

退職記念講演・最終講義

2013年3月22日(金), 名古屋大学野依記念学術交流館

# 地球惑星磁気圏のシミュレーション

名古屋大学・太陽地球環境研究所

荻野瀧樹

# 学生の時心に残った言葉

おもいでは一人ひとり違うので、共通認識に達するのは厳密には不可能である。そう認識した上で人とのコミュニケーションをする必要がある。(早稲田大学の学生の言葉)

「青春」とは何か。人生には数度必ず自分で道を選ぶことができる機会が生じる。その時、選択できる複数の道の中からより挑戦的な道、困難な道を選べるのが若者の特権である。その精神をもち続けれる時代が青春である。(大学の先輩の言葉)

# 略歴

昭和48年 名古屋大学大学院工学研究科  
修士課程・博士課程(電気系)  
昭和51年 名古屋大学工学部電気工学科助手  
昭和53年 名古屋大学空電研究所  
名古屋大学太陽地球環境研究所

この間

フェルミ国立加速器研究所(米国)の研究員

UCLA/IGPP(地球・惑星物理学研究所、米国)の研究員



Fermilab



UCLA/IGPP

# 学生／工学部時代

工学部電気武田研から空電研究所へ

非線形プラズマ波動の研究

ソリトンの衝突と球・円筒ソリトン

非線形分散関係

非線形Schrodinger方程式

トロイダルプラズマのMHD不安定性(プラズマ研究所)

反陽子の電子冷却(Fermilab)

# 非線形プラズマ波動の研究

谷内俊弥先生

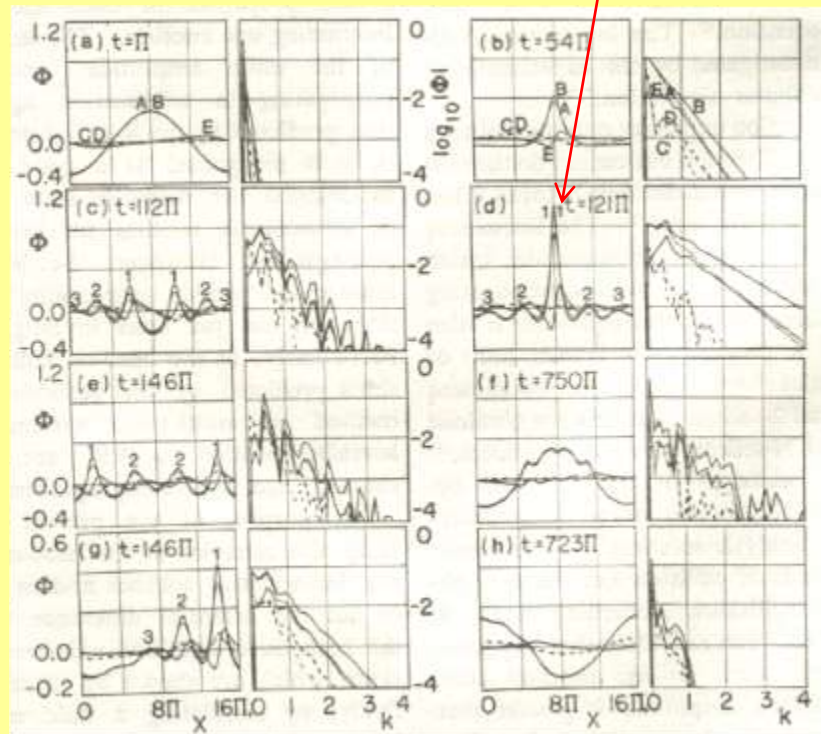
私が研究結果を説明に行った時

「それは証明できますか。証明できていないと危ないですよ。後でひっくり返るかも知れませんよ。」

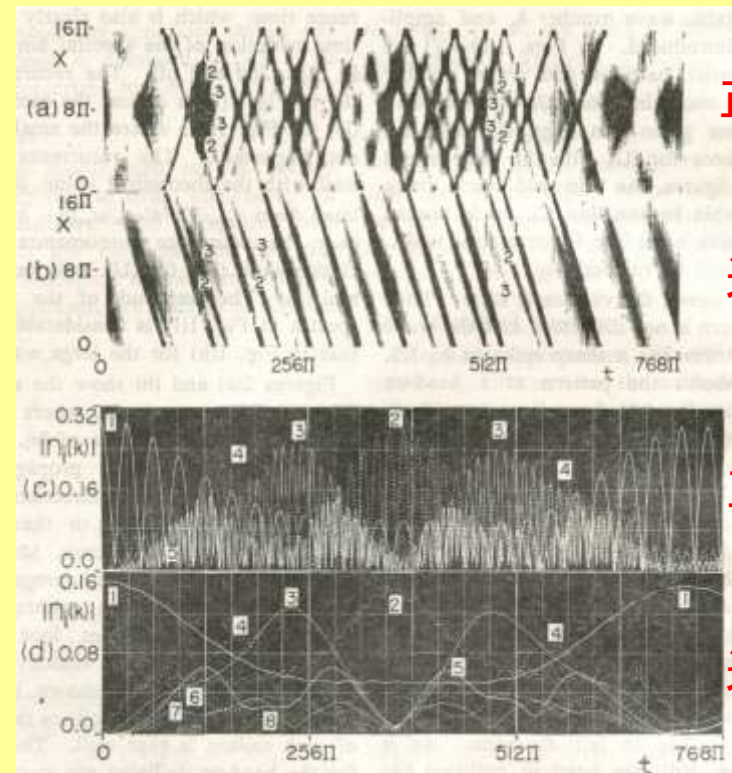
# ソリトンの衝突と球・円筒ソリトン

エントロピー増大の法則はポピュラーな非線形項では実現しない！

正面衝突



イオン音波ソリトンの正面衝突  
 Boussinesq ×, 遞減摂動法○



正面衝突

追い越し

正面衝突

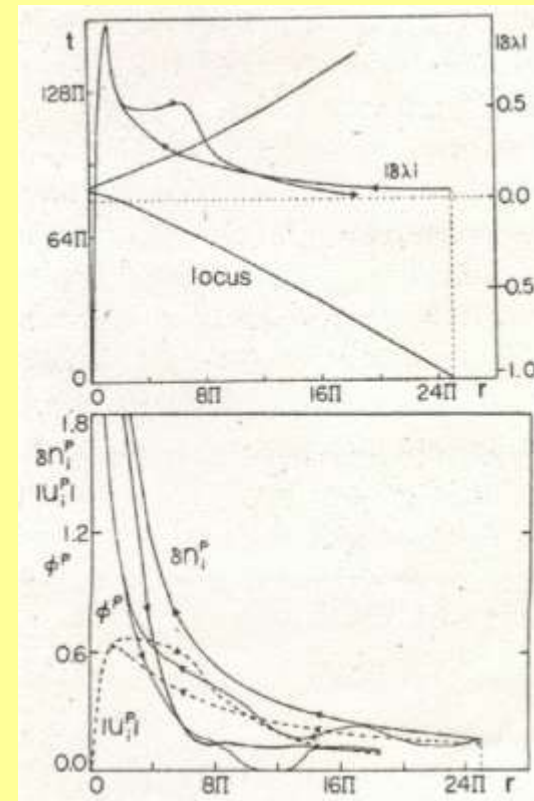
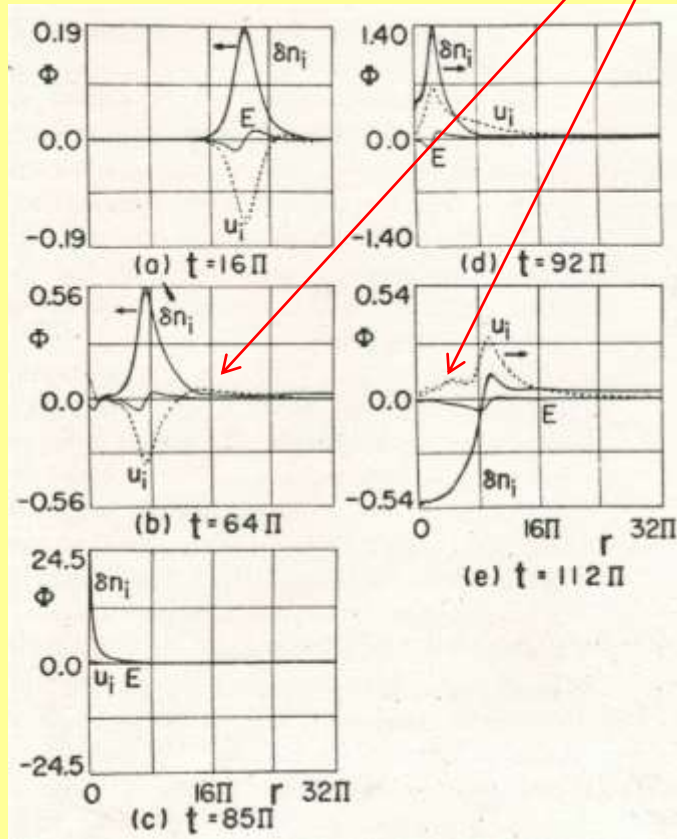
追い越し

ソリトンの回帰現象

# ソリトンの衝突と球・円筒ソリトン

球・円筒ソリトンは必ずおつり (residue) がでる。全振舞いをソリトンだけでは書けない。不均一効果が重要？

## 球ソリトン



# 非線形分散関係と非線形Schrodinger方程式

低減摂動法によるNonlinear Schrodinger Eq. の導出  
(谷内, 矢島, 共同研究者)

両者は一対一の関係

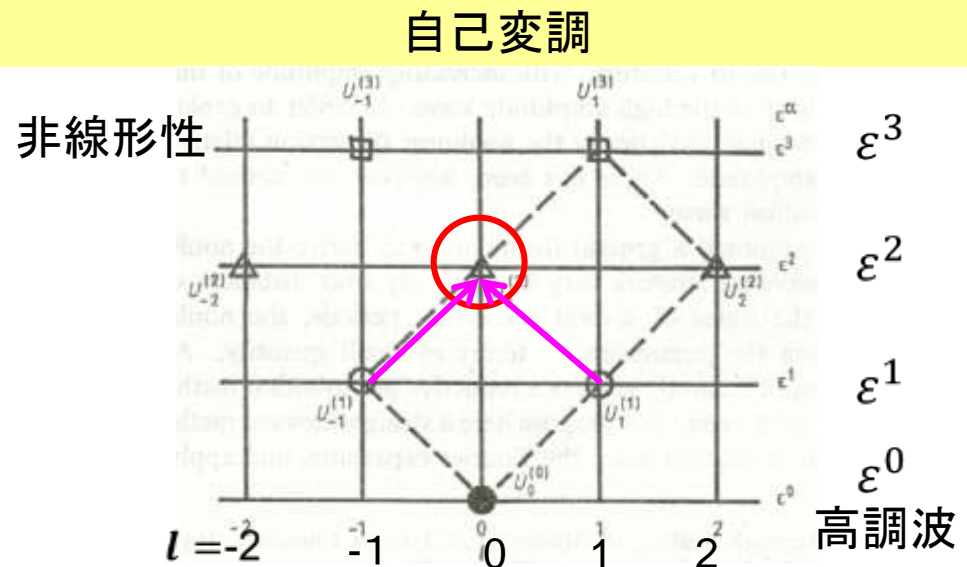
本当に一般的に解けたのか？

- プラズマでは磁場中の2流体でも運動力学的理論でも一般的な解法を与えてはいない。
- 何が問題か？

$$W_0 U_0^{(2)} + G_{-1}^{(1)} U_1^{(1)} = 0$$

ほとんど  $|W_0| = 0$  となる  
ために  $U_0^{(2)}$  が求まらない

$(lk) (l\omega) \rightarrow 0$  の極限





# トロイダルプラズマのMHD不安定性

西川恭治先生

職に就いたなら、世界の研究者が興味を持つ研究テーマを選ぶべき。

「シミュレーションで新しい結果を出した時、同時にそれが簡単な物理描像で示せることが必要である。」

Physical Pictureで同時に説明できることが重要。

**3次元MHDシミュレーションを開始**

# トカマクのSaw-tooth振動

## Spontaneous Reconnectionとは？

3次元MHDシミュレーション グリッド数: (16,16,10) (26,26,16), (JPSJ,1981)

完全な平衡  
解から開始

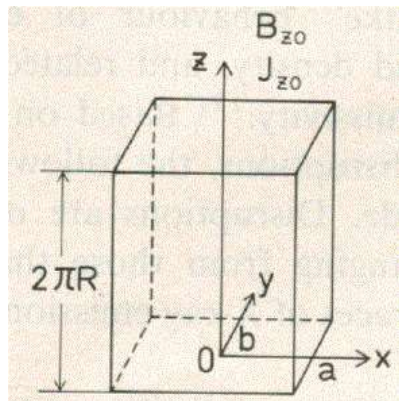
$$\frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} = -(\mathbf{v} \cdot \nabla) \mathbf{v} - \frac{1}{\rho} \nabla p + \frac{1}{\rho} \mathbf{J} \times \mathbf{B} + \frac{1}{\rho} \Phi$$

$$\frac{\partial p}{\partial t} = -\nabla \cdot (\mathbf{v} p) - (\gamma - 1) p \nabla \cdot \mathbf{v} + (\gamma - 1) \eta |\mathbf{J}|^2 - \frac{p}{\tau}$$

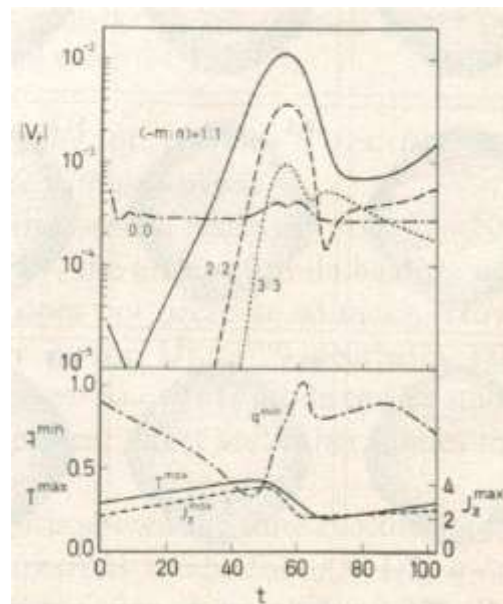
釣り合い  
条件

$$\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} = \nabla \times (-\eta \mathbf{J} + \mathbf{v} \times \mathbf{B})$$

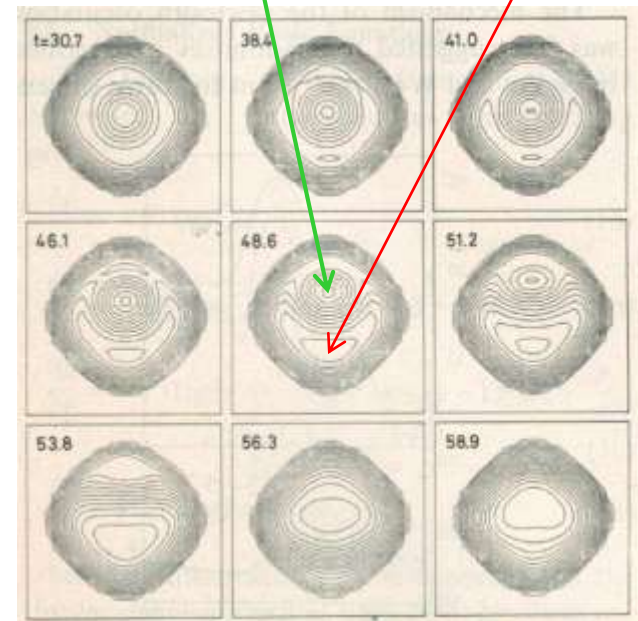
古い磁気島 新しい磁気島



座標系



(1,1)モードの時間発展

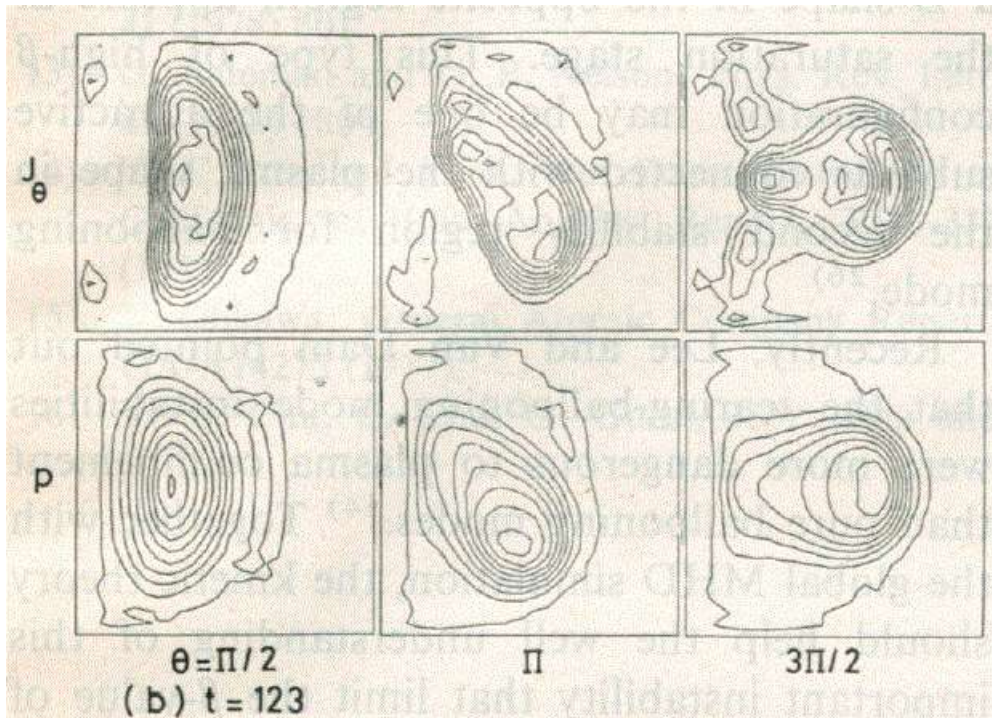
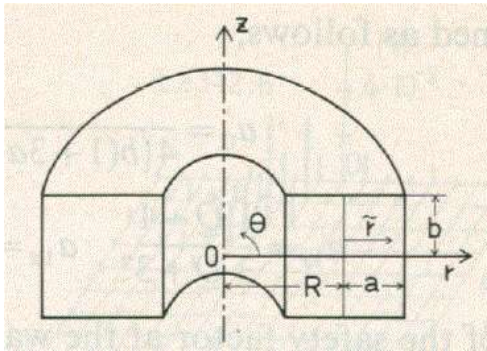


磁気島の新旧交代

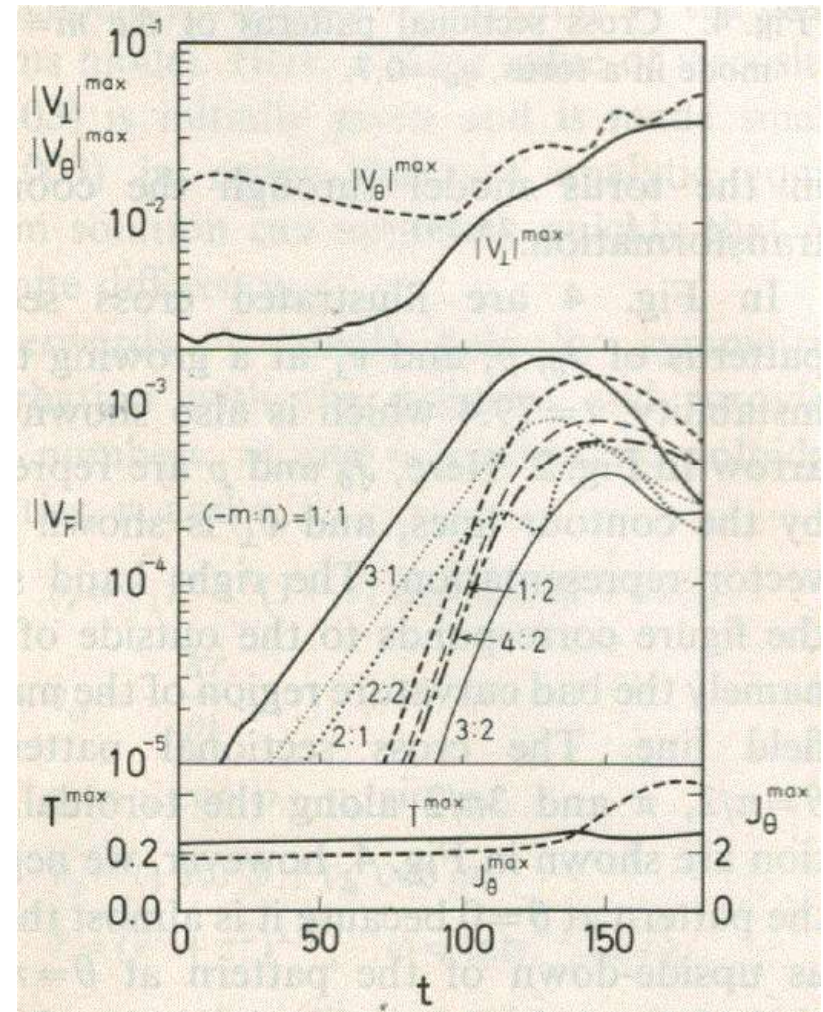
# ブルーニング不安定

グリッド数: (26,26,16)

円筒座標系



ブルーニングモードの非線形発展の形状



モードの時間発展

# 反陽子の電子冷却(Fermilab)

Fermilabの加速器での陽子－反陽子衝突実験を行うために冷たい電子を用いて反陽子を冷却(Teng博士)

- Spitzer, Hubbard, Rosenbluthなど古典的なプラズマ輸送係数導出の長い理論論文を読む。
- 古典理論はいかに解析が難しいか。
- 古典理論と異常輸送理論がすべて繋がっていることが理解できた。
- 磁場に垂直と平行エネルギーが極端に違う場合の速度空間の摩擦係数と拡散係数の導出に成功し、ソ連の実験結果を説明できた。異方性はどんなに大でも適用可(回転楕円体の厳密解)。

**米国での理論研究は真剣勝負だと実感**

# Fermilabからの帰国途中にUCLAを訪問

## UCLA物理学科のDawson教授の研究室を訪問

- LeBoeuf, Tajima, Kennel and DawsonのMHD粒子モデルによる磁気圏の2次元グローバルシミュレーション研究を知る。
- 帰国後、太陽風と地球磁気圏相互作用の2次元・3次元グローバルMHDシミュレーションを開始。
- UCLA/IGPPのAshour-Abdalla教授のグループで招聘研究員としてスパコンCRAY-1を用いた地球磁気圏のシミュレーション研究を行う好機を得る。

# 地球磁気圏の3次元MHDシミュレーション開始

## UCLAで

- ロスアンゼルスで住居を見つけるのに苦労した。  
(5歳と1歳未満の子供がいたため)

しかし、米国社会を理解するのにとても役立った。

- 「郷に入っては郷に従え」で、表向き公平に扱われていればそれで不満は感じない。

日本でも外国人に対しては米国流にすべき！

# 磁気圏尾部ローブの分岐 (Bifurcation)

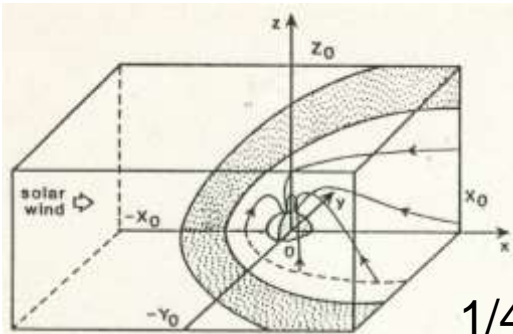
北向き惑星間磁場 (IMF) の時、高緯度尾部リコネクションが起こるため、ローブの分岐が生じる結果を得る。

Potemura and Iizima博士のNBZ沿磁力線電流の衛星観測とAGUで同時発表だったのですぐに注目を得る幸運を得た。また、 $\theta$ オーロラのSun-Alignedオーロラとも関係しているらしかった。

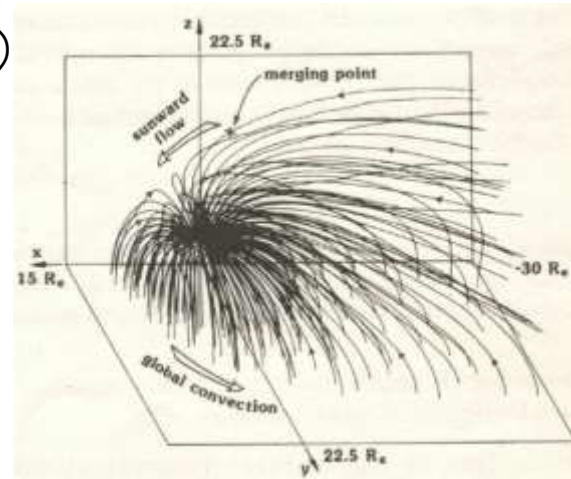
ポイントは磁力線方向のプラズマ流はリコネクションの発生を妨げないこと、リコネクションは反平行磁場領域で起こりやすいことをグローバルMHDシミュレーションから示したこと。

# 磁気圏尾部ローブの分岐 (Bifurcation) 2

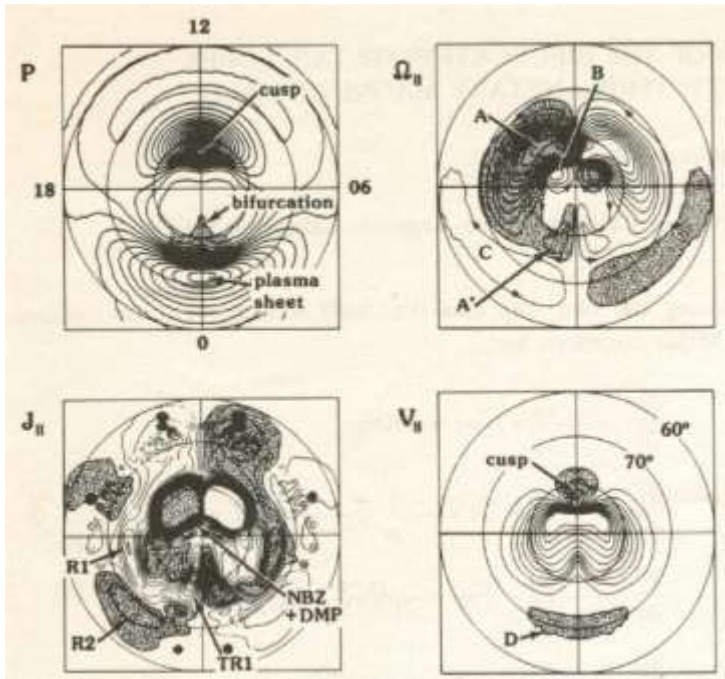
北向きIMFの3次元MHD: グリッド数(60,30,30)



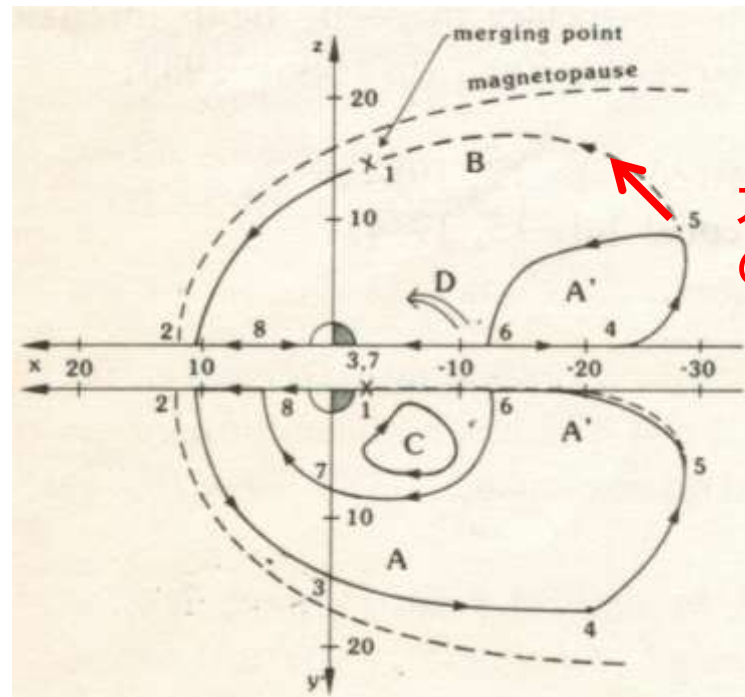
1/4モデルの座標系



3次元磁力線図



極域投影図



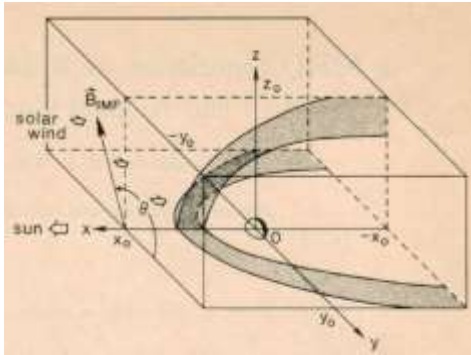
太陽方向の対流

磁気圏対流の投影図、南向きIMFと逆方向

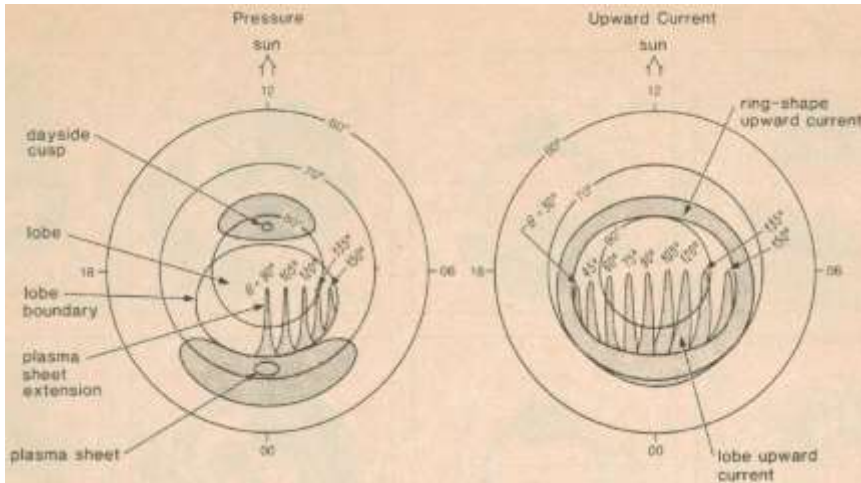
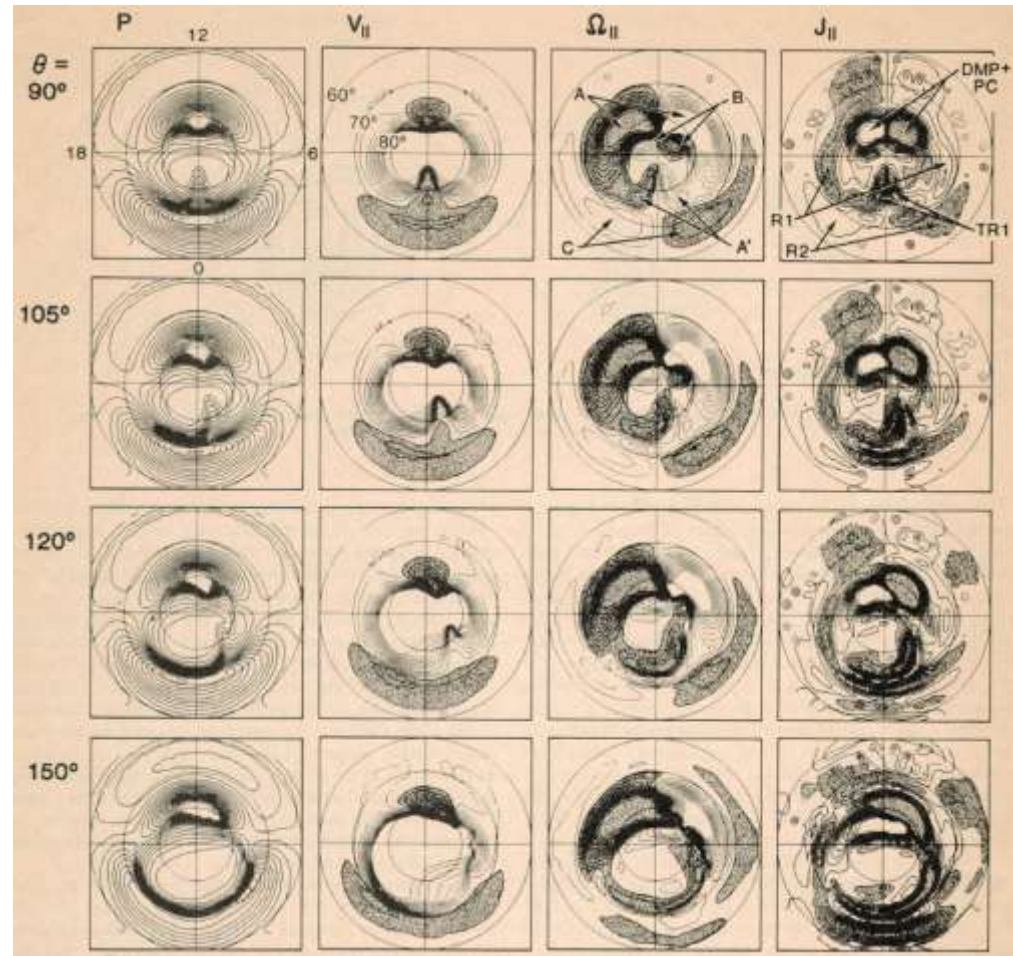


# 磁気圏尾部ローブの分岐 (Bifurcation) 3

北向きIMFの3次元MHD: グリッド数(48,48,24)



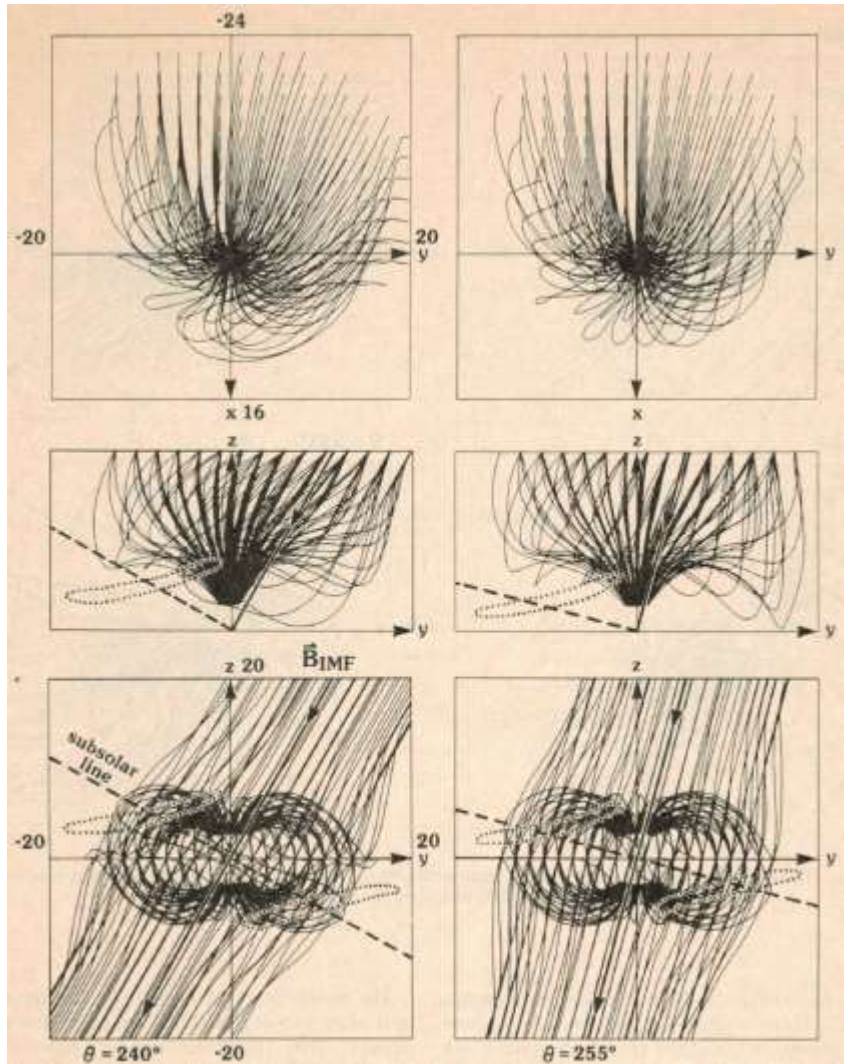
1/2モデルの座標系



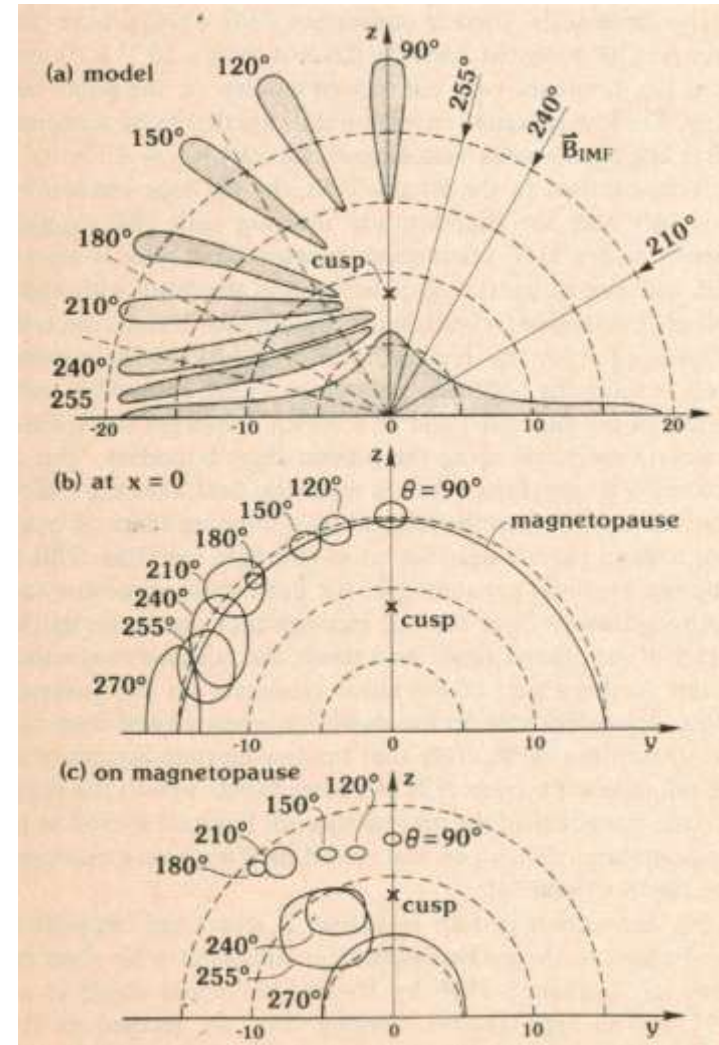
IMFの回転に伴いローブ分岐は極域を横断

IMFの方向に依存するローブの分岐  
反平行磁気リコネクションの発生が原因

# IMFのy-z成分に依存する磁気リコネクション



IMFの方向に依存する磁気リコネクションの起こる位置と磁力線構造



モデル

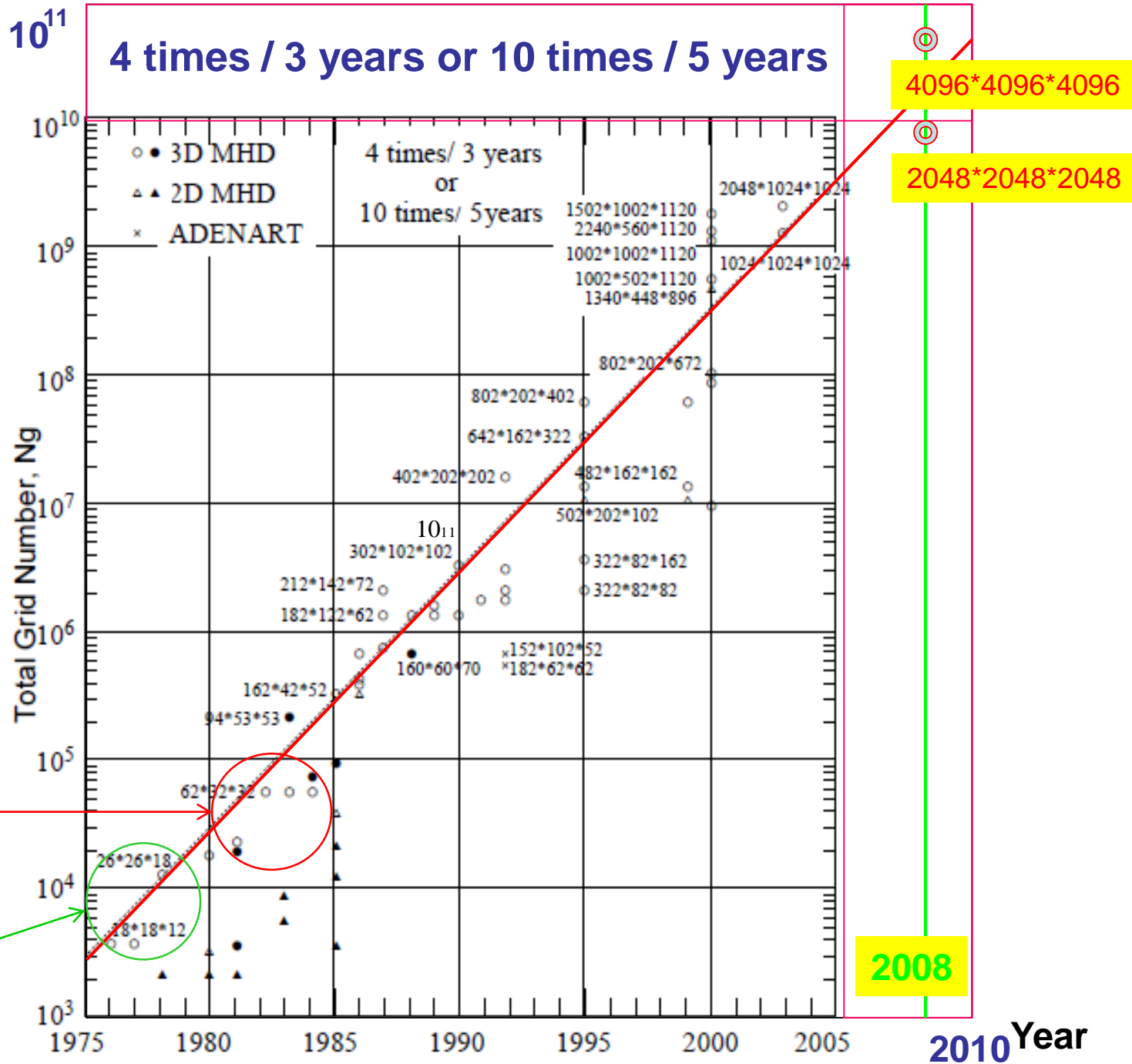
投影

磁気圏境界

IMFの方向に依存する磁気リコネクションの起こる位置と反平行磁場条件の関係

# 2D and 3D MHD Simulation

3年で4倍、5年で10倍程度の割合で計算規模が増大



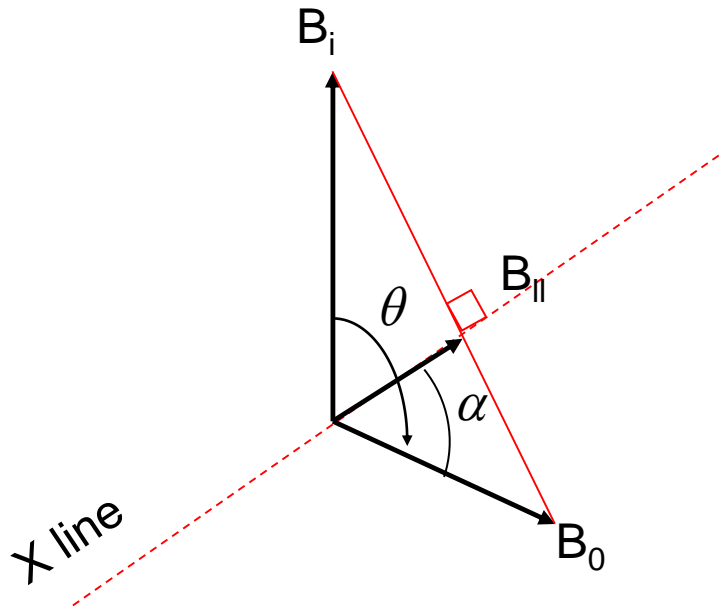
3D磁気圏  
UCLA

トロイダル  
プラズマ

グローバルMHDシミュレーションからみた  
磁気リコネクションの3次元問題と  
磁気圏ダイナミクス

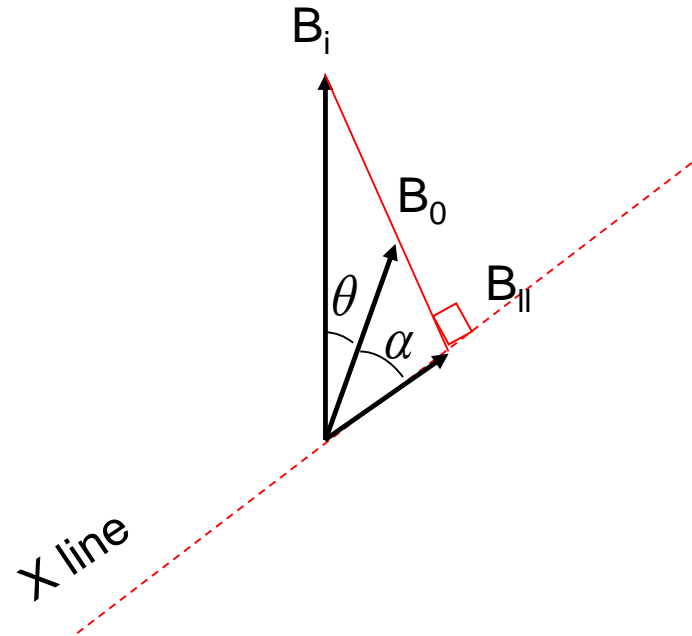
成分リコネクションと  
反平行磁場リコネクション

# 成分リコネクション Component Reconnection



$$\cos \theta < B_0 / B_i$$

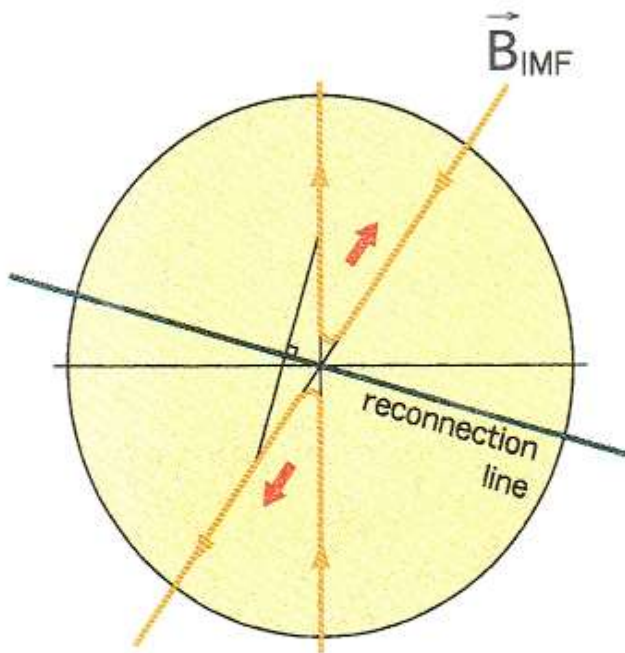
Sonnerup, 1974



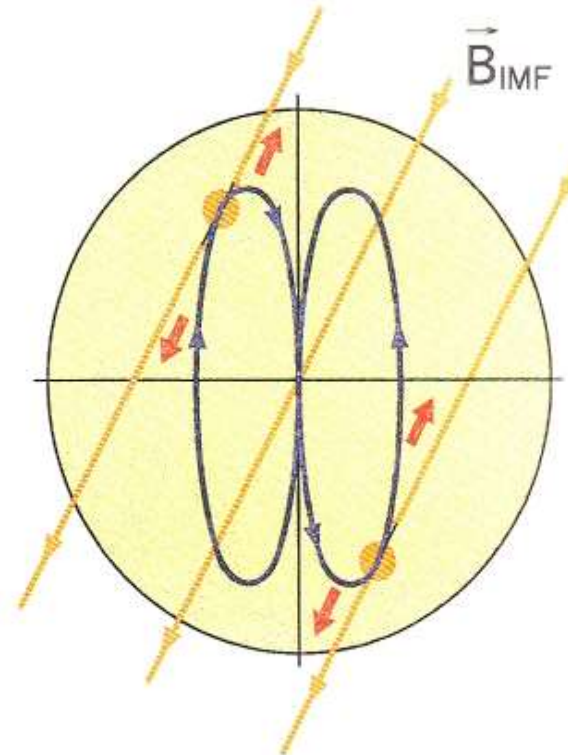
$$\cos \theta > B_0 / B_i$$

Reconnection is not possible

# Antiparallel merging vs Subsolar merging (Component merging).



- Subsolar region
- Stagnation point
- IMF firstly meets geomagnetic field



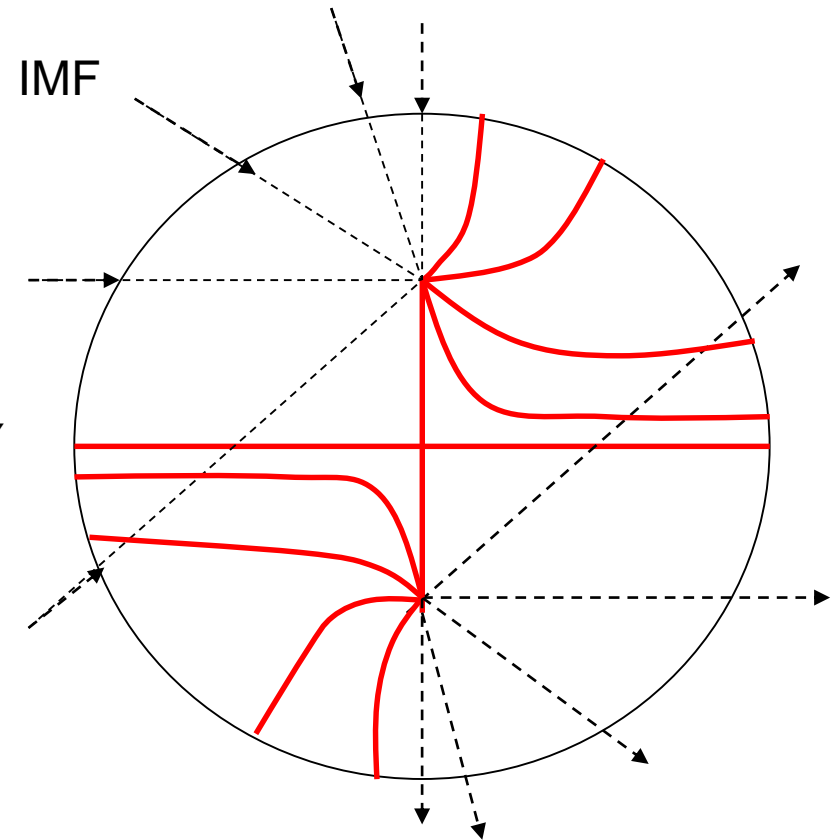
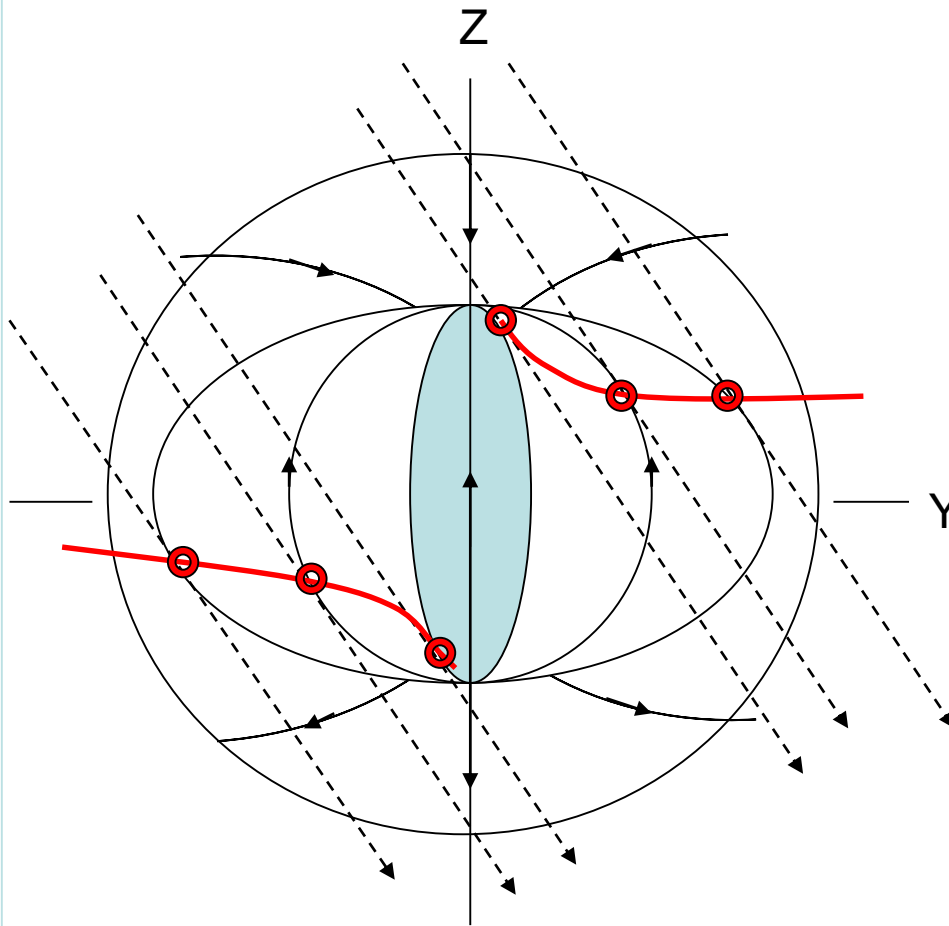
- Antiparallel magnetic field region
- Opposite directions
- Equal absolute values

# Antiparallel merging

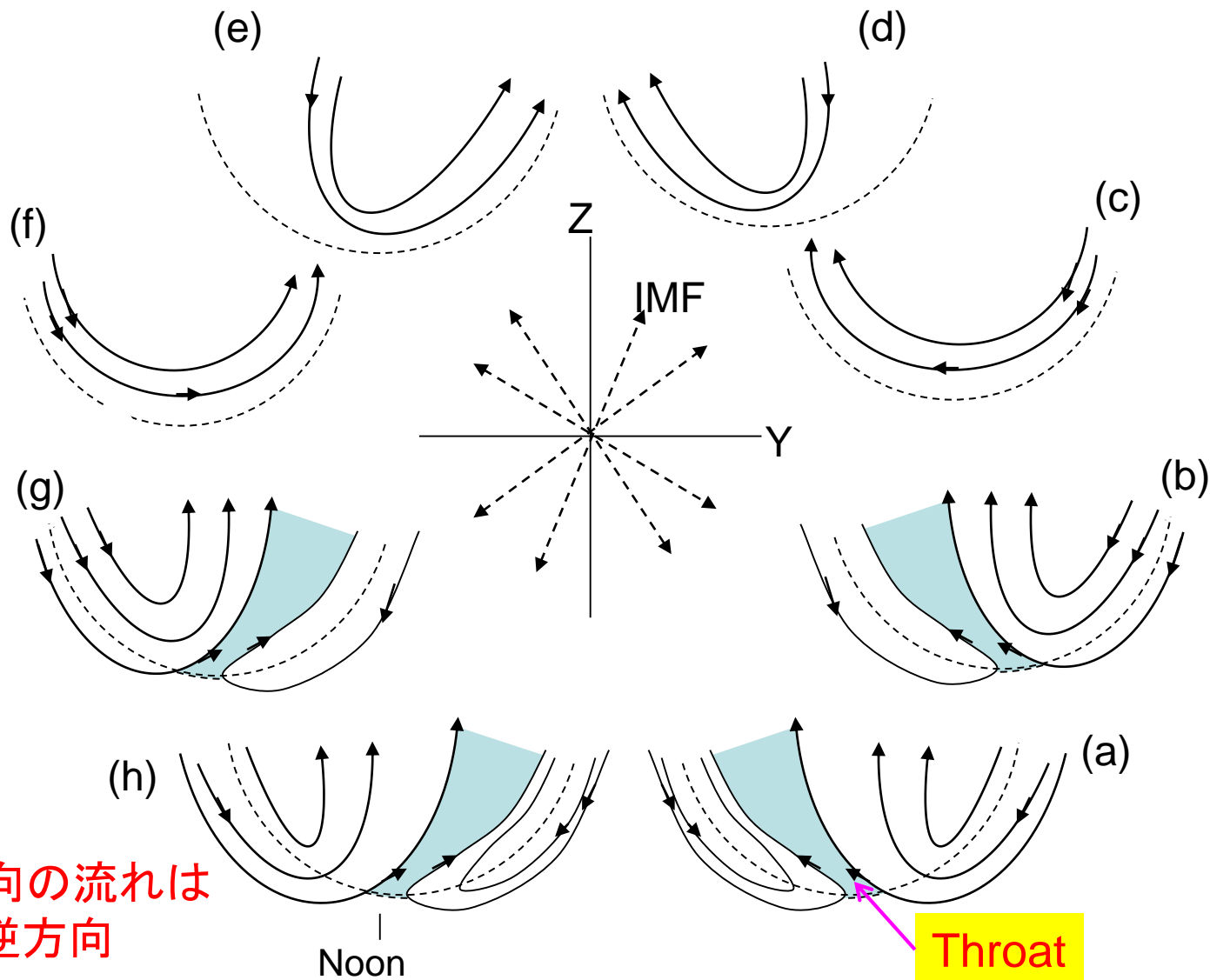
Crooker, 1979

Schematic view from the sun of the dayside magnetopause.

Schematic view from the sun of merging (solid) at the dayside magnetopause for various orientations of IMF (dashed line)



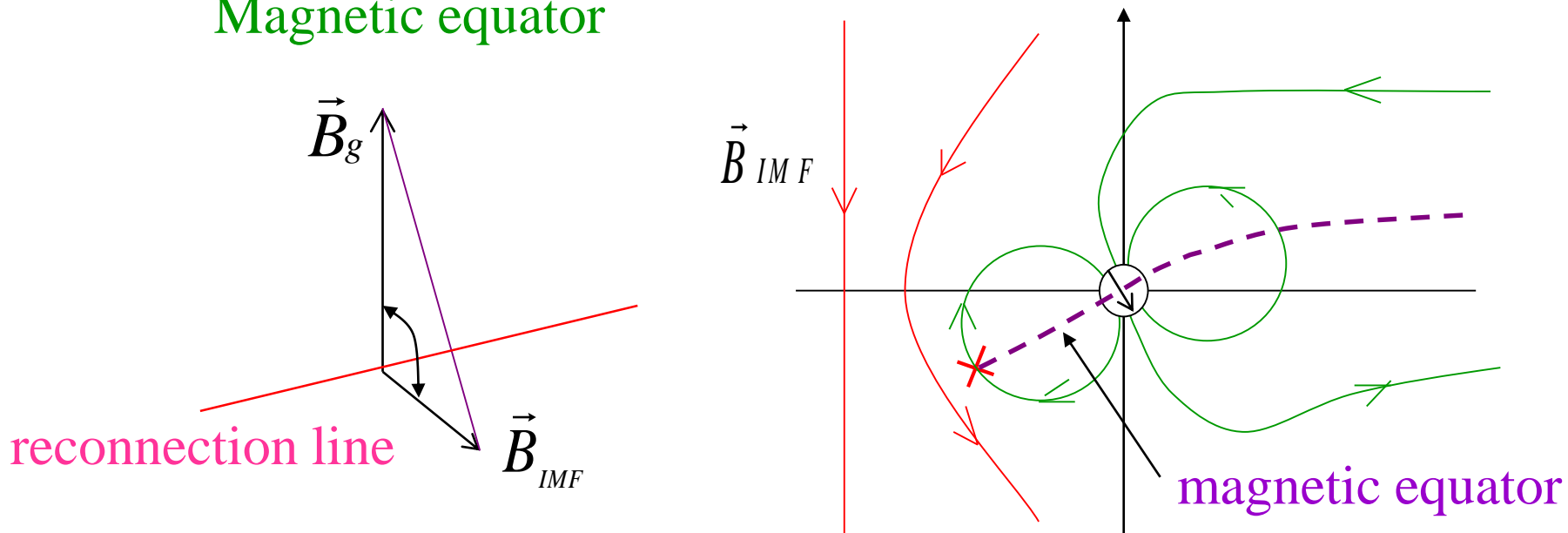
# Polar cap convection pattern in the dayside NH





# 磁気リコネクションの起こる場所

- Anti-parallel field condition
    - Angle of reconnected field lines,  $\theta$
    - Magnitude of reconnected field lines
  - Relative velocity of reconnected field lines (  $\bar{v}$  )
    - Inclination of the magnetic dipole axis
    - Weakest place of magnitude along the field lines
- Anti-parallel field condition  $|\vec{B}_{IMF}| \sim |\vec{B}_g|$
- Magnetic equator



# IMFの方向とIMFの回転

## 2. Effect of IMF $B_y$ and $B_z$

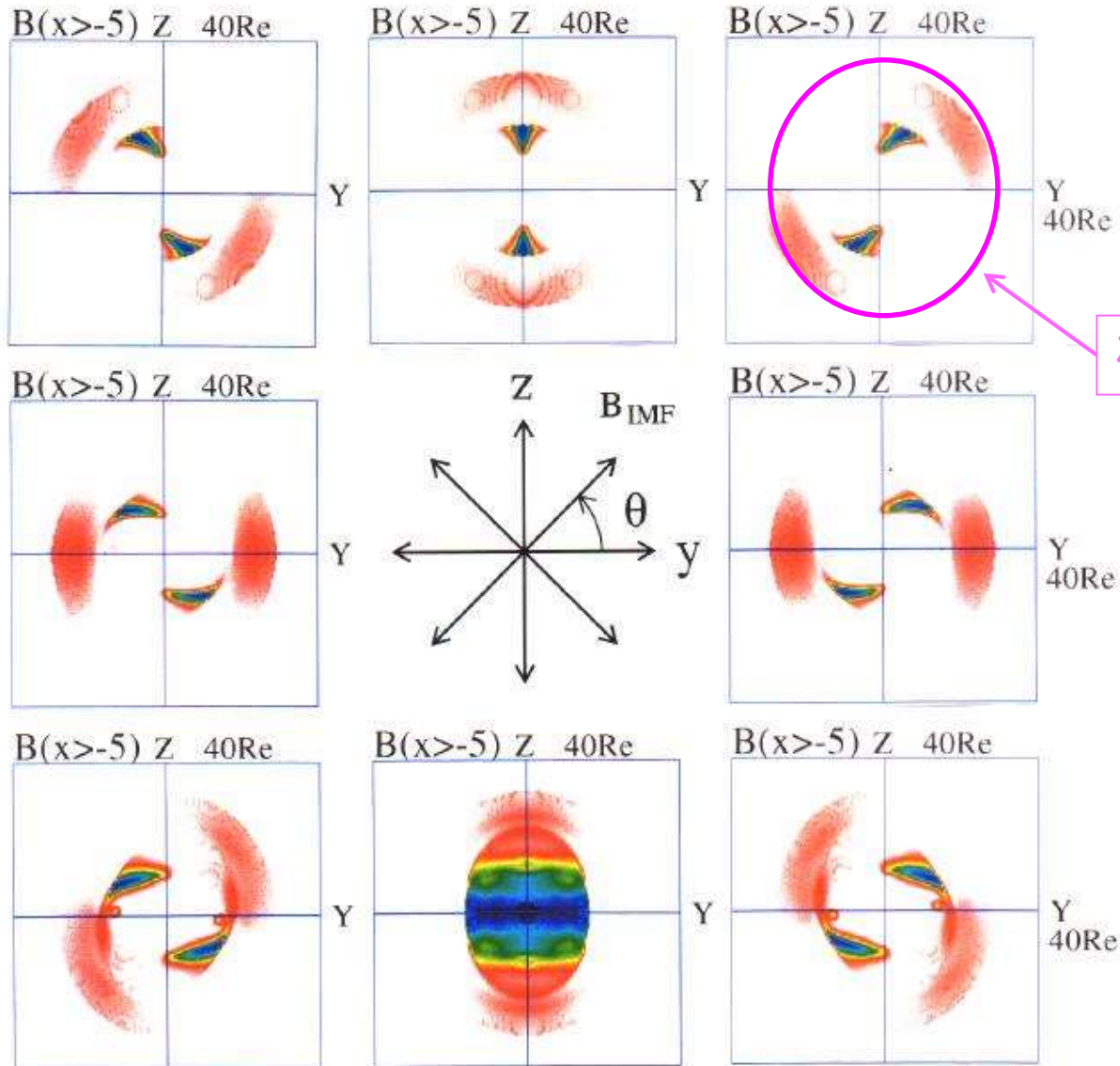
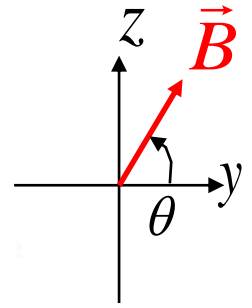
Two important conditions

(1) Anti-parallel field condition

(2) Magnetosheath plasma flow

How far is the reconnection region from the subsolar point.

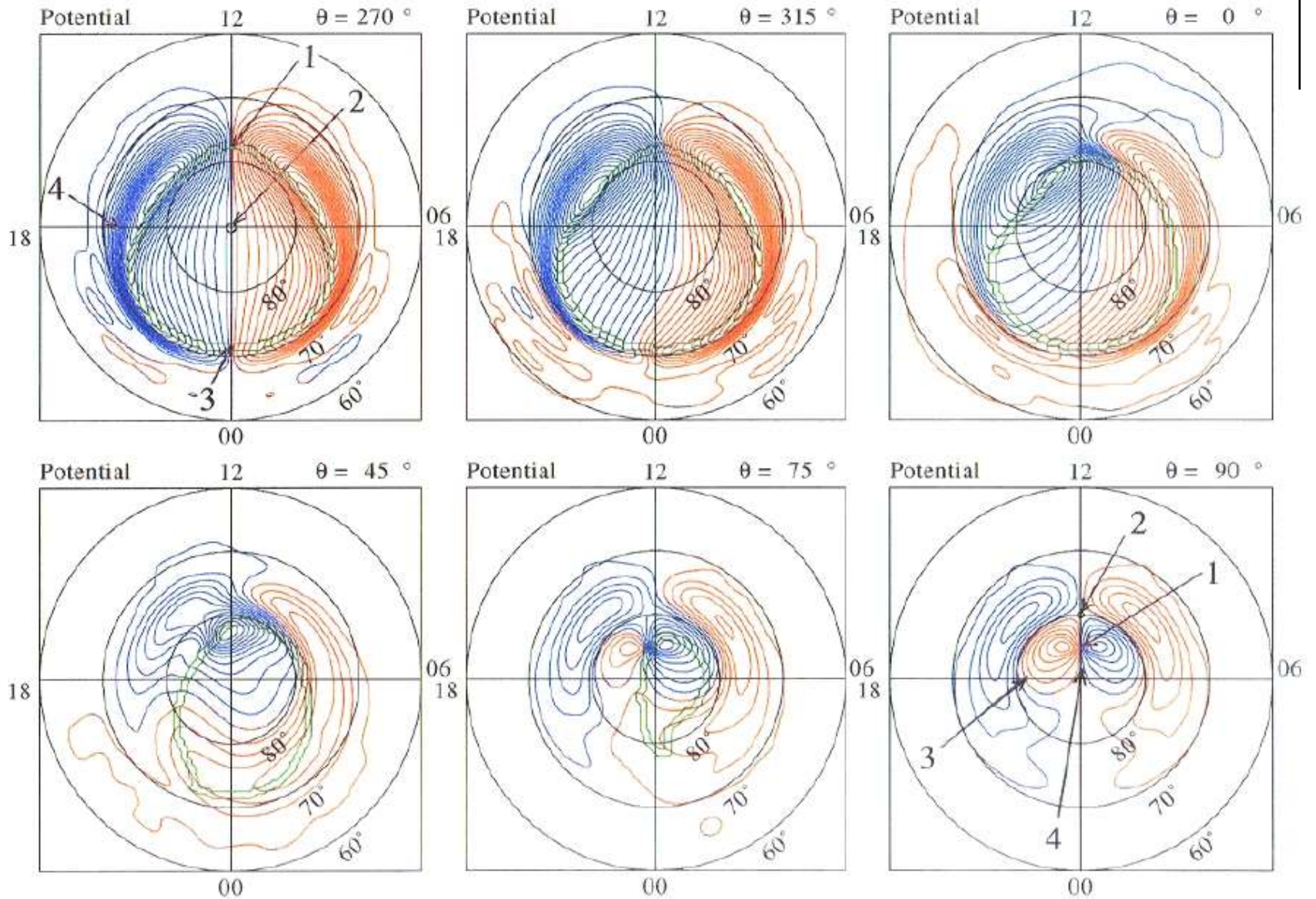
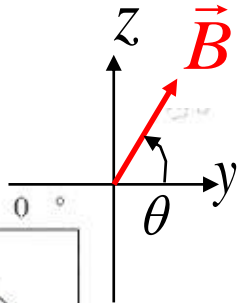
# Rotation of incoming IMF Projection of minimum B region $B=5.0nT$



磁気圏境界

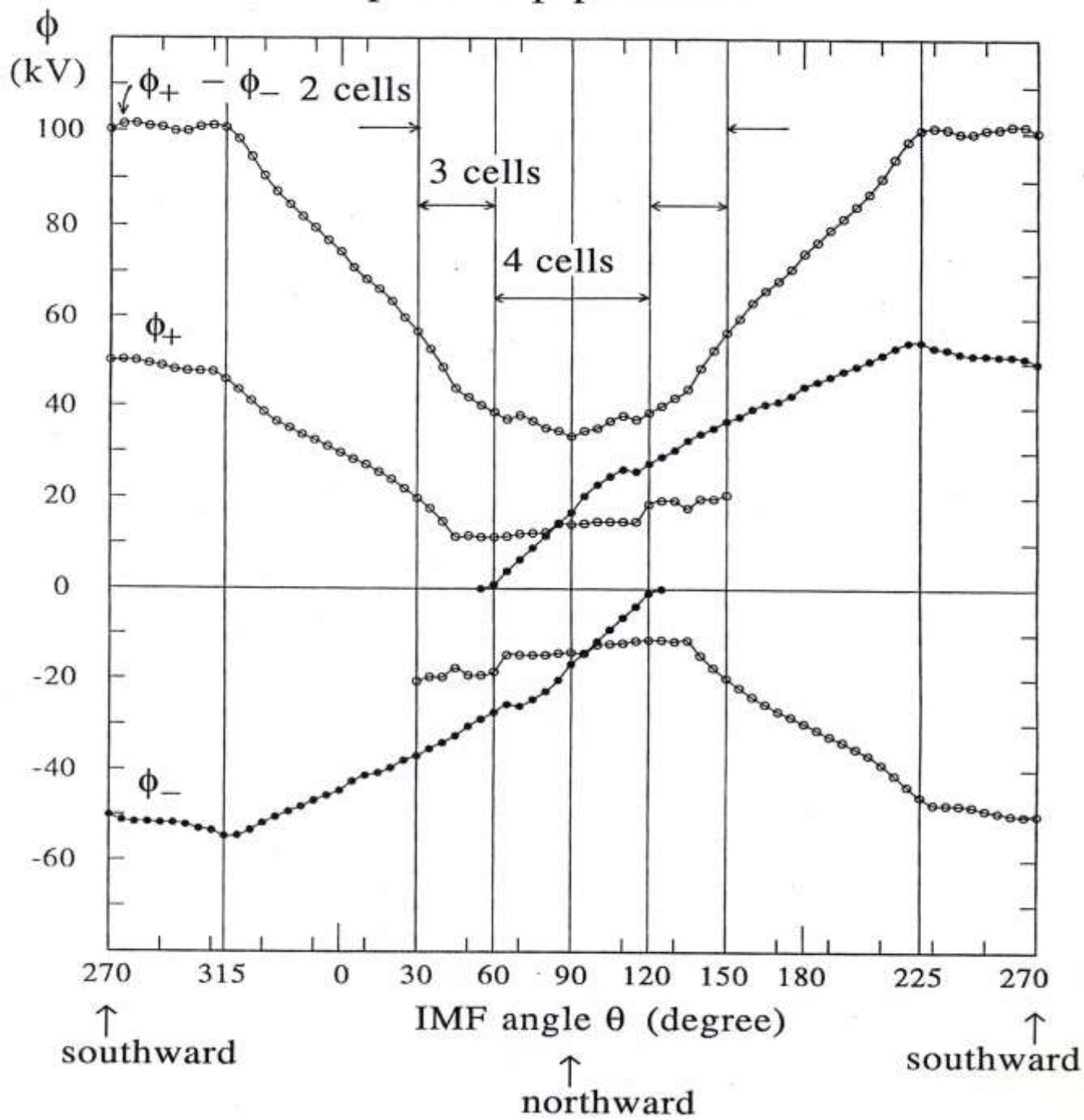
Southward IMF

# Pattern of Polar Cap Potential



Northward IMF

# polar cap potential



# 地磁気の傾き

## Dipole Tilt of Geomagnetic Field

### 2. Effect of IMF $B_y$ and $B_z$

Two important conditions

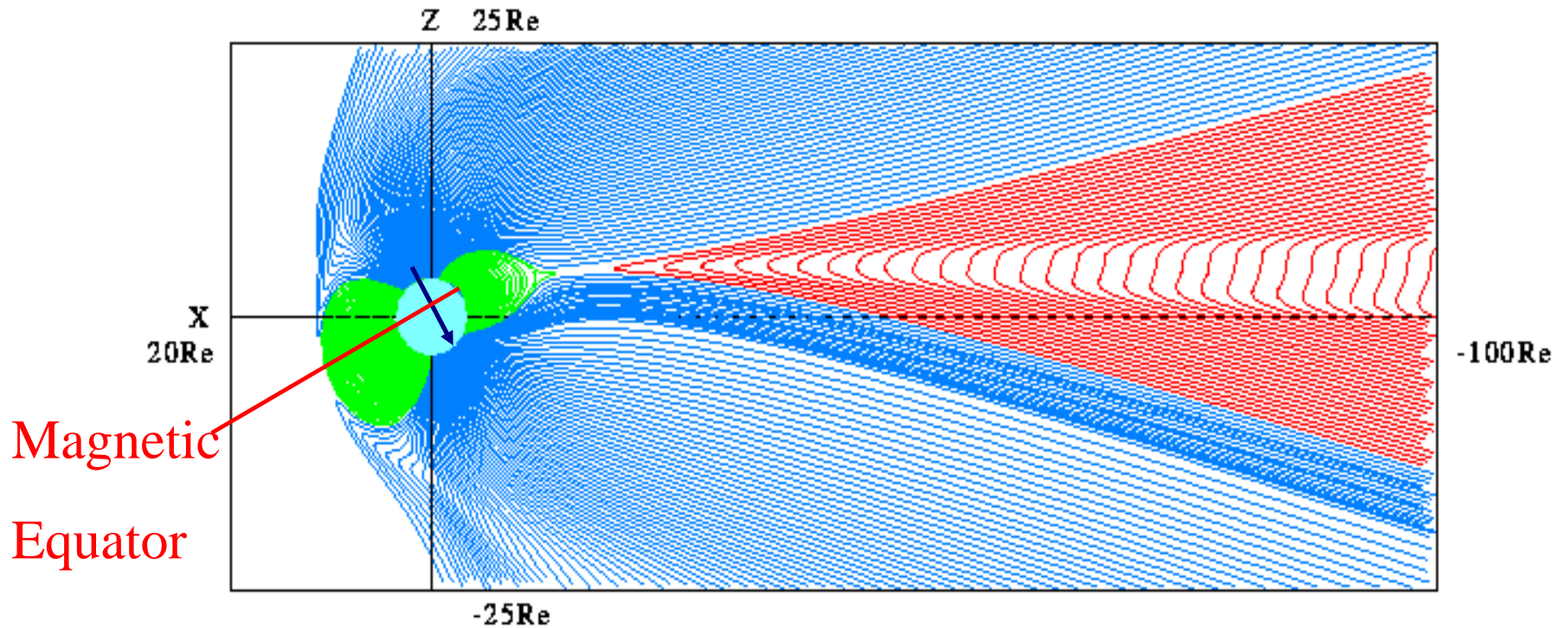
(1) Anti-parallel field condition

(2) Magnetosheath plasma flow

# Dipole tilt and southward IMF

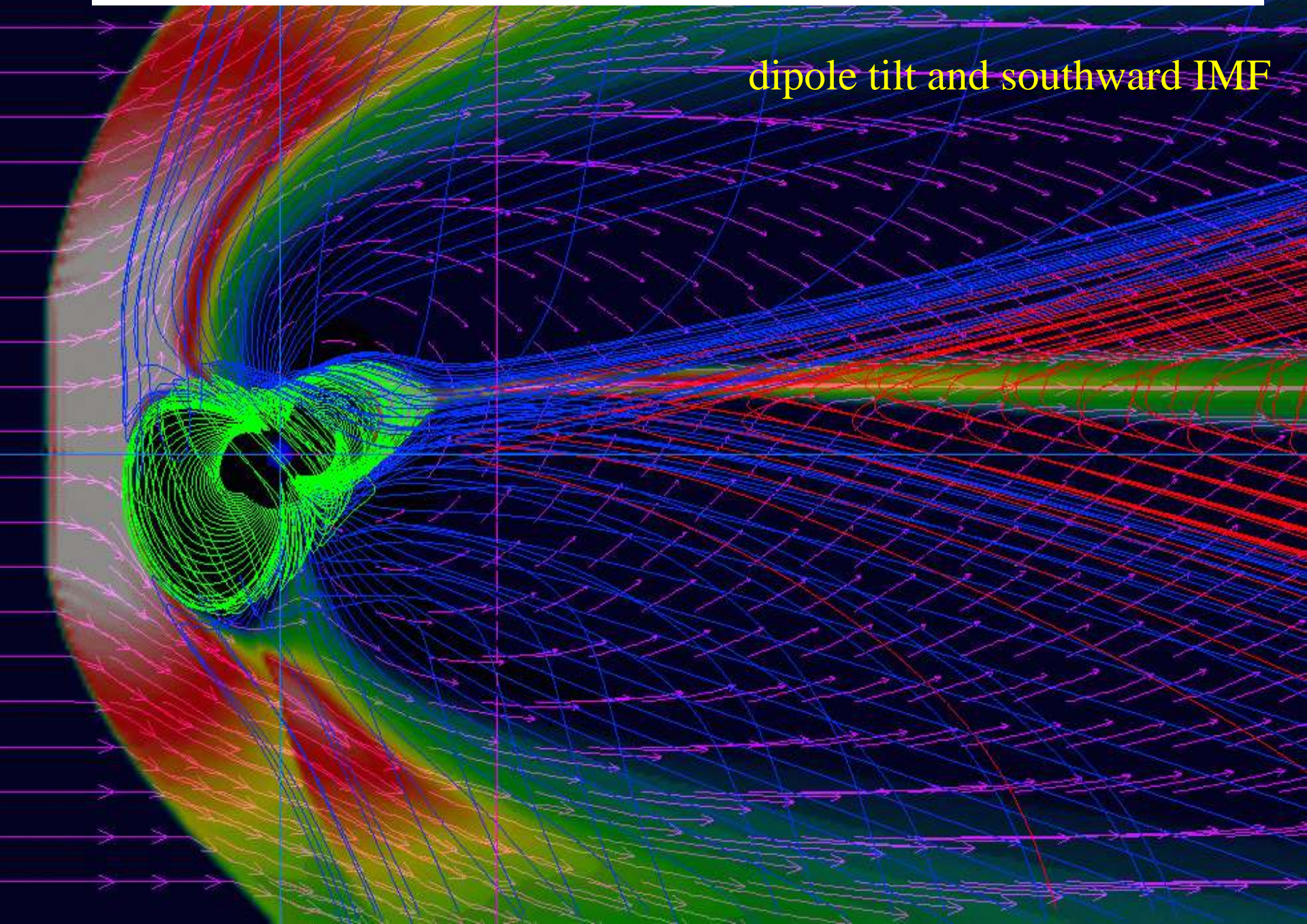
MIID Simulation of Dipole Tilt in Magnetosphere

Tilt = 30 degrees IMF  $B_z = -5.0$  nT  $T = 360$  min



# 3D visualization by VRML (Virtual Reality Modeling Language)

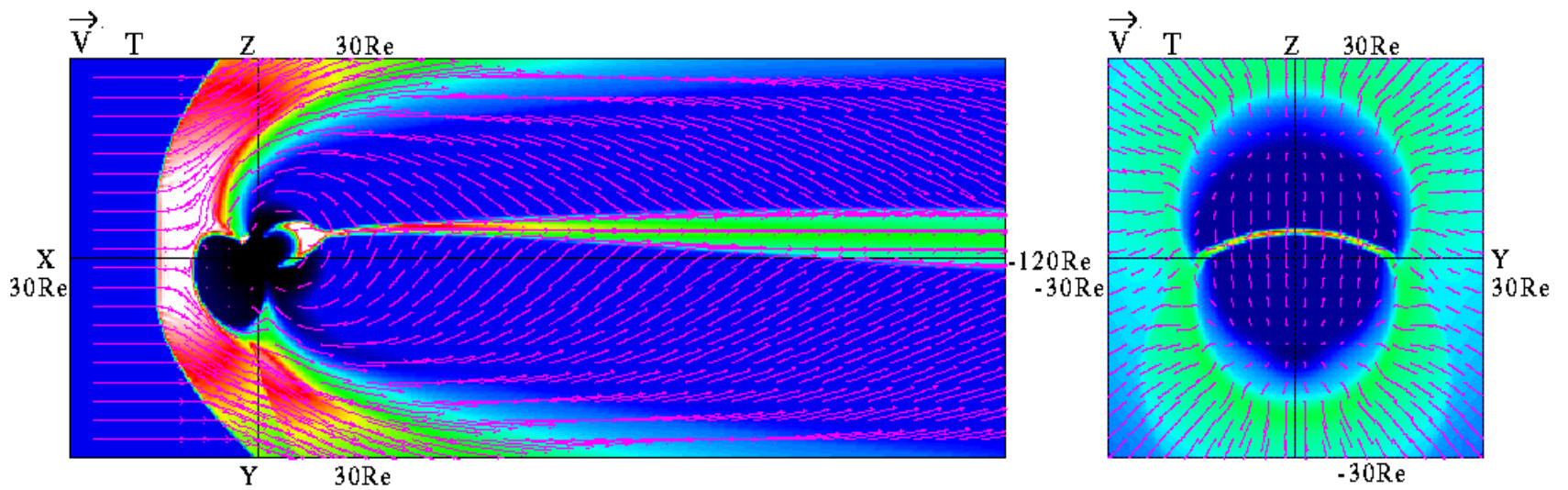
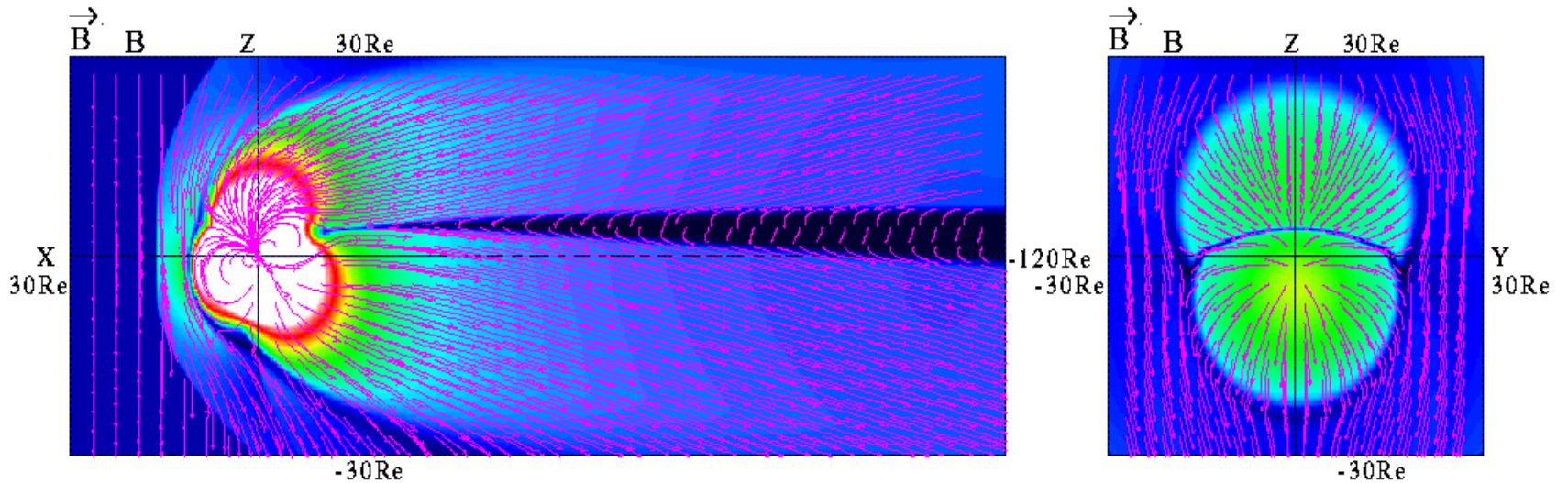
dipole tilt and southward IMF





# MHD Simulation of Dipole Tilt in Magnetosphere

Tilt = 30 degrees IMF  $B_z = -5.0$  nT  $T = 360$  min

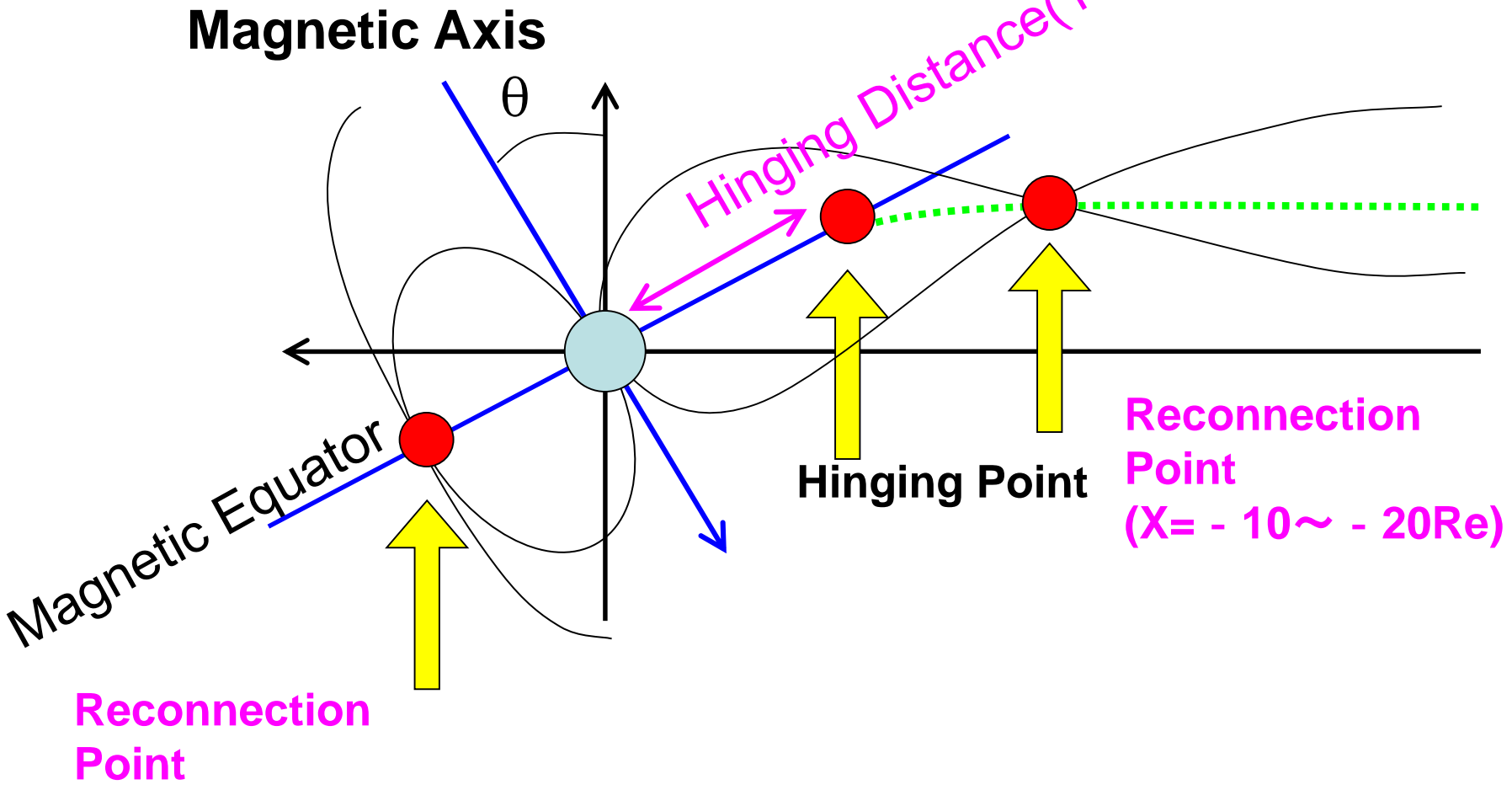


last= 4 ii= 2 nxp= 150 nr= 500

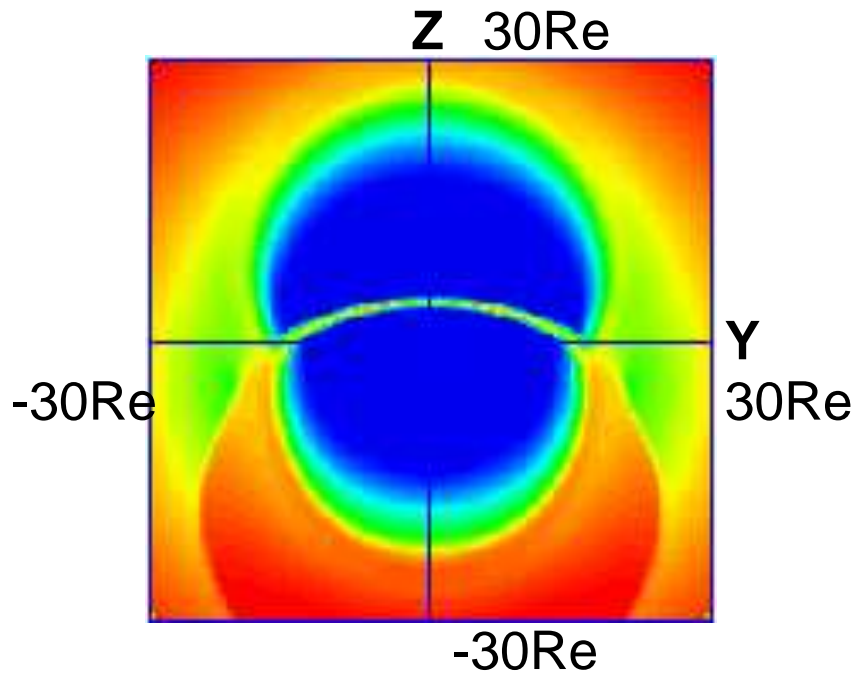
x = -15.0Re

Southward  
IMF

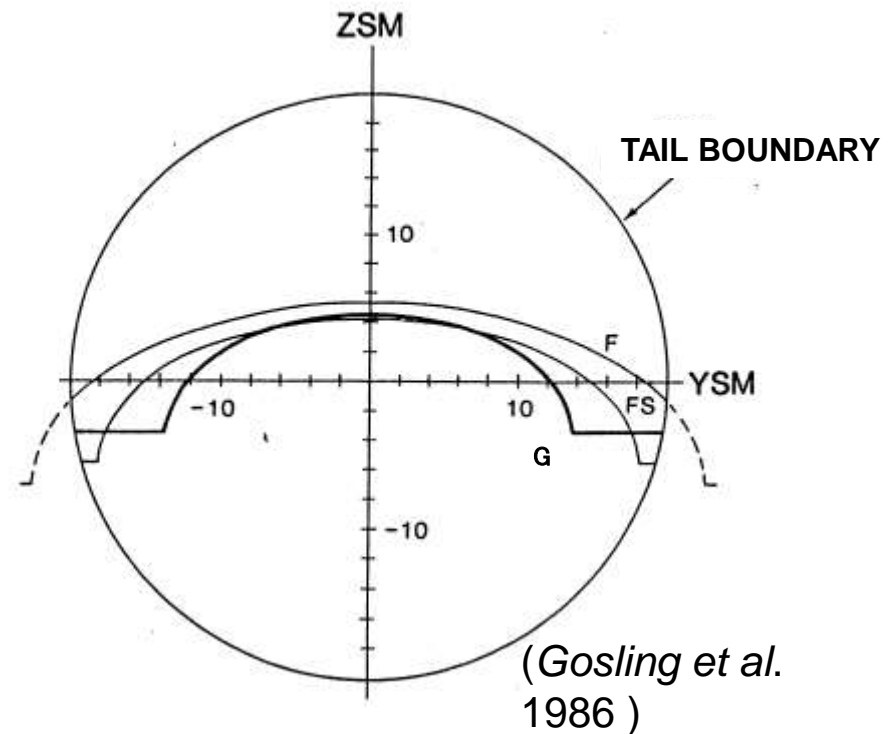
# Dipole Tilt



# Comparison of Shape of the Neutral Sheet Between Simulation and Observations by Fairfield and Gosling



Southward  
IMF  $B_z$   
 $-5nT$

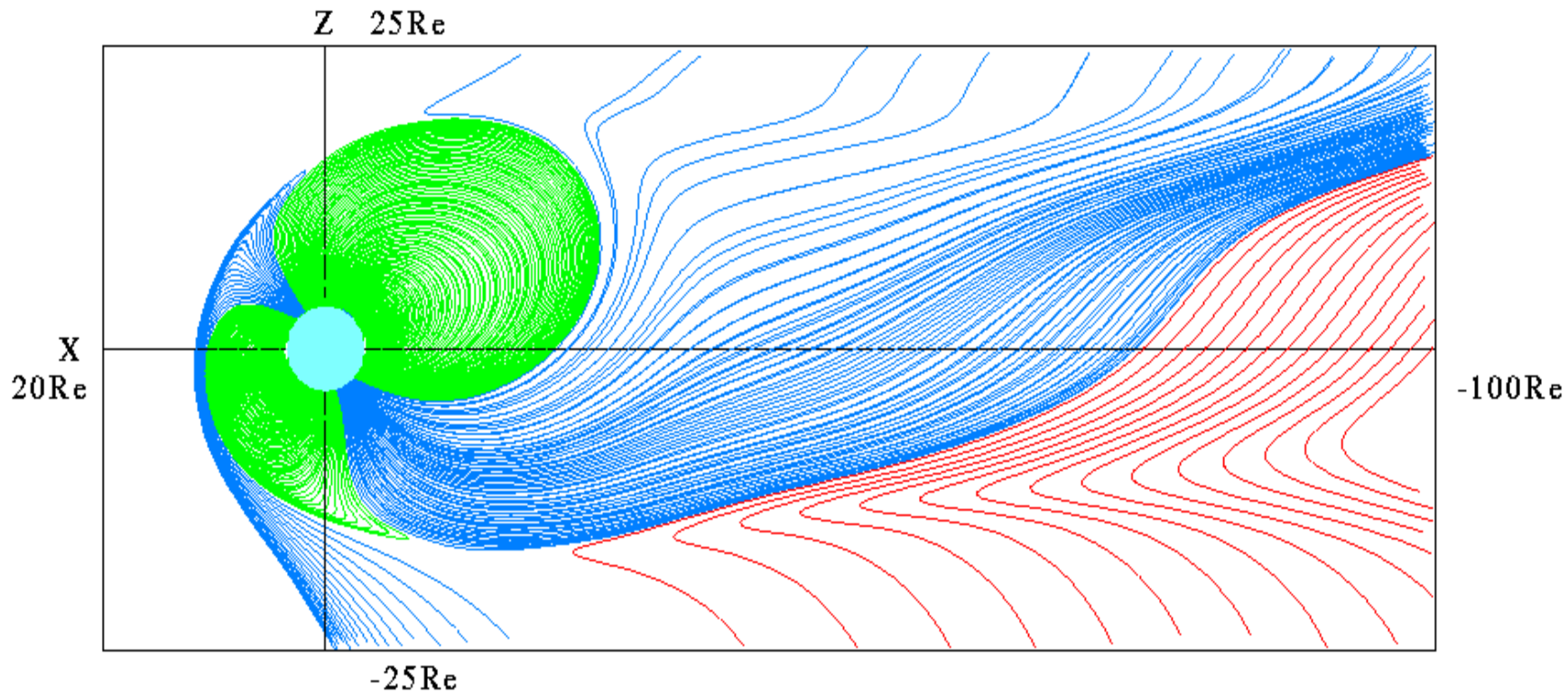


<b>F</b>	··· Fairfield near $-30R_e$
<b>FS</b>	··· Fairfield near $-20R_e$
<b>G</b>	··· Gosling near $-15R_e$

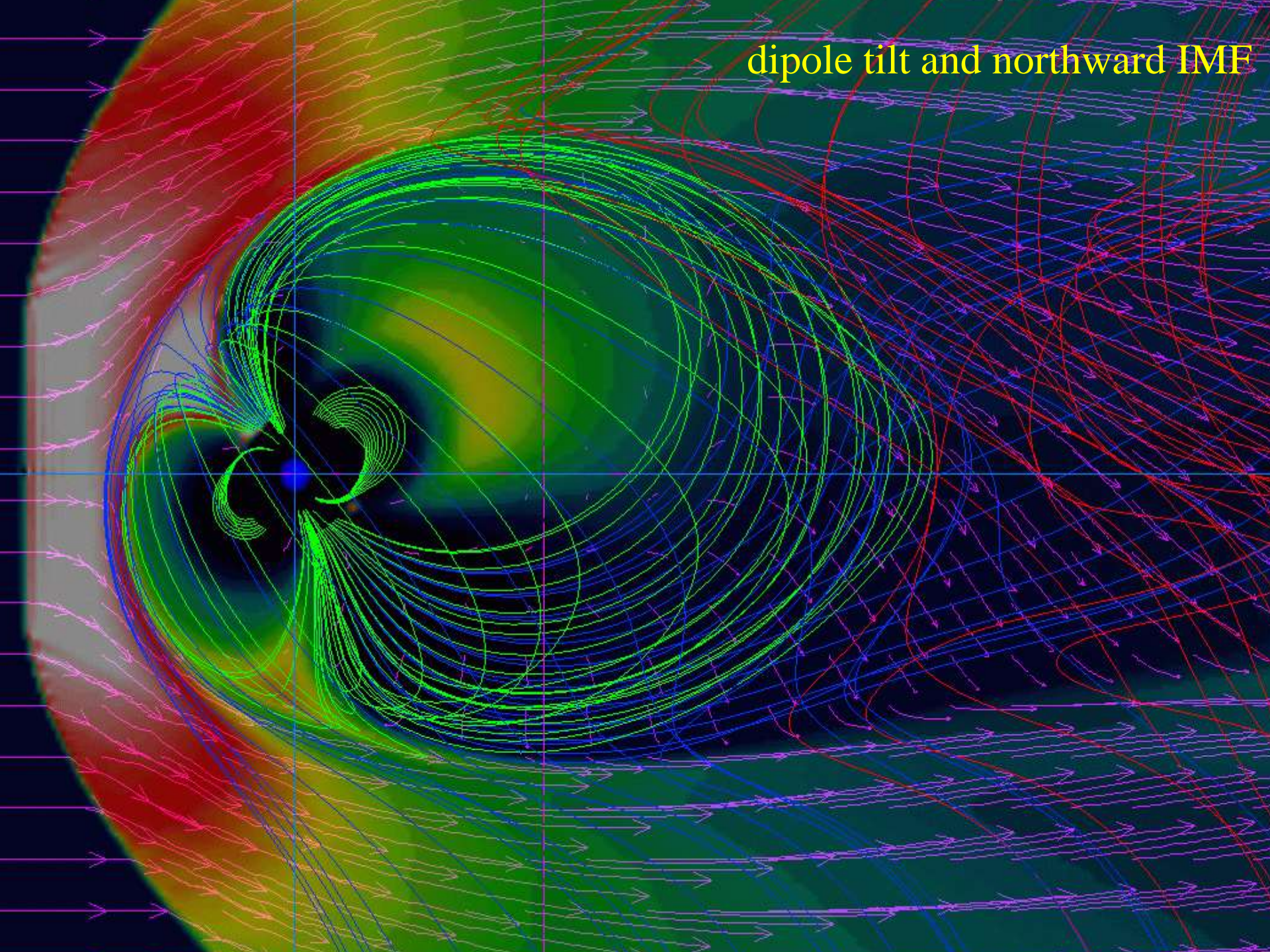
# Dipole tilt and Northward IMF

MHD Simulation of Dipole Tilt in Magnetosphere

Tilt = 30 degrees IMF  $B_z = 5.0$  nT  $T = 720$  min

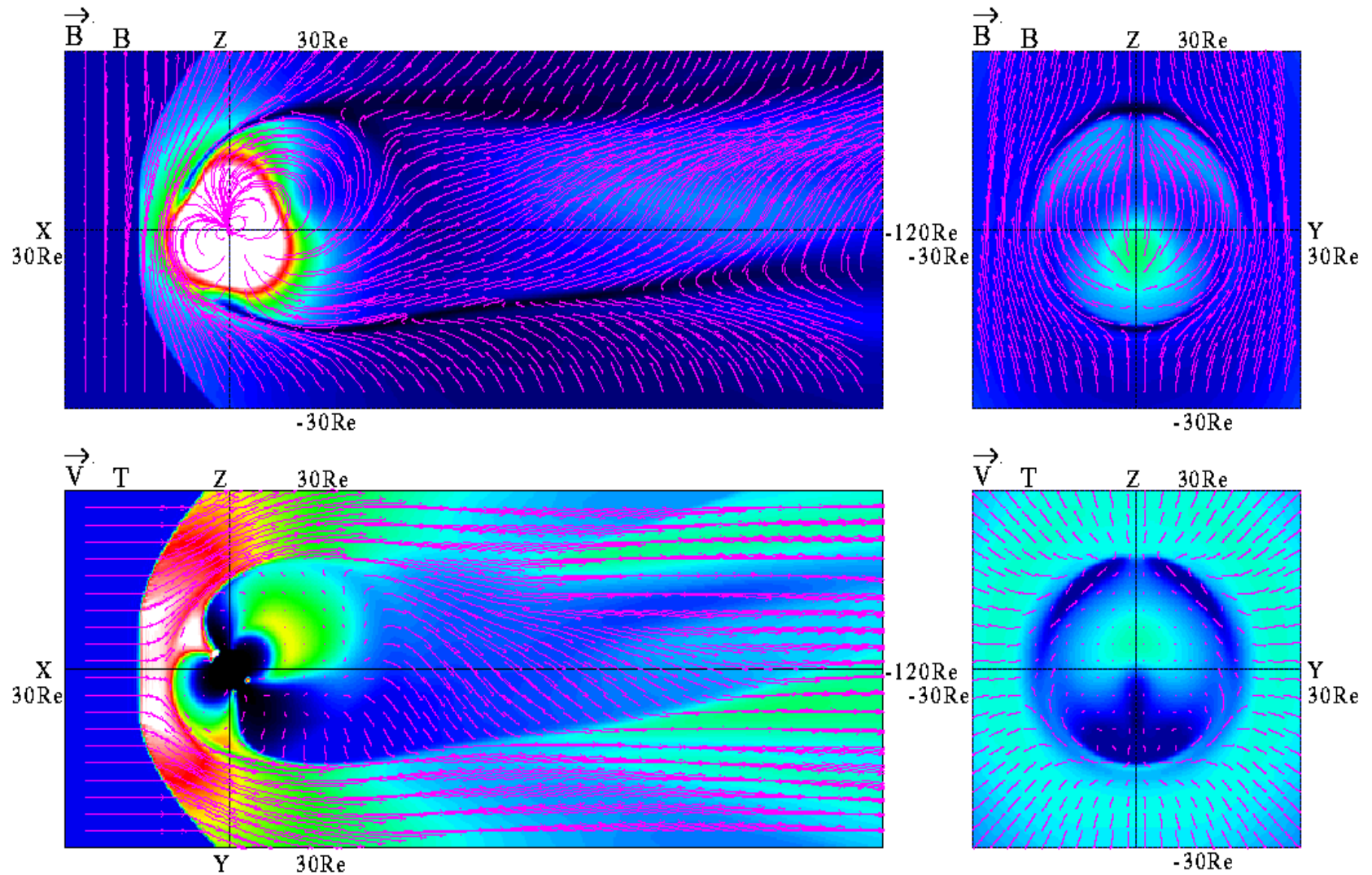


dipole tilt and northward IMF



# MHD Simulation of Dipole Tilt in Magnetosphere

Tilt = 30 degrees IMF Bz= 5.0 nT T= 720 min

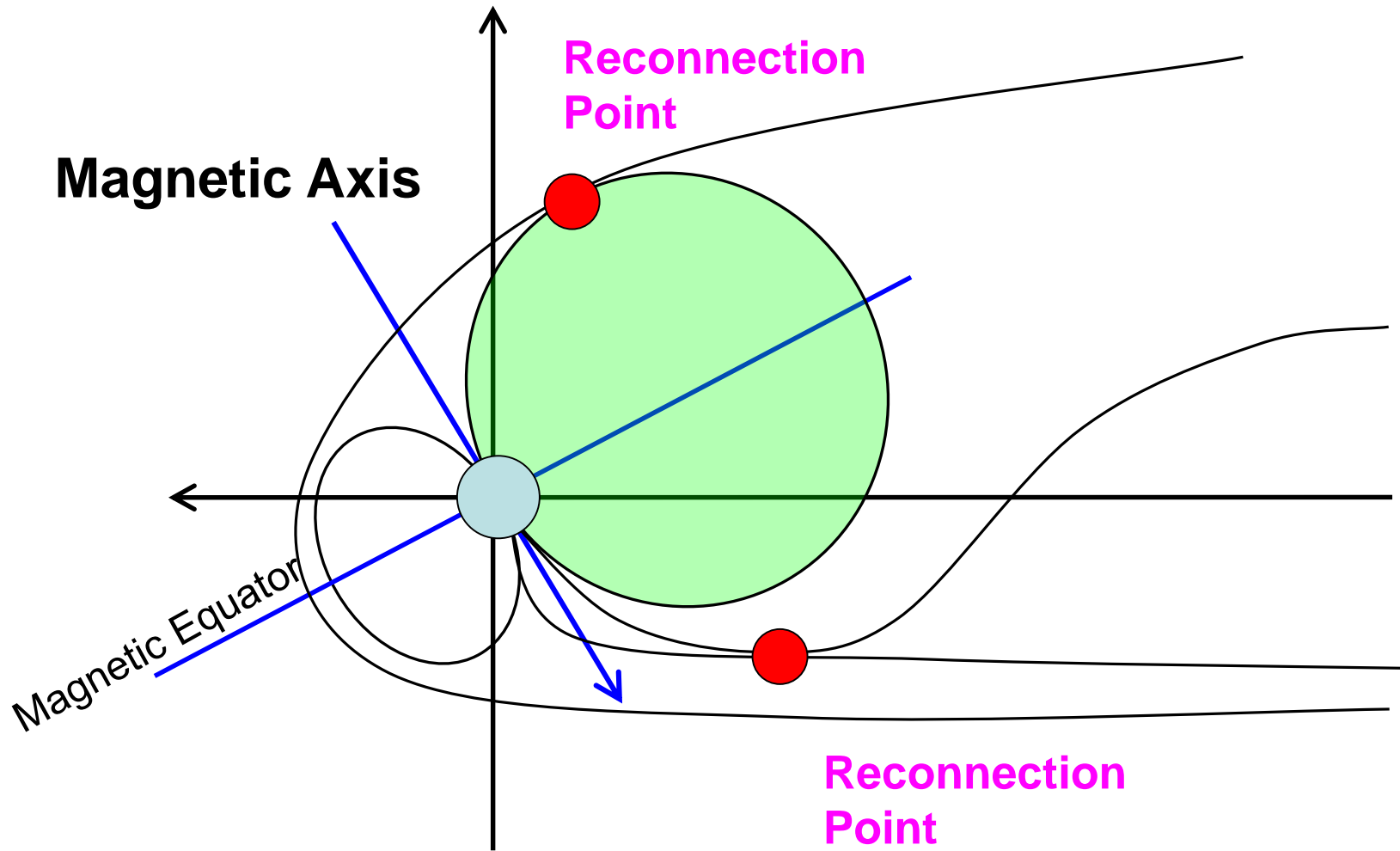


last= 4 ii= 3 nxp= 150 nr= 500

x = -15.0Re

Northward IMF

# Dipole Tilt



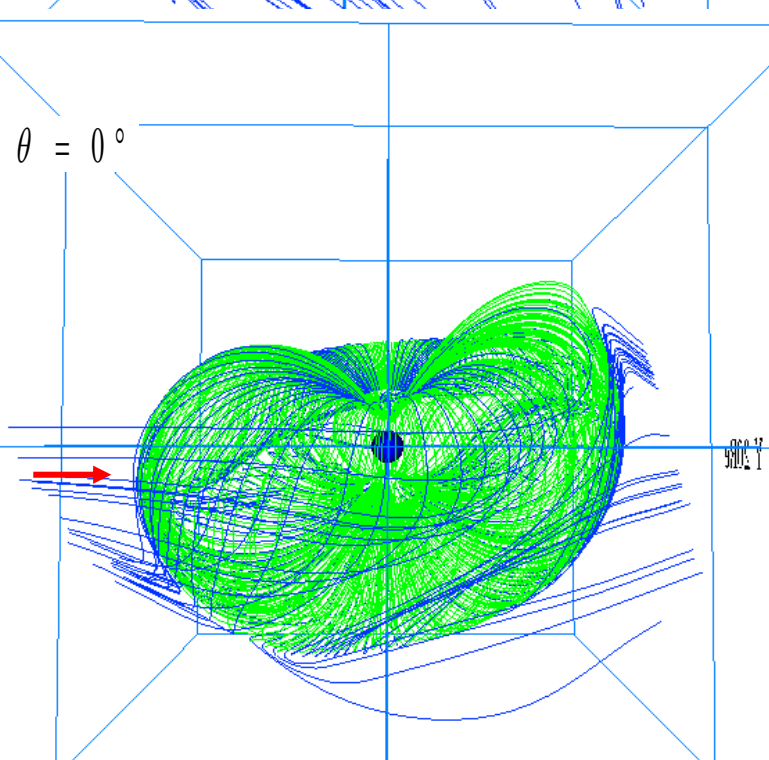
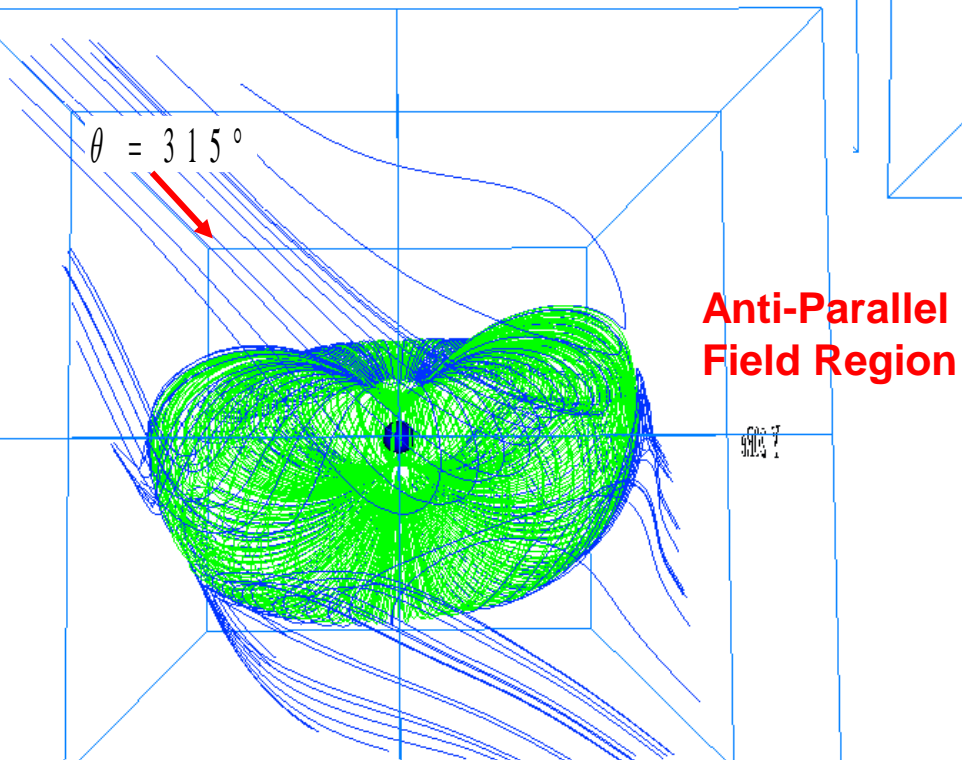
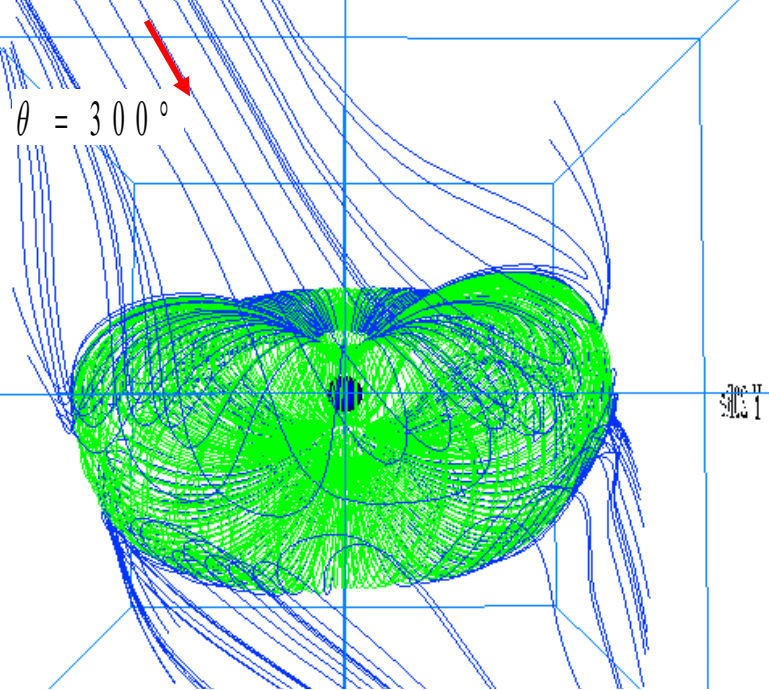
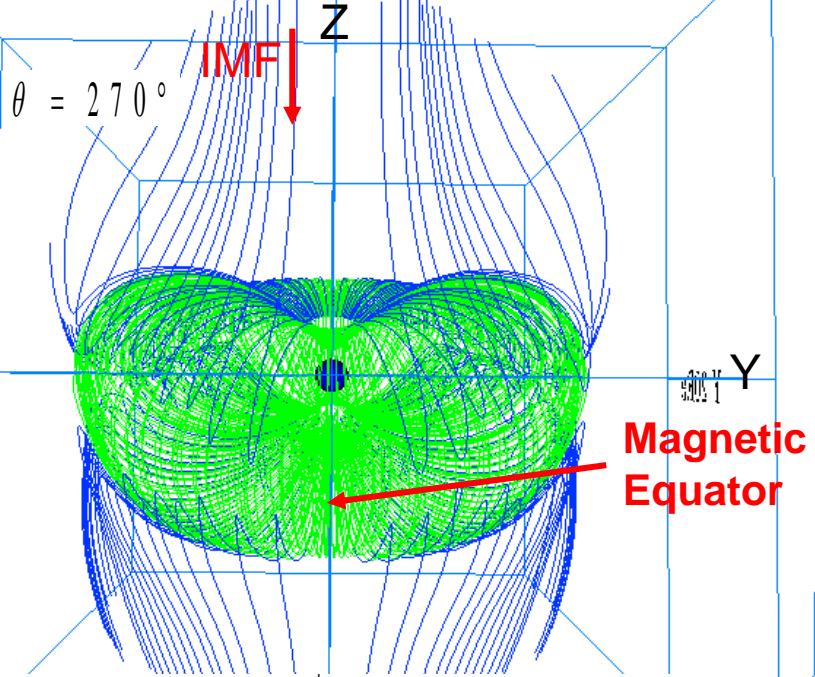
# 地磁気の傾きとIMF By成分の効果

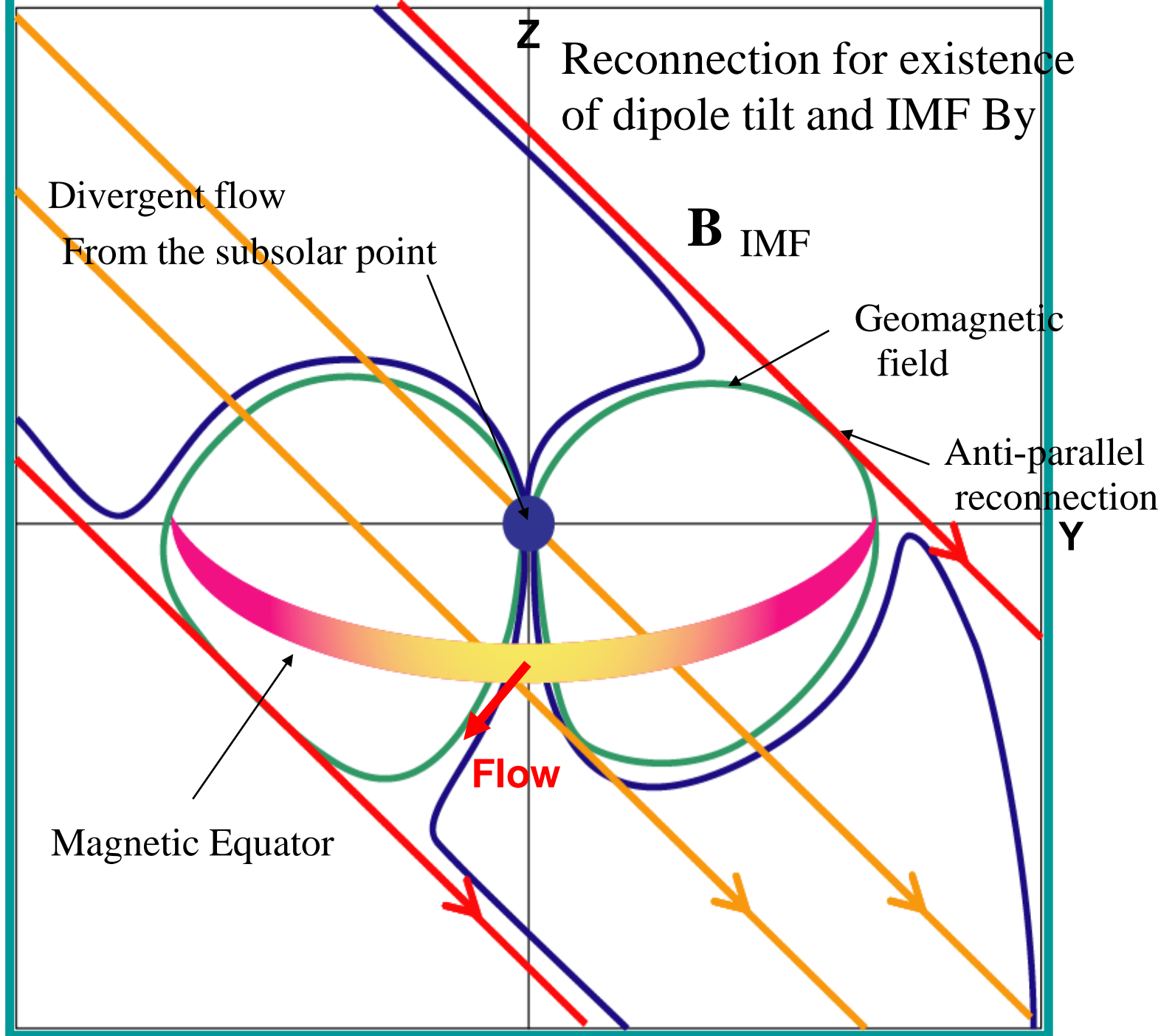
## Effect of dipole Tilt and IMF By component

Tilt angle is 30 degrees

Northern hemisphere is summer



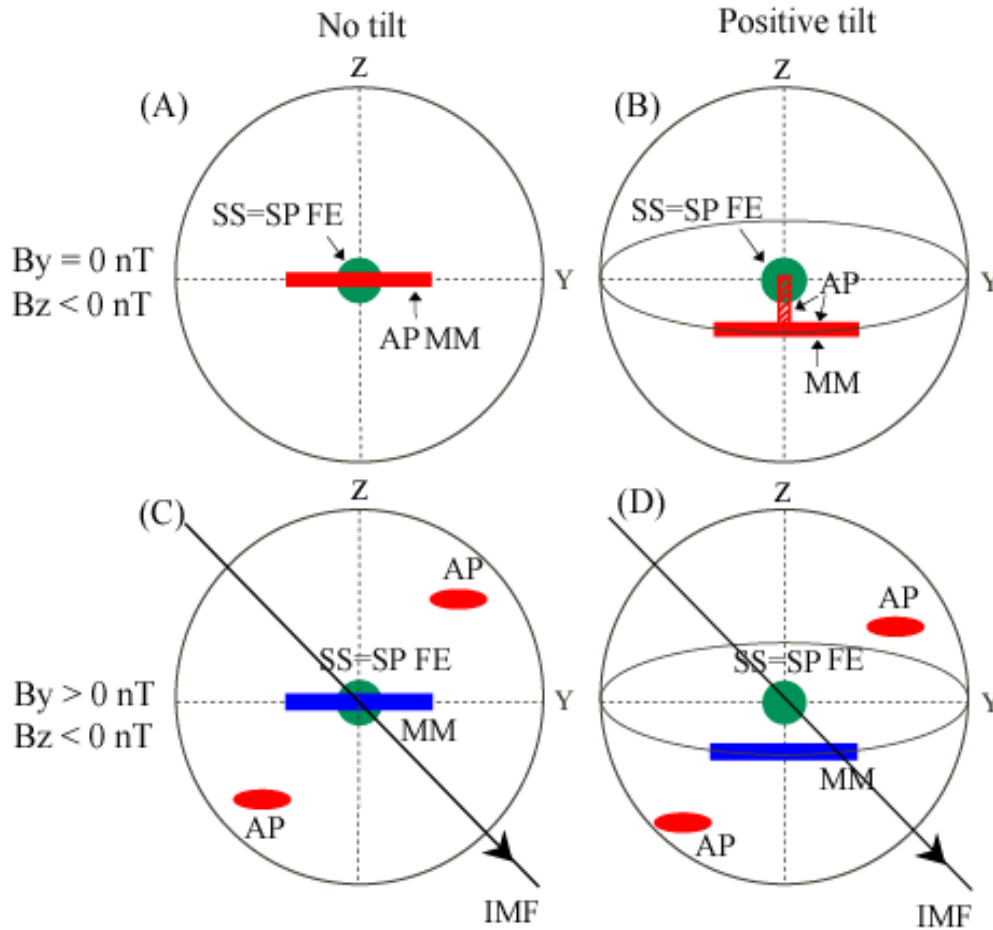




# 2.4 Discussion

## 1. Study of the Dayside Magnetic reconnection

Schematic diagram of the characteristic regions in a view from the Sun



**AP:** IMF lines are antiparallel to the geomagnetic field line

**SP:** the stagnation point of the magnetosheath flow

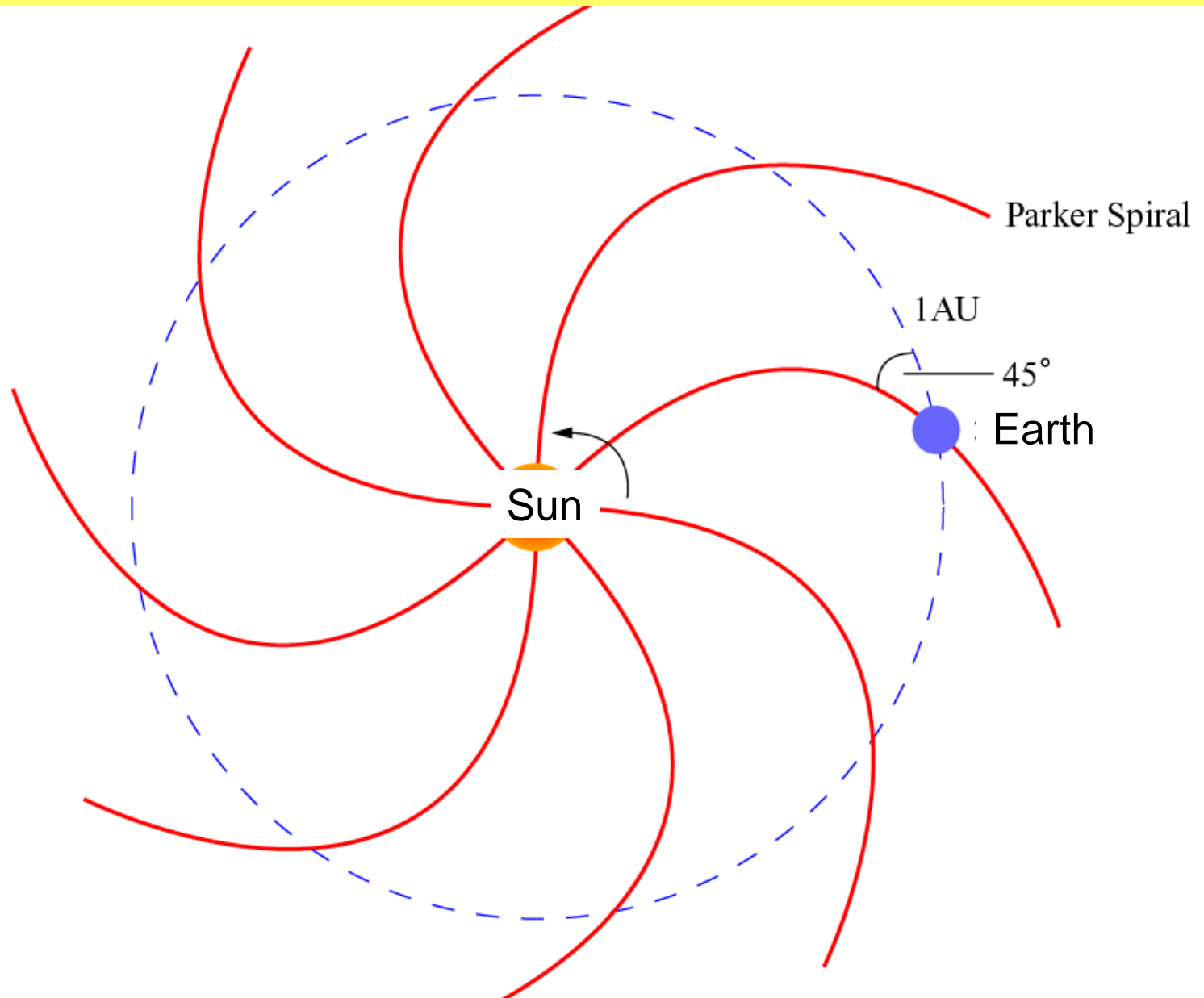
**SS:** the subsolar region on the magnetopause

**MM:** the minimum magnitude along the geomagnetic field lines (The magnetic equator)

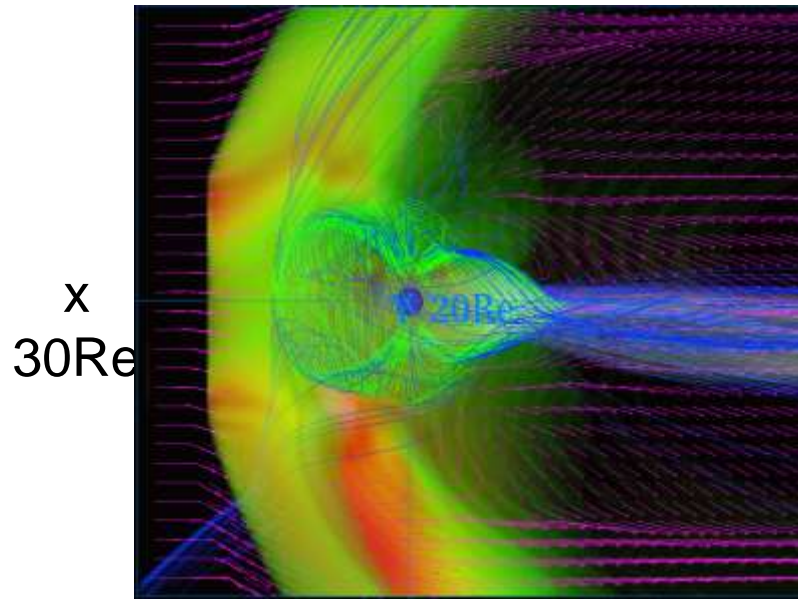
**FE:** the first encounter region where IMF field lines first reaches the magnetopause

Park and Ogino, JGR, 2006

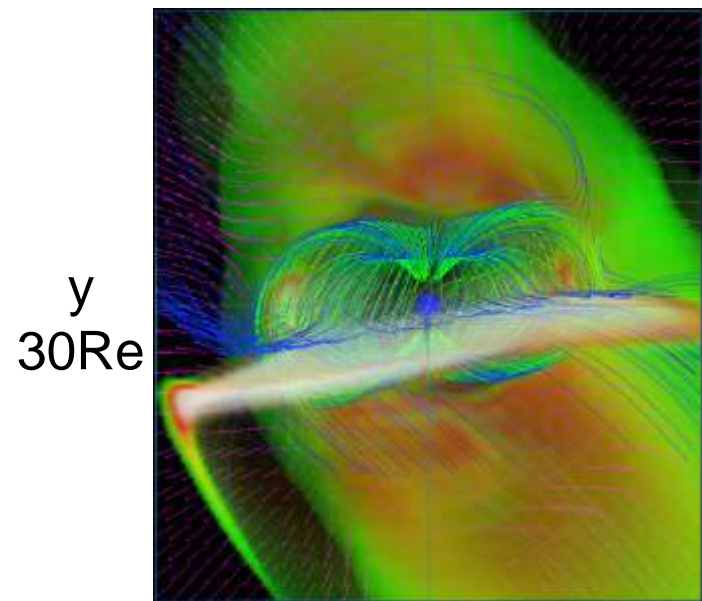
# Effect of IMF Bx component by Parker spiral



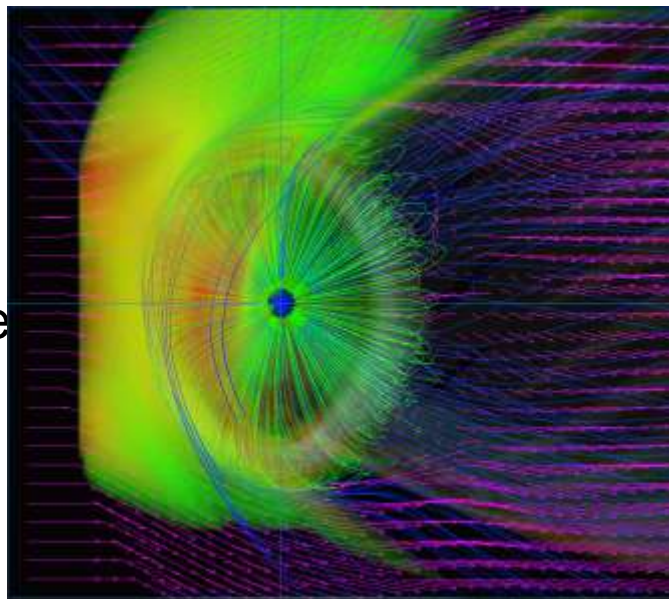
z 30Re



z 30Re



x 30Re



y 30Re

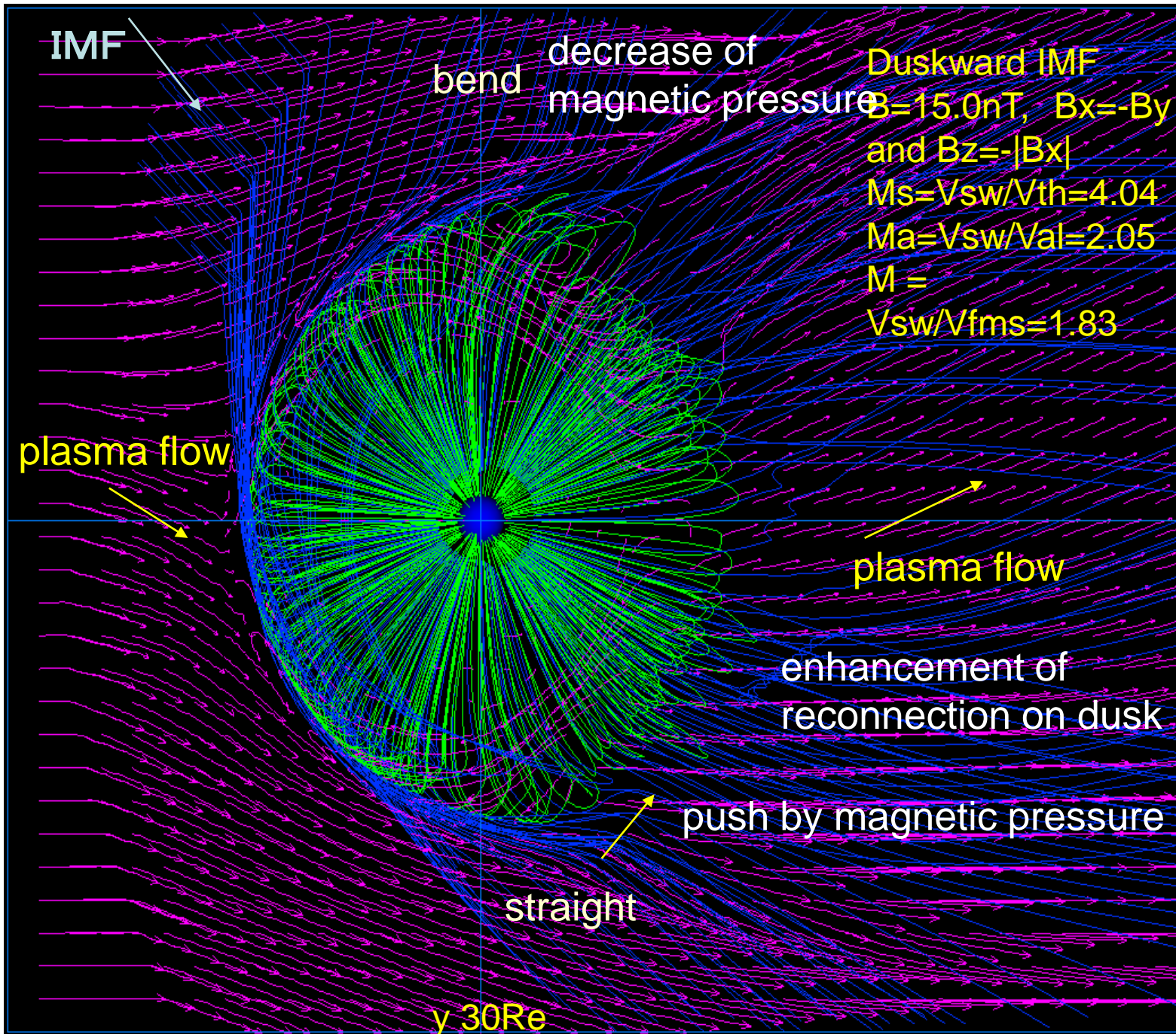
Dawnward IMF

$B=12.2\text{nT}$ ,  $B_x=-B_y$  and  $B_z=-|B_x|$

$M_s=V_{sw}/V_{th}=6.39$

$M_a=V_{sw}/V_{al}=2.52$

$M = V_{sw}/V_{fms}=2.34$



Dawnward IMF  
 $B=12.2\text{nT}$ ,  $B_x=-B_y$  and  $B_z=-|B_x|$

Z

Dawnward IMF  
 $B=12.2\text{nT}$ ,  $B_x=-B_y$   
and  $B_z=-|B_x|$   
 $M_s=V_{sw}/V_{th}=6.39$   
 $M_a=V_{sw}/V_{al}=3.08$   
 $M = V_{sw}/V_{fms}=2.78$

Y



# 高精度MHDシミュレーション

## High Resolution MHD Simulation

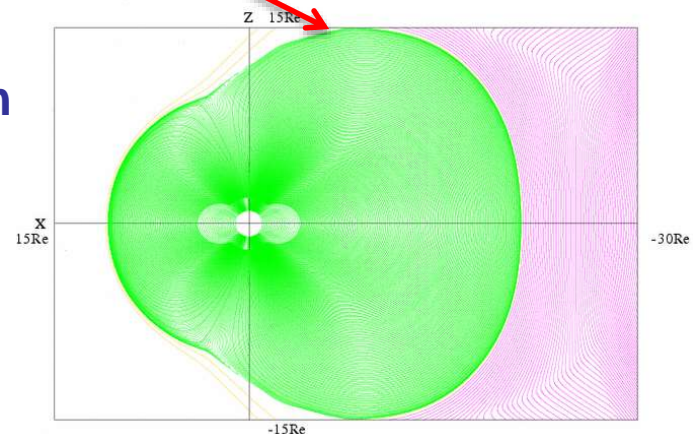
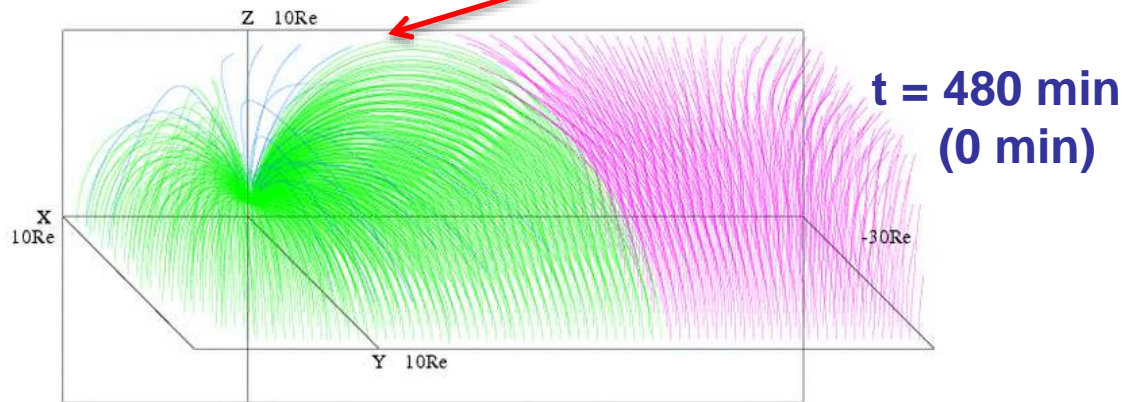
Steady Configuration of  
Earth's Magnetosphere



# Magnetic Reconnection in Earth's Magnetosphere

Northward IMF  
 $B_z = 20$  nT

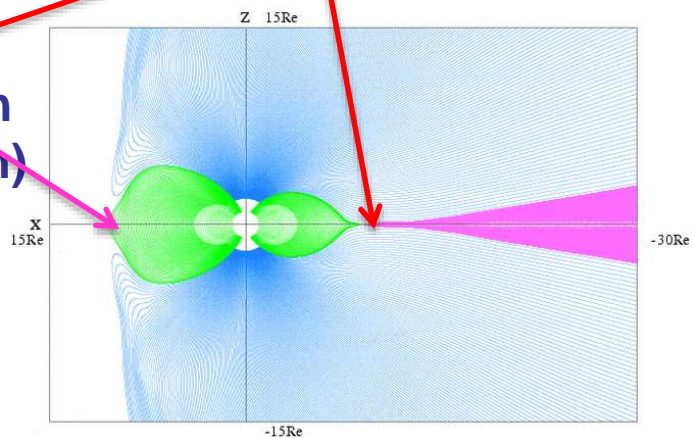
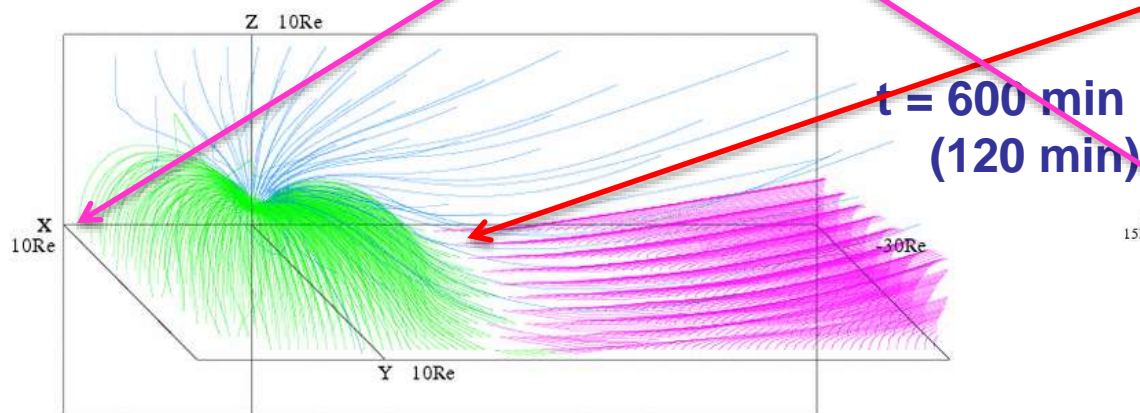
High Latitude Tail Reconnection (HLTR)



Southward IMF  
 $B_z = -20$  nT

Dayside Magnetopause Reconnection (DMR)

Tail Reconnection (TR) or Near Earth Neutral Line (NENL)



# Convection for Southward and Northward IMF

Poynting flux (blue), plasma pressure (green) and  $B_z=0$  line (red)

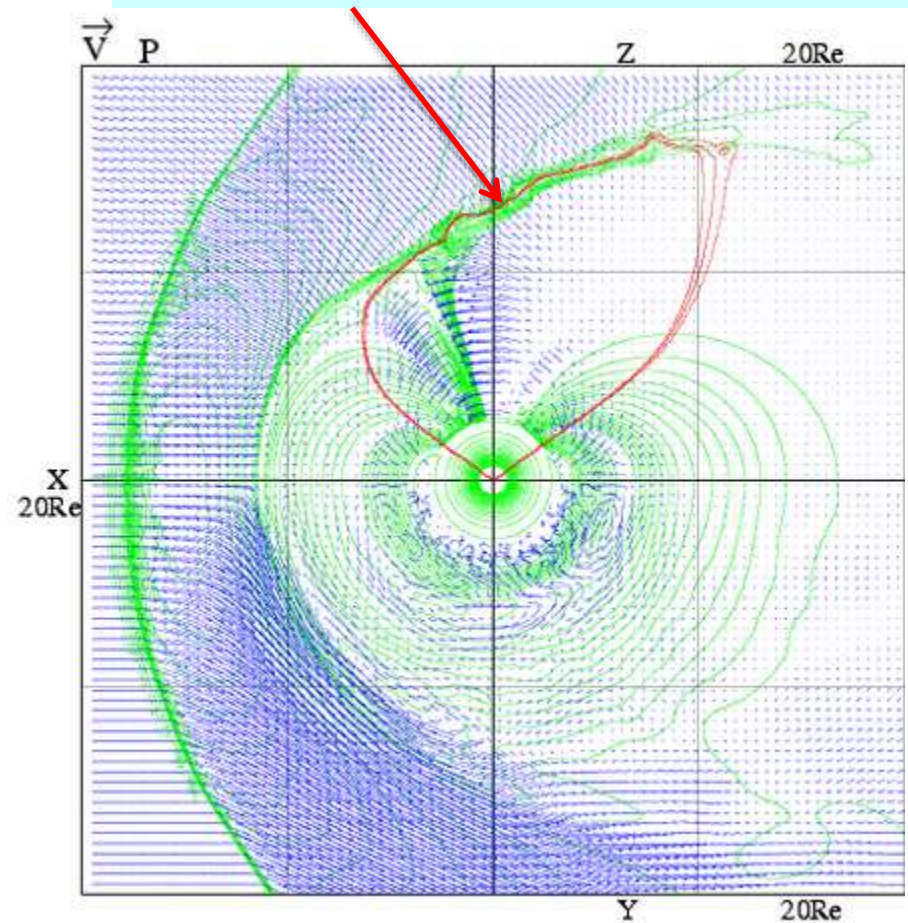
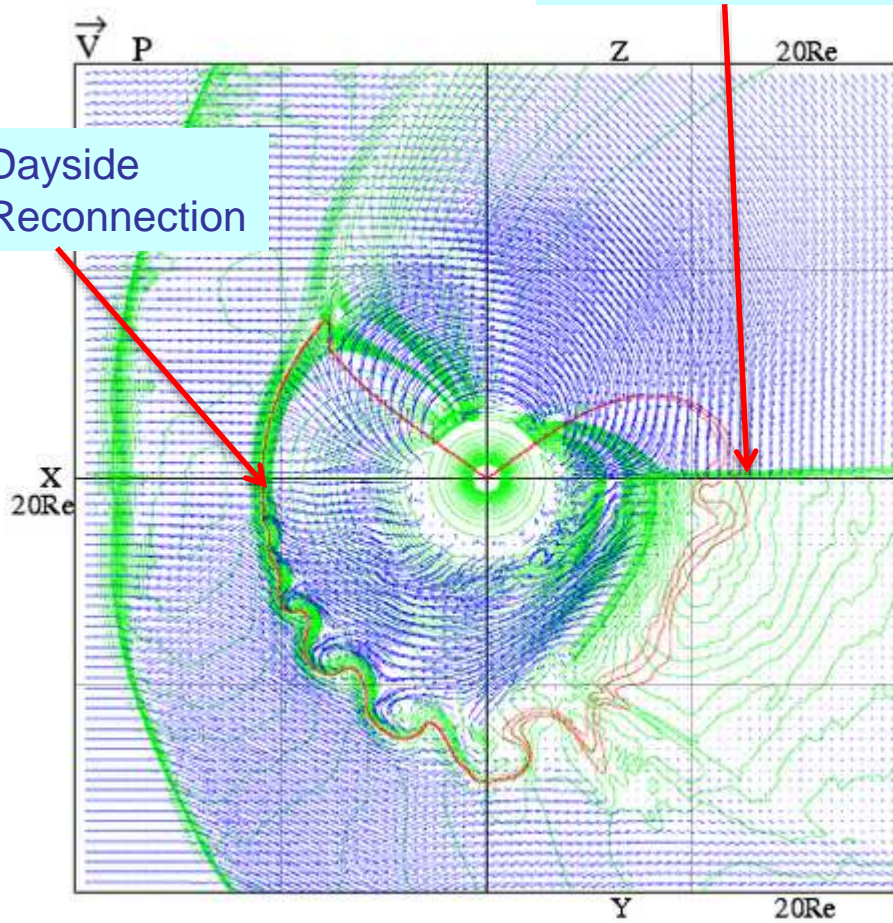
Southward IMF  $B_z=-10\text{nT}$

Northward IMF  $B_z=10\text{nT}$

Red lines show  $B_z=0$ . Tail Reconnection

High Latitude Tail Reconnection (HLTR)

Dayside Reconnection

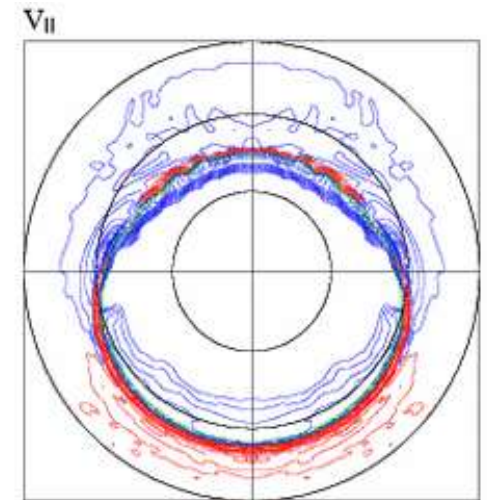
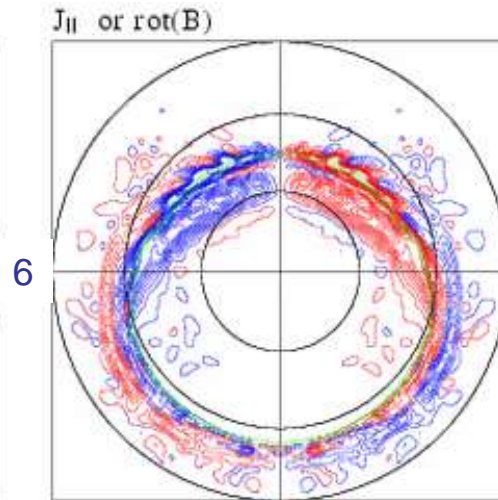
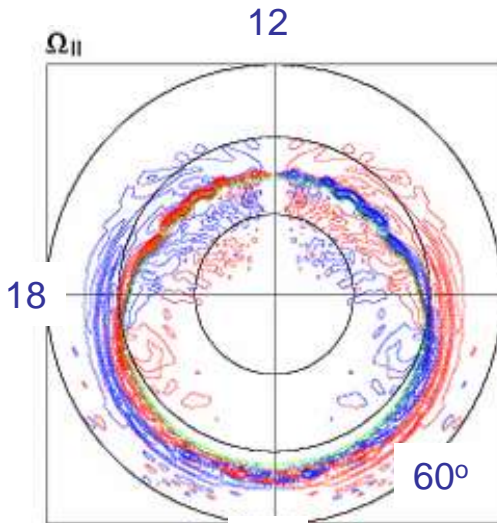


# Polar Plots for Southward and Northward IMF

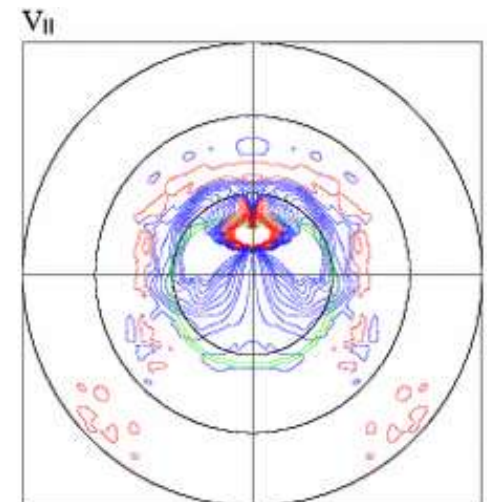
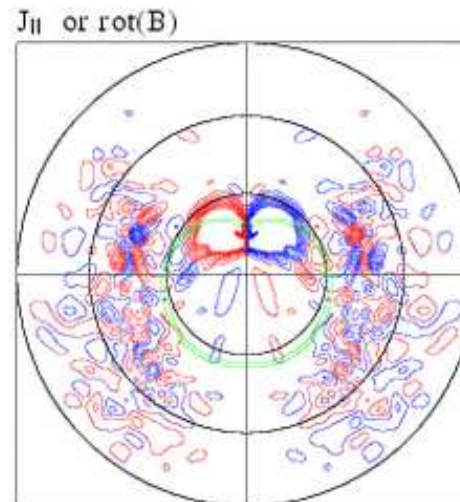
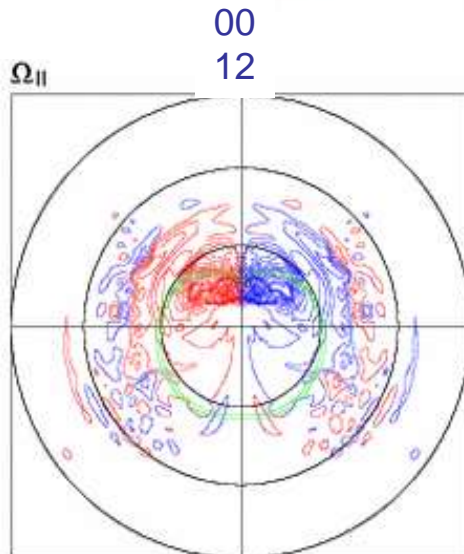
Parallel vortex, field aligned currents and parallel velocity

$$\int \frac{1}{2B} (\rho \Omega_{\parallel}^2 + \mu_0 J_{\parallel}^2) dl = \text{constant}$$

Southward  
IMF  
Bz=-10 nT



Northward  
IMF  
Bz=10 nT



$V_{\parallel}$  and  $\Omega_{\parallel}$

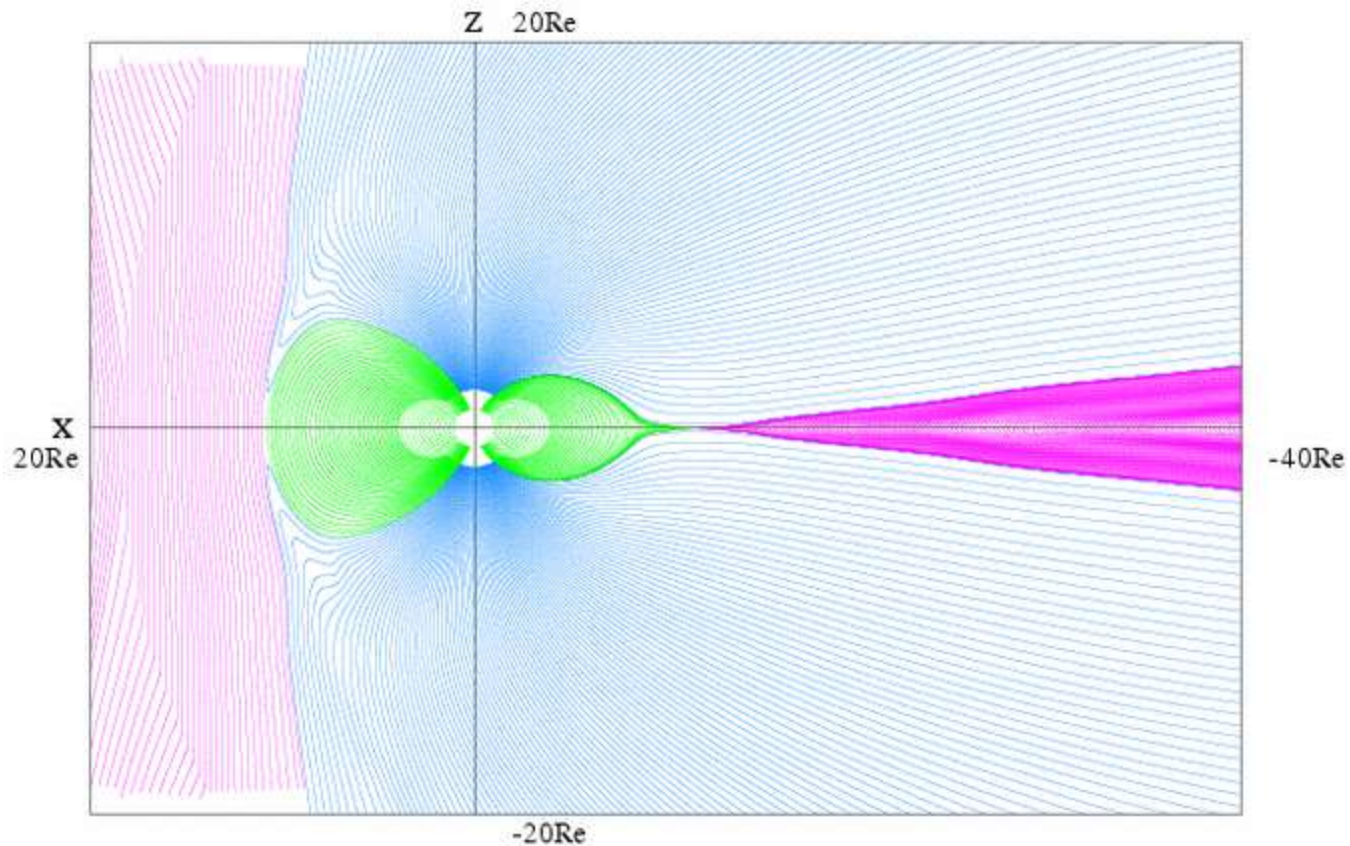
IMFが南向きから北向きに変  
わった時

IMF Changes from Southward  
to Northward

IMF turns from south ( $B_z = -10$  nT) to north ( $B_z = 10$  nT) at  $t = 540$  min.  
Movie is shown every 10 seconds for 540 – 610 min.

### 3D MHD Simulation of Earth's Magnetosphere

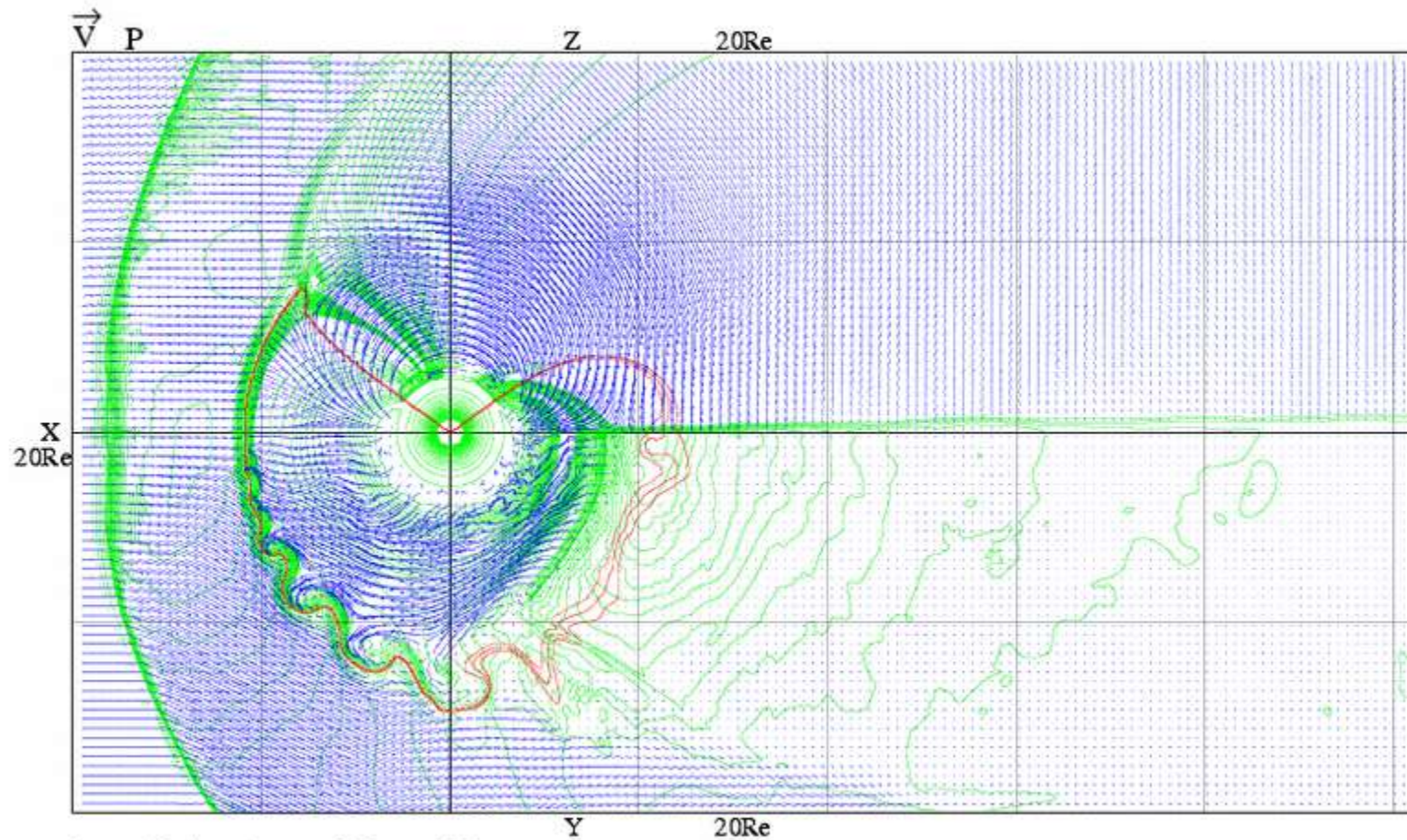
$B_z = 10$  nT  $N_{sw} = 5/cc$   $V_{sw} = 300$  km/s  $t = 661$  m 00s



IMF turns from south ( $B_z = -10$  nT) to north ( $B_z = 10$  nT) at  $t = 540$  min.  
Movie is shown every 10 seconds for 540 – 610 min.

Northward Turning from Southward IMF  
 $B_z = 10$  nT  $N_{sw} = 5$  /cc  $V_{sw} = 300$  km/s  $t = 661$  m 00s

Red lines show  $B_z = 0$ .



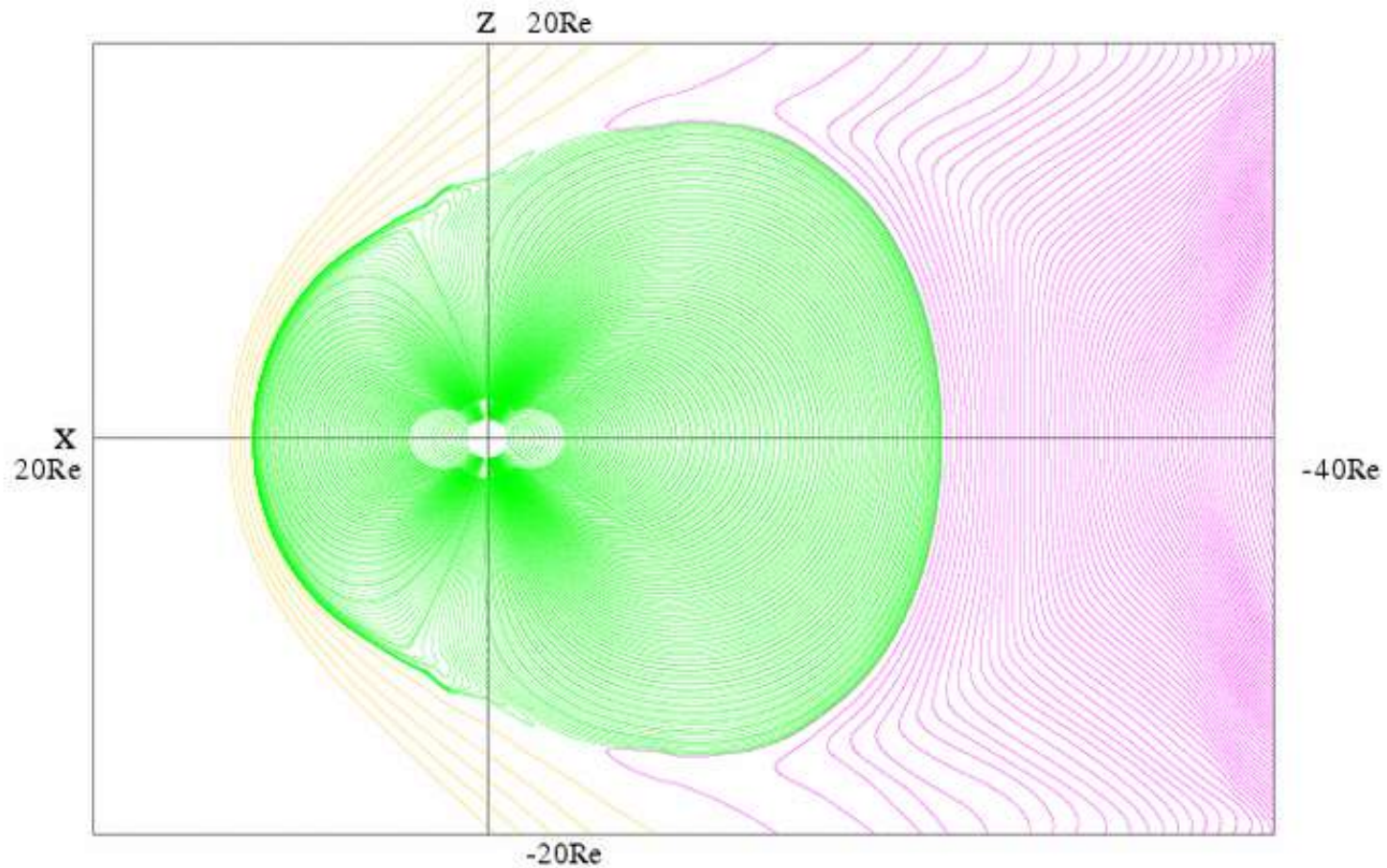
IMFが北向きから南向きに  
変わった時

IMF Changes from Northward  
to Southward

IMF turns from north ( $B_z=10$  nT) to south ( $B_z=-10$  nT) at  $t=540$  min.  
Movie is shown every 10 seconds for 540 – 610 min.

### 3D MHD Simulation of Earth's Magnetosphere

$B_z = -10$  nT  $N_{sw} = 5/cc$   $V_{sw} = 300$  km/s  $t = 541$  m 00s



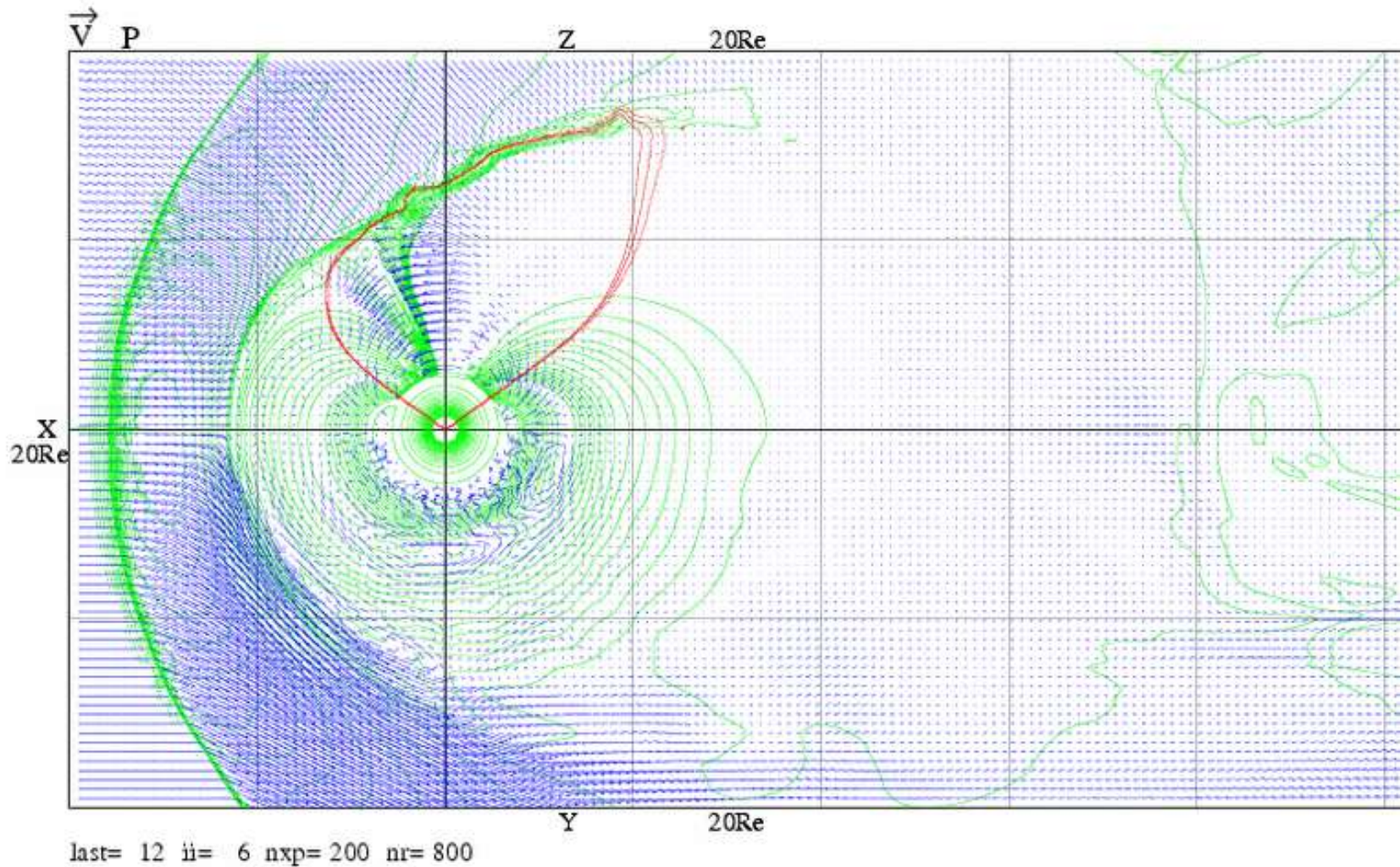


IMF turns from north ( $B_z=10$  nT) to south ( $B_z=-10$  nT) at  $t=540$  min.  
Movie is shown every 10 seconds for 540 – 610 min.

Southward Turning from Northward IMF

$B_z = -10$  nT  $N_{sw} = 5$  cc  $V_{sw} = 300$  km/s  $t = 541$  m 00s

Red lines show  $B_z = 0$ .



# 北向きIMFに対する磁気圏 ダイナミクス

Magnetospheric Dynamics  
for Northward IMF

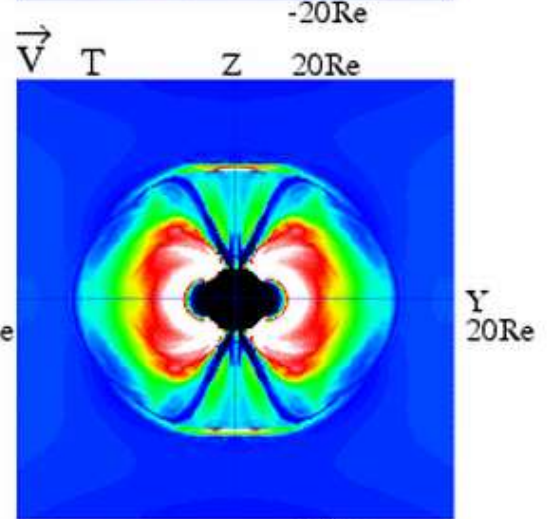
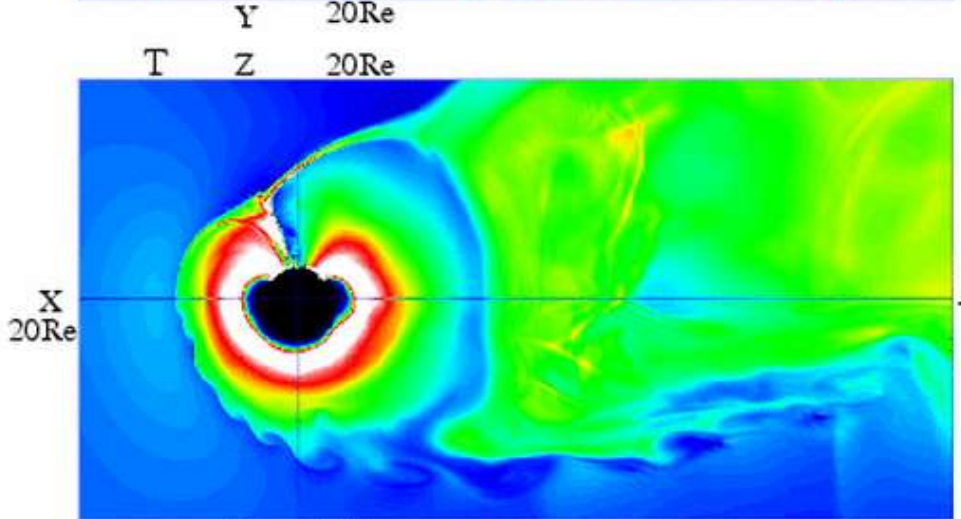
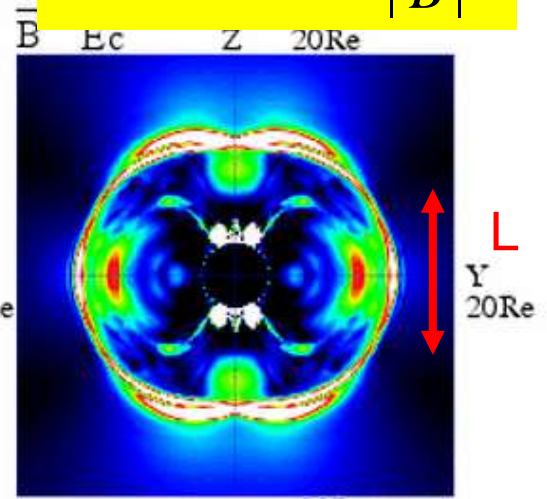
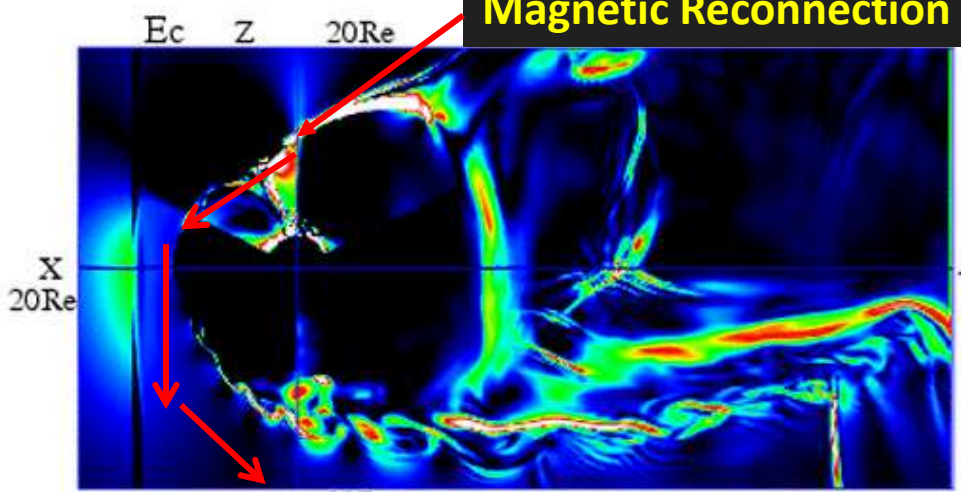
# 2. Results

Incoming Southward and Northward IMF

$B_g = 1.00 * B_0$   $B_z = 20.0 \text{ nT}$   $V_{sw} = 300 \text{ km/s}$   $t = 321 \text{ m}$

$$E_c = \eta J_c = \eta \frac{|B \times J|}{|B|}$$

**Magnetic Reconnection**



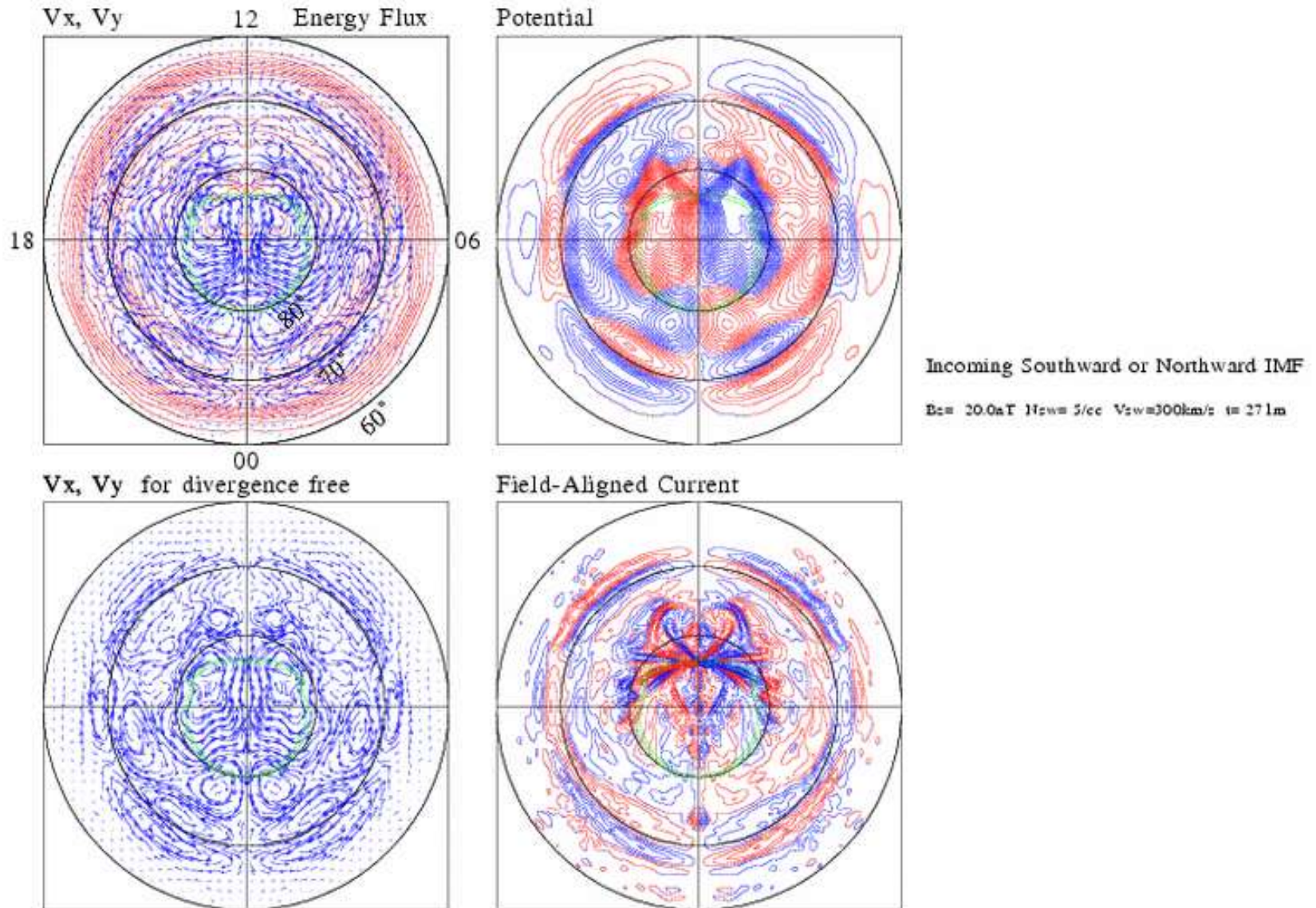
last= 10 ii= 2 nxp= 200 nr= 800

x = 0.0Re

Vortex train was rolled up in Low Latitude Boundary Layer (LLBL).

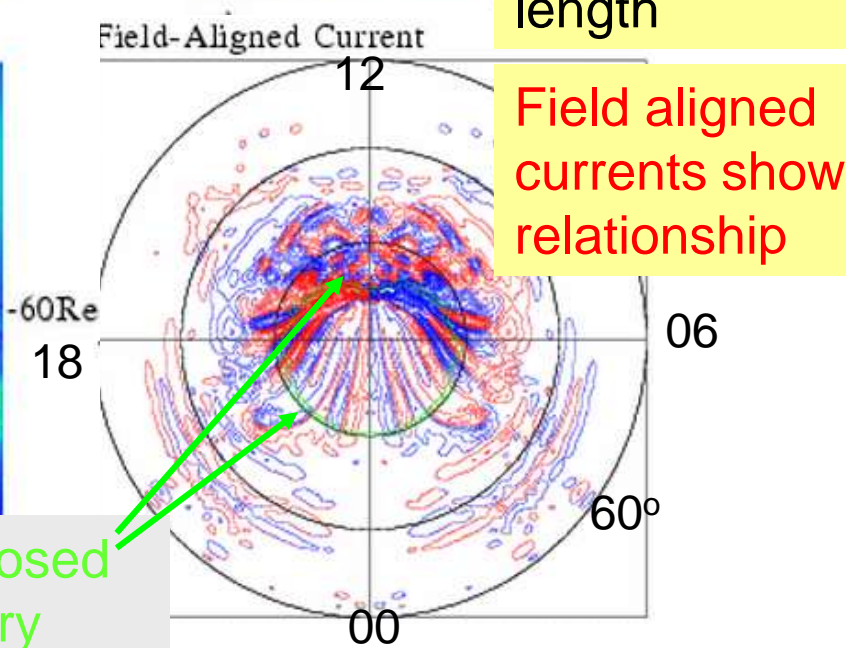
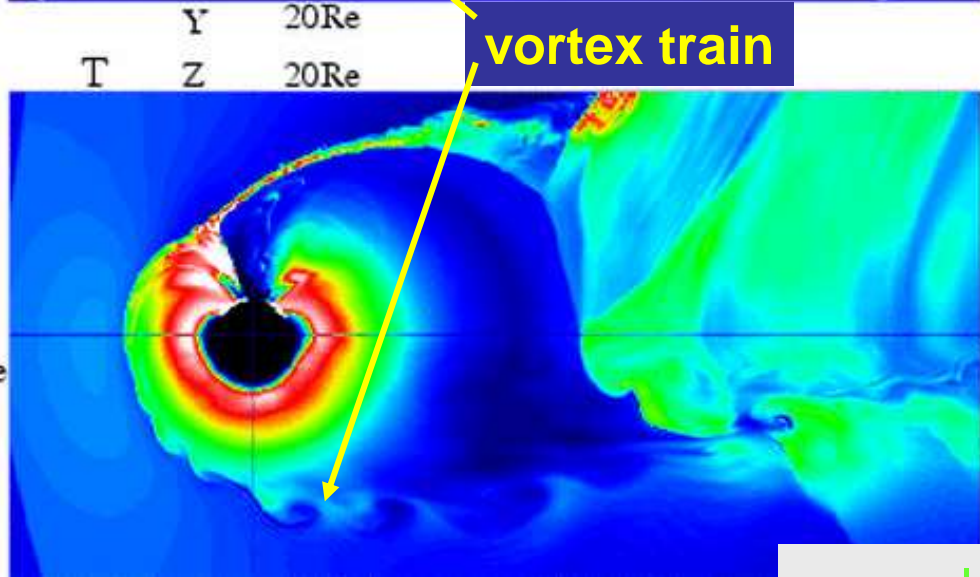
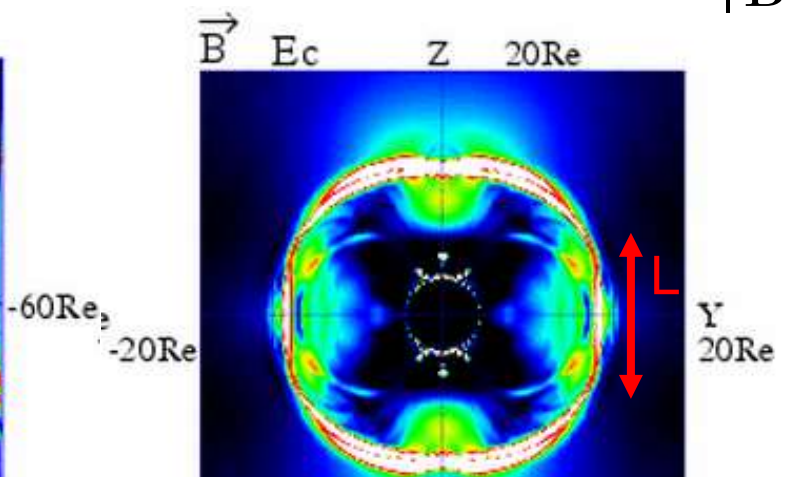
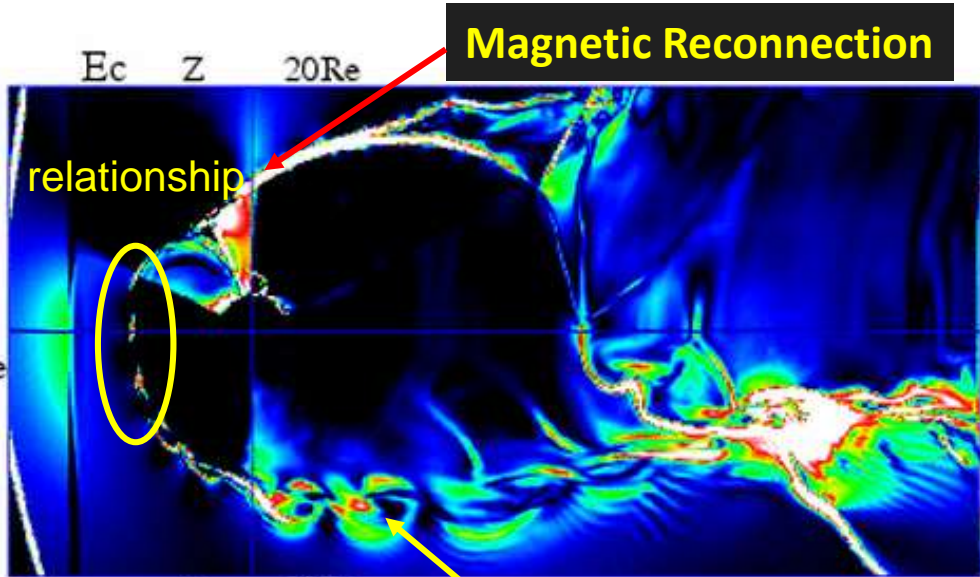
# Earth's Magnetosphere for Northward IMF ( $B_z=20$ nT)

Movie of polar cap is shown every 1 minute for 270 – 330 min.

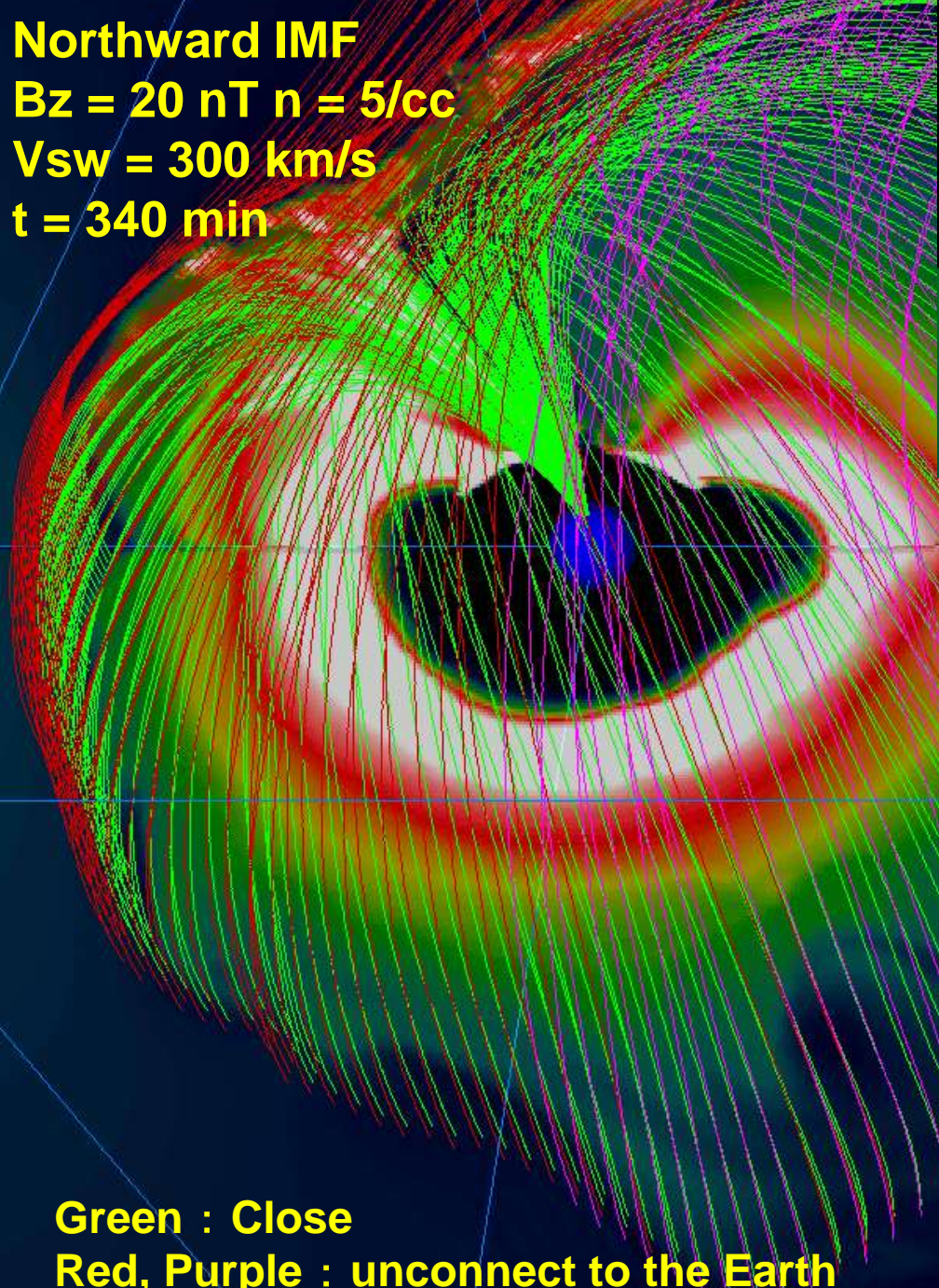


# Earth's Magnetosphere for Northward IMF

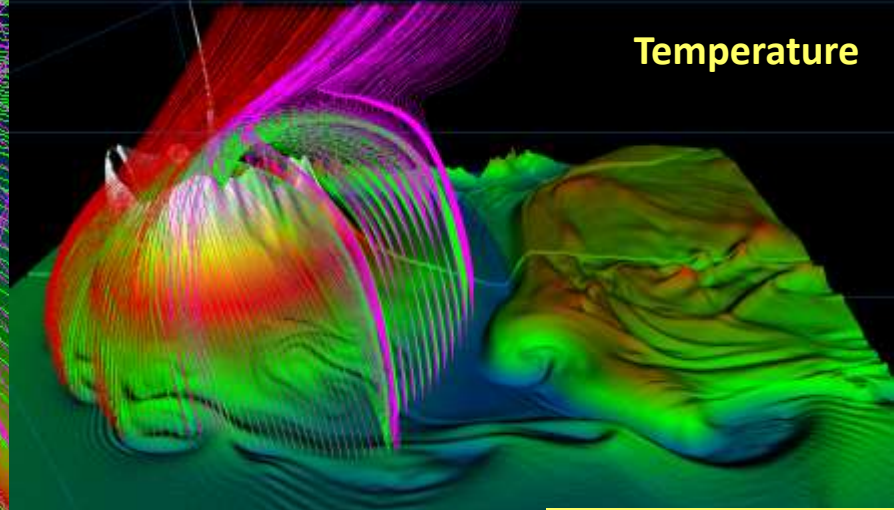
IMF  $B_z=20$  nT  $V_{sw}=300$  km/s  $N_{sw}=5$  /cc  $t=461$  min  $E_{\omega} = \eta J_c = \eta \frac{|\mathbf{B} \times \mathbf{J}|}{|\mathbf{B}|}$



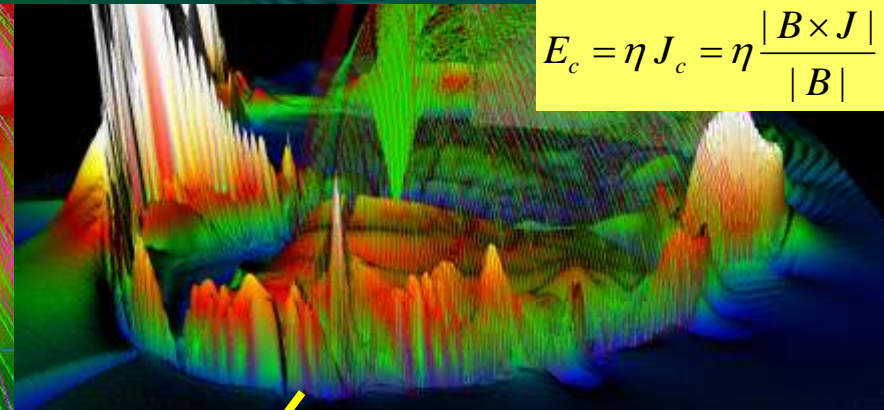
**Northward IMF**  
**Bz = 20 nT n = 5/cc**  
**Vsw = 300 km/s**  
**t = 340 min**



**Green : Close**  
**Red, Purple : unconnect to the Earth**



**Temperature**



$$E_c = \eta J_c = \eta \frac{|B \times J|}{|B|}$$

**Sun** ↙

**size of vortex:**  
**(lx, ly, lz)=(11, 4, 14) Re**

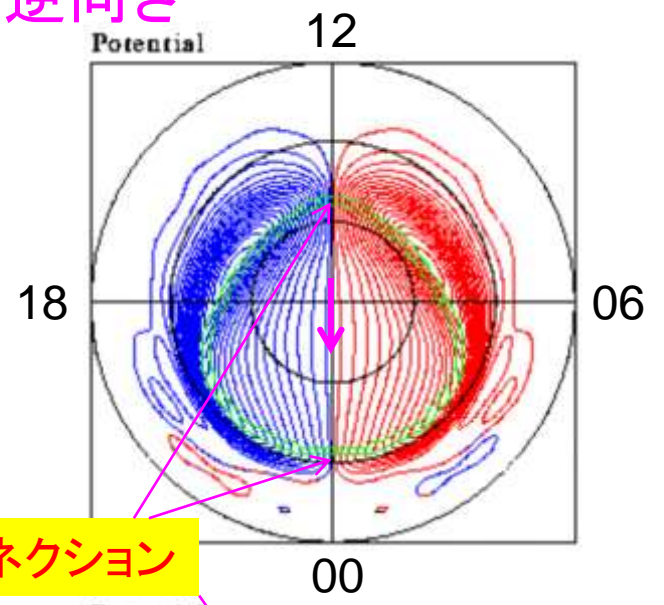
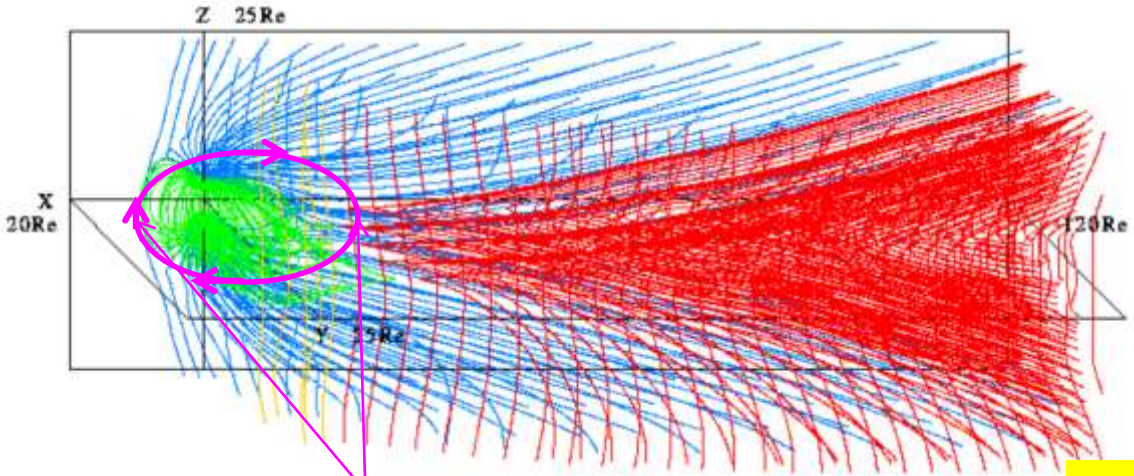
**magnetopause**

**Formation of vortex train**

磁気リコネクション  
と  
磁気圏ダイナミクス

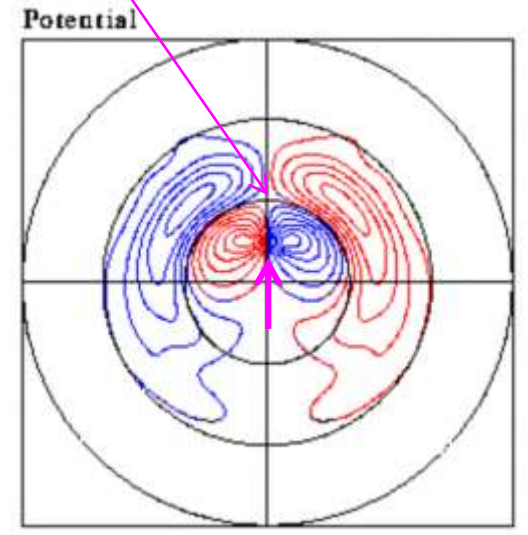
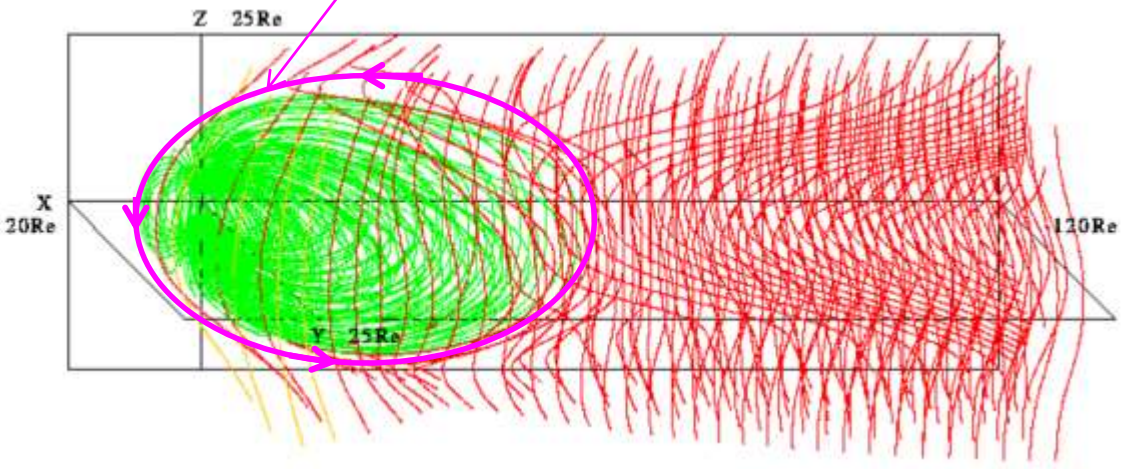
# 南向きと北向きIMFに対する磁気圏対流と極域対流

南向きIMF 磁気圏対流はIMFの南北向きで逆向き



リコネクション

北向きIMF リコネクション



極域対流



# 磁気リコネクションの問題

- 高精度シミュレーションでリコネクションの性質は変化しないか？
  - 斑状で間欠的な特性はリコネクションの自然な特性？
  - プラズマシートに現れるストリーマー構造の原因？
- 磁気中性点(null point)は重要か？トポロジーの問題
- 極端な条件ではダイナミクスに本質的な違いが現れるのか。リコネクションの抑制機構は？
- 昼側と尾部リコネクションの対流を通しての結合？
  - 磁気圏全体のグローバルな結合

# 磁気圏対流

1. 磁気圏対流は磁気リコネクションによって一義的に駆動される.
2. 磁気リコネクションの起こる場所は反平行磁場条件を満たす領域.
3. IMFの向きが南北で異なる時, 磁気圏対流は逆向きになる.
4. 朝夕方向のプラズマ流は昼側磁気圏と夜側磁気圏では逆方向になる. これは夜側磁気圏対流は昼側対流を補償するためである.

# 磁気圏電離圏ダイナミクス

1. 3種類のエネルギー（運動，熱，磁場）の分配と分布は3種類のエネルギー束（運動，熱，Poynting Flux）によって決まる。
2. 磁気圏対流を担うのは主にPoynting Fluxである。地球近くではPoynting Flux寄与が最も大きい。
3. IMFが非常に大きくなると磁気リコネクションが強められて磁気圏対流と境界層乱流も増大する。その結果グローバルな磁気圏対流とローカルな現象が強く結合するようになる。
4. 磁気圏電離圏結合を解く方法はまだ未完成である。
5. 磁気圏力学の統合的解析もまだ不十分である。

新しい解析方法と3次元可視化方法の必要性

宇宙天気研究

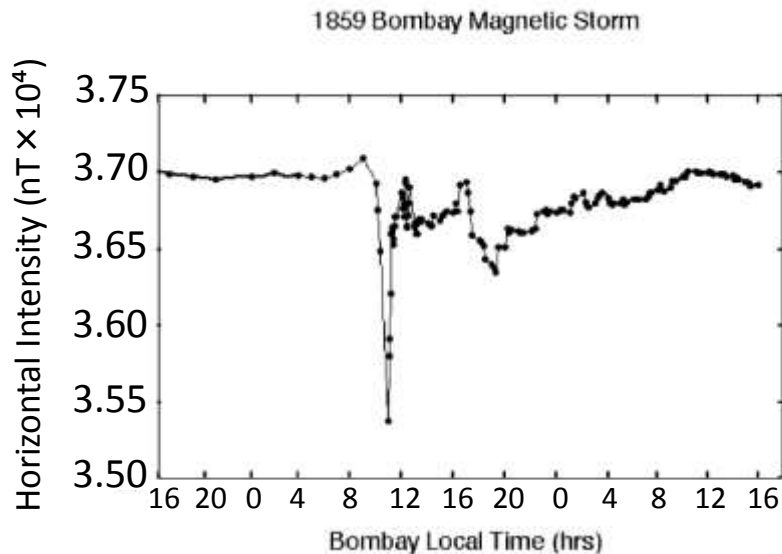
スーパー磁気嵐

# 過去の大規模磁気嵐

表. Chronological List of Large Magnetic Storms

No.	Date	Dst (nT)	Station
1	1859/09/01-02	-1760	Bombay
2	1957/09/13	-427	Alibag
3	1958/02/11	-426	Alibag
4	1989/03/13	-589	Kakioka

## 過去最大の磁気嵐 — The Carrington Storm of 1859



$Dst = -1760\text{nT}$ と見積もられる  
過去最大の磁気嵐

大規模磁気嵐の研究において  
スーパーストームの一つのモデル

図. Carrington Stormに対してBombayで観測された磁力計の水平成分

# 大規模磁気嵐における条件

太陽風とIMFが大規模磁気嵐を引き起こすような  
極端な条件になった場合を考える。

	Average	Middle	Extreme
$n_{sw}(/cc)$	5	30	200
$v_{sw}(km/s)$	300	800	2000
$B_z(nT)$	10	50	200

- $\Delta x = 0.1 R_e$  をさらに小さく  
← 太陽風動圧が高くなるため

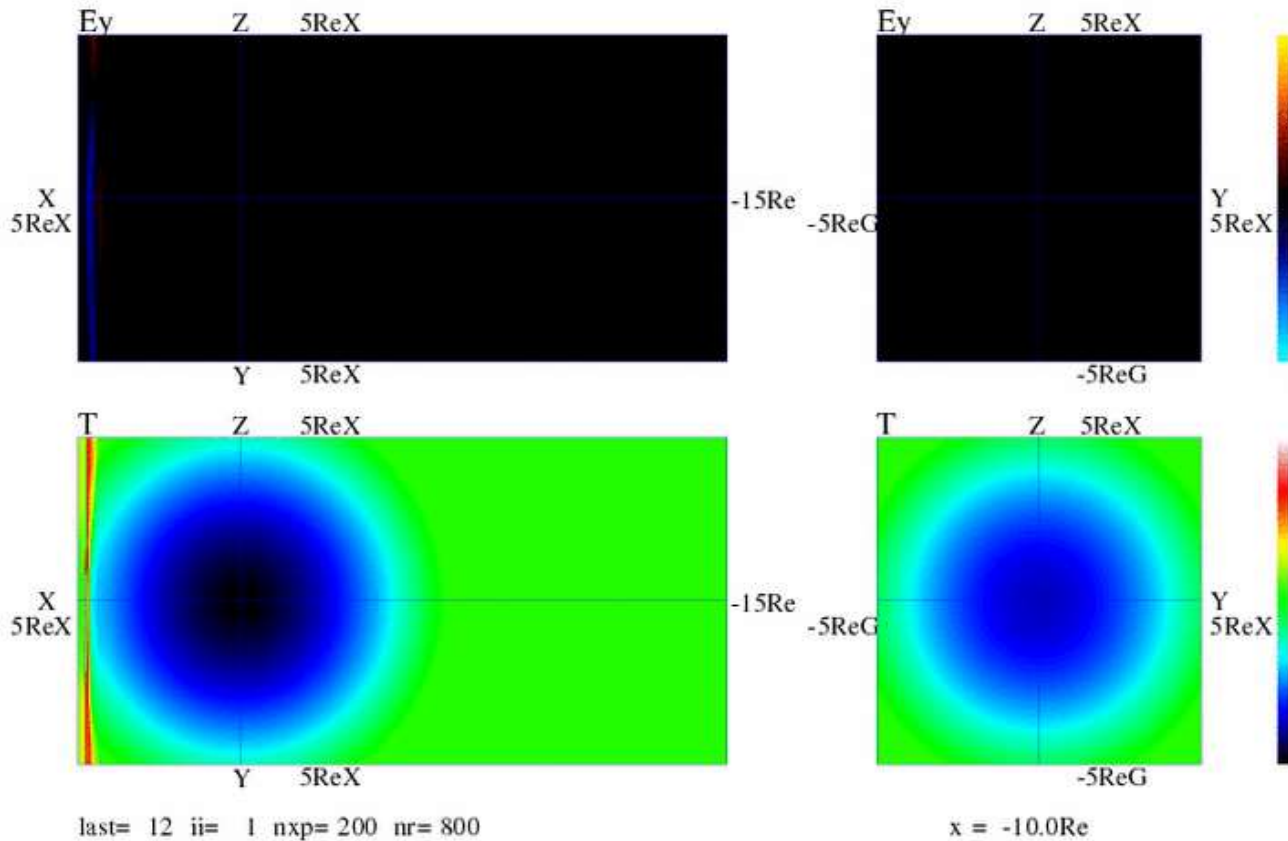
極端な条件でのシミュレーションを、従来の平均的な値との中間に  
当たる条件でのシミュレーションと比較

# 極端値におけるMHDシミュレーション

## ・南向きIMF

Extreme Condition for Southward IMF

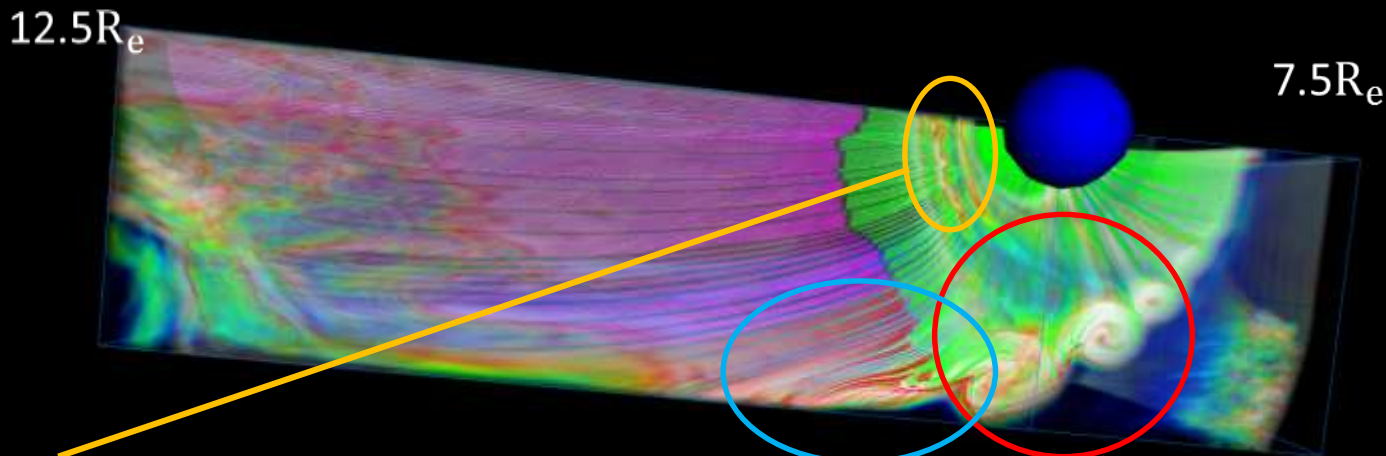
$B_z = -200\text{nT}$   $N_{sw} = 200/\text{cc}$   $V_{sw} = 2000\text{km/s}$   $t = 00001\text{m}$



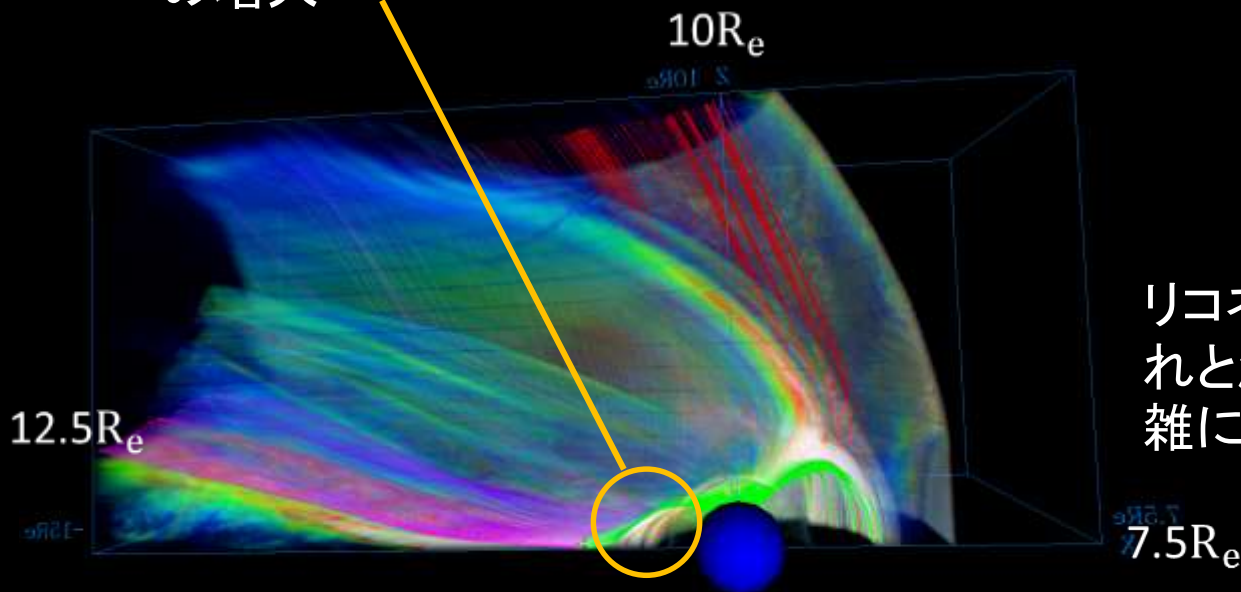
# 結果：南向きIMFにおける電流の3次元構造

電流の絶対値

時間： $t = 5m00s$



磁力線の内側での電流の増大



$10R_e$

非常に激しい渦

リコネクションからの流れと渦からの流れが複雑に絡み合っている



# 南向きIMF時の エネルギーと エネルギー束

南向きIMF

エネルギー

運動エネルギー

熱エネルギー

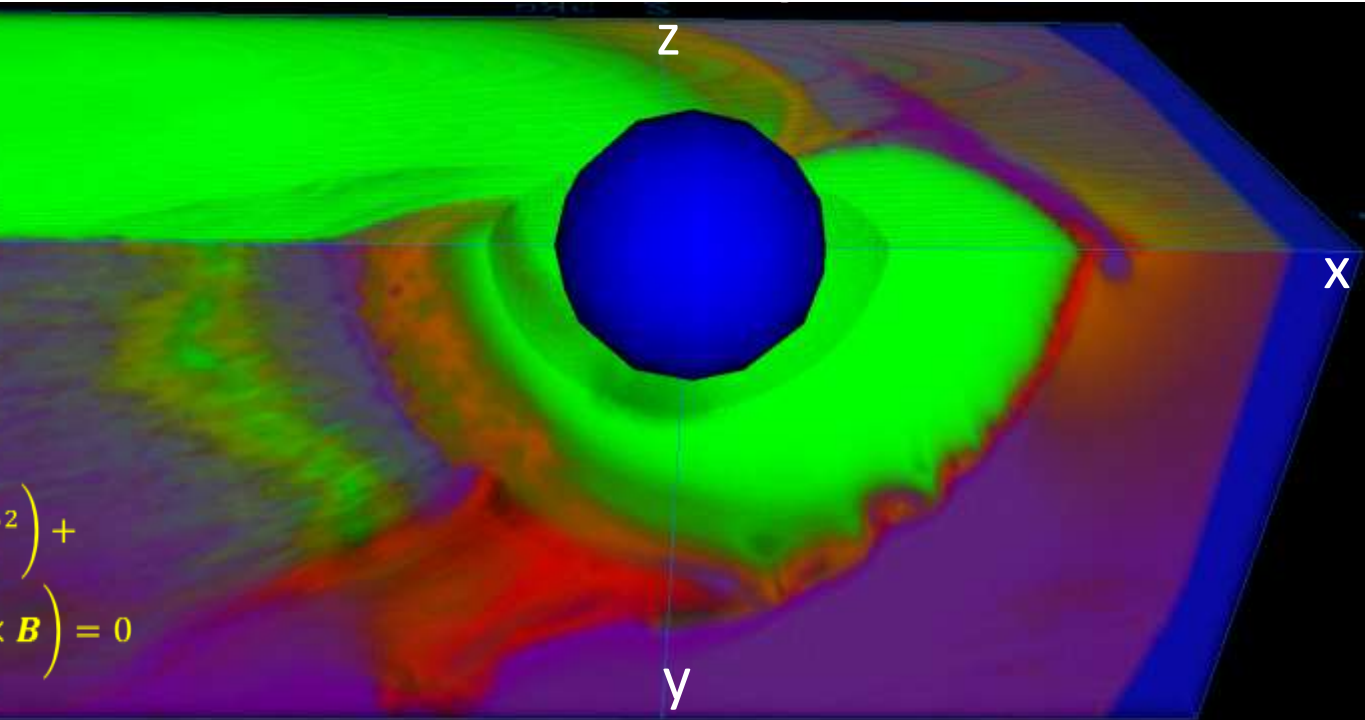
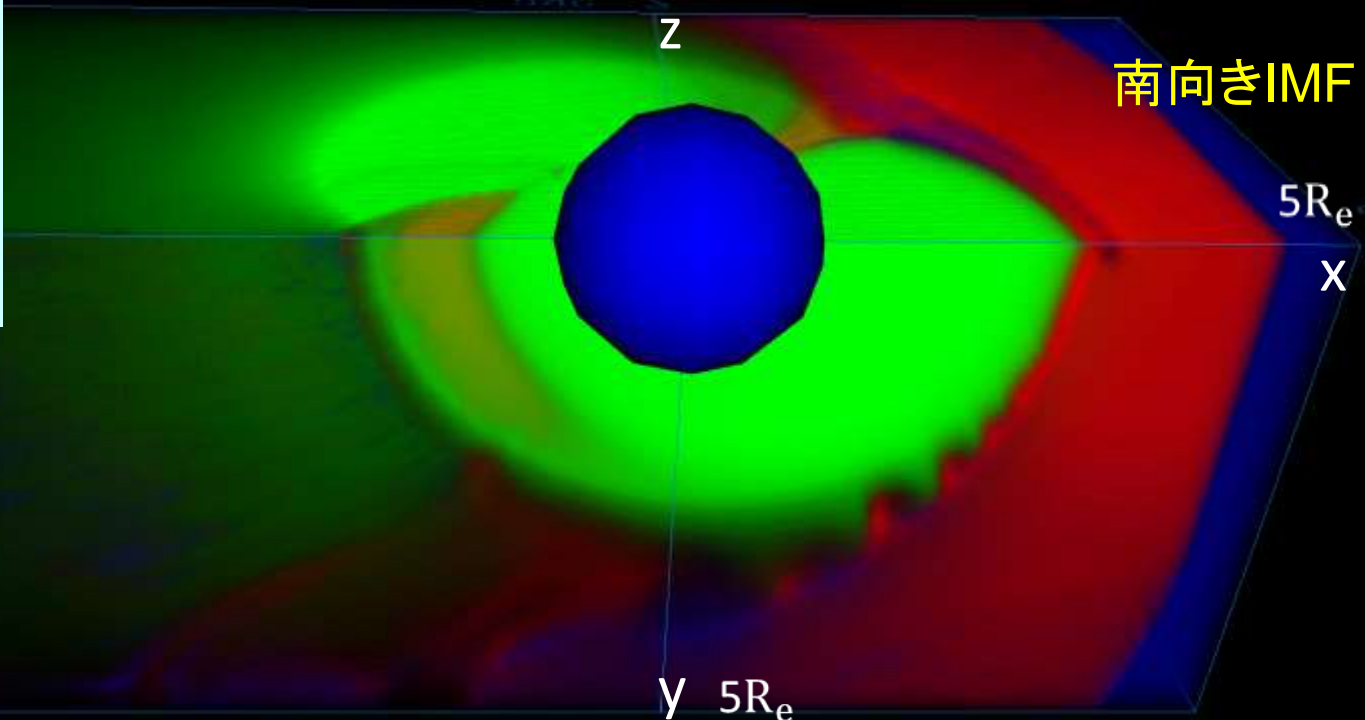
磁場エネルギー

エネルギー束

運動エネルギー束

熱エネルギー束

ポインティング束

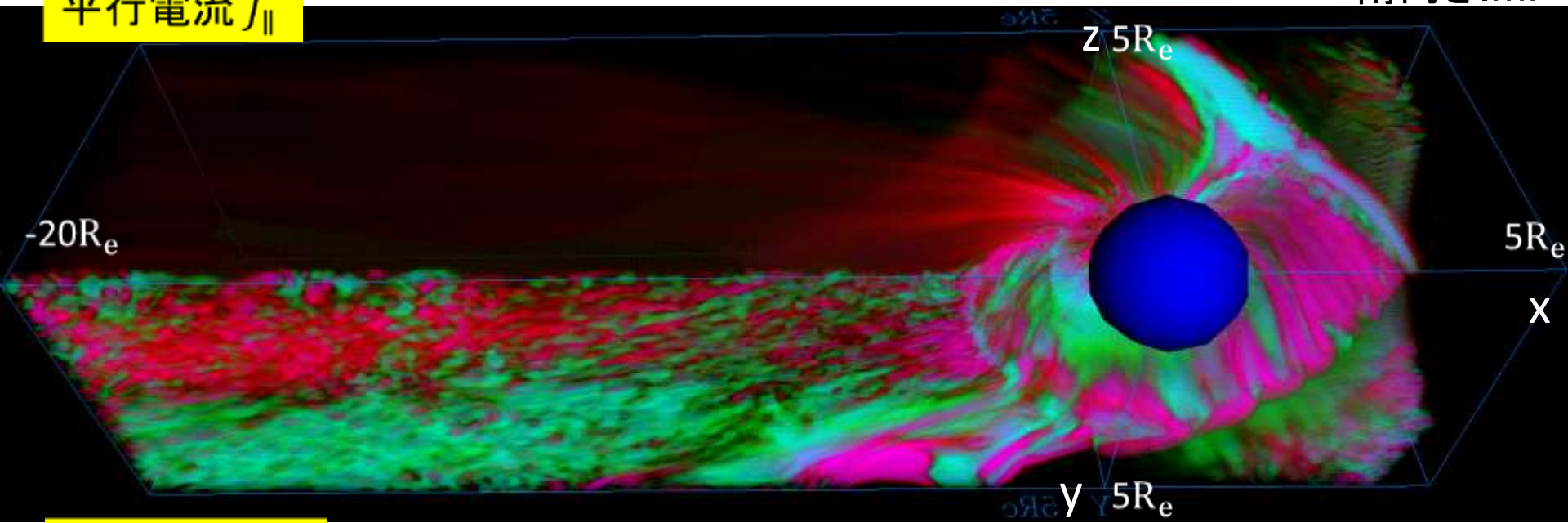


$$\frac{\partial}{\partial t} \left( \frac{1}{2} v^2 \rho + \frac{1}{\gamma - 1} p + \frac{1}{2} B^2 \right) + \nabla \cdot \left( \frac{1}{2} v^2 v \rho + \frac{\gamma}{\gamma - 1} p v + \mathbf{E} \times \mathbf{B} \right) = 0$$

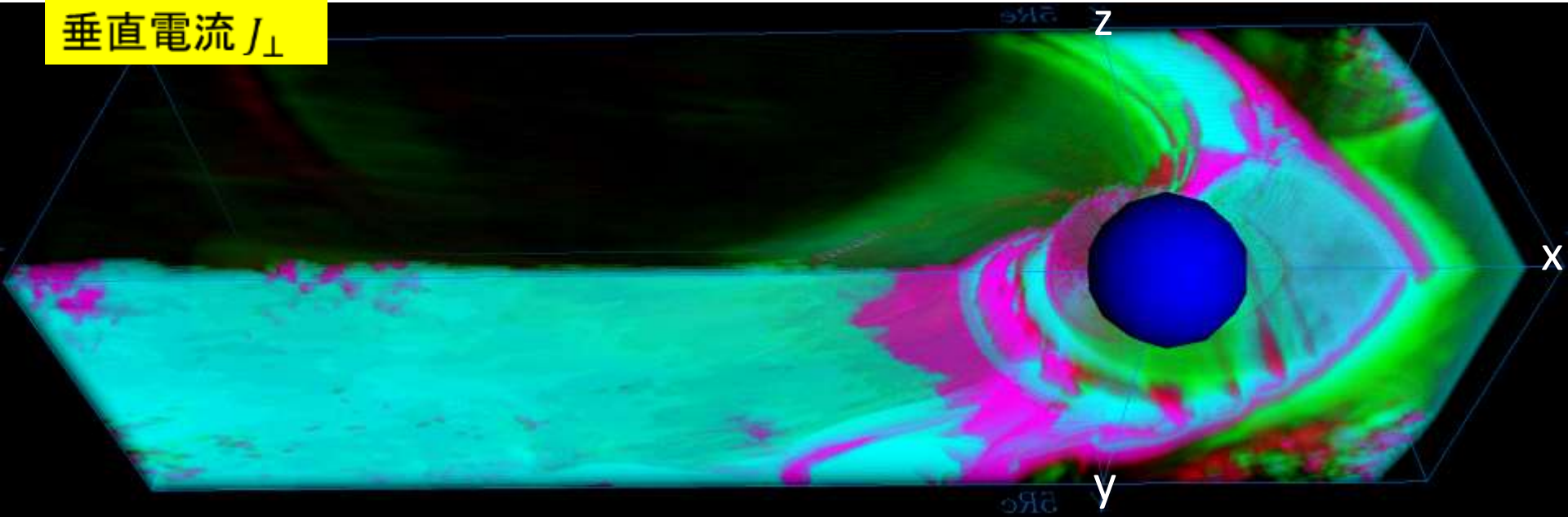
# 南向きIMF時の平行電流と垂直電流

南向きIMF

平行電流  $J_{\parallel}$



垂直電流  $J_{\perp}$



# シミュレーション結果の比較

南向きIMFの場合

	Average	Middle	Extreme
Bow Shock : xBS	18.4Re	8.15Re	4.46Re
Magnetopause : xMP	11.3Re (理論値) 10.5Re (simulation)	6.03Re (理論値) 5.57Re (simulation)	3.24Re (理論値) 2.95Re (simulation)
Tail Reconnection : xTR	-8.52Re	-4.75Re	-2.45Re
Max T : xMT	-5.90Re	-3.44Re	-2.13Re

# データベース構築

- データベース作成共同研究 (STE研, H8~)
- STEPデータベース(1990-1997:荒木, 家森)
- S-RAMPデータベース(1998-2002)
- CAWSES宇宙天気データベース(2003,2004-2008)
- CAWSES-II宇宙天気データベース(2009-2013)
  
- **IUGONET「超高層大気長期変動の全球地上ネットワーク観測・研究」(H21-H26)**  
**一般財源化を目指す(H25)**

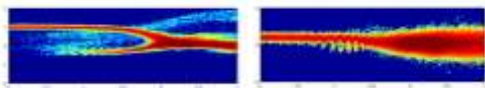
# シミュレーション連携研究

- 計算機利用共同研究（STE研，H8～）
- 名古屋大学HPC計算科学連携研究プロジェクト（H22～）
- JHPCN（学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点公募型共同研究，H21-24）
- **HPCIコンソーシアム(H24～)**  
**京コンピュータとHPCISパコンの利用**  
（梅田，深沢，塩田，草野，荻野，共同研究者）

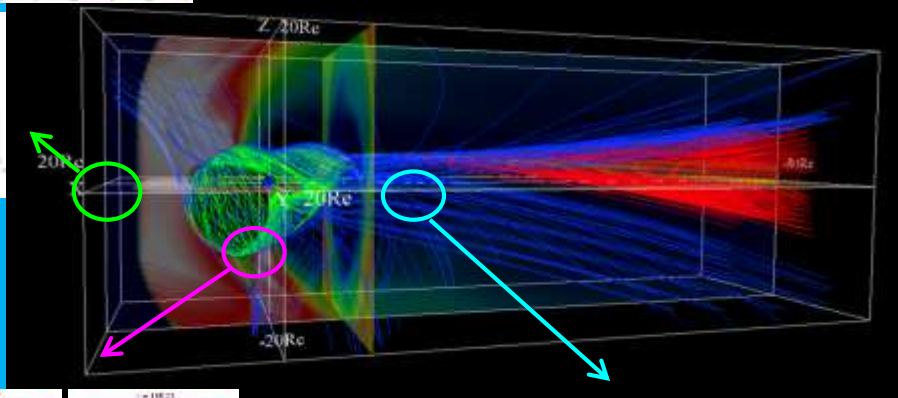
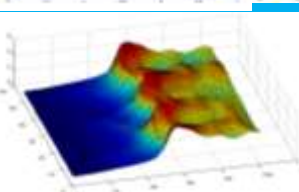
12-MD02

# 次世代ジオスペースシミュレーション拠点の構築

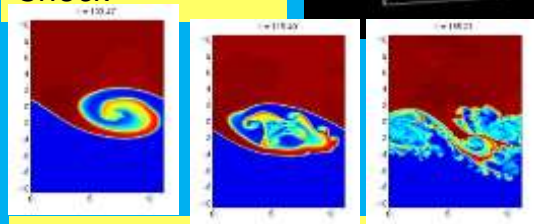
荻野 竜樹, 梅田隆行, 深沢圭一郎, 共同研究者



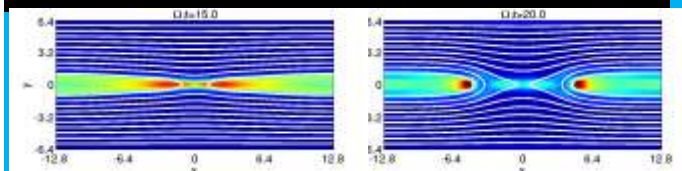
MHD Simulation of Earth's Magnetosphere



Full Particle Simulation of Collisionless Shock



Vlasov Simulation of Kelvin-Helmholtz Instability



Vlasov Simulation of Magnetic Reconnection

## 並列コードのベンチマークテスト

- ・どのシステムでもほぼ線形なスケーラビリティ
- ・どのシステムでも実効効率は10 - 20%以上

- ・x86系は2 or 3次元分割が最速 (実効性能15~30%)
- ・SR16000、FX1とFX10はcache ヒットが重要 (実効性能: ~20%)

## まとめと今後の方針

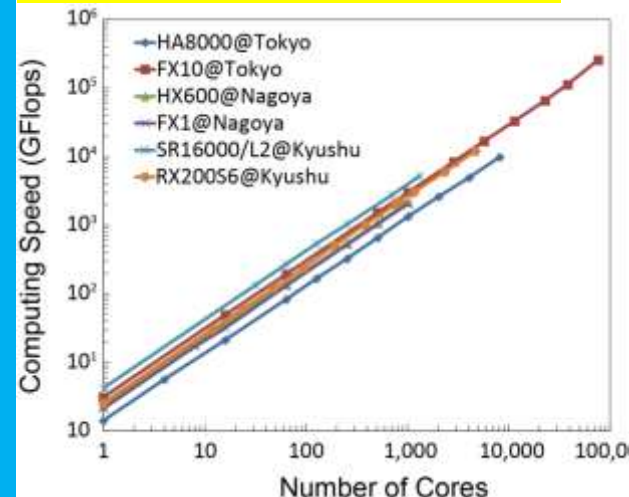
- ・新たに稼働するシステムのベンチマークテストとチューニングを実施

☆観測データに基づく土星磁気圏のMHDシミュレーション(深沢)

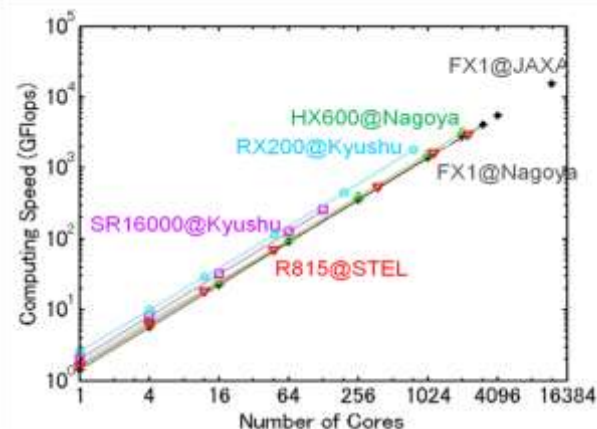
☆大規模粒子シミュレーションによる無衝突衝撃波(梅田)

☆世界初となる第一原理磁気圏グローバルブラソフシミュレーション(梅田)

## MHDコードのベンチマークテスト



## ブラソフコードのベンチマークテスト



◎弱いスケーリング。

MHD: 245MB/core, Vlasov: 1GB/core

◎MHDは領域分割の次元を変えて計測。

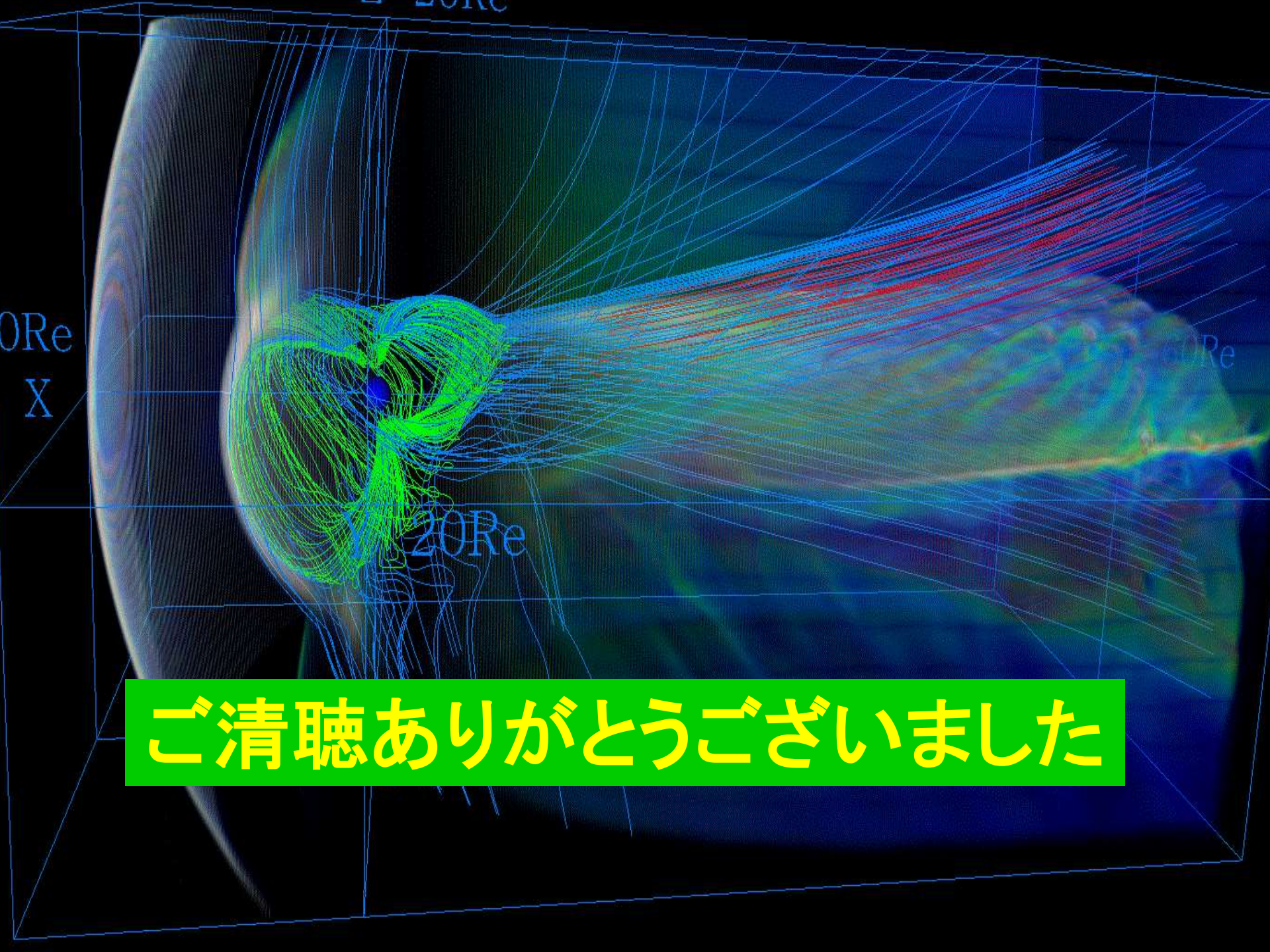
国立大学法人  
名古屋大学  
太陽地球環境研究所



名古屋大学豊田講堂

育ててもらった先生方、共同研究を行った  
仲間・学生，支援してもらった職員及び研究  
の場を与えて頂いた名古屋大学と太陽地  
球環境研究所に心から感謝します。

Thank you for everyone!!



ご清聴ありがとうございました