

平成 30 年 6 月 12 日現在

機関番号：13401

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2016～2017

課題番号：16K16306

研究課題名(和文)Tutorialsの日本の大学カリキュラムへの適用と修正

研究課題名(英文)Application and modification of Tutorials into Japanese University Curriculum

研究代表者

山田 吉英(Yamada, Yoshihide)

福井大学・学術研究院教育・人文社会系部門(教員養成)・准教授

研究者番号：30588570

交付決定額(研究期間全体):(直接経費) 1,900,000円

研究成果の概要(和文): PERカリキュラムの典型としてTutorialsの実践と、それを効果的にするための工夫(インストラクショナルデザイン、ARCS動機づけ方略、ファシリテーション)、より詳細な情報を得るためのテスト妥当性研究として質問紙調査等を行った。TutorialsなどPERカリキュラムの多くは、学習者が保持しているとされる「誤概念」を引き出し、認知的葛藤状況に直面させ、より適切な推論へと解決させる学習サイクルを想定しているが、このような学習サイクルがうまく機能しない学習者が少なくないことに注目し、より詳細な理論的分析の必要性を訴えるに至った。その一つの候補としてp-prims論による考察を行った。

研究成果の概要(英文): As an typical PER-based curriculum, Tutorials were practiced by the author. Not only implementing its curriculum, many trials such as Instructional Design, ARCS motivational design and facilitation techniques were adopted. The author conducted Test validation research by questionnaires. PER-based curricula such as Tutorials utilize the method so-called "elicit-confront-resolve." However, not a few students didn't have expected discussion which aims to change their "misconceptions." Thus the author was lead to conclusion that we need more theoretical analysis of learning students. As a candidate of such an analysis, the author used p-prims framework. The claim that we need theoretical framework is this research result.

研究分野：物理教育、理科教育学

キーワード：PER misconception p-prims

1. 研究開始当初の背景

米国物理教育研究 PER (Physics Education Research) は学生の誤概念研究と、認知的葛藤を用いたアクティブラーニング手法に基づく実践を中心とする教育実践・研究分野である。研究者のアイデンティティとして物理学者であること(物理学者としてのトレーニングを受けてきた人達が研究エージェントとして参加すること)に旧来の教育研究コミュニティとの大きな違いが認められる。このような特徴を指し Discipline-Based Education Research などと呼ばれることもある。物理学者による後進育成のための専門教育は昔からなされており、1960 年台にはアルファベットカリキュラムと呼ばれる、大学の専門科学研究者による学校教育へのカリキュラム開発が米国政府によって促進され、その成果は(良きにつけ悪しきにつけ)世界中に波及してきた(PSSC 物理の力学台車と記録テープ打点器はその象徴的な例である)。しかしその後大学の大衆化が進み、より入門コースが実質的に有効なものとなるように、いわゆるアクティブラーニングの要請に応える形で、大学教育への科学者の関与が変化してきた。科学分野の中でも特に物理教育の分野で大きな進歩が現れたのであるが、その背景には、Hestenes らによる完成度の高い概念テスト FCI (Force Concept Inventory) の開発と、Hake による FCI を用いた教育実践の効果測定調査結果があった。これらの研究によって、いかに伝統的な一方的情報伝達の講義が多く、多くの学生にとって概念変化への効果が低く、いかに認知的葛藤と協同学習を利用したアクティブラーニングが概念変化に寄与するかを、大学の物理教師達に強く印象づけたのである。実は、科学の学習と教育に関する誤概念現象は、理科教育学 (Science Education) の分野では長く論じられてきていたのだが、長く大学の物理学者達の注意を引いてこなかった。これは単純に物理学者が教育研究の論文や著書を読むことが稀であったのかも知れないし(あるいは読んだとしてそれをどう実践すべきかわからなかったのかも知れない)、理科教育学においては科学の学習と教育を自然科学の対象ではなく、むしろ人文系の人間研究として事例的に論じるという手法や、あるいはかなり少数のサンプルに対する統計的な手法(とそのささやかな成果)を多く用いるため、物理学者にとっての真剣な検討対象とされなかったのかもしれない(そしてこのような研究手法の違いによる領域分断の傾向は現在でも少なからず残っているように思われる)。ともあれ、巧みに作られた FCI テストとその実施結果のデータを定量的な根拠として、物理教育改革の必要性が多く物理教育者達に確信されたのであった。PER の旗振り役を務めた Redish は PER 研究成果集成の仮想的パッケージとして「物理スイート」カリキュラム群を提示

し PER の普及に努めた。「物理スイート」の解説書は覧具らによって翻訳され、日本の大学物理教育にもその影響は広がっていった。

筆者が本研究の申請書を作成した当時は、PER 実践の報告例も少数であり、本研究は我が国における PER カリキュラム実践研究の初期の試みの一つという位置づけであった。

2. 研究の目的

本研究の申請時においては PER のムーブメントについては比較的よく知られていたものの、実際のカリキュラムの調査・検討・実践においてはまだ始まったばかりであった。PER のカリキュラムとしてまずは Redish の紹介した「物理スイート」カリキュラム群を検討するのが適切だと考え、その中でも源流的な位置づけとなる Tutorials in Introductory Physics を検討し、我が国の大学カリキュラム(というと大げさだが、実践のフィールドとして筆者自身の勤務校での授業)にいかに適用し、修正すべきかと問いを立てた。

そもそも Tutorials はある種の「妥協」の産物である。開発者 McDermott らのグループは、元々 Physics by Inquiry (PbI) という探究物理カリキュラムから出発しており、PbI はその探究的な性格ゆえにかなり柔軟な授業時間と教育環境(学生/教員比など)を要求するものであった。PbI はリメディアルや教員養成・教員研修を想定したものであり、限られた時間しか使えない米国の典型的な大学カリキュラム(週3回1時間の講義+週1回1時間の演習)では用いることができない。このため、PbI を大幅に短縮し、演習カリキュラムとして作り直したものが Tutorials であった。このような「探究」(ワークショップ型とも言われる)授業と「演習」授業には大きな違いがある。PbI は他の学習資源を一切用いずに(用いる必要がないのではなく用いるべきではないとして)必要な情報をすべてテキストが提示し、その与えられた情報と問題、実験結果の解釈を教師や学習ペアと議論しながら、自分の研究ノートを作りつつ、科学的な知識(knowledge of science)・科学の方法に関する知識(knowledge about science)・定性的推論方法・言語的数学的表現技術を同時的に中期的なプロジェクトとして学んでゆく。これに対して、Tutorials では、知識は既に講義で伝達されたものとして、その知識の現実的実験文脈での活用を練習することによって、生きた知識、深い理解を補償しようとするサプリメントなカリキュラムである。本研究においては、このような妥協・改変の産物である Tutorials を、さらに日本の大学のカリキュラム(週1回の90分授業)にあわせて、いかに適用・修正・実践すべきか、という問題に取り組むものであった。このような試行錯誤の実践を通して得た知見を、日本の物理教育・理科教育のコミュニティに提供することによって、物理教

育の改善に資することを志した。

本研究にさきがけて行った Tutorials 的な実践においては、PER アクティブラーニングにおいて（伝統的講義に比して）効果的とされるスコアを概念テストの結果得ていたため、それなりの「勝算」はあるつもりであった。研究の見通しとして、「PER カリキュラムは正しく使えば一定の効果が出るものである。我が国で実践する場合には以下のような諸点に留意し、後述するような対応を心がけて、各自修正して利用・実践すれば良いだろう」というガイドラインを得ることを予期していた。現時点でも、このような見通しが誤りだったとは考えていないが、しかし端的に言って「教育実践行為の難しさ・複雑さ」を過小評価していた、というのが現時点での偽らざる所感である。ここで筆者としては、開き直るのではなく、恥じ入るでもなく（LOCE の規格化ゲインは PER アクティブラーニングの典型値 0.5 前後で飽和した）私の得た経験と知見を、社会に還元・利用されるべき研究成果として誠実に述べたいと思う。

3. 研究の方法

Washington 大学の McDermott グループが開発した Tutorials in Introductory Physics をそのまま、あるいは改変したワークシートを用いた PER アクティブラーニング実践を行い、その結果を、PER 概念テストを用いたプレポストテストの規格化ゲインによって評価し、実践者の省察と併せて改訂を行うという、PER の実践研究サイクルを遂行する。また、このサイクルの中で見出された問題に関して、より詳細な（マイクロな）検討（概念テストそのものの妥当性評価と、ワークシートやテストの特定の設問における学習者の振る舞いの調査）を行う。

4. 研究成果

先に成果の概要を述べる。実践の結果、アクティブラーニングの典型値とされる 0.5 前後の値で規格化ゲインが飽和した。実践改善のために様々な手法を取り込んだが、規格化ゲインに対して劇的な変化は生じなかった。学習者の知識についてのよりマイクロな分析の結果、PER の手法が学習者に対して「かなり大胆な近似」を行っていることを見出した。誤概念の枠に収まらない印象判断や、科学者が書いた文章の誤読がしばしば見られた。これらの挙動は、先行研究においても一応言及されていたものであるが、「その影響は大きくない」として処理されてきたものである。従来、十分な注意が払われてこなかったこれらの問題状況の中にこそ、学習と教育の困難についての解明の手がかりがあるように思われる。

本研究の申請時、PER を特徴づける概念テストの規格化ゲインこそ、主観を排除し、科学的な教育研究を可能にするツールである

と考えていた。しかし、上記の結果を踏まえると、このような方法論への疑念が避けられない。これは素朴な行動主義的パラダイムへの先祖返りであり、学習・教育の実際のプロセスに関して何ら記述しない、あるいはメカニズムのモデルを検討しない、ブラックボックスのような扱いではないか。PER はもっと理論的な検討を行うべきであろう。

上記のような理論追究の必要性がいかに発生してきたか、以下に研究発表を引用しつつナラティブに報告したい。筆者に理論の必要性を認識させた要因は 3 つある。第一に、PER 実践の評価精度を高めるために電気回路の概念テストである DIRECT (Determining and Interpreting Resistive Electric Circuits Concepts Test) のインタビュー調査を行った際、先行研究で知られた「誤概念」という単位の非正規推論ではなく、前概念的とも非言語的ともとれる感覚的な回答や、問題文の読解の困難あるいは出題者・インタビュアーとの言葉の共役不能な使用とでもいふべき事態が少なからず見られたこと（これで「誤概念」とはかなり人工的な説明単位であるとの実感を得た）[5.【学会発表】]。第二に、Tutorial のグループワークにおいて意図された「誤概念」が「引き出」されておらず、意図された議論が行われない様子が珍しくなかったこと、また、この事態を改善する意図でのいくつかの対話促進の工夫（インストラクショナルデザイン、ARCS 動機づけ方略、ファシリテーションなど）によっても根本的な改善が見られなかったこと（すなわち問題の所在はコンテンツフリーなコミュニケーション技法のレベルではなく物理学の内容領域の意味解釈レベルにあると推測される）[5.【学会発表】]。第三に、より詳細な学習者の推論を知るため、実践者と学生達との対話的授業（手回し発電機の性質に関する非 PER 的な授業）を行ったところ、現象・事態の解釈（そのための用語法・概念枠組み）が大きく異なり、教師が学生の言うことを理解できない状況に直面したこと [5.【学会発表】]。

これらの経験から（これに加えて他の研究者の実践報告や私信から）Tutorials の実践にはある種の原理的な困難が含まれており、またそれは Tutorials に限らず、その元になった Pbl や「物理スイート」として派生した ILD (Interactive Lecture Demonstrations)、RTP (Real Time Physics)、Workshop Physics など、認知的葛藤による概念変化を意図した guided inquiry 型カリキュラム全般に共通して存在する問題ではないかと考えるに至った。これらのカリキュラムは全て（認知的葛藤学習サイクルを用いるだけでなく）同じ PER 誤概念研究を元に関発されたものだからである。

もちろん筆者の経験は一回起性の個人的な偶発的状況の連続と、その主観的投影的な

意味解釈に過ぎないだろう(とはいえ本研究と同時期に行われた他の研究者による PER 実践報告を見る限り「意図された概念上の認知的葛藤が起こらない」といった事態には再現性が認められるようである)。しかし、私と私の研究協力者である同僚や学生にとっては、先に記述したような経験は確かに我が身に起きた出来事であり取り組むべき問題であった。そして何よりも目の前の学生達が、そのカリキュラムに内在的と考えられる理由によって学習上の困難を示しているという判断の結果、当初申請書に記載していた「Tutorials 全ての項目を学生に実践する」を中止せざるを得なくなった(全ての項目について相当の時間をかけて教材研究を済ませていたのであるが)。しかし、真に取り組むべき問題の所在を見出したと考えており、その重要性を物理教育のコミュニティに伝える責任があると考えている(理論的な分析がなければ、いかなる実践も経験主義を乗り越えられないだろう)。もちろん問題の解決方法は多様であるべきであるが、筆者が選んだ道を以下に述べる。それは diSessa の p-prims 論と呼ばれるものである [5. **【雑誌論文】 【学会発表】**] (PER 近傍で利用できる理論的フレームワークを文献調査したところ、Hestenes の Modeling 理論と diSessa の p-prims 論が見出された。筆者は後者を選んだ。)

学習者の示す科学的に不適切なある種の(強固で普遍的な)推論パターンは誤概念と呼ばれ、誤概念を科学的な概念に変化させる教授方略と、それを具体化したカリキュラムの開発が長く行われてきた。実践者の立場からすると、この誤概念の知識は、教えたいと考えている科学的な概念に高い確率で干渉する学生の推論を予期させてくれるものだが、実際にそれをどう授業で取り扱うのが適切なのか、悩ませるものでもある。誤概念の取り扱いについては、認知的葛藤を利用して議論させ、乗り越えさせることが重要であるという物理スイート系 PER カリキュラムの共通見解を支持する人もいれば、あまり誤概念を明示的に扱わずと余計に学習者を混乱させ、誤概念支持に引き込む恐れがあると考える人もいる。ところで、科学的に適切な概念と、不適切な誤概念の間には、何の共通性も無いのだろうか。誤概念は科学的な概念形成を妨害するだけの迷惑なものなのだろうか。このような見解に異を唱えるのが p-prims 論の立場である。科学的な概念も誤概念も、ともに人間の思考・推論の単位ではなく、より断片的、感覚的、直観的、「アタリマエ」の印象が、具体的なその場面・状況において結びつき、投影され、そこで「何がどうなっているか」現象の意味解釈がその都度生まれていると考える。たとえば、「原因が大きくなれば結果も大きくなるものだ」とか、「強いものと弱いものでは強いものが勝つ」とか。これらの推論要素はそれ自体真で

も偽でもない。そこに含まれる登場人物や属性にどのように投影されるかによって科学的に適切な説明にも不適切な説明にもなるだろう。すなわち、科学的に概念と誤概念には、共通の要素があり、具体的な命題の形では専門家と初学者がお互いに同意できないにしても、その命題の背後にある感覚的なもの自体は共感できる余地がある。

このような要素的な推論の見方は、概念変化を、宗教上の改宗のような劇的なプロセスに限定せず、推論要素の組み換えや、投影・マッピングの修正のような、より穏やかなプロセスとして実現する可能性を示唆してくれる。また実践者や教育研究者の立場からすれば、これは学習者との間で相互に意味解釈困難な対話状況を動かす有用なツールとなりうる。「学習者や調査協力者の考えを(間違いだと断罪するのではなく理解しようと)尊重する姿勢が大事だ」とはよく言われることであるが、誤概念という命題単位の分析ではこれを実行するのは困難である。p-prims 論の立場は、教師(研究者)と学習者(研究協力者)の関係を、より対等な協同探究者として捉え直すことを可能にしてくれる。

今後の p-prims 論研究の見通しを述べる。すぐに問題になるであろうことは、p-prim のリスト化の可能性と、信頼性の担保である。これは最初から難問であることが明らかで、そもそも p-prim 論やそれを拡張した resource 論の研究グループ内でさえ、現状、p-prim の分類や用語法は一致していない。この事態は操作的に定義され客観的に評価可能な実証的研究というフレームワークからすれば致命的な欠陥に違いないが、未解明の謎多き学習現象の記述を探索的に進めるにあたっては有用なツールであるし、また、実践上のメリットも大きい。学習者に敬意を払い、教師の構えに多くの可能性を開き、なおかつ皮相的な相対主義に陥ることなく、適切な科学的理解を目指すことができる。

p-prims 論に基づく理論的研究で何が期待できて、何が期待できないか。まず期待できないこととして、既に実証的に知られている学習・教育の困難に対する特效薬を与えるようなことはできない。社会に実装された教育システムへの実益をあまり急ぐべきではない。他方、期待できることとして、学習・教育の困難について、より詳細な記述とそのメカニズムについての仮説・モデルを提案しうる。そこでの方法論は、ケーススタディ様の報告に対する解釈の、暗黙ではない、明示的なモデルを提示するような形になると思われる。

物理教育研究を定量的研究として進めることは疑いなく重要であるが、実証的な研究と相補的に、知識や学習のモデルを探索する理論的研究も行われるべきだし、いずれ両者は統合されるべきものだと思う。今後 p-prims 論に基づく物理教育研究の方法論について検討するとともに、普及に努めたいと

思う。この報告書を読んで興味を持ってくださる方がいれば、より詳しい情報を喜んでお送りします。ご連絡をお待ちしております。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計1件)

山本修平, 小林和雄, 山田吉英, 手回し発電機の手応えを考察する場面でのpプリムズ、福井大学教育実践研究、第42号、2018年、学内査読有

〔学会発表〕(計10件)

山田吉英、物理教育研究における学習理論の役割、日本物理学会第73回年次大会、24pK510-6、Web版 ISSN 2189-0803 DVD版 ISSN 2189-079X、2018年

Yoshihide Yamada, p-prims Activation Through Turning Hand-cranked Generator, 2018AAPT Winter Meeting, p.49, 2018

山田吉英、日本におけるPERの展望 - Hammer1996Am. J. Phys. 論文からの示唆 -、第6回物理教育調査プロジェクト全体会議(研究討論会) 2017年

井川悠司, 山田吉英, 小林和雄、学習者が使用するアナロジーから見えるp-prims、日本理科教育学会北陸支部大会、2017年

西袋歩, 山田吉英, 小林和雄、小学校理科「物のとけ方」におけるp-prims、日本理科教育学会北陸支部大会、2017年

山田吉英、ある物理教育者による省察 PERカリキュラムの実践による専門性開発の一人称記述、日本物理学会2017年秋季大会 概要集 DVD版 ISSN 2189-079X, 2877、2017年

山本修平, 小林和雄, 山田吉英、手回し発電機の手応えと電力におけるpプリムズ、第34回物理教育研究大会、p.81-82、2017年

山本修平, 小林和雄, 山田吉英, 石井恭子、手回し発電機の手応えに関する誤概念の研究 力学的な抵抗と電気抵抗の混同の調査、日本理科教育学会第67回全国大会、2017年

石井恭子, 山田吉英、PERカリキュラムを踏まえたブリッジカリキュラムの開発、日本科学教育学会第41回年会、2017年

山田吉英, 西行大志、多肢選択式テストの開発に関する一考察 II 電流消費と電流の弱まり誤概念について、日本物理学会第72回年次大会概要集 Web版 ISSN 2189-0803 DVD版 ISSN 2189-079X、2017年

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1)研究代表者

山田吉英 (Yamada, Yoshihide)
福井大学・学術研究院教育・人文社会系部門・准教授

研究者番号：30588570

(2)研究分担者

()

研究者番号：

(3)連携研究者

()

研究者番号：

(4)研究協力者

()