

宇宙天気の基本研究 Space Weather Study

荻野竜樹

Tatsuki Ogino

Solar-Terrestrial Environment Laboratory

Nagoya University

学術創成「宇宙天気の基礎研究」

宇宙天気モデリングタスクフォース

2006年12月13-16日磁気嵐イベント

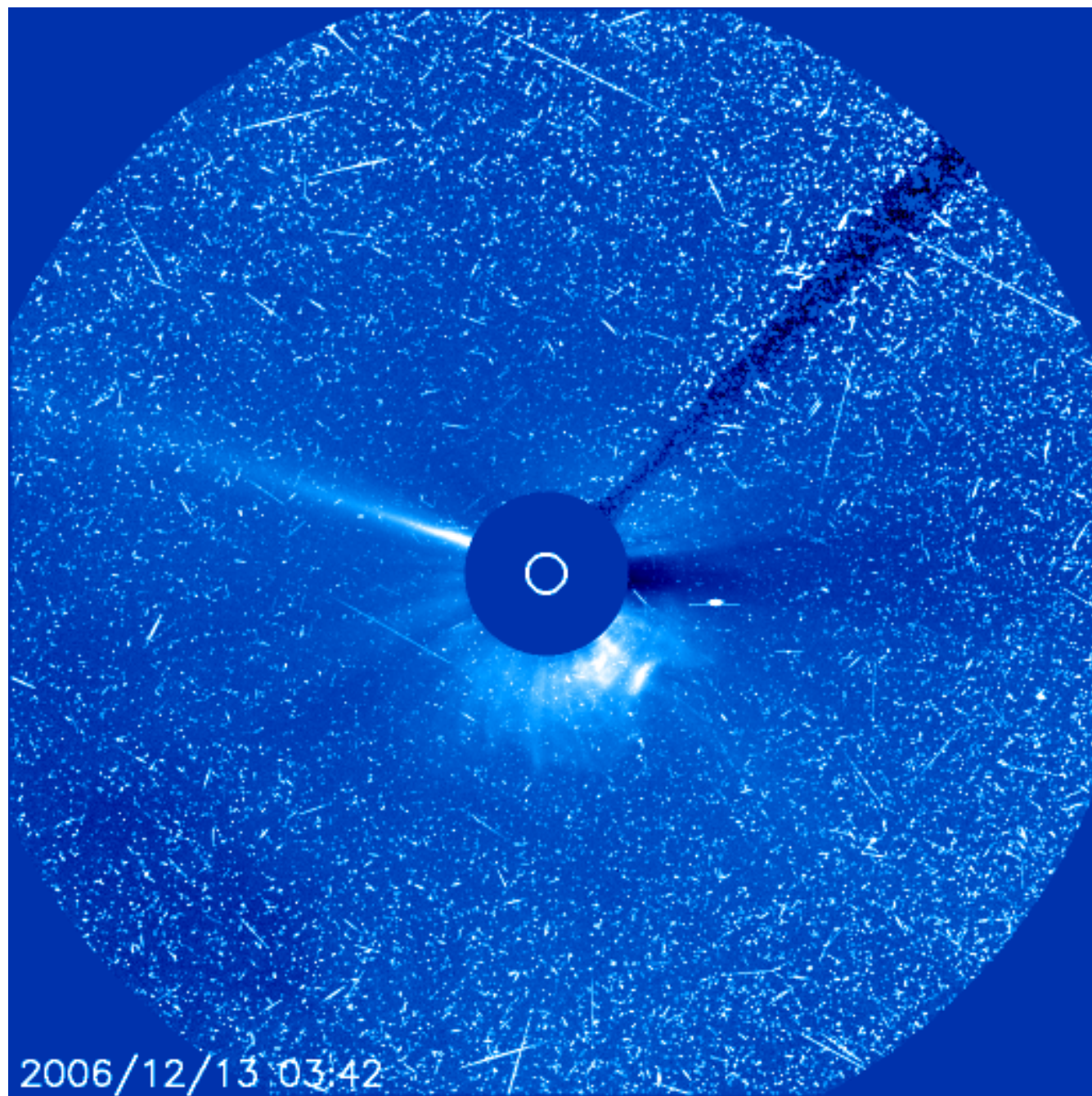
-The Sun's Active Week -

- ・太陽活動が低調な時期に起きた、Mクラスのフレア
- ・太陽プロトン(スペクトルは非常にハード)の影響が、ESAの衛星を中心に発生

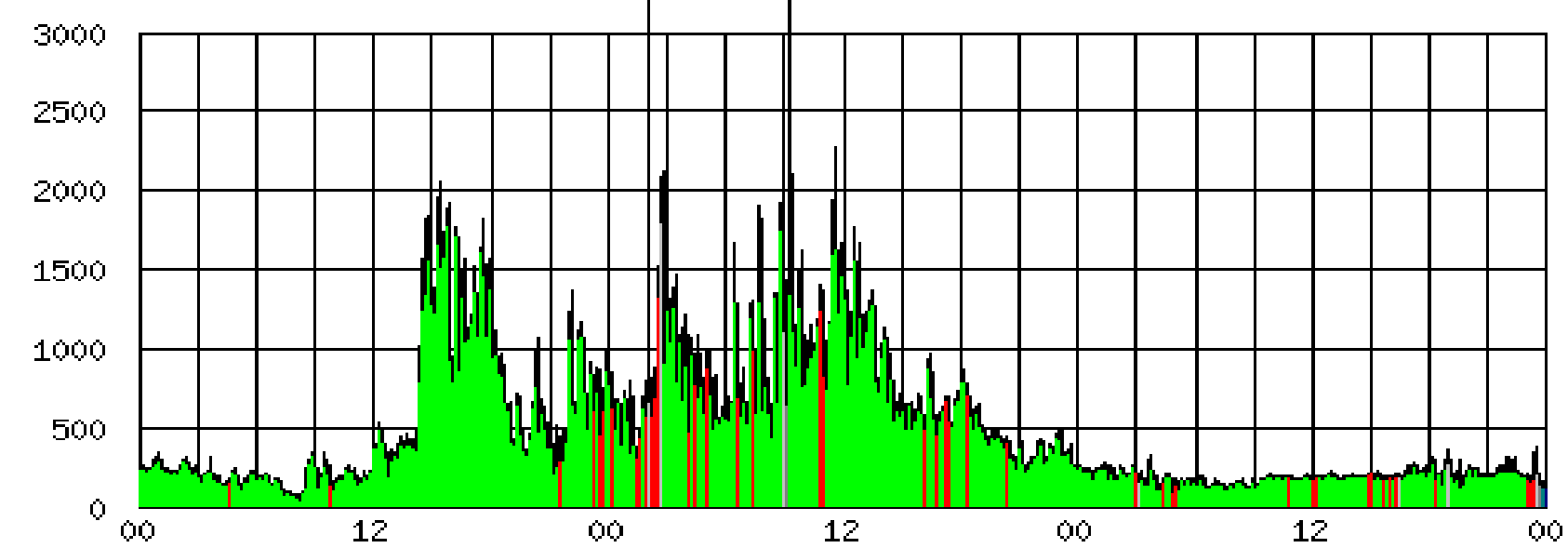
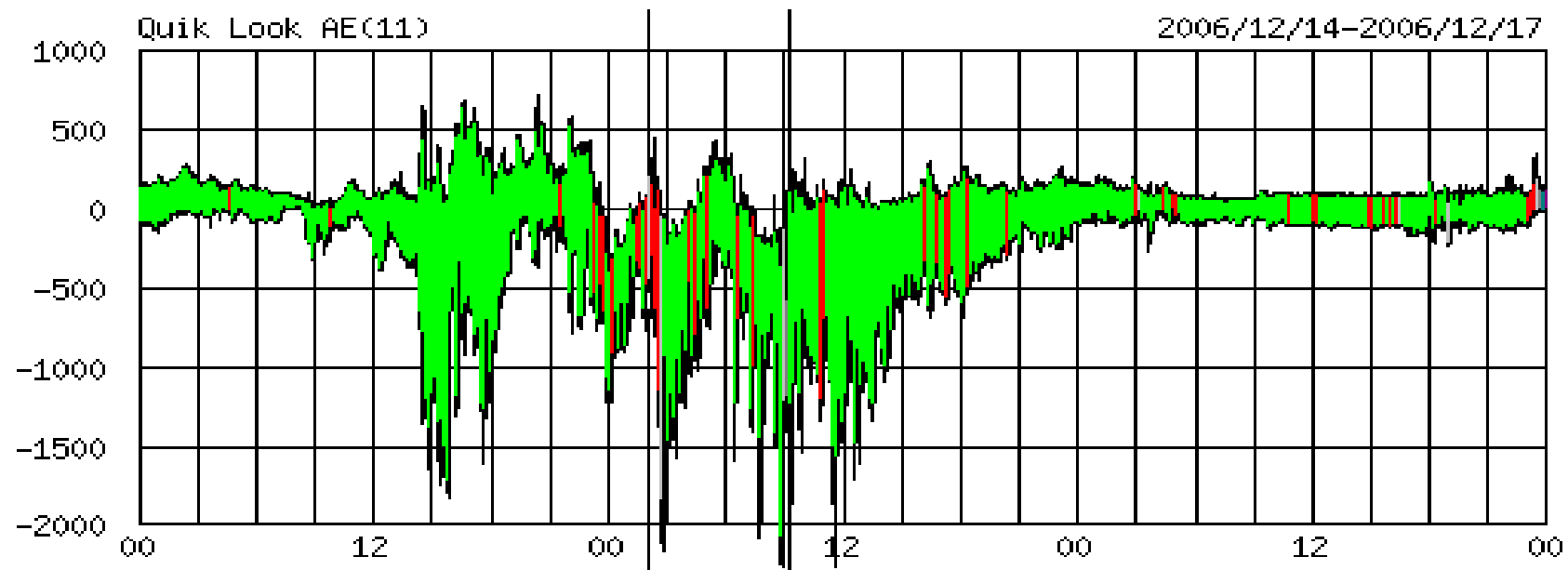
Dec. 13, 2006



NASA



2006/12/13 03:42



Time [UT]

12/14

12/15

12/16

Dst (nT)

NICT Magnetometer Network
2006 / 12 / 14 01:35 -- 12 / 17 01:35

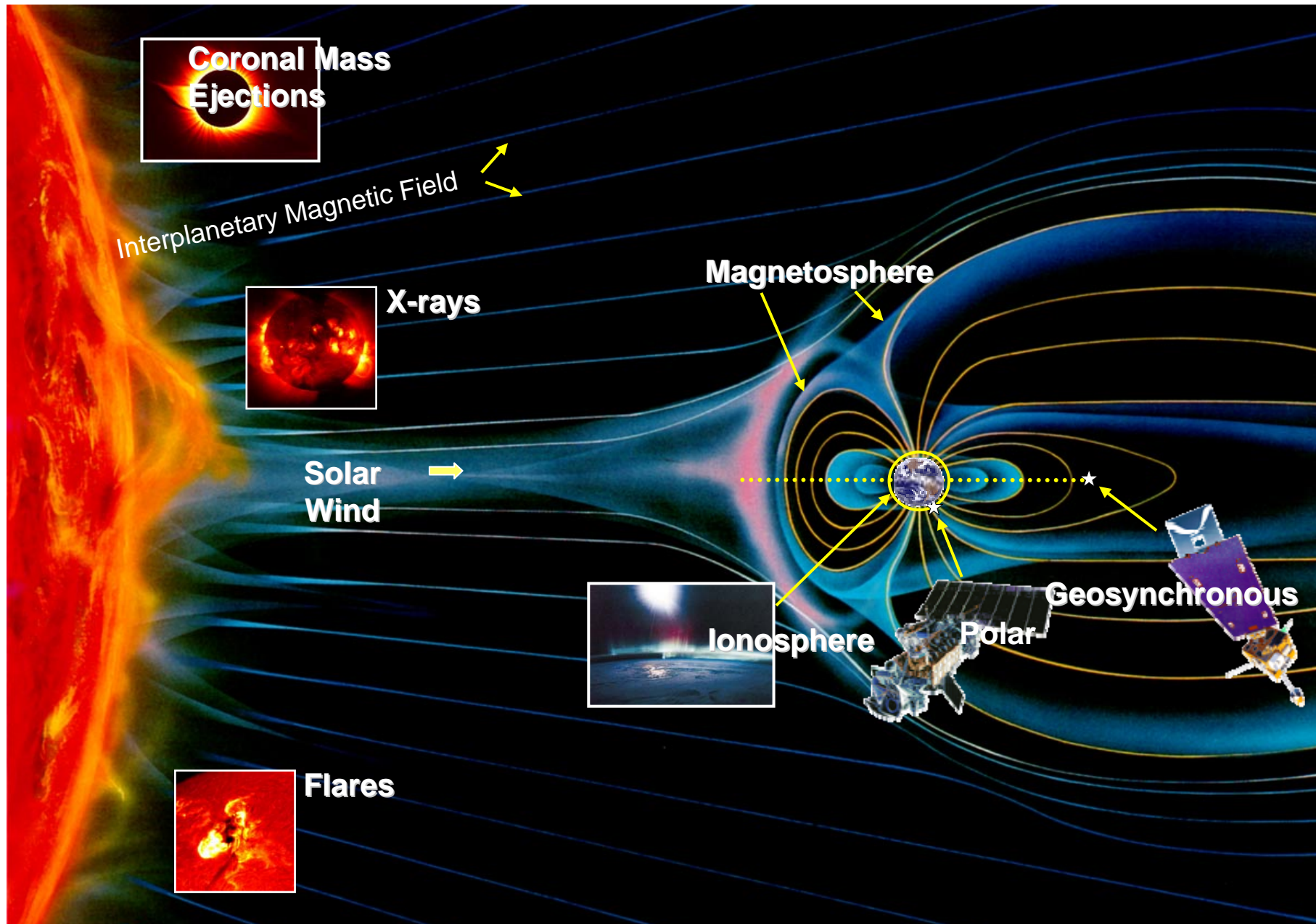


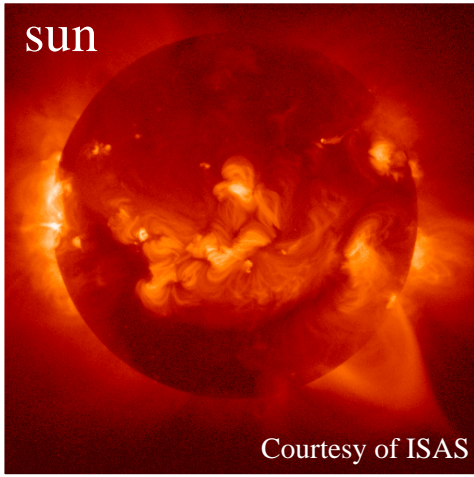
12/14

12/15

12/16

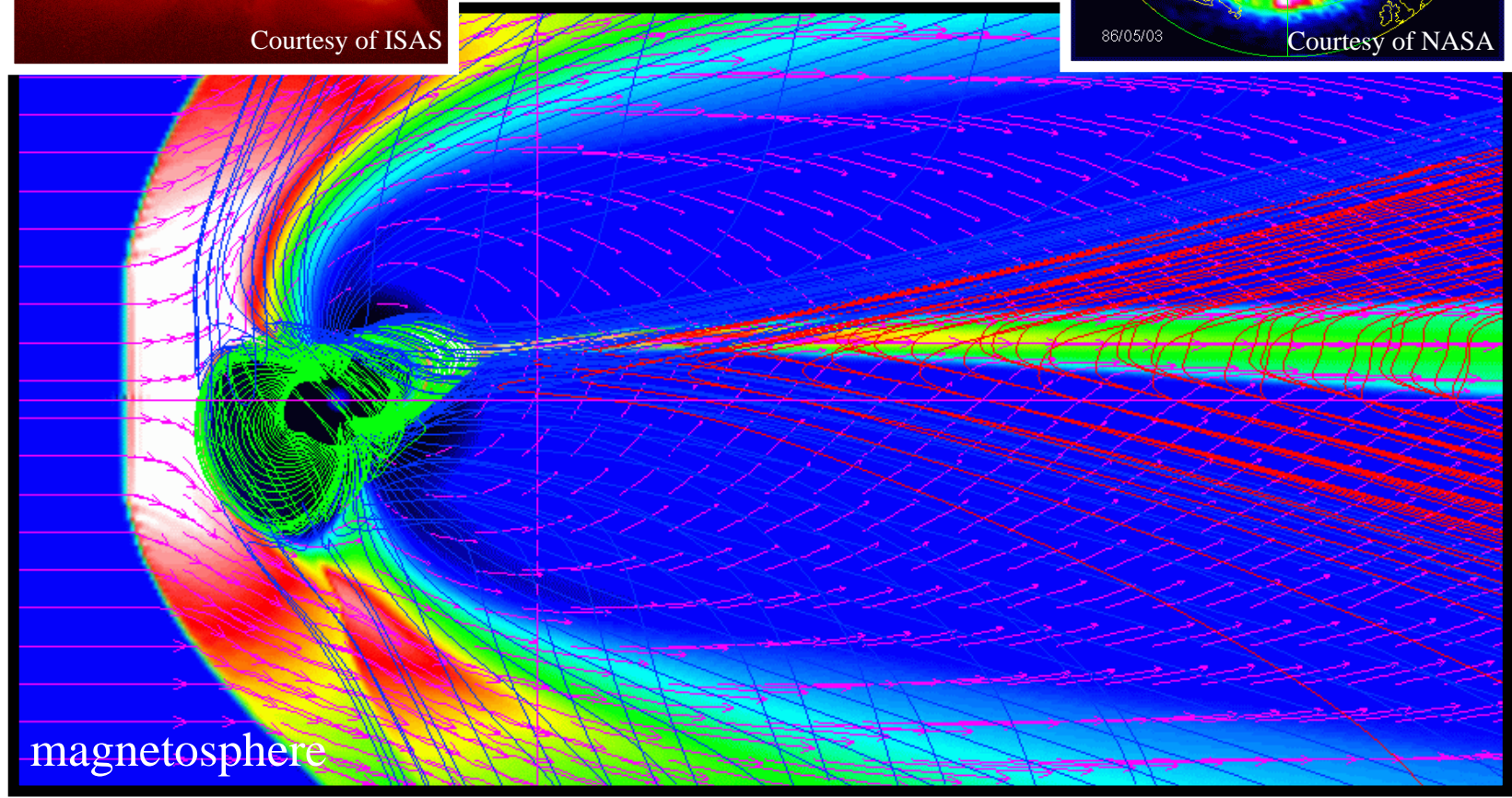
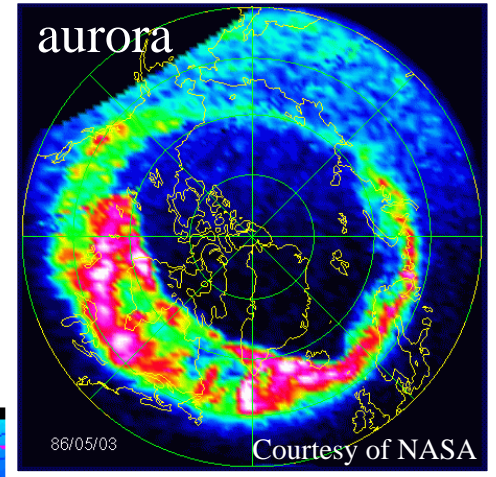
Solar-Terrestrial Environment



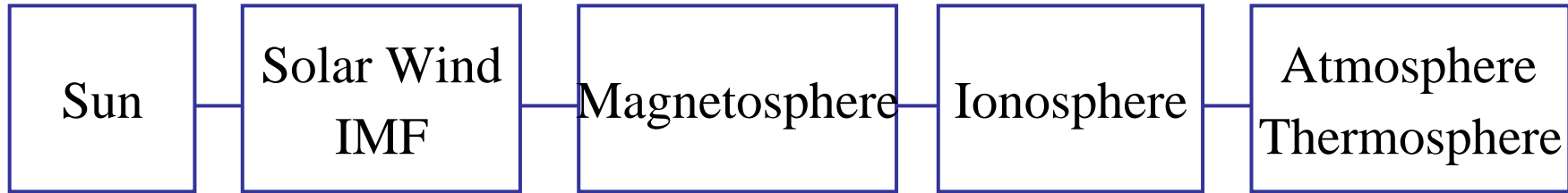


Space Weather Study

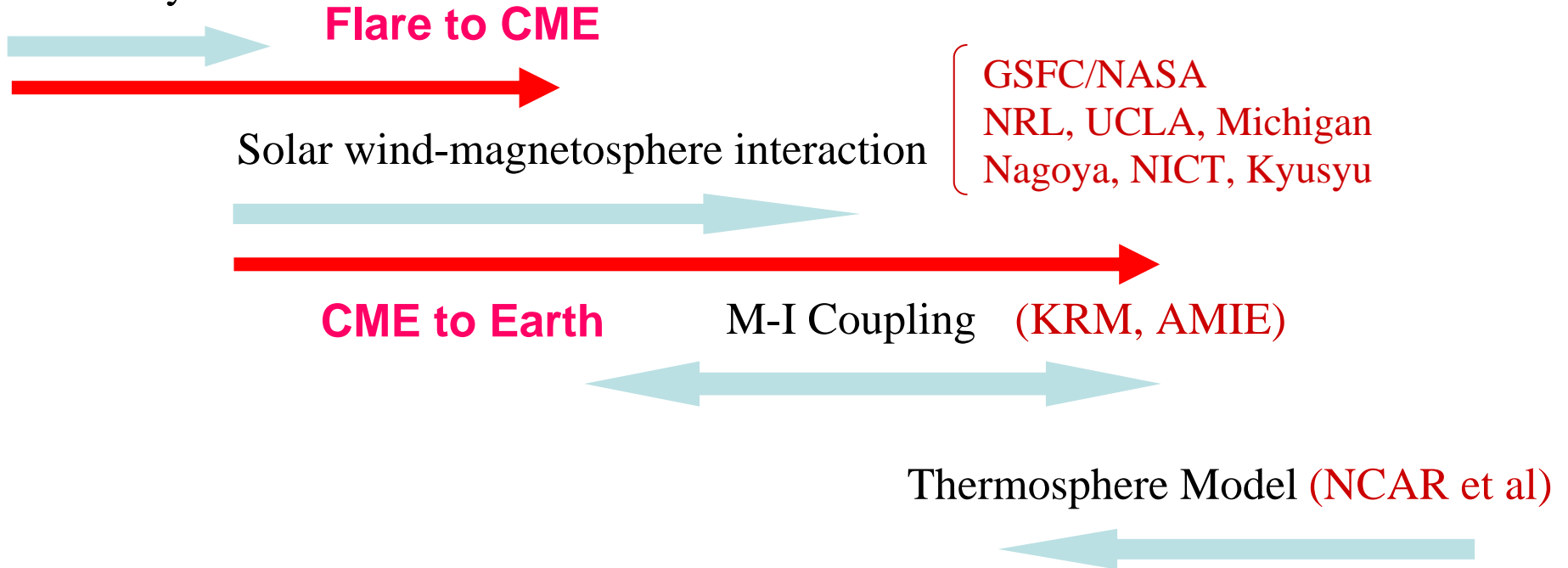
Study relationships between the solar activities and the geospace environment



Physical Model of Regional Coupling

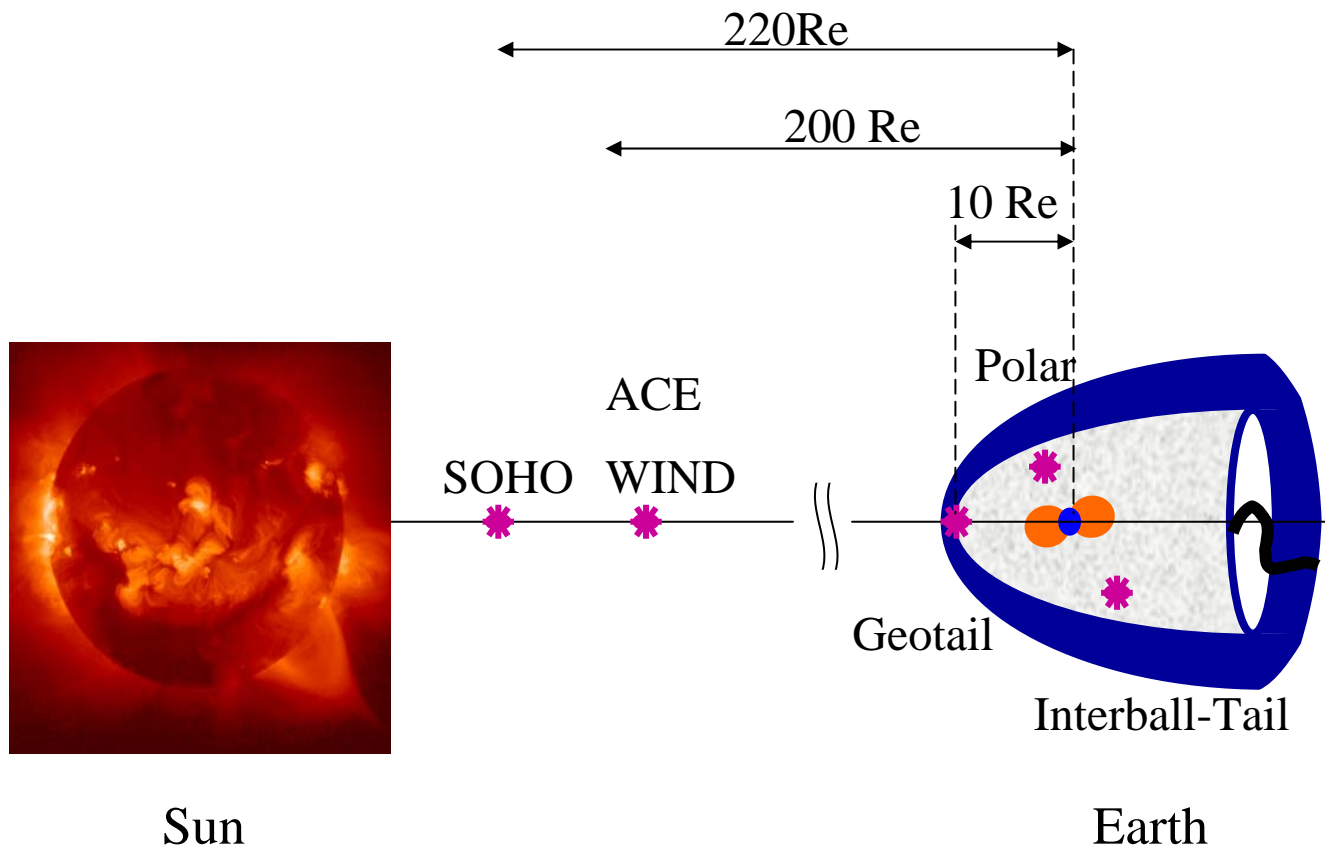


Solar Physics



Solar wind-magnetosphere-ionosphere-thermosphere interaction

Relative Location of ISTP Constellation during Sun-Earth Connection Event



基礎方程式

- ・ MHDモデルの基礎となる規格されたMHD方程式とMaxwell方程式

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = -\nabla \cdot (\mathbf{v}\rho) + D\nabla^2 \rho \quad (1)$$

$$\frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} = -(\mathbf{v} \cdot \nabla)\mathbf{v} - \frac{1}{\rho}\nabla p + \frac{1}{\rho}\mathbf{J} \times \mathbf{B} + \mathbf{g} + \frac{1}{\rho}\Phi \quad (2)$$

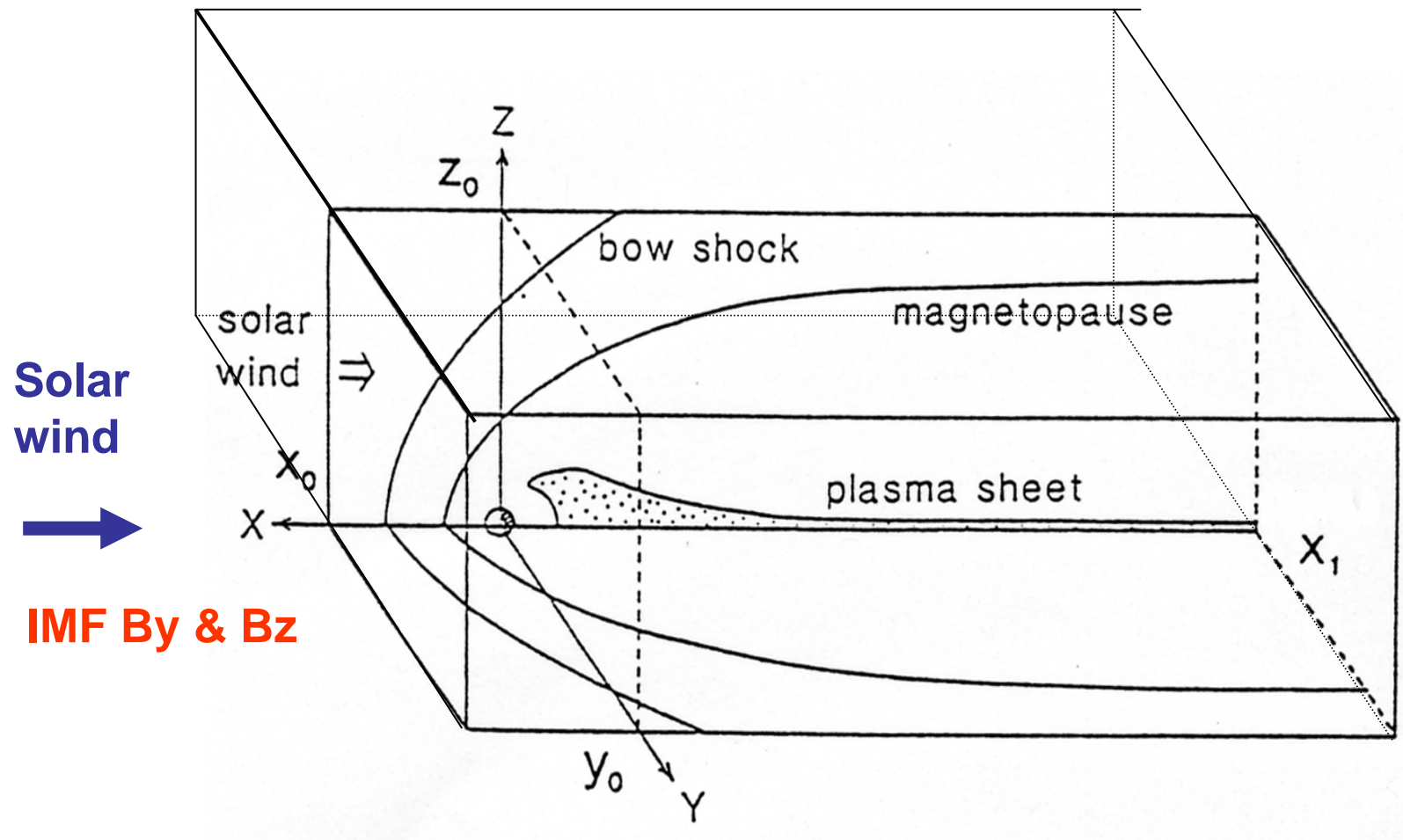
$$\frac{\partial p}{\partial t} = -(\mathbf{v} \cdot \nabla)p - \gamma p \nabla \cdot \mathbf{v} + D_p \nabla^2 p \quad (3)$$

$$\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} = \nabla \times (\mathbf{v} \times \mathbf{B}) + \eta \nabla^2 \mathbf{B} \quad (4)$$

$$\mathbf{J} = \nabla \times (\mathbf{B} - \mathbf{B}_d) \quad (5)$$

座標系と境界条件

3次元MHDシミュレーションに用いる太陽地球磁気圏座標系



境界条件

それぞれの物理量 $\phi = (\rho, \mathbf{v}, p, \mathbf{B})$ に対して次の境界条件が課せられる。

(1) 固定境界条件 $x = x_0$ で $\phi = \text{const}$;

(2) 自由境界条件 $x = x_1$ で $\partial\phi/\partial x = 0$;

(3) x 軸に対して 45° の角度を持った自由境界条件 $y = y_0$ で $\partial\phi/\partial y = 0$,
 $z = z_0$ で $\partial\phi/\partial z = 0$;

(4) $z = 0$ に対するミラー境界条件,

$$\frac{\partial\rho}{\partial z} = \frac{\partial p}{\partial z} = \frac{\partial v_x}{\partial z} = \frac{\partial v_y}{\partial z} = \frac{\partial B_z}{\partial z} = 0 \quad (6a)$$

$$v_z = B_x = B_y = 0 \quad (6b)$$

(5) $y = 0$ に対するミラー境界条件,

$$\frac{\partial\rho}{\partial y} = \frac{\partial p}{\partial y} = \frac{\partial v_x}{\partial y} = \frac{\partial v_z}{\partial y} = \frac{\partial B_x}{\partial y} = \frac{\partial B_z}{\partial y} = 0 \quad (7a)$$

$$v_y = B_y = 0 \quad (7b)$$

(6) すべての物理量は $\xi = (x^2 + y^2 + z^2)^{1/2} \leq \xi_a (= 3.5)$ に対して一定

初期条件

- ・対称面より上流で零のミラーダイポール磁場
- ・重力とプラズマ圧力が静的に釣り合った球対称の電離圏構造

$$\rho_0 = \xi^{-3} \quad \rho_0 \geq 0.2\rho_{sw} \quad (9a)$$

$$\rho_0 = 0.2\rho_{sw} \quad \rho_0 < 0.2\rho_{sw} \quad (9b)$$

プラズマ圧力

$$p_0 = p_{00}\xi^{-2} \quad p_0 \geq p_{sw} \quad (10a)$$

$$p_0 = p_{sw} \quad p_0 < p_{sw} \quad (10b)$$

重力

$$\mathbf{g} = -\frac{g_0}{\xi^3} (x, y, z) \quad (11)$$

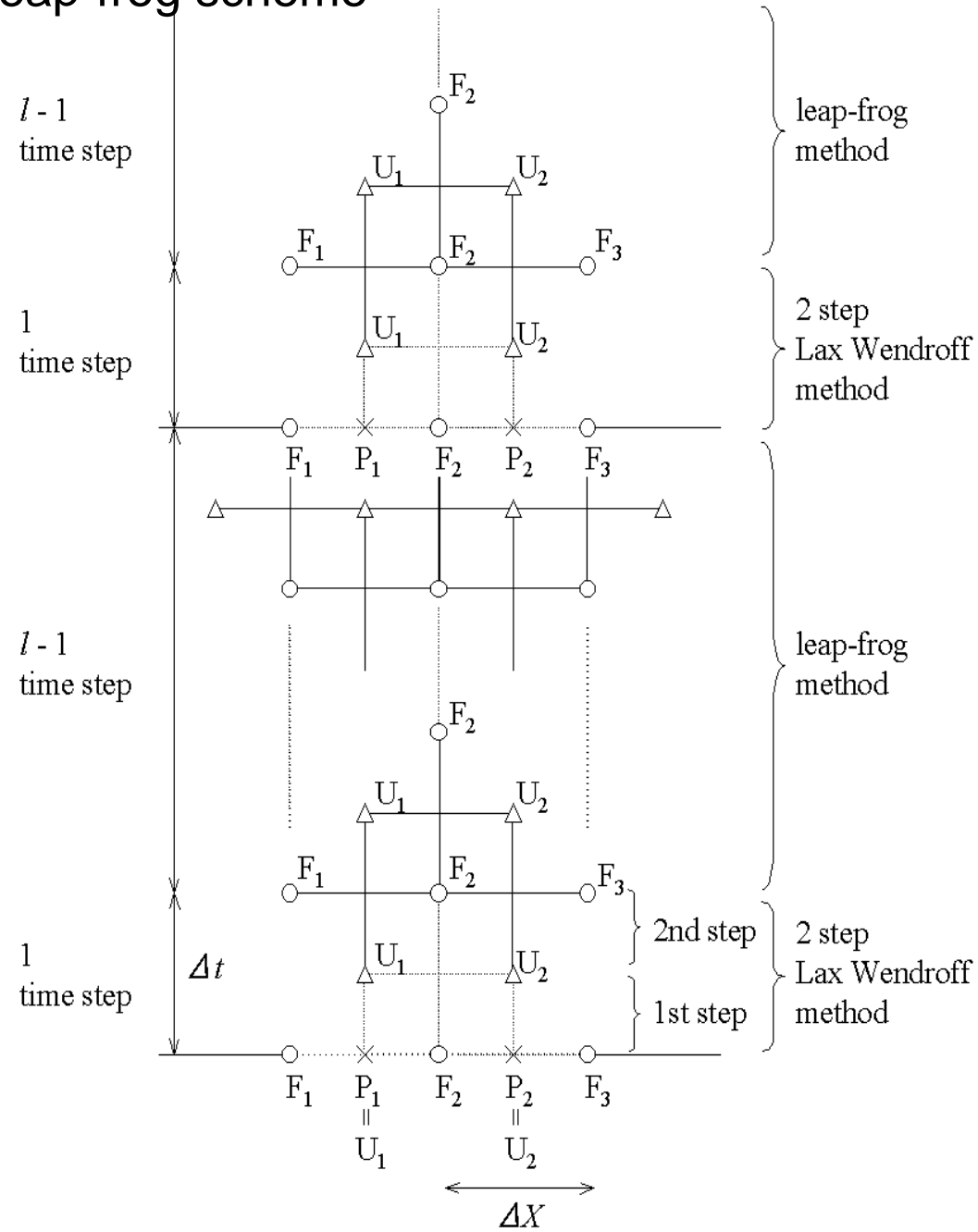
ダイポール固有磁場

$$\mathbf{B}_d = \frac{1}{\xi^5} (-3xz, -3yz, x^2 + y^2 - 2z^2) \quad (12)$$

Modified Leap-Frog法

- 最初の1回を two step Lax-Wendroff法で、続く $(l-1)$ 回を leap-frog法で解き、それを繰り返す
- two step Lax-Wendroff法の数値的安定化効果を一部取り入れて、leap-frog法の数値的減衰と分散の小さい効果をより多く取り入れた、数値的減衰と分散にバランスの良くとれた一種の組み合わせ計算方法

Modified leap-frog scheme



3-Dimensional MHD Simulation

Input: ACE data every 1 minute

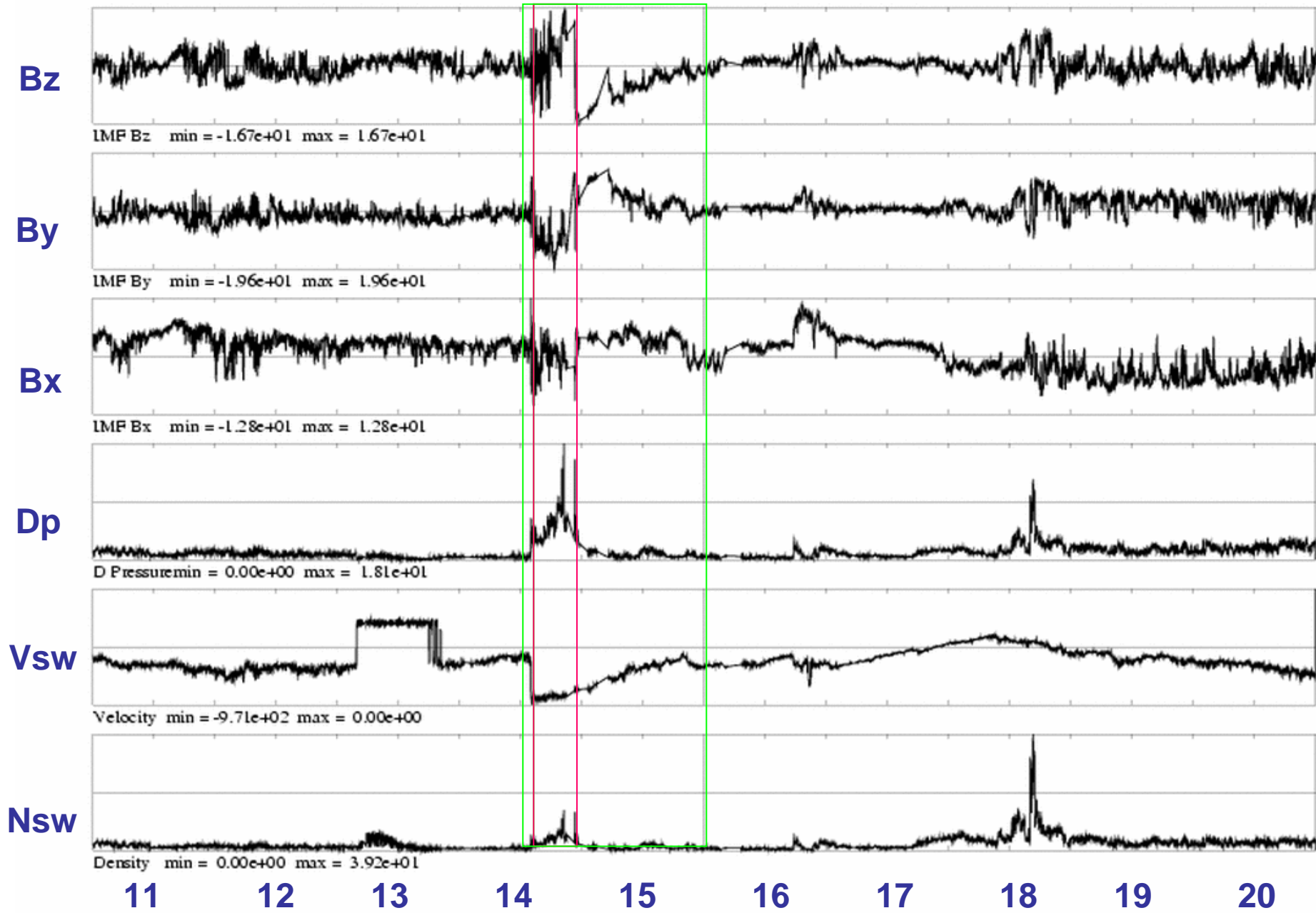
n , V_x , ρ , B_y , B_z

(B_x is not included)

Real simulation interval 00:00-24:00 UT

ACE Data, 00:00-24:00, 12/11-20, 2006

Input of ACE Data



MHD and Maxwell Equations

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = -\nabla \cdot (\mathbf{v}\rho) + D\nabla^2 \rho \quad (1)$$

$$\frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} = -(\mathbf{v} \cdot \nabla)\mathbf{v} - \frac{1}{\rho}\nabla p + \frac{1}{\rho}\mathbf{J} \times \mathbf{B} + g + \frac{1}{\rho}\Phi \quad (2)$$

$$\frac{\partial p}{\partial t} = -(\mathbf{v} \cdot \nabla)p - \gamma p \nabla \cdot \mathbf{v} + D_p \nabla^2 p \quad (3)$$

$$\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} = \nabla \times (\mathbf{v} \times \mathbf{B}) + \eta \nabla^2 \mathbf{B} \quad (4)$$

$$\mathbf{J} = \nabla \times (\mathbf{B} - \mathbf{B}_d) \quad (5)$$

$$\Phi \equiv \mu \nabla^2 \mathbf{v} \quad \eta = \eta_0 (T / T_0)$$

$$g = -g_0 / \zeta^3 \quad (\zeta^2 = x^2 + y^2 + z^2)$$



座標系と境界条件

3次元MHDシミュレーションに用いる太陽地球磁気圏座標系

