

微分積分学講義におけるコンセプトテストの因子解析 -ピア・インストラクションを導入した授業の実践と分析- Factor Analysis of Mathematical Concept Tests in Calculus Course -Practice and analysis of lectures introducing the peer instruction-

山岡 英孝, 西 誠, 工藤 知草, 谷口 哲也
Hidetaka YAMAOKA, Makoto NISHI, Tomoshige KUDO,
Tetsuya TANIGUCHI

学生同士による学び合いを促進させる授業運営を目指し,「ピア・インストラクション」と呼ばれる手法を採用した. この手法は, コンセプトテスト(概念問題)に対する「正答の妥当性の根拠」を学生たち同士で議論することで, 学習事項の概念の理解を深める手法である. 前号において, 授業の実施手法を紹介し, 開発したコンセプトテストとその正答率を報告した. 本号においては, 微分積分学講義で使用したコンセプトテストに対する因子解析の結果を報告する. 我々は, 各コンセプトテストに対する正答率について, 学生たち同士による議論の前後での変化(PI 効率)を調べることで, コンセプトテストが含有する学習事項の概念因子の抽出を試みた. 本論文では, 3年間にわたって実施したコンセプトテストの PI 効率を示し, そこから抽出される概念因子を報告する. さらに, 授業で使用したコンセプトテスト全体を母集団とする t 検定により, 抽出した概念因子の定量的な分析を行った.

キーワード: ピア・インストラクション, コンセプトテスト, 因子解析

We adopted a method called "Peer Instruction" aiming at class management that promotes learning among students. This method is a method to deepen the understanding of the concept of learning matters by discussing among "students" the "rationale for validity of correct answers" to concept tests. In the preceding issue, we introduced the method of practicing the lesson and reported the developed concept tests and their accuracy rate. Further, we report the results of factor analysis on the concept tests used in calculus course in this issue. We tried to extract the conceptual factors of the learning matters contained in the concept test by investigating the change (PI efficiency) before and after the discussion by students about the accuracy rate for each concept test. In this paper, we show the PI efficiency of the concept test conducted over 3 years and report the conceptual factors extracted from it. In addition, quantitative analysis of extracted conceptual factors was carried out by t -test with the entire concept test used in the lesson as a population.

Keywords: Peer Instruction, Concept Tests, Factor Analysis

1. 緒言

現在、国を挙げて目指している 2020 年教育改革は、『大学入学者選抜試験改革』、『大学教育改革』、『高等学校教育改革』の三位一体での『高大接続改革』として取組まれており、戦後最大の教育改革ともいわれている¹⁾。戦後からは一貫して、欧米諸国に追いつくことを目指して、個人の能力（資質）を向上させる教育よりも、集団の力に貢献できる「与えられた課題を素早く的確に処理する人材」を育てることを目標とした教育が続いてきており、これは産業界からの要望とも合致したものであった。しかしながら、今後起こるであろうインダストリー4.0（第4次産業革命）後においても、先進国をリードする日本であり続けるためには、IoT、ビッグデータ、人工知能（AI）を活用できる人材育成が産業界から求められている。2020 年教育改革は、このような時代背景も鑑みた教育改革であるとともに、18 歳人口の急減、そして生産人口の急減する日本社会自体の構造変化に対応するための社会改革でもある。

この教育改革においては、『受動的教育から能動的学習』への教育の転換を目標とし、知識・技能だけを楽しむ教育ではなく、思考力・判断力・表現力を身につける学習を目指しており、2020 年度から 2024 年度にかけて小中高に導入される次期学習指導要領全体を通して、その実現を図っている。このような教育改革全体の中の大学教育改革では、統合された 3 つのポリシー（アドミッションポリシー、カリキュラムポリシー、ディプロマポリシー）の策定が各大学に課され、大学における入学者選抜と教育課程と学位授与が一体となっていることが求められている。このように各大学の建学の綱領が尊重されてはいるが、前段で述べたような教育改革の最終課程としての大学教育が望まれていることも事実である。

筆者らの研究グループでは、思考力・判断力・表現力を身につける学習の 1 つの方法として、ピア・インストラクションを導入した数学の講義を 2016 年より実施してきた。本論文では、微分積分学講義における 3 年間のデータを分析した結果を報告する。さらに、ピア・インストラクションを導入するために使用したコンセプトテストについて、概念因子の定量的な分析を行った結果を報告する。

2. ピア・インストラクションとコンセプトテスト

筆者らの研究グループでは、数学の概念問題（以下、コンセプトテスト）を創案し、「ピア・インストラクション」と呼ばれる手法で、数学概念の理解を促進させる授業を実践した²⁻⁷⁾。この手法は、学生同士による学び合いを促進させる授業運営法である。授業において、コンセプトテストに対する「正答の妥当性の根拠」を学生たち同士で議論することで、学習事項の概念理解を深める目的がある。

2. 1 ピア・インストラクション

授業では、ピア・インストラクションの一般的な手法に基づいて、選択肢形式のコンセプトテストを提示し、それに対する解答番号をクリック*を用いて回答させた。その際、

- 1) コンセプトテストをスライドに提示
- 2) 学生に回答させ、集計結果を提示
- 3) ピア・インストラクションの実施
- 4) 同一のコンセプトテストに対して再回答し、集計結果を提示
- 5) 正解を示し、その理由を解説

という手順に従った。

どの選択肢を回答した学生が多かったかという情報を授業クラス全体で共有（手順 2）したうえで、学生同士で、

* オーディエンスレスポンスシステムの一つ。聴衆が手元にある端末のボタンを押して回答すると、即座に集計されてスクリーンなどに表示されるシステム。

- ・正しい選択肢はどれか？
- ・正しい選択肢の正当性の根拠は？

などについて議論し合うことが、ピア・インストラクションの根幹である（手順3）．クラスの習熟度に合致した難易度のコンセプトテストを提示した場合は，1回目の回答時には正解を回答する学生が6～7割で，2回目の回答時に正解を回答する学生が8～9割に変化する．このような場合，学生同士の議論が効果的に行われていると考えられている⁸⁾．

2. 2 コンセプトテスト

これまでの研究³⁻⁷⁾により，コンセプトテストは，

- ・さまざまな概念を融合した知識活用型の問題
- ・ある概念を別視点でとらえるような知識応用型の問題

に分類することができる．コンセプトテストの例として，三角関数のグラフの概念を問う問題の例を以下に示す（図1）．図1（左）は知識応用型の問題の一例であり，図1（右）は知識活用型の問題の一例である．（左図は文献6)より，右図は文献2)より再掲．）

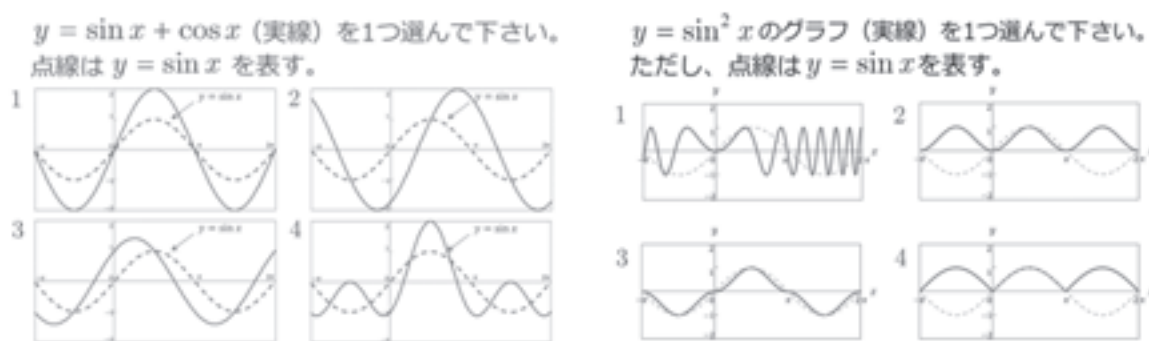


図1 三角関数のグラフについてのコンセプトテストの一例

3. ピア・インストラクションとコンセプトテストの定量的分析

3年間にわたって実施した微分積分学講義は，大学初年次の前学期開講科目であり，2016年度は工学部の59名（欠損値1）に対して13問を，2017年度は工学部の55名（欠損値6）に対して15問を，2018年度は工学部の56名（欠損値5）に対して12問を実施した．このほかに，1度目の正答率が高くピア・インストラクションを実施しなかった設問は，2016年度は3問，2017年度は14問，2018年度は8問であった．

3. 1 ピア・インストラクションの効果

ピア・インストラクションの効果は，2度提示するコンセプトテストの正答率により算出することができる．Hakeの規格化ゲインの手法⁹⁾を援用した

$$\eta = \frac{(\text{議論後の正答率}) - (\text{議論前の正答率})}{1 - (\text{議論前の正答率})}$$

により，ピア・インストラクションの効果（以下，PI効率）を測る．微分積分学の講義においてこの3年間にわたって実施したコンセプトテストの正答率変化とPI効率の結果を図2に示す．

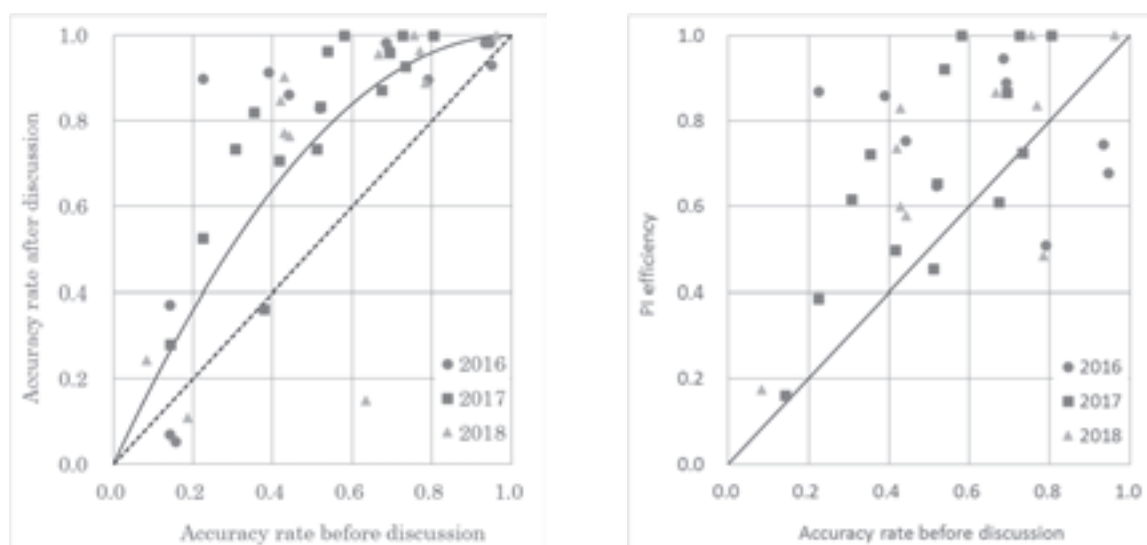


図2 微分積分学講義における正答率変化（左）とPI 効率（右）

図2左は、横軸をピア・インストラクション前の正答率、縦軸をピア・インストラクション後の正答率とした各コンセプトテストの分布である。文献8)によれば、ピア・インストラクションの理想的な正答率変化を表す標準曲線が与えられており、左図に実線で示した。この標準曲線付近の設問が多く、効果的にピア・インストラクションを実施することができた。左図の左下付近のコンセプトテスト（2016年度の2問）については出題順を変更することで、有効な設問として活用できたものと、依然、同じような結果となった設問がある。このような分析を経て、今後、有効なコンセプトテストを開発していく予定である。

標準曲線付近に分布する設問を、より詳しく分析するために、縦軸をPI 効率に取り直したものを図2右に示す。このとき標準曲線は $\eta =$ （議論前正答率）の標準直線（図の実線）で表される。図から、コンセプトテストの出題順を構成し直し、出題前の講義内容を工夫することで、2016年度や2017年度に標準直線の下に位置していたコンセプトテストの効率が上がったことが分かる。2018年度において、依然、標準直線の下に位置する設問は、過去2年間はPI 効率の高かったコンセプトテストである。2018年度の実施においてPI 効率が下がった原因は、事前の設問を変更したためであると推測される。このことから、コンセプトテストの特性を分析するときには、その出題環境も考慮する必要がある。今後、このような詳細分析についても報告したい。

3. 2 コンセプトテストの因子解析

我々の研究の現段階では、個々のコンセプトテストの詳細分析を行う前段階として、標準直線を大きく上回ったり、下回ったりするようなコンセプトテストの大きな特性を把握したい。そこで、使用したコンセプトテスト全体を母集団とする t 検定により、このような特徴をもつコンセプトテストの概念因子を抽出することを試みた。そのため、標準直線からのデータのずれを δ とおき、コンセプトテストを定量的に評価するパラメータとした。全コンセプトテスト40問の δ を母集団とした分布を図3に示す。まだ設問数が少なく、十分にガウス分布に近づいてはいないが、平均は0.013であり、標準偏差は0.32であり、今後、ピア・インストラクションの実施を重ねれば、良い分布を示すことが予見される。

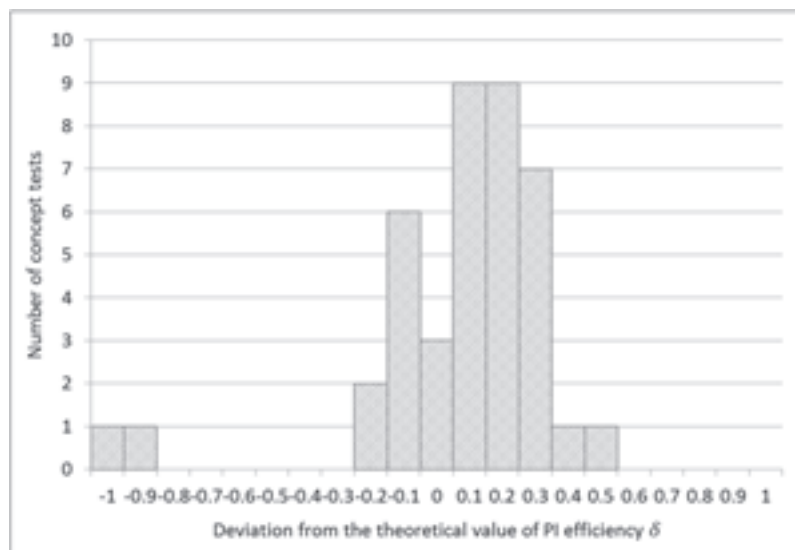


図3 PI 効率の標準直線からのデータのずれの頻度

まず、標準直線からのデータのずれ δ の大きい 9 問（平均 0.28, 標準偏差 0.08）を抽出し、有意水準 0.05 の t 検定を行ったところ、検定統計量は 4.60 となり、母集団よりも有意な差が得られた。従って、これらのコンセプトテストは、他の問題よりも PI 効率の高い問題であると言える。これらの問題は、三角関数のグラフを提示し、そのグラフを表す関数の式を選択させる問題と、2 次関数のグラフの平行移動に関する問題など、関数のグラフに関して関数の式を整理しながらその関係を判断する問題であった。（この 9 問の正答率変化のグラフを図 4 左に示す。）

次に、標準直線からのデータのずれ δ が下回る 9 問（平均 - 0.12, 標準偏差 0.13）を抽出し、有意水準 0.05 の t 検定を行ったところ、検定統計量は 1.69 となり有意な差は得られなかった。（ただし、大きく下回る 2 問は、設問自体の特性以外の要因が影響していると考え除外した。）従って、これらのコンセプトテストは、他の問題よりも PI 効率が低い問題であるとは言えない。（この 9 問の正答率変化のグラフを図 4 右に示す。）

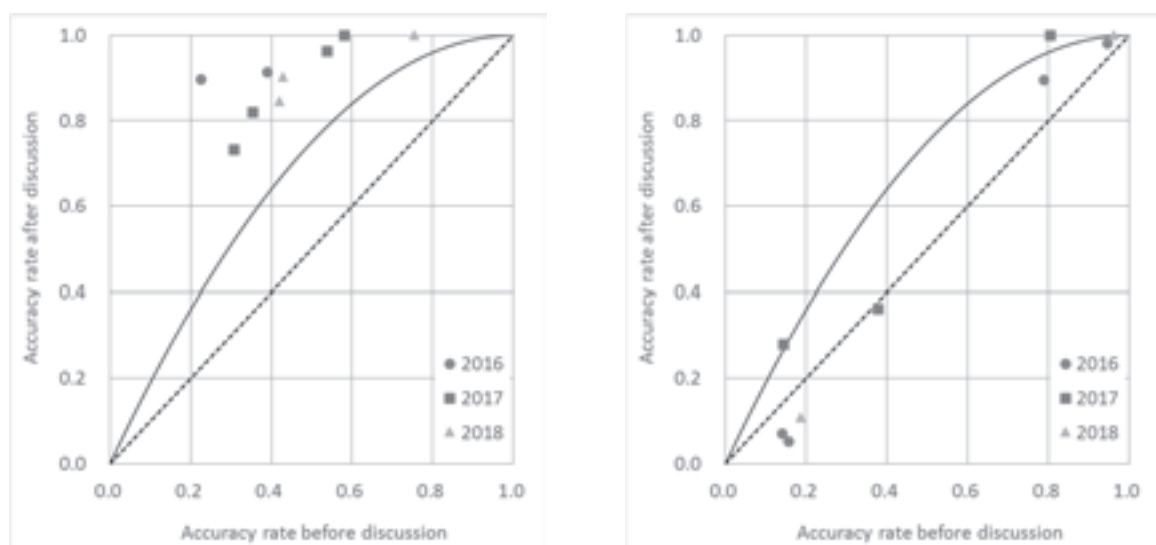


図4 PI 効率の高いコンセプトテスト（左）と比較的効率の低いコンセプトテスト（右）

図 4 右から分かるように、これらのコンセプトテストが、他の問題よりも PI 効率が低い問題であるとは言えない要因として、実施期間中にそれが改善された問題が含まれていることが挙げられる。これから、一見 PI 効率が低いコンセプトテストであっても、その出題環境を整えることで、PI 効率を向上させることが可能であることが示唆される。従って、我々の研究グループで開発したコンセプトテストは、ピア・インストラクションにふさわしい設問群であると結論づけられる。

4. 結語

微分積分学講義において、2016 年度から 2018 年度までの 3 年間にわたって実施したピア・インストラクション型講義の効果について、定量的な分析を行った。その結果、標準直線を上回るような PI 効率の高い講義が実施できたことが分かった。また、コンセプトテストの因子解析の結果、関数のグラフと関数の式の関係を考えさせるような設問（概念因子）に対して、標準直線を有意に上回ることが分かった。

我々の研究では、このようなコンセプトテストの PI 効率が高いことに以前から注目し、設問の特徴からそれらを分類し、それに応じた出題環境について論じてきた⁶⁾。この観点から、出題環境を改善したコンセプトテストは PI 効率が向上している。これについては、PI 効率の比較的低い設問群に対して t 検定を行った結果、母集団と有意な差は得られなかったことからその改善が示された。

今後の研究では、ピア・インストラクションで提示するコンセプトテストと数理の諸概念との関係を明らかにし、学習過程に応じたピア・インストラクションの活用法について考察していきたい。そして、2020 年教育改革システムにおけるコンセプトテストの活用法についても提案したい。

謝辞

本研究の経費は、平成 29 年度科学研究費助成事業（JSPS 科研費 基盤研究 C：課題番号 17K01096 「新テストに適合した数学・物理のピア・インストラクションと数学概念調査の開発」）によるものであり、ここに謝意を表します。

参考文献

- 1) 安西祐一郎, 戦後最大の教育改革が進行中, サービスロジー, 4 巻 2 号, pp.1-2, 2017
- 2) 山岡英孝 他, 概念問題を活用した深い学習への取り組みーピア・インストラクションを導入した微分入門講義の実践ー, 平成 28 年度 工学・工業教育研究講演会講演論文集, pp.322-323, 2016
- 3) 谷口哲也 他, 数学におけるピア・インストラクションの実践および授業効果, KIT Progressー工学研究ー, 第 25 号, pp.127-133, 2017
- 4) 谷口哲也 他, ピア・インストラクションによる統計学入門講義の改善, 平成 29 年度 工学・工業教育研究講演会講演論文集, pp.314-315, 2017
- 5) 工藤知草 他, 対話的学びを実現する数学概念問題の作成と講義の実践ーピア・インストラクションを導入した線形代数入門講義の実践, 平成 29 年度 工学・工業教育研究講演会講演論文集, pp.322-323, 2017
- 6) 山岡英孝 他, 概念問題を活用した深い学習の授業効果, KIT Progress 工学教育研究, No.26, pp.119-128, 2018
- 7) 谷口哲也 他, 統計学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 工学教育研究, No.26, pp.329-338, 2018
- 8) 新田英雄 他, ピア・インストラクションを導入した物理入門講義の実践と分析, 科学教育研究, Vol.38, No.1, pp.12-19, 2014

- 9) Hake, R., Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses, Am. J. Phys. 66, pp.64-74, 1998

[原稿受付日 平成 30 年 8 月 20 日, 採択決定日 平成 30 年 11 月 12 日]



山岡 英孝
准教授・博士 (情報学)
基礎教育部
数理基礎教育課程
数理工教育研究センター



工藤 知草
講師・博士 (理学)
基礎教育部
数理基礎教育課程
数理工教育研究センター



西 誠
教授・博士 (工学)
基礎教育部
数理基礎教育課程
数理工教育研究センター



谷口 哲也
講師・博士 (理学)
基礎教育部
数理基礎教育課程
数理工教育研究センター