

平成21年 5月 7日現在

研究種目： 基盤研究 (c)
 研究期間： 2006年4月 - 2009年3月
 課題番号： 18540235
 研究課題名 (和文) 太陽彩層での非定常力学過程とコロナ加熱の研究
 研究課題名 (英文) Study of non-stational dynamical processes in solar chromosphere and coronal heating
 研究代表者
 富山大学大学院理工学研究部 教授 坂井純一
 研究者番号：50019220

研究成果の概要：

イオン-中性水素の2流体シミュレーションコードを開発 (TwoYama) し、電離過程、再結合過程、イオン-中性水素衝突過程、熱伝導過程、磁気再結合過程を取り入れた。

TwoYama コードを用いて、太陽彩層での電流ループの合体現象が調べられた。2つの電流ループが合体するとき磁気再結合が発生するが、これまでのMHD近似で得られた結果とかなり異なる結果が得られ、太陽彩層ではMHD近似が不相当であることが明らかになった。Hinode太陽観測衛星によって観測されたPenumbra Microjetsの発生機構のモデルをTwoYamaコードを用いたシミュレーション結果をもとに提案した。太陽光球面近傍の対流運動からAlfven波が自発的に発生し彩層上部を加熱することを示した。このAlfven波によって運ばれるエネルギーがコロナ加熱に必要なエネルギーとして十分であることが定量的に確認された。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
18年度	1,600,000	0	1,600,000
19年度	1,000,000	300,000	1,300,000
20年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	570,000	4,070,000

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： 太陽プラズマ、コロナ加熱、シミュレーション

1. 研究開始当初の背景

太陽プラズマ物理学の分野で未解決の重要課題は、太陽フレアの機構の解明、太陽コロナ加熱機構の解明である。この研究の目的は太陽コロナ加熱機構を明らかにする事である。

最近アメリカが打ち上げたTRACE科学衛星の観測に寄ると、コロナループの加熱はループ全体が一様に加熱されるのではなく、ループの根元に加熱の熱源が有る事が明らかになった。ループの根元は5000度の電離度の低いプラズマから彩層、転移層を経てコロナの下部

の完全電離プラズマまで複雑なプラズマで満ちている。電離度も光球近くで電子密度／中性水素 $\sim 10^{-4}$ から2000Km上空で電子密度／中性水素 ~ 1 と激しく変化している。従来彩層プラズマはMHD近似で扱われてきた。一方光球近くのプラズマはイオン中性粒子が衝突を通して強く結合する近似で両極性拡散効果を取り入れた1流体近似のNeutral MHD方程式系で研究されて来た。

光球から転移層までのプラズマ力学を研究するにはこれまでの扱いでは不十分であり、我々は、イオン中性水素の2流体シミュレーションコードを開発し、電離過程、再結合過程、イオン中性水素衝突過程、熱伝導過程、磁気再結合過程を取り入れた。このコードを駆使して電離度 10^{-4} から2000Km上空で電子密度／中性水素 ~ 1 のプラズマ非定常力学過程研究する。

又、彩層プラズマでの加熱機構を明らかにするには、プラズマ粒子とプラズマ中の波動の相互作用を正確に記述する粒子コードも併用する。

2. 研究の目的

この研究の目的は太陽コロナ加熱機構を明らかにする事である。イオン中性水素の2流体シミュレーションコードを開発し、電離過程、再結合過程、イオン中性水素衝突過程、熱伝導過程、磁気再結合過程を取り入れる。このコードを駆使して電離度 10^{-4} から2000Km上空で電子密度／中性水素 ~ 1 のプラズマ非定常力学過程研究する。彩層プラズマ加熱には Alfvén 波に寄る加熱、磁気再結合を伴う加熱機構が有力である。我々はこの両者加熱機

構を多角的に詳細に検討して観測との比較を行う。

3. 研究の方法

イオン中性水素の2流体シミュレーションコードを開発し、電離過程、再結合過程、イオン中性水素衝突過程、熱伝導過程、磁気再結合過程を取り入れる。このコードを駆使して電離度 10^{-4} から2000Km上空で電子密度／中性水素 ~ 1 のプラズマ力学過程研究する。

4. 研究成果

太陽の彩層は、その厚さが約2000kmで太陽表面の光球面と、高温プラズマのコロナに囲まれた弱電離プラズマからなる層である。近年、彩層はコロナ加熱の問題を解く鍵として研究が精力的に行われている。

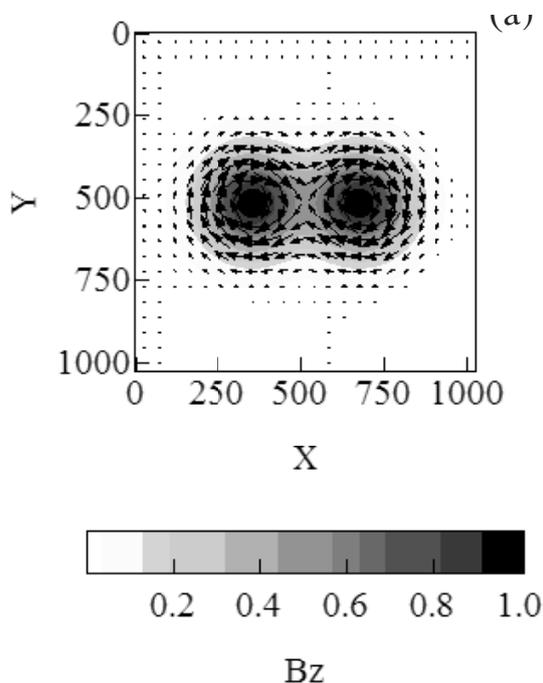
いわゆるコロナ加熱の問題は、光球面の温度に比べて約100倍も高温である理由を解決することであり、約半世紀にわたり多くのモデルが提唱されてきた。その主なる加熱機構は、磁氣的波動による加熱機構と、磁気再結合による加熱機構に分類され、彩層での物理現象を理解することが、コロナ加熱の問題解決につながると考えられている。

コロナプラズマは完全電離プラズマで、その巨視的振る舞いはMHD近似でよく記述されるが、彩層プラズマは温度が低くプラズマは弱電離で、水素原子が多く含まれ、従来のMHD近似では不十分である。そこで我々は、2002年に Sokolov 博士と水素原子と水素プラズマからなる2流体プラズマを記述するシミュレーションコードを開発した(発表論文1)。しかしこのコードは Fortran77 で書かれ、並列化処理できないため、大型のシミュレーションは不可能であった。

今回 Smith の協力を得て、2流体コードを、

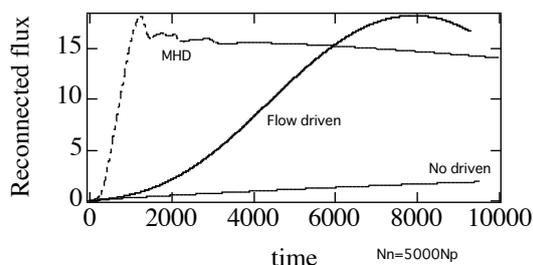
Fortrtan90 に書き改めると同時に、並列処理ができるように完全にコードを改正した。このコード (TwoYama) は多くの改良を重ねて、ほぼ完成した (発表論文 2)。

この TwoYama コードを用いてまず、太陽彩層での電流ループの合体現象が調べられた。図(a)は初期の2つの電流ループの作る磁場と電流方向の磁場 B_z を示す。



2つの電流ループが合体するとき磁気再結合が発生するが、これまでの MHD 近似で得られた結果とかなり異なる結果が得られ、太陽彩層では MHD 近似が不適當であることが明らかになった。2つの電流ループの間で磁気再結合が生じるが、ここでの磁気再結合する磁気フラックスを測定する。太陽表面を考え、中性水素の密度が陽子の 5000 倍あるとしてシミュレーションをした結果によると電流ループが自発的に合体する場合は、磁気再結合は極めて少ない。

図の Nodriven は電流ループが自発的に合体する場合で、磁気再結合は極めて少ない。図の MHD は MHD 近似の結果で定量的に全く異なる結果である。



この比較から MHD 近似は極めて太陽表面近傍の弱電離プラズマでは不適當な近似であることがわかる。一方太陽表面である程度磁気再結合が生じるためには、中性水素の流れで2つのループの衝突がトリガーされる必要がある。我々は、中性水素の流れで磁気再結合がかなり増大されることをこの研究で明らかにした (発表論文 4)。

Hinode 太陽観測衛星によって観測された黒点近傍の Penumbra Microjets の発生機構のモデルを TwoYama コードを用いたシミュレーション結果をもとに提案した。光球面のほぼ水平に2本の penumbra を考え、この2本の電流フィラメントには Evershed flows を考え、軸方向に流れを仮定する。更にこの軸方向の流れは定常でなく、定常流に加えて、非定常流を仮定する。又2本の penumbra の間にほぼ垂直に磁場を仮定する。

2本の電流ループの引力で2本の penumbra はお互いに引き合い接近する。この時、中間の垂直磁場と電流のつくる一方の磁場の間で磁気再結合が発生する。

その結果、イオンのジェット流が発生する。イオンのジェット流の温度は約 10 万度に加熱されている。

これらの結果は Hinode によって観測された Penumbra Microjets の発生機構の一つのモデルと考えられる (発表論文 3)。

TwoYama コードを用いて太陽光球面近傍の対流運動から Alfvén 波が自発的に発生し彩層上部を加熱することを示した。この Alfvén

波によって運ばれるエネルギーがコロナ加熱に必要なエネルギーとして十分あることが定量的に確認された（発表論文5）。

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 5 件）

1. J.I. Sakai, K. Tsuchimoto, and I.V.

Sokolov

Simulation of collision of two current loops in the upper chromosphere using two fluids model

The Astrophysical Journal (2006) 642,
p.1236-1245.

2. P. D. Smith and J. I. Sakai

Chromospheric magnetic reconnection:

Two-fluid simulations of coalescing current loops

Astronomy and Astrophysics (2008) 486,
p.569-575.

3. J. I. Sakai and P. D. Smith

Modeling penumbral micro-jets by two-fluid simulations

The Astrophysical Journal (Letters) (2008) 687,
L127-L130. 2009

4. J. I. Sakai and P. D. Smith

Two-fluid simulations of coalescing penumbra filaments driven by neutral-hydrogen flows

The Astrophysical Journal (Letters) (2009) 691,
p. L45-L48.

5. J. I. Sakai and P. D. Smith

Two-fluid simulations of chromospheric heating by Alfvén waves

Astronomy and Astrophysics (2009) submitted

〔学会発表〕（計 1 件）

J. I. Sakai and P. D. Smith

Two-fluid simulations of coalescing penumbra filaments driven by neutral-hydrogen flows

Second Hinode Science Meeting, Beyond discovery-toward understanding, 29 Sep.-3 Oct., 2008, Boulder, Colorado, USA

〔図書〕（計 0 件）

〔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

富山大学大学院理工学研究部 教授

坂井純一

研究者番号：50019220

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし