

論文

エビデンスに基づく教授法の変革を普及するための課題

大森 不二雄*, 斉藤 準**, 松葉 龍一***, 鈴木 久男****

*東北大学高度教養教育・学生支援機構, **帯広畜産大学農学情報基盤センター

東京工科大学先進教育支援センター, *北海道大学大学院理学研究院

Issues for Disseminating Evidence-based Pedagogic Change

Fujio Ohmori*, Jun Saito**, Ryuichi Matsuba***, Hisao Suzuki****

* Institute for Excellence in Higher Education, Tohoku University

** Agri-Information Technology Center, Obihiro University of Agriculture and Veterinary Medicine

*** Advanced Education Support Center, Tokyo University of Technology

**** Faculty of Science, Hokkaido University

This paper focuses on the contrast between an overwhelming amount of evidence to demonstrate the advantage of active learning pedagogy based on Discipline-Based Education Research (DBER) in terms of enhancing students' learning outcomes and a persistent dominance of traditional lectures in science courses at Japanese universities. Even Physics Education Research (PER), the most developed branch of DBER, has not been successful in disseminating its evidence-based pedagogy in Japanese higher education.

With the above background, semi-structured interviews with physics education researchers and practitioners were carried out in March 2021 in order to find out factors behind the above-mentioned contrast. The key factors emerging from the interview results are the lack of organizational initiative and the shortage of PER experts. The paper further discusses international comparison with the USA, where examples of organizational initiatives for evidence-based pedagogic change are not rare and DBER experts have been trained in doctoral programs and employed by an increasing number of universities and colleges.

Keywords: Discipline-Based Education Research (DBER), Physics Education Research (PER) Pedagogy, Active Learning (AL), Organizational Initiative

キーワード : 分野別教育方法研究, 物理教育研究, 教授法, アクティブラーニング
組織的取組

* 〒980-8576 仙台市青葉区川内41 東北大学高度教養教育・学生支援機構

Correspondence concerning this article should be sent to: Fujio Ohmori, Institute for Excellence in Higher Education, Tohoku University, 41 Kawauchi, Aoba-ku, Sendai-shi, 980-8576, JAPAN

Email: fujio.ohmori.e7@tohoku.ac.jp

1. はじめに: 研究の背景

1. 1. PER 及び DBER の発展

物理学は、実験による実証と数学による論証によって、自然現象の背後にある普遍的・体系的な法則・原理を明らかにしようとする学問分野である（朝永 1979）。その枠組は、種々の要素の捨象によりモデル化された現象に対して構築されるために抽象度が高く、特に初学者にとって、現実の自然現象への適用は必ずしも容易ではなく（Trowbridge & McDermott 1981）、感覚的・経験的な素朴概念に反するようすら感じられることもある（Caramazza et al. 1981）。物理学という科目やその学習者に対するこうした特性を考慮しない伝統的な講義形式の教授法では、学習成果を高めることは困難である（Halloun & Hestenes 1985; Hake 1998）。

物理教育研究（Physics Education Research: PER）は、このような困難を伴う物理学の教育を対象とする研究分野である。特に大学教育を対象とする PER は、米国ではスプートニク・ショック以降の 1970 年代以降に発展し、現在では物理学の一研究領域として確立している（Cummins 2011）。その特徴は、専ら物理学者が物理学に固有の専門性・特殊性に基づいて物理教育を体系的に設計・開発し、定性・定量の両面からそれらの妥当性・信頼性を評価・検証する科学的研究であることに見いだされる（Beichner, 2009）。したがって、単に講義形式かアクティブラーニング型かといった教授法（pedagogy）の議論のみではなく、個別の学習内容（contents）に即して学習者の困難や学習成果に関するエビデンスが蓄積されてきたことが本質的である。

PER の発展を追うように、他の学問分野においてもこうした研究が展開してきており、DBER（Discipline-Based Education Research の略称。ディーバーと発音する）と総称される（National Research Council 2012）。この用語に未だ定訳は無い。その意味を正確に伝えようとする、「学問分野に根ざした教育方法の研究」といった説明になるが、短めに「分野別教育方法研究」と訳すこともできよう（Wieman 2017=2021）。本稿では、DBER という用語をそのまま使うこととする。

DBER は、北米を中心に、物理学をはじめ、化学、生命科学、地球科学、天文学、工学等の STEM (Science, Technology, Engineering and Mathematics) 諸分野で急速に発展し、各分野内の研究領域の一つとして位置付け（例えば、PER は物理学の一領域）が確立している（大森・斉藤 2018）。そして、北米では、例えば、PER 研究者は物理学科に所属するなど、通常、DBER 研究者は各分野の学科に所属する。米国学術研究会議の DBER に関する報告書（NRC 2012）

等が詳述するように、DBER は、(認知科学, 教育心理学, 脳科学等に基づく) 学習科学の知見を採り入れつつ, 分野固有の専門性の習得に向けて, (学生がどこでつまづくか, 真の理解に到達しているか等) 当該分野の専門家しか為し得ない判断を行いながら, 知識理解と応用力習得を促す教育方法の実践的・実証的研究である。DBER は, 学士課程, 特に低年次の授業科目に関する研究が多い(斉藤 2022)。特に米国における DBER の発展の背景としては, STEM 諸分野の教育を重視する連邦政府の政策として, 全米科学財団 (National Science Foundation: NSF) 等を通じて資金を投入してきた事情がある(大森・斉藤 2018; 斉藤 2022)。

1. 2. DBER によって明らかにされたアクティブ・ラーニングの有効性

こうした DBER の発展により, その研究成果としてのエビデンスの蓄積も進んでいる。その中で明らかにされてきた教授法に関する重要な知見として, アクティブ・ラーニング (AL) が伝統的講義よりも, 学生の学習成果を高める上で有効であることが見出されてきている。

両教授法の効果を比較した大規模研究としては, 多様な学力層を含む 6,542 人を対象としたニュートン力学の授業前・後の調査テストの得点差により授業効果を見た研究 (Hake 1998) が嚆矢であり, AL が伝統的講義の 2 倍以上も効果が高いとの結果が得られ, AL の優位性は学力層の如何を問わなかった。

次に, 実証研究の成果の例として, 図 1 の示す研究結果について紹介する。

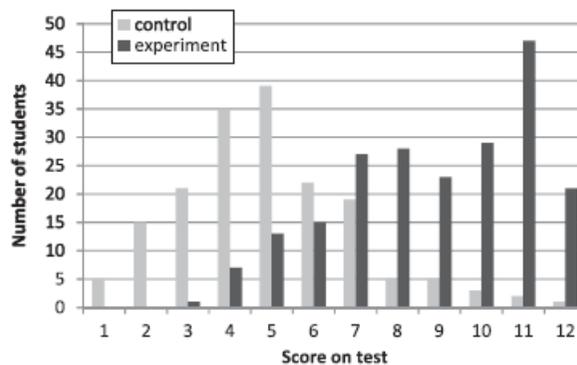


図 1 講義方式の授業 (統制群: control) と DBER に基づく教授法の授業 (実験群: experiment) の授業後テスト得点の比較 (出典: Deslauriers, Schelew & Wieman 2011)

エビデンスに基づく教授法の変革を普及するための課題

図1は、ノーベル物理学賞を受賞した物理学者であり科学教育研究者でもある Carl Wieman 氏（現在スタンフォード大学教授）主導の研究チームによる研究成果の代表例であり、『サイエンス』誌に掲載されたものである。カナダの有力研究大学であるブリティッシュ・コロンビア大学の工学専攻の学部1年生を対象とする物理学の授業で行われた。教育経験の殆ど無いポスドク研究者による DBER に基づく授業（実験群）が、学生の授業評価で高評価の教員による講義方式の授業（統制群）と比べ、顕著に高い教育効果を発揮したことが分かる。実験群で採用された教授法は、学生にチャレンジングな問いや課題を与え、物理学者のような推論（結果の予測や根拠となる議論）を行うよう仕向け、頻繁なフィードバックを提供する AL であった。

さらに、物理学入門におけるピア・インストラクションの実践研究（Crouch & Mazur 2001）は、概念理解及び計算問題のいずれについても、伝統的講義よりも好成績をあげていることを示した。なお、ピア・インストラクションとは、ハーバード大学の Mazur が開発した AL 手法であり、授業中に問題を出題し、その答えを付近の学生同士で議論させる学習活動である（新田 2011）。

DBER による研究成果は、物理学分野にとどまらない。学士課程レベルの STEM 諸分野の教育に関する 225 もの研究のメタ分析（Freeman et al. 2014）によると、試験成績・不合格率などの指標をとっても、AL が伝統的講義を大幅に上回る教育効果を示していることが分かった。

近年も、AL の有効性を示すエビデンスが蓄積され続けている。例えば、物理学については Rodriguez & Potvin (2021)、化学は Partanen (2018)、数学は Ng et al. (2020) 等である。

1. 3. 日本における PER の導入及び教授法の状況

日本においては、各学問分野の大学教育研究、特に科学教育研究や工学教育研究は行われてきているものの、DBER という概念はあまり知られておらず、各分野内の研究領域の一つであるという位置付けが確立しているとは言えない。こうした中、PER についても、「海外の研究の進歩から大きく後れを取っている」（新田 2016: 40）と言われる。とはいえ、PER においては、次に述べる通り、日本でも、海外の研究動向を踏まえた研究の蓄積が見られる。

2000 年前後から海外の PER の動向や関連する研究が報告されはじめ（川村 1998; 川村 2000; 塚本 2004; 塚本ほか 2005）、米国の著名な PER 研究者らも来日参加した 2006 年の物理教育国際会議（ICPE 2006）と、米国の PER の成果をまとめた解説書の訳書（Redish 2003=2013）が出版されたことを契機に、

PER への関心が急速に高まった(新田・覧具 2008; 覧具・新田 2008; 笠 2010; 田中ほか 2010; 覧具 2012; 村田 2015; 右近 2015; 新田 2016; 覧具 2016; 覧具・笠 2021; 笠 2022).

その後、日本においても PER に基づく教授法を用いた実践研究や、概念理解に関する理論・調査研究、教材開発研究等が展開してきた。実践研究についてのみ少数の例を挙げれば、ピア・インストラクション (Mazur 1997) の実践 (鈴木ほか 2006; 鈴木ほか 2008; 兼田・新田 2009; 新田 2011; 新田ほか 2014), ILDs (Sokoloff & Thornton 1997) の実践 (山崎ほか 2013; 北村・谷口 2015; 谷口 2017; 北村・谷口 2018; 右近 2019; 梅田 2021), チュートリアル (McDermott et al. 1997) の実践 (植松 2011; 植松 2015; 加賀・宗尻 2020) 等がある。

ただし、これらの研究における PER に基づく教授法の実践は、個々の研究グループによる小規模なものであり、北米に見られるような大規模で組織的な展開 (例えば, Wieman 2017=2021) には至っていない。

もっとも、日本における PER や DBER に基づく教授法の普及状況を具体的に調査した文献は、管見の限り見当たらない。例えば、令和元年 (2019 年) 度の大学における教育内容等の改革状況の調査 (文部科学省 2021) では、「ブレンディッド型学習」(反転授業) や「クリッカー技術による双方向型授業」を導入・実施している大学が 40% 台であるなどと報告されているが、科目別の集計結果は示されておらず、またこうした授業が DBER の知見に基づく教授法を導入したものであるかどうか不明である。2015 年度における大学のアクティブ・ラーニング (AL) の取組状況の調査 (河合塾 n.d.) では、学科分類別の集計はなされているが、AL には演習や実験が含まれるなど、やはり DBER に基づく教授法の導入状況を明らかにするものではない。北海道大学において行われた調査 (徳井・宮本 2015) では、演習科目や実験科目を除いて、従来の講義型授業が AL 化された割合は 20% 程度にとどまっていることが示されている。

また、覧具 (2020) は、同氏を研究代表者とするチームが 2014 年から実施し、日本の大学の中から理工系及び理科教員養成系の 29 学科の授業クラスが参加した物理教育の状況調査では、20 クラスが講義中心型、9 クラスが AL 型で、うち 4 クラスが PER に基づく能動的学習を行う改革型授業であり、他の 25 クラスと比べ学習効果が高かったことを明らかにしている。AL 型のうち、学習効果の高かった 4 クラスを除く 5 クラスが改革型でなかったことの明記はないが、少なくとも学習効果の高い教授法は、この調査対象に関する限りでは

エビデンスに基づく教授法の変革を普及するための課題

全体の 14%程度にとどまっていたことが分かる。AL 型授業が PER の教授法を導入しているとは限らず、これらの調査から PER の教授法の普及実態が明らかになるものではないが、逆に PER の教授法は多くが AL 型であることを考慮すれば、いずれにせよ PER の教授法が広く普及している状況とは言い難いことが推測される。

なお、上述の調査結果（覧具 2020）によると、高校での物理教育を反映する大学入学時点の古典力学の基礎概念の理解の到達状況（事前テストで測定）は、米国とおよそ同程度であるのに対して、大学での古典力学科目履修による概念理解の伸長度（事前テストと事後テストから算定）は、PER に基づく改革型授業を行った 4 クラスを除く 25 クラスでは米国と比較にならない極めて低いレベルにとどまった（マイナスの値をとるクラスも少なくなかった）。すなわち、理系基礎教育としての物理科目履修が古典力学の概念理解の向上を殆どもたらししていない、という極めて憂慮すべき実態が明らかにされた。

そして、概念理解の伸長度は、事前テスト正答率や大学の偏差値（入学難易度）と相関がなかった（覧具 2020; 日本学術会議物理学委員会物理教育研究分科会 2020）。つまり、日本の大学の理系基礎教育としての古典力学科目には、大学の難易度や学力層を問わない共通の課題が存在することが示されたのである。難関大学や高学力層にも問題が共通するという点については、北米の先行研究（例えば、Mazur 1997; Deslauriers et al. 2011）が研究大学の学生の概念理解について問題提起し、AL の有効性を示したことと整合的である。

2. 本研究の目的

こうした国内外の状況を踏まえ、本研究では、日本において、DBER のうち最も早く発展した PER に基づく教授法が普及していない現状に着目し、次の 2 点をリサーチ・クエスチョンとして設定する。

- ① 日本においても一部の研究者・教育者により PER に基づく教授法が研究・実践されているにもかかわらず、ほとんど普及していないのは、どのような要因によるものか。
- ② そのような現状の課題を解決するためには、今後どのような方策を推進することが必要と考えられるか。そして、そうした方策は、PER のみならず、理系諸分野の DBER に基づく教授法の変革にとって、どのような含意を持つか。

これらのリサーチ・クエスチョンに答えるためには、現に PER の研究・実践に取り組む研究者・教育者が日本における現状と課題をどのように認識して

いるかを把握することが有効と考えられる。そこで、本研究では、PER に関わる国内の複数の研究者に対するインタビュー調査を行い、その結果について国際比較の視点から考察し、PER に基づく教授法の普及について議論する

3. 調査の方法

調査対象は、スノーボール法¹⁾により、国内の物理教育研究者 10 名を確保した。その職階別内訳は、教授 5 名、准教授 2 名、講師 1 名、名誉教授 2 名であった。また、性別は、男性 9 名、女性 1 名であり、設置形態別の内訳は、国立大学 7 名、私立大学 3 名であった。なお、所属大学の入学難易度は、難関大学や中堅大学から偏差値の高くない大学まで、多様である。さらに、所属組織の分野を大別すると、理工系学部・大学院 4 名、教員養成大学・学部 4 名、全学共通教育（教養教育等）担当組織 2 名となる。

調査方法は、ビデオ会議システムを用いたオンラインでの半構造化インタビューとし、2021 年 3 月中に実施した。インタビューは、調査対象者 1 名ずつに対して 1 時間程度で行い、本人了解の下に録音した。ただし、10 名のうち 1 名については、インタビューに代えて書面での回答の希望があったため、これを受け入れ、回答を見たところインタビューと同等に近い内容が得られたと判断し、分析対象に含めた。

インタビューの実施に当たっては、PER の普及の必要性・課題等に関する調査対象者の認識を探索するため、次の質問項目をカバーすることとした²⁾。

- ① PER の普及の必要性をどう考えるか？
- ② PER の普及において困難に感じる事、又は困難と思われることは何か？
- ③ PER の普及のために何が必要か？
- ④ PER の普及のためにどのような FD が必要か？

4. 調査結果

本章では、調査の結果として、インタビュー時の録音を文字起こしし、調査対象者の発言内容を上述の質問項目別に分類・整理した。その際、異なる発言者からの同旨の発言は繰り返さずにまとめたが、質問項目との関連が認められる発言の主旨は漏らさずに含める等、議論の焦点や広がり全体像を明らかにする記述に努めた。

4. 1. PER の普及の必要性について

調査対象者の認識を要約すると、日本の物理教育の現状は課題があり、PER

エビデンスに基づく教授法の変革を普及するための課題

及びその研究成果に基づく教授法の普及が必要だというものである。同時に、日本では、PER 研究者が少なく、物理学者の間で研究領域として認知されていないとの課題認識も語られた。

まず、日本の物理教育について、調査対象者の多くは、上手くいっていないと認識している。「学生は、物理の問題を解くことはできるが、説明させると全くできない。」との発言や、「授業を受けても、学生の理解度は変わらない。試験のために、無理やり授業を受けているような状態。単位を取ることが目的となっている。」との発言は、その例である。知識・技能を伝えるこれまでの講義型の授業では、学生の物理への理解が進まないと感じている。さらには、学生に対して、知的関心・好奇心や思考力・判断力などを育成する必要があると考えている。

これらの課題に対して、PER の手法がとても有効であることは、調査対象者の共通認識であった。「PER の普及は、絶対に必要だと思う。知識・技能を伝えるこれまでの物理の講義では足りないと感じている。」との声は、その端的な例である。

しかし、日本では、PER に取り組む研究者は少なく、調査対象者の一人は、20 名から 30 名程度であろうと推測していた。その多くは、教員養成大学・学部又は全学共通教育（教養教育）実施組織に所属しており、理学部物理学科等に籍を置く PER 専門家がほとんどいないという。

物理学者の間で物理教育が研究対象として認知されていない旨の現状認識も語られた。「日本では、物理教育で博士論文を出せるところはない」という。教育に熱心に取り組む教員はそれなりにいても、我流で満足し、研究領域としては考えられていないことが多いという。

特に米国との比較において、PER とその研究成果に基づく教授法の普及の遅れを指摘する意見もあった。

4. 2. PER の普及において困難なこと

調査対象者が認識する PER 及びそのエビデンスに基づく教授法の変革の普及における困難は、要約すると、3つの要因に大別される。一つは、物理学の授業担当者に、教授法の変革の必要性を認識してもらうことが容易でないことである。二つ目の困難は、大学のマネジメントや制度が物理教育の変革を後押ししていないという組織的課題である。三番目の困難は、PER を研究し実践する専門家の不足である。

まず、一つ目の困難として、調査対象者の認識では、物理教育に関心がない

物理学の授業担当教員に対して、どのように重要性を伝えていくかが大きな課題となっている。教員は熱心に教えていることも多いため、学生が授業を理解できていなくても授業評価が低くならず、問題があるとの認識に至らないとの見解も示された。なお、学生による授業評価が、教員への好悪の印象等に左右されやすい一方、学習成果を反映するものとはなっていない点については、例えば Wieman (2015) 等の研究が明らかにしている。

また、教授法を学ぶ機会がないため、自分が受けてきた方法で授業してしまうという指摘があった。「誰でも、自分の受けた授業をベースに、授業を構成してしまう。なかなか、それを打ち破り、新しいものを採り入れていくのは難しい。」というわけである。この背景には、新田 (2011; 2016) の述べるように、物理学を教える大学教員は、学生時代に物理学を自ら能動的に学ぶ学習者であったため、授業は伝統的講義であっても支障がなかったがゆえに、理解度を学生側の要因に帰しがちで、授業変革への動機付けが不足する傾向もあろう。

さらに、忙しくて1, 2年生の教育にまで時間を割くことが難しい、といった課題も挙げられた。

このほか、教えるべき内容をカバーして体系的にきっちりと授業を行いたいという教員が多いため、なかなかアクティブラーニング手法が馴染まない、という意見もあった。他方、そもそも、大学の授業担当者には物理学が能動的に学ばないと真の理解に到達し難い分野だとの認識が不足しているとの指摘もあった。

二つ目の困難、すなわち、個々の教員を超えた組織的な課題としては、大学（経営陣、物理学科）が物理教育の変革に注力しようとしていないことが挙げられた。教育改革は大学のマネジメントレベルから変えていかないと動かないが、「大学の経営陣が物理教育などに構造的な問題があることを認識していない」という。また、大学間競争にさらされ、研究業績を高めなければならないこともあり、教育にリソースを割きにくいといった資源配分の課題も指摘された。

よりマクロレベルの課題として、日本の大学制度や大学教育の在り方とそれに基づく学生の実情による困難の指摘もあった。すなわち、学生の授業外学修が不十分との指摘である。カリキュラムの問題として、特に1年生・2年生の履修科目数が非常に多く、効果的な授業に必要な予習時間が取れていない実情、そこには、就職活動や最終学年を卒業研究に専念させたい（3年生までに必要単位を取らせたい）との大学側の思惑もあること等が挙げられた。

三番目の困難として、PER 専門家の不足が課題として挙げられている。PER

エビデンスに基づく教授法の変革を普及するための課題

普及の障壁として、「PER 専門家の不足、特に研究大学の物理学科に籍を置く PER 専門家が皆無であり、研究体制が貧弱であること。」を指摘した意見が典型である。また、「教育は（研究の）おまけであるという考え方だと、優秀な人材が確保できない。」との問題意識も語られた。他方、高校教員で物理教育の研究・実践レベルの高い者が多い旨の指摘があった。高校物理の教育方法は、大学の初年次の物理教育にも役立つとの意見もあった。

これまで PER 研究者の多くが所属してきた教員養成大学において、教職大学院が重視されるようになり、教科教育（物理教育はその一部）に力を入れていくくなっているため、理学部物理学科等の取組を期待する声もあった。

物理教育研究者の間で個別の交流はあるが、大きなコミュニティにはなっていないとの指摘や、所属機関や関連学協会が分散しており、連携強化が課題との意見もあった。また、物理教育研究者と理学・工学研究者との交流が少ないとの指摘があった。さらに、教育の実践研究が低く見られがちであり、リスクを受けるようにならないと難しいとの課題も挙げられた。

4. 3. PER の普及のために必要なこと

PER とそれに基づく教授法の普及のために必要なこととしては、前節の 3 つの困難のうち、二つ目と三つ目に対応するかのように、組織的な取組の重要性と PER 研究者の育成の必要性を強調する意見が多かった。換言すれば、個々の教員への働きかけに関する意見は、ほとんどなかった。

組織的な取組については、「一人だけで教育の在り方を変えることは不可能である。最小単位として学科レベルで意識の共有が必要である。その上で、学部長、学長の理解と協力が不可欠である」との指摘は、その典型例である。

具体策としては、例えば、教員へのインセンティブの付与として、教育改革プロジェクトに予算を付ける、教育改善計画を条件にアシスタント等の人員を配置する、教員評価で評価対象とする、といった意見が挙げられた。

また、既存の教育システムへの組込みも提言された。例えば、大学教員の初年次研修に含める、大学の質保証システムの評価項目にする、といったアイデアが挙げられた。また、PER に取り組まなければならない仕組みにし、ある程度強制力を持たせることも必要ではないかという意見もあった。

さらに、大学間の垣根を越えて、学協会が大学の取組を支援することも必要との指摘があった。他方で、学会は財政基盤が弱いので、国からの補助金が出るとよいとの声もあった。

PER 研究者の育成については、若手研究者や学生に PER という研究分野の

存在を認識してもらい、PER 研究者が育っていくことが、学問分野としての成長に必要なとの指摘があった。

物理教育での物理学の学位取得を可能にすべきとの提案もあった。「物理教育で Ph.D.が取れるような大学もないのが問題」だと指摘し、これを可能にすることで、PER に取り組む研究者の増加に繋がるという意見が述べられた。

また、教養教育担当組織のある大学であれば、その組織に PER を知ってもらうことにより、普及の可能性もあるかもしれないとの意見もあった。

PER とその意義の広報に関する意見もあった。質の高い学生を研究室に入れるためには、学生の育成が重要だとして、PER の意義を広く伝えていくことが必要だというものである。広報手段は、HP、新書等一般書、論文等が挙げられた。

その他の方策として、PER 普及運動へのノーベル賞級の学界重鎮の参加、現状では高校教員が中心となっている日本物理教育学会への大学教員の参加促進等も挙げられた。

組織的な取組と PER 研究者の育成の両方に関わるが、様々な取組を支えるファンディング(予算措置)の重要性の指摘もあった。PER の研究自体や研究成果に基づく教科書・教材の開発・普及等のための資金投入である。

4. 4. PER の普及のための FD について

PER の普及のために必要な FD については、一部の調査対象者から発言があったものの、あまり多くの意見は出てこなかった。また、効果的な FD を行うことの難しさを感じている対象者もいた。こうした結果は、前節で述べた PER の普及のために必要なこととして、個々の教員への働きかけに関する意見がほとんどなかったことと整合的と言えるかもしれない。

効果的な FD 手法としては、学生を対象としたワークショップ・公開授業(学生の反応や変化を見てもらう)、相互授業参観、プレ・ポストテストを用いた授業評価法の FD、全国から大学の物理系新人教員を集めた合宿でのワークショップ等が挙げられた。

また、大学等で FD を行う際は、PER を難しいものとして紹介せず、労力がかからずできるなど、ハードルを下げで紹介することも必要だとの意見があった。

PER 的な授業のやり方を他教員に教えることのできる専門家集団や予算が必要との指摘もあった。

5. 考察

本章では、前章の調査結果から得られる示唆について、国際比較の視点から考察する。

5. 1. 日本特有の課題

まず、前章の調査結果において、PER とそれに基づく教授法の普及に必要なこととして、組織的な取組が強調されていたことが特徴的である。そして、調査対象者の誰一人として、日本における組織的取組の事例について語ることはなかった。管見の限り、そうした事例は見当たらないが、関連事情を熟知していると思われる調査対象者によって、組織的取組の事例がほとんどないことが裏付けられたと言える。そして、日本における PER とそれに基づく教授法の普及にとって、組織的取組の必要性が第一の課題として浮かび上がったことになる。

組織的取組が進んでいない要因としては、PER 研究者が少なく、物理学者の間で研究領域として認知されていないという存在感の小ささに加え、インタビュー対象者が語った通り、PER の研究者及び実践者の多くが教員養成大学・学部又は全学共通教育（教養教育）実施組織に所属しており、理学部物理学科等に籍を置く PER 専門家がほとんどいないことも一因と考えられる。米国の大学における PER 研究者のように、同じ学部・学科の同僚として働きかけることが困難だからである。

海外においては、既に PER を含む DBER に基づく教授法の変革のための組織的取組が見られる。日本の課題がどこにあるのか検討できるよう、海外における組織的取組の動向について紹介する。

特に米国においては、既に 2010 年代前半に、STEM 領域の学士課程教育について、DBER によるエビデンスやそれに基づく教育変革が、一部の教員や授業における取組にとどまり、なかなか普及しないことが課題視され、学科レベルや機関レベルの組織的な変革のための知見の必要性が重視されるようになっていた。こうした問題意識から、2011 年と 2014 年の 2 度にわたり「大学を変革する」(Transforming Institutions) というタイトルの国際会議が開催され、同会議における発表を基に書籍 (Weaver et al. 2016) が編纂された³⁾。同書には、機関レベルや学科レベル等の STEM 領域の教育変革の取組事例が数多く所収されている。

その代表的な事例の一つが、同書の序文の筆者、ノーベル物理学賞を受賞した物理学者であり、科学教育研究者でもある Carl Wieman 氏（現在スタンフ

ード大学教授)が主導した「科学教育イニシアチブ」(Science Education Initiative: SEI)である。SEIは、同氏の著書(Wieman 2017=2021)が詳述する通り、米国のコロラド大学ボルダー校(CU)及びカナダのブリティッシュコロンビア大学(UBC)の282人も教員が235科目の授業でDBERのエビデンスに基づく教授法を採用するに至った取組であり、北米の大規模研究大学の学士課程における理系各学科にわたる組織的な教育改革プロジェクトであった(期間:2007年~2013年)。

同書は、SEIの実践においてマイクロレベルの授業改善の普及如何を左右する決定的要因がよりマクロな学科等組織の在り方であることを見出し、イノベーション理論や組織変革論等に基づく社会科学的な考察を試み、学科を挙げてのコミットメントやインセンティブの重要性を知見として提示した。また、教員の負担軽減や教育専門性を担う存在として、同書ではサイエンス・エデュケーション・スペシャリスト(Science Education Specialist: SES)と呼ばれるDBER専門人材の育成・活用の必要性を強調している。

SEIがどのような組織的取組であったか、また、SESがどのような人材か、大要がつかめるよう、主として同書に拠りながら(他の文献に拠る箇所は出典を特記しつつ)ポイントを要約する。

SEIは、中央事務局(SEI Central)を置いて、プロジェクト管理に当たらせた(UBCの場合、事務局スタッフは、フルタイム換算で2~3人であった.)。中央事務局から、授業変革等の取組を学内公募し、各学科は、申請書を作成・提出する。中央事務局は、申請を評価して参加学科(UBCの場合は7学科)を選定し、競争的資金を供給する(学科ごとに30万~180万米ドル)。参加学科は、事業責任者を決め、SESを雇用し、授業変革等に取り組む。なお、UBCによるSESの雇用総数は50人であった(Chasteen & Code 2019)。中央事務局は、SESの研修・指導を行い、各学科の取組進捗をモニタリングする。UBCの場合、総合事業費は、6年間(2007~2013)で1,100万米ドル(学科への配分額9百万+中央事務局支出額2百万)であり(Chasteen & Code 2019)。その財源は大学予算9百万と寄付金2百万であった(Chasteen & Code 2018)。

SESは、SEIを成功させた変革のエージェントと位置付けられている。SESの実際の名称は、CUではScience Teaching Fellow、UBCではScience Teaching and Learning Fellowであった。典型的なSESは、博士号(Ph.D.)取得後まもない若手研究者から採用された。採用後、DBERに基づく教育方法の研修(最初の研修期間:1 Semester. その後も継続的に毎週ミーティングで専門性開発)を経て、当該学問の専門性と教育の専門性を併せ持つ専門家へと育っていった。

エビデンスに基づく教授法の変革を普及するための課題

SES の主な役割は、学科の教員と協力して授業変革を実施することであった。学科内のセミナーやワークショップ開催等を通じ、教員の教授・学習に関する知識を増やしつつ、教員（集団）に助言し、エビデンスに基づく教育の導入を支援した。SES 任期終了後のキャリアパスは、教育に重点を置いた教員ポストや DBER 研究者のための教員ポストに就くなど、順調であったという。

SEI は、これをモデルとした組織的な教育改革プロジェクトを触発した。SEI のハンドブック (Chasteen & Code 2018) は、そうした SEI 方式のプロジェクトとして 5 つの事例を取り上げている。そのうちの一つ、コーネル大学の「アクティブラーニング・イニシアチブ」は、2013 年に開始され、当時の学部長の主導で文理学部の実業として始まったが、その後、プロボストの下での全学事業となった。資金の大半は teaching fellow と呼ばれる SES 相当の職の雇用に充当されている。コーネル大学のプロジェクトの特徴は、人文社会科学分野の学科（古典学、経済学、社会学、心理学等）も参加している点にある。もう一つの特徴的な事例として、インペリアル・カレッジ・ロンドンの「学習・教授戦略」は、DBER に基づくアクティブラーニングを大学全体・全学科に導入しようという野心的なプロジェクトである。大学の予算措置により、各学科で Strategic Teaching Fellows と呼ばれる SES 相当職を複数雇用し、カリキュラム改革と教授法変革に取り組むものである。

SEI やこれをモデルとした組織的な改革の取組には、共通する特徴が二つあることが分かる。一つは、教授法の変革の事例のほとんどが一つないし少数の授業科目に関する実践という現状に対峙し、組織的な変革に取り組むとともに、学問分野に根ざした教育の変革を目指すため、学科を取組の主体としていることである。SEI 以外の実践研究においても、学科レベルの変革の取組の有効性が示されてきている (Quan et al. 2019)。二つ目の特徴は、SES など学問分野に根ざした教育専門家を雇用し、教員支援に当たらせていることである。

これら二つの特徴は、前章の調査結果において、PER とそれに基づく教授法の普及に必要なこととして、組織的な取組並びに PER 研究者の育成の必要性が強調されていたことと整合的である。換言すれば、日本では、海外の事例に見られるような組織的な取組と PER (物理学における DBER) の専門人材の育成が実現していないことが、大きな課題として横たわっていると言える。とはいえ、米国では STEM 領域の大学教育の組織的な変革のための知見が確立しているなどと言いたいわけではない。米国大学協会 (AAU 2017: 20) が「学士課程 STEM 教育の改善にとって最大の障壁は、現在利用可能な検証済みの研究成果に基づく教育のアイデアや方略の効果的な普及方法に関する知識が不

足していることである。」と述べる通りである。日本との違いは、組織的な変革に向けた実践と研究が全米各地で活発に行われつつあることである。

PER を含む DBER の専門家の育成及び活用について、米国の状況は、日本と対照的である。DBER の専門性を身に付けた SES のキャリアパスが順調であったことは前述したが、米国では、DBER を専門として研究・教育する教員ポストを設置する大学が増え続けており、2015 年度に生物学分野だけで 25 以上の公募があったという (Dolan et al. 2018)。また、米国の大学の理系諸学科における教育の専門性を備えた教員 (Science Faculty with Education Specialties: SFES) に関する調査研究 (Bush et al. 2013) によると、SFES は 2000 年以降に急増し (SFES の半数以上が 2000 年以降の雇用)、全米の多様な大学の物理学・化学・生物学・地学等各学科で広く雇用され、准教授・教授をはじめ幅広い職位に就いているという。全ての SFES が DBER 専門家であるとはまでは言えないとしても、重なりは大きいと言えるだろう。需要が増えれば、供給も増える。すなわち、DBER を専攻して博士号を取得できる大学院も増えている (Dolan et al. 2018)。

このような米国の状況と比して、日本では圧倒的に不足している DBER の研究者・実践者を増やし、我が国の大学教育における優れた教授法の実践例とその成果について、Web 等を活用しながらエビデンスとして蓄積・公開していくことは、重要な課題である。

5. 2. 海外における課題との共通性

しかし、米国にあっても、DBER による知見の教育実践への反映については、なお課題が大きい。既に 20 世紀末には Redish (2000) によって指摘された課題であるが、Fulmer (2014) によると、依然として授業は伝統的な講義方式が主流であり、DBER による研究の進展にもかかわらず、大規模な授業変革が進まない現状に、DBER 研究者や政策立案者が苛立ちを募らせているという。DBER の研究成果が FD ワークショップ等の機会を通じて一定程度周知されてきているものの、それらが実際の授業実践に採り入れられても、継続しないというデータも報告されている (NRC 2012)。

それゆえ、次のステップとして、組織的な変革に取り組む実践とその研究が始まっているのだと言えよう。

前述の SEI は、大学の授業に変革をもたらした組織的取組としては、おそらく最大規模のものであるが、オールマイティなトップダウンで実施されたものでは全くない。そして、取組の舞台となった 2 つの大学は、世界レベルの研究

エビデンスに基づく教授法の変革を普及するための課題

大学であり、一般的に威信の高い大学ほど組織的改革は困難な傾向があることが、その実践の普遍的価値を高めている。その取組が遭遇した困難や障壁は、日本の大学にとってもお馴染みのものが多い。

例えば、SEIを主導した Wieman (2017=2021) は、取組が直視しなければならなかった現実として、研究の成果は入念に測定され、報酬に反映されるのに、教育の成果はそうではないということを強調する。教員にとって教育を改善しようとするインセンティブが欠如しており、それどころか、「教員は一般に、教育を革新するために研究の時間を減らしたら、公式のインセンティブ・システムによって罰せられると考えている」(ibid.: 170) と述べるなど、インセンティブ・システムの課題に度々言及している。研究大学か否かによる状況の違いを含め、日本でも共通する課題である。SEIは、これに対抗する非公式なインセンティブとして、授業時間数の軽減やリサーチ・アシスタントの雇用といった方策を講じた。また、最重要の方策は、SESによる支援により、教育変革に要する時間的負荷を最小限に抑えることであった。

また、インセンティブ・システムの問題の前に、そもそもエビデンスに基づく教授法の変革の有効性を教員や学科が理解・納得するかどうか、という課題があった。教育改善の「究極の目標は、良い教育は単に教える内容に関する知識と人格の適性によってもたらされるものではないということ、教員や学科に納得させることだと悟らなければならない。良い教育に必要なのは、確固たる学習原理に基づく教育の専門性と、学習原理を特定分野の教育に適用する、エビデンスに基づく教育実践に関する知識である」(ibid.: 169) と述べる通りである。この課題は、おそらく日本の大学教員についても同様であろう。そして、SEIの取組の経験では、自学科の学生による証言等が有効であり、「出版された研究成果よりも足元の事例のほうがよほど説得力があった」(ibid.: 158) という。また、教員は、自分野のエビデンスでなければ受け付けられない傾向があり、例えば、化学者なら、物理学で効果のある教育方法が化学でも通用するわけではないといった信念をしばしば表明したという。ここにも DBER の意義がある。

さらに、仮に新しい教授法の有効性を納得したとしても、教員には教育内容を全てカバーできるかという懸念があり、従来扱ってきた内容を全て取り上げるには伝統的な講義形式で急いで終わらせなければならないと考える教員が少なくなかった。同書(ibid.: 166)が「教育内容の専制支配」と呼ぶこの問題は、日本の大学教育の現場でも、アクティブラーニング導入が困難な理由としてしばしば耳にする。SEIにおけるこの問題への対処は、教育内容のかなりの

部分(単純な情報伝達や数学的導出)を予習や宿題で取り組ませることにより、授業時間を効率的に使うという方法であり、これを実践した教員の話を書くことが説得力を増した。

SEIの取組の実践を通して得られたとされるポジティブな知見、日本の大学にも共通して当てはまってほしい知見についても、触れておきたい。「エビデンスに基づく双方向の教授法で教える時、教員は一貫して授業に個人的なやりがいを感じた。なぜなら、以前に比べ、学生がより積極的に学び、学習テーマへの関心と教員への注意がどちらも高まったからだ。また、学生との知的な相互作用の水準も上がり、教員は担当科目の豊かな複雑さを学生が学び取ることにより以前よりずっと貢献できているとの実感を得た。」(ibid.: 159)という。インセンティブ・システムの障害にもかかわらず、SEIが成功を収めた最大の理由は、個人的なやりがいの経験であったというのである。

しかし、多くの教員をこの状態へ導くのが容易でないことは、Wieman (2017=2021)の実践的な研究とは性格を異にする調査研究によっても明らかにされている。例えば、Erdmann et al. (2020)は、米国の研究大学におけるSTEM領域の教員42人を対象とする半構造化面接により、彼らの多くが自身の授業の振り返りにおいて教育内容をカバーできたかどうかの自己評価に重きを置き、学生の学修に焦点を置いていないという、学生中心ならぬ内容中心のマインドセットを持っていることを見出している。これらの研究を見る限り、日本で大学政策が志向する学修者本位の教育の実現(中央教育審議会大学分科会2020)は、米国でも課題であり続けており、その一因は授業実践と固く結び付いた教育観(Popova et al. 2020)を変革することの困難にあることが分かる。

また、Jacobson & Cole (2020)が、州立の研究大学における質問紙調査により、STEM領域全14学科の120人からの自由記述回答を分析した結果、授業変革が多大な労力と時間を要するのに、変化がもたらす便益は小さいので、現状維持が合理的との教員の認識が浮かび上がっている。これは、SEIが遭遇したインセンティブ・システムの課題に通じる。

5. 3. 本研究から得られる示唆

本研究において、PERの研究・実践に取り組む研究者・教育者のインタビュー調査を行った結果、PERとそれに基づく教授法の普及に必要なこととして、組織的な取組の重要性和PER専門家の育成の必要性が主要な課題として浮かび上がった。

そして、この調査結果について国際比較の視点から考察したところ、これら

エビデンスに基づく教授法の変革を普及するための課題

二つの課題のうち、組織的取組については、特に北米において PER を含む DBER に基づく教授法の普及・変革のための組織的取組の事例が少なからず見られるようになってきている状況と比べ、日本における課題が大きいことが明らかになった。また、もう一つの課題である PER を含む DBER 専門家については、北米では博士課程においても育成が進められるとともに、育成した DBER 研究者・教育者の就ける教員ポストが増えており、日本とは比較にならない状況であることが分かった。さらに、それらのポストは、通常、理系諸学科に設けられており、PER 研究者・教育者の多くが教員養成大学・学部又は全学共通教育（教養教育）実施組織に所属している日本と比べ、理系諸分野の教育の変革に向けた組織的取組につながりやすいことも示唆された。

他方で、教員の多くが持つ教育観（学修者本位とは言い難い、教育内容本位の教育観）の課題、教授法の変革の教員にとってのコストとベネフィット（変革の取組に要する労力・時間と、これに比してはるかに少ない、ときにはマイナスにもなる便益）、換言すれば、インセンティブ・システムの課題は、北米においても存在する。日本との違いは、こうした課題を直視しつつ、組織的変革に向けた実践と研究が各地で取り組まれ、これを支える DBER 専門家がかなりの規模で存在することである。

また、北米では、STEM 諸分野の教育方法に関する研究が DBER という概念で総称され、いわば一つの学術的運動として組織化されていることの重要性を見逃せない。日本では、管見の限り、そうした組織化に向けた具体的な動きは見られない。

日本においても、DBER のエビデンスに基づき、科学技術立国を支える STEM 諸分野の教育の変革を目指すのであれば、大学執行部や理系学部・学科関係者による DBER の認識と取組はもとより、米国が国家戦略としてその推進を謳い、NSF 等を通じて連邦資金を投入してきた事実（大森・斉藤 2018; 斉藤 2022）を踏まえ、インタビュー調査対象者も求めたファンディング（予算措置）が欠かせないのではないかと考えられる。

6. おわりに: 今後の課題

本研究においては、DBER のうち最も早く発展した PER に絞って、関係者のインタビュー調査を実施し、国際比較の視点から考察を行った。物理学以外の理系諸分野についても調査研究を進めることによって、DBER とそれに基づく教授法の普及に関する議論を広げ深めることは、残された課題である。

また、DBER とそれに基づく教授法の普及を検討するに当たっては、日本と

米国等の大学教育の置かれている条件の違いも考慮しなければならない(日本学術会議物理学委員会物理教育研究分科会 2020)。例えば、米国の学士課程教育は、通常、専攻分野の定まっていない学生に対して開始されるのに対し、日本の学士課程教育は、多くの場合、学生の専攻分野(学部・学科等)は入学時点で決まっており、学生定員は入学から卒業まで専攻ごとに厳格に管理されている。したがって、日本では、米国と異なり、どのような授業が行われようとも、専攻ごとの学生数が米国のように大きく変動することはない。このほか、日本の大学の理系諸分野において一般的ないわゆる研究室教育(卒業研究等は、単位数に比べ、その実質的比重は大きい。)、就職活動や研究室に配属される前段階の低年次での履修単位の多さなど、カリキュラムや慣行を含む広義の制度の違いは少なくない。こうした点を含む検討も、今後の課題である。

謝辞

本研究は科研費(課題番号: 18H01028)の助成を受けたものである。

注

- 1) スノーボール法(雪だるま法)とは、知り合いの紹介を受けて雪だるま式に調査対象(標本)を増やす標本抽出法である。
- 2) 同調査には、このほか、DBER及びPERの普及推進のためのWebサイト構築に関するニーズ調査としての質問項目も含まれていたが、本研究の目的とは直接関係しないので、割愛する。
- 3) パデュー大学が主催していた同国際会議及び関連活動は、「システム的変革加速ネットワーク」(Accelerating Systemic Change Network: ASCN)という団体に引き継がれている(次のURL参照)。

<https://ascnhighered.org/index.html> (閲覧 2022/10/11)

参考文献

Association of American Universities (AAU) (2017), *Progress Toward Achieving Systemic Change: A Five-Year Status Report on the AAU Undergraduate STEM Education*

Initiative,

<https://www.aau.edu/sites/default/files/AAU-Files/STEM-Education-Initiative/STEM-Status-Report.pdf> (閲覧 2022/10/13).

Beichner, R. J. (2009), “An introduction to physics education research”, in C. Henderson and K. Harper eds., *Reviews in PER*, Vol. 2: *Getting started in PER*, <https://www.per-central.org/items/detail.cfm?ID=8806> (閲覧 2022/10/11).

Bush, S. D., Pelaez, N. J., Rudd II, J. A., Stevens, M. T., Tanner, K. D., and Williams, K. S. (2013), “Widespread distribution and unexpected variation among science faculty with education specialties (SFES) across the United States”, *Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS)*, Vol. 110, No. 18, pp. 7170-7175.

Caramazza, A., McCloskey, M., and Green, B. F. (1981), “Naive beliefs in ‘sophisticated’ subjects: Misconceptions about trajectories of objects”, *Cognition*, Vol. 9, pp. 117-123.

Chasteen, S., and Code, W. (2018), *The Science Education Initiative Handbook: A practical guide to fostering change in university courses and faculty by embedding discipline-based education specialists within departments*, <https://pressbooks.bccampus.ca/seihandbook/> (閲覧 2022/10/10).

Chasteen, S., and Code, W. (2019), “Embedding education specialists within departments to catalyze change”, https://ascnhighered.org/ASCN/webinars/2019/edu_specialists/index.html (閲覧 2022/10/10).

中央教育審議会大学分科会 (2020), 「教学マネジメント指針」, https://www.mext.go.jp/content/20200206-mxt_daigakuc03-000004749_001r.pdf (閲覧 2022/10/13).

Crouch, C., and Mazur, E. (2001), “Peer Instruction: Ten years of experience and results”, *American Journal of Physics*, Vol. 69, No. 9, pp. 970-977.

Cummings, K. (2011), “A Developmental History of Physics Education Research”, in *Second Committee Meeting on the Status, Contributions, and Future Directions of Discipline-Based Education Research*, https://sites.nationalacademies.org/cs/groups/dbassesite/documents/webpage/dbasse_072580.pdf (閲覧 2022/10/11).

Deslauriers, Louis, Schelew, Ellen, and Wieman, Carl (2011), “Improved Learning in a Large-Enrollment Physics Class”, *Science*, Vol.332, pp.862-864.

Dolan, E. L., Elliott, S. L., Henderson, C., Curran-Everett, D., St. John, K., and Ortiz, P. A. (2018), “Evaluating Discipline-Based Education Research for Promotion and Tenure”, *Innovative Higher Education*, Vol. 43, pp. 31-39.

Erdmann, R., Miller, K., and Stains, M. (2020), “Exploring STEM postsecondary instructors’ accounts of instructional planning and revisions”, *International Journal of STEM Education*, Vol. 7, Article Number: 7, pp. 1-17, <https://link.springer.com/content/pdf/10.1186/s40594-020-00206-7.pdf> (閲覧

2022/10/13).

- Freeman, S., Eddy, S. L., McDonough, M., Smith, M. K., Okoroafor, N., Jordt, H., and Wenderoth, M. P. (2014), “Active learning increases student performance in science, engineering, and mathematics”, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, Vol. 111, No. 23, pp. 8410-8415.
- Fulmer, G. W. (2014), “Policies for Broadening Implementation of Research-Based Pedagogy in Undergraduate STEM Education: Possible Models, Limitations, and Solutions”, B. Zhang et al. eds., *International Conference on Science Education 2012 Proceedings: Science Education: Policies and Social Responsibilities*, Springer, pp. 15-26.
- Hake, R. R. (1998), “Interactive-Engagement Versus Traditional Methods: A Six-Thousand-Student Survey of Mechanics Test Data for Introductory Physics Courses”, *American Journal of Physics*, Vol. 66, No. 1, pp. 64-74.
- Halloun, I. A., and Hestenes, D. (1985), “The Initial Knowledge State of College Physics Students”, *American Journal of Physics*, Vol. 53, No. 11, pp. 1043-1055.
- Jacobson, W., and Cole, R. (2020), “Motivations and Obstacles Influencing Faculty Engagement in Adopting Teaching Innovations”, *To Improve the Academy*, Vol. 39, Iss. 1, pp. 137-159.
- 加賀栄子・宗尻修治 (2020), 「チュートリアルワークシートを用いた高校物理の授業実践と評価」, 『物理教育』, 第 68 巻, 第 2 号, 87-92 頁.
- 兼田真之・新田英雄 (2009), 「クリッカーを用いたピア・インストラクションの授業実践」, 『物理教育』, 第 57 巻, 第 2 号, 103-107 頁.
- 河合塾 (n.d.), 「2015 年度大学のアクティブラーニング調査」, https://www.kawaijuku.jp/research/unv/pdf/2015_houkokusho.pdf (閲覧 2022/10/11).
- 川村康文 (1998), 「構成主義理科学習論に基づいた物理授業」, 『物理教育』, 第 46 巻, 第 5 号, 272-275 頁.
- 川村康文 (2000), 「大学生に見る物理分野における素朴概念の実態」, 『物理教育』, 第 48 巻, 第 1 号, 78-82 頁.
- 北村貴文・谷口和成 (2015), 「ILDs による概念理解に対する学習者の動機づけの影響」, 『物理教育』, 第 63 巻, 第 2 号, 98-103 頁.
- 北村貴文・谷口和成 (2018), 「中学生を対象にした ILDs 「電気回路分野」の実践」, 『物理教育』, 第 66 巻, 第 4 号, 253-257 頁.
- 覧具博義・新田英雄 (2008), 「米国大学・高校の基礎物理教育の動向」, 『大学の物理教育』, 第 14 巻, 第 2 号, 92-97 頁.
- 覧具博義 (2012), 「アメリカの物理教育研究の動向」, 『応用物理』, 第 81 巻, 第 10 号, 816-825 頁.
- 覧具博義 (2016), 「物理教育研究の誕生とその背景」, 『物理教育』, 第 64 巻, 第 1 号, 36-41 頁.

- 覧具博義 (2020), 「国際共通の評価ツールを用いた我が国の物理教育の現状調査と改革指針の探求」, 『科学研究費助成事業研究成果報告書』.
- 覧具博義・笠潤平 (2021), 「『物理教育研究』への期待」, 『大学の物理教育』, 第27巻, 第1号, 12-16頁.
- Mazur, E. (1997), *Peer Instruction: A User's Manual*, Prentice Hall.
- McDermott, L. C., Shaffer, P. S., and the Physics Education Group at University of Washington (1997), *Tutorials in introductory physics*, Prentice Hall.
- 文部科学省 (2021), 「令和元年度の大学における教育内容等の改革状況について」, https://www.mext.go.jp/content/20211104-mxt_daigakuc03-000018152_1.pdf (閲覧 2022/10/11).
- 村田隆紀 (2015), 「物理教育研究の国際的な動向と日本の課題」, 『物理教育』, 第63巻, 第4号, 278-281頁.
- National Research Council (NRC) (2012), *Discipline-Based Education Research: Understanding and improving learning in undergraduate science and engineering*, National Academies Press.
- Ng, O-L., Ting, F., Wai Hung Lam, W. H., & Liu, M. (2020), “Active learning in undergraduate mathematics tutorials via cooperative problem-based learning and peer assessment with interactive online whiteboards”, *The Asia-Pacific Education Researcher*, Vol. 29, Iss. 3, pp. 285-294.
- 日本学術会議物理学委員会物理教育研究分科会 (2020), 『提言 物理学における学問分野に基づく教育研究 (DBER) の推進』, <https://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-24-t295-3.pdf> (閲覧 2022/10/11).
- 新田英雄 (2011), 「ピア・インストラクションとは何か」, 『日本物理学会誌』, 第66巻, 第8号, 629-632頁.
- 新田英雄 (2016), 「研究領域としての物理教育」, 『日本物理学会誌』, 第71巻, 第1号, 40-43頁.
- 新田英雄・松浦執・工藤知草 (2014), 「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』, 第38巻, 第1号, 12-19頁.
- 新田英雄・覧具博義 (2008), 「レディッシュ教授の基礎物理講義」, 『物理教育』, 第56巻, 第2号, 132-137頁.
- 大森不二雄・斉藤準 (2018), 「米国 STEM 教育における DBER (discipline-based education research) の勃興—日本の大学教育への示唆を求めて—」, 『東北大学高度教養教育・学生支援機構紀要』, 第4号, 239-246頁.
- Partanen, L. (2018), “Student-centred active learning approaches to teaching quantum chemistry and spectroscopy: quantitative results from a two-year action research study”, *Chemistry Education Research and Practice*, Vol. 19, Iss. 3, pp. 885-904.
- Popova, M., Shi, L., Harshman, J., Kraft, A., and Stains, M. (2020), “Untangling a complex relationship: teaching beliefs and instructional practices of assistant chemistry faculty at research-intensive institutions”, *Chemistry Education Research and Practice*, Vol. 21,

- pp. 513-527.
- Quan, G. M., Corbo, J. C., Finkelstein, N. D., Pawlak, A., Falkenberg, K., Geanious, C., Ngai, C., Smith, C., Wise, S., Pilgrim, M. E., and Reinholz, D. L. (2019), “Designing for institutional transformation: Six principles for department-level interventions”, *Physical Review Physics Education Research*, Vol. 15, 010141, pp. 1-22.
- Redish, E. F. (2000), “Discipline-Based Education and Education Research: The Case of Physics”, *Journal of Applied Developmental Psychology*, Vol. 21, Iss. 1, pp. 85-96.
- Redish, E. F. (2003), *Teaching physics with the physics suite*, Wiley. (=2013, 日本物理教育学会監訳『科学をどう教えるか』丸善出版.)
- Rodriguez, M. & Potvin, G. (2021), “Frequent small group interactions improve student learning gains in physics: Results from a nationally representative pre-post study of four-year colleges”, *Physical Review Physics Education Research*, Vol. 17, 020131, pp. 1-11.
- 笠潤平 (2010), 「研究に基づく物理教育の改善と評価」, 『大学の物理教育』, 第16巻, 第2号, 83-87頁.
- 笠潤平 (2022), 「物理教育研究と物理教育」, 『物理教育』, 第70巻, 第1号, 51-57頁.
- 斉藤準 (2022), 「DBERの展開」, 『物理教育』, 第70巻, 第1号, 28-33頁.
- Sokoloff, D. R., and Thornton, R. K. (1997), “Using interactive lecture demonstrations to create an active learning environment”, *The Physics Teacher*, Vol. 35 (6), pp. 340-347.
- 鈴木久男・細川敏幸・山田邦雅・前田展希・小野寺彰 (2006), 「初等物理教育における能動的学習システムの構築」, 『高等教育ジャーナル-高等教育と生涯学習-』, 第14巻, 89-97頁.
- 鈴木久男・武貞正樹・引原俊哉・山田邦雅・細川敏幸・小野寺彰 (2008), 「授業応答システム“クリッカー”による能動的学習授業-北大物理教育での1年間の実践報告-」, 『高等教育ジャーナル-高等教育と生涯学習-』, 第16巻, 1-17頁.
- 田中忠芳・興治文子・中野公世 (2010), 「領域13物理教育シンポジウム報告 定量的方法による物理教育研究の現状と展望 (学会報告)」, 『大学の物理教育』, 第16巻, 第3号, 178-183頁.
- 谷口和成 (2017), 「相互作用型演示実験講義 (ILDs) の展開と課題」, 『物理教育』, 第65巻, 第3号, 170-175頁.
- 徳井美智代・宮本淳 (2015), 「アクティブラーニングの現状についてのアンケート調査集計」,
<https://8gp.high.hokudai.ac.jp/irmw/wp-content/uploads/2015/04/AL2015.pdf> (閲覧2022/10/11).
- 朝永振一郎 (1979), 『物理学とは何だろうか 上』, 岩波書店.
- Trowbridge, D., and McDermott, L. C. (1981), “Investigation of Student Understanding of the Concept of Acceleration in one Dimension”, *American Journal of Physics*, Vol. 49, No. 3, pp. 242-253.

エビデンスに基づく教授法の変革を普及するための課題

- 塚本浩司 (2004), 「仮説実験授業の理論と, 1980 年以降の英米における “新しい物理教育研究”」, 『物理教育』, 第 52 巻, 第 2 号, 133-139 頁.
- 塚本浩司・樋口幸江・加納誠 (2005), 「大学生の力学基礎概念」, 『日本物理学会誌』, 第 60 巻, 第 4 号, 294-297 頁.
- 植松晴子 (2011), 「チュートリアル方式による物理授業の試み」, 『大学の物理教育』, 第 17 巻, 第 3 号, 129-132 頁.
- 植松晴子 (2015), 「チュートリアル方式の授業実践を通して実感する米国物理教育研究の成果」, 『物理教育』, 第 63 巻, 第 1 号, 2-7 頁.
- 右近修治 (2015), 「アメリカ物理教育の転回: 「何を教えるか」 から 「学生は何を学んでいるか」 の研究へ」, 『東京都市大学共通教育部紀要』, 第 8 巻, 65-80 頁.
- 右近修治 (2019), 「相互型演示実験授業 (ILDs) による授業研究」, 『東京都市大学共通教育部紀要』, 第 12 巻, 49-67 頁.
- 梅田貴士 (2021), 「「橋渡し」を取り入れた ILDs の有効性: ニュートンの第 3 法則の学習を事例として」, 『物理教育』, 第 69 巻, 第 3 号, 129-136 頁.
- Weaver, G. C., Burgess, W. D., Childress, A. L., and Slakey, L. eds. (2016), *Transforming institutions: undergraduate STEM education for the 21st century*, Purdue University Press.
- Wieman (2015), “A Better Way to Evaluate Undergraduate Teaching”, *Change: The Magazine of Higher Learning*, Vol. 47, Iss. 1, pp. 6-15.
- Wieman, C. (2017), *Improving How Universities Teach Science: Lessons from the Science Education Initiative*, Harvard University Press. (=2021, 大森不二雄・杉本和弘・渡邊由美子監訳『科学立国のための大学教育改革: エビデンスに基づく科学教育の実践』玉川大学出版部.)
- 山崎敏昭・谷口和成・古結尚・酒谷貴史・山口道明・岩間徹・笠潤平・内村浩・村田隆紀 (2013), 「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』, 第 61 巻, 第 1 号, 12-17 頁.