

氏 名	中 田 勇 なか た いさむ
学位の種類	理 学 博 士
学位記番号	論 理 博 第 610 号
学位授与の日付	昭 和 53 年 5 月 23 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	The Alfvén Shock Waves in a Cold Plasma in the Presence of Effective Electron-Ion Collisions (電子-イオン実効衝突のある冷たいプラズマにおける アルヴェーン衝撃波)

論文調査委員 (主 査) 教授 巽 友 正 教授 田中茂利 教授 富田和久

論 文 内 容 の 要 旨

連続体媒質中の有限振幅の波動伝播の問題は、非線型現象の物理学の最も興味ある分野の一つであり、近年、その理論的取扱い方法は著しく発展しつつある。とりわけ、プラズマ中の衝撃波の発生および伝播の問題は、核融合におけるプラズマ加熱、太陽風が地球磁気圏の前面につくる弓形衝撃波などに関連して、多くの研究者の注目を集めている。

プラズマの理論的取扱いにおいて、プラズマ構成粒子の熱運動と衝突を無視した、いわゆる“冷い無衝突プラズマ”の近似を採用するとき、分布関数に対する Boltzmann 方程式からプラズマの密度や速度を支配する輸送方程式を導くことができ、プラズマを一種の流体として取扱うことが可能となる。ところが、この近似のもとでは、有限振幅の波はすべて可逆的な孤立波または連なり波の形で存在し、非可逆的な衝撃波は形成されない。したがって、プラズマ中の衝撃波の存在を導びくには、以上の近似では無視したプラズマ粒子間の衝突および熱運動を何らかの形で考慮に入れる必要がある。このため、輸送方程式において、イオンと電子との間の相互作用による散逸機構を導入することが考えられる。

一様磁場のもとでのプラズマ中の波としては、磁気音波と Alfvén 波の二つのモードが存在するが、有限振幅の磁気音波はすでに、Sagdeev (1962), Karpman (1964), Kawahara (1970) によって、以上の近似を用いて取扱われ、衝撃波の存在が導びかれている。本論文は、これに対して、有限振幅の Alfvén 波をこの近似を用いて考察し、Alfvén 衝撃波の存在の可能性を探ろうとするものである。

一様磁場に対して任意の方向に伝播する平面波の形の有限振幅攪乱を考えると、攪乱を支配する方程式は、上述の近似のもとに、つぎのような単一の非線型微積分方程式に帰着される。

$$\frac{\partial f}{\partial t} - \frac{1}{2} \frac{\partial f^3}{\partial x} - \mu \frac{\partial^3 f}{\partial x^3} - \nu \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial f}{\partial x} + f \int_{-\infty}^x f^2 dx \right) = 0.$$

ここに、最初の 3 項は分散型の変形 Korteweg-de Vries 方程式に対応しており、上の方程式はこれに散逸を表す第 4 項が付け加わった形になっている。また、散逸項が通常の $\partial^2 f / \partial x^2$ の項のほか非線型の積

分項を含むことは、ここで考慮したイオンと電子間の相互作用が、極めて特異な局非所的な散逸効果を及ぼすことを示している。

申請者は、この方程式を解析的および数値的方法の両面から取扱い、衝撃波を表す解を得た。この Alfvén 衝撃波は、磁気音波型の衝撃波と全く異った性質をもっている。すなわち、後者においては、衝撃波面を通過する際にすべての物理量が不連続的に変化するのに対して、Alfvén 衝撃波においては、攪乱磁場とイオン流体の速度が共に 180° 回転するだけで、他の量には何らの変化も起らないのである。このような Alfvén 衝撃波の特性は、すでに通常の電磁流体力学近似の場合にも見られたものであるが、本論文は、これを“殆んど冷い非衝突プラズマ”近似のもとにおいて、具体的に導いた点で、極めて興味ある結果であるといえる。

参考論文1は、二つの水平流体層の境界面に発生する有限振幅数を考察し、代数的孤立波の解を得ている。参考論文2は、やはり二つの水平流体層の重力不安定性を有限振幅攪乱に対して論じたものである。参考論文3, 4, 5はいずれも、電気伝導性流体の一樣磁場に沿う噴流の線型安定性を論じたもので、磁場が強まると共に噴流が安定化されることを示している。

論文審査の結果の要旨

プラズマ理論における“冷い非衝突プラズマ”の近似の利点は、これによってプラズマの密度、速度、磁場の強さなどがすべて輸送方程式によって支配されることになり、プラズマを一種の流体として取扱うことが可能となることにある。しかしながら、この近似によって導びかれる方程式は可逆であり、衝撃波のような非可逆な変化は起こり得ない。したがって、この近似の利点を損わずにプラズマ中の衝撃波の存在を導びくためには、輸送方程式に何らかの散逸効果を導入することが考えられる。この近似のもとに冷いプラズマにおいて磁気衝撃波が存在しうるのは、すでに Sagdeev, Karpman, Kawahara などによって示されている。

本論文は、これに対して、プラズマ中のいま一つの非線型波モードである Alfvén 衝撃波を、上記の近似を用いて導びいている。散逸機構としてはイオンと電子との間の衝突を考え、実効衝突数によって決まるスケールの大きい時間・空間変数を用いて逡減摂動法を適用している。導びかれた輸送方程式は、散逸項として非線型の積分項を含む点に特徴があり、ここで考慮したイオンと電子間の相互作用が極めて特異な非局所的な散逸効果を及ぼすことを示している。

この非線型方程式は確かに衝撃波型の解を与えるが、この衝撃波を通過する際には、攪乱磁場と速度の方向が波の進行方向を軸として 180° 回転するだけで、他の物理量には何の変化も起らない。これは、磁気衝撃波の前後ではすべての物理量が不連続的に変化するのと対照的で、Alfvén 衝撃波の著るしい特徴である。また、衝撃波の断面形は、媒質の散逸性が強い場合には、通常的气体における衝撃波と同様、単調変化の波形であるが、散逸性が強い場合には、衝撃波の下流において減衰振動しながら一樣状態に近づく分散型の形をとる。

以上、本論文において展開された、散逸性を取り入れた“冷い非衝突プラズマ”近似による Alfvén 衝撃波の取扱いは、単にプラズマ中の衝撃波の研究のみならず、非線型波動論の分野に新たな知見を加えた

極めて興味ある業績であるといえる。

参考論文5編は、いずれも流れの安定性問題に関するもので、論文1，2は密度成層流の不安定状態における有限振幅攪乱を、論文3，4，5は電気伝導性流体の噴流の線型安定性を取扱っている。これらの参考論文は、本論文と合わせて、申請者のこの方面の研究への寄与を証するに足るものといえる。

よって、本論文は理学博士の学位論文として価値あるものと認める。