

氏 名	鶴 飼 正 行 う がい まぎ ゆき
学位の種類	工 学 博 士
学位記番号	論 工 博 第 1331 号
学位授与の日付	昭 和 55 年 11 月 25 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 5 条 第 2 項 該 当
学位論文題目	Computer Experiments on the Energy Conversion by Magnetic Field Reconnection (磁力線の再結合によるエネルギー変換に関する計算機実験)

論文調査委員 (主査) 教授 高木俊宜 教授 津田孝夫 教授 木村磐根

### 論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、自然界プラズマ中でのオーロラ現象とか太陽フレア等の現象に関連して、磁気再結合に伴う大規模な磁気エネルギーのプラズマエネルギーへの変換機構を、計算機実験という手段を用いて、定量的に総合的に解明した結果をまとめたもので、7章より成っている。

第1章は序論で、磁気再結合によるエネルギー変換原理を概説し、基本概念について述べている。さらにこの問題に関連した室内実験と、地球磁気圏におけるオーロラ嵐や太陽表面上における太陽爆発に関する観測結果を概観している。自然界のプラズマ現象を範例として、如何にして効率のよいエネルギー変換が実現しうるか、という可能性を量的に数値実験により明らかにしようとする本研究の動機が述べられている。

第2章は、この問題に関連した過去の理論的研究から得られた重要な結論や未解決の問題点を整理し、本研究の計算機実験で明らかにしたい事項が示されている。とくに、解析的手段で明らかにされなかった非定常過程が、この問題に対しきわめて重要であることを指摘している。

第3章では、磁気再結合によるエネルギー変換機構の非定常解について述べている。すなわち、初期条件として与えた反平行磁場に蓄えられた磁気エネルギーが、電流シートにおける局所的異常電気抵抗の発生にともなう系の電磁流体効果によって、急激にプラズマのエネルギーに変換されうることを実証し、解釈を与えている。

第4章では、系の非線形飽和により、究極的に準定常的磁場再結合の解が確立されうることが示されている。理論的研究では速い磁場再結合過程を実現しうるような定常的形状のみが調べられてきたが、本計算機実験によって得られた準定常的形状を、これら従来の解析解によって与えられた基本的特性と比較検討している。とくに、理論的研究では、速いエネルギー変換が実現されうるためには定在的スローショックの存在がきわめて重要であることが指摘されてきたが、本研究で究極的に得られた準定常状態においてそのようなスローショックの存在が確認された。また、定常的に再結合過程が進行しうるためのいくつか

の条件が、実際によく満足されていることが示されている。

第5章では、速い磁場再結合過程に対して、外部から強制的に与えられた条件がどのような影響を及ぼすかを調べている。現在までの理論では、外部から与えられた境界条件によって解の主な性質はすべて決定されうるといふ仮定を用いている。しかしながら、本計算機実験では、このような仮定は現実的でなく、むしろ磁気中性点近傍における局所的な条件が重要であることが示されている。すなわち、磁気中性点近傍で実効的電気抵抗の増大がある限り、外部から課せられた条件に応じ再結合過程は進行しうが、中性点近傍における局所的な条件が不満足であれば、もはや速い再結合過程は進行しえないことが示されている。

第6章は磁気中性点において局所的に増加した実効抵抗の大きさに対して、最終的に確立される準定常解がどのように依存するかを調べている。重要な結論は、磁場再結合率（またはエネルギー変換率）は、磁気中性点における電気抵抗の値に対し弱い（対数的な）依存性しか持たないことを見いだした点である。実際、非常に大きな磁気レイノルズ数をもつ自然界のプラズマに適用する場合、この結論は重要な意味をもつ。さらに中性点で増大した抵抗値に応じて確立される準定常的形状は、解析的に研究されてきた Petschek 型形状の最大再結合率をもつ場合に相当することが示されている。

第7章は終章で、本研究で定量的に得られた結果を地球磁気圏におけるオーロラ嵐の現象に適用するとともに、実際の観測結果と比較し、今後の課題をあげて本研究を総括している。

#### 論文審査の結果の要旨

本論文はほぼ完全に電離したプラズマ中で、磁場の形で蓄えられたエネルギーが、磁場再結合によりプラズマのエネルギーに変換される動的過程を、計算機による数値実験により詳細に調べたものである。この現象は、超高層における大規模なエネルギー変換機構の有力候補とされている一方、核融合装置など実験室内プラズマでも最近深い関心を持たれるようになってきている。本論文において得られた主な成果は次の通りである。

(1) 空間2次元の圧縮性電磁流体モデルを用い、計算機シミュレーションにより次の事実を示した。すなわち、安定な電流シートに、何らかの原因で異常電気抵抗の発生があるとき、磁気中性点が形成され、それを核にしてX型磁場をともなう Petschek モードが生じ、非線形飽和により準定常状態に達する。同時に磁力線の再結合による磁場エネルギーのプラズマエネルギーへの変換が発生する。ところで従来の理論モデルは、主として磁気中性点から離れた磁場の凍結領域での無矛盾な定常解を求め、再結合過程の可能性を示したにすぎなかったが、本研究ではこれを時間的に発達する過程として動的にとらえ、より実証的に諸条件を明らかにしたものである。

(2) 磁場再結合過程は、初期的に反平行磁場として蓄えられた磁場エネルギーが、より安定な状態へ遷移しようとする系の一つの大域的不安定現象とみなしうことを示した。

(3) 外部から一定の時間的割合で供給される磁束の存在する場合、中性点を含む内部で整合がとられ、やはり再結合過程は進行し、維持されることを示した。その際、X型の磁場構造等は外部条件にあまり左右されない。また中性点近傍の電気抵抗の局所増加が消失すれば、Petschek 型構造は維持されず、再結合過程は消滅する。

(4) 中性点での電気抵抗の増加と, Petschek モードの成長の間の依存関係について調べた。すなわち, 電気抵抗の増加の値を変えても, 生ずる Petschek モード下の磁場再結合率は, そのような抵抗の増加値に対し弱い(対数的な)依存性しか持たない。

(5) 定常解のみ調べるにとどまる従来の理論解析に対し, 次の結果を得た。(a)到達する準定常状態でスローショックの定在波が存在すること。(b)磁場再結合を制御する要因として, 中性点近傍の物理的性状, とくに電気抵抗増加が第一義的に重要であること。(c)従来の理論では, 磁場再結合率はゼロから磁気レイノルズ数できまる最大の再結合率までの任意の値を, 外部条件に応じとりうるといわれてきたが, 実際に実現されるのは, 外部条件と無関係に, その最大の再結合率の場合のみであること。

以上要するに本論文は, 工学的にも重要であるエネルギー変換の一形態を, 磁場再結合の現象に着目し, 高度の数値計算技術を駆使してその性質を明らかにした基礎的研究であって, 学術上, 實際上寄与するところが少なくない。

よって, 本論文は工学博士の学位論文として価値あるものと認める。