連　載

心理学分野で用いられる統計解析手法（1）

－データ解析における統計の利用と主な解析手法－

落　合　信　寿[1†]
[1]財団法人労働科学研究所

キーワード：心理統計学，データ解析

1. はじめに

心理学の分野は，研究対象の違いなどから，教育心理学，発達心理学，社会心理学など領域が細分化されており，工学など他の分野と深い関わりを持つ応用領域も存在する．心理学の一領域として，統計解析手法を用いて人間の心理・行動特性を定量的に測定する方法を研究する計量心理学（psychometrics：心理統計学，心理測定学などともいう）という分野があり，心理学分野における統計的手法の利用は，調査・実験などを通じて収集した心理測定データを分析する方法論として極めて重要である．

したがって，心理学の専門教育では，多くの場合，統計学に関する基礎的な講義や実験実習での統計学習が必須となっている．

筆者は心理統計を専門とする研究者ではないが，ある大学で心理統計関連科目の講義を担当し，心理系学生の統計教育に数年間携わっており，数的処理になじみの薄い文系学生に統計教育を行うことの難しさを感じている．

心理統計の領域は広範にわたり，本稿の範囲内では断片的な内容になるが，これまでの経験を踏まえて，心理統計を利用するユーザの立場から，心理学分野における統計解析手法の利用について述べていきたい．

2. データ解析における統計の利用

2.1 測定と尺度水準

実証的な心理学研究において，データを扱う際の基本は数値化であり，この操作によって様々な統計的手法の利用が可能となる．

調査・実験などを通じてデータを収集するために測定（measurement）と呼ばれる操作を行い，対象（個体）の持つ特性を数値に置き換える．付与された数値（測定値）の集合を生データ（raw data）として解析を行うのであるが，この数値の与え方には一定の基準がある．この基準（尺度）は測定対象の特性と数値との対応関係を定めたものであり，以下の 4 種類に区分される．

（1）名義尺度（nominal scale）
（2）順序尺度（ordinal scale）
（3）間隔尺度（interval scale）
（4）比率尺度（ratio scale）

名義尺度は特性の違いを区別するために用いる尺度で，同じ特性のものには同じ数値を割り当てる．例えば，性別を区別する場合，男性に 1，女性に 2 という数値を付与することで，同じ数値は同じ性別を表すことになる．順序尺度は数値間の差に意味がなく，測定する特性の大小関係（優劣関係）のみを区別する尺度である．例えば，順位（1 位，2 位，3 位…）や成績（優，良，可…）の区分がこれに該当する．間隔尺度は測定値が連続する数値で，数値間の差に意味のある尺度である．すなわち，間隔尺度（及び比率尺度）では，定規の目盛りのように，尺度上のどの部分においても数値の差が同じであれば特性の量的な差が等しいと見なすことができる．比率尺度は間隔尺度の性質に加えて原点 0（ある特性が無いことを示す絶対的なゼロ点）が存在し，測定値間の倍数関係（比）を問題にすることが可能となる．

このうち，名義尺度・順序尺度は，数量として表されないような定性的・質的な特性を分類・区別するために便宜的に数値を用いており，測定値は離散的な数値で表されるため質的変数（離散変数）といわれる．一方，間隔尺度・比率尺度は対象を量的に捉えることが可能であり，測定値は連続する実数で表されるため量的変数（連続変数）といわれる．これら 4 つの尺度の関係を表 1 に示した．

表 1　4 つの尺度水準の関係

測定尺度	量的変数		質的変数	
	比率尺度＞	間隔尺度＞	順序尺度＞	名義尺度
尺度の水準	高次 ←			低次
情報量	多い ←			少ない
尺度変換	高次 → 低次の尺度変換は可能			
	高次 ← 低次の尺度変換は不可能			
四則演算	可能	可能	不可能	不可能

表 1 より，比率尺度，間隔尺度，順序尺度，名義尺度の順で尺度がより高次となり情報量が多くなる．例えば，比率尺度はそれより低次の間隔尺度，順序尺度，名義尺度の

2011 年 3 月 29 日受付
†〒 216-8501　神奈川県川崎市宮前区菅生 2-8-14
財団法人労働科学研究所
落合　信寿
Tel: 044-977-2121　Fax: 044-976-8659
E-mail: n.ochiai@isl.or.jp

情報をも含むが，名義尺度は順序尺度以上の情報を含まない．したがって，高次の尺度から低次の尺度へ変換することは可能であるが，逆に低次の尺度を高次の尺度に変換することはできない．間隔尺度や比率尺度は四則演算が可能であるが，特性の違いや方向性（大小・優劣関係）を示す名義尺度や順序尺度に基づく測定値は，原則として四則演算ができない．

このような尺度水準の違いによって，適用できる統計的手法の選択肢が限られてくる．一般に，より高次の尺度である方が適用できる統計的解析法が多くなるので，尺度を選択する際には十分な注意が必要である．

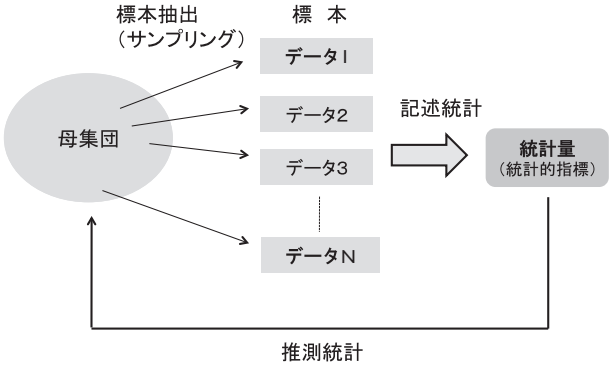


図 1　推測統計の基本的な考え方

2.2 記述統計

測定によってデータを入手したら，詳細な統計的解析を行う前に，まずデータ全体が示している傾向や統計的性質を取り急ぎ把握しておく必要があるだろう．そのために，測定データの全体的な特徴を整理・集約し，効率よく少数の数値によって明確に記述する手段・方法が記述統計である．

記述統計には，度数分布表やヒストグラムといった図表による記述と，平均値，標準偏差などといった数値による記述の 2 種類がある．図表による記述は，データの全体的傾向や性質を視覚的・直感的に理解できる反面，それらを数量的に知ることはできない．一方，数値による記述は，データの全体的傾向や性質を正確に数値として把握できるが，それらを具体的にイメージしにくい．このように，図表による記述と数値による記述とでは各々長所・短所があるため，目的に応じた記述の適用を心掛けることが肝要である．

記述統計において多用されるデータの特徴を客観的に記述する基本的な数値を基本統計量といい，以下の 3 つの指標がある．

（1）代表値：データの中心的傾向を示す統計量
（2）散布度：データ全体の広がり（ばらつき）の程度を示す統計量
（3）関連度：同一対象に対する 2 つの測定値の関連性の強さ

これらの基本統計量は尺度水準によって適用できる統計量が異なるため注意が必要である．尺度水準と基本統計量との関係を表 2 に示す．

表 2　尺度水準と基本等計量との関係

尺度	代表値	散布度	関連度
間隔・比率尺度	平均値（mean）	標準偏差，分散	ピアソンの積率相関係数
順序尺度	中央値（median）	範囲，四分位範囲	順位相関係数
名義尺度	最頻値（mode）	平均情報量	連関係数

2.3 推測統計

測定によって得られたデータに基づき，測定対象となる集団の一般的傾向について統計量を手がかりとして確率的に判断する手段・方法が推測統計である．

推測統計では，測定データは測定対象となる集団全体（母集団）から一定の手続きにより標本抽出（サンプリング）された標本（サンプル）であるとみなす（図 1）．すなわち，標本として得られたデータから母集団についての何らかの結論を得るための手法が推測統計であり，推定と統計的仮説検定の 2 通りがある．

推定（estimation）は，標本のデータから母集団の値を確率的に推測することで点推定と区間推定の 2 つの方法がある．一方，統計的仮説検定（statistical hypothesis testing）とは，標本から得られたデータの特徴が母集団にもあてはまるものであるかどうかを確率的に検証するものであり，2 つ以上の条件の間に何らかの差や関連性がみられるかを確率的に判断する方法である．

統計的仮説検定の手順は，大別すると，①仮説の設定，②検定の実施，③検定結果の確率的判断の 3 段階の手続きを経る．

①仮説の設定では，帰無仮説（null hypothesis）と対立仮説（alternative hypothesis）という 2 つの仮説を設定する．2 つの条件 A，B の間に差があるか否かを問題とするとき，帰無仮説は条件 A，B の差は偶然生じた差である（条件 A と B の間に差はない）と確率的に判断し，対立仮説は条件 A，B の差は偶然によって生じた差ではない（条件 A と B の間に差がある）と確率的に判断するものである．すなわち，2 つの相対する仮説を立て，帰無仮説が確率的に棄却できれば，対立仮説を採択する．

②では検定を実施して統計量を算出し，算出した統計量の分布における棄却域（帰無仮説を正しくないと判断し棄却する領域）と採択域（帰無仮説が正しいと判断し採択する領域）を設定する．③では，②で算出した統計量が採択域に入れば帰無仮説を採択し，棄却域に入れば帰無仮説を棄却する．

帰無仮説を棄却できるかどうかを判断する基準となるのが有意水準である（危険率ともいう）．これは確率的にあまりに生じにくいことが起きたので，偶然生じたのではないと判定する基準のことで，通常 5% ないし 1% の確率が用いられる．確率 5% の場合，100 回中 5 回（1% の場合 1 回）未満しか生じない現象が起きたので，これは偶然生じたのではないと判断し，帰無仮説を棄却する（すなわち対立仮

説を採択する）．

統計的仮説検定の検定方法は，目的，尺度水準や同時に処理する変数の数などによって異なるが，上記の検定手続きは基本的にどのような検定方法でも同じである．

2.4 多変量解析

多変量解析（multivariate analysis）とは，測定対象の多くの側面を全体的に分析する（多くの変数を同時に処理する）統計的解析を総称したものであり，目的の異なる様々な手法がその範疇に含まれる．

それらの目的は，①対象の持っている特徴の判別や分類をする（判別分析，クラスター分析など），②対象に何らかの影響を及ぼしている他の要因の有無とその影響力の強さを予測する（重回帰分析など），③対象の内部にある構造を分析し解明する（因子分析，主成分分析など）に大別され[1]，外的基準（予測や判別の対象となる基準）の有無，尺度水準，分析に用いる変数の数などによって適用できる手法が異なる．

3. 心理学で用いられる主な統計解析法

前章では，心理学分野のデータ解析における統計利用の基本的な考え方や，心理統計の基礎についてその概要を説明した．心理学分野において統計の利用は必須であり，用いられる手法は実に様々である．それら多様な解析法の中からどのような手法を用いるかについては，研究領域や研究対象，研究者の関心などによって異なってくるため，本稿の中でそれらを網羅的に解説することは難しい．

そこで本章では，心理学で用いられる主な統計的手法のうち，筆者が過去に自身の研究で用いた代表的な統計解析法をとりあげ，その概要について説明する．なお，本章でとりあげる統計解析法については，次回，筆者が携わった研究事例に基づいて具体的に詳説する予定であり，本章はその導入として基本的な事項を説明する．

3.1 実験計画法と分散分析

心理学分野における実験は，研究者が条件を可能な限り人為的に制御して，意図的に状況を変化させたときに，その変化によって生じる効果を検証することを目的として測定が行われるのが一般的である[2]．実験において測定値に影響を与える原因となるものを要因（factor）といい，その要因を質的に分類したり量的に変化させた複数の条件のことを水準（level）という．例えば，性別という要因は男性，女性という 2 つの水準に区分される．実験計画法では，ある結果に対して影響を及ぼすと考えられる要因とそれに含まれる水準を考え , これらを実験的に変化させた各条件（2 要因以上の場合はそれらの組み合わせ）のもとでデータを測定する．また，実験計画法では，独立変数と従属変数を設定する．独立変数は実験的に操作可能な条件で要因・水準がこれにあたる．従属変数は測定対象となるデータを指し，独立変数の影響を受けて変化する．

分散分析（Analysis of Variance: ANOVA）は 3 つ以上の平均値の差を検定する方法であり，実験計画法に基づく実験結果を解析する検定方法として用いられる．分散分析はデータ全体の分散（ばらつき）をグループ（条件）間の分散とグループ（条件）内の分散の和として考える．クループ間の分散とグループ内の分散を比較したとき，クループ間の分散がグループ内の分散より大きければ各グループの平均値の差が大きくなるが，クループ間の分散がグループ内の分散より小さければ各グループの平均値の差も小さくなり，その変動は誤差とみなされる．そこで分散分析では，グループ間とグループ内のばらつきの比（分散比）を算出し，統計的有意性の検定を行う．

分散分析は要因数の違いや対応の有無により分析のパターンが異なる．ここで，対応のある場合とは，2 条件 A と B に同じ被験者が割り当てられる場合で，被験者内要因ともいわれる．対応のない場合とは，2 条件 A と B に異なる被験者が割り当てられる場合で，被験者間要因とよばれる．

2 要因以上の分散分析では，要因の主効果と交互作用の両方が検定の対象となる．主効果とはある要因に単独の効果，交互作用は複数の要因の組み合わせによる効果である．

例えば，クラスの要因（A 組，B 組の 2 水準）と性別の要因（男子，女子の 2 水準）を設定し，2 つのクラスにおける男女のテストの成績を比較したとき，図 2 の左のグラフは性別に関わらず B 組の方が成績が良い．すなわち，2 つの要因は相互に影響を及ぼさず独立している．一方，右のグラフでは A 組は男子，B 組は女子の方が成績が良く，性別とクラスの組み合わせによって効果の現れ方が異なっている．

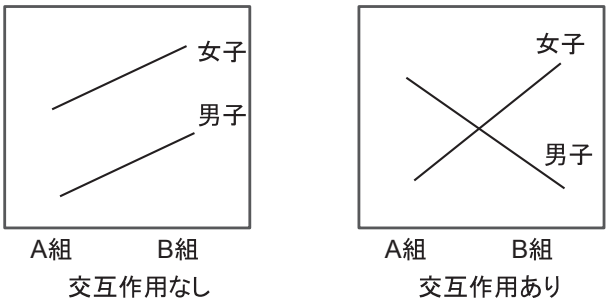


図 2　交互作用の例

分散分析を行いある要因に有意な効果が得られた場合，その要因の中でどの水準の間に有意な差があるか検定を行うことができる．この検定を多重比較（multiple comparison）といい，種々の方法がある．交互作用が有意であった場合は，要因 A の水準ごとに要因 B の水準間の差を比較する単純主効果の検定を行う．

3.2 因子分析

因子分析（factor analysis）は，尺度間の相関関係（変数 x が変化すれば変数 y も変化するという 2 変数間の共変関係）に基づき，複数の変数が共通に関連している潜在的な要因（因子）を抽出し，変数相互の関連を少数の因子で説明する

目的で行う多変量解析の一手法である．

例えば，主要 5 教科（国語，数学，理科，社会，英語）の潜在的因子を考えると，国語と社会は「文系能力」の因子，数学と理科は「理系能力」の因子で説明でき，「英語」は両方の因子と関連を持つと予測される．これらの因子は実際には観測不可能な構成概念である．

因子分析では，共通因子と独自因子（特殊因子）という 2 種類の因子を想定する．各観測変数に共通に影響を与える因子を共通因子という．一方，観測変数各々に独自に影響を与える因子を独自因子といい，通常誤差として扱われる．観測変数が共通因子によって説明される度合を示す値が共通性（communality）であり，この値が高い変数は共通因子によって説明できる割合が高くなる．

因子分析を行う際の一般的な手順を図 3 に示す．因子分析では，まずどの変数を使って分析するか選択する．次に，初期解の計算の仕方（因子抽出法）と因子数の決定の仕方を選択する．因子分析は定まった解がないため，無数にある解の中でとりあえず計算上最も求めやすい解（初期解）を求める．この初期解を求める方法（因子抽出法）は色々あり，どの方法を用いて因子を抽出したかにより結果が異なってくるので，因子分析の結果には必ず用いた因子抽出法を記述しなければならない．

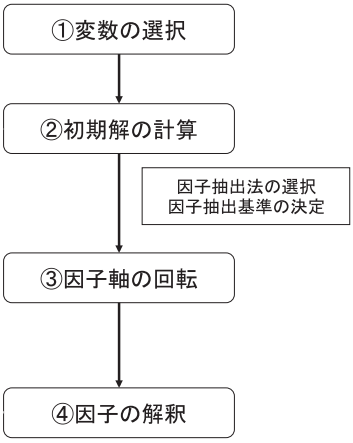


図 3　因子分析の手順

初期解を算出したとき，因子をいくつまで抽出するかを決定する．因子抽出数決定の基準は，カイザーガットマン基準（固有値が 1 以上の因子までを抽出する），スクリー基準（固有値の差が大きいところまでの因子を抽出する）など複数あるが，通常はカイザーガットマン基準がよく用いられる．

因子分析では，初期解を算出したら，因子軸の回転（rotation）を行う．前述のように，初期解は無数にある解の内のひとつであり，一般に初期解だけでは因子の解釈が難しい．そこで因子の解釈をしやすくするために，因子軸を回転させて，各変数が特定の因子だけに強く影響するような因子のパターン（単純構造）に近づけるようにする．

因子軸の回転は，因子軸が交わる角度を 90 度にしたまま回転を行う直交回転と，因子軸を制約なく別々に回転する斜交回転の 2 種類がある．直交回転は因子間に相関がないことを前提としているのに対して，斜交回転では因子間に相関があることを想定している．直交回転と斜交回転のいずれも因子軸の回転方法は複数あり，どの方法を適用したかによって結果が異なってくるため，結果を説明する際には回転方法について必ず記載しなければならない．

因子軸の回転後の結果から，図 4 のような形式で結果を整理し，因子の解釈を行う．因子負荷量（factor loading）とは，各変数に対する因子の影響の強さ（各変数がどの程度因子と関連しているか）を示す値で，－ 1 ～＋ 1 の範囲で変動する（直交回転の場合）．因子を解釈する際，最も重要な手がかりとなるものである．一般的には，絶対値が 0.6 を超えると大きい負荷量とみなし，0.4 ～ 0.6 であれば中程度の負荷量とみなすことが多い．

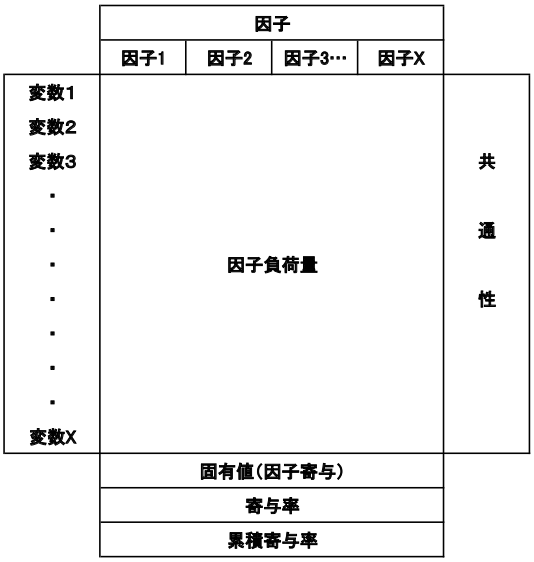


図 4　因子分析結果の表し方（因子負荷量表）の例

固有値（eigenvalue）とは抽出された因子の支配力を表し，支配力の強い因子から順次抽出される．因子分析の初期解を求める際に出てくる数値で，因子数を決定する基準になるものである．寄与率（説明率）とは，ある因子によって説明できる割合のことで % で示される．累積寄与率は寄与率を因子が増えるごとに加算した値で，いくつまでの因子によってデータが説明できたかを示す指標として用いられる．

図 4 に示されるような結果に基づき，抽出された因子がどのような意味を持つかをその因子に高い負荷を示した変数の集まりから推測し，その因子をどのように言い表すのかが適切であるかを考えて因子の命名を行う．因子の解釈・命名はソフトウェアが自動的に行ってくれるのではなく，結果を見て研究者自身が判断する必要がある．

更には，測定対象が因子に支配されている程度を示す因子得点（factor score）を算出することで，各々の測定対象がどの因子の影響を強く受けているかなどの情報を得ることが可能となる．

3.3 重回帰分析

2 つの量的変数の共変関係（変数 x の変化に伴って，変数 y が変化するような関係）を相関（図 5）といい，2 変数の共変関係を数量的に示す指標として相関係数（間隔尺度・比率尺度の場合，ピアソンの積率相関係数）が求められる．

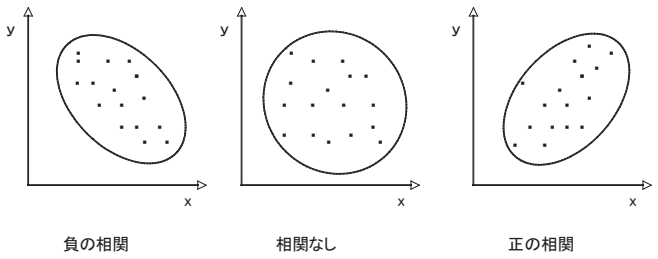


図 5　相関の概念

相関係数は 2 つの変数の両者の共変関係は示しているものの，「x の変化（原因）によって y の変化（結果）が生じた」といった両者の因果関係を示しているものではない．両者の因果性を明らかするためには，x の値から y の値を予測できるか否かを検証しなければならない．2 つの変数 x，y 間の因果関係を回帰式によって予測する手法を単回帰分析（simple regression analysis）といい，x と y の 2 変数間の直線的な関係を以下の回帰式で表現する．

$$y = ax + b$$

（y：従属変数，x：独立変数，a：回帰係数，b：切片）

単回帰分析が 1 つの独立変数（説明変数，予測変数ともいう）から 1 つの従属変数（基準変数，目的変数ともいう）を予測するのに対して，重回帰分析（multipul regression analysis）は，複数の独立変数から 1 つの従属変数を予測する場合に用いられる解析方法である．

例えば，総合評価のような包括的な結果を，その結果に影響を及ぼした原因と考えられる複数の下位要因から説明したり，複数の要因からある結果を予測するような場合に重回帰分析が用いられる．なお，重回帰分析は独立変数，従属変数ともに量的変数の場合に適用することができる．

重回帰分析を実施した際，主な結果として示されるのは，① 各々の独立変数が従属変数に及ぼす影響の向きと大きさ，② 独立変数全体によって従属変数を予測・説明できる度合，であり，前者は標準偏回帰係数，後者は重決定係数が指標となる．

重回帰分析を適用する際の留意点として，①独立変数と従属変数との間に因果関係が想定されること，②独立変数，従属変数ともに量的変数であること，③多重共線性，の 3 つが挙げられる．多重共線性（multicollinearity）とは独立変数間の相関が強すぎるという性質のことで，この性質が見られると標準偏回帰係数が解釈不能な値を示すなど結果が著しく不安定になる．この問題に対処するには，相関の高い変数を同時に独立変数として用いない，多重共線性の指標となる VIF（Variance Inflation Factor）を求めて多重共線性の有無をチェックするなどの処置が必要になる．

4. おわりに

近年はコンピュータや統計解析ソフトウェアの進歩により，初学者でも比較的手軽にデータ解析を行う環境が整えられつつある．しかしながら，誰でも簡単にデータ処理ができてしまうが故に，統計的手法の理解が不十分なまま誤ったデータの扱い方をしてしまう可能性も危惧される．幸い，現在では，それぞれに特色のある心理統計に関する書籍が数多く出版されるようになってきた．初学者に向けた比較的新しく読みやすいと思われる心理統計関連図書をいくつかとりあげ参考文献 [1-12] に示す．それらは心理統計全般を扱ったものから，特定の手法の解説に特化した書，統計ソフトの使い方に主眼を置いた解説書，自学自習のための演習書など，それぞれに工夫がなされ特徴付けられている．また，内容のわかりやすさ，読みやすさにも著者ごとに配慮がなされている．

心理統計の学習に王道はないと思われるが，1 冊の入門書だけに頼るのではなく，複数の専門書に書かれている記述を読み比べてみるのも，統計への理解を深める一助になるであろう．

参考文献

1) 岩淵千明（編著）: あなたもできるデータの処理と解析 , 福村出版 (1997).
2) 渡部洋（編著）: 心理統計の技法 , 福村出版 (2002).
3) 服部環 , 海保博之 : Q&A 心理データ解析 , 福村出版 (1996).
4) 神宮英夫 : はじめての心理統計 ―統計モデルの役割と研究法を考える , 川島書店 (1998).
5) 松尾太加志 , 中村知靖 : 誰も教えてくれなかった因子分析 , 北大路書房 (2002).
6) 丸山欣哉 , 佐々木隆之 , 大橋智樹 : 学生のための心理統計法要点 , ブレーン出版 (2004).
7) 石井秀宗 : 統計分析のここが知りたい ―保健・看護・心理・教育系研究のまとめ方 , 文光堂 (2005).
8) 岸学 : SPSS によるやさしい統計学 , オーム社 (2005).
9) 足立浩平 : 多変量データ解析法 ―心理・教育・社会系のための入門 , ナカニシヤ出版 (2006).
10) 田中敏 : 実践心理データ解析 [改訂版], 新曜社 (2006).
11) 繁桝算男 , 柳井晴夫 , 森敏昭（編著）: Q & A で知る統計データ解析 [第 2 版], サイエンス社 (2008).
12) 南風原朝和 , 平井洋子 , 杉澤武俊 : 心理統計学ワークブック ―理解の確認と深化のために , 有斐閣 (2009).