

複合系磁気圏電離圏対流モデル その2

-マグネトシースとカスプの役割-

S. Fujita, Meteorological College

T. Tanaka, Kyushu University

シミュレーションが示す磁気圏電離圏対流が満たす基本条件

磁気圏電離圏対流を理解する上で重要

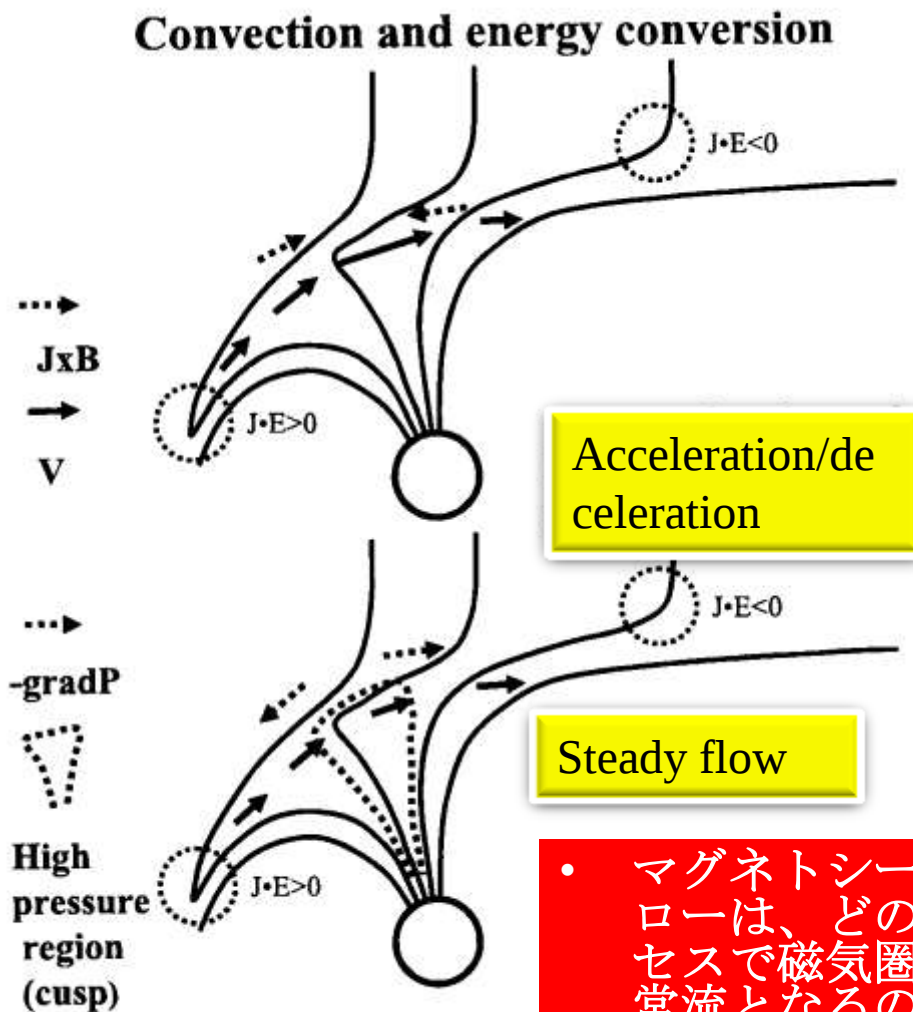
1. 磁気圏電離圏対流系は複合系としてシステム全体の自己無撞着性を保つ。
 - 磁気圏電離圏対流においてフローの加減速はほとんど無視できる。即ち、磁気圏電流は圧力勾配電流が主であり、慣性電流は無視できる。
 - カスプーマントル域で、R1 FACが駆動されている。
2. 太陽風磁場と磁気圏磁場はnull-separator構造を保ってマーキングを起こしている。

今回の話題

- 複合系磁気圏電離圏対流を駆動するマグネトシースーカスプ域のダイナミックス
– マグネトシースーカスプ→磁気圏電離圏のプラズマフローの流入過程
- Dungeyモデルに代わる、3次元null-separator構造での磁気圏電離圏対流モデルの提唱：active reconnection $\Leftrightarrow$ passive reconnection

Cusp域でのフローダイナミクス

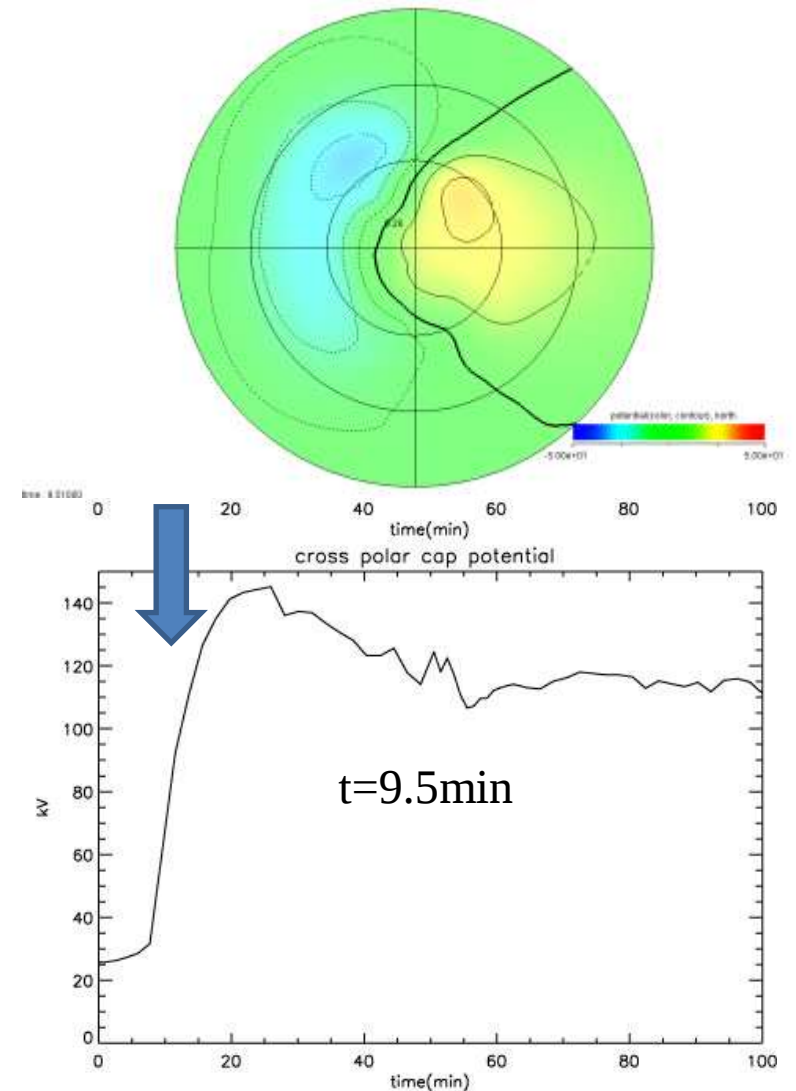
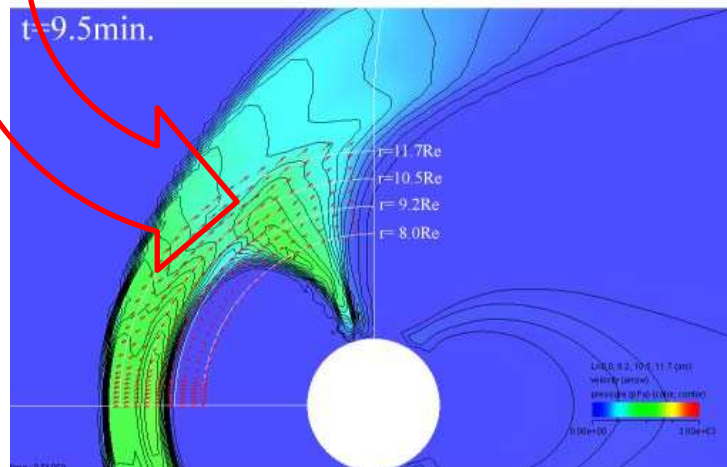
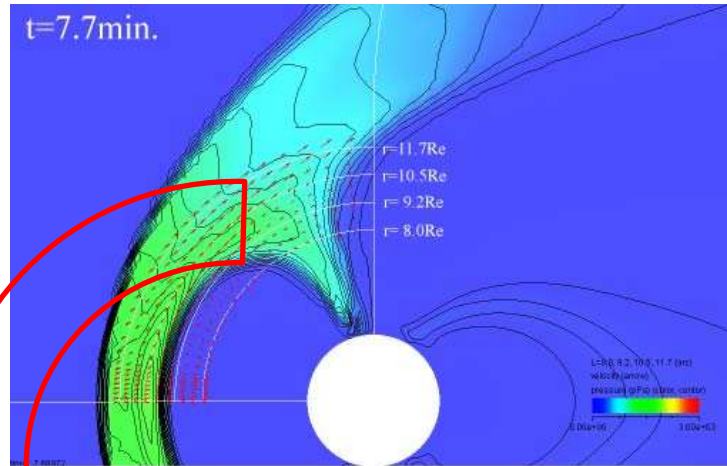
Fig. 7 Schematic illustrations showing the convection and energy conversion process around the cusp. The *upper panel* shows a configuration that neglects the self-consistency between the magnetospheric and ionospheric convections, while the *lower panel* shows a configuration that can satisfy the self-consistency between the magnetospheric and ionospheric convections. The lower case automatically explains the generation mechanism of the cusp



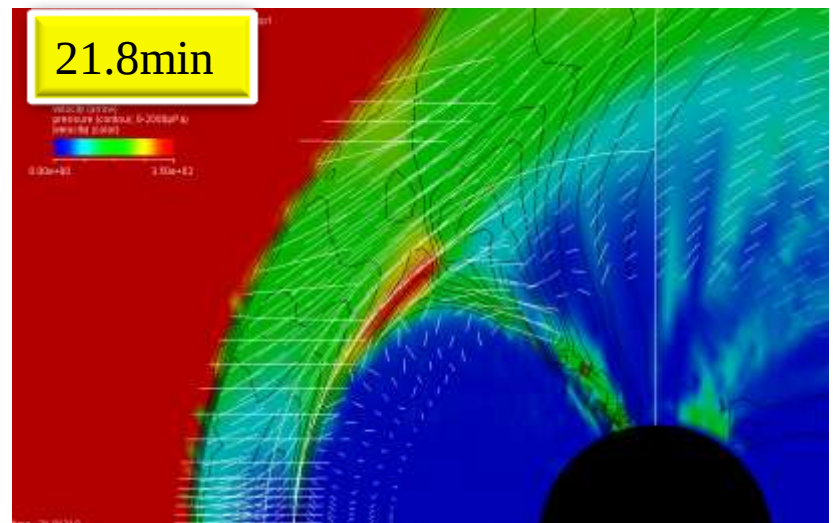
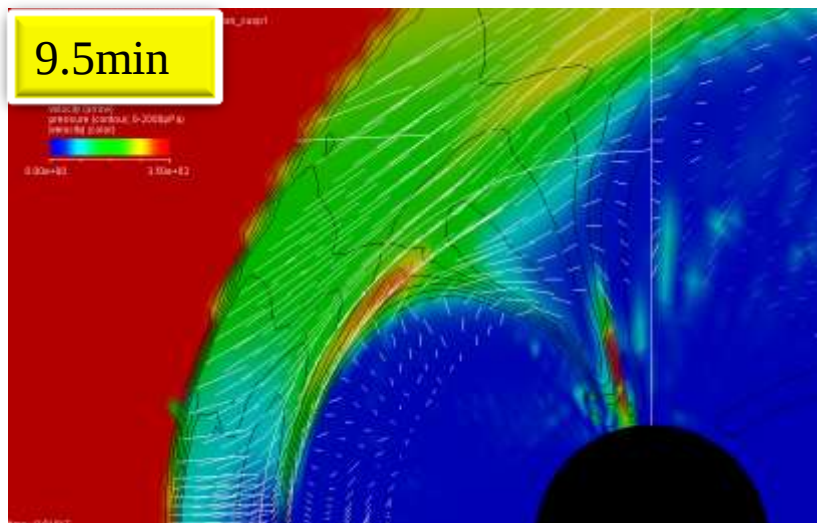
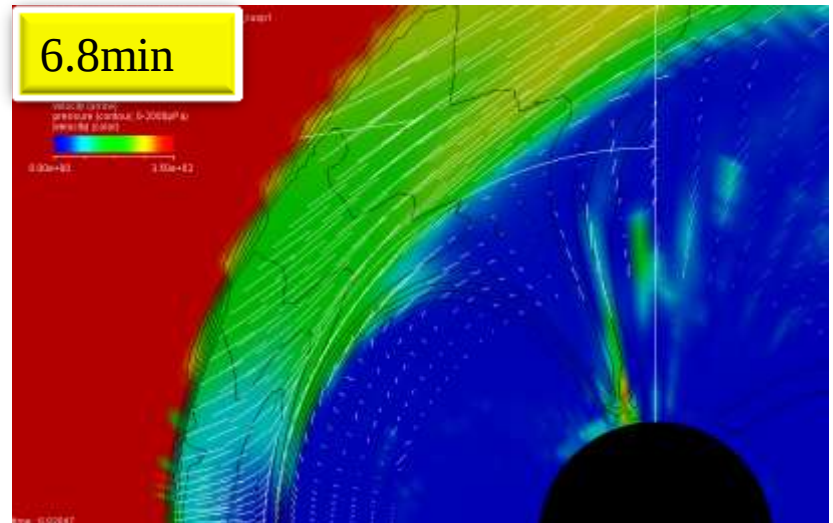
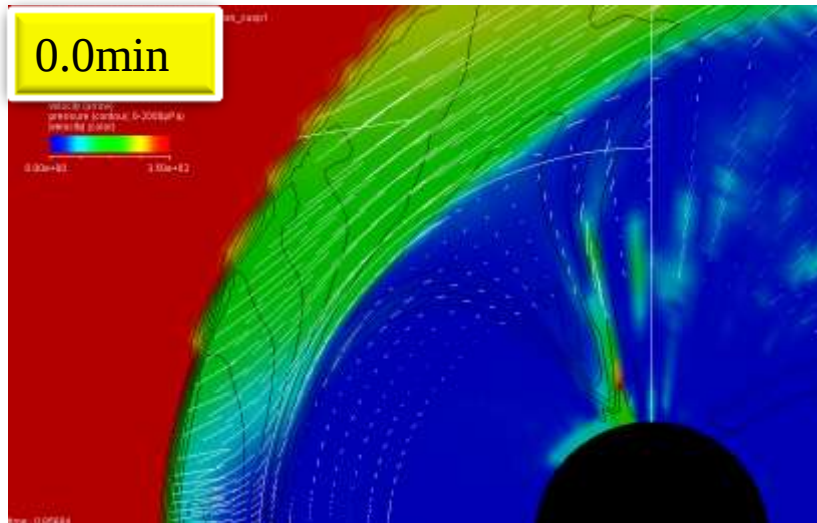
Tanaka [2007]

IMF南転後10分間の変化

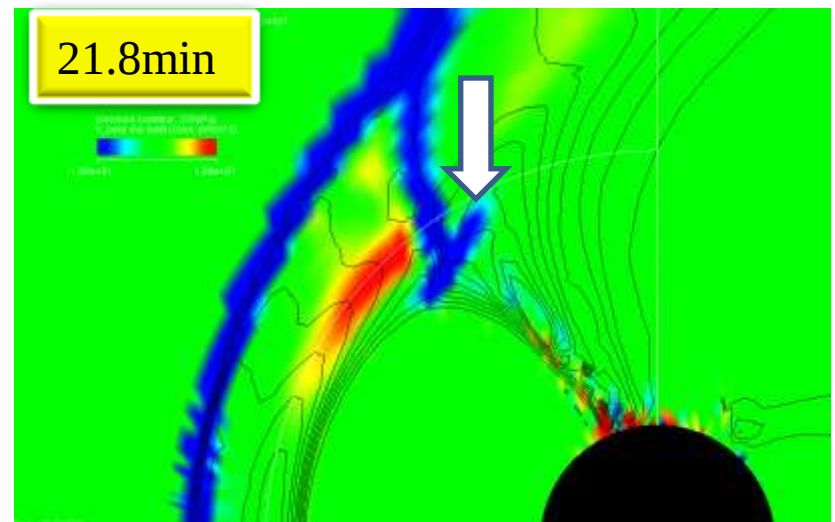
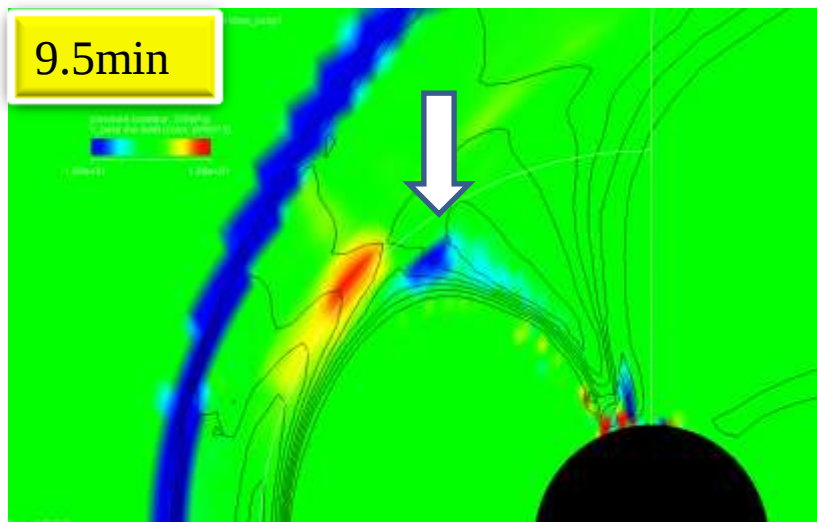
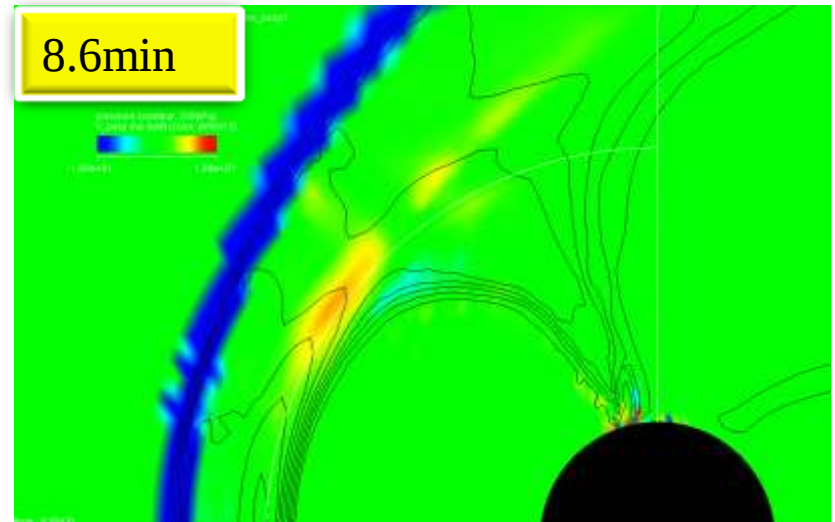
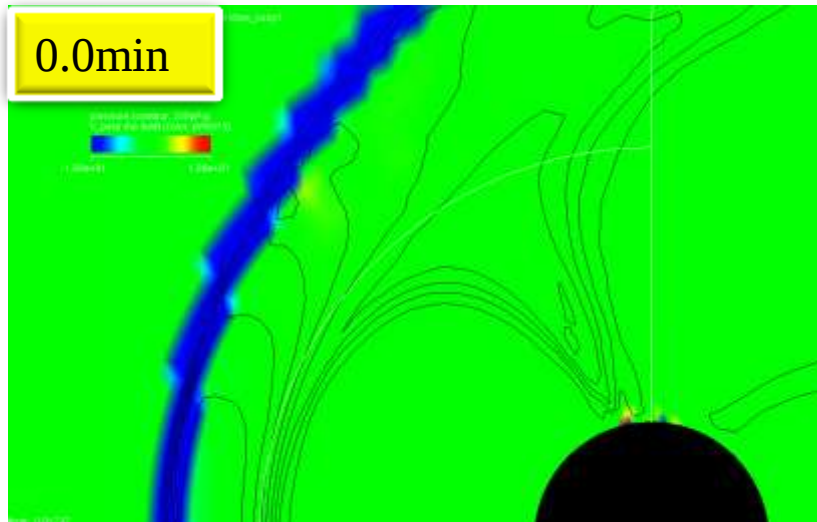
カスプの変化と磁気圏電離圏対流



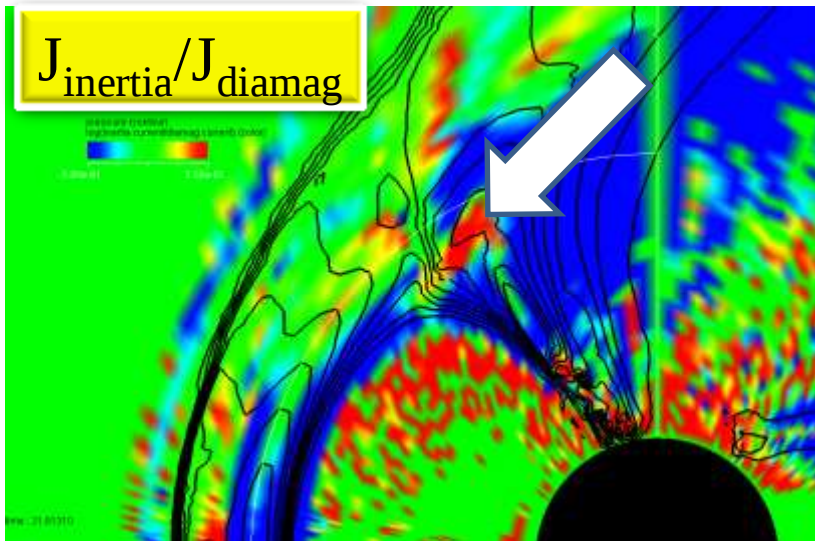
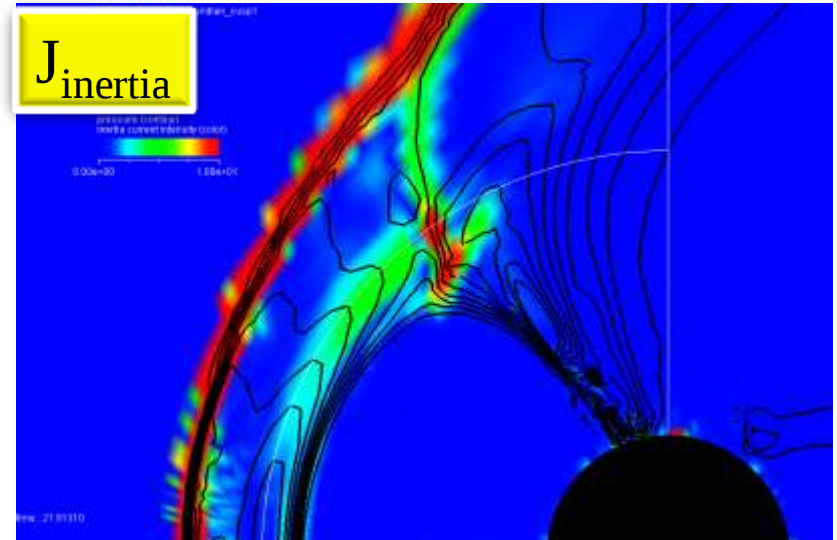
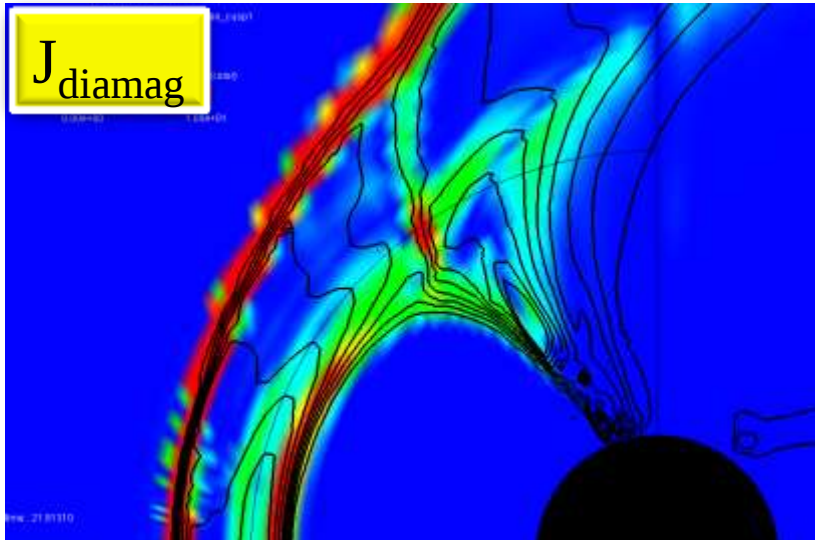
プラズマの流路の変化 マグネトシース→カスプ→磁気圏



カスプ入口でのフローの減速



Properties of currents



- 磁気圏内は圧力勾配電流が優勢である。
- カスプの入り口にフローの減速に伴う慣性電流が現れる。
 - この慣性電流は定常である。磁気圏電離圏システムにおいては定常慣性電流は稀な存在である。
 - この慣性電流はフローの加減速を磁気圏内部に持ち込ませない役割を果たしている。

磁気圏内定常対流の生成過程

以下の過程が同時進行

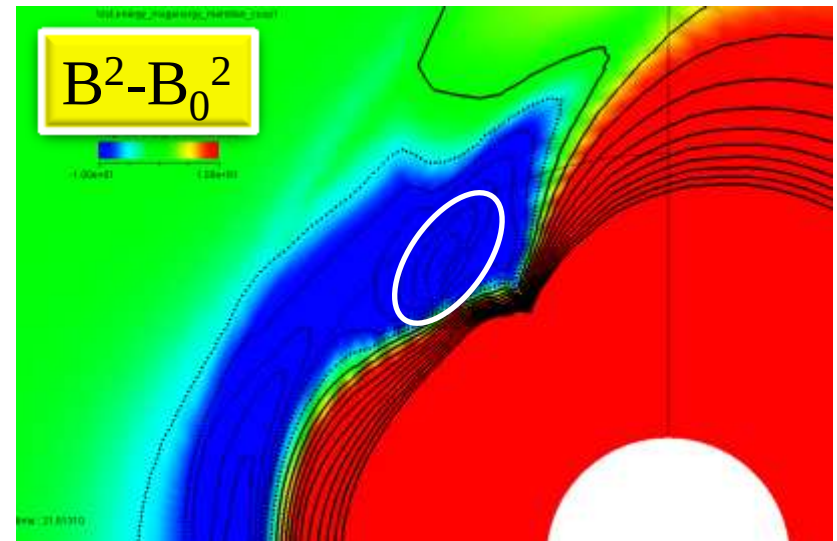
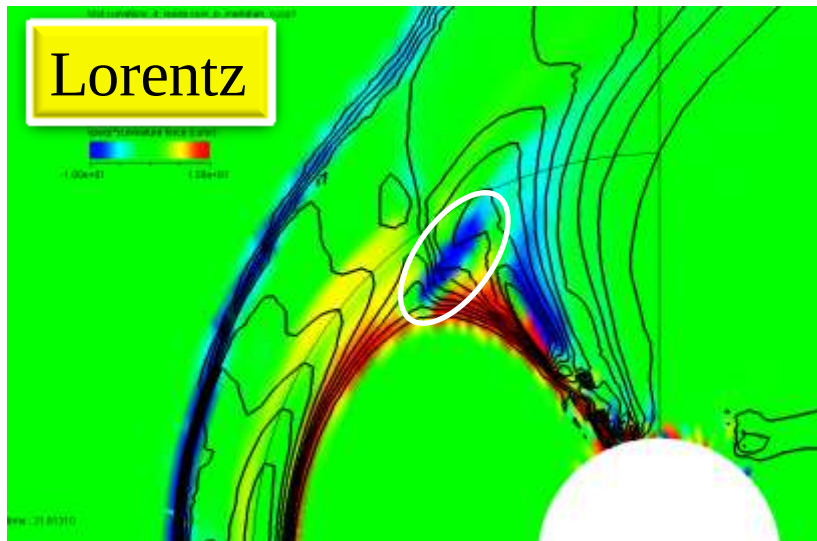
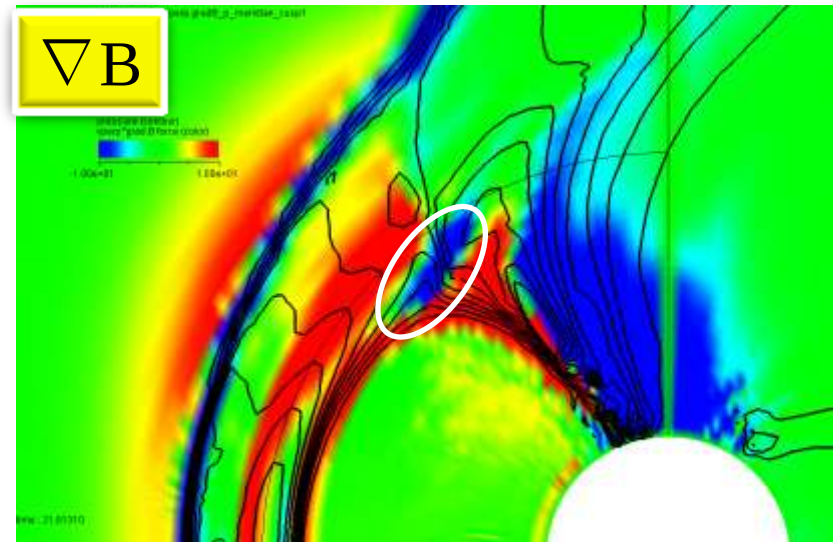
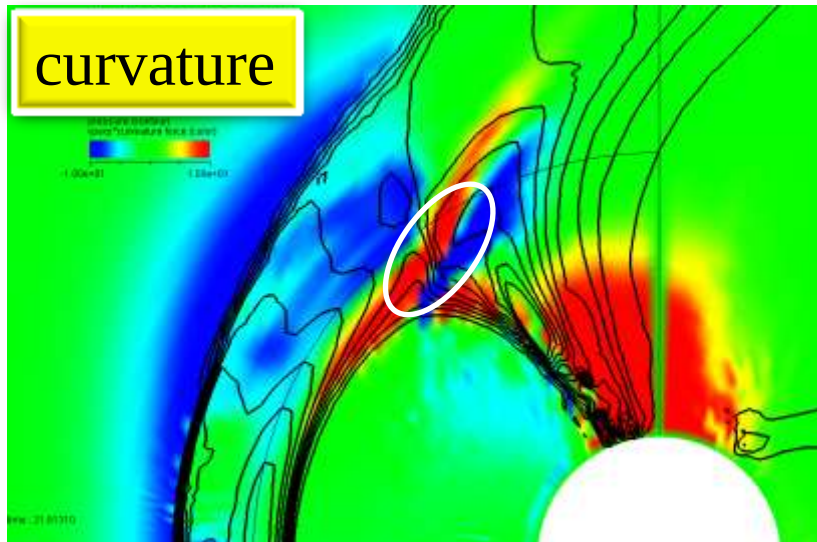
1. IMF南転に伴い、マグネトシースから高圧プラズマがカスプに落ち込む。
2. この時、CPCPはほぼ定常値に近づく（FAC総量も）。また電離圏対流の形も10分程度で2セル対流系に移行する。このことはIMF南転後10分程度で、南IMFに対応した磁気圏電離圏対流がほぼ生成することを示している。
3. 同時に、カスプの低緯度側を通してマグネトシースのフローが直接磁気圏に流入開始する。主に磁力線に沿ってカスプに流入するが、磁気圏では $\nabla V=0$ （シア的）なので、磁力線を横切った流れになる
4. マグネトシースのフローが直接磁気圏に流入する時、カスプ入口で減速されている。
5. 磁気圏では、慣性力が圧力勾配力より十分小さい。即ち、カスプから磁気圏に流入したフローは力学的に定常流とみなせる。

慣性電流の成因

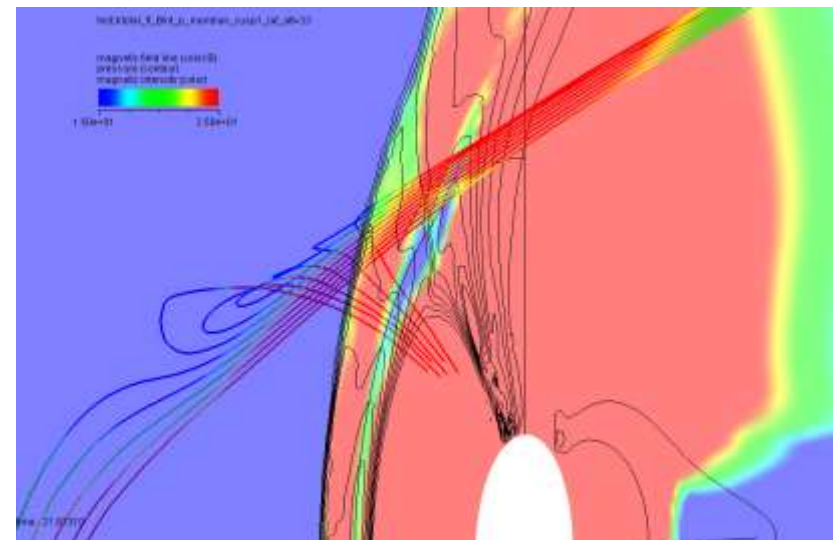
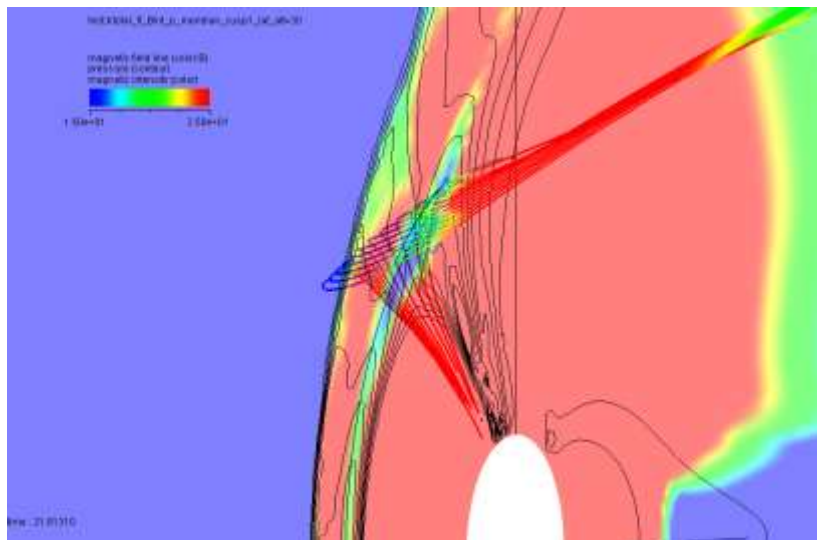
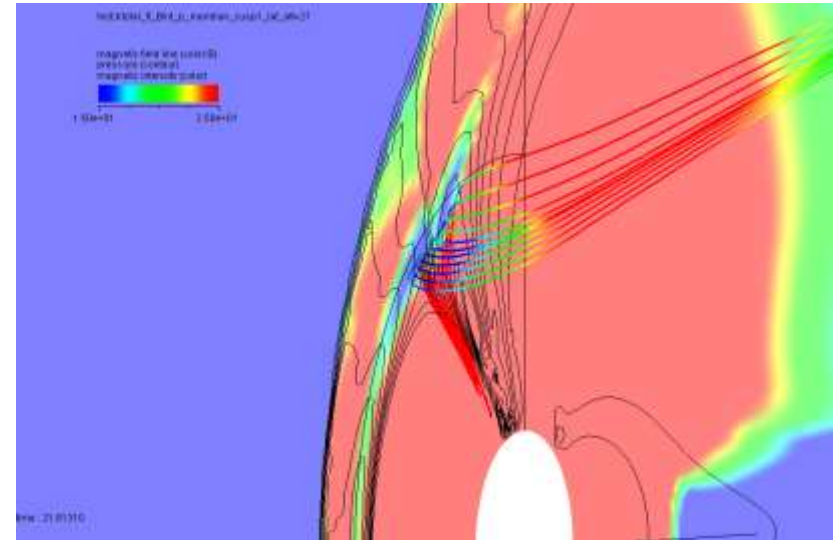
- ローレンツ力を磁力線の曲率（テンション）による力と磁場圧勾配による力に分ける。

$$\vec{V} \bullet \vec{J} \times \vec{B} = \vec{V} \bullet \left(\frac{(\vec{B} \nabla) \vec{B} - (\vec{B}_0 \nabla) \vec{B}_0}{\mu_0} \right)_{\perp} - \vec{V} \bullet \left(\frac{\nabla_{\perp} (\vec{B}^2 - \vec{B}_0^2)}{2\mu_0} \right)$$

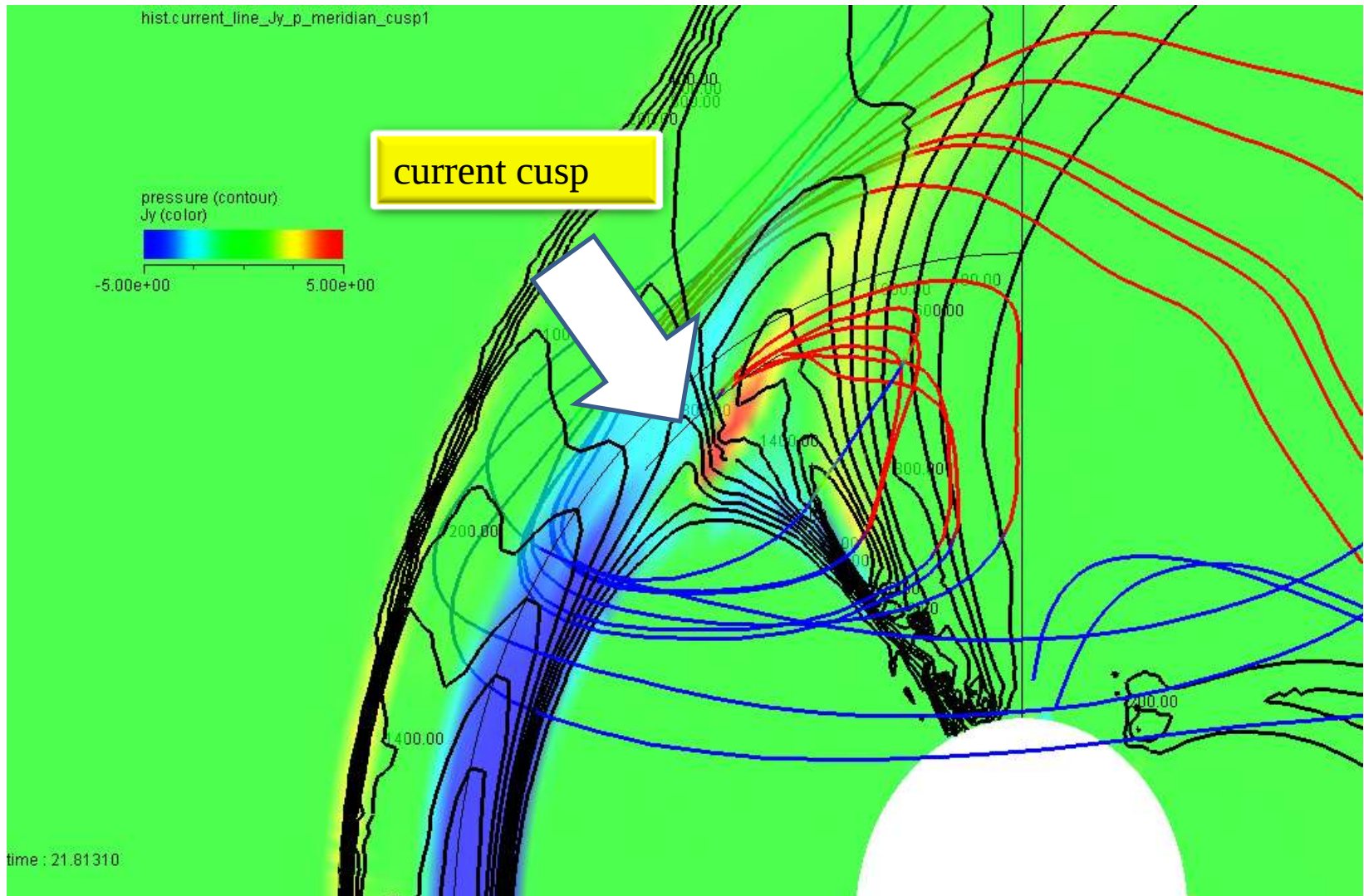
Decomposition of works due to the Lorentz force



Magnetic field lines



Current lines and J_y



- マグネトシース - カスプ - 磁気圏でのプラズマ力学過程



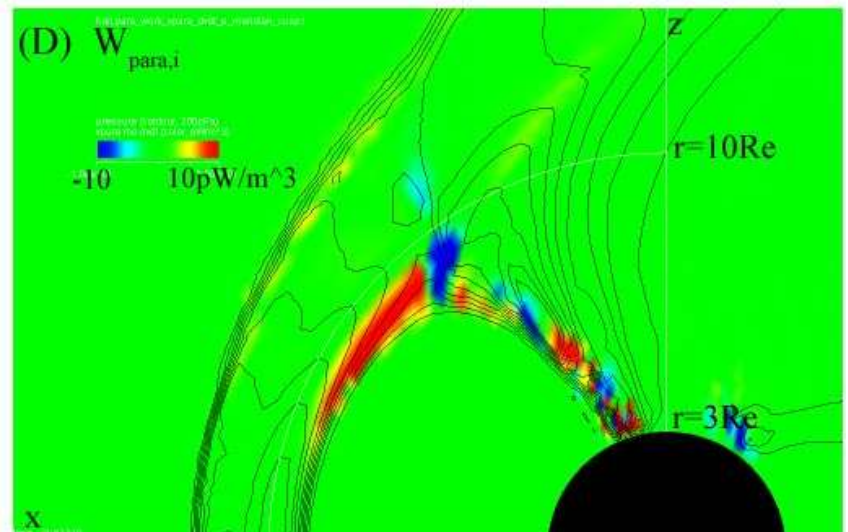
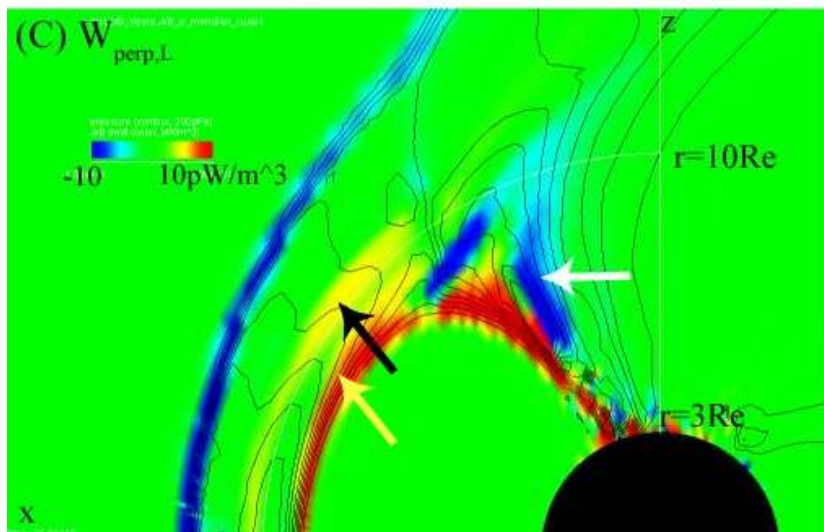
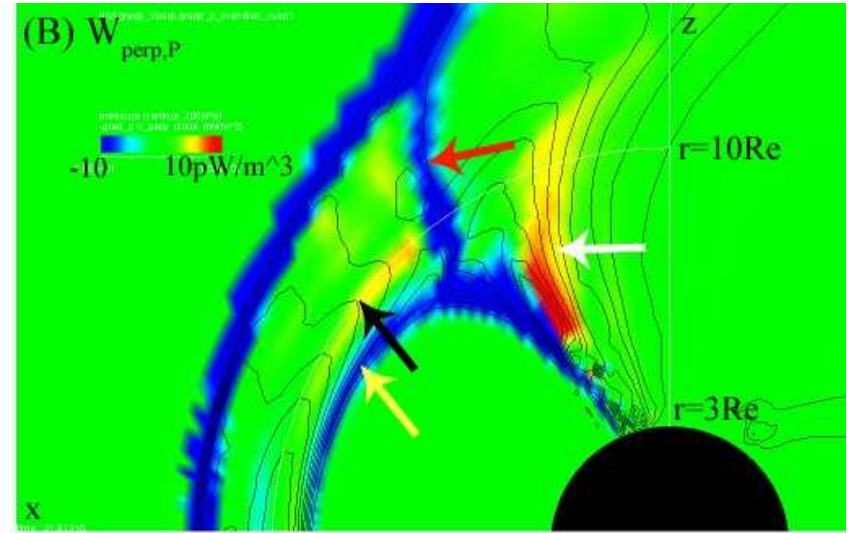
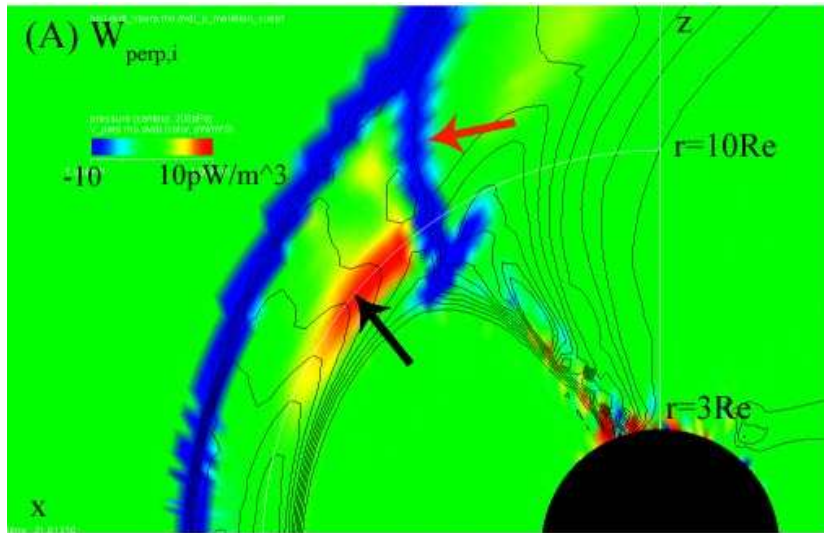
- 三次元磁気圏トポロジー
(null-separator構造)



- 複合系磁気圏電離圏対流モデル

シースとカスプでのカバランス

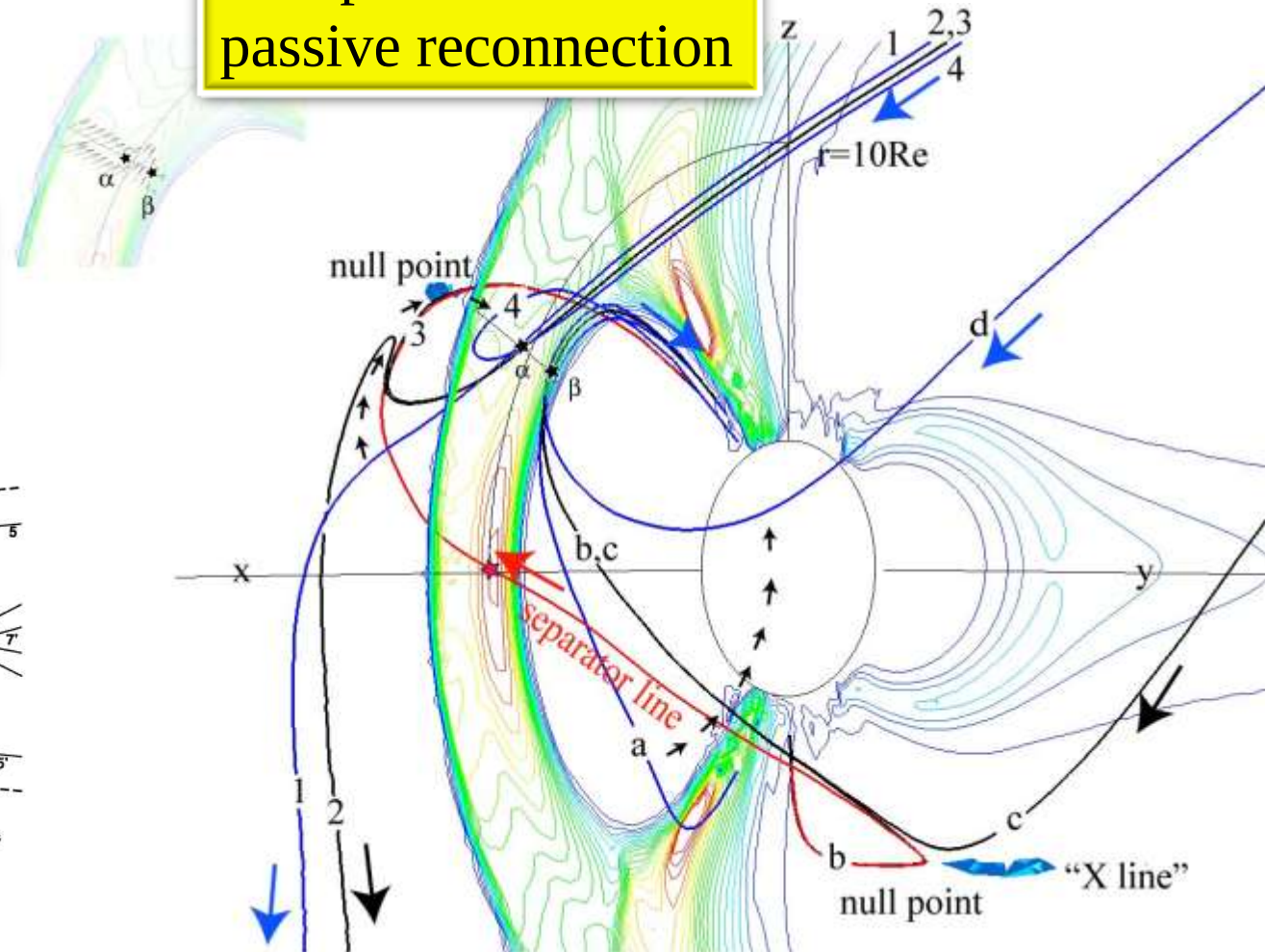
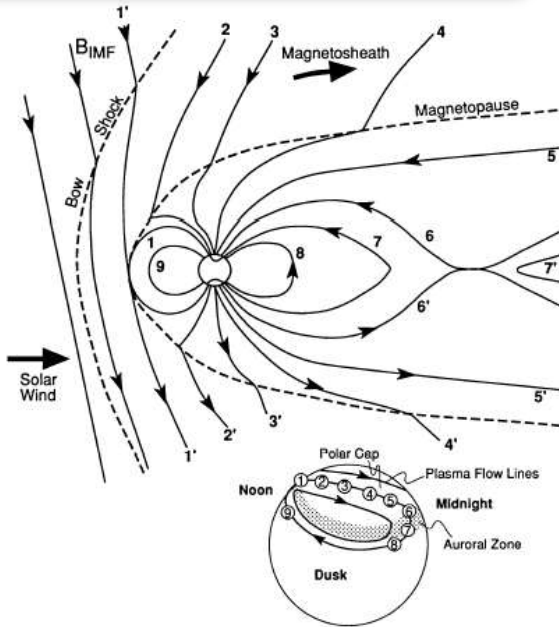
21.8min



Null-separator構造の下での対流生成

Compound model:
passive reconnection

Dungey model:
active reconnection



議論

Dungey対流モデルの刷新：複合系磁気圏電離圏対流モデル構築の道筋

- 太陽風⇒マグネトシース⇒カスプ⇒磁気圏電離圏のエネルギーの流れの理解。
- 三次元トポロジーでの理解が基本。
- 太陽風-磁気圏応答に関するこれまでの研究を磁気圏電離圏複合系のコンテキストで理解しなおす。
- 極端太陽風条件、他の惑星磁気圏の条件への拡張

磁気圏電離圏対流の正しい理解のない磁気圏電離圏物理学は、廃棄物処理方法がない原子力発電と同じ⇒行き詰る。

結論

- 複合系磁気圏電離圏対流を駆動するマグネトシースーカスプ域のダイナミックス
 - マグネトシースから磁気圏へのプラズマフロー流入
⇒カスプ入口でシースフローが減速され、磁気圏内ではほぼ定常流（慣性力は圧力勾配力より十分小さい）になる。
 - カスプ入口でのフロー減速のメカニズム⇒磁力線に沿った圧力勾配と磁力線垂直方向の磁場圧勾配（+磁力線曲率の効果は小さい）。
- Dungeyモデルに代わる、3次元null-separator構造の下での複合系磁気圏電離圏対流モデルの提唱：active reconnection $\Leftrightarrow$ passive reconnection

おしまい