

序 文

有限要素法による流れの解析は今日ではかなり普及した。しかしながら、高レイノルズ数の流れ、高レイリー数の熱対流、高磁気レイノルズ数の電磁流体などでは、まだまだ流れの安定化に対する工夫が必要である。シミュレーションのコード開発において重要なことは、コードが、単純性 (simple)、頑強性 (robust)、効率性 (efficient) の条件を満足することである。この条件を満足する非圧縮性流体解析スキームは、アメリカのロスアラモスで開発された HSMAC スキームである。しかしながら、このスキームは差分法であるため、複雑形状物体まわりの流れに対して必ずしも形状適合性に優れていない。

本書では、複雑形状と汎用性に優れた GSMAC 有限要素法について詳しく解説する。GSMAC 法は、差分法の SOLA コードのアルゴリズムを改良し有限要素法化したもので、generalized-simplified marker and cell 法の省略形である。GSMAC 法には次のような特長がある。

- 特長 1：圧力と速度の同時緩和法により、圧力のポアソン方程式を解くことなく局所化された反復法により圧力場が求まる。よって、連立一次方程式の解法を必要としない。
- 特長 2：サイクル誤差自己調整法の機能により、ソレノイダル性の条件をゆるめても高精度な解が得られる。
- 特長 3：セル平均と節点平均の組合せにより、行列方程式を解くことなく求解できる。これは双対格子の概念の応用である。
- 特長 4：係数行列を離散ナブラ演算子で解析的に表示している。その結果、数値積分をする必要がなく行列要素を非記憶化できる。よって、高速演算が可能である。
- 特長 5：質量集中化による誤差をデータの再構築法を用いて除去している。

現在、汎用的 (universal)、高精度 (accurate)、経済的 (economical) な高速計算技術の確立が望まれている。そして、単純性、頑強性、効率性の 3つの条件を平均的に満足する数値解析手法が、ここで述べる GSMAC 有限要素法

である。さらに、SIMPLE (semi-implicit method for pressure-linked equation) 法の有限要素法化である hybrid GSMAC 法, CIP (cubic interpolated pseudo-particle) 法の有限要素法化である GSMAC-CIP 法などについても, 基礎理論から応用にいたるまでその詳細を記した。したがって, 本書はこれらの内容について詳しく書かれた入門書であると同時に専門的解説書でもある。本書にまとめられた知識や経験は, 産業界の強い要求の結果であるのみならず, 最先端で活躍されている若い第一線の研究者に参考となることを期待している。

本書の内容は以下の 4 章よりなる。すなわち,

- | | |
|--------------------|-------------------|
| 第 1 章 流れの有限要素法と上流化 | 第 3 章 GSMAC 有限要素法 |
| 第 2 章 非圧縮性流体の基礎 | 第 4 章 GSMAC-CIP 法 |

である。第 1 章では, 有限要素法でどのように上流化が達成できるかを調べる。第 2 章では, 非圧縮性流体の運動方程式の特性を理論的に調べる。非圧縮性流体では質量保存則により速度の発散が 0 となる。このような場をソレノイダル場とよぶ。ソレノイダル場に存在する速度場の直交分解が数値解析のアルゴリズムを構築する基礎となる。第 3 章は, 上流化と直交分解と汎用化の概念を基礎として発展した GSMAC 有限要素法を詳述する。第 4 章は, 粒子法として発展した CIP 法の有限要素法化である。この手法は関数とその微係数を用いて補間関数を高精化することに特長がある。

本書は日本機械学会編『CFD の最前線』の「GSMAC 有限要素法」を詳しく補足するテキストである。この本は私の大学における研究成果をまとめたものであり, 編集するにあたって内外の多くの本や論文を参考にさせていただいた。また, 慶應義塾大学理工学部 of 柵橋研究室で計算流体力学を専攻した大学院学生・研究生・共同研究員の多くの研究成果が盛り込まれている。これらの諸君に心より謝意を表す。本書によって, 発展途上にある GSMAC 有限要素法による流れ解析の面白さと学問の深さを読者とともに少しでも共有できれば幸いである。また, 本書はいろいろな意味で未完成である。説明が不十分なところ, また筆者の思い違いのところも多々あるかもしれない。これはひとえに筆者の浅学のゆえであって, これらについては読者諸賢のご叱責を乞い, 改良してゆきたいと思っている。最後に, 本書の出版に種々のご配慮を賜った, 共立出版編集部 of 浦山毅氏をはじめ多くの方々 to 厚く御礼申し上げます。

2006 年 7 月

慶應義塾大学理工学部にて 柵橋 隆彦