

(案)

提言

物理学分野における
学問分野に基づく教育研究（DBER）の推進



令和 年（20 年）〇月〇日

日 本 学 術 会 議

物理学委員会

物理教育研究分科会

この提言は、日本学術会議物理学委員会物理教育研究分科会の審議結果を取りまとめ公表するものである。

日本学術会議物理学委員会物理教育研究分科会

委員長	笹尾真実子	(連携会員)	東北大学名誉教授
幹事	笠 潤平	(連携会員)	香川大学教育学部教授
	岡 真	(連携会員)	日本原子力研究開発機構原子力科学研究部門先端基礎研究センター長
	駒宮 幸男	(連携会員)	早稲田大学理工学術院総合研究所教授
	芝井 広	(連携会員)	大阪大学理学研究科教授
	新永 浩子	(連携会員)	鹿児島大学学術研究院准教授
	千葉 征司	(連携会員)	東北大学大学院理学研究科教授
	村田 隆紀	(特任連携会員)	京都教育大学名誉教授、元学長
	覧具 博義	(特任連携会員)	東京農工大学名誉教授

本提言の作成にあたり、以下の職員が事務及び調査を担当した。

事務	犬塚 隆志	参事官（審第二担当）
	五十嵐 久留美	参事官（審議第二担当）付参事官補佐
	横田 真理江	参事官（審議第二担当）付審議専門職付

1 作成の背景

科学技術立国を目指すわが国では、文理横断的な普遍的知識と技能を身につけ、予測不能な時代に対応できる思考力を持った人材の必要性が高まっている。また、高齢化と少子化が急激に進む近年、これまでの労働集約型から知識集約型の産業へと転換する Society 5.0 を実現するために、急速に進歩する AI などを活用する人材の育成が急務である。

その実現には、大学の基礎課程での理・数・工系科目において、知識を付与する教育から、論理的、批判的、創造的思考力を養う教育への改革、強化が必要である。特に、物理学は普遍性と論理性のゆえに、社会を変革する能力を身につける上で不可欠な要素である。AI の機械学習の仕組みや特徴を理解し、データを正しく理解し取り扱うためにも物理学の観点が有用である。

日本学術会議第 23 期の物理学委員会・物性物理学・一般物理学分科会では、上記の背景に対応して、物理教育研究ワーキンググループを立ち上げ活動をおこなってきた。その中において、多くの大学の基礎教育レベルでの物理学教育が有効な効果を十分にあげているとは言えないという現状の一方で、欧米の物理教育研究がめざましい発展を遂げ、わが国においても一部の教育研究の専門家により成果をあげつつあるということが明らかになった。そこで第 24 期の物理学委員会では物理教育研究の検討を物理学全分野に広げ、さらに多面的な検討と、新時代の物理教育変革に繋がる議論を行うために物理教育研究分科会を設置した。本提言ではわが国の物理教育と物理教育研究の現状を分析し、物理教育研究の強化と大学基礎課程における物理教育の変革のために実効性のある方策を提案する。

2 現状および問題点

近年、欧米の物理教育研究がめざましい発展を見せているのは、Discipline Based Education Research (DBER)、すなわち学問分野の専門性に基づいた教育研究の考え方をとりいれていることによる。ここでは認知心理学や脳科学の知見を積極的に取り入れて、各学問分野固有の専門性を習得する過程で、学習者がどのような困難を感じてどこでつまずくか、どのような誤った概念習得をするかなどについて、当該分野の専門家による判断を行いながら、知識理解と応用力習得を促す教育方法の実践的で実証的な研究を行う。また、エビデンスに基づいた教育効果評価の研究なども重要な要素になってきている。

欧米諸国では、上記のような物理教育研究の成果が、現代の計算機とネットワーク環境を活かし、実際の教育現場で効果的かつ効率的な授業の実践に結びつきつつある。ここに至るまでには、物理教育の研究者や、授業を担当している教員の努力のみならず、物理学会等の諸学会や科学振興の組織等が物理教育研究の重要性を認識しその推進策をとったこと、いくつかの大学では授業改革に向けて積極的な組織改革や活動支援を行ったことが大きな役割を果たしている。

わが国でも教育系大学の研究者などを中心として、この新しい教育方法を試みる活動が積極的に行われて来ている。その一つとして、米国で開発された教育効果評価方法を使っ

て、物理を学ぶ大学生について広範な調査が行われた。ここで、基礎物理学講義の前と後において力学基礎概念の理解度の伸び率を見たところ、おしなべて低く、授業効果が上がっていないことが示された。しかし、欧米の物理教育研究の手法を取り入れたいくつかのクラスでは際立って理解の伸び率が高かった。また依然として男女差（ジェンダー・ギャップ）があることも見えてきた。

このようなわが国の状況の問題点として挙げられるのは、物理教育研究に関わる研究者、すなわち専門研究者と、それにもとづく教育を実践している教員がいまだに少なく、かつ広く分散していることである。物理教育研究に関わる学会活動は日本物理学会、日本天文学会、応用物理学会、日本物理教育学会などで行われおり、さらに大学のみならず高等専門学校や高等学校などにも専門研究者が存在する。しかし、相互の連携は乏しく、さらに、専門研究者と実践している教員の連携が十分だとは言えない状況である。物理教育研究自体が広く知られていないことも事実である。

次に挙げられるのは、この連携には大学等の組織的な取り組みが必要であることである。大学教育改革の必要性は多くの側面から指摘されているが、各専門分野における教育研究に基づき、実際にエビデンスを得ながら改革をしていく試みの例はわが国には多くない。また、大学の1-2年次に7割の単位を集中させる大学生の履修環境は、基礎科目を深く学習する事を困難にしている。

3 提言の内容

以上の問題点を踏まえ、これからのわが国が目指す知的集約型社会で活躍する論理的創造的思考ができる人材を育成するために必要な、大学基礎課程における物理学教育を以下のように改革することを提言する。

1) 物理学の中に学術分野としての物理教育研究の構築が必要である。

物理学の学問領域の専門性に基づいた教育を研究分野として推進することが重要である。また、物理学分野における男女差の研究とその克服は今後の重要課題の一つである。

2) 物理教育研究の人材育成を推進すべきである。

物理教育研究の専門講座を増やすと同時に、分散している専門家集団が連携して活動するコミュニティが形成されることが必要である。

3) 物理教育研究に基づく改革型授業の大学教育の現場への組織的な導入を積極的に推進すべきである。

物理教育研究の専門家と授業を実践する教員の連携により、授業改革が可能であり、そのための環境が整備される必要がある。

4) 物理教育研究に基づく改革型の授業を効果的に行うための教育環境を整備する。

大学前期に十分な学習時間が確保できる履修環境が必要であり、またグループ授業や情報通信技術が駆使できる環境も必要である。

目

次

1	はじめに	1
2	高等教育における物理学教育の現状と 物理教育研究 の動向	3
(1)	学問分野の専門性に基づく教育研究 (DBER) とは何か	3
(2)	物理教育と物理教育研究の国際動向	5
(3)	物理教育研究の日本での動向	6
3	物理教育改革への道	11
(1)	学術分野としての「物理教育研究 PER」の強化	12
(2)	研究人材の育成	13
(3)	物理教育研究の普及と現場教育との連携	14
(4)	物理教育研究の普及と大学教育システム	14
4	提言	15
	<参考文献>	17
	<参考資料 1> 審議経過	19
	<参考資料 2> 日本学術会議 学術フォーラム (2019 年 9 月 27 日)	17
	<参考資料 3> アメリカ物理学会 (American Physical Society) 声明 (1999 年) ..	21
	<参考資料 4> AAU (Association of American Universities) 会長メッセージ (2017 年)	
		22

1 はじめに

日本学術会議は、工学教育に関連して、わが国が技術立国として国際的責任を果たすとともに国内産業を活性化させるには、それを担う人材の育成が不可欠であることを予てより指摘してきた [1] [2]。その中では単なる知識教育ではなく、社会や産業への関心を持たせ、倫理的、論理的、批判的、創造的思考ができる教育、および実際の技術問題と関連性を持たせた基礎教育を推進することが重要であると考えてきた。そのためには教育の基盤・環境整備を行うとともに、新しい工学教育を推進するため、教育方法や評価方法に関する研究や先導的教育改革への財政的援助の必要性を指摘してきた。現時点で改めて振り返るとそこでの問題の分析は、工学教育に留まらず、科学技術教育一般に当てはまる面が少なくない。

実際、少子高齢化が急激に進む日本では、今日この問題はより顕在化し、具体的となっている。これまでの労働集約型の社会構造を変えて、スマート化による知識集約型の産業を基軸に、個を活かし全世代を活用する社会 Society5.0 の実現が急務となっている [3]。

文部科学省の中央教育審議会による「2040 年に向けた高等教育のグランドデザイン」によれば、予測不能な時代に対応するには、文理横断的な普遍的知識と技能を身につけ、論理的思考力を持って社会を改善していく資質をもった人材の育成が必要とされている [4]。また、理工系人材の育成では、新たな科学技術の展開に対応した人材育成に資するような、柔軟な教育システムへの改革を求めている。

内閣府の統合イノベーション戦略推進会議による「AI 戦略 2019」では、急速に進歩する AI を社会に実装するために必要な人材の不足が指摘され、大学の基礎教育における文理を超えた AI 教育の強化により年間 25 万人の AI 人材を生み出すことが謳われている [5]。

このような環境のもとでは、理工系あるいはより広い分野にわたって最も基本的な科学リテラシーを与える大学の基礎課程での物理教育の役割はますます重要性を増している。物理学の普遍性と論理性は、予測不能な未来に柔軟に対応し、社会を変革する能力を身に付ける上で不可欠な要素である。日本学術会議物理学委員会物理学分野の参照基準検討分科会は、2016 年に、報告「大学教育の分野別質保証のための教育課程編成上の参照基準物理学・天文学分野」[6] を発出して物理学分野と天文学分野の学術領域としての特質と教育課程編成上の参照基準を示している。AI の機械学習の仕組みや特徴を理解し、データを正しく理解し取り扱うためにも物理学の観点での取り組みが有効となる。自然現象への物理学的なアプローチや、物理法則や諸概念の体系の学習を通じて養うことができる主体的かつ科学的に考える能力を基礎教育レベルでしっかりと身につけることが、今後の知識集約型社会で活躍する人材の育成にとって非常に有用である。

第 24 期日本学術会議・物理学委員会では、上記のような急速な科学技術の発展に対応するためには、大学の基礎課程での物理教育の改革が急務であると考え、物理教育研究分科会を立ち上げた。本分科会は、第 23 期の物理学委員会・物性物理学・一般物理学分科

会においてワーキンググループとして行った議論を、物理学全分野に広げてより一般的な内容とすることを目的に設置した。これまでに4回の分科会が開催され、そのなかでは、わが国の大学基礎課程における物理教育の現状と諸外国のエビデンスに基づく物理教育研究の最近の進展などについて専門家を招いた議論も行った。前期までの議論とともにこれらをもとに、学生が主体的に取り組み、物理現象と法則の本質を理解できるような物理教育のあり方と、それを具体的に実行するための手段や問題点などを議論した。さらに、2019年9月27日に学術フォーラム「今問われる物理教育改革ーより効果的な理工学教育をめざして」（参考資料2）を開催し、物理教育に関わる各方面の講師による大学の理工学分野の教育の現状について問題提起の後、より広い視野から理工系人材の育成にとって基盤となる物理学の教育改革を考え、具体的な指針を得るための議論を行った。これらの議論をもとに本提言をまとめた。

2 高等教育における物理学教育の現状と物理教育研究の動向

ここでは、まず始めに学問分野の専門性に基づく教育研究（Discipline Based Education Research-DBER）の概念について述べる。この考え方は海外における物理教育改革の歩みと近年の物理教育研究の進展の中で醸成されてきた概念であるが、その海外での歩みと近年の動向を俯瞰し、その上で、わが国における高等学校および大学の理工系初年次レベルの物理教育ならびに物理教育研究の現状を述べる。

(1) 学問分野の専門性に基づく教育研究（DBER）とは何か

次節(2)で述べる米国での物理教育と物理教育研究の動向は、学問分野に基づく教育研究（DBER）の考え方に基づいている[#][7]。

DBERとはDiscipline Based Education Research、すなわち学問分野の専門性に基づいた教育研究である。一般に教育学には個々の専門領域を超えた普遍的な目標があるが、DBERでは、それぞれの学問領域に固有の考え方や枠組み、概念や法則の精妙な体系構造があり、その理解なしには効果的な教育は望めないため、個々の学問領域ごとに教育研究（Education Research）が必要になるという考え方である。その中では、認知心理学や脳科学の知見を積極的に取り入れて、各学問分野固有の専門性を習得する過程で、学習者がどのような困難を感じてどこでつまづくか、どのような誤った概念習得をするかなどについて、当該分野の専門家による判断を行いながら、知識理解と応用力習得を促す教育方法の実践的で実証的な研究である。そのため、この研究は当該の学問分野に属する研究領域として位置づけられている。

DBERは物理学をはじめ、STEM（Science, Technology, Engineering and Mathematics）と呼ばれる科学・技術の諸分野で急速に発展しつつある。この研究を推進する上で大きな役割を果たしたのは、ノーベル物理学賞の受賞者で、スタンフォード大学教授の Carl Wieman らであるが [8] [9] [10]、米国の物理教育界で今日の DBER の原型となる研究がワシントン大学の Lilian McDermott [11] らによって本格的に始まったのは 50 年以上前に遡り、その後、その門下生達が米国全土の大学の物理学科に物理教育研究、すなわち Physics Education Research（略称 PER）の専門家として赴任し、物理分野の DBER としての物理教育研究の発展に大きく寄与した。また、メリーランド大学の Edward Redish [12] やハーバード大学の Eric Mazur [13] は、この研究の発展と普及に大きく貢献し、現在に至るまで大きな影響力を有している。DBER については全米研究評議会（National Research Council）が 2012 年に 282 ページに及ぶ報告書 [7] を出していて、その中で DBER の研究目標について、次のような詳細な定義づけをしている。

- ・人が科学・技術の概念、研究方法、考え方の習得を如何にするのかを理解すること
- ・ある分野の専門領域の本質とそれがどのように発展したかについて理解すること

[#] 以降、物理教育研究とは物理教育を対象とした DBER に基づく研究を指す。

- ・学習者がこれらの目標に向かって学習を進めるために、ふさわしい学習目標と教授方法がどのようなものかをつきとめて、その評価を助けること
- ・DBER の研究成果を実際の授業に移転することが可能になるような知識ベースの構築に寄与すること
- ・科学・技術教育を広範で包括的なものとするアプローチの方法を突き止めること

このように、DBER は(a)専門領域の概念や法則についての固有の体系性や個々の概念の中身、重要性、習得のポイントなどの熟知と、(b)認知心理学・脳科学の成果の摂取という2つの基盤の上で、教育方法の改善を学術研究として進めようとする全く新しい研究分野である。

現在では、既に STEM の様々な分野で、さらには STEM 以外の専門分野でも、DBER の重要性が認識され研究と実践が立ち上がりつつある。その際、上述のようにそれぞれの学問分野に固有の考え方や枠組み、概念や法則の精妙な体系構造があるため、まずは、それぞれの専門分野での DBER を構築する必要がある。その中で物理学分野では、物理学の概念は、基礎的なものでさえ直観的理解を裏切る「非日常」的なところが多く、従来型の講義主体の教育の有効性がとりわけ乏しいことに加え、大学の基礎物理教育の対象となる学生の量的な拡大と進路等の多様化に真摯に応える必要性の認識などがあずかって、比較的早くから効果的な授業方法の学問的な研究が進められてきた[12]。そこで、本提言では、DBER の中でも、その典型例の一つとして、特に物理教育研究 (Physics Education Research: 略称 PER) に焦点をあてる。そして、物理教育研究の推進がわが国における様々な学問分野での DBER の構築の契機となり分野間の連携が促進されることを期待する。

PER や DBER の研究の中でまず明らかにされたことは、学習者に対して一方的に情報を伝達する「講義」を中心に据えた従来型の授業、すなわち学習者が受動的に情報を受け取る伝統的な授業は、実は学習の効率がきわめて低いことである。

その理由は以下の様に説明できる。学習は、(1) 情報の学習者へのトランスファーと、(2) この情報をもとに学習者自身が能動的に概念理解を深め、適切な場面で適切に活用する能力を身に付けること、とからなる2段階プロセスである。真の学習の成立にはとりわけこの第2段階が重要である。ところが「講義」中心の従来型授業は、段階(1)にとどまっているため有効性が乏しい。そこで、教室では、段階(2)の、教員からの適切なフィードバックや学習者相互の話し合いのなかで学習者自らの能動的な学習を促す活動に重点を置く種々の授業手法が開発・試行され、有効性の検証を経て普及が図られている。

一方、一般に「アクティブ・ラーニング」は、学問分野の内容とは関係なく、学生相互の意見の交流などで効果を上げることが期待される授業方法であると理解されがちである。しかし、PER・DBER はそれ以上に、当該分野の基本概念や法則そしてそれら相互の連関についての専門家の理解を踏まえ、その学習における学生の困難とその克服の支援についての詳しい検討が必要であることを共通認識としている。

物理教育研究に基づいて開発された改革型授業・学習法の実例としては Tutorial 学習、Interactive Lecture Demonstrations（相互作用型演示実験講義）、Peer Instruction（教えあい方式）、Studio 方式などがあり、文献 [12] やその和訳版 [14] などに解説されている。これらは総称して、「アクティブ・ラーニング (AL)」、「研究に基づく指導方略」、「相互作用型（インターラクティブ）学習」などと呼ばれているが、以下では一括して（研究に基づく）改革型授業と呼ぶ。

(2) 物理教育と物理教育研究の国際動向

科学教育・物理教育の有効性の向上に向けた努力は 100 年以上にわたって様々な側面から続けられてきた。とくに第 2 次大戦後、米国では、1950 年代末から 1970 年代にかけて、ソ連によるスプートニクの打ち上げなど国際的な科学・技術競争の激化の認識から、科学教育改革に対する国家的な大型資金助成が行われた。その中で当時の指導的な物理学研究者から、質の高いカリキュラムと教材を開発する動きが始まり、それは瞬く間に世界に広がった。しかし、この年代の米国の国家的な科学教育改革の努力の多くは中等教育段階のものであり、また必ずしも当初期待されたほど普及しなかった。

一方、米国の物理研究者や教育研究者の中から、物理教育改革には、「物理教育」そのものについての実証的で再現性があり、ピアレビューに耐え蓄積可能な研究の基盤が必要であるという認識から、物理教育研究 (Physics Education Research: PER) が生まれた。そのきっかけの一つは、履修したはずの内容を学生達がほとんど理解していないという教員間における認識の広がりであった。そこで、発達著しい認知心理学や脳神経科学などの分野での思考や学習のプロセスについての成果を取り入れながら、コンピュータ関連技術を活用して、物理教育を科学研究の対象にして、その高度化・効率化の可能性を探る研究領域としての物理教育研究の流れが始まった [15]。このような中で、物理学や理科教員養成を専門にしていた研究者の中から物理教育研究を専門分野にする研究者が現れ、物理教育研究を研究領域にする大学院学生の教育が行われるようになった。また、アメリカ国立科学財団 National Science Foundation (NSF) が広く科学・技術の諸分野 (Science, Technology, Engineering and Mathematics: 以下 STEM と表す) の教育分野でも Postdoctoral Fellowship 制度を始めたことがこの分野の若手研究者育成に大きく寄与した。

物理教育研究では、当初、誤概念の研究や、概念形成の研究、力学概念理解度調査 (Force Concept Inventory: FCI) など概念理解度評価の研究などが行われ、さらに研究成果に基づいたカリキュラム材料の開発などが展開して来た。研究対象も当初は大学初年次や高校レベルの力学教育が中心だったが、現在では電磁気学や、熱学・統計力学、また量子力学など、様々な物理科目や、大学の上級レベルの教育も対象になっている。また、得られた知見は、大学の文系学生に対する物理教育や、初中等教育にも活用されつつある。

このような米国における物理教育研究の発展の背景には、1970 年代から始まった中核となる研究者達が連携したコミュニティ形成への努力がある [12]。その一つとして

1981年にアメリカ物理教員協会（AAPT）の中に物理教育研究委員会が形成された。この委員会はAAPTやアメリカ物理学会（APS）にも働きかけ、1999年にはAPSから物理教育研究を物理学の研究領域の一つとして認める趣旨の声明 [16]が発出された。また、2005年には、物理教育研究の研究成果を発表する論文誌として American Institute of Physics から刊行されている Physical Review シリーズの中に Physical Review Special Topics Physics Education Research を創刊した。この Open-access の電子ジャーナルは、その後 2016 年に Physical Review Physics Education Research と改題され、物理教育分野の研究成果を発信する重要な媒体となり、この分野の研究者達にとって自らの研究業績について物理学分野やさらに広くその外部からの評価を得るための重要な手段の一つになっている。米国外の投稿もイギリス、フランス、クロアチア等々の欧州諸国に加えて、南米、中国、インド、イスラエルなど多岐におよんでおり、物理教育研究の国際的な拡大がうかがえる。

米国の物理教育研究者達は、物理教育研究に基づくカリキュラムや教材を開発したうえで、そのカリキュラムや教材を PER 研究者ではない一般の物理教員へ普及させることにも努力している。AAPT や APS の研究大会に際して、ワークショップと称する講習会を通じて普及を図っているのがその一例である。また、1996 年以来、AAPT と APS、AAS（アメリカ天文学会）、AIP などが協力して NSF の資金援助のもとに、物理学と天文学分野の新任大学教員に対するワークショップなどを開催している [17]。

しかし、学問分野に根ざした教育研究（DBER）や PER に基づく教育研究が蓄積され、それに基づくカリキュラムや教材の有効性が統計的にも検証されていく中で、教育の現場への浸透は遅々としているという思いがいまだに研究者にはある [18]。

これに対して、物理教育研究の指導的研究者の一人でもある C. Wieman は授業の担い手である個々の教員への授業改善の普及を左右する決定的要因の一つは、所属する学科等組織のあり方や方針にあることを見出した。その上で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も試み、学科を挙げてのコミットメントやインセンティブの付与の重要性をエビデンスとともに提示し、その著書 [19]の中で詳細に分析・考察している。このような近年の米国における DBER に基づく授業改革の組織的な取り組みの動向については、大森不二雄と斉藤準による日本語の解説 [20]がある。

(3) 物理教育研究の日本での動向

日本の初等中等教育においては、「授業研究」として知られる教授法や教材の開発が、教育現場の教員達によって、校内外の教員コミュニティの自主的な共同活動として古くから行われ、その成果が共有されてきた [21]。

また国際交流を通じて日本の物理教育関係者は早くから国際動向に関心を持っていた。1986年に東京の上智大学で開催された International Conference on Trends in Physics Education はアジア地区で初めての物理教育に関する国際会議であり、それまでに日本で開催された物理の国際会議としてはもっとも多数となる 40 を超える国々か

らの参加を得ている。この国際会議では、日本からの参加者の中に高校教員が多いことが海外からの参加者に強い印象を与えた。

さらに、2006年に東京で開催された International Conference on Physics Education (ICPE2006) では物理教育研究が中心的な話題の一つになり、日本でのこの研究領域への関心も大いに高まった。23ヶ国から約400人が参加したこの会議でも、国内からの参加者約170名のうちの60%が高校教員であった。米国を中心に急速に発展しつつある物理教育研究に基づく改革型授業についての実践者達による報告も多数あり、日本の物理教育関係者達を大いに刺激した。

この経験を通して、国内各地で、高校教員や教育系大学教員らによる物理教育研究を取り入れた授業実践の研究会などの活動がさらに活発化した。その中から、2012年には、E. F. Redish によるこの分野への入門書[12]の和訳書[14]が出版されるなど、物理教育研究に基づいた改革型授業を日本の教育現場で実践する試みも諸処で行われるようになってきている。

日本の大学の状況

一方で、1991年大学設置基準の大綱化が行われ、この時期の日本の一般の大学では様々な対応に追われていて、専門科目の強化・一般教養科目の軽減の傾向、基礎教育科目の弱体化、などが懸念されていた。国立大学における教養部解体後の新体制のもとで物理学のウェイトが減少したという指摘もあった。また、高校理科教育では物理離れが強い懸念を引き起こしていた。その様相は例えば文献 [22] などの記録からもうかがえる。このような状況の中では、日本の大学および大学教員にとっては急速に進展している物理教育研究の国際的な動向に目を向ける余裕は乏しかったと思われる。

日本の物理教育の現状調査

最近になって、物理教育の実情を知る試みとして、大学教員と高校教員からなるグループの共同調査研究「物理教育の現状調査プロジェクト(略称)」 [23]が科研費の支援を受けて2014年から実施された。

この調査では物理教育研究をもとに開発された力学概念理解度調査 (Force Concept Inventory: FCI) の和訳版 [24]を用いて日本の高校と大学の基礎課程物理教育での力学概念理解の様相を測定した。高校および大学の理工系および理科教員養成系の基礎課程の約15,000名の生徒・学生について物理教育の状況の調査を行い、分析結果を報告している [25] [26]。調査結果から日本の高校および大学の基礎課程での力学履修の効果について以下の様な状況が見えてきた。

FCIの英語原著版によるテストデータの分析には、項目反応理論 (Item Response Theory) を用いた研究 [26]や、Morrisらの「項目応答曲線 (Item Response Curves)」を用いた分析など多数の報告がある。Morrisらは米国3大学の理工系初年次生計約4000名に対するFCIテストを実施し、その分析結果を報告している[28] [29]。同じ手法を日本の高校生・大学生についての日本語訳 FCI 調査データに適用して

得られた知見は、Morris らによる米国データの分析結果と強く類似しており、国際的な物理教育研究からの知見やそれに基づく学習や授業の改革指針が、日米の言語・文化さらには教育体制を超えた普遍性を持つことを強く示唆している。

高校物理履修によるゲイン

履修によって生じる概念理解の向上は、コース履修の開始および終了時点で同一の概念調査を実施して得た事前（プレ）と事後（ポスト）テストのクラス平均正答率<Spre>と<Spost>から下記の式を通じて得られる Hake の規格化ゲイン g から推定できる [30]。

$$g = \frac{\langle Spost \rangle - \langle Spre \rangle}{1 - \langle Spre \rangle}$$

日本の高等学校での力学の学習は、現在の学習指導要領下では、2 単位科目の「物理基礎」と 4 単位科目の「物理」にまたがって行われる。FCI の調査項目のうち運動学、運動の法則、落体の運動（1 次元中心）、圧力・浮力、空気抵抗などは、2 単位科目の「物理基礎」で、また、平面内の運動、放物運動、運動量、円運動、単振動、万有引力は 4 単位科目の「物理」の教科の中で教えられることになっている。文部科学省の平成 27 年度統計によれば、公立普通高校では、「物理基礎」の履修率は 65.6%、さらに「物理」まで履修するのは 22.8%である。「物理教育の現状調査プロジェクト」では、物理基礎 22 クラス（761 名）物理 18 クラス 478 名の参加を得た。米国の高校物理コースでの力学の履修内容は、多くの場合「物理基礎」と「物理」の二つの科目にまたがっている。そこで、上述の日本での調査データから「物理基礎」に加えて「物理」まで履修した生徒達に限定してのゲイン g を推定するとその値は 0.27 であった。これは、Hake [30] が報告している米国の高校物理の伝統的な授業と改革型授業のゲインのおよその境界値 0.3 とほぼ等しい。日本の高校物理教育におけるニュートン力学の基礎概念の理解の進展は、「物理」まで履修した生徒に限ってみれば、米国高校でのそれとほぼ同程度であることがうかがえる。

大学基礎課程での力学履修によるゲイン

一方、日本の大学の理工系および教員養成系の 29 学科の参加を得た事前事後調査では、大学初年次の入門物理学コース（その内容は主として古典力学）の履修開始時点で実施した FCI 事前テストの正答率の全学科での平均は 59%で、個々の学科の平均正答率<Spre>は約 30%から 80%にわたって広く分布していた。これは、文献[30]にある米国大学についての値、約 30～70%、に比べてほぼ同程度ないしやや高い。ちなみに、こ

の調査で得た日本の大学でのプレテストの個別学科平均値は、受験産業がインターネット上で入試難易度の参考指標として掲載しているそれぞれの学科の「偏差値」（の中央値）と強い正の相関（ $R=0.68$ ）を持っていた。すなわち、日本の大学入学時点の理工系学生の力学基礎概念の理解度は、米国と同様に広い範囲に分布するが、日本独特の個別大学入試は力学概念の理解度についても強い選別力を持っているように見える。

ところが、大学での科目履修効果を示すゲイン g の値は、図1に示したように、調査に参加した全29学科(1777名)全体について見ると、プレテスト正答率（ S ）や偏差値と相関がなく、全体平均は約0.1と極めて小さく、ゲイン g が負の値をとるクラスも少なくなかった。これは、文献[30]にある米国大学の、改革型授業を導入していない講義主体の伝統的な授業のクラスについての報告値に比べてもかなり低く、大学の基礎課程での力学履修が概念理解の向上をほとんどもたしていないことを示している。日本の大学の基礎課程での物理教育の有効性があまりにも乏しいことは、大学教育の意義に疑問を抱かせるゆゆしい事態と言わざるを得ない。その一方で全体の14%にあたる4学科（図1で赤字で示されている）については、ゲイン g の値は0.2～0.5という顕著に大きな値であった。これらのクラスはいずれも授業者自身が物理教育研究者であり、物理教育研究に基づく能動的学修への授業改革を実効のある形で実現していることが授業者の学会報告等を通じて知られている。

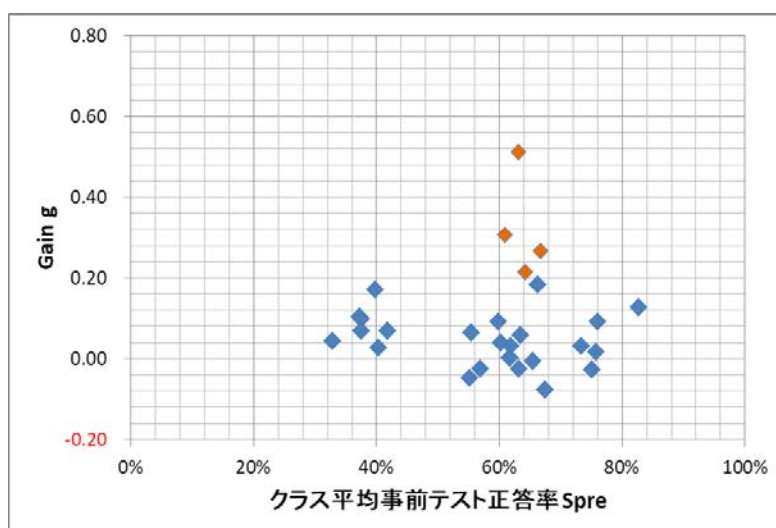


図1 クラス別ゲイン g 対事前テスト正答率のクラス平均値〈Spre〉。赤印で示されている4学科のクラスはいずれも授業者自身が物理教育研究者であり、物理教育研究に基づく能動的学習への授業改革を実効のある形で実現していることが学会報告などからうかがえる。

大学教育の有効性の向上はかねてから重要な課題とされてきた。しかし、これまでの議論の多くは、初中等教育の有効性、ゆとり教育の弊害、大学入試の引き起こすひずみ

などに関連させて議論されるところが多かったと考えられる。しかし、上に述べた「物理教育の現状調査」の FCI データは、ニュートン力学の基礎概念の理解度という限定的な側面を捉えたものではあるが、むしろ大学の基礎課程での側に極めて大きな課題があることを示している。

概念理解度調査の結果を海外データと比較する場合には、日本の大学の授業の枠組みに海外の大学のそれと大きく異なるところがあることにも留意する必要がある。例えば、日本と海外では学部 4 年間の科目履修単位配分に大きな差異がある。

大学の「単位」の考え方や 1 単位が想定する履修時間、卒業に要する単位数などは、大学教育の国際的な同等性も考慮して定められており、1 単位あたり 45 時間の学修を必要とする内容をもって構成することが標準とされている。ここでいう 1 単位あたりの学修時間は、授業時間内の学修だけではなく、その授業の事前・事後の準備学修すなわち予習復習を合わせたものとされている。さらに、大学設置基準では、「学生が各年次にわたって適切に授業科目を履修するため、卒業の要件として学生が修得すべき単位数について、学生が一年間又は一学期に履修科目として登録することができる単位数の上限を定めるよう努めなければならない。」とされている。この単位数上限の設定は、キャップ (CAP) 制と呼ばれている。例えば米国では、それぞれの学期に並行履修できる科目数は 4 科目ないし 5 科目である。しかし現実には、日本の大学では学部低年次での単位取得が多く、このために 10 科目前後にもおよぶ多数科目を並行履修する学生が多い。

2003 年に発出された第 18 期日本学術会議工学教育研究連絡委員会報告「グローバル時代における工学系大学院教育」[2] に示されている大学の工学部電気系学科の単位配分例の日米比較を表 1 に示す。これに見られるような低学年次における多数科目の並行履修は近年においても大きくは変わっていないと思われる。

表 1 単位の配当例 (学部・電気系)

大 学	卒業要	1 年	2 年	3 年	4 年
名古屋大学	134	50	51	23	10
京都大学	132	44	47	38	3
大阪大学	132	41	47	34	10
Michigan	128	32	32	33	31
NCSU	120	31	31	30	28

表 1 によれば、卒業要件は日米ともほぼ 130 単位であるが、米国ではこれを 4 年次までにわたってほぼ均等に取得するのに対して、日本では 1 ～ 2 年次に 40 ～ 50 単位を集中的に履修することになっている。

例えば、年間 30 週間の学習期間に 50 単位を 1 単位につき学習時間 45 時間を充当して履修することは、週あたり 75 時間、週休 2 日とすれば 1 日あたり 15 時間の学習を要する ($50 \text{ 単位} \times 45 \text{ 時間} / 30 \text{ 週} = 75 \text{ 時間} / 5 \text{ 日} = 15 \text{ 時間} / \text{日}$)。日本の大学生の学習時間の実態はこれと大きくかけ離れて小さいことも、学習でのゲインが著しく低いことの一因と推測される。

大学の低学年次に多くの単位を取得するべく 10 科目前後に達する多科目を並行履修する学生が多い理由として、一つには、4 年次の学生が多く時間を大学院入試の勉強と卒業研究に集中できるようとの配慮のためと考えられる。加えて、後年次、特に最終年次、の学生達が「就職活動」に多くの時間を割かなければならない日本の採用慣行が大きくかかわっていると考えられる。さらに、多数科目の並行履修に加えて、多くの学生が「アルバイト」に長時間を割くことも自学自習する時間を大きく圧迫し、学習の量と質を制限していると考えられる。返済不要な奨学金を大幅に増額するなど、大局的な見地からの対策の検討が強く望まれる。

また FCI テストを使つての上述の調査では依然として男女差があることも見えてきた [31]。ジェンダー・ギャップは重大な問題として物理教育においても国際的に注目されている。21 世紀初頭には、改革型の授業の導入がジェンダー・ギャップの克服にも有効であるという主張も複数の論文で報告されたが、その後の研究で再現されていない。ジェンダー・ギャップは、おそらく、多数の微妙な要因の組み合わせに起因しているという見方が広がりつつある。物理教育研究の論文誌 *Physical Review Physics Education Research* は 2016 年 8 月に *Gender in Physics* と題する特集を掲載している。その中の一編で、Sarah L. Eddy and Sara E. Brownell [32] は、研究の関心を STEM における女性の比率などから、その底にある多数の微妙なジェンダー差の原因に向けることを提唱し、社会学者や自然科学者との研究の連携を提唱している。ジェンダー・ギャップの原因の追及とその克服は日本における今後の物理教育研究にとってもとりわけ大きな課題の一つと考えられる。

3 物理教育改革への道

2012 年 8 月の中央教育審議会答申 [33]での言及などをきっかけにして、近年わが国では「アクティブ・ラーニング」が、教育の改革にむけた重要なキーワードとして関心を集めている。しかし、アクティブ・ラーニングが効果を上げるためには、それが意味するところや、具体的な実施方法、さらに効果の測定とフィードバックなどに、教育研究の理解と裏付けが不可欠である。予算や人員の制約の下に、現実的で効果的な教育改革を実現す

るためには、十分ねられた企画と実施が不可欠であることは、米国での精力的な実践経験を踏まえて例えば文献 [12]、[34]に報告されている。さらに、日本の大学制度、教育の組織には、日本独自の文化風土や課題があることも明らかである。

現在のわが国の状況を見ると物理教育研究 PER にもとづく大学基礎課程の物理教育改革の機運は高いとは言えない。一方で、第2章で述べたように、物理教育研究に基づく授業改革がこれまでの物理教員個人の経験に頼る講義や学生実験・演習に比して、学習者の物理概念理解に対してはるかに有効である。海外では物理教育研究という専門的領域が確立されつつあり、また物理教育研究にもとづく大学の基礎物理教育の改革が望ましいことが明らかである証拠が多く蓄積されている。他方で、わが国の大学の基礎物理教育に問題があることが明らかになりつつあるにも関わらず、現状では物理教育研究へのわが国の大学物理教員の関心は全体としては低く、また物理教育研究にもとづく大学基礎課程の物理教育の改革の機運も高くない。また、現在はどうのようなトレーニングを受ければ物理教育研究の専門家として役立つかという標準がわが国にはなく、トレーニングの指導者も十分にいないのが現状である。

以下に、物理教育研究にもとづくわが国における大学基礎課程段階での物理教育の改善実現のための課題を挙げる。

(1) 学術分野としての「物理教育研究 PER」の強化

日本のこれまでの高い物理学研究のレベルを維持し、広い分野の科学者・技術者そして一般市民の間に科学についての高いレベルの素養をもたらすためには、日本における物理教育をより効果的なものにすること、そしてそれを可能にするために、物理教育についての科学研究を一層強化することが強く望まれる。

また、物理に対する関心度や理解度などに男女の違いがあることも指摘されてきた。この背景には伝統的な考え方や社会環境などが複雑に絡み合っていると考えられるが、男女の違いの実態と要因の解明とそれに対する適切な対応策の検討は物理教育の一つの研究課題と考えられる。

このような重要な役割を持つ物理教育研究であるが、現在の活動の発展の速度は大学の物理教育に大きな変化をもたらすのに十分なものとは言えない。日本物理学会や日本物理教育学会等の関連学会における研究発表数の増え方も、現状のまま放置しておけば、今後10年間に、国内の物理教育の効果に大きな改善をもたらすほど大きなものにはならないことが危惧される。

なかでも物理教育研究の研究人材は極めて少数であり、その育成が急がれる。そのため、わが国においても物理教育研究を学術分野として確立・強化することから始めなければならない。現在、物理教育研究を専門としその研究者を育てる研究室は極めて少なく、とくに、米国のように物理教育研究を物理学の専門分野の一つとして位置づけ

て、物理教育研究で博士号を取得できる研究室を置いている理工系学部はない。現在わが国の大学は厳しい財政環境の下に置かれているとは言え、高い水準の物理教育研究の深化とそれを担う本格的な物理教育研究者集団の拡大にとって、この問題の検討は極めて重要である。

また、物理教育研究を研究分野として確立するために、科研費の項目の中に物理教育研究ないし DBER を設定することや、その審査員に物理教育研究の専門家を加えることも検討すべきである。さらに研究環境を整備するため、学術雑誌の中に物理教育研究のセクションを設け、研究論文の発表の場を作ることも検討すべきである。

さらに、物理教育研究の持続的な発展のためには、物理教育研究者のコミュニティの形成にむけた関係者の意識的で緊密な連携を形成する努力が極めて重要である。わが国の現在の物理教育研究者には、1) 物理学科・応用物理学科等の物理学関連学科の教員、2) 教育学科の物理教員および物理学を専攻した経歴を持つ理科教育担当教員（多くが理科教員養成に関わるとともに教育研究に関わることが期待されている）、3) 共通教育系の物理教員（職務として高等教育の研究に関わることが期待されている）、4) 高校の理科教員（物理教育研究とその実践に長年かかわり、物理教育に高い見識を持ち、リメディアル教育など大学教育でも業績を上げている教員が存在する）など、多様な背景を持つ人々が存在する。米国の例を見るまでもなく、これら様々な環境の研究者の間の相互の意識的な連携の強化によって日本の物理教育の強化・加速が実現されると期待される。またコミュニティでの討論にもとづいて、物理教育研究の深化と拡大および物理教育研究にもとづく改革の推進に関する、戦略的な目標を立てて、それを共有することが期待できる。また、物理教育研究を学びたいという人々の要望に組織的に応えることもできる。たとえば、日本物理教育学会・日本物理学会・応用物理学会などに、物理教育研究に関心を持つ教員や新しく大学の物理講義や実験を担当する教員のための情報提供のための窓口を設け運営することも関係者の意識的な連携の下で可能になると思われる。

(2) 物理教育研究人材の育成

とくに、物理教育研究分野の若手研究者の育成には以下のような多様なルートを検討することが望まれる。(a) 物理学関連学科の中に物理教育研究を専攻して学位を取得できる道を開く。また、物理学研究を専門とする教員にも、物理教育研究に関連したテーマを研究する大学院生の育成にもかかわる可能性も保証することが望ましい。研究室で教育学科の専門家の協力を得て博士学生を育成する可能性も検討に値する。(b) 一方、教育学科の中で物理学関連学科の教員の協力を得て物理教育研究に関連したテーマを研究する大学院生を育成する可能性も保証することが望ましい。(c) 物理学で学位を取得した人材がその後2年程度の期間、物理教育研究の研究室で研究と教育実践の研鑽を積

むことができる公的資金によるポストドクター研究奨学制度を設定することも考えられる。米国ではこのようなルートで物理教育研究の指導的研究者になっている人材が多数いると言われている。このポストドク研究を経た後教育研究以外の物理学研究者のキャリアに入る研究者にも、この経験により教育面でも優れた研究指導者になることが期待される。

(3) 物理教育研究の普及と現場教育との連携

物理教育研究の目的は、学習者が物理学の概念を獲得して、その後の学習や研究活動に活かすことが出来るようにすることである。これまでの研究における調査の結果、従来の一方通行型の講義では、学習者の概念理解の定着が極めて低いことが分かっている。そのため、教授者と学習者が相互作用しながら概念理解を助けるような新しい授業形態が必要になる。しかしこのような変革を実現するためには、PER の成果についての正確な理解と、それを実践するための体制作りが必要であり、大学教育に関連するあらゆるレベルでの検討が必要である。その上で物理教育研究の普及と現場教育との連携がより有効に機能できる。

2006 年の物理教育国際会議をきっかけに、米国の物理教育研究に対する先進的な大学・高校教員の関心が高まり、研究が始まって以来、日本物理教育学会研究大会および日本物理学会領域 13 の物理教育のセッションにおける物理教育研究に関連する発表は年々着実に増えているが、それでもわが国の理工系の高等教育における基礎教育の重要な礎石の一つである物理の授業を担当する教員の圧倒的多数は、物理教育研究という領域自体を知らないか、あるいはその内容についてほとんど知らないのが実情である。このことに鑑みると、物理教育研究をどのように広く知らせていくかということ自体が課題である。物理教育研究の専門家がその内容・成果を物理の研究者・教員の大きなコミュニティに広く知らせることと同時に、物理の授業を担当する教員に普及する必要がある。特に若手の教員には、積極的にこの新しい動きへの参加を促す組織的な活動が必要である。

(4) 物理教育研究の成果の普及と大学教育システム

現在のわが国の大学のカリキュラム構成は、ある科目の授業は 1 週間に 1 コマか 2 コマしか開講されないなどの点で、硬直した構造になっている。PER・DBER の研究成果を活かすためには、必要となるカリキュラム編成を許容する柔軟性の導入と、それと整合する履修環境全体の整備が望まれる。

大学教育システムについては、まず教員集団のレベルでは、PER の成果を授業に取り入れようとする教員へのサポート、同僚教員の間での情報の共有と、日常的な授業内

容の研究と相互チェックなどが重要であり、そのための DBER の研究成果やこれに基づく授業手法についての FD (Faculty Development) 的活動が学科や学部単位で行われることが必要になる。このような授業改革も全学レベルで理解され支援される事が望ましい。

4 提言

前章での議論は、共通の課題として下記の 4 項目の提言にまとめることができる。

提言 1 物理学の中に学術分野としての物理教育研究の構築が必要である。

物理教育研究の分野構築には、まずこれらの分野の研究者達の主体的活動が必須である。DBER で先行する米国での歴史なども参考に、自らの研究の場を確保し、研究の切磋琢磨のための研究会などを組織運営し、論文出版の場を形成することなどが強く望まれる。

DBER 研究者はそれが基盤とする学術分野とかかわっていることが重要である。このため、揺籃期にある日本の物理教育研究のコミュニティに対して、日本物理教育学会と日本物理学会・日本天文学会・応用物理学会、さらには教育関係の学会などによる連携した支援が行われることが望ましい。たとえば、学術雑誌の中に PER・DBER セクションを設けて、研究論文発表の場を作る等の支援があげられる。

また、DBER 構築と推進のための方策として、たとえば科研費の物理学分野の中に、物理教育研究の項目を設定することがあげられる。この項目には物理学・教育学領域からの研究者の応募を勧奨し、またその審査員として PER・DBER の専門家を加えることも重要である。

提言 2 物理教育研究の人材育成を推進すべきである。

物理教育研究の人材育成を促進するために、人材育成の各レベルに対して以下のような方策が考えられる。物理学・教育学の博士課程に、物理教育研究の専攻を設け、PER 専門研究室の設置を認めて、この分野での学位を認めること、また、物理学を専攻する大学院生の指導や論文審査を他学科・他学部あるいは他大学の教育学研究者が協力して行う事により DBER 分野の学位を可能にすることなども検討に値しよう。若手テニュアトラック教員制度の対象に、PER および DBER 専門教員を含め、教員採用時の評価項目に PER にかかわる業績を取り入れる等も必要であろう。

提言 3 物理教育研究に基づく改革型授業の大学教育の現場への組織的な導入を積極的に推進すべきである。

物理教育研究の専門家が関与する学科レベル、学部レベル、さらには全学レベルの教育改革支援事業を公的に支援することが重要である。またグループ授業や情報通信技術が駆使できる環境も必要である。

その中には物理の授業を担当する教員が PER に基づく改革型授業についてトレーニングを受講できる体制が必要である。特に若手の教員には、積極的にこの新しい動きへの参加を誘う組織的な活動が必要である。このトレーニングについては、個々の大学の高等教育センター等において授業改革事業支援体制を設け、これを通じて PER・DBER 教員が多くのクラスの授業改革にかかわる方式なども考えられる。

提言 4 物理教育研究に基づく改革型な授業を効果的に行うための教育環境を整備する必要がある。

教育環境の整備として重要なのは履修環境である。物理教育研究に基づく能動的な授業を効果的に行うには集中した授業時間が必要な場合もある。カリキュラム編成の柔軟性を確保するための条件整備が求められる。

これらの 4 項目の提言の実現には、個々の教員や物理教育研究者の努力に待つところが大きい。さらに、物理教育研究のコミュニティを拡大し強化することが重要である。たとえば既に、日本物理教育学会、日本物理学会、応用物理学会などの中に物理教育研究 (PER) の活動があり、また、大学教育学会には STEM 分野横断的に専門分野に基づく教育研究 (DBER) をめざす活動がある。これらの関連学会が、共同で研究討論会の実施や論文誌の共同発行などを通じて連携を強化することによって PER・DBER の研究と実践を促進することが期待される。そのような組織的活動の強化をもとに、広く初中等を含む教育界や学術の世界、一般社会、産業界、そして行政機関に向けて発信し理解を得ることを通じて、将来の教育をより充実したものにするための施策の策定と実行が大きく加速されることを強く願う。

また、ジェンダー・ギャップ（男女格差）の克服は国際的に大きな課題であり、世界経済フォーラムが 2019 年に発表したジェンダー・ギャップ指数で、153 カ国中 121 位にランクされた日本には、特段の努力がもとめられる。物理学分野も例外ではなく、男女差の実態と要因の解明・それに対する適切な対応策の検討等はこれからの物理教育研究の重要な研究課題の一つである。

本提言は物理教育研究の推進方策に関するものであるが、物理以外の分野においても DBER の考え方に基づいた教育研究が推進され、その成果がわが国の大学等高等教育機関の理工系教育の改善に顕著な効果をあげることを期待したい。

<参考文献>

- [1] 日本学術会議工学教育研究委員会（2000）「グローバル時代における工学教育」
<http://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-17-t933-8.pdf>.
- [2] 日本学術会議工学教育研究連絡委員会（2003）報告「グローバル時代における工学系大学院教育」 <http://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/18pdf/1812.pdf>.
- [3] 内閣府（2016）“Society 5.0「科学技術イノベーションが拓く新たな社会」”：
https://www8.cao.go.jp/cstp/society5_0/index.html.
- [4] 文部科学省中央教育審議会総会（2018）答申「2040 年に向けた高等教育のグランドデザイン」. http://www.mext.go.jp/b_menu/houdou/30/11/1411368.html.
- [5] 統合イノベーション推進会議（2019）「AI 戦略 2019～人・産業・地域・政府全てに AI～」 令和元年 11 月 6 日：<https://www.kantei.go.jp/jp/singi/tougou-innovation/pdf/aisenryaku2019.pdf>.
- [6] 日本学術会議物理学委員会物理学分野の参照基準検討分科会(2016) 報告 「大学教育の分野別質保証のための教育課程編成上の参照基準 物理学・天文学分野」
- [7] S. R. Singer, . N. R. Nielsen , H. A. Schweingruber（2012）Discipline-Based Education Research, The National Academies Press.
- [8] E. W. Burkholder and C. Wieman,（2019）What do AP physics courses teach and the AP physics exam measure? *Phys. Rev. ST-PER* 15（2）.
- [9] S. Salehi , E. Burkholder, G. P. Lepage, J. Pollack and C. Wieman（2019）Demographic gaps or preparation gaps?: The large impact of incoming preparation on performance of students in introductory physics. *Phys. Rev/ST-PER* 15（2）.
- [10] C. J. Ballen, C. Wieman, S. Salehi , J. B. Searle（2017）Enhancing Diversity in Undergraduate Science: Self-Efficacy Drives Performance Gains with Active Learning. *CBE* 16(4).,” *Life Sciences Education* 16（4）2012.
- [11] C. Shaffer , P. L. McDermott（2001）Tutorials in Introductory Physics, Pearson College Division.
- [12] E. F. Redish（2003）Teaching Physics with the Physics Suite, Wiley.
- [13] E. Mazur（2013）Peer Instruction: A User's Manual, Pearson New International Edition.
- [14] エドワード・F・レディッシュ著, 日本物理教育学会監訳（2012）科学をどう教えるか, 丸善出版.
- [15] K. Cummings, A Developmental History of Physics Education Research
http://sites.nationalacademies.org/cs/groups/dbassesite/documents/webpage/dbasse_072580.pdf.
- [16] American Physical Society Statement 99.2 : Research in Physics Education

- (1999) https://www.aps.org/policy/statements/99_2.cfm.
- [17] American Association of Physics Teachers.
<https://www.aapt.org/Conferences/newfaculty/nfw.cfm>.
- [18] Dancy and Henderson (2008)
<https://aapt.scitation.org/doi/abs/10.1119/1.2800352>.
- [19] C. Wieman (2017) *Improving How Universities Teach Science : Lessons from the Science*, Harvard University Press.
- [20] 森不二雄, 斉藤準 (2018) *東北大学高度教養教育・学生支援機構紀要*
<http://hdl.handle.net/10097/00123105>.
- [21] 右近修治 (2016) *大学の物理教育* 22
https://www.jstage.jst.go.jp/article/peu/22/2/22_55/_pdf/-char/ja.
- [22] 寺田貢 (2004) *大学の物理教育* 10
https://www.jstage.jst.go.jp/article/peu/10/1/10_KJ00001053350/_article/-char/ja/.
- [23] JSPS 科研費研究[課題番号 26282032], 「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」 2014～2018.
- [24] PhysPort : <https://www.physport.org/assessments/>,.
- [25] 長谷川大和, 岸澤眞一, 山崎敏昭, 谷口和成, 笠潤平, 合田正毅, 村田隆紀, 覧具博義, 2014－2016 物理教育の現状調査報告－全体概要とゲインの様相－, 日本物理教育学会第 34 回「物理教育研究」大会講演予稿集, 2017.
- [26] 岸澤眞一, 長谷川大和, 山崎敏昭, 谷口和成, 笠潤平, 合田正毅, 村田隆紀, 箕田弘喜, 覧具博義, 一力学概念理解度調査の項目応答曲線を用いた分析－, 日本物理教育学会第 35 回物理教育研究大会予稿集, 2018 .
- [27] J. Wang , L. Bao (2010) *Am. J. Phys.* 78, 1064
<https://doi.org/10.1119/1.3443565>.
- [28] G. A. Morris, et al. (2006) *Am. J. Phys.* 74, 449
<https://doi.org/10.1119/1.2174053>.
- [29] G. A. Morris, et al (2012) *Am. J. Phys.* 80, 825
<https://doi.org/10.1119/1.4731618>.
- [30] R. Hake (1998) *Am. J. Phys.* 66 (6) 64-74
<https://doi.org/10.1119/1.18809>.
- [31] 新田英雄, 植松晴子, 森口真靖、大学の物理教育、20 (2014) , S56.
- [32] S. L. Eddy and S. E. Brownell, *Phys. Rev. Phys. Educ. Res.* (2016)
<https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.12.020106>
- [33] 中央教育審議会答申, 28 8 (2012)
http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chukyo/chukyo0/toushin/1325047.htm.

- [34] N. D. Pollock , S. J. Finkelstein (2005) *Phys. Rev. ST-PER*,
<https://doi.org/10.1103/PhysRevSTPER.1.010101>.

< 参考資料 1 > 審議経過

平成 30 年

- 7 月 27 日 物理教育研究分科会（第 1 回）
役員の選出、今後の進め方について
- 11 月 26 日 物理教育研究分科会（第 2 回）
物理教育研究の概要と最近の研究について、
本分科会からの発信について

平成 31 年（令和元年）

- 4 月 19 日 物理教育研究分科会（第 3 回）
物理教育研究の概要と最近の研究について
フォーラム開催および提言の構成について
 - 9 月 27 日 物理教育研究分科会（第 4 回）
提言骨子案について
 - 12 月 12 日～19 日 物理教育研究分科会（第 5 回）※メール審議
提言案について承認した。
 - 12 月 27 日 物理学委員会（第 16 回）
提言案について、2 名の委員による査読の後、
委員長と査読者に一任することとなった（その後承認）。
 - 月○日 日本学術会議幹事会（第○回）
- 提言（報告）「○○○○○○○○○○○○○○○○○○」について承認



「いま問われる物理教育改革 —より効果的な理工学教育をめざして—」

日本学術会議主催
学術フォーラム

日時 2019年9月27日(金)10:00～16:10

会場 日本学術会議講堂

わが国の理工学分野の人材育成は、近年益々その重要度を増し、質的にもさらなるレベルアップが求められてきています。一方海外では大学における理工学分野の教育の効果を検証し、科学的な視点からその改善を図る教育研究領域が発展しつつあり、物理教育研究は其中でも比較的早く始まり発展してきております。このフォーラムでは、我が国の物理教育に関わる各方面の方々を講師としてお迎えし、大学の理工学分野の教育の現状について問題提起をした上で、理工系人材の育成にとって基盤となる物理学の教育改革を考え、具体的な指針を得るための機会となることを目指しております。

午前の部 10:00～12:00 (司会 村田 隆紀(日本学術会議特任連携会員、京都教育大学名誉教授))

はじめに 川村 光(日本学術会議第三部会員、大阪大学理学研究科教授、日本物理学会前会長)

いま問われる物理教育改革

笹尾 真実子(日本学術会議連携会員、東北大学名誉教授)

大学の未来地図

五神 真(日本学術会議第三部会員、東京大学総長)

我が国の大学における理工系教育の充実について

伯井 美德 (文部科学省 高等教育局長)

物理教育研究(PER)とは何か

新田 英雄(東京学芸大学教授)

午後前半の部 13:00～14:30 (司会 芝井 広(日本学術会議連携会員、大阪大学理学研究科教授))

新しい物理教育実践

植松 晴子(東京学芸大学准教授)

大規模調査から見てきた日本の基礎課程物理教育の課題

覧具 博義(日本学術会議特任連携会員、東京農工大学名誉教授)

SEI(Science Education Initiative)方式の事例紹介と日本への示唆

大森 不二雄(東北大学教授(大学教育支援センター長))

午後後半の部 14:40～16:10 (司会 笠 潤平(日本学術会議連携会員、香川大学教育学部教授))

理工系学部教育の組織的改革に向けた実践報告と課題(総合討論への問題提起)

鈴木 久男 (北海道大学理学研究科教授)

総合討論: 日本における物理教育改革のための課題と活動の推進

指定討論者 村田 隆紀(日本学術会議特任連携会員、京都教育大学名誉教授、日本物理教育学会会長)

岡村 定矩(日本学術会議連携会員、東京大学名誉教授、日本天文学会元会長)

まとめ 岡 真(日本学術会議連携会員、日本原子力開発機構 原子力科学研究部門 先端基礎研究センター長)

アクセス: 日本学術会議(東京都港区六本木7-22-34)

東京メトロ千代田線「乃木坂駅」下車、5番出口(青山公園方面)より徒歩1分
お申込み: 日本学術会議ウェブサイト(<https://form.cao.go.jp/scj/opinion-0003.html>)にて
2019年9月26日(木)17時までにお申込み下さい。

参加無料、定員250名、先着順

お問合せ先: 日本学術会議事務局 企画課学術フォーラム担当、電話: 03-3403-6295



主 催: 日本学術会議

共 催: 日本物理学会、日本物理教育学会、日本天文学会

後 援: 応用物理学会(予定)、大学教育学会、日本工学教育協会



99.2 Research in Physics Education

Physics education research is pursued in physics departments at many leading undergraduate, graduate, and research institutions. It has attracted funding from major governmental agencies, it is both objective and experimental, it has established publication and dissemination mechanisms, and Ph.D. students trained in this field are recruited to establish new programs. Similar to other areas of physics, physics education research explores both fundamental and applied questions and can and should be subject to the same criteria for evaluation (papers published, grants, etc.) as research in other fields of physics. The outcome of this research has advanced our understanding of student learning in physics and has resulted in significant improvements in the methodology of teaching and teaching evaluation.

APS applauds and supports the acceptance in physics departments of research in physics education. Much of the work done in this field is very specific to the teaching and learning of physics and deals with the unique needs and demands of particular physics courses and the appropriate use of technology in those courses. The successful adaptation of physics education research to improve the state of physics teaching in any physics department requires close contact between the physics education researchers and researchers in the more traditional areas who are also educators, researchers who are also teachers. APS recognizes that both the success and impact of physics education research are greatly enhanced by its presence in physics departments.

APS Statements

APS Statements are public policy statements that undergo a meticulous process of draft and review, including receiving comments from APS members, before being voted on by APS Council at one of its semiannual meetings.

[Education](#)

[Ethics and Values](#)

[Human Rights](#)

[Internal Policy](#)

[National Policy](#)

[Active APS Statements](#)

[Archived APS Statements](#)

Adopted by the Council on May 21, 1999

Category: Education

A Message from the President



AAU institutions are distinguished for their world-class research and the quality of their graduate education programs. Less recognized and valued is the role AAU universities play in undergraduate education. Yet AAU institutions educate close to 1.2 million undergraduate students every academic year. In educating these undergraduate students, AAU universities have a responsibility to promote the use of evidence-based teaching practices proven by research to be most effective at advancing student success. Additionally, they must provide their faculty members with the encouragement, training, and support to effectively employ these instructional approaches in the classroom. The AAU Undergraduate STEM Education Initiative is a significant test of the degree to which a group of prominent research universities can work collectively with their national organization to improve the quality of teaching in undergraduate STEM courses, especially large introductory and gateway courses, thereby enhancing the learning experiences of many thousands of their undergraduate students.

The results of the Initiative thus far indicate a resoundingly affirmative answer to this test. At the same time, the Initiative has helped AAU understand how it, as a major association of research universities, can help to support meaningful change at various institutional levels to improve undergraduate STEM education. While there is much work to be done to realize a 'new normal' – one characterized by personal and institutional expectations that all faculty members will both use and be rewarded for using evidence-based approaches to instruction – our Initiative suggests that progress is being made.

AAU continues its commitment to achieving widespread systemic change in this area and to promoting excellence in undergraduate education at major research universities. We are now reaching a major tipping point. We cannot condone poor teaching of introductory STEM courses because we are trying to weed out the weaker students in the class or simply because a professor, department and/or institution fails to recognize and accept that there are, in fact, more effective ways to teach. Failing to implement evidence-based teaching practices in the classroom must be viewed as irresponsible, an abrogation of fulfilling our collective mission to ensure that all students who are interested in learning and enrolled in a STEM course – not just those who will choose to major in or pursue an advanced degree in that discipline – are provided with the maximum opportunity to succeed. This change is what is needed to ensure that we have the STEM-literate workforce and general population required to propel the nation forward into the 21st century and beyond.

Mary Sue Coleman

President

Association of American Universities

提言等の提出チェックシート

このチェックシートは、日本学術会議において意思の表出（提言・報告・回答、以下「提言等」という）の査読を円滑に行い、提言等（案）の作成者、査読者、事務局等の労力を最終的に軽減するためのものです¹。

提言等（案）の作成者は提出の際に以下の項目を 1～11 をチェックし、さらに英文タイトル（必須）、英文アブストラクト（任意）、SDGs との関連の有無（任意）を記載し、提言等（案）に添えて査読時に提出してください。

記入者（委員会等名・氏名）：物理学委員会物理教育研究分科会・笹尾真実子

和文タイトル 物理学分野における学問分野に基づく教育研究（DBER）の推進

英文タイトル（ネイティヴ・チェックを受けてください）

Promotion of Discipline-Based Education Research (DBER) in the field of Physics

	項目	チェック
1. 表題	表題と内容は一致している。	○1. はい —2. いいえ
2. 論理展開 1	どのような現状があり、何が問題であるかが十分に記述されている。	○1. はい —2. いいえ
3. 論理展開 2	特に提言については、政策等への実現に向けて、具体的な行政等の担当部局を想定していますか（例：文部科学省研究振興局等）。	○1. 部局名：文部科学省高等教育局 —2. いいえ
4. 読みやすさ 1	本文は 20 ページ（A4、フォント 12P、40 字×38 行）以内である。※図表を含む	○1. はい —2. いいえ
5. 読みやすさ 2	専門家でなくとも、十分理解できる内容であり、文章としてよく練られている。	○1. はい —2. いいえ
6. 要旨	要旨は、要旨のみでも独立した文章として読めるものであり 2 ページ（A4、フォント 12P、40 字×38 行）以内である。	○1. はい —2. いいえ
7. エビデンス	記述・主張を裏付けるデータ、出典、参考文献をすべて掲載した。	○1. はい —2. いいえ
8. 適切な引用	いわゆる「コピペ」（出典を示さないで引用を行うこと）や、内容をゆがめた引用等は行わず、適切な引用を行った。	○1. はい —2. いいえ
9. 既出の提言等と	日本学術会議の既出の関連提言等を踏まえ、議論を展開して	○1. はい

¹ 参考：日本学術会議会長メッセージ、「提言等の円滑な審議のために」（2014 年 5 月 30 日）。
<http://www.scj.go.jp/ja/head/pdf/1>

の関係	いる。	2. いいえ
10. 利益誘導	利益誘導と誤解されることのない内容である。	○1. はい 2. いいえ
11. 委員会等の趣旨 整合	委員会・分科会の設置趣旨と整合している。	○1. はい 2. いいえ

※9で「はい」を記入した場合、その提言等のタイトルと発出委員会・年月日、既出の提言等との関係、相違点等について概要をお書きください

1) 文献 [1] および [2]

[1] 日本学術会議工学教育研究委員会報告 (2000) 「グローバル時代における工学教育」
<http://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-17-t933-8.pdf>

平成12年3月27日

[2] 日本学術会議工学教育研究連絡委員会報告 (2003) 「グローバル時代における工学系大学院教育」.
<http://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/18pdf/1812.pdf>

平成15年7月15日

上記報告は平成12年および15年当時の日本の大学教育、特に工学系の学部教育および大学院教育が抱えている課題を論じ、改革のための提言を行っている。今回の提言は、それからほぼ20年が経過した現時点での日本の大学教育の、特に物理分野の基礎課程での教育に焦点を合わせて、教育の実効性に見られる課題や物理教育改革に関する研究の国際的な発展状況等を報告し、日本における物理教育研究の強化の必要性とそのための方策について述べている。

2) 文献 [6]

[6] 日本学術会議 物理学委員会 物理学分野の参照基準検討分科会(2016) 報告
<http://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-23-h161003.pdf>

平成28年(2016年)10月3日

「大学教育の分野別質保証のための教育課程編成上の参照基準 物理学・天文学分野」

上記報告は物理学および天文学という学問分野の特性とこの分野を学ぶ学生が身に付けるべき素養などについての参照基準を示している。一方この提言は、これらの分野、特に物理学分野、の特性を基盤にして、この分野の学習を効果的に実現するための教育のあり方を、科学的手法を用いて追求する「物理教育研究」の現状とその推進策について述べている。

※チェック欄で「いいえ」を選択した場合、その理由があればお書きください

◎ SDGs (持続可能な開発目標) との関連 (任意)

以下の17の目標のうち、提出する提言等(案)が関連するものに○をつけてください(複数可)。提言等公表後、学術会議 HP 上「SDGs と学術会議」コーナーで紹介します。

1. () 貧困をなくそう
2. () 飢餓をゼロに
3. () すべての人に保健と福祉を
4. (○) 質の高い教育をみんなに
5. (○) ジェンダー平等を実現しよう

6. () 安全な水とトイレを世界中に
7. () エネルギーをみんなに、そしてクリーンに
8. () 働きがいも経済成長も
9. (○) 産業と技術革新の基盤をつくろう
10. () 人や国の不平等をなくそう
11. () 住み続けられるまちづくりを
12. () つくる責任つかう責任
13. () 気候変動に具体的な対策を
14. () 海の豊かさを守ろう
15. () 陸の豊かさを守ろう
16. () 平和と公正をすべての人に
17. () パートナリシップで目標を達成しよう

※「持続可能な開発目標（SDGs）」とは

2015年9月に国連総会が決議した「我々の世界を変革する：持続可能な開発のための2030アジェンダ」が掲げた目標。

詳細は国連広報センターHPをご覧ください。

http://www.unic.or.jp/activities/economic_social_development/sustainable_development/2030agenda/

提言等公表時のSDGs説明

この説明は、日本学術会議の意思の表出（提言・報告・回答、以下「提言等」という）を日本学術会議ホームページのSDGsコーナーで紹介し、多くの関係者の閲読を促進するためのものです。

提言提出時のチェックシートにおいてSDGsとの関連に記述した場合は、日本語紹介文と英文アブストラクトを記載し、提出してください。

記入者（委員会等名・氏名）：物理学委員会物理教育研究分科会・笹尾真実子

和文タイトル 物理学分野における学問分野に基づく教育研究（DBER）の推進

◎ SDGs（持続可能な開発目標）との関連

チェックシートで選択した項目に○をつけてください。

- | | | | | |
|---------------|---------------|------------------|------------------|----------------|
| 1. () 貧困 | 2. () 飢餓 | 3. () 健康 | 4. (○) 教育 | 5. (○) ジェンダー平等 |
| 6. () 安全な水 | 7. () エネルギー | 8. () 経済成長 | 9. (○) 産業と技術革新 | |
| 10. () 不平等 | 11. () まちづくり | 12. () つくるつかう責任 | 13. () 気候変動 | |
| 14. () 海の豊かさ | 15. () 陸の豊かさ | 16. () 平和と公正 | 17. () パートナリシップ | |

◎ 和文紹介文 200字以内

科学技術立国を目指すわが国では、時代の展開に対応し、リードする科学的思考力を持った人材の必要性が高まっている。そのためには大学基礎課程において論理性を付与する物理学の教育改革と強化が必

要であり、物理学分野の専門性に基づく教育研究の推進が求められる。物理教育研究では、ジェンダー・ギャップの現状の分析とその克服に向けた調査・研究も重要なテーマの一つである。

◎ 英文アブストラクト 150 words 以内

In order to achieve the Sustainable Development Goals (SDGs), there is an increasing need for people who are capable and able to keep up with the times. To cope with this, it is necessary to reform and strengthen physics education in basic courses of universities. Education research based on the discipline of physics (PER) should be promoted to provide guidelines and practical methods for effective physics education reform. One of the important research issues there is to reduce the gender gap.

◎ キャッチフレーズ 20 字以内

学問分野の専門性に基づく物理教育研究推進

◎ キーワード 5 つ程度

物理教育研究 物理学 学問分野に基づく教育研究 (DBER) 男女差 エビデンス