

## 太陽大気における磁気リコネクションと粒子加速

### Magnetic reconnection and particle acceleration in solar atmosphere

磯部 洋明<sup>1\*</sup>

Hiroaki Isobe<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>京都大学宇宙総合学研究所ユニット

<sup>1</sup>USSS, Kyoto University

本講演では太陽大気における磁気リコネクションと粒子加速研究の現状をレビューする。磁気リコネクションと粒子加速は宇宙プラズマにおける普遍的な物理過程であり、天体、スペース、地上実験室における様々なプラズマ環境での比較研究が重要な意味を持つ。太陽大気プラズマの特徴は、まず観測的には、磁場形状のグローバルな時間変化が撮像観測により詳細に分かること、一方その場のプラズマ計測はできないので、粒子の分布関数の情報を得ることは困難なことである。次にプラズマのパラメータは、強い重力成層のため光球からコロナにかけて大きく変化するのが特徴である。まず高温外層大気であるコロナは完全電離でほぼ無衝突のプラズマである。イオンの慣性長やラーモア半径が約1mなのに対し、現象のスケールは1万km以上なので、磁気流体で記述できる範囲でも7-8桁のスケールギャップがある。下層大気である光球と彩層は、温度が数千度から1万度程度と低いため電離度が低い。密度が高いため平均自由行程は彩層下部で1cm程度と非常に小さく、完全衝突プラズマである。

近年の多波長観測から、磁気リコネクションは光球・彩層からコロナまで、太陽大気の様々な場所で起きていることが明らかになってきた。特に注目すべきは、太陽観測衛星「ひので」の観測による、彩層中の高速磁気リコネクションにより駆動される激しい活動現象の発見である。上述のように彩層は完全衝突プラズマなので、コロナやスペースプラズマにおける高速リコネクションで考えられているような無衝突プラズマの運動論的効果が発現するとは考えにくい。その代わりに、中性粒子との相互作用に起因するHall効果と両極性拡散(Cowling resistivity)が発現する。特に彩層では、両極性拡散がHall効果や通常の電気抵抗よりも大きくなる。我々は両極性拡散を含む磁気リコネクションの数値シミュレーションを行い、両極性拡散の効果で電流シートが薄くなること、薄くなった電流シート中での抵抗性テアリング不安定で磁気島が生成され、磁気島の合体と噴出に伴い、非定常で速い磁気リコネクションが起きることを示した。

活動領域コロナ中のフレアに伴う磁気リコネクションでは、しばしば100keV以上の高エネルギー非熱的電子が観測される。一方同じコロナ中でも、黒点から遠く磁場の弱い静穏領域でも磁気リコネクションに伴う現象は起きているが、高エネルギー電子の証拠である硬X線の放射はこれまで検出されていない。活動領域コロナの磁場強度は100G程度、静穏領域の磁場は1?10Gなので、一件磁場強度の違いが粒子加速の有無の理由であるように思われるが、静穏領域よりはるかに磁場の弱い地球磁気圏での磁気リコネクションでは、活動領域のフレアと同程度の非熱的粒子が観測されている。一方太陽風中の磁気リコネクションでは、これまで非熱的電子の兆候は見つかっていない。活動領域、静穏領域、地球磁気圏、太陽風中の磁気リコネクションイベントのプラズマ物理量を整理、比較したところ、磁場や電場の強度、電位ポテンシャルでは加速の有無を説明することができず、アルフベン速度や、電場×ラーモア半径と言った量が、電子加速の効率をよく説明できることが分かった。このことから磁気リコネクションに伴う粒子加速の理論に何

らかの制限をつけられる可能性がある。一方彩層の磁気リコネクションでは、完全衝突であるため粒子加速は起こらない。磁気リコネクションは彩層とコロナの中間領域である遷移層でも起きているので、太陽大気中のどの高さから粒子加速が起きているかを同定することが、粒子加速研究の観点から将来の太陽観測の課題である。