

氏 名 宮寺 貴之

学位(専攻分野) 博士(学術)

学位記番号 総研大甲第 1793 号

学位授与の日付 平成27年9月28日

学位授与の要件 複合科学研究科 統計科学専攻
学位規則第6条第1項該当

学位論文題目 Radex モデルを利用した Guttman Scale の視覚化

論文審査委員 主 査 教授 吉野 諒三
准教授 土屋 隆裕
教授 中村 隆
助教 朴 堯星
名誉教授 林 文 東洋英和女学院大学

論文内容の要旨
Summary of thesis contents

提出論文は、行動科学における二値データを対象に、項目の該当割合を考慮した2次元上の布置を作成し、一次元性を満たす尺度を構成する項目群を視覚的に抽出する方法を検討したものであり、特にGuttman Scaleに着目し、Facet理論で仮定される領域モデルの一つであるRadexモデルを利用した新たな視覚化手法を提案している。和文で書かれており、全6章で構成される。

第1章は、本論文の研究目的について説明している。主に人間の行動の理解を対象とした行動科学的研究において、特定の行動特性を測定するための尺度作成について概説するとともに、二値データの変数群から複数の尺度を抽出する際に、二値変数の該当割合を考慮することの重要性を説明し、その該当割合を反映した視覚化手法の必要性を述べている。その後、尺度の一次元性を満たすGuttman Scaleに着目し、Guttman Scaleの性質を反映する二値変数の連関係数を利用してGuttman Scaleを探索するという本研究の方向性を記述している。

第2章は、Guttman Scaleの性質について、及び複数の二値変数がGuttman Scaleを構成する度合いを評価する連関係数について説明を行っている。また、二値変数の該当割合が異なる場合に、四分点相関係数をはじめとする連関係数一般がどのような性質を示すかについて例示し、該当割合の異なる二値変数においては、周辺度数が与えられた下で連関係数の取り得る最大値が1とならないこと、そのためGuttman Scaleの構成度を表す指標としては適切ではないことを記述している。その後、Guttman Scaleの構成度を表す指標として提案されているReproducibility係数、Scalability係数、Homogeneity係数について解説し、周辺度数が与えられた下で期待されるセル度数によって調整されたHomogeneity係数の有用性を説明している。

第3章は、二値データにおける変数間の関係を視覚化する従来の分析手法として、等質性分析、Kruskalの多次元尺度法（MDS）、Guttmanの最小空間分析（SSA）を取り上げ、それらの数理モデルを説明している。さらに、二次元平面または三次元空間に布置された変数を表す点の関係を解釈する上で、Guttmanが提唱したFacet理論の有効性について言及している。布置における点の属性に応じて、布置された平面や空間を領域に分割する領域モデルについて概説し、本論文が着目するRadexモデルについて説明を行っている。また、完全なGuttman Scaleを含む人工的に作成した2種類のデータと、青少年を対象に暴力的メディア視聴について尋ねた調査データ（メディア暴力調査データ）を紹介し、先に挙げた3種類の多次元尺度法（等質性分析、KruskalのMDS、GuttmanのSSA）を人工データ・調査データに適用した結果から、各手法がGuttman Scaleを適切に視覚化するかどうかを検討している。最後に、データに対する仮説検証型モデルとして、SSAの結果に当てはめる上でもっとも適切な領域モデルを数量的に示唆するFaceted SSAについて付言している。

第4章及び第5章で本論文の主要な提案を行っている。第4章は、SSAによる二次元平面への布置に対してRadexモデルを当てはめる手法（Radexモデル探索支援手法、RADXEA）を提案している。Canter (2000) による犯罪行動のRadexモデルを参考として、複数のGuttman Scaleを構成する該当割合の異なる二値変数がSSAの布置にどのように見出されるかを説明し、そのようなRadexモデルの探索を数量的に行う方法について記

(別紙様式 2)
(Separate Form 2)

述している。二値変数の該当割合に応じて、同心円状に領域が分布するModular Facetを特定するために、同心円の中心を決めるための目的関数を定義し、準ニュートン法による最適化を行っている。さらに、同心円の中心から周縁部に向かって布置される変数同士のHomogeneity係数の値を計算するため、同心円の中心を起点とする半直線の回転を想定し、その半直線と布置される点との関係に応じてHomogeneity係数を重みづける各種の方法を提案している。そして、重みづけられたHomogeneity係数の値を視覚化し、その値を参考にして領域を楔形に分割するPolar Facetの決定方法について説明している。第3章で導入した人工データ及びメディア暴力調査データに対してRADXEAを適用した結果、SSAの二次元の布置に対するRadexモデルの当てはめが適切に行われることが示された。さらに、パラメータを利用した重みづけの方法について、パラメータの値を変更した場合の本手法の結果を検討し、パラメータ調整の有効性について言及している。

第5章は、二値変数の該当割合と各変数間のHomogeneity係数の情報を用いて直接的にRadexモデルを構成する手法（Radexモデル多重尺度構成法、RADXMS）を提案している。本手法では、極座標によって表された各変数について、その動径を二値変数の該当割合によって表現するとともに、二変数間の偏角の差を二値変数間のHomogeneity係数を利用して表現し、その最適な配置を導くための目的関数を定義している。

Homogeneity係数については、最大値1に対して最小値をどのように定義するかを吟味し、Homogeneity係数を変換する関数について議論している。目的関数について準ニュートン法による最適化から結果を求め、Balanced Bootstrapの手法によって結果の安定性を検討している。さらに、二次元平面から三次元空間の布置への拡張について言及している。第3章で導入した人工データ及びメディア暴力調査データに適用した結果から、RADXMSにRADXEAを併用した本研究の提案手法は、従来の各種の多次元尺度法に比べて、Guttman Scaleの構成度の高い、より多くの変数群の候補の抽出が可能であることが示され、一次元性を満たす複数の下位尺度の識別に成功していることが示されている。

第6章は論文のまとめである。本研究の第4章及び第5章で提案した手法の有効性についてまとめ、今後の拡張の可能性として多値データへの適用について言及し、最後にデータの視覚化の意義という観点から今回の提案手法に関する考察を行っている。

(別紙様式 3)
(Separate Form 3)

博士論文の審査結果の要旨
Summary of the results of the doctoral thesis screening

(論文審査結果) [2015年8月25日実施]

8月25日13時30分から約2時間にわたり、出願者および5名の審査委員全員が出席し、博士論文公開発表会ならびに口頭試問を実施した。

[論文の概要]

論文の草稿は全6章からなる。研究の目的は、調査データ解析など行動科学における二値変数を用いた多次元尺度構成法に **Facet** 理論における領域モデルの考え方を取り込むことで、分析結果の解釈を支援する方法を提案することである。特に、回答割合を考慮しながら各項目を空間上に布置すると同時に、**Guttman Scale** を構成する項目群を抽出し、視覚的に表現することで、従来の多次元尺度構成法と比べてより客観的かつ明快な分析結果が得られることを示した。

第1章では、研究の背景・目的と論文の構成が述べられている。

第2章は、**Guttman Scale** の考え方とその評価指標について先行研究をまとめたものである。評価指標の中でも、本論文で主に用いられる **Homogeneity** 係数の性質が詳しく述べられている。

第3章では、従来のいくつかの多次元尺度構成法の理論を概観するとともに、それらの多次元尺度構成法を本論文で扱うデータに適用した結果を紹介している。さらに、空間上の領域区分をモデル化する **Facet** 理論と、**Facet** の表現パターンの一つである **Radex** 構造について解説している。

第4章と第5章は論文の核となる章である。まず第4章では、多次元尺度構成法の一つである **SSA** (最小空間分析) の結果に対して、**Facet** 理論の **Radex** 構造を探索的に当てはめ、客観的指標にもとづき、**SSA** の結果の解釈を視覚的にも容易にする方法 (**Radex** モデル探索支援手法) を開発している。論文では、**Radex** 構造を構成する二種類の **Facet** である **Modular Facet** と **Polar Facet** を見出す方法を提案し、人工データ、及び現実に収集された青少年を対象としたメディア暴力調査データに適用することで、開発手法の性質を吟味している。

第5章は、第4章の手法の考え方をさらに発展させ、**Guttman Scale** の構成度を利用して、2次元平面上あるいは3次元空間上に **Radex** 構造を直接視覚化する手法 (**Radex** モデル多重尺度構成法) を提案したものである。特に、空間上における各項目の位置を、中心からの距離と角度によって表現するとともに、項目の回答割合に基づく制約を満たしながら **Homogeneity** 係数を空間上の距離に変換する手法に独自性が見られる。さらに **Radex** 構造への当てはまりの程度を評価する指標を提案し、ブートストラップ法によって項目群の安定性も確認している。開発した手法は先述の人工データ及び調査データに適用し、その有用性を示している。

第6章は論文を総括した章である。

[論文の評価]

視覚化と同時に尺度を抽出する手法としては、一般に多次元尺度構成法が多用される。しかし従来の多次元尺度構成法では、視覚化を目的とするがゆえに、結果の解釈が恣意的にならざるを得ないという問題を孕んでいた。本論文は **Facet** 理論における **Radex** 構造を

(別紙様式 3)

(Separate Form 3)

利用することで、**Guttman Scale** を構成する項目群をより客観的に選び出す手法を提案したものであり、その実用性は十分に認められる。さらに **Radex** 構造を見出すこと自体を目的とした、**Radex** モデル多重尺度構成法という独自の多次元尺度構成法を新たに提案した上で、その有用性を示している。学術的な新規性および独創性の点で優れており、博士論文として十分な内容を持つものと審査委員全員が一致して判断した。

なお、論文の第 4 章の内容は、査読付き国際学術誌 **Quality & Quantity** に単著論文として掲載されている。

(試験結果) [2015年8月25日実施]

総合研究大学院大学複合科学研究科における課程博士及び修士の学位の学位授与に係る論文審査等の手続き等に関する規程第10条に基づいて、口述による試験を実施した。

口述による試験を実施した結果、出願者はその博士論文を中心としてそれに関連がある専門分野及びその基礎となる分野について博士（学術）の学位の授与に十分な学識を有するものと判断し、合格と判定した。