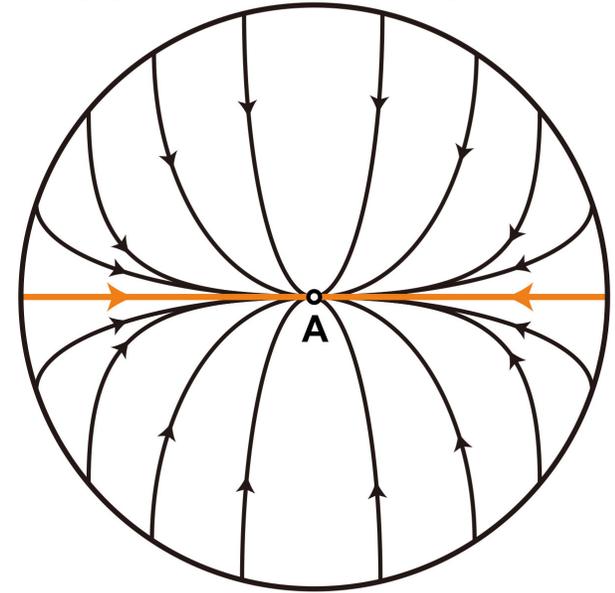
(Rx = reconnection)



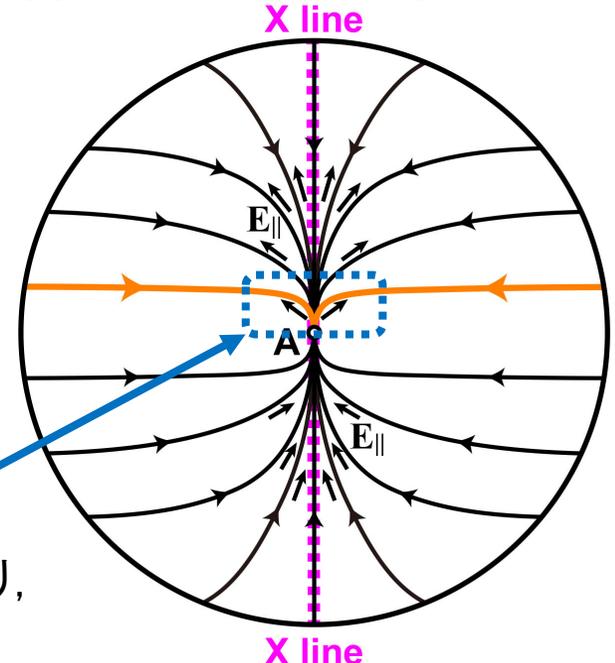
色は沿磁力線電場 $E_{\parallel}$



(a) Potential magnetic field  
(dipole + uniform fields)



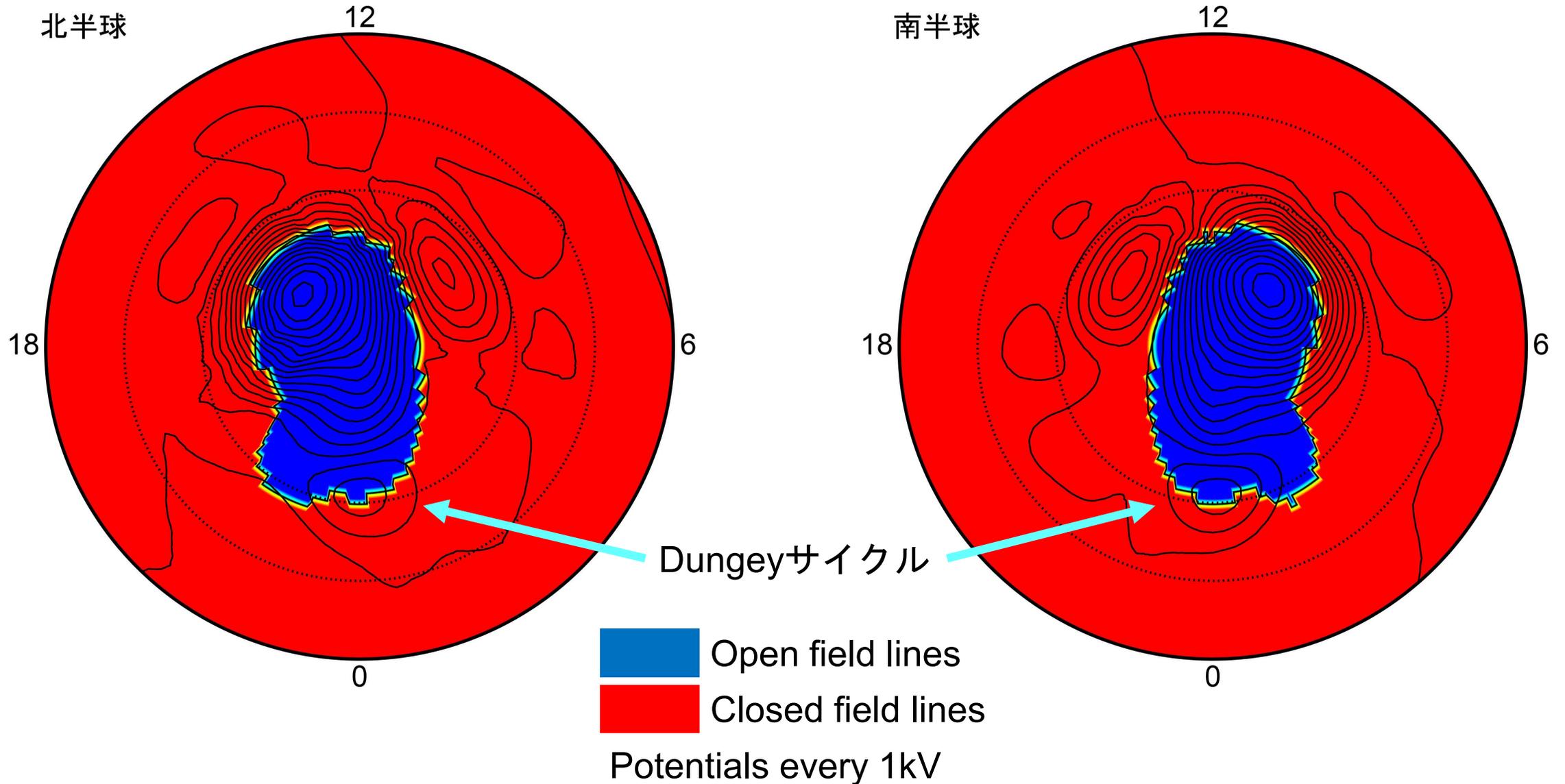
(b) Simulated magnetosphere



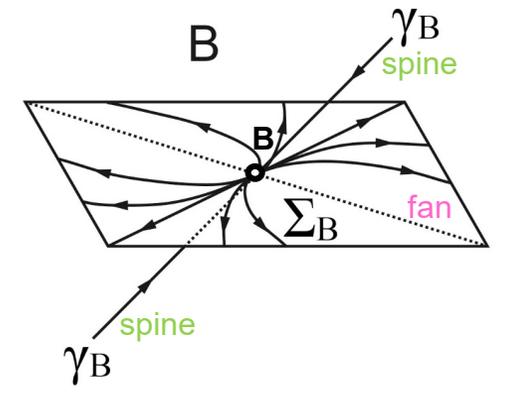
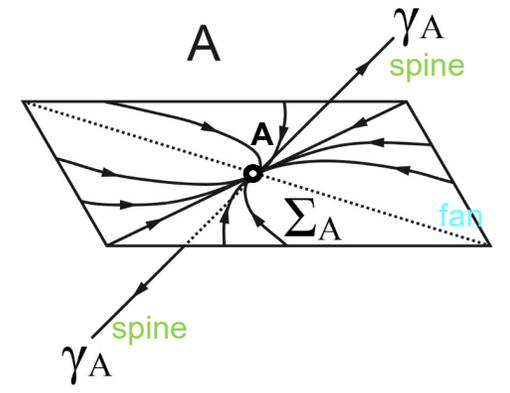
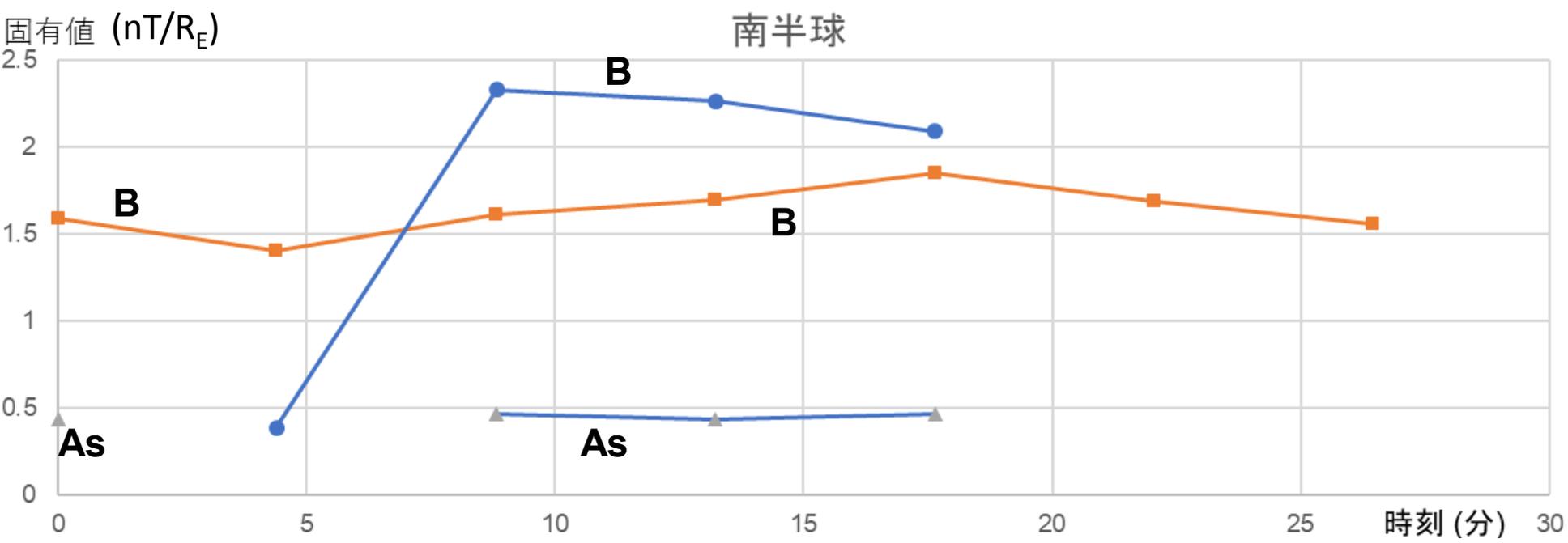
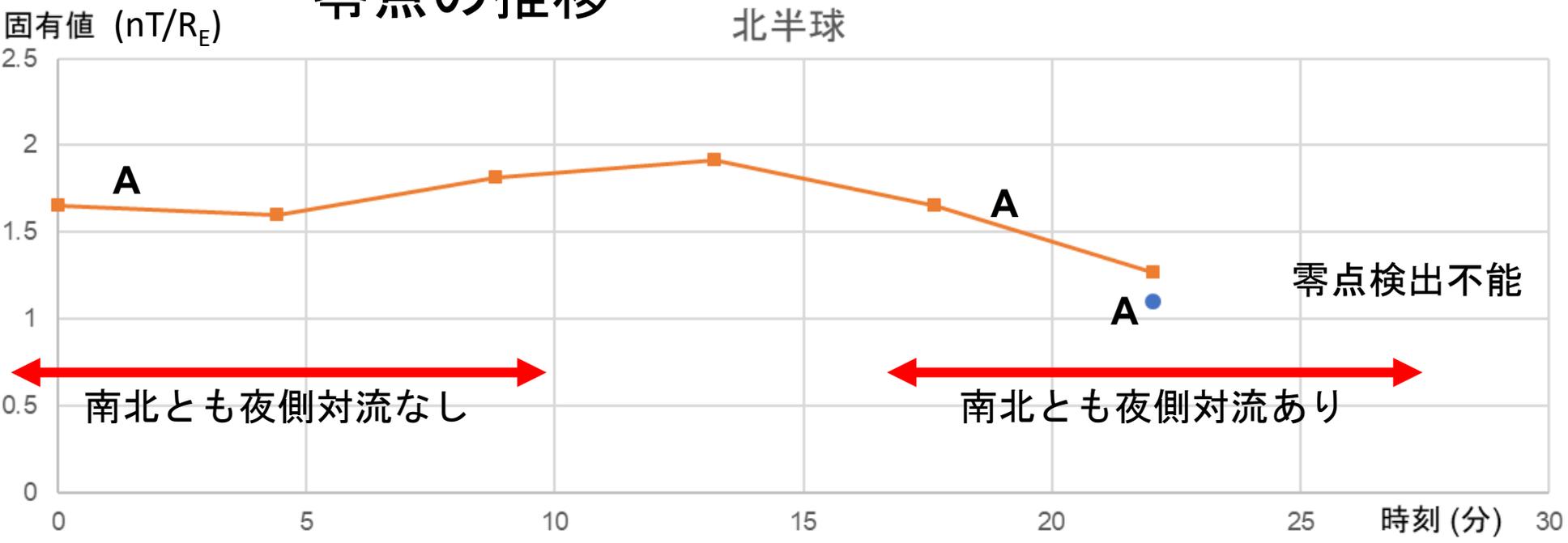
この $E_{\parallel}$ は昼側で開磁束を作り、  
夜側で閉磁束を作る。

# REPPU シミュレーション：顕著なDungeyサイクルを含む例

定常IMF  $B=6\text{nT}$  and  $\theta=-20^\circ$  ( $B_y < 0$ )



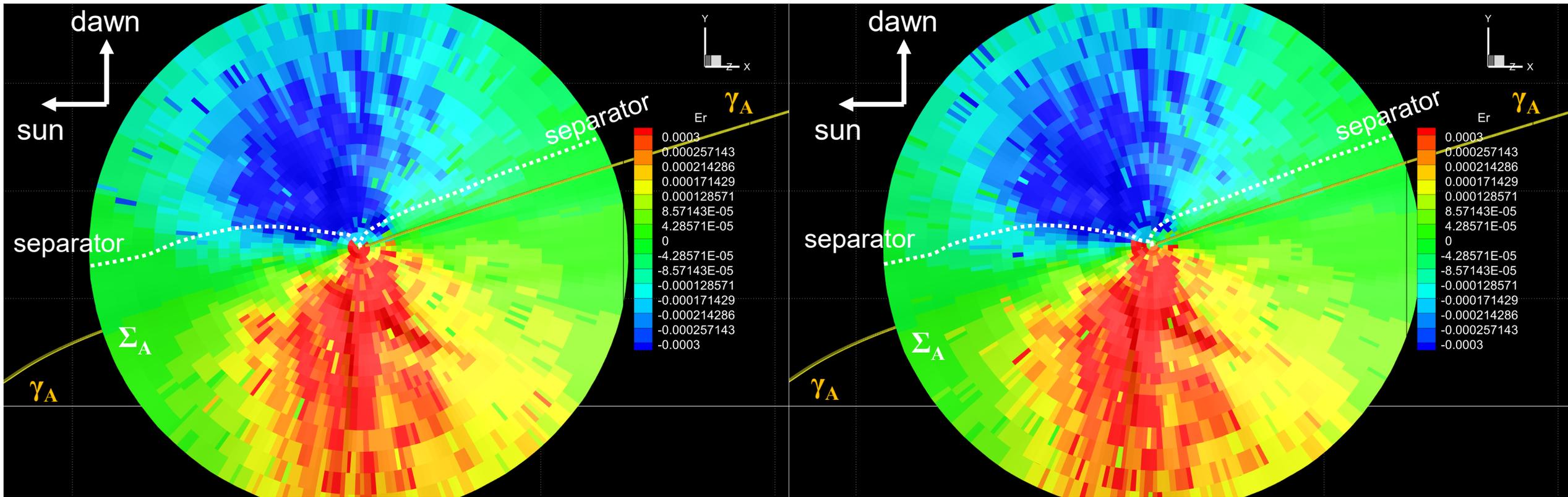
# 零点の推移



$\nabla B$ の固有値の大きさは零点の強さを表す。

As, Bs: 固有値が複素数を含む場合 (添字sはspiralの意)

零点2個,  $\Sigma$ 面2枚  $\Rightarrow$  セパレータ2倍  $\Rightarrow$  リコネクション率2倍

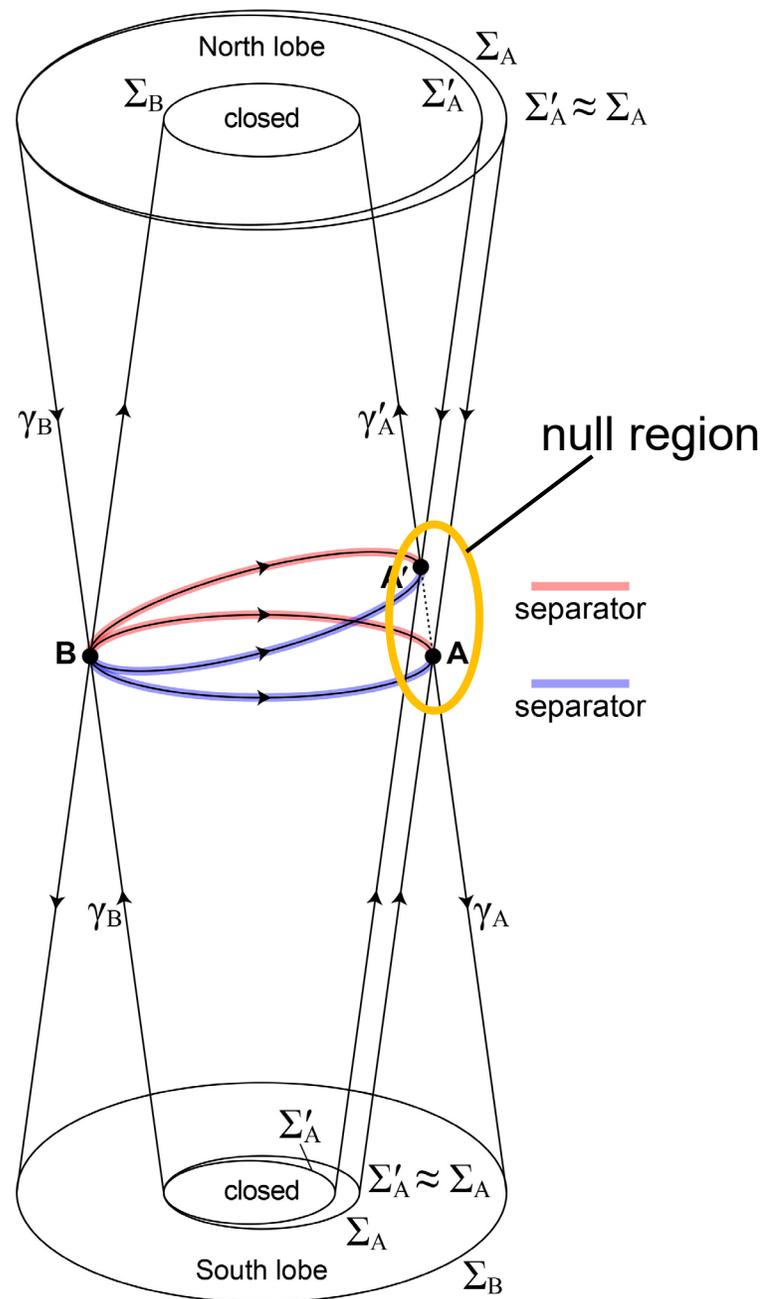
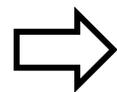
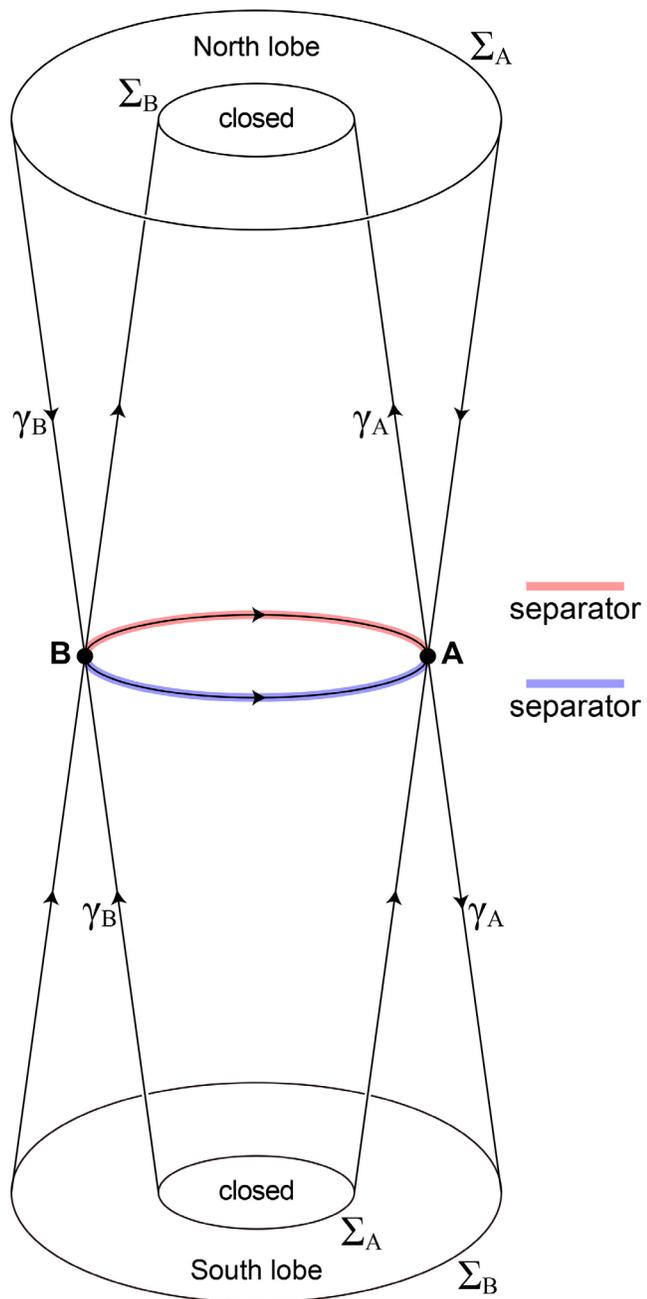


北半球に元々あった零点  
色は沿磁力線電場 $E_{\parallel}$

北半球に新たに出現した零点  
色は沿磁力線電場 $E_{\parallel}$

2個の零点は近接していて(距離 $0.2R_E$ ), 現在の計算  
精度では2点間の構造や $\Sigma$ 面の違いは分からない.

# Duplication of $\Sigma$ surface



## 現時点の結論

IMFが北向きでもDungey型リコネクション起こる理由は、ローブ-閉磁力線の交換リコネクションに伴う電流でセパレータが零点近くで曲げられていて、交換リコネクションの電場が自然な延長としてセパレータ上に広がるからと思われる。ただし、1個の零点が関与するリコネクション率はさほど大きくなく、Dungeyサイクルが顕著になるのは、何らかの理由で零点が倍化する（零領域が形成される）時ではないかと予想される。

By < 0 case

