

# 論文審査の結果の要旨

氏名 鳥海 森

本論文は 5 章で構成されている。第 1 章は、本論文で議論する太陽表面活動領域の浮上磁場に関する一般序論である。太陽内部の対流層内部で、浮上してくる磁束管を直接光学観測することは困難であるが、これまで行われてきた間接的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、空間 3 次元の電磁流体シミュレーションと太陽観測衛星の高機能データを駆使して、理論および観測の両側面から対流層から太陽表面までを統一的に捉えることにより、浮上磁場のダイナミクスを理解することであり、本研究は、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 章は、浮上磁場の電磁流体の数値シミュレーションについて述べられている。まず先行研究で行われてきた計算よりも深さ方向のダイナミクスにも着目し、初期状態で、深さ 20Mm の対流層内に磁束管を仮定して、その時間発展を Lax-Wendroff 法を用いた電磁流体計算結果が議論されている。計算結果として、浮上磁束管が太陽表面に近づくに従って膨張し、浮上に従って速度が徐々に減速に転ずることが示された。膨張は、磁束管周りの圧力や密度の減少によるものであり、浮上速度の減速は、磁束管と対流安定な太陽表面の間の層にプラズマ溜まりが出来ることが原因であることが分かった。また次の時間発展段階として、プラズマ溜まりは、水平方向に吐き出されるプラズマ流（水平発散流）を形成するが、もし磁場強度が十分大きければ、電磁流体的不安定を介して磁束管は表面を突き破って上層大気へと向かって上昇することも明らかにされた。これらのシミュレーション結果をもとに「浮上磁場の 2 段階発展」モデルを提唱した。

次に、この 2 段階発展の物理的シナリオをもとに、初期条件の浮上磁場の強さ、ねじれ、磁束管長のスケールを変化させることで、どのような状況で太陽表面に浮上磁場が現われやすいのかを調べた。様々なパラメータ空間での数値実験の結果、浮上磁場と水平発散流について、水平発散流の最大値は磁場の強度と正相関があり、継続時間とは、磁場強度が大きいときには逆比例関係であることなどを定量的に見出した。

第 3 章では、2 章の数値シミュレーション研究で提案した「浮上磁場の 2 段階発展」を、太陽観測衛星 SOHO (Solar and Heliospheric Observatory) と SDO (Solar Dynamics Observatory) を用いたデータ解析で検証することを試みた。まず SDO で得られた NOAA AR 11081 での活動領域のマグネトグラムとドップラー観測を用いて、浮上磁場が太陽表面を突き破る直前に期待される水平発散流が観測できるかどうかを調べた。その結果、マグネトグラムで確認される磁気浮上の約 100 分前にドップラー観測における水平発散流を確認することが出来た。更に他の 23 例のデータに対して統計解析を行い、同様の水平流発散

を確認した。この統計解析から、観測バイアスの効果を考慮すると、約 8 割のデータに対して浮上磁場と水平発散流との相関が見られることを観測的に明らかにした。

3 章の後半は、直接観測できない対流層を浮上中の磁束管を、音波情報を駆使する日震学の手法を用いて調べた。浮上中の磁束管による音波の屈折が、太陽表面での音波振動パターンを変化させることを利用した新しいデータ解析手法を提案した。具体的に、NOAAAR 10488 に対して SOHO/MDI のドップラーグラムを用いて、浮上磁束管の上昇の様子を深さ 15Mm から解析した結果、約 2 時間に亘って速度を減速させながら上昇する磁束管を捉えることにはじめて成功し、この浮上の様子は第 2 章で考察したシミュレーション結果と整合的であることを議論した。

第 4 章および第 5 章は、まとめと考察および将来への展望が述べられている。本論文の主要な結論として、第 2 章で展開した電磁流体シミュレーション結果を下に提案した「浮上磁場の 2 段階発展」モデルが、第 3 章で行ったマグネットグラムとドップラーグラムのデータ解析でも確認でき、浮上磁場のダイナミクスが対流層の深部から太陽表面まで統一的理解することに成功したことが主張されている。太陽表面近傍の状況を想定した数値シミュレーションと最先端データを用いた総合的なアプローチで、2 段階浮上を発見した研究といえる。

なお、本論文で論述された浮上磁場に関する研究は、太陽物理を理解する上で重要であり、本研究により活動領域での磁束浮上の理解が前進したことが認められる。本論文は、横山央明、関井隆、林啓志および Stathis Ilonidis 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データ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。