

計測・制御  
テクノロジー  
シリーズ  
4

計測自動制御学会 編

# 計測のための統計

寺本 顕武 共著  
椿 広計

コロナ社

---

---

会誌出版委員会（平成 29 年度）

出版ワーキンググループ

主 査 小 木 曾 公 尚  
委 員 天 野 晃  
(五十音順) 倉 本 直 樹  
小 林 洋  
中 荃 隆  
奈 良 高 明  
安 井 裕 司

---

---

# ま え が き

本書は、計測に関わる確率・統計の基本から応用までを扱っており、理工系の学部学生・大学院生あるいは計測に関わる技術者に学んでいただきたいテーマをピックアップしている。また、計測ということになじみのない品質管理、データサイエンス、統計の専門家に対しても、計測分野の応用統計の一端を理解していただける内容ではないかと考えている。

**1**章は、計測に関係する基本概念を提示している。そして、**2**章以降はおおむね3部構成としている。工学系全般に必要な確率・統計の数理的知識を紹介した**2**章、**3**章、測定値の不確かさ評価や改善に必要な知識を紹介した**4**章、**5**章、測定に関わる統計モデルと当てはめを紹介した**6**章である。また、**2**章以降では、読者の理解を深めるための例題や章末問題を配置した。

**2**章では、**3**章以降で必要となる確率・統計に関する基礎を紹介している。多数のデータを扱うことが統計学であるが、データをただ眺めていても全体の傾向は見えてこない。そこで、統計処理を行い、その傾向や特徴を把握することが不可欠である。そこで本章では、代表的な統計処理手段と確率変数およびその分布について記述した。特に、確率密度関数および統計パラメータの導出過程を式の展開を通して示している。

**3**章は、標本から、母集団の性質、構造や法則性を推定するプロセスを紹介している。対象のすべてを測定することは不可能であり、測定結果は、母集団のごく一部を示しているにすぎない。すなわち、計測行為は、つねに不確実性を伴う。そこで本章では、標本から母集団のパラメータを推定する手法、およびその確からしさについて、紹介している。

**4**章は、測定の不確かさ評価に関して国際的に合意された方法論を紹介した。このために、測定結果とその不確かさに与える要因を表現する統計モデルと基

本的な不確かさ評価技法，それらの要因の中で実験的に不確かさへの影響が評価可能なものと原理的にエキスパートが評価せざるを得ないものとの峻別，不確かさを評価するための乱数実験の技術を紹介した。

5章は，測定の不確かさを改善する実験的方法論，統計的には実験計画法と呼ばれる方法の入門的知識を紹介した。まず，素朴な測定の繰返しに基づく方法を紹介した。その後で，複数の測定対象の不確かさを同時測定によって改善する直交表実験，タグチメソッドと呼ばれることもある，測定方式のSN比評価とそれに基づく最適化技術の概略を紹介した。

6章は，線形な入出力関係をデータに基づいて同定するための方法論を紹介した。統計的には入力変数には測定誤差がないと想定した回帰分析と呼ばれる線形推測論の基礎理論を示し，回帰分析の計測分野の応用として校正の方法を紹介した。この校正の問題の中で，入力変数の測定誤差の問題を導入し，その一般化，統計的に測定モデルとその当てはめとされている話題を紹介した。

4章以降，複雑な統計計算を支援するための統計解析用プログラミング言語Rによるコーディング例をR演習として紹介した。Rは自由にダウンロードできるフリーソフトウェアなので，簡単な入手方法と利用方法，特に2章の確率計算での利用例について付録で取りまとめた。

本書の企画は，2014年，寺本が旧知の椿に執筆を呼び掛けたことからスタートした。そこから2箇月に1回程度のペースで集まり，寺本が1～3章，椿が4～6章を主として執筆するということで共同執筆作業が始まった。気が付いてみれば，執筆に3年以上を要してしまった。この間，東京大学工学部計数工学科の奈良高明先生には内容を逐次チェックしていただいた。心から御礼申し上げます。

計測技術を改善する上で，確率や統計が役に立ってもらえればとの思いもあり，相当内容が膨らんでしまった。その意味では，読者の皆様方に利活用していただいた上で，いろいろなご意見やご批判をいただければと考えている。

2018年2月

著者を代表して 寺本 顕武

# 目 次

## 1. 計測について考える

1.1 歴史にみる「はかる」	1
1.2 単位と標準	4
1.2.1 基本単位	4
1.2.2 組立単位と次元解析	6
1.2.3 SIの接頭辞	8
1.2.4 トレーサビリティ	8
1.3 基本的な計測法	10
1.3.1 直接測定と間接測定	10
1.3.2 基本測定法, 定義測定法と比較測定	11
1.3.3 偏位法と零位法	12
1.3.4 補償法と差動法	13
1.4 計測器の特性	16
1.4.1 感度と識別能, 識別限界, 分解能	16
1.4.2 測定範囲と指示範囲	17
1.4.3 直線性	17
1.4.4 静特性と動特性	19

## 2. 測定値の不確かさを表現するための基礎統計

2.1 測定値の分布の視覚的表現と数理的表現	23
------------------------	----

2.1.1	度数分布表による表現	23
2.1.2	ヒストグラムによる表現	25
2.1.3	累積比率グラフによる表現	26
2.1.4	代表値による表現	26
2.1.5	ちらばりの表現	28
2.2	二次元の測定値の分布の表現	31
2.2.1	散 布 図	32
2.2.2	共 分 散	33
2.2.3	相 関 係 数	33
2.3	連続型確率変数と確率密度関数	34
2.3.1	確 率 変 数	35
2.3.2	離散型確率分布	36
2.3.3	確率密度関数	42
2.3.4	平均と分散	42
2.3.5	積 率	43
2.3.6	積率母関数	43
2.3.7	特 性 関 数	44
2.3.8	代表的な連続型確率分布	45
2.4	多次元の確率密度関数	74
2.4.1	同時確率密度関数	75
2.4.2	周辺確率密度関数	75
2.4.3	条件付き確率密度関数	75
2.4.4	ベイズの定理	77
2.4.5	共分散と相関係数	77
2.4.6	独立と無相関	78
2.4.7	確率変数の和	80
2.4.8	確率変数の積	82
2.4.9	確率変数の商	84

2.4.10 多変量正規分布	85
問 題	92

### 3. 母集団と標本

3.1 統計的調査	95
3.1.1 全数調査と標本調査	95
3.1.2 標本抽出	96
3.2 標本分布	97
3.2.1 標本統計量	97
3.2.2 大数の法則, 中心極限定理	101
3.2.3 正規分布から導かれる標本分布	108
3.3 点推定	127
3.4 区間推定	139
3.4.1 母平均の区間推定	139
3.4.2 母分散の区間推定	145
3.4.3 二つの母集団の母平均の差の区間推定	148
3.4.4 二つの母集団の母分散の比の区間推定	152
3.5 最尤推定	155
3.5.1 尤度関数	155
3.5.2 最尤推定量	156
3.6 ベイズ推定	160
3.6.1 事前確率分布と事後確率分布	160
3.6.2 事後確率分布の更新	163
3.6.3 統計量のベイズ推定	165
問 題	170

## 4. 測定値の不確かさ

4.1	測定結果導出のモデルとその不確かさの原因	172
4.1.1	分散の計算：並行条件と再現条件	173
4.1.2	測定の不確かさのモデルと不確かさの近似表現	173
4.2	実験的に推定できる不確かさとそうでない不確かさ	180
4.2.1	タイプ A 評価	180
4.2.2	タイプ B 評価	180
4.3	合成不確かさのモンテカルロシミュレーションによる表現	183
4.3.1	疑似一様乱数の発生	183
4.3.2	不確かさ評価へのモンテカルロシミュレーションの利用	185
問	題	189

## 5. 測定の不確かさの改善

5.1	繰返し測定による不確かさの改善	191
5.2	直交表実験による測定の不確かさの改善	193
5.2.1	統計的実験計画法：秤量実験と直交計画	194
5.2.2	直交表実験を用いた測定不確かさの統計的評価	199
5.2.3	不確かさを特性とした実験計画	202
5.3	SN 比とその改善	207
5.3.1	SN 比と不確かさ	208
5.3.2	SN 比の評価	209
5.3.3	ロバストパラメータ設計	212
問	題	214

## 6. 関係性の分析

6.1 回帰分析	215
6.1.1 回帰関数	215
6.1.2 線形回帰モデルと最小二乗法	216
6.1.3 直交射影の導出と線形モデルの最小二乗推定	219
6.1.4 最小二乗推定量の不偏性と推定の不確かさ評価	223
6.1.5 線形モデルの不確かさの評価	224
6.1.6 未知パラメータの推定の不確かさ評価	226
6.1.7 推定精度を加味した出力予測の不確かさ評価	226
6.1.8 回帰分析などのための統計ソフトウェア利用	228
6.2 校正：簡易測定の基本測定による評価	231
6.2.1 基本測定の測定誤差が無視できる場合	232
6.2.2 基本測定の計測誤差が無視できない場合	235
6.3 一般測定モデルとしての変数誤差モデル	237
6.4 最尤法による数値計算	246
問題	251

## 付録 統計分析ツールとしての R

A.1 R の沿革	252
A.2 R のインストール	252
A.3 R によるデータの読み込み	253
A.4 R による確率計算	253
A.4.1 二項分布	254
A.4.2 ポアソン分布	254
A.4.3 一様分布	254
A.4.4 指数分布	255

A.4.5	ガンマ分布	255
A.4.6	ワイブル分布	256
A.4.7	ベータ分布	256
A.4.8	コーシー分布	256
A.4.9	正規分布	257
A.4.10	対数正規分布	257
A.4.11	多次元正規分布	258
A.4.12	自由度 $n$ の $\chi^2$ 分布	258
A.4.13	自由度 $n$ の $t$ 分布	259
A.4.14	自由度 $(n_1, n_2)$ の $F$ 分布	259
A.5	R の参考文献	260
引用・参考文献		261
問題解答		264
索引		275

# 1



## 計測について考える



JIS では、計測は「特定の目的をもって、事物を量的にとらえるための方法・手段を考究し、実施し、その結果を用い所期の目的を達成させること」と定義されている。このことは、ある事象に対する少数の測定結果より、事象の要因を推定するプロセスにほかならない。そこで、本書は、計測に不可欠な確率・統計に関するテーマをピックアップし、理工系の学部学生や大学院生、および計測に関わる技術者に学んでいただくことを目的としている。まず 1 章では、計測に直接触れたことのない方々にも、その概要を理解していただけるよう、計測の基本概念を紹介している。

### 1.1 歴史にみる「はかる」

本節では、「はかる」行為が人間の生活あるいは生存において大切な役割を果たし、われわれの好奇心に強く訴えかけるものであることを再確認する。『字通』（白川静著）で調べてみると、表 1.1 に示されるように数多くの漢字に対して「はかる」という訓読が当てられている<sup>1)†</sup>。

このように「はかる」は、対象の本質を捉えようとする認識行為と対象を体系化する計画行為を意味する言葉となっている。人間個体に着目すると、視覚、聴覚、嗅覚、味覚、触覚などの感覚を用いて量を判断し、狩猟や採取をして命をつないできた。さらに、複数の人間が集まり集団で作業をするようになると、個体が判断した量に対して共通認識を持つ必要が出てくる。その結果、基準や尺度の概念が生まれてくる。

---

<sup>†</sup> 肩付き数字は巻末の引用・参考文献番号を表す。

表 1.1 漢字で表す「はかる」<sup>1)</sup>

	字 例	元の意味
1	寸	指 4 本の並べた長さを単位としてはかる
2	裁	衣の長さをはかり裁つ
3	秤, 衡	天秤で質量をはかる
4	量	いれものに入れてはかる
5	程	種まき等の時期を定め神に申告する
6	圖 (図)	農地全域をさまざまなパラメータに基づいてはかる
7	計	吉凶の数を数えて占う
8	校, 覚	二者を比較する
9	茹	巫女のエクスタシーとともに神託をうける
10	咨, 諮, 諷, 商, 議	神と相談して原因をさぐる
11	略	土地や版図の経営をはかる
12	測	準則によってはかる

- 中国の歴史書、「史記・夏本紀」に「準繩を左にし、規矩を右にす」というくだりがあり、禹が、水準器とコンパスや、曲尺を引っさげて、治水に奔走したことが記録されている<sup>2)</sup>。
- 「墨子・法儀篇」には、「百工為方以矩，為円以規，直以繩，正以縣，平以水」（百工は方を為るに矩を以てし，円を為るに規を以てし，直には繩を以てし，正には縣を以てし，平には水を以てす）と計測手段が記述されている<sup>3)</sup>。
- わが国においても、757年に施行された養老令では、「第二十七 関市令〔げんしりょう〕十四 官私權衡條：凡官私權衡度量。毎年二月。詣大藏省平校。不在京者。詣所在國司平校。然後聽用」（官私の權衡〔ごんこう〕（＝さお秤）・度（＝物差し）・量（＝ます）は、毎年2月に、大藏省に行つて校正せよ。都でない場合は、所在の國司に行つて校正せよ。然る後に使用を許可す）と定められている<sup>4)</sup>。
- 現行の計量法第三章「適正な計量の実施」第四節「定期検査」第十九条では、「特定計量器（第十六条第一項又は第七十二条第二項の政令で定めるものを除く。）のうち、その構造、使用条件、使用状況等からみて、その性能及び器差に係る検査を定期的に行うことが適當であると認められるもの

であって政令で定めるものを取引又は証明における法定計量単位による計量に使用する者は、その特定計量器について、その事業所（事業所がない者にあつては、住所。以下この節において同じ。）の所在地を管轄する都道府県知事（その所在地が特定市町村の区域にある場合にあつては、特定市町村の長）が行う定期検査を受けなければならない。ただし、次に掲げる特定計量器については、この限りでない。」と定められている<sup>5)</sup>。養老令における「所在の国司」が現行法では、「所在地を管轄する都道府県知事」に変わっただけである。

このように、「はかる」行為は人間の社会生活に深く関係している。一方、計測には、真実への接近手段としての観測を行い、その結果を数値化、符号化した上で普遍化する大切な役割がある。エジプトやバビロニアでは、紀元前 4000 年頃から、「天文学」、「数学」、「医学」、「化学」などが芽生えていたといわれている<sup>6)</sup>。筆者が想像するに、これらは精密な天体観測や人体観測、あるいは実験によっていたことであろう。同時に、おそらくこの当時から、人類は「測ることによって知識・技術を得ていた」と考えてよい。さらに時代がくんだりギリシャにおいて、アリストテレス (Aristotle, BC384~322) は、現代でも通用する科学的自然認識を確立し、科学と観測（計測）が不可分であることを示した。15 世紀末になると、レオナルド・ダ・ヴィンチ (Leonardo da Vinci, 1452~1519) が “Science is the observation of things possible, whether present or past; prescience is the knowledge of things which may come to pass, though but slowly.” と述べている<sup>7)</sup>。16 世紀末から 17 世紀になると、望遠鏡、気圧計、振り子時計、顕微鏡、温度計、気圧計などの新しい「測定機器」や、計算尺、機械式計算機などの「データ処理機器」が発明あるいは製作され、真実への接近手段としての観測を行い、その結果を数値化、符号化した上で普遍化する大切な役割を果たした。真偽は確認されていないが、ガリレオ・ガリレイ (Galileo Galilei, 1564~1642) は “Measure what is measurable, and make measurable what is not so.” と述べた。こうして測定や計測とともに近代科学や技術が発展した。18 世紀に入るとジェームス・ワット (James Watt, 1736~1819) によって蒸

気機関が飛躍的に改良され、エドモンド・カートライト (Edmund Cartwright, 1743~1823) によって蒸気機関を動力とした力織機が発明された。これによって、綿織物の大量生産が可能となり、イギリスを綿織物輸出国として成長させることになった。一連の流れをまとめて産業革命と呼んでいる。生産性を向上させ、均一な品質の製品を大量に作ると同時に、それを保証するために「はかる」技術が寄与することとなった。

## 1.2 単位と標準

観測 (observation) や測定 (measurement) によって得られた量 (quantity) の客観性や普遍性が保証されなければ、第三者がそれらの値 (value) を信頼することができず、再利用することができない。そこで (1) 対象を量的に捉える基準としての単位 (unit), さらに (2) 単位およびその倍量あるいは分量を具体的に実現する装置もしくは方法 (現示) としての標準が定められる。

### 1.2.1 基本単位

単位は、いろいろな量に対して、それぞれ独立に定めることもできるが、普遍的な科学・技術の発展のためには、人類共通の基準を持った方がよい。また、一般に測定の対象となる種々の量は互いに独立ではなく、科学法則や定義、あるいは工業的な約束によって関係付けられることが多い。そのため、少数のきわめて基本的な独立の単位を基本単位 (base unit, fundamental unit) として定義し、他の量については、基本単位を組み合わせることで系統的に表す方がより普遍的である。

そこで、メートル条約により確立した単位系は再度精査され、1960年の第11回国際度量衡総会 (Conférence générale des poids et mesures, CGPM) で国際単位系 (Système International d'Unités, SI) が定められた。表 1.2 に七つの SI 基本単位の定義とその現示 (実現手段) を示す (A concise summary of the International System of Units, the SI, 国際文書 SI 第 8 版日本語版

表 1.2 基本単位

	単位	呼称	定義
			現示
長さ	m	メートル	真空中で 1 秒の 299 792 458 分の 1 の時間に光が進む行程の長さ
			協定世界時に同期した光周波数コム装置
時間	s	秒	セシウム 133 の原子の基底状態の二つの超微細構造の間の遷移に対応する放射の周期の 9 192 631 770 倍の継続時間
			セシウム原子時計
質量	kg	キログラム	国際キログラム原器の質量
			国際キログラム原器
温度	K	ケルビン	水の三重点の熱力学温度の 1/273.16
			水の三重点セル
電流	A	アンペア	真空中に 1 m の間隔で平行に置いた、無限に小さい円形断面積を持つ無限に長い 2 本の直線状導体のそれぞれを流れ、これらの長さ 1 m につき $2 \cdot 10^{-7}$ N の力を及ぼし合う一定電流。ただし力の単位 N (ニュートン) は $\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ で与えられる。
			ジョセフソン効果電圧標準器で電圧、量子ホール硬化抵抗標準器で抵抗を校正し、オームの法則に従って電流を算出する。
物質質量	mol	モル	0.012 kg の炭素 12 ( $^{12}\text{C}$ ) の中に存在する原子の数と等しい数の要素粒子または要素粒子の集合体で構成された系の物質質量。
			同位体希釈質量分析法、電量分析法、重量分析法、滴定法、凝固点降下法
光度	cd	カンデラ	周波数 $540 \cdot 10^{12}$ Hz の単色放射を放出し、所定の方向におけるその放射強度が 1/683 W/sr である光源の、その方向における光度。ただし、周波数の単位 Hz (ヘルツ) は $\text{s}^{-1}$ 、仕事率の単位 W (ワット) は $\text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-3}$ で与えられる。立体角の単位 sr (ステラジアン) は無次元量である。
			極低温 (液体 He 温度) 電力置換放射計、標準電球、分光視感効率近似受光器等

[注] 2017 年 10 月 24 日付け 国立研究開発法人 産業技術総合研究所のプレスリリースに『質量の単位「キログラム」の新たな基準となるプランク定数の決定に貢献—世界最高レベルの精度でプランク定数を測定—

ポイント

- ・国際キログラム原器の長期的な質量安定性を上回る精度でプランク定数を測定
- ・科学技術データ委員会による、キログラムの新たな定義に用いられるプランク定数の決定に貢献
- ・およそ 130 年ぶりのキログラムの定義改定に貢献する歴史的な成果』とあり、プランク定数に基づく新たなキログラムの定義に移行する可能性がある。当プレスリリース本文は、つぎの URL で確認できる。

[http://www.aist.go.jp/aist-j/press\\_release/pr2017/pr20171024/pr20171024.html](http://www.aist.go.jp/aist-j/press_release/pr2017/pr20171024/pr20171024.html)

# 索引

<b>【あ】</b>	かたより	171	誤差分散
値	過渡応答	19	コーシー分布
アーラン分布	間接測定	10	
安定分布	観測	4	<b>【さ】</b>
	感度	16	再帰性
	ガンマ分布	48	再現条件
<b>【い】</b>			最小二乗推定量
一様分布	<b>【き】</b>		最小二乗法
一連の測定値	幾何平均	27	最小二乗予測値
一致推定量	擬似一様乱数	183	最小目盛値
一致性	基本測定法	11	再生性
因子モデル	基本単位	4	最大目盛値
インパルス応答	逆問題	77	最頻値
	共分散	33	最尤推定
<b>【う】</b>	共分散構造モデル	232	最尤推定量
内側直交表			差動法
	<b>【く】</b>		残差
<b>【お】</b>	区間推定	139	算術平均
オイラーの定数	クラメール・ラオの下界	129	散布図
	繰返し条件	173	
<b>【か】</b>			<b>【し】</b>
回帰関数	<b>【け】</b>		識別限界
回帰分析	計画行列	196	識別能
階級	形状パラメータ	58	次元解析
階級数	系統抽出法	97	事後確率密度関数
階級値	系統変動	216	指示範囲
階級幅	計量標準供給制度	9	事象
概収束			指数分布
拡張不確かさ	<b>【こ】</b>		事前確率密度関数
確率関数	交互作用	203	自然共役事前分布
確率収束	校正	232	実験計画法
確率分布	校正事業者登録制度	9	尺度パラメータ
確率変数	勾配	174	自由度
確率密度関数	誤差の不偏性	215	周波数応答
			20

周辺確率密度関数	51	測定範囲	17	等分散性	215
出力変数	172, 215	測定モデル	238	特性関数	44
シュバルツの不等式	133	外側直交表	213	独立	79
寿命	47			独立同一分布	56
瞬間故障率	47	<b>【た】</b>		度数	25
条件付き確率	75	大数		度数分布表	24
条件付き確率密度関数	76	——の強法則	102		
状態空間モデル	238	——の弱法則	102	<b>【に】</b>	
信頼区間	141	——の法則	101	二項分布	38
信頼係数	141	対数正規分布	70	二重指数分布	52
		対数尤度関数	129, 156	入出力関係	172
<b>【す】</b>		代表値	26	入力変数	172, 215
水準	200	タイプ A 評価	180		
推定値	127, 180	タイプ B 評価	180	<b>【の】</b>	
推定方程式	236	畳込み	82	ノイズ因子	208
推定量	127	多変量解析	31		
推量	180	多変量正規分布	85	<b>【は】</b>	
ステップ応答	19	単位	4	はずれ値	29
		単回帰モデル	222	ばらつき	171
<b>【せ】</b>		探索的データ解析	252	パレート分布	73
生起確率	35	単純無作為抽出法	96		
正規線形モデル論	215			<b>【ひ】</b>	
正規分布	66	<b>【ち】</b>		比較測定	11
正規方程式	219	チェビシェフの不等式	101	ヒストグラム	25
静特性	19	中央値	24, 28	非退化	56
成分表示	198	中心極限定理	102	非復元抽出	97
積率母関数	43	中心積率	43	標準化	31
線形回帰モデル	217	調和平均	28	標準正規分布	67
線形推測論	215	直積実験	213	標準不確かさ	174, 175
線形潜在構造モデル	232	直接測定	10	標準偏差	30, 36, 43
線形測定モデル	238	直線性	17	標本	96
潜在変数	247	直交表実験	197	標本抽出	96
全数調査	95	直交射影行列	220	標本調査	95
尖度	43	直交配列	196, 197	標本統計量	97
				標本分散	100
<b>【そ】</b>		<b>【て】</b>		標本分布	97
相加平均	27	定義測定法	11	標本平均	98
相関係数	33	データフレーム	253	秤量実験	196
相乗平均	27				
層別抽出法	97	<b>【と】</b>		<b>【ふ】</b>	
測定	4	同時確率	75	フィッシャーの情報量	129
測定値	23	同時確率密度関数	51	復元抽出	97
——の不確かさ	171	動特性	19	不偏性	128

不偏統計量	128	母分散	98	尤度関数	77, 129, 156
フーリエ変換	44	母平均	98	ユニットベクトル	222
分解能	16				
分散	30	<b>【ま】</b>		<b>【よ】</b>	
分布	36	マクローリン展開	44	要因	199
分布関数	36			余事象	138
		<b>【む】</b>			
<b>【へ】</b>		無限母集団	96	<b>【ら】</b>	
平均	26	無作為抽出法	96	ラプラス分布	52
並行条件	173	無情報事前分布	161		
ベイズ更新	163	無相関	79	<b>【り】</b>	
ベイズ推定	77			離散型確率変数	35
ベイズの定理	77	<b>【め】</b>		理由不十分の原則	161
べき等性	220	メディアアン	26, 28	量	4
ベータ分布	62				
ベルヌーイ試行	36	<b>【も】</b>		<b>【る】</b>	
偏位法	12	モード	26, 28	累積確率密度関数	42
偏差値	31	モーメント	43	累積度数	25
変数誤差モデル	237	モンテカルロシミュレーション	183	累積比率グラフ	26
				<b>【れ】</b>	
<b>【ほ】</b>		<b>【や】</b>		零位法	12
ポアソン分布	39	ヤコビ行列式	51	レンジ	29
崩壊確率	47			連続型確率変数	35
包含係数	174	<b>【ゆ】</b>		<b>【わ】</b>	
法線	217	有限母集団	96	歪度	43
母集団	96	有効推定量	129	ワイブル分布	56
補償法	13	有効性	128		
母数	127				

<b>【B】</b>		<b>【P】</b>		~~~~~	
Bartlett 推定量	241	$p$ 次元データ	31	<b>【数字・記号】</b>	
		<b>【S】</b>		2 水準直交表	197
<b>【F】</b>		sem 関数	247	$\chi^2$ 分布	109
$F$ 分布	120	SN 比	207		
		<b>【T】</b>			
<b>【N】</b>		$t$ 分布	113		
$n$ 次の積率	43	Thompson 推定量	241		

— 著者略歴 —

寺本 顕武 (てらもと けんぶ)	椿 広計 (つばき ひろえ)
1983年 東京大学工学部計数工学科卒業	1979年 東京大学工学部計数工学科卒業
1985年 東京大学大学院工学系研究科修士課程 修了(計数工学専攻)	1982年 東京大学大学院工学系研究科修士課程 修了(計数工学専攻)
1988年 東京大学大学院工学系研究科博士課程 修了(計数工学専攻) 工学博士	1982年 東京大学工学部助手
1988年 佐賀大学理工学部講師	1987年 慶應義塾大学理工学部講師
1990年 佐賀大学理工学部助教授	1988年 工学博士(東京大学)
2007年 佐賀大学理工学部准教授	1997年 筑波大学社会学系助教授
2009年 佐賀大学理工学部教授	2000年 筑波大学大学院ビジネス科学研究科教授 ～12年
2010年 佐賀大学大学院工学系研究科教授 現在に至る	2005年 統計数理研究所リスク解析戦略研究セン ター長 ～13年
	2007年 統計数理研究所データ科学研究系教授 (総合研究大学院大学複合科学研究科教授) 2010年 統計数理研究所副所長 ～15年
	2015年 独立行政法人統計センター理事長 現在に至る
	2012年 筑波大学名誉教授
	2015年 統計数理研究所名誉教授
	2016年 総合研究大学院大学名誉教授

## 計測のための統計

Statistics for Measurement

© 公益社団法人 計測自動制御学会 2018

2018年4月12日 初版第1刷発行

検印省略

編者 公益社団法人  
計測自動制御学会  
著者 寺本 顕武  
椿 広計  
発行者 株式会社 コロナ社  
代表者 牛来真也  
印刷所 三美印刷株式会社  
製本所 有限会社 愛千製本所

112-0011 東京都文京区千石 4-46-10  
発行所 株式会社 コロナ社  
CORONA PUBLISHING CO., LTD.

Tokyo Japan

振替 00140-8-14844・電話(03)3941-3131(代)

ホームページ <http://www.coronasha.co.jp>

ISBN 978-4-339-03354-0 C3341 Printed in Japan

(横尾)



本書のコピー、スキャン、デジタル化等の無断複製・転載は著作権法上での例外を除き禁じられています。購入者以外の第三者による本書の電子データ化及び電子書籍化は、いかなる場合も認めていません。落丁・乱丁はお取替えいたします。