

## プロジェクト 3

### 複雑流れ現象の数理モデルと数値シミュレーション

登坂 宣好(数理情報工学科)

#### 研究経過

我々の周りで見られる様々な流れ現象を解明するには、理論的および実験的考察がこれまで不可欠であると考えられてきたが、複雑な流れ現象に対して、これらの方法論は必ずしも有効ではない。複雑な現象を捉えるには、新しい方法論である“コンピューショナル（計算的）”立場が有力となってきた。この計算的立場から複雑な流れ現象を捉えるには、現象に対する数理モデルの構築およびその数値計算手法の開発が必要となる。

本研究では、まず複雑流れ現象を連続体としての流体における移流卓越性を有する層流とモデル化する立場を採ることとした。そのモデル化により、連続の方程式、運動量保存方程式、エネルギー保存方程式としての連立非線型偏微分方程式が得られることになる。これらの偏微分方程式を解くための数値計算手法として現在多くの手法が存在している。例えば、差分法、有限体積法、有限要素法、境界要素法である。これらの各手法は、それぞれ固有の特徴を有し、その特性を生かし各問題への適用が計られている。

本研究の目的は、上述の流れの連続体モデルに対する有効な数値計算手法における高精度のスキームの開発とその適用性を検証することである。そこで、二つの手法、有限要素法と差分法について研究を進めた。有限要素法については、既に関数型 Petrov-Galerkin 法”による乱流解析を行った。乱流モデルとして、LES (Large Eddy Simulation) モデルを採用し、ダクト内の翼ダンパーの空気力学的性能評価問題に適用する事が出来た。差分法については、移流卓越流れ現象の解明に対し有効な新しいスキームを構築することが出来た。さらに、このスキームの適用性を検証するために、様々なベンチマークテスト問題を解き、既存の数値解との比較を行った。

#### 研究成果

本年度に得られた研究成果を項目別に即して以下にまとめて示す。

##### 1. ID0 法の検討

現在有効な差分スキームの一つであると考えられる ID0 法に注目し、その基本的考え方である高次補間スキームについて詳しく検討した。そのスキームを具体的な流れ問題の 1 次元と 2 次元のベンチマークテストに適用し、その有効性を詳しく検証することが出来た。

##### 2. 新しい高次補間スキームの構築

本研究で対象とする移流卓越流れ問題において、ID0 法の考え方を拡張した高次補間多項式を用いた新しい差分スキームを構築することが出来た。そのスキームは、非移流項の近似を高次多項式による中央差分スキーム、一方移流項の近似として高次多項式による風上差分スキーム

ムを採用したものである。この新しいスキームを用いて非圧縮性粘性流れ問題を解く場合には、従来のように流速と圧力との近似次数を変えると、いわゆるスタッガード格子を使用する必要性がない事がわかった。従って、流速ベクトルと圧力とを同じ次数による補間近似が出来、取り扱いが非常に容易になった。

### 3. 高次補間スキームの適用

新しく構築された高次補間差分スキームの適用性と有効性を検証するためには、これまでに蓄積されてきた各種の流れ問題の数値計算結果との比較を行うべく多くの数値シミュレーションを実行しなければならない。そこで、これまで主として、実用上重要な割に、CIP 法や IDO 法が殆ど適用されていない非圧縮性粘性流れ問題に焦点を合わせ数値シミュレーションを実行してきた。

まず始めに、そのような流れ問題の中でも最も基本的なキャビティ流れ問題に対して、レイノルズ数を 1000 - 10000 と置いたとき得られた数値計算結果を既存の結果との比較において本スキームの適用性と有効性を確かめることが出来た。

#### 4. ダクト内の翼ダンパーの空気力学的性能評価

空調・換気ダクト系の設計および運転時の風量調整を行うには、風量調整用ダンパーの性能を把握することが必要不可欠である。そのようなダンパーとして平行翼型と対向翼型が存在している。このような翼型ダンパーの空気力学的性能を評価するうえで、CFD に基づく数値実験が有効となってきた。そこで本研究では、翼型ダンパーを有するダクト内の乱流性状を把握することを目的とした CFD 解析を行った。それに対する数値計算手法として、任意形状への適用性に優れた有限要素法を用いた。既に高レイノルズ数流れ問題を対象として開発してきた“指数関数型 Petrov-Galerkin スキーム”を乱流解析における LES モデルに適用し、これまでに進めてきた層流解析結果および可視化実験結果との比較を通し、偏流の少ない点と風量調節性能から対向翼ダンパーの方が平行翼ダンパーより優れているという評価を与えることが出来た。また、対向翼ダンパーの抵抗係数算出およびダクト内部流れ場の再現性において、乱流解析結果の方が層流解析結果より有効である事を明らかにした。

この結果として、本研究のテーマである CFD 解析の実際における複雑な問題への適用性と有効性の一端が示されたものと考えられる。