

# 内容目次

## I 数理物理学

### [1] 力学 (江沢 洋) 1

1. ニュートンの形式	1
1-1 運動の法則	1
1-2 作用・反作用の法則	1
1-3 相対運動	2
1-4 剛体	2
1-5 保存則	3
1-6 相対論的力学	3
2. ラグランジュ形式	4
2-1 変分原理	4
2-2 座標系選択の自由性	4
2-3 電磁場における荷電粒子の運動	5
2-4 ラグランジアン任意性	5
2-5 ネーターの定理	5
2-6 拘束された運動	6
2-7 剛体の回転	7
3. ハミルトン形式	7
3-1 ハミルトンの運動方程式	7
3-2 正準変換	8
3-3 ポアソン括弧	8
3-4 正準方程式の形を変えない変換	9
3-5 保存則	9
3-6 包含系をなす保存量	9
3-7 ハミルトン-ヤコビの方程式	10
3-8 作用変数と角変数	11

### [2] 天体力学 (堀 源一郎) 12

1. 太陽系の諸天体の運動	12
1-1 惑星の運動	12
1-2 衛星の運動	12
2. 2体問題	13
2-1 運動の積分	13
2-2 相対運動	13
2-3 ケプラー運動	13
3. 摂動論	14
3-1 要素と摂動	14
3-2 正準変換による摂動論	14
3-3 ケプラー要素の摂動	14

4. 3体問題	15
4-1 運動の積分	15
4-2 ヤコビ座標	15
4-3 特別解	16
4-4 制限3体問題	16
4-5 数値的研究	16

### [3] ソリトン (戸田盛和) 17

1. 有限振幅の浅水波	17
2. ソリトンの発見	18
3. 多ソリトン解	19
3-1 逆散乱法	19
3-2 多ソリトン解	19
4. 他のソリトンの例	20
4-1 2次元KdV方程式	20
4-2 内部重力波	20
4-3 サイン・ゴールドン方程式	20
4-4 変形されたKdV方程式	21
4-5 非線形シュレーディンガー方程式	21
5. 非線形格子	21
5-1 指数格子(戸田格子)	21
5-2 格子ソリトン	21
5-3 多ソリトン解	22
5-4 積分可能系	22
6. ラックス形式	22

### [4] 電磁気学 (江沢 洋) 23

1. 電磁場の基本法則	23
1-1 電荷	24
1-2 電場と磁束密度の場	24
1-3 電荷密度と電流密度	24
1-4 マクスウェル方程式	25
1-5 場のエネルギー	25
1-6 場の運動量	25
1-7 因果律	26
1-8 電磁ポテンシャル	26
1-9 方程式のデカップリング	27
1-10 境界条件	27
2. 静電場と静磁場	28
2-1 グリーンの公式	28
2-2 静電場の決定条件	28
2-3 定常電流による磁場	29
3. 輻射	29
3-1 遅延ポテンシャル	29

## 内容目次

3-2 電磁放射	48	5-2 遠距離型ポテンシャル	53
3-3 走る点電荷の場	48	5-3 多体問題	53
<b>[5] 相対性理論</b> (江沢 洋)	31	5-4 終わりに	54
1. ローレンツ変換	31	<b>[8] 対称性と物理学</b> (大貫義郎)	54
1-1 ブースト	31	1. 対称性とは	55
1-2 ローレンツ変換	34	1-1 変換と対称性	55
2. 電磁気学	35	1-2 群	55
2-1 場の変換	35	2. 古典力学における対称性	55
2-2 電流の4元ベクトル	35	3. 量子力学における対称性	56
2-3 ベクトル・ポテンシャルと電磁場	36	3-1 群の表現	56
2-4 マクスウェル方程式	37	3-2 ポアンカレ群	57
2-5 ローレンツの力	37	3-3 ハミルトニアンに対称性	57
3. 相対論的力学	37	4. 場の量子論における対称性	58
3-1 運動方程式	37	4-1 内部自由度	58
3-2 質量すなわちエネルギー	38	4-2 対称性の自発的破れ	58
3-3 近接作用と場	38	<b>[9] 経路積分</b> (江沢 洋)	59
3-4 一般相対性理論へ	39	1. 歴史	59
<b>[6] 量子力学</b> (江沢 洋)	39	2. ファインマン-カツの公式	61
1. 状態ベクトル	39	2-1 導き方	61
2. 観測量	40	2-2 自由粒子の場合	61
2-1 演算子	40	2-3 ウィーナー測度	61
2-2 座標と運動量	40	2-4 変数変換	62
2-3 他の力学量	42	2-5 磁場のある場合	62
2-4 スペクトル	42	2-6 量子統計力学への応用	63
2-5 運動方程式	43	2-7 その他の応用	64
3. 観測と状態の変化	43	3. ファインマンの経路積分	64
3-1 確率	43	3-1 定義	64
3-2 不確定性関係	44	3-2 合理化	64
3-3 状態の用意	45	3-3 計算法	65
4. 時間発展	45	3-4 曲線座標表示の問題	65
4-1 2つの描像	45	3-5 位相空間における経路積分	66
4-2 シュレーディンガー方程式	45	3-6 ワイル表示	66
4-3 定常状態	45	3-7 停留位相の方法	67
4-4 遷移確率	45	3-8 複素時間	68
<b>[7] 散乱理論</b> (黒田成俊)	48	3-9 有界な空間における運動	68
1. 数学的散乱理論	48	4. 相対論的量子力学	69
1-1 散乱現象	48	4-1 粒子の量子力学の場合	69
1-2 量子力学の散乱理論	48	4-2 場の量子論の場合	69
2. 定常的方法と固有関数展開	49	<b>[10] 場の量子論</b> (中西 襄)	71
2-1 ポテンシャル散乱における散乱解	49	1. 正準形式の場の量子論	71
2-2 散乱解の完全性(固有関数展開)	49	1-1 量子場と状態ベクトル	71
2-3 散乱作用素	49	1-2 ポアンカレ群とその表現	71
3. 時間を含む方法	50	1-3 ラグランジアン密度と場の方程式	72
3-1 波動作用素	50	1-4 正準量子化	72
3-2 散乱作用素	51	1-5 漸近場とS行列	73
3-3 ポテンシャル散乱における散乱作用素	51	1-6 ティラック場	73
4. 抽象的定常論	51	2. ゲージ理論	74
4-1 波動作用素の定常的表現	51	2-1 ゲージ不変性と電磁場	74
4-2 抽象的定常論の構成	52	2-2 電磁場の量子論	74
5. 近年の進展・その他の話題	53	2-3 非可換ゲージ理論	75
5-1 エンスの方法	53	2-4 BRS変換	76
		2-5 非可換ゲージ場の量子化	76

# 内容目次

2-6	ヒッグス機構	76	1-2	エルゴード理論	100
3.	摂動論	77	1-3	統計分布	101
3-1	相互作用描像	77	1-4	熱力学的極限	101
3-2	ファインマン図形	77	1-5	状態とエントロピー	102
3-3	ファインマン積分	78	1-6	格子スピン系	102
3-4	紫外発散	79	2.	量子統計力学	103
3-5	くりこみ理論	79	2-1	観測量と状態	103
[11]	構成的場の量子論 (新井朝雄)	80	2-2	$C^*$ 力学系	104
1.	場の量子論の公理系	80	2-3	平衡状態	105
1-1	ゴールドイング-ワイトマンの公理系	80	2-4	変分原理	106
1-2	ワイトマンの公理系	81	2-5	ボース統計とフェルミ統計	107
1-3	オステルヴァルダ-シュラーダーの公理系	81	[15]	スピン系 (黒田耕嗣)	107
1-4	その他の公理系	82	1.	ギブズ場とは	107
2.	構成の方法と成果	82	1-1	平衡状態の定義	107
2-1	格子モデルからの極限	83	1-2	端点表現	108
2-2	$\phi^4$ 理論の自明性	84	2.	強磁性2体ポテンシャル	108
3.	今後の課題	84	2-1	ギブズ場の構造とギブズ自由エネルギー	108
3-1	摂動論による方法	85	2-2	李政道と楊振寧の定理	108
3-2	解析接続による方法	85	3.	外部磁場をもたない強磁性イジング模型	109
3-3	その他	85	3-1	コントゥアーによる表現	109
[12]	場の理論と微分幾何学 (江口 徹)	86	3-2	相転移の存在証明	109
1.	ゲージ理論の幾何学的構造	86	3-3	イジング模型の構造決定	110
1-1	磁気単極子	86	4.	ポリマー展開とその応用	110
1-2	インスタントン	87	4-1	ポリマー展開(代数的方法)について	110
1-3	特性類	87	4-2	ポリマー展開の相関関数への応用	111
1-4	カイラル・アノマリー	88	4-3	相分離について	111
1-5	フェルミオンの行列式	88	[16]	極低温物理 (長岡洋介)	112
1-6	アノマリー汎関数	89	1.	なぜ低温か	112
1-7	ヴェス-ズミノ項	89	1-1	高温と低温	112
2.	非線形 $\sigma$ 模型	89	1-2	エントロピー	112
2-1	ウィッテン指数	90	1-3	秩序状態	112
2-2	アティヤ-シンガーの指数定理	90	1-4	極低温現象	112
2-3	拡張された超対称性	91	2.	超流動と超伝導	113
[13]	弦の理論 (米谷民明)	91	2-1	液体ヘリウム	113
1.	統一場理論の困難と弦理論	91	2-2	超流動	113
2.	弦理論とはどういうものか	92	2-3	超伝導	113
3.	粒子の経路積分から弦の経路積分へ	92	2-4	マイスナー効果	113
3-1	粒子の経路積分	92	2-5	臨界磁場	113
3-2	弦の作用原理と経路積分	94	3.	量子統計	114
4.	共形アノマリーと臨界時空次元	94	3-1	粒子数表示	114
5.	振幅の構造——モジュライ空間	95	3-2	フェルミ粒子とボース粒子	114
6.	共形不変性の物理的帰結	96	3-3	フェルミ粒子の分布	114
6-1	弦理論の長距離構造と場の理論	96	3-4	ボース粒子の分布	114
6-2	弦理論における質量0粒子	97	3-5	量子的な秩序状態	114
6-3	弦理論の短距離構造と有限性	98	4.	超流動の理論	115
7.	研究の現状と課題	99	4-1	超流動とボース-アインシュタイン凝縮	115
[14]	統計力学 (荒木不二洋)	100	4-2	基底状態の波動関数	115
1.	古典統計力学	100	4-3	液体ヘリウムの流れ	115
1-1	統計力学の目標	100	4-4	渦の量子化と超流動	115
			5.	超伝導の理論	116

# 内容目次

5-1 電子対のボース-アインシュタイン凝縮 .....	116	2. アンダーソン局在.....	135
5-2 ロンドン方程式.....	116	2-1 臨界現象とアンダーソン局在.....	136
5-3 マイスナー効果.....	116	2-2 くりこみ群の応用.....	136
5-4 磁束の量子化と超伝導.....	116	2-3 スケーリング理論.....	137
5-5 電子間引力と電子対の形成.....	117	2-4 非線形 $\sigma$ 模型の応用.....	137
5-6 高温超伝導の発見.....	117	2-5 空間時間反転対称性.....	138
5-7 新しい超流動.....	117	3. スピングラス.....	138
[17] 相転移.....(鈴木増雄)	118	3-1 ランダムスピン.....	138
1. はじめに.....	118	3-2 レプリカ法.....	138
2. 相転移と確率分布.....	118	[20] 非可逆過程論.....(富田和久)	139
2-1 相転移の数学モデル.....	118	1. 非可逆ということ.....	139
2-2 イジング模型.....	118	1-1 歴史的背景——記述の3つの段階.....	139
3. 相転移と対称性.....	119	1-2 分子カオスと2つの表示法.....	140
3-1 相転移とイジング模型.....	119	1-3 観測の問題.....	141
3-2 平均場近似.....	119	2. 現象論的な記述.....	141
3-3 対称性の自発的破れのメカニズム.....	120	2-1 線形現象論.....	141
4. 相転移と自己相似性.....	120	2-2 変分原理.....	141
4-1 状態方程式のスケーリング.....	120	2-3 相反関係の証明とゆらぎ.....	142
4-2 臨界現象の自己相似性.....	121	3. 確率過程論的な記述.....	142
5. くりこみ群の理論とその応用.....	121	3-1 分布関数の方法.....	142
5-1 臨界現象とくりこみ.....	121	3-2 確率微分方程式の方法.....	143
5-2 確率分布のくりこみ.....	121	3-3 確率過程論的記述の問題点.....	146
5-3 くりこみ理論の応用.....	122	4. 線形応答理論——統計力学的な記述 .....	146
6. ゆらぎに対する新しい近似法.....	122	4-1 理論の定式化——正準相関.....	146
6-1 平均場近似の拡張.....	122	4-2 種々の相関関数の相互関係.....	147
6-2 コヒーレント異常法.....	123	5. その他の問題.....	148
6-3 今後の課題.....	123	[21] 散逸構造.....(相澤洋二)	149
[18] くりこみ群.....	124	1. 散逸構造の熱力学.....	149
1. くりこみ群とは.....(原 隆)	124	1-1 熱力学と秩序.....	149
1-1 無限大とくりこみ.....(高安秀樹)	124	1-2 流れと力の関係.....	149
1-2 スケール変換とくりこみ群.....	125	1-3 熱力学から力学へ.....	149
1-3 パーコレーションにおける実空間くりこみ .....	125	2. 散逸構造の秩序.....	149
2. ブロックスピン変換.....(原 隆)	127	2-1 時間的秩序.....	149
2-1 対象とその基本的性質.....	127	2-2 空間的秩序.....	150
2-2 ブロックスピン変換の定義.....	128	2-3 機能的秩序.....	150
2-3 有効理論としての有効ハミルトニアン.....	128	2-4 統計的秩序.....	150
2-4 ブロックスピン変換の効用.....	129	3. 散逸構造の例.....	150
3. くりこみ群の実際.....	129	3-1 化学反応.....	150
3-1 $(\phi^4)_L$ に対するブロックスピン変換.....	129	3-2 流体運動.....	150
3-2 ブロックスピン変換の一般論.....	129	3-3 興奮性生体膜.....	152
3-3 統計物理学における応用例.....	130	3-4 パターン成長.....	152
3-4 構成的場の理論における応用.....	131	4. 散逸構造の階層性.....	153
3-5 場の理論の構成に関する一般論.....	132	[22] カオス.....(相澤洋二)	154
4. 厳密な取り扱いの試み.....	133	1. 力学系のカオス.....	154
5. 場の量子論におけるくりこみ群.....	133	1-1 力学系.....	154
[19] ランダム系の物理.....(氷上 忍)	134	1-2 カオスの発見.....	155
1. ランダム鎖.....	134	1-3 カオスの発生機構.....	156
1-1 1次元振動.....	134	2. エルゴード論的概念.....	156
1-2 波動関数.....	135	2-1 エルゴード仮説.....	156
		2-2 測度可選性.....	156

2-3 混合性 ..... 156

2-4 力学系のエントロピー ..... 156

2-5 コルモゴロフ系 ..... 157

2-6 アノソフ系 ..... 157

2-7 リャプノフ指数 ..... 157

3. 保存系のカオス ..... 157

3-1 ポアンカレの定理 ..... 157

3-2 KAMの定理 ..... 158

3-3 ホモクリニック点の形成とカオス ..... 158

3-4 アーノルド拡散とネコロシェフの定理 ..... 159

3-5 自己相似構造と  $\omega^{-1}$  ゆらぎ ..... 159

4. 散逸系のカオス ..... 159

4-1 ストレンジ・アトラクター ..... 159

4-2 アトラクターの次元 ..... 159

4-3 次元のゆらぎ ..... 160

4-4 リャプノフ指数のゆらぎ ..... 160

4-5 カオスにいたる道筋 ..... 160

5. カオスの普遍則 ..... 160

5-1 ファイゲンバウム定数 ..... 160

5-2 窓構造 ..... 161

5-3 トーラスの周期倍分岐 ..... 161

5-4 トーラスの崩壊と軌道の拡散 ..... 161

2-2 230の空間群 ..... 175

2-3 簡単な結晶の構造と対称性 ..... 177

3. 原子分子の量子力学 ..... (中村宏樹) 179

3-1 シュレーディンガー方程式 ..... 179

3-2 摂動論 ..... 180

3-3 変分法 ..... 182

3-4 漸近解法 ..... 183

3-5 分子軌道法 ..... 184

4. 高分子の統計力学 ..... (中條利一郎) 186

4-1 高分子鎖の立体配座 ..... 186

4-2 高分子鎖の立体配置 ..... 187

4-3 低分子有機化合物との異同 ..... 188

5. DNA と遺伝子 ..... 188

5-1 タンパク質とDNA ..... 188

5-2 DNAの遺伝情報 ..... 189

5-3 紫外線損傷と進化 ..... 191

[3] 化学熱力学 ..... (妹尾 学) 192

1. 熱力学の数学的体系 ..... 192

1-1 熱力学の原理 ..... 192

1-2 熱力学基本方程式 ..... 194

1-3 熱力学関係式 ..... 195

2. 統計熱力学 ..... 196

2-1 統計集団 ..... 196

2-2 正準集団 ..... 197

2-3 熱力学関数との関係 ..... 197

3. 化学反応の速度解析 ..... 198

3-1 反応機構 ..... 198

3-2 ポテンシャル・エネルギー曲面 ..... 198

3-3 衝突理論 ..... 199

3-4 活性錯合体理論 ..... 199

[4] 情報化学 ..... 200

1. 分子グラフの特性化 ..... (細矢治夫) 200

1-1 分子グラフと異性体 ..... 200

1-2 グラフの表現 ..... 200

1-3 特性多項式と距離多項式 ..... 200

1-4 トポロジカル・インデックス ..... 202

1-5 マッチング多項式と直交多項式 ..... 203

1-6 構造活性相関 ..... 204

2. 分子グラフの数え上げ ..... 204

2-1 ポリアの環指標と数え上げ多項式 ..... 204

2-2 飽和炭化水素の異性体の数え上げ ..... 206

2-3 縮合多環化合物の数え上げ ..... 207

2-4 ケクレ構造式と完全マッチング ..... 208

3. 分子グラフの認識 ..... (内野正弘) 210

3-1 点番号づけと分子グラフの認識 ..... 210

3-2 対称性とコセット分割 ..... 211

3-3 軌道グラフと化学グラフの表現 ..... 212

3-4 化学グラフの点に関する不変数 ..... 213

3-5 適合度による点の番号づけ ..... 213

3-6 正準符号 ..... 214

3-7 計算結果と処理時間 ..... 215

4. 分子グラフの検索 ..... 216

囲み記事

テンソル ..... (江沢 洋) 32

数学と物理学との関連 ..... (一松 信) 162

II 数理化学

[1] 概 説 ..... (細矢治夫) 165

1. 数理化学の雑誌 ..... 165

2. 化学の中における数学 ..... 165

3. 数理化学とは何か ..... 166

[2] 構造化学 ..... 168

1. 分子の構造と対称性 ..... (中崎昌雄) 168

1-1 対称性と物の部分 ..... 168

1-2 右と左とキラリティー ..... 168

1-3 対称要素と対称操作 ..... 168

1-4 回転軸と回転操作 ..... 168

1-5 回映軸と回映操作 ..... 169

1-6 キラル, アキラルの判定 ..... 171

1-7 対称操作のつくる群, 点群 ..... 171

1-8 点群の種類 ..... 172

1-9 多面体点群と結晶族点群 ..... 173

1-10 点群の分類 ..... 174

2. 結晶の構造と対称性 ..... (大橋裕二) 174

2-1 並進群とその表現 ..... 174

III 数理生物学

[1] 概 説……………(三村昌泰) 219

[2] 個体群生態学 ……………(巖佐 庸) 220

1. 個体数の動態 …………… 220

1-1 1 種系モデル …………… 220

1-2 種間競争のモデル …………… 220

1-3 捕食者-餌モデル …………… 221

1-4 疫学(伝染病学)モデル …………… 221

1-5 差分方程式系 …………… 221

2. 構造の入った個体群モデル …………… 222

2-1 年齢構造・サイズ組成の動力学 …………… 222

2-2 空間分布のあるシステム …………… 222

2-3 時間的に変動する環境における個体群 …………… 222

2-4 生物分布の集中度 …………… 222

3. 種の多様性 …………… 223

3-1 ニッチモデル …………… 223

3-2 資源競争系モデル …………… 223

3-3 ロッタリーモデル …………… 223

3-4 島の平衡種数モデル …………… 223

4. 生物群集と生態系の構造 …………… 224

4-1 エネルギーと物質の流れ …………… 224

4-2 システム生態学 …………… 224

4-3 ランダムに生成した群集の構造 …………… 224

4-4 共 進 化 …………… 224

5. 進化生態学・社会生物学 …………… 224

5-1 最適採餌行動 …………… 224

5-2 生活史戦略 …………… 225

5-3 性比のゲーム …………… 225

5-4 タカ・ハトゲーム …………… 226

5-5 利他行動の進化 …………… 227

[3] 集団遺伝学 ……………(高畑尚之) 228

1. 生物進化の機構 …………… 228

1-1 交配様式と遺伝子型頻度 …………… 229

1-2 自然 選 択 …………… 229

1-3 突 然 変 異 …………… 229

1-4 遺伝的組換え …………… 230

1-5 集団の地理的構造と移住 …………… 230

1-6 遺伝的浮動 …………… 231

1-7 その他の要因 …………… 231

2. 分子進化の数理理論 …………… 231

2-1 中立説の数理理論 …………… 231

2-2 系図過程の理論 …………… 232

[4] 時間生物学 ……………(川人光男) 235

1. 生物リズム …………… 235

1-1 生化学反応のリズム …………… 235

1-2 神経回路のリズム …………… 235

1-3 興奮膜のリズム …………… 236

1-4 心臓のリズム …………… 236

1-5 概日リズム …………… 237

2. リミットサイクル振動子 …………… 237

3. 位相反応曲線 …………… 238

3-1 位相反応曲線の定義 …………… 238

3-2 位相反応曲線による同調の解析 …………… 239

3-3 位相反応曲線のトポジカルな性質 …………… 239

3-4 過渡的な位相反応曲線とペースメーカー  
の構造 …………… 240

4. 概日リズムの複数振動子モデル………… 241

4-1 リズム分割と相互作用する 2 振動子モ  
デル …………… 241

4-2 定量的 2 振動子モデルと光周性反応 …………… 242

4-3 ヒトの概日リズム …………… 242

[5] 神経生理学 ……………(柳田英二) 244

1. 神経細胞の興奮と伝導 …………… 245

1-1 神経細胞の興奮と伝導のメカニズム …………… 245

1-2 ホジキン-ハクスレーのモデル …………… 245

1-3 フィッツヒュー-南雲のモデル …………… 246

1-4 興奮伝導のモデル …………… 246

2. 神経細胞による情報処理 …………… 247

2-1 神経細胞の入出力特性 …………… 247

2-2 離散時間モデル …………… 247

2-3 連続時間モデル …………… 247

2-4 神経回路網 …………… 248

3. 視 覚 系 …………… 248

3-1 視覚系の構造と機能 …………… 248

3-2 側抑制のモデル …………… 248

3-3 大脳視覚領における情報処理 …………… 249

4. 脳の高次の情報処理 …………… 249

4-1 脳における情報の処理 …………… 249

4-2 教師あり学習のモデル …………… 249

4-3 教師なし学習のモデル …………… 251

4-4 連想記憶のモデル …………… 252

[6] 形態形成 ……………(小淵洋一) 254

1. 位置情報説 …………… 254

1-1 フランス国旗問題 …………… 254

1-2 極座標モデル …………… 255

1-3 位置情報の形成 …………… 256

2. 反応-拡散によるパターン形成 …………… 257

2-1 チューリングモデルと拡散不安定性 …………… 257

2-2 2 因子-3 分子反応 …………… 258

2-3 ギーラー-マインハルトモデル …………… 259

3. L システム理論 …………… 259

3-1 藻の生長の表現 …………… 259

3-2 L システムの定義 …………… 260

3-3 生長関数 …………… 260

4. 細胞集団のパターン形成 …………… 261

4-1 細胞接着モデル …………… 261

4-2 細胞の幾何学モデル …………… 262





3-2 帰納的関数 ..... 335

3-3 アルゴリズムと帰納的関数 ..... 335

3-4 帰納的な述語と帰納的可算な述語 ..... 336

3-5 万能プログラム ..... 336

3-6 標準形定理 ..... 336

4. 決定可能性 ..... 337

4-1 決定問題 ..... 337

4-2 数学における決定問題 ..... 337

4-3 形式的体系の決定可能性 ..... 338

**[5] オートマトンと数理言語の理論**  
..... (小林孝次郎) 339

1. オートマトン理論 ..... 339

1-1 オートマトン ..... 339

1-2 有限オートマトン ..... 339

1-3 正規集合 ..... 339

1-4 非決定性有限オートマトン ..... 340

1-5 プッシュダウン・オートマトン ..... 340

2. オートマトンと数理言語 ..... 341

2-1 語の構造 ..... 341

2-2 文脈自由文法 ..... 342

2-3 文脈自由文法のあいまいさ ..... 342

2-4 オートマトンとの関係 ..... 342

3. リレーショナル・データベース ..... 343

3-1 データベースとデータモデル ..... 343

3-2 関係 ..... 343

3-3 関係に関する演算 ..... 343

**[6] 集合とカテゴリー** ..... (難波完爾) 344

1. カテゴリー ..... 344

1-1 カテゴリーとは ..... 344

1-2 カテゴリーの定義 ..... 344

1-3 カテゴリーの例 ..... 345

1-4 諸概念 ..... 345

1-5 ファンクター ..... 346

2. 基数と順序数 ..... 346

2-1 順序と対応 ..... 346

2-2 基数と順序数 ..... 347

3. 古典集合論から公理的集合論へ ..... 347

3-1 素朴集合論と論理のパラドックス ..... 347

3-2 数学基礎論と公理的集合論 ..... 349

4. 公理的集合論 ..... 349

4-1 集合の概念 ..... 349

4-2 集合論の公理系 ..... 350

## VI 数理心理学

**[1] 概 説** ..... (池田 央) 353

1. 対象領域 ..... 353

1-1 数理的方法の枠組み ..... 353

1-2 数理心理学と計量心理学 ..... 353

1-3 数理社会学 ..... 353

2. 数理心理学の流れ ..... 354

2-1 精神物理学の伝統 ..... 354

2-2 個人差研究 ..... 354

2-3 学習心理学と認知心理学 ..... 354

2-4 人間工学 ..... 354

2-5 数理社会心理学 ..... 354

**[2] 感覚・知覚モデル** ..... (印東太郎) 355

1. 特定の意味をもつ刺激値とその測定 ..... 355

1-1 感覚・知覚とモデル ..... 355

1-2 しきい値, 等価刺激値 ..... 356

1-3 反応特性曲線, 信号検出理論 ..... 356

2. 刺激と感覚との総体的対応 ..... 356

2-1 心理物理関数 ..... 356

2-2 測定理論 ..... 357

3. 感覚・知覚現象に関するモデル ..... 357

3-1 現象論モデル ..... 357

3-2 生理過程を含めたモデル ..... 358

**[3] 尺度構成** ..... (岡太彬訓) 359

1. 精神物理的測定法 ..... 359

2. 1次元尺度の構成と比較判断の法則 ..... 359

3. 多次元尺度構成法 ..... 360

3-1 データ ..... 360

3-2 モデル ..... 360

3-3 計算手続き ..... 361

3-4 構成された尺度の解釈 ..... 361

**[4] テスト理論** ..... (池田 央) 361

1. 古典的テスト理論 ..... 362

1-1 基本モデル ..... 362

1-2 モデルから導かれる諸関係式 ..... 362

2. 現代テスト理論 ..... 363

2-1 項目特性関数とテスト特性関数 ..... 363

2-2 測定の精度と情報関数 ..... 363

2-3 最適な配点 ..... 364

2-4 項目応答理論の応用 ..... 364

**[5] 数理学習モデル** ..... (小野 茂) 365

1. 学習関数 ..... 365

1-1 学習曲線の数式による表現 ..... 365

1-2 学習関数の具体例 ..... 365

2. 学習の確率モデル ..... 366

囲み記事

**選択公理** ..... (一松 信) 348

## 内容目次

2-1 作用素モデル	366	[2] 文法論	384
2-2 作用素の線形性	367	1. 形式的システム	384
2-3 マルコフモデル	367	1-1 語と形式的言語	384
2-4 悉無モデル	368	1-2 形式的システム	384
[6] 認知心理学	(安西祐一郎) 368	1-3 組合せシステム	385
1. 認知心理学	368	2. 句構造文法	386
1-1 認知心理学とは	368	2-1 句構造文法	386
1-2 認知心理学の歴史	369	2-2 正規言語	387
2. 認識と知能のマクロモデル	369	2-3 文脈自由言語	388
3. 知覚と運動の情報処理	369	2-4 文脈自由言語の構文解析	390
3-1 人間の情報処理機構	369	2-5 チューリング機械と句構造言語	391
3-2 文脈依存的知覚情報処理	370	3. 変形文法	392
4. 記憶情報処理	370	3-1 変形文法概念	392
4-1 記憶のモデル	370	3-2 変形規則	392
4-2 今後の課題	371	3-3 最近の動向	393
5. 推論機能のモデル	371	4. 言語の自動処理システムと応用例	
6. イメージの情報処理	371		(草薙 裕) 394
[7] 人間工学	(増山英太郎) 372	4-1 形態素解析	394
1. 人間-機械系の研究	372	4-2 構文解析	395
1-1 手動制御動作研究	372	4-3 意味解析	396
1-2 事故研究	374	4-4 文の生成	396
1-3 官能検査研究	374	4-5 応用例	396
2. 人間と環境との関係の研究	375	[3] 計量言語学	(安本美典) 397
2-1 騒音研究	375	1. 計量語彙論	397
2-2 情緒工学研究	375	1-1 計量言語学のあけぼの——プラトンの著作研究	397
[8] 数理社会心理学	(吉田正昭) 375	1-2 作者推定論——統計学者ユールの登場	398
1. 情報伝播	375	1-3 語彙分布論——ジップの法則	399
1-1 情報伝播とは	375	1-4 ギローの語彙論的文体論	400
1-2 情報伝播と集団構造	375	2. 計量比較言語学	401
1-3 耐久消費財の普及過程	376	2-1 2言語間の近さを偏差値ではかる	401
1-4 伝染病の感染過程	376	2-2 2言語間の近さを相関係数ではかる	402
1-5 マスコミの影響	377	[4] 意味論	(土屋 俊) 403
1-6 リチャードソンの軍拡競争論	377	1. 言語の意味に対する数理的な諸方法	
2. 個人的選択と社会的選択	378		403
3. ソシオグラムとグラフ	378	2. 形式意味論の基本的な考え方	404
[9] 数理社会学	(西田春彦 - 海野道郎) 379	3. タイプつき $\lambda$ 計算の応用としての形式意味論	405
1. 数理社会学の定義と歴史	379	4. 簡単な日本語の形式意味論	405
1-1 数理社会学とは	379	4-1 フラグメントの統語論	406
1-2 数理社会学の歴史	379	4-2 タイプつき $\lambda$ 計算	406
2. 社会構造のモデル	380	4-3 自然言語から $\lambda$ 計算への翻訳	406
3. 社会過程のモデル	380	5. ま と め	407
3-1 態度変化のコールマンモデル	380		
3-2 社会移動のモデル	381		

## VII 数理言語学

## VIII 数理経済学

[1] 概 説	(野崎昭弘) 383
---------	------------

[1] 概 説	(稲田献一) 409
---------	------------

[2] 消費理論	(八田達夫)	410	4-1 コア理論	428
1. 需要関数の諸性質		410	4-2 コアと完全競争	428
1-1 効用最大化問題		411	5. 解の安定性	429
1-2 スルツキー方程式		412	5-1 模索過程	429
1-3 間接効用関数		412	5-2 リャプノフ関数	429
1-4 需要法則		413	[7] 不確実性下における経済行動理論	
1-5 ゲイン関数		414	(酒井泰弘)	430
1-6 需要法則の証明		414	1. 期待効用理論	430
2. 補償需要関数と消費理論への応用		414	2. 危険回避の測度	431
2-1 支出最小化問題		414	3. 資産選択モデル	431
2-2 補償需要関数の性質		415	4. その他の問題	431
2-3 需要法則の証明		415	[8] 投入産出分析	(筑井甚吉)
2-4 双対性		415		432
2-5 ヒックス-スルツキー方程式		416	1. レオンチェフの静学モデル	432
[3] 生産理論	(八田達夫)	417	1-1 均衡産出量	432
1. 費用最小化問題		417	1-2 解の非負性条件	432
2. 利潤最大化問題		417	2. 動学モデル	433
[4] ラグランジュ未定乗数法と経済理論への応用	(八田達夫)	419	2-1 均衡成長	433
1. ラグランジュ乗数の意味		419	2-2 解の相対的安定性	433
2. 1階の極値条件の経済理論への応用		419	[9] 最適成長論	434
2-1 消費理論		419	1. ターンパイク理論	(筑井甚吉)
2-2 生産理論		420		434
3. 2階の極値条件と応用		420	1-1 ターンパイク理論とは	434
4. 表と裏の極値問題		421	1-2 資本蓄積ターンパイク定理	434
[5] 公理的アプローチ——双対性		421	1-3 消費ターンパイク定理	435
1. 消費理論の公理的アプローチ		421	2. 最適貯蓄理論	(鬼木 甫)
(酒井泰弘)		421		436
1-1 効用最大化問題		421	2-1 最適貯蓄問題	436
1-2 費用最小化問題		422	2-2 最大化原理と補助方程式	437
2. 可積分条件と顕示選好の理論		422	2-3 位相図による最適解の表示	437
(鬼木 甫)		422	[10] 新古典派成長論	(稲田献一)
2-1 可積分条件		422		439
2-2 顕示選好理論		423	1. ソローの1部門モデル	439
3. 生産理論の公理的アプローチ		424	2. ヴィンテージ型成長モデル	440
(酒井泰弘)		424	3. 2部門成長モデル	440
3-1 利潤最大化と費用最小化		424	[11] 景気循環論	(稲田献一)
3-2 要素需要関数と補償要素需要関数		424		441
[6] 一般均衡論	(久我 清)	425	1. 景気循環とは	441
1. 理論の位置と目的		425	2. 差分方程式モデル	442
2. 一般均衡モデル		426	2-1 基本モデル	442
2-1 価格		426	2-2 局面の転換	442
2-2 企業と生産集合		426	3. 微分方程式モデル	443
2-3 予算制約式・選択・ワルラス法則		426	[12] 国際経済学	(久我 清)
3. 一般均衡の存在		427		444
3-1 超過需要関数の閉凸写像性		427	1. 理論の位置と目的	444
3-2 不動点定理の応用		427	2. 比較優位と国際分業	444
3-3 社会的超過需要関数と個別需要関数		428	3. ヘクシャー-オリーン理論とその周辺	
4. コアと一般均衡論		428		445
			3-1 資本集約度の条件	445
			3-2 ストルパー-サミュエルソンの定理とヘクシャー-オリーン理論	445
			3-3 不完全な要素価格均等化	446
			3-4 レオンチェフの逆説	446

4. 要素価格均等化理論	446
4-1 均等化の条件——2財の場合	446
4-2 多数財の場合	447
5. 解の一意性	447
<b>[13] 厚生経済学</b>	448
1. 厚生経済学の基本定理 (久我 清)	448
1-1 パレート最適	448
1-2 経済学と凸集合	449
2. 社会的厚生関数 (稲田献一)	450
2-1 数学的定義	450
2-2 アローの4条件	451
2-3 財空間における社会的厚生関数	451
<b>[14] ゲーム理論と経済学</b>	452
1. 産業組織論 (小野善康)	452
1-1 クールノー解	452
1-2 ベルトラン解	453
1-3 シュタッケルベルク解	453
1-4 参入阻止行動	453
2. 内部組織	454
3. 国際経済学	455
3-1 輸入関税の報復過程	455
3-2 輸出関税	456
3-3 報復関税と経済厚生	456
4. 競争均衡とコア (武藤滋夫)	456
4-1 交換市場の競争均衡	456
4-2 別払いのある市場ゲーム	457
4-3 コアと競争配分	457
4-4 別払いのない市場ゲーム	457
5. 厚生関数論の分野	458
<b>[15] システム・制御理論と経済学</b>	460
(青木正直)	460
1. はじめに	460
2. システム論の応用性	460
3. 感度分析と変分モデル	460
3-1 感度分析	460
3-2 変分モデル	461
3-3 変分方程式	461
4. 構造感度分析	462
4-1 構造変分方程式	462
4-2 モデルの簡単化	463
5. 根軌跡法	463
6. 非定常時系列	464
6-1 状態空間モデル	464
6-2 状態空間モデルの推定法	464

## IX 計量経済学

<b>[1] 回帰モデルと計量経済学の展開</b>	(畠中道雄) 467
1. 計量経済学とは	467
1-1 計量経済学の課題	467
1-2 経済データの種類	467
1-3 経済理論とモデル	467
1-4 本編の内容	467
2. 回帰モデル	468
2-1 回帰モデルとは	468
2-2 最小2乗法	468
2-3 正規分布の場合	468
2-4 推定可能関数	469
2-5 平均2乗誤差による判定	469
2-6 ベイズ推測	469
2-7 一般化最小2乗法	469
2-8 分散不均一モデル	469
2-9 系列相関モデル	470
2-10 パネルデータモデル	470
2-11 分布ラグモデル	471
2-12 誤差項の期待値が零かどうかの検定	471
3. 同時方程式モデルに関する諸概念	471
3-1 同時方程式モデルとは	471
3-2 外生変数と内生変数	471
3-3 識別	472
4. 動学的諸問題	472
4-1 動学関係	472
4-2 トレンド	473
4-3 同時方程式モデルとVARモデル	473
5. 政策分析と合理的期待	473
6. 不等式制約のついた従属変数	473
6-1 不均衡モデル	474
6-2 離散選択モデル	474
<b>[2] 識別の一般理論</b>	(畠中道雄) 475
1. 定義	475
2. 情報理論との関係	475
3. 工学用語との違い	476
<b>[3] 同時方程式モデルの推定</b>	(森棟公夫) 476
1. 同時方程式バイアス	476
2. 同時方程式モデルの一般型	477
3. 単一式推定法	478
3-1 制限情報最尤推定量	478
3-2 識別性の問題	479
3-3 2段階最小2乗推定量	479
4. 推定量の小標本特性	479
4-1 モンテカルロ法	479



# 内容目次

3-4 その他の問題への適用	526	2-4 相関係数の推定	554
4. ベイズ統計法 (鈴木雪夫)	526	2-5 平均ベクトルに関する検定	554
4-1 統計的推論	526	2-6 多変量分散分析	555
4-2 事前分布	526	2-7 分散共分散行列に関する検定	555
4-3 標本情報, 尤度関数	526	2-8 独立性の検定	556
4-4 事後分布	527	2-9 因子分析	556
4-5 共役事前分布を用いる場合	527	3. 多変量データのまとめ方 (柳井晴夫)	556
4-6 ベイズ推論	528	3-1 特異値分解	556
5. 離散データ解析法 (広津千尋)	529	3-2 主成分分析法	557
5-1 離散データの確率モデル	529	3-3 因子分析法	557
5-2 離散データにもとづく推論	529	3-4 多次元尺度法	558
6. 寿命分布の解析法 (渋谷政昭)	531	3-5 クラスタ分析	558
6-1 寿命の確率モデル	531	3-6 重回帰分析	558
6-2 寿命データ	532	3-7 正準相関分析	559
6-3 生存関数のノンパラメトリック推定	532	3-8 判別分析	559
6-4 加速モデル	533	3-9 質的データの分析(数量化理論)	560
6-5 比例ハザード・モデル	533	[6] 標本分布論	560
6-6 偏尤度	534	1. 標本分布論 (竹内啓)	560
[4] 実験計画法と標本調査	535	1-1 標本分布とは	560
1. 実験計画法 (広津千尋)	535	1-2 正規分布からの標本	560
1-1 概観	535	1-3 標本分布の漸近展開	562
1-2 交互作用と因子の類別	535	1-4 順序統計量	563
1-3 完全無作為化実験	536	1-5 経験分布関数	563
A. 1元配置	536	1-6 多次元正規分布からの統計量	564
B. 2元配置	539	1-7 時系列からの統計量	565
1-4 ブロック実験	540	2. 確率分布の計算法 (竹内寿一郎)	565
A. 概論	540	2-1 諸分布間の関係	565
B. 乱塊法の構造模型と分散分析	540	A. 確率分布の確率に関する関係式	565
1-5 直交秤量計画	541	B. 確率分布の極限分布	565
1-6 直交配列表による実験	541	2-2 確率分布の一般的な計算法	566
2. 標本調査法 (浅井晃)	542	A. 分布関数について	566
2-1 序論	542	B. パーセント点について	578
2-2 単純無作為抽出法	543	2-3 離散分布の確率計算	578
2-3 集落抽出法	544	2-4 連続型分布の確率計算	578
2-4 確率比例抽出法	544	[7] 確率過程の解析	580
2-5 2段抽出法	544	1. 時系列解析論 (藤井光昭)	580
2-6 層化抽出法	545	1-1 時系列の数学的モデル	580
2-7 比推定	546	1-2 定常過程の表現	581
2-8 複合標本方式	547	1-3 母数モデル	582
3. 統計的品質管理 (奥野忠一)	548	1-4 多変量時系列	583
3-1 管理図法	549	1-5 非定常時系列	584
3-2 抜取検査法	550	2. 自己相関とスペクトルに関する推測	585
3-3 工程解析	550	2-1 自己相関係数に関する推測	585
[5] 多変量解析法	551	2-2 スペクトル密度関数に関する推測	585
1. 多変量データの記述法 (柳井晴夫)	551	3. 母数模型に関する推測	586
1-1 多変量解析について	551	3-1 自己回帰移動平均過程の母数	586
1-2 多変量データの種類とその構造	551	3-2 多項式のあてはめ	587
1-3 変数の種類	552	4. その他の確率過程の分析 (間瀬茂)	587
2. 多変量モデルの推測 (竹村彰道)	552	4-1 マルコフ過程	587
2-1 多変量解析における統計的推測	552	4-2 点過程	590
2-2 多変量分布と多変量正規分布	553		
2-3 平均ベクトルおよび分散共分散行列の推定	553		

囲み記事

統計パッケージ .....(和合 肇) 512

XI 医療情報学

[1] 概 説.....(開原成允) 593

1. 医療情報学とは何か ..... 593  
 2. なぜいま「医療情報学」が必要か ..... 594

[2] 医学・生物統計学 .....(大橋靖雄) 595

1. 医学研究の長期化・大規模化とデータの品質保証 ..... 595  
 1-1 フラミンガム研究 ..... 595  
 1-2 循環器系疾患に対する長期大規模ランダム化臨床試験 ..... 596  
 1-3 がん協同研究 ..... 596  
 1-4 研究計画・データ管理・統計解析 ..... 596  
 1-5 医薬品開発と薬事行政 ..... 597  
 2. 臨床試験 ..... 598  
 2-1 臨床試験の目的と実施 ..... 598  
 2-2 臨床試験データの統計解析と実験計画 ..... 598  
 3. 毒性試験 ..... 600  
 3-1 毒性の概念 ..... 600  
 3-2 毒性評価の統計的問題 ..... 600  
 4. 疫学的方法 ..... 602

[3] 生体信号解析 .....(宇都宮敏男) 603

1. 心電図の解析 ..... 603  
 1-1 心電図 ..... 603  
 1-2 心電図波形解析の目的 ..... 604  
 1-3 心電図解析の手法 ..... 604  
 1-4 ホルター心電計 ..... 605  
 1-5 ベクトル心電図 ..... 605  
 1-6 心電図逆問題 ..... 605  
 1-7 心磁図 ..... 605  
 2. 脳波の解析 ..... 605  
 2-1 脳波 ..... 605  
 2-2 脳波解析の目的 ..... 606  
 2-3 誘発脳波および事象関連電位の解析 ..... 606  
 2-4 脳波トポグラフ ..... 607  
 2-5 脳磁図 ..... 607

[4] 医用画像処理 .....(飯沼 武) 607

1. 医用画像処理とは何を意味するのか ..... 607  
 2. 画像を構成する処理 ..... 608  
 2-1 コンピュータ断層法 ..... 608  
 2-2 断層画像の再構成 ..... 608

2-3 再構成フィルターの実際 ..... 609  
 3. 人の目に見やすくする処理 ..... 610  
 3-1 単一画像の処理 ..... 610  
 3-2 画像変換の診断への影響 ..... 610  
 3-3 複数画像の処理 ..... 611  
 4. 機械による画像診断の可能性 ..... 611  
 4-1 機械による支援 ..... 611  
 4-2 自動化の試み ..... 612

[5] 医学的意思決定 .....(古川俊之) 613

1. コンピュータ診断 ..... 614  
 1-1 決定論的アプローチ ..... 614  
 1-2 確率論的アプローチ ..... 615  
 1-3 多変量解析 ..... 615  
 2. エキスパートシステム ..... 615  
 3. 意思決定樹木 ..... 616

[6] 生体機能のシミュレーション .....(藤正 巖) 618

1. 生体機能の数理モデル ..... 618  
 1-1 医学におけるシミュレーションの意味 ..... 618  
 1-2 生体機能の数理的特徴 ..... 619  
 2. 人工臓器とその制御 ..... 619

[7] ORの医療応用 .....(横山哲夫) 620

1. 一般の展望 ..... 620  
 2. 応用分野 ..... 621  
 2-1 医療計画 ..... 621  
 2-2 集団検診 ..... 621  
 2-3 病院管理 ..... 621  
 2-4 その他 ..... 622

囲み記事

シンプソンのパラドックス .....(一松 信) 599

XII OR

[1] オペレーションズ・リサーチ .....(森村英典) 623

1. オペレーションズ・リサーチの歴史 ..... 623  
 1-1 ORの起り ..... 623  
 1-2 ORの発展 ..... 623  
 1-3 決定や計画のためのOR ..... 624  
 1-4 日本のOR ..... 625  
 2. OR手法の概観 ..... 625  
 2-1 手法の分類 ..... 625  
 2-2 発想的OR ..... 625

## 内容目次

2-3	ORの実施	626	3-3	制約想定	643
2-4	フェース法	626	3-4	2次の必要条件	643
2-5	AHP	626	3-5	2次の十分条件	643
2-6	PDPC	628	4.	双対理論	644
2-7	マルコフ解析	628	4-1	双対問題	644
[2]	数理計画法	(今野 浩) 629	4-2	双対定理	644
1.	沿革	629	5.	最適化法の一般論	644
2.	定義	629	5-1	最適化法とは	644
3.	狭義の数理計画法	629	5-2	収束回数	644
3-1	線形計画法	629	6.	1変数問題の最適化法	644
3-2	2次計画法	630	6-1	直線探索	644
3-3	制約なし最小化法	630	6-2	非精密直線探索	645
3-4	非線形計画法	630	7.	制約のない問題の最適化法	645
3-5	整数計画法	630	7-1	ニュートン法	645
3-6	組合せ最適化法	631	7-2	レヴェンバーク-マーカート法	645
4.	広義の数理計画法	631	7-3	準ニュートン法	645
4-1	動的計画法	631	7-4	準ニュートン法の収束定理	646
4-2	相補性問題	631	7-5	共役方向法	646
4-3	不動点問題	631	8.	制約つき問題の最適化法	646
4-4	確率的計画法	632	8-1	障壁関数法	646
5.	各種の数理計画問題の間の関係	632	8-2	罰金関数法	646
[3]	線形計画法	(青沼龍雄) 633	8-3	乗数法	647
1.	線形計画問題	633	8-4	精密罰金関数法	647
1-1	資源配分問題	633	8-5	ニュートン法	647
1-2	最適解	634	8-6	修正ニュートン法	648
1-3	輸送問題	634	8-7	逐次2次計画法	648
1-4	生産計画モデル	634	8-8	準ニュートン法による更新公式	649
1-5	折れ線近似モデル	635	9.	大域的最適化法	649
1-6	多目的計画問題	635	9-1	大域的最適化の諸法	649
1-7	目標計画問題	635	9-2	ホモトピー法	649
2.	双対性	636	[5]	組合せ最適化	(茨木俊秀) 650
2-1	双対問題	636	1.	組合せ最適化とその解法	650
2-2	双対定理	636	1-1	組合せ最適化問題の定義	650
2-3	相補性	636	1-2	組合せ最適化問題の複雑さ	651
3.	線形計画問題の解法	637	1-3	動的計画法	651
3-1	標準形	637	1-4	分枝限定法	651
3-2	基底形式	637	1-5	近似解法	652
3-3	単体法	638	2.	整数計画法	653
3-4	改訂単体法	639	2-1	定義と分類	653
3-5	輸送問題の解法	639	2-2	分枝限定法による整数計画問題の解法	653
3-6	特殊構造のための算法	640	2-3	整数多面体と切除平面法	654
3-7	計算複雑度と新しい解法	640	2-4	群論的手法	654
[4]	非線形最適化	(田辺國士) 641	2-5	その他の話題	655
1.	非線形最適化モデルと最適化法	641	3.	ネットワーク理論	655
1-1	最適化モデル	641	3-1	ネットワークとは	655
1-2	最適化アルゴリズム	642	3-2	最短路問題	655
2.	非線形最適化の問題と技術の現状	642	3-3	最小木問題	656
2-1	非線形最適化問題	642	3-4	最大フロー問題	656
2-2	非線形最適化法の現状	642	3-5	最小費用フロー問題	657
3.	最適性条件	642	3-6	多種フロー問題	657
3-1	最適解・局所最適解	642	4.	PERT・CPM分析	657
3-2	カルーシユ-キューン-タッカー条件	643	5.	スケジューリング理論	659

[6] ゲーム理論 ……(鈴木光男 - 武藤滋夫) 660	3-8 サービス規律 …… 680
1. 非協力ゲーム理論 …… 660	3-9 その他の変形モデル …… 680
1-1 ゲームのルール …… 660	4. 待ち行列ネットワーク …… 680
1-2 非協力ゲームと協力ゲーム …… 661	4-1 直列型待ち行列 …… 680
1-3 戦略形ゲーム …… 661	4-2 巡回型待ち行列 …… 681
1-4 ミニマックス定理 …… 661	4-3 ジャクソン型待ち行列ネットワーク …… 681
1-5 ナッシュ均衡点 …… 662	4-4 積形式解をもつネットワーク …… 681
1-6 展開形ゲーム …… 663	[9] シミュレーション ……(逆瀬川浩孝) 682
1-7 情報構造の精密化 …… 664	1. シミュレーションとは何か …… 682
1-8 ナッシュ均衡点の精緻化 …… 664	2. シミュレーションの功罪 …… 683
2. 協力ゲーム理論 …… 664	3. シミュレーションのプロセス …… 683
2-1 特性関数 …… 664	3-1 手順 …… 683
2-2 配分 …… 665	3-2 結果の解釈 …… 683
2-3 コア …… 665	4. 出力結果の解析 …… 683
2-4 安定集合 …… 666	4-1 有限長のシミュレーション …… 683
2-5 交渉集合 …… 666	4-2 分散減少法 …… 684
2-6 カーネル …… 666	4-3 定常状態のシミュレーション …… 684
2-7 仁 …… 667	4-4 再生シミュレーション法 …… 685
2-8 シャプレー値 …… 667	5. シミュレーション言語 …… 685
2-9 交渉問題 …… 668	[10] 信頼性理論 ……(真壁 肇) 686
2-10 ナッシュの交渉解 …… 668	1. システムと構造関数 …… 686
[7] 経済性工学 ……(中村善太郎) 670	1-1 単調系 …… 686
1. 投資案の評価指標 …… 670	1-2 バスセットとカットセット …… 686
1-1 投資案のキャッシュ・フロー …… 670	1-3 単調系の信頼度 …… 687
1-2 資金の時間的価値 …… 670	2. 故障率と寿命分布 …… 687
1-3 投資案の正味回収額 …… 671	2-1 故障率 …… 687
1-4 投資案の回収期間 …… 671	2-2 故障率曲線と寿命分布の関係 …… 688
1-5 投資案の内部利回り …… 671	2-3 再生過程とランダム取り替え …… 688
2. 効率指標による選択方法 …… 672	2-4 ポリア関数と総正関数 …… 689
2-1 独立的諸案における選択の優先順位 …… 672	2-5 ショックモデルとIFRA …… 689
2-2 混合的諸案からの選択方法 …… 673	3. 複雑なシステムの信頼度 …… 690
2-3 投資案の内部利回り指標の役割 …… 673	3-1 待ち行列論と修理工問題 …… 690
[8] 待ち行列 ……(高橋幸雄) 674	3-2 セミマルコフ過程と信頼度 …… 691
1. 待ち行列モデル …… 674	[11] 在庫管理 ……(栗山仙之助) 692
1-1 混雑と待ち …… 674	1. 在庫管理の重要性 …… 692
1-2 待ち行列 …… 674	1-1 在庫管理の意義 …… 692
1-3 ラッシュアワーの解析 …… 675	1-2 在庫管理の機能 …… 692
1-4 リトルの公式 …… 675	1-3 在庫管理の目的 …… 692
2. $M/M/1$ モデル …… 675	2. 在庫管理の方式 …… 692
2-1 $M/M/1$ モデル …… 675	2-1 2ピン方式 …… 692
2-2 利用率とモデルの挙動 …… 675	2-2 発注点法 …… 693
2-3 マルコフ連鎖と状態方程式 …… 676	2-3 定期点検法 …… 693
2-4 混雑の尺度 …… 676	3. 安全在庫量の設定方法 …… 694
3. 標準的待ち行列モデル …… 677	3-1 統計的な安全在庫の考え方 …… 694
3-1 標準的な待ち行列モデル …… 677	3-2 安全在庫量設定の実際 …… 694
3-2 平衡状態が存在するための条件 …… 678	4. MRP …… 694
3-3 複数窓口の効果( $M/M/s$ モデル) …… 678	4-1 MRP システムの原理 …… 694
3-4 サービス時間分布の影響( $M/G/1$ モデル) …… 678	4-2 MRP における所要量計算 …… 695
3-5 到着間隔分布の影響( $GI/M/1$ モデル) …… 679	5. 在庫管理における需要予測 …… 696
3-6 その他の標準的モデル …… 679	5-1 単純平均法 …… 696
3-7 有限待合室モデル …… 679	5-2 移動平均法 …… 696

5-3 加重移動平均法 ..... 696  
 5-4 単純指数平滑法 ..... 696  
 5-5 前年同期比較推定法 ..... 696  
 5-6 その他の需要予測方法 ..... 697

囲み記事

囚人のジレンマ ..... (鈴木光男) 662  
 逢引のジレンマ ..... 663

XIII 制御理論

[1] 概 説 ..... (北森俊行) 699

[2] 線形システム理論 ..... (須田信英) 704

1. システム・数式モデル・システム理論 ..... 704

2. 線形システムの表現 ..... 705

2-1 状態方程式 ..... 705

2-2 伝達関数 ..... 705

2-3 内部表現と外部表現 ..... 708

3. 可逆性・極と零点 ..... 709

3-1 可 逆 性 ..... 709

3-2 極と零点 ..... 709

4. システムの安定性 ..... 710

4-1 外部安定性 ..... 710

4-2 内部安定性 ..... 710

5. システムの構造 ..... 710

5-1 可制御性 ..... 710

5-2 可観測性 ..... 712

5-3 可安定性 ..... 712

5-4 可検出性 ..... 713

5-5 双 対 性 ..... 713

5-6 正準構造分解 ..... 713

5-7 最小実現 ..... 714

5-8 極・零点, 安定性との関連 ..... 714

6. 状態フィードバック ..... 715

[3] 同定理論 ..... (中溝高好) 716

1. 同定問題の定式化 ..... 716

1-1 同定問題 ..... 716

1-2 モデルの記述 ..... 717

1-3 式 誤 差 ..... 717

2. 最小2乗法 ..... 717

2-1 線形回帰モデル ..... 717

2-2 最小2乗推定 ..... 718

2-3 重みつき最小2乗推定 ..... 718

2-4 持続的励振条件 ..... 718

2-5 一 致 性 ..... 719

2-6 逐次形最小2乗推定 ..... 720

3. 最小2乗法の修正 ..... 720

3-1 一般化最小2乗法 ..... 720

3-2 拡大最小2乗法 ..... 721

3-3 補助変数法 ..... 721

4. 最尤推定法 ..... 721

4-1 最 尤 推 定 ..... 721

4-2 予測誤差法 ..... 722

4-3 予測誤差モデル ..... 722

4-4 逐次計算形アルゴリズム ..... 722

[4] 状態推定理論 ..... (木村英紀) 723

1. 状態推定理論の基本的考え方 ..... 723

2. オブザーバ ..... 724

2-1 恒等オブザーバ ..... 724

2-2 最小次数オブザーバ ..... 725

3. 最適推定問題 ..... 726

3-1 最適推定とは ..... 726

3-2 カルマンフィルタ ..... 727

3-3 定常カルマンフィルタ ..... 728

[5] 制御系の安定論 ..... (平井一正) 729

1. 安定性の定義 ..... 729

1-1 内部安定性の定義 ..... 729

1-2 入出力安定性の定義 ..... 730

2. 線形システムの安定性 ..... 730

2-1 ラウスの方法 ..... 731

2-2 フルヴィッツの方法 ..... 731

2-3 ナイキストの方法 ..... 731

3. 内部安定性 ..... 732

4. 入出力安定性 ..... 734

4-1 スモールゲイン定理 ..... 734

4-2 受動定理 ..... 734

4-3 円板定理 ..... 735

4-4 ボボフの定理 ..... 736

5. 線形近似による安定判別 ..... 737

5-1 リャプノフの第1の方法 ..... 737

5-2 アイザーマンとカルマンの推測 ..... 737

5-3 リレー系に対する線形近似 ..... 737

5-4 記述関数法 ..... 737

[6] 制御系設計論 ..... (北森俊行) 738

1. 厳密なモデルマッチング法 ..... 738

2. 最適レギュレータ系の設計 ..... 739

2-1 ハミルトン-ヤコビ-ベルマンの方程式 ..... 739

2-2 線形2次形式最適レギュレータ系 ..... 741

3. 制御系の設計 ..... 742

3-1 制御系の設計計算 ..... 742

3-2 望ましい制御系の仕様 ..... 743

3-3 制御系の設計 ..... 744

[7] 適応制御理論 ..... (田村捷利) 745

1. 適応制御 ..... 745



# 内容目次

B. エントロピーパワー	790	5-2 リード-ソロモン符号	811
C. 並列ガウス型無記憶通信路の容量・コスト関数	791	5-3 復号法	812
D. 記憶をもつ連続通信路の容量・コスト関数	792	5-4 BCH符号の一般化	813
6-3 連続波形通信路	792	5-5 代数幾何的符号	813
A. 標本化定理	792	6. 多数決論理復号可能な符号	814
B. 連続波形通信路の伝送システムモデル	792	6-1 多数決論理復号	814
C. 帯域制限された定常白色ガウス型通信路の容量・コスト関数	793	6-2 差集合巡回符号	814
D. 定常ガウス型通信路の容量・コスト関数	793	6-3 有限幾何的符号	815
7. 多元情報源 (佐藤 創)	793	6-4 一般化リード-マラー符号と多項式符号	815
7-1 多元情報源とその符号化	793	7. 縦続符号	816
7-2 データ圧縮符号(歪みを許さない符号)	794	7-1 符号の組合せ	816
A. スレピアン-ウォルフの定理	794	7-2 積符号	816
B. 補助情報源問題	795	7-3 接続符号とユステセン符号	817
C. 関数値の再現	795	7-4 一般化接続符号	817
D. ゼロエラーの場合	796	8. バースト誤り訂正符号	817
7-3 データ縮約符号(歪みを許す符号)	796	8-1 バースト誤り訂正巡回符号	817
7-4 多重記述問題	796	8-2 交錯法	818
7-5 統計的仮説検定・推定問題と符号化	796	8-3 バイト誤り訂正符号	818
8. 多元通信路 (韓 太舜)	797	9. たたみ込み符号	819
8-1 多元通信路とその符号化	797	9-1 たたみ込み符号の表現	819
8-2 多重アクセス通信路	798	9-2 最小符号器	819
8-3 放送通信路	798	9-3 最小距離	820
8-4 双方向通信路	799	9-4 シンドロームパターン復号	820
8-5 干渉通信路	800	9-5 多数決論理復号	820
8-6 情報源・通信路マッチング問題	800	9-6 ヒタビ復号	820
		9-7 逐次復号	821
[2] 符号理論 (今井秀樹)	805	[3] 暗号理論	822
1. 符号理論の基礎概念	805	1. 概要 (田中初一)	822
1-1 符号化と復号	805	2. DES暗号	823
1-2 誤り訂正と誤り検出	806	2-1 DES暗号の生いたち	823
1-3 最小距離と誤り訂正能力	806	2-2 DES暗号アルゴリズム	823
1-4 最尤復号法	807	2-3 DES暗号の特質と問題点	824
2. 線形符号	807	3. 公開鍵暗号系(非対称暗号系)	825
2-1 生成行列と検査行列	807	(中村勝洋 - 岡本栄司)	
2-2 最小重みと重み分布	808	3-1 RSA暗号系	825
2-3 線形符号の修正	808	3-2 エルガマル暗号系	826
3. 符号の限界式	808	3-3 ナップサック暗号系	826
3-1 ハミングの限界式と完全符号	808	4. 鍵配送管理方式	827
3-2 プロトキンの限界式	809	4-1 集中型鍵配送方式	827
3-3 シングルトンの限界式と最大距離分離符号	809	4-2 分散型鍵配送方式	829
3-4 バルシャモフ-ギルバートの限界式	809	5. 認証と署名	829
3-5 漸近的限界式	809	6. 安全性と計算量	830
4. 巡回符号	810	6-1 アタック法	830
4-1 生成多項式と検査多項式	810	6-2 計算量的複雑量との関連	831
4-2 巡回符号の符号化	810	6-3 解読法	831
4-3 巡回符号の誤りトラップ復号	810		
4-4 符号のフーリエ変換	811		
5. BCH符号とRS符号	811		
5-1 BCH符号	811		

囲み記事

神様に払う謝礼——エントロピー  
 閑話 1 ..... (韓 太舜) 769

赤と黒——エントロピー閑話 2 ..... 775

マクロとマイクロ——エントロピー  
 閑話 3 ..... 776

天国と地獄——エントロピー閑話 4 ..... 783

容量・コスト関数とレート・歪み関  
 数の計算法 ..... (小林欣吾) 784

$n$ 次元薄皮まんじゅうの話 ..... 788

WOM —— 省資源へ向けての戦略 ..... 790

素数判定/生成 ..... (中村勝洋 - 岡本栄司) 826

秘密情報の分散管理方式  
 ..... (中村勝洋 - 山本博資) 828

零知識証明プロトコル  
 ..... (中村勝洋 - 岡本栄司) 829

XV 計算機科学

[1] 論理回路 ..... (町田 元) 835

1. 組合せ回路 ..... 835

1-1 論理回路の種類 ..... 835

1-2 ブール関数 ..... 835

1-3 ブール関数の標準形 ..... 836

1-4 カルノー図 ..... 836

1-5 加算回路 ..... 837

1-6 組合せ回路の複雑さ ..... 837

2. ブール関数族の完全性 ..... 838

2-1 極大不完全集合 ..... 838

2-2 完全性 ..... 838

3. 順序回路 ..... 838

3-1 フリップ・フロップ ..... 838

3-2 同期式・非同期式 ..... 839

3-3 有限オートマトン ..... 839

[2] データ構造 ..... (星 守) 840

1. 基本的なデータ構造 ..... 840

1-1 レコードと配列 ..... 840

1-2 線形リスト ..... 840

1-3 木 ..... 841

1-4 グラフ ..... 842

2. 探索技法 ..... 842

2-1 ハッシュ法 ..... 843

2-2 2分探索木 ..... 844

2-3 桁探索木 ..... 845

2-4 多次元データに対する木 ..... 845

2-5 ヒープ ..... 846

3. ソート ..... 846

3-1 比較によるソート ..... 846

3-2 基底法 ..... 847

4. 準最適・自己組織的なデータ構造 ..... 847

4-1 最適なデータ構造 ..... 847

4-2 準最適なデータ構造 ..... 848

4-3 自己組織的データ構造 ..... 848

[3] 組合せ論的アルゴリズム ..... 849

1. グラフのアルゴリズム ..... (中森真理雄) 849

1-1 グラフを表すデータ構造 ..... 849

1-2 木と探索技法 ..... 850

1-3 木を求めるアルゴリズムの変形 ..... 851

1-4 オイラー路を求めるアルゴリズム ..... 851

1-5 グラフの作図, 平面性・同型性の判定 ..... 851

1-6 その他のグラフ問題 ..... 852

2. ネットワーク・フロー理論のアルゴ  
 リズム ..... 852

2-1 最大フロー問題 ..... 852

2-2 最短路問題 ..... 852

2-3 最小費用フロー問題 ..... 853

3. しらみつぶしの探索 ..... 853

3-1 ジョブショップ・スケジューリング問  
 題に対する分枝限定法 ..... 854

3-2 ゲームの木 ..... 855

4. 文字列照合 ..... (正田輝雄) 855

4-1 文字列照合とは ..... 855

4-2 素朴な方法 ..... 856

4-3 ボイヤー・ムア法 ..... 856

[4] 計算の複雑さ ..... (小林孝次郎) 857

1. アルゴリズムの効率と計算モデル ..... 857

1-1 アルゴリズムの効率の評価 ..... 857

1-2 効率評価に使われるいろいろな関数 ..... 858

1-3 いくつかの問題とそのアルゴリズム ..... 859

1-4 計算モデルとRAM ..... 860

2. チューリング機械 ..... 861

2-1 チューリング機械の概念 ..... 861

2-2 チューリング機械の計算の複雑さ ..... 862

2-3 非決定性チューリング機械 ..... 862

3. NP 完全集合 ..... 863

3-1  $P$ と $NP$  ..... 863

3-2 還元可能性 ..... 864

3-3 NP 完全集合とその性質 ..... 864

4. 計算の複雑さの階層 ..... 865

4-1 分離定理 ..... 865

4-2 複雑さにより定義されるクラス ..... 865

[5] プログラムの表現 ..... (米澤明憲) 866

1. プログラミング言語 ..... 866







# 内容目次

2. 基本代数系	998	1. 場合の数	(高橋馨郎) 1017
2-1 群	998	1-1 順列組合せ	1017
A. 代数系	998	A. 順列組合せの構造	1017
B. 群	998	B. 順列	1017
C. 部分群	999	C. 多項係数	1017
D. 同型および準同型	999	D. 組合せ, 2項係数	1018
E. 置換群	1000	E. 重複組合せ	1018
2-2 環と体	1000	F. 集合の分割	1019
A. 環	1000	1-2 ポリアの定理	1019
B. イデアール	1001	A. 組合せ構造の同型概念	1019
C. 準同型, 同型	1001	B. ポリアの定理(その1)	1020
D. 体	1002	C. ポリアの定理(その2)	1021
3. 線形空間	1002	D. 誘導される置換群の場合	1021
3-1 線形空間	1002	E. ベキ群について	1022
A. 線形空間	1002	F. ベキ群によって不変な関数の個数	1022
B. 基底	1002	G. 一般化されたポリアの定理	1023
C. 線形写像	1003	2. 母関数	1023
D. 行列	1003	2-1 母関数	1023
E. 基底変換	1004	A. 母関数とは	1023
3-2 線形方程式, 行列式	1004	B. 母関数の組合せ論的意味	1024
A. 線形方程式	1004	C. 分割問題への応用	1024
B. 行列式	1004	D. 漸化式を母関数によって解くこと	1025
C. 行列の階数	1005	2-2 反転公式	1026
3-3 固有値	1005	A. 2項反転公式	1026
A. 固有値, 固有ベクトル	1005	B. メーヒウス反転公式	1026
B. 最小多項式, 単因子	1006	3. デザイン	(藤原良) 1027
C. 行列の対角化	1006	3-1 ブロックデザイン	1027
D. 不変部分空間	1006	3-2 有限幾何	1028
E. 重根をもつ特性多項式	1007	3-3 対釣衡デザイン	1029
F. ジョルダン標準形への準備	1007	3-4 カークマンの女学生問題	1031
G. ジョルダン標準形	1008	4. 組合せ特論	(山本幸一) 1032
3-4 計量空間	1009	4-1 ラテン方阵	1032
A. 内積	1009	A. ラテン方阵の標準形	1032
B. 正規直交系	1009	B. ラテン方阵と符号	1032
C. 対称行列と2次形式	1009	C. オイラー方阵	1032
4. 凸集合の性質	1010	4-2 アダマール行列	1033
4-1 凸集合	1010	A. アダマール行列の定義	1033
4-2 分離定理	1011	B. アダマール同値	1033
4-3 線形不等式	1011	C. ブロックデザインとの関係	1033
5. 整数の性質	1012	D. 平方剰余型のアダマール行列	1033
5-1 初等整数論	1012	E. 4元数型のアダマール行列	1033
A. ユークリッド互除法	1012	[3] グラフ理論	(榎本彦衛) 1034
B. 整数を法とする演算	1012	1. グラフの基礎概念とグラフの表現	1034
C. フェルマの定理	1013	1-1 グラフ(無向グラフ)	1034
D. $\mathbb{Z}_p$ における原始根	1013	1-2 有向グラフ	1035
E. 中国剰余定理	1013	1-3 グラフと有向グラフの表現	1036
F. 可換体上の1変数多項式	1014	2. 木と全域木	1037
5-2 有限体	1014	2-1 木	1037
A. ガロア体, 有限体	1014	2-2 根つき木と2分木	1037
B. 有限体の諸定理	1014	2-3 全域木	1038
C. ガロア体の構成	1015	3. グラフの分解	1039
D. フロベニウス変換	1015	3-1 ブロック分解	1039
E. ガロア体の応用	1016	3-2 林分解とマッチング分解	1039
[2] 組合せ理論	1017	3-3 因子分解と完全グラフの分解	1039

## 内容目次

3-4 有向グラフの強連結成分分解 .....	1040	4-1 区分木 .....	1060
4. マッチングと被覆 .....	1040	4-2 ヒープ探索木 .....	1060
4-1 マッチング .....	1040	5. 代表的問題 .....	1061
4-2 被 覆 .....	1041	5-1 重なり問題 .....	1061
4-3 2部グラフの分解 .....	1041	5-2 凸包問題 .....	1062
5. 平面的グラフと非平面的グラフ .....	1041	5-3 多角形問題 .....	1063
6. 流れと連結度 .....	1042	5-4 平面最小重みマッチング .....	1064
6-1 流 れ .....	1042	5-5 ヴォロノイ図構成問題 .....	1064
6-2 連 結 度 .....	1043	5-6 幾何学的探索問題 .....	1064
7. マトロイド .....	1044	5-7 幾何学的最適化問題 .....	1065
8. グラフにおける算法 .....	1045	6. 計算幾何学と数値計算 .....	1065
8-1 オイラー回路 .....	1045	7. 計算幾何学と関係の深い応用分野 .....	1066
8-2 最 短 道 .....	1045		
8-3 最小全域木 .....	1045	[6] トポロジー .....	1067
[4] 計算機代数 .....	(佐々木建昭) 1046	1. 概 説 .....	(一松 信) 1067
1. 計算機代数システム .....	1046	1-1 小 史 .....	1067
1-1 計算機代数 .....	1046	1-2 トポロジーの諸分野 .....	1067
1-2 計算機代数システム .....	1046	2. ホモロジー論 .....	1069
1-3 数値の表現 .....	1047	2-1 多様体の概念 .....	1069
1-4 数式の表現 .....	1047	2-2 曲面の分類 .....	1069
1-5 システムの制御 .....	1048	2-3 ホモロジー群 .....	1070
2. 多項式環と主項消去 .....	1048	2-4 微分幾何学との関連 .....	1070
2-1 多 項 式 環 .....	1048	3. ホモトピー .....	1071
2-2 主項消去と多項式剰余列 .....	1048	3-1 ホモトピーの定義 .....	1071
2-3 終結式と部分終結式 .....	1049	3-2 まつわり数 .....	1071
2-4 GCD 算法 .....	1049	3-3 ホモトピー群 .....	1072
2-5 多重多項式剰余列 .....	1050	3-4 ホモトピー法 .....	1072
3. 頭項消去と標準基底 .....	1050	4. 微分可能多様体 .....	(滝澤精二) 1072
3-1 頭項消去とS多項式 .....	1050	4-1 微分可能多様体の定義 .....	1073
3-2 イデアルの標準基底(グレブナー基底) .....	1051	4-2 接ベクトル .....	1073
3-3 線形方程式の多項式解 .....	1051	4-3 微分形式 .....	1074
3-4 環上の多項式環 .....	1052	5. リー代数とリー群 .....	1075
3-5 代数関係と代数方程式 .....	1052	5-1 リー代数 .....	1075
4. 因数分解 .....	1053	5-2 リー群 .....	1076
4-1 無平方分解 .....	1053	5-3 リー変換群 .....	1077
4-2 バールカンブの算法 .....	1053	6. ファイバー束 .....	1077
4-3 ヘンゼル構成 .....	1053	6-1 ファイバー束の定義 .....	1077
4-4 整数環上での因数分解 .....	1054	6-2 ファイバー束の例 .....	1078
4-5 代数体上での因数分解 .....	1054	6-3 束写像と束準同型 .....	1078
5. 初等関数の不定積分 .....	1055	7. 接 続 .....	1079
5-1 初等関数とリュウヴィルの定理 .....	1055	7-1 主束上の接続 .....	1079
5-2 基本形への変換 .....	1056	7-2 アフィン接続 .....	1079
5-3 リッシュの算法 .....	1056	8. リーマン多様体 .....	1080
[5] 計算幾何学 .....	(浅野孝夫) 1058	8-1 リーマン多様体とリーマン接続 .....	1080
1. 概 説 .....	1058	8-2 リーマン多様体の曲率 .....	1081
2. 図形の表現 .....	1058	[7] 解析学の基礎 .....	1082
3. 基本手法 .....	1058	1. 極 限 .....	(竹之内 脩) 1082
3-1 平面走査法 .....	1058	1-1 数列の極限, 級数の和 .....	1082
3-2 幾何学的変換法 .....	1059	A. 数 列 .....	1082
3-3 バケツ法 .....	1059	B. 収束の様相 .....	1082
4. 基本データ構造 .....	1059	C. 級 数 .....	1083
		D. 級数の和 .....	1083
		E. 級数の収束判定法 .....	1083

# 内容目次

F. 実数の集合の上限, 下限と数列の 上極限, 下極限 .....	1084	A. 双曲型方程式 .....	1104
G. 級数総和法 .....	1084	B. 放物型方程式 .....	1105
H. 計算機を利用して収束問題を扱う ときの注意 .....	1084	C. 楕円型方程式 .....	1105
1-2 関数値の極限 .....	1085	5. 測度論の基礎 .....	1105
1-3 位 相 .....	1085	A. 測度空間 .....	1105
A. 距離空間 .....	1085	B. ルベーグ積分 .....	1106
B. 距離空間における位相 .....	1085	C. 極限定理 .....	1106
C. 位相空間 .....	1085	D. その他の諸概念 .....	1106
D. 連続写像 .....	1086	6. フーリエ解析 .....	1107
1-4 関数空間 .....	1086	A. フーリエ級数 .....	1107
A. 関数列の収束 .....	1086	B. フーリエ変換 .....	1107
B. ノルムとバナッハ空間 .....	1086	C. 多変数のフーリエ変換 .....	1108
C. ヒルベルト空間 .....	1087	7. 1変数佐藤超関数入門 .....	(今井 功) 1108
D. 局所凸空間 .....	1087	7-1 展 望 .....	1108
E. 線形作用素, 線形汎関数 .....	1088	7-2 超関数は渦層である .....	1108
2. 微分積分法の基礎概念 .....	1088	7-3 超関数とその演算 .....	1109
2-1 微 分 法 .....	1088	7-4 見直しとひき戻し, 合理性 .....	1110
A. 連続関数 .....	1088	7-5 普通の関数を見直した超関数 .....	1110
B. 1変数の微分法 .....	1089	7-6 フーリエ変換 .....	1111
C. 多変数の微分法 .....	1089	7-7 超関数の積, たたみ込み .....	1111
D. 可微分写像 .....	1090	7-8 コーシーの主値積分 .....	1112
E. フレシェ微分, ガトー微分 .....	1090	7-9 発散積分の有限部分 .....	1112
2-2 積 分 法 .....	1091	[8] 高速フーリエ変換 .....	(鳥居達生) 1113
A. 1変数関数のリーマン積分 .....	1091	1. 離散型フーリエ変換 .....	1113
B. スティルチェス積分 .....	1091	2. 高速フーリエ変換(FFT) .....	1113
C. 変格積分 .....	1091	2-1 複素FFT .....	1113
D. 重 積 分 .....	1092	2-2 実FFT .....	1115
E. 線積分, 面積分 .....	1092	2-3 高速コサイン変換, サイン変換 .....	1115
F. 複素変数の関数 .....	1094	3. FFTの応用 .....	1115
3. 最大最小問題 .....	1095	[9] 確 率 論 .....	(飛田武幸) 1116
3-1 1変数の関数の最大最小 .....	1095	1. 確率の基礎 .....	1116
A. 極大極小 .....	1095	1-1 確率空間 .....	1116
B. 最大最小 .....	1095	1-2 確率変数 .....	1117
3-2 多変数関数の最大最小 .....	1095	1-3 確率変数の分布 .....	1117
A. 関数の極大極小 .....	1095	1-4 平均値, モーメント .....	1118
B. 条件つき極大極小 .....	1095	1-5 平均値, モーメント(多次元の場合) .....	1119
3-3 変 分 法 .....	1096	1-6 確率分布の性質と特徴 .....	1120
4. 微分方程式 .....	1096	1-7 極限定理 .....	1121
4-1 常微分方程式の初期値問題 .....	1096	2. 確率過程 .....	1123
A. 常微分方程式 .....	1096	2-1 確率過程とは .....	1123
B. 初期値問題 .....	1097	2-2 マルコフ過程 .....	1124
C. 線形常微分方程式 .....	1097	2-3 定常過程 .....	1126
D. 演算子法 .....	1098	2-4 加法過程 .....	1127
E. 非線形常微分方程式 .....	1099	2-5 ガウス過程 .....	1128
4-2 常微分方程式の境界値問題 .....	1099	2-6 マルチンゲール .....	1129
A. 正則境界値問題 .....	1099	2-7 確率超過過程と確率場 .....	1129
B. 特異境界値問題 .....	1100	3. 確率過程の応用 .....	1130
4-3 常微分方程式の解の安定性 .....	(国府寛司) 1100	3-1 確率解析 .....	1130
A. 常微分方程式の定性的理論 .....	1100	3-2 ユークリッド場 .....	1131
B. 解の安定性 .....	1101	3-3 ゆらぎを伴う発展現象 .....	1131
C. 安定性の判定法 .....	1102	4. エルゴード理論 .....	1131
D. 例 .....	1103	4-1 基礎概念 .....	1131
4-4 偏微分方程式 .....	(竹之内 脩) 1104	4-2 エルゴード諸定理 .....	1131

## 内容目次

4-3 混合性とスペクトル .....	1132	5-1 リャプノフ-シュミットの方法 .....	1155
4-4 その他 .....	1133	5-2 中心多様体の方法 .....	1156
[10] 乱数 .....	1133	5-3 中心多様体の近似的構成法 .....	1157
1. 乱数列の定義.....(伏見正則)	1133	6. 単純分岐図 .....	1158
2. 一様乱数列の生成 .....	1134	7. 不完全性 .....	1159
2-1 線形合同法 .....	1134	[3] 離散力学系とカオス .....	1160
2-2 M 系列にもとづく方法 .....	1134	1. 離散力学系 .....	1160
3. 乱数の変換 .....	1134	1-1 背景と定義 .....	(木上 淳) 1160
3-1 逆関数法 .....	1135	1-2 周期点とその安定性 .....	1161
3-2 ウォーカーの二者択一法 .....	1135	1-3 共役と半共役 .....	1162
3-3 採択-棄却法 .....	1135	1-4 パイこね変換の力学系 .....	(山口昌哉) 1162
3-4 合成法 .....	1135	2. 記号力学系 .....	(木上 淳) 1163
4. 統計的検定法 .....	1135	2-1 シフトとサブシフト .....	1163
5. 正規数 .....	(釜江哲朗) 1136	2-2 シフトとベルヌーイ試行 .....	1163
		3. カオス .....	1164
		3-1 記号力学系の表現 .....	1164
		3-2 リー-ヨークの意味のカオス .....	1164
		4. 自己相似集合とハウスドルフ次元 .....	1165
		4-1 自己相似集合の定義 .....	1165
		4-2 ハウスドルフ次元(フラクタル次元) .....	1166
		[4] 特異摂動論 .....	(伊藤正幸) 1167
		1. 漸近展開 .....	1167
		2. 正則摂動と特異摂動 .....	1168
		3. 特異摂動問題の例 .....	1168
		3-1 見かけの特異点 .....	1168
		3-2 無限区間の場合 .....	1168
		3-3 最高階の係数が $\varepsilon$ の場合 .....	1169
		4. 特異摂動法の例 .....	1169
		4-1 変形座標の方法 .....	1169
		4-2 2変数展開法 .....	1169
		4-3 接合展開法 .....	1170
		5. 特異摂動法に関連する話題 .....	1171
		5-1 境界層方程式 .....	1171
		5-2 WKB 法と遷移点 .....	1171
		6. 特異摂動法の正当性 .....	1172
		[5] フーリエ解析の応用 .....	(小出昭一郎) 1172
		1. 波とその重ね合わせ .....	1172
		1-1 調和振動と複素数表示 .....	1172
		1-2 平面波とその重ね合わせ .....	1173
		1-3 球面波とホイヘンスの原理 .....	1174
		2. 光とフーリエ変換 .....	1175
		2-1 レンズとフーリエ変換 .....	1175
		2-2 空間周波数フィルタリング .....	1176
		3. ホログラフィー .....	1177
		3-1 ホログラム .....	1177
		3-2 波面の再生 .....	1178
		3-3 フーリエ変換ホログラム .....	1179

### 囲み記事

トポロジーという語 .....

(一松 信) 1068

## XIX 基礎数理(2)

[1] 数学と応用数学 .....	(山口昌哉) 1139
1. 数学とその応用 .....	1139
2. 数学的いとなみとは .....	1139
3. 数学とは何か .....	1140
4. 数理科学とは .....	1141
5. モデル, シミュレーション, メタ ファー .....	1141
6. カタストロフ理論——メタファー の1例 .....	1142
6-1 チャイルドの勾配 .....	1142
6-2 滑らかな関数の芽 .....	1143
6-3 ポテンシャルの余次元 .....	1143
6-4 普遍開折 .....	1144
6-5 形態形成モデル .....	1145
6-6 両生類の原腸陥入モデル .....	1147
7. 最近の進展と展望 .....	1148
7-1 分岐理論のその後 .....	1148
7-2 フラクタル .....	1150
7-3 多重格子法 .....	1151
[2] 分岐理論とその方法 .....	(西浦廉政) 1152
1. 分岐現象 .....	1152
2. 連続モデルと離散モデル .....	1152
3. 同値性と線形化原理 .....	1153
4. 定常分岐とホップ分岐 .....	1154
5. 低次元問題への帰着法 .....	1155

囲み記事

システム……………(一松 信 - 甘利俊一) 1142

幾何学の世界像 ……………(甘利俊一) 1146

