

博士学位論文審査要旨

2018年1月18日

論文題目: Dimensional reduction method for three-mode three-way data based on canonical covariance analysis

「3相3元データに対する正準共分散分析を基にした次元縮約法について」

学位申請者: 土田 潤

審査委員:

主査: 文化情報学研究科 教授 宿久 洋

副査: 文化情報学研究科 教授 川崎 廣吉

副査: 文化情報学研究科 教授 矢野 環

副査: 文化情報学研究科 教授 金 明哲

副査: 大阪大学大学院人間科学研究科 教授 足立 浩平

要 旨:

本論文は、多変量解析手法の1つである正準共分散分析法を3相3元データに対して拡張することを提案したものである。正準共分散分析法は多くの多変量解析手法を含むものであり、3相3元データへの拡張は多くの多変量解析手法を3相3元データへ拡張することを意味する。また、3相3元データの構造を踏まえつつ新たなパラメータ行列を導入し、手法の更なる一般化を試みている。

第1章では、3相3元データの概要と既存手法の問題点、拡張の方向性であるコネクタ行列や数量化の先行研究について述べている。第2章では、本論文で用いる表記について説明している。第3章では、正準共分散分析法の単純な3相3元データへの拡張およびコネクタ行列を導入した方法に加え、コネクタ行列に対して制約を課した方法、数量化を用いた方法について、それぞれの必要性に言及しながら、その特徴について数式等を用いて詳述している。また、それぞれの方法についてパラメータ更新式の導出およびアルゴリズムを提案している。第4章では、提案した手法の数値シミュレーションについて述べている。本シミュレーションにより、いくつかの状況においての提案手法の優位性を示している。第5章では、実在するデータに対し提案手法を適用した結果を通じて、提案手法の既存手法との違いおよびそれぞれの特徴をまとめている。

本論文により、3相3元データに対する多変量解析において、様々な問題に対応した手法が提案され、与えられたデータの構造を記述する分析の可能性を広げた。よって本論文は、博士（文化情報学）（同志社大学）の学位論文として十分な価値を有するものと認められる。

総合試験結果の要旨

2018年1月18日

論文題目: Dimensional reduction method for three-mode three-way data based on canonical covariance analysis
「3相3元データに対する正準共分散分析を基にした次元縮約法について」

学位申請者: 土田 潤

審査委員:

主査: 文化情報学研究科 教授 宿久 洋
副査: 文化情報学研究科 教授 川崎 廣吉
副査: 文化情報学研究科 教授 矢野 環
副査: 文化情報学研究科 教授 金 明哲
副査: 大阪大学大学院人間科学研究科 教授 足立 浩平

要 旨:

学位申請者は2015年度4月より本学大学院文化情報学研究科博士課程後期課程に在学しており、国内会議および国際会議での研究発表を通じて研究活動を積極的に行い、それらの成果を、国際会議 Proceedings に1本、計算機統計学関連の論文誌に2本、行動計量学関連の論文誌に1本の論文、データ分析関連の論文誌に1本として公刊している。また、英語の語学試験にも合格していることから語学（英語）について十分な能力を有していると認定されている。

2018年1月18日木曜日 18:00 から約1時間の公聴会と30分の審査会において、種々の質疑応答の結果により博士（文化情報学）（同志社大学）の学位を授与するに十分な学力を有することを確認した。

よって、総合試験の結果は合格であると認める。

博士學位論文要旨

論文題目 : Dimensional reduction method for three-mode three-way data based on canonical covariance analysis
3 相 3 元データに対する正準共分散分析を基にした次元縮約法について

氏 名 : 土田 潤

要 旨 :

3 相 3 元データとは、対象、変量、条件の 3 つの有限集合組によって表現されるデータの総称であり、マーケティングリサーチ、心理学、経済学などの様々な分野で観測されるデータである。例えば、Semantic differential scale method (SD 法) によって得られたデータは 3 相 3 元データである。なぜならば、SD 法で得られたデータは、実験協力者、検査項目、対象項目の 3 つの組が特定されたとき、値が特定できるためである。実験協力者は対象に、検査項目は変量に、対象項目は条件にそれぞれ対応する。3 相 3 元データに対して既存の多変量解析法を適用することは適切でない場合がある。これは、既存の多変量解析手法が異なる条件下の同一変量を全く異なる変量として扱うためである。このような問題点を解決するために、3 相 3 元データに対する多変量解析法が開発されてきた。特に、次元縮約法について、3 相 3 元データに対する解析法は発展している。この理由の一つとして、3 相 3 元データの変量数や条件の数が多い傾向にあるためである。3 相 3 元データの次元縮約法については、Tucker モデルや PARAFAC モデルが有名であり、これらの手法は単一のデータセットに対して有用な手法である。一方で、2 つのデータセットが与えられたとき、その 2 つのデータセットに共通の factor を調べるためにこれらの手法を適用することは適切ではない場合がある。2 つのデータセットが与えられたときの多変量解析手法として、正準相関分析があり、この手法も 3 相 3 元データに適用できるように拡張されている。しかし、正準相関分析は、2 つのデータセットに共通の factor のみに着目しており、Tucker モデルや PARAFAC モデルが着目しているデータ独自の factor については着目していない。これに対して、2 つのデータに共通の factor およびデータ独自の factor を同時に探索する手法に正準共分散分析がある。しかしながら、正準共分散分析は 3 相 3 元データへの拡張が十分でない。そこで、本論文では、正準共分散分析を 3 相 3 元データへのいくつかの拡張を試みる。本論文では、主に 3 つの拡張方法について触れる。1 つは単純な拡張であり、正準共分散分析のパラメータについて Tucker モデルと同様の方法を用いて拡張する。この拡張は、多変量データに対する正準共分散分析を Tucker モデルのパラメータ表記法を用いて 3 相 3 元データに拡張したものであるが、多変量データに対する方法と同様の問題点がいくつか存在する。本論文ではいくつかの問題点の中でも特に、独自 factor の数が 2 つのデータセットについて共通である点を解決するために、Connector 行列を導入する。2 つ目の拡張はこの Connector 行列についていくつかの制約を課した手法である。制約は主に 2 つあり、1 つは Connector 行列の要素が 0 か 1 しか値をとらない手法である。この手法は Connector 行列の要素を 0 と 1 を定める基準によって更新式が K -means に対応する手法と Spherical K -means に対応する手法の 2 つに分類することができる。更新式が K -means に対応する手法は Connector 行列の要素を factor 間の共分散を最大にするよう設定する手法であり、共通 factor の意味から、正準共分散分析の拡張に対応する。一方で、Spherical K -means に対応する手法は Connector 行列の要素を factor 間の相関係数を最大にするよう設定する手法であり、正準相関分析および単一データに対する次元縮約法の同時分析の 3 相 3 元データへの拡張となっている。2 つ目の制約は回帰分析に対応する制約である。一方のデ

ータセットに対して、次元縮約しない制約を課せば、3相3元正準共分散分析は3相3元回帰分析となる。本論文では、タンデム分析として Partial least squares の基準を用いて、次元縮約したのちに、Connector 行列によって回帰分析する手法を提案する。最後の手法は数量化を行う手法である。多くの手法は、データセットのすべての変量が量的変量であることを仮定しているが、SD法で得られたデータのように3相3元データでは、質的変量が混在、もしくは、すべての変量が質的変量である場合がある。このようなデータに量的変量を仮定している手法を適用しては不適切な場合がある。この問題点を解決するために、非計量主成分分析法の考え方をもとに正準共分散分析を3相3元に拡張した手法を提案する。いずれの手法にも、更新式およびアルゴリズムを導出する。また、数値例によって提案手法が有用な状況について記述する。加えて実データに適用した結果についても報告する。