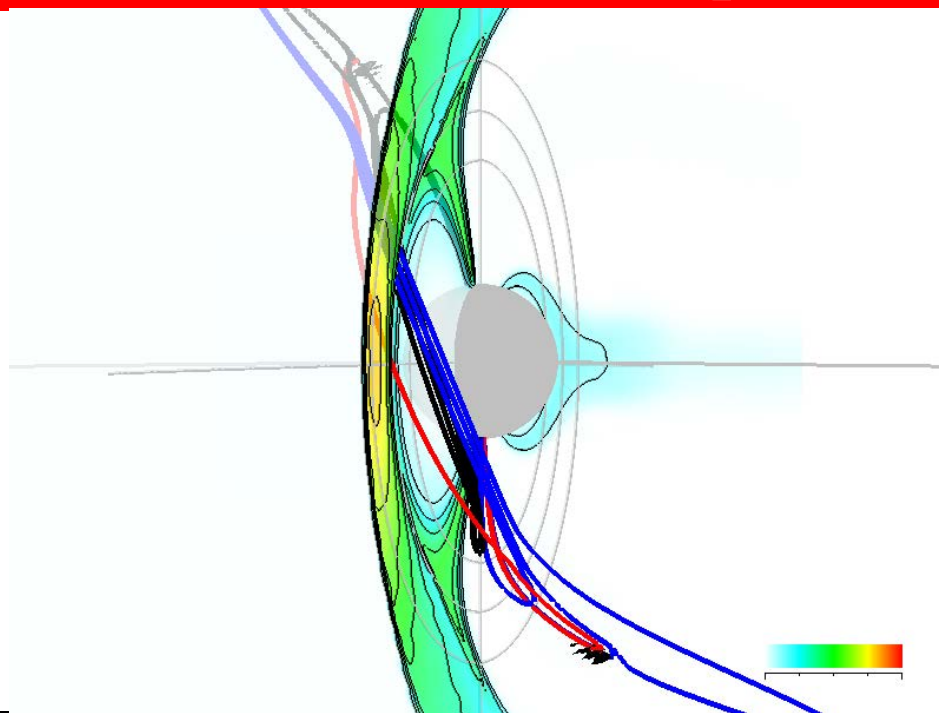


Simulation study of the driving mechanism of the magnetosphere-ionosphere convection in the northward IMF condition (preliminary report)

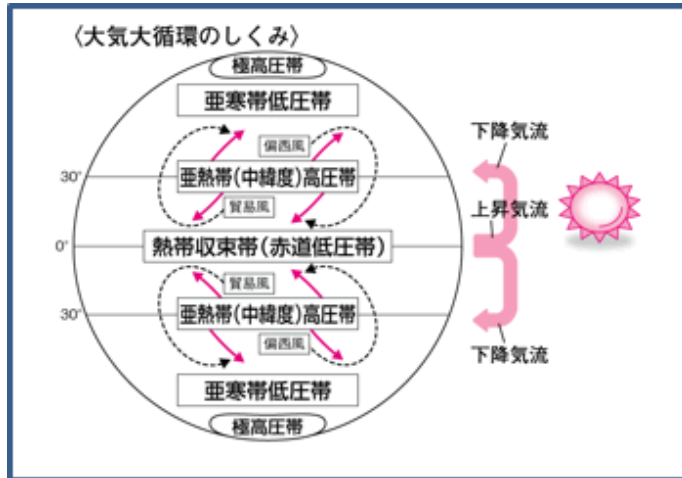


9/11 SuperDARN研究会 @NICT

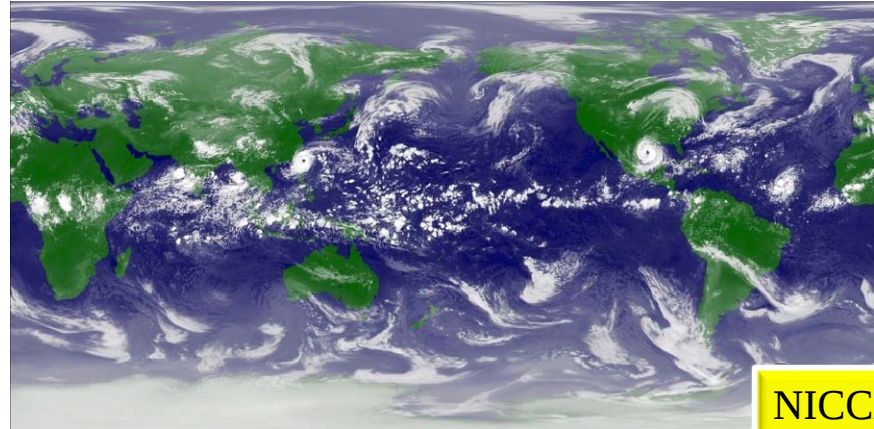
S. Fujita, Meteorological College and National Institute of Polar Research

T. Tanaka and M. Watanabe, Kyushu Univ.

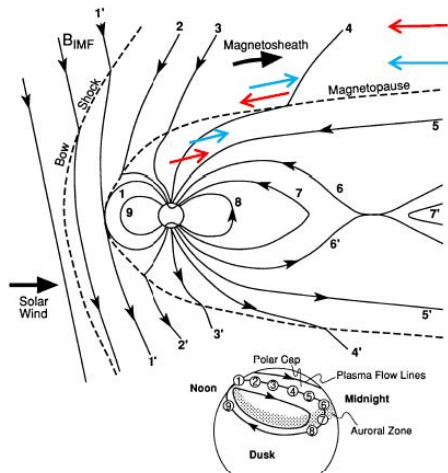
大気大循環研究と同等の磁気圏電離圏対流理解を目指して



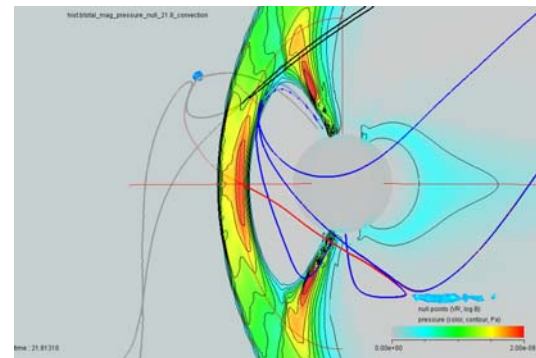
consistent



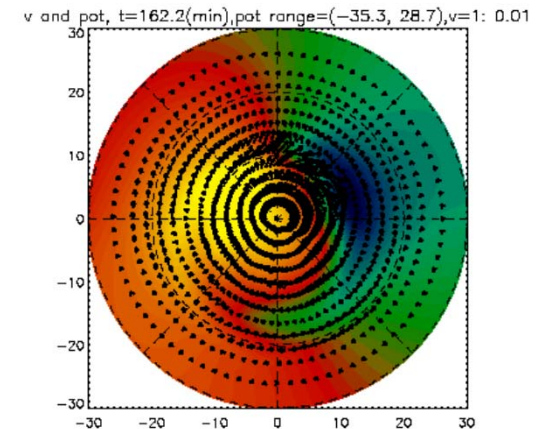
NICCAM
東大大気海洋圏



inconsistent



(南IMF条件)



Hughes [1995]

今日の話

- Pre-simulation時代の磁気圏電離圏対流生成研究
- 南IMF下での太陽風から磁気圏電離圏対流へのエネルギー流のまとめ
- 北IMF下での太陽風から磁気圏電離圏対流へのエネルギー流 (preliminary)

Pre-simulation時代の対流生成機構 南向きIMF条件

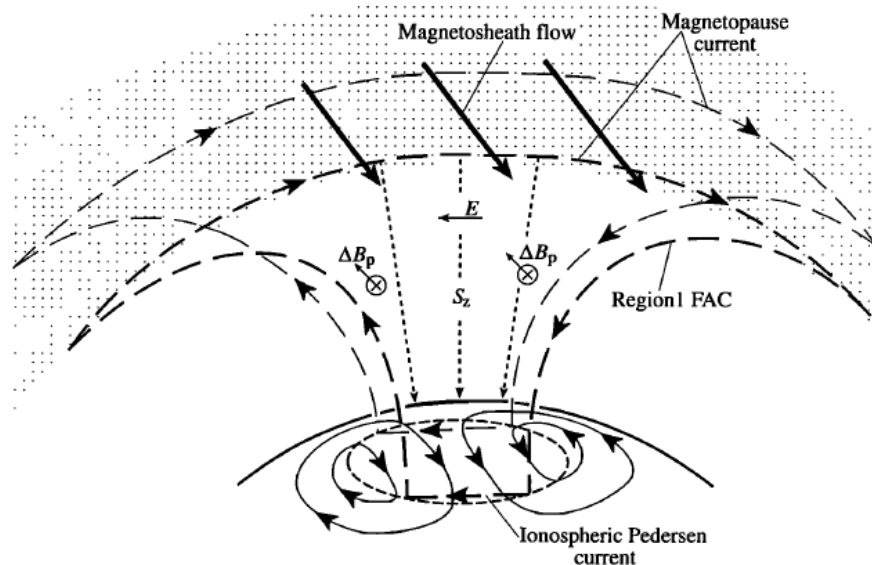
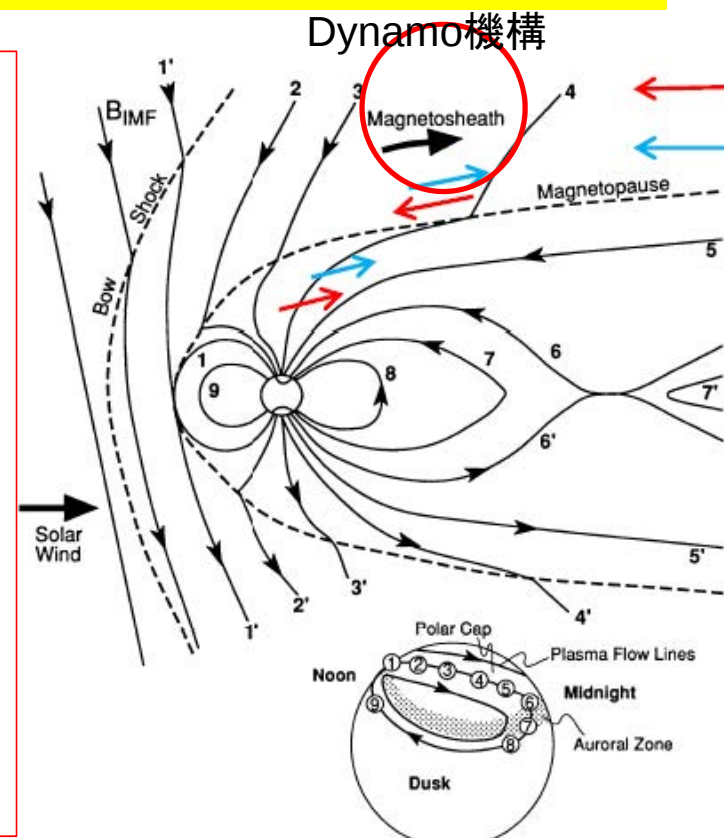


Figure 2. Sketch of the polar cap current circuit (long dashed lines), in which the dawn-to-dusk Pedersen current in the ionosphere closes in the magnetopause current via Region 1 FAC flowing on the outer surface of the plasma sheet. The current circuit produces sunward-directed perturbation magnetic fields ΔB_p in the polar region (in the northern hemisphere), which, combined with the dawn-to-dusk electric field E associated with the flow, produces a net downward Poynting flux S_z of electromagnetic energy into the ionosphere (short-dashed lines).

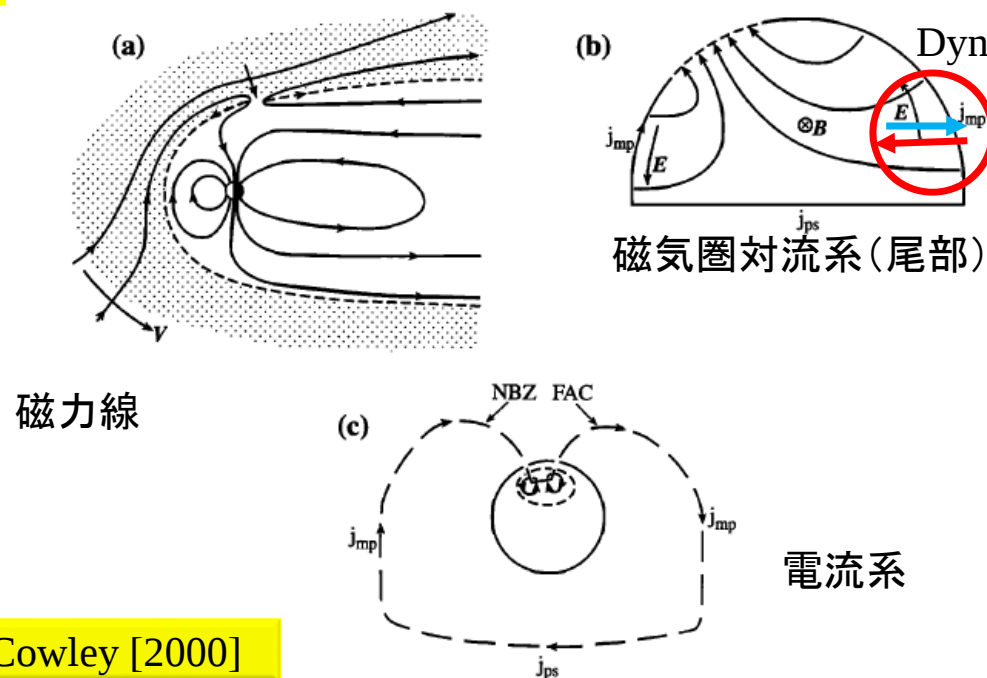
Cowley [2000]

- R1FACを介した磁気圏電離圏対流。さうと定性的には観測された電離圏対流と辻褄があう。
- R1FACのダイナモ領域が正しく理解されていない。
- 力学過程が自己無撞着に再現されていない。



Hughes [1995]

Pre-simulation時代の対流生成機構 北向きIMF条件



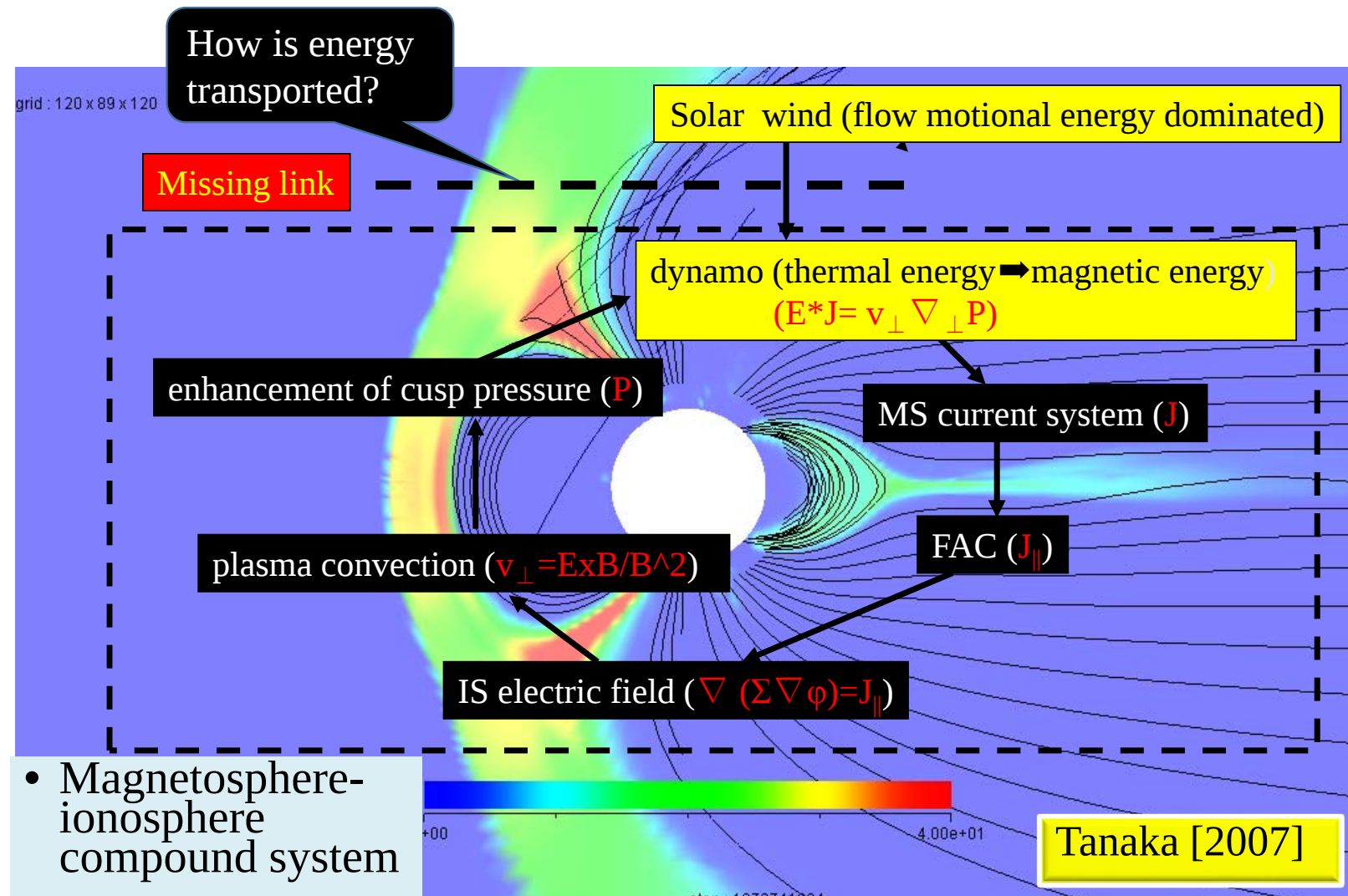
Cowley [2000]

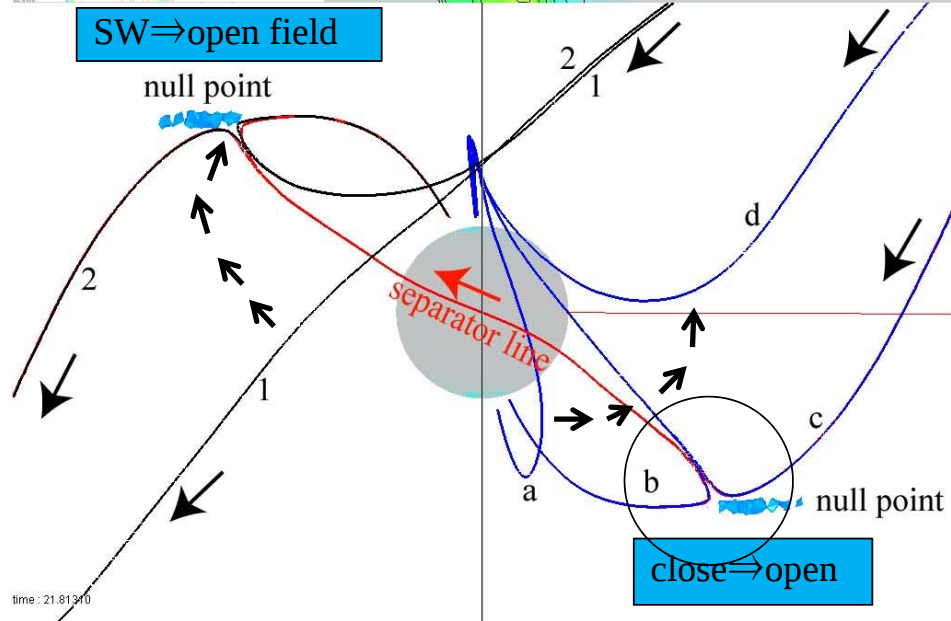
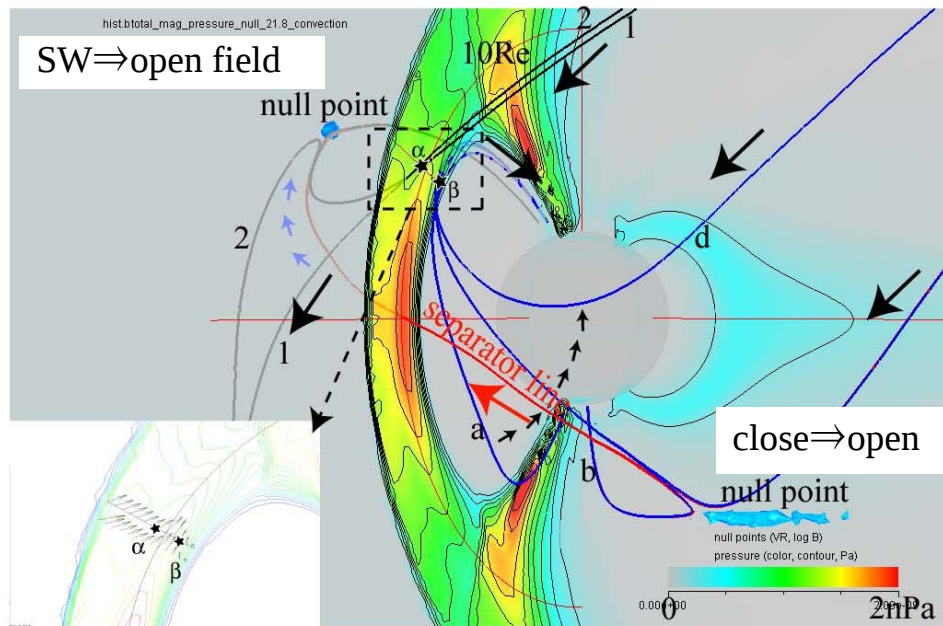
Figure 7. Sketches showing the fields and flows associated with single-lobe reconnection for an IMF with positive Z, positive Y, and negative X components. In sketch (a) reconnection in the northern lobe produces "new" open field lines draped over the dayside (without changing the amount of open flux), which are subsequently swept into the tail by the magnetosheath flow (preferentially on the dawn side in this case). Sketch (b) shows a cross-section through the northern tail looking towards the Earth, showing the flow of open flux from the sides of the tail (preferentially the dawn side) to the duskside lobe magnetopause reconnection site. The current flows clockwise around the northern lobe. Sketch (c) shows the "NBZ" FACs which flow into and out of the central regions of the "reversed" polar cap vortices, and which close through the flank magnetopause and plasma sheet.

- NBZ電流を介した磁気圏電離圏対流。定性的には観測された電離圏対流と辻褄があう。
- NBZ電流のダイナモ領域が正しいか不明。
- 力学過程が自己無撞着に考察されていない。

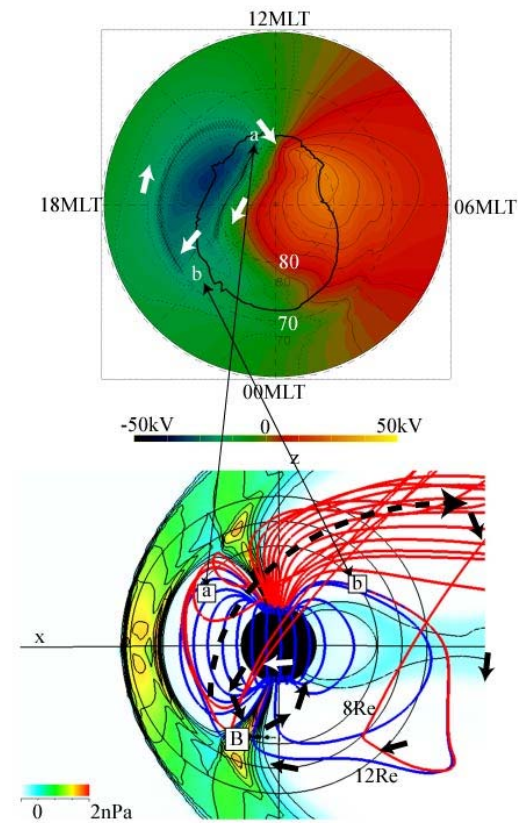
南IMF下での太陽風から磁気圏電離圏対流へのエネルギー流のまとめ

A driver of the M-I coupling convection





シミュレーション
で得られた磁気圏
対流と電離圏対流



南IMF下での太陽風から磁気圏電離圏対流へのエネルギー流のまとめ

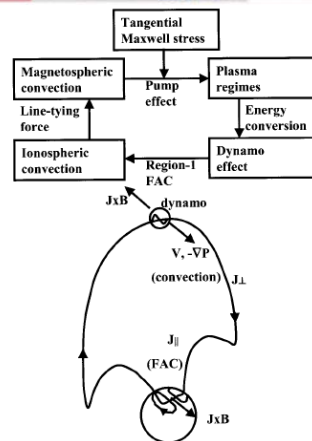
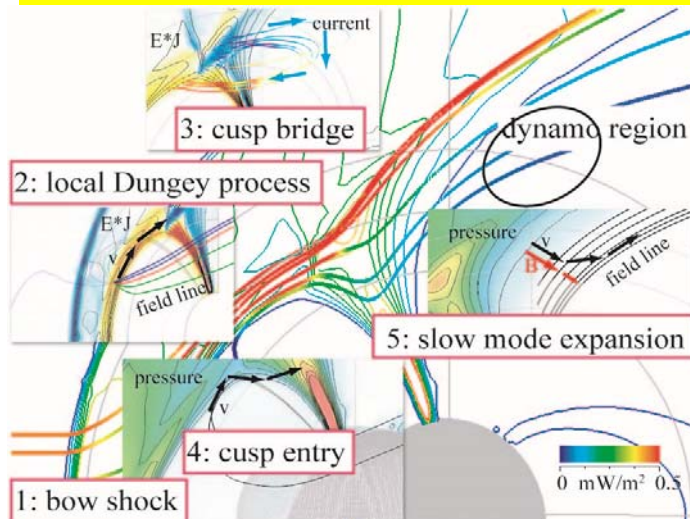
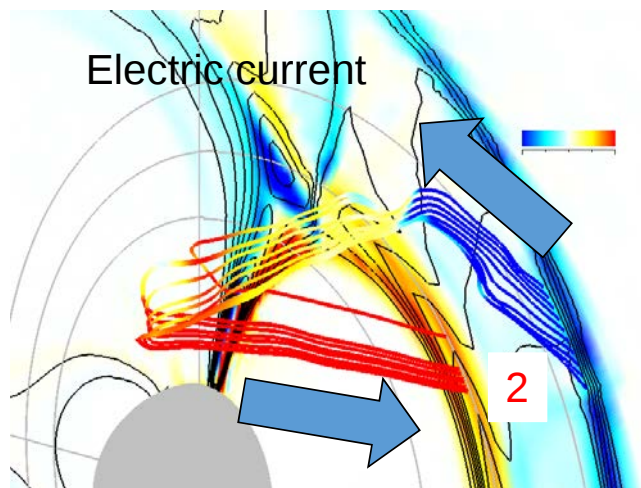
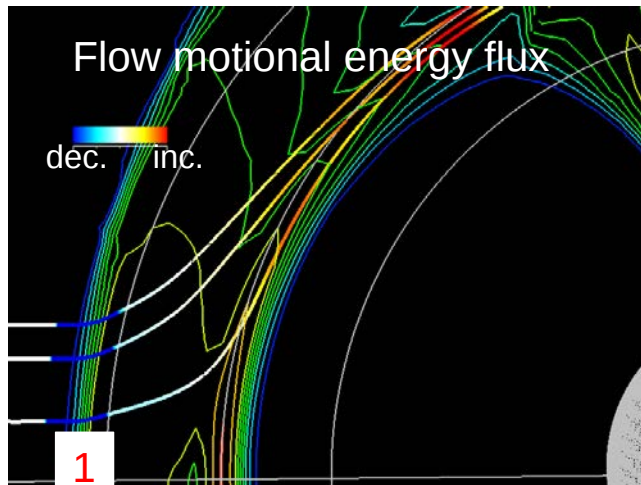


Figure 9. Schematic illustration of the M-I connection.

- 太陽風の運動エネルギーが輸送され、dynamo領域の熱エネルギーに変換する。
- 太陽風運動エネルギーはR1FAC dynamo領域に直接輸送されない。

- I. Bow shock
 - II. local Dungey process
 - III. cusp bridge
 - IV. cusp entry
 - V. slow mode expansion
- ⇒ Magnetosphere-ionosphere compound system

Bow shock

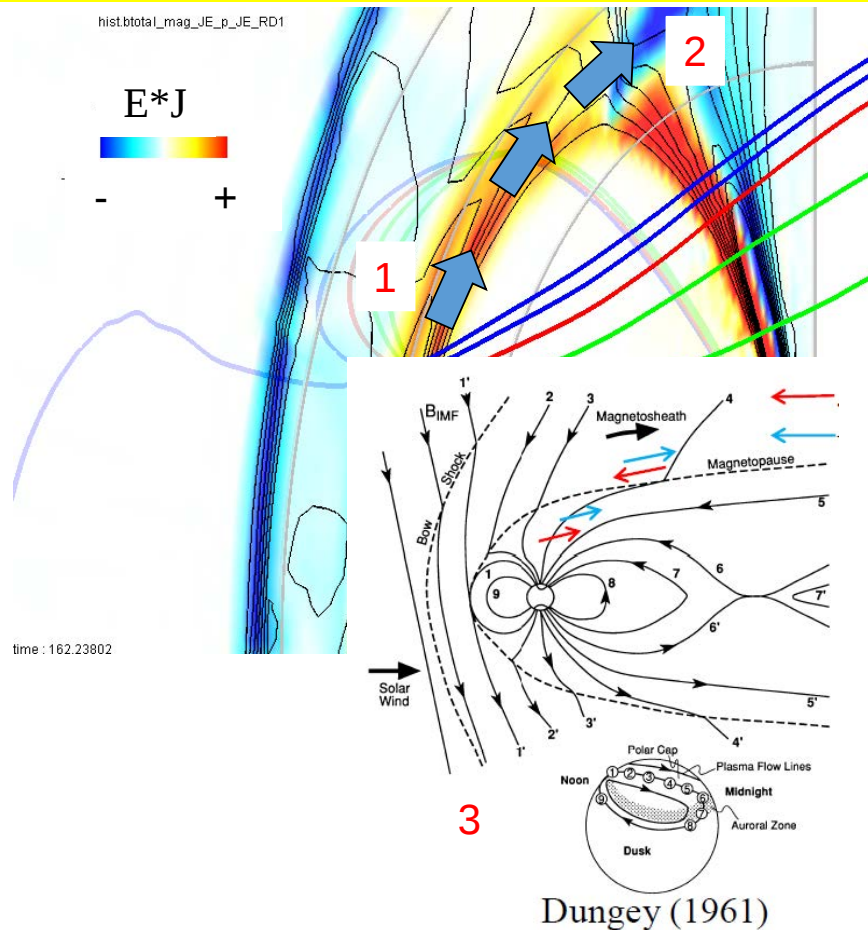


1. The flow motional energy in the solar wind is converted to the thermal energy in the bow shock.
2. The magnetic energy generated in the bow shock is deposited in the open field line region.

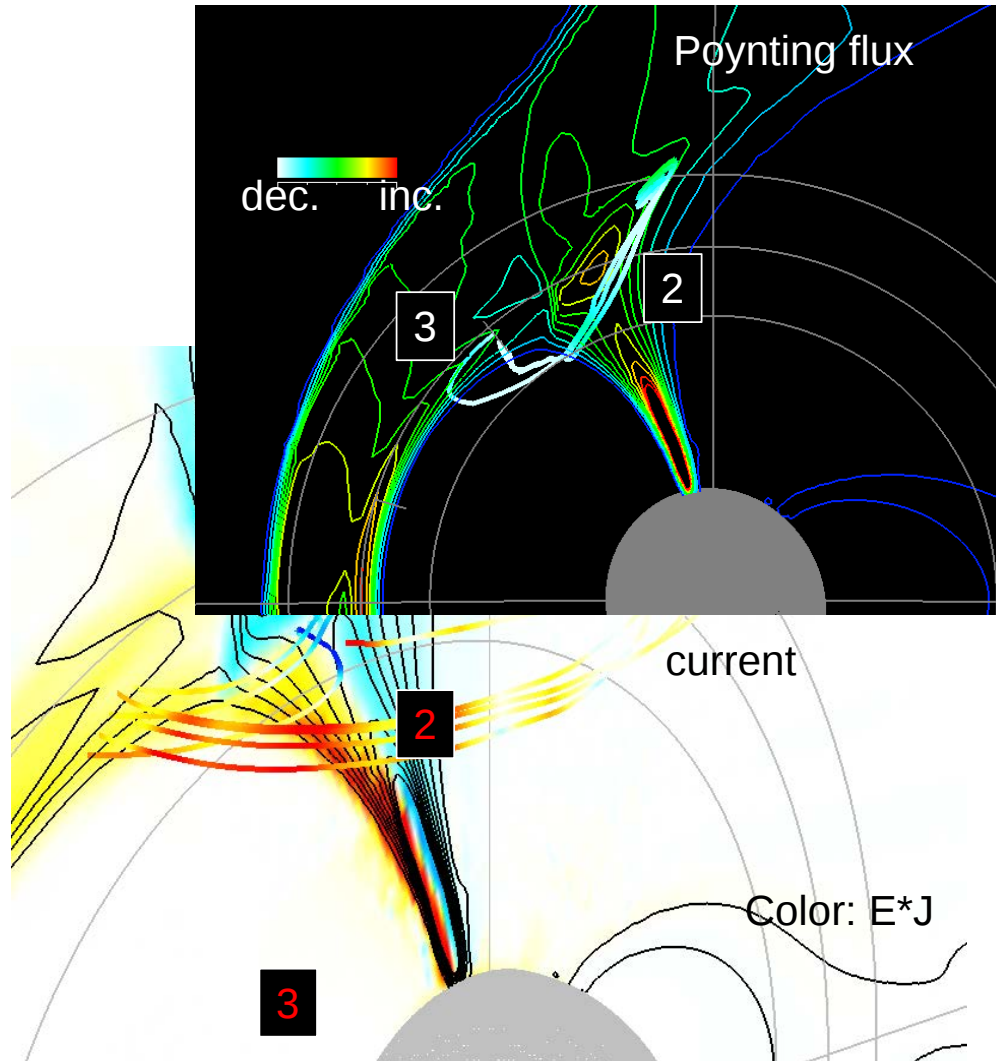
$$\vec{E} \cdot \vec{J} \cong -\nabla \cdot (\phi \vec{J})$$

(Siebert and Siscoe, 2002)

local Dungey process



1. Plasma acceleration by magnetic tension force associated with the parallel reconnection in the null-separator structure
2. Dynamo generation in the upper boundary of the cusp associated with deceleration of plasmas
3. These two processes are similar to the classical convection driver suggested by Dungey(1961)



cusp bridge

1. The mechanical energy flow from the solar wind does not arrive at the dynamo region of the R1FAC. The mechanical energy flow from the magnetosphere passes the cusp and arrives at the dynamo region.
2. The Poynting flux connects two energy flows. This Poynting flux is related to formation of the cusp.
3. The magnetic energy transported to the cusp entry region is converted to the thermal energy.

南IMF下での太陽風から磁気圏電離圏対流へのエネルギー流のまとめ

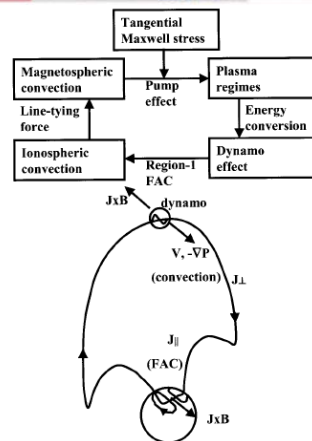
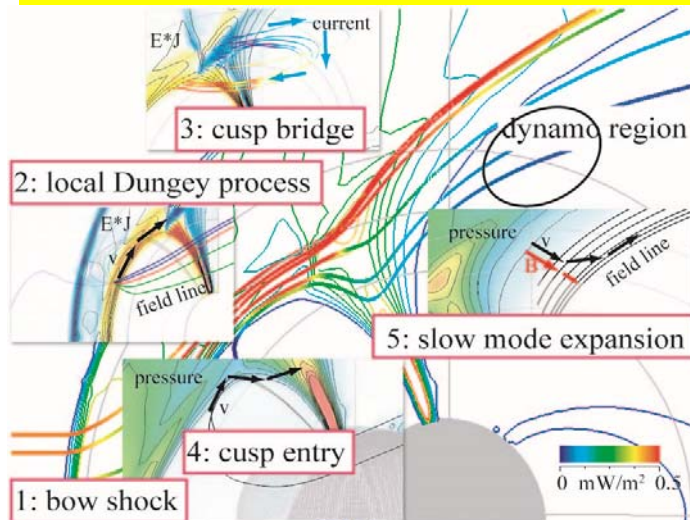


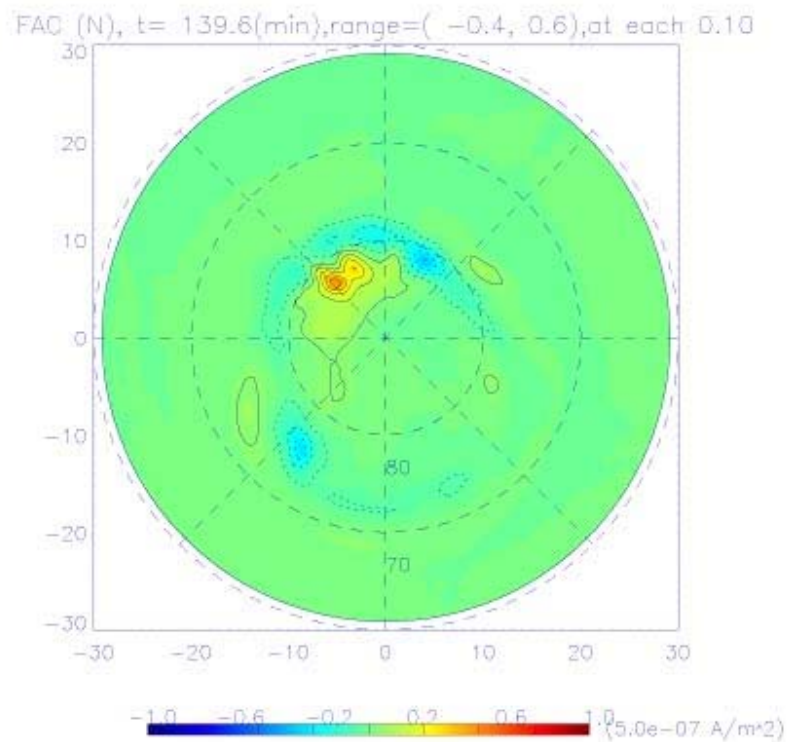
Figure 7. Schematic illustration of the M-I convection.

- I. Bow shock
 - II. local Dungey process
 - III. cusp bridge
 - IV. cusp entry
 - V. slow mode expansion
- ⇒ Magnetosphere-ionosphere compound system

北IMF下での太陽風から磁気圏電離圏対流へのエネルギー流 (preliminary)

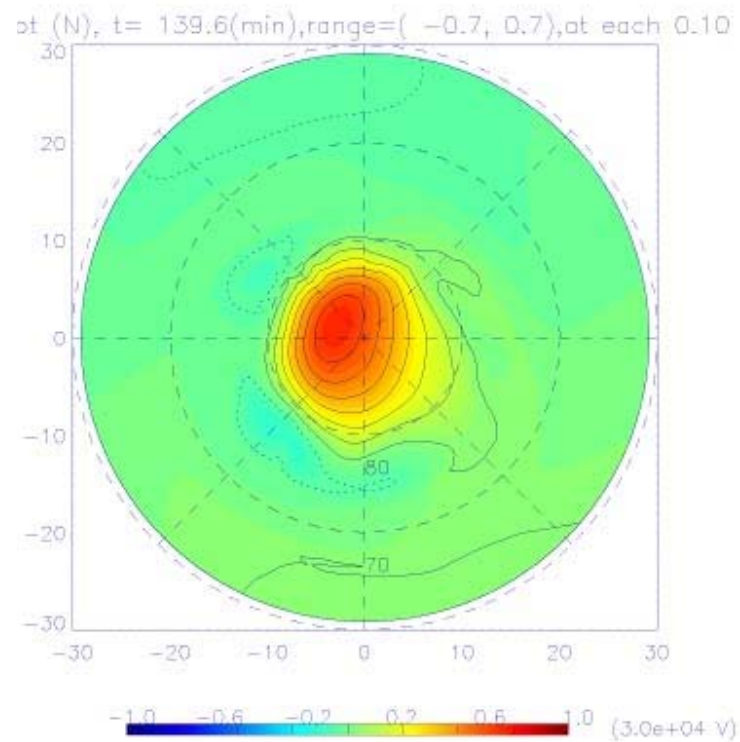
- 北向きIMFの場合の磁気圏電離圏対流系を支配する電流系は何か？
- その電流系のダイナモ領域と太陽風を結ぶエネルギー回路の同定
- (エネルギー変換の解明) ←今後の問題

電離圏FAC分布とポテンシャル分布 電離圏対流を支配しているのはNBZ電流



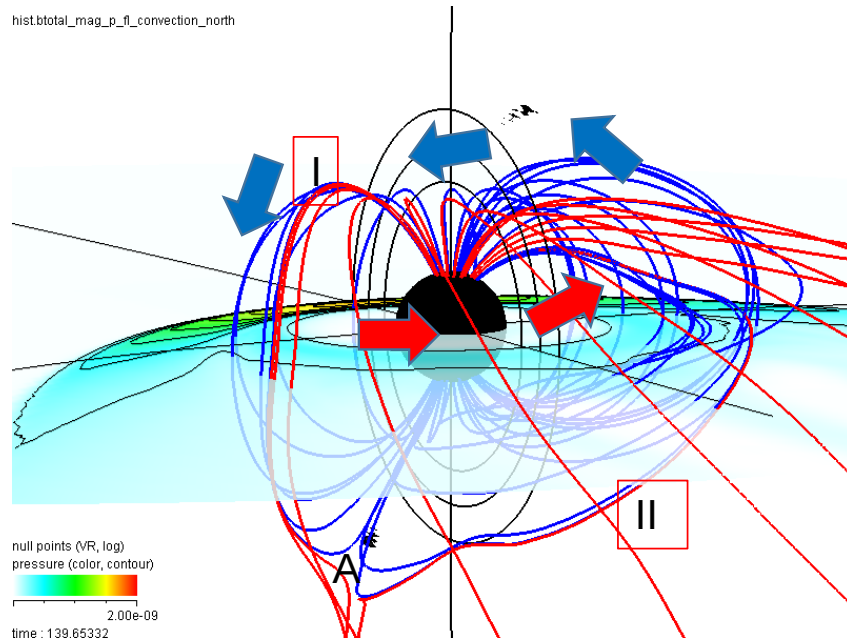
電離圏FAC

$B_z = 4.3 \text{ nT}$
 $B_y = -4.3 \text{ nT}$

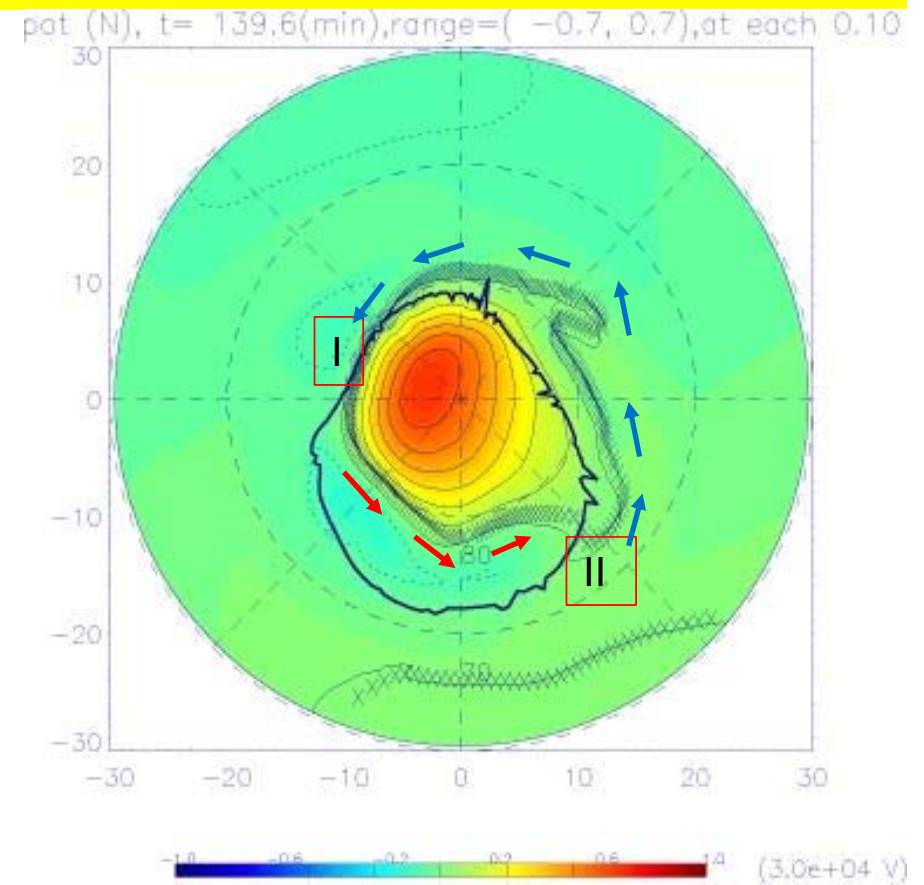


電離圏ポテンシャル

北IMFでの磁気圏電離圏対流 ($B_y < 0$)

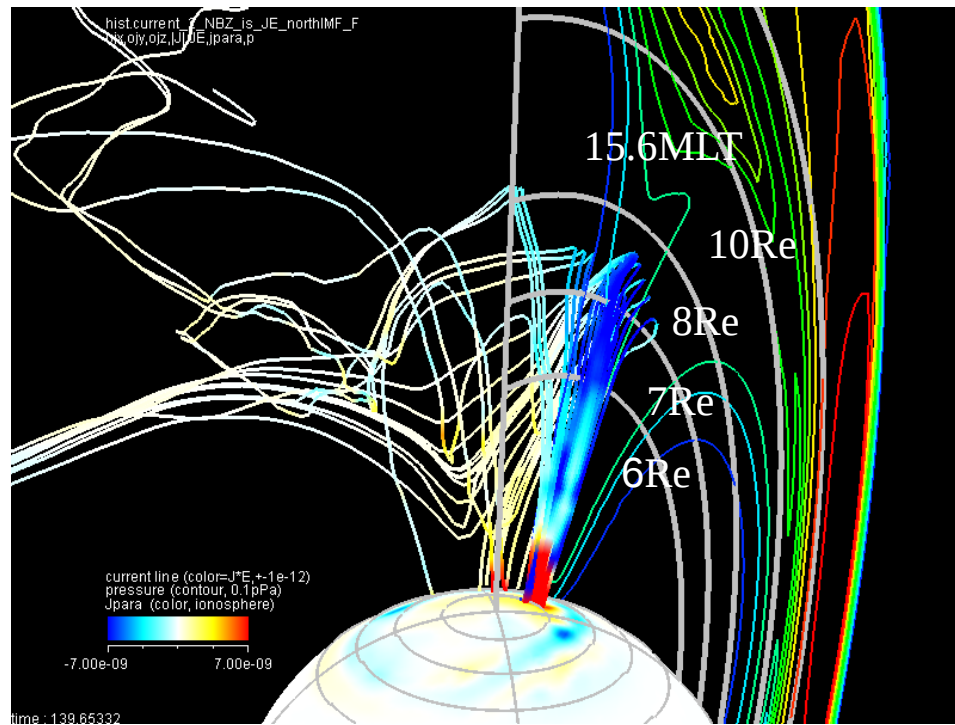


磁気圏対流

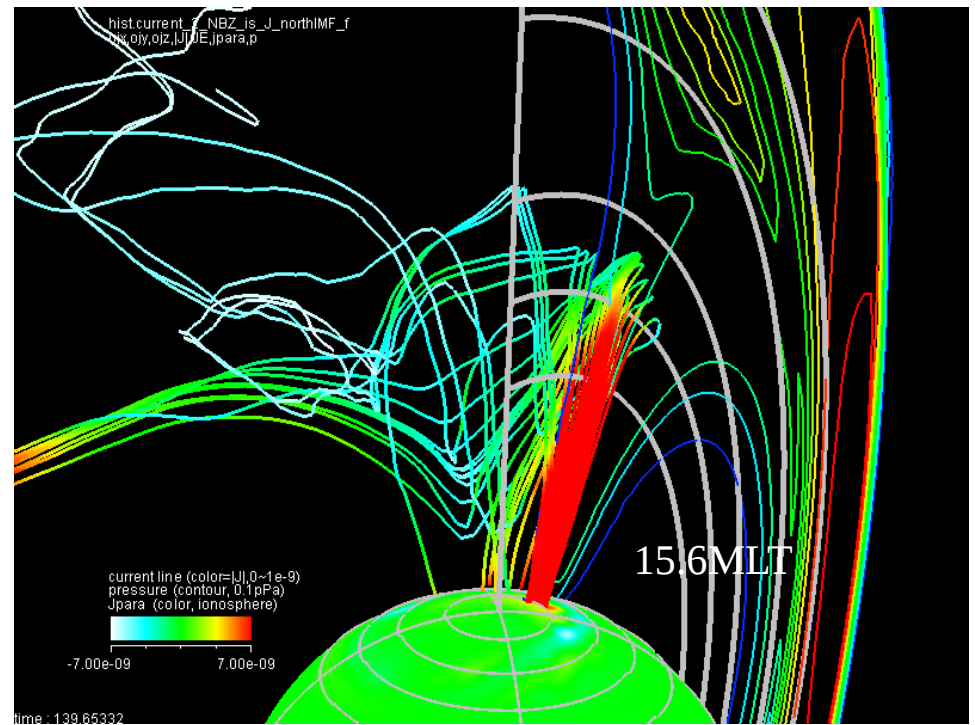


電離圏対流

NBZ電流とダイナモ

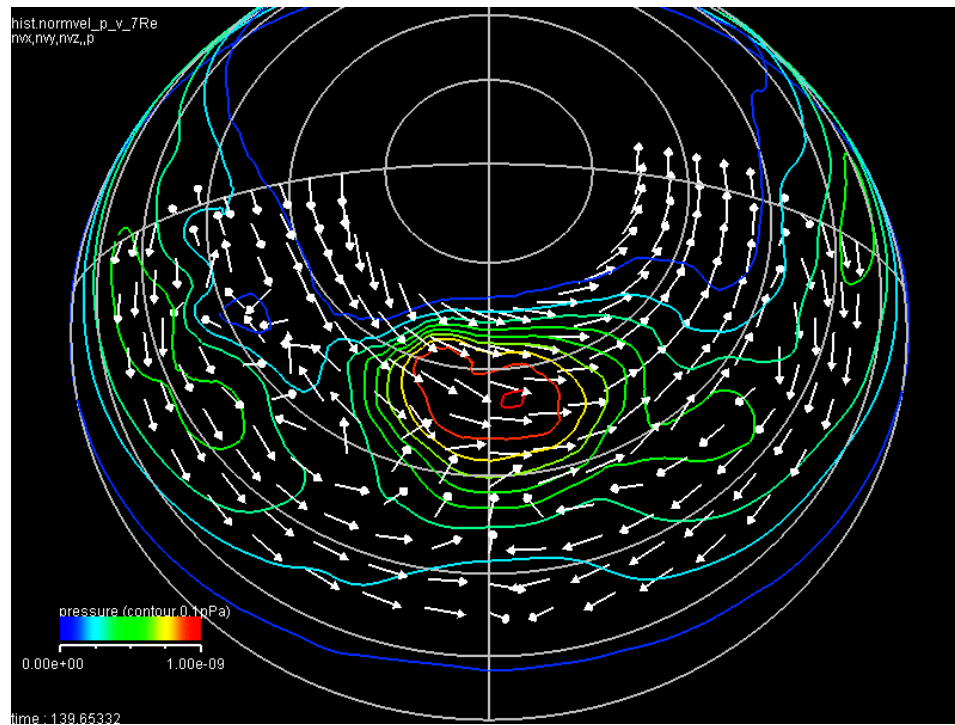


NBZ電流 (色は $J \cdot E$)

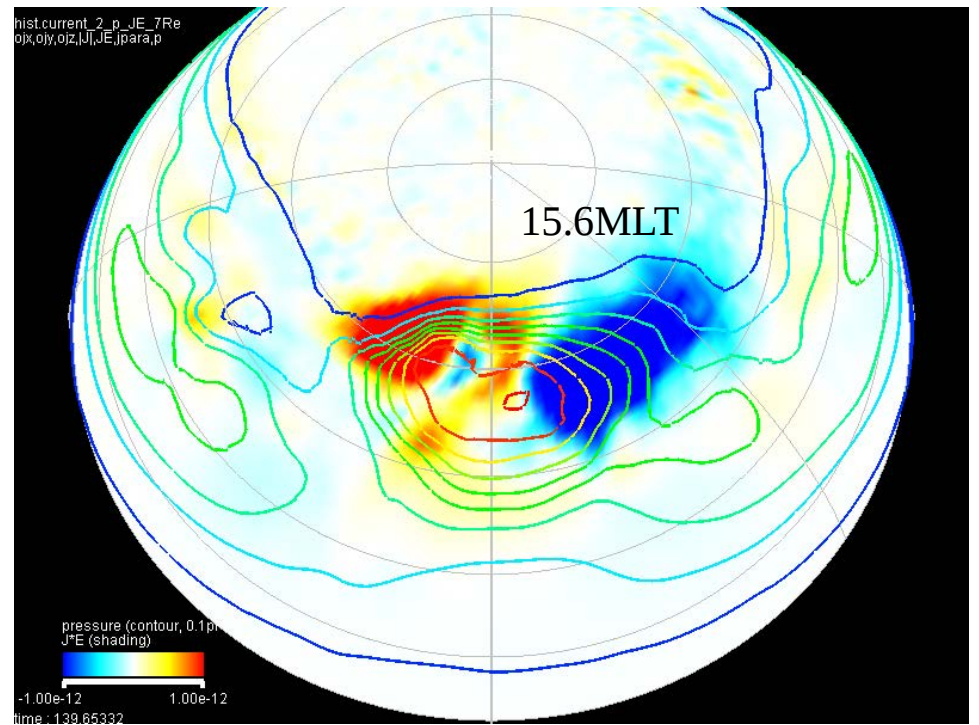


NBZ電流 (色は電流強度)

7Reの球殻上でのJ*E

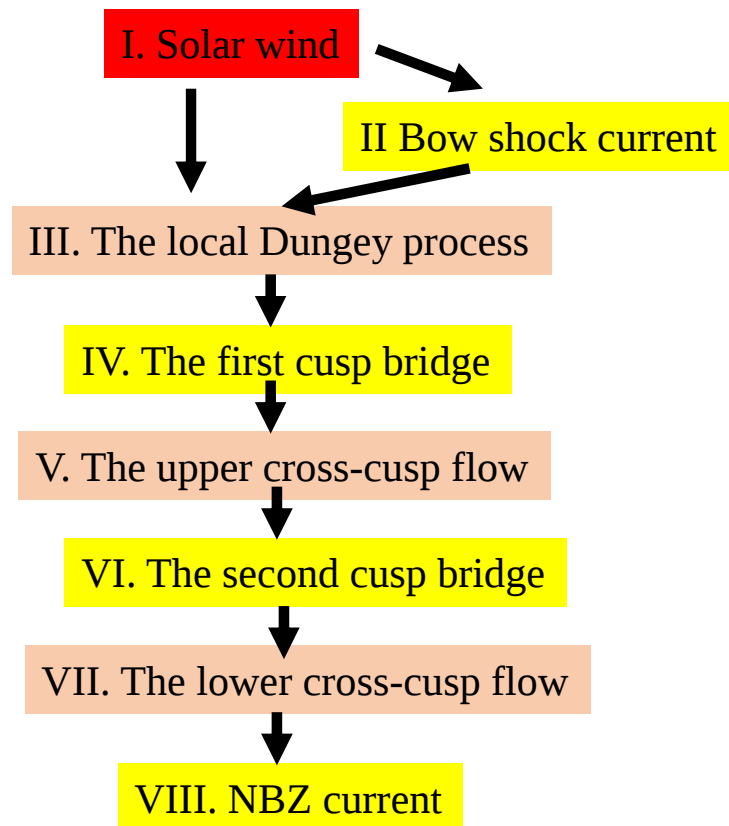


7Reの対流と圧力



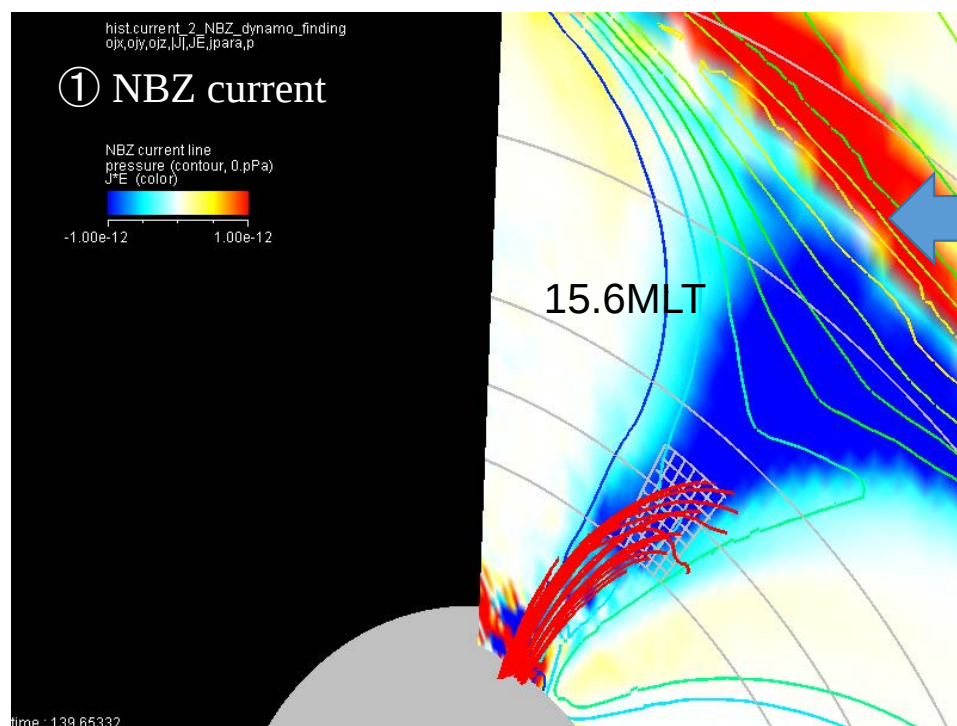
7Reの圧力とE*J

北向きIMF下での太陽風エネルギー輸送経路のトレース ($B_y \neq 0$)

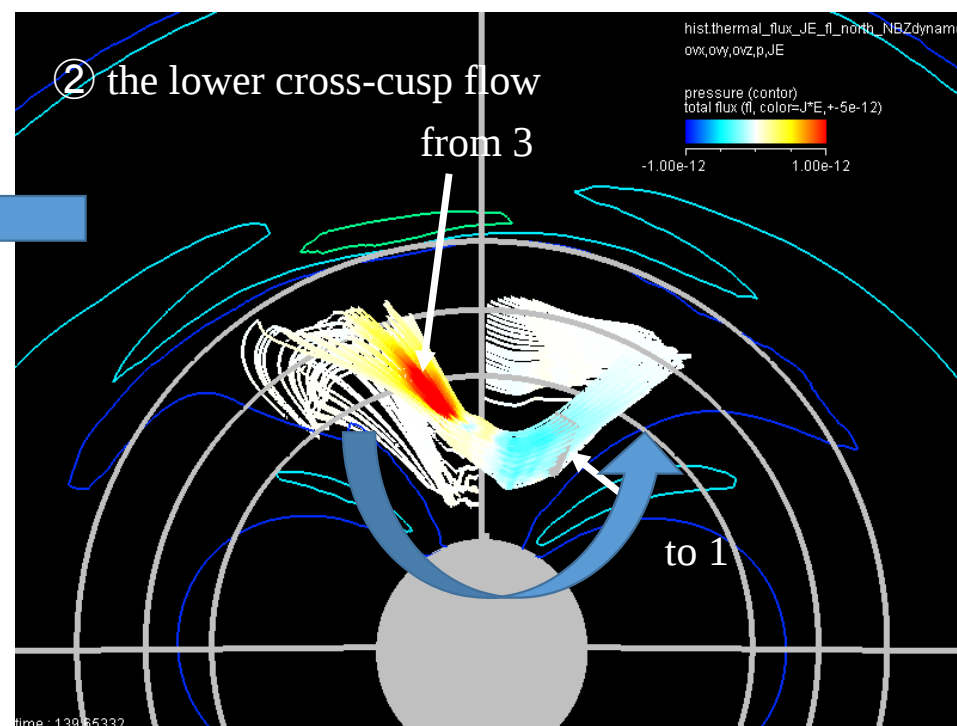


- 太陽風→NBZ電流ダイナモ領域のエネルギー輸送を解明するため、磁場エネルギーと力学エネルギーの交換を調べる。
 - 磁場エネルギー伝搬は電流線を調べる。力学エネルギー輸送は力学エネルギーフラックスを調べる。
 - $J \cdot E < 0$ の領域：力学エネルギー→磁場エネルギー
 - $J \cdot E > 0$ の領域：磁場エネルギー→力学エネルギー
- NBZ電流ダイナモから出発して、太陽風に至るエネルギー輸送経路をトレースする。

5. NBZ電流dynamo域には力学エネルギーフラックスが朝方から運ばれる。

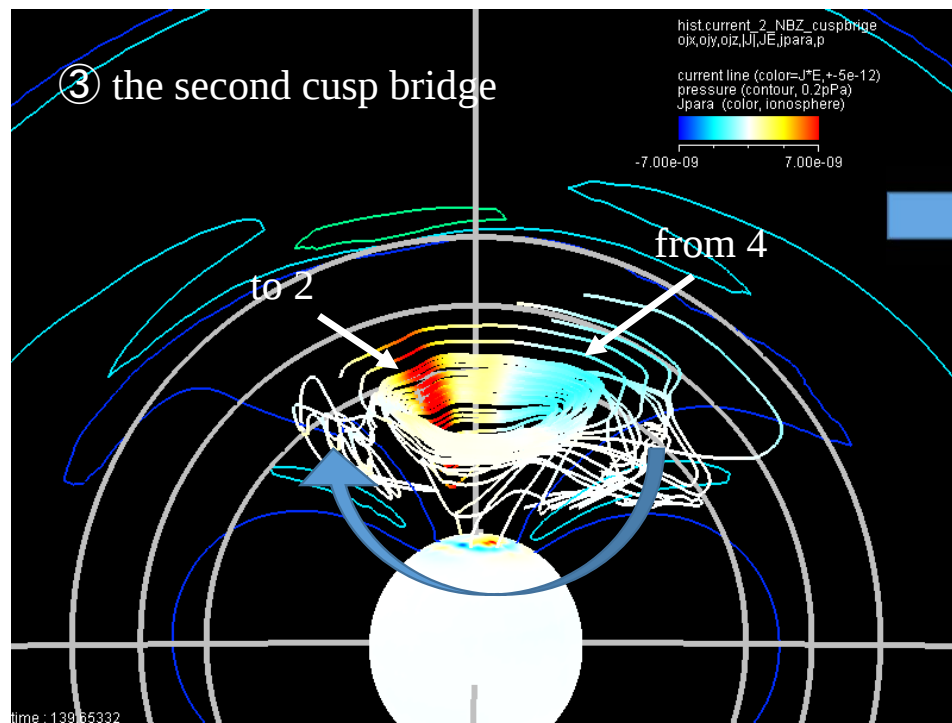


NBZ電流ダイナモ域

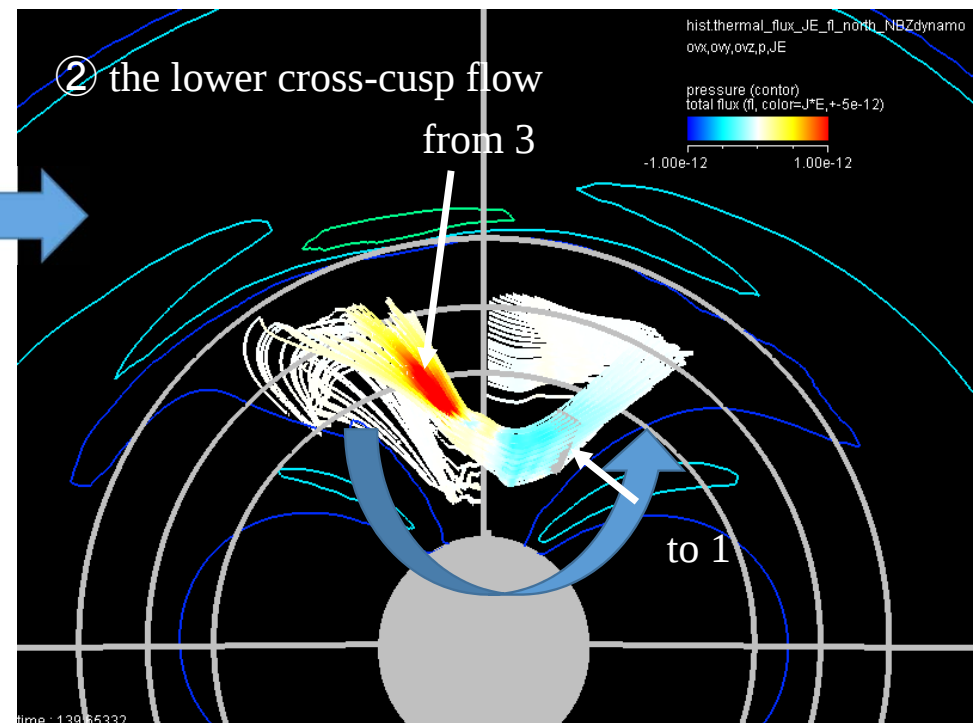


ダイナモ域を通る力学エネルギーフラックス (色は $J \cdot E$)

4. 朝方の力学エネルギーは夕方側から電磁エネルギーが供給される。

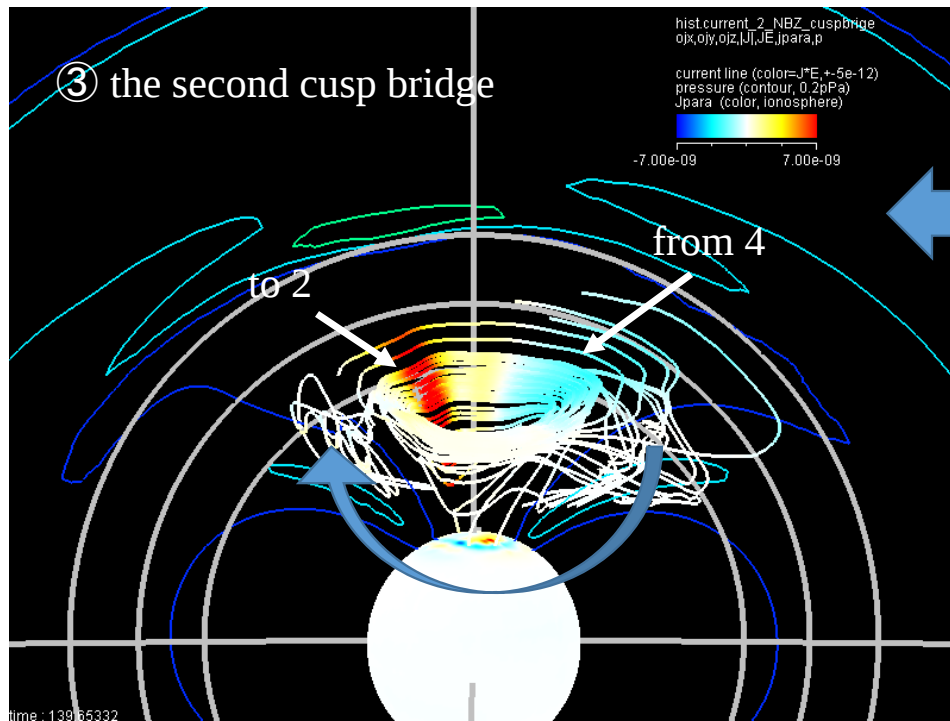


The second cusp bridgeを示す電流系

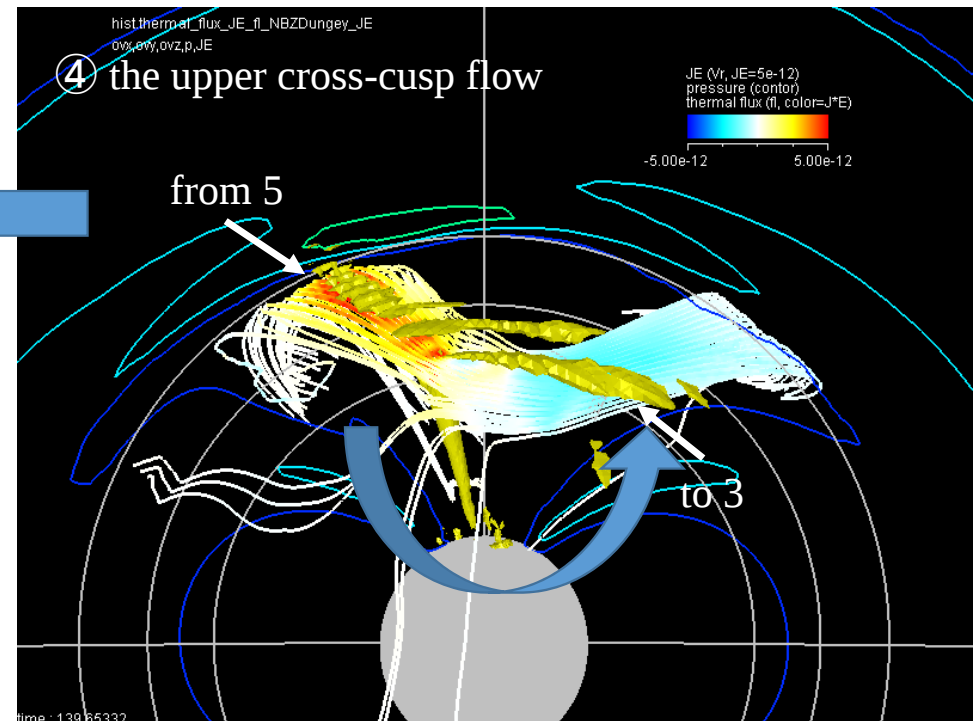


ダイナモ域を通る力学エネルギーフラックス (色は $J \cdot E$)

3. the second cusp bridgeのエネルギーは力学エネルギーによって朝方から供給される。

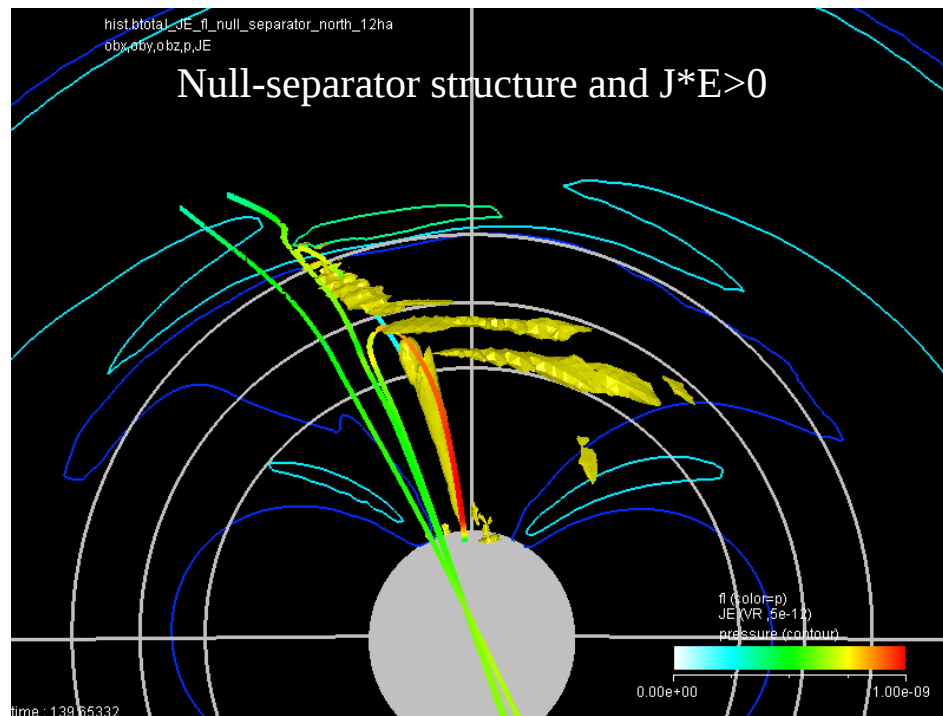


The second cusp bridgeを示す電流系

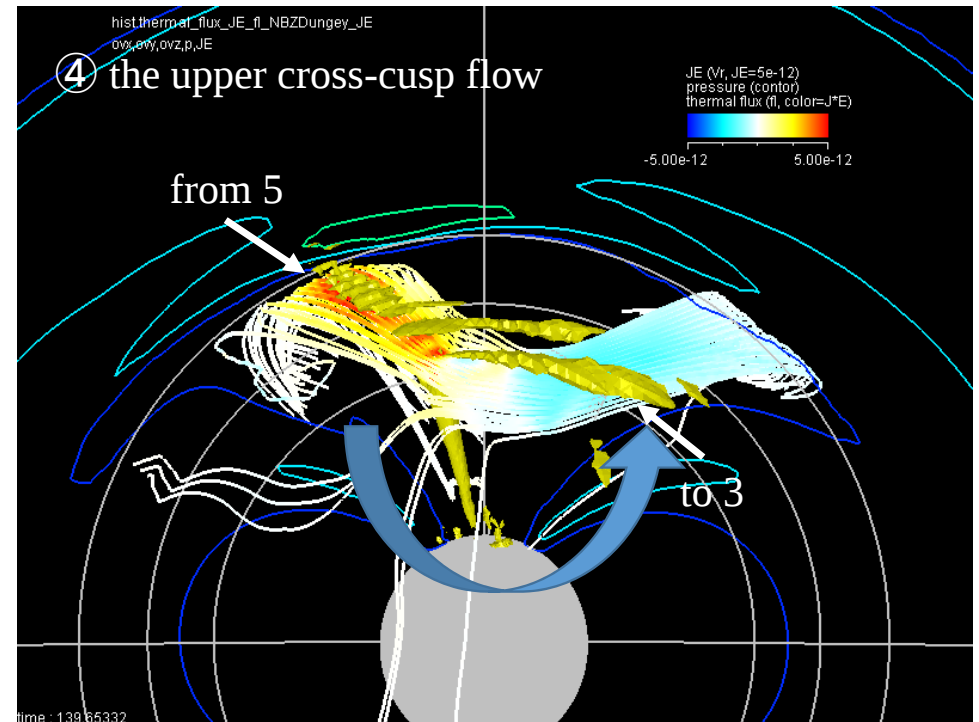


The upper cross-cusp flow=力学エネルギーの流れ

Null-separator構造とエネルギー変換

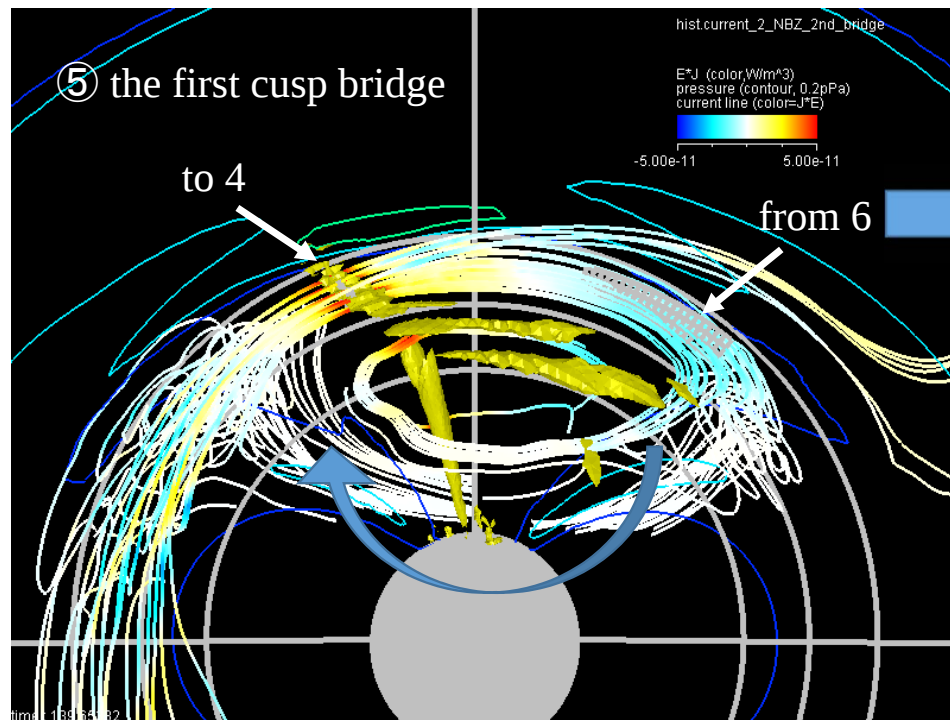


null-separator 構造と $J \cdot E > 0$ の領域

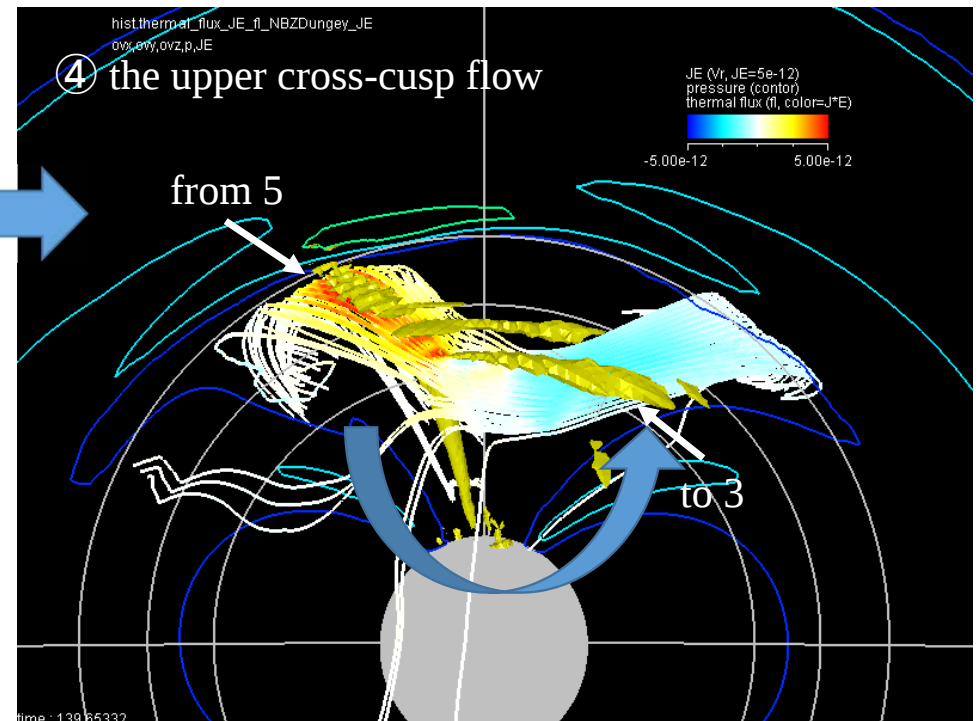


(参考) The upper cross-cusp flow

2. 朝方の力学エネルギーは夕方側から電磁エネルギーが供給される。

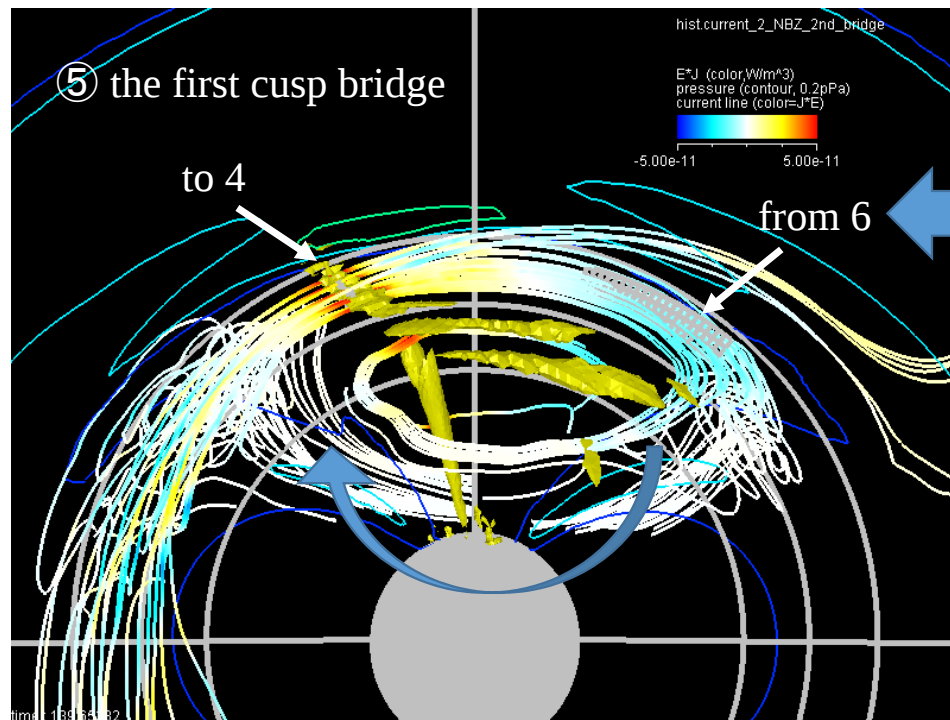


The first cusp bridgeを示す電流

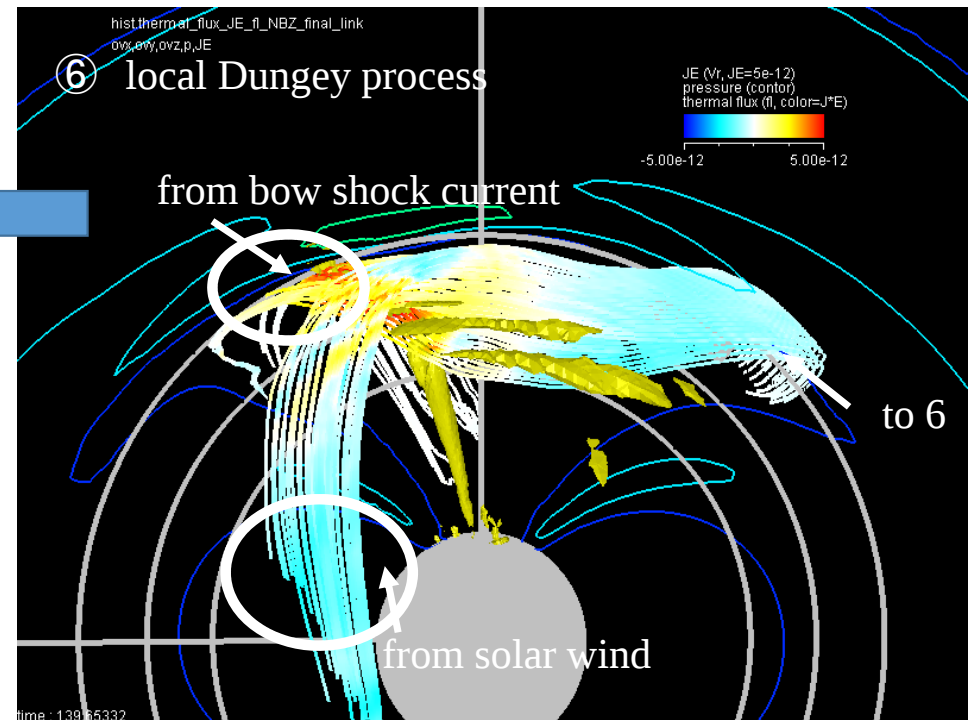


The upper cross-cusp flow=力学エネルギーの流れ

1-2. The first cusp bridgeのエネルギーはSolar wind からlocal Dungey processによって運ばれる。

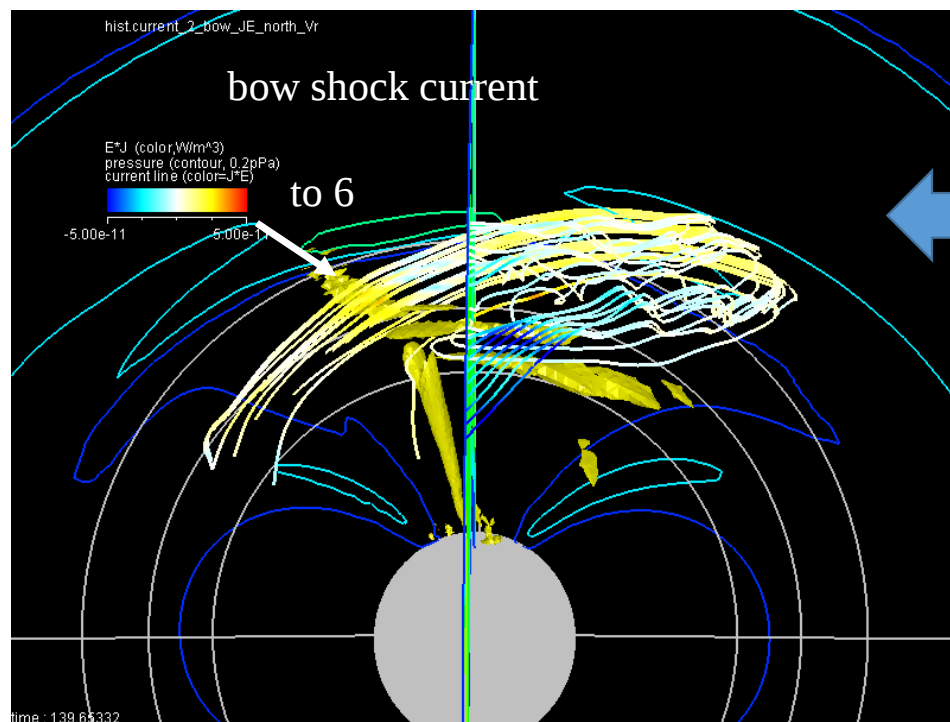


The first cusp bridgeを示す電流系

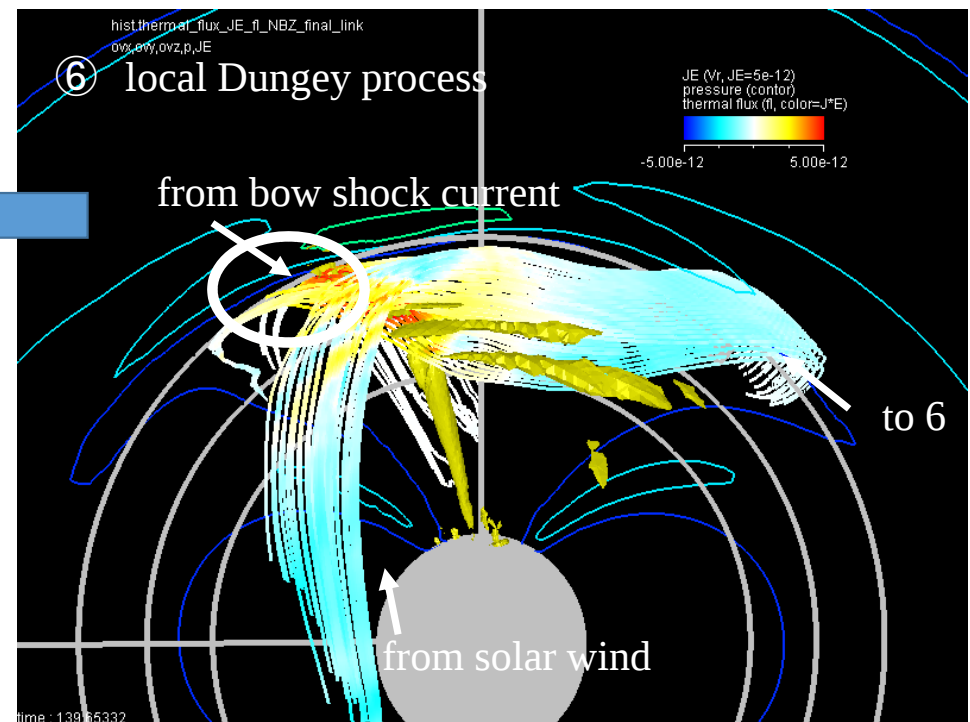


The first local Dungey processを示す力学エネルギーフラックス

1-1. bow shock currentを通じた local Dungey processへのエネルギー輸送

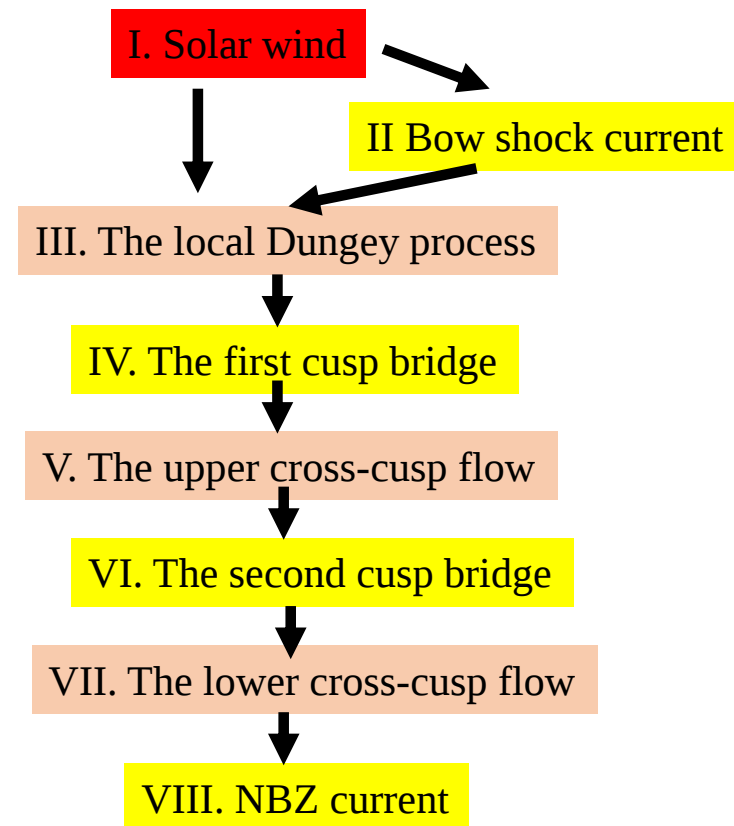


The bow shock current



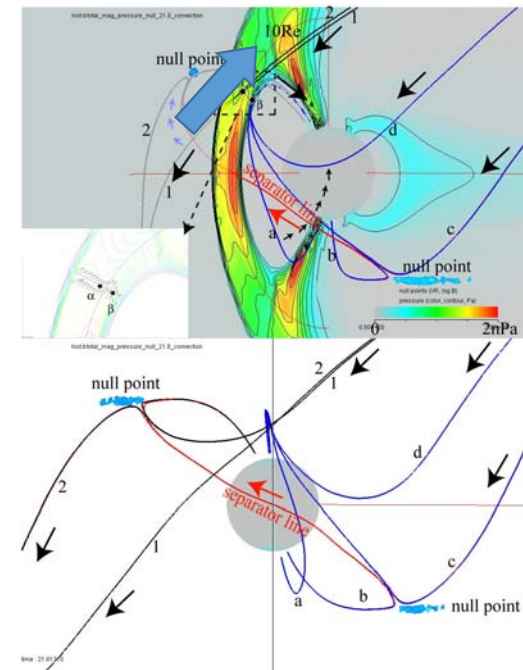
Second cusp bridgeへエネルギー供給フロー

The driving mechanism of the M-I coupling convection ($B_z > 0$, $B_y \neq 0$)



Discussion

- 磁気圏電離圏対流を作り出す基本電流系はIMF南北で異なる。
 - null-separator structureの違いを反映
- 南IMF
 - 再結合磁力線は昼から夜に流れる
 - 電離圏の真夜中では夜向き対流
 - 2cell対流が発生
 - この対流とR1FACが対応。



Discussion

- 磁気圏電離圏対流を作り出す基本電流系はIMF南北で異なる。

→ null-separator structureの違いを反映

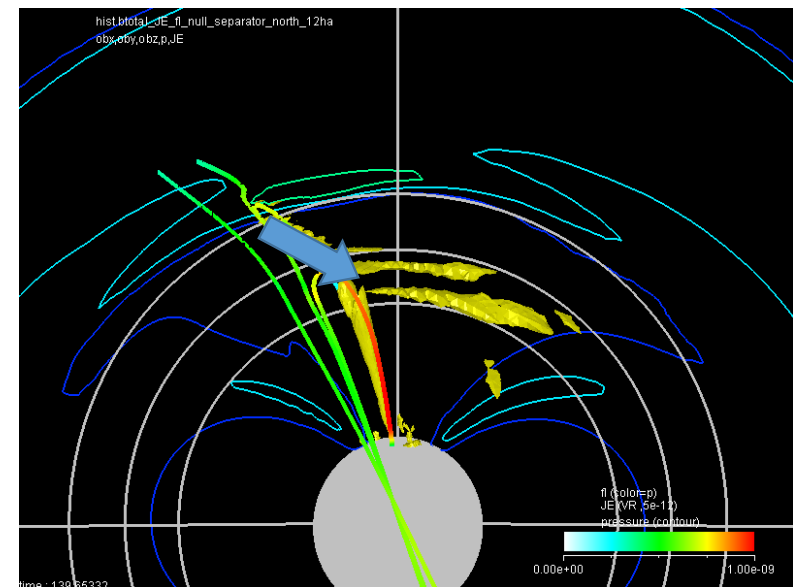
北IMF :

再結合磁力線は朝から夕に流れる ($B_y < 0$)

→ 電離圏で反時計向きの対流

→ round cell

→ この対流とNBZ電流が対応。



Discussion

- 定常系で、電離圏対流とnull-separator構造は対応している。一方、null-separator構造を直接反映するプラズマ過程はlocal Dungey processである。しかし、local Dungey processはエネルギー的に対流を直接駆動しない（対流を作り出す基本磁気圏電流系のダイナモ域にエネルギーを直接与えない）。
- 定常状態において、null-separator構造は磁気圏電離圏対流の外側境界条件を与える。この構造は基本的にプラズマには無関係。
- 非定常状態におけるnull-separator構造の変形とプラズマプロセスは対流決定に重要な意味を持つと考えられる。この過程の解明は今後の課題。

まとめ

- 北向きIMF時の磁気圏電離圏対流は基本的にNBZ電流が作っている。
- 太陽風からNBZ電流のダイナモへのエネルギー輸送を得た（詳しい解析は今後の課題）。南IMF時のエネルギー輸送過程より複雑であるが、local Dungey processやcusp bridgeは両方の場合とも存在している。

Acknowledgements

This work is one of the achievements done for NIPR project KP301. This work was also supported by JSPS KAKENHI Grant Number JP15H05815.