

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[†]

原田勇希^{*1,*2}・鈴木 誠^{*1}

北海道大学大学院理学院^{*1}・日本学術振興会特別研究員^{*2}

本研究の目的は、中学校理科に苦手意識を持ち、動機づけ、とりわけ期待信念が低下しやすい個人特性を明らかにすることである。先行研究の知見を受け、理科学習でのつまずき経験と関連する個人差変数として心的イメージ処理特性に、つまずきが期待信念に与える影響を調整する変数として能力観に着目して理科4分野の期待信念に及ぼす影響を検討した。その結果、空間イメージ処理に苦手さのある生徒は理科に苦手意識を持ちやすいことが明らかとなり、特に物理分野でこの傾向が顕著であった。また物理と化学分野では能力観によってその影響は緩衝され、拡大的能力観を保有していれば、空間イメージ処理に苦手さがあっても統制感が比較的維持される傾向にあった。さらに生物分野の統制感には物体イメージ処理の影響が強く、分野によって要求されるイメージ処理の特徴が異なることが示唆された。

キーワード：理科学習、期待信念、動機づけ、心的イメージ、個人差

1. はじめに

1.1. 研究の背景

これまでの国際および全国規模で実施された学力調査の結果からは、中学校の理科で苦手意識を持つ子どもが多いことが読みとれる。例えばTIMSS 2011の質問紙調査によると、「理科の勉強は楽しい」、「日常生活で役立つ」といった質問項目に対しては、中学校2年生の約6割が肯定的な回答をしている一方で、半数以上の生徒が「理科は私の得意な科目ではない」と回答している(国立教育政策研究所 2013)。さらに、平成27年度全国学力・学習状況調査では、理科において「教科の勉強がわかる」という質問に対する肯定的回答の割合が小学校6年生から中学校3年生にかけて大幅に減少し、この傾向は国語や数学(算数)よりも顕著で

あった(国立教育政策研究所 2015)。

教育心理学の領域で展開されている動機づけの期待一価値理論では、主観的に認知された成功の見込みである期待(expectancy)と、課題や達成に対してどの程度価値(value)を認識しているかによって動機づけが説明される(ECCLES and WIGFIELD 2002; WIGFIELD and ECCLES 2000)。先述の調査結果より、理科に対する動機づけ低下は理科への苦手意識が影響すると推察され、これを期待一価値理論の文脈から解釈すると、期待信念の低下と捉えられる。この理論に基づけば、理科に楽しさや有用性などの価値を見出しているも、理科での目標達成の見込みである期待信念が低ければ学習行動は生起しないと考えられる(e.g., NAGENGAST *et al.* 2011)。そのため、動機づけ概念の中でも特に低いと考えられる中学校理科に対する期待信念低下のメカニズムを明らかにする必要がある。本研究では特に個人差要因に焦点を当て、どのような特性を持つ子どもが中学校理科の期待信念が低下しやすいかを検討する。

1.2. 心的イメージ処理の個人差と理科学習

認知心理学やその関連領域の研究により、理科や数学を含むSTEM(Science Technology Engineering and Mathematics)領域での学業達成や職業上の成功およびこうした分野に対する志向性には、空間能力(spatial ability)の個人差が関連することが明らかにされてい

2017年2月23日受理

[†] Yuuki HARADA^{*1,*2} and Makoto SUZUKI^{*1}: Effect of Mental Imagery Processing Characteristics on the Junior High School Students' Expectancy Belief for Science Learning

^{*1} Graduate School of Science, Hokkaido University, North-17, West-8, Kita-ku, Sapporo, Hokkaido, 060-0817 Japan

^{*2} Research Fellow of the Japan Society for the Promotion of Science, Kojimachi Business Center Building, 5-3-1, Kojimachi, Chiyoda-ku, Tokyo, 102-0083, Japan

る (e.g., SHEA *et al.* 2001 ; STAVRIDOU and KAKANA 2008 ; STIFF and UTTAL 2015 ; WAI *et al.* 2009). また, 理科諸分野の学業達成と空間能力や視空間性ワーキングメモリ容量との関連を示す研究は, 化学 (RHODES *et al.* 2016), 地学 (BLACK 2005) 天体 (RUDMANN 2002), 物理 (CHEN and WHITEHEAD 2009 ; KOZHEVNIKOV *et al.* 2002 ; KOZHEVNIKOV *et al.* 2007) など多くの領域で展開されている。

空間能力は例えば心的回転 (Mental Rotation Test ; VANDENBERG and KUSE 1978) など様々な課題によって測定されるが, どの課題も視覚的な心的イメージ (以下, イメージ) の空間的操作を要求する点で共通している。そのためこれらの研究結果は, 理科学習において要求される認知的処理の特徴を明らかにしたものといえ, イメージの空間的操作に苦手さがある子どもほど, 理科学習でつまずきを経験しやすいと考えられる。期待信念は自身のつまずきの経験によって低減するため (e.g., BANDURA 1977 ; WEINER 1972), イメージの空間的操作に苦手さのある子どもほど, 理科の期待信念低下のリスクを持つと思われる。

これらの研究では, 主に空間能力やイメージ処理を担う視空間性ワーキングメモリの容量制約が理科諸分野の学業達成に与える影響について検討している。しかし, イメージには鮮明性, 統御性, 常用性 (表象型), 没入性など様々な次元で個人差が存在する (畠山 2001 ; RICHARDSON 1994)。理科で観察不可能な現象や概念を理解するためには, イメージの生成が必要であり (森本 2009 ; 和田・森本 2010), イメージの空間的操作だけでなく, 鮮明にイメージできることも学習にとって重要だろう。AL-BALUSHI (2013) は, 空間能力と鮮明性の両側面から, イメージ能力と科学モデルに対する不信感との関係を分析している。この研究では, Epistemologies about the Credibility of Scientific Models (ECSM ; AL-BALUSHI 2011) によって, 科学モデルに対する不信感を評価している。ECSM の得点は低いほど, 当該モデルが自然現象の本質を反映するものと考え, また得点が高いほど, 現実を反映していないと思われ現象の存在をも否定する態度を示す。分析の結果, 空間能力が低いほど, またイメージの鮮明性が高いほど不信感が高まる傾向があった。この結果は, イメージの次元によって, その個人差が理科学習に与える影響に差異があることを示唆している。しかし, 鮮明性の次元に着目した研究は少なく, 理科の学業達成への影響やSTEM 領域への志向性との関連などについて十

分に明らかになっているとはいえない。イメージ処理の個人差による理科学習への寄与を詳細に分析するためには, 空間能力以外の側面にも目を向ける必要がある。

近年, イメージ処理を物体イメージ (object imagery) 処理と空間イメージ (spatial imagery) 処理の2つに大別する動きがある (e.g., 川原・松岡 2009 ; KOZHEVNIKOV *et al.* 2005)。物体イメージ処理は物体の色, 形状, 明るさ, テクスチャなど「見え」に関わる情報処理であり, 鮮明性に関するイメージ能力を含む。空間イメージ処理は要素同士の空間的な関連性や位置情報, 運動に関わる情報処理であり, 空間能力を含む。この分類は視覚情報処理の神経生理学的基盤 (MISHKIN and UNGERLEIDER 1982) や, ワーキングメモリにおける視空間スケッチパッドの下位システムモデル (LOGIE 1995) などの理論と整合する。

BLAJENKOVA *et al.* (2006) や川原・松岡 (2009) によって, 物体-空間イメージ処理の個人特性を測定する尺度が作成されている。これらの尺度を実施したところ, 科学者は空間イメージ処理特性が強い傾向にあり (BLAJENKOVA *et al.* 2006), また理系学部在籍する大学生も同様であった (KAWAHARA and MATSUOKA 2013)。この傾向は理科学習への空間能力の寄与を示した多くの報告と一致する。

これまでに挙げた知見より, 低い空間イメージ処理特性は, 理科学習でのつまずきを誘発する要因であり, 理科に対する苦手意識に関連している可能性がある。しかし, 動機づけ変数に着目して, 個人のイメージ処理特性の影響を検討した研究は見当たらない。また, 物体イメージ処理の理科学習への寄与については明らかでなく, 検討する必要がある。

1.3. 期待信念の下位概念と領域固有性

期待信念は自身のつまずきによって変動するため, イメージ処理特性が理科学習でのつまずきと関連するために, 期待信念を説明できる変数であるだろう。

しかし, 動機づけは文脈依存的であるため (BONG 2001), 理科の中でも分野によってその影響が異なる可能性がある。例えば, 中学校理科の天体学習では以前から空間イメージ処理に焦点を当てた教材開発や指導方法の検討がなされており (e.g., 瀬戸崎ほか 2017), 特に空間イメージ処理特性の影響が強い可能性がある。また, KOZHEVNIKOV *et al.* (2002) と KOZHEVNIKOV *et al.* (2007) は, グラフ問題や運動方向の類推などあらゆる物理分野の問題解決に空間イメージ処理特性が関連

することを見出している。彼女らは、空間イメージ処理に苦手さのある個人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、運動や力などの2次元平面におけるベクトル情報を心的に保持・操作する際に処理資源が枯渇しやすいと考察している。これらの先行研究を参照すると、ベクトル情報の処理が要求される物理分野や、天体に関わる地学分野などでは空間イメージ処理に苦手さのある子どもほどつまずきを経験しやすく、期待信念が低下するリスクが高いと推察される。しかし中学校理科の生物分野では、ベクトル処理や心的回転などの空間的思考が要求される場面が少なく、空間イメージ処理特性による影響力が比較的弱い可能性がある。理科の中でも分野によって要求されるイメージの質が異なることが予想されるため、理科4分野ごとにその個人差による影響力を検討する必要がある。

さらに、期待信念には様々な下位概念があることも考慮しなければならない。SKINNER *et al.* (1988ab) は、期待信念を精緻に測定できる CAMI (Control, Agency, Means-Ends Interview) を作成しており、それを理科教育用に邦訳した SESSE (Self-Efficacy Scale for Science Education) も開発されている (鈴木 1996)。CAMI や SESSE では期待信念を統制感、手段保有感、手段の認識の3側面から測定できる。本研究では統制感と努力保有感を理科の期待信念の指標として取り上げる。統制感とは、特定の手段を想定せずにどの程度望む結果を得られるかと期待しているかを指す期待概念であり、「理科に対する苦手意識」に最も近いと考えられる。中学校では理科に対する苦手意識が顕著であると考えられることから (e.g., 国立教育政策研究所 2015)、イメージ処理特性が統制感に与える影響を分析する必要がある。手段保有感は、行為者が目標達成に必要な手段 (努力、能力、教師、運) をどの程度保有しているかに関する期待概念であり、特に努力保有感は自己効力感 (BANDURA 1977) と最も近い概念である (SKINNER *et al.* 1988b)。統制感と努力保有感は、自己調整学習方略 (梅本・中西 2010)、熟達志向的な学習目標の設定 (鈴木 2002)、動機づけ調整方略や学習の持続性 (梅本・田中 2012) を促進する効果が見出されており、あらゆる適応的な学習行動の生起と関連する期待信念である。

一方で、理科の文脈において測定される能力保有感は統制感と $r=.72-.78$ の強い相関を示し (鈴木 1997; 原田ほか 2017)、測定範囲の重複が見られる。また、

教師保有感や運保有感は理科の学習内容に対する期待信念でないため、本研究の目的との関連性は薄いと考えられる。さらに、手段の認識は「自己」に対する信念でなく、「一般的に」どのような学習方略が有効であるかを問う概念であり、学習行動をほとんど説明しないことが示されている (梅本・中西 2010)。SESSE の短縮版では手段の認識の有効性を吟味した上で質問項目が削除されている (鈴木 1999)。そこで、本研究では、測定変数の有効性と項目数増加に伴う調査対象者への負担を考慮し、努力保有感以外の手段保有感と手段の認識については測定しないこととする。

1.4. 期待信念への影響を調整する変数

ここまで述べたように、個人のイメージ処理特性は理科でのつまずき誘発と関連する変数であるために、理科4領域の期待信念に影響するものと考えられる。しかし、つまずきが動機づけに与える効果は、例えば原因帰属 (WEINER 1972)、達成目標 (ELLIOT and DWECK 1988)、失敗観 (池田・三沢 2012) などの心理変数によって規定され、同じつまずきを経験しても動機づけへの影響は様でない。本研究では、学習活動中に生じたつまずきの解釈に関連する変数として、能力観に注目する。能力観とは、自らの能力が努力によって伸長できるか (拡大的能力観)、固定的で変化しないものとして捉えるか (固定的能力観) に関する信念である (上淵 2004)。

能力観に注目した理由は、先行研究により、拡大的能力観はつまずきによる動機づけや自尊心へのネガティブな影響を緩衝することが明らかになっているためである (e.g., NIYA *et al.* 2004; WOOD and BANDURA, 1989)。拡大的能力観を持つ個人はつまずきの原因を自らの努力不足に帰属する傾向があり、より一層の努力を投入し、異なる方略を用いた解決が動機づけられる (DWECK and LEGGETT 1988; 上淵 2004)。理科学習の文脈においても同様の緩衝効果があるなら、イメージ処理の苦手さによって理科でつまずきを経験しても、動機づけが促進されるために、期待信念へのネガティブな影響は弱いかもしれない。また、もしそのような効果が検出された場合、イメージ処理に苦手さのある子どもの期待信念低下を防止する教育的介入への示唆が導かれる。イメージ処理特性による理科の期待信念への影響の機序解明と教育的示唆の導出のため、能力観による調整効果の有無を分析する。

1.5. 本研究の目的

本研究の目的は、イメージ処理特性の個人差が理科

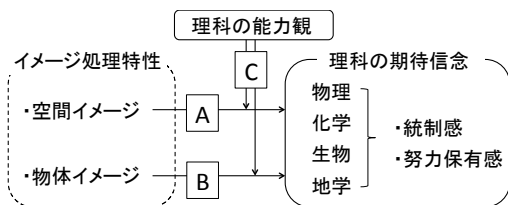


図1 本研究で検討する仮説モデル

4分野の期待信念に及ぼす影響を検討することである。本研究で検討するモデルを表すと図1のようになる。先行研究の知見より、空間イメージ処理特性は理科諸分野でつまづきの誘発と関連するために、期待信念を説明する変数であることが予想される(パスA)。しかし、物体イメージ処理特性による影響の有無と(パスB)、それらの影響力(パスA, Bの大きさ)が分野によって異なるかは明らかでない。また、拡大的能力観はイメージ処理特性が期待信念に与える影響を緩衝している可能性がある(パスC)。本研究ではこのモデルを検証することによって、これまでの認知心理学研究の成果を基礎とした、中学校理科で苦手意識を持ちやすい生徒の特性を明らかにすることを目指す。

本研究では上記の目的を達成するために中学校理科の期待信念を理科4分野それぞれに対して測定する。これまで中学校理科の動機づけ指標を4分野別に比較・検討した例はみられない。そこで、統制感および努力保有感の分野による差もあわせて報告する。

2. 方法

2.1. 予備調査

本研究では、中学校理科の全範囲を学習しており、高校以降の学習の影響が小さいと考えられることから、入学直後の高校1年生を調査対象とする。また、先行研究に準じ、イメージ処理特性や理科の期待信念、能力観は質問紙によって測定する。

個人のイメージ処理特性を測定する尺度であるVISQ (Visual Imagery Style Questionnaire; 川原・松岡2009)は、成人を対象に妥当性を検討している。また本邦で理科に固有の文脈で能力観を測定した例は見当たらない。そこで本調査に先立ち、質問項目に不明瞭な点がないことを確認するため、高校1年生71名を対象に予備調査を実施した。調査ではオリジナルのVISQ (物体イメージ処理特性12項目、空間イメージ処理特性12項目)と、HONG *et al.* (1999)による能力観尺度

を参考に、理科4分野の文脈に適合するように作成したもの(3項目×4分野)を実施した。VISQおよび能力観尺度に回答した後に、「意味がわかりにくかった項目はありましたか?」、「具体的にどのようにわかりづらかったか、教えて下さい」と尋ね、自由記述によって回答を求めた。

自由記述の結果より、オリジナルのVISQで使用されている項目表現を微修正する必要が示唆された。また、能力観尺度の各分野間には強い相関があり($r=.75-.96$)、因子分析(最尤法)を行ったところ、固有値の減衰状況(3.53, 0.31, 0.13...)から能力観は理科4分野ごとに分化されておらず、「理科の能力観」の1因子構造であることが推察された。この予備調査を基礎に、本調査の質問紙を構成した。

2.2. 本調査の対象者と手続き

北海道内の公立高校4校(高校受験偏差値40台1校、50台2校、60台1校)の1年生664名(男子:349名、女子:314名、不明:1名)を対象に質問紙調査を実施した。調査時期は4校のうち3校が2016年4月中、残りの1校が5月第1週であった。

調査は、学校長および教科担任(理科)の許可を得た上で実施された。協力者には、質問紙への回答は任意であること、調査は無記名で実施されること、研究以外の目的には使用されないこと、成績には一切関係しないことが説明され、フェイスシートにも明記した。その上で、この質問紙を研究に使用しても良いかを尋ね、同意が得られた者のみ分析に使用した。

2.3. 調査内容

調査では以下の尺度によって構成される質問紙が実施された。回答はすべて「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段階評定で求めた。

心的イメージ処理特性 (VISQ)

川原・松岡(2009)によって作成された尺度を、作成者の許可を得た上で、予備調査の自由記述を参考に微修正して使用した。本尺度は物体イメージ処理特性(12項目)と空間イメージ処理特性(12項目)の下位尺度からなる。VISQは作成時に複数の客観的なイメージ課題との相関が確認されており、本尺度への回答には個人の物体および空間イメージ能力が反映されていると考えられる。

理科4分野の期待信念

鈴木(1996)によって作成された尺度のうち統制感と努力保有感の下位尺度を、理科4分野の文脈に適合

するように修正して使用した。統制感の項目は「わたしは物理で良い成績を取ろうと思えば、良い成績を取ることができます」など4項目であった。努力保有感の項目は「物理の学習をすると決めたら、わたしはすぐ頑張ることができます」など3項目であった。理科4分野それぞれに対して実施したため、項目数は合計28項目であった。

中学校理科では科目として物理、化学、生物、地学に別れていないため、どの学習内容がそれぞれの分野に該当するかがわかりづらい可能性がある。そこで、それぞれの分野の質問項目に回答する前に、中学校理科のどの内容が該当するかを単元名とキーワードを提示して説明し、調査用紙にも明記した(表1)。説明される学習内容に偏りが無いよう、当該分野の内容を網羅するように記載した。

理科の能力観

HONG *et al.* (1999) と予備調査の結果を参考に、理科の文脈に適合するように作成された。先行研究では、intelligence に該当する訳として、「才能」(及川 2005) や「知能」(藤井・上淵 2010) が当てられているが、本研究では「頭の良さ」という表現を用いた。また項目表現は、領域固有な能力観を測定した先行研究の表現を参考にした (e.g., BURKLEY *et al.* 2017)。使用された項目は「わたしは、理科に関して一定の頭の良さをもって生まれてきたので、それを変えることは実際にはできない」、「私の中で、理科の頭の良さはほとんど変えることのできないものだと思う」、「新しいことを学ぶことはできても、基本的な理科の頭の良さは変えられない」の3項目であった。予備調査では質問項目がわかりづらいという報告はなく、また本尺度の項目数は3項目と少数であるが、十分な信頼性が確認され

ている (HONG *et al.* 1999)。本尺度の得点が高いほど固定的能力観、低いほど拡大的能力観を意味する。

3. 結 果

分析には不備がなく、研究使用の同意が得られた622名分(男子:315名, 女子307名)を使用した。

3.1. VISQ の因子分析結果

VISQ の全24項目に対し、探索的因子分析を行った(最尤法・プロマックス回転)。固有値の減衰状況(4.67, 4.06, 2.05, 1.39...)から2因子解が妥当と考えられた。

表2に因子分析の結果を示す。第1因子、第2因子ともに、原尺度と同じ項目群から構成された。因子負荷量が.35を下回る項目はなく、また直交回転を実施している川原・松岡(2009)と同様に、因子間相関はほぼ無相関と解釈できる水準であった。そのため、オリジナルの因子構造が再現されたと判断し、第1因子を空間イメージ処理特性、第2因子を物体イメージ処理特性と命名した。

3.2. 各変数の基本統計量と相関分析

各変数の基本統計量と信頼性、および相関係数を表3に示す。各尺度の α 係数はおおむね満足できる水準であった。

統制感および努力保有感における、分野による差異を検討するため分散分析を行った。その結果、統制感、努力保有感ともに分野による差が有意であった(統制感: $F(3,1863)=139.58, p<.001, \eta_p^2=.18$, 努力保有感: $F(3,1863)=45.74, p<.001, \eta_p^2=.07$)。多重比較(Holm法)の結果、統制感、努力保有感ともに、物理分野は他のどの分野よりも低く(統制感: $ts(621)=6.55-16.84, ps<.001, ds=0.22-0.67$, 努力保有感:

表1 調査用紙に記載された理科4分野に該当する単元名とキーワード

分野	単元名	キーワード
物理分野 (エネルギー)	身近な物理現象 電流とその利用 運動とエネルギー	光、音、力、圧力、水圧、浮力 回路の性質、オームの法則、電力と熱量、陰極線、磁界 力のつり合い、作用反作用、仕事、位置エネルギー、運動エネルギー
化学分野 (粒子)	身の回りの物質 化学変化と原子・分子 化学変化とイオン	有機物と無機物、密度、水溶液、気体の性質 原子・分子の性質、化学反応式、定比例の法則、質量保存の法則 陽イオンと陰イオン、電気分解、化学電池、酸・アルカリ、中和
生物分野 (生命)	植物の生活と種類 動物の生活と生物の変遷 生命の連続性	植物の分類、植物の体のつくり、光合成、蒸散 動物の分類、細胞、呼吸、循環、消化、進化 細胞分裂、有性生殖と無性生殖、メンデル、遺伝、優性の法則
地学分野 (地球)	大地の成り立ちと変化 気象とその変化 地球と宇宙	地震、火山、岩石、鉱物、地層、災害対策 気象観測、気団、高気圧と低気圧、雲のでき方、前線、湿度 日周運動、年周運動、季節による星座の見え方と方角、太陽、月、金星

表2 VISQ (修正版) の因子分析結果

項目	F1	F2	h^2
空間イメージ処理特性			
14. 立体の2次元平面図や建物の設計図を描くのは、得意な方だと思う	.78	.08	.63
16. 3次元的な立体図形を描くのが得意である	.76	.08	.59
10. わたしは、建物の見取り図や平面図を描くことが得意である	.75	.04	.58
4. 頭の中で立体の図形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	.62	.12	.41
24. ルービックキューブやパズルのような空間的なゲームが得意である	.55	.02	.30
18. 言葉で目的地までの行き方を教えてもらえば、目的地までの正しい道筋がわかる	.47	-.08	.22
2. わたしは、知らないところに行っても東西南北をあまり間違えない	.46	-.05	.21
12. 散歩して右折や左折を繰り返して目的地に着くと、帰り道はどこでどう曲がったらよいかわからなくなる (※)	.42	-.17	.19
8. わたしは、感覚的に北がどちらかわかる	.41	.00	.17
20. 道を曲がるところでいちいち目印を確認しなくても目的地にいく	.41	-.08	.17
22. カラフルな絵や写真の多い本よりも、グラフや表、モデルの多い本の方が好きである	.39	-.04	.15
6. ホテルや旅館の部屋に入ると、その部屋がどちらの向きの部屋になっているのかわからなくなる (※)	.36	-.19	.15
物体イメージ処理特性			
5. 日常生活の中で、いつも映像的なイメージが浮かんでいる	.01	.64	.44
13. 考え事をするとき、絵や映像的なイメージをよく思い浮かべる	-.04	.62	.38
3. ラジオのアナウンサーやDJが話しているのを聞いているとき、いつもその情景や様子を具体的に思い浮かべている自分に気づく	-.11	.61	.36
19. わたしは、写真のように鮮明な記憶を持っている	-.06	.55	.30
9. 人の体験談を聞いているとき、わたしはときどきその状況を生き生きと想像している自分に気づくことがある	.01	.55	.31
15. わたしのイメージは非常にカラフルで、鮮やかである	-.07	.55	.30
1. わたしは、映像的なイメージを思い浮かべながら本を読むことが多い	-.10	.51	.26
17. 想起したイメージがあまりに鮮明なため、それを無視することが難しいときがある	.01	.50	.25
7. わたしは、目を閉じると過去に経験した光景をかんたんに思い出すことができる	-.03	.48	.23
23. 一度目にした絵画や写真、テレビや映画などのイメージが、いつまでも頭の中に残っている	-.02	.48	.22
11. 地理や歴史を学ぶ際には、情景のイメージをよく思い浮かべる	.05	.45	.21
21. 私が思い浮かべる視覚的なイメージは、実際に見たことのある物の大きさ、形、色とほとんど同じである	.08	.43	.20
	因子間相関		.11

注) ※ は反転項目を示す

表3 各変数の基本統計量と α 係数, 相関係数

	Mean	SD	α	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
VISQ													
1 空間	2.10	0.51	.84	—									
2 物体	2.68	0.47	.83	.05	—								
統制感													
3 物理	2.33	0.64	.81	.54***	.06	—							
4 化学	2.48	0.65	.83	.36***	.14***	.73***	—						
5 生物	2.75	0.63	.84	.14***	.38***	.51***	.68***	—					
6 地学	2.47	0.62	.82	.36***	.20***	.64***	.70***	.67***	—				
努力保有感													
7 物理	2.92	0.58	.68	.26***	.14***	.49***	.47***	.41***	.43***	—			
8 化学	3.03	0.60	.76	.17***	.18***	.36***	.55***	.44***	.38***	.72***	—		
9 生物	3.14	0.61	.82	.09*	.30***	.27***	.40***	.58***	.37***	.64***	.68***	—	
10 地学	3.05	0.58	.78	.17***	.23***	.32***	.39***	.43***	.53***	.68***	.69***	.69***	—
11 能力観	2.15	0.71	.86	-.07	.10*	-.28***	-.15***	-.05	-.10*	-.20***	-.15***	-.08*	-.14***

注) VISQ の物体および空間は物体イメージ処理特性, 空間イメージ処理特性を意味する.

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

表4 心的イメージ処理特性と能力観が理科4分野の統制感に及ぼす影響（標準化偏回帰係数）

	物理			化学			生物			地学		
	Step 1	Step 2	Step 3	Step 1	Step 2	Step 3	Step 1	Step 2	Step 3	Step 1	Step 2	Step 3
Step 1												
空間	.54 ***	.52 ***	.50 ***	.35 ***	.34 ***	.33 ***	.13 **	.12 **	.12 **	.36 ***	.35 ***	.35 ***
物体	.03	.06	.08 *	.12 **	.13 ***	.15 ***	.37 ***	.38 ***	.38 ***	.18 ***	.19 ***	.19 ***
Step 2												
能力観		-.25 ***	-.22 ***		-.14 ***	-.13 **		-.08 *	-.09 *		-.09 *	-.10 *
Step 3												
空間×能力観			.13 ***			.09 *			.00			.00
物体×能力観			-.04			-.02			.03			.03
R^2	.30 ***	.36 ***	.37 ***	.14 ***	.16 ***	.17 ***	.16 ***	.16 ***	.17 ***	.17 ***	.17 ***	.18 ***
ΔR^2	.30 ***	.06 ***	.02 ***	.14 ***	.02 ***	.01 *	.16 ***	.01 *	.00	.17 ***	.01 *	.00

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

$ts(621)=5.63-10.85$, $ps < .001$, $ds=0.19-0.37$), 生物分野は最も高かった(統制感: $ts(621)=13.20-16.84$, $ps < .001$, $ds=0.43-0.67$, 努力保有感: $ts(621)=5.08-10.85$, $ps < .001$, $ds=0.16-0.37$). また, 化学と地学分野の間に有意な差はなかった(統制感: $t(621)=0.43$, ns, 努力保有感: $t(621)=0.75$, ns).

相関分析の結果, 空間イメージ処理特性は全ての分野の期待信念と正の相関があった. 物体イメージ処理特性と理科の期待信念の間には弱い正の相関があった.

能力観は, 理科4分野の期待信念と無相関か弱い負の相関があった. 分野ごとにみると物理において相関があると解釈される水準であった.

3.3. イメージ処理特性が理科の期待信念に及ぼす影響

イメージ処理特性による理科の期待信念への影響を検討するため, 期待信念を従属変数とした階層的重回帰分析を行った. 分析のStep 1では各イメージ処理特性を, Step 2では能力観を説明変数として投入した. さらに Step 3では, 物体-空間イメージ処理特性と能力観の交互作用項を投入した. なお交互作用項はAIKEN and WEST (1991)に従い, 各変数の偏差を取った上で作成した.

各分野の統制感を従属変数とした分析によって得られた, 標準偏回帰係数 (β), 決定係数 (R^2) および決定係数の増分 (ΔR^2) の結果を表4に示した. 物理および化学では Step 3の交互作用モデルにおける ΔR^2 が有意であり, 生物と地学では, Step 2までの主効果モデルにおける ΔR^2 が有意であった. 以降の分析では各分野における有意であった最終モデルを解釈した.

全体として, 空間イメージ処理特性はすべての分野

に対して正の影響があり, 物体イメージ処理特性は物理を除いた分野に対して正の影響があった. また, 能力観は全ての分野に対し影響があり, 拡大的能力観をもつ生徒ほど, 統制感が高い傾向であった.

物理分野では, これらの説明変数から全分散の37%が説明された. 空間イメージ処理特性と能力観の交互作用が有意であったため, AIKEN and WEST (1991)による単純傾斜検定を行った(図2). その結果, 固定的能力観(平均値+1SD)の場合も($\beta=.61$, $B=0.77$, $SE B=0.05$, $p < .001$), 拡大的能力観(平均値-1SD)の場合も($\beta=.39$, $B=0.49$, $SE B=0.06$, $p < .001$), 空間イメージ処理特性が低いほど物理に対する統制感は低かった. ただし, 回帰直線の傾きの傾向は異なっており, 拡大的能力観による緩衝効果がみられた.

化学分野では, これらの説明変数から全分散の17%が説明された. 空間イメージ処理特性と能力観の交互作用が有意であったため, 単純傾斜検定を行った(図

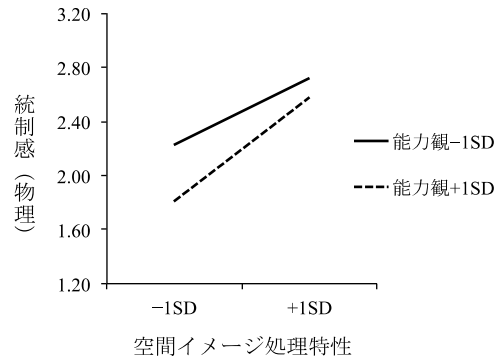


図2 空間イメージ処理特性が物理分野の統制感に及ぼす影響と能力観による調整効果

4. 考 察

4.1. 理科4分野の期待信念の特徴

各分野に対する統制感および努力保有感の値の分野による差を検討したところ、値の大小関係は統制感と努力保有感で共通しており、生物分野が最も高く、物理分野が最も低いという結果であった。特に得られた効果量を参照すると、この傾向は統制感で顕著であった（統制感： $\eta_p^2=.18$ ，努力保有感： $\eta_p^2=.07$ ）。この結果は、各分野が科目として分かれていない中学校理科であっても、物理分野に該当する内容は「自分にはできない」と思われやすいことを示している。類似した報告では、川村（1996）が中学校理科で扱う学習内容に対する好嫌の評価によって物理分野が忌避されやすいことを示している。本研究は動機づけの構成要素である期待信念の特徴を明らかにした点で意義のある知見を提供したといえる。

4.2. イメージ処理特性の個人差と理科の期待信念

本研究では、イメージ処理特性が理科の期待信念に影響を及ぼし、能力観はその影響を緩衝する変数であるとする仮説モデルを設定し（図1）、その検証を行った。

分析の結果、物理、化学分野の統制感ではモデルと整合する結果が得られた。また能力観による緩衝効果はなかったが、生物、地学分野においてもイメージ処理特性の影響が認められ、全ての分野において努力保有感よりも統制感に対して大きな説明率が得られた。この結果は、視覚的なイメージ処理に関する個人差は理科の期待信念と関連するが、「努力ができそう」か否かの査定には強く影響せず、「目標を達成できそう」か否かの査定に影響することを示唆している。そのため

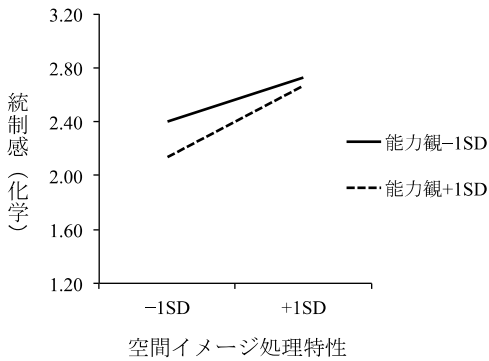


図3 空間イメージ処理特性が化学分野の統制感に及ぼす影響と能力観による調整効果

3). その結果、物理分野と同様に固定的能力観の場合も($\beta=.41, B=0.53, SE B=0.06, p<.001$), 拡大的能力観の場合も($\beta=.25, B=0.32, SE B=0.07, p<.001$), 空間イメージ処理特性が低いほど化学に対する統制感は低い、拡大的能力観による緩衝効果がみられた。

生物分野では全分散の16%が説明され、特に物体イメージ処理特性からの影響を受けていた。地学分野では全分散の17%が説明され、特に空間イメージ処理特性の影響を受けていた。いずれも能力観の影響を受け、拡大的能力観をもつ生徒ほど統制感が高かったが、イメージ処理特性との交互作用は有意でなかった。

各分野に対する努力保有感を従属変数とした分析によって得られた結果を表5に示した。全ての分野でStep 2の主効果モデルにおける ΔR^2 が有意であり、いずれも交互作用は有意でなかった。説明率は全分散の8%–12%であり、総じて統制感を従属変数とした分析よりも小さい値であった。

表5 心的イメージ処理特性と能力観が理科4分野の努力保有感に及ぼす影響（標準化偏回帰係数）

	物理			化学			生物			地学		
	Step 1	Step 2	Step 3	Step 1	Step 2	Step 3	Step 1	Step 2	Step 3	Step 1	Step 2	Step 3
Step 1												
空間	.26 ***	.24 ***	.24 ***	.16 ***	.15 ***	.15 ***	.08 *	.07	.08 *	.16 ***	.15 ***	.14 ***
物体	.13 **	.15 ***	.16 ***	.17 ***	.19 ***	.19 ***	.30 ***	.31 ***	.30 ***	.22 ***	.24 ***	.24 ***
Step 2												
能力観		-.19 ***	-.19 ***		-.16 ***	-.15 ***		-.11 **	-.12 **		-.15 ***	-.15 ***
Step 3												
空間×能力観			.02			.01			-.04			-.03
物体×能力観			-.01			-.02			.03			-.05
R^2	.09 ***	.12 ***	.12 ***	.06 ***	.08 ***	.08 ***	.10 ***	.11 ***	.11 ***	.08 ***	.10 ***	.10 ***
ΔR^2	.09 ***	.04 ***	.00	.06 ***	.02 ***	.00	.10 ***	.01 **	.00	.08 ***	.02 ***	.00

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

以下では、イメージ処理特性が統制感に及ぼす影響について考察する。

物理、化学分野の学習において、空間イメージ処理に苦手さがある子どもは、統制感が低下しやすく、さらに能力は変わらないと信じている場合、「自分には物理（化学）の学習はできない」と認識されやすいことが示された。特に物理では他の分野よりも相対的に大きな説明率($R^2=.37$)が得られており、物理分野に対する統制感が低下しやすい生徒の特徴の一端を明らかにできたものと思われる。同様に生物分野と地学分野の統制感においても、空間イメージ処理特性の有意な主効果があった。この結果は空間能力や視空間性ワーキングメモリ容量と理科諸分野の学業成績との関連を示してきた先行研究の知見と一致する。

空間的にイメージを操作することが求められる学習場面として、例えば図を用いた問題解決がある。図の活用は問題解決を促進するが (e.g., LARKIN and SIMON 1987), 図を用いた問題解決やグラフの読解は個人の空間能力の影響を受ける (KOZHEVNIKOV *et al.* 2002 ; KOZHEVNIKOV *et al.* 2007). 中学校理科の物理分野ではベクトル概念は未習であるものの、磁界の向き、力の分解や合成などそれと同様の思考が必要であり、空間イメージの生成や操作が求められる。化学分野でもグラフの読解は重要であり、地学分野においては月や金星の見え方、地層が傾く向きの類推など、心的回転や空間的視点取得が要求される。空間イメージ処理に苦手さがある生徒は、こうした内容を扱う際につまずきを経験したり困難を知覚したりすることで、統制感が低減しやすいものと推察される。

生物の統制感 は物体イメージ処理特性から強く影響を受けていた。その理由として、生物では学習対象の視覚的情報を長期記憶に固定することが学業達成に有効であるためであることが考えられる。例えば、植物細胞のつくりを学習する場合、細胞の構造を示す図の視覚的情報と名称を一致させて記憶することが求められるのに対し、イメージの動的な操作が要求される場面は少ない。それに対して物理分野では、教科書に描かれている図の視覚的情報をそのまま記憶しても理解したとはみなされない。こうした点で、生物は二重符号化 (PAIVIO 1991) による学習が特に有効であるといえよう。物体イメージ処理特性の強い個人は鮮明なイメージを持ち (川原・松岡 2009 ; KOZHEVNIKOV *et al.* 2005), 鮮明なイメージは長期記憶成績を高めるため (菱谷 1982), 生物分野の学習に対して有利であると

考えられる。

また、能力観はすべての分野に対する統制感に有意な影響を与えており、拡大的能力観を持つ生徒ほど統制感が高いという結果であった。拡大的能力観は、積極的に学習へと向かわせる信念であり、つまずきを経験しても動機づけが維持されるため (DWECK and LEGGETT 1988), この結果は理論的背景と整合する。しかし、生物と地学の統制感に対しては能力観の影響は弱く、イメージ処理特性が統制感に及ぼす影響を緩衝していなかった。この結果は、生物分野と地学分野の達成においては、能力以外の要因が重要と考えられている可能性を示唆している。

4.3. 教育的示唆

本研究の結果から、中学校理科の学習において、空間的なイメージを形成したり操作したりする認知的活動に苦手さがある生徒ほどつまずきを経験しやすいことが示唆された。このような特性を持つ生徒に対する効果的な指導方策には、現象の視覚化を支援する教材を活用することが考えられる。中学校学習指導要領理科解説編では、コンピュータを利用して視覚的に捉えさせることを推奨している (文部科学省 2008)。視覚化により理科の学習支援を試みる教材はこれまでも多く開発されており、例えば力学 (篠原ほか 2014), 天体 (瀬戸崎ほか 2017) など様々な分野で活用されている。しかし、視覚化による教育効果は個人の空間能力に依存するという実験結果も報告されており (HUK 2006 ; MAYER and SIMS 1994 ; YANG *et al.* 2003), 単純に視覚化教材を使用することが空間イメージ処理に苦手さのある生徒に対して有効な介入であると結論づけることはできない。KOZHEVNIKOV and THORNTON (2006) は、事前に立てた予想をもとにグループでディスカッションしてから、リアルタイムに可視化される演示実験を観察させる指導方法が、低空間能力の個人に対して有効であったと報告している。本邦でも空間イメージ処理を促進させる指導が考案されており、例えば、栗原ほか (2016) は、月や金星の見え方の学習の際、位相角に着目すると満ち欠けの様子が説明できることを強調する指導方法によって、空間認識的な理解を促進させられることを確認した。

これらの先行研究から、空間イメージ処理に苦手さのある生徒に対して視覚化による指導を実施する際には、注目するポイントを明確化し情報処理の負荷を低減させることが必要である可能性がある。限られた視空間性ワーキングメモリの処理資源を有効に活用する

ためには、見るべきポイントを制御し焦点化する必要があるのではないだろうか。

また能力観に注目した介入は、BLACKWELL *et al.* (2007) が実践している。本研究の結果、物理分野の統制感に対して能力観の影響が強いことが確認された。高い統制感を持つほど、有効な学習方略を使用し (e.g., 梅本・中西 2010; 梅本・田中 2012), また理科の学力が高いことが明らかにされているため (鈴木 2002), 空間イメージ処理に苦手さのある子どもに拡大的能力観を持たせることが、動機づけの維持や学力向上にとって重要だろう。日々の授業の中で教師が「物理の学力は努力によって伸ばせる」ことを強調して伝える必要があるだろう。

5. 今後の課題

本研究に残された課題として、以下の3点が考えられる。

1点目は、イメージ処理特性を質問紙による回答によって評価したため、各イメージ処理の能力による影響であるのか、単にイメージ処理の使用傾向が影響したのかを判断できない点である。VISQは個人のイメージ能力を反映するため (川原・松岡 2009), ある程度イメージ能力による影響を推測することはできる。しかし今後はより精緻に分析するため、客観的なイメージ能力の指標を用い、理科で必要な非言語的思考の特徴と個人差の研究を進める必要があるだろう。

2点目は、本研究では低い空間イメージ処理特性がつまずきを誘発する要因であると想定したが、つまずきそのものを観察していないため、実際にどのようなつまずきを誘発したのかは不透明な点である。本研究では入学直後の高校1年生を対象としたため、受験勉強でのつまずきを強く反映した可能性がある。イメージ処理に関する個人差がどのような学習場面でのつまずきと関連するのかを明らかにすることが求められる。

3点目は、空間イメージ処理に苦手さのある生徒に対する効果的な指導方法が明確でない点である。本研究によって空間イメージ処理に苦手さのある生徒は理科の期待信念が減退しやすいことが明らかとなったため、今後はそのような生徒に対する介入研究を行っていく必要がある。

謝 辞

本研究に協力していただいた学校の教職員ならびに生徒の皆様にも深く感謝するとともに、心より御礼申し

上げます。

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。

参 考 文 献

- AIKEN, L. S. and WEST, S. G. (1991) Multiple regression: Testing and interpreting interactions. SAGE Publications, London.
- AL-BALUSHI, S. M. (2011) Students' evaluation of the credibility of scientific models that represent natural entities and phenomena. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 9(3):571-601
- AL-BALUSHI, S. M. (2013) The relationship between learners' distrust of scientific models, their spatial ability, and the vividness of their mental images. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 11(3):707-732
- BANDURA, A. (1977) Self-efficacy: toward a unifying theory of behavioral change. *Psychological review*, 84(2):191-215
- BLACK, A. A. (2005) Spatial ability and earth science conceptual understanding. *Journal of Geoscience Education*, 53(4):402-414
- BLACKWELL, L. S., TRZESNIEWSKI, K. H. and DWECK, C. S. (2007) Implicit theories of intelligence predict achievement across an adolescent transition: A longitudinal study and an intervention. *Child development*, 78(1):246-263
- BLAJENKOVA, O., KOZHEVNIKOV, M. and MOTES, M. A. (2006) Object-spatial imagery: a new self-report imagery questionnaire. *Applied Cognitive Psychology*, 20(2):239-263
- BONG, M. (2001) Between-and within-domain relations of academic motivation among middle and high school students: Self-efficacy, task value, and achievement goals. *Journal of educational psychology*, 93(1):23-34
- BURKLEY, E., CURTIS, J. and HATVANY, T. (2017) The social contagion of incremental and entity trait beliefs. *Personality and Individual Differences*, 108:45-49.
- CHEN, W. C. and WHITEHEAD, R. (2009) Understanding physics in relation to working memory. *Research in Science & Technological Education*, 27(2):151-160
- 日本教育工学会論文誌 (*Jpn. J. Educ. Technol.*)

- DWECK, C. S. and LEGGETT, E. L. (1988) A social-cognitive approach to motivation and personality. *Psychological review*, **95**(2):256-273
- ECCLES, J. S. and WIGFIELD, A. (2002) Motivational beliefs, values, and goals. *Annual Review of Psychology*, **53**:109-132
- ELLIOTT, E. S. and DWECK, C. S. (1988) Goals: An approach to motivation and achievement. *Journal of personality and social psychology*, **54**(1):5-12
- 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*, **30**(1):22-28
- 藤井勉, 上淵寿 (2010) 潜在連合テストを用いた暗黙の知能観の査定と信頼性・妥当性の検討. *教育心理学研究*, **58**(3):263-274
- 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*, **58**(1):65-80
- 島山孝男 (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, 京都, pp.267-293
- HONG, Y. Y., CHIU, C. Y., DWECK, C. S., LIN, D. M. S. and WAN, W. (1999) Implicit theories, attributions, and coping: A meaning system approach. *Journal of Personality and Social psychology*, **77**(3):588-599
- HUK, T. (2006) Who benefits from learning with 3D models? The case of spatial ability. *Journal of computer assisted learning*, **22**(6):392-404
- 池田浩・三沢良 (2012) 失敗に対する価値観の構造. *教育心理学研究*, **60**(4):367-379
- 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*, **7**(1):19-31
- KAWAHARA, M. and MATSUOKA, K. (2013) Object-Spatial Imagery Types of Japanese College Students. *Psychology*, **4**(3):165-168
- 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*, **44**(4):393-396
- 国立教育政策研究所 (2013) *TIMSS2011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—*. 明石書店, 東京
- 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)*. <http://www.nier.go.jp/15chousakekkahoukoku/summary.pdf> (参照日 2017.02.21)
- KOZHEVNIKOV, M., HEGARTY, M. and MAYER, R. (2002) Spatial abilities in problem solving in kinematics. In M. ANDERSON, B. MEYER and P. OLIVIER (Eds.), *Diagrammatic representation and reasoning*. Springer London, pp.155-171
- KOZHEVNIKOV, M. KOSSLYN, S. and SHEPHARD, J. (2005) Spatial versus object visualizers: A new characterization of visual cognitive style. *Memory & cognition*, **33**(4):710-726
- KOZHEVNIKOV, M., MOTES, M. A. and HEGARTY, M. (2007) Spatial visualization in physics problem solving. *Cognitive Science*, **31**(4):549-579
- KOZHEVNIKOV, M. and THORNTON, R. (2006) Real-time data display, spatial visualization ability, and learning force and motion concepts. *Journal of Science Education and Technology*, **15**(1):111-132
- 栗原淳一, 益田裕充, 濤崎智佳, 小林辰至 (2016) 天体の位置関係を作図によって位相角でとらえさせる指導が満ち欠けの現象を科学的に説明する能力の育成に与える効果. *理科教育学研究*, **57**(1):19-34
- LARKIN, J. H. and SIMON, H. A. (1987) Why a diagram is (sometimes) worth ten thousand words. *Cognitive science*, **11**(1):65-100
- LOGIE, R. H. (1995) *Visuo-spatial working memory*. Hove: Lawrence Erlbaum Associates.
- MAYER, R. E. and SIMS, V. K. (1994) For whom is a picture worth a thousand words? Extensions of a dual-coding theory of multimedia learning. *Journal of educational psychology*, **86**(3):389-401
- MISHKIN, M. and UNGERLEIDER, L. G. (1982) Contribution of striate inputs to the visuospatial functions of parieto-preoccipital cortex in monkeys. *Behavioural brain research*, **6**(1):57-77
- 文部科学省 (2008) *中学校学習指導要領解説理科編*, 大日本図書株式会社
- 森本信也 (2009) 科学的リテラシー向上を目指す理科の教授・学習論. 森本信也, 横浜国立大学理科教育学会 (編) *子供の科学的リテラシー形成を目指した生活科・理科授業の開発—メタ認知的アプローチによる科学概念形成を目指した授業開発—*, 東洋館出版社, 東京, pp.10-22
- NAGENGAST, B., MARSH, H. W., SCALAS, L. F., XU, M. K., HAU, K. T. and 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
- NIIYA, Y., CROCKER, J. and BARTMESS, E. N. (2004) From vulnerability to resilience learning orientations buffer contingent self-esteem from failure. *Psychological Science*, **15**(12):801-805
- 及川昌典 (2005) 知能観が非意識的な目標追求に及ぼす影響. *教育心理学研究*, **53**(1):14-25
- PAIVIO, A. (1991) Dual coding theory: Retrospect and current status. *Canadian Journal of Psychology*, **45**(3):255-287
- RHODES, S. M., BOOTH, J. N., PALMER, L. E., BLYTHE, R. A., DELIBEGOVIC, M. and WHEATE, N. J. (2016) Executive functions predict conceptual learning of science. *British Journal of Developmental Psychology*, **34**(2):261-275
- RICHARDSON, A. (1994) Individual differences in imaging: *Their measurement, origins, and consequences*. Baywood Publishing Company, New York
- RUDMANN, D. (2002) solving astronomy problems can be limited by intuited knowledge, spatial ability, or both. *Paper presented at the Annual Meeting of the American Educational Research Association*, New Orleans
- 瀬戸崎典夫, 鈴木滉平, 岩崎勤, 森田裕介 (2017) タンジブル天体学習用 AR 教材の開発および協調学習における有用性の評価. *日本教育工学会論文誌*, **40**(4):253-264
- SHEA, D. L., LUBINSKI, D. and 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
- 篠原智哉, 佐々木一真, 平嶋宗 (2014) 力間の関係の外化を用いた力学学習支援システムの開発とその実験的利用. *教育システム情報学会誌*, **31**(4):251-263
- SKINNER, E. A., CHAPMAN, M. and BALTES, P. (1988a) Control, means-ends, and agency beliefs: A new conceptualization and its measurement during childhood. *Journal of Personality and Social Psychology*, **54**(1):117-133
- SKINNER, E. A., CHAPMAN, M. and BALTES, P. (1988b) Children's beliefs about control, means-ends, and agency: Developmental differences during middle childhood. *International Journal of Behavioral Development*, **11**(3):369-388
- STAVRIDOU, F. and KAKANA, D. (2008) Graphic abilities in relation to mathematical and scientific ability in adolescents. *Educational Research*, **50**(1):75-93
- STIEFF, M. and UTTAL, D. (2015) How much can spatial training improve STEM achievement? *Educational Psychology Review*, **27**(4):607-615
- 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*, **36**(3):1-11
- 鈴木誠 (1997) 理科教育における学習意欲の構造に関する研究 (4) - 児童や生徒の自己効力感, 認知的方略のメタ認知, 及び社会的関係性の発達の變化について -. *日本理科教育学会研究紀要*, **38**(1):11-21
- 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*, **40**(1):11-23
- 鈴木誠 (2002) 理科の学習における自己効力の違いが, 生徒の学習目標の設定に及ぼす影響, *理科教育学研究*, **43**(1):1-10
- 上淵寿 (2004) 達成目標理論の最近の展開. 上淵寿(編), *動機づけ研究の最前線*. 北大路書房, 京都, pp.88-107
- 梅本貴豊, 中西良文 (2010) CAMI (Control, Agency, and Means-Ends Interview) による期待信念と学習行動の関連. *教育心理学研究*, **58**(3):313-324
- 梅本貴豊, 田中健史朗 (2012) 大学生における動機づけ調整方略, *パーソナリティ研究*, **21**(2):138-151
- VANDENBERG, S. G. and KUSE, A. R. (1978) Mental rotations, a group test of three-dimensional spatial visualization. *Perceptual and motor skills*, **47**(2):599-604
- 和田一郎, 森本信也 (2010) 子どもの科学概念構築における表象の変換過程の分析とその教授論的展開に関する研究: 高等学校 化学「化学反応と熱」の単元を事例に. *理科教育学研究*, **51**(1):117-127
- WAI, J., LUBINSKI, D. and 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
- WEINER, B. (1972) *Theories of motivation*. Rand McNally, Chicago
- WIGFIELD, A. and ECCLES, J. S. (2000) Expectancy-Value Theory of achievement motivation. *Contemporary Educational Psychology*, **25**(1):68–81
- WOOD, R. and BANDURA, A. (1989) Impact of conceptions of ability on self-regulatory mechanisms and complex decision making. *Journal of personality and social psychology*, **56**(3):407–415
- YANG, E. M., ANDRE, T., GREENBOWE, T. J. and TIBELL, L. (2003) Spatial ability and the impact of visualization/animation on learning electrochemistry. *International Journal of Science Education*, **25**(3):329–349

Summary

The aim of this research is to clarify students' personal characteristics that relate with a tendency to reduce motivation for science learning at junior high school. Received the findings of the previous research, we

focused on mental imagery processing characteristics as individual difference variables related to stumbling experiences in science learning. We focused on theories of intelligence as a variable to moderate the impact of stumbling on expectancy beliefs and examined the effect on beliefs. As results, it became clear that students who are not good at spatial imagery processing are apt to have difficulty in science learning, and this tendency was remarkable especially in the physics field. Furthermore, in physics and chemistry fields, its influence was buffered by the theories of intelligence and if they have incremental theory, there was a tendency for the control belief to be relatively maintained even if they were not good at spatial imagery processing. In addition, control belief for biology field was strongly affected by object imagery processing. These results suggest that mental imagery processing required depends on the fields of science learning.

KEYWORDS: SCIENCE LEARNING, EXPECTANCY BELIEFS, MOTIVATION, MENTAL IMAGERY, INDIVIDUAL DIFFERENCES

(Received February 23, 2017)