

# 中国の物理教育における高大接続の研究

## —教育比較アプローチによる分析から—

孫 以天

### 【要約】

本研究は、中国の物理教育における高大接続の進展に向けて、教育課程の比較分析と学生の学習状況調査により、物理教育の高大接続の課題を把握するものである。特に、高校物理教育課程の2017年改訂を受けた変化実態を、非物理専攻の理工学群の大学進学者による大学物理履修での接続から詳細に把握する。従来批判された高校の物理履修における「選択による知識欠損」に起因する教育内容分野の接続不足の改善が期待される。高校物理教育課程の中日比較より、日本の方が取り扱い分野・知識内容が広いことを受け、中国の大学物理内容を高校に加える可能性が示唆された。中国の理工学群の大学生の調査より、高校当時と比べて大学での成績志向の低下、間違い訂正の減少、物理的思考の重要性向上などが見られる。接続の改善として、大学物理学習の向上のために高校の履修内容範囲を拡大する方向と同時に、大学物理学習の困難性回避に向けて大学教員による学生把握や彼らの意欲・能力を配慮した大学物理課程を実践する方向が、求められている。

### 1. 研究の背景と目的・方法

#### (1) 「高大接続」の意味

教育における『接続』について荒井は、質的に異なる二つの教育課程を結びつけ、相互の関係を調整、機能させることと意味づけている<sup>1)</sup>。また、中国語の『銜接』は1996年から教育接続の意味で公文書に使われ始めたが<sup>2)</sup>、その定義には厳の「異なるレベルの学制間の接続。その本質は課程間の接続である」<sup>3)</sup>、周の「異なる教育段階や教科において、課程内容、課程標準、教育目標、教科書編成などでマクロやミクロに体系化・最適化した組合せである」<sup>4)</sup>、褚の「教科書、教育内容、教学実践過程、教学評価、教育方法と学習方法、教師と学生の認識習慣など含める」<sup>5)</sup>などがある。高大接続は、高校と大学の課程の繋がりを教育内容、指導と学習の過程、教師や生徒の認識等から検討を加える必要があるものと考えられる。

#### (2) 中国の物理教育における高大接続問題

1984年に梁は、高校と大学の物理課程では学生への期待が違い、大学入学後は高校生の特性が強いため直ぐ大学の要求に適応しないと指摘した<sup>6)</sup>。楊は知識伝授・能力育成・学習方法と学習習慣の改善から接続を議論した<sup>7)</sup>。馮は接続の影響要因は課程と人の変化にあるとまとめた<sup>8)</sup>。李は、大学新入生が学習困難を抱える原因に高大の教育内

容の難易や広さ、教科書、学習の環境や習慣、人材育成目標等の違いを挙げた<sup>9)</sup>。袁らは大学教員が入試での新入生への要求を知り、高大の知識重複部分で教学方法に注意するよう意見した<sup>10)</sup>。中国では主に大学側が重視すべき課題と考えて入学者の扱いに関心が示されたが、学生や教師の環境は異なり複雑な課題を持つゆえ、教育内容の対応と関わる人の変化に着目することが必要である。

#### (3) 物理課程標準の改訂による高大接続の変化

許は2003年の高校物理の教育内容と、大学の物理教科書の対応を分析し、必修系列と3種の選択系列との組合せがそれぞれ大学の文系、工学系、理系対応になると結論づけた<sup>11)</sup>。しかし、高校物理の選択は大学入試が課す科目に左右されるため、高大接続の課題だと指摘された<sup>12)</sup>。2017年の教育課程改訂の際、既存の高校物理での理系学生の学習内容は大学の基礎に不十分だと指摘された<sup>13)</sup>。この改訂で初めて高校の任務は学生に社会生活・高等教育・キャリア発達の準備を整えることと明示された<sup>14)</sup>。それまでの必修+選択から、必修+選択必修+選択へ履修形式を変え、選択必修は大学の理工学群において学生の専門的学習を支えるものと規定した。改訂が高大接続の課題へ向けて、履修内容の充実によって改善を図ろうとした対応が認められる。

#### (4) 研究の目的

本研究は中国の理工学群の大学生が抱える物理教育での高大接続の課題の解決に向けて、高校の教育課程の改訂や大学共通教育の物理教育との対応についての現状分析から、中国の大学生が置かれる学習の実際を把握した上で、その状況改善に向けた示唆を得ることを目的とする。その際、中国の高校と大学の物理教育の教育比較のほか、中日両国の高校物理の教育比較、中国の大学生個人内での高校と大学の学習比較などの教育比較アプローチを通じて、明確になった類似点や相違点から、中国の高大接続の更なる状況改善に向けた教育改善の知見もあわせて提供することを企図する。

なお、本研究で扱う大学物理教育は、非物理系の理工学群の学生対象の「大学物理」とする。

#### (5) 研究の方法

本研究は、2つの分析視点を定めて展開する。1つは、物理教育内容のカリキュラム比較の視点である。第2章では、中国の高校と大学の物理で学ぶ知識間の繋がり具合から、接点となる知識事項や大学が新生に求める予備知識水準を確認し、今後対応が求められる課題を検討する。高校は2003年と2017年の『普通高中物理課程標準』、大学は2010年の『理工科類大学物理課程教学基本要求』から物理教育内容を捉える。第3章では、日本の高校の物理教育内容を2018年の『高等学校学習指導要領』から捉え、中国の高校の物理教育内容との比較で得た共通点や相違点から、中国に対して示唆される課題を検討する。

もう1つは、大学生の学習実態や学習意識の個人内比較の視点である。第4章では、蘇州科技大学に進学した専門が非物理の理系学生を対象に実態調査を行い、高校と大学の物理学習状況で自己認識する差異や変化を明らかにする。被験者の回答は主に統計的分析で量的な傾向をつかみ、高大接続の成果として大学生の物理学習において改善を期待する課題について検討する。

## 2. 中国の高校物理カリキュラム改訂の比較分析

改訂をはさんだ前後の2003年と2017年の中国の高校物理の教育課程を分析対象とし、各々の教育内容の構造と、改訂で生じた構造的変化を把握

することを目的とする。

なお、分析に用いる高校物理の教育課程の国家標準である『普通高中物理課程標準』(以下、課程標準)は、中華人民共和国教育部が制定し、人民教育出版社が発行した公文書である。

#### (1) 普通高中物理課程標準(2003)の内容項目

図1は、2003年の課程標準の内容構成を図示したものである。

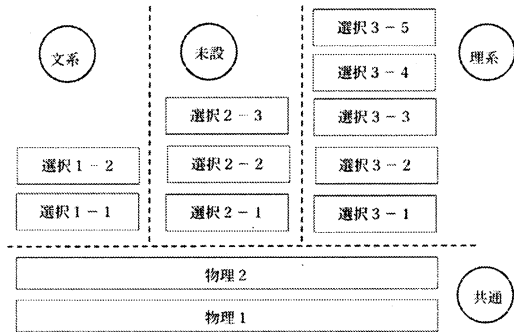


図1 課程標準(2003)の内容フレームワーク構成

廖は、大学入試での出題セクションに関する2007年の指定を受けて、必答の選択3-1、3-2については多くの学校が履修させる一方で、選択3-3、3-4、3-5ではうち2つを選択回答させるため、学校がセクションを2つ履修させるのが一般的だと指摘している<sup>15)</sup>。強制的に選択させるため、理工学群へ進学する学生に熱力学、振動と波、運動量と原子核のいずれかの知識欠損がある。高校時代の履修状況に関する調査を2016年に行った場合は、華東師範大学理学部の学生114名のうち71%は熱学を履修していないことを明らかにし、大学での物理学習に強く影響すると主張した<sup>16)</sup>。大学生の高校の履修状況と大学の学習成績の関連性に関して2015年に調査した李は、選択3-5の履修と力学の成績に統計的に有意な相関性が見られると報告した<sup>17)</sup>。これらの指摘を踏まえれば、改訂後の課程標準の検討では特に、選択3系列の内部セクションの設計や履修状況の移行、さらに大学の教育課程との対応関係の状況変化について検討する必要がある。

#### (2) 普通高中物理課程標準(2003)の内容項目

2017年の課程標準は図2のように、必修、選択必修、選択の3つの系列が設けられている。必修の系列は全高校生が履修し、卒業認定の条件とな

選択1： 物理学と社会の発展	選択2： 物理学と技術の応用	選択3： 近代物理学初歩
選択必修3：固体・液体・気体、熱力学の法則、原子と原子核、粒子と波動の二重性		
選択必修2：磁場、電磁誘導とその応用、電磁振動と電磁波、センサー		
選択必修1：運動量と運動量の保存、力学的振動と波、光とその応用		
必修3：静電場、回路とその応用、電磁場と電磁波初歩、エネルギーと持続可能な発展		
必修2：力学的エネルギーとその保存、曲線運動と万有引力の法則、ニュートン力学の局限と相対性理論初歩		
必修1：運動と物理モデル、相互作用と運動の法則		

図2 課程標準（2017）の内容フレームワーク構成。必修と選択必修の系列は、理工学群の進学者に対して大学入試で出題される。選択の系列でのセクションの選定は学生の自己選択となっている。理工学群の進学者の高大接続では、必修に加えて選択必修の系列が用意されたことが改訂での変更点であり、その内容項目が注目される。

### (3) 改訂による内容項目と関係性の変化

課程標準の改訂で教育内容に次の移行・変化が見られる。2017年の課程標準の必修1・2は2003年の物理1・2が移行したものである。必修3は新設だが、2003年の選択3-2のうち磁場を除いた電磁気学の移行である。以前は理系生徒のみの履修が、高校生全体の必修へ拡大したことで、生徒の物理知識の底上げとなる。理系生徒に履修を課す選択必修のうち、選択必修1は運動量（選択3-5）、振動と波（選択3-4）、光学（選択3-4）のように、2003年の選択3系列を再編して設けられた。学習階層の調整も見られ、運動量の重視や、振動と波に運動学の概念を組み合わせるなどで、生徒の知識構築の改善が考えられている。選択必修2は、2003年の選択3-2と選択3-4の電磁波の内容で再編され、選択必修3は、選択3-3、3-5が移行された。総じて、2017年の課程標準は、以前からの物理知識について関連性を根拠に再編すると同時に、理系生徒に必修3と選択必修1～3の積み増しさせる変更で、物理教育内容の履修を実質上、拡大させることに成功している。

## 3. 中国の高大物理カリキュラムの関係性分析

2017年改訂の課程標準の影響を最も強く受け

る非物理専攻の理工学群の学生による大学での「大学物理」の履修に基づき、高大接続での教育内容の対応の顕著な変化を捉えることにした。2010年の『理工科類大学物理課程教学基本要求』（以下、基本要求）に示された物理の知識・概念や能力・態度等を抽出した上で、知識・概念に関して2017年の課程標準と対応関係がある項目を選び出し、高大で見られる内容構成や理解構築の違いを明らかにする。さらに、教学のプロセスや育成する能力・態度における違いも明らかにする。

### (1) 高校物理と対応のある大学物理の内容項目

大学物理で必修項目に規定するA類では74項目のうち33項目(45%)で高校に対応項目がある。一方、選択項目に規定するB類では51項目のうち5項目のみに対応項目がある。表1は分野別に見た場合の高校物理との対応状況をまとめた。

表1 大学物理で高校物理と対応のある内容項目数

「大学物理」 教育内容分野	内容項目の 対応数/全体数		高校物理*での 対応セクション
	A類	B類	
力学	4/7	0/5	必修1・2, 選択必修1
振動と波	5/9	1/4	選択必修1
熱学	3/10	0/4	選択必修3
電磁気学	10/20	2/8	必修3, 選択必修2
光学	5/14	0/9	選択必修1
特殊相対性理論	2/4	0/3	必修2
量子物理	4/10	1/4	選択必修3
分子と固体	-	0/5	選択必修3
原子核、粒子	-	1/6	選択必修3
天体物理	-	0/3	-
類別の合計数	33/74	5/51	

\* 内容項目数は理系学生の履修内容（必修+選択必修）に基づく

課程標準での選択必修の設置により、非物理専攻の理工学類の学生にとっての教育内容の対応は、接点となる内容項目を多くの分野で網羅した状態となることから、高大接続が進んだといえる。

### (2) 高校と大学の内容項目の関係性

関係性の質的な分析として、関係図を図3のように描いて検討した。高校の必修1の学習は、質点モデル→等加速度直線運動の表現→特例としての自由落下運動→重力や他の力の順で展開される。この範囲では大学の「質点と運動の表現」が対応する。さらに高校では運動学と力学を統合した学習が展開される。この範囲では大学の「ニュート

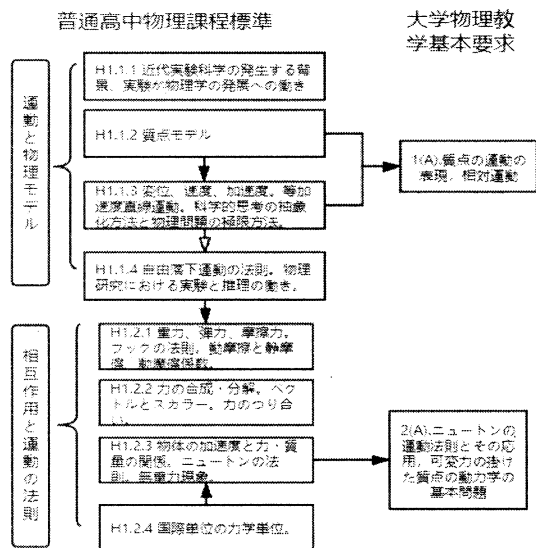


図3 高校物理必修1と大学物理の対応関係

の運動法則」と対応している。

内容項目の関係性分析の結果、大学物理では知識の関連性や系統性を重視して科目の取扱い内容範囲を設定するが、高校物理では力学や電磁気学の領域において生徒の学習発展の水準に合わせて必修と選択必修に分けるように段階的に配置する傾向がある。また、大学物理は普遍的な一般理論を求めるが、高校物理は理想状態の特殊典型的状況を取り扱う傾向にある。例えば、大学物理では「力の変化する曲線運動」として包括的に扱うのに対し、高校物理では曲線運動・水平投射運動・円運動などの基礎的概念に小分けして学習を行う。

なお、高校物理では課程標準に、「実験を経て」「物理モデルを構築する」など、教学プロセスでの指導事項が詳細に示されるが、大学物理では基本要件にアドバイスの提示までで、教学プロセスでの指導事項は担当教員の自由裁量となっている。

### (3) 高校と大学の課程目標の対応

表2は、高校物理と大学物理の課程目標に含まれている、能力や態度・価値観等を示している。大学と高校はともに科学的な思考と科学精神の育

表2 高校・大学での物理の課程目標の比較

高校 課程標準(2017)	大学 基本要件(2010)
物理の知識概念と応用	独立して知識を獲得する能力
科学的思考方法	科学的な観察・思考
科学探究	問題分析・解決, 研究
科学精神と責任感	真理事実の精神
	革新意識
	科学の美の意識

成を強調する。高校は知識の応用を唱え、大学は独力での知識獲得を唱える。高校の科学探究は大学では研究へと発展する。

高校物理の内容項目には物理思想・価値観や生活・環境との関連など、大学物理では対応しないものが幾つかある。人間発達の全面性を重視する高校と、専門性の高度化を重視する大学との間の教育スタンスの違いと考えられる。

## 4. 高校物理カリキュラムの中日比較分析

### (1) 入試と履修における物理の設置

中国で「物理」は理系の選択教科の1つである。本来は履修方法に縛りはないが、省実施の国家統一大学入試「高考」での科目指定により履修への影響がある。物理は化学・生物と理系科目に分けられる。例えば、江蘇省の理系学生は物理が必須で、文系必須の歴史を除く残り4つの選択教科から1つ選択し受験するが、多くが生物・化学を選択する。2019年から新入試制度が実施され、理系学生は物理が必須で、4つの選択教科から2つ選択になる。江蘇省Y市の物理受験率は52%(2008年)から68%(2017年)へ上昇したように、理系学生での物理履修は理系科目で最も高い状況にある。

日本で高校の「物理基礎」・「物理」の履修率は順に66%・23%(H27調査)であり、物理は化学・生物に次ぐ第3の選択肢になっている。中国よりも物理の履修割合は少ないといえる。

### (2) 高校物理カリキュラムの中日比較分析

中国での必修と比べて、「物理基礎」は波や熱などの内容にも触れ、より広範囲な内容を扱っている。一方で、曲線運動の設置は「物理基礎」ではなく「物理」のため、「物理基礎」の運動学の知識量も難易度も低下している。文系学生も物理の必修を学ぶ中国と、物理基礎で広範な物理現象を扱う日本では、カリキュラム設計に違いがある。

日本の「物理」には、中国で設定がない内容項目が存在する。例えば、力学運動学分野の剛体や、熱力学分野の気体の状態変化などがある。この2つの知識は、質点系という物理モデルと、相という概念を含んで重要だと判断できる。中国よりも日本の学生の方が、高校の知識を基礎に大学物理との接続が良好な状態にあると想定できる。

## 5. 中国の大学生の物理学学習における高大接続の調査

### (1) 調査の概要

中国の大学理工学群に進学する非物理専攻の学生の「大学物理」の学習状況について、高校からの変化を捉える調査を2019年10月に実施した。大学生の状況に相応しい高大接続の在り方の検討がその目的である。調査対象の学生は、蘇州科技大学2018年入学者で、建築工程学科と土木工学科の大学二年生75名である。いずれも、同じ大学教員の「大学物理」を履修しており、大学物理履修の第二学期にあたる。質問紙法による実施で、質問紙（アンケート）の出題構成は、表3の通りである。

表3 アンケートでの出題構成

	出題数			出題内容の項目例
	合計	高校	大学	
学習態度	19	7	12	動機、計画、宿題、授業
学習方法	25	10	15	授業、ノート、宿題、復習、まとめ
教師の教え方	11	4	7	まとめ、発問など具体から全体

質問項目には、大学物理のみ問う項目や、大学物理との比較のため高校物理でも対応させて問う項目がある。高大対応させて問う質問項目では、高大接続を数学学習で検討した先行研究での調査項目や結果を参考に物理学学習へ改良した<sup>18)</sup>。統計的に検定を行い、高大間で学生の学習状況の有意な変化のある項目について明らかにしようとした。

表4は、危険率1%水準で高大で有意差が見られた問題を整理したものである。差の値から見て、大学生の物理学学習で高校と比べて有意に上昇した

表4 高校・大学の学習状況比較

分野	出題内容	高校平均	大学平均	差の平均(大-高)	t値	有意確率
学習態度	成績本位	2.42	3.68	1.26	-5.405	0.000
	独力で宿題完成	3.88	3.41	-0.48	2.976	0.004
学習方法	教師の発問による思考	3.51	3.06	0.83	3.092	0.003
	間違い訂正	3.71	3.07	-0.33	4.204	0.000
	授業中ノートの取り方	3.70	3.20	-0.48	2.902	0.005
	学習促進の訓練	2.19	3.62	0.54	-7.003	0.000
	学習のまとめ	3.57	3.10	0.49	3.19	0.002

のは、成績本位、学習促進の訓練、教師の質問による思考、学習のまとめの4項目である。大学生は明確に大学物理の成績には拘らない傾向にあること、高校ほど演習問題ドリルが成績を上げる要因でなくなったこと、課程の深さが増えて先生の発問を考える必要が生じたことなどがうかがえる。逆に、有意に低下したものは3項目あり、これらから、大学物理の学習では宿題や試験の誤り訂正をせず、授業中は理解にかかわらずノートを取る学生が増える傾向にあることがうかがえる。

次に、大学物理の各分野に関して、高校での履修状況、大学での得意・苦手、高校との違いの実感に関して尋ねた。高校で履修されにくい分野は上位から量子物理(必修2)、相対性理論(選択3-4)、振動と波(選択3-4)である。一方、力学、電磁気学、光学の履修状況は比較的高いことが分かる。得意分野にあがる順は、高い方から力学、熱学、振動と波、光学、電磁気学、分子と固体、相対性理論、量子物理である。力学では回答者の8割を占めていた。力学は高大で対応項目が多く、新設など変動が少ないことも影響したと考える。しかし、力学以外の分野は半数以上の学生にとって苦手と感じており、中でも振動と波、相対性理論、量子物理、分子と固体は高校で未履修者が多い状況と対応する。一方、熱力学、電磁気学、光学は、高大での接点が多くて選択率も高いが、大学では苦手だと感じている。よって、高大接続に向けて授業を工夫する必要がある。

さらに、高校での分野履修と大学物理の得意・学習困難の認識の関連性をクロス分析したところ、力学、振動と波、光学の分野では、未履修と学習困難の認識の相関が有意に認められた一方、全分野で履修と得意認識の相関は認められなかった。また、高大での違い認識と大学物理の学習困難の認識の関係性をクロス分析したところ、力学、熱学、電磁気学、相対性理論、分子と固体の分野では両者に相関が有意に認められた。高校が改訂で教育内容を増やせば学習困難意識を低減し、高大接続の改善に繋がる可能性が考えられるが、学生が大学での学習困難認識を回避していくには高校と大学の物理課程で違いと感じる教学環境の改善が求められると考える。

## 6. 研究の考察

本研究は、物理教育の高大接続問題に対して、教育内容の対応と学習者の変化の2つの視点から、教育比較による分析をした。カリキュラムと学習者の要素を総合的に見て、以下のことがいえる。

高大接続の課題として、まず教育課程間の対応に関しては、高校課程標準の2017年改訂によって大学の教育内容との対応が改善された。また、能力形成や価値観醸成などの面については、高校と大学には一貫して物理課程共通の能力や価値観を育成しようとしている。しかし、能力や価値観は外部的に評価されにくい点から、授業実践はカリキュラムの規定通りに進まない可能性が考えられる。中日比較から、内容項目の量的・質的な対応改善だけでなく、高大での項目配置の改変なども高大接続改善の可能性の一つが示された。

次に大学生の学習状況調査から、学生の認識では内容分野により、高校物理の履修状況と大学物理学習の得意認識との関係は必ずしも連動していなかった。力学や電磁気学の分野は教育内容での高大対応項目数が多く、学生が多く履修するが、学生は力学を一番得意と回答し、電磁気学を苦手と答えた。高大接続の進展に向けては、大学側は高校側に頼るだけではなく、大学物理の教学環境の改善を図ることが求められるといえよう。

高校物理の教育課程とその学習者は、大学入試での物理の在り方から強い影響を受ける。2018年に改訂後の課程標準は実行に移され、同時に2018年入学者に対して、新しい大学入試システムが導入されることがある。例えば、江蘇省では選択教科を増やしたり、選択教科を従来のランク評価から得点評価に移行したりすることになり、物理を含めた選択教科の重視度が一層高まる。高校生が物理に対して成績本意に思う認識の上昇が推測できる。大学入学後の環境変化が一層激しさを増すような影響も考えられるが、全体的に見れば高校物理学習の状況を向上させることに向かい、高大接続に有益な影響をもたらすことが考えられる。

物理教育の高大接続問題は今後も量的・質的な変化を伴いながら継続的に存続するであろう。その中で、高校・大学・学生はお互いに、学生の一貫した科学素養の発展のための高大接続の実現へ

向けて認識を深めつつ、共同的に努力することが求められていると考える。

### <引用・参考文献>

- 1) 荒井 克弘「高大接続改革・再考」,『名古屋高等教育研究』,(18), 2018, p. 7.
- 2) 中華人民共和国教育部「現行高校数学と英語両教科内容と中学義務教育課程改革案の銜接処理意見に関する通知」, 1996.
- 3) 嚴 雪怡「教育体系内の学制間交流、接続の特徴、形式と方法」,『職教通信』, 2000(1), 2000, pp. 9-12.
- 4) 周 仕徳「課程接続:研究が必要な課程視域」,『教育理論と実践』, 30(9), 2010, pp. 57-60.
- 5) 褚 美霞「国語の中高接続の問題と対策研究」,山東大学修士論文, 2006, p. 2.
- 6) 梁 昆森「大学一年生に学習の変化に適応するよう誘導する」,『大学物理』, 1984(1), 1984, pp. 25-28.
- 7) 楊 建宋「大学物理と高校物理教育の接続を論ずる」,『浙江師大学報(自然科学版)』, 23(4), 2000, p. 1.
- 8) 馮 哲『新課程改革下大学物理と高校物理の接続問題研究』, 山東大学修士論文, 2012.
- 9) 李 佳樂『中学物理と大学物理の教学接続に関する研究』, 河南大学修士論文, 2016. p. 2, pp. 37-39.
- 10) 袁玉全・胡燕飛・吳必達「大学物理と高校物理の知識接続の教学研究」,『才智』, 2018(9), 2018, pp. 26-27.
- 11) 許 静『普通高中物理課程内容と大学物理課程内容の適切性研究』, 西南大学博士論文, 2007.
- 12) 廖 伯琴「高校物理課程の構造と機能の探索—2003年版から2017年版へ高校物理課程標準の変化」,『物理と工程』, 28(3), pp. 23-28.
- 13) 中華人民共和国教育部基礎教育課程教材專家工作委員會・普通高中物理課程標準修訂組・廖伯琴『普通高中物理課程標準(2017年版)解読』, 高等教育出版社, 2018, p. 7.
- 14) 中華人民共和国教育部『普通高中物理課程標準(2017年版)』, 人民教育出版社, 2017, p. 2.
- 15) 上掲書 12).
- 16) 楊 凱超「現行高校選択制度の大学、高校物理課程の接続」,『物理と工程』, 26(4), 2016, pp. 18-21.
- 17) 李 小麗「大学生普通物理各分野の成績と高校の物理選択状況の相関性研究」,『湖南中学物理』, 2015(7), 2015, pp. 1-3.
- 18) 袁 洲「高校、大学数学学習接続問題の研究」揚州大学修士論文, 2005, pp. 15-17.