OUKA
The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	Matrix decomposition approaches to nonmetric multivariate analysis for dimension reduction
Author(s)	牧野, 直道
Citation	大阪大学, 2020, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/77470
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

The University of Osaka

様式３

論　文　内　容　の　要　旨

氏　名　（　牧野直道　）	
論文題名	Matrix decomposition approaches to nonmetric multivariate analysis for dimension reduction （行列分解法による次元縮約のための非計量多変量解析）

論文内容の要旨

主成分分析と探索的因子分析は，量的変数間の関連性の可視化や観測された個体の特徴を得点として解釈をするための統計手法として，一般的に用いられる統計手法である．主成分分析と同様に，探索的因子分析の解が特異値分解を用いて推定できることが近年の研究によって明らかになっている．本論文では，このように特異値分解を用いて解を推定する方法を行列分解法と呼ぶ．行列分解法により，主成分分析と探索的因子分析が統一的に表現でき，数理的観点から，探索的因子分析と主成分分析を比較することができるという利点がある．

本論文の主題は二つから構成される．第一の主題は，数量化法を用いて，行列分解法による主成分分析と探索的因子分析を非計量データにも適用できるように拡張することである．人間科学の研究において，性別・人種・社会階層のような名義尺度データや，テストに対する受験者の2値の正誤反応データといった非計量データがしばしば観測される．主成分分析や探索的因子分析は，量的変数に対する分析法であるため，このような非計量データに対しては適用できない．その課題を解決するために，本論文では数量化法による非計量データに対する主成分分析と探索的因子分析の推定法の開発を行うとともに，数理的観点からの両手法の比較を行った．

第二の主題は，行列分解法を用いた非計量データへの主成分分析と探索的因子分析において，解釈容易な解を得るための手法の開発である．本論文では解釈容易な解を得る手法を二種類に整理した．一点目は変数と因子/主成分の関係性を解釈容易にする手法，二点目は個体の特徴を得点によって解釈を容易にする手法である．前者の手法として正則行列を用いて初期解を変換する回転法が一般的に用いられるが，近年発展した手法として，関連の低い負荷量の値を0に制約して推定を行うスパース法がある，本論文を通じて，回転法・スパース法が非計量データに対する主成分分析と探索的因子分析にも拡張できることを明らかにした．また，非計量データに対する主成分分析は，多重対応分析に一致することが先行研究によって明らかにされているが，多重対応分析における回転には，いくつかの課題があることが知られている．本論文では，多重対応分析を「部分空間の間の距離の最小化」として再定式化することで，先行研究で指摘されている課題を解決できることを証明した．また，後者の目的を達成する手法として，多重対応分析と非計量探索的因子分析による次元縮約と個体得点のクラスタリングを同時に行う手法がある．本論文では，非計量データにおける次元縮約と個体得点のクラスタリングを同時に行う手法の開発とともに，この手法に回転法・スパース法を適用できることを示した．

最後に実データによる適用例を通じて，開発手法の類似点・相違点の検討や提案した解釈容易な解を得る手法の有効性について，検討を行った．最後に，数理的性質の検討や実例を用いた比較を通じて明らかにした内容について総合討議を行った．

様式 7

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏　名　（　牧野　直道　）		
	（職）	氏　名
論文審査担当者	主査　教授 副査　教授 副査　准教授	足立　浩平 権藤　恭之 青野　正二

論文審査の結果の要旨

行動科学では，しばしば，複数の項目への個人の応答からなるデータを分析して，それに内在する少数の潜在的な因子を抽出することが要請される．こうしたニーズに答える多変量統計解析法が主成分分析と因子分析であり，両分析法に共通するのは，項目と因子を関係づける項目パラメータ(負荷量)と，個人が有する因子の量を表す個人スコアを解として出力する点である．本論文の主題は，これらの分析法について，[1] 解の解釈可能性の向上を目指して改良すること，および，[2] 非計量(nonmetric)データに適用できるように拡張することである．ここで，非計量とは，データが数量でないことを表し，例えば， 性別，所属学部，希望職種といった項目への応答が，それぞれ，女性，経済学，営業といったカテゴリーであるデータは非計量といえる．通常の主成分・因子分析は，数量データを対象とするため，[2]の拡張では，単一の目的関数の最適化によって，上記のような応答カテゴリーを数量化すると同時に，項目パラメータと個人スコアを推定する解法の定式化が課題となり，この定式化が本論文の重要部をなす．

本論文は，8つの章からなる.1章と2章では主成分・因子分析の数理的基礎，3章では前段の[1]を目指した既存手法がレビューされる．これらの章に新たな手法の提案はないが，既存手法の再体系化がなされ，特に，[1]の改良が，項目パラメータ・個人スコアの推定値の単純(構造)化と換言され，項目パラメータの単純化は，多くの推定値を零に近くさせる回転法，さらには零に一致させるスパース化で達成され，個人スコアの単純化は，互いに類似する個人どうしが同一スコアを共有する一群となるように制約するクラスタリング(群分け)で達成されることを，行列分解の枠組内で明解に記している点は，レビュー論文として評価される．4章は後続章の前段階と位置づけられ，通常の数量データの因子分析を発展させて，個人の群分け，および，これに加えて項目パラメータのスパース化も伴う因子分析法が考案される．そして，本論文の主要部とみなされる5章と6章で，前段の[2]が達成される．5章の主題は，多重対応分析と呼ばれる非計量データの主成分分析であり，これは既存法であるが，前段[1]の改良の余地を多く持つ．そこで，5章では，多重対応分析を「個人スコアの行列，および，カテゴリーの数量化行列のそれぞれが定義する2つの線形空間どうしの隔たりを最小化すること」と再定式化でき，この定式化の下では，既存の回転法よりも項目パラメータの推定値をより一層単純化できる回転が許容されることが証明される．この事実を踏まえて，同時シンプリマックス法と呼称できる回転法が考案される．また，項目パラメータのスパース化を伴う多重対応分析，さらには，それと同時に個人の群分けも伴う方法も考案される．6章では，非計量データに適用できる因子分析法が考案される．そもそも，因子分析の特徴は，全項目に作用する共通因子とは別に，主成分分析では想定されない各項目に独自の因子を考慮することであり，独自因子に関わるパラメータの推定が考案手法の重要部となる．この手法と多重対応分析との相違も数理的に論考され，さらに，群分けを伴う非計量データの因子分析も考案される．7章では，考案手法を人間行動に関わる実データへ適用し，各手法の挙動と有用性が例証される．最後の8章では，考案手法と既存手法が再考され，それらの目的関数を特殊ケースとして包含できる一般化された目的関数の導出が試みられる．

完備された測定器によって精度の高い数量データが常に観測される分野とは異なり，人間科学では，数量でない非計量データが観測されることが多い点で，そうしたデータの直視を避けえないが，非計量データの多変量解析法では，応答カテゴリーの数量化というステップが，数量データの解析法のアルゴリズムに付加されるため，研究開発の難度が高い．こうした難題に向けて新たな手法を考案し，その数理的基礎も十分に論考される本論文の研究は，人間科学の方法論の発展に大きく寄与できるものと評価される．以上の論文審査の結果，本論文は博士（人間科学）の学位を授与するのにふさわしいものと判定した．