

太陽磁気圏の構造とダイナミックスのMHDシミュレーション

An MHD Simulation on the Structure and Dynamics of Heliosphere

二井 征一郎 [1]; 田中 伸 [2]; 荻野 竜樹 [3]
Seiichiro Nii[1]; Shin Tanaka[2]; Tatsuki Ogino[3]

[1] 名大・STE 研; [2] 名大・STE 研; [3] 名大 STE 研
[1] STE Laboratory, Nagoya Univ; [2] STE Lab.; [3] STEL, Nagoya Univ.

惑星間空間には、太陽から絶えず太陽自転のために螺旋状の惑星間磁場 (IMF) を伴った超音速のプラズマの流れ (太陽風) が吹き出している。この太陽風プラズマと太陽圏外に存在する局所恒星間物質 (LISM) との相互作用により太陽磁気圏の基本的な構造が決まる。また太陽磁気圏は、惑星間磁場 (IMF) と恒星間磁場 (ISMF) の相互作用にも影響を受けることが予想される。

太陽風の流れは、その起源である太陽から 100 AU 程離れた場所で局所恒星間物質や磁場の圧力の影響を受けて超音速から亜音速に減速され、その場所に終端衝撃波 (TS: Termination Shock) とよばれる衝撃波面が形成される。また終端衝撃波よりも外側には、地球や惑星の太陽側にみられる外側衝撃波 (BS: Bow Shock) が形成される。この2つの衝撃波の間には恒星間物質と太陽風プラズマの境界である太陽圏境界 (HP: Heliopause) が存在する。

現在、太陽圏の果てへ向け飛行中の Voyager 1、Voyager 2 は太陽圏の勢力範囲の端である終端衝撃波に到達した可能性があるとの報告もあるが、まだ確定的な結論は得られていない。また、太陽圏全体の直接観測はいまだなされておらず、太陽風プラズマと局所恒星間物質との相互作用の結果として生じる太陽圏の全体像や、物理プロセスの全体的な解明にはいたっていないのが現状である。

過去には MHD シミュレーションにより太陽圏境界の先端が膨らむような結果を得た研究 (Linde et al (1998)) や、電流シートを含めた MHD シミュレーションにより太陽圏境界の表面の先端が V 字型にへこみ、そこに惑星間磁場がまきつくようになる結果を得た研究 (Tanaka & Washimi (2001)) などがある。

本研究では、太陽磁気圏の構造を調べるために恒星間物質と太陽風プラズマ相互作用の3次元 MHD シミュレーションを行った。太陽磁気圏相互作用の3次元 MHD モデルでは MHD 方程式とマクスウェル方程式を初期値境界値問題として高精度計算法の一つである Modified Leap-Frog 法を用いてその時間発展を解いた。

計算に用いたパラメータは Linde et al (1998) より太陽風プラズマが密度 $n=0.0078 / \text{cm}^3$ 、速度 $v=450 \text{ km/s}$ 、温度 $T=30000 \text{ K}$ 、磁場 $B=0.2 \text{ nT}$ 、恒星間物質が密度 $n=0.07 / \text{cm}^3$ 、速度 $v=26 \text{ km/s}$ 、温度 $T=7500 \text{ K}$ 、磁場 $B=0.15 \text{ nT}$ とした。今回のシミュレーションでは惑星間磁場を印加していない状態でのシミュレーション結果を示す。

シミュレーションから終端衝撃波、太陽圏境界、定在衝撃波の3つの不連続面から形成される太陽磁気圏の基本的な構造を得ることができた。それぞれの平均的な位置は太陽から 125 AU、205 AU、310 AU であった。

終端衝撃波は最初、円状であったものが定常状態に近づくにつれ銃弾型の Bullet Shape 構造に変化した。tail 側にはマッハディスク (MD: Mach Disc) が現れ、マッハディスクと終端衝撃波側面とのつなぎ目から反射衝撃波 (RS: Reflected Shock) と、滑り線 (SL: Slip Line) が見られた。また太陽赤道面での太陽圏境界ではシミュレーションを開始してから、 $t=38 \text{ years}$ あたりで揺らぎが現れ、それが波状構造に発展していく様子が見られた。これについて Kelvin-Helmholtz 不安定の可能性を考え、シミュレーションで得た値を不安定性を判定する条件式に代入したところ、これを満足した。よって太陽圏境界で発生した揺らぎは Kelvin-Helmholtz 不安定による可能性が高いという結論に至った。