

NICTにおける太陽・太陽風シミュレーションモデル

田光江¹、田中高史^{1,2}、久保勇樹¹、亘真一¹

1 情報通信研究機構電磁波研究所宇宙環境研究室

2 九州大学

宇宙天気において、コロナ質量放出（CME）の伝搬と地球軌道への到達時間は重要な予報項目であるが、これらを精度よく予測するためには伝搬してくる太陽風構造を正確に再現することが重要である。良く知られているように太陽風は一様にプラズマが流れているのではなく、太陽面の磁場分布が惑星間空間に反映して太陽風構造を持つ。太陽コロナの比較的温度の低い領域はコロナホール（CH）と呼ばれ、磁力線が開き、コロナ加熱、加速によりプラズマが外部へ運ばれて低温になり、その結果高速風の源となっている。この高速風は地球磁気圏へ到達すると地磁気擾乱を引き起こす要因となる。また CME が太陽風を伝搬する過程において、高速風領域との相互作用により、CME の形や伝搬速度に大きく影響することが知られている。CH はほぼ定常的に高緯度にある場合は多いが、高緯度の低緯度まで発達したり、孤立して形成される場合がある。NICT では宇宙天気予報を発令しているが、地磁気活動の予測において、CH の影響は重要な評価要素である。その際に高緯度から低緯度へのびる CH や面積が小さい場合の低緯度に位置する CH の評価は難しく、前周期の観測や STEREO のデータを参考に判断することが多い。そこで我々は、太陽面から 3 次元グローバル MHD シミュレーションを行い、まずコロナホールを再現して、地球軌道への影響の有無について、調べた。ここで用いているシミュレーションコードは田中高史氏作成の REPPU (REProduce Plasma Universe) コードである。大きな特徴は 2 次元球面を三角形で分割しているところにあり、通常の 2 次元球座標に比べて極の特異点がないため、極付近で CFL が制限されることなく、また座標に継ぎ目がないため、高いロバスト性を持つ。上で述べたように内側境界は太陽面であり、いわゆる source surface の内側に設定しているため、太陽磁場のトポロジーを評価して加熱モデルを適用している。（詳細は Nakamizo et al. 参照）以下にシミュレーション結果を示す。

図 1 は太陽近傍の赤道面の温度分布を示している。白の実線は磁力線を示す。開いた磁力線部分は太陽面付近では温度が低いが、その後外へ向けて加熱されて高温になっていることが分かる。この加熱によりプラズマが加速され、高速風を形成する。図 2 は太陽面の温度分布である。SDO による観測と、異なる解像度のシミュレーション結果を示している。レベル 4 は 2 次元面の格子点が 1922、レベル 6 では 30722 であり、これが入力データに用いている GONG の磁場データの解像度にほぼ匹敵する。これは St Patrick イベント発生時のデータである。レベル 4、6 とともに主な CH を再現しているが、レベル 6 の方がより CH の境界が明確であり、また観測では曖昧に見える西側低緯度の CH をとらえている。なお現在 NICT ではこのモデルを用いたシミュレーションにより運用を行っているが、計算時間の関係からレベル 4 の解像度版を用いている。図 3 はこのときの CH から発する磁力線の図と、赤道面の太陽風速度の分布である。南北高緯度から低緯度へ至る CH があるものの、赤道面まで到達しないことが分かる。図 4 と 5 は CR2179 期間のシミュレーションである。4 つの CH があり、それぞれについて同様の評価を行った結果である。図 4 では CH の観測（GONG）とシミュレーションの比較である。大きさに差はあるものの、ほぼ再現でき

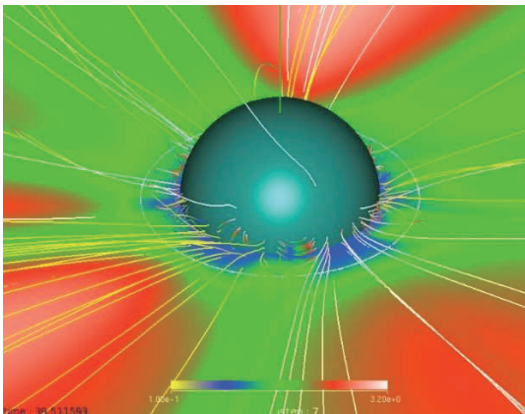


図 1 太陽面近傍の赤道面の温度分布。白い実線は磁力線。

図 2 は太陽面の温度分布である。SDO による観測と、異なる解像度のシミュレーション結果を示している。レベル 4 は 2 次元面の格子点が 1922、レベル 6 では 30722 であり、これが入力データに用いている GONG の磁場データの解像度にほぼ匹敵する。これは St Patrick イベント発生時のデータである。レベル 4、6 とともに主な CH を再現しているが、レベル 6 の方がより CH の境界が明確であり、また観測では曖昧に見える西側低緯度の CH をとらえている。なお現在 NICT ではこのモデルを用いたシミュレーションにより運用を行っているが、計算時間の関係からレベル 4 の解像度版を用いている。図 3 はこのときの CH から発する磁力線の図と、赤道面の太陽風速度の分布である。南北高緯度から低緯度へ至る CH があるものの、赤道面まで到達しないことが分かる。図 4 と 5 は CR2179 期間のシミュレーションである。4 つの CH があり、それぞれについて同様の評価を行った結果である。図 4 では CH の観測（GONG）とシミュレーションの比較である。大きさに差はあるものの、ほぼ再現でき

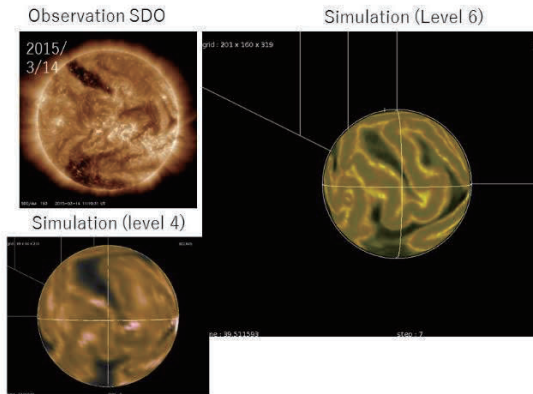


図 2 コロナホールの観測データとシミュレーション。右がレベル 6、左下レベル 4 によるもの。

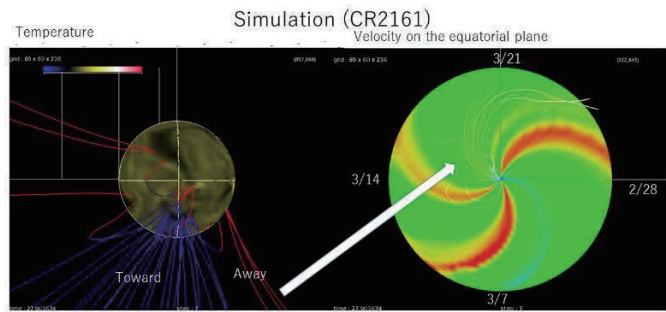


図 3 コロナホールから発する磁力線（青と赤の実線）のプロット（左）と、同じ磁力線と赤道面の太陽風速度分布（右）

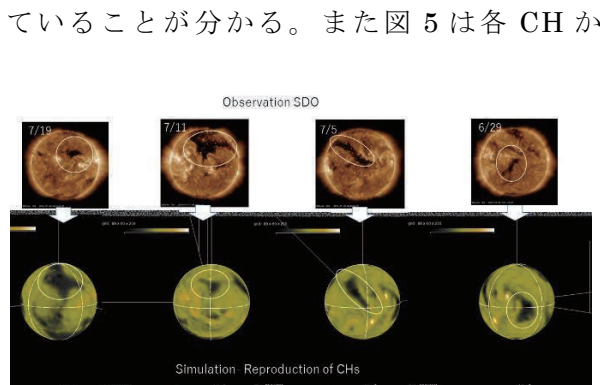


図 4 CR2179 のコロナホールの観測データとシミュレーション結果

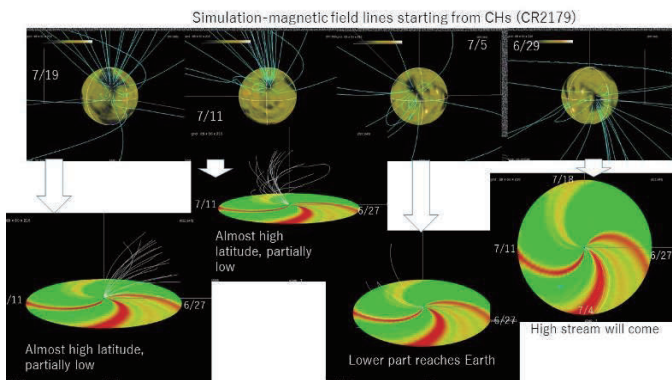


図 5 上のコロナホールから発する磁力線（実線）のプロット（上）と、それぞれ対応する同じ磁力線と赤道面の太陽風速度分布

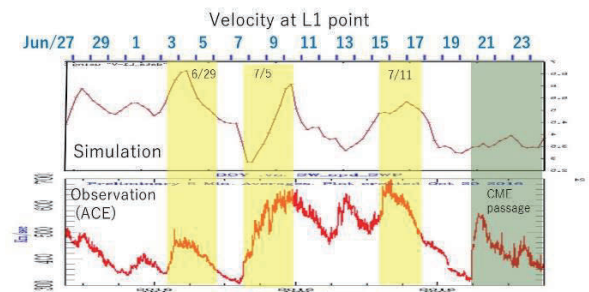


図 6 L1 点での太陽風速度。上がシミュレーション、下が ACE による観測データ。

ていることが分かる。また図 5 は各 CH から発した磁力線の図と、同じ磁力線と赤道面

の太陽風速度分布図である。右端の CH は高速風を起こし、また左 3 つの CH はほとんどが高緯度へ行くが、一部低緯度部分が地球軌道へ至ることが分かる。また図 6 は L1 点での太陽風速度のシミュレーションと ACE 衛星の観測データとの比較である。図 4, 5 の右 3 つの CH による高速風の到来はタイミングがやや遅いがおおよそ一致している。また左端の CH は CME により、評価が出来ない。現在 NICT ではこのモデルを運用中であり、毎日の予報に活用している。加熱モデルはいくつかのパラメータを含んでおり、これらは太陽風速度に大きく影響する。今後観測データと比較しつつ、これらのパラメータを定めて行き、予報モデルの精度を上げて行く。また次の段階として CME のインプットを予定している。

Reference

For REPPU code, Tanaka, T, et al., JGR, 105:21081-21096, 2000.
 Nakamizo, A., Tanaka, T. et al., JGR, 114, A07109, 2009.