

黒点群を起源とする太陽風の3次元輻射磁気流体シミュレーション

代表者氏名: 飯島 陽久 (名古屋大学 宇宙地球環境研究所)

共同研究者氏名: 今田 晋亮 (名古屋大学 宇宙地球環境研究所)

研究課題の概要

本研究課題は、低速太陽風の起源の1つとも目される太陽黒点群の周囲で観測されるプラズマの急加速現象について、3次元輻射磁気流体計算を利用した太陽大気の数値シミュレーションを用いることで、その加速メカニズムを明らかにすることを最終目標としている。本研究のアプローチの特徴として、太陽大気のエネルギー源である対流層から大気中の磁気流体波動の伝播・散逸までを1つの計算領域で包含していることが挙げられる。この特徴のために、モデルには磁場構造以外のフリーパラメータは存在せず、第一原理的なシミュレーションが可能になる。

研究成果

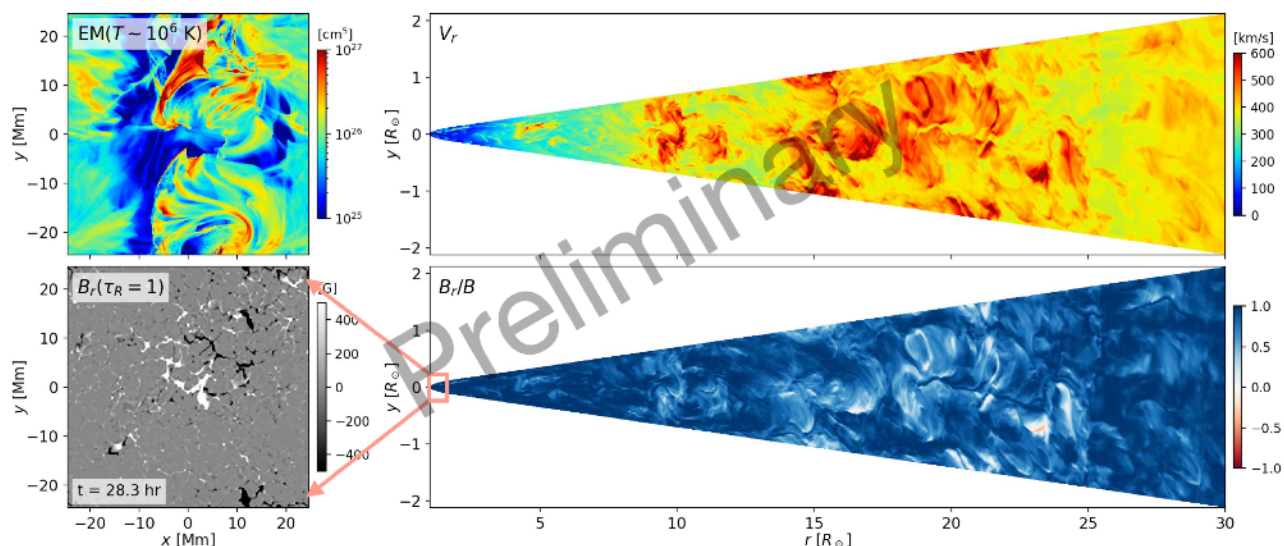


図1. コロナホールから噴出する太陽風の3次元輻射磁気流体シミュレーション。100万K程度のプラズマから放射されるX線強度(左上)、太陽表面における磁場構造(左下)、太陽風速度構造(右上)、太陽風における磁極反転構造(右下)。

黒点群から噴出する太陽風の対称実験として、コロナホールから噴出する太陽風の数値計算を2020年度から実施している。2020年度末の時点で世界初の太陽対流層から太陽風加速領域までの包括計算に成功していたが、数値拡散のために太陽風密度の水平構造が平滑化されている可能性を懸念していた。

本年度(2021年度)は、HPCIシステム利用研究若手課題として、不老Type Iシステムと同じA64FXで構成された理化学研究所「富岳」を利用する機会を得た。この大規模な計算資源をできる限り活用するため研究計画を変更し、ジョブの待ち時間が少ない不老を利用して4-5月に集中的にアルゴリズムの変更を含むコード全体のチューニングを実施した。その結果、計算速度は低ノード数で2倍程度向上し、並列化効率も向上することに成功した。

このコードを利用してコロナホールに由来する太陽風の高解像度計算を実施したところ、2020年度は見られなかった非常に構造化された太陽風が見られるようになった(図1)。ここから懸念し

ていた数値拡散の影響が強いこと、数値拡散が低減された本年度の計算では遥かに複雑な空間構造を得られていることが確認された。さらに、太陽風の加速メカニズムに対する観測可能な制約として近年発見され注目を集める磁極反転構造も計算結果中に多く発達していたことも、うれしい誤算であった。

本成果では、熱対流による磁場構造の形成と磁気流体波動の励起という上層大気へのエネルギー注入過程と大気の応答を直接シミュレーションすることで、これまで経験的・簡易的に与えていた太陽風へのエネルギー注入過程に関わる多くの人為的な仮定を排除することに成功した。これにより、現状最も整合的な形で太陽表面構造と太陽風の結合を詳細に調査することが可能になる。今後、ひので衛星や次期太陽観測衛星Solar-C_EUVSTなどの太陽近傍の詳細な観測と、Parker Solar ProbeやSolar Orbiter、Bepi Colomboなどの太陽風の「その場」観測を結びつけ、太陽風形成過程の詳細かつ定量的な理解に貢献できると期待している。

関連する発表・論文

1. H. Iijima and S. Imada, "A new broadening technique of the numerically unresolved solar transition region and its effect on the spectroscopic synthesis using coronal approximation", *The Astrophysical Journal*, 917, 65 (2021) (投稿論文; 主著)
2. H. Iijima, "A numerical treatment for the unresolved transition region in the solar atmosphere", Japan Geoscience Union Meeting, 2021 (国際学会; ポスター)
3. 飯島陽久, 「太陽大気の輻射磁気流体モデルにおける現状と課題」, 2021年度ISEE研究集会「太陽地球圏環境予測のためのモデル研究の展望」, 2022 (国内研究会; 招待講演)
4. 飯島陽久, 松本琢磨, 堀田英之, 今田晋亮, 「対流層からコロナ・太陽風までの包括的3次元輻射磁気流体シミュレーション」, 日本天文学会2022年春季年会, 2022 (国内学会; 口頭)
5. 飯島陽久, 松本琢磨, 堀田英之, 今田晋亮, 「対流層から太陽風までの包括的3次元輻射磁気流体シミュレーション」, 2021年度太陽研連シンポジウム, 2022 (国内研究会; 口頭)
6. 飯島陽久, 松本琢磨, 堀田英之, 今田晋亮, 「磁場形成・波動励起からコロナ加熱・太陽風加速までを追う包括的太陽大気モデル」, 「富岳で加速する素粒子・原子核・宇宙・惑星」シンポジウム, 2022.1.18 (国内研究会; 口頭)
7. 飯島陽久, 今田晋亮, 「数値的に解像できない遷移層への対処法と分光観測量への影響」, 日本天文学会2021年秋季年会, 2021 (国内学会; 口頭)
8. 飯島陽久, 「離散的にエネルギー方程式の整合性を保つ頑健な磁気流体解法の提案」, 日本天文学会2021年秋季年会, 2021 (国内学会; 口頭)