

目次

第1章 計算機流体力学：序論	1
1.1 計算機流体力学の利点	1
1.2 代表的な実際の問題	7
1.2.1 複雑な形状, 簡単な物理条件	7
1.2.2 簡単な形状, やや複雑な物理条件	8
1.2.3 簡単な形状, 複雑な物理条件	8
1.3 方程式の構造	10
1.4 計算流体力学の概説	14
1.5 さらに読む資料について	15
第2章 偏微分方程式	17
2.1 背景	17
2.1.1 適切に提示された問題の性質	18
2.1.2 境界および初期条件	20
2.1.3 特性方程式による分類	21
2.1.4 方程式系	24
2.1.5 フーリエ解析による分類	28
2.2 双曲型偏微分方程式	30
2.2.1 特性方程式による解釈	30
2.2.2 物理的基準による解釈	31
2.2.3 適切な境界 (および初期) 条件	33
2.3 放物型偏微分方程式	35
2.3.1 特性曲線による解釈	36
2.3.2 物理的基準による解釈	36

2.3.3	適切な境界 (および初期) 条件	36
2.4	楕円型偏微分方程式	37
2.4.1	特性曲線による解釈	38
2.4.2	物理的基準による解釈	38
2.4.3	適切な境界条件	38
2.5	古典的解法	39
2.5.1	特性曲線法	39
2.5.2	変数分離法	41
2.5.3	グリーン関数法	43
2.6	結論	44
2.7	問題	45
第3章	初期の計算技法	49
3.1	離散化	50
3.1.1	導関数の離散代数方程式への書き換え	50
3.1.2	空間導関数	51
3.1.3	時間導関数	52
3.2	導関数の近似	53
3.2.1	テイラー級数展開	54
3.2.2	一般的技法	55
3.2.3	$[\partial \bar{T} / \partial x]_j^n$ の3点非対称公式	56
3.3	離散化過程の精度	57
3.3.1	高次の公式対低次の公式	60
3.4	波の式	63
3.4.1	格子の荒さの重要性	63
3.4.2	波の式の精度	64
3.4.3	高次公式の精度	65
3.5	有限差分法	66
3.5.1	実行方法についての概略	67
3.5.2	DIFF: 非定常熱伝導 (拡散) 問題	68
3.6	結論	71
3.7	問題	72
第4章	理論的な背景	75
4.1	収束	76

4.1.1	Lax の同値定理	77
4.1.2	数値的収束	77
4.2	整合性	79
4.2.1	FTCS 法	79
4.2.2	完全陰解法	80
4.3	安定性	82
4.3.1	行列法：FTCS 法	83
4.3.2	行列法：一般化 2 段階法	85
4.3.3	行列法：導関数境界条件	86
4.3.4	von Neumann 法：FTCS 法	88
4.3.5	von Neumann 法：一般化 2 段階法	90
4.4	解の精度	91
4.4.1	リチャードソン補外法	93
4.5	計算の効率	95
4.5.1	演算回数の推定	96
4.6	結論	97
4.7	問題	98
第 5 章 重み付き残差法		101
5.1	一般公式	102
5.1.1	常微分方程式への応用	104
5.2	有限体積法	109
5.2.1	1 階導関数のみの方程式	109
5.2.2	2 階導関数を含む方程式	111
5.2.3	FIVOL：ラプラス方程式に適用された有限体積法	114
5.3	有限要素法と補間	119
5.3.1	線形補間	120
5.3.2	2 次補間	123
5.3.3	2 次元補間	125
5.4	有限要素法とスツルム・リュービル方程式	130
5.4.1	詳細な公式	130
5.4.2	STURM：スツルム・リュービル方程式の計算	134
5.5	有限要素法のさらなる応用	139
5.5.1	拡散方程式	139

5.5.2	DUCT：長方形の溝における粘性流れ	141
5.5.3	歪んだ計算領域：アイソパラメトリック公式	149
5.6	スペクトル法	151
5.6.1	拡散方程式	151
5.6.2	ノイマン境界条件	154
5.6.3	擬スペクトル法	156
5.7	結論	161
5.8	問題	162
第6章	定常問題	169
6.1	非線形定常問題	170
6.1.1	ニュートン法	171
6.1.2	NEWTON：平面集光器の温度解析	173
6.1.3	NEWTBU：2次元定常バーガーズ方程式	177
6.1.4	準ニュートン法	184
6.2	線形系の直接解法	187
6.2.1	FACT/SOLVE：密な代数方程式系の解法	187
6.2.2	3重対角系：トーマスのアルゴリズム	190
6.2.3	BANFAC/BANSOL：狭帯幅ガウスの消去法	192
6.2.4	一般化トーマスのアルゴリズム	195
6.2.5	ブロック3重対角系	197
6.2.6	ポアソン問題の直接解法	198
6.3	反復法	200
6.3.1	一般的構造	201
6.3.2	溝流れの反復解法	203
6.3.3	強陰解法	208
6.3.4	加速技法	209
6.3.5	多重格子法	212
6.4	擬非定常法	218
6.4.1	2次元バーガーズ方程式	219
6.5	定常問題に関する戦略	221
6.6	結論	223
6.7	問題	223

第7章 1次元拡散方程式	227
7.1 陽解法	228
7.1.1 FTCS法	228
7.1.2 Richardson および DuFort-Frankel 法	230
7.1.3 3段階法	232
7.1.4 DIFEX：陽解法に関する計算結果	234
7.2 陰解法	239
7.2.1 完全陰解法	239
7.2.2 クランク・ニコルソン法	240
7.2.3 一般化3段階法	242
7.2.4 高次の解法	242
7.2.5 DIFIM：陰解法に関する計算結果	244
7.3 境界および初期条件	249
7.3.1 ノイマン境界条件	249
7.3.2 ノイマン境界条件を実現した場合の精度	251
7.3.3 初期条件	254
7.4 曲線法	254
7.5 結論	260
7.6 問題	260
第8章 多次元拡散方程式	263
8.1 2次元拡散方程式	263
8.1.1 陽解法	264
8.1.2 陰解法	265
8.2 多次元の分離法	266
8.2.1 ADI法	266
8.2.2 一般化2段階法	268
8.2.3 一般化3段階法	270
8.3 分離法と有限要素法	271
8.3.1 有限要素分離法の構成	272
8.3.2 TWDIF：一般化された有限差分/有限要素法による計算	274
8.4 ノイマン境界条件	282
8.4.1 有限差分による計算	282
8.4.2 有限要素による計算	284

8.5	分数段法	286
8.6	結論	288
8.7	問題	289
第9章	線形で対流が主な問題	291
9.1	1次元線形対流方程式	292
9.1.1	FTCS法	293
9.1.2	風上差分と CFL 条件	293
9.1.3	蛙飛びおよび Lax-Wendroff 法	296
9.1.4	クランク・ニコルソン法	297
9.1.5	切り取られた正弦波の線形対流	299
9.2	数値消散と分散	301
9.2.1	フーリエ解析	303
9.2.2	修正方程式による取り組み	305
9.2.3	さらなる議論	306
9.3	定常対流拡散方程式	308
9.3.1	セル・レイノルズ数の影響	309
9.3.2	高次の風上法	311
9.4	1次元輸送方程式	314
9.4.1	陽解法	314
9.4.2	陰解法	318
9.4.3	TRAN: 温度前面での対流	319
9.5	2次元輸送方程式	330
9.5.1	分離公式	331
9.5.2	THERM: 熱流入問題	333
9.5.3	流れを横切る方向の拡散	341
9.6	結論	342
9.7	問題	343
第10章	非線形で対流が主な問題	347
10.1	1次元バーガーズ方程式	348
10.1.1	物理的振舞い	348
10.1.2	陽解法	350
10.1.3	陰解法	353
10.1.4	BURG: 数値による比較	355

10.1.5 非一様格子	365
10.2 方程式系	369
10.3 群有限要素法	371
10.3.1 1次元群公式	372
10.3.2 多次元群公式	373
10.4 2次元バーガーズ方程式	376
10.4.1 厳密解	377
10.4.2 分離法	378
10.4.3 TWBURG：数値解法	380
10.4.4 結論	388
10.5 問題	389
付 録	391
付録.1 基本演算の実行時間の実験的手法による決定	391
付録.2 質量および差分作用素	392
参考文献	397
索 引	405