

令和 4 年 6 月 18 日現在

機関番号：12102

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2021

課題番号：20K14152

研究課題名(和文) ネットワーク分析の理論と項目反応理論の融合による新たなテスト理論の構築

研究課題名(英文) Devising a new test analysis method constructed from methods of network analysis and item response theory

研究代表者

登藤 直弥 (TODO, Naoya)

筑波大学・人間系・助教

研究者番号：70773711

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、ネットワーク分析で用いられる変数間のダイナミクスの探索方法と項目反応理論(IRT)における項目反応のモデリング方法を融合させることにより、探索的に項目反応間の局所依存性の有無を検討し、かつIRTで行われるのと同様のテストデータ解析を可能にする新たなテストデータの分析方法を確立することを目指し、これを達成できる方法を考案した。

具体的には、IRTに基づく分析でよく用いられるモデルと簡便な計算手続きのみでこの目標を達成する方法を考案し、その有効性をシミュレーションを通して検証して、テストの作成・評価・運用に資する統計量の計算方法について検討を加えた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で得られた成果は、主にa)局所依存性を生じさせる要因やb)局所依存性の生じているデータに局所独立性を仮定して分析を行った場合の影響、c)局所依存性の検出方法の開発、d)局所依存性を考慮したモデルの開発といった観点から検討が行われてきた局所依存性に関する先行研究に新たな視座を与えるものとなっている。

また、本研究で提案された手続きは先行研究で用いられてきた複雑なモデルや計算方法を用いることなく実行できるものとなっており、実際にテストの作成・評価・運用を行うという観点からも非常に有用性の高い研究成果となっている。

研究成果の概要(英文)：This study aimed and achieved to establish a new method of analyzing test data by combining the methods of network analysis, in which dynamics between variables are explored, and item response theory (IRT), in which item responses are modeled, to examine whether there are local dependencies among item responses in an exploratory manner and to enable test data analysis similar to that conducted in IRT.

Specifically, we first devised a method to achieve this goal based solely on models commonly used in IRT-based analyses and simple computational procedures. Then, we verified its effectiveness through simulations. Finally, we examined a method for computing statistics that contribute to test creation, evaluation, and administration.

研究分野：教育測定学、心理統計学、統計学

キーワード：項目反応理論 局所依存性 ネットワーク分析

1. 研究開始当初の背景

項目反応理論(item response theory, IRT; e.g., Lord & Novick, 1968)では、テスト得点ではなく、個々の問題(項目)への反応(e.g., 正答率)に関して数学的なモデル(項目反応モデル)を仮定し、これに基づいてテストへの回答(反応)データを分析する。そして、IRTに基づく分析を行うと従来のテストの作成・運用においては行われてこなかった様々な試みが行えるようになることから(e.g., 豊田, 2002)、近年では、心理学の研究でも利用されることが多くなってきた。

IRTに基づく分析を行うにあたっては、「各項目への反応には受験者特性(テストで測定している学力や能力)のみが共通して影響を与えている」という状況(局所独立性)が想定されるのだが、日本のテストに特徴的な問題形式の1つとして挙げられる文章読解問題や図表の読み取り問題といった大問形式の問題(池田, 1992; 石塚・中畝・内田・前川, 2001)においては、同じ特性値を有する受験者であっても、ある項目に正答した受験者は課題文あるいは図表を正確に読み取れていると考えられるため、ある項目に誤答した受験者に比べて他の項目に正答する確率が高くなると考えられる(局所依存性)。そのため、日本のテストにおいては、一般に、局所独立性が満たされていないと考えられる。このような状況に対応するためのモデルも先行研究において幾つか提案されてはいるが(e.g., Bradlow et al., 1999; 登藤, 2010)、いずれのモデルに関しても、これを適用するにあたり、事前に局所依存性が生じている箇所を特定する必要があり(確認的モデル)、たとえば、異なる大問間でテスト作成者や分析者の意図しない局所依存性が生じていた場合などには、これを考慮して分析することができなくなってしまう。

これに関連して、近年、心理統計学の分野でも盛んに研究が行われるようになってきたネットワーク分析(e.g., Borsboom, 2017)では、収集したデータを解析し、最終的には図1に示されるような変数間の関係を表すグラフを出力する。このグラフでは、グラフの頂点(ノード)が各変数を表し、ノードを結ぶ辺(リンク)が変数間に関係がある(他の変数を条件付けた時に互いに独立ではない)ことを示すことになる。このように、ネットワーク分析を適用することで、変数間の依存関係を探索的に検討・検出することができることから、「通常IRTに基づく分析で利用されるモデルでは、日本のテストでよくみられる局所依存構造に対して十分な対応ができない。しかし、変数間のダイナミクスを抽出するネットワーク分析の理論を援用することで、この問題を解決することができるのではないか」と考えられた。

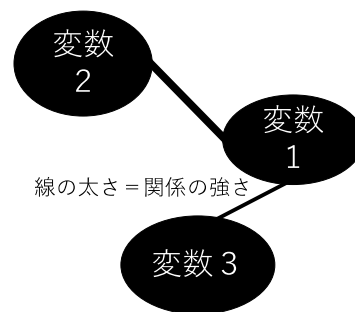


図1. ネットワーク分析で得られるグラフ

2. 研究の目的

本研究は、上述の問題意識から、「ネットワーク分析における変数間のダイナミクスの探索方法とIRTにおける項目反応のモデリング方法を融合させ、探索的に項目反応間の局所依存性の有無を検討し、かつIRTと同様のテストデータ解析を可能にする新たなテスト理論を確立することを目指す」ものであった。

3. 研究の方法

具体的には、

- 1) 局所依存性を表現することのできるネットワークモデルへとIRTのモデルを拡張する
- 2) 得られたデータに対して上記のモデルを適用する際の手続きを確立する(推定法の開発)
- 3) 得られた解析結果からテストの作成・評価・運用に資する情報を抽出する手続きを確立するという3つの目的を達成するために、本研究では、以下の手続きにて研究を行った。

まず、1点目の目標を達成するにあたっては、ネットワーク分析の手法に関する先行研究と局所依存性の検出方法、モデリングに関する先行研究についてレビューを行い、得られた知見に基づいて、項目反応データの一般的な項目反応モデルに基づく分析とネットワーク分析の手法を用いた探索的な局所依存性の検出を可能とする分析モデル(手続き)を理論的に導出した。具体的には、知識空間理論(knowledge space theory)の考え方を利用し局所依存性をネットワークで表現しようと試みたNoventa et al. (2019)やベイジアンネットワークの考え方に基づいて同じく局所依存性をネットワークで表現しようと試みたUeno (2002)等、項目反応間の順序性を仮定するネットワークモデルを参考にしながらも、一般的に受験者はテストに含まれる項目に好きな順番で解答することができるため項目反応間に対して順序性を仮定することは適当ではないと考え、変数間に順序性を仮定しないネットワーク分析のモデルについてレビューを行った。同時に、IRTにおいて局所依存性がどのように概念化、モデル化されているかについてもレビューを行い、目的とする手続きとしてどのようなものがふさわしいのか、理論的な検討を行った。

また、2点目の目標を達成するにあたっては、1で得られた手続きをデータに適用した際に、想定通り項目反応間に存在する局所依存性を高い精度で検出することが可能であるのか、またデータに適用されることになるモデルの母数(e.g., 項目の難しさを表す統計量)を精度良く推定できるのか確認するため、検出の対象となる局所依存性や推定対象の母数の値を既知のものとして扱うことができるシミュレーションに基づく検討を行った。具体的には、一部の項目反応間に強い局所依存性が生じており局所独立性を仮定するのが難しい項目反応データを仮想的に発生させ、これに対して新たに考案した手続きを適用し、上記の点について実証的な検討を行った。

最後に、3点目の目標を達成するにあたっては、1で提案された手続きの有効性を2で実証したうえで、データに提案手法を適用することで得られる統計量をどのように変換すればIRTに基づくテストの作成・評価・運用を行う際に利用されることの多いテスト情報量等の指標を得ることができるのか、各指標の定義に基づいて理論的な考察を行った。

4. 研究成果

まず、先の1点目の目的に関して、本研究では、関連する先行研究をレビューした結果、Epskamp et al. (2018)で紹介されているグラフィカルベクトル自己回帰モデルの「推定された残差のネットワーク分析」という考え方と局所依存性を検出するために最もよく利用されているQ3統計量の「項目反応と項目反応モデルとの差の相関の利用」という考え方を統合した項目反応モデルの推定ならびに局所依存性の探索的抽出の手続きを考案した(登藤, 2021)。具体的には、データに局所独立性を仮定する一般的なモデルを適用して母数を推定し、得られた母数に基づいて各受験者が各項目に正答する確率を算出、この確率と項目反応データとの差の相関行列から偏相関係数の検定に基づくネットワーク分析を実施し、項目反応間の局所依存性も検出する方法を考案した。先行研究においても、ネットワーク分析の手法を援用し項目反応間の局所依存性を表現するIRTのモデルとしてPartially confirmatory item response model(Chen, 2020)やBayesian Lasso factor model(Pan et al., 2017)などが提案されているものの、これらのモデルでは、個々の項目に関するモデルが一般的なIRTのモデルと異なっており、得られる母数の値の解釈や比較が難しくなるという問題が残されていた。本研究で提案したモデルは、この点を克服したのものにもなっている。

また、先の2点目の目的に関しては、IRTに基づくテストの作成・評価・運用が主に大規模テストにおいて行われていること(e.g., 宇佐美, 2018)、テストに含まれる個々の項目がネットワーク分析の対象となる場合には推定すべき母数(e.g., 偏相関係数)が多くなることを考慮し、受験者が数千人いる状況下で一部の項目反応間に強い局所依存関係が生じている場合に上述の方法を用いることで局所依存性を高精度で検出することができるのかどうか、シミュレーションを通して検討を行った。その結果、今回検証を行った90%以上の条件下で項目反応間にある正の局所依存関係の半数以上または全てを検出することに成功した。ここでは、20項目(u1からu20と表記)からなるテストを2000名の受験者が受験したデータに対し上記の手続きを適用した場合の結果を図2に例示する。ただし、このテストにおいてはu1からu4が局所依存関係にあり、これらの項目に正答できるか否かをテストで測定している能力と同じ程度左右する別の要因が存在する状況を想定していた。加えて、シミュレーションでは、仮想的なデータを発生させる際、項目反応データと能力との関係を一般的な局所独立性を仮定するモデルで表現したのだが、シミュレーションの結果からは、提案手法を用いることで、この項目反応データの背後にある関係性を精度良く(大きなバイアス等を母数の推定値が受けることなく)推定できることも明らかとなった。

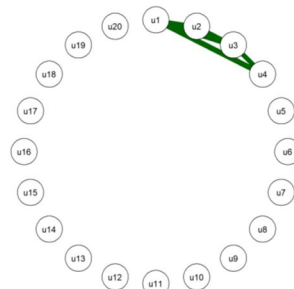


図2. 提案手法で得られる結果の例

最後に、3点目の目的に関しては、このモデルを利用した場合、テストが測定している能力や態度に関する情報は局所依存性に関するネットワークには含まれないことになる。したがって、IRTに基づくテストの作成・評価・運用を行う際に利用されることの多いテスト情報量等の指標については、推定された一般的なIRTのモデルに基づき、従来通り計算すればよいこととなる。

このように、本研究では、その研究期間全体を通じて当初の目的を達成できたと考えられるが、これは、主にa)局所依存性を生じさせる要因やb)局所依存性の生じているデータに局所独立性を仮定して分析を行った場合の影響、c)局所依存性の検出方法の開発、d)局所依存性を考慮したモデルの開発といった観点から検討が行われてきた先行研究に対して新たな視座も与えるものとなっている。また、本研究で提案された分析の手続きは複雑なモデルや計算方法を用いることなく実行できるものとなっており、実際にテストの作成・評価・運用を行うという観点からも非常に有用性の高い研究成果を提供できたと考えられる。今後は、提案手法の実際の項目反応データにおける有用性を検証するとともに、提案手法の有する性質について、数理的な検討を加えていきたい。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 登藤直弥
2. 発表標題 ネットワーク分析の手法を用いた局所依存性に対する項目反応モデルの提案
3. 学会等名 日本心理学会第85回大会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<ul style="list-style-type: none"> • researchmap https://researchmap.jp/n_todo • ORCID https://orcid.org/0000-0002-1194-3210 • ResearchGate https://www.researchgate.net/profile/Naoya_Todo

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関