

## TIMSS 物理分野問題を使用した物理知識の定着と教育履歴

### Educational history and Establishment of Physical knowledge using TIMSS

中井睦美\*1・青木寿史\*1・末松加奈\*2・後藤孝也\*1・牟田 淳\*3・橋本みのり\*1・寺田浩司\*1  
・久津間文隆\*1

Mutsumi Nakai \*1, Hisashi Aoki\*1, Kana Suematsu\*2, Takaya Gotoh\*1,  
Atsushi Muta\*3, Minori Hashimoto\*1, Koji Terada\*1, and Fumitaka Kutsuma\*1

所属：\*1 大東文化大学、\*2 東京家政学院、\*3 東京工芸大学

University：\*1Daito-Bunka U. \*2Tokyo Kasei Gakuin Univ., \*3Tokyo Polytechnic Univ.

Key words: TIMSS, physics, educational history

#### はじめに

著者らは、2014年から2019年まで、大学1年生を対象としたが理科等についての教育履歴、経験履歴、理科教科に関する意識調査と、理科の学力調査をTIMSS (Trends in International Mathematics and Science Studyの略称)の問題を利用して行ってきた。

TIMSSはOECD(経済協力開発機構)が行っている学習調査の一つであり、日本では小学校4年生と中学2年生に対して行っている調査で、内容は算数・数学・理科である。同様な調査にPISA (Programme for International Student Assessment)がある。PISAが実践的応用的な力を見るのに比して、TIMSSの特徴は学校教育の知識を中心とした確認試験の意味があるとされている。本調査に利用した問題は、ほぼ毎回出されている公開されている問題を利用している。

本論では2014年からの調査のうち、物性系と物理系のTIMSSの問題に注目して、またそれらを理解するのに関わる高等学校の授業の履修状況等について、焦点を絞って調査分析を行ったので、ここに報告する。

筆者らは、理科(自然科学)分野でも、教養としての知識の定着は必要だという考えを持ち、昨今の高等学校の授業の自由選択制の大幅導入による理科教科選択の偏りに、問題を感じている(橋本ほか、2016)<sup>(1)</sup>・(中井ほか、2016)<sup>(2)</sup>。

本研究を進めるにあたり、中井および青木は研究全般に関して遂行・取りまとめおよび考察を行い、末松はSPSSによる紙面データの解析を担当し、青木・後藤および牟田は物理学的な問題点の洗い出し、および考察を担当し、橋本・寺田・久津間は紙面調査問題の作成遂行議論に寄与した。

#### 調査方法

紙面調査をする対象の学生は、原則大学の1年生とし、教職を目指している(教職課程を履修している)学生に限った。一部理工学部の学生も含まれているが、割合は少なく、9割以上が初等教育系の学生である。初等教育系の学生に、理科を目指す学生は極めて少なく、受験科目として理科を使っている学生の割合は低い。今回受験科目の調査結果を使わなかったのは、受験に理科を使用している学生数があまりにも少ないのと、さらに物理を受験科目としている学生はほぼいなかったためである。しかし、初等教育系学生は、将来理科を指導しなければならない立場にあり、このことは本人も良く理解しているという特徴がある。今回の調査では、性別、卒業年、数学・地理などの周辺教科の履修状況、教科科目の好き嫌い等の本論のテーマに直結しないものは削除し、高校での履修履歴、高校までの実験経験等についてと、TIMSSの物理系問題1題と物性系問題(化学物理双方に関連)

7題の正答率を比較した。

本論に使用した紙面調査の問いは以下の通りである。

\*\*\*\*\*紙面調査(アンケート)質問\*\*\*\*\*

**理系文系の意識**

自分は、次のどれに最も近いと思いますか。1つ選び、○をしてください。

理系・どちらかといえば理系・どちらかといえば文系・文系・理系でも文系でもない・よくわからない

**履修履歴**

主に日本で中学高校教育を受けた人に聞きます。あなたが高等学校(あるいは中高一貫校)で履修した理数系の教科・科目を選んで○をつけてください(複数回答可)。

物理基礎・化学基礎・生物基礎・地学基礎・物理(物理ⅠⅡを含む)・化学(化学ⅠⅡを含む)・生物(生物ⅠⅡを含む)・地学(地学ⅠⅡを含む)・理科総合A・理科総合B・その他・覚えていない

**実験経験**

(1)今まで理科の実験をどのくらいの頻度でおこないましたか。小学校・中学校・高校・学外ごとに、①-⑤のいずれかに○をしてください。

- ①毎月二回以上 ②毎月一回程度 ③数ヶ月に一回程度
- ④まったく行っていない ⑤覚えていない

(2)(1)の高校で①②と答え、授業の中や課題で、グラフを作るなどして、まとめやレポートを書いたことがありますか。科目ごとに、①-④の欄に○をしてください。(複数回答可)

科目:物理(物理基礎を含む)・化学(化学基礎を含む)・生物(生物基礎を含む)・地学(地学基礎を含む)・理科総合A(化学と物理の複合)・理科総合B(生物と地学の複合)・理科(科学と人間生活)・理科(課題研究)・その他

\*\*\*\*\*

次に本論に用いた問題を以下に示す。紙面評価問題は、国際教育到達度評価学会(IEA: The International Association for the Evaluation of Educational Achievement)のTIMSS2011から問題を選択して用いた。調査問題には、経験的に初等教育系大学生が苦手とする分野を取り入れた。本論で使用する問題は物理系と物性系である。

\*\*\*\*\*問題(IEA, 2013)<sup>(3)</sup>\*\*\*\*\*

**物理1**

下の図は、パラシュートをつけて飛び降りている人の4つの位置を示しています。



1 ジャンプ前の飛行機内



2 ジャンプ直後、パラシュートが開く前の自由落下状態



3 パラシュートが開いた後の地上降下



4 着陸直後の地上

ジャンプする人に重力がかかるのは、①-④のどの位置でしょうか。

- ① 位置2のみ。② 位置2と3のみ。③ 位置1, 2, 3のみ。
- ④ 位置1, 2, 3, 4。

**物性1**

液体が冷えると、液体の分子はどうなりますか。

- ①運動速度が遅くなる。②運動速度が速くなる。③数が減少する。
- ④大きさが小さくなる。

**物性2**

缶(カン)が車のタイヤにひかされると、完全にペシャンコにつぶされます。缶を構成する原子について、正しい記述はどれですか。

- ①原子が壊れている。②原子が平たくつぶれている。③原子は元の状態のままである。④原子は別の原子に変化している。

**物性3**

液体が気体に変化するときに、変化する性質と変化しない性質はどれですか。表の正しい欄に○を記入しなさい。(全5問)

	変化する	変化しない
密度		
質量		
体積		
分子の大きさ		
分子の運動速度		

\*\*\*\*\*

本報告では、以上の紙面調査及び評価問題(物理1問、物性7問)との関連を選び出し、完全無回答のものは削除し、関連について解析を行った。物性7件は、化学分野とも物理分野とも言えるが、物理系に含めたのはこの内容を理解できなければ、高等学校の物理・化学・地学分野どれも理解するのに支障が起ると予想される内容だからである。

表1 履修科目と物理物性問題の正答数の人数分布

点数	物理		物性						
	0点	1点	1点	2点	3点	4点	5点	6点	7点
理系 228人	23 10%	205 91%	1 0%	1 0%	6 3%	9 4%	26 11%	32 14%	153 68%
文系 557人	102 18%	455 82%	2 0%	9 2%	24 5%	55 10%	117 21%	141 24%	209 39%
その他 80人	16 20%	64 81%	0 0%	3 4%	3 4%	8 10%	13 16%	19 24%	34 42%

## 調査結果

表1は、履修した科目（複数回答）と物理物性問題の正答数の関連の表である。理科総合A及びBは旧カリキュラムである。普通科高等学校では、理科基礎科目は原則3科目を履修することになっている教育系学生の履修率は生物基礎>化学基礎>物理基礎>地学基礎である。物理問題の正答率は履修科目による差異は見られず、ほとんど関係しない。正答率が8割と極めて高いことから、重力に関する物理概念はほぼ定着していると言える。

一方、物性問題の正答率は半分以下の40%程度と低い。しかし、より上位の数物系科目(物性系科目)である物理あるいは化学の選択者は6割程度の正答率を示し、特に物理選択者は65%と高い正答率を示す。調査人数の総数は860名である。

表2 理系文系の自己認識と物理物性問題の正答数の人数分布

履修科目	物理		物性							
	0	1	0	1	2	3	4	5	6	7
物理基礎 268人	52 19%	216 81%	0 0%	0 0%	5 2%	7 3%	25 9%	53 20%	63 24%	115 43%
化学基礎 330人	74 22%	256 78%	0 0%	0 0%	5 2%	16 5%	29 9%	71 22%	77 23%	132 40%
生物基礎 363人	82 23%	281 77%	0 0%	1 0%	5 1%	18 5%	36 10%	75 21%	88 24%	140 39%
地学基礎 202人	46 23%	156 77%	0 0%	1 0%	5 2%	8 4%	19 9%	42 21%	51 25%	76 38%
物理 237人	16 7%	221 93%	0 0%	0 0%	3 1%	2 1%	11 5%	24 10%	43 18%	154 65%
化学 337人	29 9%	308 91%	0 0%	0 0%	4 1%	6 2%	20 6%	44 13%	64 19%	199 59%
生物 345人	39 11%	306 89%	0 0%	0 0%	5 1%	11 3%	30 9%	63 18%	68 20%	168 49%
地学 65人	9 14%	56 86%	0 0%	0 0%	0 0%	1 2%	8 12%	10 15%	19 29%	27 42%
理科総合A 192人	22 11%	170 89%	0 0%	0 0%	4 2%	4 2%	13 7%	33 17%	36 19%	102 53%
理科総合B 96人	9 9%	87 91%	0 0%	0 0%	0 0%	1 1%	7 7%	13 14%	11 11%	64 67%

表2にあるように、自ら理系（理系+どちらかと言えど理系）と認識している学生の方が物理系も物性系も高い正答率を示す。自ら文系と認識する学生とその他の学生の間には差異は見られない。

表3 各学校段階における実験実習回数

実験実習回数	小学 (717人)		中学 (797人)		高校 (805人)		学校以外 (597人)	
	人	%	人	%	人	%	人	%
毎月二回以上	319	44%	347	44%	157	20%	21	4%
毎月一回程度	273	38%	303	38%	162	20%	15	3%
数ヶ月に一回程度	121	17%	139	17%	365	45%	84	14%
まったく行っていない	4	1%	8	1%	121	15%	477	80%

表3は小学校（小学）中学校（中学）高等学校（高校）各学校段階における実験実習回数分布である。表で明らかのように、高校では実験の回数は減っており、小学中学では4割程度が月に2回は行っていたと回答している。

表4 高校で実験実習回数と物理物性問題の正答数の人数分布

	物理		物性						
	0点	1点	1点	2点	3点	4点	5点	6点	7点
毎月二回 以上	31 20%	126 80%	0 0%	4 3%	9 6%	17 11%	28 18%	33 21%	66 42%
毎月一回 程度	28 17%	134 83%	0 0%	2 1%	6 4%	11 7%	29 18%	47 29%	67 41%
数ヶ月に 一回程度	50 14%	315 86%	3 1%	4 1%	12 3%	27 7%	66 18%	69 19%	184 50%
まったく 行ってい ない	19 16%	102 84%	0 0%	1 1%	4 3%	9 7%	24 20%	27 22%	56 46%

表4によると、高校で実験を多くしていたかどうかということ、物理物性系の正答率は、ほぼ同じであり、ほとんど関係ないということが確認された。

## 考察

今回取り扱った物理問題の力学概念、物性概念の難しさについてまとめてみる。

## 1. 物理概念の困難さ〈力学概念の場合〉

運動の概念を理解するためには、ニュートンの運動の

法則を理解する事が重要である。即ち慣性の法則、運動方程式、作用反作用の法則である。運動の法則によれば、運動は力と密接に関連している。そのため、物体に働く力を理解する事が運動を理解する上で重要である。例えば静止している物体には慣性の法則や運動方程式の立場から言えば力は働いていない事になる。

それでは机の上に静止しているリングには力が働いていないのであろうか？もちろんそうではなく、リングには重力と、机がリングを支える力（垂直抗力）が働いている。これら重力と垂直抗力が互いに逆向きで同じ大きさなので打ち消しあって、リングに働く力（合力）がゼロになり、力が働いていないことになるのである。

しかしながら学生の場合、様々なケースで静止している物体の合力がゼロと考えていないケースがしばしばある。この理由の一つは、垂直抗力等、物体に働く力をきちんと理解できていないからである。そのため学生にとって、物体にどのような力が働いているかをきちんと理解する事が運動の概念を理解する上で重要になると考えられる。

## 2. 物質の概念（物性概念）の難しさ

学生に教える際、食塩が NaCl という科学物質であるということは説明すれば、なんとか理解してもらえが、それを構成するナトリウム：Na が原子核として陽子と中性子で構成され、その周囲を電子が回っているとか、塩素：Cl と電子を共有しているという物質としての内容について理解させることはかなりハードルが高いことを実感する。原子の構造についての原子核と電子という概念と分子の構造という理解が直接結びつかず、それぞれが別々の内容としての理解にとどまるのが現状ではないかと考えられる。そのため、「イオン」という概念が理解できず、化学嫌いの生徒を産む事になるのではないかと思われる。

## 3. 高等学校での物理の履修状況とその影響

表1にあるように、教育学系学生の場合、生物化学系の履修割合は高いが、物理地学系の履修の割合は低い。実際の高校ではどのような履修状況なのだろうか。

高等学校学習指導要領（理科）の教育課程では、物理基礎・化学基礎・生物基礎・地学基礎の基礎科目から3科目、または「科学と人間生活」と基礎2科目が必修になっている。平成26年度の文部科学省による調査においては、物理基礎の履修率が約66%である。一方で、化学基礎と生物基礎はそれぞれ9割以上が履修している。

高校ごとの教育課程編成において、理科4科目を設定している場合でも、化学基礎と生物基礎を必修とし、物理基礎または地学基礎を選択させる、あるいは文系・理系に分ける課程ならば、理系に物理基礎を必須としていることが示唆される。また、地学基礎（履修率約35%）は設定されていない場合もある（文部科学省, 2014）<sup>(4)</sup>。

生徒の履修要因としては、自由な選択意思で物理基礎を履修している場合よりも、必修として履修している場合の方が多い。このような与えられた学習をしている生徒は、実体験と結びつけられずに授業を受けている様子が見られることがある。生活においては、物理の理論は様々なに活用されているにもかかわらず、「生活」と「勉強」が別になっている。

また、物理基礎か地学基礎の選択を迫られる場合、生徒は「計算」か「暗記」で消極的に決めていることがある。自然科学においては、どの科目においても計算は現象の解明に必要な手段であり、筋道を立てて理論的に解明していくことも共通である。物理を「計算」する授業と捉え、教師が意識を変えさせる授業を展開しない限り、物理の学習と生活を結びつけることは難しい。

以上のように物理や物性の難しさは目に見え難いものを感じ覚的に捉えることがし難い難しさであり、そのために学習と生活が結びつけにくいことになる。今回扱った物理の問題の正答割合は8割以上になり、基本的で易すぎたためか、履修による差はほとんど見られない。それでも物理基礎か物理かによって正答率は上がる。

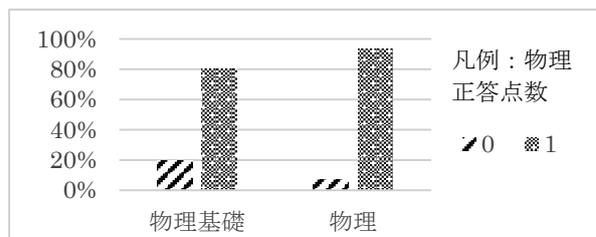


図1 物理基礎履修者と物理履修者の物理問題正答数

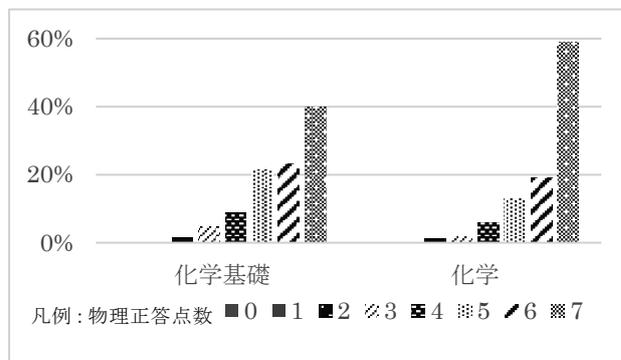


図2 化学基礎履修者と化学履修者の物性問題正答数

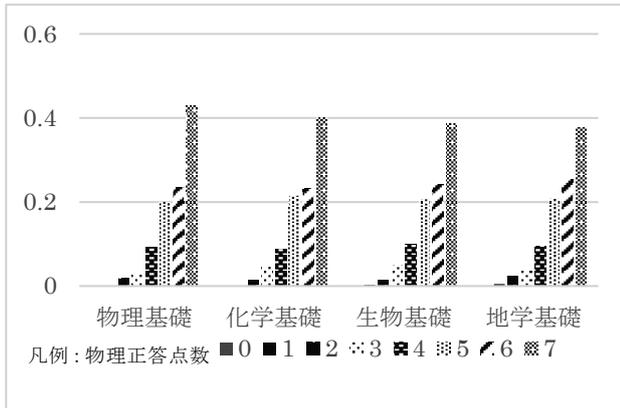


図3 基礎理科履修者と物性問題正答数

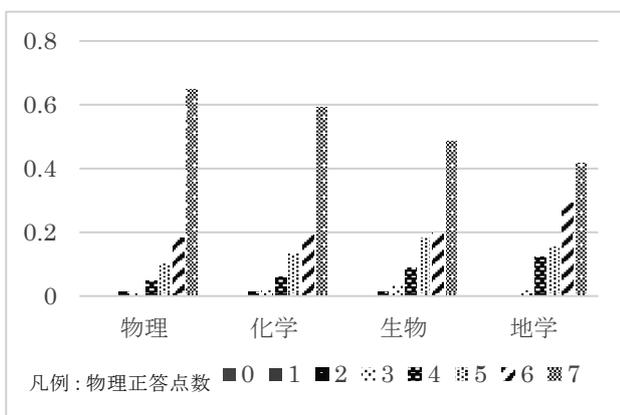


図4 理科履修者と物性問題正答数

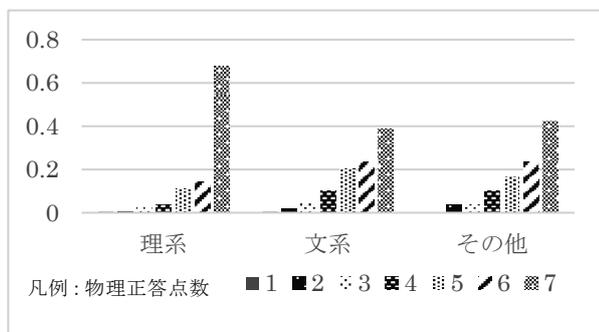


図5 文系理系認識者と物性問題正答数

図1でわかるように、物理基礎に比べて、より高位の物理まで履修した学生は、物理の正答率がより高くなる。また、図2からもわかるように、化学基礎に比べて、より高位の化学まで履修した学生の物性の正答率もより高くなる。しかも、物理基礎や物理の物性の正答率は、図3、図4にある様に、化学基礎や化学よりさらに高い。つまり、物理の問題も物性の問題も物理履修者が常に正答率が高い傾向がある。

はじめに述べた様に、高等学校における物理地学の履修率は物理地学基礎を含めても最も低い。「計算」に抵

抗が少ない学生が物理を選択し履修している可能性が高く、従って理科の基礎となる物性の問題にも強いと思われる。また、図5のように理系と認識している学生は、明らかに物性問題の正答率が高い。むしろ物性問題などが得意な学生が、自分を理系と認識する可能性もある。

#### 4. 実験経験は物理概念の認識に大きな影響を与えるか

中井(2017)<sup>(5)</sup>は初等教員養成には実験授業が極めて重要であると述べた。また文部科学省(2017)<sup>(6)(7)</sup>には、「自然の事物・現象を観察・実験を通じて科学的な概念を使用して探究しようとする態度や生命を尊重し、自然環境の保全に寄与する態度を養う」と例示され、また、高等学校では「自然の事物・現象を観察・実験を通じて科学的な概念を使用して探究する」とされている。この様に、ほかの科目に先駆けて、理科の実験授業は重視されている。

しかし、表4のように高等学校における実験実習授業の経験は低い。もっともTIMSS自体が中学までに学んだ内容の再確認の性格が高いため、小学校中学校で扱うものが対象ということもあると思われる。それにしても、物理、物性問題の正答率と、小学、中学時代の実験経験の量とは密接な関係が見られない。

考察の初めに述べたように、物理や物性概念には、見えない概念の導入が必要であり、また、数量的な裏づけが必要となるため、小中学校のどちらかという定性的な実験実習では影響されない可能性がある。つまり、高等学校段階では、より抽象的な考察へと深化できる総合的な実験実習の導入が必要となる可能性がある。その場合、果たして高校レベルの実験で検証できるかという問題は残る。

#### 結論

TIMSSの物理系物性系問題を使用した物理概念や物性概念の評価問題は、高等学校で履修した物理系化学系授業の経験によって正解率が上がる。一方、物理物性概念の評価問題の正答率と、高等学校レベルの実験実習との関連は見られなかった。

#### 謝辞

この研究を進めるにあたり、国立教育政策研究所の松原賢治博士、都留文科大学の中井均教授、新潟大学の藤林紀枝教授、東京学芸大学の青木久博士、立正大学の平井寿子教授には多大なご協力をいただいた。この場をお借りして感謝申し上げます。

## 文献

- (1) 橋本みのり, 中井睦美, 松原憲治, 寺田浩司, 中井均, 末松加奈 (2016) 初等教員養成系大学の学生における理科の教育履歴と理科への意識. 大東文化大学 教職課程センター紀要大東文化大学教職課程センター(1) 107-110.
- (2) 中井睦美・寺田浩司・橋本みのり(2017) 初等教育教員養成系大学生の理科教科に関する学力および意識調査と、学習履歴との関連について 報告書 大東文化大学と薫別研究費、78pp.
- (3) IEA(International Association for the Evaluation of Educational Achievement)(2013). TIMSS 2011 Assessment. Publisher TIMSS & PIRLS International Study Center, Lynch. School of Education, Boston College, Chestnut Hill, MA and International Association for the Educational Achievement (IEA), Secretariat, Amsterdam, the Netherlands.
- (4) 文部科学省(2014) 高等学校指導の状況 URL:[https://www.mext.go.jp/b\\_menu/shingi/chukyo/chukyo3/053/siryo/\\_icsFiles/afieldfile/2015/06/05/1358298\\_02\\_01\\_02.pdf#search=%27平成26年+高校理科履修状況%2](https://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chukyo/chukyo3/053/siryo/_icsFiles/afieldfile/2015/06/05/1358298_02_01_02.pdf#search=%27平成26年+高校理科履修状況%2)。2020年8月確認
- (5) 中井睦美(2017) 初等教育教員養成における実験授業の重要性 教師教育研究 (30), 53-59.
- (6) 文部科学省(2016) 幼稚園指導要領、小、中学校学習指導要領の改訂のポイント URL : [https://www.mext.go.jp/content/1421692\\_1.pdf](https://www.mext.go.jp/content/1421692_1.pdf), 2020年8月確認。
- (7) 文部科学省(2017) 高等学校学習指導要領の改訂のポイント、URL : [https://www.mext.go.jp/content/1421692\\_2.pdf](https://www.mext.go.jp/content/1421692_2.pdf)、2020年8月確認。