

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 年 月 日現在

機関番号：14301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2010～2012

課題番号：22740121

研究課題名（和文）太陽大気の弱電離プラズマにおける磁気エネルギー散逸メカニズムの研究

研究課題名（英文）Mechanism of magnetic energy dissipation in weakly ionized solar atmosphere

研究代表者

磯部洋明（ISOBE HIROAKI）

京都大学・学際融合教育研究推進センター・特任准教授

研究者番号：90511254

研究成果の概要（和文）：完全衝突、弱電離プラズマである太陽下層大気（光球、彩層）における磁気リコネクションに伴う磁気エネルギー散逸メカニズムを調べるため、弱電離の効果を入れた磁気流体数値シミュレーションと「ひので」衛星可視光望遠鏡で観測されたジェット現象の解析を行った。その結果、弱電離プラズマでも太陽コロナなどの完全電離プラズマと同様のプラズマ塊の噴出を伴う間欠的で速い磁気リコネクションが起きており、その原因が電離度やプラズマ密度、磁場強度などの物理量に依存する両極生拡散係数の不均一性にあることを明らかにした。

研究成果の概要（英文）：We studied the magnetic energy dissipation mechanism of the fully collisional and weakly ionized plasma in the solar lower atmosphere by numerical simulation and analysis of the solar chromospheric jets observed by Solar Optical Telescope on Board Hinode space craft. We found that, similarly to the case in the fully ionized solar corona, intermittent and fast magnetic reconnection associated with plasmoids ejection is occurring also in the solar chromosphere. The cause of such intermittent and fast magnetic reconnection is the inhomogeneity of the ambipolar diffusion.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1300000	390000	1690000
2011年度	900000	270000	1170000
2012年度	900000	270000	1170000
年度			
年度			
総計	3100000	930000	4030000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：天文学

キーワード：太陽物理学

1. 研究開始当初の背景

2006年に打ち上げられた日本の太陽観測衛星「ひので」による最大の発見の一つは、太陽の下層大気である彩層において、スケールは小さいが激しい時間変動を示す活発な活動現象が起きていることであった。完全電離で希薄なプラズマであるコロナでは、速い磁

気リコネクション、即ち磁力線がつながり変わることで爆発的な磁気エネルギー解放が起きているという描像が確立されつつあり、その素過程そのものにまだ未解明な問題が多く残されているが、プラズマが完全電離でほぼ無衝突であるために発現する波動粒子相互作用などの運動論的な効果により、電気抵

抗が局在化することが必要条件だと考えられている。従って、完全衝突で弱電離のプラズマである彩層でフレアのような激しい磁気エネルギー散逸現象が起きているという発見は一つの驚きであった。弱電離プラズマにおける磁気エネルギー散逸は、太陽だけの問題ではなく、分子雲の収縮（星形成）や原始惑星系円盤における磁気回転不安定などでも本質的に重要な役割を果たす。従って、詳細な観測の可能な太陽を実験室として弱電離プラズマの磁場散逸メカニズムを明らかにすることは、天文学の広い範囲に対する寄与が大きい。これが本研究の背景である。

2. 研究の目的

本研究の目的は、弱電離プラズマにおける磁気エネルギー散逸のメカニズムの解明に寄与することであり、特に太陽彩層中の磁気リコネクションの観測的特徴と、そこにおける弱電離の効果、即ち両極性拡散の役割を明らかにすることである。

3. 研究の方法

観測的特徴は、ひので衛星可視光望遠鏡で取られた彩層のジェット現象やプロミネンス中のプラズマ噴出現象など、太陽大気の弱電離プラズマ中の磁気リコネクションに伴うと考えられる現象の観測データ解析を行う。それを弱電離の効果を取り入れた磁気流体数値シミュレーションの結果と比較する。

4. 研究成果

(1) 彩層磁気リコネクションの観測的特徴

「ひので」可視光望遠鏡の観測データの解析から、彩層中の磁気リコネクションに伴うと考えられるジェット現象を数多く解析してその形状やダイナミクスの詳細を調べた。その結果、コロナ中の磁気リコネクションで知られているようなプラズモイド（プラズマの塊）の間欠的な噴出を伴う非定常な磁気リコネクションは普遍的に見られることを確認した（図1）。捻れた磁力線の存在を想起させるような動きを見せるジェットや、磁気リコネクションが（恐らく電流シートに沿って）一方向に進行するようなイベントなど、個々の現象ごとに多様なダイナミクスを見せることを示した。

また、同じく弱電離プラズマであるプロミネンス中でも速い磁気リコネクションに伴うプラズマ噴出現象が起きていることを発見した。

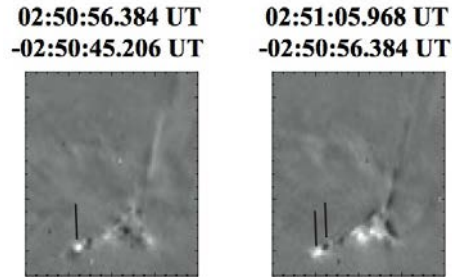


図1 彩層ジェットに伴う磁気リコネクションに見られるプラズモイド噴出

(2) 弱電離磁気リコネクションの数値シミュレーション

磁気リコネクションにおける弱電離の影響を調べるため、中性粒子との衝突に起因する「両極性拡散」の効果を取り入れた磁気流体数値シミュレーションコードを開発し、磁気リコネクションの2次元数値シミュレーションを行った。その結果、まず両極性拡散により電流シートが薄くなり、薄くなった電流シートで通常の電気抵抗による抵抗性テアリング不安定が起こること、テアリング不安定によって発生した磁気島が電流シートから噴出することで、速い磁気リコネクションが間欠的に起こることを示した。また、電離度や縦磁場（電流方向の磁場）が非一様な状態では、電流シートが薄くなる効果が局在化し、これがリコネクションの形状と速さに大きく影響を与えることを発見した。

(3) 彩層ジェット及びプロミネンスの数値シミュレーション

彩層中の磁気リコネクションが起きたとしても、それがどのようにして観測されるような磁力線に沿った流れであるジェットを発生させるかは、これまで必ずしも明らかではなかった。この問題を明らかにするために、現実的の彩層ジェットやプロミネンスの磁場配位を模した2次元及び3次元の彩層磁気リコネクションの数値シミュレーションを行った。その結果磁気リコネクション領域の加熱や、初期のガス圧が異なる領域の磁気リコネクションにより、ガス圧勾配による磁力線に沿った流れと波（遅い磁気音波）が発生することを明らかにした。また磁気リコネクションが彩層下部で起きた場合は、磁気リコネクションによって発生した遅い磁気音波が上空に伝わる過程で、重力成層により振幅が増大して衝撃波を形成し、それが上空のより稀薄なガスを加速することで、観測されているような高い彩層ジェットの存在を説明できること

を示した。また、彩層と同様に弱電離と考えられるプロミネンス中においても、レイリーテイラー不安定に伴う電流シートの形成とそこでの磁気リコネクションにより、観測されているような突発的で速いプラズマ噴出現象が起きうることを、3次元の数値シミュレーションにより示した。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 16 件)

- ① Singh, K. A. P., Isobe, H., Nishizuka, N., Nishida, K., Shibata, K., “Multiple Plasma Ejections and Intermittent Nature of Magnetic Reconnection in Solar Chromospheric Anemone Jets”, The Astrophysical Journal, vol759, 2012, 33-47
- ② Nakamura, N., Isobe, H., Shibata, K., “Numerical Simulation of Three-dimensional Asymmetric Reconnection and Application to a Physical Mechanism of Penumbral Microjets”, The Astrophysical Journal, vol 761, 2012, 87-96

[学会発表] (計 12 件)

- ① Isobe, H., “Magnetic Reconnection in Solar Atmosphere” in Magnetic Reconnection 2012, 2012年5月24日, 米国・プリンストン
- ② Isobe, H., “Generation, transportation and dissipation of magnetic field in the Sun” in Magnetic field in the Universe, 2012年11月19日, 韓国・ポハン

[図書] (計 1 件)

- ① 柴田一成, 大山真満, 浅井歩, 磯部洋明, ナノオプトクスエナジー出版局, 最新画像で見る太陽, 2011

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

6. 研究組織

(1) 研究代表者

磯部洋明 (ISOBE HIROAKI)

京都大学・学際融合教育研究推進センター

・特任准教授

研究者番号: 90511254

(2) 研究分担者

なし