

氏 名	足 立 浩 平
学位(専攻分野)	博 士 (文 学)
学 位 記 番 号	論 文 博 第 354 号
学位授与の日付	平 成 10 年 11 月 24 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 2 項 該 当
学 位 論 文 題 目	類似性および特徴データの解析法に関する計量心理学的研究

(主査)

論文調査委員	教 授 清水御代明	教 授 苧 阪 直 行	助教授 乾 敏 郎
--------	-----------	-------------	-----------

論 文 内 容 の 要 旨

類似性は、人間の認識や行動を記述するための基本的概念の一つであり、心理学のさまざまな領域で、刺激間の類似性と各刺激が有する特徴との関係に着目されることが多い。この関係を表現するモデルと解析法の計量心理学的考察が本論文の主題であり、7章からなる。

第1章「序論」では、まず刺激間の類似性と刺激の特徴との関係を分析するためのモデルと解析法（多次元尺度法など）を鳥瞰した後、研究目的が定式化される。刺激 i と刺激 j の類似性データを $s(i, j)$ 、刺激 i, j の諸特徴をそれぞれ $x(i), x(j)$ 、他の関連パラメータを Θ で表すと、 $s(i, j) \sim (\phi)(x(i), x(j); \Theta)$ （ $\sim$ は近似関係を表す）という関係が想定される。この想定に基づき、関数 ϕ の設定（モデル）と解法を、次の各ケースの下に考えることが目的となる。ケースAでは、類似性 $s(i, j)$ と特徴 $x(i), x(j)$ がデータとして所与であり、未知の Θ が推定対象となる。ケースBでは、特徴 $x(i), x(j)$ だけが所与であり、これらと Θ から予測される $s(i, j)$ を応用する。ケースCでは、 $s(i, j)$ だけが所与で、 $x(i), x(j), \Theta$ が推定対象となる。

第2章「数理的基礎」には、本研究の議論の基礎となる線形代数と統計学の知見がまとめられている。すなわち、線形代数における逆行列や固有値分解に関する定理をまとめた後に、統計学のパラメータ推定原理（最小二乗法・最尤法）、モデル評価基準（とくにAIC）などについて体系的に記述された。

第3章と第4章ではケースAを対象にして、特に $x(i), x(j)$ が定性的特徴である場合を考慮したモデルと解析法が扱われる。まず、第3章「類似性の特徴への回帰分析」では、ケースAについて現在最も一般的な特徴重みモデルを再検討し、その難点を補うモデルを提案している。特徴重みモデルは、刺激 i と j の共通または示差特徴の重みつき合計を両者の類似性に対応させるもので、 $s(i, j) \sim \phi(x(i), x(j); w)$ （ w は重み）と表せる。まず、このモデルの解法（パラメータ w の推定法）が体系的に提示される。特徴重みモデルは簡潔で実用的であるが、特徴間の関係が特徴の集合体である刺激の類似性に与える影響を考慮しないのが欠点だと指摘して、各特徴間の類似性 R （特徴 $\times$ 特徴の類似性行列）をパラメータとした上で、 R の要素の加算によって刺激間類似性を表現するモデル群 $s(i, j) \sim \phi(x(i), x(j); R)$ を考案し、 R を推定する方法を提示し、データへの適用例を示した。

類似性行列 R をパラメータとする特徴間類似性モデルはデータへの適用例でも高い適合度を示したが、論者はこれに満足せず、パラメータ R が構造的表現を持たないため、その解釈が難しいという問題を残すと指摘する。この問題を克服するため、第4章「特徴間関係の空間表現モデル」では、空間布置表現に基づく2種のモデル群が考案された。まず、各特徴を多次元空間内の点とみなすと、各刺激はそれが有する特徴の点の集まり（クラスター）とみることができる。このクラスター間距離によって刺激間類似性を表現するモデル群が考案される。この特徴点モデルは、特徴 $\times$ 次元の座標行列を A で表すと、 $s(i, j) \sim \phi(x(i), x(j); A)$ と表現できる。パラメータ A の推定法を提示した上で、 A （特徴点の空間布置）から特徴間の関係を容易に把握できることが、データへの適用を通して例示された。次に、各特徴を原点から伸びる方向ベクトルとみなした

上で、刺激をそれが有する特徴ベクトルの合成ベクトルとみなし、合成ベクトル間の内積によって刺激間類似性を表現するモデルを考え、その解法を考案した。このモデルは、特徴ベクトルの方向が特徴間関係を表すと同時に、前段の特徴点モデルでは考慮しなかった特徴の重みも、特徴ベクトルの長さによって自然に表現できるので最も良好なモデルであると主張される。

第5章「特徴データ解析による類似対象検索」では、ケースB、つまり、特徴データ $x(i)$ 、 $x(j)$ から $\phi(x(i), x(j); \Theta)$ によって得られる類似性を応用する問題を扱っている。取り上げられた問題は、画像データベースの中から入力特徴データ $x(*)$ (プローブ) に合致する画像を検索する問題、すなわち、データベースを多数の画像刺激 ($i = 1, \dots, n$) の特徴データ $\{x(i); i = 1, \dots, n\}$ によって構成し、入力 $x(*)$ との類似性 $\phi(x(i), x(*); \Theta)$ が最小となる画像をデータベース中から探し出す問題である。画像を見た被験者が言語的に記述したものを特徴データとした。この画像検索については、基準化された類似性といえる確率の概念に基づく判別分析が利用できる。そこで、まず、被験者の特徴記述行動の確率モデルに基づく判別分析法を考案して、顔画像検索への適用例が示された。次に、第3章と第4章のモデルに基づく手法と顔画像検索への適用例を提示し、第3、4章で強調した特徴間関係の考慮が、画像検索においても重要であることを示している。

第6章「類似性データに基づく特徴表象の探索」ではケースCが取り上げられる。ケースCについては従来から盛んに研究されてきたが、(刺激・反応間) 混同行列に代表される非対称類似性データからその背後にある刺激の特徴表象の変容を探索するための方法は検討されていない。論者は、認知過程を経て変容した提示刺激 i の表象を座標点 $y(i)$ 、反応選択肢としての刺激 j の表象を座標点 $x(j)$ (無変容の正確な表象に対応する) で表現し、これらと混同行列の要素 $s(i, j)$ とを関係づける展開法モデル $s(i, j) \sim \phi(y(i), x(j); \Theta)$ 、およびその解析法 ($y(i), x(j)$ の推定法) を考案した。この解析法の長所は、同一刺激 i についての認知表象の座標点 $y(i)$ と正確な表象の座標点 $x(i)$ の差ベクトル ($y(i) - x(i)$) によって、特徴の見失い等に起因する表象の変容を空間表現できることである。最尤法に基づく解析法を提示した上で、「刺激の種類に関係なく、表象が一定方向に変容する」という仮定 (平行移動・目的点モデル) を組み込んだ制約つき解析法も考案している。これらの手法は、表象変容の空間表現および上記の仮定の確証ができる点で、認知心理学に有用な多変量解析法であるといえる。以上の最尤法に加えて、ベイズ法、および、等質性分析の枠組に基づく解析法を考案し、データへの適用例も示している。

第7章「総合考察」では、各章のモデル・解析法について、章を越えた次の3つの視点から再考察している。1) 幾つかの関連モデル間の数理上の相互関係を考える。2) 刺激と特徴との関係づけの仕方によって各モデルを分類し考察する。3) 多変量解析研究の観点から各解析法を位置づける。これらの再考察を通じて、拡張手法を示唆し、今後の研究方向を展望している。

論文審査の結果の要旨

本論文は、計量心理学的研究において国際的にも業績を認められつつある論者が、刺激間の類似性と刺激のもつ特徴との関係について新たに開発し提案してきたモデルとその解析法を体系的にまとめたものである。

人間の認識や行動は刺激間の類似性に基づくことが多く、心理学のさまざまな領域において、直接的な類似性評定値や間接的に類似性を表す混同行列など種々の類似性データが観測され、刺激間の類似性と各刺激のもつ特徴との関係が取り上げられている。この関係を表現するモデルと解析法の研究が本論文の主題である。この主題に対して、論者は計量心理学の立場から接近しようとしている。計量心理学とは、心理学の諸分野で利用できる汎用性の高い解析法 (特に統計学的方法) とその基礎モデルの研究開発を行う領域を指す。従って、本論文で考案されるモデルも、そこから汎用的な解析法が導出できることを念頭におき、モデルと解析法 (モデル中の未知パラメータの推定アルゴリズム) の数理的性質が入念に論じられている。

本論文の優れた特徴の一つは、主題に関連する数多くのモデルと解析法を、包括的な定式化によって体系的に整理して3つのケースに分類し、これまで未着手だった諸領域を浮き彫りにして、それらの一つ一つに包括的定式の変形としてのモデルとその解法を考案している点にある。これまで計量心理学の分野で、MDS (多次元尺度法) など数多くの類似性データ解析法が考案されているが、これらの殆どが、類似性データだけが観測されるケースを想定し、類似性データからそれを規定する刺激の諸特徴を見出すための手法であった。類似性と特徴の関係を考慮する場面を考えると、上記の類似性データだ

けが所与のケース（ケースCと呼ぶ）以外に、類似性と同時に特徴データが所与のケース（ケースA）、および、特徴データだけが所与のケース（ケースB）が考えられる。ケースAとBに該当する場面は数多いが、従来の計量心理学では、これらのケースを想定した体系的な研究は行われていない。ケースAについては、文字認知等の研究領域で認知過程の数理モデルが考案されているが、汎用的な統計解析法の開発を目指した計量心理学的研究ではない。この点を踏まえて、ケースA、Bのモデルと解析法を研究し、さらに、ケースCについても、従来の研究で未着手の問題を研究した。このような体系的な洞察が、以下個別的に述べる大きい業績の基礎となっている。

第3章と第4章で取り上げられたケースAの研究については、刺激特徴間の関係を取り入れたモデルを構築したこと、および、その特徴間関係の記述に構造表現をくふうしたことが成果として特筆できる。論者は、刺激間の共通特徴（または示差特徴）の重みつき合計を類似性に対応させる現行の一般的モデルの欠点は、特徴間関係を考慮しない点にあると指摘する。例えば、特徴データ（丸顔、色黒）および（太った、健康的）で記述される二つの顔刺激の間に形式的には共通特徴がないため、従来のモデルでは低い類似性が予測されるが、特徴「丸顔」と「太った」、「色黒」と「健康的」は幾分類似するため、その分だけ両刺激間の類似性は高くなると考えられる。このような特徴間類似性を考慮したモデルが第3章と第4章で考案された。まず特徴間類似性の加算に基づくモデルと解析法が考案されデータへの適合度の高さが例証されたが、この成果に留まらず、特徴間類似性に空間的な構造表現を与えたモデルを構築し、結果の明瞭な解釈が可能な解析法を考案している。

ケースBに関わる第5章では、心理工学的応用として、近年の心理学や工学で扱われる画像検索問題への新たなアプローチが示されている。応用的意義も軽視できないが、ここでは、判別分析研究の面に特筆すべき意義を認めたい。類似性研究に関連する判別分析を取り上げて、特徴データの発生過程の確率モデルを利用した判別分析法を考案し、顔面像検索に適用した。判別分析の計量心理学的研究は数少なく、ここでのアプローチは、判別分析の研究として独自の意義をもつものといえる。例示された課題における判別分析の検索精度は高かったが、さらに、その実用上の短所を指摘して第3、4章で展開したモデルを応用した検索手法を提示している。特に、特徴間の類似性の考慮が検索においても重要であることが示された。

従来から多くのモデルと解析法が開発されているケースCについても、第6章で重要な寄与を行なっている。ケースCでは、特徴表象の変容を内包する類似性データを扱うモデルと解析法の研究が未着手であった。同一刺激であっても、その役割によって特徴が変化することが想定される場合で、代表例は認知過程の研究によく用いられる刺激・反応間混同行列である。混同行列の列に並ぶ刺激は反応選択肢であり正確な特徴表象に対応するが、行に並ぶ刺激は認知過程（特徴の見失い等）を経て変容した表象に対応する。これまでは、このような刺激表象の違いに考慮を払わず行と列の刺激の同一表象を仮定するMDSが適用されてきた。これに対して、論者は表象変容を探るためのMDSを開発した。混同行列の行刺激と列刺激を別々の座標点で表現するMDSの変形（展開法モデル）がそれである。この解析から得られる行刺激と列刺激の点間関係によって、認知処理に伴う表象変容を把握することができる点で、この方法は、表象の静的側面より、その変化に着目することが多い認知心理学研究に有用な多変量解析法だといえる。この解析法は、制約条件の導入によって、「刺激の種類に関係なく、表象が一定方向に変容する」という説の空間表現と検証ができる点で大きい心理学的意義を持つ。さらに、第6章では、解析法として、最尤法だけでなく、ベイズ法および記述統計的方法も考案し、統計学的にも意義深い議論を展開している。

このように大きい成果を挙げた論文であるが、論者の包括的な定式化からすれば、なお開発をまつ課題は多い。論者は特徴間相関を考慮するモデルを考案して新しい動的な分析の途を拓いたが、さらに類似性を刺激をとりまく文脈の中で捉えようとする認知科学の最近の動向に対して計量心理学的研究はどのように応えられるのであろうか。論者のますますの研鑽を期待したい。

以上審査したところにより、本論文は博士（文学）の学位論文として価値あるものと認められる。なお、1998年7月2日調査委員3名が学識確認のための筆記試験および論文内容とそれに関連することがらについて口頭試問を行なった結果、合格と認めた。