

サブストームの3次元磁気圏グローバルシミュレーション

田光江 (情報通信研究機構 NICT)、藤田茂 (気象大)、田中高史 (九州大)、  
村田健史 (NICT)

0. NICT リアルタイム宇宙天気シミュレータ

初めにNICTにて稼働中のリアルタイム宇宙天気シミュレータについて簡単に触れる。太陽現象による地球周辺の宇宙環境じょう乱を予測することが目的にして、NICTでは太陽・太陽風、磁気圏、電離圏・熱圏各領域のシミュレーションを行っている。図1は構成を示している。太陽・太陽風は太陽面観測データ (SOHO/MDI 磁場) を入力にして3次元MHDシミュレーションを行っている。図1は1サイクルの太陽風構造を表しており、高速太陽風到来の予測となっている。磁気圏シミュレーションはL1点にある太陽風衛星ACEのリアルタイムデータを上流境界条件として入力し、およそ1時間先の磁気圏の活動状態をリアルタイム3次元MHDグローバルシミュレーションで表している。またこの磁気圏シミュレーションの結果を

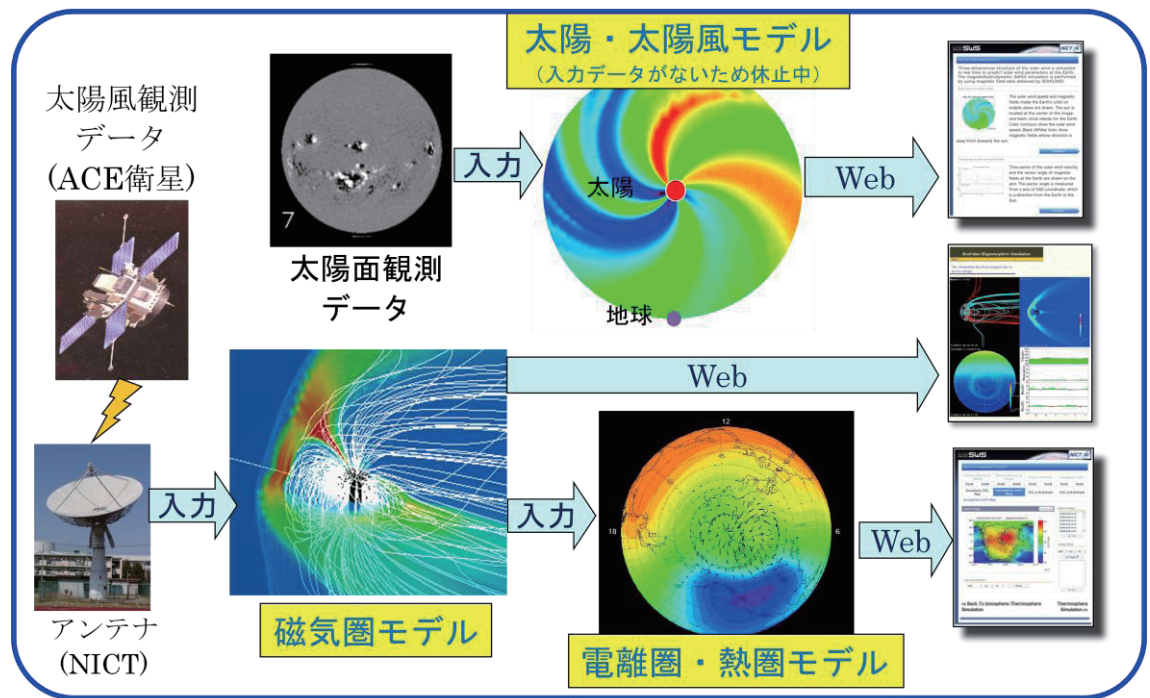


図1

入力にして電離圏・熱圏もリアルタイム3次元シミュレーションが行われている。これらはWeb上でリアルタイムで公開されており、また過去のシミュレーション結果もデータベース化されている。詳細はこちら (URL

<http://www2.nict.go.jp/y/y223/simulation/realtime/homej.html>) を参照されたい。

1. サブストームの3次元磁気圏グローバルシミュレーション

最近磁気圏グローバルシミュレーションにより、サブストームの発達過程が再現され<sup>1)</sup>、メカニズムが明らかにされつつある。ここでは磁気圏尾部での磁気リコネクションをMHDで表す場合に重要な異常電気抵抗とサブストームとの関係、およびgrowth phase中に太陽風磁場(IMF)が北転した場合のサブストームへの影響について調べたので報告する。

(1) 異常電気抵抗モデル

MHDの枠内で磁気リコネクションを表すには通常オームの法則で電流に比例した係数、異常電気抵抗をかけて入れる。この量はミクロスケールで決まるものであるため、MHDでは現象論的に決めることが多い。ここではリコネクション点に、ドリフトキンク不安定性の研究で評価された異常電気抵抗<sup>2)</sup>のモデルを用いてサブストームのグローバルMHDシミュレーションを行った。具体的な異常電気抵抗モデルは、

$$\eta_{\text{eff}} = a \times \eta_{\text{Hall}} = a \times \frac{B_o}{eN_o}$$

で、 $a$ は係数、 $B_o$ はリコネクション点からラーマー半径程度離れた場所の磁場強度、 $N_o$ はリコネクション点での個数密度である。参考論文2)では $a = 0.02 \sim 0.1$ と見積もられているが、ここでは参考論文1)との比較を考えて、 $a = 0.02, 0.5, 45$ の場合について計算を行った。図2は三

つの係数の場合と参考論文1) (右下の図)の場合の、太陽-地球方向の速度強度のカラーコンターである。横軸は地球から尾部方向の距離、縦軸は時間を表す。青と赤の境がリコネクション点に相当する。(右下の図とその他の図とは時間の区間が異なることに注意) いずれもリコネクション点の発生の

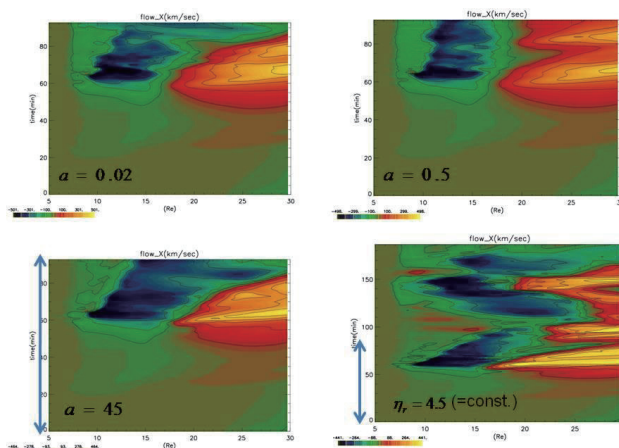


図2

タイミングはおおよそ一致している。また下二つの図はリコネクション点が尾部方向へ後退して行っているが、上の二つはリコネクション点が定在している。AE指数においてもこのふるまいは見られ、オンセットのタイミングは4つの場合で大体一致しているが、下がり方は図2の下二つの場合は最も急で大きく下がっており、上二つの場合は緩やかで下がる度合いも大きくない。実際の異常抵抗の大きさについては、観測との比較による検討が必要であるが、リコネクション点の後退は観測に見られることから、リコネクション点に有効な異常電気抵抗

は今回の MHD シミュレーションでは、 $a = 45$  程度、もしくは  $\eta_r = 4.5$  (リコネクション点の異常電気抵抗の値、参考論文 1)) 程度の大きさの可能性はある。一方でこのような大きさは、ドリフトキンク不安定性の評価からは説明が困難である。今後は MHD の枠内での拡散領域の扱い方について検討を行う。

(2) growth phase 中の北向き IMF との関係

サブストームの growth phase において IMF が北転した場合、この北転とサブストームの発生との関係について調べた。考えたモデルは表 1 の通りである。no turn

とは IMF の南転後北転することなく終始南向きの状態を意味する。#1、#2、#3 は no

turn の場合のオンセットの時刻からさかのぼってそれぞれ 10 分前、20 分前、30 分前に IMF が北転した場合である。図 3 は AE 指数を表す。実線はオンセット発生の時刻、波線は IMF が北転した時刻を指す。AE 指数から IMF の北転でサブストームが誘起されることはないことが分る。図 4 はリージョン 1 (R1、黒)、リージョン 2

(R2、赤) カレントの昼 (実線)、夜 (破線) の時間変化であり、縦の実線と破線は図 3 と同様である。IMF の北転後夜間 R1 が増大していることが分る。これはサブストーム性の現象が起きていることを示唆している。特に #1 では、サブストームのオンセットが no turn の場合の時刻と同じ時刻に起きている。結果として、IMF の北転は直接サブ

parameters

	IMF northward turn time	IMFB <sub>y</sub>	IMFB <sub>z</sub>
no turn	-	4.33nT	-4.33nT
#1	38.6	4.33nT	-4.33nT → +4.33nT
#2	28.6	4.33nT	-4.33nT → +4.33nT
#3	18.6	4.33nT	-4.33nT → +4.33nT

#1: northward turn is occurred at 10min. before the normal substorm onset time.  
 #2: northward turn is occurred at 20min. before the normal substorm onset time.  
 #3: northward turn is occurred at 30min. before the normal substorm onset time.

表1

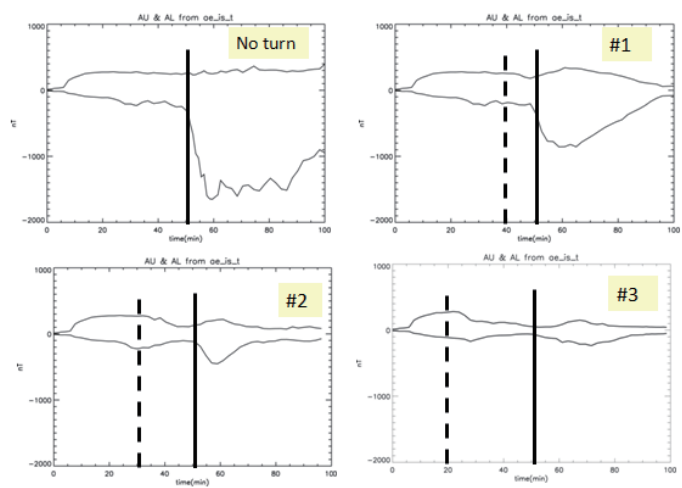


図3

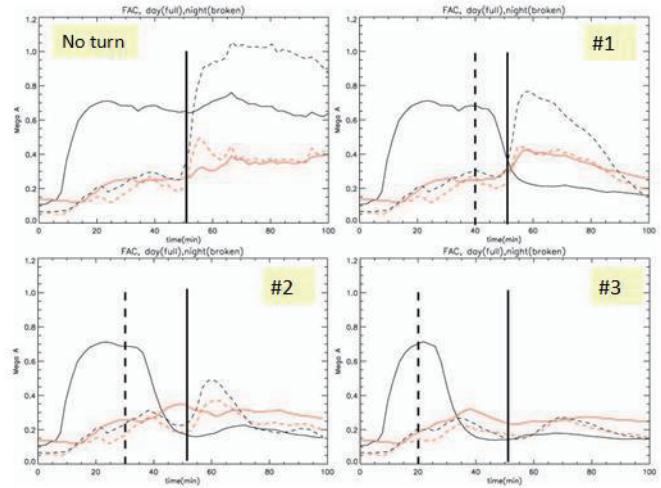


図4

ストームの励起をしないが、一旦南向きの **IMF** になった磁気圏はその情報を保持し、**IMF** が北向きになった後でもリコネクションが起こり、規模の大小はあってもサブストームが発生することが分った。

参考論文

- 1) Tanaka, T., et al., JGR, 115, A05220, 2010.
- 2) Moritaka, T., Horiuchi, R., and Ohtani, H.: Physics of Plasmas **14** (2007) 102109 1