

アルベーン波乱流と衝撃波によるコロナループ加熱の1次元シミュレーション

甲斐達也(東京大学大学院 地球惑星科学専攻)

利用カテゴリ 計算サーバ

太陽物理学において、コロナ加熱問題は非常に重要な課題の1つである。この加熱機構を説明する理論の1つとして、波動加熱説が挙げられる。また、太陽の磁場構造には開いた構造と閉じた構造が存在し、本研究では、閉じた磁場構造であるコロナループに対して、波動加熱説の立場から1次元シミュレーションを行った。

我々の研究を行う上での先行研究として、Moriyasu et al.(2004)が挙げられる。この研究では、太陽表面の対流運動によって励起されたアルベーン波がモードコンバージョンにより磁気音波へと変化、その後衝撃波を形成して熱化することによってコロナが加熱されるというシナリオであった。実際、シミュレーションの結果として、コロナは100万度まで加熱されていたが、プラズマの速度が観測のDoppler線幅より大きく(結果は50-100km/s、Hara and Ichimoto (1999)による観測では視線方向に30km/s以下)、またコロナ中の背景磁場が実際に考えられている値よりも小さく設定されている(ループ頂点で2Gの設定)という問題点があった。これに対して、Shoda et al.(2018)を参考にし、1次元で取り扱える現象論的なアルベーン波乱流の効果を加えることで観測と矛盾のないモデルを作るためシミュレーションを行った。

シミュレーションの設定と結果

MHD方程式に放射冷却、熱伝導、そして上で述べた現象論的アルベーン波乱流の効果を取り入れ、磁気ループに沿った1次元について解いた。初期条件として、密度は重力成層をしているとし、温度は全領域で6000K、背景磁場(磁気ループに沿った磁場成分)は時間によらず一定とし、磁気ループの足元で1300G、頂点で65Gと設定した。図1にそのシミュレーションの時間平均の結果を示す。図1を見ると、コロナ中の温度はおおよそ2MKで、十分に加熱されていることがわかる。またプラズマの速度も軸方向に最大20km/s程度、垂直方向に最大で30km/s程度に抑えられた結果が得られた。

コロナにおける背景磁場についてのパラメータサーベイ

背景磁場によるコロナ中の物理量への影響を調べるため、足元の磁場は1300Gのままコロナ中での背景磁場を65G(上記の設定と同一)、39G、13Gの3つに設定し、パラメータサーベイを行った。図2にその結果を示す。中央下のパネルに注目すると、プラズマ速度の垂直成分は、背景磁場の強さに大きく影響を受け、背景磁場がより強いほどその速度は抑えられるということがわかった。一方で、右上のパネルから軸方向のプラズマの速度は背景磁場にあまり影響されないという結果が得られた。

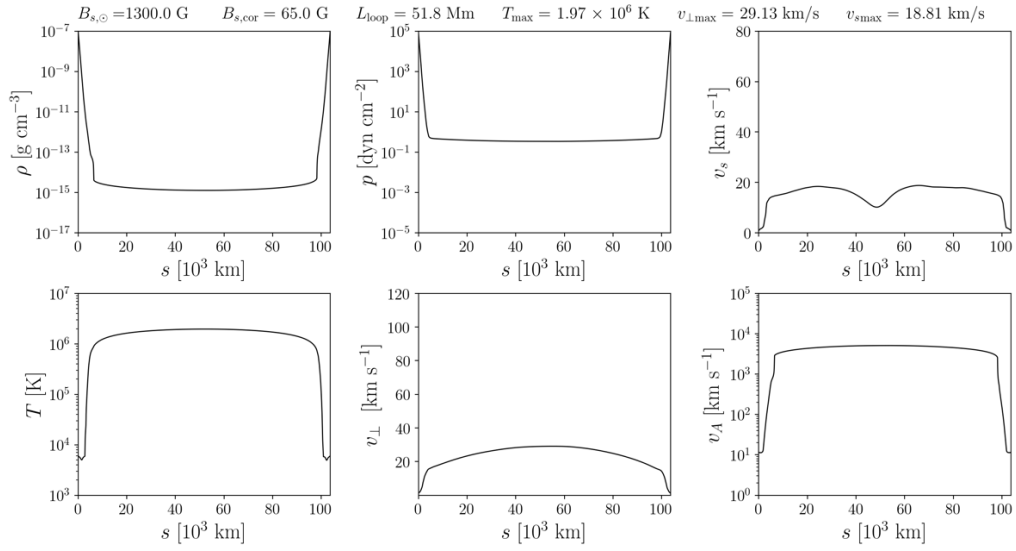


図1. コロナループにおけるアルベーン波乱流の効果を取り入れた1次元MHDシミュレーションの時間平均の結果。横軸はループに沿った座標、縦軸はそれぞれ密度、圧力、ループの軸方向のプラズマ速度のrms、温度、軸に垂直方向のプラズマ速度のrms、アルベーン速度を表す。

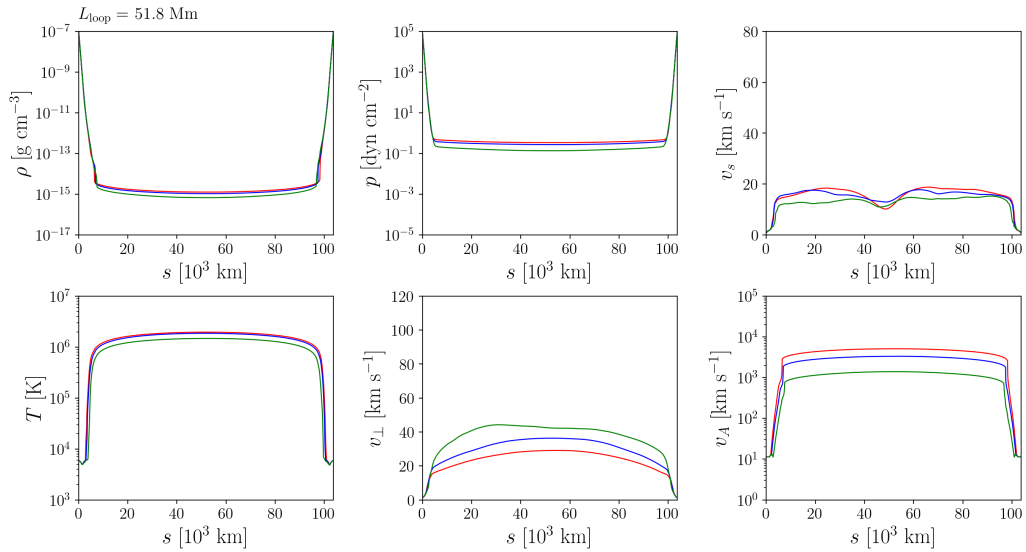


図2. コロナ中における背景磁場についてのパラメータサーベイの結果。色はそれぞれ赤65G、青39G、緑13Gを表す。軸が示す物理量は図1と同様。