

2-2-4 磁気圏モデルの数値予報への応用に向けて—極冠電位差による検証—

2-2-4 Application of the Magnetospheric Model for Numerical Forecast – Validation Using the Cross Polar Cap Potential –

國武 学 亘 慎一 品川裕之 島津浩哲 長妻 努 堀 智昭
藤田 茂 田中高史

KUNITAKE Manabu, WATARI Shinichi, SHINAGAWA Hiroyuki, SHIMAZU Hironori,
NAGATSUMA Tsutomu, HORI Tomoaki, FUJITA Shigeru, and TANAKA Takashi

要旨

情報通信研究機構では、磁気圏—電離圏を結合した磁気流体力学(MHD)シミュレーションを、リアルタイムで常時走らせている[1]–[4]。磁気圏シミュレーションの出力のひとつとして極域電離圏の電場ポテンシャル二次元分布が得られる。クロスポーラーキャップポテンシャル値(CPCP 値)[ポテンシャルの極大値(Potmax)と極小値(Potmin)の差]、ポテンシャルの極大、極小の位置する磁気地方時(MLT)を、数値として抽出し、太陽風依存性に関する統計解析を行った。さらに従来の衛星観測による経験モデルである Weimer 2001モデル[5]とシミュレーションそれぞれの太陽風依存性を比較し、その異同について調べた。主な解析結果として、(1)シミュレーションによる CPCP 値が、Weimer 2001モデルによる CPCP 値に比べて、大きい場合がほとんどであること、(2)Potmax と Potmin の絶対値つまり $|\text{Potmin}|$ 、の大小関係について、惑星間空間磁場(IMF)のY成分つまり B_y が負のとき、シミュレーションでは $\text{Potmax} > |\text{Potmin}|$ 、Weimer 2001モデルでは $\text{Potmax} < |\text{Potmin}|$ であること、(3)ポテンシャルの極大、極小が位置する MLT が、シミュレーションより Weimer 2001モデルのほうが夜側になること、が見出された。これらの結果についてその原因に関する考察を進め、本シミュレーションにおける電離圏電気伝導度設定の改良すべき点を推察した。

National Institute of Information and Communications Technology(NICT) has been running the real-time magnetohydrodynamic(MHD) simulation of the magnetosphere-ionosphere(M-I) coupling system[1]–[4]. The 2-D ionospheric electric potential distribution can be reproduced from the real-time run of the magnetosphere simulation. We extracted parameters, such as, the locations of potential MAX and MIN and the magnitude of potential MAX(Potmax) and the absolute value of potential MIN($|\text{Potmin}|$), and the cross polar cap potential(Potmax-Potmin) from the 2-D ionospheric potential distribution, then made statistical analyses about the dependence of these parameters on the solar wind. Further, the simulation results were compared with the results of Weimer 2001 model[5] on the same solar wind condition. Based on these comparisons, we have presumed that the day-to-night gradient in the ionospheric conductance in our simulation would be not as steep as that in the actual ionosphere.

[キーワード]

MHD シミュレーション, ポテンシャル分布, 太陽風依存性, 電離圏電気伝導度, 統計解析
MHD simulation, Polar cap potential, Solar wind dependence, Ionospheric conductance,
Statistical analyses

1 はじめに

情報通信研究機構では、磁気圏-電離圏を結合した磁気流体力学 (MHD) シミュレーションを、ACE 観測データを上流側境界条件の入力値として、リアルタイムで常時走らせている [1] - [4]。ACE は、地球から太陽方向へ約 220 地球半径の距離にある L1 点 (太陽と地球の重力が釣り合う点) に位置する人工衛星である。リアルタイムシミュレーションの実行結果は、ハードディスクに蓄積されていく。長期間実行させることで、現実の様々な太陽風状況下でのシミュレーション結果がデータベースとなっていく。このデータベースに保存された大量の計算結果を利用し、統計的な解析を行うことで、本 MHD シミュレーションの特性 (太陽風依存性等) を系統的に調べることができる。統計結果を整理し、物理的考察を加えることで、本シミュレーションの特徴、問題点等を把握することができると思われる。

検証という立場では、前述した特性が、観測から求められている特性と同様であることを調べることが肝要である。観測に基づく経験モデルの結果とシミュレーション計算の結果との比較を行うことで、本シミュレーションが現実をどの程度再現できているかの検討をする。この比較によって食い違いが見出されれば、その原因を考察し、本シミュレーションの改良へその知見をフィードバックすることが次のステップとなる。

このデータベースを用いた統計的解析の先行研究としては、極域に流れるオーロラジェット電流についての検証研究がある [6]。オーロラジェット電流は AE という指数で表わされる。本シミュレーションから導出した AE 指数と観測から求められた AE 指数との比較解析により、オーロラジェット電流が本シミュレーションでかなり良く再現されていることが確認されてきた [4] [7] [6]。

本報告は、電場に関するものである。本シミュレーションの出力のひとつとして極域電離圏の電場ポテンシャル二次元分布が得られる。そこから抽出できる物理量には、ポテンシャルの極大値、極小値、ポテンシャルの極大、極小の位置する緯度及び磁気地方時 [MLT] 等がある。他に、クロスポーラーキャップポテンシャル値 (CPCP 値) を求めることが可能である。CPCP 値は、ポテン

シャルの極大値から極小値を差し引いたスカラー量であり、磁気圏から電離圏にかかる電位の総体を現わす量として、太陽風と磁気圏のカップリングの研究でよく用いられてきた量である [8]。上記諸パラメータについて太陽風依存性を系統的に調べた結果を報告する。依存性を調べるにあたり注意したことは、太陽風速というような単純な物理量に対する依存性のみならず、IMF clock angle や merging electric field (Emerg) のようなポテンシャル分布に関係しそうな物理量に対する依存性も調べた。ここでは重要と思われる結果のみを示す。解析期間は 2006 年 1 月 1 日から 5 月 10 日。この期間は太陽活動極小期にあたる。上記諸パラメータは、一時間平均を行った上で解析に用いた。

ここで、本報告で用いている座標系や変数について若干の説明をしておく。

GSM 座標：X 軸は地球中心から太陽中心へ向く方向、Y 軸は地球の dipole 軸と前記 X 軸が含まれる面に対して垂直な方向、Z 軸は前記の X 軸、Y 軸と右手直交系をなすように定義されている。

IMF clock angle (theta) は下記の式による。

$$Byz = (By^2 + Bz^2)^{1/2} \quad (1)$$

$$\theta = \text{Arccos}(Bz/Byz) \quad (2)$$

By：GSM 座標での磁場の Y 成分。

Bz：GSM 座標での磁場の Z 成分。

Byz：GSM 座標の YZ 面での磁場強度。

Emerg は下記の式による。

$$\text{Emerg} = V \times Byz \times \{\sin(\theta/2)\}^2 \quad (3)$$

V：太陽風速。

さらに、観測に基づく経験モデルとの比較を行うことで、シミュレーションが現実をどの程度再現できているかの検討をする。経験モデルとして Weimer 2001 モデル [5] を用い、比較解析を統計的に行った結果を報告する。比較には二通りのやり方を用いた。第一の方法は、シミュレーション結

果と経験モデルの両方について、ある物理量の太陽風依存性を調べ、両者の太陽風依存性の異同を調べるものである。第二の方法は、同時刻でのある物理量の値について、シミュレーション結果と経験モデル結果での直接の対応関係を統計的に調べるものである。

これらの比較によって見出されたシミュレーション結果と経験モデル結果の食い違いについて、その原因を考察し、そこから得られた知見を、本シミュレーションの改良へフィードバックすべく、提言を述べ、まとめとする。

2 シミュレーション結果データベースからの統計解析での注意事項

本シミュレーションでは、地球の自転軸と地磁気双極子(dipole)軸のなす角、つまり dipole tilt angle、を 0 度に固定している。すなわち、自転軸と dipole 軸は一致させている。自転軸は公転面に対して常に垂直としているため、太陽極端紫外線(solar EUV)による電離圏電気伝導度分布は春分秋分期の状況になっている。入力として用いる ACE の惑星間空間磁場(IMF)観測データについては GSM 座標での値を用いている。なお、Bx 成分については、観測データでは 0 でなくても、シミュレーションでは 0 とせざるをえない。

シミュレーションをリアルタイムで安定して走行し続けさせるために、入力レンジに制限が設けられている[4]。ACE 太陽風観測値が入力レンジ上限値を越えた場合、シミュレーションへの入力は下記の不等式の上限值を用い、上限値を越えている時間中、上限値を用い続けることになる。下限値の場合も同様である。

$$\text{IMF } B_y \text{ 成分: } -7.5 \text{ nT} < B_y < 7.5 \text{ nT} \quad (4)$$

$$\text{IMF } B_z \text{ 成分: } -13 \text{ nT} < B_z < 13 \text{ nT} \quad (5)$$

$$\text{太陽風密度 } n: 3.3 \text{ 個/cc} < n < 10 \text{ 個/cc} \quad (6)$$

$$\text{太陽風速度 } V: 124 \text{ km/s} < V < 899 \text{ km/s} \quad (7)$$

$$\text{太陽風温度 } T: 112200 \text{ K} < T < 204000 \text{ K} \quad (8)$$

したがって、統計解析に用いるデータセットは、

ACE 観測値との対応が正しく付けられる時間帯のみ(設定入力レンジ内に ACE 観測値が入っている時間帯のみ)拾い出すことになる。ACE 観測値が入力レンジを越えた時間帯は捨てる。ただし、温度については入力レンジ内に入っている時間帯が非常に少ないため、温度についての依存性解析をしないことを前提として、温度については入力レンジを越えた時間帯でも捨てないことにした。

IMF Bz 成分が負、つまり南向きの時間帯は、電離圏に投影されたポテンシャル分布による極域電離圏プラズマ対流は、朝方と夕方にそれぞれ目玉を持つ、つまり二つ渦が現れることが知られている(two cell convection)。朝方は反時計回り、夕方は時計回りの渦である(図 1 参照)。他方、IMF Bz 成分が正の時間帯は、ポテンシャル分布が複雑である。例えば渦の数が 3 つや 4 つになったりする。そのため、パラメータ抽出や解釈が難しくなる。したがって、IMF Bz が正の時間帯を捨て、二つの渦が現れると予想される IMF Bz が負の時間帯のみ拾うことにした。

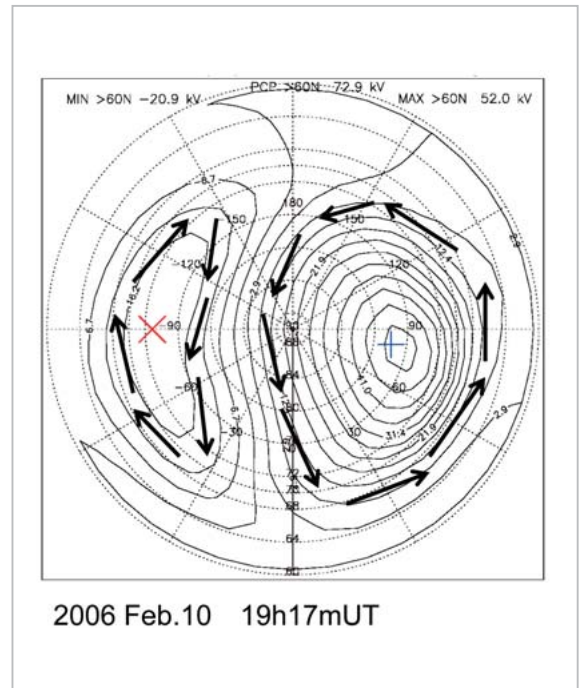


図1 シミュレーションから計算されたポテンシャル分布の例

等高線が電場ポテンシャルを示す。青+印がポテンシャルの極大値の位置、赤X印が極小値の位置を表わしている。矢印は、電離圏でのプラズマの対流方向を示す。なお、この図では、矢印の長さは特に速度の大きさには対応していないことに注意。

3 Weimer 2001 モデルについて

Weimer 2001 モデルは、IMP 8 及び ISEE 3 衛星の太陽風観測と極軌道低高度衛星である DE 2 衛星の電場観測とから求められた経験モデルである。入力としては、太陽風速度、太陽風密度、IMF Byz (GSM 座標の YZ 面での磁場強度)、IMF clock angle、dipole tilt angle、極域の擾乱指数 AL である。出力として極域電離圏のポテンシャル二次元分布が得られる。

本報告中のシミュレーションとの比較解析においては、シミュレーションと条件を合わせた。すなわち、Weimer 2001 モデルの入力にも、シミュレーションと同時刻の ACE 観測データを与えて、出力として極域電離圏のポテンシャル二次元分布を得るようにした。さらに条件を合わせるため、Weimer 2001 モデルでの計算において、設定パラメータの一つである tilt angle を、シミュレーションと同じく、常に 0 とした。AL 指数については、World Data Center for Geomagnetism, Kyoto が算出している Provisional AL 指数を用いた。

注意すべき点が若干ある。リアルタイム MHD シミュレーションでは、リアルタイム受信している ACE 観測データを用いているのに対し、Weimer 2001 モデルに入力として用いたのは、同時刻ではあるが、較正済みの Level 2 データである。厳密に比較を行うには、リアルタイム受信している ACE 観測データ値を抽出し、それを Weimer 2001 モデルに入力しなければならないが、かなりの手間と時間が予想されたため、やむなく Level 2 データを、Weimer 2001 モデルへの入力とした。

4 解析結果

4.1 CPCP 値の merging electric field (Emerg) 依存性

図 2 に、シミュレーションによる CPCP 値を縦軸、merging electric field を横軸としてプロットしたものを示す。さらに、下記の式のように、最小二乗フィッティングした一次直線も重ね書きしている。

$$\text{CPCPfit} = a + b \times \text{Emerg} \quad (9)$$

相関係数は、0.832 と高い。切片 $a = 45.470$ 、傾き $b = 26.226$ であった。

同様の相関解析を Weimer 2001 モデルについて行った結果を図 3 に示す。相関係数は、0.939 と高い。切片 $a = 32.574$ 、傾き $b = 20.267$ であった。

この二つの相関プロットから見出されることは、{1} 両者とも Emerg に対して相関が高く一次関数で近似できるということ、{2} シミュレーション結果は、Weimer 2001 モデルより大きめの CPCP 値をとる傾向があるということである。

さらに、CPCP 値についてのシミュレーション結果と Weimer 2001 モデル結果との同時刻毎の直接比較のプロットを図 4 に示す。縦軸がシミュレーションによる CPCP 値、横軸が Weimer 2001 モデルによる CPCP 値である。さらに、下記の式

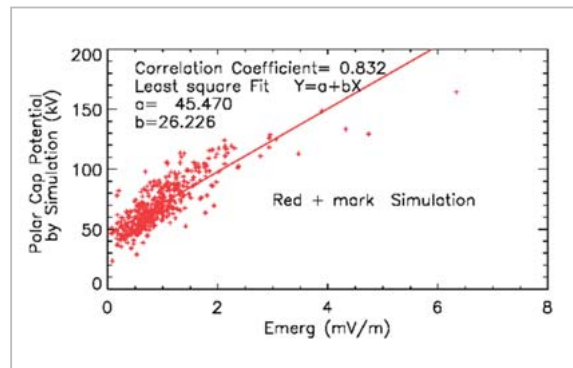


図2 シミュレーションについての CPCP 値と merging electric field との比較と回帰直線

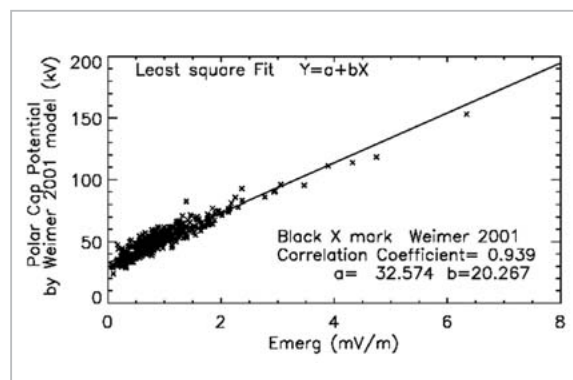


図3 Weimer 2001 モデルについての CPCP 値と merging electric field との比較と回帰直線

のように、最小二乗フィッティングした一次直線も実線で重ね書きしている。

$$\text{CPCPsimfit} = a + b \times \text{CPCPweimer} \quad (10)$$

相関係数は、0.841 と高い。切片 $a = 6.748$ 、傾き $b = 1.228$ であった。なお、図に示している右上がりの点線は、シミュレーション結果と Weimer 2001 モデルの結果が同じ CPCP 値をとったと仮定した場合にのる直線である。一見してわかるように、シミュレーションによる CPCP 値が、Weimer 2001 モデルによる CPCP 値に比べて大きい場合がほとんどである。シミュレーションによる CPCP 値は Weimer 2001 モデルによる CPCP 値と相関が高く、一次式で対応が取れることが見出された。

4.2 ポテンシャルの極大値と極小値(絶対値)の大小関係についての IMF clock angle 依存性

電離圏対流が two cell convection の場合、朝方の渦の中心でポテンシャルの極大値(Potmax)を、夕方渦の中心でポテンシャルの極小値(Potmin)をとる。ここで、Potmin は負の値である。Potmax と Potmin の絶対値の大小関係について調べた。Potmax と Potmin の絶対値の差を求め、CPCP 値で規格化した。

$$\text{Ratediffpot} = (\text{Potmax} - |\text{Potmin}|) / (\text{Potmax} + |\text{Potmin}|) \quad (11)$$

もし Ratediffpot が 0 に近いならば Potmax と

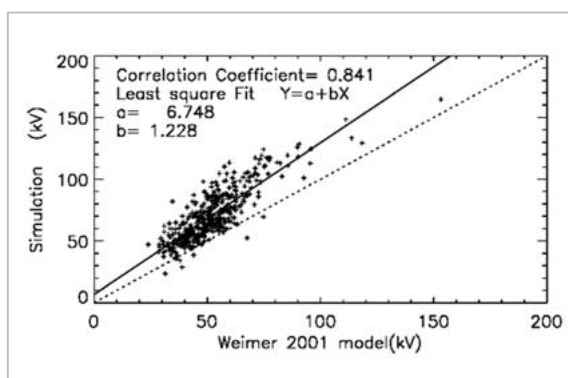


図4 CPCP 値についてのシミュレーション結果と Weimer 2001 モデル結果の比較プロット

$|\text{Potmin}|$ が同程度、Ratediffpot が 1 に近いならば Potmax が $|\text{Potmin}|$ に比べて圧倒的に大きく、Ratediffpot が -1 に近いならば Potmax が $|\text{Potmin}|$ に比べて圧倒的に小さいとみなせる。シミュレーションについて Ratediffpot を縦軸に、IMF clock angle を横軸にしてプロットしたのが図 5(a) である。clock angle が 90 度に近い時、つまり、By 正の時、Potmax は $|\text{Potmin}|$ に比べて小さめである。逆に clock angle が 270 度に近い時、つまり、By 負の時、Potmax は $|\text{Potmin}|$ に比べて大きめである。同様のプロットを Weimer 2001 モデルについて行ったのが、図 5(b) である。この場合、clock angle が 90 度から 270 度の間、ほとんどの例で Potmax は $|\text{Potmin}|$ に比べて小さい。つまり、Bz 負ならば、By 正でも By 負でも、ほとんどの例で Potmax < $|\text{Potmin}|$ である。

4.3 ポテンシャル極大、極小の位置の MLT についての IMF clock angle 依存性

ポテンシャルの極大値、極小値の位置は、電離

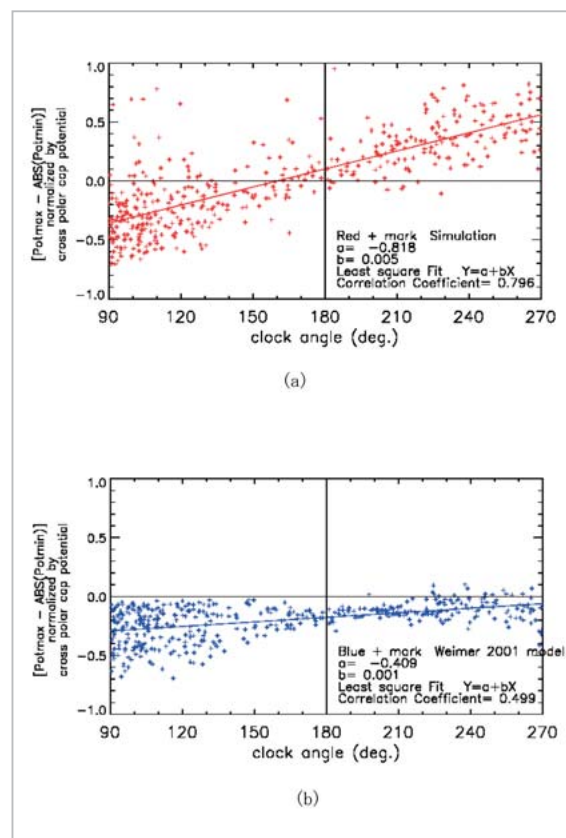


図5 ポテンシャルの朝夕の差についての IMF clock angle 依存性

(a)シミュレーション、(b) Weimer 2001 モデル。

圏対流の渦の中心に対応する。clock angle を横軸とし、シミュレーションから求められた朝方の cell の中心 (ポテンシャルの極大) が位置する MLT、夕方の cell の中心 (ポテンシャルの極小) が位置する MLT を縦軸としてプロットしたが、それぞれ図 6 (a)、図 6 (b) である。ポテンシャル極大値の位置する MLT、極小値の位置する MLT とともに、clock angle に関して系統的に変わってはいない。分散はあるものの、ポテンシャル極大値の位置する MLT は 5hMLT 付近、ポテンシャル極小値の位置する MLT は 17hMLT 付近である。

Weimer 2001 モデルについても同様のやり方で依存性を見たのが、図 6 (c)、図 6 (d) である。

Weimer 2001 モデルは、シミュレーション結果とかなり様相を異にする。ポテンシャル極大値の位置する MLT は、clock angle が増加するにつれて (By が正から負になるにつれて) 分散が増加し、分散が小さい clock angle 90 度付近では、3hMLT から 4hMLT 付近である。ポテンシャル極小値の位置する MLT は、clock angle が減少するにつれて (By が負から正になるにつれて) 分散が増加し、分散が小さい clock angle 270 度付近では、19hMLT 付近である。

さらに、シミュレーション結果と Weimer 2001 モデル結果との同時刻毎の直接比較を行った。ポテンシャルの極大値の位置する MLT についての比較プロットを図 7 (a)、ポテンシャルの極小値

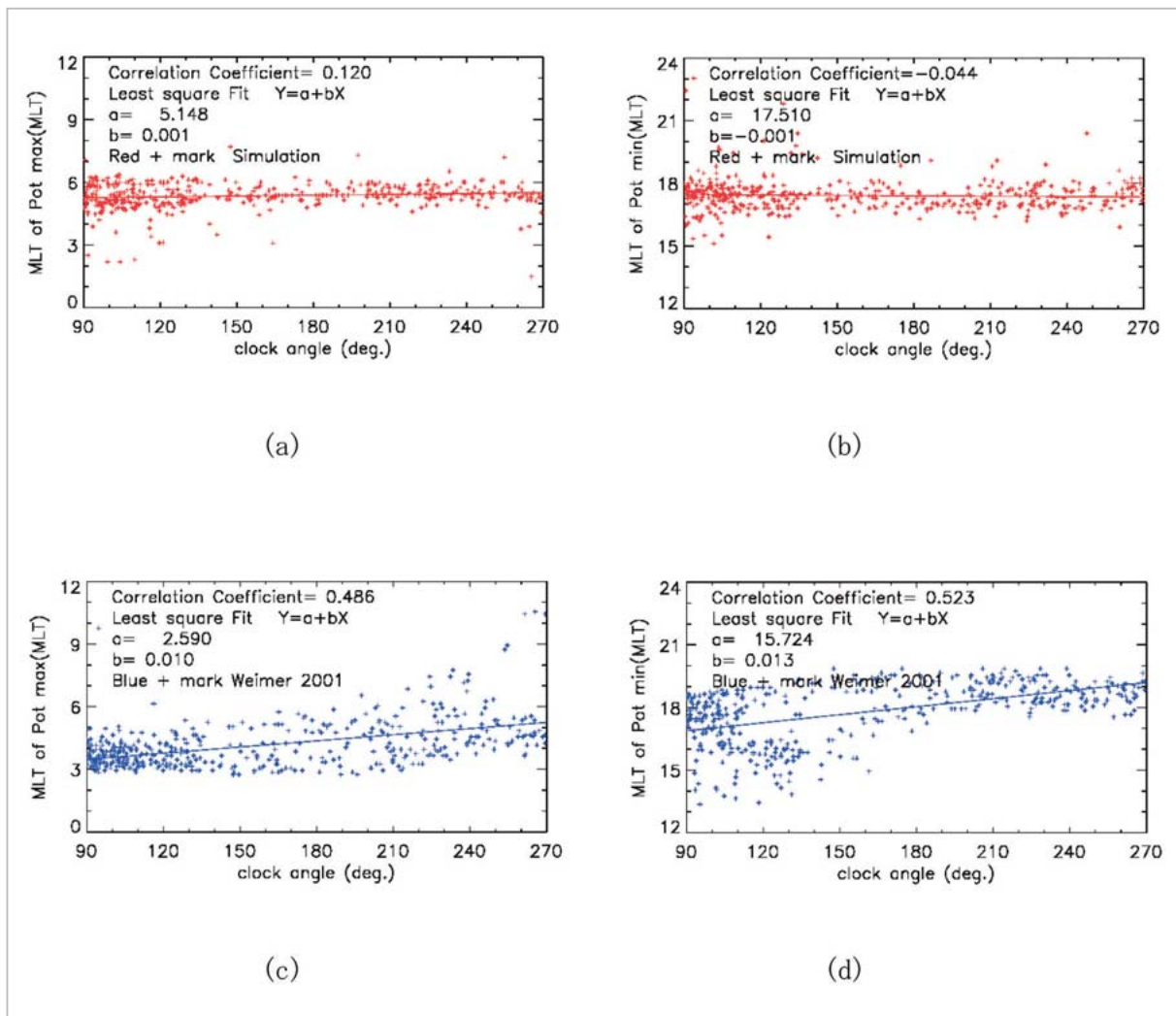


図6 ポテンシャル極大値、極小値の位置する MLT についての clock angle 依存性

(a) ポテンシャル極大値の位置する MLT (シミュレーション)、(b) ポテンシャル極小値の位置する MLT (シミュレーション)、(c) ポテンシャル極大値の位置する MLT (Weimer2001モデル)、(d) ポテンシャル極小値の位置する MLT (Weimer 2001 モデル)。

の位置する MLT についての比較プロットを 図 7(b) に、それぞれ示す。なお、各図に示している右上りの点線は、シミュレーション結果と Weimer 2001 モデルの結果が同じ MLT をとったと仮定した場合にのる直線である。図 7(a) に示されている極大値の位置する MLT では、点線より左上の部分に大部分の点がプロットされている。このことは、極大値の位置する MLT について、Weimer 2001 モデルがシミュレーションに比べて、大部分の場合、夜側に分布することを意味している。図 7(b) に示されている極小値の位置する MLT では、点線より右下の部分にかなりの点がプロットされている。このことは、極小値の位置する MLT について、Weimer 2001 モデルがシミュレーションに比べて、かなりの場合夜側に分布することを意味している。

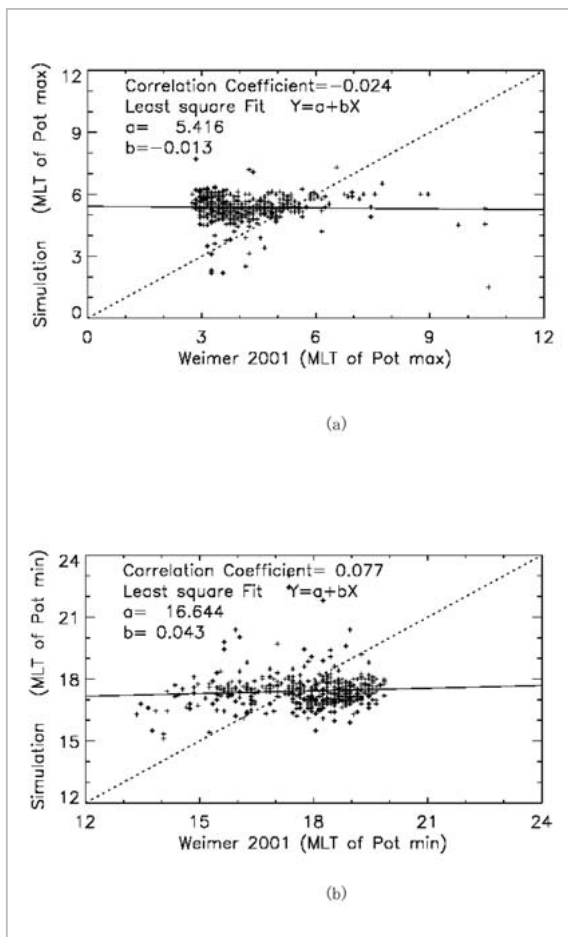


図7 ポテンシャルの極大値、極小値の位置する MLT について、シミュレーションと Weimer 2001 モデルの比較プロット

- (a) ポテンシャル極大値の位置する MLT
- (b) ポテンシャル極小値の位置する MLT

5 解析結果からの考察

5.1 CPCP 値の merging electric field (Emerg) 依存性についての考察

シミュレーションによる CPCP 値は、Emerg に対して、ほぼ線形関係である。Weimer 2001 モデルによる CPCP 値も、Emerg に対して、ほぼ線形関係である。Weimer 2001 モデルとの比較から、シミュレーション結果のほうが Weimer 2001 モデルより大きめであることが見出された。

経験モデルである Weimer 2001 モデルが必ずしも完璧なものとはいえないが、それを基準としてシミュレーション結果が大きめであるとみなした上で、なぜシミュレーション結果が大きめであるかについて原因の考察を進めることにする。

Ridley et al.[9] は、電離圏のホール電気伝導度を 0、ペダーセン電気伝導度が一樣という条件で、CPCP 値とペダーセン電気伝導度の値との関係を調べ、ペダーセン電気伝導度が増加すると CPCP 値が下がるという傾向を示した。

我々のシミュレーションでは、電離圏のペダーセン電気伝導度が一樣でなく、ホール電気伝導度は 0 でなく一樣でないため、すぐに彼らの結果を援用することはできないが、大まかには、我々のシミュレーションで電離圏のペダーセン電気伝導度が現実よりやや小さく設定されている可能性があると推測される。推測をさらに詰めていくには、我々のシミュレーションでペダーセン電気伝導度を大きくしたテストランを行って、この推測が妥当であるか調べる必要があると思われる。

さらに将来的には、Weimer 2001 モデルを用いたデータ同化への試みも考えられる。藤田[10] は、電気伝導度をチューニングすることにより、観測された AE 指数とシミュレーションから算出された AE 指数の違いを小さくする、データ同化の試みを行っている。同種の方法をとって、電気伝導度のチューニングにより、Weimer 2001 モデルの CPCP 値とシミュレーションから算出された CPCP 値の違いを小さくするデータ同化の試みを行うことも考えうる。その際、電気伝導度がデータ同化前の値からどのように変わったかを調べると、上記の推測が妥当かの参考になりうる。理想としては、多種類、多面的な検証が行われ、それらの検討結果をシミュレーションへの改良へと繋

げていくということが望ましい。注意しなければならないことは、一部の検証結果に基づきある物理量において観測とより合うようにシミュレーションをチューニングした際に、他の物理量では逆に観測と大きく食い違うようになることがないかということである。総合的な観点で、より良いシミュレーションの実現をめざすという視点が必要である。

5.2 ポテンシャルの極大値と極小値(絶対値)の大小関係についての IMF clock angle 依存性についての考察

ポテンシャル値の極大値と極小値(絶対値)の大小関係は、表1にまとめられている。我々のシミュレーションの統計結果では、By 正で Potmax は |Potmin| より小、By 負で Potmax は |Potmin| より大、となった。一方、Weimer 2001 モデルにシミュレーションと同条件の太陽風・IMF 値を入れて計算したものからの統計結果では、By の正負にかかわらず、Potmax は |Potmin| より小であることがほとんどである。Ruohoniemi and Greenwald [11] による SuperDARN レーダの観測統計結果では、By の正負にかかわらず、Potmax は |Potmin| より小である。Ridley et al. [9] は、ホール電気伝導度の昼から夜への傾きが急だと、Potmax は |Potmin| より小になったとの結果を示している。我々のシミュレーション結果では、By 負で Potmax は |Potmin| より大となる。

これらから考えると、我々のシミュレーションにおいては、ホール電気伝導度の昼から夜への傾

きが、現実よりは急ではない(緩やかである)ことを推察させる。我々のシミュレーションでは、ホール電気伝導度として、(A) solar EUV [太陽からの極端紫外線] によるもの、(B) 磁気圏の圧力分布に関連するもの、(C) 上向き沿磁力線電流に関連するものを与えている [2]。solar EUV によるものについては、昼から夜への傾きを生み出すセンスである。他方、(B) と (C) が強まると、ホール電気伝導度の昼から夜への傾きを緩やかにすることに寄与する。したがって、我々のシミュレーションにおいて (B) と (C) のホール電気伝導度が、現実よりやや大きめに設定されていることが推測される。

5.3 ポテンシャル極大、極小の位置の MLT についての IMF clock angle 依存性についての考察

我々のシミュレーション結果では、Potmax、Potmin の位置の MLT とも、clock angle によって系統的に変わることはなく、Potmax の MLT は 5hMLT 付近、Potmin の MLT は 17hMLT 付近に位置する。Potmax の MLT が 6hMLT より、Potmin の MLT が 18hMLT より、それぞれ1時間早くなっているのは、ホール電気伝導度の昼から夜への傾きの効果が、ある程度シミュレーションに反映されているためであると推察される [12]。

一方、Weimer 2001 モデルと直接比較すると、我々のシミュレーションより Weimer 2001 モデルのほうが、Potmax、Potmin の MLT とも、より夜側に位置することが見出された。Ridley et al. [9]

表1 Potmax と |Potmin| の大小関係についての clock angle (By極性) 依存性

	90度 < clock angle < 180度 By > 0	180度 < clock angle < 270度 By < 0
NICT シミュレーション	Potmax < Potmin	Potmax > Potmin
衛星観測統計モデル (Weimer 2001)	Potmax < Potmin	Potmax < Potmin
レーダ観測統計モデル (Ruohoniemi and Greenwald 2005)	Potmax < Potmin	Potmax < Potmin

は、ペダーセン電気伝導度の昼から夜への傾きが急だと、ポテンシャル分布が夜側にシフトする結果を示している。これを参考にすると、我々のシミュレーションにおいては、ペダーセン電気伝導度の昼から夜への傾きが、現実よりは緩やかであることを推察させる。つまり、5.2 のところで展開したのと同様の論理で、(B)と(C)のペダーセン電気伝導度が現実よりやや大きめに設定されていることが推測される。

6 まとめ

情報通信研究機構で ACE 観測データを入力として、長期間リアルタイム実行している MHD シミュレーションについて、大量に蓄積された計算結果を用いて、あたかも観測データベースからの統計解析のようにして、本 MHD シミュレーションの太陽風依存性を系統的に調べ、特徴を明らかにした。着目した項目は、出力された極域電離圏のポテンシャル二次元分布から抽出できる、CPCP 値、ポテンシャルの極大値、極小値、ポテンシャルの極大、極小の位置する MLT である。それと並行して、観測に基づく経験モデルである Weimer 2001 モデルに ACE 観測データを入力と

して求めた結果についても、同様の解析を行った。シミュレーション結果と Weimer 2001 モデル結果との比較により、本シミュレーションの特性がより鮮明に浮かび上がってきた。

これらの解析結果を考察した結果、本シミュレーションにおいては、(1)ペダーセン電気伝導度が現実より小さめに設定されている可能性がある、(2)ペダーセン電気伝導度、ホール電気伝導度とも、昼から夜への傾きが現実よりもやや緩い、ということが推察された。今後、電気伝導度の与え方を改良することで、本シミュレーションのポテンシャル分布が現実に近いものになることが期待される。

謝辞

ACE level 2 dataは ACE Science Center より提供頂いた。ACE MAG and SWEPAM instrument teamsと ACE Science Center に感謝の意を表します。Weimer 2001 モデルの使用について、D. R. Weimer 博士に感謝の意を表します。京都大学地磁気世界資料解析センターには、Provisional AL 指数データを利用させていただいたことに感謝の意を表します。

参考文献

- 1 Tanaka, T., "Generation mechanisms for magnetosphere-ionosphere current systems deduced from a three-dimensional MHD simulation of the solar wind-magnetosphere-ionosphere coupling processes", J. Geophys. Res., Vol.100, pp.12057-12074, 1995.
- 2 Tanaka, T., "The state transition model of the substorm onset", J. Geophys. Res., Vol.105, pp.21081-21096, 2000.
- 3 Tanaka, T., "Formation of magnetospheric plasma population regimes coupled with the dynamo process in the convection system", J. Geophys. Res., Vol.108, 1315, doi:10.1029/2002JA009668, 2003.
- 4 Den, M., T. Tanaka, S. Fujita, T. Obara, H. Shimazu, H. Amo, Y. Hayashi, E. Nakano, Y. Seo, K. Suehiro, H. Takahara, and T. Takei, "Real-time Earth magnetosphere simulator with three-dimensional magnetohydrodynamic code", Space Weather, Vol.4, S06004, doi:10.1029/2004SW000100., 2006.
- 5 Weimer, D. R., "An improved model of ionospheric electric potentials including substorm perturbations and application to the Geospace Environment Modeling November 24, 1996, event", J. Geophys. Res., Vol.106, pp.407-416, 2001.
- 6 北村健太郎, 島津浩哲, 藤田茂, 亘慎一, 國武学, 品川裕之, 田中高史, "磁気圏モデルの数値予報への応用に向けて— AE 指数による検証—", 情報通信研究機構季報, 本特集号, 2-2-5, 2009.

- 7 Shimazu, H., K. Kitamura, T. Tanaka, S. Fujita, M. S. Nakamura, and T. Obara, "Real-time global MHD simulation of the solar wind interaction with the earth's magnetosphere", Adv. Space Res., Vol.42, pp.1504-1509, 2008.
- 8 Boyle C., P. Reiff, and M. Hairston, J. Geophys. Res., "Empirical polar cap potentials", Vol.102, pp.111-126, 1997.
- 9 Ridley A. J., T. I. Gombosi, and D. L. DeZeeuw, "Ionospheric control of the magnetosphere: conductance", Ann. Geophys., Vol.22, pp.567-584, 2004.
- 10 藤田茂, "磁気圏 MHD シミュレーションとその宇宙天気業務応用の展望", 情報通信研究機構季報, 本特集号, 2-3-4, 2009.
- 11 Ruohoniemi J. M., and R. A. Greenwald, "Dependencies of high-latitude plasma convection: Consideration of interplanetary magnetic field, seasonal, and universal time factors in statistical patterns", J. Geophys. Res., Vol.110, A09204, doi:10.1029/2004JA010815, 2005.
- 12 Tanaka, T., "Interplanetary magnetic field By and auroral conductance effects on high-latitude ionospheric convection patterns", J. Geophys. Res., Vol.106, pp.24505-24516, 2001.



くに たけ まなぶ
國武 学

電磁波計測研究センター宇宙環境計測
グループ主任研究員
磁気圏物理学、超高層物理学



いち けんいち
亘 慎一

電磁波計測研究センター宇宙環境計測
グループ研究マネージャー 博士(理学)
太陽地球系物理学、宇宙天気



しんや ひしき
品川 裕之

電磁波計測研究センター宇宙環境計測
グループ主任研究員 Ph. D.
電離圏物理学



しげお しづま
島津 浩哲

電磁波計測研究センター宇宙環境計測
グループ主任研究員 博士(理学)
宇宙空間物理学



しげお なさき
長妻 努

電磁波計測研究センター宇宙環境計測
グループ研究マネージャー 博士(理
学) 太陽地球系物理学



しげお うへだ
堀 替昭

名古屋大学太陽地球環境研究所
特任助教 博士(理学)
磁気圏物理学



しげお ふじた
藤田 茂

気象大学校准教授 理学博士
磁気圏電離圏系物理学



たかし たなか
田中高史

九州大学大学院理学研究院教授
理学博士
複合系磁気圏物理学