

数的処理が要求されない作図スキルの個人差と 物理分野の期待信念との関連

原田 勇希^{1,2}
坂本 一真¹
鈴木 誠¹

【要 約】

物理分野の学習では、現象を心的にイメージし、それを適切に図示することが問題解答に促進的に働く。近年、空間を視覚化する心的イメージ能力の個人差が、あらゆる科学・技術分野における学習達成の重要な因子であることがわかってきており、物理分野でも同様の報告がある。本研究では、高校1年生 ($n=173$) を対象とし、物理分野における作図スキルと学習意欲の側面である期待信念との関係の分析を行った。調査の実施にあたって、演算などの数的処理を要求しない作図スキルテストを作成した。その結果、与えられた文章から現象をイメージし、状況を描く「可視化」が苦手な子どもは、手段保有感(努力)低下のリスクがあることが示された。また、図の中に物理学的概念を書き加える「物理学的描写」スキルが高いレベルで身につけてはじめて、高い統制感、手段保有感(能力)、手段保有感(教師)が獲得されることが示唆された。また、性差において、客観的に測定されるテストと比べ、特に統制感と手段保有感(能力)で大きな差があった。この結果から、女子の方が物理分野の学習達成に対して、自らの能力を低く査定しやすい傾向があることが示された。

【キーワード】 物理分野, 作図, 学習意欲, 心的イメージ, 性差

1. はじめに

本研究を進めるにあたり、最大の関心事は、数的処理が要求されない物理分野における作図スキルと、物理の動機づけ、とりわけ期待信念との関連を検討することである。その背景を以下に述べる。

物理の問題解答 (problem solving)¹⁾ に至る過程をモデル化した Heller & Hollabaugh (1992), Heller, Keith, & Anderson (1997) によると、問題解答の初期段階には正しい作図が要求される。彼女らの5 step モデルでは、step 1 に問題で与えられた状況を図に描きあらかず可視化 (Visualization), step 2 に可視化された図の中に力や運動、電流などの物理学的概念を図示する物理学的描写 (Physics description) が設定されており、問題解答にむけての計画 (Plan), 数値処理の実行 (Execute), 答えや単位の確認 (Check) はそれ以降である。

数学を対象とした研究では、日本の子どもは自発的な作図方略を使用しない傾向があることが示されている (Uesaka, Manalo, & Ichikawa, 2007)。作図が問題解答に重要である点は物理も同様であるため、物理の問題解答でも作図段階に苦手さがあると推察される。

実際、近年認知心理学とその関連領域において、空間イメージ能力が、物理を含むあらゆる科学・技術分野での成功を予測する因子であることが示されている (Jones, & Burnett, 2008; Shea, Lubinski, & Benbow, 2001; Stieff, 2011)。さらに大学の理系学部に進学する学生や卒業生には空間イメージが得意な者が多く (Blazhenkova & Kozhevnikov, 2010; Shea et al., 2001), 空間イメージは理科諸領域の学習にとって非常に重要であると考えられる。視覚化した図を活用することは問題解答に促進的に働く (Larkin & Simon, 1987)。しかし、低い空間イメージ能力を持つ個人は、物理の問題解答において図やグラフなどの視覚的表現を用いた思考に困難を示す (Kozhevnikov,

¹ 北海道大学大学院理学院

² 日本学術振興会特別研究員

Motes, & Hegarty, 2007)。

一般に、物理を嫌いになる原因は「計算がある」ためであると指摘されているが(大宮・奥村, 1994), これらの理由から、数的処理が要求されない作図スキルであっても、物理分野の問題解答に重要であることは疑いない。例えば、物理分野での作図を扱う研究には、山下(2011)の研究がある。この研究では凸レンズによる光の屈折の様子を作図させることで、概念の理解状況を検討している。作図には物理学の概念の理解度が反映されるため、概念の理解状況を調査する際に有用である。しかし、空間イメージ能力が作図や図の解釈に影響するならば、概念の理解度とは完全に分離できないまでも、ある程度独立した認知的処理や、作図固有のスキルの習得レベルが学習達成に関与していると考えられる。またそれにより、物理分野に対する苦手意識や学習意欲と関連することも想定できる。しかし、物理教育の領域でこのような視点からの実証研究は見当たらない。

学習意欲の問題は物理分野に限らず、理科全般に及ぶ。国際的な学力調査において実施された質問紙調査では、科学に対する興味や関心などに代表される情意的領域において、繰り返し諸外国よりも低い値が示されてきた(e.g., 国立教育政策研究所, 2007; 国立教育政策研究所, 2013)。また2015年に実施された全国学力・学習状況調査では、関心・意欲・態度に関して、小学生から中学生で、他の科目と比較しても特に理科で顕著な低下が確認されている(国立教育政策研究所, 2015)。理科の中でも特に「物理嫌い」という言葉に代表されるように、理科の中でも物理分野は子どもに忌避されやすいことが知られており(川村, 1996), 物理分野の学習意欲、すなわち心理学でいうところの動機づけが低下するメカニズムの一端を明らかにすることは、大変意義深いことであろう。

動機づけ理論の期待×価値モデルによると、動機づけは「主観的に認知された成功の見込み」である期待信念²⁾と「取り組むに値する行為であるか」の主観的な査定である価値の乗算によって規定される(鹿毛, 2013; Nagengast, Marsh, Scalas, Xu, Hau, & Trautwein, 2011)。期待信念の代表的なものには自己効力がある(Bandura, 1977)。原田・鶴岡・鈴木(2016)は高校入学直後の1年生を対象に、理科4領域の期待信念を比較している。彼らは理科教育用自己効力感測定尺度(Self-Efficacy Scale for Science Education: SESSE; 鈴木, 1996)を用い、統制感と手段保有感(努力)が、物理分野で最も低いことを報告している。しかし物理分野の期待信念が低下しや

すい認知的プロセスや、その個人差要因が十分に解明されているとはいえない。

さて、本研究の主たる関心は前述のとおりであるが、作図スキルや物理の期待信念の性差も検討する。その理由は以下の2点である。

1点目は物理分野の学習における性差の問題である。例えば学習達成の平均値を比較すると、女性の方がやや苦手意識を持ちやすいリスクがあり(Taasobshirazi & Carr, 2008), また、理科の動機づけが低下しやすいことが知られているため(Kato & Yoshida, 2003), 日本でも女子の情意的領域の改善を目指す実践研究がなされてきている(稲田, 2013)。また本研究で追加的に性差を検討するとした場合、手続きの増加は性別を回答することのみであり、特段に協力者の負荷を増やすことはない。女子の学習意欲が低減しやすいメカニズムを明らかにすることは急務であり、本研究でもその基礎的知見を提供することを目指す。

2点目は空間イメージ能力に関する性差の問題である。心的回転のような空間イメージ能力の測定課題では、ほぼ一貫して性差が検出されている(Collins & Kimura, 1997; Kimura, 1999/2001)。これまでの研究で理数系の動機づけに関する性差研究では、固定化された性役割など社会的要因が関係し、さらには教師(de Kraker-Pauw, van Wesel, Verwijmeren, Denessen, & Krabbendam, 2016)や親(Stoet, Bailey, Moore, & Geary, 2016)がもつジェンダーバイアスにより、女子で期待×価値モデルでいうところの価値の査定が低くなされやすいことが指摘されている(Eccles, 2007/2013)。しかし、もし空間イメージ能力が、物理分野の学業達成に要求されるならば、女子の物理分野の期待信念と関連するかもしれない。そこで、得られたデータの性差検定の結果と、その大きさの程度も合わせて報告する。

2. 研究の目的

本研究の目的は以下の2点である。1点目は、数的処理が要求されない物理分野における作図スキルと物理の期待信念との関連を検討すること、2点目は作図スキル、学力および物理の期待信念における性差について検討することである。

3. 問題の作成と予備調査

3.1 本研究の対象

本研究では、高校で力学に関係する内容を学習する前の高校1年生を対象とする。高校生1年生を対象とする理由は以下の3点である。1点目は、物理分野に限局した期待信念を測定する際に、物理分野

で扱う内容のイメージがもてる必要があるためである。現在の中学校教科書では「エネルギー」分野に該当する内容がわかりやすくなっているが、小学校の教科書では明確に分化されていない。2点目は、高校の上級学年を対象にすると、希望する進路により物理の学習量に違いが生じ、期待信念の査定に影響することが考えられる点である。3点目は特定の中学校の生徒を対象にした場合、1人あるいは数人の理科教師の指導を受けた生徒が対象となり、教師固有の専門性や指導法の変数の影響を分離できない点である。そのため多くの中学校からの卒業者がいる高校を対象とし、教師の個性に関連する変数の加算平均を図る。

また、力学を学習する前を対象とする理由は、作図スキルテストでは力学の内容から出題されるため、力学の学習後では高校入学以降の学習の影響を強く受けると考えられたためである。

3.2 物理分野における作図スキルテストの作成

Heller, Keith, & Anderson (1997) に代表される物理の問題解答の段階モデルでは、立式や演算などの数的処理に先立つ作図過程に、可視化と物理学的描写の2段階が想定されている。本研究ではこのモデルに従い、作図スキルを文章情報から物理学的な現象をイメージして描く可視化スキルと、物理学的概念と与えられた数値情報を図に記入し視覚的に示す物理学的描写スキルの2つから構成されるものと定義した。理科教育学を専門とする大学院生2名、理科教育学を専門とする大学教員1名の計3名によって、可視化テスト(2題)と物理学的描写テスト(2題)が作成された。

また本研究での作図スキルの測定は、力学分野に絞ることとする。その理由は、物理分野には力学・電磁気学・熱力学など様々な分野があり、一緒に議論することは難しいことを考慮したためである。その中で力学分野に着目した理由は、高校1年生で実施することを考慮した場合、中学校理科で学習しある程度イメージが持てる分野からの出題が望ましいためである。

テスト問題の作成は、川崎・角屋・木下・石井・後藤(2015)による「問題解決能力を測定する評価問題」の作成手順を参考にしながら、以下の3点に留意して行われた。まず1点目は前提として中学校学習指導要領解説理科編(文部科学省, 2008)と高等学校学習指導要領解説理科編(文部科学省, 2009)に即している問題を作成することとした。すなわち今回作成されるテストは、通常の理科教育における

問題解答過程に求められる作図スキルを測定する。そこで中学校および高校物理の教科書に記載されている図、ならびに全国の公立高校入試問題での作図問題等を参照しながら作成した。

2点目は作図スキルテストの解答に解答者の知識が混入することに対してである。可視化は文章中に表されている現象を図として表す過程であるため、専門的な知識を必要としないと考えられる。そのため、単なる記憶の再生を避けるため、高校物理を学習していない高校1年生にとって、未習と考えられる内容(相対速度・円運動)から作成した。それに対して物理学的描写過程は、力の大きさや向きなどをベクトルで表すなど、ある程度力学の知識や概念の習得が反映される作図である。その点を考慮し、中学校理科で学習する作図(重力・浮力・張力・力の分解)から出題した。

3点目は文章の読解力が解答に影響を与えることへの留意である。本研究で測定する作図スキルのうち、可視化は文章情報を把握し、イメージを生成して作図する過程であるため、読解力も含めたスキルである。そのため、特段に平易な文章になるようにはせず、中学校教科書や公立高校の入試問題などと同レベルの文章になるようにした。それに対して物理学的描写問題はできる限り理解しやすい文章になるように配慮した。

テストの作成後に、文章が高校1年生に伝わる表現であるかを確認し、さらにテストの内容的妥当性を確保するため、中学校の理科教員1名と物理を専門とする高校の理科教員1名の計2名に修正案を求め、それに従いテスト問題を修正した。

3.3 予備調査1

テスト問題が意図した通りに伝わるか、またどのような誤答が考えられるかを推定するため、大学生15名を対象に予備調査1を実施した。

解答のベースは協力者に委ねられた。問題の解答順序は全員可視化スキルテストの後に物理学的描写スキルテストを解いた。その理由は物理学的描写テストにはすでに状況が可視化された図が与えられており、可視化問題を解くためのヒントになる可能性が想定されたためである。

解答に要した時間は両テスト合わせて15分程度であった。問題の意図が伝わりにくかったという旨の感想は報告されなかった。

得られた解答の図をもとに理科教育を専門とする大学院生2名によって誤答分析が行われた。その誤答を参考に、高校1年生で実施することを考慮して

評価基準の原案を作成した。作成された評価基準案の内容的妥当性を確保するため、物理を専門とする高校教員1名、高校で物理を指導した経験のある理科教育を専門とする大学教員1名の計2名に修正案を求めた。修正案から評価基準表が作成され、最終版の作図スキルテストが作成された（資料1）。

3.4 予備調査2

作成された評価基準の基準関連妥当性を確認し、作図スキルテストの最適な解答時間を推定するため予備調査2を実施した。もし基準関連妥当性があるならば、力学分野の学力と有意な正の相関があることが予想される。また認知心理学的知見からは、図の活用は空間イメージ能力と関連することが想定されるため、それに関連する質問項目と正の相関を示すことが予想される。

3.4.1 調査協力者

北海道内の公立高校A高校に通う1年生77名を対象とした。A高校の入試難度から平均的な学力を有している子どもが多いと考えられた。

3.4.2 実施したテスト及び質問紙

力学分野における作図スキルテスト

作成された力学分野における作図スキルテスト（可視化テスト2題、物理学的描写テスト2題）を実施した。解答は可視化テスト（10分）、物理学的描写テスト（8分）の順で実施した。各テスト得点は、資料2および資料3の各評価基準に0～1点を与え、加算したものを可視化得点（range：0-21）、物理学的描写得点（range：0-28）とした。

力学分野の学力テスト

沖縄県の2014年度公立高校の入試問題に出題された問題から力学分野に関連する問題を実施した。得点は各評価基準に0～1点を与え加算して学力テスト得点とした（range：0-6）。

この問題を選択した理由は、平均的な学力を持つ高校生を対象にした場合、天井効果やフロア効果が生じるリスクが少ない難易度であり、適切に学力の個人差を捉えられると考えられたからである。また、北海道の高校1年生がこれまでに同じ問題を解いた経験がないと考えられる問題を選択する必要があったためである。

この問題は、中学校理科の「運動とエネルギー」からの出題であった（問題例：平均の速さの計算問題、時間と速さの関係を表すグラフの選択問題、力学的エネルギー保存に関する記述問題など）。

視覚的イメージ特性

協力者にテストへの解答を課すことを鑑み、空間イメージ能力は簡便に測定される必要がある。そこで、すでに存在する質問紙から数項目を実施することとした。具体的には、川原・松岡（2009）の視覚的イメージスタイル質問紙（Visual Imagery Style Questionnaire: VISQ）の空間イメージに関わる下位尺度から、図の使用（「建物の見取り図や平面図を描くのが得意である」と、イメージ操作（「頭の中で立体の図を簡単にイメージしたり、回転させたりすることができる」）を用いた。さらに、VVQ（Verbalizer-Visualizer Questionnaire; Richardson, 1977）からイメージの常用性「日常生活でイメージを使って考えることが多い」を加えた。この項目は空間イメージとの関連が想定しづらく、相関がないことが予想される。空間イメージ能力に関係しない項目も含めたため、これら3項目を「視覚的イメージ特性」と呼ぶ。回答選択肢は「まったくあてはまらない」を1点、「よくあてはまる」を4点とする4件法を採用した。

3.4.3 調査手続き

予備調査2はA高校の教員によって実施された。実施にあたって条件が統制されるよう、マニュアルを用意した。実施順序は、視覚的イメージ特性に関する質問紙、作図スキルテスト、学力テストの順であった。この順序とした理由は作図スキルテストの主観的な出来の査定が、質問紙の回答に混入する可能性が考えられることと、学力テストの問題に記載されている図が作図スキルテストのヒントになる可能性が考えられたためである。

3.4.4 結果と考察

協力者のうち、研究に同意しない者を除外した74名を分析対象とした。また協力校の事情により、学力テストは実施できた39名を分析対象とした。

各テストと質問紙の記述統計量と相関を表1に示す。力学分野の学力との相関は可視化得点、物理学的描写得点ともに有意な正の相関があった。また視覚的イメージ特性との相関は物理学的描写得点と図の使用の項目に有意な相関があったが、それ以外は相関係数の符号が全て正の値を示していたものの、有意ではなかった。

この結果から、物理教育の視点においては基準関連妥当性があるものと推察できる。しかし視覚的イメージ特性との関連は明確に示されなかった。予備調査2は実施人数が少なく検出力が低いこと、物理

表1 予備調査2における各テストと質問紙の相関
($n=74$, 学力テスト得点のみ $n=39$)

	1	2	3	4	5
力学における作図スキルテスト					
1. 可視化得点 ($M=7.14$, $SD=3.52$)	—				
2. 物理学的描写得点 ($M=9.19$, $SD=4.65$)	.15	—			
力学分野の学力					
3. 学力テスト得点 ($M=4.05$, $SD=1.45$)	.32*	.39*	—		
視覚的イメージ特性					
4. 常用性 ($M=3.07$, $SD=0.85$)	.06	.07	.29	—	
5. 図の使用 ($M=2.22$, $SD=0.85$)	.11	.24*	.18	.30*	—
6. 操作性 ($M=2.51$, $SD=0.83$)	.19	.13	.31	.33**	.54***

注) 相関係数は Spearman の順位相関係数によった
* $p<.05$, ** $p<.01$, *** $p<.001$

学的描写においては空間イメージ能力と関連する項目と部分的に相関があったことを鑑み、テストの基準関連妥当性の判断は保留とし、本調査で再度検討することとした。

また可視化テストでは最後まで解答できていない参加者が若干名確認されたため、本調査では可視化テストのみ時間を2分伸ばし、可視化テスト12分、物理学的描写テスト8分で実施することとした。

4. 本調査

4.1 調査協力者

北海道内の公立高校B高校の1年生193名(男子99人, 女子94人)を対象とした。B高校は多くの卒業生が大学に進学する学校であり、平均よりも高い学力を有していると考えられた。

4.2 調査時期

2016年の6月下旬～7月上旬であった。B高校の1年生は物理基礎を学習しているが、調査時点では熱力学に関する内容のみ学習しており、力学についての知識は中学校卒業程度と考えられた。

4.3 使用したテスト及び質問紙

力学分野における作図スキルテスト

作成された可視化テスト(range:0-21)と物理学的描写テスト(range:0-28)を用いた。得点化の方法は予備調査2に準じた。

力学分野の学力テスト

本調査の協力校であるB高校は、予備調査2を実施したA高校と比較すると、高い学力を有している子どもが多いことが推察される。そのため予備調査と同じ問題を1題のみを実施した場合、天井効果により適切に学力の個人差を測定できなくなる可能性が考えられた。そこで、予備調査2で用いた大問1問と、2014年度の福井県の公立高校入試問題で出題された力学に関する大問1題の計2題を実施した。新たに追加した問題は「身近な物理現象」と「運動とエネルギー」からの出題であった(問題例:浮力の計算問題, 動滑車を用いた際の力の大きさの計算問題, 浮力の変化をグラフ化する問題など)。得点化の方法は予備調査2に準じた(range:0-12)。

視覚的イメージ特性

質問項目等は予備調査2に準じた(range:1-4)。

物理の期待信念

鈴木(2012)によるSESSEを実施した。本研究は理科の中でも物理分野に特化しているため、質問文の「理科」を「物理」と書きかえた。項目は統制感8項目(「わたしはやる気になれば、物理は難しいことでもわかります」など)、手段保有感(努力)6項目(「物理の学習をすると決めたら、わたしはさすががんばることができます」など)、手段保有感(能力)6項目(「がんばらなくても、わたしは物理の勉強はすぐわかります」など)、手段保有感(教師)6項目(「わたしが物理の先生に何か聞きたいとき、いつでも先生は答えてくれます」など)の合計26項目であった。

回答は「ぜったいちがう」を1点、「いつもそうだ」を4点とする4件法を採用し、合計得点を質問数で除した値を用いた(range:1.00-4.00)。

4.4 調査手続き

本調査は授業時間中にB高校の教師によって実施された。その際、条件が統制されるよう、実施マニュアルを用意した。

実施時間は説明等を含めおよそ45分間で実施された。実施の順序は予備調査2と同様の配慮をし、視覚的イメージ特性(3項目)、物理の期待信念(26項目)、可視化スキルテスト(2題, 12分)、物理学的描写テスト(2題, 8分)、物理の学力テスト(大問2題, 17分)の順に実施した。

実施にあたって、本調査は成績には関係しないこと、研究には使用されるが個人情報には守られること、また研究への協力は任意であることが説明され、この調査を研究に使用してもよいかを尋ね、同意が得られた者のみ分析対象とした。

5. 結果

データから研究協力の同意が得られなかった者、質問紙の回答に不備がある者を除いた173名（男子84名、女子89名）を分析対象とした。

表2に各テストと質問紙の記述統計量を示す。平均値と標準偏差から天井効果やフロア効果が疑われるテスト及び質問紙はなく、各構成概念の個人差を十分に測定できたと考えられた。

5.1 分析1：作図スキルテストの信頼性・妥当性の推定

まず作図スキルテストの信頼性を確認するため、可視化得点および物理学的描写得点の内的整合性をクロンバックの α 係数によって推定した。その結果可視化得点 ($\alpha=.85$)、物理学的描写得点 ($\alpha=.88$) と十分な値を示した。この結果から、本テストは信頼性を有しているものと判断した。

次にテストの基準関連妥当性を確認するため、作図スキル得点と学力テスト得点、視覚的イメージ特性のそれぞれの質問項目との相関係数を算出した(表2)。その結果、可視化得点と物理学的描写得点の両方に学力テスト得点と有意な正の相関があった。さらにそれぞれの作図スキルが独立して物理の学力を説明しているかを確認するため、説明変数をそれぞれの作図スキル得点、従属変数を学力テスト得点とした重回帰分析を行った。その結果、可視化得点 ($\beta=.22, p=.004$)、物理学的描写得点 ($\beta=.29, p<.001$) ともに学力テスト得点を説明しており、得点の19%を

説明していた ($R^2=.19, p<.001$)。数的処理が要求されない作図スキルが学力テストに寄与する割合としては妥当な値であると考えられた。

視覚的イメージ特性に関しては、両作図テスト共に、空間イメージ能力に関する質問項目と有意な正の相関があった。これらの結果から、本作図スキルテストは基準関連妥当性があるものと判断した。

5.2 分析2：力学における作図スキルと物理の期待信念の関連

相関分析の結果、可視化得点と手段保有感（教師）の間が有意でない以外、ほぼ全てに有意な正の相関が認められた。次に片方の作図スキルの影響を取り除いて、物理の期待信念との関連を検討するため、片方の作図スキル得点を制御変数とした偏相関分析を行った。その結果、それぞれの作図スキルは物理の期待信念の異なる側面と関連しており、可視化得点は手段保有感（努力）($r=.21, p=.007$)、手段保有感（能力）($r=.15, p=.043$)と有意な正の相関が認められた。それに対して物理学的描写得点は統制感 ($r=.34, p<.001$)、手段保有感（能力）($r=.35, p<.001$)、手段保有感（教師）($r=.23, p=.002$)との間に有意な正の相関が認められた。

作図スキルの習得レベルの程度と期待信念との関連を詳細に検討するため、各作図スキル得点と偏相関分析で有意な相関が認められた期待信念に対して、作図スキル得点の群（L群・M群・H群）を要因とする分散分析を行った³⁾。群分けは、それぞれの作

表2 本調査における各テストと質問紙の記述統計量と相関係数 ($n = 173$)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Mean (SD)
力学における作図スキルテスト										
1. 可視化得点	—									13.20 (4.03)
2. 物理学的描写得点	.39***	—								15.33 (5.26)
力学分野の学力										
3. 学力テスト得点	.34***	.38***	—							7.86 (1.73)
視覚的イメージ特性										
4. 常用性	-.11	-.11	-.02	—						3.03 (0.66)
5. 図の使用	.22**	.35***	.25**	.07	—					2.39 (0.78)
6. 操作性	.33***	.43***	.32***	.01	.61***	—				2.46 (0.88)
物理の期待信念										
7. 統制感	.28***	.41***	.29***	-.06	.52***	.56***	—			2.64 (0.55)
8. 手段保有感（努力）	.28***	.23**	.13	.10	.17*	.26**	.44***	—		3.15 (0.46)
9. 手段保有感（能力）	.30***	.43***	.29***	.05	.50***	.54***	.78***	.41***	—	2.24 (0.66)
10. 手段保有感（教師）	.12	.26**	.18*	.10	.05	.08	.33***	.53***	.33***	3.00 (0.42)

* $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$

注) 相関係数は Pearson の積率相関係数によって算出したが、視覚的イメージ特性はそれぞれ1項目のみであり、パラメトリックな検定手法を使用することは適切ではないと考えられたため、Spearman の順位相関係数を用いた。

表3 作図スキル得点の各群におけるテストおよび質問紙の平均値(標準偏差)

	可視化得点			物理学的描写得点		
	L群 (n=34)	M群 (n=116)	H群 (n=23)	L群 (n=31)	M群 (n=105)	H群 (n=37)
力学における作図スキルテスト						
1. 可視化得点	6.94 (2.16)	13.96 (2.18)	18.65 (0.83)	12.55 (4.23)	12.39 (3.89)	16.05 (2.91)
2. 物理学的描写得点	12.91 (3.60)	15.00 (5.09)	20.57 (4.86)	8.74 (1.88)	14.39 (2.45)	23.51 (1.82)
力学分野の学力						
3. 学力テスト得点	7.15 (2.11)	7.88 (1.53)	8.78 (1.68)	6.81 (2.09)	7.82 (1.57)	8.84 (1.73)
物理の期待信念						
4. 統制感	2.43 (0.49)	2.65 (0.56)	2.90 (0.49)	2.34 (0.55)	2.58 (0.53)	3.06 (0.35)
5. 手段保有感(努力)	2.94 (0.36)	3.19 (0.48)	3.30 (0.41)	3.02 (0.51)	3.13 (0.44)	3.34 (0.43)
6. 手段保有感(能力)	2.02 (0.47)	2.24 (0.70)	2.60 (0.55)	1.99 (0.59)	2.12 (0.64)	2.80 (0.42)
7. 手段保有感(教師)	2.95 (0.34)	2.99 (0.45)	3.11 (0.38)	2.91 (0.46)	2.96 (0.40)	3.19 (0.42)

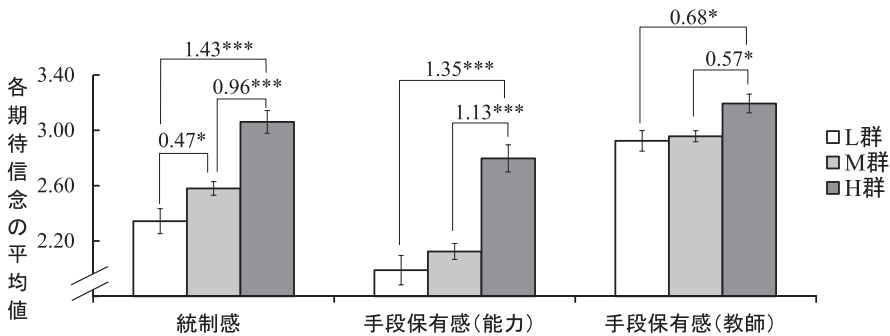


図1 物理学的描写得点の各群における期待信念の差異

* $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$

注) エラーバーは標準誤差, 差の大きさに対する数値は効果量 (Hedges's g) を表す。

図テスト得点の平均値-1SD以下をL群, 平均値-1SDから平均値+1SDをM群, 平均値+1SD以上をH群の3水準に分類した(表3)。この群分けの方法は, 可視化得点, 物理学的描写得点ともに, 学力テスト得点の群間差がほぼ等間隔となる分け方であったため, 妥当であると判断した。

その結果, 可視化得点では手段保有感(努力)において習得レベルによる有意な差があり($F(2, 170) = 5.55, p = .005, \eta^2 = .06$), 多重比較の結果, L群とM群($p = .010, g = 0.55$), L群とH群($p = .009, g = 0.81$)の間に有意な差があったが, M群とH群の間に有意な差はなかった。

物理学的描写得点では統制感($F(2, 170) = 19.39, p < .001, \eta^2 = .19$), 手段保有感(能力)($F(2, 170) = 21.06, p < .001, \eta^2 = .20$), 手段保有感(教師)($F(2, 170) = 5.33, p = .006, \eta^2 = .06$)において習得レベルによる有意な差があった。多重比較の有意性検定の結果と効果量を図1に示す(Holm法)。どの期待信

念の側面においても, L群・M群とH群の差は比較的大きかったが, L群とM群の間には有意な差が認められないか, 差が有意であっても大きな効果量はなかった。

5.3 分析3: 作図スキルテストの各評価基準と期待信念との関連

作図スキルテストの各評価基準と期待信念との関連を検討するため, 各評価基準の正否と期待信念の点双列相関係数および各評価基準の通過率を算出した(資料2, 3)。ほとんどの評価基準において, 相関係数の符号は正であった。

可視化テストでは, 「B3. 反時計回りの運動の方向が図示されている」と「B4. 法線と糸のなす角が15度と示されている」において, 手段保有感(努力)と相対的に大きな相関があった(順に $r = .33, .27$)。また, 「A2. 雨の雫と地面からの法線となす角が30度と示されている」や, 「A5a. 角度が時速50kmの

時よりも大きく示されている」では、統制感、手段保有感（能力）との間に $r = .20$ 以上の相関があった。向きや大きさなどの運動情報が含まれない作図（評価基準の B1, B2）や進行方向の定義（評価基準の A1, A4, A7）では、通過率が9割前後と高く、期待信念との相関は小さかった。

物理学的描写テストでは、多くの評価基準で統制感、手段保有感（能力）と $r = .20$ 以上の相関があった。比較的大きな係数が得られた評価基準は、斜面上の物体にかかる重力を分解する作図であり（評価基準の D9a, D9b）、手段保有感（能力）と $r = .38, .41$ の相関があった。分解前の重力では（評価基準の D1, D2）は通過率が7割程度であり（D1: 69.9%, D2: 68.2%）、統制感と $r = .31, .34$ の相関であった。一方、分解を伴わない水平な物体にかかる重力の作図（評価基準の C1, C2, C3, C4, D10, D11, D12）は、極めて高い通過率であり（90.8-98.8%）、各期待信念との相関は $r = .20$ 以下であった。

5.4 分析3：力学における作図スキルおよび物理の学力・期待信念における性差の検討

各テスト得点と物理の期待信念における性差の有無およびその大きさを検討するため、対応のない t 検定を行った（表4）。その結果、各テストのうち学力テスト得点と物理学的描写得点に有意な差があり、男子の方が女子より高得点であった。その効果量は $g = 0.50$ 前後であり、Cohen (1969) の判断基準に基づくと、中程度の差であった。

物理の期待信念では統制感、手段保有感（能力）に有意差があり男子の方が女子よりも高い期待信念を保有していた。その効果量は Cohen (1969) の判断基準で大きな差と解釈される値であった。また手段

保有感（努力）と手段保有感（教師）では有意な性差はなかった。

6. 考察

本研究では、期待信念を物理一般の文脈で測定している。また電磁気学や熱力学などの分野で要求される作図過程も、力学と同様に可視化および物理学的描写の両方が要求される点で共通する。そのため、本研究の結果を物理分野に一般化することに無理はないものと判断し、以降では物理分野における作図スキルとして考察する。

作図スキルの習得レベルと期待信念の関係を詳細に検討した結果、可視化スキルではL群において手段保有感（努力）が低かったが、M群とH群の間には差がなかった。この結果は、物理の学習の中で、どのような現象であるかイメージが持てない子ども、あるいは文章を読解する時点でつまずきがある子どもにとって、それらのつまずきは自らの努力要因に原因帰属されている可能性を示唆している。手段保有感は Bandura (1977) が提唱したオリジナルの自己効力に近い概念であるため、可視化スキルは物理の学習意欲と密接に関係していると考えられる。文章読解に苦手さがある、あるいは言語で入力されても物理現象のイメージができない子どもにとって、「そもそも物理の学習をすること自体が自分にとって難しい」と思うに至るのは自然であろう。

可視化テストの評価基準ごとに分析すると、物体を描画するだけの評価基準では、ほぼ全員が通過し、期待信念との関連は弱かった。このことは、与えられた文章中から問題に関わっている物体を同定し、生成したイメージを図として描く段階では得点に個人差は生じず、またこれらの正否によって物理

表4 各テストおよび期待信念の性差

	男性 (n=84)	女性 (n=89)	t 値	p 値	ES
	Mean (SD)	Mean (SD)			
作図スキルテスト					
1. 可視化得点	13.68 (3.75)	12.75 (4.26)	1.51	.132	0.23
2. 物理学的描写得点	16.68 (5.65)	14.06 (4.55)	3.37	.001	0.51
力学分野の学力					
3. 学力テスト得点	8.26 (1.54)	7.47 (1.82)	3.07	.002	0.47
物理の期待信念					
4. 統制感	2.88 (0.43)	2.41 (0.55)	6.12	< .001	0.93
5. 手段保有感（努力）	3.20 (0.44)	3.11 (0.48)	1.25	.212	0.19
6. 手段保有感（能力）	2.59 (0.56)	1.91 (0.57)	7.88	< .001	1.20
7. 手段保有感（教師）	3.02 (0.42)	2.98 (0.43)	0.66	.511	0.01

注) ES は効果量を意味し (Effect Size), Hedges's g を算出した。

の苦手意識にはつながらないことを示している。その反面、角度や運動の向きなど、2次元平面上での運動情報を図示する段階では通過率が下がり、その成否は期待信念と関連していた。このことは、運動の様子をイメージして描く段階で個人差が生じ、こうした作図が苦手な子どもほど、物理の学習に苦手意識を持つことを示唆している。Kozhevnikov et al. (2007) は、空間イメージ能力と2次元平面上の運動を扱う問題が関連することを示し、その原因を視空間性ワーキングメモリの容量制約に着目して考察している。この知見を参考にすると、2次元平面上の運動情報の処理には相応の認知資源を投入する必要があり、厳しい容量制約がある子どもにとってイメージを生成することは難しいものと考えられる。これらのつまずきに気づき、イメージ過程への教育的介入を行うことが求められる。

物理学的描写得点の群による統制感、手段保有感(能力)と(教師)の差は、L群とM群の差に対してL群・M群とH群の差が大きかった。この結果は、十分に力学の概念を理解し、状況に応じて正しく図示する力があってはじめて「自分には物理ができる」という実感につながることを示している。学力テスト得点ではM群はL群と比べて高得点であったため、概念理解が曖昧で作図スキルが平均的なM群であっても、学力テストではそれなりに得点できると考えられる。しかし、物理学的描写が中程度の子ども自身は、概念を十分に理解できていないことを自覚し、その原因を能力や適性のような安定的な要因に帰属しているものと思われる。物理分野において浅い理解はある程度まで学力テストでの得点に反映されても、物理分野に対する期待信念にはポジティブな影響を与えないことを示している。

なお、効果量は大きくないものの、手段保有感(教師)においても同様の傾向であったことは注目に値する。テストでは平均的な得点が取れる子どもであっても、物理分野での教師の説明を理解しきれず、ときには教師が何を言っているのかわからないと感じることがあるのかもしれない。本研究は、力学分野の学力が中学校卒業程度と考えられた高校1年生を対象としたため、この傾向は中学生でも同様である可能性がある。

これらの結果は、「自分にも物理の学習ができる」という期待信念の強さと物理学的描写スキルとの関係が、一次関数的な線形関係ではないことを示唆している。具体的には、ある程度までの理解度やスキルの獲得では期待信念への効果は薄く、高い水準でのスキルの獲得によって、期待信念が醸成されるもの

と思われる。物理分野は記憶主体の学習ではないために、不十分な理解度の時点では「今はできなくても、勉強時間を十分に割けばできるようになる」という展望が持ちづらいことが原因として考えられる。

物理学的描写テストの評価基準ごとに分析すると、重力を分解する評価基準では期待信念との相関が相対的に強かった。興味深いことに、水平な物体にはたらく重力の作図はほぼ全員が通過していたのに対し、斜面上の物体に働く重力の通過率は分解前でも低く、期待信念との相関があった。分力の作図方法に関する手続き的知識のみが未習得であったならば、分解前の重力は通常重力と同様にほぼ全員が作図できるはずである。それにも拘わらず、通過率の低下がみられた背景には、問題解答にあたって具体的な手続きは想起できなかったが、「斜面上の物体に働く重力を作図する際には特殊な手続きが必要であった」という記憶のみが想起されたために、通常通りに重力の作図を行うことは不相当と判断された可能性が考えられる。手段保有感(能力)との相関が検出されたことから、分力の作図を学習した際、その手続きの意味が理解できなかった場合、「自分には物理の能力がない」と判断されるものと思われる。

もう1つの目的である性差については、2点注目すべき結果が得られた。1点目は可視化スキルと手段保有感(努力)・(教師)においては男子と有意差がなかったことである。文章を読解し現象を正しくイメージして物理的現象を描きあらわすことに女子は困難を伴っていない。また物理分野では女子に忌避されやすいことが知られているが、本研究では動機づけの特定の側面では男子との差はないことを示している。この知見は今後女子への物理教育の促進を目的とした介入方法を検討する際に参考となる知見であるかもしれない。

2点目は客観的なテストにおける性差と、物理の期待信念における性差では得られた効果量が異なっている点である。学力テスト得点および物理学的描写得点では性差があったものの、その差は大きいと解釈される水準ではない。しかし、物理の統制感と手段保有感(能力)の性差を示す効果量は非常に大きく、1SD程度男子と差があった。その解釈の一つとして、物理分野の学習で困難さを知覚した際に、女子の方がその原因を自らの能力や適性に帰属させやすい可能性が考えられる。

これと類似した報告では、Dweck (2007/2013) が数学の分野に関して女子は男子よりも能力実体論、すなわち「数学の能力は天賦の才能である」と信じていることを指摘している。能力実体論を持つ個

人にとっては、同じ結果が得られた場合でも、多くの努力が投入された結果ならば、低能力を意味することが知られている (Nicholls, 1984)。また, Song, Zuo, & Yan (2016) は、中国の高校生を対象に、女子の数学分野における動機づけと学習達成の因果関係を検討している。この研究では、ジェンダーステレオタイプの高い女子ほど、自らの能力を低く見積もり、それが学習目標、努力量、そして学習達成を因果的に説明することが示されている。もし物理分野に関しても同じ現象がいえるならば、女子の物理分野に対する能力査定の高さが、進路選択などで差が開く原因になっているかもしれない。また他の立場では、空間イメージ能力の性差が、科学分野での達成の性差を一部説明できるとする研究もある (Lubinski & Benbow, 2007/2013)。本研究でも作図スキルのうち、物理学的描写スキルには性差がみられ、この立場もまた棄却されない。今後さらに、それらの要因を整理し、日本における理科教育での性差に関わる因子の同定と影響の強さを分析的に検討していくことが必要であろう。

7. 本研究の限界と今後の課題

本研究の結果、数的処理が要求されない物理分野における作図スキルが、物理の期待信念と関連していることが示された。しかし本研究の限界に、その因果関係について言及できないことが挙げられる。本研究では単に知識を保有していないばかりに作図できなかったのか、知識の有無の他に、空間イメージ能力と関連したのか、詳細には検討していない。もし前者ならば、低い物理分野の期待信念が学習を忌避させ、それによる知識の未習得が結果に反映されたとも解釈できる。相関分析の結果、空間イメージ能力と両作図スキルが関連していることが示されてはいる。しかし、その関連性は不透明であり、また空間イメージ能力を精緻に測定する質問紙や、客観的な指標となる認知課題を実施していないため、その能力との関連は断定できない。

今後は基礎研究として、物理の期待信念が低下しやすいメカニズムを、先行研究から関連が予想される空間イメージ能力や信念の個人差から、分析的に検討する必要がある。イメージ体験は主観的な体験であり、他者のイメージ体験と比較することができない分、主観報告された指標によって理科の学習達成との関連を検討することには限界がある。そこで客観的な空間イメージ能力の測定課題や、十分に信頼性・妥当性が確認されている指標を用いて研究を進めることが求められる。作図に代表されるよう

な視覚化スキルの個人差や、物理分野に特異的な苦手意識がなぜ生じるかを明らかにすることは、個人間で物理分野の期待信念に差が生じる原因の一端の解明につながる。物理分野の期待信念が低下しやすい個人差要因を明らかにする研究が待たれる。

さらに当然であるが作図スキルの習得方法や、効果的な学習方略、指導方略はどのようなものかを検討する実践的研究も重要である。基礎研究の知見より、概念の獲得とはある程度独立した、空間イメージ能力が、科学分野の学習と関連していることが示されている。そのため、イメージを空間的に操作することが苦手な子どもに焦点を当てた事例研究や、概念の獲得過程を追った研究がなされる必要がある。

註

- 1) 一般に problem solving は「問題解決」と訳されることが多いが、理科教育での問題解決は、広く探究活動を通じた学習を指すことが多い。そのため、誤解を避けるため本研究では「問題解答」という訳を用いた。
- 2) 期待×価値モデルでは「期待」という訳語が用いられるが、一般的な意味での「期待」と意味が異なる。また鈴木 (1996) は、SESSE で測定される種々の期待信念をあわせて「自己効力」としているが、SESSE の原盤である CAMI (Skinner, Chapman, & Baltes, 1988) で測定される種々の期待信念と、Bandura (1977) が定義したオリジナルの自己効力の概念では共通する点が多いものの、厳密には異なる。そのため本研究では「期待信念」という語を用いた。
- 3) 可視化得点と手段保有感 (能力) の偏相関係数も有意水準には達していたが、 $r = .15$ とほぼ無相関と解釈される水準であった。そのため以後の分析は行っていない。
- 4) 可視化問題の相対速度に関する問題文は、高校1年生にとってある程度イメージしやすい数値にすることを優先したため、実際の電車の速度から算出される、雨滴の角度とは異なる値を設定した。
- 5) 本研究で作成された作図スキルテストは、数的処理が要求されないスキルの測定を目的に作成された。しかし、本調査で1件、可視化問題の円運動において、40 cm の糸と15度の角度の情報から、補助線を利用して、三平方の定理より、回転半径を導出していた解答があった。著者に入っていない物理教育を専門とする大学教員1名と議論した結果、図中に適切な補助線を見出し、持っている知識を活用して回転半径を導出した子どもと、そうでない子どもの作図スキルが同程度であると評価することは望ましくないと考えられるため、回転半径が $10(\sqrt{6} - \sqrt{2})$ cm と明記した1名に、1点を与えるよう、評価基準に加えた。

謝辞

本研究を行うにあたり、北海道平岸高等学校の横関直幸先生をはじめ、多くの調査協力校の先生方と所属する学校の皆様の多大なるご協力を頂きました。また、北海道教育大学函館校の鶴岡森昭特任准教授には物理教育の視点から多大なご指導を賜りました。深く感謝申し上げます。

付記

本研究は、日本理科教育学会第66回全国大会（2016年8月：信州大学）において発表したデータに、大幅な加筆修正を施して新たな分析を加えたものである。また、本研究は日本学術振興会特別研究員奨励費（課題番号：16J03041）の助成を受けた。

引用文献

- Bandura, A. (1977). Self-efficacy: toward a unifying theory of behavioral change. *Psychological review*, 84(2), 191.
- Blazhenkova, O., & Kozhevnikov, M. (2010). Visual-object ability: A new dimension of non-verbal intelligence. *Cognition*, 117(3), 276–301.
- Cohen, J. (1969). *Statistical power analysis for the biomechanical sciences*. New York: Academic Press.
- Collins, D.W., & Kimura, D. (1997). A large sex difference on a two-dimensional mental rotation task. *Behavioral neuroscience*, 111(4), 845.
- Dweck, C. (2007). Is math a gift? Beliefs that put females at risk. In S.J. Ceci & W.M. Williams (Eds.). *Why aren't more women in science? Top researchers debate the evidence*. Washington, DC: American Psychological Association, 47–55. (C.S.ドゥエック・大隅典子（訳）（2013）。「数学は天賦の才か？—女性を危険にさらす考え」S.J.セシ・W.M.ウィリアムズ（編）『なぜ理系に進む女性は少ないのか？—トップ研究者による15の論争』西村書店, 75–90.)
- Eccles, J.S. (2007). Where are all the women? Gender differences in participation in physical science and engineering. In S.J. Ceci & W.M. Williams (Eds.). *Why aren't more women in science? Top researchers debate the evidence*. Washington, DC: American Psychological Association, 199–210. (エクルズS.J.・大隅典子（訳）（2013）。「女性はいったいどこにいるのか？物理科学や工学分野でのジェンダー差」S.J.セシ・W.M.ウィリアムズ（編）『なぜ理系に進む女性は少ないのか？—トップ研究者による15の論争』西村書店, 303–324.)
- 原田勇希・鶴岡森昭・鈴木誠（2016）「高校入学直後の理科4領域に対する認識の特徴と差異—中学までの学習に基づく自己効力・日常関連認識・選択希望科目から—」『日本理科教育学会第66回全国大会発表論文集』, 260.
- Heller, P., & Hollabaugh, M. (1992). Teaching problem solving through cooperative grouping. Part 2: Designing problems and structuring groups. *American Journal of Physics*, 60(7), 637–644.
- Heller, P., Keith, R., & Anderson, S. (1997). Teaching problem solving through cooperative grouping (Part 1): Group versus individual problem solving. *MAA NOTES*, 159–172.
- 稲田結美（2013）「理科学習に対する女子の意識と態度の改善に関する実践的研究」『理科教育学研究』第54巻, 第2号, 149–159.
- Jones, S., & Burnett, G. (2008). Spatial ability and learning to program. *Human Technology: An Interdisciplinary Journal on Humans in ICT Environments*, 4(1), 47–61.
- 鹿毛雅治（2013）学習意欲の理論：動機づけの教育心理学. 金子書房.
- Kato, A., & Yoshida, A. (2003). Gender issues in science education in Japan. *Journal of Science Education in Japan*, 27(4), 258–267.
- 川原正広・松岡和生（2009）「視覚的イメージスタイル質問紙作成の試み」『イメージ心理学研究』第7巻, 第1号, 19–31.
- 川村康文（1996）「高校生にみられる小・中学校理科学習の実態と問題点」『物理教育』第44巻, 第4号, 393–396.
- 川崎弘作・角屋重樹・木下博義・石井雅幸・後藤顕一（2015）「初等教育教員養成課程学生の理科における問題解決能力の実態に関する研究」『理科教育学研究』第56巻, 第2号, 151–159.
- Kimura, D. (1999). *Sex and cognition*. Cambridge: The MIT Press. (ドリーン・キムラ・野島久雄・三宅真季子・鈴木真理子（訳）（2001）『女の能力, 男の能力：性差について科学者が答える』新曜社)
- 国立教育政策研究所編（2007）『生きるための知識と技能3 OECD生徒の学習度調査（PISA）』ぎょうせい.
- 国立教育政策研究所（2013）『TIMSS 2011 理科教育の国際比較—国際数学・理科教育動向調査の2011年調査報告書』ぎょうせい.
- 国立教育政策研究所（2015）「平成27年度全国学力・学習状況調査の結果について（概要）」Retrieved from <http://www.nier.go.jp/15chousakekkahoukoku/summary.pdf>
- Kozhevnikov, M., Motes, M.A., & Hegarty, M. (2007). Spatial visualization in physics problem solving. *Cognitive Science*, 31(4), 549–579.
- de Kraker-Pauw, E., van Wesel, F., Verwijmeren, T., Denessen, E., & Krabbendam, L. (2016). Are teacher beliefs gender-related?. *Learning and Individual Differences*, 51, 333–340.
- Larkin, J.H., & Simon, H.A. (1987). Why a diagram is (sometimes) worth ten thousand words. *Cognitive science*, 11(1), 65–100.

- Lubinski, D.S., & Benbow, C.P. (2007). Sex Differences in Personal Attributes for the Development of Scientific Expertise. In S.J. Ceci & W.M. Williams (Eds.). *Why aren't more women in science? Top researchers debate the evidence*. Washington, DC: American Psychological Association, 79–100. (D.S. ルビンスキー・C.P. ベンボウ. 大隅典子 (訳) (2013). 「科学の専門性を身につける個人的特性の性差」S.J. セシ・W.M. ウィリアムズ (編) 『なぜ理系に進む女性は少ないのか?—トップ研究者による15の論争』西村書店, 123–150.)
- 文部科学省 (2008) 『中学校学習指導要領解説 理科編』大日本図書
- 文部科学省 (2009) 『高等学校理科学習指導要領解説 理科編 理数編』実教出版
- Nagengast, B., Marsh, H.W., Scalas, L.F., Xu, M.K., Hau, K.T., & Trautwein, U. (2011). Who took the “×” out of expectancy-value theory? A psychological mystery, a substantive-methodological synergy, and a cross-national generalization. *Psychological Science*, 22(8), 1058–1066.
- Nicholls, J.G. (1984). Conceptions of ability and achievement motivation. In R. Ames & C. Ames (Eds.). *Research on motivation in education*. New York: Academic Press, 39–73.
- 大宮輝雄・奥村清 (1994) 「高等学校における物理嫌いの要因についての一考察」『科学教育研究』第18巻, 第4号, 189–196.
- Richardson, A. (1977). Verbalizer-visualizer: A cognitive style dimension. *Journal of mental imagery*, 1, 109–125.
- Shea, D.L., Lubinski, D., & Benbow, C.P. (2001). Importance of assessing spatial ability in intellectually talented young adolescents: A 20-year longitudinal study. *Journal of Educational Psychology*, 93(3), 604.
- Skinner, E.A., Chapman, M., & Baltes, P.B. (1988). Control, means-ends, and agency beliefs: A new conceptualization and its measurement during childhood. *Journal of personality and social psychology*, 54(1), 117.
- Song, J., Zuo, B., & Yan, L. (2016). Effects of gender stereotypes on performance in mathematics: A serial multivariable mediation model. *Social Behavior and Personality: an international journal*, 44(6), 943–952.
- Stieff, M. (2011). When is a molecule three dimensional? A task-specific role for imagistic reasoning in advanced chemistry. *Science Education*, 95(2), 310–336.
- Stoet, G., Bailey, D.H., Moore, A.M., & Geary, D.C. (2016). Countries with Higher Levels of Gender Equality Show Larger National Sex Differences in Mathematics Anxiety and Relatively Lower Parental Mathematics Valuation for Girls. *PLoS one*, 11(4), e0153857.
- 鈴木誠 (1996) 「理科教育における学習意欲の構造に関する研究 (3) —理科教育用自己効力感測定尺度 (SESSE: Self-Efficacy Scale for Science Education) の開発」『日本理科教育学会研究紀要』第36巻, 第3号, 1–11.
- 鈴木誠 (2012) 「『ボクにもできる』がやる気を引き出す—学力を捉え、伸ばすための処方箋—」東洋館出版社
- Taasoobshirazi, G., & Carr, M. (2008). Gender differences in science: An expertise perspective. *Educational Psychology Review*, 20(2), 149–169.
- Uesaka, Y., Manalo, E., & Ichikawa, S.I. (2007). What kinds of perceptions and daily learning behaviors promote students' use of diagrams in mathematics problem solving?. *Learning and Instruction*, 17(3), 322–335.
- 山下修一 (2011) 「凸レンズが作る実像・虚像に関する作図能力と理解状況」『理科教育学研究』第51巻, 第3号, 145–157.

(2016年10月27日受付, 2017年4月8日受理)

The Relationship Between Individual Differences in Diagram-Drawing Skills not Requiring Numerical Processing and Expectations about Learning Physics

Yuuki HARADA^{1,2}, *Kazuma SAKAMOTO*¹, *Makoto SUZUKI*¹

¹ Graduate School of Science, Hokkaido University

² Research Fellow of the Japan Society for the Promotion of Science

SUMMARY

When learning physics, mentally imagining a phenomenon and illustrating the image appropriately is known to facilitate problem solving. Recently, it has been suggested that individual differences in mental imagery ability, such as the ability to visualize space, is an essential factor for learning achievements in all scientific and technological subjects, including physics. This study analyzed correlations between drawing skills and expectations, which are related to the motivation to learn in first year high school students (n=173). A test for assessing drawing skills was developed for this study, in which numerical processing such as calculations were not required. The results indicated that students with lower “visualization” skills, which include imagining a phenomenon based on presented sentences and drawing the phenomenon, were at risk for decline in “agency beliefs (effort).” It was also suggested that high control beliefs, agency beliefs (ability), and agency beliefs (teachers) were facilitated by acquiring a high degree of skills in making “physical descriptions,” such as the ability to add physical concepts to figures. Furthermore, there were more significant gender differences in control beliefs and agency beliefs (ability), as compared to the results of objective tests. It was also indicated that girls tended to make lower assessments of their learning achievements in physics than boys.

<Key words> field of physics, drawing diagrams, motivation, mental imagery, gender difference

資料1 作成した作図スキルテストの問題

可視化問題^{4,5)}

風がなく、雨がまっすぐ真下に落ちている日に、由美さんは時速 50 km で水平な道を走っている電車に乗っていました。電車の窓から外を見たところ、雨の雫は、地面から真上に真直ぐ引いた線と 30 度の角をなして進行方向から降ってくるように見えました。

電車が速度を上げ、時速 80 km に達したところ、雨の雫の角度が変わりました。またその後、駅に近づいたため速度を落とし、時速 20 km まで減速すると、さらに角度は変わりました。

さて、電車が時速 50 km で走っているとき、時速 80 km まで速くなったとき、時速 20 km まで遅くなったとき、由美さんから見える雨の雫の様子はそれぞれどのようなになっているでしょうか。窓から見える様子を、わかっている角度は書き込み、また角度の大小関係に注意し、さらに電車の進行方向がわかるように図に表してください。

問題 A

太郎くんは次郎くんは、回転している物体の働く力と運動について調べるため、ボール型のおもりに 40cm の糸をつないだものを用意しました (図 1)。

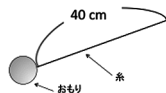
太郎くんは糸の端を指でつまみ、おもりを吊り下げて静止させました。その後、糸をつまんでいる指の位置をできるだけ固定し、おもりを下側に吊り下げたまま、太郎くんから見て反時計回りに、一定の速さでぐるぐる回らせました。

次郎くんはその様子を横から動かずに観察していました。するとはじめ静止していたときの糸と回転している糸との間の角度は、15 度であることに気づきました。

このときのおもりと糸の様子を、次郎くんから見た図と (横から観察した図) と、太郎くんから見た図 (上から観察した図) を描いてください。

ただしおもりが動いている方向と、わかっている長さや角度の情報は図に書き込んでください。

図 1

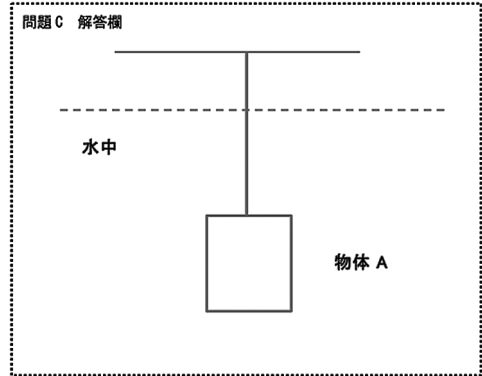


問題 B

物理学的描写問題

図のように糸でつながれている物体 A が水中で静止しています。また、この物体には重力が 5 N、浮力が 2 N はたらいています。

①この物体 A にはたらく全ての力を矢印で表してください。②このことからわかる物体 A にはたらく力の大きさを全て図に書き込んでください。

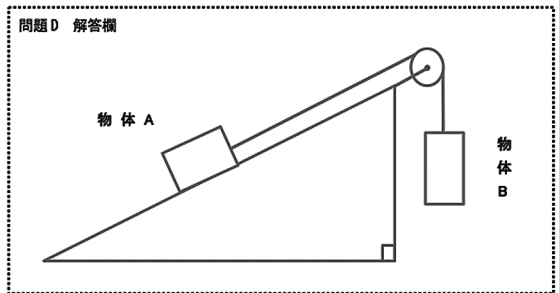


問題 C

下の図のように摩擦のないなめらかな斜面上に糸でつながれている物体 A を置き、糸を定滑車に通し、物体 B をつるしたところ、2 つの物体は静止しました。

①このときの物体 A と B にはたらく全ての力をそれぞれ矢印で示してください。また、斜面上の物体にはたらく力を、斜面に対して垂直な方向と水平な方向に分解してください。ただし、力の分解に使った補助線は残してください。

②また、物体 B には 5 N の重力がはたらいていました。このことからわかる物体 A、物体 B にはたらく力の大きさを全て図に書き込んでください。



問題 D

資料 2 各評価基準の通過率と期待信念との点双列相関係数 (可視化)

問題	評価基準	通過率 (%)	統制感	手段保有感		
				努力	能力	
問題 A	時速 50 km	A1. 電車の進行方向を定義されている	.14	.10	.02	-.02
		A2. 雨の雫と地面からの法線となす角が 30 度と示されている	.23	.10	.22	.09
		A3. 電車内から観察した雫の軌跡が電車の進行方向に対して適切である	.14	.16	.18	.03
	時速 80 km	A4. 電車の進行方向を定義されている	.13	.11	.06	-.02
		A5a. 角度が時速 50km の時よりも大きく示されている	.20	.15	.21	-.02
		A5b. 地面からの法線と雨の雫となす角が 30 度以上と示されている	.11	.05	.19	.05
	時速 20 km	A6. 電車内から観察した雫の軌跡が電車の進行方向に対して適切である	.16	.16	.20	.03
		A7. 電車の進行方向を定義されている	.15	.11	.06	-.02
		A8a. 角度が時速 50km の時よりも小さく示されている	.19	.14	.20	-.05
A8b. 地面からの法線と雨の雫となす角が 30 度以下と示されている		.15	.07	.20	.08	
A9. 電車内から観察した雫の軌跡が電車の進行方向に対して適切である		.16	.16	.20	.03	
B1. おもりに対して上側に糸の端が描かれている		.04	.19	.07	.12	
問題 B	次郎くん	B2. 糸が 40 cm と示されている	.08	.22	.10	.10
		B3. 反時計回りの運動の方向が図示されている	.26	.33	.17	.19
		B4. 法線と糸のなす角が 15 度と示されている	.12	.27	.11	.17
	太郎くん	B5a. 反時計回りの軌跡のみ示されている	.15	.20	.17	.17
		B5b. 反時計回りの軌跡が書かれておりその中心が糸の端になっている	.13	.16	.13	.15
		B6a. 次郎くんでは糸の長さが 40 cm と書かず、太郎くんでも回転半径がない	.08	.09	.12	.07
		B6b. 次郎くんでは糸の長さが 40 cm 書かれ、太郎くんでも回転半径がない	.14	.02	.16	-.04
		B6c. 回転半径が 40 cm 以下と示されている	.16	.07	.19	.05
		B6d. 回転半径が $10(\sqrt{6} - \sqrt{2})$ cm と示されている	.07	-.08	.09	-.03

資料3 各評価基準の通過率と期待信念との点双列相関係数（物理学的描写）

問題	評価基準	通過率 (%)	統制感	手段保有感	
				努力	能力
問題C 重力	C1. 重力の向きが適切である	97.1	.06	.09	.08
	C2. 重力の向きが適切かつ長さが浮力・張力と比べて適切である	93.1	.01	.04	.00
	C3. 重力の向きが適切かつ作用点が適切である	91.9	.12	.09	.07
	C4. 重力の大きさが5Nである	91.9	.03	.01	.03
	C5. 浮力の向きが適切である	94.2	.01	.02	-.03
	C6. 浮力の向きが適切かつ長さが浮力・張力と比べて適切である	79.8	.13	.02	.03
	C7. 浮力の向きが適切かつ作用点が適切である	31.2	.10	.00	.15
	C8. 浮力の大きさが2Nである	83.2	-.08	-.03	-.11
	C9. 張力の向きが適切である	39.9	.28	.18	.32
	C10. 張力の向きが適切かつ長さが浮力・張力と比べて適切である	34.7	.27	.09	.28
	C11. 張力の向きが適切かつ作用点が適切である	31.2	.26	.11	.23
	C12. 張力の大きさが3Nである	29.5	.33	.14	.36
問題D 物体A	D1. 重力が図示されており向きが適切である	69.9	.31	.13	.25
	D2. 重力が図示されており作用点が適切である	68.2	.34	.13	.26
	D3. 張力が図示されており向きが適切である	42.2	.20	.12	.22
	D4. 張力が図示されており向きが適切かつ5Nである	23.7	.14	.11	.18
	D5. 張力が図示されており向きが適切かつ作用点も適切である	33.5	.28	.14	.30
	D6. 抗力が図示されており向きが適切である	8.7	.25	.06	.26
	D7. 抗力が図示されておりかつ物体Aの重力より短く図示されている	8.1	.25	.06	.27
	D8. 抗力が図示されておりかつ作用点が適切である	8.1	.25	.06	.27
	D9a. 重力の分力が図示されており分力の向き・補助線が正しい	52.6	.34	.26	.38
	D9b. 重力の分力が図示されておりかつ斜面向方に5Nである	28.9	.37	.28	.41
	D10. 重力が図示されており向きが適切である	98.8	.14	.04	.12
	D11. 重力が図示されており向きが適切かつ5Nである	93.6	.13	.09	.19
問題B	D12. 重力が図示されており向きが適切かつ作用点も適切である	90.8	.18	.06	.06
	D13. 張力が図示されており向きが適切である	43.4	.14	.17	.22
	D14. 張力が図示されており向きが適切かつ5Nである	30.6	.18	.18	.28
	D15. 張力が図示されており向きが適切かつ作用点も適切である	34.1	.23	.22	.28
	D16. 張力が図示されており向きが適切かつ作用点も適切である				