



Title	平面プルームの安定性と乱流遷移の研究
Author(s)	脇谷, 俊一
Citation	大阪大学, 1987, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/1122
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

氏名・(本籍)	脇 谷 優一
学位の種類	工 学 博 士
学位記番号	第 7599 号
学位授与の日付	昭和 62 年 3 月 20 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	平面プルームの安定性と乱流遷移の研究
論文審査委員	(主査) 教授 吉信 宏夫 (副査) 教授 角谷 典彦 教授 吉川 孝雄

論文内容の要旨

本論文は空気中に置かれた水平線熱源から立ち昇る二次元自然対流(平面プルーム)の層流の安定性から乱流への遷移機構を理論的、実験的に解明したものである。

まず第一章では乱流遷移の研究の現況と、プルーム流れの乱流遷移に関する研究の必要性を論じた。

第2章では準平行流近似に基づく線型安定理論を平面プルームに適用し、反対称攪乱および対称攪乱の二つのモードについて種々の安定特性を明らかにした。

第3章では定常場及び安定性についての実験を行った。人工的に導入された反対称攪乱の安定特性は理論結果とよく一致するが、対称攪乱は下流に伝わるにつれてその振幅分布に非対称性が現れ、線型成長領域内での反対称攪乱モードに移行することが判明した。また、定常場でのスウェイング運動と、下流でそれに重なって現れる自然発生攪乱はいずれも二次元の反対称攪乱であり、準平行流理論からそれらの出現が予測できることを示した。

第4章では平面プルームの線型安定特性に及ぼす基礎流の非平行性をGasterの方法を用いて解析し、安定特性を求めた。測定位置や攪乱量による増幅率と波数の依存性を明らかにし、基礎流に相対的な攪乱量を増幅率の定義に用いることの有効性を示した。増幅率分布の測定結果との比較から、この理論の妥当性を明らかにした。

第5章では層流から完全に発達した乱流に至るまでの自然遷移と人工遷移過程について実験を行った。遷移の終りは初期攪乱の大きさに依存せずほぼ一定のGrashof数で起ることが、また攪乱の二次元性は遷移がかなり進んだ段階まで保たれることが明らかとなった。人工遷移では一つの基本周波数攪乱として導入された攪乱の高調波が下流で急成長し、続いて高調波成分間の偶然成分が増大し、乱流に遷移

するのに対して、自然遷移では最初から選択増幅された反対称擾乱と、一旦増幅された対称擾乱が下流で反対称モードに移行したと考えられる擾乱の二つの基本周波数擾乱の非線型干渉が下流で進展し、乱流に遷移することがスペクトルの測定から判明した。いずれの遷移過程もかなり緩慢でしかも系統的であり、通常の自由流の遷移の特徴と一致している。また、乱流場での従来の測定結果との対比から自己保存の成立する、完全に発達した乱流平面プルームはその初期条件としての遷移領域に強く依存するものと考えられる。次に、流れ場の可視化を行ない、上述の測定結果を定性的に確認し、高せん断層の出現による渦の発生等の遷移領域における流れ場の構造を明らかにした。

論文の審査結果の要旨

平面プルームは典型的な熱対流の一例であるが、極めて不安定で小さな外乱によって容易に乱されてしまう。そのためにこれ迄に行われてきた実験研究ではその安定特性や乱流への遷移過程について定量的な実験結果を得ることは困難であった。本研究では厳重な注意と特に工夫された実験装置によって極力外乱を防ぎ、層流域の定常速度及び温度分布から、その線型安定特性、遷移領域における擾乱の非線型挙動、そして完全に発達した乱流の特性に至るまで、定量的な実験結果を得ることに成功している。

本研究ではまず平面プルームの定常流場と温度場に準平行流仮定に基づく線型安定理論を適用して数値計算を行い、対称及び反対称擾乱についてそれぞれ詳細な安定特性を求めた。不安定な対称擾乱の波数帯は反対称擾乱のそれに比べて遙かに小さいが、極めて小さいグラフホフ数の領域では反対称擾乱の安定領域にも不安定領域が存在すること、また対称擾乱の増幅率は対応する反対称擾乱の増幅率のせいぜい $1/10$ 程度でしかないと見出した。

次に、定常な速度分布と温度分布を測定し、線熱源の強さに適当な補正を行えば、これらの分布はほぼ完全に理論結果と一致することを確認した上で、人工的な対称および反対称擾乱を導入してその成長、減衰を測定して上の線型安定理論から導かれた安定特性を検証した。反対称擾乱についてはほぼ満足すべき一致が得られたが、一方、対称擾乱は下流に進むにつれて非対称になり、遂には反対称擾乱に転化することが観測された。本論文ではこの事実を上の理論結果を用いて説明している。

測定された反対称擾乱の増幅率は、振動数の小さい領域で理論結果よりかなり小さい値をとる。この違いは、平板境界層の流れに Gaster が用いた方法を平面プルームの場合に拡張し、主流の非平行性を考慮して摂動計算を行って理論値を修正することによって解消することを示した。

続いて遷移領域の各段階において速度および温度の時間変動を測定、記録し、数値計算によって振動数に対するパワースペクトルを求めた。自然遷移の初期段階では 2 つの突出したピークが見られ、下流に進むに従って成長するとともに、非線型干渉によってこれらの振動数の整数倍の和又は差にあたる振動数のところに突出したピークが立ち並ぶようになる。著者はこれらの基本振動の起源を線型理論の結果から推論している。一方、自然遷移における第一の基本振動数の反対称擾乱を人工的に導入した人工遷移では、遷移がより早い段階で起こるが第二の基本振動は現われず、非線型干渉によって第一の整数倍の

振動数を持つ高調波だけが現われる。遷移の終期ではピークは衰え、スペクトルは乱流特有の連続スペクトルとなり、自然、人工遷移の差はなくなる。また、完全に発達した乱流の段階では時間平均温度分布と温度変動強度の分布はともに自己保存的に相似性を保つことを示した。

最後に、場に煙を注入して流脈を可視化し、またスモーク・ワイヤ法を用いてタイムラインを可視化して遷移機構の直観的描像を与え、以上の定量的測定の結果の裏打ちをした。

以上のように、本論文は平面プルームの層流域から完全に発達した乱流域まで理論と実験を平行させながら研究を進め、ほぼその内容を解説している。乱流は今世紀の流体力学に残されたフロンティアの一つといわれ、まだまだ未解決の問題が多いが、本論文の研究はその一端を開いたもので、流体工学、伝熱工学の分野においても、その寄与するところは大きいと考えられ、学位論文として価値あるものと認める。