

氏 名	増 山 博 行 まし やま ひろ ゆき
学位の種類	理 学 博 士
学位記番号	理 博 第 379 号
学位授与の日付	昭 和 51 年 1 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 5 条 第 1 項 該 当
研究科・専攻	理 学 研 究 科 物 理 学 第 一 専 攻
学位論文題目	熱平衡より遠い系の状態転移と揺ぎについての研究

論文調査委員 (主 査) 教授 富田和久 教授 巽 友正 教授 松原武生 教授 恒藤敏彦

論 文 内 容 の 要 旨

多体系の熱平衡状態近傍において見られる諸性質，ならびに諸種の転移の様相は，熱力学的段階の記述にとどまらず，統計集合の示す統計的性質として記述し，理解することが，既にかかなりの程度進んでいる。これに対して，近時次第に関心の高まりつつある本質的開放系一例えば，生体系，宇宙系，等一の特徴は，これらの体系が，外的駆動によって，平衡と遠く離れた条件の下に作動していることから生ずると考えられる。このような本質的非平衡状態に対しても，小数の巨視変数を把えて，熱力学的段階で記述する試みは種々提出されているが，かかる現象を統計集合の示す性質として理解し，平均的振舞からのずれ，すなわち揺動を直接扱った例は，現在のところ，理論的にも，実験的にもその数は多くない。

申請者の本論文は，この様な事態の下で，平衡から遠く離れた条件で起る広義の相転移現象に着目し，これを統計集合における揺動の見地から，理論的に扱ったものである。

転移点近傍を扱う理論的方法としては，時間の尺度を二つに分け，slow motion と fast motion を別々に扱う Bogoliubov 以来の伝統に従うが，ここでは，さらに空間変化にもこの考えを拡張し，この思想を手際よく表現するてだてとして，非線型波等の研究において，谷内および Newell-Whitehead によって提唱された通減摂動法 (reductive perturbation method) を採用して，一般的理論を展開した。

まず，確率論的な master 方程式から出発し，状態間の遷移が局所的事象の総和であることを仮定することにより，master 方程式の Kramers-Moyal 展開に，系の大きさに相当するパラメーター Ω の逆冪 $\varepsilon \equiv \Omega^{-1}$ による展開という現実的意味を与えた上で，永年運動，ならびにこれを基点としてみた確率分布の逐次の能率に対する運動方程式を導く。自律的な非線型力学系としての永年運動の方程式を通減摂動法によって簡単化することは，都築-蔵本によって，はじめ特殊例について行なわれたが，申請者は本論文において，種々の場合を包括する一般的定式化を行ない，reduction の結果，一般に複素係数をもつ TDGL 型方程式 (Time-dependent Ginzburg Landau 方程式) を導いている。

次に，申請者は揺動をあらわす分散に対する非自律的線型方程式を処理するに当たっても，通減摂動法の

手法を用いて計算を進め、hard mode instability, soft mode instability を区別しつつ、分散 σ について大要次のような形の結果をえた。

まず、転移点以下の一様定常状態から転移点に近ずいた場合の揺ぎについて

i) hard mode instability の場合：

$$\sigma[q] \simeq \frac{\gamma_h}{2(\varepsilon^2 \alpha + q^2 \delta_1)} \bar{u}_0$$

ii) soft mode instability の場合：

$$\sigma[q] \simeq \frac{\gamma_s}{2(\varepsilon^2 \alpha + \delta(q^2 - q_c^2)^2 / 4q_c^2)} \bar{u}_1$$

ここに、 $\varepsilon^2 \equiv (p_c - p)/p_c$ 、 p は外より制御されるパラメーター (p_c は転移点)、 q は揺動の波数であり、その他は模型に依存する量である。

転移点をこえた状態での分散 σ については次の形の結果をえた。

i) hard mode instability の場合：

σ を構成する要素として次の三種の要素を見出した。

$$\sigma_{11}[q] \sim 1/\{2\alpha_1 \varepsilon^2 + \delta_1(1 - \delta_2 \beta_2 / \delta_1 \beta_1) q^2\},$$

$$\sigma_1[q] \sim 1/(\alpha_1 \varepsilon^2 + \delta_1 q^2),$$

$$\sigma_1[q] \sim 1/(\delta_1 q^2),$$

ここに $\varepsilon^2 \equiv (p - p_c)/p_c$ である。

ii) soft mode instability の場合： $\sigma = \sigma_{//} + \sigma_{\perp}$

$$\sigma_{//}(q_1 q') = \frac{\gamma_s}{4\delta} \left\{ \frac{\delta(q - q') + \delta(q - q' - 2q_c)}{2\varepsilon^2 \alpha / \delta + (q - q_c)^2} + \frac{\delta(q - q') + \delta(q - q' + 2q_c)}{2\varepsilon^2 \alpha / \delta + (q + q_c)^2} \right\}$$

$$\sigma_{\perp}(q_1 q') = \frac{\gamma_s}{4\delta} \left\{ \frac{\delta(q - q') - \delta(q - q' - 2q_c)}{(q - q_c)^2} + \frac{\delta(q - q') - \delta(q - q' + 2q_c)}{(q + q_c)^2} \right\}$$

ここに、最後の結果は平衡相転移における Landau 理論の結果に著しい類似性を示している。

同様の手法を用いて相関関数に対する結果もえられている。

参考論文 1。本論文と同内容の結果を Langevin 方程式の形式によって導いたレター。

参考論文 2。モーメントの知識にもとづきスペクトル線の形を再現する一般的処方を展開したもの。

参考論文 3。参考論文 2 の一般形式を用いて、1 次元ハイゼンベルグの磁性体のスペクトルを古典スピノン近似で扱ったもの。実験とよい一致がえられている。

参考論文 4。1 次元ハイゼンベルグ磁性体における磁気共鳴の巾を古典スピン近似で計算したレター。

参考論文 5。超交換相互作用を含む decorated Ising model の静的性質に関する統計力学的計算。

論文審査の結果の要旨

非平衡・非線型の性質の研究は、近年種々ことなつた分野で急激にその必要性が高まりつつある。この様な状況の下で、着目する巨視変数の運動を支配する一組の方程式としての、いわゆる「力学系」の数学的性質に関しては数多くの研究が行なわれているが、これを物理的視角から、すなわち物理的観測が多くの場合そうであるように、統計集合の性質として理解するという側面は、今後開拓を要する面が多い。申

請者の本論文は、このような視点に立って、熱平衡を遠く離れた条件の下でおこる広義の相転移現象に伴う、統計的揺動を一般的に扱ったものであるが、次のような諸点にその特徴が認められる。

(i) 都築・蔵本は hard mode instability の近傍における揺動をまず特殊例について扱ったが、soft mode instability の場合は残されていた。他方、Graham は対流の問題に関する soft mode instability に伴う揺動を論じているが、彼の場合には系の大きさによる展開という考えは入っていない。このような事態の下で申請者は系の大きさに関する展開形式を用いて、二種の instability に伴う揺動を、共通の基礎に立って包括的かつ一般的に扱った。

(ii) 理論的取り扱いの方法としては、自律的非線形方程式によって記述される永年運動の解析に有力であった逡減摂動法を揺動に関しても一貫して用いることにより、系統的、かつ統一的に論議をすすめる結果としては諸種の場合に、簡単で見通しのよい表現を与えている。

(iii) 特に soft mode instability の場合、平衡状態近傍にみられる、いわゆる 2 次相転移との著しい類似を揺動のレベルにおいて明らかにした。

参考論文は、いずれも統計力学の分野における申請者の造詣を示すものである。

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。