

**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：32639

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25350241

研究課題名(和文)Active Learning型物理探究プログラム開発のシステム開発

研究課題名(英文)Development of Physics Inquiry Program for Active Learning

研究代表者

石井 恭子 (ISHII, Kyoko)

玉川大学・教育学部・教授

研究者番号：50467130

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：海外ですでに多くの成果の出ているActive Learningの一つである“Physics by Inquiry”の理念や授業方法を検討し、日本における活用可能性を検討した。その結果、海外のカリキュラムを当てはめるのではなく、その理念を生かして、児童・生徒自身が探究的に学びながら理解を深める授業プログラムを教員自身が開発することが可能であるとわかった。そのためには、小・中・高・大教員がお互いの考えや実践に敬意を持ち、継続的に互恵的な協働研究を行うことによって学び合う組織の中で、個々の教員の教材開発や授業研究が促進されることがわかった。

研究成果の概要(英文)：This study investigated the principles and teaching methods involved in “Physics by Inquiry,” a type of active learning that has yielded extensive positive results globally, and its potential for application in Japan. The findings imply that, rather than the direct application of curriculums from abroad to the Japanese context, teachers can use these principles to develop their own teaching programs that enable learners to deepen their knowledge through their own inquisitive learning. It was found that this requires teachers from primary school, middle school, senior high school and college or university to respect one another’s ideas and practices and to conduct ongoing mutually beneficial collaborative study, thereby allowing each teacher’s development of materials and “lesson study” activities within a system of mutual learning.

研究分野：科学教育

キーワード：アクティブラーニング 物理教育研究 チュートリアル Physics by Inquiry 探究 小中高連携 協働研究

### 1. 研究開始当初の背景

科学教育における知識獲得と探究との二項対立は、1960年代の教育の現代化といわれた時代から続く長年の課題である。2008年に示された中央教育審議会答申でも、習得型教育と探究型教育の両方を総合的に育成することが必要と明記されたが、具体像が示されないまま言葉のみの主張にとどまり、なかなか実現できずにいる。

一方で物理教育の分野において、欧米では、1980年代から、生徒自身の物理概念の理解を目指す授業を目指し、認知科学等の研究と結びつけて科学的に研究する物理教育研究(Physics Education Research、以下PER)が進んできた。国内においては、物理教育国際会議東京(ICPE2006)で、PERの研究のプロセスや成果、それに伴って開発されたさまざまなアクティブラーニング(能動的学習)のプログラムが多数紹介された。これらのプログラムは理系各大学や附属校、私立学校などを中心にILDs(双方向デモンストレーション)や、CASE(科学教育による認知加速)、また、Advancing Physics、Peer Instruction、FOSSなどの実践研究が始まっている。また、そこで紹介された『Physics Suite』(Edward Redish著)が2012年に『科学をどう教えるか』(丸善出版)として翻訳出版されてから、チュートリアル等生徒自身が探究しながら物理概念を身につけていく授業方法への関心は急速に高まっている。

知識基盤社会に生きるための教育への変革を模索する中で、これら欧米の探究カリキュラムが大学附属校や私立学校などを中心に検討され、実践も行われ始めている。さらに地域の公立学校の小・中・高・大連携による縦断的・継続的な実践研究や、日本の教育の実態に合わせた活用可能性についての検討が課題となっている。

### 2. 研究の目的

本研究は、日本において課題となっている概念理解に結びついた科学的探究の授業の実現に向けて、アメリカですでに成果の出ているActive Learningの一つである“Physics by Inquiry”(以下PbI)を用いた探究プログラムを、小・中・高・大の教員がともに開発するシステムの開発を行うものである。知識定着を基本とする日本の教育において、欧米の探究カリキュラムの理念が着目され紹介されているが、日本の教育課程との比較検討を踏まえた活用可能性については、各学校種における児童・生徒実態の概念形成を考慮した研究が必要である。そこで、本研究では、既に構築されている福井県内の公立小・中・高・大の理科教員ネットワークを生かし、小・中・高一貫した探究プログラム開発のシステムを開発することを目的とする。

### 3. 研究の方法

本研究は、調査研究とプログラム開発、実践研究の3つの柱で進める。そのために、申請者と研究分担者、県内の小・中・高教員で組織する協働研究組織を構築する。

まず、調査研究では、日本への活用可能性を検討するために、日米のカリキュラム構造の比較研究と、PbIの開発および普及母体であるWashington大学への訪問調査を行った。

次に、PbIの理念や授業方法を大学主体で翻訳し暫定翻訳版を作成し、ともに検討する小・中・高・大教員の協働研究組織(Fukui Active Learning研究会)を構築する。研究会においては、PbIの翻訳暫定版を用いて日本における活用可能性を検討し、その理念を生かした授業プログラムを開発する。

さらに、福井大学教育地域科学部理科教育教室において暫定翻訳版を用いた試行実践を行うとともに、各学校においてPbIの理念や研究会での知見を生かした授業を開発し実践する。その授業プランや授業実践について、ともに検討し合う研究会を継続的に行い、カリキュラム開発のための組織的な実践研究システムを構築する。

### 4. 研究成果

#### (1) Washington大学における訪問調査

##### PbIの開発及び研究組織

平成26年3月3日から3月9日までPbIの開発母体であるWashington大学への訪問調査を行った。その結果、大学におけるカリキュラム(PbIおよびTutorial in Introductory Physics、以下TIP)の開発においては、物理を専門とする教員による学生・生徒の物理概念の理解の把握が最も重要であり、また博士課程の大学院生や研究スタッフはTAを行いつつ学生の概念理解や学習プロセスを対象に研究を進めている。この研究と、カリキュラム開発および改善の3つを継続的に行うことがWashington大学物理学教室の物理教育研究の大きな柱となっていることが明らかとなった。また、プログラム開発においては、物理の内容に関する深い理解と同時に認知科学や教育学に関する知見も必要であることを確認し、大学においても教員の協働研究が重要であることを確認した。

##### 高校におけるPbIを活用した授業事例

PbIはK-12教員養成のカリキュラムであるが、これを学習者として経験することで、科学的な考え方や学び方と概念理解を同時に学ぶことと、教員養成及び教員研修のプログラムとして教授法について学ぶ。

視察した高校の物理授業では、PbIの研修を受けた教員が、直流回路のカリキュラムを自校の生徒用にアレンジし改良したプログラムで授業を行っていた。2名-4名の小グループに分かれた生徒たちは教員自作のワークシートに基づいて実験と討論を行い、教員はチェックリストを持って各グループを

回り、問答しながら彼らの理解の程度を把握し、必要に応じて追加の課題を課す、という授業であった。中学校や高等学校教員が自身の学校で授業改革に取り組む際には、PbI をそのまま使うのではなく、その趣旨を生かしつつ、各自で授業プログラムを開発していることがわかった。

#### 大学と教員の協働研究組織

PbI を用いた現職教員研修 Summer Institute は毎年夏期休暇中に 6 週間かけて行われるが、その後も大学で continuation course (継続コース) が行われ、彼ら自身が学校で新たな授業改革に挑戦することを支援している。コースは毎週夕方に行われ、実践を報告し合い、ともに省察を行う場となっている。各教員が授業改革を行うためには、大学が中心となって地域教員の実践コミュニティを組織・運営し、個々の授業改革への支援が行われていることがわかった。また、このシステムは、省察的实践者 (Reflective Practitioner) としての学習組織 (Professional Learning Community) として、教育学、教員養成の分野で注目されているシステムであることが認められた。

#### (2) 日本における PbI の活用に向けて

##### PbI のカリキュラム理念と構成の検討

Physics by Inquiry は、誤概念研究と認知心理研究に基づき、物理概念の理解を目指して作成されており、自分の現在の概念を表現しグループで討論し、実験事実とのずれをもとに概念を再構築し、身につけた概念を言語化するという設問の繰り返しで構成され、教員はそのプロセスをソクラテス対話的方法で援助する。授業において、学生は 3~4 人のグループでワークシートに示された設問に沿って簡単な実験も行いながら議論を行い、自分たちの力で正解を導いていく。授業者および TA は、各グループの議論に耳を傾けつつ教室を巡回しており、議論が迷走したグループには軌道修正の介入を行っているものである。

PbI を学習することにより、以下の学習成果が期待されている。

- ・ シンプルな実験と学生同士の相互作用によって科学のプロセスを体験する。
- ・ 学生自身の観察から始め、基本的な物理概念を発達させる。
- ・ 科学的推論能力(reasoning skills)と科学的表現力を獲得し、現象を説明するためのモデルを構築(construct explanatory models)する。
- ・ 科学的概念を現実世界の現象と結びつけ、モデルで説明する練習を行う。

上記の学びを生徒に保証するために教師がすべき教授法について以下のように示されている。

- ・ 話して説明する (tell) ことよりも、問いか

ける (question) ことによる指導を重視する。

- ・ オープンエンドの問い、個別の学生との対話、小集団の議論が中心で進められる。
- ・ 生徒が、体系的な知識を獲得することよりも、探究のプロセスに積極的に参加し、考えることを支援する。

PbI は、現在 巻まで刊行されている。I 巻では物理と関連する科学にとって必須の基礎概念と基本的な推論能力、 巻には入門物理の学習に必要な基礎概念で構成されている。 巻では、体積、質量、溶解、熱、磁力、太陽と月、などが扱われ、 巻では、電気回路、電磁気、光、目で見える天文学などが扱われている。電磁気と天文学は、I 巻から 巻に継続しているが、他はそれぞれのモジュールを独立に使うことができるようになっている。

また、このテキストに沿って進む授業の前後には、事前のプレテストと、事後の補充問題が課される。こうした事前事後の問題を丁寧に検討・調査することによって、学生へのプロセス評価・フィードバックを行うとともに、カリキュラムの改訂や研究が進められている。これら PbI を検討した知見について報告した (論文、 )

##### PbI と日本のカリキュラムの比較

電気の領域について翻訳版を検討する中で、日本の小・中・高等学校における電気の領域の学習内容の流れとの大きな違いが明らかとなった。PbI では、同じような問いが繰り返されることによって物理概念の深い理解が指摘されている。また、問いを受けて、各自が自分の考えを書く学習が非常に多いこと、要所要所で教員あるいは TA のチェックポイントを設けていること、生徒が議論する場面を提示して児童・生徒自身が考えを表現すること、用語の定義は明確にされているが、操作的定義 (operative definition) も多く行われていることなどが認められた。

学習指導要領とスタンダードの位置づけなど、教育システム全般の違いはあるものの、PbI の設問や実験の中には、日本の過去の教科書でも扱われていたものも見られる。こうした観点に立って、日本の教育課程の歴史の変遷を検討し、特に光と電気の領域における内容の変化を報告した (論文、 )

##### PbI の直流電気回路領域の翻訳版検討

福井県内の小・中・高の理科教員とともに Fukui Active Learning 研究会を発足し、PbI 暫定翻訳版を実践的に検討しながら、日本の教科書や教材、教育課程との整合性、活用可能性を検討する研究会を継続的に行っている。日本の小・中・高すべてにおいて学習する大きな単元であり、古くから誤概念の研究も多く行われている直流電気回路のモジュールについて、暫定翻訳版を作成し、研究会において、PbI の内容を学習者側に立って

PbI の内容や構成、理念などを検討した。電球の内部の観察、ソケットを用いず豆電球と導線一本で明かりをつけるといった活動など、回路や電流の基本的な概念を形成するところに重点が置かれており、日本では小学校3年生に相当するが、中学校や高等学校においても、生徒の理解を助けるために活用の可能性があると共有された。

また、Washington 大学における Summer Institute の参加教員と違い、研究会メンバー全員が中高理科教員免許を持つ教員であるため、PbI を学習者として経験する中で、徐々に授業への適用や日本の教科書や学習指導要領の批判的な検討、電気の単元全体構成に関する議論、各学校における事例の紹介に発展していった。

#### 協働研究組織における SNS の活用

各学校種における開発教材や授業改善の交流をさらに活性化するために、研究会と平行して Facebook による継続的な交流を積極的に進めた。この Facebook は、福井県内理科教員だけに閉じた非公開サイトであるため、活動の成果報告というよりは検討中の課題や疑問など活発な議論が進められている。また、授業の写真なども多く掲載されることにより、経験の浅い教員からの質問に刺激されて各メンバーの教材研究が深まったり、遠隔地での実験や授業の様子を交流して意見を交換したりということが活発に行われている。

#### (3) カリキュラム開発に向けた実践研究

##### 開発プログラムの実践と改善研究

暫定翻訳版を参考に、勝山市鹿谷小学校、大野市陽明中学校、鯖江市鯖江中学校などで授業実践が行われた。たとえば、導線一本で豆電球にあかりをつけ、その後豆電球の中を観察する活動は、小学校3年生や中学校1年生でも小・中のギャップを埋める導入の活動として行われた。さらに中学校では、電球の並列回路を作る活動を生徒のグループ探究で行うことによって従来と違う生徒の様子が見られ、教師自身の授業観の転換が図られた。これらの実践は、PbI の一部を切り取って埋め込むというよりは、個々の教員が自校の児童・生徒の実態に合わせて行っている。陽明中学校における実践は、物理教育学会で報告した。(雑誌論文、学会発表)

##### 大学におけるプログラム開発と実践研究

暫定翻訳版をさらに検討し、大学生用テキストを作成して、2014年と2015年に福井大学教育地域科学部1年生の理科あるいは数学の教員志望学生(20名、19名)「基礎物理学演習」受講者を対象に、電気回路の授業を90分×15回実践した。学習の事前事後の概念理解の評価として DIRECT(Determining and Interpreting Resistive Electric Circuit Concepts Test) Version 1.2 調査を行い検討

した。その結果一定の向上率(規格化ゲイン2014年度0.31,2015年度0.45)が確認された。また、学生の省察レポートの分析により、電気回路についての「定義」や、電流の分流・合流に関する異なる仮説の併存状況をめぐって、PbI の教授方略である認知的葛藤状況が引き起こされ、グループでの相互作用によって、互いの考えを表明し合い、科学的な概念への転換へと導かれている様子が読み取れた。(論文)

また、幾何光学の分野について、PbI はじめ複数の PER-based のカリキュラム、およびその基礎となった概念調査や他の研究者による調査研究等を検討して誤概念や認知的葛藤を引き出す教材を開発し、実践した。その結果、標準化された概念テストによって一定の向上率(規格化ゲイン初年度0.44、次年度0.40)が確認された(論文)。

これらの大学での実践については、チュートリアル形式の授業法とカリキュラム開発について2014年度物理学会や新潟大学のシンポジウム等で講演を行った。(論文、学会発表)

#### 学校における授業改革と実践研究

アクティブラーニング研究会に参加する各学校種の教員は、自校の研究テーマや児童生徒の実態に応じて、授業実践を行っている。その中には、電気領域のように PbI のモジュールで示されている課題や実験をそのまま取り入れるものもあるが、PbI の理念を生かして、他の領域の授業で改革を試みた実践も行われた。こうしたアクティブラーニングの授業計画や実践における授業研究、振り返りなどが協働で行われた。その結果、小・中学校での PbI の理念を取り入れた授業や、生徒の理解を深めるための授業の工夫など、多くの授業プログラムが開発され、実践された。(論文)

研究会に定期的に参加している教員からは、「一つ概念を理解するために、多様な現象を見ることの効果があると感じられたため、以前よりも演示実験を多く行うようになった」「生徒の議論を中心とした授業を構想するようになったため、教師が話す場面が減った」など、授業構想の姿勢の変化が語られている。また、学部学生、大学院生から初任者、ベテラン教員までが、お互いの授業構想や実践について自由に意見を語り合う研究会であるため、参加者が講師から指導を受ける、あるいは情報を得るという研修とは違う互恵的な研究コミュニティが形成されている。

#### プログラム開発のシステムについて

アクティブラーニング研究会で共に検討することによって、学校発のカリキュラム開発(School Based Curriculum Development)を協働で行う土壌を作ることができた。特に、学習指導要領という、学習内容や学習時間を

詳細に決める日本のシステムの中で、海外の優れたカリキュラムを取り入れるには、一部分のみを埋め込んだり、特別なプログラムで一時的に導入したりすることが多いが、教師自身が、授業を児童・生徒の学びに着目して授業作りをすることにより、単元全体の構造を変えていくことが可能であることが明らかとなった。

また、日本の学習指導要領や教員組織は小・中・高で分断されており、一般的には教員が複数の学校種での指導経験をもったり、実践をお互いに交流したりすることも少ない。しかし福井県の教員組織は伝統的に（平成12年まで）小・中・高等学校で一括採用され、異なる学校種の経験を持つ教員も多い。さらに、福井大学教職大学院におけるコア・カリキュラム（学校拠点の協働実践研究プロジェクト）を起点に、授業実践や教員の学習コミュニティ構築を協働で省察し、長期にわたる実践報告を記述するという文化が根付いている。さらに大学学部生や大学院生の参加と互恵的な組織構築によって、大学と学校現場、教員養成と研修が一体化した力量形成の場としても機能している。

本研究により、児童・生徒自身が探究的に学びながら理解を深める授業プログラムを教員自身が開発することが可能であるとわかった。そのためには、小・中・高・大教員がお互いの考えや実践に敬意を持ち、継続的に互恵的な協働研究を行って学び合う組織の中で、個々の教員の教材開発や授業研究が促進されることがわかった。特に、物理概念の理論的知識と教育に関する実践的な知識を融合する継続的で互恵的な教員の学習コミュニティ（Professional Learning Community）が重要であることが明らかとなった。こうした教員の学習コミュニティによって、小・中・高一貫した学校発のカリキュラム開発（School Based Curriculum Development）が可能となることが示唆された。（学会発表，）

##### 5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕（計8件）

山田吉英, 石井恭子, Physics by Inquiry の検討 - 初等理科の教員養成カリキュラムとしての有効性と限界について -, 福井大学初等教育研究, 1-1, 2016, 59-69

佐々木庸介, 学習の系統性を考慮し物理量概念形成を目指した中学「密度」の指導, 物理教育, 査読有, 64-2, 2016, 印刷中

石井恭子, 山田吉英, Physics by Inquiry の理念と日本の物理教育への示唆, 物理教育, 査読有, 63-4, 2015, 263-268

佐々木庸介, 電流・電圧・抵抗の概念形成を目指した中学「電流とその利用」の指導の工夫, 物理教育, 査読有, 63-3,

2015, 209-212

星野聡徳, 生徒の原体験不足を意識した中学校物理分野の観察・実験（小中の物理教育）, 査読無, 63-2, 2015, 124-129

山田吉英, 模擬授業-大学の基礎物理学から「エネルギー保存則」をトピックとして, 新潟大学レクシスタディとアクティブラーニングのシンポジウム兼ワークショップ報告書, 査読無, 2015, 13-23

石井恭子, 小・中学校学習指導要領における物理領域の変遷と実態, 物理教育, 査読有, 62-2, 2014, 98-102

Yoshihide Yamada, Developing Physics Education Research-Based Curriculum for Japanese University Students, Proceedings of the 12th Asia Pacific Physics Conference (APPC12), 2014, <http://dx.doi.org/10.7566/JPSCP.1.017025>

〔学会発表〕（計11件）

山田吉英, 教員養成系におけるPERアクティブラーニング授業の教育実践報告, 日本物理学会第71回年次大会, 2016年3月22日, 東北学院大学(宮城県仙台市)

Kyoko Ishii, Lesson Study in a Professional Learning Community, The 27th Japan-U.S. Teacher Education Consortium, 2015年9月17日, University of West Florida USA

石井恭子, 山田吉英, Physics by Inquiry の理念と初等中等授業改革の実践(1), 日本物理教育学会年会第32回物理教育研究大会, 2015年8月9日, 九州大学(福岡県福岡市)

佐々木庸介, 石井恭子, Physics by Inquiry の理念と初等中等授業改革の実践(2), 日本物理教育学会年会第32回物理教育研究大会, 2015年8月9日, 九州大学(福岡県福岡市)

西行大志, 山田吉英, 小林和雄, 電気回路概念テスト“DIRECT”の妥当性に関する研究, 日本理科教育学会全国大会, 2015年8月2日, 京都教育大学(京都府京都市)

本谷匠, 山田吉英, 小林和雄, アクティブラーニングにおけるTAのファシリテーションの実態, 日本理科教育学会全国大会, 2015年8月1日, 京都教育大学(京都府京都市)

Kyoko Ishii, How the Gap between Students' Understanding of Scientific Concepts and Teachers' Concepts of Teaching is Created: An analysis Using Lesson Plans and Observational Notes International Council on Education for Teaching (ICET) 59th World Assembly, 2015年6月19日, 鳴門教育大学(徳島県鳴門市)

山田吉英, チュートリアルとはどのような授業法か, 日本物理学会第70回年次大会, 2015年3月23日, 早稲田大学(東京都新宿区)

西行大志, 山田吉英, 小林和雄, 石井恭子, 電気概念に対する理解度の評価法の開発: 抵抗電気回路における概念評価テスト“DIRECT”の導入を中心として, 日本理科教育学会北陸支部大会, 2014年11月15日, 仁愛大学(福井県越前市)

本谷匠, 栗原一嘉, 山田吉英, 小林和雄, 石井恭子, 電流の類推モデルが及ぼす電気回路の理解に与える影響, 日本理科教育学会北陸支部大会 2014年11月15日, 仁愛大学(福井県越前市)

Kyoko Ishii, Yoshihide Yamada, Effects and difficulties in an active learning program using “Physics by Inquiry”, International Conference of Physics Education(ICPE2014), 2014年8月19日, Cordoba (Argentina)

〔図書〕(計1件)

石井恭子編, 教科シリーズ「理科」, 玉川大学出版部, 2016年

## 6. 研究組織

### (1)研究代表者

石井 恭子 (ISHII, Kyoko)

玉川大学・教育学部・教授

研究者番号: 50467130

### (2)研究分担者

山田 吉英 (YAMADA, Yoshihide)

福井大学・教育地域科学部・准教授

研究者番号: 30588570

### (3)研究協力者

南部 隆幸(NAMBU, Takayuki)

福井市森田中学校・教諭

佐々木 庸介 (SASAKI, Yosuke)

福井市美山中学校・教諭

星野 聡徳 (HOSHINO, Akinori)

板橋区中台中学校・教諭