

## 【研究ノート】

# 米国STEM教育における DBER (discipline-based education research) の勃興

— 日本への示唆を求めて —

大森 不二雄<sup>1)\*</sup>, 齊藤 準<sup>2)</sup>

1) 東北大学高度教養教育・学生支援機構, 2) 帯広畜産大学人間科学研究部門

要旨 近年、学修成果を重視した大学教育の質保証が求められ、政策・研究とも学修成果のうち学士力等に見られる汎用的能力を重視する傾向にある。しかし、学問を基盤とする大学教育は、学問分野固有の知識技能と汎用的能力を一体的に育成する必要がある。本稿では、その具体的方法論として、米国等で急速に発展し日本では未だ殆ど紹介されていない「学問分野別教育研究」(DBER: discipline-based education research) の有効性に着目する。米国の状況を見ると、顕著な教育効果が確認されている一方で、そのエビデンスにもかかわらず、政策が期待するほどには普及を遂げていない。全米の現状と課題及び先進事例の調査から、日本にとっての示唆として、教育・人材・組織の一体的開発、高等教育研究等との連携、学内拠点・全国的拠点の整備等が挙げられる。

## 1. 背景：日本の大学教育の質保証の課題

近年の大学教育改革では学修成果を重視した教育の質保証が求められ、政策・研究とも学修成果のうち学士力等に見られる汎用的能力を重視する傾向にある。

しかし、学問を基盤とする大学教育は、分野ごとの専門的知識技能と汎用的能力を一体的に育成する必要がある。日本学術会議が策定してきた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は、そうした方向性に沿った学界を挙げての取組と言えようが、教育課程の実態に影響を及ぼしつつあるようには見えない。

その一因は具体的方法論を提示していないことに求められよう。

## 2. 米国における DBER の現状と課題

### 2.1. DBER とは何か

本研究は、具体的方法論として、日本では未だ殆ど紹介されていない DBER (discipline-based education research) に着目する。未だ日本語の定訳が無いと言ってよいが、後述する意味を正確に伝えようとすれば、「学問分野に根ざした教育研究」といった訳となる。短く表現するなら、「学問分野別教育研究」とい

た訳が考えられる。

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、学習科学の知見を採り入れつつ、各学問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かつ実証的研究である。

近年、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、工学等の科学・技術分野 (STEM: Science, Technology, Engineering and Mathematics) で急速に発展している。

なお、同報告書が冒頭の謝辞で言及している通り、近年の DBER の発展において、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) 主導の実践研究が果たした役割は、特筆すべきものがある。

他方、日本では、DBER について、物理学分野で時折紹介 (例えば、新田 2016) が行われる程度で、北米等の知見の導入や同様の実践研究が進展しているとは言い難い現状にある。

\* ) 連絡先：〒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 fuji.ohmori.e7@tohoku.ac.jp

## 2.2 DBERと関連領域との異同

ここで、DBERと重なり合いもある関連領域として、日本でも既に広がりがある程度見られる学習科学や SoTL (Scholarship of Teaching and Learning) との関係及び差異を説明しておく。

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るが, 各学問分野固有の専門性(分野固有の概念・実践・思考法等)の習得に向けた知見を目指す点及び教授・学習過程における当該分野の専門性の果たす中核的役割を重視する点において学習科学と異なる。例えば, 学習者は, 当該学問分野固有の概念理解等の困難に度々直面するのであり, これに対する学習支援は当該分野の専門家でないとい困難である。教育・学習科学一般には還元し得ないDBER独自の学際性がある (Dolan *et al.* 2017)。

また, SoTLが省察的実践による自身の授業改善と学問分野を超えた実践コミュニティを志向するのに対し, DBERは学問分野ごとの教授・学修に関する一般化可能な知見の蓄積を志向するなど, 明らかな相違がある (NRC 2012: 11-12)。

## 2.3 米国STEM教育の抱える問題

次に, 米国でDBERが発展してきた歴史的背景について簡潔に触れておく。

米国では, STEMという語ができるはるか以前から, 特に第2次大戦中の軍事技術開発や冷戦中の宇宙開発競争等に象徴されるように, 科学技術開発とそれに関連する研究・教育・人材育成を国家の根幹にかかわるテーマとする基本的理念がある (Gonzalez *et al.* 2012)。知識基盤社会におけるイノベーションが重視される現在においては, AI, ビッグデータ, IoT等の研究開発に関わる新たなSTEM人材育成への期待が急激に高まっている。

その一方で, 米国は, STEM分野を専攻する学生を十分確保できず (Bradforth *et al.* 2015), STEMの高度な素養を持つ市民及び労働力が不足するとともに, その人種間/性別間/留学生・自国生間の格差が大きい, という問題が議論されてきた。STEM学力アセスメントの国際間比較における低順位や, 初等中等教育においてSTEM教育を担う教員の能力や環境

整備が不十分であるという問題も指摘されてきた。

そこで, 近年, STEM教育改革に向けた様々な取組が積極的に行われてきており (Gonzalez *et al.* 2012; Committee on STEM Education 2013), 特に大学教育に関するものとして, 米国大学協会 (Association of American Universities: AAU) による「STEM学部教育イニシアティブ」(Undergraduate STEM Education Initiative), 全米カレッジ・大学協会 (Association of American Colleges and Universities: AAC&U) による「万華鏡プロジェクト」(Project Kaleidoscope: PKAL) 等がある。

こうした背景の下に, NSF等を通じた豊富な連邦資金の投入もあって, STEM分野においてDBERが急速に成長してきたのである。

## 2.4 DBERの成果：高い教育効果

米国では, DBERは, 各科学分野における科学研究の一つの研究領域としての位置付けが確立しており (例えば, 物理教育研究は, 物理学研究の一領域。), これまでに様々な知見が得られている (NRC 2012)。特にDBERのうち最も早く発展した物理教育研究 (Physics Education Research: PER) においては, 統計的手法によるエビデンス (科学的根拠) に基づいて教育効果の認められた実践手法の蓄積が進んでおり, 他のSTEM分野のDBERもこれに続いている。

こうしたDBERの発展により, 科学的知見の蓄積も進んでいる。学部レベルのSTEM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採っても, アクティブ・ラーニングが伝統的講義形式を大幅に上回る教育効果を示していることが分かった。また, 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, 伝統的講義法よりも好成績をあげていることを示した。

図1の研究は, Science誌に掲載されたDBERによる実践研究の代表例の一つであり, 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, 顕著に高い学修成果を

得た研究の一例である。Wieman らの研究グループにより、カナダのブリティッシュ・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。実験群で採用された教授法は、学生にチャレンジ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ものであった。

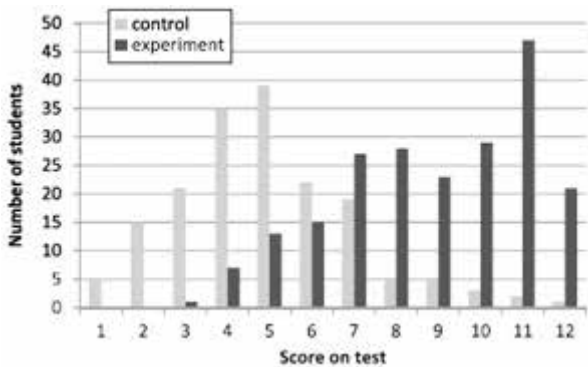


図1 経験豊富で学生の授業評価が高い教員による講義方式の授業(統制群)と博士号取得後まもないポストドク研究者によるDBERに基づく教授法の授業(実験群)それぞれの授業後のテスト得点の比較(Deslauriers, Schelew & Wieman 2011 より)

上述の研究成果は、米国のコロラド大学ボルダー校及びカナダのブリティッシュ・コロンビア大学の282人もの教員が235科目の授業でDBERに基づく授業法を採用するに至った、大規模な実践研究の一環として得られた。両大学の物理学教授を兼任していたWieman氏が主導した同実践は、理系各学科にわたる組織的な教育改革として最大規模と言われ、リーダーであった同氏自身の著書(Wieman 2017)によって詳細に分析・考察されている。

Wieman (2017) は、物理学者・科学教育研究者ながら、ミ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は、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重要性を知見として提示した。日本の政策言説は全学的ガバナンス論に偏しているが、Wieman (2017) の研究成果は、学科マネジメントの決定的重要性を示唆する。また、教員の負担軽減や教育専門性を担うDBER専門人材の育成・活用の必要性を指摘している。こうした人材・組

織開発研究の側面は、STEM教育以外の大学教育研究・高等教育研究にとっても示唆に富む。

## 2.5 DBERの課題：普及が不十分

しかし、DBERにより見出された知見が実際の教育実践に十分に反映されているかどうかは、なお検証の必要がある。DBERの成果が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はいるものの、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)。

また、Fulmer (2014) によると、依然として授業は伝統的講義方式が主流である。Fulmer (2014) は、DBER研究が進展しているにもかかわらず、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感じているとする。

DBERの普及が十分でない理由の一つとして、DBERが個々の学問分野内にとどまり、組織的・発展的な取組になっていないことが考えられる。DBERが大学内外の複数分野横断的・学際的な教員コミュニティの中で、高等教育研究やFD研究とも連携して展開されることが、更なる発展のために必要であろう(NRC 2012)。

## 2.6 普及に必要な人材・組織開発及び高等教育研究等との協力が課題

こうした中、北米の大規模大学での理系各学科にわたる組織的な教育改革としておそらく唯一のものと言われる取組について分析・考察したWieman (2017) の研究の意義は大きい。Wieman氏は社会科学的な考察も行っているが、今後は高等教育研究者等との共同研究が望まれよう。

Henderson, Beach & Finkelstein (2011) による網羅的な文献レビュー研究(下記2-(2)で詳述)が示すように、DBER先進地の北米でも、高等教育研究との知見の交流は殆ど見られず、DBERに基づく授業変革の普及を左右する人材・組織の要因の探究が広がっていない。

STEM(科学・技術分野)教育の変革に関する191の論文(1995年から2008年に刊行)をレビューしたHenderson, Beach & Finkelstein (2011) によれば、

科学教育研究者が教育内容・方法を扱うのに対し、高等教育研究者は政策を論じており、各研究は相互に孤立しがちで、知見は理論面でも実証面でも蓄積されていない。変革そのものも弱体であるという。

とはいえ、日本と比べれば、米国は、STEM教育改革の組織的取組がNSF等の支援もあって強力に推進されており、DBERをめぐる情勢も進展しつつある。

以下では、組織的STEM教育改革の先進事例として、コロラド大学ボルダー校におけるDBERの実践取組について、訪問調査の結果を概観する。

### 3. コロラド大学ボルダー校のDBER実践

筆者の一人は、2016年9月27日から30日にかけて、コロラド大学ボルダー校文理学部物理学科を訪問し、Steven Pollock教授及びNoah Finkelstein教授と面談し、同校の組織的STEM教育改革の状況を聴取する機会を得た。ここでは、特にDBERの観点から、その取組を見ておきたい。

#### 3.1 STEM教育の拠点プロジェクト

同校のSTEM教育におけるDBERとその成果活用を中心となって推進しているのは、STEM学習センター (Center for STEM Learning: CSL)である。同センターは、その設立構想が米国立科学財団 (National Science Foundation: NSF) によるI3 (Innovation through Institutional Integration) プロジェクトの一つとして2009年に採択され、その後2012年に正式に運営を開始した。翌2013年には米国大学協会 (Association of American Universities: AAU) によるSTEM学部教育イニシアティブ (Undergraduate STEM Education Initiative) のプロジェクト拠点の一つとして選定されている (Center for STEM Learning 2014)。その取組は、次のように多岐にわたる。

#### 3.2 プロフェッショナル・ディベロップメント

同センターでは、プロフェッショナル・ディベロップメント (PD) という名称の下、ファカルティ・ディベロップメント (FD) として、教員向けセミナーやワークショップ、授業の相互評価やコンサルテーション、ウェブサイト上での様々な情報提供・リソースの公開

等により、DBERとそれにより得られた「科学的根拠に基づく」(evidence-based) 教育実践方略の普及を行っている。

ここでは、教育実践に関する教員同士の学習コミュニティ (Faculty Learning Community) の形成やそのネットワーク化、特にSTEMの各分野や高等教育研究等の複数の学問領域の教員同士による協働が重視されている (Henderson, Beach & Finkelstein 2011)。例えば、週に一度のペースで開催される「DBERセミナー」には、STEM教育に関わる様々な学部・学科から参加者が集まる。「学問分野に根ざした」DBERを特定の学問分野の内部に閉じさせるのではなく、領域横断的・学際的にも発展させようとする取組であると言える。

また、教員だけではなく、大学院生TAや学部生LA (Learning Assistant) の研修・教育も、PDに含まれている。例えば、物理学科では、教員による講義の前又は後に、TAとLAのチームが担当するチュートリアル・セッションがセットされており、DBERに基づく学習・教育理論や実践について理解しておくことは、彼らにとっても不可欠である。

さらに、いわゆるプレFDやPFF (Preparing Future Faculty) として、博士課程大学院生やポストドクター向けの研修も、PDプログラムの重要な対象とされている。それだけでなく、STEM分野における初等・中等教育 (K12) の教員養成も、ここでのPDプログラムの一環と捉えられている。実際、LAを経験した学生の1割程度が卒業後に高校のSTEM教員になっているという。K12と大学・大学院を合わせてK20の教員養成と位置付けられ、米国のSTEM教育改善の危機意識を反映して、地域や将来のSTEM教員養成という広い視野に立って取り組まれていることが注目される。

#### 3.3 教育実践・評価とその支援

DBERの中心課題として、同センターでは、実際の授業・教育実践の評価、研究ベースでの実践・検証、さらには組織全体のSTEM教育改善状況の検証が行われている。授業の評価としては、学生による授業評価のほか、教員による相互評価 (ピアレビュー) や自

己評価 (Teaching Practice Inventory: TPI) 等が行われている。

こうした評価の質を高めるために、専門分野・学科ごとの授業評価ルーブリックの開発等が学科アクションチーム (Departmental Action Teams: DATs) によって検討されるなど、同センターを中心とした組織的な実践・研究が進められている (Finkelstein *et al.* 2015)。

授業内外における ICT 及び e ラーニングの活用、特に PhET (Physics Education Technology) と呼ばれる物理シミュレーション教材の開発・活用支援等についても、同センターがハブとして機能している。PhET は、学内の授業やチュートリアル・セッションのほか、初等中等教育にも活用されている。同様に、MOOCs や地域住民への公開講座、高大接続的な活動として高校生以下へアプローチする取組など、この面でも学外を含む幅広い教育実践・評価が行われている。

### 3.4 組織文化の変容や組織開発の支援

DBER に基づく STEM 教育改善に持続的に取り組んでいくためには、教員個々の取組あるいは個別の授業改善のレベルから、教員グループや学部・学科単位での取組、さらには全学レベルの取組へと拡大していくことが必要である。そのためには、教育実践・研究に対する組織全体の認識を変えていくこと、いわば組織文化を変容させていくことがとりわけ重要となる (Center for STEM Learning 2014; Corbo *et al.* 2016)。

その手法としては、教員ないし教員グループによる取組を徐々に押し上げていくボトムアップのアプローチと、執行部等からのトップダウンのアプローチ、さらには学部・学科の教育体系やカリキュラムあるいはシステムやリソースの整備等から拡大していくミドルアウトの活動、これら 3 レベルのアプローチのいずれにも取り組んでいくことが必要となる。そのためのセンターの活動として、教員・教員グループに対する PD や授業評価・支援、執行部への関連データの提供、学科アクションチーム等の組織形成支援、外部資金の獲得等が行われている。

とりわけ重要なのは、DBER や教育研究を専門分野における研究と同等の価値を持つものと位置付け、

DBER の知見に基づく教育改善実践を正当に評価することである。具体的には、これらの活動に対する教員表彰や報奨の実施及び昇進への反映、必要となる教育研究・実践のための資金提供やそれらに専念できる時間の確保等を含め、組織的なポリシーを整備していくことが必要である。

米国では、例えば米国物理学会の声明 (American Physical Society 1999) 等に見られるように、DBER を通常の科学研究と同等の研究活動として評価すべきことが、既に政策としては確立している。今回の訪問調査で面接聴取した Pollock 教授も Finkelstein 教授ともに物理教育研究 (Physics Education Research: PER) が専門だが、分野の専門性が重要となる PER/DBER を進めるにはやはり物理学科のスタッフとして、「科学教育を科学として」研究できるということが非常に重要であるということであった。

## 4. 日本の大学 STEM 教育への示唆

### 4.1 DBER の導入そのものが今後の課題

日本においても、従来より、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おり、近年の高等教育研究の進展とともに、その関心は高まっていると言える。しかし、日本と米国とでは、STEM 教育に求められる要請や社会状況が異なることもあり、DBER という概念は殆ど知られておらず、ましてや科学研究の一領域、専門分野の研究と対等な研究であるという考え方が確立しているとは到底言えない。海外の進歩から大きく後れを取っている領域である (新田 2016)。

他方、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校内外の教員コミュニティによって古くから行われ、その成果が共有されてきた (右近 2016)。ここで重要なのは、そうした研究が教員個々の授業の中だけで行われてきたのではなく、あくまで教員コミュニティ、とりわけ校内の教員グループによって組織的に進められてきたことであろう。

日本の大学においても、科学・工学 (あるいは STEM) 教育研究は行われてきたが、それらは、学協会 (学会) コミュニティ、すなわち関心を同じくする

研究者によって形成される学外のコミュニティによって展開・共有されることはあっても、学内で組織的に行われることはほとんどなかったのではないか。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いる (Dolan *et al.* 2017によると、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) 米国とは雲泥の差がある。

総じて、日本の大学は、DBERの導入そのものが今後の課題である。とりわけ、DBER専任の教員ポストの設置が米国のように進む状況にない中、DBERに取り組む人材・マンパワーの確保が大きな課題となりそうである。マクロ的には、政府・大学執行部等がどれだけ重視するか懸かっていると云えよう。

#### 4.2 人材・組織と教育の一体的開発が普及の鍵

米国にも課題はある。前述したように、米国でも、DBERの実践研究の成果としてのエビデンスに基づく教授法が、多くの教員の授業実践に直ちに普及・拡大している状況にはない。そして、この課題を克服する方策として、コロラド大学は、学内センターをハブとして、教育開発と人材開発や組織開発を一体的に進めるとともに、実践研究コミュニティーを形成する組織的取組を展開し、成果をあげていた。

日本において今後DBERを発展・普及させるためには、米国ではあまり見られない高等教育研究者・FD担当者等との協力を確保し、教育開発と人材開発・組織開発を最初から一体的に推進することが効果的と考えられる。また、学内外における教員コミュニティ形成を促す組織的取組が有効と考えられる。その際、各学問分野内にとどまらず、高等教育研究者・FD担当者等を含む異分野横断的なネットワークによる連携的取組も併せて拡大していくこと (NRC 2012) が、日本のSTEM教育研究・DBERにおいても重要であろう。

当面、具体的には、以下のような取組をDBERという観点で整理し、深化することが考えられる。

#### 4.3 学外コミュニティの形成

前述したように、学協会等においてSTEM教育研究の研究者コミュニティは形成されつつある。各コ

ミュニティ内だけにとどまらず、さらにコミュニティの外ともオープンに交流するには、他の科学分野の学会や高等教育・大学教育・教育工学等の関連学会とも組織的に連携していくことが考えられる。なお、米国においては、STEM分野の範囲内で連合したDBERコミュニティ形成が必要との議論がある (Henderson *et al.* 2017)。

また、DBERの実践研究の成果を広範囲に共有するには、出版や発表といった伝統的な研究成果の公開方法だけではなく、インターネット上のデータベース等、オンラインのリソースとして広く蓄積・公開する方法が考えられる。

#### 4.4 学内拠点や全国的拠点の整備

DBERを強力に推進するには、やはりコロラド大学のセンターのように、ハブとなる組織を設置することが有効であろう。あるいは、特定の大学のための組織ではなく、共同利用拠点のようなものとして設置する方向性も考えられる。

### 5. 結語： DBERが明日の科学者を育てる

大学教育の質保証の観点から、DBERによる学問分野別の効果的な教授法に関する科学的知見の蓄積・活用は、非常に大きなメリットがある。

しかし、日本の大学の資源とりわけ人的資源の状況にかんがみれば、DBER振興のハードルは低くない。また、日本の科学研究の失速ぶりから、政策の優先順位は、教育よりも研究となりがちであろう。

だが、明日の科学研究を育てるのは、今日の科学教育である。このことを忘れてはならない。また、AIやビッグデータ等を含め、予想困難な時代において、科学リテラシーの高い市民を育成していくことのメリットは、計り知れない。さらに、DBER人材の育成・活用は、進学希望者が減少傾向にある博士後期課程の意義をも高めるであろう。

DBERの振興は、大学関係者と高等教育政策当局者のビジョンが問われるイシューの一つと云えよう。

#### ○参考文献

American Physical Society, 1999, *Research in Physics*

- Education*, Statement Adopted by Council on 21 May 1999.  
[https://www.aps.org/policy/statements/99\\_2.cfm](https://www.aps.org/policy/statements/99_2.cfm)
- Bradforth, Stephen E., Miller, Emily R. *et al.*, 2015, "University learning: Improve undergraduate science education", *Nature*, Vol.523, Iss.7560.
- Center for STEM Learning, University of Colorado Boulder, 2014, *I3: Towards a Center for STEM Education: Final Report*.
- Committee on STEM Education, National Science and Technology Council, 2013, *Federal Science, Technology, Engineering, and Mathematics (STEM) Education 5-Year Strategic Plan*.
- Corbo, Joel C., Reinholz, Daniel L., Dancy, Melissa H., Deetz, Stanley, and Finkelstein, Noah, 2016, "Framework for transforming departmental culture to support educational innovation", *Physical Review Physics Education Research*, Vol.12, Iss.1, Published Online: 22 February 2016, pp.1-15.
- Crouch, Catherine H., and Mazur, Eric, 2001, "Peer instruction: Ten years of experience and results", *American Journal of Physics*, Vol.69, No.9, pp.970-977.
- Deslauriers, Louis, Schelew, Ellen, and Wieman, Carl, 2011, "Improved Learning in a Large-Enrollment Physics Class", *Science*, Vol.332, pp.862-864.
- Dolan, Erin L., Elliott, Samantha L., Henderson, Charles, Curran-Everett, Douglas, St. John, Kristen, Ortiz, Phillip A., 2017, "Evaluating Discipline-Based Education Research for Promotion and Tenure", *Innovative Higher Education*, Published Online: 29 May 2017, pp.1-9.
- Finkelstein, Noah *et al.*, 2015, *Towards a teaching framework for assessing and promoting teaching quality at CU-Boulder*, Report from the STEM Institutional Transformation Action Research (SITAR) Project, Center for STEM Learning, University of Colorado Boulder.
- Freeman, Scott, Eddy, Sarah L., McDonough, Miles, Smith, Michelle K., Okoroafor, Nnadozie, Jordt, Hannah, and Wenderoth, Mary Pat, 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, Gavin 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*, Berlin: Springer.
- Gonzalez, Heather B., and Kuenzi, Jeffrey J., 2012, *Science, Technology, Engineering, and Mathematics (STEM) Education: A Primer*, CRS Report for Congress, Congressional Research Service.
- Henderson, Charles, Beach, Andrea, and Finkelstein, Noah, 2011, "Facilitating change in undergraduate STEM instructional practices: An analytic review of the literature", *Journal of Research in Science Teaching*, Volume 48, Issue 8, pp. 952-984.
- Henderson, Charles, Connolly, Mark, Dolan, Erin L., Finkelstein, Noah, Franklin, Scott, Malcom, Shirley, 2017, "Towards the STEM DBER Alliance: why we need a discipline-based STEM education research community", *International Journal of STEM Education*, Published Online: 21 August 2017, pp.1-4.
- Lukes, Laura A., LaDue, Nicole D., Cheek, Kim A., Ryker, Katherine, and St. John, Kristen, 2015, "Creating a Community of Practice Around Geoscience Education Research: NAGT-GER", *Journal of Geoscience Education*, Vol.63, No.1, pp.1-6.
- McDermott, Lillian C., 2013, "Improving the teaching of science through discipline-based education research: An example from physics", *European Journal of Science and Mathematics Education*, Vol.1, No.1, pp.1-12.
- National Research Council (NRC), 2012, *Discipline-Based Education Research: Understanding and improving learning in undergraduate science and engineering*, Washington, D.C.: National Academies Press.

新田秀雄, 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, pp.40-43.

右近修治, 2016, 「日本の授業実践研究に学ぶ」『大学の物理教育』第22巻第2号, pp.55-59.

Wieman, Carl, 2017, *Improving How Universities Teach Science: Lessons from the Science Education Initiative*, Cambridge, MA: Harvard University Press.