平成 21 年度国立天文台天文シミュレーションプロジェクト成果報告書

太陽浮上磁場に関する統一的シミュレーション

鳥海 森 (東京大学)

利用カテゴリ　XT4MD ・ SX9MD

黒点を含む太陽の活動領域は、対流層深部でダイナモ作用によって形成された磁束が浮上し、表面に出現したものと考えられている。従来、浮上磁場については様々な数値シミュレーションが行われてきた。しかし、これまでの浮上磁場シミュレーションは太陽表面から上空コロナへの MHD 計算と対流層内部における近似計算に大別され、対流層・光球・コロナを一貫して扱った計算は行われてこなかった。そこで、本研究では太陽対流層の深さ 2 万 km からの浮上磁場 MHD 計算を実行し、磁束の浮上過程・活動領域の形成条件を調べた。本報告書では平成 21 年度に行った以下の 2 種類の研究について報告する。

(1) 太陽対流層からの 2 段階磁束浮上

この研究では対流層深さ 2 万 km からの磁束シートの浮上を 2 次元 MHD で計算した。計算領域は幅 16 万 km、高さ 8 万 km とした。なお、太陽半径は 70 万 km、うち対流層の厚さ 20 万 km である。この計算領域に太陽の対流層、光球（低温層）、コロナ（高温層）を設定し、対流層深さ 2 万 km に磁場強度 10^4 G、磁束量 10^{21} Mx の磁束シートを設置した (図 1a)。格子点数は光球の圧力スケールハイト 200 km を数点で解像できるよう調整し、1500×2000 程度とした。結果を図 1 に示す。初期に Parker 不安定性により対流層を浮上した磁束シートは、光球に接近すると減速し、光球下で水平に広がった (図 1b)。光球で磁気圧勾配が増大すると、局所的に Parker 不安定性を生じ、再び上空コロナへと浮上を開始した (図 1c)。

解析の結果、以上の「2 段階浮上」は次に示す物理過程によるものであることが分かった。すなわち、磁束シートに押し上げられたプラズマは、等温層（＝対流安定）である光球面を突破できず、磁束シートと光球に挟まれて圧縮される。そのため、プラズマは下方の磁束シートを抑制し、磁束シートが減速、水平方向に広がる。なお、光球からコロナへの浮上は従来の計算結果と一致した。また、パラメータ研究の結果、活動領域を形成する磁束の条件は、深さ 2 万 km で磁場強度 10^4 G、磁束量 $10^{21} - 10^{22}$ Mx であることが分かった。

ここで示した「2 段階浮上」は、浮上磁場計算に対流層・光球・コロナを含めたことで新たに見いだされた物理である。すなわち、浮上磁場理論にとって各領域間の結合が本質的であることを示している。

(2) 太陽における 2 段階浮上磁束管

研究 (1) では浮上磁場として磁束シートを仮定した。しかし、実際の浮上磁場はねじれた磁束管の形状をしていると考えられている。そこで本研究では、浮上磁束管計算を同じく太陽対流層深さ 2 万 km からの 2 次元 MHD で行った。これは磁束管の断面の時間発展を調べた研究である。その結果、磁束管の場合は磁束シートに比べて浮上が速く、減速の生じる高度も高いことが分かった (図 2)。これは、磁束管の場合には断面の周囲をプラズマが流れ落ちるため、研究 (1) で見られたようなプラズマの蓄積が生じづらいことによる。

しかし、磁束管が光球に接近し十分に膨張すると、磁束上にプラズマがたまるようになり、研究 (1) と同様の物理過程で浮上磁束管が減速した。

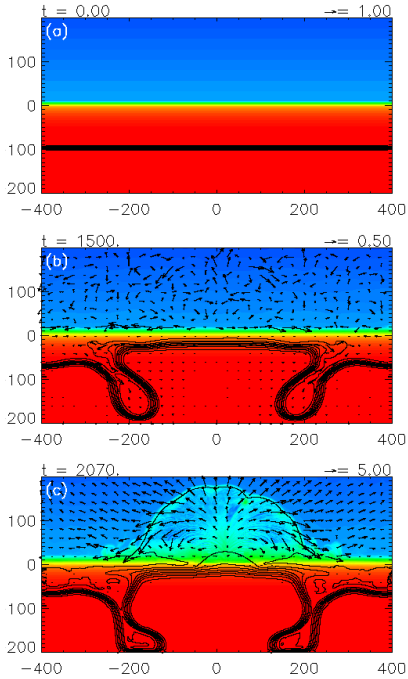

図 1: 磁束シート計算の結果：カラーは密度を表し、磁力線と速度ベクトルを上書きした。左から (a) $t = 0$, (b) $t = 1500$, (c) $t = 2070$。

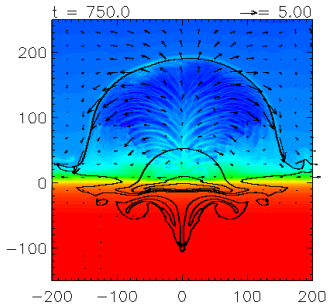

図 2: 磁束管断面計算の結果。物理量は図 1 と同じ。