

土木・交通工学のための 統計学

— 基礎と演習 —

博士（工学） 轟 朝幸

博士（工学） 金子雄一郎

博士（工学） 大沢 昌玄

博士（工学） 長谷部 寛

博士（工学） 小沼 晋

博士（工学） 川崎 智也

共著

コロナ社

ま え が き

本書は、大学や高等専門学校などで土木・交通工学を専攻する学生をおもな対象とした、統計学に関する入門書です。本文中でも述べているとおり、統計学はデータを扱う理論や方法に関する学問であり、実験や調査から得られたデータの特性を的確に把握し、結果の評価や対策の検討に資する情報を提供するという重要な役割を担っています。

これまで統計学の教科書は多数出版されており、良書も多く存在します。ただし、例題をはじめ扱っている問題については、一般的な事象を対象としているものが比較的多いため、自らの専門分野において、設定した課題に対してデータを収集・分析するといった状況に直面すると、取扱いに戸惑うことも少なくないと思われまます。

この点について本書では、統計学の基礎的な理論や方法をできるだけいねいに説明するとともに、土木・交通工学分野で実際に扱う問題を題材とした例題や演習問題を豊富に用意することで、学習者の理解促進と実践力の向上を図っています。したがって、大学等における基礎教育段階のみならず、例えば卒業研究などで実験や調査を行い、得られたデータを整理・分析する際にも、参考になるものと考えています。なお、本書の対象範囲は、統計学の基本である記述統計（データの整理方法、確率と確率分布）、推測統計（推定と仮説検定）、回帰分析までであり、分散分析や多変量解析などについては、今後、姉妹編が出版される予定です。

本書は、日本大学理工学部土木工学科および交通システム工学科において、数理統計学やデータ解析の授業を担当している6名の教員によって執筆されたものです。各教員の専門分野は、構造工学、土木計画学、交通工学、建設管理工学、衛生工学と多岐にわたっており、各章の例題や演習問題の内容も、それ

ぞれの専門の内容を反映したものとなっています。これらの問題を解くことを通じて、土木・交通工学の各分野が対象としているさまざまな問題について、少しでも知る機会になれば幸いです。

本書の執筆にあたり、著者らの同僚の先生方からは、さまざまな情報を提供いただきました。そのなかでも、土木工学科の佐藤正己先生には、例題に対する助言をいただくとともに、実験中の写真を提供いただきました。また、交通システム工学科 轟・川崎研究室、土木工学科 金子研究室および小沼研究室の学生の皆さんには、例題や演習問題の作成に協力をいただきました。ここに記して、謝意を表します。なお、本書の各所でさまざまな写真を掲載していますが、これは読者に対象としている問題のイメージを持っていただくことを目的としたものであり、特定の組織や事業と関連したものでないことを、あらかじめお断りしておきます。

最後に、コロナ社の各位には、刊行に至るまで多くの支援をいただきました。ここに厚く御礼申し上げます。

2015年8月

著者一同

執筆者一覧 (執筆順)

轟 朝幸	(日本大学)	1章
長谷部 寛	(日本大学)	2章
小沼 晋	(日本大学)	3章
川崎 智也	(日本大学)	4章
金子雄一郎	(日本大学)	5章
大沢 昌玄	(日本大学)	6章

(所属は2015年8月現在)

目 次

1. 統計学とは

1.1 統計学の役割	1
1.2 土木・交通工学分野における統計学	2
1.3 統計学の分野	3
1.3.1 記述統計学	4
1.3.2 推測統計学	6

2. データの統計学的整理方法

2.1 データの種類と尺度	8
2.1.1 データの種類	8
2.1.2 データの尺度	10
2.2 度数分布表とヒストグラム	13
2.2.1 度数分布表	13
2.2.2 データのグラフ化	16
2.2.3 ヒストグラム	17
2.3 代 表 値	20
2.3.1 平 均 値	20
2.3.2 中 央 値	24
2.3.3 最 頻 値	24
2.4 散 布 度	25
2.4.1 データのばらつき	25
2.4.2 最大値・最小値・範囲・外れ値	27
2.4.3 四分位数	27
2.4.4 分 散	28
2.4.5 標準偏差	29
2.4.6 不偏統計量	30
2.4.7 変動係数	31
2.4.8 ヒストグラムの形状と分布の傾向	31

2.5 Excel を用いた統計分析	34
2.5.1 Excel による基本統計量の算出	34
2.5.2 Excel による度数分布表, ヒストグラムの作成	36
演習問題	39

3. 確率と確率分布

3.1 確率分布と確率変数	41
3.2 確率分布から確率関数へ	44
3.2.1 離散型・連続型の確率分布と確率変数	44
3.2.2 確率質量関数・確率密度関数	45
3.2.3 累積分布関数	46
3.3 二項分布	47
3.3.1 ベルヌーイ試行とその確率	47
3.3.2 二項分布の導出	47
3.4 ポアソン分布	53
3.4.1 ポアソン分布の確率質量関数	53
3.4.2 ポアソン分布の平均値と分散	55
3.4.3 二項分布とポアソン分布の選択指針	55
3.5 正規分布	58
3.5.1 正規分布の確率密度関数	58
3.5.2 標準正規分布とその確率密度関数	61
3.5.3 正規分布における標準偏差の範囲	66
3.6 そのほかの主要な確率分布	69
3.6.1 一様分布	69
3.6.2 幾何分布	70
3.6.3 指数分布	70
3.6.4 対数正規分布	71
3.7 確率および確率分布に関する Excel の利用	72
演習問題	73

4. 推 定

4.1 母集団の統計量の推定	75
4.1.1 母集団と標本	75

4.1.2 点推定と区間推定	77
4.2 標本平均の分布	81
4.2.1 中心極限定理と大数の法則	81
4.2.2 標本平均と分散	83
4.3 各種推定の方法	84
4.4 母平均の推定	85
4.4.1 母平均の推定 (母分散が既知の場合)	85
4.4.2 母平均の推定 (母分散が未知の場合)	88
4.4.3 サンプルサイズの決定	93
4.5 母平均の差の推定	96
4.5.1 母分散が既知のとき	97
4.5.2 母分散が未知だが等しいとき	98
4.5.3 母分散が未知で等しくないとき	100
4.6 母比率の推定	102
4.6.1 推定方法	102
4.6.2 サンプルサイズの決定	104
4.7 母分散の推定	105
4.8 母分散の比の推定	109
演習問題	111

5. 仮説検定

5.1 検定の考え方	113
5.2 検定の手順	115
5.2.1 検定の方法	115
5.2.2 検定の誤り—第1種の誤り・第2種の誤り—	118
5.2.3 両側検定・片側検定	119
5.3 各種検定の方法	121
5.3.1 母平均の検定	122
5.3.2 母比率の検定	126
5.3.3 母平均の差の検定	128
5.3.4 適合度検定	134
5.3.5 独立性検定	140
5.4 Excelを用いた仮説検定	143

5.4.1	確率の計算	143
5.4.2	等分散の検定 (F 検定)	143
5.4.3	母平均の差の検定	144
5.4.4	クロス集計表の作成方法	144
演習問題		147

6. 回 帰 分 析

6.1	二つの変数の関係を分析する基礎：散布図	149
6.1.1	散 布 図	149
6.1.2	外れ値 (異常値) の存在と扱い	151
6.2	二つの変数の関係性を評価する方法：相関分析	152
6.2.1	相 関 分 析	152
6.2.2	相関分析を用いてわかることの解釈の注意	155
6.3	二つの変数の従属関係を分析する：回帰分析	159
6.3.1	線 形 回 帰	159
6.3.2	決 定 係 数	162
6.3.3	回帰係数の検定： t 検定	163
6.3.4	線形回帰以外の回帰分析	166
6.4	三つ以上の変数の従属関係を分析する：重回帰分析	168
6.5	Excel を用いた回帰分析	170
6.5.1	散 布 図	170
6.5.2	相 関 分 析	170
6.5.3	回 帰 分 析	170
演習問題		172
付 録		175
引用・参考文献		182
演習問題解答		185
索 引		189

1

統計学とは

統計学とはデータを扱う理論や方法に関する学問である。本章では、統計学が扱うデータ分析の必要性について述べる。土木・交通工学などの工学分野において統計学がなぜ必要かについても言及する。また、統計学の種類（記述統計学、推測統計学）について概説する。

1.1 統計学の役割

統計学が最強の学問である[†]といわれることがある。なぜ統計学は最強の学問といわれるのか。それは、政治学・経済学であろうが医学であろうが、もちろん科学でも工学でも、どんな学問分野でも統計学的手法による分析結果は、検討や議論の根拠となるからである。

身の回りにはデータがあふれている。データとは、何らかの目的のために取得された数値やその集合体である。身長・体重・肺活量・視力などの身体的特徴、気温・風速・降水量などの気象特性、数学や英語などの試験結果（学力）、試合の得点・打率・防御率などのスポーツデータなどさまざまである。土木・交通工学の分野でも、橋梁の部材にかかる荷重（構造工学）・土の粒子の大きさ（地盤工学）・河川の流量（河川工学）・地盤の高低差（測量学）・交通量（交通工学）・水質（環境工学）などの測定データ、人口・世帯所得・生産高・土地利用別面積などの社会経済データをよく用いる。このデータからいろいろなことがわかるが、データそのものは数値の単なる羅列であり、漠然と眺めていても何もわからない。データを分類したり、数え上げたり、平均したりと何

[†] ベストセラーとなったビジネス書に『統計学が最強の学問である』（西内啓 著、ダイヤモンド社（2013））がある。

2 1. 統計学とは

らかの手を加えて分析することで、データが持っている特性をとらえることができる。つまり、数値を用いて、自然・社会現象などの特性を客観的に表したり、可視化（見える化）したりすることができ、測定結果の評価や課題の抽出、改善策の検討などに、きわめて役立つ情報となる。

集積されたデータを総称して**統計**（statistics^{†1}）と呼ぶ。そして、このデータの収集・分析などを扱う学問が**統計学**（statistics^{†2}）である。統計学の知識を身につけ、さまざまなデータを分析し、それらの結果を適切に判断する能力を身につければ、必ず将来において社会に貢献できる技術者になれるであろう。

1.2 土木・交通工学分野における統計学¹⁾

土木・交通工学分野では、より良い地域社会を築くためのインフラ（社会基盤施設）に関するさまざまな技術的知識を学ぶ。そこでは地域社会で将来起こりうる課題への対処が求められている。将来を展望するには、まずは地域社会で起きている実現象を深く洞察する必要があるが、実現象には**不確定性**（uncertainty）が伴う。自然現象にはつきものの偶然性（ランダムネス）に起因する「現象論的不確定性」であり、得られたデータはばらつきを含む。例え

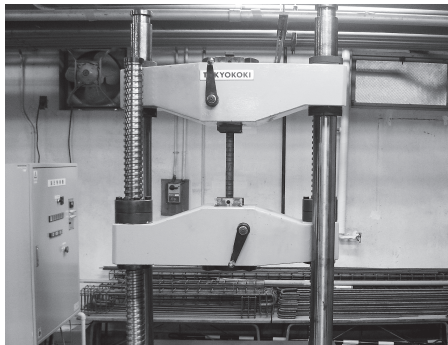


写真 1.1 鉄筋の引張強度試験

†1 語尾の s は statistic の複数形であることを表す。

†2 語尾の s は学問を意味し、statistics で単数形。

ば、鉄筋の引張強度試験を5回行えば、五つの異なる測定データ（数値）が得られる（写真 1.1）。

この違いは、同一条件下での実験に努めたとしても、鉄筋の材料の微妙な違いや試験時の気温・湿度など環境条件の違いなどから偶発的に発生する。このばらつきは元来存在するものであり、この現象論的不確定性を低減することは不可能である。実際にどのような測定値（あるいは測定値の範囲）をとるかは、確率論にかかわることである。つまり、データは確率的に出現した結果ということができ、これらの分析に統計学的知見が必要となる。

不確定性には、もう一つのタイプがある。将来起こりうる現象を予測するためには、現象をシミュレートする数学モデルを用いる。このモデルは、実現象を記述した数式であるが、実現象はきわめて複雑な要因の組合せからなり、数式ですべてを表現することは不可能である。つまり、現実に関する知識が不足しているか関連する情報が不完全であるために、実現象を完全にモデル化できないのである。これに起因して、もう一つのタイプの「認識論的不確定性」が発生する。例えば、実際の現場において鉄筋の設計を行う場合、実験の環境条件下での観測値をもとに、現場での鉄筋強度の予測を行い、その結果に基づき配筋設計を行う。その鉄筋強度の予測には、気温や湿度などを変数（要因）としたモデルを構築するが、採用された変数だけでは不完全であり、このモデルから算出される予測値は不正確さを含んでいる。この不正確さも確率として扱うことができ、予測分析においても統計学的知見が必要となる。なお、この認識論的不確定性はモデルを精緻化することで低減できる可能性がある。

1.3 統計学の分野

統計学には、図 1.1 のように記述統計学と推測統計学の二つの分野がある。

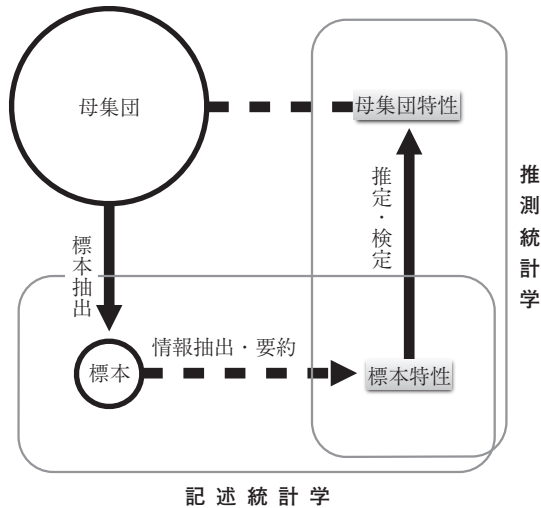


図 1.1 統計学分野の模式図

1.3.1 記述統計学

記述統計学とは、計測などによって取得したデータの特徴を把握するために、データが持つ情報を抽出・要約することに関する学問分野である。

例えば、ある道路の A 地点および B 地点それぞれを、朝 7 時台に通過するすべての車両の速度を観測して平均値を求めたところ、「A 地点は 24.5 km/h、B 地点は 20.8 km/h であり、B 地点のほうが朝ラッシュ時の渋滞がひどいことがわかった (図 1.2)」という使い方ができる。

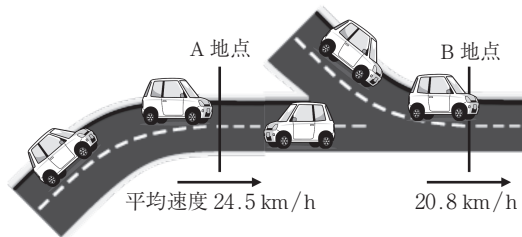


図 1.2 車両速度の観測結果

平均はデータの特徴を表す最もよく使われる統計的指標である。しかし、平均だけで2地点の速度の特徴をすべて表すことができるだろうか。データをよく見たところ、B地点では50～60 km/hの車両が数十台あったが、一方で、A地点は0台であった。つまり、A地点は全車両の速度が低速であったのに対し、B地点ではきわめて遅い車両と、そこそこの速度で走行している車両が混在していることがわかった。平均がデータ全体の特性を表すことができず、このような場合はデータのばらつきの様子も見ることで、データ特性をより詳細に知ることができる。ばらつきを表す代表的な統計的指標は標準偏差である。ほかにも統計的指標としては、最大値・最小値・中央値などもあり、これらの指標を算出して、データの特徴や傾向をさまざまな側面から把握することが可能となる（詳細は、2章を参照）。

また、ばらつきを視覚的に表すために頻度グラフ（ヒストグラム）を描くとよい（**図 1.3**）。このばらつきの形を分布といい、その分布形を数式で表すこともできる。この数式を確率関数あるいは確率密度関数[†]といい、これらはデータの特徴を表す数学的表現である（詳細は、3章を参照）。

これら統計的指標および確率密度関数が意味するところを理解すれば、取得できたデータの特徴を的確に抽出・要約できる。

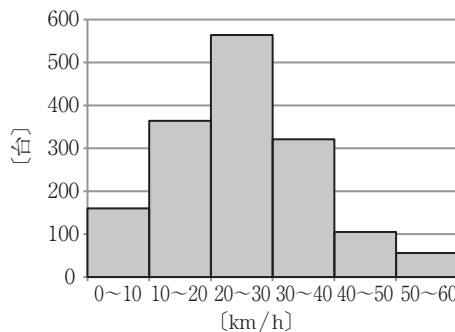


図 1.3 速度の頻度グラフ

[†] 離散型分布の場合は確率関数（あるいは確率質量関数）といい、連続型関数は確率密度関数という。

1.3.2 推測統計学

推測統計学とは、取得した一部のデータ（標本）から全体のデータ（母集団）の特性を把握する理論や方法に関する学問分野である。1920年代に生まれた比較的新しい分野である。

例えば、ある道路の朝7時台に車両速度をランダムに100台抽出して観測調査し、そのデータを使って1.3.1項で述べたように平均や標準偏差を計算する。その結果は、抽出された100台の特性を表しているが、朝7時台に通行する全車両の速度の特性を表しているといってよいのだろうか。推測統計学の理論からいうと、抽出されたデータ（標本）は全体（母集団）の特性を表しているといえるのである（詳細は、4章を参照）。しかし、抽出データ（標本）から全体（母集団）の特性を推定するのであるから、どうしても推定された値には誤差が生じる。そこで、誤差を把握しながら推定値が母集団の特性を表しているかを検定する必要がある（詳細は、5章を参照）。また、複数の母集団どうしの違いを検定する場合もある。推測統計学では、この誤差を把握して検定を行うからこそ、全数を調査することなく、一部の抽出データ（標本）を分析して、全体（母集団）の特性について考察することが許されるのである。

また、予測を行う場合などでは、現象を記述するモデルを作成して、予測値を推測する。モデルでは、予測したい変数（被説明変数） y とその要因となる変数（説明変数） x の関係が係数（パラメータ） a, b などを加えた数式で表現される。簡単なモデル式としては、一次線形式である $y = a + bx$ がある。この式を用いて説明変数 x の将来値が与えられれば被説明変数 y の予測値が算出できる。このとき、係数 a, b には数値が入っていなければならない、これらは取得された現況データなどをもとに推定する必要がある（詳細は、6章を参照）。推定されたパラメータは、前述と同様に誤差を含んでおり、この誤差を評価するための検定も重要となる。

コラム

ギリシャ文字の統計的意味

統計学では、統計指標や変数・係数などの統計用語の記号としてギリシャ文字が使われる。それぞれのギリシャ文字には、一般的に特定の統計用語があてられている。特に推定量（例えば、母平均 μ 、母標準偏差 σ ）を表す記号に使われるが、それはなぜだろうか。ギリシャ文字が使われる理由は、推定量は神のみぞ知る数値だからだといわれている。一方で、人間が知りうる数値（例えば、標本平均 \bar{x} 、標本標準偏差 s ）では、アルファベットが使われるのである。

これらギリシャ文字の一般的な統計学的意味を覚えていると統計分析を行う際に便利であるばかりか、一般的な意味と異なる記号を用いた場合に読み手が誤解してしまうことを防ぐことができる。

以下の表にギリシャ記号の読みと一般的な統計の意味をまとめておく。また、あわせて土木工学分野で用いられる一般的な意味も掲載しておく。ただし、ここに挙げた以外の意味で使われることもあるので注意が必要である。

表 ギリシャ文字の読み方とその用法

大文字	小文字	読み方	統計学での一般的な用法	土木工学での一般的な用法
A	α	アルファ	α : 有意水準, 回帰係数, 第1種の過誤	
B	β	ベータ	β : 回帰係数, 第2種の過誤	
Γ	γ	ガンマ	Γ : ガンマ関数	γ : 単位体積重量 (地盤力学)
Δ	δ	デルタ	Δ, δ : 変化量	δ : 変位 (応用力学)
E	ε	イプシロン	ε : 誤差項	ε : ひずみ (応用力学)
Z	ζ	ゼータ		
H	η	イータ		
Θ	θ	シータ	θ : 母数, 定数	
I	ι	イオタ		
K	κ	カッパ		
Λ	λ	ラムダ	λ : ポアソン分布のパラメータ	
M	μ	ミュー	μ : 母平均	
N	ν	ニュー		
Ξ	ξ	グサイ		
O	o	オミクロン		
Π	π	パイ	Π : 総乗, π : 円周率	
P	ρ	ロー	ρ : 母相関係数	ρ : 密度 (水理学)
Σ	σ	シグマ	Σ : 総和, σ : 母標準偏差 (σ^2 : 母分散)	σ : 垂直応力 (応用力学)
T	τ	タウ		τ : せん断応力 (応用力学)
Υ	υ	ウプシロン		
Φ	ϕ	ファイ	ϕ : 自由度	
X	χ	カイ	χ^2 : カイ二乗分布, カイ二乗検定	
Ψ	ψ	プサイ		
Ω	ω	オメガ		

2

データの統計学的整理方法

土木・交通工学の分野では、材料の強度試験や交通量調査、都市の人口の推移、河川の汚濁物質の混入度合いなど、さまざまな場面で実験、実測、調査に基づく多数のデータを扱う。さらに、得られたデータからその特性を見出す必要がある。多くの場合、数値の羅列である取得データを、単に目で眺めているだけでは、その特性を明らかにすることは難しい。したがって、通常はいくつかの方法によってデータを整理し、客観的にその特性を見出す。これを統計学では記述統計学と呼ぶ。本章では、記述統計学に基づくデータの整理方法を学ぶ。はじめに、データの分布の特性を知るための方法として、度数分布表およびヒストグラムについて述べる。つぎに、データの特性を数値的尺度として示す代表値および散布度について述べる。

2.1 データの種類と尺度

2.1.1 データの種類

写真 2.1 は橋梁工学の授業で実施した、橋梁を模擬した模型に重りを載荷して鉛直方向の変位（たわみ）の最大値を測定した実験の様子である。**表 2.1** に 20 人の学生の測定結果を示す。これらはどれも数値のデータであるが、「測定者」は学生を区別するために振られた数値であり、これらの数値の大小が意味を持つことはない。したがって、測定者 1 を測定者 A に、測定者 2 を測定者 B に書き換えても差し支えない。一方で「測定値」は（当然ながら）その数値の大小がたわみの大小を表しており、数値自体に意味がある。

表 2.2 はある幹線道路の工事实施に伴い行った、近隣住民への工事騒音に関するアンケート調査の結果である。「回答」は 1～5 の数値であるが、騒音の程度を数値に書き換えたものであり、その大小関係（順序）に意味があり、

表 2.1 橋梁模型のたわみの最大値の測定結果

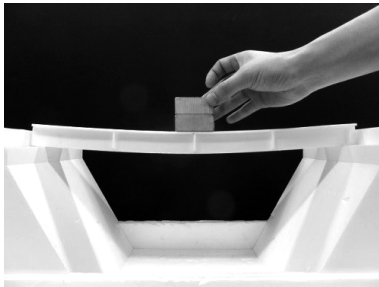


写真 2.1 橋梁模型のたわみを測定する実験の様子

測定者	測定値 [cm]	測定者	測定値 [cm]
1	4.46	11	5.20
2	6.87	12	6.06
3	6.95	13	6.10
4	4.61	14	6.29
5	3.98	15	4.75
6	5.64	16	5.24
7	6.23	17	5.05
8	5.67	18	5.70
9	4.77	19	7.03
10	5.76	20	6.53

表 2.2 ある幹線道路の工事騒音調査結果

回答者	回答
1	2
2	3
3	3
4	1
5	4
6	5
7	3
8	3
9	2
10	4

- 1: まったく気にならない
 2: あまり気にならない
 3: どちらともいえない
 4: 時々気になる
 5: 非常に気になる

数値自体には意味はない。例えば、2を選択した人が、1を選択した人よりも2倍騒音を感じているわけではない。ただし、数値の順序に意味があることから、選択肢を「3:非常に気になる」、「5:どちらともいえない」、という具合に入れ替えることはできない。

このようにひとくちにデータといっても、その数値が表す意味は大きく異なり、その結果、適用できる演算の種類も異なる。以上のような性質の違いを持つデータを区分する基準に**測定尺度** (scale) がある。

データは大きく分けて二種類に分類される。簡単にいえば、数値で表せるデータと表せないデータの二種類である。たわみ、材料強度、交通量、気温、試験の点数など、数値で表され、その値に意味のあるデータを**量的データ**と呼ぶ。一方で、前述の「測定者」や「回答者」、「回答」のように、対象となる人・物・現象などの違いを区分するために振られたデータを**質的データ**と呼ぶ。

2.1.2 データの尺度

質的データ、量的データはそれぞれ二つの尺度に分類される¹⁾。質的データは**名義尺度**と**順序尺度**に分けられる。「測定者」や「回答者」は人を区別するためだけの数値であり、数値自体に意味はない。例えば、回答者2が回答者1に対して何か2倍であるわけではなく、回答者1を回答者10に、回答者2を回答者20と書き換えても支障はない。このような単にカテゴリーの分類を表すデータを名義尺度と呼ぶ。

名義尺度に分類されるデータに対して足し算や掛け算などの演算は行うことはできない。例えば、表2.1の測定班のデータの合計値を求めると210になるが、この値に意味はない。名義尺度に対して適用できる演算は数のカウントのみである。

アンケート調査では表2.2のようにその選択肢が「1：良い、2：普通、3：悪い」といった具合に数値で表されることが多い。ただし、「1：良い」を選んだ回答者が「2：普通」を選んだ回答者よりも2倍良いと感じているわけではなく、数値の間隔（差）には意味はない。このようなデータも質的データに分類される。しかし、前述の名義尺度と異なり、数値の違いが状態の順序関係を表していることから**順序尺度**と呼ばれる。順序尺度に分類されるデータは、数のカウントだけでなく、大小関係の比較が可能である。

一方で、量的データは**間隔尺度**と**比例尺度**に分けられる。どちらも数値に大小関係があり、かつその間隔にも意味がある。間隔尺度と比例尺度の違いは、絶対的な原点（ゼロ点）があるかないか、もしくはデータが比例関係にあるかないかである。

索 引

<p>【あ行】</p> <p>誤り 118</p> <p>異常値 151</p> <p>一様分布 69</p> <p>一致性 78</p> <p>移動平均 23</p> <p>因果関係 157</p>	<p>期待度数 135</p> <p>帰無仮説 115</p> <p>共分散 153</p> <p>区間推定 77</p> <p>クロス集計表 140</p> <p>決定係数 163</p> <p>検出力 119</p> <p>検定統計量 116</p>	<p>スチューデントの t 統計量 89</p> <p>生起確率 42</p> <p>正規分布 58, 122</p> <p>正にひずんだ分布 32</p> <p>正の相関 153</p> <p>説明変数 160</p> <p>線形回帰 160</p> <p>尖度 33</p> <p>相関 152</p> <p>相関係数 153</p> <p>測定尺度 9</p>
<p>【か行】</p> <p>回帰係数 160</p> <p>回帰式 160</p> <p>回帰分析 159</p> <p>回帰方程式 160</p> <p>階級 14</p> <p>階級値 14</p> <p>確率 42</p> <p>確率関数 45</p> <p>確率質量関数 45, 49</p> <p>確率分布 42</p> <p>確率変数 42</p> <p>確率密度関数 45, 58</p> <p>加重平均 22</p> <p>仮説 115</p> <p>仮説検定 115</p> <p>片側検定 119</p> <p>合併した分散 98</p> <p>下方信頼限界 80</p> <p>間隔尺度 10</p> <p>観測値 149</p> <p>観測度数 135</p> <p>幾何分布 70</p> <p>幾何平均 20</p> <p>棄却 116</p> <p>棄却域 117</p> <p>疑似相関 158</p>	<p>【さ行】</p> <p>最小二乗法 160</p> <p>最小値 27</p> <p>最大値 27</p> <p>採択 116</p> <p>採択域 117</p> <p>最頻値 24</p> <p>最尤推定量 79, 102</p> <p>最尤法 78</p> <p>算術平均 20</p> <p>散布図 149</p> <p>散布度 27</p> <p>指数分布 70</p> <p>質的データ 10, 121</p> <p>四分位数 27</p> <p>四分位範囲 27</p> <p>四分位偏差 27</p> <p>重回帰分析 168</p> <p>従属変数 160</p> <p>自由度 83</p> <p>順序尺度 10</p> <p>上方信頼限界 80</p> <p>信頼区間 80</p> <p>信頼係数 80</p> <p>推定 75</p> <p>推定量 78</p> <p>スタージェスの公式 18</p>	<p>【た行】</p> <p>第1種の誤り 119</p> <p>対数正規分布 71</p> <p>大数の法則 82, 122</p> <p>対数尤度関数 79</p> <p>第2種の誤り 119</p> <p>代表値 20</p> <p>対立仮説 115</p> <p>多重共線性 169</p> <p>単回帰分析 159</p> <p>中央値 24</p> <p>中心極限定理 81, 122</p> <p>調和平均 21</p> <p>適合度検定 134</p> <p>点推定 77</p> <p>統計 2</p> <p>統計学 2</p> <p>統計的推論 76</p> <p>等分散の検定 131</p> <p>独立性検定 140</p> <p>独立変数 160</p> <p>度数 14</p> <p>度数分布表 14</p>

	【な行】	分布関数	46	量的データ	10, 121
		平均	20	理論度数	135
二項分布	50	平均値	20	臨界値	117
二標本問題	96	ベルカーブ	59	累積分布関数	46
	【は行】	ベルヌーイ試行	47, 102	連続型確率変数	45
背理法	118	偏差	29	連続型の確率分布	45
箱ヒゲ図	28	偏相関係数	158		
外れ値	27, 151	変動係数	31	【わ行】	
範囲	27	ポアソン分布	53	歪度	33
ピアソンの χ^2 値	135	母集団	75, 113		
ヒストグラム	17, 36	母数	75, 113	【英字】	
被説明変数	160			CDF	46
非線形回帰	166	【ま行】		CV	31
左にひずんだ分布	32	右にひずんだ分布	32	F 検定	100, 131
標準化	61, 85	無作為抽出	76	F 値	109
標準正規分布	61, 86	無相関	154	F 分布	109
標準偏差	30	無相関検定	156	MLE	79
標本	75, 113	名義尺度	10	PDF	45
標本調査	76	モーメント法	78	PMF	45
標本分布	116	目的変数	160	P値	144
比例尺度	10			t 分布	89
フィッシャーの分散比	109	【や行】		Waldの式	103
不確定性	2	有意水準	80, 117	Welchの検定	131
負にひずんだ分布	32	有効推定量	78	χ^2 分布	106
負の相関	154	有効性	78		
不偏推定量	78	尤度関数	79	【Excel関数】	
不偏性	78			BINOM.DIST関数	72
不偏統計量	30	【ら行】		NORM.DIST関数	72
不偏標準偏差	30	ランダムサンプリング	76	NORM.S.DIST関数	72
不偏分散	30, 83	離散型確率変数	44, 49	PEARSON関数	170
分散	28	離散型の確率分布	44	POISSON.DIST関数	72
分布	13	離散型の分布	49		
		両側検定	119		

—— 著者略歴 ——

轟 朝幸（とどろき ともゆき）

1988年 日本大学理工学部交通土木工学科卒業
1990年 日本大学大学院理工学研究科博士前期課程修了（交通土木工学専攻）
1993年 日本大学大学院理工学研究科博士後期課程修了（交通土木工学専攻）
博士（工学）
1993年 日本大学助手
1994年 東京大学助手
1996年 東京大学講師
1997年 高知工科大学助教授
2003年 日本大学助教授
2007年 日本大学准教授
2008年 日本大学教授
2011年 高知工科大学客員教授（兼務）
～14年
現在に至る

大沢 昌玄（おおさわ まさはる）

1997年 日本大学理工学部土木工学科卒業
1997年 住宅・都市整備公団
1999年 都市基盤整備公団
2003年 日本大学助手
2008年 博士（工学）（日本大学）
2009年 日本大学専任講師
2013年 日本大学准教授
現在に至る

小沼 晋（こぬま すすむ）

1994年 東京大学工学部都市工学科卒業
1996年 東京大学大学院工学系研究科修士課程修了（都市工学専攻）
1999年 東京大学大学院工学系研究科博士後期課程修了（都市工学専攻）
博士（工学）
1999年 日本下水道事業団技術開発部非常勤職員
2000年 運輸省港湾技術研究所海洋環境部海水浄化研究室研究官
2001年 独立行政法人港湾空港技術研究所海洋・水工部沿岸生態研究室研究官
2003年 独立行政法人港湾空港技術研究所海洋・水工部主任研究官
2010年 日本大学助教
現在に至る

金子 雄一郎（かねこ ゆういちろう）

1996年 日本大学理工学部交通土木工学科卒業
1998年 日本大学大学院理工学研究科博士前期課程修了（交通土木工学専攻）
2001年 日本大学大学院理工学研究科博士後期課程修了（交通土木工学専攻）
博士（工学）
2001年 財団法人運輸政策研究機構運輸政策研究所研究員
2004年 財団法人運輸政策研究機構調査室調査役
2006年 日本大学専任講師
2010年 日本大学准教授
現在に至る

長谷部 寛（はせべ ひろし）

2001年 日本大学理工学部土木工学科卒業
2003年 日本大学大学院理工学研究科博士前期課程修了（土木工学専攻）
2003年 日本大学助手
2010年 博士（工学）（日本大学）
2011年 日本大学専任講師
現在に至る

川崎 智也（かわさき ともや）

2006年 日本大学理工学部土木工学科卒業
2008年 アジア工科大学院工学技術研究科博士前期課程修了（交通工学専攻）
2011年 東京工業大学大学院理工学研究科博士後期課程単位取得退学（国際開発工学専攻）
2011年 公益財団法人日本海事センター研究員
2012年 博士（工学）（東京工業大学）
2013年 日本大学助教
現在に至る

土木・交通工学のための統計学

— 基礎と演習 —

Statistics for Civil and Transportation Engineering

© Todoroki, Kaneko, Oosawa, Hasebe, Konuma, Kawasaki 2015

2015年10月16日 初版第1刷発行



検印省略

著者 轟 朝 幸
金子 雄一 郎
大沢 昌 玄
長谷部 寛 晋
小沼 晋
川崎 智 也
発行者 株式会社 コロナ社
代表者 牛来真也
印刷所 萩原印刷株式会社

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 978-4-339-05249-7 (安達) (製本：愛千製本所)

Printed in Japan



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おります。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おりません。

落丁・乱丁本はお取替えいたします