

機関番号：82616

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2008 ～ 2010

課題番号：20530675

研究課題名（和文） 心理学研究における多階層の特性構造を持つデータのための統計モデルの開発

研究課題名（英文） Development of statistical models for data with multi-layered characteristics in psychological research

研究代表者

大津 起夫 (OTSU TATSUO)

独立行政法人大学入試センター・研究開発部・教授

研究者番号：10203829

研究成果の概要（和文）：伝統的な統計手法の研究においては、確率モデルにおける推定方法の精度の向上に焦点があり、数理的な理論の進展が著しい。しかし、学力試験を含む心理学研究における実践的データの分析の現場においては、これらとは異なる進展が要求されている。最大の課題は、蓄積されたデータの持つ複雑な構造や背景情報を、十分に利用する統計的分析法が必要とされていることである。本研究では、数値計算と記号処理における情報技術の進展を踏まえ、心理学研究における複雑な構造を持つデータを分析するために有効な統計モデルとその推定方法の開発を行った。

研究成果の概要（英文）： Research on improving estimation accuracy of probability models has been the main stream of statistical analysis. Although theory of mathematical statistics has been quickly developed last decades, other types of developments are seemed to be required for practical data analysis for psychological research including test analysis of academic achievement tests. The most important subject is to develop statistical method that fully utilizes complicated background information related to research tasks. In this project we developed statistical models and their estimation methods for psychological research considering technical developments in numerical and symbolic information processing.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2009年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2010年度	1,100,000	330,000	1,430,000
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野： 社会科学

科研費の分科・細目： 心理学・実験心理学

キーワード： データ解析法

## 1. 研究開始当初の背景

伝統的な統計手法の研究においては、確率モデルにおける推定方法の精度の向上に焦点があり、数理的な理論の進展が著しい。しかし、学力試験を含む心理学研究における実践的データの分析の現場においては、これら

とは異なる進展が要求されているように思われる。最大の課題は、蓄積されたデータの持つ複雑な構造や背景情報を、研究上の真摯な要求に応じて取り入れることのできる分析手法が十分ではないことにある。これらの要求に応え得る、新たな統計モデルの表現と

推定法の開発を試みる必要がある。

## 2. 研究の目的

多くの応用場面における主要な要求は、データの持つ多様な背景情報を分析に生かすこと、つまり現実的な課題の解決において要求されるに十分であるような対象関係の複雑さを表現しうるモデルを工夫しつつ、またこれらから導かれる意味的な制約（特に推定のためのモデルの候補の生成やパラメータの事前情報による拘束において）を十分に利用することにある。研究の実現のためには、階層的な記述関係をもつ統計モデルの記号的操作を柔軟に行えることが必要である。このような処理は、統計的分析よりむしろ情報科学における人工知能研究によって盛んに取り扱われてきた。ここでは、柔軟性の高い統計モデルの利用を試みるとともに、高い記号処理能力を持つ計算機言語（論理型言語）と、その言語上の制約プログラミング機能、XMLパーザ・XMLジェネレータなどを利用することにより、記号処理機能と統計的推論を組み合わせ、また複雑な構造を持つデータの汎用的なデータ交換を可能とすることにより、心理学研究の広い展開に寄与しうる統計的分析に寄与することを目的とする。

## 3. 研究の方法

研究初年度においては、記号処理言語（prolog）を用いたXMLデータ操作の述語（関数）群および統計データ操作のための述語群を整備した。これらは複雑なモデル操作を行うための技術基盤を実現するためのものである。

さらに、これらの成果を前提に、大規模データにおける複雑な構造を推定可能とするための計算機環境を整備するとともに、複雑な統計モデルの柔軟な推定を可能にするために、記号処理言語と数値計算機能との統合をおこなった。

これらの成果に基づき、心理学研究において利用されることの多く、しかも複雑な構造を持つモデルの推定法、特にグラフィカルモデル（非巡回有向グラフおよび連鎖モデル）、多層の多重分割表に関わるモデル操作、および離散的な混合分布による潜在変数の近似を用いる非線形因子分析の推定を実現する。

## 4. 研究成果

本研究によって実現した成果は、以下のようである。

(1) 大規模で複雑なデータ解析を実現するための計算機環境（ハードウェアと基本ソフトウェア）を整備した。具体的には

64bit版のLinux上での高速な数値計算や、大量データの取り扱いを可能とする環境を、所属部署内に実現した。特に64bitOS上のRシステムを、高性能なコンパイラによって再ビルドし、多重プロセッサ用に最適化された線形計算のルーチンを統合した。CRANにおいて流布しているRのバイナリ版では、大量データの取り扱い（大規模の線形計算）において性能上の制約があり、これを上記の手続きによって改善した。

(2) Prologで記述されたデータ解析を可能とする、述語群（関数）を整備し、またXMLデータの柔軟な取り扱いを容易に実現するための述語群を整備した。このうちデータ解析に係る述語としては、主に次のようなものがある。

① 一般的な数学・データ分析ソフトウェアにみられるようなベクトルおよび行列の加減算を、リストまたは配列で保持された数値について実現する述語。

② リストに表現されたデータの各要素に、関数の適用を繰り返して実行するための述語。（最新版のSICStus4.2では、類似の操作をより抽象化された表現で実行可能とする組み込み述語が導入されたため、開発の意義は幾分薄れたが、多くの処理系では未実装の機能である。）

③ 平均や分散、分位点など基本統計量をリスト表現されたデータから計算するための述語。

④ 行列の転置、行・列の取り出し、多重配列の添え字位置操作、行列積、テンソル積などの演算を多重リスト表現された数値に対して行う述語。

⑤ グラフィカルモデル、特に連鎖モデル(chain model)を表現し、基本的な特徴を導出する述語群。特に条件付き独立性の判定、および2つの連鎖モデルの統計的同等性の判定のための述語。

⑥ CおよびFortranで記述された数値計算用の関数を利用するために、Prologのリストによって表現された数値と、配列との相互変換を行うためのProlog述語およびCで記述されたインタフェース用の関数。これらを用いて、準ニュートン法による数値最適化や逆行列、対照実行列の固有値計算などの線形計算をPrologから利用可能にした。

⑦ XMLで記述されたデータのパーズングと、部分木の特性を指定することによる条件付き集計機能をProlog上のXMLパーザを用いることにより作成した。

(3) 大量データの実務的処理を補助するための、高速で簡便な集計用ユティリティ

プログラム (Windows および Linux 用のコマンド群) の機能を強化し、利用マニュアルなどを整備した。固定フォーマットで記述された大量のテキストデータから、指定カラムの選択、特定レコードの抽出などを効率良く実行できる。

- (4) 非線形因子分析の推定プログラムの整備を行い、大規模なテストデータの分析を効率よく行い得る環境を整備した。推定の核心部分を構成する尤度計算の機能は、計算負荷が大きいため、C言語で記述し、他の部分はR言語の機能を利用して作成した。推定に関わる各種の統計量の導出や、作図機能を用意した。
- (5) (1), (3), (4)の成果を用いて、大規模なテスト (大学入試センター試験) における同一分野間における科目間の難易度比較を、欠測構造に MAR を仮定したモデルによって行うことを可能とした。また、これらの分析結果から、同時分布を考慮しない周辺度数に基づく得点調整と、同時分布を考慮する場合との特性の違い等について検討を加えた。これらの分析結果より、いくつかの科目においては受験者層の偏りが科目得点に影響を与えていることが示唆された。ただし、特定の科目においては、MAR の仮定からの逸脱の可能性が高いことが推測されたため、モデルの妥当性についてはなお検討すべき点があることが示された。
- (6) (1), (3), (4)の成果を用いて、大学入試センター試験の英語科目の連続する複数年度間の難易度の比較を、大学1年生を被験者とするモニター調査をアンカーとして用いることにより試みた。比較的少数のモニター調査データに基づき、科目得点を対象とする非線形因子分析を用いることにより、比較的良い精度で二つの年度の難易度の差を推定し得ることを示した。ただし、個別項目の反応が利用可能である場合には、2パラメータロジスティックモデルを利用するIRTによる分析のほうが、推定精度において勝ることが示された。
- (7) (1), (2)の成果を用い、さらに多層の多重分割データの分析を、ポアソンモデルの条件付き尤度を用いて推定するプログラムを作成した。プログラムの主要な部分はPrologで記述されており、特に条件付き尤度の推定には、周辺度数の制約のもとでのデータの列挙が必要であるため有限領域上の制約論理プログラミング (CLP (FD)) を利用する。また、尤度最適化

には Prolog から非線形数値最適化関数を利用可能とした成果を用いた。この分析法を用いて、大学入試センター試験の科目選択における性別の影響について検討した。分析結果によれば、出身高校と志願学部の種類の影響を考慮しても、なお性別により理科における物理 I と生物 I の選択頻度が異なることが示された。

- (8) 当初の目的の一つは、試験問題の形式的な特性により、試験問題の難易度を予測するというものであったが、これに関しては、研究期間中には十分な成果を上げることができなかった。一つの理由は、試験問題の形式的な特性 (問題文の長さなど) による予測が難しく、個別の条件の影響が大きいためである。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計2件)

- ① 大津起夫・橋本貴充、非線形因子分析によるセンター試験英語問題の難易度比較、日本テスト学会誌(査読有)、vol.7、2011、1-14.
- ② 大津起夫、大学入試センター試験における科目別得点の非線形因子分析による比較、大学入試センター 研究紀要(査読有)、2011、1-22.

[学会発表] (計5件)

- ① 大津起夫・橋本貴充、多肢選択型学力試験問題における難易度と信頼性の関係について、日本心理学会第72回大会、2008年9月北海道大学(札幌市)
- ② Otsu, T. Classifying statistically equivalent graphical models by using a logic programming language, IMPS2009, July 21<sup>st</sup>, 2009, St. John's College, Cambridge, U.K.
- ③ 大津起夫、制約論理プログラミングによる条件付き離散分布の導出、日本行動計量学会第37回大会、2009年8月5日、大分大学学部(由布市)
- ④ 大津起夫、多層多重分割表の条件付き尤度による分析、日本心理学会第74回大会、2010年9月20日、大阪大学豊中キャンパス(豊中市)
- ⑤ 大津起夫・橋本貴充、非線形因子分析による入学試験の難易度比較、日本テスト学会第8回大会、2010年8月30日、多摩大学(多摩市)

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況（計0件）

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年月日：  
国内外の別：

○取得状況（計0件）

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年月日：  
国内外の別：

[その他]

ホームページ等

<http://www.rd.dnc.ac.jp/~otsu>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

大津 起夫 (OTSU TATSUO)

大学入試センター・研究開発部・教授

研究者番号：10203829

(2) 研究分担者

( )

研究者番号：

(3) 連携研究者

橋本 貴充 (HASHIMOTO TAKAMITSU)

大学入試センター・研究開発部・助教

研究者番号：20399489