

令和 6 年 6 月 24 日現在

機関番号：57403

研究種目：若手研究

研究期間：2021～2023

課題番号：21K13610

研究課題名（和文）MCCに対応した数学教育のための共分散構造分析を用いた学習到達度試験の分析

研究課題名（英文）Analysis of the achievement test using covariance structure analysis for mathematics education compatible with MCC

研究代表者

石田 明男 (Ishida, Akio)

熊本高等専門学校・リベラルアーツ系理数グループ・助教

研究者番号：80633619

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 300,000円

研究成果の概要（和文）：国立高専では教育の質保証として、モデルコアカリキュラム（MCC）が明示され、教育内容・方法の改善や、学生の主体的な学習姿勢の形成を促すことを目的として、第3学年の学生に対して学習到達度試験が実施されていた。本研究では、数学の学習到達度試験がMCCと対応した学習単元毎の大問として出題されていることに着目し、共分散構造分析を用いて、潜在変数を仮定しない分析及び潜在変数を仮定した探索的因子分析や確認的因子分析を行った。それにより、高専の低学年で学習する単元の間因果関係を数値が付されたパス図により表現することによって明らかにし、使用したデータにおいて関連が深い学習単元を特定することが出来た。

研究成果の学術的意義や社会的意義

高専の教育の質の保証を目的とした「モデルコアカリキュラム」に対応した学習項目についての分析結果であり、それらの項目は高校数学と対応する項目が多いことから、数学の試験結果に対する分析方法の一つとして共分散構造分析により様々な分析が出来ることを明らかにした点において意義があるものであり、数学教育に活用できる結果であると考えられる。また、フリーソフトウェアである統計分析ソフトウェアRを利用したことで、他の高等専門学校や高等学校などでも本研究結果と同様の分析が比較的容易に実行できるため、教学IRの面でも社会的に貢献できたと考えられる。

研究成果の概要（英文）：At National Institute of Technology, the Model Core Curriculum (MCC) has been clarified and the achievement test was being conducted to ensure the quality of education, and it is aimed at improving educational content and methods and encouraging students to develop an independent learning attitude. In this study, we focused on the fact that questions of the mathematics achievement test are asked for each learning content that corresponds to MCC, and we used covariance structure analysis to perform analysis without assuming latent variables, exploratory factor analysis and confirmatory factor analysis those are analysis assuming latent. As a result, we were able to clarify the causal relationship between the contents studied in the lower grades of National Institute of Technology by expressing them in a path diagram with numerical values, and we were able to identify highly relevant learning contents in the data used.

研究分野：教育工学

キーワード：共分散構造分析 探索的因子分析 確認的因子分析 学習到達度試験 国立高専 数学教育

1. 研究開始当初の背景

(1) 国立高等専門学校では、平成18年度から平成29年度まで教育内容や方法の改善、学生の主体的な学習姿勢の形成を促す目的で第3学年の学生に対して学習到達度試験が行われていたが、本校ではその結果の分析はされておらず、これまでの研究で医療関係のビッグデータを分析した経験から数学の学習到達度試験の結果を「ビッグデータ」として考えて分析するという着想に至った。

(2) 本校の数学教育において、標準的な到達レベルの内容を演習問題として落とし込んだ教材を提供し、基礎の内容の修得のために演習問題を反復して解くことを推奨している。しかしながら、学習していく過程で解くことができない問題があったときに「どこで自分がつまずいてしまったのか」を自分自身で確認することは困難な場合が多く、「現在の学習内容と既習の学習内容のつながりがわからないためにどの内容を復習すればよいかわからない」、「誤答の原因として解答過程のどの部分が間違っているかわからない」などの理由から改善が行えないことにより、うまく学習のPDCAサイクルを回すことができず、理解不足に陥るばかりか、学習意欲の低下につながる場合もある。実際、学年が上がるにつれて、既習内容の理解不足から本来その期間に学習すべき新出の内容より前の部分で間違ってしまう、それらの内容の理解に至らない学生も少なくない。また、高専数学の学習内容は高校数学の学習内容とも対応があるため、その分析結果は高等学校における教育にも活用が期待できる。

(3) 近年、大学、高等専門学校などの高等教育機関において、学校に関する様々なデータを分析し、教育の質保証や学生指導に役立てていく教学IRが注目されており、この面でも本研究は一つの成果として貢献できると考えた。

2. 研究の目的

(1) 数学の学習内容について理解不足に陥る学生が現在の内容を理解するために効率よく復習すればよいか、現在の学習を進めていくとその先にどのような内容が関連しているか、という見通しを良くすることを目的とする。

(2) 教育の質保証や学生指導に役立てていく教学IRの一環として、フリーソフトウェアの統計解析用ソフトウェアRを利用して分析することにより、他の高専の結果や同様な試験結果にも流用可能な結果を得ることを目的とする。

3. 研究の方法

(1) 数学の学習内容の関連の見通しを良くすることを目的として、学習内容の因果関係を数値化、モデル化するために本校の学習到達度試験の結果に対して共分散構造分析を用いて分析する。その際、2-(2)で述べた通り、フリーソフトウェアの統計解析用ソフトウェアRを利用して分析することにより、他の高専の結果や同様な試験結果にも流用可能な分析方法の開発を目指す。

(2) 熊本高専熊本キャンパスに蓄積された2014年から2017年までの学習到達度試験の数学の得点データのうち、本校で第2学年までに学習する数学の学習項目である「数と式の計算」(Alg)、「方程式・不等式」(Eq)、「関数とグラフ」(Fun)、「場合の数と数列」(Seq)、「平面ベクトルの性質」(Vec)、「微分・積分の計算」(Cal_bas)を2次元配列に格納し、相関行列を求め、以下の仮説を立てた。

- ・既学習内容の理解度が新規学習内容の理解度に影響を及ぼしている
- ・相関係数が高い項目間にはパスが存在する。

この仮定の下で観測変数のみからなるモデルを作成し、Rを用いて共分散構造分析による分析を行い、適合度指標により当てはまりの良いモデルを作成する。そのモデルのパス係数から分析結果の解釈を行い、得点データが表す特徴を明らかにする。分析にはRのsemパッケージのsem関数を用いて、DiagrammeRパッケージのpathDiagram関数によりパス図を作成する。

(3) 3-(2)と同じデータに対して、3-(2)の結果と探索的因子分析(EFA)の結果から、潜在因子を仮定した仮説を立て確認的因子分析(CFA)を行う。その結果によって得られたパス係数から分析結果の解釈を行い、得点データとその背後にある因子との関係性を明らかにする。EFAは、psychパッケージのfa関数を用いて行い、CFAはlavaanパッケージのsem関数を用いて6単元と潜在因子の間の因果関係についてCFAを行う。

4. 研究成果

(1) 3-(2)の結果として適合度指標による当てはまりの良いモデルが2つ得られた。それらをmodel_1, model_2とし、下記に構造方程式を示す。

[model_1]

$$\begin{cases} Eq = a_{11} * Alg + e_1 \\ Fun = a_{21} * Alg + a_{22} * Eq + e_2 \\ Seq = a_{31} * Alg + a_{32} * Eq + a_{33} * Fun + e_3 \\ Vec = a_{41} * Alg + a_{42} * Eq \\ \quad + a_{43} * Fun + a_{44} * Seq + e_4 \\ Cal_bas = a_{52} * Eq + a_{53} * Fun + a_{54} * Seq + e_5 \end{cases} \quad (1)$$

[model_2]

$$\begin{cases} Eq = a_{11} * Alg + e_1 \\ Fun = a_{21} * Alg + a_{22} * Eq + e_2 \\ Seq = a_{31} * Alg + a_{32} * Eq + a_{33} * Fun + e_3 \\ Vec = a_{41} * Alg + a_{42} * Eq \\ \quad + a_{43} * Fun + a_{44} * Seq + e_4 \\ Cal_bas = a_{53} * Fun + a_{54} * Seq + e_5 \end{cases} \quad (2)$$

ここで、各 a_{ij} はパス係数、各 e_k は誤差を表している。それぞれのモデルの適合度指標を表1に示す。model_1について、パス係数とパス図をそれぞれ表2と図1に示す。パス係数とパス図から「微分・積分の計算」(Cal_bas)への各項目の影響度合いを考える。Cal_basは、Eq、Fun、Seqから直接的な影響を表す係数はそれぞれ0.070、0.406、0.121である。ここで、Eqは、FunやSeqを経由した間接的な影響が

表1 モデルの適合度指標

	自由度	p 値	GFI	AGFI	RMSEA	SRMR
model_1	1	0.188	0.999	0.976	0.0381	0.0103
model_2	2	0.111	0.997	0.970	0.0488	0.0176

表2 model_1 のパス係数

a_{11}	a_{21}	a_{22}	a_{31}	a_{32}	a_{33}	a_{41}
0.272	0.275	0.274	0.171	0.200	0.216	0.152
a_{42}	a_{43}	a_{44}	a_{52}	a_{53}	a_{54}	
0.099	0.183	0.283	0.070	0.406	0.121	

$a_{22} * a_{53} + a_{22} * a_{33} * a_{54} + a_{32} * a_{54} - 0.143$ より、総合的な影響を表す係数は、0.213である。同様に、FunはSeqを経由した間接的な影響が $a_{33} * a_{54} - 0.026$ より、総合的な影響を表す係数は、0.432である。Algからは間接的な影響のみがあり、その係数は0.198である。したがって、Cal_basはFunから最も影響を受けており、Funの得点が1点上昇すると0.432点上昇することが分かった。同様に「平面ベクトルの性質」(Vec)へのAlg、Eq、Fun、Seqからの総合的な影響を表す係数はそれぞれ0.328、0.223、0.244、0.283であるので、VecはAlgから最も影響を受けており、Algが1点上昇すると0.328点上昇することが分かった。

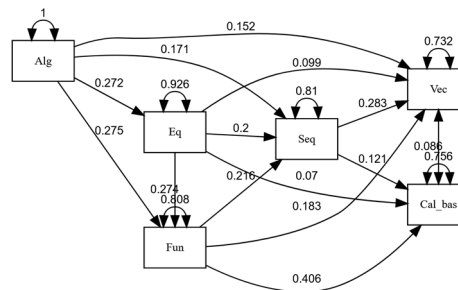


図1 model_1 のパス図

(2) 3-(3)の結果として2つの潜在因子を仮定したモデルが得られた。まず、EFAについて、解の回転方法と推定方法はそれぞれ斜交回転のプロマックス回転と最尤推定を指定した。

表3 斜交回転後の因子負荷行列

	Alg	Eq	Fun	Seq	Vec	Cal_bas
ML1	0.08	0.09	1.06	-0.08	-0.05	0.33
ML2	0.44	0.43	-0.13	0.69	0.69	0.24

斜交回転後の因子負荷行列を表3に示す。ML1のFunの因子負荷量がほぼ1であるため、ML1はFunの得点の高さを表す因子、ML2はSeqとVecの因子負荷量が高いため、単純な代数的な計算能力ではなく、代数的な思考力の高さを表す因子であると考えた。因子数を2に定めたEFAでは、Cal_basによく関連した因子を見つけることは出来なかった。

次に、4-(1)の結果とEFAの結果から以下の仮説を立てモデル作成をした。

- ・6単元は「代数的理解力(F1)」と「解析的理解力(F2)」の2つの潜在因子から影響がある。
- ・潜在因子間にも相関がある。

これらの仮説の下、CFAを行って得られたモデルの適合度指標とそのパス図をそれぞれ表4と図2に示す。このパス図を用いて分析を行った結果として、代数的理解力と仮定した因子F1からはAlg、Eq、Seq、Vecにそれぞれ0.53、0.52、0.61、0.64の影響度があり、F1に関する理解力が高ければ高いほど場合の数や平面ベクトルに影響しているこ

表4 適合度指標

χ^2 値	df	p 値	CFI	TLI	RMSEA	SRMR
7.542	8	0.479	1.000	1.002	0.000	0.017

とが分かった。解析的理解力と仮定した因子 F2 からは Fun と Cal_bas にそれぞれ 0.78, 0.61 の影響度があり、関数とグラフに対する値が高いため、解析というより関数に対する理解力と表現した方が良さそうな因子であったことが分かった。それぞれの項目の下にある数字はそれらの潜在因子では表すことができない誤差変数であり、それぞれの項目で独自性もしくはその他の因子からの影響も高い傾向にあることが分かった。

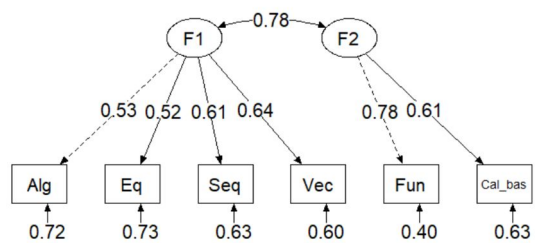


図2 CFAによって得られたパス図

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Ishida A., the Faculty of Liberal Arts, Kumamoto College, National Institute of Technology, Koshi, Japan, Yamamoto N., Murakami J.	4. 巻 13
2. 論文標題 Analysis of Mathematics Scores in Achievement Exam of Information Technology College Students Using Covariance Structure Analysis	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 International Journal of Information and Education Technology	6. 最初と最後の頁 417 ~ 422
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.18178/ijiet.2023.13.3.1821	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件/うち国際学会 1件）

1. 発表者名 石田明男、山本直樹、村上純
2. 発表標題 Rによる学習到達度試験（数学）のSEMを用いた確認的因子分析
3. 学会等名 2024年電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 A. Ishida, N. Yamamoto, J. Murakami
2. 発表標題 Analysis of Mathematics Scores in Achievement Exam of InformationTechnology College Students Using Covariance Structure Analysis
3. 学会等名 2022 13th International Conference on Networking and Information Technology (ICNIT2022, held by merging with ACMLC 2022, Bangkok, online) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 石田明男，山本直樹，村上純
2. 発表標題 共分散構造分析を用いた国立高専学習到達度試験（数学）の分析
3. 学会等名 熊本高等専門学校メガミーティング2022
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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
---------	---------