

矩形ダクト流遷移の数値シミュレーション

航空宇宙技術研究所 山本 稀義

電気通信大学 機械制御学科 細川 巖・山田 竜也

矩形ダクト流はいろいろな内部流を単純化した基本的剪断流として工学的に重要な流れであるが、その遷移特性は未だ明らかではない。最近の Tatsumi and Yoshimura (1990) の安定計算によると臨界レイノルズ数 R_{cr} はダクトのアスペクト比 A に依存して変わり、 A が無限大のチャンネル流の時最小値 5772 (本計算と同じ定義では 7696) で、 A が小さくなると大きくなる事が知られている。そして、 A が 3.2 以下では R_{cr} はついに無限大になる事が報告されている。しかし、実験的にはレイノルズ数が 3000 以下でも乱流の発生する事が知られている (Kao and Park (1970))。この様な理論と実験の違いは乱流への遷移が非線形な力学機構によって生ずる事を示すが、ここではナビエ・ストークス方程式に基づく直接数値シミュレーションによって、この遷移機構を調べた結果について報告する。ナビエ・ストークス方程式の計算には条件付きフーリエ・スペクトル法 (山本 他 (1990)) を用い、アスペクト比は 1 に固定して、レイノルズ数をパラメータとした数値シミュレーションを行った。

遷移の発生は初期に与えた微小攪乱の時間的成長によって検出する。数値シミュレーションによって得られた主な結果は以下の通りである。

- 1) レイノルズ数が 2500 の場合は初期の攪乱は時間的に減衰し、流れは安定である。
- 2) レイノルズ数が 2750 の場合は初期攪乱は時間と共に増幅し、2次元の2次流が発生する。
- 3) レイノルズ数が 3000 の場合は3次元的な乱れ成分が発生してくるが、2次流に比べてまだその強度は弱い。
- 4) レイノルズ数を 4000 にすると3次元成分は更に大きくなり流れは2次流を含んだ乱流になる。

これらの結果は Kao and Park (1970) の実験結果とよく一致している。そして、Kao and Park の実験はアスペクト比が 8 であることを考えると、ダクトの有限振幅攪乱による遷移はアスペクト比にあまりよらない事を示していると考えられる。速度の軸方向成分の軸に垂直な断面内分布を調べてみると、レイノルズ数が 2750 で得られた2次流においてすでに分布がダクトの角の方向に入り込む傾向を示している。レイノルズ数が大きい 3000 と 4000 で得られた流れではこの傾向は更に顕著になり、発達した乱流で観測されている速度分布に近づく事を示している。

参 考 文 献

- Kao, T.W. and Park, C. (1970). Experimental investigations of the stability of channel flows. Part 1. Flow of a single liquid in a rectangular channel, *J. Fluid Mech.*, **43**, 145-164.
- Tatsumi, T. and Yoshimura, T. (1990). Stability of the laminar flow in a rectangular duct, *J. Fluid Mech.*, **212**, 437-449.
- 山本稀義, 細川 巖, 田中義規 (1990). 対流を伴う矩形ダクト流の数値シミュレーション, 第8回航空機計算空気力学シンポジウム論文集, 航空宇宙技術研究所特別資料, **SP-14**, 209-214.