

【 39 】

| | |
|---------|--|
| 氏名 | 中山壽夫 |
| 学位の種類 | 理学博士 |
| 学位記番号 | 論理博第207号 |
| 学位授与の日付 | 昭和42年7月24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 | A Possible Definition of Entropy for Weak Turbulence in Plasmas |

(プラズマにおける弱い乱流のエントロピーの一定義)

論文調査委員 (主査) 教授 巽 友正 教授 松原武生 教授 寺本 英

論文内容の要旨

本論文はプラズマにおける乱流のエントロピーの概念、およびエントロピー増大の原理の可能性について考察したものである。

参考論文1～3は、主論文における研究の前駆をなすもので、まずこれらの内容を要約する。

参考論文3は、プラズマのN粒子系を記述する Klimontovich 方程式の近似解を取り扱ったものである。粒子間の相互作用が全くない場合を基礎にとり、その場合の直線運動からの摂動によって方程式の近似解を求めた。その結果、第1近似としてHubberd-Rostoker のプラズマ振動の計算法、および2体相関関数の Rostker 表示が得られ、第2近似として遮蔽粒子間の相互作用、Fokker-Planck 方程式などが導びかれた。

参考論文2においては、Klimontovich 方程式に従うN粒子系に確率分布を考え、これに汎函数微分を施すことによって BBGKY 連鎖方程式系を導びいた。つぎに、プラズマの流体的記述としての Vlasov 方程式と粒子的記述としての Klimontovich 方程式との数式的相似に着目し、Vlasov プラズマにおける乱流の理論が非平衡統計力学における BBGKY 方程式と平行して取り扱いうることを示した。この最低次がよく知られた準線型近似と一致していることは、この近似の有用性を保証するものと言える。

参考論文1は、乱れの分布函数方程式の近似解に関するもので、乱れの mode-mode 相互作用が無視できる場合には、分布函数は一般化された Gauss 分布になることを示した。

以上3編の論文において、申請者は、プラズマ乱流の理論と非平衡統計力学との間の著しい類似性を指摘したが、主論文においては、この議論をさらに一歩進めて、プラズマにおける乱流のエントロピーの概念を考察した。統計力学においては、エントロピー増大の原理はつねに力学系の記述の何等かの意味における不完全性に基づくものであることが知られている。たとえば、Boltzmann のH定理は力学系の状態が1体分布函数だけで記述されるようになってはじめて成立する。申請者は、同様の考察をプラズマ乱流に適用し、乱流が初期状態から一種の準平衡状態に移ったとき、はじめてエントロピー増大の原理が定式

化できることを示した。証明はまだ一般的なものでなく、準線型近似が成立する状態において成立しうるにすぎないが、この結論は乱流における非可逆性の問題に重要な意味をもつものと思われる。

参考論文4～8は、いずれも分子論に関するものである。

論文審査の結果の要旨

プラズマ理論の本質的な困難さは、プラズマ現象が粒子性と流体的性質との二側面を併せもつという点にある。プラズマは元来、多数粒子系としてN体分布函数に対する Liouville 方程式によって支配される。しかし、Liouville 方程式はその自由度の巨大さのために厳密解を求めることが困難であり、実際には、これに逐次平均操作を施して得られる BBGKY 連鎖方程式系が取り扱われる。この平均操作の極限が Vlasov 方程式であり、Vlasov 方程式に従うプラズマは、もはや一種の流体と考えられる。

プラズマが乱流状態にあるときは、事情は一段と複雑になり、プラズマ状態の巨視的な運動もまた、N粒子系と同様、時間的空間的に変動する。プラズマ乱流はプラズマ流体の偶然運動の上に構成された Hopf の分布汎函数方程式によって記述される。Hopf 方程式もまた、Liouville 方程式と同様、厳密解を得ることは極めて困難であり、実際にはエネルギースペクトルなどの平均量が取り扱いの対象となる。

このように、プラズマの統計力学と乱流理論との間には、対象の階層が異なるにもかかわらず、理論構成に著しい類似が見られるが、この事情は、Liouville 方程式の別の表現である Klimontovich 方程式と、プラズマ流体を支配する Vlasov 方程式との間の数学的相似性によって、さらに強められる。申請者は、二つの理論の間の類似性に着目し、一方ではプラズマの統計力学を Klimontovich 方程式を基礎として再構成し、他方では統計力学的概念と手法を援用することによって、プラズマ乱流を新しい立場から解析することを試みている。

申請者は、まず、参考論文3において、Klimontovich 方程式を、粒子間相互作用のない状態からの摂動によって近似的に解いた。その第1・第2近似として、2体相関函数の Rostoker 表示、遮蔽粒子間の相互作用、Fokker-Planck 方程式などの結果が得られた。

参考論文2において申請者は、Klimontovich 方程式に汎函数微分を施すことによって、低次分布函数方程式である BBGKY 方程式が厳密に導びかれることを示した。つぎに Klimontovich 方程式と Vlasov 方程式の数式的相似性に着目して Vlasov プラズマにおける乱流の記述法を提案した。その数学的形式は非平衡統計力学と類似しており、Vlasov プラズマにおける乱流を統計力学における BBGKY 方程式系に関する知識を適用することによって取り扱うことができる。とくに、その最低次の近似は Vlasov 乱流の理論においてよく知られた準線型近似と同等であることが確かめられ、この近似法の有用性が示された。

参考論文1においては、プラズマ乱流において、乱れの mode-mode 相互作用が重要でない場合には、3点以上の相関函数を無視することができ、この場合、分布汎函数は近似的に一般化された Gauss 分布になることが示された。

主論文において申請者は、統計力学の立場からのプラズマ乱流の議論を一步進めて、乱流のエントロピーの概念を考察した。非平衡統計力学において一般に、エントロピー増大の原理は力学系の記述の不完全さに基づくことが知られている。たとえば、多体分布函数が一体分布函数によって表わされるとき、はじ

めてエントロピー増大の数学的形式化が可能となる。申請者はプラズマ乱流においても同様の考察を適用し、プラズマ乱流が初期状態から一種の準平衡状態に移ってはじめて、Boltzmann の意味でのエントロピーが定義でき、そのときエントロピー増大の原理が定式化できることを示した。

以上、これらの論文に展開された申請者の研究は、プラズマ乱流を非平衡統計力学との対比によって取り扱うもので、プラズマ理論に一新生面を開いたものといえる。プラズマ物理学におけるプラズマ乱流の現象の占める重要性からみて、申請者の研究結果はプラズマ物理学全般に寄与するところが大きいと思われる。他の参考論文5編は分子論に関するものであるが、いずれも申請者の研究能力と学識を保障するに足る。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。