

氏 名	青 木 一 生 あお き かず お
学位の種類	工 学 博 士
学位記番号	工 博 第 630 号
学位授与の日付	昭 和 54 年 9 月 25 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	工 学 研 究 科 航 空 工 学 専 攻
学位論文題目	希薄気体中の物体に働く熱流力と熱応力すべり流

論文調査委員 (主 査) 教 授 桜 井 健 郎 教 授 徳 岡 辰 雄 教 授 水 科 篤 郎

論 文 内 容 の 要 旨

この論文は、温度勾配のある静止した希薄気体中に置かれた物体まわりに誘起される流れおよびこの物体に働く力（熱流力）に関する理論的研究で、空気中に浮遊する微粒子の熱泳動等の問題にも関連した希薄気体力学の基本的問題を扱っている。(1)気体論に於けるボルツマン-クルック-ベランダ方程式を用い、(2)気体分子は物体面でマックスウェル型の拡散-境界反射を行なうとし、(3)温度の非一様性は小さく、方程式及び境界条件は系の静止平衡状態のまわりに線型化出来るとし、また、(4)系のクヌードセン数 K が小さいとしている。以上の仮定の下で、曾根の漸近理論を適用し、あるいは拡張発展させて、解を物体の長さのスケールで変化するヒルベルト部分、気体分子の平均自由行路のスケールで変化するクヌードセン層部分、及びクヌードセン層底部に出来る曾根層部分の重ね合わせで表わし、更に各部分を K の巾級数に展開している。また、(i)ヒルベルト部分は連続体理論に於けるストークスの方程式系及びすべりの境界条件に従う事、(ii)クヌードセン層部分は一次元の積分方程式系に従い、(i)のすべり条件はこの積分方程式系の考察に基づいて求められる事を明らかにしている。これ等の基本的処方に従って、種々の場合を5章に分けて論じている。

第1章は序言で、熱流力研究の歴史にふれ、本論文の概要を述べている。

第2章は物体が固体の球であり、気体分子が球の表面で拡散反射する最も基本的な場合について、曾根の漸近理論をもとに、球のまわりに誘起される気体の流れおよび球に働く熱流力を求めている。実際問題では、表面における別の物質の付着などで物体が不均質になっていることを考慮して、球の熱伝導係数が中心からの距離に依存してもよいとしている。その結果、(2・1)熱伝導係数の一様でない場合も適当な見掛けの熱伝導係数の導入により、均質球の場合に帰着できる事とその見掛けの熱伝導係数の公式、

(2・2)希薄化の効果、球面の曲率による項および熱応力による項が現われる事、特に後者は重要な役割を果たす事、(2・3)球に働く熱流力の向きは気体と球の熱伝導係数の比 σ に大きく依存し、 σ が非常に小さい場合には温度勾配の向きに、 σ が1の程度の場合には逆向きになる事を示した。

第3章は、熱流力の逆転の原因となった熱応力すべり流について物体表面での分子の反射の条件すなわ

ち適応係数 α がどのように影響するかについて論じている。さらにその結果を応用して、一定温度の（あるいは熱伝導係数の非常に大きい）球に働く熱流力は、（3・1）その向きは α に無関係で温度勾配の向きである事、（3・2）その大きさは α が小さくなるにつれて大きくなり、特に $\alpha \rightarrow 0$ の極限で解が特異性を示す事を明らかにした。なお、解法の過程で任意の適応係数の効果を含んだクヌードセン層方程式の解の一意性を証明している。

第4章は、第3章で適応係数 α が $\alpha \rightarrow 0$ の極限で解が特異性を示した事に関連して、曾根の漸近理論を拡張発展させ、有限の適応係数から鏡面反射への遷移の様子を明らかにした。応用例として一定温度の球に働く熱流力を取り上げ、 α が小さいごく狭い範囲で熱流力が急激に変化し、その向きが逆転する様子を明らかにした。

一定温度の（あるいは熱伝導係数の非常に大きい）球に働く熱流力がクヌードセン数 K の小さい場合は K の大きい場合と逆向きで温度勾配方向である事は第2章で述べたが、第5章はこの逆転の起る範囲さらにそのときの最大の力を知るために、対応する第2章の結果よりさらに高次のクヌードセン数効果を調べている。このためにはクヌードセン層底部にできる曾根層の影響を考慮しなければならない。これを容易にするため、ボルツマン-クルック-ベランダ方程式を特性曲線法を用いて密度、速度、温度に対する積分方程式に帰着させ、それを解析している。その結果、所期の情報を得ると共にこの近似までは曾根層は熱流力に影響を与えない事を示した。

論文審査の結果の要旨

温度勾配のある静止した希薄気体中に物体を置くと、重力の効果が無くても、物体のまわりに流れが誘起され、物体には熱流力と呼ばれる力が働く。熱流力によって起される物体の運動は熱泳動と呼ばれている。この現象は希薄気体力学の基本的問題として興味を持たれているばかりでなく、応用上でも気体中に浮遊する微粒子の熱的捕集等に関連して注目を集めている。

この問題を理論的に扱うにはボルツマン方程式を解かねばならないが、これ迄は自由分子流の場合の解析とか連続体力学の古典的すべり流理論による解析があったに過ぎない。

本論文は線型ボルツマン-クルック-ベランダ方程式を基にクヌードセン数 K が小さい場合に対して上記の問題を系統的に解析したものであり、気体の希薄化の効果を正しく取り入れている。得られた主な成果は次の通りである。

- (1) その表面で気体分子が拡散反射する球に働く熱流力を論じ、（1・1）球が均質でなくとも、その熱伝導係数が中心からの距離の関数である場合は、適当な見掛けの熱伝導係数の導入により、均質球の場合に帰着できる事、（1・2）球の熱伝導係数の大きさにより熱流力の向きが逆転する事を明らかにした。
- (2) 熱流力の逆転の原因となった熱応力すべり流に対する適応係数 α の影響を論じ、（2・1）熱応力すべり流とそれによる熱流力の向きは α によらないこと、特に熱流力は気体の温度勾配の向きであること、（2・2）熱応力すべり流、熱流力ともにその大きさは α が減少するとともに大きくなり、 $\alpha \rightarrow 0$ の極限で解が特異性を示すことを明らかにした。
- (3) 適応係数がクヌードセン数と同程度に小さい場合に曾根の漸近理論を拡張発展させ、（3・1）有限

の適応係数から鏡面反射への遷移の様子，（3・2）これを応用して(2)の場合の熱流力が適応係数がごく小さい狭い範囲で急激に変化し，その方向が逆転する様子を示した。

(4) (1)の問題を一定温度の球の場合についてさらにクヌードセン数の高次まで解析をすすめ，力の逆転現象として興味をもたれているクヌードセン数の小さい範囲での温度勾配向きの熱流力の大きさとその起る範囲についての情報を得た。

以上のようにこの論文は熱流力の気体論的研究を進展させるとともに希薄気体力学に種々の新しい知見を与えた。さらに，その結果は空気中に浮遊する微粒子の熱的捕集等に関係し，学術上工業上寄与する所が少なくない。

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。