

# 論文審査の結果の要旨

氏名 飯島 陽久

太陽では、1500 万度もある中心核の熱が放射や対流によって外に運ばれるに従って冷却し、光球では 6000 度程度まで下がるが、更に外側の彩層を経てコロナ領域に達すると再加熱を受けて 100 万度程度の高温プラズマとなる。光球とコロナの間にある彩層では、ジェットをはじめとする活動現象などが観測されるが、この活動現象がコロナへのエネルギー注入やエネルギー散逸を担う重要な領域と考えられている。本論文では、輻射輸送と部分電離プラズマ過程を考慮した電磁流体シミュレーションを用いて、彩層から高速で流出する彩層ジェットの形成と動力学を解明した。

本論文は 7 章で構成されている。第 1 章は、本論文で議論する太陽大気構造および彩層で普遍的に観測される彩層ジェットに関する一般序論である。太陽彩層でのダイナミックな構造について、これまで行われてきた様々な観測や理論シミュレーションの研究が概括されている。本論文の目的は、数値シミュレーションを用いてコロナの条件や磁場の影響下で彩層ジェットの性質を解明することであり、太陽物理にとって重要な研究課題であると位置づけられた。

第 2 章および 3 章は、独自に開発した輻射電磁流体方程式のシミュレーションコードについて述べられている。太陽彩層では、非線形性が強く乱流状態であるため、高空間分解の数値計算が必要とされている。それを実現するために、まず磁場のソレノイド条件を保障する新しい電磁流体コードを開発し、3つの業界標準のテスト問題で計算精度を確認した。そして、輻射輸送、Spitzer 型の熱伝導、部分電離プラズマ過程や太陽表面での重力効果をコードに組み込んだ。

第 4 章から 6 章では、2 章および 3 章で述べられた数値コードを用いて彩層ジェットのダイナミックスの議論を展開する。まず 4 章では、先行研究の音波発生を仮定した空間 1 次元のシミュレーション研究を発展させて、対流層から彩層までを取り扱う空間 2 次元のコードを用い、下部対流層での音波発生も組み入れることで、その音波が上層に伝わるに従って急峻化して衝撃波散逸を起し、その結果彩層を加熱して彩層ジェットを形成する過程を詳しく調べている。また上部境界では温度を変えることで高温コロナの彩層への熱伝導効果とそれによる彩層ジェットに与える影響を考察している。シミュレーション実験により、スピキュールなどの様々な観測をおよそ説明することが出来る、2 分から 7 分程度の寿命を持ち 200 から 800 万メートルの高さのジェット生成を再現することが出来た。また、コロナ温度が低いほど彩層ジェットが発達することを見出し、成層構造をもつ大気での音波エネルギー散逸のメカニズムとも整合的であることを議論した。

第 5 章では、彩層では磁場強度が活動領域と静穏領域とで数倍程度は違うことが知られているが、そのような磁場強度の彩層ジェットに与える影響を調べるために、4 章で用いた 2 次元計算で背景磁場の大きさを変えた計算を行っている。実際の太陽では、コロナの密度や温度が磁場構造にも影響を与えるので、観測から磁場の影響がどうなるのかは必ずしもよく分かっていなかった。シミュレーションの結果、平均磁場の大きさはあまり彩層ジェットに影響を与えないことが結論付けられている。但し観測とは異なり、強い磁場での彩層ジェットでは背が低いという結果が得られた。

第 6 章では、4 章および 5 章で展開した空間 2 次元のシミュレーションと同様の条件で、空間を 3 次元の下で発現する構造変化や波動伝播効果、光球磁場強度の影響を調べている。3 次元計算の結果、彩層ジェットの寿命はおよそ 10 分、最大の背の高さは 900 万メートル程度が得られたが、これらは強い磁場領域で出来ており、5 章の結果とは異なる性質が得られた。空間 3 次元性を取り入れることで、磁力線が捻られる効果が入り、磁気リコネクションでの磁場散逸が可能になり、磁場エネルギーの散逸が彩層ジェットに寄与することを見出した。

第 7 章は、まとめと考察が述べられている。本論文の主要な結論は、(1) 輻射輸送および部分電離過程を含めた現実的な電磁流体シミュレーションで 600 万メートルスケールの彩層ジェットを再現したこと、(2) コロナの条件や磁場がジェットに与える影響を明らかにしたこと、(3) 微細内部構造も持つジェットのクラスター構造の再現が出来たことであるが、これを基に太陽大気の研究への位置づけが述べられている。

これらの本論文で論述された彩層ジェットに関するシミュレーション研究は、太陽物理を理解する上で重要であり、彩層ジェットのダイナミクスを定量的に明らかにすることで、これまでの理解を前進させたと認められる。本論文は、横山央明氏との共同研究であるが、論文提出者が主体となって数値シミュレーションおよび解析をおこなったもので、論文提出者の寄与が十分であると認められる。

以上により、本審査委員会は、本論文が博士学位論文として十分な内容を含んでいるものと判定し、論文提出者に博士（理学）の学位を授与できると認める。