

太陽浮上磁場に関する統一的シミュレーション

鳥海森 (東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻)

利用カテゴリ XT4B ・ SX9MD

はじめに

黒点を含む太陽の活動領域は、太陽対流層を浮上する磁束が太陽表面に出現することによって形成されると考えられている (Parker, 1955)。今年度も引き続き MHD 数値実験により磁束管が対流層を浮上、光球を突破して太陽コロナへと至る過程を計算し、特に太陽 (恒星) 表面付近における活動領域・黒点形成過程について研究を行った。

XT4B

我々はこれまで、太陽対流層の深さ 2 万 km からの磁束管浮上について 2 次元・3 次元で MHD シミュレーションを行ってきた。2 次元計算には、磁束管の軸を含む断面と軸に垂直な断面の 2 通りが考えられる。このうち、2009 年度には軸を含む断面について数値計算を行い、その成果は Toriumi & Yokoyama 2010 として出版された。2010 年度は軸に垂直な断面に関する 2 次元計算を行い、成果は Toriumi & Yokoyama 2011 として出版された。これらの 2 次元計算では、太陽内部を浮上する磁束管は直接太陽表面に出現するのではなく、いちど表面下で減速したうえで再度浮上を開始するという「2 段階浮上」の描像が得られた。

いっぽうで、2 次元計算と同程度の解像度で 3 次元計算を行うには計算資源が豊富とは言えず、パラメータ研究は困難なものとなる。そこで、2 次元計算でパラメータを変えた計算を多く行い、3 次元計算に対して一定のめどをつけた。2010 年度後半から 2011 年度にかけては、以上の結果得られた 1 パラメータで 3 次元の磁束浮上計算を行った。3 次元計算で用いる初期条件は、2 次元パラメータ研究の成果に基づき、太陽の深さ 20,000 km において磁場強度 2.0×10^4 G、総磁束量 6.3×10^{20} Mx、ねじれ強度 $5.0 \times 10^{-4} \text{ km}^{-1}$ とした。2011 年度は 2010 年度の計算に対して磁束管軸方向 (x 方向) のグリッド幅を一樣に変えた計算を行った。 x 方向にはグリッド数が増えることになるが、数値的な影響を低減させるためには必要な措置である。結果を図 1 に示す。

計算の結果、太陽の表面には正負の磁極ペアが複数発生し、活動領域を形成することが分かった (図 2)。従来の小規模数値計算ではこのような複数ペアは見られていない。2011 年度は、複数の磁束ペアがどのように発生するのかについて重点的に解析を行った。その結果、以下のことが分かった (図 2 も参照)。(1) 対流層を浮上中の磁束管表面に磁気 Rayleigh-Taylor 不安定が発生し、磁束管表面に擾乱が生じる。(2) この擾乱の波長は磁束管の半径程度となる。(3) 擾乱の生じた磁束管が太陽表面に達すると、擾乱の山に沿って 2 段階目の浮上が生じる。(4) 上空から太陽表面を観測すると、2 段階目の浮上が複数の磁

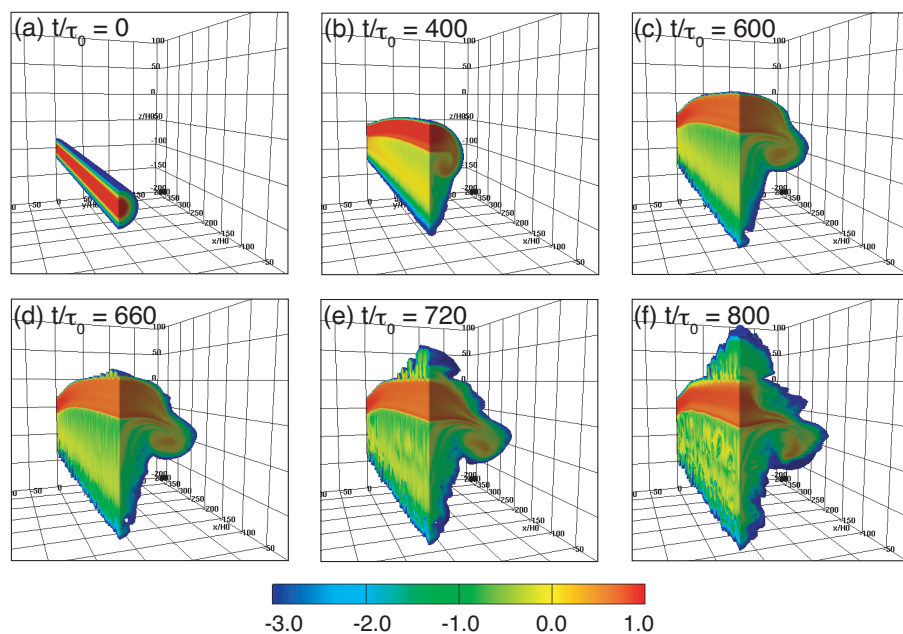


図 1: 磁場強度 $\log_{10}|B|/B_0$ の時間発展。 $x/H_0 < 0$ 、 $y/H_0 > 0$ についてのみ表示。

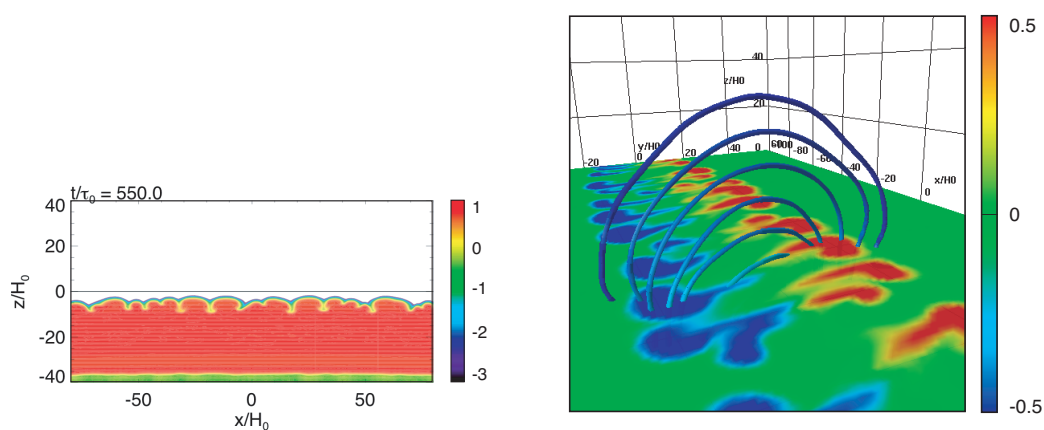


図 2: (左) 対流層上部における磁束管の $x - z$ 断面。磁束管表面に擾乱が生じている。(右) 太陽表面の垂直磁場 B_z/B_0 と、正負極を結ぶ上空の磁力線。太陽表面～上空では、磁場が空間的に一様ではなく離散的に存在していることが分かる。

気要素として見られる。

観測的には、太陽表面では磁場が一様なドーム状に膨張するのではなく、シート状の構造が平行に何枚も並ぶ構造をとるようにして浮上することが知られている (Strous & Zwaan 1999)。今回の計算・解析は、このような活動領域形成観測にたいして理論的な説明を与えたという点で重要である。これらの成果は Toriumi & Yokoyama 2012 として発表された。

今回の計算は1パラメータについてしか行っておらず、以上の理論はあくまで定性的な説明にとどまる。したがって、今後の課題としては、パラメータを変化させた計算を行い、定量的な観点から議論することが挙げられる。

SX9MD

SX9 では、XT4 で行った数値計算に対して、確認的な計算・解析研究を行った。たとえば XT4 の計算で得られた太陽表面付近における磁場プロファイルを模した磁気シートを用意し、観測された擾乱波長を太陽表面に与え、実際に磁束が太陽上空へ浮上するかを確認した。

引用文献

- Parker, E. N. 1955, ApJ, 121, 491
- Strous, L. H., & Zwaan, C. 1999, ApJ, 527, 435
- Toriumi, S., & Yokoyama, T. 2010, ApJ, 714, 505
- Toriumi, S., & Yokoyama, T. 2011, ApJ, 735, 126
- Toriumi, S., & Yokoyama, T. 2012, A&A, 539, A22