

令和元年6月16日現在

機関番号：33302

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K01082

研究課題名(和文)学修力を深化させ、先進的学習意欲を惹起する、数理の「深い学習」の研究

研究課題名(英文)The study of "deep learning of mathematics and science" which makes a student have a high desire to learn aggressively, and deepens the learning ability

研究代表者

谷口 進一 (Taniguchi, Shin-ichi)

金沢工業大学・基礎教育部・教授

研究者番号：50440483

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：大学生の数・理における「深い学習」を促進し、学びの深まりに伴い自己の学習状況に対する「気づき」とすすんだ分野を学びたいという先進的学習態度を惹起する研究を行った。研究開始時は、定型的解法に依存し、パターン認識的学習を行う「ヒューリスティック」の抑制が必要と思われたが、分析の結果、「ヒューリスティック」を強く抑制しすぎると、かえって深い学習の障害となることが分かった。このため、「ヒューリスティック」を段階的に抑制することにより深い学習を促進する効果を上げた。また、因子分析により、「気づき」と「先進的学習意欲」は「探求心」の因子により影響を受けていることが判明した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、大学生の数・理の学習において深い学習を促進しその深まりと共に、自己の学びに対する気づきと進んで先の分野を学びたいという先進的学習意欲を惹起するものである。深い学習促進機構や気づきの発現、先進的学習意欲発揮のメカニズムについて分析をすすめたことに学術的意義がある。また、このような大学生の学習様態の改善、仕組みの解明は、学習成果のアカウンタビリティ、学士力の質保証に対応するという点で社会的意義があるものである。

研究成果の概要(英文)：We investigated the learning strategy by which a student promotes "deep learning" in mathematics and science. And we studied that students learned, to deepen, more, to have correct understanding to the learning situations and the motivation to learn advanced fields. When beginning to study, we were thinking restraint of a heuristic way promoted deep learning. However, when the heuristic was restrained too much hard as the result of the analysis, we found out that it will be an obstacle of deep learning. Therefore we could get the effect deep learning promotes by restraining the heuristic step by step. It became clear that "learners' awareness" and "advanced learning motivation" are affected by a factor of "spirit of inquiry" by the result of the factor analysis.

研究分野：科学教育

キーワード：深い学習 先進的学習意欲 気づき 深い学習方略 ヒューリスティック 深い学習態度尺度 ヒューリスティック抑制因子 ヒューリスティック試行尊重

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

我々は先行研究において、数・理系科目において、クリティカルシンキング（以下 CT とする）を活用することにより、学生が与えられた知識をそのまま享受するのではなく、一旦、自分自身で俯瞰的立場から批判的な考察を加え、自分なりに咀嚼し、問題全体を論理的に考える力を養い、学修力を向上させることを目標として、実践的研究を行った。その結果、CT 活用は学修力向上に効果を上げており、この要因として、潜在因子として「探求心」が大きな影響を与えていることが判明した。他方、この研究の過程で、学生の基礎学力の多様化が進行する反面、その学習方略には一定の画一性が存在することが認められた。それは定型的解法に依存し、アルゴリズムレベルでパターンの学習を行う傾向であり、「ヒューリスティック」とも呼ばれる。これに対する依存傾向が高まれば、学習は表面的理解に留まってしまうことが予想され、この傾向に対処する必要性があることが判明した。

2. 研究の目的

本研究の目的は、上記の先行研究により得られた成果と知見を基盤とし、研究過程で問題点として浮上してきた、「学生の学習に多用されているパターン認識的学習方略：ヒューリスティック」を制御し、学生が熟慮的思考を行う際の認知的障害を取り除き、数理の分野における「深い学習」を促進し、より学修力を深化させることである。

さらに本研究は学修力の向上のみに留まらず、学生に数理の分野の学修力を深化させることにより、この分野の興味深さに対する「気づき」を発現させる。そして、「後続する科目群への自発的な学習意欲：先進的学習意欲」を発揮させ、学修力の深化と学習意欲の関連性の仕組みを分析することにある。

3. 研究の方法

研究目的に対応し、数学、物理、化学、統計学の担当、また、教育心理学の立場から研究全般を俯瞰的に分析するメンバーよりなる研究チームを構成した。このメンバーが分担し、研究計画を実施した。まず、「深い学習」の定義の研究・決定、これに基づく「深い学習」促進実践・効果調査のトライアル実施、評価・分析法の検討を行った。次に、「深い学習」促進の本格実施を行い、学修力の深化の評価・分析を行った。また、これを基に学習分野の興味深さに対する「気づき」発言に関する調査を行い、トライアルの評価・分析を行った。さらに、「深い学習」促進の本格実施を継続すると共に、学修力の深化の評価・分析を興味深さに対する「気づき」と関連付けて行き「気づき」の構造を分析し、先進的学習意欲への影響の度合いを評価・分析した。これらの調査には各科目における課題の到達度、ルーブリック、質問紙法によるアンケート調査を用いた。調査結果の分析には、因子分析や共分散構造分析などの多変量解析や、その他の統計的手法を用いた。

4. 研究成果

(1) 研究開始初年度、数・理における「深い学習」を促進するために、まず、その学習プロセスを次のように明示的に定義した。それは、「概念形成の理解を重視する熟慮的思考をともなう学習プロセス」「既習の内容を振り返り、修正を加え、より精緻な状態への変更を可能とする内省的学習プロセス」「既習の学習内容をさらに進んだ内容（専門性の高い分野など）へ応用できるように再構築する俯瞰的学習プロセス」「問題解決の文脈にそって、多角的解決を考察する批判的思考をともなう学習プロセス」の4つの学習プロセスからなる。

この定義に従い、各分野の担当者が授業において、概念形成を中心とする問題を課題や演習に取り込んだり、一つの問題に対して複数の解法を示して選択できるようにする、さらに学生に自分の選んだ解法に対する効果について内省を加えるレポートを課すなど深い学習促進の試行を行った。これは、授業開始時と終了時に同一のルーブリック（ルーブリックの内容は、要素1～要素4からなり、各要素は、1、「学習内容の理解に関する深さ」2、「問題解法の使用に関する深さ」、3、「数理の学習法に関する深さ」4、「数理の学習内容の応用に関する深さ」である）を用いて学生の自己評定を調査した結果、一定の効果を上げたが、まだ改善の余地があると考えられた。

(2) そこで、質問紙法により、平成28年度初年次生1620名（調査時期：平成28年7月最終週、平均年齢19.0歳±0.5）に対して深い学習態度傾向の調査を行った。調査結果の内、欠損地など不備のない有効回答1456名分に対して、探索的因子分析を試みた結果、表1に示すように、5つの潜在因子が得られた。各因子は対応する設問項目（観測変数）の内容を検討した結果、F1. 「数理の探求心」、F2. 「論理的思考への自覚」、F3. 「一般的探求心」、F4. 「数理に関する比較・検討への関心」、F5. 「ヒューリスティック：抑制」と解釈した。

この因子構造が妥当なものか調べるため、数理の深い学習態度を2次因子として、共分散構造分析を用いて、高次検証的因子分析を行った結果、許容可能（適合度指標： $GFI=.919$, $AGFI=.900$, $CFI=.930$, $RMSEA=.061$ ）なモデルを得た。この結果を図1に示す。この結果、新たな知見として、研究開始当初の予想とは異なり、ヒューリスティックの抑制は数理の深い学習に対して負の影響を与えていることが分かった。（図の矢印横に付与された数値は標準化推定値であり、因子間の影響の強さを表わす）

(3) この知見を基に、学生の学習様態を検討し直してみたところ、学習初期段階では、ヒューリスティックの抑制は数理の深い学習に対して負の影響を与えていることが分かった。

ヘーリスティックの抑制を強く行くと、むしろ、基本学習部分でかえって躓きが生じやすく、深い学習への移行の障害となるのではないかと予想された。

そこで、学習段階に応じて、ヘーリスティックをある程度許容（場合によっては促進）し、そこから深い学習へと移行するような教授・学習方略を実施するように変更を行った。

表1 数理の深い学習態度の因子分析結果

項目 (観測変数)	F1	F2	F3	F4	F5
問13 数学や理科の学習で興味を持った内容は、さらにその先がどうなるか早く知りたいと思	.904	.011	-.059	-.075	.004
問12 将来、数学や理科の学習をいかして、小さな事でも、何か自分にしかできないことをし	.858	-.024	.007	-.080	.042
問11 数学や理科の学習が、自分の専門とどう関係しているか知りたいと思う	.717	-.038	.096	-.085	-.050
問20 数学や理科では、学習した事柄を離れた分野でも応用してみたい	.642	-.034	.087	.110	.016
問10 数学や理科の学習では、興味を持った事柄はさらに深く考えてみたいと思う	.641	.035	-.064	.147	.010
問14 数学や理科の科目では科目間のつながりについて考えてみようとする方だ	.614	.045	.040	.111	.012
問19 数学や理科では、自分が学習したことは、振り返って考え直してることが多い	.445	.106	.116	.094	-.021
問2 物事を正確に考えることに自信がある	-.005	.810	.011	-.058	-.023
問1 考えをまとめることが得意だ	-.051	.800	.154	-.112	.021
問4 誰もが納得できるような説明をすることができる	-.054	.773	.000	.045	.022
問3 数学や理科の学習では、長い理論の説明でも、要点をうまくつかむことが得意だ	.113	.706	-.125	.068	-.018
問5 複雑な問題について順序立てて考えることが得意だ	.045	.702	-.068	.108	-.012
問16 いろいろな考え方の人と接して多くのことを学びたい	-.036	.066	.856	-.014	-.001
問17 自分とは違う考え方の人に興味を持つ方だ	-.029	.034	.792	.040	.004
問18 外国人がどのように考えるかを勉強することは、意義のあることだと思う	.096	-.076	.700	.003	.013
問15 様々な文化について学びたいと思う	.081	-.032	.612	.003	-.022
問7 数学や物理では教科書の解法とは別の解法を考えてみることもある	-.055	-.034	.032	.927	-.016
問6 数学や物理では授業中に教員が示す解法よりもっと良い解法がないか考えてみる	-.032	.020	-.029	.830	-.067
問8 理科では教科書に書かれていることが必ずしも正しいとは限らないのではないかと考え	.015	.013	.051	.674	.076
問9 数学や物理では、何冊かの参考書を見比べて、より良い解法を探してみる	.170	.018	-.027	.473	.030
問30 問題のパターンを覚えて解答を選び出すことを習慣としている(-)	-.028	.055	.001	-.018	.695
問28 公式にあてはめて素早く答えを出すのが好きな方だ(-)	-.065	-.022	-.021	.038	.679
問29 深く考えるより、浅く広く考えた方が有益だと思う(-)	.112	-.039	.009	-.012	.544

(-)は反転項目

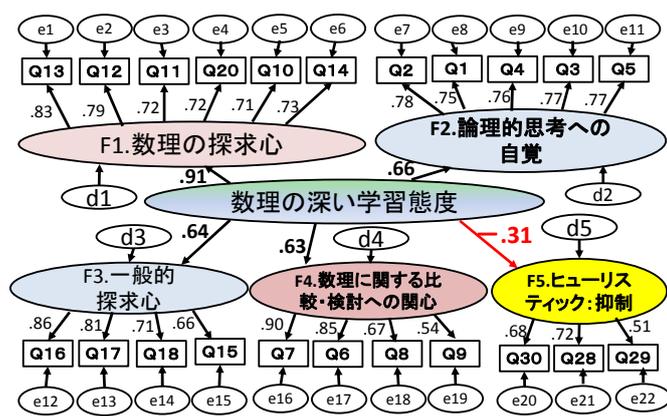


図1 数理の深い学習態度因子構造の共分散構造分析モデル

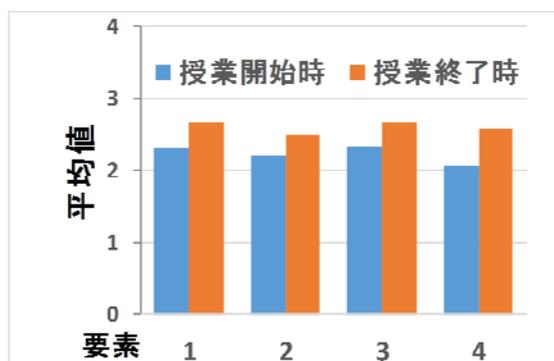


図2 授業開始時・終了時のルーブリック平均値の比較

(4) 授業における学習方略実施の観点からは、深い学習促進には、ヘーリスティックの前提的使用の必要性があることの予想が確認されたが、これを因子構造の観点からも論理的に検証するため、質問紙の内容を一部変更し、再度深い学習態度についてアンケート調査を行った。調査対象は、平成29年度・前期初年次生の1559名であり、調査時平均年齢19.0±0.5歳であった。(調査実施時期は平成29年7月最終週)とした。調査結果の分析には、欠損値などの不備のない1380名の回答を用いた。

この回答を探索的因子分析により、解析した結果、6つの潜在因子が検出された。各因子は、F1.「数理の探求心」、F2.「論理的思考への自覚」、F3.「一般的探求心」、F4.「数理に関する比較・検討への関心」、F5.「ヘーリスティック：抑制」であり、新たな因子としてF6.「ヘーリスティック：前提的活用」が加わった。これらの因子を、2次因子を用いた共分散

ヘーリスティックの前駆的使用を必要に応じて活用し、深い学習への移行を注意深く行った結果、授業での深い学習促進は改善されるケースが増加した。

この結果の一例を、平成29年度前学期における数学系授業において、授業の開始直後と終了時のルーブリック調査の比較において示す。ルーブリックは(1)で用いたものと同じであり、スケールは深い学習の促進度の高さに応じて1(低)~4(高)である。

図2にルーブリック得点の授業開始・終了時における状況を示す。

ルーブリックの尺度は順序尺度であるため、平均値のグラフは目安にはなるが、正確ではない。統計的に正確に評価の中心が上位に移動したかどうかは、ノンパラメトリック検定(Wilcoxonの符号付順位検定)によらなければならない。検定結果は、要素1(p<.001), 2(p<.05), 3(p<.01), 4(p<.001)で、全て有意であった。全体的にみて、授業終了時において学習の深さの自己評価は高い評価へと変化している。

構造分析により分析した結果を図3に示す。(図の矢印横に付与された数値は標準化推定値であり、因子間の影響の強さを表わす) モデル適合度は、適合度指標が $GFI=.889$, $AGFI=.868$, $CFI=.906$ $RMSEA=.063$ であり、非常に良い適合度とは言えないが、許容範囲のモデルである。なお、簡単のため、図3では、観測関数、誤差関数は省略した。

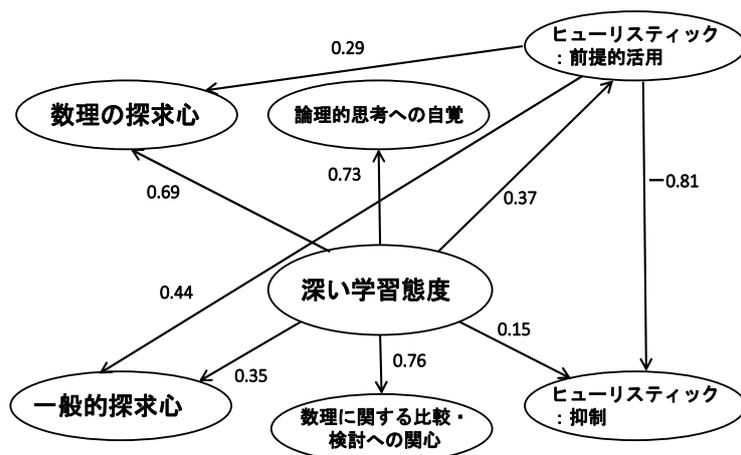


図3 「ヒューリスティック：前提的活用」因子を加えた数理の深い学習態度因子構造の共分散構造分析モデル

モデルをみると、今回は全ての因子に対して、深い学習態度からの影響が正の値をとっている。特に「ヒューリスティック：抑制」因子にも正の影響がある。また、「ヒューリスティック：前提的活用」因子からは「数理の探求心」、「一般的探求心」のいずれにも正の影響があり、先ず、ヒューリスティックを前駆的に使用することにより、基礎的学習がスムーズに行われ、探求心の深まりにつながり、深い学習が促進されるという予想を裏付けるものである。また、ヒューリスティックの活用と抑制との間に負の影響関係があることも、活用と抑制では相反する傾向であり、間接的に深い学習に影響を与えている点でモデル全体として整合性がある。

(5) 深い学習の促進機構が明確となったので、学習の深まりと共に「気づき」はどのように発現するのか、また、自ら進んで、学習分野のすすんだ部分を学びたいという先進的学習意欲との関連はどうであるかについて検討した。

先ず、数理分野の個別指導やグループ指導をとおして、学生の学習過程において、「気づき」の発現の様子や「学習意欲」の発揮される場面を観察した。これにより得られた知見を基にして、深い学習態度と「気づき」、「先進的学習意欲」に関する質問紙の設問を作成した。設問の作成にあたって、深い学習態度に関する設問は、既に因子構造を確認した設問を用い、一部、今回の調査にあわせて修正を加えた。

作成した質問紙を用いてアンケート調査を行った。調査対象は、平成30年度・前期初年次生の約1660名であり、調査時平均年齢 18.6 ± 0.5 歳であった。(調査実施時期は平成30年7月第4週)とした。調査結果の分析には、欠損値などの不備のない1436名の回答を用いた。得られた回答を基に、探索的因子分析を行った結果、5つの潜在因子が抽出された。各因子は設問項目(観測変数)に対応して、F1は「気づきの発現と先進的学習意欲の発揮」、F2は「先行的ヒューリスティックの尊重」、F3は「一般的探求心」、F4は「ヒューリスティック抑制的試行の尊重」、F5は「数理の探求心」と解釈した。

これらの因子間の影響関係を明らかにするために、共分散構造分析を用いてパス解析を行った。この結果得られたパス解析のモデル図を図4に示す。(図の矢印横に付与された数値は標準化推定値であり、因子間の影響の強さを表わす) モデル適合度は、適合度指標が $GFI=.881$, $AGFI=.860$, $CFI=.897$ $RMSEA=.066$ であり、非常に良い適合度とは言えないが、許容範囲のモデルである。なお、簡単のため、図4では、観測関数、誤差関数は省略した。

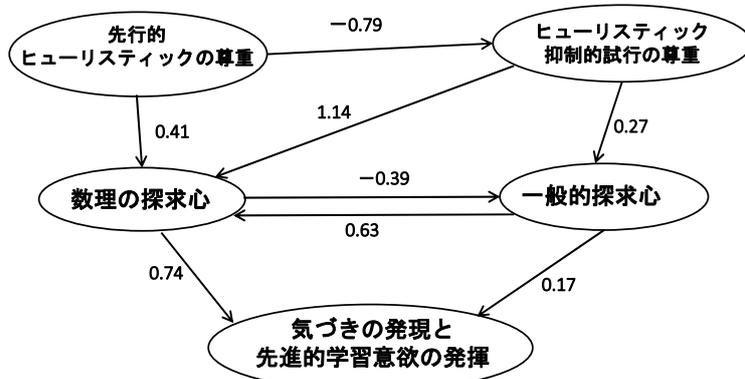


図4 「深い学習態度」と「気づき」、「先進的学習意欲」に関する因子間影響関係のパス解析モデル図

モデルによれば、「一般的探求心」と「数理の探求心」が「気づきの発現と先進的学習意欲の発揮」因子に正の影響を与えていることが分かる。これは、我々が予想していた探求心の深まりにより深い学習が促進され、気づきの発現と先進的学習意欲が発揮されるという学習様態のモデルと整合性がある。また、ヒューリスティックの先行と抑制的尊重の間には負の影響関係があることは図3のモデルと同様の関係である。

「気づき」と「先進的学習意欲」は、同一因子に分類されたが、モデルにおいて適合傾向があることから、2つ因子は極めて近い関係にあるか、同時的に発現・発揮されることが示唆される。しかし、他の因子との関係を観察するため観測変数の数が十分でなかった可能性もあり、今後、この関係性に関しては、さらに追及して調べる必要性もある。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計3件)

①谷口進一、中村晃、山岡英孝、木村竜也、高香滋、谷口哲也 数理の深い学習における学生の意識に関する態度傾向からの分析—探索的因子分析、及び共分散構造分析による高次検証的因子分析を用いた考察— KIT Progress (工学教育)、査読有、Vol.26、2018、pp.159-167
https://kitir.kanazawa-it.ac.jp/infolib/meta_pub/G0000002repository

②山岡英孝、谷口進一、西誠、工藤知草、谷口哲也 概念問題を活用した深い学習の授業効果—ピア・インストラクションを導入した微分積分学講義の実践— KIT Progress (工学教育)、査読有、Vol.26、2018、pp.119-128
https://kitir.kanazawa-it.ac.jp/infolib/meta_pub/G0000002repository

③谷口哲也、谷口進一、西誠、山岡英孝、工藤知草 統計入門講義における概念問題の活用と学習の深さの分析— KIT Progress (工学教育)、査読有、Vol.26、2018、pp.329-338
https://kitir.kanazawa-it.ac.jp/infolib/meta_pub/G0000002repository

〔学会発表〕(計3件)

①谷口進一(発表者)、中村晃、山岡英孝、木村竜也 深い学習と先進的学習意欲との関係—第25回大学教育研究フォーラム— 2019

②谷口進一、中村晃、山岡英孝、木村竜也、高香滋、谷口哲也 学生の数理系科目における「深い学習」態度の分析—ヒューリスティックに関する因子分析を中心として— 平成30年度工学教育研究講演会— 2018

③谷口進一、中村晃、山岡英孝・木村竜也、高香滋、谷口哲也 数理系科目における「深い学習」の促進とルーブリックを用いた評価— 平成29年度工学教育研究講演会— 2017

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名：中村 晃

ローマ字氏名：NAKAMURA、Akira

所属研究機関名：金沢工業大学

部局名：基礎教育部

職名：教授

研究者番号(8桁)：60387355

研究分担者氏名：高 香滋

ローマ字氏名：TAKA、Kouji

所属研究機関名：金沢工業大学

部局名：基礎教育部

職名：准教授

研究者番号(8桁)：90175422

研究分担者氏名：木村 竜也

ローマ字氏名：KIMURA、Tatsuya

所属研究機関名：金沢工業大学

部局名：基礎教育部

職名：准教授

研究者番号(8桁)：20410293

研究分担者氏名：山岡 英孝

ローマ字氏名：YAMAOKA、Hidetaka

所属研究機関名：金沢工業大学

部局名：基礎教育部

職名：准教授

研究者番号（8桁）：10443045

研究分担者氏名：谷口 哲也

ローマ字氏名：TANIGUCHI、Tetsuya

所属研究機関名：金沢工業大学

部局名：基礎教育部

職名：講師

研究者番号（8桁）：90625500

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。