

## 輻射磁気流体モデルを用いた

# 太陽黒点周囲におけるプラズマ急加速現象の研究

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つとも期待される太陽黒点周囲に見つかった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なシミュレーションを用いてそのメカニズムを解明したいという動機で開始した。本研究のアプローチの特徴として、太陽大気のエネルギ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、セルフコンシステントなシミュレーションが可能になる。2年目である本年度は以下の2つの成果を得ることが出来た。

1. 世界初の包括的なコロナホール起源太陽風のシミュレーション
2. 黒点群上空コロナのシミュレーション

### 研究成果1. 世界初の包括的なコロナホール起源太陽風のシミュレーション

既存の太陽風の数値計算では、計算量の低減や物理の簡略化のためコロナ底部や光球面を下部境界条件としていた。下部境界から注入された磁気流体波動は上空に伝播し、やがて衝撃波やアルフベン乱流など様々な過程で散逸していく。散逸したエネルギーは、一部が100万度以上のコロナの加熱に利用され、一部は数百 km/h という太陽から吹き出す高速プラズマ流(太陽風)の加速に使われる。磁気流体スケールのプラズマ波動を十分空間分解しながら太陽近傍から太陽風加速領域までを解くというアプローチは、2000年代には1次元モデルに制限されていたが、2010年代に入り2次元計算が、2019年には3次元計算が実施されるようになった。しかし、そもそも境界における磁気流体波動の注入過程がアドホックな近似に基づいていた。

また、これらのモデルではコロナループに代表されるような太陽近傍における磁場・プラズマの複雑な空間構造を考慮していない。熱対流に伴うダイナモ作用によって複雑に引き伸ばされた磁場は浮上磁場として太陽大気に出現し、コロナループに代表される多次元的な磁場構造を生み出す。

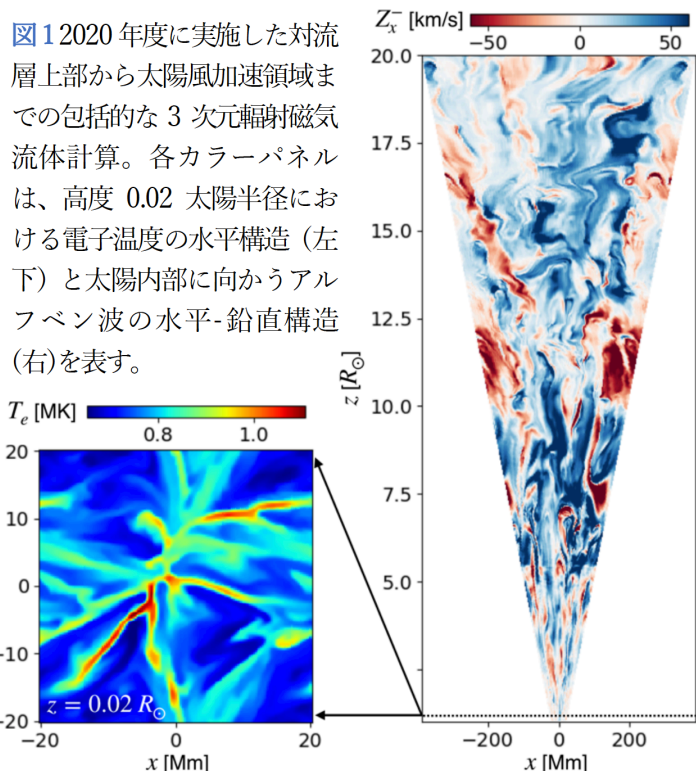


図1 2020年度に実施した対流層上部から太陽風加速領域までの包括的な3次元輻射磁気流体計算。各カラーパネルは、高度0.02太陽半径における電子温度の水平構造(左下)と太陽内部に向かうアルフベン波の水平-鉛直構造(右)を表す。

多次元的な磁場構造を考慮することは、磁気流体波動にとっての背景場を現実的にモデル化するだけでなく、磁気リコネクションなど真に多次元的な物理過程を考慮することにもつながる。残念ながら、これまでの研究ではこのような複雑な物理過程は磁気流体波動の寄与を非常に単純化した形でしか考慮されていなかった。

本研究では、太陽大気のエネルギー源である対流層から光球、彩層、コロナ、太陽風加速領域までを包括的に解く包括的な太陽風シミュレーションを実施した(図1)。先行研究における2つの問題点(磁気流体波動の励起過程と多次元的な磁場構造)を同時に解消することができる。この結果は現在詳細を解析中であるが、太陽風の水平構造に関してエネルギー注入から散逸までを整合的に考慮した唯一の計算であり、太陽物理学における重要な成果になると期待している。

---

## 研究成果2. 黒点群上空コロナのシミュレーション

本研究課題では、最終的に黒点群上空から噴出するジェット様の急加速プラズマと太陽風との関係を明らかにしたいと考えている。その準備を兼ねて、黒点群上空コロナの加熱過程を理解するために黒点群を含む対流層からコロナまでの3次元計算を実施した。黒点群上空は磁気エネルギーがプラズマのエネルギーの1万-10万倍という非常に極端な状況にあるため、数値的に非常に不安定になりやすい。2019年度に開発した数値計算手法(2020年度出版論文1)を利用することでこのような状況下でも安定に計算が行えることを確認できた。計算結果から分光観測量を計算し、2019年度に計算したコロナホールのコロナ計算の結果と合わせてHinode/EIS等の観測結果と比較することで、活動領域コロナの加熱過程解明への一助としたい。

---

## 関連する発表・論文

2020年度は社会情勢の影響もありあまり学会発表は行わなかった。業績1は2019年度の成果を出版したものである。

1. H. Iijima, 2021, Journal of Computational Physics, 435, 110232 (投稿論文; 主著)
2. H. Iijima, "Energy-consistent finite difference method for compressible magnetohydrodynamic simulations", Japan Geoscience Union Meeting 2020 (国際学会; 口頭)