

統計学の各分野における 教育課程編成上の参照基準

平成 26 年 5 月

文部科学省 大学改革推進等補助金

大学間連携共同教育推進事業 平成 24 年度採択

「データに基づく課題解決型人材育成に資する統計教育質保証」

統計教育大学間連携ネットワーク

(JINSE)

まえがき

統計学の各分野における教育課程編成上の参照基準について

統計教育の分野においては、他の学問分野に先行して、平成 22 年 8 月に「統計学分野の教育課程編成上の参照基準」（以降、参照基準第 1 版）が統計関連学会連合によって作成・公表された。

文部科学省の大学間連携共同教育推進事業として、平成 24 年度に「データに基づく課題解決型人材育成に資する統計教育質保証」という課題が採択された後、統計教育大学間連携ネットワーク (JINSE) では、ステークホルダーであり、同時に学会連合を構成する 6 学会から選出された委員の協力を得て、参照基準（第 1 版）を改訂するために、JINSE 質保証委員会委員会を通じて作業を進めてきた。

新たな参照基準は、JINSE が目標として掲げた統計教育質保証に関する PDCA サイクルの出発点となるものであるとともに、参照基準（第 1 版）の公表後、統計学に対する社会での期待がますます高まったこと、および、初等・中等教育において統計学の内容が拡充されたことに、的確に答えることにもなる。

参照基準（第 1 版）は、第 1 章：参照基準策定の基本的考え方、第 2 章：統計学の考え方・ポイント、第 3 章：各分野における参照基準、という構成であった。今回の改訂では、これら全体の見直し作業を進めてきたが、その改訂作業中に、日本学術会議（以降、学術会議）の場で新たに「統計学分野の参照基準」を策定する計画が検討され始めた。学術会議での参照基準策定の作業は平成 26 年度秋に開始される予定とされているが、そこで策定される予定の統計学分野の参照基準（以下、学術会議版参照基準）の内容は、統計教育の質保証に関する普遍的かつ包括的なものにとどまり、参照基準（第 1 版）の第 1 章および第 2 章を拡充したものとなると予想される。

本委員会では、学術会議版参照基準と現行の参照基準（第 1 版）との関係について検討した結果、学術会議版参照基準が参照基準（第 1 版）の第 1 章および第 2 章の内容が中心として含まれることから、大学教育の現場で活用するためには第 3 章の内容が必要とされるという認識の下で、第 3 章の改訂を先行して進めた。

学術会議版参照基準が公開された時点で、双方の整合性を確認することとするが、JINSE としてはこの時点で公開する必要があることから、学術会議の議論に先行して参照基準第 1 版第 3 章の改訂を行った。連携大学の委員全員の合意を得てここに公表するものである。

平成 26 年 5 月

統計教育大学間連携ネットワーク (JINSE)
運営委員会

参照基準 策定者

統計教育大学間連携ネットワーク 質保証委員会

委員長	西郷 浩	早稲田大学		
委員	荒木万寿夫	青山学院大学	和泉志津恵	大分大学
	大森拓哉	多摩大学	小野寺剛	立教大学
	岸野洋久	東京大学	駒木文保	東京大学
	櫻井尚子	東京情報大学	竹内恵行	大阪大学
	椿 広計	統計数理研究所	鄭 躍軍	同志社大学
	浜田知久馬	東京理科大学	三中信宏	農業環境技術研究所
	三分一史和	総合研究大学院大学		

(氏名五十音順)

統計関連学会連合 理事会

理事長	鎌倉稔成	日本統計学会	中央大学
理事	川崎 茂	応用統計学会	日本大学
	瀬尾 隆	応用統計学会	東京理科大学
	石橋雄一	日本計算機統計学会	(株) スタットラボ
	栗原考次	日本計算機統計学会	岡山大学
	大橋靖雄	日本計量生物学会	東京大学
	椿 広計	日本計量生物学会	統計数理研究所
	菊地賢一	日本行動計量学会	東邦大学
	岩崎 学	日本行動計量学会	成蹊大学
	国友直人	日本統計学会	東京大学
	今泉 忠	日本分類学会	多摩大学
	竹内光悦	日本分類学会	実践女子大学

(学会名五十音順)

統計関連学会連合 統計教育推進委員会

委員長	田栗正章	応用統計学会	中央大学
委員	福井武弘	応用統計学会	総務省統計研修所
	水田正弘	日本計算機統計学会	北海道大学
	松山 裕	日本計量生物学会	東京大学
	植野真臣	日本行動計量学会	電気通信大学
	岩崎 学	日本統計学会	成蹊大学
	竹内光悦	日本分類学会	実践女子大学

(学会名五十音順)

目次

1	大学基礎科目としての統計教育の参照基準	1
2	人文科学分野における統計教育の参照基準	3
3	政治学分野における統計教育の参照基準	5
4	社会学分野における統計教育の参照基準	7
5	経済学分野における統計教育の参照基準	9
6	経営学分野における統計教育の参照基準	11
7	数理科学分野における統計教育の参照基準	13
8	情報科学分野における統計教育の参照基準	15
9	総合理工学分野における統計教育の参照基準	17
10	品質管理分野における統計教育の参照基準	19
11	生物科学における統計教育の参照基準	21
12	医歯薬学分野（看護学を含む）における統計教育の参照基準	23

1 大学基礎科目としての統計教育の参照基準

1.1 当該分野の理念

統計学は、自然科学、人文科学、社会科学、生命科学のあらゆる学問領域において、データに基づく実証研究を科学的に行うための学問体系である。仮説の発見・構築や検証のための実験、調査、観察研究の過程で得られるデータに基づいて正しく推論を行う力は、すべての学問分野で必要とされている。大学基礎科目としての統計教育においては、全学問分野に共通に、実験や調査によるデータ収集のための計画を立案し、データから有用な情報を過不足なく抽出した上で、現状の把握と同時に新知見獲得の契機を見出すという統計的思考力の育成が重要である。この際、高等学校での学習内容を踏まえ、専門諸科目への円滑な接続に配慮する必要がある。

1.2 到達目標（身に付けるべき知識・能力・スキル）

大学基礎課程における統計の授業は、半期1コマ（2単位）としてのみの展開もあれば、複数回の授業や実技演習が配置される場合もある。到達目標は授業時間数に依存して定められるが、最低限必要な事柄を押さえておく必要はある。単なるリテラシーとしての知識の習得だけでなく、それを活用して、データに基づいて問題解決に生かす力が要求される。

統計の利用者としては、各種メディアにおける統計数字や統計グラフの意味を理解し、それらを的確に解釈するとともに、そこで語られている事柄の限界も認識する力が必要である。統計の作成者としては、実験や調査・観察研究という研究の違いを認識した上で、適切なデータ収集法の理解と実践、得られたデータを要約し、グラフなどを用いて分かりやすく表現するスキルが求められる。そのためには、母集団と標本、標本誤差の知識や不確実な事象の起こりやすさを表わす確率や確率分布の知識の習得も求められる。

このような到達目標のためには、次のような能力が必要である。

- 統計学の役割と公的データの活用能力：統計学の歴史や社会的役割を概観し、現在の統計学の役割と統計学を学ぶ意義を理解する。また、民主的な社会における情報基盤としての公的統計に関する調査の重要性を理解する。
- 記述的統計解析スキル：データの構造を理解するために有用な記述的アプローチの大枠を理解する。基本的な分布の概念を理解し、不確実性を伴う現実の事象をデータのばらつきで捉え、ばらつきを分布で特徴付けるための一連の技法とその活用方法を理解する。
- 推測的統計解析スキル：母集団と標本、標本誤差の概念を身につけ、推測統計の仕組みとその役割を理解する。特に、標本調査における無作為標本の意義や実験計画における無作為化の意義を理解する。さらに、因果への言及に必要な条件や観察研究における交絡の問題を理解する。
- 統計解析の結果判断能力と分析スキル：上記の知識・能力を基に、他者が作成した統計や統計グラフを適切に読み取る力を身に付ける。特に、統計的知識に基づいて各自がより賢い情報の取捨選択と判断を行うことにより、自身の行動をリスク管理する力を養成する。コンピュータによる実データの分析スキルや、簡単なシミュレーション実施スキルも身に付けることが望ましい。

1.3 目標を達成するための教育内容・評価方法の例

半期1コマ（2単位）で学習する基礎的な内容、およびそれより多い時間数における発展的内容に分けて記載する。

・基礎的内容

① 統計学の役割と活用事例

社会における統計の活用事例を紹介しつつ統計学の役割を示し、学生が統計を学ぶ意義を理解するとともに、学習のためのモチベーション向上を図る。そのため、対象学部の学生の興味に応じ、マスコミの世論調査、製

造業における品質管理、臨床研究における推論、マーケティング、スポーツ、自然現象等における魅力的な活用事例を紹介することが望ましい。また、国や地方公共団体が作成している統計データを紹介し、2次的に活用できるようにする。

② データの要約とグラフ化（記述統計的手法）

集計データや統計グラフを読む力、および自らデータを要約しグラフ化する力を養成する。1次元データについては、度数分布表への要約、棒グラフや円グラフ、ヒストグラム・箱ひげ図などによる表現、2次元データについては、クロス集計表や散布図によるデータの表現法を学ぶ。要約統計量としては、平均値、中央値、最頻値、標準偏差、分散、分位点、範囲、四分位範囲、変動係数、歪度、尖度、相関係数などの定義と性質を理解し、できれば基礎的な時系列データの考え方や傾向把握としての回帰直線を紹介する。また複数の集団を公平に適切に比較することも考慮し、層別比較やはずれ値の検出等も学ぶ。

③ 研究の種類とデータ収集法

実験研究、調査・観察研究の違いを理解させ、研究目的に応じたデータの収集法を紹介する。実験研究における無作為化の役割、調査における無作為抽出の意義を理解させるとともに、得られたデータから何が推論でき、どういう限界があるのかを認識させる。特に、データ抽出における偏りや交絡について、適切な事例を基に議論する。

④ 確率と確率分布

確率と確率変数およびそれらの性質について学び、代表的な確率分布として、二項分布と正規分布を取り上げる。大数の法則と中心極限定理を紹介し、標本分布としてカイ二乗分布とt分布を導入する。

⑤ 統計的推測

統計的推定（点推定と標準誤差、および区間推定）と仮説検定（帰無仮説と対立仮説、検定統計量、P値の解釈）を学び、それらを正規分布の平均と分散、および二項分布の二項確率に関する統計的推測に適用し、結果の解釈ができるようにする。また、適合度のカイ二乗検定と回帰係数の検定の読み方を学習する。

⑥ コンピュータの利用

MS Excelなどの表計算ソフトを用いて簡単な計算とグラフ化ができるようにする。またフリーソフトのRの利用も有用である。さらに進んだ分析のため商用ソフトウェアを紹介する。

・発展的内容

上記の基礎的な内容をさらに深化させ、実際のデータの分析を行うなどして、統計分析に対する理解を深める。新たに付け加えるべき内容として、③については、層化抽出法や二段階抽出法などの標本調査法、層別無作為割り付けや乱塊法などの実験計画法、さらには非標本誤差や各種のバイアスの議論などがある。④については、確率変数の関数などに関する計算や各種モーメントの導出など、数学的な内容の学習が考えられる。確率分布としては、離散型の超幾何分布や幾何分布、ポアソン分布など、連続型では指数分布やガンマ分布、対数正規分布などを取り上げる。⑤については、最尤法、最小二乗法などの考え方とそれらを用いた母集団パラメータの推測法、および推定量の精度に関する理解を深める。統計手法としては、分散分析法やノンパラメトリック法なども学習の対象となる。一般化線形モデルとしての取り扱いも有用である。

さらに、統計的データ解析法の実践として、少人数のグループによる討議を行い、データに基づく議論の機会を設けることが望ましい。

[評価方法]

上記の教育内容に関する評価は、知識の評価を試験にて行うのに加え、実際の計算力及び結果の解釈の妥当性を評価するため、レポートの提出や、実技試験も有用である。

2 人文科学分野における統計教育の参照基準

2.1 当該分野の理念

心理学、教育学をはじめとする人文科学分野の学部においては、観察・研究対象は多くの場合、個としての人間および社会的存在としての人間である。したがって、観察対象である個人の行動傾向の観測データ、刺激への反応測定データ、学習記録データなどに基づいた統計解析や統計モデルの構築が要請される。

特に心理学分野では、人間のさまざまな場面における反応や行動傾向を規定する要因の理解・評価や、その解明のための統計解析や、因果関係を明らかにするための統計解析が求められる。特に、計量心理学や認知心理学では、実験を計画し、データを収集し、統計分析することが求められる。

また、教育学分野における統計の活用は、心理学の場合ときわめて類似している、特に、教育心理学での学習や能力測定のためのテスト理論においては、統計解析が必要とされる。また、教育社会学・教育行政学では、地域に関するデータ・県別データ・世帯データ等の公的データを活用した統計解析が必要である。人間の行動傾向や反応傾向に関する統計データの整備・充実が、人間が日々の生活を営み成長する上で大きなメリットとなることへの理解が進むことも重要である。

さらには、文学、歴史学などにおいても、近年、数量的な扱いが重要な位置を占めつつある。特に、あらゆる資料が電子化された現在では、各作家の著書あるいは歴史的な著作物の、数理的な側面からの研究が可能となっている。

2.2 到達目標（身に付けるべき知識・能力・スキル）

統計解析能力を兼ね備えた、人文科学分野の卒業生としてのセンスを有する人材は、心理学または教育学をはじめとする人文科学全般に関する知識、測定対象となる分野に関する知識、そして統計学に関する知識・統計解析能力が求められる。この到達目標のためには、次のような能力が必要である。

- 測定対象への理解と、測定方法・測定水準および分析手法についての知識
- 仮説構築、データ収集、多元的判断力を研究サイクルとして扱えるスキル
- 心理学における尺度構成や教育学での古典的および現代テスト理論の理解など、分野特有の数量的方法論の理解と実践力

特に、実際のデータ分析のための統計解析ツールの操作と得られた結果の解釈は必要不可欠なスキルとなる。以下に、それぞれの項目について述べる。

(1) 測定対象への理解と、測定方法・測定水準および分析手法

測定対象への理解と、測定方法・測定水準および分析手法への理解が重要であり、特に、測定している数値への理解が重要である。これについては、数値の分類としての量的変数と質的変数の区別が重要であり、それぞれに適用できるこの分野特有の分析手法を対応づけて理解する必要がある。例えば、点相関、級内相関係数、カイ二乗値、ノンパラメトリック検定等への理解と活用スキルが必要である。

(2) 仮説構築、データ収集、多元的判断力を研究サイクルとして扱えるスキル

帰納的アプローチによる仮説構築やモデル理解のための数理能力、データを扱える情報処理的能力、多次元判断力等の習得が重要で、特に、事象の背後に潜む多次元構造を探る能力が求められる。このための計量的な手法としては、反復測定を含む実験計画法、因子分析法、多変量ロジスティックモデルの理解とそれらの活用スキルが重要である。

(3) 心理学における尺度構成と教育学での古典的および現代テスト理論の理解

心理学においては、人間の心理状態などの計測のための尺度構成が重要である。何をどう測るのか、妥当性と信頼性を持つ尺度の構成、あるいは、既存の尺度の特徴の把握が必要とされる。尺度の持つ数理的な側面の正しい理解無くしては良質なデータの収集は望むべくもない。また、人間同士の関係を記述するネットワークの

評価手法も重要であろう。

教育学に関しては、古典的テスト理論と現代テスト理論の理解が必要で、特に項目反応理論の理解が重要である。そのための基礎として、正規分布やロジスティック分布等の理解が不可欠のものとなる。また、特に近年では、量的研究に加えて、質的研究が重要となってきているので、そこでの統計的手法の適切な活用スキルも求められている。

2.3 目標を達成するための教育内容・評価方法の例

人文科学分野における統計教育については、以下の内容を目安とする。

- ① 実験研究、観察研究（準実験）、調査の特徴、およびそれらを効率的に実施するための各種方法論
- ② 探索的アプローチのためのデータ要約に関する統計手法
大規模なデータを要約して表現するためには、次の項目についての学習が必須である。
平均値、標準偏差、最頻値、5数要約（最小値、第1四分位数、中央値、第3四分位数、最大値）、相関係数（積率相関、ファイ相関、点相関、順位相関）、偏相関係数、級内相関係数
- ③ 推測的アプローチのための推測統計の基礎
各種の確率分布や、標本平均等の標本分布に関する理解が必須である。項目としては、次のようなものが挙げられる。
二項分布、ポアソン分布、正規分布、カイ二乗分布、t分布、F分布、正規性の検定、平均値の差の検定、等分散の検定、相関係数の有意性検定、ノンパラメトリック検定（度数の差の検定等）1元／多元配置分散分析、共分散分析
- ④ 多次元判断のための統計解析法
質的変数も含む多次元データの分析に関する項目が重要であり、学習項目としては次のようなものが挙げられる。
相関係数行列、偏相関行列、主成分分析、重回帰分析、判別分析（二項ロジスティック分析）、多変量ロジスティックモデル（1母数、2母数、3母数）、因子分析、構造方程式モデル（共分散構造分析、パス解析、確証的因子分析）
- ⑤ 心理学や教育学分野など、各分野特有の統計手法
 - 心理学：比較判断の法則等の心理学的尺度構成法、学習・記憶／思考・問題解決学習の計量に関する認知心理学的な方法、反復測定を含む分散分析、ベイズ理論とその応用
 - 教育学：テストの信頼性、妥当性等を扱う「古典的テスト理論」と、項目反応理論や適応型テスト等を扱う「現代テスト理論」からなるテスト理論における統計手法の適切な理解が重要であり、学習項目としては、次のようなものが挙げられる。
真値、テストの信頼性、妥当性、妥当性と信頼性の関連、アルファ信頼性係数、級内相関係数、項目反応理論（1母数モデル、ラッシュモデル、2母数モデル、3母数モデル）、テスト特性曲線、情報関数、コンピュータテスト、一般化可能性理論、識別度、困難度、最尤推定、周辺最尤推定、フィッシャー情報量、ベイズ階層化モデル

[評価方法]

心理学、教育学などの人文科学分野の統計教育において育成すべき能力を評価するに当たっては、上記の教育内容に関する理解をレポート、試験等で評価する。

3 政治学分野における統計教育の参照基準

3.1 当該分野の理念

政治学分野においては、政治事象を理解するために、個人を単位としたミクロレベルの分析から、国家を単位としたマクロレベルの分析まで、幅広い対象についての分析に慣れ親しむ必要がある。統計学は、政治学分野においても現代政治分析にとって必須の手法を教授する科目として位置づけられるようになりつつある。政治学分野では、伝統的に政治事象の統計的分析を「計量政治学」と呼んで来たが、現在のところ、隣接分野の計量経済学の手法を修得し、政治現象に応用することが中心と言って良いであろう。計量経済学が、現実のデータを用いて経済理論の検証や経済予測を行うために不可欠な統計科学であるとするならば、それと同じような意味で政治理論の検証や予測を行うための統計科学を発達させるための努力も欧米諸国では行われており、一定の水準に達している。政治学は、経済学、社会学、心理学等様々な隣接領域からの理論的な刺激を受けて研究を行う点で、複眼的な学問であると言える。そのために、統計学習においても、幅広く様々な手法についての一通りの理解を持つことが求められる。

3.2 到達目標（身に付けるべき知識・能力・スキル）

政治学分野においては、選挙における投票行動等のサーベイデータ、選挙区や候補者を分析単位とする集計データ、また、マクロの政党支持率や内閣支持率、さらには、国民国家を分析単位としたマクロデータの理解を必要とする。また、政治学が学部レベルでは伝統的にジャーナリスト養成に重要な役割を果たしてきたことを考えるならば、官庁統計を含めた様々な統計指標や、新聞社の行う世論調査等、様々なデータの違いを理解した上で、自覚的に利用する技能を養成することも肝要である。このような目標到達のためには、次のような能力が必要である。

- 標本調査データの活用と表現に関する能力
- 自治体や選挙区などについて集計されたデータを活用し表現する能力。
- 事象の確率的な構造を理解する能力
- 仮説を検証する能力
- 統計ソフトウェアを活用しデータを分析する能力

以下に、それぞれについて詳しく述べる。

(1) 政治データの活用と表現に関する能力

さまざまなデータ（世論調査、選挙結果、国際機関が作成する統計など）に関する知識を習得し、内容を理解した上で加工すれば、政治についての理解を深めることができる。公表されている統計の所在とその作成方法、利用方法に関する知識は、的確な政治分析の前提である。昨今では、学術的に収集された社会調査データの2次的利用が拡大しつつある。データの活用能力とともに、情報倫理の徹底も重要である。

(2) 事象の確率的な構造を理解する能力

標本には確率的な変動がともなう。標本で観察されるデータから有意な情報を抽出するには、推測統計の基本を理解しなければならない。さらに、データをもちいて政治学的な仮説を検証するためには、政治現象を統計モデルとして抽象化できる能力が必要となる。

(3) 仮説を検証する能力

統計的推測に則って仮説が検定できることが必要である。それだけでなく、背後にある理論と統計モデルとの関係の理解、データに含まれる測定誤差が統計的推測に及ぼす影響の評価、統計データによる検証を通して新たに仮説を構想する能力、などが必要とされる。

(4) 統計ソフトウェアを活用した大規模データを計量経済学的に分析する能力

様々な政治データの分析には、統計ソフトウェアの利用が前提である。高度な分析には複雑な計算が必要である。様々な種類のデータを利用した実習を重ねることによって、ソフトウェアの使い方に習熟することが望ま

しい。

3.3 目標を達成するための教育内容・評価方法の例

政治学分野における統計教育については、以下の内容を目安とする。

① データの活用と表現方法 ((a) は必須、(b) は選択可能)

(a) 表現方法 (必須の内容)

以下の記述統計学の方法をふくむ。

度数分布 (度数分布表、ヒストグラム、累積度数分布、分位点); 中心の位置の尺度 (算術平均、中央値、最頻値); バラツキの尺度 (四分位範囲、分散・標準偏差); 不均等度 (Lorenz 曲線、Gini 係数); 相関分析 (散布図、共分散、相関係数); 回帰分析 (回帰直線、最小二乗法、偏相関係数、重回帰分析); 時系列データの見方 (時系列プロット、変化率、TCSI への分解)

(b) データの活用 (記述統計学的手法の学習を終えてから)

以下の中からいくつかを選択する。

標本調査データ (学術調査データで教育目的利用が認められているもの); 市町村・都道府県データ (総務省が提供している「統計でみる都道府県のすがた」「市区町村のすがた」などに掲載されている自治体を単位としたデータ); 選挙統計 (選挙結果調に掲載される選挙結果); 世論調査の時系列データ (新聞社が行っている月次世論調査の集計データ); 国家を単位とする比較政治データ; 国家間の紛争を分析対象とする国際政治データ

② 事象の確率的な構造を理解するための方法 (必須)

以下の推測統計学の方法をふくむ。

確率論の基礎 (標本空間と事象、確率、条件付確率、Bayes の定理); 確率変数と確率分布 (確率密度関数、分布関数、期待値、分散); 代表的な確率分布 (二項分布、ポアソン分布、一様分布、正規分布、カイ二乗分布、t 分布、F 分布); 標本抽出 (母集団と標本、母数と統計量、無作為抽出、統計量の標本分布、大数の法則、中心極限定理); 推定 (点推定、不偏性、一致性、尤度関数、最尤法、区間推定、信頼区間、信頼係数); 検定 (帰無仮説と対立仮説、2 種類の過誤、有意水準、片側検定と両側検定、P 値、二標本問題、適合度検定、分割表における独立性検定); 回帰モデル (回帰モデル、最小二乗法、回帰係数に関する検定、重回帰分析)

③ 政治学への応用を念頭においた計量経済学の基礎 (選択可能。学部レベル)

単回帰モデル (回帰モデル、最小二乗法、回帰係数に関する検定); 重回帰モデル (決定係数、多重共線性、ダミー変数、回帰係数の 1 次制約の検定); 回帰モデルの発展 (誤差項の系列相関、誤差項の不均一分散、一般化最小二乗法)

④ 政治学への応用を念頭においた計量経済学の発展 (選択可能。大学院レベル)

二項・多項回帰 (ロジットモデル、プロビットモデル); 時系列データのためのモデル (ARIMA モデル、単位根検定、共和分、Granger 因果性); 同時方程式モデル (構造方程式、誘導形、識別性、2 段階最小 2 乗法); パネルデータのためのモデル (固定効果モデル、変量効果モデル、Hausman 検定); 切断のあるデータのためのモデル (Tobit モデル)

⑤ 統計ソフトウェアを活用した大規模データの分析

教育目的の二次利用が可能なマイクロデータや公開されている選挙結果データなどを利用して、データの分析を経験する。

[評価方法]

必須項目である ① (a) は統計検定 3 級に、① (b) は統計検定 2 級に対応する。これらの標準的な学習内容の理解の確認には、統計検定を参考にした客観的なテストが適している。学習の評価には、マイクロデータ等を活用した、実際のデータにもとづく実証分析を評価の対象とすることが理想的である。それを可能とするためには、学部レベルの標準的な分析例を多数提示して、それを模倣する段階から始め、徐々に独自の分析へと進むように動機付ける工夫が要る。

4 社会学分野における統計教育の参照基準

4.1 当該分野の理念

社会学分野においては、社会調査に基づくデータの収集とその後の解析にとっても、組織や集団の営みや行動などの既存資料の分析にとっても統計的方法が不可欠である。そこで、基礎科目としての統計教育に加え、大標本調査に関する諸々の知識と過程、自動記録によって収集された市場データの扱い方、および官庁統計の活用法とその限界などを正しく理解することが、当分野で修得すべき中心的内容となる。一方、個人や事業所を対象とする一般的な社会調査は、社会学、政治学、心理学、経済学、言語学、教育学などの知識を借用しながらデータ収集を行うことで、世論や市場動向、社会事象などを把握するという点で、調査倫理についての教育とともに社会生活を営む上での調査の意義への理解力を着実に深めることが求められる。

4.2 到達目標（身に付けるべき知識・能力・スキル）

社会学分野においては、半期1コマ（2単位）の基礎科目としての授業が配置された上で、専門課程における統計教育として、調査や実験によるデータ収集方法、調査データの分析手法、市場データや官庁統計の活用についてのスキルなどを中心とする授業が配置されることが必要である。到達目標は、授業時間数に依存するが、基礎科目課程で基本として修得する記述的統計解析スキルと推測的統計解析スキルに加え、以下のような能力の習得が挙げられる。

- 統計学の役割を理解する能力：不確実性に注目して、曖昧さ及び複雑さを特徴とする諸々の社会現象を理解するための統計学的考え方を身につける。
- 調査データ収集に関する能力：世論や市場動向、生活様式などに関する調査の設計から実施までの諸手順を正しく理解する。特に、無作為抽出の意義と基本的な考え方を理解する。
- 記述的データ解析スキル：大量データの構造を発見するための有用な一連の技法を実践的に理解する。特に、社会学分野においてよく扱われる名義尺度および順序尺度で計測される質的データの要約や可視化の諸手法を身につける。
- 推測的データ解析スキル：母集団と標本、標本誤差の概念を身につけ、推測統計の仕組みとその役割を理解する。
- 探索的データ解析スキル：大規模な調査データから有用な情報を抽出するための諸手法の概要を理解し、特に、関連分析、分類および予測に関する諸解析方法の基本的な考え方を修得する。
- 統計ソフトウェアを活用し出力結果を解釈する能力：上記の知識・能力を基に、大規模データの統計分析に必要な商業ソフトウェアやフリーソフトを活用する能力、および出力結果を正しく読み取れることを身につける。

4.3 目標を達成するための教育内容・評価方法の例

社会学分野全体における大学専門教育課程において修得すべき基礎的内容と、社会学の諸専門分野の必要性に応じて取捨選択して取り上げることが望ましい発展的内容に分けて記載する。

・基礎的内容

① 統計学の役割と活用事例

国や地方公共団体が作成する官庁統計をはじめ、社会学分野における統計の活用事例を紹介しつつ統計学の役割を示し、学生が統計学を学ぶ意義を理解するとともに、学習意欲の向上を図る。諸専門分野のカリキュラムに適した社会に関する統計データ（人口動態、世論、市場動向など）の活用事例、および統計分析の目的や効果などを紹介する。

② 調査データ収集に関する知識

官庁統計の作成手順、自動記録の仕組みとともに、統計調査の企画・設計・実施・分析・報告書作成などの諸過程に関する基礎的な事項を学術調査・世論調査などの事例を通して説明する。具体的な内容として、社会調査の意義・目的・種類・性格、調査設計、調査実施方法、仮説構成、全数調査と標本調査、無作為抽出、標本の大きさと標本誤差、サンプリング、調査票の設計、調査実施の手順、調査データの整理について取り上げる。単純無作為抽出、系統抽出、多段抽出、層別抽出などのサンプリング手法の仕組み、質問・調査票の作成原則などについて理解する。

③ データの可視化と要約（記述的統計解析手法）

官庁統計、自動記録データおよび調査データを集計したり、グラフ化したりする手法を理解する。1次元データについては、単純集計、棒グラフ、折れ線グラフ、円グラフ、ヒストグラム、箱ひげ図などによる可視化、2次元データについては、積み上げ棒グラフや散布図によるデータの可視化を取り上げる。要約統計量としては、平均値、最頻値、中央値、分位点、四分位範囲、範囲、分散、標準偏差、変動係数、歪度、尖度などの定義と性質を理解し、時系列変化の傾向把握や横断的比較の考え方を紹介する。

④ 確率と確率分布

確率と確率変数およびそれらの性質について理解する。代表的な確率分布として、二項分布と正規分布を取り上げる。大数の法則と中心極限定理を紹介し、標本分布としてカイ二乗分布とt分布を導入する。

⑤ 統計的推測

統計的推定・推定の意味について理解する。推定に関して、点推定と標準誤差、および区間推定を取り上げる。検定に関して、仮説検定の考え方、帰無仮説と対立仮説、検定統計量、P値、有意性について理解する。それらを正規分布の平均、および二項分布の比率に関する統計的推測に適用し、結果の解釈ができるようにする。また、平均や比率の差の検定、独立性の検定、適合度のカイ二乗検定とクロス表における独立性検定について学習する。

⑥ 基本的データ分析

社会調査データの分析に必要な統計学的手法を理解する。量的データについては、相関係数の基礎、因果関係と相関関係の区別、擬似相関、重回帰分析、主成分分析、因子分析、クラスター分析の初歩を取り上げる。一方、質的データ（カテゴリカルデータ）の読み方と要約方法を習得し、度数分布表、クロス集計、順位相関係数、関連度係数（クロス表の統計量）、ロジスティック回帰、対応分析、数量化Ⅱ類（多重対応分析）の基本的な考え方について理解する。

⑦ コンピュータの利用

MS Excelなどの表計算ソフトを用いて簡単な計算とグラフ化を理解する。またRなどの統計ソフトウェアを用いた演習を行う。さらに進んだ分析のためにSPSSなどを紹介する。

・発展的内容

社会学分野のデータの収集と分析で用いる基礎的内容を深化し、さらにデータ解析の諸手法に対する理解を深める。内容については専門分野ごとの重要性に応じて取捨選択する。新たに付け加える内容として、②については、単純無作為抽出の操作や層別二段抽出法などの特徴、さらには非標本誤差や各種のバイアスの特徴と回避方法などがある。

④については、確率変数関数に関する計算や各種モーメントの導出など、数学的な内容の学習が考えられる。

⑤については、オッズ比、ファイシャーの正確検定、クロス表の残差分析などの質的データの関連性分析が考えられる。

⑥については、最尤法、判別分析、パス分析などの考えや、対数線形モデル、一般化線形モデル多次元尺度法などの多変量解析法を扱う機会を設けることが望ましい。

【評価方法】

上記の教育内容に関する評価は、基本概念や知識を試験にて行うことに加え、全体的な内容の理解度および実践能力を評価するために、レポートの提出や、提出課題も有用である。なお、調査実施の経験は教育目標達成のために重要なポイントとなる。また、大学を超えた普遍的な力を見るために「統計検定」の2級もしくは1級の受験も考えられる。

5 経済学分野における統計教育の参照基準

5.1 当該分野の理念

経済学分野においては、刻々変化する経済の状況に関する情報を整理して、ミクロ・マクロの両面から経済社会を学ぶ必要がある。そのため、経済学分野において、統計学は、経済理論と併せて主要な科目として位置づけられている。なかでも、経済分析への応用を強調した統計的手法は「計量経済学」よばれる。そこには、過去と現在のデータから未来を予測しようとする経済時系列の統計分析もふくまれる。ファイナンスにおいては、金融時系列データを用いて資産を選択し、リスクを評価・管理する必要から、計量ファイナンスが重要視される。このように、経済学では、経済統計やその他のデータを基に、説明・予測のため統計学を用いた帰納法推論が重要である。実証分析を行うための演習や、分析のための統計学の数学的理論の学習も求められる。

5.2 到達目標（身に付けるべき知識・能力・スキル）

経済学分野においては、マクロ経済指標・金融時系列等における確率的変動を考慮したうえで、政策・景気判断・投資・経営に関連する意思決定、金融・保険におけるリスク管理・評価、などを適切に実行できる人材の育成が求められている。このような目標到達のためには、次のような能力が必要である。

- 経済データの活用と表現に関する能力
- 事象の確率的な構造を理解する能力
- 仮説を検証する能力
- 統計ソフトウェアを活用した大規模データを計量経済学的に分析する能力

以下に、それぞれについて詳しく述べる。

(1) 経済データの活用と表現に関する能力

さまざまな経済データに関する知識を習得し、内容を理解した上で加工すれば、時空間的に複合的な視点から経済の現状を要約できる。公表されている統計の所在とその作成方法、利用方法に関する知識は、的確な経済分析の前提である。昨今では、公的統計の二次的な利用が拡大しつつある。さらには、データの活用能力とともに、情報倫理の徹底も必要不可欠な重要事項である。

(2) 事象の確率的な構造を理解する能力

標本には確率的な変動がともなう。標本で観察されるデータから有意な情報を抽出するには、推測統計の基本を理解しなければならない。さらに、経済データをもちいて経済理論に基づく仮説を検証し、経済を予測するためには、経済理論によって経済現象を統計モデルとして抽象化できる能力が必要となる。

(3) 仮説を検証する能力

統計的推測の基本理念に則って各種の仮説を検定できることが必要である。加えて、データの背後にある経済理論と統計モデルとの関係の理解、データに含まれる測定誤差が統計的推測に及ぼす影響の評価、統計データによる検証を通して新たに仮説を構想する能力、などが必要とされる。

(4) 統計ソフトウェアを活用した大規模データを計量経済学的に分析する能力

ICTを活用して収集した大規模な経済データの計量経済学的分析は、統計ソフトウェアの利用が前提である。高度な分析には複雑な計算が必要である。マイクロデータなどを通じた実習を重ねることによって、ソフトウェアの使い方に習熟する必要がある。各種商用ソフトウェアの利用はもとより、よりフレキシブルな分析を可能とするための、Rなどのフリーソフトによるプログラミング技術も必要となるであろう。

5.3 目標を達成するための教育内容・評価方法の例

経済学分野における統計教育については、以下の内容を目安とする。

- ① (a) 表現方法 (必須) : 以下の記述統計学の方法をふくむ。
 度数分布 (度数分布表、ヒストグラム、累積度数分布、分位点) ; 中心の位置の尺度 (算術平均、中央値、最頻値) ; パラツキの尺度 (四分位範囲、分散・標準偏差) ; 不均等度 (Lorenz 曲線、Gini 係数) ; 相関分析 (散布図、共分散、相関係数) ; 回帰分析 (回帰直線、最小二乗法、偏相関係数、重回帰分析) ; 時系列データの見方 (時系列プロット、変化率、TCSI への分解)
- (b) 経済データの活用 (選択可能) : 以下から選択する。SNA はなるべく含める。
 人口統計 (国勢調査など) ; 就業統計 (労働力調査など) ; 家計統計 (家計調査など) ; 余暇に関する統計 (社会生活基本調査など) ; 産業統計 (経済センサスなど) ; 企業活動に関する統計 (企業活動基本調査など) ; 賃金統計 (賃金構造基本調査など) ; 財政・金融 (資金循環統計など) ; SNA 統計 ; 指数 (消費者物価指数など)
- ② 事象の確率的な構造を理解するための方法 (必須) : 以下の推測統計学の方法をふくむ。
 確率論の基礎 (標本空間と事象、確率、条件付き確率、Bayes の定理) ; 確率変数と確率分布 (確率密度関数、分布関数、期待値、分散、モーメント) ; 代表的な確率分布 (二項分布、ポアソン分布、一様分布、正規分布、カイ二乗分布、t 分布、F 分布) ; 標本抽出 (母集団と標本、母数と統計量、無作為抽出、統計量の標本分布、大数の法則、中心極限定理) ; 推定 (点推定、不偏性、一致性、尤度関数、最尤法、区間推定、信頼区間、信頼係数) ; 検定 (帰無仮説と対立仮説、2 種類の過誤、有意水準、片側検定と両側検定、P 値、二標本問題、適合度検定、分割表における独立性検定) ; 回帰モデル (回帰モデル、最小二乗法、回帰係数に関する検定、重回帰分析)
- ③ 仮説を検証する方法 (選択可能)
- (a) 計量経済学の基礎 (学部レベル)
 単回帰モデル (回帰モデル、最小二乗法、回帰係数に関する検定) ; 重回帰モデル (決定係数、多重共線性、ダミー変数、回帰係数の 1 次制約の検定) ; 回帰モデルの発展 (誤差項の系列相関、誤差項の不均一分散、一般化最小二乗法)
- (b) 計量経済学の発展 (大学院レベル)
 二項・多項回帰 (ロジットモデル、プロビットモデル) ; 時系列データのためのモデル (ARIMA モデル、単位根検定、共和分、Granger 因果性) ; 同時方程式モデル (構造方程式、誘導形、識別性、2 段階最小二乗法) ; パネルデータのためのモデル (固定効果モデル、変量効果モデル、Hausman 検定) ; 切断のあるデータのためのモデル (Tobit モデル) ; ファイナンスのための統計モデル (GARCH モデルなど)
- ④ 統計ソフトウェアを活用した大規模データの計量経済学
 教育用マイクロデータを利用して、大規模なマイクロデータの分析を経験する。ここでは、フリーソフトの R や各種商用ソフトウェアの使用が不可欠となるため、それらの操作の方法ならびに結果の解釈法を学ぶ

[評価方法]

必須項目である ① (a) は統計検定 3 級に、① (b) は統計検定 2 級に対応する。これらの標準的な学習内容の理解の確認には、統計検定を参考にした客観的なテストが適している。計量経済学的な学習の評価には、マイクロデータ等を活用した、実際のデータにもとづく実証分析を評価の対象とすることが理想的である。それを可能とするためには、学部レベルの標準的な分析例を多数提示して、それを模倣する段階から始め、徐々に独自の分析へと進むように動機付ける工夫が必要となる。

6 経営学分野における統計教育の参照基準

6.1 当該分野の理念

経営学系の学部においては、「組織」、「戦略」、「管理」の観点から企業経営全般について学習するが、中でも立案、実施、評価、改革のいわゆる PDCA サイクルの理解が重要である。経営での問題解決のための立案と評価においては、経営環境に関する量的・質的データに基づく統計分析が必須である。市場データや顧客データ等のビジネス活動におけるデータの収集とその分析が統計解析の基本となる。また、財務データ等の組織活動のデータに基づく統計解析もしばしば必要となる。そこで、基礎的な確率論を含む一般的な統計リテラシー教育に加え、記述的統計分析手法に関する種々の事項とその活用方法・限界を知ることが、この分野で優先して学習すべき内容となる。一方、ICT の発展に伴い、データのデジタル化やデータ爆発ともよべる環境での迅速な経営意思決定を支援する統計分析を理解することも求められる。さらに経営戦略評価のための実験として、無作為化実験に基づく経営戦略評価研究も行われており、無作為化の役割を理解することも求められる。経営に関する統計データの充実が、日々変化する社会・経済環境下で経営を行う上での大きなメリットとなることへの理解が進むことが求められる。

6.2 到達目標（身に付けるべき知識・能力・スキル）

経営系学部においては、データに基づく問題解決能力を有した人材の育成が求められるが、そのための学部卒業時での到達目標としては、次の能力の習得が挙げられる。

- データの統計解析に関する能力
- 具体的な問題における統計解析能力
- 統計的意思決定に関する知識
- 大規模データ活用スキル（マーケティング及びファイナンス・保険）

以下に、それぞれについて具体的に述べる。

(1) データの統計解析に関する能力

市場データ、顧客データ、トランザクションデータ、財務データ等の幅広い領域でのデータの統計的な収集に関する知識・統計的な活用と、分析結果等を批判的に読み取る能力が求められる。また、経営に関するデータには、基数的なものだけではなく、順位データや質的データなどが数多く含まれることを理解し、適切な統計手法を使用できることも重要である。

(2) 具体的な問題における統計解析能力

基礎的な統計の知識、考え方、技能を、それぞれの関心分野における実際の問題あるいは実際に近い問題に適用し、問題の発見・明確化、問題解決方法の策定、得られた結果の検討等について、主体的に経験することを通して、それぞれの分野での統計の利用を会得できるようになることが重要である。

(3) 統計的意思決定に関する知識

統計的意思決定に関しては、基礎的な確率の理解が必要である。データに基づく統計的意思決定方法の理解と手法の活用能力に加えて、不確実な場面での統計的意思決定についても理解する必要がある。そのためには、決定木やベイズ決定理論等を理解する必要もある。

(4) 大規模データ活用スキル（マーケティング及びファイナンス・保険）

マーケティングに関しては、特にマーケティング・リサーチが重視されてきており、計量モデルの理解とともに POS データ等の大規模なデータを扱うスキルの習得が必要である。消費者動向等の市場データ収集にあたっては、調査倫理の知識も必要となる。また、ファイナンス・保険に関しては、日々蓄積されていく膨大なデータに基づく現象解明に特化した数理モデルの理論的理解と、データベース操作等、実際に統計的推測を行うために必要なスキルの獲得が求められる。さらに時系列データに特有なスキルも必要となる。

6.3 目標を達成するための教育内容・評価方法の例

経営学分野における基礎的な統計教育については、生産、人事、財務、マーケティングなどさまざまな部門別オペレーション（各論）での目的に応じた統計分析が行えるようになる必要があり、以下の内容を目安とする。なお、マーケティングを除く各論の分析において用いる統計手法については、その分析が依拠する他の学問分野（心理学、社会学、経済学など）の基準も参考にされたい。

① データ収集に関する基本的事項

企業を取り巻く経営環境を理解するためのデータ収集に関する教育が必要であり、資料やデータの収集から分析までの諸過程に関する基礎的な事項も含めることが必要である。項目としては、次のようなものが挙げられる。

データ収集の目的、調査方法論、調査倫理、調査の種類と実例、市場調査等の調査票・調査の事例紹介、仮説構成、無作為抽出、標本サイズと誤差、サンプリングの諸手法、質問文・調査票の作り方

② 基本的なデータ分析

公的統計や簡単な調査報告・論文が読めるための基本的知識、および統計データを整理・分析するために必要な基礎的な統計学的知識の習得が必要である。具体的には、次のような項目が挙げられる。

記述統計におけるデータやグラフの読み方とそれらの作成方法、基本統計量や相関係数等の基礎的統計概念、因果関係と相関関係の区別、確率論の基礎、正規分布等の基礎的な分布、検定・推定理論とその応用（平均や比率の差の検定、独立性の検定）、標本抽出法の理論、偏相関係数、回帰分析の基礎、基本的なノンパラメトリック統計量

③ 量的データ解析の方法

データ分析で用いる基礎的な多変量解析法について、その基本的な考え方と主要な計量モデルを習得する必要がある。重回帰分析や主成分分析を基本としながら、質的変数を説明変数とする回帰分析や分散分析、因子分析、記述的多変量解析（クラスター分析など）等の中から若干のものをとりあげる。

④ 意思決定のための方法

基本的な知識としてのリスクとリターンの学習が基礎となる。また、必要であれば決定木を理解させる。具体的な項目としては、次のようなものが挙げられる。

確率変数の和の期待値・分散、条件付き確率・条件付き期待値の計算、標本平均・標本分散を用いたポートフォリオ、意思決定の基準、ベイズ決定理論

⑤ マーケティング

マーケティング・リサーチでは商品や消費者等が対象であり、そのための解析手法の習得が必要である。具体的には、③で挙げたものを除くと次のような項目が挙げられる。

クロス表の分析、多変量解析手法（判別分析等）、階層ベイズモデル、アソシエーション分析

⑥ 演習

統計手法の活用が経営での問題解決に役立つことを理解するために、演習等を通して実際の事例を経験することが必要である。学生によっては、分析例から統計手法を紹介・説明することが効果的なこともある。また、実際のデータ収集の場で重要となる調査倫理についても、演習を通じて理解することが必要である。

[評価方法]

経営学分野の統計教育において育成すべき能力を評価するに当たっては、上記の教育内容に関する理解をレポート、試験等で評価する。

7 数理科学分野における統計教育の参照基準

7.1 当該分野の理念

統計学的方法的基礎は、数理統計学を中心とする数学的な理論として整備されている。特に、推測統計学は確率論を基礎としている。このため、数学科・数理工学科・情報科学科などの数理科学に関わる学科（以下、数理関連学科）における統計教育は、今後とも基本的な重要性をもつものである。純粋数学では、演繹的思考に基づく厳密な論理展開が本質的である。実際に、統計学的方法的基礎は、そのような思考から整理されている。しかし、統計学では、データに基づいて不確実性を評価することが重要であり、帰納的思考も重要である。その結果として、演繹的思考と機能的思考の両方を適切なバランスで使う能力が本質的である。したがって、数理関連学科における統計教育においても、このような統計学の性格を反映した教育を行うことが重要である。

統計学の重要性の増大は、コンピュータの発展とも密接に関連している。紙と鉛筆の時代から、コンピュータを駆使した大規模計算の時代へと時代は大きく変わっている。統計教育においてはコンピュータ等の情報機器の利用も欠かすことができない。

多くの数理関連学科では、数学教員の育成も担っており、これらの教員が初等・中等教育において「データの分析」等の統計の内容を教えることになる。したがって、数理関連学科における統計教育においては、教員養成の観点も重要な位置を占める。この際、統計を教える教員が、上述した統計学の性格を十分理解した上で、教員にとっても生徒にとっても興味のもてる統計教育を行うことが重要である。

7.2 到達目標（身に付けるべき知識・能力・スキル）

数理関連学科において、学部卒業時に求められる統計の知識・技能としては、次のような能力が挙げられる。

- 高度な数理的手法を現実の諸問題に応用できる能力
- 不確実性を定量的に評価し、統計的に妥当な結論を導く能力
- 統計処理の過程と結果をわかりやすく伝える能力

以下に、それぞれの能力について具体的に述べる。

(1) 高度な数理的手法を現実の諸問題に応用できる能力

社会の情報化に伴い、数理的な素養を備えた人材が社会から求められるようになってきている。例えば、保険分野は伝統的に数理関連学科出身者の活躍してきた分野であるが、近年では金融分野全体で数理的な素養が必要とされている。また情報処理分野においても、情報検索技術等で高度な数理的手法が応用されるようになってきている。医薬分野や生物学の分野でも高度な数理的素養が必要とされている。

(2) 不確実性を定量的に評価し、統計的に妥当な結論を導く能力

上記の分野で必要とされる数理的な素養は、確率・統計の内容であることが多い。金融分野では特にその傾向が強いし、情報処理分野においても統計モデルが用いられることが多い。その際、自ら大規模なデータをコンピュータによって処理できる高度な情報処理能力が求められる。このように、数理関連学科出身者には確率・統計の技能及び情報処理能力が求められている。主に純粋数学を学んで卒業する学生についても、その中で養われた論理的思考力を生かしながら、数理的手法を現実の諸問題に応用できる能力が要求される。したがって、数理関連学科の学生は学部教育において確率・統計の内容を一通り身につけておくことが必要である。

(3) 統計処理の過程と結果をわかりやすく伝える能力

以上のような、数理的および統計的な分析能力に加えて、それらの分析結果を必ずしも数理的な概念に慣れていない者にもわかりやすく伝える能力が要求される。分析結果を平易な例を用いて説明したり、グラフ等に可視化する能力も重要である。また、数理関連学科を卒業して、初等・中等教育の数学教員となる者にも同様の力量が要求される。データに基づく思考能力の育成という観点から、生徒が興味のもてる生き生きとした統計内容の教育のできる教員が求められる。

7.3 目標を達成するための教育内容・評価方法の例

数学などの数理関連学科の専門課程における統計教育を取り上げる。大学基礎科目の入門的な統計教育の履修を前提としたとき、それらの更なる発展形としての統計教育については、以下の内容を目安とする。

① 推測統計の基礎

推定（点推定と標準誤差、区間推定）、検定（帰無仮説と対立仮説の設定、検定統計量の選択、統計的有意性の確率的評価）、各種統計量の標本分布論（正確な分布および漸近分布）等、伝統的な推測統計の論理構成をカバーする。それに加えて、ベイズ法や大規模なベイズモデルに基づく推測等についても理解することが望ましい。推測統計の前提としては、体系的な確率論の教育も重要である。

② 線形モデルと多変量解析

重回帰分析や分散分析、およびそれらのモデルにおけるパラメータの推定法としての最小二乗法等は、線形モデルの枠組みで理論展開がなされるが、それらは、数学的には線形代数の応用である。また主成分分析、因子分析、判別分析などの各種多変量解析法や統計的グラフィックス等の手法の多くも線形代数を用いることによって体系的に理解することができる。したがって、数理関連学科においてはこれらの手法の数理的な背景を含めて十分な内容を扱うことができる。またコンピュータを用いれば、かなり大規模なデータについて手法を実際に適用し、理解を深めることができる。

③ 発展的な内容

より進んだ教育として、推測統計および線形モデルの2つを基礎とする次のような分野の教育が望まれる。

- 多変量推測統計：多変量正規分布とそれに基づく多変量分布論、共分散構造分析やグラフィカルモデルなどの多変量解析諸手法等
- 時系列解析：自己共分散、自己相関を持つ回帰モデル、自己回帰・移動平均モデル、非定常モデル、状態空間モデル等
- 実験計画法：無作為化、完全実施および一部実施要因実験、交絡、等
- 確率論、確率過程論：マルコフ過程、マルコフ連鎖、ランダムウォーク等
- 機械学習：データマイニング、サポートベクターマシン、ブースティングに代表される非線形手法等。

④ 他分野との連携

実際のデータを分析し、その結果に解釈を加える能力を習得するためには、応用分野における統計学の位置づけや適用方法についても学ぶ必要がある。学内の他学部、他学科、ならびに連携校との単位互換を導入し、計量経済学、金融、医学統計学、信号解析、制御理論、計量心理学、生態データ解析、遺伝統計学など、学生の興味に合わせて統計関連科目を履修できる環境整備が望まれる。

[評価方法]

数理科学分野の統計教育において育成すべき能力を評価するに当たっては、上記の教育内容に関する理解を試験によって評価するとともに、統計計算の実際的な問題についての計算機演習結果のレポートを併用して評価を行う。

8 情報科学分野における統計教育の参照基準

8.1 当該分野の理念

現代の情報科学分野では、大規模なデータのもつ情報の計算機を利用した処理が中心的な課題である。大規模データからの情報の抽出、データ生成過程の統計的モデリングと予測、情報を得るために必要となるデータ量の決定と必要なデータを得るための効率的な実験の計画など、情報科学に現れる問題を適切に定式化して解決するために、統計学は基盤となる役割を果たしている。さらに、認識と学習、知能情報処理などの高度な情報処理方法の構成においても統計学は不可欠な役割を果たす。これらのことから、情報科学を学ぶ学生にとって統計学の基礎的な素養を身につけることは必須である。

8.2 到達目標（身に付けるべき知識・能力・スキル）

情報科学においては、計算機を用いたデータ解析のスキル、大規模データを分析するスキル、情報を抽出するために必要なデータを得るための実験の計画についてのスキル、データ生成過程のモデリングのスキル、が重要である。専門課程においては、基礎課程で身につけることが期待される記述的統計解析スキルに加え、以下のような能力が必要である。

- 統計学の役割の理解：情報科学における不確実性をともなう問題について具体例を通じて理解する。
- データ収集および実験計画法：必要な情報を得るためのデータを収集する方法を理解する。効率的にデータを集めるための実験計画の基本的な考え方を身につける。
- 推測的統計解析スキル：推定や検定などの統計的推測の基礎的な意味について概観する。情報科学において必要性の高いベイズ統計学の考え方を理解する。
- 計算統計スキル：情報科学においては、計算機を用いた大規模データの統計分析やシミュレーションのスキルが必要である。大規模データから未知な有益な情報を見つけ出す手法であるデータマイニング、探索的データ解析の概要を理解する。さらに、最適化手法の基礎、およびデータ構造とアルゴリズムの基礎について理解することが望ましい。
- 実データの統計解析とモデリングのスキル：上記の知識・能力を基に、実データに対し適切な統計解析手法を適用して結果を理解する能力を身につける。統計分析により、何が言え何が言えないのかを統計的知識に基づいて各自が判断する能力を養成する。また、進んだ段階においては、個々の問題に応じた柔軟な統計モデルを構築しそれを利用した解析を行う能力が求められる。

8.3 目標を達成するための教育内容・評価方法の例

情報科学分野における大学専門課程において学習する基礎的なことから、また情報科学の諸分野の必要性に応じて取捨選択してとりあげることが望ましい発展的内容に分けて記載する。

・基礎的内容

① 統計学の役割と活用事例

情報科学における統計の活用事例を紹介しつつ統計学の役割を示し、学生が統計を学ぶ意義を理解するとともに、学習のためのモチベーション向上を図る。各専門分野に応じた、統計データの活用事例、統計的モデリングの実例を紹介する。

② 確率と確率分布

代表的な確率分布として、多項分布、正規分布、ポアソン分布、指数分布をとりあげる。確率変数について理解する。確率分布の、平均、分散、モーメントについて理解する。確率密度関数、確率分布関数、確率変数の変数変換について取り上げる。大数の法則、中心極限定理の意味を理解する。独立性、条件付確率、ベイズの定理、モーメント母関数、特性関数、たたみ込みなど、確率の基礎について理解する。多次元の確率分布につ

いて取り上げ、条件付分布について理解する。特に、多次元正規分布（多変量正規分布）の基本的性質について理解する。

③ 統計的推測

標本平均・標本分散について理解する。推定・検定の意味について理解する。推定に関して、最尤法、信頼区間を取り上げる。検定に関して、P 値、有意性、区間推定との関係について理解する。代表的な検定の方法として尤度比検定を取り上げ、カイ二乗分布を導入する。さらに、ベイズ統計の基本的考え方について扱う。

④ データ解析手法

(重) 回帰分析、判別分析、主成分分析、分割表分析、及びマルコフ連鎖、自己回帰モデル (AR モデル) など時系列解析の初歩について扱う。分散分析の初歩に触れて交互作用について理解する。実験計画法の考え方に触れ、フィッシャーの 3 原則などの考え方を理解する。

⑤ 計算統計の基礎

疑似乱数について理解し、疑似乱数を用いたシミュレーションを利用できるようにする。最急降下法とニュートン法などの最適化法の基礎と数値計算の基礎を理解する。フリーソフトの R や、個別の分野で標準的に良く利用される計算機言語を用いた実習を行う。

⑥ 機械学習の諸手法

特に、コンピュータを駆使した形での統計的機械学習の諸手法について学び、いくつかの手法に関しては、実際にコンピュータ上に実装する形で、適当な応用問題に対する答えが導けるようにする。

・発展的内容

上記の基礎的な内容を深化し、さらに統計分析に対する理解を深める。内容については専門分野ごとの必要性に応じて取捨選択する。新たに付け加える内容として、②については、確率分布としては、超幾何分布、負の二項分布、ガンマ分布 (カイ二乗分布)、対数正規分布、コーシー分布を取り上げる。確率過程の基礎としてポアソン過程、ブラウン運動に触れる。さらに、発展的内容として、確率積分と確率微分方程式、待ち行列、空間統計のモデルについて扱うことが考えられる。③については、推測理論では、十分統計量、フィッシャー情報量、最尤法の最適性についての初歩の漸近理論を扱う。また推測の方法として、ベイズ法、正則化法 (リッジ回帰など) を取り上げる。④については、判別分析およびロジスティック回帰、クラスタリング手法と、特徴量の抽出の方法、パターン認識への応用、時系列解析 (状態空間モデルを用いた解析法) を扱う。また、サポートベクトルマシン、ニューラルネットワーク、L1 正則化などの機械学習の手法、アソシエーション分析などのデータマイニングの手法を取り上げることが考えられる。既存の方法を応用するだけでなく、問題に応じた統計モデルを構築するために、赤池情報量規準やクロスバリデーションなどのモデル選択の方法について扱う。モデル選択法および正則化法と過学習との関係について理解する。

⑤については、EM アルゴリズム (Expectation Maximization Algorithm) をはじめとする逐次計算法、ブートストラップ法、マルコフ連鎖モンテカルロ法などのより進んだ方法をあつかう。また、双対化などのより進んだ最適化手法について取りあげる。さらに、統計解析のためのデータ構造とアルゴリズムについて扱うことが考えられる。計算機を利用した実習の機会を設けることが必要である。また、⑥については、近年盛んに研究が進んでいる分野でもあることから、最新の手法についての理解を深める。

[評価方法]

上記の教育内容に関する評価は、知識の評価を試験にて行うのに加え、実際の計算力及び結果の解釈の妥当性を評価するため、レポートの提出や、実技試験も有用である。また、大学を超えた普遍的な力を見るために「統計検定」の 2 級もしくは 1 級の受験あるいはそれ相当の試験の受験も考えられる。

9 総合理工学分野における統計教育の参照基準

9.1 当該分野の理念

現代の科学・技術者、総合理工学を学ぶ学生にとって統計学は不可欠なリテラシーといえる。例えば、不確実性をともなう実験結果から何が結論でき何が結論できないのかの判断、観測により得られた大規模データからの情報の抽出、複雑な現象のモデリングと予測、最大限に情報を引き出すための実験の計画、システムの信頼性評価、さまざまなリスクの分析と管理など、理工学の各分野に現れる問題を理解し解決するのに統計的手法は不可欠である。

9.2 到達目標（身に付けるべき知識・能力・スキル）

理工学部分野の大学専門課程における統計の授業は、半期1コマのみのこともあれば、1コマの中の一部が統計的方法に当てられていたり、複数個の授業が配置されていたりする場合もある。また、確率の基礎に関する授業が、統計の授業とは別に用意されていることもある。到達目標は、このような授業時間数に依存する。理工学においては、実験や観測で得られる実際のデータを分析するスキルと実験の計画についてのスキル、複雑な現象のモデリングのスキルが重要である。専門課程においては、基礎課程で身につけることが期待される記述的統計解析スキルに加え、以下のような能力が必要である。

- 統計学の役割の理解：理工学における不確実性および非決定的な事象を、決定的事象との比較を通じて理解する。
- データ収集および実験計画法：実験や観測などによりデータを収集する方法を理解する。特に、有効なデータを集めるための実験計画の基本的な考え方を身につける。
- 推測的統計解析スキル：推定や検定の統計的推測の基礎的な意味について概観する。また、いくつかの代表的な統計解析手法の意義について理解する。
- 探索的データ解析スキル：大量のデータから未知な有益な情報を見つけ出す手法であるデータマイニング、探索的データ解析の概要を理解する。
- 実データの統計解析とモデリングのスキル：上記の知識・能力を基に、実験データや観測データに対し、適切な統計解析手法を適用し結果を理解する能力を身につける。統計分析により、何が言え何が言えないのかを統計的知識に基づいて各自が判断する能力を養成する。理工学においてはコンピュータを用いた実データの統計分析やシミュレーションのスキルの必要性は高い。また、進んだ段階においては、個々の問題に応じた柔軟な統計モデルを構築し利用する能力が求められる。

9.3 目標を達成するための教育内容・評価方法の例

理工学分野における大学専門課程において学習する基礎的なことから、また理工学の諸分野の必要性に応じて取捨選択してとりあげることが望ましい発展的内容に分けて記載する。

・基礎的内容

① 統計学の役割と活用事例

理工学における統計の活用事例を紹介しつつ統計学の役割を示し、学生が統計を学ぶ意義を理解するとともに、学習のためのモチベーション向上を図る。各専門分野に応じた、統計データの活用事例、統計的モデリングの実例を紹介する。

② 確率と確率分布

代表的な確率分布として、多項分布、正規分布、ポアソン分布、指数分布をとりあげる。確率変数について理解する。確率分布の平均、分散、モーメントについて理解する。確率密度関数、確率分布関数について取り上げる。確率変数の変数変換による確率分布の変換について扱う。大数の法則、中心極限定理の意味を理解す

る。独立性、条件付き確率、ベイズの定理、モーメント母関数、特性関数、たたみ込みなど、確率の基礎について理解する。多次元の確率分布について取り上げ、条件付き分布について理解する。特に、多次元正規分布（多変量正規分布）の基本的性質について理解する。

③ 統計的推測

推定・検定の意味について理解する。推定に関して、最尤法、信頼区間を取り上げる。検定に関して、帰無仮説、P 値、有意性、検定と区間推定との関係について理解する。代表的な検定の方法として尤度比検定を取り上げ、カイ二乗分布を導入する。

④ データ解析手法

(重) 回帰分析、主成分分析、分割表分析、及び自己回帰モデル (AR モデル) などの時系列解析の初歩について扱う。分散分析の初歩に触れて交互作用について理解する。回帰分析、主成分分析などの多変量解析の手法については、線形代数の基礎 (固有値・固有ベクトル、対称行列の対角化、射影行列など) を踏まえた理解をすることが望ましい。実験計画法の考え方に触れ、フィッシャーの 3 原則などの考え方を理解する。

⑤ 計算統計の基礎

疑似乱数について理解し、疑似乱数を用いたシミュレーションを利用できるようにする。最急降下法とニュートン法などの最適化法の基礎、線形計算と数値積分に関する数値計算の入門的内容を理解する。最適化法の最尤推定等への応用、線形計算の多変量解析への応用など、統計的手法への応用と関連させて理解することが望ましい。フリーソフトの R や、個別の分野で標準的に良く利用される計算機言語を用いた実習を行う。

・発展的内容

上記の基礎的な内容を深化し、さらに統計分析に対する理解を深める。内容については専門分野ごとの必要性に応じて取捨選択する。新たに付け加える内容として、—MARU2 については、確率分布としては、超幾何分布、負の二項分布、ガンマ分布 (カイ二乗分布)、対数正規分布を取り上げる。確率過程の基礎としてマルコフ連鎖、ポアソン過程、ブラウン運動に触れる。さらに、発展的内容として、必要性に応じてブラウン運動に基づく確率積分と確率微分方程式について扱うことが考えられる。③ について、推測理論では、不偏推定量とクラメル・ラオの不等式などの推定論の基礎、十分統計量、フィッシャー情報量、最尤法の最適性についての初歩の漸近理論を扱う。また推測の方法として、ベイズ法、正則化法 (リッジ回帰など) を取り上げる。必要性に応じて、ノンパラメトリック検定について扱うことが考えられる。④ については、判別分析、ロジスティック回帰、時系列解析 (状態空間モデルを用いた解析法) を扱う。進んだ内容として、因子分析、独立成分分析を扱うことが考えられる。また、サポートベクトルマシンなどの機械学習の代表的な手法について必要性に応じて取り上げる。分散分析と実験計画に関して、一元配置、二元配置分散分析を取り上げる。さらに、直交表について扱うことが考えられる。統計的手法を用いた品質管理の考え方について理解する。既存の方法を応用するだけにとどまらず、問題に応じた統計モデルを構築するために、赤池情報量規準やクロスバリデーションなどのモデル選択の方法について扱う。多変量解析や時系列解析などの基本的なデータ解析手法に関しては、データの具体例と計算機を用いた実習の機会を設けることにより理解を深めることが望ましい。⑤ については、EM アルゴリズム (Expectation Maximization Algorithm) をはじめとする逐次計算法、ブートストラップ法、マルコフ連鎖モンテカルロ法などのより進んだ方法をあつかう。計算機を利用した実習の機会を設けることが望ましい。

[評価方法]

上記の教育内容に関する評価は、知識の評価を試験にて行うのに加え、実際の計算力及び結果の解釈の妥当性を評価するため、レポートの提出や、実技試験も有用である。また、大学を超えた普遍的な力を見るために「統計検定」の 2 級もしくは 1 級の受験あるいはそれ相当の試験の受験も考えられる。

10 品質管理分野における統計教育の参照基準

10.1 当該分野の理念

工学の諸分野に限らず、産業に関連した多くの分野においては、各専門分野独自の技術開発力を有する人材を系統的に育成することはもちろん、我が国産業界の競争力向上に対する責任も果たさなければならない。このためには、統計方法を活用し、データに基づく問題解決能力を育成することが重要である。特に、工業製品や各種サービスを社会に提供する一連のプロセスの中で、データに基づいて実証的に意思決定する能力を身に付ける必要がある。事実、1980年代後半の米国では、日本による統計的実験計画法を用いた効率的情報収集とそのデータ分析に基づく技術・製品パラメータの最適化等の品質管理技術が活用されており、それが当時の日本の産業競争力の源泉のひとつであった。我が国産業界がその当時注力した品質管理の問題解決を、現在の工学部教育の中においても体系的に教育される必要がある。

品質管理 (Quality Control = QC, Quality Management = QM) は、単に工業製品の品質を管理するだけでなく、よりよい製品やさまざまなサービスを作り出すための包括的な方法論および考え方全体を指すと解釈すべきである。

平成 20～21 年に公表された初等・中等教育における学習指導要領では、統計教育はおおむね、初等的統計的品質管理で前提となる事実に基づく管理・改善の根幹を教育するものとなっている。一方、学部卒業生は、それら基本的問題解決能力をもつ国民のリーダーとして、一連のモノづくりプロセスにおいて自部門の“統計的問題解決”に技術的責任をもてる人材として、系統的に育成される必要がある。さらには、モノづくりだけでなく、各種サービスなどの本質の向上に寄与することが強く望まれる。

10.2 到達目標（身に付けるべき知識・能力・スキル）

品質関連の諸分野においては、製品企画、製品設計、生産技術、工程管理といった一連のモノづくりおよびサービスづくりの企業活動が主要な活動の現場となる。したがって、学部の卒業生には、それらの活動を有効にするために必要な基礎統計数理能力が求められる。これらの能力は、具体的には次の3つに分類できる。

- 問題発見能力
- 設計情報に関わる意思決定能力
- 製品・サービスを実現するプロセスを実装する能力

これらの能力を獲得するためには、市場・工程情報の系統的収集とデータ解析、管理図法等の時系列解析についての必要なスキルを教育することが必要である。特に、統計ソフトウェアに支援されたデータ分析スキル、ならびに、技術者として事実に基づく意思決定が可能となる基礎知識を大学の卒業生ないしは修了生全員が有することが望ましい。これらについて多少具体的に述べると、次のようになる。

(1) 問題発見能力

顧客調査等を活用し、開発すべき技術・製品の市場における潜在的価値を認知する能力が必要である。

(2) 設計情報に関わる意思決定能力

適切な実験を計画・実施し、製品・サービスに必要な機能、質を実現するためのシステムを選択し、製品・サービスの適切な設計を行う能力が必要である。

(3) 製品・サービスを実現するプロセスを実装する能力

工程実験やプロセス管理技法を活用して、与えられた設計情報を、プロセス（工程）で、ばらつきの少ない製品・サービスとして実現する能力が求められる。

10.3 目標を達成するための教育内容・評価方法の例

品質分野における統計教育については、以下の内容を目安とする。まず、分野共通の基本技能については、以下のような教育内容が考えられる。

- ① 適切な事例学習を用いた QC 七つ道具のような基本的な問題解決のための統計方法と、事実に基づく問題解決型ストーリーの進め方の学習
パレート図、特性要因図、チェックシート、ヒストグラム、散布図、グラフ、管理図、層別、問題解決ステップと各ステップにおける留意事項
- ② 統計的推論とその活用の実践的な学習
確率・条件付き確率・ベイズの定理、不確実性のある状況での意思決定の方法、決定木による意思決定、検定・区間推定等の古典的統計推論、計量値の検定・推定の種類と適用範囲
- ③ 相関分析と回帰分析の活用
相関分析、時系列データの相関（レベルの相関と差分〔動き〕の相関）、偏相関係数、最小 2 乗法、単回帰分析と重回帰分析（偏回帰係数の意味、総合効果と直接効果）、統計ソフトウェアの支援に基づくモデル選択による要因の絞り込み
- ④ 実験計画法の基本
実験計画法の目的、実験の仕方（フィッシャーの 3 原則）、繰り返し、無作為化、ブロッキング、因子の種類・水準、一元配置実験
- ⑤ 統計的発想支援技法
新 QC 七つ道具の使い方、活用事例等（親和図法、連関図法、系統図法、マトリックス図法、マトリックスデータ解析法（主成分分析と因子分析の結果の解釈）、アローダイアグラム法 (PERT)、PDPC 法）次に、必要に応じて教育すべき技能については、以下のような内容が考えられる。
- ⑥ 顧客価値の発見に関わる統計的技能
顧客指向の統計的ものの見方・考え方、顧客満足の実現に資する顧客調査の基本的考え方と方法、データの取り方・まとめ方（母集団と標本、サンプリングと誤差、基本統計量、サンプリングの種類《2 段、層別、集落、系統》と性質）、製品に付与すべき品質の定義と考え方、調査に基づく見分け方（Kano Model）、要求品質と品質要素（認知品質と機能品質）とのギャップ分析、要求品質展開、計数データ分析の基礎（分割表型データの分析、Kano モデルに関する判断を可能とする方法）
- ⑦ 製品設計に関わる統計的技能
設計品質の実現と信頼性の確保、品質機能展開の役割、品質保証と再発防止、未然防止の意味、耐久性、保全性、設計信頼性の定義と基本的な考え方、信頼性特性値の定義と統計的評価（Mean Time Between Failure、B10 ライフ）、信頼性手法の基本（FMEA、FTA とその見方）、バスタブ曲線の見方、応用実験計画法（多因子実験を中心に）、交互作用を含む 2 元配置実験、直交表実験、ロバストパラメータ設計
- ⑧ プロセス管理に関わる統計的技能
管理図法によるプロセス管理と改善（プロセスの統計的管理状態とシューハート管理図の基本思想、管理図の種類と適用範囲、管理図法の使い方、工程能力と工程能力指数の活用）、時系列解析（Box-Jenkins 流時系列解析の基本とソフトウェアによる分析実習）

[評価方法]

品質関連分野の統計教育において育成すべき能力を評価するに当たっては、上記の教育内容に関する理解を試験によって評価するとともに、実践的問題についての計算機演習結果のレポートを併用して評価を行う。可能ならば、グループ毎に与えられた問題の統計的解決についてプレゼンテーションを行い、それを評価することも望ましい。

11 生物科学における統計教育の参照基準

11.1 当該分野の理念

生物は親から受け継いだゲノムを鋳型にしてタンパク質を生産する。ある種のタンパク質の時空間的濃度勾配が相次ぎ生産されるたんぱく質の種類と量を定める。それらのタンパク質が複雑に相互作用して次第に生物の体が形成され、成長していく。やがて成熟した個体は再び次の世代にゲノムを継承する。この一連のプロセスの中で、生物は餌不足と貧栄養、被食圧、高温・低温、冠水・干ばつなど、さまざまなストレスを受ける。こうしたストレスを克服して環境に適応し、競争に打ち勝ったものが、次の世代にゲノムを継承する。ゲノムは突然変異により多様化し、環境により淘汰され、次第に変化していく。

生物科学はこうした生命のダイナミックスの源泉を追い、鍵を握る役者たちを突き止める。生態学は個体と個体群、群集の時空間動態をマクロレベルで調査し、その変動要因を推測する。遺伝学は表現型と遺伝子型の相関する遺伝子を探索し、候補遺伝子の機能を破壊して表現型の変化を調べる確証実験を行う。生化学は時空間的に共発現するタンパク質を探索し、生化学反応の連鎖とこれを助ける鍵酵素、その反応部位の変異を調べる。農学は基礎科学で培われた手法と蓄積された情報に支えられ、人間社会における食と健康に役立つ機能を持つ生物を探索し、農作物を作り上げる。測定機器の技術革新により、個体や個体群の表現型に影響を与える決定因子をミクロの視点でシームレスに掘り下げていくことが可能となってきている。

生物科学で得られた情報とその背景となるデータは、基本的にはデータベースに登録され、公開される。長い進化の過程で、生物の生命活動はコアの部分で普遍的な機構を維持しつつ、種分化の後、ある部分は系統独自の変化を繰り返してきた。重要な機能を担う遺伝子やそれらの間の相互作用は変異を受けにくく、広範な生物種の間で保存される。このため、仕組みの解明が先行している種の知見を参照することにより、研究を加速させることができる。このため、データベースの情報と突き合せつつ膨大なデータを分析する必要に迫られる。

11.2 到達目標（身に付けるべき知識・能力・スキル）

生物科学の基本は実験と調査、そこから生成されるデータの統計モデルを通じた分析、仮説の構築と検証である。農学・生態学・進化学・生化学・ゲノム情報学と生物科学のあらゆる領域で、扱うデータは大規模化している。生物科学における統計教育の到達目標は、生物科学の基本的な知識を有する学生が以下のような知識・能力・スキルを身に付けることである。

(1) 有効な実験・調査をデザインする能力

生物科学の研究で生み出される成果は、実験と調査の質と量に依存する。時間と労力、費用の制約の下で成功率を最大化させるために、本質的な要因を漏らさないよう網を広げつつ、最新の知見に基づいてメカニズムに関する予想を立てて、検証する因子を絞り込み、感度を高める。そこでは、実験や調査により得られる結果の精度を見積もることが必要となる。

(2) 複雑なデータの中に鍵となるシグナルを見出す能力

生物科学のデータは緩い意味では再現性がある。同じような刺激に対しては同じように反応する。ただし、工学的なデータと異なり、生物学的データは、遺伝子の発現から個体の行動、個体間相互作用、種間相互作用の様々なレベルにおいて、大きな不確実性が伴う。そしてこの不確実性が、生物の多様性と適応の本質であることもしばしばある。測定とデータ取得の性能の向上に伴い、膨大なデータを手にするため、複雑で不確実なデータに生物学的に有用なシグナルを検出する能力を身につけることが求められる。さらに、統計的なモデリングのトレーニングを行うことにより、データの持つ情報を生物学的な解釈が容易でメッセージ性のあるものに変換する能力を身につけた人材を輩出する。

(3) 最新の情報とのすり合わせを行い、総合的に分析結果を解釈する能力

分析により得られた結果は、妥当性を保証する為に、多くの場合、データベースなどに格納された最新の情報に照らし合わせる。あるいはデータベースから関連するデータを抽出し、比較・統合分析を行う。データベー

スを参照し、複数の情報を対比して総合的な解釈を行う能力を身につけることが求められる。

11.3 目標を達成するための教育内容・評価方法の例

生物科学分野における統計教育については、以下の内容を目安とする。

① 実践の中での手法の取得

生物科学の研究教育者や学生は、実験や調査を行い、データを分析する。そのため、生きたデータを実際に分析し、シミュレーションを交えながら手法を紹介するという、実践的な授業を行う。統計言語 R のなす役割は絶大と言って過言でない。官公庁や FAO, NOAA, NCBI などの諸機関が公開している生物・環境データなども利用して、最新の知見が自らの手で統計的にあぶり出される感動を体験する。

② データの取得、データの要約と探索的解析

遺伝子発現などを例に、いまでは普通に大きなデータを手にすることをまず体験する。そして、大規模データを可視化するための統計グラフィクスの技法を学ぶ。要約統計とデータの縮約、複雑なデータから探索的に構造をあぶり出す多変量解析・多次元解析の諸手法を学ぶ。

③ 実験・調査のデザイン

求める精度を達成するために過不足ない努力量を払い、感度の良い実験や調査をデザインするための基礎を養う。室内実験を行い、野外で調査を行い、得られたデータに基づき実証分析を行うとき、知ろうとしているものは背後にある母集団の構造であることを理解する。ランダムランプリングと推定・検定、推定量の分布と確率の概念を、シミュレーションを交えながら学ぶ。その中で、実験と調査の努力量と得られる結果の精度の関係を感覚的に掴む。基本的な要因分析の手法として、分散分析を学ぶ。検定を重ねることからくる多重比較に対する補正を紹介し、GWAS や発現解析など検定数の多い場合の扱い、p 値の分布を紹介する。

④ 定量的な実証分析

母集団の構造に関して、推定・予測を行う方法を学ぶ。基本は回帰分析であるが、説明変数を工夫することにより多項式回帰、フーリエ解析、ホッケー・スティックモデルなども重回帰分析の枠組みに入ることを学ぶ。たとえば相対成長や酵素反応の解析では従属変数の変数変換を行うが、そこでは関係式の線形化に加え、誤差分布のパターンの特徴を抑えることの重要性を伝える。生態学で遭遇するカウントデータや室内実験や遺伝解析で取り扱うことの多い割合のデータの分析として、過分散に留意しつつ一般化線形モデルを紹介する。予測精度に基づくモデル選択の方法を紹介し、分散分析や回帰分析、一般化線形モデルにより分析してきた実例に対して、それぞれ納得のいくモデルが得られることを実感する。

⑤ 統計的モデリングと複数の情報の統合

ロジスティック回帰の回帰係数そのものは、生物科学的な価値は薄いことが多い。平均成熟年齢や LD50 をパラメータに設定すると、もはや一般化線形モデルの枠組みには収まらない。基本的な分布と関係式で構成される尤度の形で統計モデルを表現することの若干のトレーニングを受けることにより、いまでは容易に未知パラメータを最尤推定できることを学ぶ。自在にモデリングを行うことにより、尤度の積の形で不完全な実験のデータを組み合わせることにより構造推定が可能になること、生物科学で有用なメッセージを提供することの喜びを体験する。階層ベイズは、種々の情報を統合して分析したい場合や、混合線形モデルなどパラメータ値の確率変動を分析したい場合に自然な枠組みとなっていることを学ぶ。

[評価方法]

各回の授業最後に簡単な演習問題を解くことで、実習の内容をものにする。1週間かけて小テストに答えることで、方法論を復習し、実データの解析をする体力をつける。レポート課題で自身のテーマ設定に即してデータ解析を実践することで、総合的な分析力が見につくことを目指す。最終試験は演習問題と小テスト、レポートを踏まえた問題で、web 上のデータを解析し、結果を解釈する能力を評価する。

12 医歯薬学分野（看護学を含む）における統計教育の参照基準

12.1 当該分野の理念

統計学がなくても生命科学は進歩する。しかし、限られた資源（対象者、時間やコスト）の中でいかに効率的にデータを収集し、解析し、そしていかに適切に結果を解釈すべきかを考えれば、統計学は本分野に必須の学問である。本分野の最大の特徴は、その研究対象が人間であるという点であり（薬を研究対象とする薬学分野であっても、最終的に臨床試験で薬効評価がなされる）、それに伴う種々の論点、例えば、研究遂行上での倫理的配慮や個人情報秘匿、個人あるいは民族の多様性に起因する個体差や民族差の適切な把握等に、特に注意を払う必要がある。即ち、対象者に対する人権を尊重し、本質的にバラツキを伴うデータ、およびその曖昧さ・不確実さの中で得られる結果に対する信憑性を確保・評価する必要がある。これらの信憑性を支える柱が、研究計画・データ管理・統計解析の3つである。

医歯薬学をはじめとする生命科学分野での統計教育は、各学部できわめて重要視されており、ほぼ全ての学部において基礎科目として行われていると同時に、大学院を含む専門教育でも実施されている。そこでの統計は、医学統計・医療統計・臨床統計・医薬統計・生物統計・バイオ統計・計量生物等さまざまな名称で呼ばれている（以下「医歯薬関連統計」と呼ぶ）。米国をはじめとする諸外国では、biostatistics と称されており、1950年頃より独立した学科として存在している大学が多い。

本分野における統計教育には、医師・歯科医師・薬剤師・看護師等を目指す学生のためのものと、「医歯薬関連統計」の専門家（以下 biostatistician）を養成するためのものがある。いずれの場合も、考え方や手法において本分野に特徴的な内容が要求される。

12.2 到達目標（身に付けるべき知識・能力・スキル）

「医歯薬関連統計」のセンスを有する医・歯・薬・看護学部卒業生を養成するための統計教育について述べる。ここでの到達目標において必要とされる能力は、以下のようなものである。

(1) 医歯薬関連論文や研究計画書の記載事項を読み取る能力

基礎的な確率・統計を習得しておく必要がある。その上で、研究デザインの正しい理解が必須であり、臨床試験等の実験研究における研究計画書の作成や、疫学研究等の観察研究の調査方法論に関する基礎的知識が欠かせない。得られたデータの管理とその品質保証に関する知識も必要である。また、検定・信頼区間・効果指標に関する正しい理解も必要となる。

(2) エビデンスに基づき適切な治療や対処法が選択できる能力

書物や論文に記載された客観的な証拠（エビデンス）の強さが読み取れなくてはならない。そのためには、エビデンスの強さを左右する様々なバイアスの存在について理解し、データ分析に用いられた各種統計手法に対する正しい理解が必要となる。さらには、それが自らの関わる問題にどのように適用可能であるかの判断が要求される。臨床試験の結果は理想的な環境下でのものであり、それと実際の医療現場との距離感を意識しながら、適切な治療や対処法を選択しなくてはならない。

(3) 統計ソフトウェアの利用や出力結果を解釈する能力

データ解析は統計ソフトウェアによって行われるのが普通であり、計算結果の妥当性の担保（バリデーション）のためにも本分野での標準的なソフトウェアの使用は必須である。特に、本分野で特有な統計手法を、実際にソフトウェアを使って実行する能力、および出力結果を正しく読み取る能力が要求される。

(4) Biostatistician とのコミュニケーションを図る能力

本分野の研究には、biostatistician の関与が必須である。そのためには自身の関わる問題を専門外の biostatistician にわかりやすく説明し、コミュニケーションを図る能力が必要とされる。様々な分野の専門家がチームとして活動することにより、研究目的の明確化と研究の効率化がなされなければいけない。

Biostatistician の教育についても触れておく。これら専門家の養成は基本的には大学院レベルの教育によっ

てなされるであろうが、上述内容の理解、最先端の医歯薬関連統計手法の習得に加え、コンサルテーション技法も身に付ける必要がある。そのためには、最低限の生命科学の基礎知識を習得しておく必要がある。

12.3 目標を達成するための教育内容・評価方法の例

「医薬関連統計」の基礎知識をもつ医・歯・薬・看護学部の卒業生を養成するための教育内容については、以下のような内容を目安とする。そのレベルは履修年次・授業時間数等により様々であろうが、少なくともこれらについて最低限の知識は必要とされる。また、適切な統計ソフトウェアを活用した演習を交えることにより実践力を養うべきである。

① 確率・統計の基礎

大学基礎科目レベルの記述統計学の基本を身に付ける。特にデータの集計法およびグラフ表示法に習熟する必要がある、不適切な集計やグラフ表示を見抜く力も重要となる。その上で、確率と確率変数、確率分布の特性値などの基礎事項、ならびに各種確率分布の特長について学ぶ。それらの基礎の上に立ち、統計的仮説検定と点推定および区間推定の基本概念、適切な効果指標の選択とその推定に関する知識を身に付ける。

② 研究計画の方法

実験研究（臨床試験等）と観察研究（疫学研究等）の特徴把握と両者の違いの理解は極めて重要である。実験研究に関しては、臨床試験の方法論として、各種試験デザイン・エンドポイントの選択・インフォームドコンセント・必要対象者数の計算・各種ランダム化・データモニタリング等の学習が必要である。観察研究については、疫学方法論としての各種の標本調査法（単純無作為抽出、層別抽出等）、研究デザイン（コホート研究、ケース・コントロール研究、ケース・コホート研究等）、バイアス（交絡、選択等）とその制御方法、調査票の設計等の基本の学習が要求される。

③ 統計解析の方法

単純な2群比較の問題に加え、「医歯薬関連統計」に特徴的な解析手法を習得することが必要とされる。特に、交絡調整のための各種層別解析法および回帰モデルの学習が必要であり、カテゴリカルデータ解析・分散分析・生存時間データ解析・経時測定データ解析等を実際の場面での応用例も多く解析手法の正しい理解が必要とされる。

④ 発展的な内容

大学院レベルでは、多変量解析、ベイズ統計学、不完全データの解析、統計的因果推論のほか、Quality Of Life (QOL) 評価、薬物動態学、生物検定法、遺伝統計学、バイオインフォマティクス、薬剤疫学、医療経済学等、多種多様な分野の学習ならびに実践が必要となる。本分野の発展は急速であり、常に最新の情報に接する必要がある。

さらに近年では、遺伝子解析などの研究の進展に伴い、多変数小標本のデータの取り扱いも重要な位置を占める。また、各種医療関係のデータベースの構築と整備およびそれらデータの（すべてではないにしても）公開に伴い、それらのデータベースの取り扱いを含む、超大量データからの情報抽出も今日的な課題である。

[評価方法]

上記の教育内容に関する理解度をレポート、試験等で評価する。小人数の学生グループによる模擬的な臨床試験の立案とデータの解析、および解析結果のレポート作成などの実習も、実践力の習得には有用である。

発行 大学間連携共同教育推進事業 連携大学

東京大学・大阪大学・総合研究大学院大学・青山学院大学（代表校）・
多摩大学・立教大学・早稲田大学・同志社大学

150-8366

東京都渋谷区渋谷 4-4-25

青山学院大学 大学間連携 GP 事務局