

氏 名	大 西 善 元 おおにし よしもと
学 位 の 種 類	工 学 博 士
学 位 記 番 号	論 工 博 第 1065 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	An Analytical Study of Steady Behavior of a Slightly Rarefied Gas (弱希薄気体の定常的振舞いに関する解析的研究)

論文調査委員 (主 査) 教 授 玉 田 珧 教 授 桜 井 健 郎 教 授 徳 岡 辰 雄

論 文 内 容 の 要 旨

この論文は、弱希薄気体の流れ、すなわち分子の平均自由行程と、流れの代表長との比 Knudsen 数が小さい流れの次のような各場合、(1) 入射分子を拡散、鏡面両様に反射する無限平面壁に沿うすべり流れ、(2) 大きい温度差をもつ同心円筒間にある気体内の非線型温度場、(3) 蒸発、凝縮を伴う 1 成分 2 相系の振舞、を Boltzmann 方程式の BGK 模型に基づいて分子運動論的に研究したもので、5 章からなっている。

第 1 章は緒論であって、希薄気体力学に於ける従来の諸研究の概観を述べ、本研究の目的と意義を明らかにすると共に、次章以下の内容を簡潔に紹介している。

第 2 章に於ては、無限平面壁に境された希薄気体の一般すべり流れを、準平衡の仮定の許に線型化された BGK 方程式と、壁面に於ける Maxwell 型反射条件（反射分子の α 部分は拡散反射、 $1-\alpha$ 部分は鏡面反射）の許に解析している。そして、すべり係数と温度飛躍係数及び熱クリープ流係数、ならびに Knudsen 層（気体論的境界層）の構造に及ぼす適応係数 α の影響を調べ、それぞれに対する詳細な数表とグラフを与えている。

第 3 章は有限な温度差をもつ同心 2 円筒間の弱希薄気体（静止）内の温度、密度の分布と熱伝達を研究したものである。温度差が小さくないため、一般に問題は非線型となる。しかし、諸量を Knudsen 数（小）の冪級数に展開すると、主領域（流体力学的領域）の解の第一項（非線型）は幸いに自身で境界条件をみたすので、第二項以下（主領域解と、境界条件をみたすための気体論的境界層解とからなる）は線型化され、解を順次求めることができる。このような事情は、より簡単な例について既に知られていたことであるが、著者は 2 円筒間の熱伝達という現実的な問題において、前記の手法を Knudsen 数の 2 乗の程度まで押し進め、主領域並びに Knudsen 層に対する解を、数個の普遍関数を導入して解析的に表現することができた。又、得られた解を用いて、気体内の温度、圧力の分布並びに熱伝達量に関する詳細な数値計算を実行し、2 円筒の半径比、温度比及び基準 Knudsen 数の種々の値に対する結果を多数のグラフ及

び数表の形にまとめている。

第4章では、蒸発、凝縮を伴う希薄気体（1成分2相系）の力学的振舞を解析する一般的方法を展開している。この問題の特徴は、凝縮相表面における境界条件にあり、そこで蒸発分子は凝縮相の温度に於ける飽和状態に対応する平衡速度分布をもつとする（蒸発分子の状態既知）。この結果、Knudsen 数 $\rightarrow 0$ の極限でも境界面に於て温度や密度の跳びが残る。そこで Knudsen 数が小さいことに加えて、系が相平衡に近いことを仮定して問題を線型化する。相変化を伴う系の気体論的取扱いは従来、無限平面境界のような簡単な場合に限られていたが、ここでは任意の形の凝縮相に適用できるように方法を一般化している。その要点は、相変化のない従来の場合と同様の特異摂動法によって、流体力学的領域と Knudsen 層とを順次求めて行くことにあるが、その結果特に流体力学的領域（線型化により Stokes 方程式に従う）に対する普遍境界条件を与えることができる。又当然 Knudsen 層の構造も解明される。著者は第二近似（Knudsen 数の程度）まで具体的計算を進め、各種跳びの係数の数値を与えている。

第5章に於ては、前記の一般論を応用して異なる温度に保たれた同心円筒形又は同心球形の凝縮相に囲まれた弱希薄気体の蒸発、凝縮の問題を取扱い、気体内の温度及び圧力分布と熱流及び質量流が、飽和蒸気圧・凝縮相温度関係の線型近似定数 γ 及び Knudsen 数によってどのように変わるかを数値的に検討している。特に γ が大きい場合、気体内の巨視的温度勾配と熱流が凝縮相の温度差と逆になり得ることに注目している。又、第二の応用例として、飽和状態の一樣気流の中に、同温度の球形凝縮相が置かれた場合を考察し、流れによって作られる圧力場が相変化に影響し、そのため凝縮球の抵抗が減少することを見出している。

論文審査の結果の要旨

近年航空宇宙工学の進歩により、気体の流れの問題を分子運動論的に研究することが理論的興味のみならず、実際的にも重要な問題となって来た。弱希薄気体すなわち分子の平均自由行程と系の代表長との比 Knudsen 数が小さいような系の研究は希薄気体力学の重要な一分野である。それは特に、ふつうの連続体方程式（例えば Navier-Stokes 方程式）と境界条件（粘着条件）の妥当性と適用限界を示し、又場合によって連続体的取扱に必要となる境界条件の変更を与えうる点で重要である。

この論文は弱希薄気体の次の各場合、(1) 入射分子を拡散、鏡面両様に反射する無限平面壁に沿うすべり流れ、(2) 大きい温度差をもつ同心円筒間にある気体の中の非線型温度場、(3) 蒸発、凝縮を伴う 1 成分 2 相系の振舞、を Boltzmann 方程式の BGK 模型に基づいて分子運動論的に研究したもので、得られた成果の主なものは次の通りである。

1) 無限平面壁に沿う一般すべり流れを、Maxwell 型反射条件（反射分子の α 部分は拡散反射、残りは鏡面反射）の許に解析し、すべり係数、温度跳び係数、熱クリープ流係数、並びに Knudsen 層（気体論的境界層）の構造に及ぼす適応係数 α の影響を明らかにした。

2) 有限な温度差をもつ同心 2 円筒間の気体内の非線型場を Knudsen 数が小さいことによる特異摂動法を巧みに応用して解析し、温度、圧力の分布並びに熱伝達量に関する正確で詳細な知見を得た。

3) 任意形状の凝縮相とその蒸気から成る 1 成分 2 相系に於て、系の Knudsen 数が小さい場合の蒸気

の漸近的振舞を調べ、特に流体力学的方程式とそれに対する適切な境界条件を一般的な形で与えた。

4) 前記の一般論を応用して、温度の異なる同心円筒又は同心球状凝縮相の間の蒸気の蒸発、凝縮問題を考察し、諸量の分布を求めると共に、温度の逆勾配、熱及び質量の逆流現象に対する界面の曲率、法線応力、希薄化、の影響を明らかにした。又、飽和蒸気の一様な流れの中に同温度の球形凝縮相が存在する場合を考え、流れによる圧力場が界面輸送過程を変化させる結果、球の抵抗が減少することを見出した。

以上を要するに、本論文は弱希薄気体の定常的振舞について、気体論の基礎方程式に基づく厳密な解析を遂行し、種々の新しい知見と、今後の研究に有益な指針並びに多くの正確な数量的結果を提供したもので、学術上、工業上寄与するところが少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として価値あるものと認める。