

論文審査の結果の要旨

論文提出者氏名 観山正道

単純物質は平衡状態において固体、液体、気体の3相を示す。物質の種類が与えられたとき、それぞれの相変化は平衡統計力学で完全に記述される。とりわけ、液体から結晶への転移は、気体から液体への転移と異なり、空間並進対称性や回転対称性の破れを伴う1次転移であり、秩序の発現を伴っている。また、液体と気体は流体としてまとめられ、非平衡条件下での流れの様子は流体力学で完全に記述される。その基礎方程式は、密度、運動量、エネルギーの保存量に対する連続の式に局所的な熱力学と散逸に関する最小の補正を取り入れた形になっている。

提出された観山正道氏の論文では、以上の二つの現象、液体から結晶へ相変化するときの「秩序の発現」と液体の「流れ」の両方が関わる題材に焦点が当てられる。この題材は、素朴でありながら、実験的にも理論的にも研究をすすめるのは簡単ではない。例えば、並進対称性が破れた結晶では並進対称性に付随する保存量である運動量が巨視変数にならない、と仮定すれば、二つの現象が同時に関わることはない。近年になって、この点についても真摯な検討がなされ始められており、決して自明でないことが指摘されている。また、ガラス状物質の流れについては、統計力学を踏まえた流体力学の構築もすすめられている。従って、秩序の発現と流れが関わる適切な設定さえできれば、そこに新しい知見を見出すことが可能な状況である。

本論文が取り上げている題材は、ずり流を示す溶媒中でのコロイド分散系である。コロイド分散系は、平衡溶媒中で、結晶相、液相、気相の3相を示すことが知られている。その系に対して溶媒を外側から流すことで、液相から結晶相へ変化するときの秩序の発現に対する流れの関与を具体的に調べることができる。この現象に対応する実験はこれまでもなされているが、統計力学としての秩序発現に対する流れの影響は明らかにされていない。つまり、ずり流下のコロイド分散系を使って、非平衡条件下の秩序・無秩序転移を調べようとする提案が、本論文の第一の意義である。

具体的には、まず、液相領域において結晶が融ける時間が着目される。この際、回転対称性の破れを特徴づける秩序変数の時間変化によって融解時間が決められる。平衡溶媒下では、転移密度より Δ だけ小さい密度に対して、融解時間は $\exp(-A/\Delta)$ のようにべき則よりもずっと強い特異性を示すが、ずり流下ではべき則に従う。前者は核生成の描像で理解され、後者は臨界緩和の存在を示唆している。この数値実験は短時間で実行できるため、結晶相への転移に関する流れの影響を調べるのに最適である。また、その質的な違いを明確な形で提出することに成功している。この結果を受けて、定常状態における秩序変数の

時間相関の特徴的時間が調べられる。平衡条件下では相関時間は特異性を示さないが、ずり条件下では相関時間はべき的発散を示す。これは、平衡条件下での核生成描像とずり流下での臨界的振る舞いの描像と整合している。さらに、ずり流下での臨界的振る舞いが見える臨界領域が非平衡度に応じてべき的に小さくなっていくことが融解時間のスケーリングから議論され、平衡条件下の1次転移と矛盾なく接続されていることが示される。

これらの議論が第3章で展開されている。本論文はこの3章を主要部分として、5章113ページからなる。第1章で、論文全体の問題意識が述べられたあと、第2章では、ずり流下での秩序・無秩序転移における構造変化の長時間相関が議論される。この現象も本論文の動機から自然に対象となるものであり、そこで見つけられている現象もそれ自体として興味深いものである。しかし、この現象の機構をより明晰にするために論点を絞っていく必要があり、その結果到達したのが第3章だと位置づけることができる。第4章では、秩序・無秩序転移が生じたときの流体方程式の構築を目指して、その基礎となるべく構成方程式が議論されている。そこにも新たな特異性があらわれることが見出されている。第5章は全体のまとめにあてられている。

以上のように、観山正道氏はその論文において、平衡条件下で1次転移である秩序・無秩序転移がずり流下で臨界現象を示す可能性を提示した。幾つかの妥当な証拠を提出しているものの、主張が大胆なだけに、今後の研究で明らかにされなければならない点も多い。例えば、臨界現象の存在を主張するならば、相関長の測定は不可避である。技術的に難しい点があることは理解されるが、是非とも明らかにされるべきである。また、実験における測定可能性についても検討すべきであろう。さらには、このような現象が本当にあるならば、ずり流下のコロイド分散系に限定されるとは思えない。そのような現象のクラスを抽出することも課題となろう。すなわち、本論文だけをもってして、その主張が確定されたと判断するには至っていない。それでも、本論文は、秩序と無秩序の様相が平衡か非平衡の条件によって異なってくる新しい可能性を持ち込んだものであり、将来、大きく発展する可能性を秘めている。

なお、本論文の内容は、第2章と第3章の内容が2編の論文として出版されている。いずれの論文も連名論文であるが、問題設定から解決に至るまで申請者が主体的に取り組んで得た結果であると判断される。

したがって、本審査会は博士(学術)の学位を授与するのにふさわしいものと認定する。