



# 目次

---

1. 資料の整理	1
1.1 度数分布表	1
1.2 分布の図示(度数グラフ)	1
1.3 分布の中心と広がり	2
1.4 相関係数	4
2. 確率変数と確率分布	5
2.1 確率	5
2.2 確率変数・確率分布関数・確率密度関数	7
2.3 多変数の確率変数	9
2.4 変数変換	10
2.5 積率母関数・特性関数	11
2.6 正規分布	12
2.7 二項分布	15
2.8 ポアソン分布	17
2.9 カイ二乗( $\chi^2$ )分布	18
2.10 $t$ 分布	19
2.11 $F$ 分布	20
2.12 その他の分布	21
2.13 チェビシエフの不等式	23
3. 大数の法則・中心極限定理	24
3.1 大数の法則	24
3.2 中心極限定理	25
4. 標本分布	26
4.1 標本平均の平均と分散	26
4.2 標本分散の平均と分散	27
4.3 正規母集団からの標本の性質	29
4.4 連の分布	31
5. 推定論	32
5.1 推定の概念	32
5.2 点推定量として望ましい性質	33
5.3 クラメル・ラオの不等式	34
5.4 クラメル・ラオの不等式の下界を達成する推定量	35
5.5 最尤推定法	36
5.6 区間推定	37

5.7	最小二乗法	40	
6.	<b>仮説検定論</b>		41
6.1	検定の概念	41	
6.2	平均値の検定	42	
6.3	適合度検定( $\chi^2$ 検定)	43	
7.	<b>確率過程</b>		44
7.1	確率過程と同時分布	44	
7.2	マルコフ過程	45	
7.3	モーメント関数	46	
7.4	定常過程	46	
7.5	確率過程の連続性	47	
7.6	2次過程の連続性および微分・積分	49	
7.7	ウィナー過程, ポアソン過程	51	
8.	<b>相関関数とスペクトル密度</b>		54
8.1	2次定常過程の相関関数・相互相関関数	54	
8.2	エルゴード性	55	
8.3	スペクトル密度, 相互スペクトル密度	57	
8.4	スペクトル密度行列	59	
8.5	定常過程の線形変換	60	
8.6	定常系列のスペクトル解析	62	
8.7	サンプリング定理	63	
9.	<b>多次元正規分布</b>		65
9.1	1次元正規分布	65	
9.2	2次元正規分布	65	
9.3	多次元正規分布	67	
9.4	条件付き多次元正規分布	68	
10.	<b>確率微分方程式</b>		70
10.1	白色雑音を受ける微分方程式	70	
10.2	確率積分	71	
10.3	線形確率微分方程式	75	
10.4	一般の確率微分方程式と伊藤の公式	77	
10.5	広帯域雑音と確率微分方程式	78	
<b>1. 統計解析</b>			<b>81</b>
<b>1.1 品質管理・工程管理</b>			<b>81</b>
1.1.1	統計的検定・推定	83	
1.1.2	管理図	83	
1.1.3	抜取検査	85	
1.1.4	相関と回帰	86	
1.1.5	PERT	87	
1.1.6	待ち行列	88	

1.1.7	在庫管理	88	
1.1.8	線形計画法	89	
1.2	実験計画法		90
1.2.1	一元配置	90	
1.2.2	二元配置	92	
1.2.3	直交表による実験計画	94	
1.3	重回帰分析		97
1.3.1	基本モデル	98	
1.3.2	重回帰式の求め方	98	
1.3.3	正規, $\chi^2$ , $t$ , $F$ 分布に関する諸定理	101	
1.3.4	分散分析と重相関係数	102	
1.3.5	重回帰分析における検定と推定	106	
1.4	主成分分析		108
1.4.1	主成分分析の概念と分散・共分散情報	108	
1.4.2	主成分の導出	110	
1.4.3	主成分のもつ性質	112	
1.4.4	主成分分析における検定	113	
1.5	判別分析		114
1.5.1	マハラノビスの汎距離	114	
1.5.2	1変数による2群の判別	115	
1.5.3	多変数による2群の判別	117	
1.5.4	多群の判別	119	
1.6	クラスタ分析		121
1.6.1	クラスタ分析とは	121	
1.6.2	類似度と距離	121	
1.6.3	階層的クラスタ分析	122	
1.6.4	非階層的クラスタ分析	126	

## 2. 計測データの処理

129

---

2.1	標本化定理		129
2.2	トレンド除去		133
2.3	定常性・周期性・正規性の検定		135
2.4	平均値・分散の推定		139
2.5	相関関数の推定		140
2.6	多項式のあてはめ		142
2.6.1	システムモデルの多項式表現	142	
2.6.2	静的システムの多項式表現	142	
2.6.3	直交多項式を用いた近似表現	143	
2.6.4	動的システムの多項式表現	144	
2.6.5	直交関数系を利用した動的システムの多項式表現	145	
2.6.6	まとめ	146	

2.7	GMDH	147
2.7.1	基本的 GMDH	147
2.7.2	GMDH の改良	149
2.7.3	応用	152

### 3. スペクトル解析 155

---

3.1	自己相関関数とパワースペクトル	155
3.1.1	自己相関関数	155
3.1.2	パワースペクトル密度関数	158
3.1.3	ウィナー・ヒンチンの関係式	162
3.2	相互相関関数と相互スペクトル	163
3.2.1	相互相関関数	163
3.2.2	相互相関関数の性質	164
3.2.3	相互相関関数の計算	165
3.2.4	相互スペクトル	166
3.2.5	相互スペクトルの性質	167
3.2.6	コ・スペクトルとクッド・スペクトル	167
3.3	周波数応答関数と関連度関数	168
3.3.1	コンボリューション・インテグラル(たたみ込み積分)	168
3.3.2	周波数応答関数	169
3.3.3	コヒーレンス関数	173
3.3.4	多入力線形系における入出力関係	175
3.3.5	残差確率変数と残差スペクトル密度関数	177
3.3.6	偏コヒーレンス関数	178
3.3.7	多重コヒーレンス関数	178
3.3.8	最近の周波数応答関数推定法	179
3.4	FFT 法によるスペクトル密度のデジタル計算	180
3.4.1	FFT	180
3.4.2	スペクトル密度の推定	185
3.4.3	相関関数の推定	188
3.5	高次スペクトル	189
3.5.1	バイスペクトル	189
3.5.2	バイスペクトルの計算	191
3.5.3	バイスペクトルの規準化	194
3.5.4	応用例	195
3.6	非定常スペクトル	197
3.6.1	非定常スペクトルの種類	197
3.6.2	瞬間パワースペクトル	197
3.6.3	発展パワースペクトル	199
3.6.4	物理スペクトル	201
3.6.5	局所定常過程のスペクトル	202
3.6.6	その他のスペクトル	204

3.7	デジタルフィルタ	205
3.7.1	デジタルフィルタの種類	205
3.7.2	移動平均形フィルタ	206
3.7.3	FFT フィルタ, その他	207

## 4. 時系列解析 211

---

4.1	時系列解析における一般統計理論	211
4.1.1	正規過程(ガウス過程)	212
4.1.2	定常過程	212
4.2	自己回帰(AR)過程の解析	219
4.2.1	Yule-Walker 方程式と Levinson アルゴリズム	219
4.2.2	偏自己相関(PARCOR)係数と格子形(Lattice)フィルタ	222
4.2.3	判別情報量と最大エントロピー法(MEM)	226
4.2.4	パラメータの推定(オフ・ライン処理の場合)	229
4.2.5	逐次推定法(オン・ライン処理の場合)	233
4.3	移動平均過程の解析	238
4.3.1	移動平均モデル	238
4.3.2	インパルス応答	238
4.3.3	可逆条件	238
4.3.4	相関関数とスペクトル密度	238
4.3.5	積率母関数	239
4.3.6	相関関数からのパラメータ推定	239
4.3.7	スペクトル推定	239
4.4	自己回帰移動平均過程の解析	240
4.4.1	自己回帰移動平均モデル	240
4.4.2	相関関数とスペクトル密度	240
4.4.3	インパルス応答	241
4.4.4	相関関数からのスペクトル推定	242
4.4.5	逐次計算形推定アルゴリズム	244
4.4.6	スペクトル推定	245
4.4.7	最尤法によるパラメータ推定	246
4.4.8	逐次形最尤推定アルゴリズム	250

## 5. ろ波・平滑・予測 255

---

5.1	推定問題	255
5.2	ウィナーフィルタ	255
5.2.1	Wiener-Hopf の積分方程式	255
5.2.2	ウィナーフィルタの構成	257
5.2.3	ウィナーフィルタの設計手順と拡張	259
5.2.4	観測雑音が白色である場合のフィルタ	263

5.3	カルマンフィルタ	265
5.3.1	最小分散推定	265
5.3.2	離散時間形カルマンフィルタ	266
5.3.3	連続時間形カルマンフィルタ	267
5.4	平滑と予測	269
5.4.1	予測問題の解	269
5.4.2	平滑問題	271
5.4.3	平滑アルゴリズム	272

---

## 6. システム同定 283

6.1	同定問題	283
6.1.1	システムのモデリング	283
6.1.2	同定問題の定式化	284
6.1.3	同定法の分類	285
6.2	相関関数・スペクトル密度による同定	285
6.2.1	相関関数による同定	285
6.2.2	スペクトル密度による周波数応答関数の推定	289
6.3	パラメトリックモデルによる同定	293
6.3.1	最小二乗法	293
6.3.2	一般化最小二乗法	297
6.3.3	補助変数法	299
6.3.4	拡大最小二乗法	303
6.3.5	最尤法	306
6.3.6	確率近似法	310
6.4	次数の決定	312
6.4.1	情報量基準(AIC)	313
6.4.2	極零点消去法	314
6.4.3	最小実現法	315
6.4.4	行列式比法	316
6.5	多変数システムの同定	318
6.5.1	最小二乗推定	318
6.5.2	最小二乗法の拡張	322
6.5.3	一般化最小二乗法	322
6.5.4	補助変数法	324
6.5.5	拡大最小二乗法	325

---

## 7. 確率制御論 329

7.1	弱定常不規則入力に対するパラメータ調整と補償	329
7.1.1	二乗平均誤差	329
7.1.2	二乗平均誤差を最小にするパラメータ調整	330
7.1.3	二乗平均誤差を最小にする補償要素の決定	330

7.2	確率微分方程式	332
7.2.1	確率積分	332
7.2.2	確率微分方程式	334
7.2.3	伊藤の連鎖則	335
7.2.4	物理系と確率微分方程式	336
7.3	確率系の応答解析	338
7.3.1	定数係数線形確率系のモーメント解析	338
7.3.2	非線形確率系のモーメント解析	340
7.3.3	Fokker-Planck の方程式	342
7.3.4	確率系の安定性	343
7.4	確率系の最適制御	347
7.4.1	ハミルトン・ヤコビの方程式	347
7.4.2	レギュレータ問題	348
7.4.3	状態推定を含む最適制御	349
7.5	分布定数確率系の制御	353
7.5.1	分布定数確率系	353
7.5.2	分布定数確率系の状態推定	355
7.5.3	分布定数確率系の最適制御	358
7.6	離散時間確率系	360
7.6.1	確率系の離散化	360
7.6.2	離散時間確率系の最適制御	361
7.7	不規則過程の同定と制御	363

---

## 8. シミュレーション 369

8.1	シミュレーション	369
8.2	シミュレーションのためのモデル作成	372
8.3	モンテカルロシミュレーション	376
8.3.1	乱数(擬似乱数)の発生と検定	376
8.3.2	分散減少法	378
8.3.3	再生シミュレーション	382
8.4	その他のシミュレーション	382
8.5	ある待ち行列システムにおけるシミュレーションの例	386
8.5.1	シミュレーション	386
8.5.2	解析	390
8.5.3	検討	393

---

## 9. 情報と通信 395

9.1	通信と情報形態の変換	395
9.2	確率モデルと情報量	398
9.2.1	情報源のモデル	398
9.2.2	通信路のモデル	400



9.2.3	情報量	401	
9.3	符号化と復号化		407
9.3.1	符号化法の大別	407	
9.3.2	ひずみなしの情報源符号化	408	
9.3.3	ひずみのある場合の情報源符号化(レート・ひずみ理論)		412
9.3.4	通信路符号化	416	
9.3.5	通信路用の符号	418	
9.3.6	連続情報源と連続通信路	427	
9.3.7	安全のための符号化(暗号)	430	
9.4	有限状態機械とデータ処理		433
9.4.1	有限状態機械と符号化/復号化	433	
9.4.2	漸近平均定常過程と Shannon の情報量		433
9.4.3	非確率的情報量	434	
10.	信頼性・安全性		441
10.1	信頼性・安全性の基礎		441
10.1.1	信頼性と信頼度	441	
10.1.2	故障物理と信頼性工学	442	
10.1.3	信頼性工学発展の歴史的背景	443	
10.1.4	信頼性の数学的取扱いの基礎	444	
10.1.5	故障率関数の変化パターン	444	
10.1.6	故障の確率モデルと平均無故障時間 (MTTF あるいは MTBF)		445
10.1.7	不信頼度関数 $F(t)$ の推定法	447	
10.1.8	保全性とアベイラビリティ	447	
10.2	ETA と FTA		448
10.2.1	はじめに	448	
10.2.2	イベント・ツリー	449	
10.2.3	フォールト・ツリー	451	
10.2.4	レベル1のPSA	457	
10.3	データ収集とデータベース		458
10.3.1	はじめに	458	
10.3.2	『関係』の学問：グラフ理論	459	
10.3.3	データベースの特徴	460	
10.3.4	データモデル	460	
10.3.5	関係データベース	461	
10.3.6	知識ベース	463	
10.4	信頼性の設計		464
10.4.1	はじめに	464	
10.4.2	基礎式の導出	464	
10.4.3	故障率	465	

- 1 0.4.4 直列系と並列系 466
- 1 0.4.5 順序統計量と信頼性 467
- 1 0.4.6 初通過時間 468
- 1 0.4.7 安全率とばらつき係数 469
- 1 0.4.8 1次近似2次モーメント法 470
- 1 0.4.9 ベイジアン信頼性理論 471
- 1 0.4.10 影響度評価 472

## 11. 振 動

475

- 
- 11.1 不規則振動の基礎 475
    - 11.1.1 線形系の定常応答の特性 476
    - 11.1.2 応答過程の期待値, 自己相関関数,  
パワースペクトル密度 477
    - 11.1.3 線形1自由度系の定常不規則振動 480
    - 11.1.4 狭帯域系の応答特性とレベル通過問題 480
    - 11.1.5 累積疲労による損傷の評価 483
    - 11.1.6 構造物の防振問題への応用 485
  - 11.2 多自由度系の不規則振動 488
  - 11.3 連続系不規則振動 491
    - 11.3.1 影響関数 491
    - 11.3.2 定常応答のスペクトル密度 492
    - 11.3.3 応答の相関関数 493
    - 11.3.4 基準モード法 494
    - 11.3.5 はりの振動 496
  - 11.4 パラメトリック不規則振動 498
    - 11.4.1 例題 498
    - 11.4.2 斉次系の不安定限界 500
    - 11.4.3 非斉次系の定常不規則パラメトリック振動応答 501
  - 11.5 流体関連不規則振動 507
    - 11.5.1 乱流による構造物の振動 507
    - 11.5.2 乱風による構造物振動応答 509
    - 11.5.3 気液二相流による不規則振動 512
  - 11.6 地震応答 516
    - 11.6.1 地震動 516
    - 11.6.2 応答スペクトル 517
    - 11.6.3 多自由度系の地震応答 520
  - 11.7 動的荷重シミュレーションと地震応答 522
    - 11.7.1 構造物の振動解析手法 522
    - 11.7.2 応答解析法 527
    - 11.7.3 地震応答解析 537

<b>1 2. 構造信頼性</b>	<b>547</b>
<b>1 2.1 部材強度の基礎</b>	<b>547</b>
1 2.1.1 外力のみが確率的である場合	547
1 2.1.2 部材抵抗のみが確率的である場合	549
1 2.1.3 外力と抵抗とがともに確率的である場合	549
1 2.1.4 外力と抵抗の変動に差のある場合	551
<b>1 2.2 強度の分布</b>	<b>552</b>
1 2.2.1 引張強度の場合	552
1 2.2.2 座屈強度	554
1 2.2.3 曲げを受ける部材	555
1 2.2.4 寸法効果	555
1 2.2.5 保証試験後の分布	556
<b>1 2.3 構造信頼性の評価</b>	<b>556</b>
1 2.3.1 構造信頼性に対する社会的認識	556
1 2.3.2 構造信頼性解析のねらい	557
1 2.3.3 構造信頼性の解析手法	558
1 2.3.4 構造信頼性の解析例	561
1 2.3.5 構造信頼性の評価上の問題点	564
1 2.3.6 構造信頼性の今後の方向	564
<b>1 2.4 安全率と信頼度の関係</b>	<b>565</b>
1 2.4.1 $R$ および $S$ がともに指数分布の場合	566
1 2.4.2 $R$ および $S$ がともに正規分布の場合	566
1 2.4.3 $R$ および $S$ がともに対数正規分布する場合	567
1 2.4.4 $R$ および $S$ がともに $\chi^2$ 分布をする場合	567
1 2.4.5 $R$ および $S$ がともに打ち切り型正規分布である場合	568
1 2.4.6 信頼度の計算例	570
<b>1 2.5 構造物強度のシミュレーション</b>	<b>573</b>
1 2.5.1 はじめに	573
1 2.5.2 設計で考慮する主要因	573
1 2.5.3 要因の分類	574
1 2.5.4 構造物の設計手順	574
1 2.5.5 点検	575
1 2.5.6 擬似乱数	576
1 2.5.7 シミュレーションの方法	578
<b>1 3. 各機械およびシステムへの応用</b>	<b>583</b>
<b>1 3.1 音声の分析, 合成および認識</b>	<b>583</b>
1 3.1.1 音声の分析	583
1 3.1.2 音声の合成	586
1 3.1.3 音声認識	587

<b>1 3.2 大気・環境問題への応用</b>	588
1 3.2.1 時系列による解析	589
1 3.2.2 多次元線形回帰による解析	592
1 3.2.3 その他の手法	593
<b>1 3.3 河川水質データ解析への応用</b>	593
1 3.3.1 河川水質の分布ラグモデル	594
1 3.3.2 水質の実時間推定へのカルマンフィルタの応用	595
1 3.3.3 推定結果	598
<b>1 3.4 航空機の着陸荷重データの統計処理</b>	600
1 3.4.1 目的	600
1 3.4.2 スペックの背景	600
1 3.4.3 方法	600
1 3.4.4 結果	600
<b>1 3.5 自動車・鉄道車両におけるデータ処理</b>	603
1 3.5.1 自動車における不規則振動データ処理	603
1 3.5.2 路面凹凸	604
1 3.5.3 周波数応答解析	606
1 3.5.4 自動車走行データの連結性判定	608
1 3.5.5 部材疲労被害度の推定	608
<b>1 3.6 船の自動操舵への応用</b>	609
1 3.6.1 はじめに	609
1 3.6.2 船舶操縦系モデルと自動操舵装置	610
1 3.6.3 Self-Tuning 型オートパイロット	612
1 3.6.4 AR 型オートパイロット	614
1 3.6.5 適応型オートパイロット	615
<b>1 3.7 交通流の予測</b>	618
1 3.7.1 旅行時間の予測	619
1 3.7.2 実装予測システム	620
1 3.7.3 実験の結果	622
1 3.7.4 予測の効果	625
<b>1 3.8 リモートセンシング(ランドサットデータの画像処理)</b>	625
1 3.8.1 リモートセンシングとパターン認識	625
1 3.8.2 認識の対象データ	626
1 3.8.3 前処理	628
1 3.8.4 リモートセンシング画像のパターン認識	631
<b>1 3.9 火力発電プラントの同定と最適制御</b>	636
1 3.9.1 はじめに	636
1 3.9.2 AR モデルを利用する状態方程式の導出と制御系設計	636
1 3.9.3 システム同定と制御系設計の実際	638
1 3.9.4 実プラントにおける制御の例	642
<b>1 3.10 地震および地震動解析への応用</b>	642
1 3.10.1 地震と地震動	642

13.10.2	地震記録	642	
13.10.3	地震記録の補正と速度・変位の計算	643	
13.10.4	非定常スペクトル	644	
13.10.5	フーリエスペクトルと応答スペクトル	645	
13.10.6	設計スペクトル	647	
13.10.7	人工的に作成された地震動	647	
13.11	<b>統計的破壊力学</b>		648
13.11.1	はじめに	648	
13.11.2	破壊力学	649	
13.11.3	確率論の導入	650	
13.11.4	検査の不確かさ	651	
13.11.5	材料の品質	651	
13.11.6	総合判断による取替え	652	
13.11.7	複合解析	653	
13.11.8	意思決定	653	
13.12	<b>材料疲労と波形処理</b>		656
13.12.1	波形計数処理	656	
13.12.2	レインフロー法アルゴリズム	658	
13.12.3	疲労被害評価用プログラム	663	

