

## 目次

<b>Part I 非圧縮流れの数値計算法</b>	<b>1</b>
<b>第1章 流れの数値シミュレーション</b>	<b>2</b>
1.1 はじめに	2
1.2 流れの数値シミュレーションの概要	3
1.3 流れの基礎方程式	5
1.3.1 保存則	5
1.3.2 基礎方程式の完結	7
1.3.3 発散型と勾配型	8
1.3.4 成分表示	10
1.3.5 偏微分方程式の性質	11
1.3.6 非圧縮流れの基礎方程式	11
1.4 流れの数値計算のための格子	13
1.5 離散化の方法	16
1.6 むすび	17
<b>第2章 移流拡散方程式の差分法</b>	<b>20</b>
2.1 はじめに — 良い差分と悪い差分 —	20
2.2 移流拡散方程式	21
2.3 空間差分近似法	22
2.3.1 テイラー展開法	23
2.3.2 多項式近似法	28
2.3.3 中間点での中心差分	30
2.3.4 差分式の整合性の検証	31
2.3.5 離散化誤差のふるまい	32
2.3.6 空間解像度	36

2.4 時間発展	39	3.8.3 流入・流出境界条件	99
2.4.1 1ステップ単段階法	40	3.8.4 遠方境界条件	103
2.4.2 1ステップ多段階法	41	3.8.5 初期条件	106
2.4.3 複数ステップ法	42	3.9 空間差分の高精度化	106
2.5 安定性解析	43	3.9.1 高次精度差分法	106
2.5.1 von Neumann 法	44	3.9.2 高次差分における対流項の整合性	107
2.5.2 拡散方程式の安定性	44	3.9.3 高次差分における境界条件	109
2.5.3 移流方程式の安定性	46	3.10 むすび	111
2.5.4 振幅誤差と位相誤差	48		
2.6 むすび	49	<b>第4章 一般座標系での流れの計算法</b>	<b>112</b>
<b>第3章 非圧縮流れの数値計算法</b>	<b>52</b>	4.1 はじめに	112
3.1 はじめに	52	4.2 基本変数の選択	113
3.2 非圧縮流れの時間進行法	52	4.3 強保存型の基礎方程式	115
3.3 MAC系解法の概要	54	4.3.1 強保存型	115
3.3.1 部分段階法	55	4.3.2 質量保存式	116
3.3.2 SMAC法	56	4.3.3 運動量保存式	116
3.3.3 速度と圧力の同時緩和法	57	4.4 基本変数と格子系の組み合わせ	118
3.3.4 時間発展の高精度化と安定化	58	4.5 コロケート格子による解法	122
3.4 圧力項の空間差分近似	59	4.6 圧力項の空間差分近似	126
3.4.1 圧力方程式	60	4.6.1 圧力勾配項	126
3.4.2 圧力方程式に対する反復法	64	4.6.2 圧力方程式	128
3.5 対流項の空間差分近似	71	4.6.3 圧力方程式に対する反復法	129
3.5.1 互換性と保存性	71	4.7 対流項の空間差分近似	130
3.5.2 不等間隔格子での離散化	78	4.7.1 互換性と保存性	130
3.5.3 上流化(風上化)	82	4.7.2 上流化	133
3.6 粘性項の空間差分近似	86	4.8 粘性項の空間差分近似	135
3.7 スタガード格子による解法のまとめ	89	4.9 境界条件	135
3.8 境界条件と初期条件	92	4.10 空間差分の高精度化	137
3.8.1 境界の設定	92	4.11 座標変換係数の計算	138
3.8.2 固体壁の境界条件	95	4.12 むすび	140

<b>Part II 乱流の数値シミュレーション</b>	<b>143</b>
<b>第5章 乱流の数値シミュレーション</b>	<b>144</b>
5.1 はじめに	144
5.2 乱流の直接シミュレーション	145
5.2.1 レイノルズ数	145
5.2.2 乱流の完全なシミュレーション	147
5.2.3 乱流の直接シミュレーション	149
5.2.4 不十分な格子解像度によるシミュレーション	149
5.3 乱流場の表現	155
5.3.1 乱流モデル	155
5.3.2 乱流の基礎方程式	156
5.3.3 モデリングの方法論	157
5.4 むすび	158
<b>第6章 レイノルズ平均流れの数値計算</b>	<b>160</b>
6.1 はじめに	160
6.2 レイノルズ平均方程式	160
6.2.1 レイノルズ平均	160
6.2.2 レイノルズ応力方程式	162
6.3 渦粘性モデル	163
6.3.1 0方程式モデル	165
6.3.2 2方程式モデル	166
6.3.3 $k-\varepsilon$ モデル	168
6.3.4 $k-\varepsilon$ モデルの壁領域における扱い	170
6.3.5 $k-\varepsilon$ モデルの数値計算法	174
6.3.6 $k-\varepsilon$ モデルの特徴と展開	175
6.4 応力方程式モデル	178
6.4.1 応力方程式モデルの基本形	178
6.4.2 応力方程式モデルの特徴	182
6.5 むすび	183

<b>第7章 ラージエディシミュレーション (LES)</b>	<b>185</b>
7.1 はじめに	185
7.2 LESの基礎方程式	186
7.2.1 フィルター	186
7.2.2 LESの基礎方程式	190
7.3 Smagorinskyモデル	192
7.3.1 SGS渦粘性モデル	192
7.3.2 Smagorinskyモデルの特徴	194
7.3.3 Smagorinskyモデルの壁領域における扱い	195
7.4 スケール相似則モデル	198
7.4.1 Bardinaモデル	198
7.4.2 混合モデル	199
7.5 ダイナミックモデルと構造関数モデル	201
7.5.1 ダイナミック渦粘性モデル	201
7.5.2 ダイナミックモデルの進展	204
7.5.3 構造関数モデル	207
7.6 LESの数値計算法	208
7.6.1 SGS渦粘性の数値計算	208
7.6.2 フィルターのかげ方	211
7.6.3 境界条件と初期条件	214
7.6.4 数値精度について	216
7.7 むすび	217

## Part III 付録 **219**

<b>付録A 一般座標系</b>	<b>220</b>
A.1 ベクトルとテンソルの微分	220
A.1.1 座標変換	220
A.1.2 ベクトルとテンソルの微分	226
A.2 速度の反変成分による基礎方程式	229

A.2.1	質量保存式	230
A.2.2	実質微分と対流項の型	230
A.2.3	運動量保存式	231
A.2.4	基礎方程式の物理成分表示	233
<b>付録 B</b>	<b>流れ場のフーリエ解析</b>	<b>234</b>
B.1	フーリエ解析	234
B.2	離散フーリエ変換へのFFTの利用法	238
B.3	波数空間での流れ場の表現	240
B.3.1	速度場のフーリエ解析	240
B.3.2	相関とスペクトル	242
	<b>参考文献</b>	<b>244</b>
	<b>索引</b>	<b>251</b>