

研究報告

高校「物理基礎」と「物理」による MIF 素朴概念の修正効果

原田 勇希	北海道大学	060-0817	北海道札幌市北区北 17 条西 8 丁目
	日本学術振興会	102-8472	東京都千代田区一番地 8
坂本 一真	北海道大学	060-0817	北海道札幌市北区北 17 条西 8 丁目
鈴木 誠	北海道大学	060-0817	北海道札幌市北区北 17 条西 8 丁目

本研究は高校「物理基礎」および「物理」による MIF 素朴概念の修正効果を分析することを目的とした。目的を検証するため大学 1 年生に概念評価問題を実施した。その結果、物理未履修者と物理基礎履修者の間に差はなく、中学校理科や「物理基礎」では MIF 素朴概念が修正されないことが示唆された。しかし「物理」を履修していない物理基礎履修者でも思考活性型の興味を強く持つほど、概念修正がなされているという結果が得られた。「物理基礎」における MIF の修正には自然法則に対する興味の喚起が重要であることが示された。

キーワード MIF 素朴概念, 高校物理, 概念修正, 興味, 動機づけ

1. はじめに

「運動中の物体には、必ず運動方向に力が働いている」という素朴概念は MIF (Motion Implies a Force) 素朴概念と呼ばれる¹⁾。この素朴概念は容易には変容しないことが明らかにされており、これまでに誤答分析^{2), 3)}や指導方法の検討⁴⁾⁻⁷⁾が行われてきた。MIF 素朴概念の評価方法は、Clement¹⁾による振り子問題 (Pendulum Problem)、コイントス問題 (Coin Problem)、ロケット問題 (Rocket Problem) の使用が一般的である。

MIF 素朴概念と関連する力学概念に関しては中学校理科の「運動とエネルギー」単元における「運動の規則性」において、慣性の法則を学習する。そのため、中学校理科の内容を十分理解し、適切な概念獲得がなされていた場合、中学校卒業時点で振り子問題とコイントス問題については正答できる。また、速度の分解を用いた考え方の基礎を学習する高校「物理基礎」を履修すると、ロケット問題も正答できる可能性がある。しかしながら、現実問題として理工系や教員養成系に所属する大学生でも正答できる者は少数であることが示されており^{1), 3)}、中学校理科および高校物理における MIF 素朴概念の修正効果は期待されるほど高くはないと言えそうである。

それでは、高校で物理を履修しなかった者、「物理基礎」まで履修した者、「物理」を履修した者の 3 者間に MIF 素朴概念の保有状況に明確な差はあるのだろうか。この問いに対しては対立する 2 つの仮説が成り立つ。1 つは Clement¹⁾ などが示すように、理工系の新入生においても 10% ほどしか正答できないならば、高校で「物理」まで履修していても、MIF 素朴概念は実質的に修正され

ず、有意差が検出されるほどの修正効果はない可能性があるということである。岸澤ら⁸⁾は FCI (Force Concept Inventory)⁹⁾を用いて履修歴別の概念理解の差を検討しており、旧課程における「物理 I」では 5 分の 1 程度しか基本的概念を獲得しておらず、「物理 II」まで履修すると増加傾向はあるものの、それでも約半数であったことを報告している。

もう 1 つの仮説は「物理基礎」の段階で正答するのに十分な物理学の概念を学習するため、高校で物理を履修しなかった者より「物理基礎」を履修した者の方が概念修正されている可能性もあるということである。後者の立場では、沖野と松本⁷⁾が旧学習指導要領における「物理 I」で、MIF 素朴概念の修正を目的とした指導を実践しその効果を確認しており、十分に「物理基礎」での MIF 素朴概念の修正も予想できる。

そこでこれらの仮説を検証するため、本研究では高校「物理基礎」および「物理」による MIF 素朴概念の修正効果を量的に分析することを試みる。

2. 予備調査 高校物理による MIF 素朴概念の修正効果

2.1 予備調査の目的

予備調査の目的は、小規模な調査により高校「物理基礎」および「物理」の履修による MIF 素朴概念の修正状況を探索的に分析することである。

2.2 予備調査の方法

2.2.1 調査対象者

北海道内の A 大学に通う 1 年生 70 名 (男性 30 名、

女性40名)を対象とした。A大学は全国からやや高い学力を有する学生が集まると考えられる総合大学であった。

2.2.2 概念評価問題

MIF 素朴概念の測定に関して、最も先行研究が豊富で信頼性・妥当性が確認されている課題は FCI⁹⁾ だろう。しかし FCI は全 30 問から構成され時間制御も厳密であり、大学での実施を考えると物理に関連する講義以外では難しい。多くの文系学生が物理を大学で履修しない状況を考えると、物理の講義内での実施はサンプルの偏りを生じさせ結果の解釈が困難になる恐れがある。

そこで、文系・理系を問わず多くの専門の学生が受講する科目内で実施するため、Clement¹⁾ による評価問題を参考に作成した(付録)。問題数は全部で3問あり、振り子問題、コイントス問題、ロケット問題で構成した。1つの正解に対し1点を与え、その合計を概念得点とした(range: 0点~3点)。

2.2.3 高校物理の履修状況

調査用紙に高校時代の履修状況を尋ねる欄を設けた。その回答から対象者を、「物理」を履修した物理履修者、「物理基礎」を履修したが「物理」は履修していない物理基礎履修者、「物理基礎」および「物理」の両方を履修していない未履修者の3群に分類した。

2.2.4 調査手続き

調査は様々な学部に所属する1年生が受講している教養科目の授業内で実施された。科目は社会科学系の教養科目であり、文系・理系の学生比はおおよそ同等であった。調査時期は2016年の4月であった。調査にかかった時間は15分程度であった。調査は無記名で行われ、個人情報を守られることを伝えた。

2.3 予備調査の結果

以降の統計的分析には清水¹⁰⁾ によるHADを使用した。高校物理によるMIF素朴概念の修正効果を検討するため分散分析を行った(概念得点を間隔尺度とみなすには無理があるが、本調査では交互作用に興味があるため一貫して分散分析を実施する)。その結果、高校物理の履修状況による差が有意であった(未履修者: $M = 0.60$, $SD = 0.76$, 物理基礎履修者: $M = 0.65$, $SD = 0.57$, 物理履修者: $M = 1.73$, $SD = 0.70$: $F(2, 67) = 19.48$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .37$)。多重比較を行ったところ(Bonferroni法)、物理履修者は他2つの群より高い得点であった(未履修者との差: $d = 1.62$, $p < .001$, 物理基礎履修者との差: $d = 1.54$, $p < .001$)。一方、未履修者と物理基礎履修者との間に差はなかった($d = 0.07$, $n.s.$)。差の大き

さの程度を示す効果量 d は、0.8 程度で「大きな差」と解釈できることを鑑みると¹⁰⁾、物理履修者は物理基礎履修者や未履修者より極めて優れた成績であったと言える。

2.4 予備調査の考察と限界

予備調査の結果、物理履修者は物理基礎履修者、未履修者よりも概念得点が非常に高いことが示された。この結果は、「物理」にはMIF素朴概念の修正効果がある可能性を示唆している。しかし、物理基礎履修者と未履修者との間に得点差はなかった。この結果から、中学校理科および「物理基礎」にはMIF素朴概念の修正効果はないものと推察される。

しかし、予備調査の結果を一般化するには以下2点の限界がある。1点目は、物理に対する学習意欲の要因が交絡したために、「物理基礎」によるMIF素朴概念の修正効果が検出できなかった可能性である。「物理」を履修した者は「物理基礎」のみを履修した者より学習意欲が高かったために、適切にMIF素朴概念が修正されたかもしれない。彼らは「物理基礎」の学習段階ですでにMIF素朴概念は修正されていたものの、その後「物理」を履修したために、結果的に物理履修者のみ概念得点が高いという結果が得られたことが考えられる。そうであるならば、「物理基礎」によるMIF素朴概念の修正効果を不当に低く見積もることになりうる。学習意欲という交絡因子を想定した後続研究がなされる必要がある。

2点目は調査対象者に関する問題点である。予備調査は小さいサンプルサイズで行われ、さらに学力層が比較的上位のA大学の学生のみが対象であった。後続研究では対象とする大学数を増やし、さらに100名以上のサンプルサイズを確保した上で、予備調査の結果が再現性のあるものであるかを慎重に検討する必要がある。

3. 本調査 履修状況と興味による概念修正の効果

3.1 物理に対する興味への注目

先の予備調査の限界を受け、本調査では学習意欲の指標として物理に対する興味に着目する。興味は学習意欲の重要な構成要素であり、一層の学習を促進する心理変数である¹²⁾。教育心理学において展開されている動機づけの「期待・価値理論」でも、課題に対して興味価値を感じているほど、達成に関連する学習行動を選択すると説明されている^{13), 14)}。

興味はその「有無」だけでなく、「深さ」の次元を考慮しなければならない。例えば、田中¹⁵⁾ は理科に対す

る興味を、浅い興味(感情的興味)として「実験体験型興味」、「驚き発見型興味」、「達成感情型興味」、深い興味(価値的興味)として「知識獲得型興味」、「思考活性型興味」、「日常関連型興味」の全6種類に分類している。

「実験体験型興味」は、色々な器具を実際に使用することに対する楽しさの興味である。「驚き発見型興味」は、意外な結果が得られることなどへの驚きの興味である。「達成感情型興味」は、わかるようになることや、問題が解けたことに対する嬉しさの興味である。田中¹⁵⁾は、これら3つの興味は、学習中に一時的なポジティブな感情が生起することによる興味であり、浅い興味であるとしている。一方、「知識獲得型興味」は、色々なことについて知ることができるから面白いと感じる興味である。「思考活性型興味」は、規則や法則の意味を理解できるから面白いと感じる興味である。「日常関連型興味」は、自分の生活とつながっているから面白いと感じる興味である。田中¹⁵⁾は、これら3つの興味は、理科を学習することで得られる価値を評価している興味であり、深い興味であるとしている。

これらの興味の深さと強弱に関する個人差が予備調査における交絡要因であったことが想定できる。すなわち、物理履修者はある特定の興味が物理基礎履修者よりも高かったために、適切な概念修正と「物理」の履修の両方が実現していた可能性である。もしそうなら、物理基礎履修者であっても、物理に対する興味が強い者ほど概念得点が高い傾向があるはずである。「物理基礎」による MIF 素朴概念の修正効果を正しく評価するためには、この効果を分析する必要がある。また、MIF 素朴概念の修正に興味貢献するならば、どの種類の興味が重要な意味を持つかを同定する必要もある。そのため、本調査では調査対象者にこれら6種類の興味が測定し、その影響を考慮した分析を行う。

3.2 本調査の目的と Research Question (RQ)

本調査の目的は、以下3点である。1点目は、予備調査で得られた結果(すなわち物理履修者は概念得点が物理基礎履修者や未履修者よりも高く、物理基礎履修者と未履修者の間には差がないとする結果)の再現性を確認することである。2点目は MIF 素朴概念の修正に貢献する興味の種類を同定することである。3点目は、物理に対する興味と高校物理の履修状況による MIF 素朴概念の修正効果を検討することである。

そこで上記3点の研究目的に対応した本調査の Research Question (RQ) を以下のように設定した。

RQ1: 大学数および対象者を増やした本調査でも予備調

査と同様の結果が得られるか?

RQ2: 特にどの興味が MIF 素朴概念の修正に貢献しているか?

RQ3: 物理基礎履修者であっても、RQ2 で同定された興味が強ければ、概念得点が高いか?

3.3 方法

3.3.1 調査対象者

北海道内の5つの大学に通う大学生132名(男性54名、女性78名)を対象とした。大学ごとの内訳は、A大学41名、B大学21名、C大学29名、D大学3名、E大学38名であった。対象となった大学は国立および公立大学であり、学力水準は平均程度からやや高い水準であると考えられた。

各大学における高校物理の履修状況を表1に示した。 χ^2 検定の結果、大学によって高校物理の履修状況が異なることが示された($\chi^2(8) = 19.91, p < .05, Cramer's V = .27$)。残差分析の結果、B大学は未履修者が多かった($p < .05$)。C大学は物理基礎履修者が多く($p < .05$)、かつ物理履修者が少なかった($p < .01$)。E大学は物理履修者が多く($p < .01$)、かつ未履修者が少なかった($p < .05$)。この偏りは教員養成大学や工業大学などあらゆる分野の学生を対象としたために生じたと考えられる。これらの対象者を総合すると文系・理系などに代表されるような専門による偏りは小さくできると考えられる。

3.3.2 概念評価問題

予備調査と同様の問題を実施した。3問の合計を概念得点とした(range: 0点~3点)。

3.3.3 高校物理の履修状況

予備調査と同様の方法で高校物理の履修状況を尋ね、3群に分類した。

3.3.4 物理に対する興味

田中¹⁵⁾が作成した理科に対する興味尺度を構成する6つの下位尺度から1項目ずつ、物理教育の文脈に合うように微修正して使用した。田中¹⁵⁾の尺度は全32項目から構成されるが、本研究では概念評価問題も実施することから、調査対象者への負荷が小さい簡便な測定が望まれる。そこで、それぞれの下位尺度から、作成時の因子

表1 各大学における高校物理の履修状況

	未履修者	物理基礎履修者	物理履修者	合計
A大学	13	12	16	41
B大学	10	3	8	21
C大学	9	14	6	29
D大学	1	0	2	3
E大学	5	10	23	38
合計	38	39	55	132

負荷量が高く、かつ物理教育の文脈に適合しそうな項目を選択した。

興味の測定にあたって、「物理の勉強のどのようところが面白いと思うかお尋ねします」と説明し、「実験の結果に驚くことがあるから（驚き発見型興味）」、「自分で実験を実際にできるから（実験体験型興味）」、「わかるようになったとき嬉しいから（達成感情型興味）」、「色々なことについて知ることができるから（知識獲得型興味）」、「規則や法則の意味を理解できるから（思考活性型興味）」、「自分の生活とつながっているから（日常関連型興味）」の6項目を使用した。回答は「まったくあてはまらない (1)」から「よくあてはまる (5)」までの5件法で求めた。

3.3.5 調査手続き

予備調査と同様の手続きによった。調査時期は2017年4月であった。調査は物理とは関連のない教養科目の授業内で実施され、かかった時間は15分程度であった。なお当該科目の履修における文系・理系の人数比は同程度であった。実施順序は概念調査問題、高校物理の履修状況、物理に対する興味尺度への回答の順であった。

3.4 結果と考察

3.4.1 RQ1 に対する分析

各測定変数の基本統計量を表2に示した。概念評価問題の信頼性係数の値は十分であった ($\alpha = .70$)。また、単一の構成概念の測定課題とみなせるかを検討するため因子分析を行ったところ、1因子構造を支持する結果であった (第1因子の寄与率: 62.9%, 因子負荷量 (カテゴリカル因子分析): 「振り子問題」: .87, 「コイントス問題」: .73, 「ロケット問題」: .91)。そのため3題による得点は十分な信頼性を有し、かつ単一の構成概念の測定課題として解釈できると判断した。

RQ1を解決するため、予備調査と同様の分散分析を行った (この分析は後のRQ3に対する分析と重なり、多重検定となる。しかし予備調査と同じ要因計画では効果量 η_p^2 が参照できることを鑑み¹⁶⁾、分析を実行する)。その結果、高校物理の履修状況による得点差が有意であった ($F(2, 129) = 40.54, p < .001, \eta_p^2 = .39$)。多重比較を行ったところ (Bonferroni法)、物理履修者は他

2つの群より高い得点であった (未履修者との差: $d = 1.70, p < .001$, 物理基礎履修者との差: $d = 1.42, p < .001$)。一方、未履修者と物理基礎履修者との間に差はなかった ($d = 0.28, n.s.$)。この結果は予備調査で得られた結果と一致する。このことから、予備調査の結果には再現性があり信頼できると言える。

3.4.2 RQ2 に対する分析

本研究では物理に対する興味の測定に際して、先行研究の尺度を簡略化して使用した。また田中¹⁵⁾の研究とは異なり大学生を対象としている。項目の選定時には因子負荷量の高いものを選択したため、ある程度先行研究の興味と対応するものと推察されるが、その確証はない。そこで本研究における6つの質問項目同士の相関係数 (Spearmanの順位相関係数) と先行研究で報告された相関係数の比較を試みた。田中¹⁵⁾は6つの下位尺度同士に中程度から大きな相関を報告しており ($r_s = .51 - .77$)、本研究でも同程度であった ($r_s = .46 - .71, p_s < .001$)。このことから、先行研究で見出された因子間相関がおおむね再現されたことが推察できる。また得られた相関係数の大きさは、全ての項目が「興味」という共通の構成概念を測定していると判断できる水準であり、かつ同一の下位概念を測定したと考えられるほど極端に大きな相関は見られなかった。このことから、本研究で使用した項目は田中¹⁵⁾が定義した6つの興味を測定できていると思われる。

RQ2を解決するため、概念得点と物理に対する興味のSpearmanの順位相関に基づく相関分析を行った。その結果、「実験体験型興味」と概念得点の間には有意な相関がなかった ($r_s = .04, n.s.$)。「驚き発見型興味」($r_s = .21, p < .05$)、「達成感情型興味」($r_s = .28, p < .001$)、「知識獲得型興味」($r_s = .29, p < .001$)、「日常関連型興味」($r_s = .28, p < .01$)は概念得点との間に有意な相関があったものの、弱い相関であった。一方、「思考活性型興味」は概念得点との間に比較的強い相関があった ($r_s = .48, p < .001$)。この結果を受け、弱い相関が認められた4つの興味が「思考活性型興味」と独立に概念得点と関連するかを検討するため、Spearmanの順位相関に基づく偏相関係数を算出したところ、すべて有意な偏相関を示さなかった。この結果から、MIF素朴概

表2 各高校物理の履修状況における概念得点と問題ごとの正解者数

	概念得点の平均値 (SD)	各問題における正解者の人数 (%)		
		振り子問題	コイントス問題	ロケット問題
物理未履修者 (n = 38)	0.34 (0.53)	1 (2.63)	11 (28.95)	1 (2.63)
物理基礎履修者 (n = 39)	0.59 (0.94)	7 (17.95)	12 (30.77)	4 (10.26)
物理履修者 (n = 55)	1.84 (1.00)	40 (72.73)	39 (70.91)	22 (40.00)

念の修正に貢献する物理に対する興味は「思考活性型興味」である可能性が示唆された。そのため、以降の分析には「思考活性型興味」のみを使用する。

3.4.3 RQ3 に対する分析

RQ3 を解決するため、まず「思考活性型興味」について、対象者全体の平均値を基準に高群と低群に分けた。そして、概念得点に対する「思考活性型興味」（高群・低群）と高校物理の履修状況（物理履修者・物理基礎履修者・未履修者）の効果を検討するため、 2×3 の 2 要因分散分析を行った。

その結果、「思考活性型興味」の主効果 ($F(1, 126) = 16.60, p < .001, \eta_p^2 = .12$)、高校物理の履修状況の主効果 ($F(2, 126) = 23.16, p < .001, \eta_p^2 = .27$) および交互作用 ($F(2, 126) = 4.31, p < .05, \eta_p^2 = .06$) が有意であった。

交互作用が有意であったため、それぞれの科目履修における「思考活性型興味」の効果を単純主効果検定によって分析した (図 1)。その結果、未履修者では「思考活性型興味」による効果はなかったが ($F(1, 126) = 0.00, n.s., \eta_p^2 = .00$)、物理基礎履修者 ($F(1, 126) = 12.09, p < .001, \eta_p^2 = .25$)、物理履修者 ($F(1, 126) = 13.53, p < .001, \eta_p^2 = .20$) では、「思考活性型興味」が高いほど概念得点が高かった。

この結果から、未履修者では「思考活性型興味」が高くとも、MIF 素朴概念は修正されないことが読み取れる。どれほど自然の法則や規則への興味が高かろうと、高校で物理に関係する科目を履修していなければ、概念修正の機会がないものと推察される。物理基礎履修者と物理履修者では「思考活性型興味」による単純主効果が有意であったことから、高校物理を履修した者の MIF 素朴概念の保有状況は一律でなく、個人の「思考活性型興味」の強さによって異なることが示唆された。特に、物理基

礎履修者でもこうした影響を検出できたことから、「物理基礎」しか履修していなくとも、興味が高ければ MIF 素朴概念は修正されうると考えられる。すなわち、「物理基礎」には MIF 素朴概念の修正効果がないと判断するのは適切ではなく、全体としてみると「物理基礎」による MIF 素朴概念の修正効果は小さいが、「思考活性型興味」の強さによって修正状況は異なると推察される。

4. 総合考察

本研究の主たる目的は、高校「物理基礎」および「物理」による MIF 素朴概念の修正効果を量的に分析することであった。分析の結果、予備調査と本調査で同様の結果が得られ、結果の高い信頼性が示された。具体的には、「物理」を履修した者は、「物理基礎」までしか履修していない者や高校で物理に関する科目を履修しなかった者と比較して、MIF 素朴概念は修正されていることが明らかとなった。この結果は多くの物理教師の直感と整合する結果であると思われる。

また「物理基礎」までしか履修していない者と高校で物理に関する科目を履修しなかった者との間に、概念調査問題の得点差は見られなかった。この結果は一見、「物理基礎」に MIF 素朴概念の修正効果がないことを示すものと感じられる。しかし、本調査で詳細に分析した結果、「物理基礎」の学習で適切に概念修正がなされるかどうかは「思考活性型興味」の強度によって異なることが示唆された。すなわち、受動的な態度での「物理基礎」の学習では物理学的な概念の獲得には至らず、将来的に「物理」を選択しないとしても、自然の法則や規則性に対して興味を持って「物理基礎」を学習することが概念修正にとって重要である可能性が示されたと言える。

さらに注目すべきは、物理に対する興味のうち「思考活性型興味」以外は概念修正と弱い関連しか示さず、さらに「思考活性型興味」の影響を統計的に統制するとその関連性は検出できなくなる。この結果から、例えば「物理が分かる（できる）ようになって嬉しい」というような「達成感情型興味」や「物理について色々なことを知れるから興味がある」というような「知識獲得型興味」の保有は MIF 素朴概念の修正と実質的に関連していないことが読みとれる。受動的に知識を input することだけに注意が向いている者や、問題が解けることだけに固執する者は MIF 素朴概念が修正されず、物理学の本質を理解せぬまま高校を卒業してしまうものと推察される。MIF 素朴概念の修正には、「物理」を選択せず「物理基礎」までしか履修しない者にも、いかに「思考活性型興味」を持たせるかが重要であると考えられる。

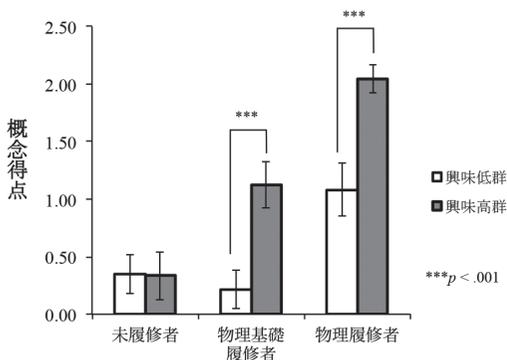


図 1 各履修状況と思考活性型興味の高低における概念得点の差異 (誤差棒は標準誤差を示す)

5. 今後の課題

本研究では、高校物理の履修状況による MIF 素朴概念の修正効果を検討した。その中で学習者要因である興味に注目した。本研究は全国各地の高校を卒業した学生が多い大学で実施したため、教師の指導方法に関する要因を統制でき、本邦で広く一般的に展開されている高校物理による概念の修正効果と機序を明らかにできたと考えられる。

しかし裏を返せば、教師要因を統制したためにどのような授業を受けた者が MIF 素朴概念の適切な修正がなされているか、「思考活性型興味」が強いかについては不透明である。そのため、教師要因や授業要因に焦点を当てた実証的な後続研究が待たれる。特に「物理」を選択せず「物理基礎」のみ履修する者の「思考活性型興味」を引き出す授業の研究、またこうした者の概念修正について実証的な分析がなされる必要がある。

また、本研究は実施上の制約から測定尺度を簡略化して使用したため、本研究で測定した「思考活性型興味」が先行研究の定義と完全に合致するかどうかは判断できない。さらに、本研究は国公立大学の学生を対象としており、全般的な学力水準や受験勉強の履歴による交互作用（調整効果）がみられるかについては検討していない。高校物理の履修状況、物理に対する興味、MIF 素朴概念の修正の3者間の因果関係を正確に特定するためには、追跡データを使用し（縦断的研究）、かつ適切に共変量を制御した上で分析を行う必要がある。

これらの限界を考慮すると、本論文が示す結果は暫定的な報告と位置づけるのが妥当だろう。そのため、より確かな結論を下すため、多くの直接的追試や概念的追試の報告を待ちたい。さらに複数の報告を統計的に統合した、エビデンスレベルの高いメタ分析による結論の導出を本研究の最終目標としたい。

引用文献

- 1) J. Clement: Am. J. Phys. 50 (1982) 66-71.
- 2) 中山 迅・猿田祐嗣：科学教育研究 19 (1996) 103-110.
- 3) 加藤伸明・定本嘉郎：物理教育 60 (2012) 188-193.
- 4) 加藤伸明・定本嘉郎：物理教育 59 (2011) 181-186.
- 5) 山崎翔平・定本嘉郎：物理教育 57 (2009) 215-219.
- 6) 古屋光一・戸北凱雄：理科教育学会研究紀要 33 (1993) 91-99.
- 7) 沖野信一・松本伸示：理科教育学研究 52 (2011) 1-12.
- 8) 岸澤眞一・山崎敏昭・長谷川大和・安田淳一郎・村田隆紀・覧具博義：物理教育学会年会物理教育研究大会予稿集 32 (2015) 57-58.
- 9) D.Hestenes, M. Wells, G. Swackhamer: Phys. Teacher. 30 (1992) 141-153.

- 10) 清水裕士：メディア・情報・コミュニケーション研究 1 (2016) 59-73.
- 11) 大久保亜直・岡田謙介：伝えるための心理統計 効果量・信頼区間・検定力 (勁草書房, 2012).
- 12) S. Hidi: Review of Educational Research. 60 (1990) 549-571.
- 13) J.S. Eccles & A. Wigfield: Annual Review of Psychology. 53 (2002) 109-132.
- 14) A. Wigfield & J.S. Eccles: Contemporary Educational Psychology. 25 (2000) 68-81.
- 15) 田中瑛津子：教育心理学研究 63 (2015) 23-36
- 16) J.T Richardson: Educational Research Review. 6 (2011) 135-147.

(2018年1月8日受付)

付録 概念調査に使用した問題

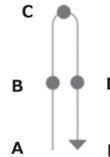
問題 1

下図のように、糸でつながれたおもりが、A 地点から B 地点まで運動しています。
A 地点と B 地点でのおもりにかかる力をそれぞれ矢印で表してください。
 ただし、空気抵抗は無視して良いこととします。



問題 2

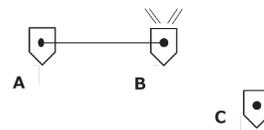
ある物体を真上に投げ上げたとき A→E へ運動した。その時、地点 B、C、D での物体にかかる力をそれぞれ矢印で表してください。
 ただし、空気抵抗は無視して良いこととします。



問題 3

宇宙空間で、ロケットがエンジンを切った後向きに A から B に動いています。また、このロケットは天体から離れています。エンジンを B で 2 秒間噴射して、その間、B から C に移動します。

① B から C への軌跡 ② C でエンジンを切った後の軌跡を線で描いてください。



採点基準

問題 1：重力と張力のみが作図されている

(大きさの比は問わなかった)

問題 2：B、C、D の全てで重力が作図されている

(進行方向に力を作図しているものは不正解)

問題 3：BC 間は放物線、C 以降は直線運動