

氏 名	久 保 昇 三 く ぼ しやう ぞう
学 位 の 種 類	工 学 博 士
学 位 記 番 号	論 工 博 第 512 号
学 位 授 与 の 日 付	昭 和 47 年 3 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	On Interaction between Convection and Radiation of a Grey Gas Flow (灰色気体の流れにおける対流と輻射の相互作用について)
論文調査委員	(主 査) 教 授 玉 田 珧 教 授 桜 井 健 郎 教 授 上 田 顕

論 文 内 容 の 要 旨

この論文は灰色気体の流れと熱輻射の相互作用を理論的に研究したもので、緒言、5章及び結論からなっている。

緒言に於ては熱輻射の影響が超高速、高温の流れに於て、重要かつ興味深い課題である所以を述べ、流れと熱輻射との相互作用を解明しようとする本研究の意義を説いている。

第1章では、本研究に於ける基本的な仮定と解析の方針を述べ、基礎方程式と境界条件等を導びいている。その際、気体は非粘性、非熱伝導性かつ不活性の圧縮性流体で、灰色的（輻射係数等が光の波長によらない）輻射性をもつものとし、輻射場は局所熱力学の平衡にあり、光速は無限大であると仮定している。従って流れと輻射場とは熱流を通じてのみ相互作用をするが、この熱流は輻射場の各点からの同時的寄与からなり、各点の輻射能（絶対温度の4乗に比例）に遠近の重みをつけた空間積分の形で表現されるため数学的困難が大きい。

第2章に於ては、平面壁で境された半無限空間に、前記の性質を持つ気体が満たされているとき、境界壁の温度を微少量だけ急変させた場合、気体中に伝播してゆく微小振幅の攪乱の振舞を調べている。この場合の攪乱は2種類のものからなり、一つは音波であって、一定速度で伝播し、他の一つは輻射伝熱による状態変化であって、拡散に似た様子で拡がってゆく。従って時がたつにつれて二つの攪乱は互いに分離してゆき、その状況は従来知られている熱伝導性気体の場合と似ているが、攪乱の分離は熱伝導の場合程明確ではないこと等を明らかにしている。なお、この問題の解析は、熱流の積分の核をより簡単なものに置換する周知の近似を用いて行なっている。

第3章では、流れと輻射が互い影響する最も簡単で代表的な例として、又実際的には輻射炉の一つの模型として、流れに垂直な平面熱源を通過する定常1次元流を取り上げている。解析的取り扱いを可能にするため温度変化等が小さいとして、問題を線形化し、積分核置換近似による解とその補正、及び輻射が弱い場合の厳密な解、熱源附近の解、差分近似による数値解、拡散型近似による解等を求め、輻射の強弱に

よる温度分布の相違を明らかにすると共に、各種近似法の精度得失を論じている。特に、積分核置換近似は、温度場の変化が緩やかな場合には良い近似を与えるが、急激な場合には適しないことを指摘している。

気体が光学的に厚い場合には、温度場は一般に物体の表面近くで急激な変化を示し、従来の近似解法では満足な取り扱いができない。そこで第4章に於ては、このような場合に適する一般的解法を提案している。但し対流伝熱と輻射伝熱が同程度の大きさを持つ場合を考え、物体表面の境界値は適当に滑らかであるとする。流体力学における境界層の考え方 (Matched Asymptotic Expansion) に従えば、問題の温度場と流れの場は次のような構造を持っていることが明らかになる。すなわち、気体が光学的に厚い場合には、物体からの熱輻射の影響は、直接的には物体のごく近傍の薄い層 (輻射層) の中に限られ、ここでは熱の伝達は本質的に厚さの方向に1次元的で、熱流はほぼ一定である。一方、物体から十分遠方 (外部領域) では、輻射場は等方的で熱流は無く、(分子熱伝導は考えないので) 対流のみに支配される等エントロピー場となる。そして、これら2つの領域は直接に接続することは出来ず、間に漸近的な中間層が存在しなければならない。輻射層及び中間層の厚さは夫々 $1/Bu$ 及び $1/\sqrt{Bu}$ の程度である。ここに Bu は Bueguer 数とよばれ、流れの代表長と光子の平均自由行路との比であって、光学的厚さの尺度である。従って、今は $Bu \gg 1$ である。そこで輻射層及び中間層の厚さを夫々 Bu 倍及び $\sqrt{Bu}$ 倍に拡大すれば、各層における流速、温度などの諸量は $1/\sqrt{Bu}$ の巾級数の形に、順次求めることが可能で、ここではその3次までの解析を実行している。その結果、外部域は等エントロピー的であるが、中間層がふくらむ効果がわき出しとして入ってくること、中間層は拡散型 (Rosseland 型) の熱伝達を持ち、ふつうの温度境界層に似ているが、輻射層との接続の為に、境界条件に温度のすべり (Radiation Slip) やわき出しが必要であること、輻射層の解は、温度場に於ては、巾展開の2次までは既知の非斉次項を持った線形積分方程式に従うので、その近似解を求めることが出来るが、速度場は一般的な形には解けず、個々の問題毎に解かなければならないこと、3次以上の温度場も、速度場の影響で一般形では解けないこと等が明らかになった。なお、従来の理論 (輻射層を無視) に於ける温度のすべり係数等に対する修正をも与えている。

第5章では、前章の一般解法を、半無限平板を過ぎる定常流に應用し、中間層に対する相似解を数値的に求め、平板温度の種々の値に対する流れの中の温度分布を図示している。なお境界層近似の破れる平板前縁附近について検討を加え、前記の結果に対するその影響が小さいことを確かめている。

結論は以上を要約したものである。

論文審査の結果の要旨

最近航空及び宇宙工学に於て、気体の流れの中に高温の物体が存在する場合、物体からの熱輻射によって、まわりにどのような温度場が形成され、又、流れは輻射によってどのような影響を受けるかという問題が重要となって来た。この問題は数学的に大へん複雑困難な性格を持っているので、理論的研究に於ては、簡単化のために、気体は不活性の完全流体 (粘性及び分子熱伝導を無視) で灰色的 (輻射率等が光の波長によらない) 輻射性をもつと仮定することが多い。本論文もこのような仮定のもとに、流れと輻射が互に影響する代表的な二、三の基礎的問題を研究すると共に、気体が光学的に厚い場合に対する一般的解

法を与えたものである。

まず第1章に於ては、前記の仮定及び輻射場の局所熱力学的平衡と光速無限大の仮定によって、基礎方程式と境界条件等を導びき、流れと輻射場が熱流を介してのみ影響し合うこと、熱流は各点の輻射能に重みをつけた空間積分によって表現されるため数学的困難が大きいこと等を述べている。

次に第2章に於ては、静止した気体が無限平面壁で境されているとき、壁温を僅かに急変させた場合、気体中に伝播して行く微小攪乱について調べている。攪乱の一つは音波であって一定速度で伝播し、他の一つは輻射伝熱による状態変化で、拡散的に拡がってゆき、時がたつにつれて二つの攪乱は互に分離してゆく。この解析には、熱流積分の核をより簡単なもので置換する周知の近似を用いている。

第3章では、平面熱源を垂直に通過する定常一次元流を取り上げているが、これは実際的には輻射炉の一つの模型とみることができる。解析的取り扱いを可能にするため、温度変化等が小さいとして問題を線形化し、熱流積分の核置換や拡散型近似及び差分法による数値解法等によって解を求め、輻射の強弱による温度分布の相違を明らかにすると共に、各種近似法の精度、得失を論じている。

第4章に於ては、気体が光学的に厚い場合に適する一般解法を提案している。このような場合、温度場は一般に物体の表面近くで急激な変化を示し、従来の近似解法では正確を期し難い。著者は流体力学に於ける境界層の考え方 (Matched Asymptotic Expansion) を応用して、気体が光学的に厚い場合には、物体からの熱輻射の影響は、直接的には物体のごく近傍の「輻射層」の中に限られること、その外側に拡散型 (Rosseland 型) の熱伝達を持つ「中間層」(ふつうの温度境界層に類似) が存在すること、その外では輻射は等方的で熱流は無く、等エントロピー流れになること等を明らかにした。又、流れの代表長と光子の平均自由行路との比を Bu (Bueguer 数) とするとき、輻射層及び中間層の厚さは夫々 $1/Bu$ 及び $1/\sqrt{Bu}$ の程度であるから、夫々 Bu 倍及び $\sqrt{Bu}$ 倍に拡大すれば、各層における流速、温度等の諸量は $1/\sqrt{Bu}$ の巾級数として、順次求めて行くことが可能であることを示し、第3次までの解析を実行している。

第5章に於ては、前記の一般解法を、半無限平板を過ぎる定常流に応用し、平板温度の各値に対する流れの中の温度分布等について興味ある結果を得ている。

以上要するに本論文は輻射を伴う流れについて、有力な新しい解法を提案すると共に、之を応用して種々の新知見を加えたもので、学術上、応用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。