平成 20 年度成果報告

太陽大気の加熱とダイナミクス

磯部洋明（京都大学宇宙総合学研究ユニット）

ID: isobehr　カテゴリ：SX9A , XT4A

本研究の目的は太陽大気加熱メカニズムの解明である。加熱のエネルギー源は光球面の対流運動と磁場の相互作用であることは明らかになっており、解決すべき問題は、対流との相互作用によって発生したポインティングフラックスが、磁場を介してどのように上空に輸送され、プラズマを加熱するか、その輸送と散逸のメカニズムをプラズマ物理学の言葉で理解することにある。そのためにはまず光球でどのようなモード、周波数の擾乱が発生するかを知らなくてはならない。本研究ではそのために、まず対流層からコロナまでを含み、縦磁場が存在する状況での３次元磁気流体シミュレーションを行った。

その結果、平均磁場の強さが対流運動との equipartition(約 400G)より小さいと、初期磁場が鉛直方向の場合でも対流運動により磁場が乱流的になり、対流の上昇流に乗った水平磁場が光球面に頻繁に出現することが分かった。また、この様な対流セルサイズの微細水平磁場が彩層で磁気リコネクションを起こして、コロナへと伝わる高周波波動やジェットを発生させるなど、彩層、コロナの加熱とダイナミクスに重要な役割を果たしている可能性があることを示した(Isobe, Proctor & Weiss, 2008, ApJ, 679, L57)。シミュレーションで予言したような水平磁場や彩層のダイナミクスはひので可視光望遠鏡により発見され、注目を集めている。

一方黒点内部など磁場がごく強い場合(>1000G)は対流運動が抑えられ、対流運動に相当するゆっくりしたアルフベン波が発生するが、そのほとんどはアルフベン速度が急速に増大する遷移層で反射し、コロナにはごくわずかなエネルギーしか輸送されないことがわかった。これは黒点の真上のコロナが、磁場が強いにもかかわらず加熱が弱いという観測的事実を定性的に説明できる。図１は、磁場の強さを変えた場合のシミュレーション結果の３次元的可視化である。

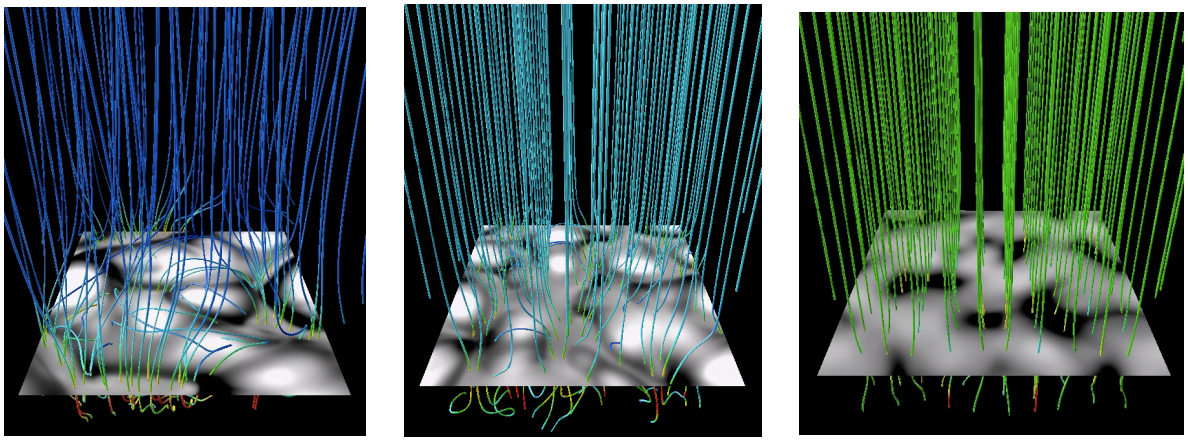

図１：シミュレーション結果の３次元可視化。左から磁場が約 100、1000、2000G。断面のカラーは光球の垂直速度で対流の強さを表す。実線は磁力線で色は磁場の強さに相当する。

上のシミュレーション結果から、彩層での微細乱流磁場の磁気リコネクションがコロナ加熱に重要な役割を果たしていることがわかった。彩層での速い磁気リコネクションに伴うジェット現状は、ひので可視光望遠鏡でも多く発見されている(Shibata et al. 2007)。一方彩層は弱電離、完全衝突プラズマであり、コロナなど無衝突プラズマで考えられているような運動論的効果が発現するとは考えにくく、そのようなプラズマ環境で速い磁気リコネクションが実現しうるかどうかは分かっていない。

弱電離プラズマでは、中性粒子との衝突による Hall 効果、ambipoloar 拡散効果がある。太陽彩層でそれらの効果が発現する空間スケールは 1km 以下で、現象のスケール(1000km 程度)よりもはるかに小さいが、磁気リコネクションのように薄い電流シート近傍のダイナミクスが本質的な現象では、重要な役割を果たしている可能性がある。本研究では、Hall 効果、ambipolar 拡散を含む磁気流体シミュレーションにより、磁気リコネクションにおける弱電離の効果を調べた。図 2 にシミュレーション結果を示す。色は電流密度、実線は磁力線、矢印は速度場を表す。図 2 上は通常の拡散のみの磁気リコネクションで、よく知られた Sweet-Parker 型のリコネクションが起きている。下は ambipolar 拡散のある場合である。ambipolar 拡散は名前からの連想とは逆に電流シートを薄くする性質があり、シミュレーションでは薄くなった電流シートでテアリング不安定によると考えられる多数の磁気島の発生が多数見られた。この結果は彩層現象の激しい時間変動や、コロナ加熱に重要な高周波波動の発生などを説明できる可能性がある。

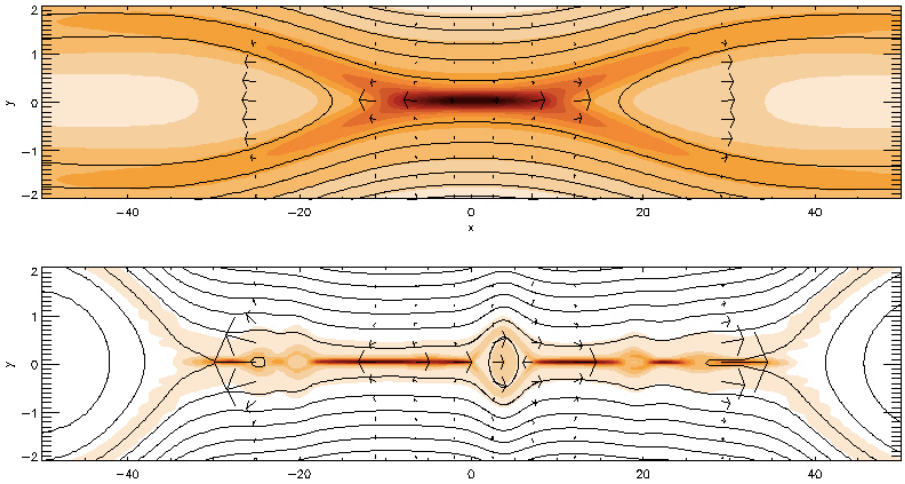

図 2　磁気リコネクションの 2.5 次元シミュレーション。上は通常の電気抵抗のみ、下は電気抵抗に加え ambipolar 拡散項のあるケース。線は磁力線、矢印は速度場、色は電流密度を表す。