

平成22年3月31日現在

研究種目：基盤研究 (C)
研究期間：2007 ~ 2010
課題番号：19560066
研究課題名 (和文) 相変化によっておこる気体流の数理的研究
研究課題名 (英文) Numerical and analytical studies on gas flows caused by the phase transition
研究代表者 高田 滋 (TAKATA SHIGERU) 京都大学・大学院工学研究科・准教授 研究者番号：60271011

研究分野：希薄気体力学・非平衡気体力学・分子流体力学

科研費の分科・細目：応用物理学・工学基礎・工学基礎

キーワード：気体分子運動論、分子気体力学、ボルツマン方程式、相変化、真空、対称性

1. 研究計画の概要

本研究では、相変化によって起こる気体流の数理的構造を理解するために、とくに、その半無限境界値問題に主要な焦点を当てている。具体的には、凝縮相からの非定常蒸発流の振舞いにおいて代表者が予測した新しい型の振舞い（凝縮相に隣接する気体論的境界層、2つの膨張波の形成、およびその間の真空領域の形成）を立証することを主な目的とする。

2. 研究の進捗状況

まず、当初計画の立案のもとになった予想を再確認し、論文として提出した。その数値的立証の研究は大きく分けて3つの取り組みにより進められている。

(1) 気体論的境界層に関する数理的研究
この部分は当初計画を超えて、大きく進展した部分である。相変化をともなう気体流は、異なる2相の界面付近に境界層を必然的にともなうが、この境界層部分の気体の振舞いは、広い範囲の状況において線形方程式系で記述することができる。代表者は、本研究の過程で、線形系の範囲で成り立つボルツマン方程式の一般的な対称性から物理量の間の意味ある関係を導きだすことに成功し、この枠組みを一般理論として構築した。

(2) 音速状態から真空中への膨張波の振舞いの数値的研究

これは代表者が予想した新しい型の振舞いの素過程をみるための研究である。そのために、真空領域が形

成されるよりもむしろ、真空領域へ気体流れ込む状況に焦点を当て、前者の解明への準備とした。真空領域への気体の膨張自体が興味深い問題であるため、精密な数値解の構成を企図したが、極々低密度の領域での数値解の安定性を確保することができなかった。その一方で、2つの膨張波間に真空領域が形成されていく過程を数値的に追求できる目途が立てられた。

(3) (2)を踏まえた2つの膨張波間に形成される真空領域の形成過程の解明

(2)の数値解析の結果を受けて、現在、本計算が進行中である。通常の気体力学で膨張波と扱われる領域と真空領域における気体の振舞いの本質的な違いを数値的に調べている。とくに長時間経過における解の漸近的挙動を数値解から予想することを試みている。それにより、膨張波領域では等方的な振舞いを見せる気体温度が真空領域では顕著な異方性を示す様子が明らかになってきた。

3. 現在までの達成度

以下、項目の番号は2欄に対応する。

(1) 初期目標を大きく上回る成果があった (100%以上)。

(2) 80%。真空領域への膨張波の伝播過程について一定の理解が得られたが、一方で、極々低密度下での数値解の安定性を保つことができないという課題が残っている。

(3) 60%。(2)で直面した数値解の安定性

に関する難点を避けられる範囲での数値解析が現在進行中である。

4. 今後の研究の推進方策

(1)

(2) 新しい方向性が見出されたので、当初計画の狭い枠にとどまらずに、より大きな枠組みとして研究展開を図る。特に非定常系への理論の拡張に着手する。これは、既往研究で全くふれられて

5. 代表的な研究成果

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計4件)

- ① S. Takata, Note on the relation between thermophoresis and slow uniform flow problems for a rarefied gas, *Phys. Fluids* 21(11), 112001 (2009). (7 pages) (査読有)
- ② S. Takata, Symmetry of the linearized Boltzmann equation II. Entropy production and Onsager-Casimir relation, *J. Stat. Phys.* 136(5), 945-983 (2009). (査読有)
- ③ S. Takata, Symmetry of the linearized Boltzmann equation and its application, *J. Stat. Phys.* 136(4), 751-784 (2009). (査読有)
- ④ S. Takata, On the long time behavior of gas flows by evaporation from a plane condensed phase, *Bulletin of the Institute of Mathematics, Academia Sinica (New Series)* 3(1), 115-147 (2008). (査読有)

[学会発表] (計12件)

- ① 高田滋, 分子気体力学における解析と数値計算, CompView GCOE Symposium 「Workshop1: 偏微分方程式の理論と実践—流体解析を中心として」, 東京工業大学, 目黒区, 2009年12月3日.
- ② S. Takata, Symmetry of the linearized Boltzmann equation and the Onsager-Casimir relation, 2009 NIMS Hot Topics Workshop on Kinetic Theory and Fluid Dynamics, Seoul National University, Seoul (Korea), October 22-24, 2009.
- ③ S. Takata, Symmetry of the linearized Boltzmann equation, Modern Topics in Nonlinear Kinetic Equations, Department of Applied Mathematics and Theoretical Physics, University of Cambridge, Cambridge (UK), April 20-22, 2009.

④ S. Takata, Symmetry of the linearized Boltzmann equation, 2009 Workshop on Kinetic Theory, Institute of Mathematics, Academia Sinica, Taipei (Taiwan), March 21-23, 2009.

⑤ 高田滋, 分子気体力学による流体力学極限の研究とその応用, 2008年春季第55回応用物理学関係連合講演会 日本真空協会企画シンポジウム「真空中の気体の流れ」, 日本大学理工学部 船橋キャンパス, 船橋市, 2008年3月27日.