

## 物理分野における作図スキルへの 心的イメージ能力の影響と有効な学習方略

原田 勇希<sup>1,2</sup>  
坂本 一真<sup>3</sup>  
鈴木 誠<sup>1</sup>

### 【要 約】

本研究は、物理分野における作図スキルと心的イメージ能力との関連を検討することと、心的イメージ処理に苦手さのある生徒が高い作図スキルを習得する上で有効な学習方略を検討することを目的とした。本研究は高校1年生 ( $n=80$ ) を対象に行われた。分析の結果、文章情報から物理現象を作図する「可視化」と、図中にベクトル情報などの物理学的概念や数値情報を記入する「物理学的描写」の両作図スキルとも、心的イメージの空間的操作能力による有意な影響が確認された。また、空間的操作能力が低い群において言語的符号化を使用するほど可視化得点が高い傾向があり、体制化方略を使用する生徒ほど物理学的描写得点が高い傾向があった。以上の結果より、心的イメージ能力は物理分野の作図スキルの個人差を説明する変数であるが、心的イメージの空間的操作が苦手な生徒であっても、適切な学習方略の活用によって作図スキルは醸成可能であることが示唆された。

【キーワード】 物理分野, 作図スキル, 心的イメージ, 空間的操作, 学習方略

### 1. はじめに

理科の中でも物理分野は苦手意識を持たれやすいことが知られている。川村 (1996) は中学校理科の各分野に対する好嫌の評価によって、物理分野に該当する学習内容が特に忌避されることを報告している。動機づけ変数に着目した研究は、中学校理科の物理分野に対する統制感が他分野より顕著に低いことを明らかにしている (原田・鈴木, 2018b; 原田・坂本・鈴木, 2018)。物理に苦手意識を持ちやすい原因には、「計算がある」ことが挙げられている (e.g., 大宮・奥村, 1994)。しかし、原田・坂本・鈴木 (2017) は、問題解答の初期に必要な数的処理が要求されない作図スキルが物理に対する期待信念 (主観的に認知された成功の見込みを指す動機づけ概念) のあらゆる側面と関連することを示した。このことから、物理分野に対する苦手意識には視覚的な心的イメージ

(以下、心的イメージ) を生成したり図示したりする定性的思考のつまずきが影響すると言える。

本研究では、心的イメージ能力の個人差と物理分野における作図スキルの関連を詳細に分析し、さらに心的イメージ処理に苦手さのある子どもはどのような学習方略を使用すると作図スキルの向上につながるかを検討する。

近年、認知心理学領域の研究によって、理科を含む STEM (Science Technology Engineering and Mathematics) 領域の学業達成やこうした分野に対する志向性を空間能力の個人差がかなり鋭敏に予測することが示されている (e.g., Shea, Lubinski & Benbow, 2001; Stavridou & Kakana, 2008; Wai, Lubinski & Benbow, 2009)。理科を細分化した各分野の学習と空間能力や視覚情報の保持と処理を担う視空間性ワーキングメモリ容量などとの関連は、化学 (Rhodes et al., 2016; Wu & Shah, 2004)、解剖学 (Guillot, Champley, Batier, Thirirt & Collet, 2007)、地学 (Black, 2005) など幅広い分野で検討されており、物理でも多くの研究が報告されている (e.g., Chen & Whitehead, 2009; Ganley, Vasilyeva & Dulaney, 2014; )

<sup>1</sup> 北海道大学大学院理学院

<sup>2</sup> 日本学術振興会特別研究員

<sup>3</sup> 紋別市立紋別中学校 (投稿時, 北海道大学大学院理学院)

Kozhevnikov, Hegarty & Mayer, 2002; Kozhevnikov, Motes, & Hegarty, 2007)。原田・鈴木 (2018a) は、ワーキングメモリの容量制約と理科4分野の統制感との関連について検討を行い、言語性ワーキングメモリによる影響を統制した上でも、空間性ワーキングメモリ容量の個人差が中学校理科の物理および地学分野の統制感を説明することを示している。また、物理分野は心的イメージの空間的操作に関わる個人差による統制感への影響力が理科の他分野と比較して強い (原田・鈴木, 2018b)。物理分野の学習では、公式の使用や演算の実行などの定量的思考だけでなく、定性的思考も重要であり (e.g., Chi, Feltovich & Glaser, 1981), こうした能力の個人差が物理分野の学業達成と関連することは自然だろう。また多くの先行研究では空間能力を、例えば心的回転課題 (Mental Rotation Test, MRT; Vandenberg & Kuse, 1978) などの心的イメージの空間的操作を求める認知課題によって評価し、物理分野の学習との関連を示している。このことから、物理分野の学習には心的イメージが重要な役割を果たしており、特に空間的操作に関わる能力の個人差が関連すると考えられる。

Kozhevnikov et al. (2002) と Kozhevnikov et al. (2007) では、心的イメージの空間的操作を要求する認知課題の遂行成績と物理学の問題解答との関連を実験的に検討している。その結果、2物体の速度を比較する問題、運動の方向を推論する問題、グラフ問題などあらゆる問題で関連性が検出された。彼女らは発話分析や視線解析などの結果を踏まえ、心的イメージの空間的操作が苦手なほど視空間性ワーキングメモリに厳しい容量制約があることに着目している。特に2次元平面上のベクトル情報を心的に保持・統合する場面で処理資源が枯渇しやすく、一方の成分を無視したり、誤った統合をしたりする可能性があると考えられている。

心的イメージの活用は物理分野における作図過程にも重要であると考えられる。Heller, Keith & Anderson (1997) のモデルでは問題解答の初期に要する作図に、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 (visualize) と、図中に力や運動の向きや大きさなどのベクトル情報や与えられた数値情報を記入する物理学的描写 (physics description) の2段階を想定している。原田ら (2017) は、これら両方の作図スキルが物理の期待信念と関連することを示し、作図過程でのつまずきが物理に対する苦手意識と関連することを報告している。しかし、これまでの研究で物理分野における作図スキルと個人の心的

イメージ能力との関連を分析した研究は見当たらない。もし、作図スキルに心的イメージ能力が関連するならば、心的イメージ処理の苦手さによって作図過程でつまずきを経験し、物理分野に対する期待信念が低下するというプロセスが間接的に成り立つ。心的イメージ能力が作図スキルに与える影響を検討することにより、物理分野に対する苦手意識が形成されるメカニズムの一端を明らかにできると期待される。この点において、心的イメージ能力が物理分野の作図スキルに与える影響を検討することは意義深いと考えられる。

さて、心的イメージには空間的操作以外にも、鮮明性や常用性、没入性の側面で個人差が存在する (畠山, 2001)。先行研究の知見を基にすると、空間的操作に関わる心的イメージ能力が物理分野における作図スキルと関連することが予想される。しかし、本研究ではより詳細に作図スキルとの関連を検討するため、心的イメージ能力を鮮明性と空間的操作性の側面から捉えることとする。

さらに、心的イメージ能力が低い生徒に対する有効な教育的介入の方法を検討する必要がある。心理学領域の研究の中には、空間能力をSTEM領域の才能発掘に活用できるという提案もある (e.g., Wai et al., 2009)。しかし、理科教育学の立場からは、心的イメージ処理に苦手さのある子どもに対する有効な指導方法を模索すべきだろう。本研究では、心的イメージ処理に苦手さがありながらも、高い作図スキルを保有している生徒が普段どのような学習方略を使用しているかを、相関分析をもとに検討する。その結果を受けて、心的イメージ処理に苦手さのある子どもに対する教育的支援の方法を議論する。

## 2. 本研究の目的

本研究では、物理分野における作図スキルへの心的イメージ能力の個人差による影響を分析することを目的1とする。

さらに作図スキルが心的イメージ能力と関連する場合には、心的イメージ処理に苦手さのある生徒が高い作図スキルを習得するために有効な学習方略を検討することを目的2とする。

## 3. 方法

### 3.1 参加者と実施時期

原田ら (2017) の研究では、平均的な学力層の生徒が多いと考えられる高校生を対象としていたため、単に知識がないために作図できなかったのか、作図過程で要求される心的イメージ処理に苦手さがあり

作図できなかったのかを判断できない。本研究は心的イメージ能力に着目するため、ある程度の知識の保有を前提にした上で個人差を分析する必要がある。そこで、卒業生の大学進学率が高く、比較的学力の高い生徒が多いと推測される高校の1年生を対象とする。

本研究は認知課題の実施に際して時間制御などの厳密な条件統制が求められるため、参加者や学校にかかる負担は単純な質問紙研究よりも大きい。そのため、協力校への十分な説明と研究協力の同意を得ると同時に、事前の検定力分析によって求められたサンプルサイズを参考にした例数設計が必要である。作図スキルと心的イメージ能力の相関係数(効果量)に関する報告はこれまでになく、先行研究に基づく推測ができないため、中程度の効果量とされる母相関係数 $\rho = .30$ を検出基準として採用した(水本・竹内, 2008; 大久保・岡田, 2012)。そして、危険率 $\alpha = 0.05$ 、検定力 $(1 - \beta) = 0.80$ の条件下での適切なサンプルサイズをG\*Power3 (Faul, Erdfelder, Lang & Buchner, 2007)によって求めた。分析の結果、 $(1 - \beta) > 0.80$ となるサンプルサイズは84名と求められた。

これらの事前の検討を基に、本研究は北海道内の比較的上位の学力を有する生徒が多いと考えられる公立高校1校の1年生80名(男子47名, 女子33名)を対象に実施した。実施時期は2016年6月であった。本研究の対象校では1年生で物理基礎を学習しておらず、物理分野の知識の保有状況は中学校卒業程度と考えられた。

## 3.2 測定変数

### 3.2.1 物理分野における作図スキルテスト

原田ら(2017)によって作成された力学分野における作図スキルテストを実施した。この作図スキルテストは、Heller et al. (1997)による物理における問題解答の段階モデルに基づき、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(問題A: 相対速度(進行する電車の窓から見た雨滴の運動の様子の作図, 11点), 問題B: 円運動(糸につないだおもりを吊り下げて円運動させた様子の作図, 10点))と、可視化された図中にベクトル情報や数値情報を視覚的に示す物理学的描写スキル(問題C: 重力と浮力(1次元上に存在する力の作図, 12点), 問題D: 斜面上の物体にはたらく力(分解を伴う2次元平面上に存在する力の作図, 16点))を測定するものである。このテストの問題は、すべて力学分野から構成されているため、得られた結果を物理分野全般に一般化することが難しい。そこで、原田ら(2017)の作成手順を踏まえ、可視化に1題(問題

E: 光の反射と屈折(13点)), 物理学的描写に1題(問題F: 電流と磁界(5点))を新たに追加した(付録)。評価基準は誤答分析によって決定され、各評価基準に0~1点を与えその合計を指標とした(可視化得点: 0-34, 物理学的描写得点: 0-33)。

### 3.2.2 心的イメージ能力

#### Vividness of Visual Imagery Questionnaire (VVIQ)

Marks (1973)によって作成されたVVIQの日本語版(菱谷, 2005)を使用した。この質問紙は鮮明性に関する心的イメージ能力を測定するものである。VVIQでは「よく会っている親類や友人」, 「日の出」, 「よく行く店」, 「田舎の風景」の4場面につき4項目ずつイメージを生成し、その鮮明度を「全くイメージが浮かばないで、ただ言われたことについて自分が考えているということが『わかっている』だけである(1)」から「完全にハッキリしていて、実物を見ているようである(5)」までの5段階で評定するものである。

VVIQは鋭敏とは言えないが(菱谷, 2005; 菱谷・西原, 2007), メタ分析により知覚・記憶課題との確かな相関が確認されている(Mckelvie, 1995)。近年ではVVIQで測定された鮮明性と認知課題遂行中の初期視覚領野の賦活強度との強い相関( $r = .73$ )が報告されており(Cui, Jeter, Yang, Montague & Eagleman, 2007), 神経心理学的な妥当性も有していると考えられている。

本番試行に先立って、イメージとはどのようなものであるか、またその鮮明度の判断基準などが教示され、練習試行を行った。本番試行ではイメージの生成および評定のペースは参加者に委ねられ、時間制御はしなかった。オリジナルのVVIQは得点が低いほど鮮明であるように得点化されるが、本研究では解釈が容易になるよう、得点が高いほど心的イメージの鮮明性が高いことを意味するように、得点を反転させた(得点幅: 16-80)。

#### Mental Rotation Test (MRT)

Vandenberg & Kuse (1978)による紙筆版のMRTを実施した。この課題は空間的操作性に関する心的イメージ能力を測定するものである。各問題の左側に標的刺激があり、その右側には4つの選択肢があった。選択肢は、回転させると標的刺激と一致する正刺激2つと回転しても標的刺激と一致しない誤刺激2つから構成されていた。参加者は正刺激をできるだけ早く、できるだけ正確に選ぶことが求められた。

本番試行に先立って、MRTの説明と練習試行が行



われ、不明な点がないことを確認したのちに実施された。MRTの1セットは10題で構成され、2セット実施した。選択された正刺激の総数をMRTの得点とした(得点幅：0-40)。

### 3.2.3 物理分野の学習方略測定尺度

鈴木(1999)によって作成された理科学習用学習方略測定尺度を物理分野の学習に適合するように微修正して実施した。回答は「まったくあてはまらない(1)」から「よくあてはまる(4)」までの4件法で求めた。

数ある学習方略測定尺度の中から鈴木(1999)を使用した理由は以下2点である。1つ目は、多くの尺度が特定の教科によらない学習一般の文脈で測定しているのに対し、本尺度は理科教育の文脈に適合した尺度として開発されているためである。学習方略に対する有効性の認知や使用傾向は教科によって異なるため(押尾, 2017)、理科に限定した測定尺度を使用すべきである。2つ目は、本尺度を構成する3因子(リハーサル方略、精緻化方略、体制化方略)には下位概念として「暗唱」、「模写」、「ノート化・下線引き」、「イメージ化」、「言語的符号化」、「要約・ノート化」、「群化」、「概略化」の8つが想定されており、作図スキル獲得に貢献する学習方略の具体的な分析ができると考えられるためである。そのため、本尺度は他の理科教育用学習方略測定尺度(例えば、足達・岡村・鈴木・草場, 2017)よりも本研究の目的に適合していると考えられる。

しかし一方で、この尺度は作成時点に十分な内的整合性を確認できていないとは言えない( $\alpha = .62-.71$ )。その理由は上位概念となる各学習方略因子に複数の下位概念を包含したためと推察される(i.e. 帯域幅と忠実度のジレンマ; Cronbach & Gleser, 1965; 村山, 2012)。また、これらの下位概念の中には物理分野の学習方略としては不適合だと思われるものも存在している。そこで、本研究では再度内的整合性の推定を行い、不十分であった場合は下位尺度ごとに因子分析を行う。それにより因子負荷量が低い項目を同定し、かつ項目の意味的側面を吟味して必要に応じて分析から除外して作図スキル獲得に有効な学習方略を分析する。

### 3.2.4 物理分野における基礎知識テスト

本研究における前提条件の成立を確認するため、基礎知識の保有を本テストによって確認した。本テストで問われた知識は、全て作図スキルテストでの正しい解答に必要な最低水準の知識であった。具体

的には、重力(中心が作用点となり、下向きに働くことを知っているか)、力の分解(平行四辺形の法則に基づき適切に分解できるか)、磁界の向き(直線電流によって生じる磁界の向きがわかるか)、光の屈折方向など8問で構成されていた。制限時間は3分であった。解答に先立ち、わからない問題は飛ばしてよいことが教示された。本テスト得点がほぼ満点であった場合、基礎知識の保有に関する前提条件が満たされていると判断する(得点幅：0-8)。

### 3.3 手続き

本研究は対象校の許可を得た上で授業中に実施された。研究実施に要した時間は説明等を含め約45分であった。実施順序はVVIQ(時間制御なし)、MRT(3分×2セット)、可視化テスト(3題・12分)・物理学的描写テスト(3題・8分)、基礎知識テスト(8題・3分)、学習方略測定尺度(時間制御なし)であった。

研究の実施に先立ち、参加者には本研究の結果が成績に関係しないこと、個人情報を守られることが説明され、全員から研究協力の同意を得た。

## 4. 結果

### 4.1 基礎知識の保有状況の確認

物理分野における基礎知識テストの基本統計量を参照すると、全体として基礎知識は保有していると判断できる水準であった( $Mean = 7.75$ ,  $SD = 0.49$ ,  $Q1 = Median = Q3 = 8.00$ )。そのため、本研究の前提条件である基礎知識の保有は確認されたと判断した。

### 4.2 各測定変数の信頼性の推定

各測定変数の内的整合性を $\omega$ 係数によって推定した。まず、作図スキルテストでは可視化得点( $\omega = .91$ )、物理学的描写得点( $\omega = .84$ )ともに内的整合性は十分と判断される水準であった。このことから、新たな問題を追加した本研究においても両テストとも十分な内的整合性を維持したと判断した。またVVIQの内的整合性も高かった( $\omega = .87$ )。

学習方略測定尺度の各下位尺度の内的整合性は、リハーサル方略( $\omega = .58$ )、精緻化方略( $\omega = .64$ )、体制化方略( $\omega = .68$ )の全てで十分とは言えない水準であった。そこで、それぞれの下位尺度ごとに因子分析を行い(主因子法)、尺度の再構成を行った。リハーサル方略は固有値の減衰状況(1.82, 1.17, 1.00...)と解釈可能性から1因子構造であることが推測された。因子数を1に固定して再度分析を行ったところ、3項目の因子負荷量が.35を下回り、かつ記憶が主体でない物理分野の学習方略としては不

自然だと考えられた（項目例：わたしが物理の用語を覚えるときは、心の中でそれを繰り返すようにしています）。そのため残る2項目を以降の分析で使用することとし、因子名を「模写方略」とした。精緻化方略は3因子構造であることが推測され（固有値：2.16, 1.53, 1.28, 0.45, 0.42…），因子数を3に固定して分析を行ったところ「記憶想起・イメージ化」<sup>1)</sup>、「言語的符号化」，「要約・ノート化」の3因子6項目が採択された。体制化方略は1因子構造であると推測され（固有値：2.38, 1.07, 0.92…），因子数を1に固定して分析を行ったところ，2項目の

因子負荷量が.35を下回った。意味的側面を確認すると，学習内容に対する情報処理の深さとは異なる項目であった（項目例：物理の勉強をするとき，わたしは学習する内容の順序を決めてから進めています）。そのためこれらの項目を分析から除外し，因子名を「体制化方略」とした。残った全下位尺度の質問項目に対し因子分析（主因子法・斜交プロクラステス回転）を行った結果，それぞれの因子に対する負荷量はすべて.35を上回っていた（表1）。さらに $\omega$ 係数の値が十分であったことから，一定の内的整合性がある尺度に再構成できたと判断した。以降の

表1 学習方略測定尺度の因子分析結果（主因子法・斜交プロクラステス回転）

項目	Mean	(SD)	F1	F2	F3	F4	F5	$h^2$
<b>F1：模写方略 (<math>\omega=.87</math>)</b>								
4. わたしが物理の勉強をするときは，何かに書きながら進めています	3.15	(0.81)	<b>.98</b>	.02	.10	-.10	.07	1.00
7. 物理の用語を覚えるとき，わたしは何かに書き写しながら勉強しています	2.76	(0.93)	<b>.77</b>	-.04	-.09	.15	-.08	.61
<b>F2：記憶想起・イメージ化 (<math>\omega=.79</math>)</b>								
5. わたしは前に習ったことを思い出しながら，物理の勉強を進めています	3.11	(0.73)	.06	<b>.81</b>	-.09	.05	.05	.72
2. 物理の勉強をするとき，わたしはその内容を頭の中に思い浮かべながら進めています	3.18	(0.71)	-.09	<b>.65</b>	-.12	-.10	.35	.60
<b>F3：言語的符号化 (<math>\omega=.80</math>)</b>								
11. 物理の勉強を進めるとき，わたしは何かにたとえてその内容を覚えるようにしています	2.50	(0.87)	-.04	-.11	<b>.98</b>	-.04	.19	.92
8. わたしが物理の用語を覚えるとき，学習する内容を別の言葉におきかえて勉強しやすくしています	2.24	(0.80)	.05	-.10	<b>.65</b>	-.06	.08	.38
<b>F4：要約・ノート化 (<math>\omega=.85</math>)</b>								
14. 物理の試験前に，わたしはノートを自分なりにまとめ直して勉強しています	2.40	(1.09)	.01	.14	.02	<b>.84</b>	.04	.82
16. 物理の勉強をするとき，わたしは教科書やワークの内容をノートにまとめています	2.30	(0.97)	.04	-.19	-.12	<b>.78</b>	.19	.67
<b>F5：体制化方略 (<math>\omega=.76</math>)</b>								
3. わたしが物理の勉強をするときは，同じ内容をまとめて覚えるようにしています	3.01	(0.61)	.02	-.10	-.13	-.04	<b>.94</b>	.83
6. 物理の勉強では，わたしは似たような内容をグループに分けて進めています	2.56	(0.76)	-.01	.20	.17	.17	<b>.43</b>	.44
17. わたしが物理の勉強をするときは，今まで習ったことと頭の中であれこれ結びつけるようにしています	3.08	(0.73)	.03	.32	.12	-.15	<b>.41</b>	.39
15. わたしが物理の勉強をするときは，その内容の大すじをまとめるようにしています	2.60	(0.70)	-.05	.06	.18	.32	<b>.39</b>	.41
因子間相関			F2	.40				
			F3	.09	.33			
			F4	.15	.24	.17		
			F5	.12	.38	.04	.27	

注) 下位尺度ごとの因子分析によって見出された因子構造をターゲットとし，負荷量1.00を指定した斜交プロクラステス回転を行った。

表2 測定変数の基本統計量と相関係数 (n = 80)

	Mean	(SD)	$\omega$	1	2	3	4	5	6	7	8
物理分野における作図スキル											
1 可視化得点	22.73	(6.22)	.91	—							
2 物理学的描写得点	22.40	(5.01)	.84	.30**	—						
心的イメージ能力											
3 VVIQ (鮮明性)	60.13	(9.84)	.87	.04	.11	—					
4 MRT (空間的操作性)	27.84	(6.89)	—	.24*	.35**	.08	—				
学習方略 (因子得点)											
5 模写方略	0.00	(1.00)	—	.09	-.17	.38**	-.22	—			
6 記憶想起・イメージ化	0.00	(0.90)	—	.29**	.05	.40**	-.01	.45**	—		
7 言語的符号化	0.00	(0.96)	—	.14	-.04	-.01	-.11	.09	.35**	—	
8 要約・ノート化	0.00	(0.93)	—	.00	-.15	.10	-.04	.14	.28*	.18	—
9 体制化方略	0.00	(0.94)	—	-.01	.14	.21	.16	.13	.45**	.07	.31**

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

分析には得られた因子構造の情報を反映させるため、因子得点を使用する。

### 4.3 各測定変数の基本統計量と相関分析

各測定変数の基本統計量と Pearson の積率相関係数を表2に示す。作図スキルと心的イメージ能力の関連では、両作図スキルとも鮮明性の指標である VVIQ と有意な相関はなかった。それに対し、空間的操作性の指標である MRT は可視化得点 ( $r = .24, p = .03$ )、物理学的描写得点 ( $r = .35, p = .001$ ) ともに有意な正の相関があった。各作図スキルと MRT の散布図と回帰直線を図1、図2に示す。散布図と単回帰分析の結果を参照すると、統計的に確かな影響力は認められる (可視化得点:  $\beta = .24, p = .03, R^2 = .12$ )<sup>2)</sup>。しかし効果量の判断基準 (水本・竹内, 2008) に照らすと分散説明率は小から中程度であっ

た。このことから、心的イメージの空間的操作が苦手であれば作図スキルも必ず低く、また空間的操作が得意であれば作図スキルも必ず高いと言えるほど強力な影響ではないと推察される。

作図スキルと学習方略の関連では、可視化得点と記憶想起・イメージ化のみ有意な相関が認められたものの ( $r = .29, p = .01$ )、それ以外の学習方略との関連は見出されなかった。

次に可視化スキル (問題 A, B, E)、物理学的描写スキル (問題 C, D, F) の各小問の得点と心的イメージ能力との Pearson の積率相関係数を算出した。その結果、VVIQ はどの小問とも有意な相関を示さなかった。それに対し、MRT は可視化、物理学的描写の各小問と有意な相関を示した。具体的に述べると、可視化の問題 A (相対速度 ( $Mean = 7.63, SD = 2.87$ )):  $r = .02, p = .84$ )、問題 E (光の反射と屈折 ( $Mean = 10.00, SD = 3.17$ )):  $r = .21, p = .06$ ) と有意な相関は

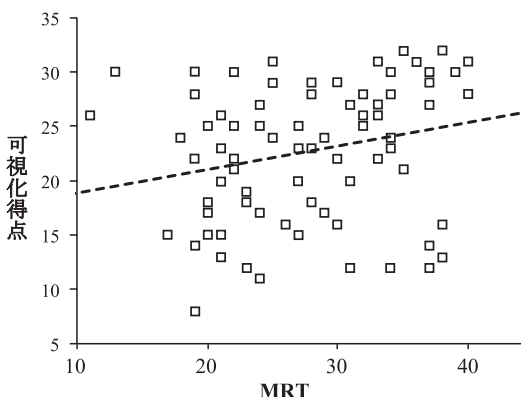


図1 可視化得点と MRT の関連性

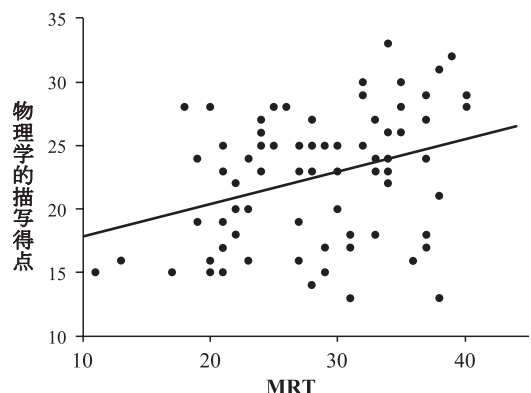


図2 物理学的描写得点と MRT の関連性

なかったが、問題 B (円運動 ( $Mean = 5.10, SD = 2.21$ ):  $r = .34, p = .002$ ), とは有意な相関があった。また、物理学的描写の問題 C と有意な相関はなかったが (重力と浮力 ( $Mean = 9.10, SD = 2.36$ ):  $r = .11, p = .35$ ), 問題 D (斜面上の物体にはたらく力 ( $Mean = 9.69, SD = 3.29$ ):  $r = .34, p = .002$ ), 問題 F (電流と磁界 ( $Mean = 3.61, SD = 1.41$ ):  $r = .27, p = .01$ ) とは有意な正の相関があった。

#### 4.4 空間的操作能力低群における有効な学習方略

MRT の平均値を基準として高群 ( $n = 42, Mean = 33.45, SD = 3.49$ ) と低群 ( $n = 38, Mean = 21.63, SD = 3.55$ ) に分類した。Welch の検定の結果、可視化得点 (高群:  $Mean = 24.26, SD = 6.10$ ; 低群:  $Mean = 21.03, SD = 5.98$ ), 物理学的描写得点 (高群:  $Mean = 23.43, SD = 5.35$ ; 低群:  $Mean = 21.26, SD = 4.38$ ) の両方とも MRT 群による差があり (可視化得点:  $t(77.48) = 2.39, p = .02, d = 0.53$ ; 物理学的描写得点:  $t(77.27) = 1.99, p = .05, d = 0.44$ ), 効果量はおよそ中程度の差と解釈される水準であった。その上で、MRT 低群における作図スキル獲得に有効な学習方略を同定するため、Pearson の積率相関係数を算出した (表 3)。

可視化得点では、高群において記憶想起・イメージ化と有意な正の相関があった ( $r = .32, p = .04$ )。低群では有意ではなかったものの、およそ中程度の効果量と解釈できる相関があった ( $r = .28, p = .08$ )。また低群の生徒では言語的符号化の学習方略を使用するほど可視化得点が高かった ( $r = .31, p = .05$ )。物理学的描写得点では、低群のみ体制化方略と得点の間に有意な正の相関があった ( $r = .44, p = .006$ )。

## 5. 考察

本研究の目的は、物理分野における作図スキルと心的イメージ能力との関連を分析することと、心的イ

メージ処理に苦しさのある生徒が高い作図スキルを習得する上で有効な学習方略を検討することであった。

作図スキルと心的イメージの鮮明性との関連は認められなかった。基礎心理学研究で学習や記憶を扱った先行研究によって、鮮明な心的イメージは長期記憶課題の成績を高めることが示されているが (e.g., 菱谷, 1982; McKelvie, 1995), 作図スキルではこのような恩恵は検出されなかった。この結果から物理分野の問題解答に求められる作図過程において、知覚的な情報量に富んだ鮮明度の高い心的イメージの生成は不要であることが示されたと言える。

一方で、心的イメージの空間的操作能力は両作図スキルと有意な相関があった。この結果は空間能力や視空間性ワーキングメモリ容量が物理分野の学業達成を説明することを示した多くの先行研究と一致する。心的イメージの空間的操作に優れる個人の心的表象は、3次元ユークリッド空間の物理的な位置関係や計量情報が正確に反映されている可能性があり (Denis & Cocude, 1997; Richardson, 1999 宮脇訳, 2002), こうした正確な心的表象は作図にとって有益だろう。

Kozhevnikov et al. (2002) や Kozhevnikov et al. (2007) の考察によると、心的イメージの空間的操作能力が低い者ほど、2次元平面上でのベクトル成分を処理する際に視空間性ワーキングメモリの容量制約による誤りが生じやすい。本研究でも斜面上にはたらく力 (2次元平面) の作図を求めた問題 D と心的イメージの空間的操作能力との間に有意な相関を検出しており、彼女らの考察と整合する。一方、1次元上に存在する力の作図のみを求めている問題 C において同様の相関は検出されなかった。この結果から、1次元上のベクトル成分に関する処理では、視空間性ワーキングメモリへの負荷が小さく、心的イメージの空間的操作に苦しさがあってもある程度適切に作図することが可能であるが、2次元平面上

表 3 各群における作図スキルと学習方略の相関係数

学習方略	MRT 高群 ( $n = 42$ )				MRT 低群 ( $n = 38$ )			
	Mean	(SD)	相関分析		Mean	(SD)	相関分析	
			可視化得点	物理学的描写得点			可視化得点	物理学的描写得点
模写方略	-0.18	(1.00)	.06	-.26	0.20	(0.97)	.27	.03
記憶想起・イメージ化	0.00	(0.93)	.32*	.03	0.00	(0.88)	.28	.09
言語的符号化	-0.10	(1.00)	.07	.13	0.11	(0.91)	.31*	-.25
要約・ノート化	0.04	(0.91)	-.05	-.15	-0.04	(0.97)	.04	-.19
体制化方略	0.06	(0.97)	-.02	-.09	-0.07	(0.90)	-.05	.44**

注) 学習方略の基本統計量は因子得点による。

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



での処理になると負荷が増大し、作図過程でのつまずきが誘発されるものと考えられる。

物理分野の問題解答における作図過程に注目した先行研究によると、たとえ数的処理が一切要求されない作図スキルであっても物理分野に対する期待信念を説明することが明らかにされている（原田ら、2017）。この知見と本研究の結果を総合すると、心的イメージの空間的操作が苦手な生徒ほど問題解答の作図過程でつまずきを体験しやすく、そのつまずきによって物理分野の期待信念が低下し苦手意識が形成されると考えられる。

しかし、作図スキルへの心的イメージの空間的操作能力の影響は有意であったものの、その効果量は大きいと解釈される水準ではなかった。また、MRT低群において両作図スキル得点と有意な相関を持つ学習方略が同定され、学習方略に対する教育的介入が有効である可能性が見出された。

MRT低群では言語的符号化を学習時に採用している生徒ほど可視化得点が高かった。この機序には、心的イメージ処理などの視空間的な情報処理を担う視空間性ワーキングメモリと言語性ワーキングメモリの処理資源が独立していることが考えられる（e.g., Shah & Miyake, 1996）。そうであるならば、心的イメージ処理に苦手さがある生徒が言語による命題的思考によって問題解答に当たることは、相対的に得意な認知的処理を活用した適応的な方略であると言えるだろう。また、可視化得点と記憶想起・イメージ化との相関は有意でなかったものの、中程度の効果量が検出された。物理分野の学習では数値を公式に当てはめる数的処理を行うだけでなく、日頃の学習の様子を思い浮かべたり、現象のイメージを活用したりするほど、実際に作図が求められる場面で適切に対処できる可能性がある。しかしながら、有意水準には達していないため、追試によってより確かな証拠が提出されることが求められる。

また、MRT低群では体制化方略を使用するほど物理学的描写得点が高く、その効果量は $r=.44$ と比較的大きかった。体制化方略は、要素同士の関係性や規則に基づいて内容を関連づける学習方略であり（鈴木、2012）、精緻化方略と同じく「深い処理方略」とされている（e.g., 梅本、2013）。体制化方略を使用する生徒の知識構造は深い意味処理がなされ、関連する概念同士がネットワーク状に関連づけられていると考えられる。記憶の活性化拡散モデル（Collins & Loftus, 1975）を参考にすると、知識構造が適切かつ密にネットワーク化されている生徒は、一つの物理学的概念を作図すると自動的に関連した概念が活性

化されるために、後続の作図処理に有利である可能性がある（例1：斜面上の物体に働く重力を作図する→それと関連した「力の分解」に関わる知識が活性化する→分解した様子が作図できる；例2：机上の物体に働く重力を作図する→それと関連した「垂直抗力」に関わる知識が活性化する→物体に働く垂直抗力が作図できる）。MRT低群で体制化方略の恩恵が顕著であったのは、心的イメージ処理が苦手であっても、深い処理方略を使用した学習によって構築された知識を活用することで、適切な作図が促進されることを示唆している。一方で、MRT高群において体制化方略と作図スキルがほぼ無相関であった背景は、心的イメージの空間的操作が得意である場合、本作図スキルテストの難度では比較的容易に心的イメージを生成・活用できたために、深い処理方略の恩恵が検出されなかったものと推測される。

これらの本研究で得られた結果を総合すると、心的イメージの空間的操作能力は作図過程で要求される認知的処理の基盤ではあるものの、個人の学習方略によって作図スキルの醸成が可能であると考えられる。

本研究の結果から導出できる教育的示唆を以下に述べる。まず、物理分野における作図スキルには心的イメージの空間的操作能力が影響することを教師が認識する必要がある。図の活用は問題解答に非常に効果的であることが知られているため（e.g., Larkin & Simon, 1987）、教師は図を描いて考えるよう促す機会が多いと思われる。しかし、作図が不十分な解答を見た際に、「作図をしていない」のではなく、心的イメージに関わる認知特性の個人差によって「作図過程そのものに苦手さがある」可能性を考慮することが必要だろう。

その上で本研究の結果から、心的イメージの空間的操作に苦手さがある子どもに対する効果的な指導方法として、学習方略への介入を提案できる。まず、心的イメージの空間的操作に苦手さがある生徒にとって、言語的符号化を活用した学習方略が有効である可能性が見出された。そのため、生徒の認知特性を見極めながら、言語的処理を積極的に行う学習方略を推奨することが有効である可能性がある。さらに、体制化方略の使用は空間的操作が苦手な生徒の物理学的描写スキル獲得に大きく貢献している可能性が示された。心的イメージの空間的操作が苦手な生徒に対しては、これまでに学習した物理学的概念を相互に関連づけ深い理解に至るような学習方略を推奨していくことが重要だろう。こうした学習方略の活用によって獲得された密な知識ネットワークは、問題解答時に関連する物理学的概念の連想を助け、適切な作図を可能にするものと思われる。



## 6. 本研究のまとめと今後の課題

本研究の結果より、物理分野における作図スキルには心的イメージの空間的操作能力が影響することが明らかになった。一方でその影響力は強いと解釈される水準ではなく、教育的介入によるスキル醸成の余地を残すものと解釈された。さらに相関分析の結果、心的イメージの空間的操作が苦手な生徒では、言語的符号化、体制化方略の使用がスキルの獲得と関連することが示唆された。

本研究の目的2として位置づけられた有効な学習方略の検討は、作図スキルテストと心理尺度の相関分析によって行った探索的研究(exploratory study)であった。すなわち有効な学習方略を明確に結論づけるためには以下2点を考慮した後続研究が必要である。

1点目は危険率 $\alpha$ を厳密に制御した上で行われる検証的研究(confirmatory study)である。近年、心理学領域における研究の再現可能性が議論され(e.g., レビューとして、池田・平石, 2016)、仮説検定における $\alpha$ や $p$ 値の扱いについて見直す動きがある。探索的研究では検定の多重性が問題となり、ファミリーワイズの $\alpha$ を意図せず上げてしまう。そのため見出された重要な結果は、検証的研究によって再度検討されなければならない(e.g., Bender & Lange, 2001)。

2点目は学習方略の使用および介入が因果的に作図スキルを向上させるかを検討する縦断的研究である。1時点でのデータに基づく相関分析では因果を断定できない。今後は心的イメージの空間的操作に苦しさがある子どもに対する介入研究を行い、その効果を縦断的研究の分析手法によって検証される必要がある。

また、本研究の主たる目的は心的イメージ能力と作図スキルの関連を検討することであったため、学習方略測定尺度を新たに作成することはせず、先行研究の成果をほぼそのままの形で使用した。その結果、オリジナルの因子構造を想定した分析では十分な信頼性が得られなかった。今後の研究では科学的手続きによる物理分野の学習に有効な学習方略の同定と測定尺度の開発が望まれる。

## 註

- 1) 鈴木(1999)は、本研究でも使用した2項目を精緻化方略の下位概念として「イメージ化」と名づけている。しかし、構成する項目を参照すると、「習った学習内容を振り返ったり思い出したりしながら勉強を進める」という解釈が妥当であり、「イメージ化」とい

う因子名は適していないと考えられた。しかしながら、「内容を頭の中に思い浮かべ」る傾向を尋ねる項目表現があることや、心的イメージ能力の鮮明性の指標であるVVIQと比較的強い相関( $r=.40, p<.001$ )があることを鑑みると、何らかのイメージ処理を反映しているものと推察される。そこで、本研究では「記憶想起・イメージ化」と命名した。

- 2) 心的イメージの空間的操作能力(e.g., Kimura, 1999 野島・三宅・鈴木訳, 2001; Voyer, Voyer & Bryden, 1995)および物理分野の動機づけ(e.g., 原田ら, 2017, 2018; Ogura, 1995)には男子の方が女子よりも高い性差があることから、MRTが作図スキルに与える影響を単回帰分析で検討すると、性差のある他変数による影響が交絡する可能性が考えられた。そこで単回帰分析と同時に、性別のダミー変数(男子:0, 女子:1)を統制変数としてStep1に投入し、Step2にMRTを投入する階層的重回帰分析も行った。

その結果、可視化得点ではStep1のモデルが非有意であり( $R^2=.00, p=.77$ )、Step2のモデル( $R^2=.06, \Delta R^2=.06, p=.03$ )およびMRTによる影響( $\beta=.27, p=.03$ )が有意であった。

物理学的描写得点ではStep1のモデル( $R^2=.09, p=.01$ )および性別による影響( $\beta=-.30, p=.01$ )が有意であり、かつStep2のモデル( $R^2=.16, \Delta R^2=.06, p=.02$ )とMRT( $\beta=.27, p=.02$ )による影響が有意であったが、性別( $\beta=-.19, p=.09$ )による影響が有意でなくなった。

両作図スキルとも性別の影響を統制した上でもMRTの影響力が確認されたことから、本研究の結論は性別が交絡した結果ではないと判断できる。

## 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、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、本論文の完成を待たずして逝去された北海道教育大学函館校の鶴岡森昭特任准教授からは、理科教育学“研究者”のクールな視座、および30年以上多くの子ども達と向き合ってきた“情熱的な教師”のホットな視座から数多くのご指導を賜りました。鶴岡特任准教授のご指導なくして本研究の完成はありませんでした。著者一同、心より深く感謝申し上げます。

## 付記

本研究は、日本教育工学会第32回全国大会(2016年9月:大阪大学)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

- 足達慶暢・岡村華江・鈴木達也・草場実（2017）「理科学習場面における動機づけモデルに関する基礎的研究（Ⅰ）—メタ認知の調整効果—」『高知大学教育学部研究報告』第77号，71-78.
- Bender, R., & Lange, S. (2001). Adjusting for multiple testing—when and how?. *Journal of clinical epidemiology*, 54(4), 343-349.
- Black, A. (2005). Spatial ability and earth science conceptual understanding. *Journal of Geoscience Education*, 53(4), 402-414.
- Chen, W.C., & Whitehead, R. (2009). Understanding physics in relation to working memory. *Research in Science & Technological Education*, 27(2), 151-160.
- Chi, M.T., Feltovich, P.J., & Glaser, R. (1981). Categorization and representation of physics problems by experts and novices. *Cognitive science*, 5(2), 121-152.
- Collins, A.M., & Loftus, E.F. (1975). A spreading-activation theory of semantic processing. *Psychological review*, 82(6), 407-428.
- Cronbach, L.J., & Gleser, G.C. (1965). *Psychological tests and personnel decisions*. Urbana: University of Illinois Press.
- Cui, X., Jeter, C.B., Yang, D., Montague, P.R., & Eagleman, D.M. (2007). Vividness of mental imagery: individual variability can be measured objectively. *Vision research*, 47(4), 474-478.
- Denis, M., & Cocude, M. (1997). On the metric properties of visual images generated from verbal descriptions: Evidence for the robustness of the mental scanning effect. *European Journal of Cognitive Psychology*, 9(4), 353-380.
- Faul, F., Erdfelder, E., Lang, A.G., & Buchner, A. (2007). G\*Power 3: A flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences. *Behavior research methods*, 39(2), 175-191.
- Ganley, C.M., Vasilyeva, M., & Dulaney, A. (2014). Spatial ability mediates the gender difference in middle school students' science performance. *Child development*, 85(4), 1419-1432.
- Guillot, A., Champley, S., Batier, C., Thiriet, P., & Collet, C. (2007). Relationship between spatial abilities, mental rotation and functional anatomy learning. *Advances in Health Sciences Education*, 12, 491-507.
- 原田勇希・坂本一真・鈴木誠（2017）「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」『理科教育学研究』第58巻，第1号，65-80.
- 原田勇希・坂本一真・鈴木誠（2018）「いつ、なぜ中学生は理科を好きでなくなるのか？—期待—価値理論に基づいた基礎的研究—」『理科教育学研究』第58巻，第3号，319-330.
- 原田勇希・鈴木誠（2018a）「理科4分野の統制感と言語性—空間性ワーキングメモリ容量の関連」『日本教育工学会論文誌』第41巻（Suppl.），25-28.
- 原田勇希・鈴木誠（2018b）「心的イメージ処理特性が中学校理科の期待信念に及ぼす影響」『日本教育工学会論文誌』第41巻，第4号，315-327.
- 畠山孝男（2001）「イメージの個人差をめぐる諸問題」菱谷晋介（編）『イメージの世界』ナカニシヤ出版，267-293.
- Heller, P., Keith, R., & Anderson, S. (1997). Teaching problem solving through cooperative grouping (Part 1): Group versus individual problem solving. *MAA NOTES*, 159-172.
- 菱谷晋介（1982）「記憶におよぼすイメージ能力と課題特性の関連性の効果」『教育心理学研究』第30巻，第1号，22-28.
- 菱谷晋介（2005）「イメージと認知・感情」菱谷晋介・田山忠行（編著）『心を測る』，千代田出版，125-142.
- 菱谷晋介・西原進吉（2007）「ワーキングメモリのモデルと信号検出理論に基づいたイメージ鮮明度査定能力の測定」『認知心理学研究』第4巻，第2号，103-115.
- 池田功毅・平石界（2016）「心理学における再現可能性危機：問題の構造と解決策」『心理学評論』第59巻，第1号，3-14.
- 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.
- 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，53-82.)
- Kozhevnikov, M., Hegarty, M., & Mayer, R.E. (2002). Visual/spatial abilities in problem solving in physics. In Anderson, M., Meyer, B., Olivier, P. (Eds.). *Diagrammatic Representations and Reasoning*, Springer-Verlag, 155-173.
- Kozhevnikov, M., Motes, M.A., & Hegarty, M. (2007). Spatial visualization in physics problem solving. *Cognitive Science*, 31(4), 549-579.
- Larkin, J.H., & Simon, H.A. (1987). Why a diagram is (sometimes) worth ten thousand words. *Cognitive science*, 11(1), 65-100.
- Marks, D.F. (1973). Visual imagery differences in the recall of pictures. *British Journal of Psychology*, 64(1), 17-24.
- McKelvie, S.J. (1995). The VVIQ as a psychometric test of individual differences in visual imagery vividness: A critical quantitative review and plea for direction. *Journal of Mental Imagery*, 19, 1-106.
- 水本篤・竹内理（2008）「研究論文における効果量の報告のために—基本的概念と注意点—」『関西英語教育学会

- 紀要 英語教育研究』第31巻, 57-66.
- 村山航 (2012) 「妥当性概念の歴史の変遷と心理測定学的観点からの考察」『教育心理学年報』第51巻, 118-130.
- Ogura, Y. (1995). Development of Interests in Science and the Influences of Gender and Parent. 『科学教育研究』第19巻, 第3号, 172-180.
- 大久保街亜・岡田謙介 (2012) 『伝えるための心理統計: 効果量・信頼区間・検定力』勁草書房
- 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.
- 押尾恵吾 (2017) 「高等学校の教科における学習方略の横断的検討」『教育心理学研究』第65巻, 第2号, 225-238.
- Rhodes, S.M., Booth, J.N., Palmer, L.E., Blythe, R.A., Delibegovic, M., & Wheate, N.J. (2016). Executive functions predict conceptual learning of science. *British Journal of Developmental Psychology*, 34(2), 261-275.
- Richardson, J.T. (1999). *Imagery*. Psychology Press Ltd., a member of the Taylor & Francis group. (ジョン・T・E. リチャードソン. 宮脇郁 (訳) (2002) 「内的表象としてのイメージ」西本武彦 (監訳) 『イメージの心理学心の動きと脳の働き』早稲田大学出版部, 41-96.)
- Shah, P., & Miyake, A. (1996). The separability of working memory resources for spatial thinking and language processing: an individual differences approach. *Journal of experimental psychology: General*, 125(1), 4-27.
- 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), 604-614.
- Stavridou, F., & Kakana, D. (2008). Graphic abilities in relation to mathematical and scientific ability in adolescents. *Educational Research*, 50(1), 75-93.
- 鈴木誠 (1999) 「理科の学習場面における自己効力感, 学習方略, 学業成績に関する基礎的研究」『理科教育学研究』第40巻, 第1号, 11-23.
- 鈴木誠 (2012) 『「ボクにもできる」がやる気を引き出す一学力を捉え, 伸ばすための処方箋—』東洋館出版社
- 梅本貴豊 (2013) 「メタ認知的方略, 動機づけ調整方略が認知的方略, 学習の持続性に与える影響」『日本教育工学会論文誌』第37巻, 第1号, 79-87.
- Vandenberg, S.G., & Kuse, A.R. (1978). Mental rotations, a group test of three-dimensional spatial visualization. *Perceptual and motor skills*, 47(2), 599-604.
- Voyer, D., Voyer, S., & Bryden, M.P. (1995). Magnitude of gender differences in spatial abilities: A meta-analysis and consideration of critical variables. *Psychological Bulletin*, 117, 250-270.
- Wai, J., Lubinski, D., & Benbow, C.P. (2009). Spatial ability for STEM domains: Aligning over 50 years of cumulative psychological knowledge solidifies its importance. *Journal of Educational Psychology*, 101(4), 817-835.
- Wu, H.K., & Shah, P. (2004). Exploring visuospatial thinking in chemistry learning. *Science education*, 88(3), 465-492.

---

(2017年11月6日受付, 2018年3月6日受理)



# The Effects of Mental Imagery Abilities on Diagram-Drawing Skills in the Field of Physics and Effective Learning Strategies

*Yuuki HARADA*<sup>1,2</sup>, *Kazuma SAKAMOTO*<sup>3</sup>, *Makoto SUZUKI*<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Graduate School of Science, Hokkaido University

<sup>2</sup> Research Fellow of the Japan Society for the Promotion of Science

<sup>3</sup> Monbetsu Lower Secondary School

## SUMMARY

The aim of this study is to examine the relationship between diagram-drawing skills in the field of physics and mental imagery ability and to examine the effective learning strategies for students who are not good at mental imagery processing to acquire high drawing skills. The participants were first grade upper secondary school students ( $n=80$ ). Results of the analysis showed that the spatial controllability of mental imagery had a significant effect on both diagram-drawing skills, “visualization” (a process of drawing physical phenomena from sentence information) and “physics description” (a process of drawing physical information such as vector information and numerical information). In addition, it was revealed that visualization skills tended to be higher when a linguistic encoding strategy was used in the group with low spatial controllability, and the physics depiction skill tended to be higher for the students who used an organizational strategy. In conclusion, mental imagery ability is a variable that explains the individual differences in the diagram-drawing skills. However, even if the students are not good at spatial controllability of the mental imagery, diagram-drawing skills can be fostered by adaptive learning strategies.

<Key words> field of physics, drawing diagrams, mental imagery, spatial controllability, learning strategies

付録 A 問題 E の問題文

健太くんは光がガラスの中をどのように進むのかを調べるため、図1,2のような三角形のガラスと光源装置（直線の光を出す装置）を用意しました。

健太くんは光源装置から出る光と面Aが垂直になるようにしました。すると面Aから入った光は、ガラスの中ではじめにぶつかった面で全反射（鏡のように光が全て反射）し、その次にぶつかった面で屈折しながらガラスから出ていきました。屈折してガラスから出ていく光と面の間の角度は40度でした。

このとき、光はガラスの中と外をどのように進んだでしょうか。光の道筋とガラスの様子を、面の名前（A,B,C）や角度がわかるように図に表してください。

図1（横から見た図）

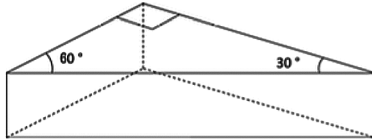
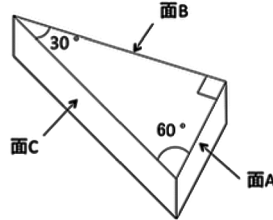
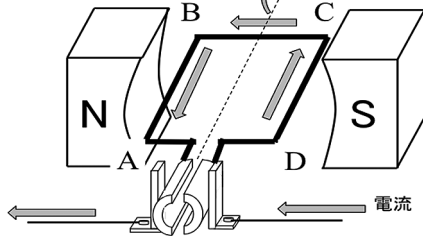


図2（上から見た図）

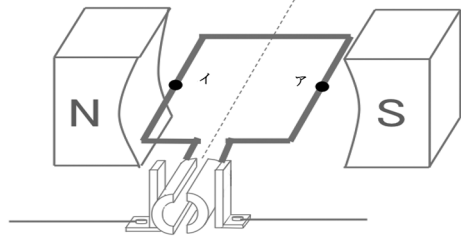


付録 B 問題 F の問題文（左）および解答欄（右）

図のように電流を流した時コイルが回転しています。このコイルが半回転した時の①頂点の位置（A、B、C、D）、②電流の向き、③回転の向き、④ア、イでの力の向きを図に書き込んでください。



問題3 解答欄



付録 C 本研究で追加した各問題の評価基準と通過率

問題	評価基準	通過率 (%)
問題 E	E1. 光の進行方向が矢印によって定義されている	95.0
	E2. ガラスの角度が適切に示されている	90.0
	E3. 面 A ~ C が適切に示されている	86.3
	E4. ガラスの角度に対して面の呼称が対応している	91.3
	E5a. 面 A に光が垂直に入射している	96.3
	E5b. 面 A に光が垂直に入射した後、直進している	80.0
	E6a. 面 C で光が反射している	88.8
	E6b. 面 C で光が反射しており、入射角と反射角の大きさがおおよそ等しい	82.5
	E6c. 面 C で光が反射しており、入射角と反射角の大きさが等しいことを明示している	42.5
	E6d. 面 C で光が反射しており、入射角 = 反射角 = 60 度であることを明示している	16.3
	E7a. 面 B から光が出ている	78.8
	E7b. 面 B から光が出ており、光の屈折方向が適切である	82.5
	E7c. 面 B から光が出ており、適切な箇所 に 40 度と示されている	70.0
	問題 F	F1. コイルが半回転した後の頂点の位置が適切である
F2. コイルが半回転した後の電流の向きが適切である		76.3
F3. 回転の向きが適切である		71.3
F4. アにはたらく力の向きが適切である		60.0
F5. イにはたらく力の向きが適切である		61.3