目　次

1 乱流場の数学的記述 **1**

1.1 乱流の特徴 1
1.2 基礎方程式 3
1.3 平均 5
1.4 一様乱流 7
1.5 速度相関テンソル 8
1.6 一様等方性乱流における速度相関テンソル 9
1.7 Kármán-Howarth の式 16
1.8 速度場のフーリエ解析 18
1.9 エネルギー方程式 22
1.10 エネルギー詳細保存 25
1.11 波数空間でのエネルギー輸送 27

2 乱流の現象論 **32**

2.1 Kolmogorov の理論 32
2.2 Kolmogorov の 4/5 法則 40
2.3 間欠性 42
2.4 ϵ のゆらぎ 46
2.5 Kolmogorov 1962 48
2.6 カスケードモデル 56
2.7 乱流の直接数値シミュレーション 63
2.8 シェルモデル 67

3 乱流の準正規理論 **70**

3.1 統計力学との対比 70
3.2 準正規理論 78
3.3 準正規理論の特徴 84
3.4 修正 0—4 次キュムラント近似 89

4 直接相互作用近似 **91**

4.1 直接相互作用 91
4.2 DIA 方程式 95
4.3 DIA のモデルによる検証 98
4.4 DIA の特徴 106
4.5 数値計算との比較 113

5 Lagrange 的くりこみ近似 **116**

5.1 Lagrange 的統計理論 116
5.2 代表変数 117
5.3 Lagrange 的くりこみ近似 119
5.4 波数間の相互作用 127
5.5 非局所的相互作用 128
5.6 慣性領域 133
5.7 LRA の特徴 140
5.8 数値計算および実験との比較 146
5.9 スペクトル理論の光と影 150

6 くりこみ群 **157**

6.1 くりこみ群と乱流 157
6.2 くりこみ群 160
6.3 くりこみ群の結果の物理的解釈 175
6.4 Yakhot & Orszag の理論 177
6.5 乱流におけるくりこみ群の困難 180

7 乱流の間欠性 **182**

7.1 乱流における間欠性 182
7.2 分布関数の写像完結近似 186
7.3 近似の性質 192
7.4 Burgers 乱流 193
7.5 Navier-Stokes 乱流における 1 点分布関数 201
7.6 Navier-Stokes 乱流における 2 点統計 204

付 録 **207**

A. 中心極限定理 207
B. Markov 過程 210
C. Gauss 過程 212
D. 式の導出 215
E. 幾何学因子の展開 219

引用文献 **220**

索 引 **230**