

令和 2 年 7 月 13 日現在

機関番号：14302

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2019

課題番号：16K01015

研究課題名(和文) 物理教育におけるアクティブ・ラーニングを実現する生徒・学生実験の総合的検討

研究課題名(英文) Comprehensive study of students experiments for active learning in physics education

研究代表者

村田 隆紀 (MURATA, Takatoshi)

京都教育大学・ 名誉教授

研究者番号：10027675

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)： 生徒・学生の概念的理解を促し、知識の活用力を育むために、電気、力学、熱分野におけるアクティブ・ラーニングを実現する生徒実験を中心とした物理授業プランを複数、開発し、それを実践できる教員研修を行った。具体的には、毎夏に、背景の異なる多様な生徒を対象とした公開講座を開催して、開発した授業プランを実践的に検証し、さらに複数の高校で実践することにより、効果の検証を行った。その結果、開発したプログラムが、生徒の物理に対する能動的な学びを促し、概念的理解を深めることを明らかにした。さらに、現職教員を対象とした研究会等において、日本における生徒実験の現状の課題を解決する実践例として高く評価された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

日本の高校・大学初年次の生徒・学生実験の実態について、その背景を含めて広く調査、分析することにより、日本の生徒実験における課題の本質と改善の方向性を明らかにするとともに、その結果に基づき、アクティブ・ラーニング型授業を可能にする生徒実験および指導法を評価法とあわせて複数開発している。さらに、開発したプログラムを現職教員が実践するための教員研修のあり方も同時に提案していることから、本研究の成果は実用性が高く、教育現場への応用が期待されている。

研究成果の概要(英文)： In order to promote students' conceptual understanding and foster their ability to utilize their knowledge, we have developed and practiced multiple physics lesson plans centered on student experiments that realize active learning in the fields of electricity, mechanics, and heat. Specifically, every summer, an open lecture was held for various students with different backgrounds, and the developed lesson plan was practically verified.

Furthermore, based on the results, we practiced the revised plan at multiple high schools and improved them. As a result, it was clarified that the developed program promotes students' active learning about physics and deepens conceptual understanding. In addition, in a workshop for in-service teachers, it was highly evaluated as a practical example of solving the current problems of student experiments in Japan.

研究分野：物理教育

キーワード：アクティブ・ラーニング 生徒実験 物理教育 教員研修

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

高校および大学初年次の物理教育において、教員から学生・生徒への一方的な知識の伝達中心の授業(伝統的な講義型授業)からの脱却が世界共通の課題となっている。その背景として、講義型の物理授業を受けた学習者の概念的・定着の低さが、米国の「物理教育研究: Physics Education Research(以下、PER)」グループによって定量的に明らかにされたことに端を発する。この課題に対して PER では、認知心理学の知見に基づき、物理学習における学習者の認識の過程をふまえた課題設定、教材から授業構成および評価法までを含む一連の「アクティブ・ラーニング(AL)」プログラムが複数開発され、従来の講義形式の授業に比べ、学習者の物理概念の定着、理解に大幅な改善が報告されている。

国内においては、「物理教育国際会議(ICPE2006)」以降、PERにおいて開発されたALプログラムによる授業実践[1-3]が全国的な広がりをみせるとともに、日本でAL型授業を実施する際の効果と課題が明らかになっていった(例えば[2])。また、PERにおいて開発された力学概念に関する評価問題を用いた大規模実態調査の結果、高校で物理を履修した日本の学生・生徒は、米国と同様に概念的・理解に困難があることも明らかになっていった[4]。ここで、物理教育における重要な柱のひとつである、学習者による実験(以下、生徒実験)に注目すると、高校物理では実験がほとんど行われておらず[5]、さらにそのほとんどが、教師による手引き書(ワークシート)の手順に沿って、法則や既習事項を確認する「検証実験」型であるという実態があった。その結果、学習者の意識は「指示された手順を正確になぞること」や「よい結果(=教えられたとおりの結果)が得られるかどうか」に集中しやすくなり、結果として、たとえ実験を経験しても、概念的・理解にはつながりにくい現状が陽に示唆されていた。一方で、現場の教師は、このような物理実験の現状の理由として「現在の高校物理の教育課程の過密さや多忙さを挙げ、優れた指導方法等に関する情報を得る機会を求めている」という調査結果がある[6]。つまり、教師はこれらの問題を打開するためにAL型実験や授業をしようと思っても、時間的、知識・技能的にも困難な環境にいることを示唆していた。

以上をまとめると、本研究開始当初における、日本でAL型授業を展開するための課題として、次のことが挙げられた。

- (1) 現状の日本では、PERにおいて開発されたALプログラムを対象とした、AL型授業の構成法・評価法に関する研究がほとんどであり、物理実験の実態に基づき、AL型授業に適した生徒実験の手法・評価法に関する研究は行われていない。特に、高校物理の単元学習やカリキュラムに位置づけることを目指した研究は行われていない。
- (2) 高校の物理教師がAL型物理授業を実施するための組織的な支援、とりわけ教員研修プログラムが必要である。

### 2. 研究の目的

本研究は、現在、高校・大学初年次物理教育において課題となっている、生徒・学生の概念的・理解を促し、知識の活用力を育むために、アクティブ・ラーニングを実現する物理実験のあり方について、物理学習における単元(分野)間のつながりや学習者の概念的・実態を考慮した、課題設定、教材設定から指導方法、評価方法、教員研修にいたる総合的な物理教育プログラムの研究開発を行った。

### 3. 研究の方法

#### 【1年目】

高校物理における生徒実験の実態調査とそれに基づくAL型実験授業プランの開発。

国内外のAL型授業における物理実験の実態を調査し、それに基づき、研究会所属の高校教員を中心にAL型授業用「生徒実験プラン(教材を含む)」を複数開発し、研究会で議論、検討する。

#### 【2~4年目前半】

AL型実験授業プランの公開講座による検証とそれをふまえた研究協力校における実施。

公開講座には、国内外の物理教育関係者を招聘し、教育現場への適用を前提とした客観的視点で授業評価を行い、その結果を反映した指導案(および教師用ガイド)を作成し、研究協力校で実践・検討する。

#### 【4年目後半】

開発したプランを用いた教員研修の実施とプログラム化を目指した公開研究会の開催。そこで、AL型授業のための生徒実験および現場支援のあり方についてまとめる。

### 4. 研究成果

#### (1) 平成28年度

研究初年度は、高校・大学の物理教員で構成する既存の研究会を再組織化し、おもに国内外の生徒・学生実験を中心としたアクティブ・ラーニング(AL)型の物理授業の動向について調査研究を行った。具体的には、米国PERにおいて開発された「Open Source Tutorials(OSTs)」と呼ばれる学生実験を中心とした演習型のAL型授業に注目し、日本の大学生を対象とした授業実践を行い、その学習効果の検証および授業運営のあり方について検討した。

授業のテーマは、典型的な誤概念が明らかにされている電気回路分野とし、実施にあたっては、国内でOSTsの第一人者である東京学芸大の植松氏らのグループを講師およびTAとして招聘し、

それに研究会のメンバーも研修を兼ねて TA として参加した。また、授業は物理教育関係者に対して公開し、事後に検討会を開催した。

授業前後の概念テストの結果、OSTs は「演示実験を中心とした講義型の AL 型授業 (ILDs)」と同等の高い効果があることが明らかになった。特に、学習者アンケートの結果、「学習者自身が手を動かして自分の予想を確認できる」という OSTs の特徴が高く評価され、それが概念獲得に寄与していることを示唆する結果を得た。一方で、各学生班の予想や考察結果を全体討論により共有し、メタ認知を促す活動を教員主導で組み込む (ILDs 型の部分的導入の) 必要性も明らかになった。

この結果をふまえて、次年度に開催するボランティアの高校生を対象とした「AL 型実験授業公開講座」の授業形式を確定し、対象とする単元の選別を行った。その結果、力学、波動、電気分野における生徒実験プランを検討、開発することにした。

## (2)平成 29 年度

昨年度の成果をふまえ、京都教育大学にて毎月 1 回、研究会を開催して、高校物理の力学分野「運動量の保存」および電気分野「コンデンサー」単元において実践可能な AL 型の生徒実験授業を開発し、高校生を対象とした公開講座により実践的検討を行った。

公開講座は、研究協力者の勤務高校を中心に高校生 (9 名) を募り、8 月に京都教育大学にて行った。授業は、研修を兼ねて研究会所属の高校教員が行い、評価のために、各班の活動や教員の動きをデジタル機器で記録し、授業の前後で、受講者の物理概念や学習観に関する質問紙調査を行った。さらに、客観的評価のために全国の物理教育関係者を中心とした授業見学者を広く募り、20 名を越える参加を得て、事後にミニシンポジウムを実施した。

講座において生徒は、課題に対する各自 (班) の予想を議論し、それに基づき自ら実験を計画して確認し、その意外な結果に驚き、その解決のために活発な議論を行っていた。事後アンケートの結果、理解度や自己効力感および積極性などのすべての項目の自己評価が高く、自由記述においても、通常の物理授業と比較して、本講座の活動を高く評価する記述が目立った。一方で、課題として、課題の難易度が参加した生徒の実態に合っていない課題があり、そのフォローのために授業時間を大幅に延長してしまったこと、その結果、獲得を目指した概念変容についての評価が不十分なものになってしまったことなどが挙げられた。

したがって後半期では、公開講座で明らかになった成果と課題を基に、別の単元における AL 型生徒実験授業の開発を行うなど、次年度に再度、公開講座を開催するための準備を行った。

## (3)平成 30 年度

自己効力感および積極性などの動機づけの向上とともに概念的理解の向上を図る、適切な難易度の課題設定のあり方を探った。具体的には、前年度と同様の授業実践および評価・分析体制を設けて、8 月に京都教育大学にて、力学・電気分野の公開講座を行った。扱ったテーマは「加速度」と「電流回路」である。異なる学年の高校生 20 名 (5 校) を募り、背景の異なる多様な生徒間の相互作用を積極的に促し、その効果を検証した。そのため、課題設定をより基本的で概念的なものとし、グループ・全体での討論を重視しつつ、段階的に理解を促す展開とした。

講座において生徒は、予想時のみならず、実験後の考察において活発な議論を行っていた。事後アンケートの結果、昨年度と同様に生徒の自己評価は高く、自由記述においても「他者と議論をして自ら考えることの意義」や「(正しい) 結果だけでなく、結果から考えることの大切さ」など、本研究が目指す「生徒実験による AL」が実現されていることが示唆された。一方で、初歩的、基本的な事柄についても討論が活発になってしまい、設定した課題を終えることができなかった。これは、募集する生徒の多様性を求めた結果、前提となる知識の定着度の幅が想定を超えて大きかったことが原因として挙げられた。

## (4)令和元年度

これまでに明らかになった課題「生徒の持つ強固な素朴概念を明確にしてアプローチしていくこと」「生徒が討論の中で自ら気づくことを促す問いの選択などを解決していくこと」の解決を目指した。また、教科書において実験の少ない熱学分野を対象とすることにより、生徒の認識を分析しながら、それを AL に活用する実験授業の開発検討を行った。

具体的には、これまでの研究の集大成として、生徒同士が予想、討論を通して、実験とその結果について理解を進める展開とし、さらに ICT を活用することによる新しい視点のプログラムを開発し、同じ高校の生徒 (9 名) を対象とした公開講座を京都教育大学附属高校にて実施した。

課題設定において、昨年度の成果をふまえて、中学における既習のため教科書にはないが基本概念を構築する上で核となると考えられる「ヒーターを用いた一定の加熱実験」を取り入れたところ、予想以上に概念理解の混乱、素朴概念の強固さが見いだされた。一方で、自分の予想と実験結果との違いが生じた理由について、グループ討論を通してメタ認知的な分析できていた。また、概念テストの結果 (規格化ゲイン 0.31) とアンケート調査の結果から、熱学分野においても予想や討論を用いたこの実験プログラムを通して AL が促され、概念理解が進んだことが考察された。これらの結果より、本課題の難易度が適切に設定されていたことがわかるとともに、AL 型生徒実験における課題設定の視点が明らかになった。

さらに、研究会に教員研修として参加した教員が勤務する複数の高校の通常授業においても

このプログラムを実践し、同様の成果が得られることを確認するとともに、教育現場の現状に合わせた、より現実的で汎用性の高いプログラムとなるよう検討を行い、提案した。

#### (5)まとめと今後の課題

本研究では、生徒・学生の概念的理解を促し、知識の活用力を育むために、アクティブ・ラーニング（AL）を実現する生徒実験を中心とした物理授業プランの開発、提案を目指した。

4年間の研究期間のうち、前半は月1回の研究会を通して、高校及び大学初年度の生徒実験の実態を調査し、そこに内在する課題を明確にするとともに、生徒実験を通して生徒・学生の概念的理解を促す手法についての研究を行った。具体的には、電気、力学、熱分野におけるALを実現する生徒実験プランの開発であり、「探究を意識したプラン」、「実験方法を議論しながら実験していくプラン」、「予想・討論・実験を通して誤概念を明らかにし、概念理解を深めるプラン」など、学習場面や目的に応じたプランとなっている。また、2年目以降の毎夏には高校生を集めて、計3回の公開講座を開催し、教員をファシリテーターとした、背景の異なる多様な生徒間の討論活動を軸として、概念理解を深めていく授業プランを検討し、その成果をもとに各高校での実践し、結果を分析することにより、さらに各プランの改善を行った。

特に、本研究で開発した「衝突実験から運動量の保存を発見していく探究」、「ショート（短絡）回路やコンデンサーの充電・放電実験を通じた電流電圧概念の振り返る活動」、「ヒーターによる水の加熱実験における温度センサーのリアルタイムのデータから熱と温度について考察する活動」「乾電池の内部抵抗の存在を探究的に発見する活動」などの授業プランは、高校物理実験の現状の課題（1節参照）を解決するヒントとして、現職教員を中心とした研究会やミニシンポジウムにおいて高く評価された。したがって、今後は他分野においても同様の研究開発を行っていく必要がある。

一方で、公開講座やその後の現場実践、概念調査調査結果より、概念理解は容易には進まず、誤概念は教員が思っている以上に強固であることもまた再認識された。たとえば、熱分野では学習の前提としている概念に対して、多くの生徒が非常に強固に誤った認識をしていることが明らかになったが、授業においては想定外の場面で活発な議論が生じ、結果として理解の深まりにつながった。このように、高校物理学習において前提としている基本概念に対しても、生徒の理解状況に注意を払う必要性とそこに焦点を当てたはたらきかけが高校でAL型授業を実現していく上で重要であることも明らかになった。

また、本研究のもう1つの目的である教員研修プログラムの開発の視点では、これらの研究開発の過程自体が本研究に参加した現職物理教員の研修機会として機能していた。これらの実践結果は、各物理関連学会、研究会等の発表、関東や九州地区の教員研修や物理研究会などとの交流を通して、広く物理教育研究者と成果を共有している。少子化により物理教員の孤立化が進む現在において、本研究で行った手法は、個々の教員がAL型授業の開発など授業改善を試みる際の方向性を示唆している。

#### 引用文献

- [1] 村田隆紀：物理教育研究の国際的な動向と日本の課題，物理教育 63-4，278-281(2015)．
- [2] 谷口和成，笠潤平，内村浩，村田隆紀：高校物理に導入したアクティブ・ラーニングの効果と課題，物理教育 61-1，12-17(2013)．
- [3] 小川雅史，笠潤平，内村浩，谷口和成，村田隆紀：インタラクティブな手法を取り入れた「運動学」授業の試み，近畿の物理教育 16，22-27(2010)．
- [4] 覧具博義，他，日本物理学会第70回年次大会講演概要集(2015)．
- [5] 山崎敏昭，井上賢，谷口和成，内村浩：高校物理実験の実態 II－2009年大学新入生調査の分析－，物理教育 59-2，101-106(2011)．
- [6] 国立教育政策研究所，「平成20年度高等学校理科教員実態調査」(2009)．

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2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 0件）

1. 著者名 北村 貴文, 谷口 和成	4. 巻 66-4
2. 論文標題 中学生を対象にしたILDs「電気回路分野」の実践	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 物理教育	6. 最初と最後の頁 253-257
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.20653/pesj.66.4_253">https://doi.org/10.20653/pesj.66.4_253</a>	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 谷口和成	4. 巻 65-3
2. 論文標題 相互作用型演示実験講義 (ILDs) の展開と課題	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 物理教育	6. 最初と最後の頁 170-175
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.20653/pesj.65.3_170">https://doi.org/10.20653/pesj.65.3_170</a>	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計30件（うち招待講演 3件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 辻秀人, 野原大輝, 谷口和成, 山崎敏昭, 岩間徹, 栗木久, 松田淳二, 笠潤平, 村田隆紀
2. 発表標題 「生徒実験によるアクティブ・ラーニング型物理授業」公開講座の報告
3. 学会等名 日本物理学会 第75回年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 野原大輝, 谷口和成
2. 発表標題 「探究の過程」を意識した高校物理授業の実践とその課題
3. 学会等名 日本物理学会 第75回年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 古結尚, 谷口和成
2. 発表標題 高校物理力学分野におけるモデリングソフトを用いた生徒実験
3. 学会等名 日本物理学会 第75回年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 野原大輝, 谷口和成
2. 発表標題 「探究の過程」を意識した授業プランの検討
3. 学会等名 日本物理教育学会 第36回物理教育研究大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 酒谷貴史, 谷口和成, 山崎敏昭, 辻秀人, 谷口健太, 岩間徹, 古結尚, 栗木久, 山下哲, 笠潤平, 内村浩, 村田隆紀
2. 発表標題 「生徒実験によるアクティブ・ラーニング型物理授業」公開講座の報告III
3. 学会等名 日本物理学会 第74回年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 古結尚, 谷口和成
2. 発表標題 高校波動分野の概念獲得のための教材開発と実践VI
3. 学会等名 日本物理学会 第74回年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 石井哲夫, 谷口和成, 筒井和幸
2. 発表標題 「物理基礎」における力の相互作用の理解を促すILDs型授業の実践
3. 学会等名 日本物理学会 第74回年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山崎敏昭, 谷口和成, 酒谷貴史, 辻秀人, 谷口健太, 岩間徹, 古結尚, 栗木久, 山下哲, 笠潤平, 内村浩, 村田隆紀
2. 発表標題 「生徒実験によるアクティブ・ラーニング型物理授業」公開講座の報告II
3. 学会等名 日本物理学会 2018年秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 古結尚, 谷口和成
2. 発表標題 高校物理における班実験を伴ったILD運動学の実践
3. 学会等名 日本物理学会 2018年秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 酒谷貴史, 谷口和成
2. 発表標題 運動学におけるICTを用いた生徒実験を中心とした授業実践の試み
3. 学会等名 日本物理教育学会 第35回物理教育研究大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 石井哲夫, 谷口和成, 筒井和幸
2. 発表標題 力の相互作用に関する「物理基礎」授業の課題 - 遠隔力をめぐって -
3. 学会等名 日本物理教育学会 第35回物理教育研究大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 谷口和成
2. 発表標題 授業研究における『公開講座』の意義と活用 - アドバンスング物理研究会のアクティブ・ラーニング研究 -
3. 学会等名 物理教育研究会 (APEJ) 夏期大会 (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 古結尚, 谷口和成
2. 発表標題 高校物理における振り返り活動の共有を行ったILD運動学の実践
3. 学会等名 日本物理学会 2017年秋季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 谷口和成, 山崎敏昭, 岩間徹, 笠潤平, 村田隆紀
2. 発表標題 「生徒実験によるアクティブ・ラーニング型物理授業」公開講座の報告
3. 学会等名 日本物理学会 2017年秋季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 古結尚, 谷口和成
2. 発表標題 高校波動分野の概念獲得のための教材開発と実践V
3. 学会等名 日本物理学会 第73回年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 谷口和成
2. 発表標題 相互作用型演示実験講義(ILDs)
3. 学会等名 日本物理教育学会 第33回物理教育研究大会(招待講演)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 青木海仁, 谷口和成
2. 発表標題 二次元運動に関するILDs授業の実践
3. 学会等名 日本物理教育学会 第33回物理教育研究大会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 齋藤孝, 谷口和成
2. 発表標題 ILDsによる学習効果に対する動機づけの変容
3. 学会等名 日本物理教育学会 第33回物理教育研究大会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 谷口和成, 齋藤孝, 植松晴子
2. 発表標題 相互作用型演示実験授業 (ILDs) とチュートリアルによる電気回路学習効果の比較II
3. 学会等名 日本物理学会 2016年秋季大会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 谷口和成
2. 発表標題 深い学びに大切なこと～動機づけとアクティブ・ラーニング～
3. 学会等名 日本物理学会第7回物理教育シンポジウム(招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 齋藤孝, 植松晴子, 谷口和成
2. 発表標題 相互作用型演示実験授業(ILDs)とチュートリアルによる電気回路学習効果の比較III
3. 学会等名 日本物理学会 第72回年次大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 青木海仁, 谷口和成
2. 発表標題 平面運動における力学概念の理解を促す相互作用型演示実験講義(ILDs)の実践
3. 学会等名 日本物理学会 第72回年次大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 古結尚, 谷口和成
2. 発表標題 高校波動分野の概念獲得のための教材開発と実践IV
3. 学会等名 日本物理学会 第72回年次大会
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 R. D. Knight (著), 並木 雅俊 (監修, 翻訳), 興治 文子 (翻訳), 鈴木 勝 (翻訳), 副島 雄児 (翻訳), 谷口 和成 (翻訳), 安田 淳一郎 (翻訳), 山本 隆夫 (翻訳)	4. 発行年 2017年
2. 出版社 丸善出版	5. 総ページ数 329
3. 書名 物理を教える 物理教育研究と実践に基づいたアプローチ	

〔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
研究分担者	谷口 和成  (TANIGUCHI Kazunari)  (90319377)	京都教育大学・教育学部・教授    (14302)	
研究分担者	笠 潤平  (RYU Jumpei)  (80452663)	香川大学・教育学部・教授    (16201)	
研究協力者	山崎 敏昭  (YAMAZAKI Toshiaki)		

## 6. 研究組織（つづき）

	氏名 (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	岩間 徹  (IWAMA Toru)		
研究協力者	辻 秀人  (TSUJI Hideto)		
研究協力者	酒谷 貴史  (SAKATANI Takafumi)		
研究協力者	栗木 久  (KURIKI Hisashi)		
研究協力者	松田 淳二  (MATSUDA Junji)		