

目 次

はじめに 1

第 I 編 流体の動力学

第 1 章 流れの基礎方程式 6

- 1.1 連続体近似 6
- 1.2 連続の式 7
- 1.3 速度勾配テンソル 8
- 1.4 ビオ-サヴァールの関係式 9
- 1.5 運動方程式 10
- 1.6 圧力方程式 12
- 1.7 渦度方程式 13
- 1.8 変形速度テンソル方程式 16
- 1.9 ヘリシティ方程式 17
- 1.10 レイノルズ数 18
- 1.11 運動方程式の不変性 19
- 1.12 非粘性保存量 21
- 1.13 2次元の渦運動 22

第 2 章 変動の方程式 26

- 2.1 平均操作 26
- 2.2 レイノルズ分解 27
- 2.3 エネルギー方程式 28
- 2.4 平行平板間流 30

第 3 章 乱流の発生 32

- 3.1 レイノルズの実験 32
- 3.2 流れの線形安定性 33

- 3.3 攪乱の非線形発展 38
- 3.4 流れの複雑化とカオス 45

第 II 編 乱流の統計力学

- 第 4 章 一様乱流 62
 - 4.1 平均流 62
 - 4.2 エネルギー式 65
 - 4.3 フーリエ解析 67
 - 4.4 ラグランジュ速度 70
 - 4.5 速度相関テンソル 72
 - 4.6 エネルギースペクトル 76
 - 4.7 乱流の特性長 81
 - 4.8 相関関数方程式 84
 - 4.9 速度構造テンソル 88
 - 4.10 エネルギースペクトル方程式 90
- 第 5 章 乱流の統計的性質 93
 - 5.1 小規模運動の普遍性 93
 - 5.2 コルモゴロフ理論 96
 - 5.3 流れ場の正規性 104
 - 5.4 乱流強度の間欠性 110
 - 5.5 対数正規分布理論 115
 - 5.6 対数安定分布理論 117
 - 5.7 ベータモデル 122
 - 5.8 マルチフラクタルモデル 126
 - 5.9 大規模運動の不変性 131
 - 5.10 乱流場の不安定性 133
- 第 6 章 乱流の統計理論 137
 - 6.1 方程式の無限の連鎖 137
 - 6.2 完結理論 138
 - 6.3 直接相互作用分解 142
 - 6.4 ラグランジュ直接相互作用近似 148

- 6.5 定常乱流 152
- 6.6 エネルギー伝達の局所性 157
- 6.7 減衰乱流 159
- 第 7 章 剪断乱流の平均特性 164
 - 7.1 単純剪断乱流 165
 - 7.2 2次元自由剪断乱流 171
 - 7.3 2次元平行混合層乱流 174
 - 7.4 2次元非平行定常混合層乱流 176
 - 7.5 2次元噴流乱流 178
 - 7.6 2次元後流乱流 179
 - 7.7 軸対称自由剪断乱流 183
 - 7.8 軸対称噴流乱流 184
 - 7.9 軸対称後流乱流 187
 - 7.10 自由剪断乱流の相似則 189
 - 7.11 平行平板間乱流 190
 - 7.12 境界層乱流 201
- 第 8 章 乱流輸送 214
 - 8.1 流体要素の伸張 214
 - 8.2 1粒子拡散 218
 - 8.3 相対拡散 223
 - 8.4 濃度拡散 224

第 III 編 渦構造の力学

- 第 9 章 渦構造とその表現 232
 - 9.1 乱流の渦構造 232
 - 9.2 渦構造の表現 233
 - 9.3 渦管と渦層の可視化 235
 - 9.4 低圧力渦の抽出 239
- 第 10 章 渦力学 241
 - 10.1 渦構造の形成 241
 - 10.2 ケルビン-ヘルムホルツ不安定性 243

10.3	バーガース渦層の安定性	250
10.4	細い渦管の運動	255
10.5	2次元直線渦列	260
10.6	2次元定常渦分布	266
10.7	スチュアート渦列の安定性	269
第 11 章	一様乱流の渦構造	272
11.1	一様等方乱流	272
11.2	単純剪断乱流	278
11.3	渦線の巻き込み	283
11.4	垂直渦度の消滅と渦線の取り込み	285
第 12 章	非一様乱流の渦構造	291
12.1	混合層乱流の渦構造	291
12.2	縦渦構造の形成機構	298
12.3	2次元後流の渦構造	300
12.4	壁乱流の渦構造	306
12.5	壁乱流の渦力学	311

第 IV 編 乱流の計算法

第 13 章	乱流の計算と渦粘性	318
13.1	乱流モデルの必要性	318
13.2	渦粘性モデル	320
13.3	ヴァン・ドリーストの減衰関数	322
13.4	統計理論から見た渦粘性	325
第 14 章	ラージエディシミュレーション	330
14.1	平滑操作	330
14.2	スマゴリンスキーモデル	334
14.3	動的渦粘性モデル	336
14.4	平滑応力の分割	342
第 15 章	レイノルズ平均モデル	346
15.1	レイノルズ平均モデルの基礎方程式	346
15.2	変動流エネルギー散逸率方程式	349

15.3	レイノルズ応力方程式	350
15.4	固体壁の影響	353
15.5	$K-\epsilon$ モデル	356
15.6	レイノルズ応力モデル	364
15.7	実現条件	373
第 16 章	直接数値シミュレーション	378
16.1	差分法の精度と安定性	378
16.2	スペクトル法の精度	386
16.3	畳み込み和とアライアス誤差	390
16.4	スペクトル法の応用 (周期流)	398
16.5	スペクトル法の応用 (一様剪断乱流)	399
16.6	スペクトル法の応用 (平行平板間流)	404

むすび 407

付 録 411

1.	円柱座標系における運動方程式	411
2.	エディントンのイプシロン	412
3.	フルネー-セレーの公式	413
4.	確率場の相関テンソル	413
5.	速度勾配モーメントの等方形	413
6.	エネルギーの詳細釣り合い	415
7.	モーメントとキュムラント	416
8.	エネルギー方程式の導出	417
9.	フラクタル次元	419
10.	高速フーリエ変換 (FFT)	421
11.	チェビシェフ多項式	423

引用文献 425

索 引 443