

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 15 日現在

機関番号：33302

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25350301

研究課題名(和文)クリティカルシンキングの活用による数理の学修力向上効果の研究

研究課題名(英文) Study of the improvement effect of the learning ability of the mathematics and the science

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) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：数理系科目に対してクリティカルシンキング(以下、CTとする)の活用により、学修力の向上を図った。授業において、CT活用度活性化のために、授業におけるCTのインフュージョン、レポート課題、試験問題にCT発揮を促す問題の挿入などを実践した。この効果を、ルーブリックを用いて授業開始時と終了時に調査したところ、CT活用度が活性化していることが確かめられた。この結果の学修力向上度に対する影響を調査するため、試験結果をもとに、調査対象者を向上群、非向上群に分類した。そして、これをもとに多重ロジスティック回帰分析を行った。その結果、CT活用度活性化の実践は学修力の向上に有効であることが分かった。

研究成果の概要(英文)：We planned for improvement of the learning ability by utilizing Critical Thinking to the subjects of mathematics and science. The thing on which infusion of CT, report problems is imposed and the insertions of the problem of suggesting CT utilization to the part of the examination question were practiced for CT utilization activation. This effect was investigated at the time of the class starting and an end using a rubric. Activation of the CT utilization was confirmed at the time of a class end. To investigate the influence to the degree of the learning ability improvement of this result, we classified the students who are an investigation object by test outcomes into an improvement group and non-improvement group. Multiple logistic regression analysis was performed based on a classification result. It was confirmed that the practice of CT utilization activation is effective in improvement of the learning ability.

研究分野：数理基礎教育

キーワード：クリティカルシンキング 批判的思考 学修力 ルーブリック

1. 研究開始当初の背景

研究開始当初、既に、高等教育のユニバーサル化にともない、大学入学生の基礎学力や大学生活における志向などは著しく多様化が進行していた。このような状況に対して、我々は、それまでに実施していた組織的教育による教育効果を検証するため、「数理分野での学士力の育成」を切り口として、大学4年間を通して学修力・ジェネリックスキルがどのように変化するか調査・研究を実施した。この結果、ジェネリックスキルに関しては、4年次において、調査項目の多くにおいて自己評価結果は最高値を示しており、4年間における人間力教育が奏功していることが確認できた。他方、入学時の数理の学力診断を利用した学修力の調査では、初年次学期末では、点数が上昇しており、授業効果が認められるものの、その後の調査では有意な向上は認められなかった。これらの知見から、学修力を向上させ、質保証につなげるためには、初年次から2年次の教育が特に重要な意味を持つことが判明した。さらに、クリティカルシンキング(以下 CT とする)に基づく論理的思考力を養成し、適切なアセスメントを行うことが必要であることが分かった。

2. 研究の目的

1で述べた調査をとおして、初年次における数理の基礎学力と論理的思考力自己評価にギャップが存在すること、初年次から2年次にかけて、ジェネリックスキル、特に数理の論理的思考力に関する自己評価が低下することが知見できた。この状況を改善するため、CTを活用し、学修力の向上を図る。さらに、CTがどのように学修力を向上させているかについて、適切に評価・分析する方法を明らかにする。

3. 研究の方法

(1)金沢工業大学の数理工教育研究センター内に組織されている「数理教育研究会」に、「クリティカルシンキングの活用による数理の学修力向上効果の研究」の研究チームを立ち上げた。チーム構成は、数学分野、物理学分野、化学分野、個別・グループ指導分野からなり、それぞれ3名、1名、1名、2名の研究分担者、及び連携研究者が担当した。研究代表者は、化学分野担当と兼任し、研究全体の統括を行った。

(2)CTの活用による数理の学修力向上効果について、研究文献調査、学会や大学教育関連のフォーラム参加、教育現場の訪問を含め、先行研究例などに関して調査・研究を行い、数理におけるCTの定義を決定した。また、この定義を念頭に研究のベンチマークを策定した。

(3)ベンチマークに従い、CTの授業、個別・グループ指導における効果的活用法の研究を行った。活用方法としては、授業中にCTの重要性説明する。授業中の解説内容にCT

を活用した内容をインフュージョンする。

授業で用いる試験問題やレポート、宿題などにCT活用を促進する問題を加える。授業中に課題を与え、これに対するグループ発表を行わせる授業では、グループ討議の際に、CTを活用するような議論をアクティブラーニングとして行わせる。個別・グループ指導においてはCTの活用を促すような質問を行う。また、コンセプトマップを構成させ、分野間のつながりや、概念の構成、現在の自分の学習状態を包括的かつ批判的に考察させる。～に関して、平成25年度はトライアルを行い、内容を検討し、26、27年度において本格実施を行った。

(4)初年次、及び2年次を対象とした質問紙法によるアンケート調査を実施した。まず、平成25年度は、CT発揮志向性と学習に関連するジェネリックスキル一般を設問項目とした質問紙を作成し、ジェネリックスキルがCT志向性とどのような影響関係にあるのかを調査した。平成26、27年度はCT態度に関する設問からなる質問紙を作成し、数理に関するCT発揮態度はどのような潜在因子から構成されるのかを調査し、数理のCT態度尺度を構成した。また、構成した尺度をもとに初年次、2年次学生がどの程度のCT態度を発揮しているか調査を行った。

(5)CT活用度を調べるため、ループリックの作成を行った。ループリックは、要素1~5からなり、各要素は、「要素1、問題解法の選択に関するCTの活用、要素2、教科書の解説の内容理解に関するCTの活用、要素3、公式の有用途の認識に関するCTの活用、要素4、数学(物理、化学)の学習法に関するCTの活用、要素5、数学(物理、化学)の学習内容の応用に関するCTの活用」である。スケールは活用度の高い方から4点~1点とした。(ループリックの詳細については発表論文参照)このループリックを用いて、授業開始時と終了時におけるCT活用度の変化を調査した。

(6)CTを活用した結果による学修力向上の評価・分析方法として、CT活用問題の達成度、テキストマイニング、試験結果の比較、学生へのインタビュー、試験結果の比較データやレポート点数、ループリックの得点データを用いた多重ロジスティック回帰分析などを行った。

4. 研究成果

(1)先行研究(引用文献など)を踏まえた調査・検討の結果、数理のCTにおける定義～を作成した。CTは「既存概念を踏まえたうえで、それに必ずしも拘泥せず」に行われる論理的・合理的思考である。CTは自分の推論プロセスを「包括的かつ俯瞰的に意識して分析する」内省的・熟慮的思考である。CTはより良い思考を行うために、「問題解決の方法」に対応して実行される目的志向的思考である。(「」内は、数理の学

修への活用を踏まえて、著者らが引用文献にあげられているCTの定義に加筆・変更を加えた部分である。)

(2) 平成 25 年度前学期に初年次生を対象に数理に関するCTを中心として、15 項目・40 設問(観測変数)からなるジェネリックスキルに関する質問紙によるアンケート調査を実施した。調査結果の内、欠損値などの不備のない有効回答者数は 1699 名であり、このデータを基に因子分析を行った。その結果、因子負荷量(基準 0.40 以上)のパターン行列から 5 つの潜在因子を決定した。潜在因子は、観測変数より判断して、それぞれ、「数理のCT志向性」、「能動的表現力」、「共感性」、「規律遵守性」、「探求性」と解釈した。潜在因子間における影響関係を明らかにするため、共分散構造分析を行ったところ、適合度指標 CFI=0.887、RMSEA=0.045 と十分許容可能なモデルが得られた。このパス図を、図 1 に示す。

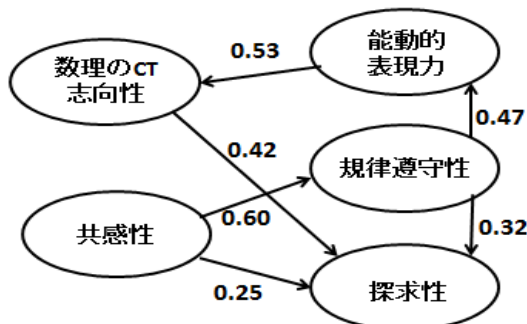


図 1 5 因子構造をもとにしたパス図

パス図より因子間の影響関係(表示の値:標準化推定値の大小)をみると、「数理のCT志向性」が「探求性」にかなり影響を与えている。また、注目すべき点は、「能動的表現力」が「数理のCT志向性」にかなり影響を与えている点である。このことから、CTを行おうとする傾向は能動的に物事に対処し、表現しようとする姿勢から影響を受けている側面があることを示している。これによりCTが(1)の定義にある内省的、熟慮的思考であるといえども、積極的にCTを行おうとする態度がなければ、充分発揮されないことが示唆される。このことから、CT活用度促進には、授業中のCTインフュージョンの教示のみでなく、課題や試験へのCT活用問題の挿入、アクティブラーニングにおけるグループ討議など自らCT活用を行える仕組みづくりが重要であることが分かった。

(3) 数理におけるCT態度尺度を構成し、その潜在因子構造を解明すると共に、初年次と2年次学生のCT発揮態度においてどのような傾向があるかを明らかにするため数理のCT態度に関する40設問(観測変数)からなる質問紙によるアンケート調査を行った。平成 25 年度後学期初年次生を対象に調査を行い、分析には、欠損値などの不備のない1444名の回答を用いた。回答データを基に、因子分析を行い、因子負荷量(基準 0.40 以

上)のパターン行列から、4つの潜在因子を決定した。各因子は、観測変数の構成から、第1因子「論理的思考への自覚」、第2因子「数理に関する比較・検討への関心」、第3因子「数理の探求心」、第4因子「探求心」と解釈した。第1、4因子は観測変数の一致が多いことから引用文献における一般的なCTの因子名を踏襲した。第3因子と第4因子は探求心という点で一致しており、因子間相関も高いため、同一因子として考えることも想定できるが、第3因子は数理に関する設問で統一されており、第4因子は一般的な探究心に関する設問で統一されているため、異なる因子であると解釈した。各因子における信頼係数(係数)は、6.9以上と比較的高い値を示しているため、尺度の内部整合性に問題は無いと判断した。さらに、この因子構造の妥当性を調べるため、「数理のCT態度」を2次因子とし、4つの1次因子を内生変数として、共分散構造分析をもちいて2次因子分析による検証的因子分析を行ったところ適合度:GFI=.946、AGFI=.930、RMSEA=.056と十分許容し得る適合度が得られた。このモデル図を図2に示す。Q20,Q21などは尺度を構成する設問番号を表わす。また、数値は標準化推定値(因子間の影響の強さ)を表わす。

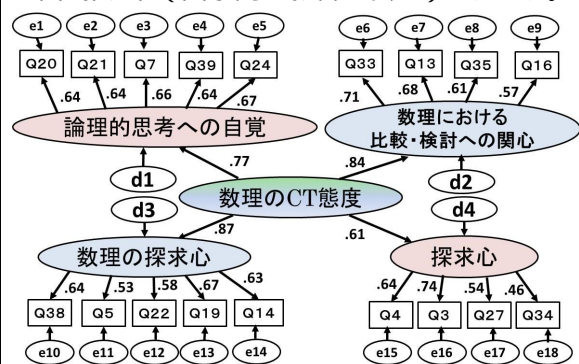


図 2 数理におけるCT態度モデル

このように十分な数理のCT態度尺度が構成されたので、この尺度を用いて、初年次、及び2年次学生のCT態度を調査した。調査対象は平成26年度前学期の初年次、2年次生、平成27年度前学期初年次生であり、有効回答者数は、それぞれ、1400名、940名、1497名であった。平成26年度、27年度の初年次生における各因子得点を比較したグラフを図3に示す。また、平成26年度における初年次生と2年次生の各因子得点を比較したグラフを図4に示す。(F1~F4は、第1因子~第4因子に対応する)平成26年度、27年度の比較では、初年次生の各因子得点(0~3)にほとんど変動はみられない。2年間の調査のため、確定はできないが初年次のCT態度は年度による大きな変動はみられないと推定される。また、初年次生と2年次生の比較においても、各因子得点にほとんど変動は見られない。この結果から、数理のCTは、意識的に活性化を図らない場合、活用度が向上しないことが示唆される。このことは、(2)

の結果において「数理の CT 志向性」因子が「能動的表現力」因子からかなり影響を受けており、積極的に CT 発揮を促す仕組みが重要であるということも整合的である。

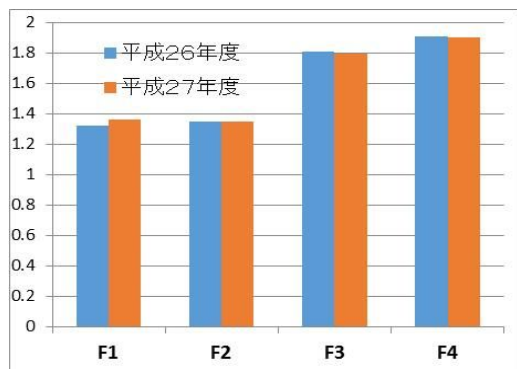


図3 平成26,27年度におけるCT態度尺度の各因子得点の比較

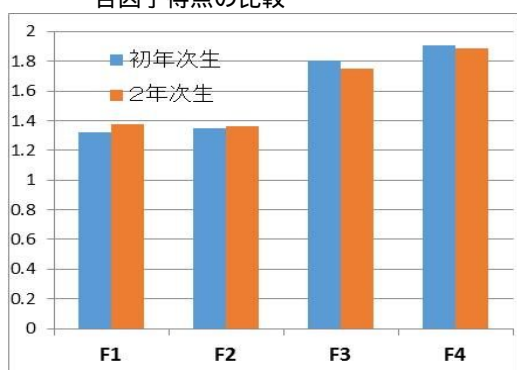


図4 平成26年度初年次生、2年次生におけるCT態度尺度の各因子得点の比較

(4) 平成25年度~27年度において、CT活用度の活性化を図るため、研究チームが担当した授業において、CT発揮を促進する解説、質問などのインフュージョン、また、CT活用を促す課題、レポート、試験問題(全体の一部)によるCT発揮誘発学習を行った。問題例としては、解答の一意に決まらない問題に対してCTを活用する検討、複数回答が存在する問題における各解答へCTを加え、解法の比較、優れた部分や間違いやすい部分の考察などである。このようなCT活性化のための教授方略、学習方略の効果を検証するため、2(5)に記述したループリックを用いて、授業開始時と終了時に自己評定による活用度の調査を行った。この結果、ループリックのスケール得点が開始時と終了時でどのように変化したかを示すヒストグラム(スペースの関係で要素1~3のみを示す)、ループリックのクラスにおける平均得点の変化の一例を平成25年度の化学系授業クラスD(有効回答者数35名)について、図5、図6に示す。ヒストグラムからは、どの要素においても、スケール1「CTをほとんど活用していない」に該当する学生の人数は減少していた。図5に示さなかった要素4、5でも同様の結果が得られた。さらに、平成25年度~27年度において研究チームメンバーが担当し、CT活性化を図ったほぼすべてのクラスにおいて、授

業終了時には、要素1~要素5におけるスケール1該当者数は減少していた。また、概略の目安として、ループリックの各要素の平均点の授業開始時と終了時における変化をみると、多くの要素平均得点の向上が分かる。ただし、ループリックは、点数化してあるものの、CT活用度にはたいする内容が文章で記述されており、その内容の順序に従って点数が付与されている順序尺度である。従って、平均点では、変化の概略は把握できるが、正確に活用度が向上したかどうかは、ノンパラメトリック検定によらなければならない。

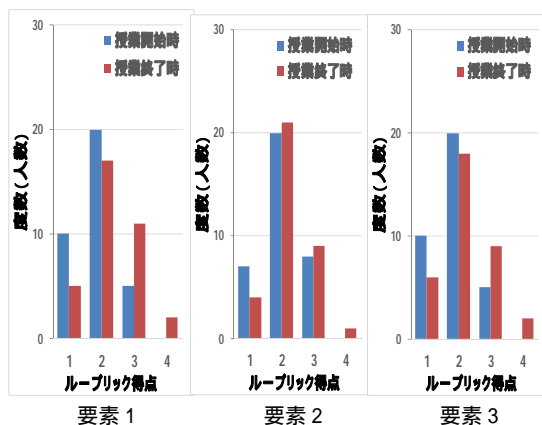


図5 授業開始時と終了時におけるループリック得点の度数の変化

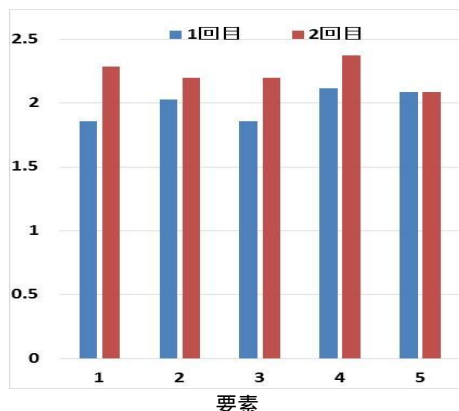


図6 授業開始時と終了時におけるループリック平均得点の変化

平成25年度~27年度において、チームメンバーがCT活性化を図った授業の開始時と終了時のループリック得点の変化をノンパラメトリック検定(Wilcoxonの符号付順序検定)にかけたところ、次のような結果が得られた。結果は、担当クラス、有効回答者数、得点有意(有意確率 $p < 0.1$)に向上した要素番号の順で示す。

- 平成25年度前学期
 - 数学系クラスA、56名、要素1、3、4、5
 - 数学系クラスB、59名、要素2、3、5
 - 物理系クラスC、49名、要素1、2、3、4、5
 - 化学系クラスD、35名、要素1、3
- 平成25年度後学期
 - 数学系クラスE、51名、要素2
 - 化学系クラスF、148名、要素3、4、5
 - 統計系クラスG、49名、要素1、2

統計系クラス H、39名、要素 5
平成 26 年度前学期
数学系クラス A、53名、要素 5
数学系クラス B、44名、要素 2
数学系クラス C、50名、要素 1、2、3、4、5
数学系クラス D、46名、要素 1
数学系クラス E、67名、要素 4、5
化学系クラス F、41名、要素 1
平成 26 年度後学期
数学系クラス G、43名、要素 4、5
数学系クラス H、97名、要素 4
物理系クラス I、45名、要素 2、3、4、5
化学系クラス J、104名、要素 3
化学系クラス K、48名、要素 3
平成 27 年度前学期
数学系クラス A、47名、要素 4
数学系クラス B、61名、要素 1、4
数学系クラス C、49名、要素 2、4、
数学系クラス D、46名、要素 3
統計系クラス E、58名、要素 1、3、4、5
物理系クラス F、42名、要素 1、2、3、4、5
化学系クラス G、46名、要素 4、5
平成 27 年度後学期
数学系クラス H、41名、要素 2、4
数学系クラス I、45名、要素 1、3、5
数学系クラス J、46名、要素 4
統計系クラス K、58名、要素 1、3、4、5
統計系クラス L、41名、要素 1、4
化学系クラス M、36名、有意な要素なし
化学系クラス N、40名、要素 1、3、4、5

なお、期間全体をとおして、CT 活用度は図 6 にみられるように各要素とも、有意でない場合もほぼすべて平均得点が上がっており、有意に低下した例はみられなかった。各年度とも、要素数の多少はあるが、有意な向上要素があり、ヒストグラムからみられるスケール 1 該当者数の減少も考慮すると、総合的にみて、我々の行った CT 活用度活性化に関する教授方略、学習方略は効果を上げており、CT 活用度を向上させていると考えられる。これは、(3)の CT 態度に関するアンケート調査の結果にみられる「CT 発揮態度は意識的に活性化を図らない場合、活用度が向上しないこと」とは対照的である。

(5)CT 活用度の活性化が学修力の向上にどのような効果を上げているか調査・分析を行った。教員による他者評価として、学生の CT 活性化を図るため課した課題、レポート、試験問題の結果を評価・検討した。また、課題の内、文章で答える問題はテキストマイニングを試みた。さらに、アクティブラーニングにおけるグループ討議の観察、学生へのインタビューなどを試みた。いずれも、CT 活用が学修力の向上を促している兆候をつかむことができた。また、テキストマイニングからは、学生が CT を発揮する際の認知バイアスとなる事柄を確認することができ、CT 発揮から学修力向上へとつなげるための障害を見出す手がかりを得ることができた。しかしな

がら、課題やレポートの結果はその科目の学修内容の一部であり、そこから科目全体における学修力の状況を推測するのは妥当とは言えない。また、グループ討議の観察や、インタビューも即時的な評価として効果はあるが、主観を完全に排除することは困難である。そこで、CT 活用度がその科目に関する学修力全体にどのような影響を与えているか分析するため、試験結果を利用して、学生を学修力の向上群と非向上群に分類し、これを基に 2 項多重ロジスティック回帰分析を行った。内容に対応関係がある授業初期の試験と終了時における期末試験の得点を、平均値で割るなどの標準化を行い、素点による評価に伴う問題の難易度の差の影響をできる限り排除した。その上で、「期末試験 - 初期試験」の値が正となるものを向上群、0 以下となるものを非向上群として、前者を 1、後者を 0 としてコード化した。このコードを目的変数、各小テスト問題の点数や CT 促進課題、レポートの点数、授業終了時のループリックによる CT 活用度スケール得点を説明変数としてロジスティック回帰分析を実施した。(分析条件の詳細については、雑誌発表論文を参照)各年度において、説明変数としてのデータがそろっている科目をピックアップして、分析した結果の内、回帰係数にループリックの要素を有意に含むものを以下に示す。結果は、簡単のため、(4)の各年度のクラス記号(大文字アルファベット)、有意な要素番号(有意確率 $p < 0.1$)、要素番号の後の()内の回帰係数(学修力向上度への影響力の正・負の大きさを表わす)の順で示し、他の説明変数についての詳細は省略する。なお、回帰モデルの構成を試みても、モデル係数が有意でない、有意な回帰係数が存在しない、定数項(目的変数に影響を与えない項)のみが残るといったケースは準備したデータが不十分もしくは不適切と考えられるため排除した。

平成 25 年度前学期
数学系クラス A、要素 3(1.3)、4(-1.6)
数学系クラス B、要素 2(0.69)
化学系クラス D、35名、要素 1(1.6)、2(-2.3)
平成 25 年度後学期
化学系クラス F、要素 4(-1.1)、5(0.97)
平成 26 年度前学期
数学系クラス D、要素 2(2.1)
数学系クラス E、要素 1(16.8)、5(-15.7)
化学系クラス F、要素 4(4.0)、5(-8.5)
平成 26 年度後学期
数学系クラス G、要素 3(4.7)、4(9.1)
物理系クラス I、要素 3(0.98)
平成 27 年度前学期
数学系クラス D、要素 1(1.1)
統計系クラス E、要素 4(0.78)
化学系クラス G、要素 3(-3.4)、4(2.6)
平成 27 年度後学期
数学系クラス H、要素 1(1.8)、3(-3.4)
統計系クラス K、要素 1(-1.5)、3(1.0)

化学系クラス M、要素 2(3.6)、3(-2.9)、5(4.0)
 化学系クラス N、要素 1(2.4)、2(1.7)
 有意な回帰係数をみると、CT 活用度のルーブリックにおける要素が、正の影響を与えているものが多い。さらに、その中には、(4)において、授業で行った方略により、CT 活用度が活性化されたものもあり、CT 活用が学修力を向上させていることを、強く示唆していると考えられる。他方、問題点も存在し、正の影響を与えている回帰係数をもつ要素に対し、同程度の大きさで、負の影響を与えている回帰係数をもつ要素が同時に存在しているケースも少なからずあり、このようなケースにおける CT の効果は、検討すべきである。まず、一番に考えられることは、要素 1、3 など問題解決の選択や公式の有用度に関する要素の場合、教員が複数の解法・公式を教示する際、優劣を強調しすぎると、学生は、自分自身で熟慮的思考を行わず、無意識のうちに教員が優位と示した解法をパターン認識的に採用してしまうことである。これをヒューリスティックという。このような例は答案を観察すると判明する場合があります、これは学修力の向上を阻害してしまう。また、要素 2、5 において、教科書内容への CT をミスリードしたり、専門への応用の可能性が希薄な分野において、CT を強調しすぎると、返って教科への興味を損なってしまい学修力向上には障害となる。さらに、要素 4 において、学習法が十分確立していない学生が多い場合、CT を慎重に用いなければ、返って学習法に混乱をまねき、学修力向上の障害となる。以上を総括すると、CT 活用度の活性化により、数理の学修力が向上することを、強く示唆する成果が得られた。しかし、一方で CT 活用は、個々の学生やクラスの状況に応じて、適切に活性化を図らなければ、返って、ヒューリスティックを助長したり、科目への興味を減退させる場合もあり、慎重な指導が必要であるという重要な知見も得られた。

<引用文献>

楠見孝、子安増生、道田泰司 編、批判的思考を育む、有斐閣、2011、pp.2-3
 平山るみ、楠見孝、批判的思考態度が結論導出プロセスに及ぼす影響 - 証拠評価と結論生成課題を用いての検討 -、教育心理学研究 第 52 号、2004、pp.186-198

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 4 件)

谷口進一、西 誠、山岡英孝、中 勉、高香滋、クリティカルシンキングの活用による数理科目の学修力向上効果の分析、KIT Progress(工学教育) 査読有、Vol.24、2016、pp.11-19、https://kitir.kanazawa-it.ac.jp/infolib/meta_pub/G0000002repository
 山岡英孝、谷口進一、西誠、クリティカルシンキングの活用による数理の学修力向上 - クリティカルシンキングを活用させる授業による数理の学修力向上効果の分析と考

察 -、KIT Progress (工学教育) 査読有、Vol.24、2016、pp.297-306
https://kitir.kanazawa-it.ac.jp/infolib/meta_pub/G0000002repository
 [学会発表](計 12 件)

谷口進一、西 誠、山岡英孝、数理におけるクリティカルシンキングの活用に関する分析、第 22 回大学教育研究フォーラム(京都大学高等教育研究開発推進センター)

2016 年 3 月 17 日、京都大学(京都市左京区)
 西 誠、谷口進一、山岡英孝、クリティカルシンキングを活用したアクティブラーニング型授業の実践 - レポート相互評価の効果 -、平成 27 年度工学・工学教育研究講演会(日本工学教育協会)、2015 年 9 月 2 日、九州大学(福岡市西区)

谷口進一、西 誠、山岡英孝、数理におけるクリティカルシンキングの意識及び志向性の評価分析、第 21 回大学教育研究フォーラム(京都大学高等教育研究開発推進センター)2015 年 3 月 13 日、京都大学(京都市左京区)

谷口進一、西 誠、山岡英孝、中 勉、高香滋、数理のクリティカルシンキングに対する意識の分析、平成 26 年度工学・工学教育研究講演会(日本工学教育協会)、2014 年 8 月 28 日、広島大学(東広島市鏡山)

6. 研究組織

(1)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

(2)研究分担者

西 誠(NISHI, Makoto)
 金沢工業大学・基礎教育部・教授
 研究者番号: 00189250

中 勉(NAKA, Tsutomu)
 金沢工業大学・基礎教育部・准教授
 研究者番号: 40148151

高 香滋(TAKA, Koji)
 金沢工業大学・基礎教育部・准教授
 研究者番号: 90175422

山岡 英孝(YAMAOKA, Hidetaka)
 金沢工業大学・基礎教育部・講師
 研究者番号: 10443045

(3)連携研究者

石井 晃(ISHII, Akira)
 金沢工業大学・基礎教育部・教授
 研究者番号: 70064475

小山 陽一(KOYAMA, Yoichi)
 金沢工業大学・基礎教育部・教授
 研究者番号: 10153701