

氏名	丹 生 慶 四 郎 に う けい し ろ
学位の種類	理 学 博 士
学位記番号	論 理 博 第 1 3 号
学位授与の日付	昭 和 36 年 12 月 19 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	凝 縮 を 伴 う 蒸 気 の 流 れ に 関 す る 研 究

論文調査委員 (主 査)
教 授 友 近 晋 教 授 富 田 和 久 教 授 松 原 武 生

論 文 . 内 容 の 要 旨

水蒸気の凝縮に関する理論は、流体力学の発展途上で特別な役割を果たしてきたのであって、実験室内で高速気流を得るために用いられる拡がり管、すなわちいわゆる Laval 管の最小断面近くで起こる衝撃波類似の現象の研究にしばしば用いられた。すなわち、水蒸気の断熱膨張によって生ずる現象や凝縮の度合いがきわめて小さくて水蒸気がほとんど気体の性状を示すような場合の研究に適用されたのであるが、その後 P. Chiarulli & R. F. Dressler は理論を発展させ、全部の水蒸気が凝縮する場合を取り扱った。

著者丹生慶四郎は、凝縮の度合いが任意である場合に適用することができ、しかも上述の二つの極限の場合すなわち凝縮の度合いがきわめて小さい場合および全部の水蒸気が凝縮する場合をも包含するような解析を展開する目的で、水蒸気が一様な断面をもつ管を流れるとき管壁を通して熱が除去されるために水蒸気が凝縮する場合を詳しく研究したのであるが、その結果を述べているのが主論文第 1 部である。この際著者は、(a)水蒸気は非粘性流体で、その流れは一次元的である。すなわち、管のいずれの断面においても温度・圧力・流速の分布は一様である；(b)過飽和状態は起こらない；(c)流れはただか気相と液相の 2 相から成る、という三つの仮定を設けて研究を行なったのであるが、水蒸気は常に熱力学的平衡状態を保っているとして、管の入口の状態および出口の状態の間に質量保存則・運動量保存則およびエネルギーの保存則を適用して三つの方程式をたて、つぎに、水蒸気は理想流体であるとして、気相の水蒸気とそれが凝縮した液相とが共存する 2 相流に対しこれら三つの方程式の解を求めている。著者はまた、凝縮の度合いがきわめて小さく流れが気相の水蒸気のみから成るとみなされる場合、および全部の水蒸気が凝縮する場合、という二つの極限の場合に対する解を彼自身の一般解から導き出しているが、それらは既知の解と完全に一致している。

最後に、著者は、管の入口における初期条件を、圧力 = 152cmHg = 2.02×10^6 dyne/cm², 温度 = 200°C, Mach 数 = 1 (したがって、流速 = 5.39×10^4 cm/sec, 密度 = 9.27×10^{-4} gr/cm³) のように与えて数値計算を遂行し、温度・圧力・流速が除去熱量とともにどのように変わるか、また亜音速流の場合に水蒸気が飽和

状態になって凝縮が起こるときの除去熱量の値はそれぞれいくらであるか等を詳しくしらべている。

第1部におけるように過飽和状態が起こらないという仮定(b)を設けると、超音速流領域に現われる最も興味ある凝縮現象の一つである凝縮衝撃波に発生しないことになる。そこで著者は、主論文第2部においては解析をさらに発展させ、過飽和状態が起こる場合を取り扱っている。水蒸気が気相から液相に変わるのには飽和状態に達してからであるが、実際には水蒸気中のきわめて小さい水滴の表面張力が急激な相変化をさまたげる結果、超音速流領域において過飽和状態が起こる。このような過飽和状態はしばらくの間続くが、引き続いて熱を除去すると水蒸気の温度はさらに低下し、過飽和度はついにある臨界値に達する。ところが、このような不安定な状態は急にくずれ、多量の水蒸気が気相から液相に変わるのであるが、この急激な変化の起こる領域が凝縮衝撃波なのである。

著者はまず、過飽和状態が保たれている場合について、相対湿度と Mach 数または圧力との関係をしらべ、相対湿度の増加と Mach 数の増加との比の値は断熱流の場合にくらべ熱除去を伴う流れのほうが大きいことを見だし、また管に沿って圧力が一様に低下している場合には、断熱膨張をする流れの場合にくらべ熱除去を伴う流れの場合のほうが速く高度の過飽和状態になることを示している。

凝縮衝撃波のすぐ前とすぐ後とにおける水蒸気凝縮相の液相対気相の質量比は、凝縮衝撃波の起こらない平衡状態の場合におけるものと著しく異なるのであるが、著者は、このような質量比の管に沿っての変化を検討するとともに、この質量比をふくむような質量保存・運動量保存およびエネルギー保存の3方程式を、熱除去効果のある一次元流の場合に対して微分方程式の形で求め、これらの方程式を第1部におけるものと全く等しい初期条件のもとに数値的に解いて、温度・圧力・流速の管に沿っての分布や凝縮衝撃波の発生位置を詳しくしらべたのである。

論文審査の結果の要旨

水蒸気の凝縮に関する理論は、流体力学において特別な役割を果たしたのであって、実験室内で高速気流を得るために用いられる Laval 管の最小断面近くで起こる断熱膨張による衝撃波類似の現象や凝縮の度合いがきわめて小さくて水蒸気がほとんど気体の性状を示すような場合の研究にしばしば適用されたのであるが、その後 P. Chiarulli & R. F. Dressler は理論を発展させ、全部の水蒸気が凝縮する場合を取り扱っている。

著者丹生慶四郎は、凝縮の度合いが任意である場合に適用することができ、しかも凝縮の度合いがきわめて小さい場合および全部の水蒸気が凝縮する場合という二つの極限の場合をも包含するような解析を展開する目的で、水蒸気が一様な断面をもつ管を流れるとき管壁を通して熱が除去されるために水蒸気が凝縮する場合を詳しく研究した。

まず主論文第1部においては、(a)水蒸気は非粘性気体で、その流れは一次元的である；(b)過飽和状態は起こらない；(c)流れはたかだか気相と液相の2相から成る、という三つの仮定を設け、さらに水蒸気は常に熱力学的平衡状態を保っているとして、管の入口の状態および出口の状態の間に質量保存則およびエネルギー保存則を適用して三つの方程式をたて、つぎに、水蒸気は理想流体であるとして、水蒸気の気相と液相とが共存する2相流に対してこれら三つの方程式の解を求めた。著者はまた、彼自身の一般解から、二つの極限の場合すなわち凝縮の度合いがきわめて小さくて流れが気相の水蒸気のみから成るとみなされ

る場合および全部の水蒸気が凝縮する場合に対する解を導き出したが、これらは既知の解と完全に一致している。さらに著者は、管の入口における圧力・温度に適当な数値を与え、また Mach 数を 1 として、数値計算を遂行し、除去熱量とともに温度・圧力・流速がどのように変わるか、亜音速流および超音速流の場合に水蒸気が飽和状態になって凝縮が起こるときの除去熱量の値はそれぞれいくらであるか等を詳しくしらべ、貴重な知見を得ている。

主論文第 2 部においては、第 1 部における仮定(b)を取り除き過飽和状態が起こる場合を取り扱っている。過飽和状態が起こらないと仮定すると、超音速流領域に現われる最も興味ある凝縮現象の一つである凝縮衝撃波について論ずることはできないからである。著者はまず、過飽和状態が保たれている場合について、相対湿度と Mach 数または圧力との関係をしらべ、相対湿度の増加と Mach 数の増加との比の値は断熱流の場合に比べ熱除去を伴う流れの場合のほうが大きいことを見だし、また管に沿って圧力が一様に低下している場合には、断熱膨張をする流れの場合に比べ熱除去を伴う流れのほうが速く高度の過飽和状態になることを示している。

凝縮衝撃波のすぐ前とすぐ後における水蒸気凝縮相の液相対気相の質量比は、凝縮衝撃波の起こらない平衡状態の場合におけるものと著しく異なるものであるが、著者は、このような質量比の管に沿っての変化を検討するとともに、この質量比をふくむような質量保存・運動量保存およびエネルギー保存の 3 方程式を、熱除去効果のある一次元流の場合に対して微分方程式の形で求め、これらの方程式を第 1 部におけるものと全く等しい初期条件のもとに数値的に解いて、温度・圧力・流速の管に沿っての分布や凝縮衝撃波の発生位置を解明した。

要するに、丹生慶四郎は、水蒸気が管を流れるときその管壁を通して熱を除去する場合について詳しく研究し、凝縮の現象とくに凝縮衝撃波の発生を解明してこの研究分野に種々の新知見を加えたのであって、寄与貢献するところが少なくない。主論文および非圧縮性完全流体の軸対称流を逐次近似的に解く方法を与えている参考論文を通じ、著者が流体力学・熱力学について豊富な知識とすぐれた研究能力とをもっていることを認めることができる。

よって、本論文は理学博士の学位論文として価値あるものと認める。