

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[†]

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}

本研究は、高校生の言語性-空間性ワーキングメモリ容量の個人差に着目して、理科4分野に対する得意不得意との関連を明らかにすることを主たる目的とした。その結果、言語性ワーキングメモリはすべての分野の統制感と関連していたが、空間性ワーキングメモリとの関連は物理と地学分野に限定されていた。さらに、物理分野に対する統制感の性差は空間性ワーキングメモリによって部分的に媒介されている可能性が示された。本研究の結果と先行研究の成果を総合し、言語性ワーキングメモリ容量は学習全般に対する得意不得意に、空間性ワーキングメモリ容量は物理・地学分野に固有な得意不得意と関連するものと考察された。

キーワード：理科，統制感，得意不得意，ワーキングメモリ容量，性差

1. はじめに

理科の中でも、生物分野は得意であるが物理分野は苦手というように、個人によって4分野(物理・化学・生物・地学)の得意不得意は異なる。分野による得意不得意の違いが発生する背景には、それぞれの分野で異なる質の認知的処理が要求されるために、得意な認知的処理のタイプと合致する分野とそうでない分野が存在することが考えられる。本研究ではワーキングメモリ容量(Working Memory Capacity; WMC)に着目し、理科4分野に対する得意不得意との関連を検討する。

ワーキングメモリモデルは、言語性の情報を内的なリハーサルによって保持する音韻ループ、非言語的な情報の保持を担う視空間スケッチパッドの2つのスレーヴシステムと、それらを制御し必要に応じて認知資源を分配して情報処理を行う中央実行系から構成され

る。言語性、空間性のWMCは独立し(SHAH and MIYAKE 1996)、それぞれの個人差に応じて得意な課題は異なる。

GATHERCOLE *et al.* (2004) は、言語性WMCが理科を含むあらゆる科目の学習成績を予測することを示している。また、理科は空間的な認知処理も極めて重要な科目であり(e.g., SHEA *et al.* 2001)、物理分野の学習では個人の空間性WMCと問題解決との関係も議論されている(KOZHEVNIKOV *et al.* 2007)。

これらの研究をまとめると、理科では言語的、空間的情報処理の両方が要求されるため、両モダリティのWMCが学習達成と関連するようである。しかし、理科の分野によって各WMCによる寄与の様相に違いがあるかは明らかでない。もし、理科4分野で要求される認知的処理の特徴が異なるなら、個人のモダリティ固有のWMCに対応した得意不得意が生じるだろう。

2. 本研究の目的

本研究の主たる目的は、理科4分野の得意不得意と言語性-空間性WMCとの関連を検討することである。得意不得意の感覚は、心理学の動機づけ概念からみると統制感(control belief)に近いと考えられる。統制感とは、「どの程度自分は目標を達成できると期待しているか」を指す概念である(鈴木 2012)。本研究では理科4分野に対する得意不得意の指標として統制感を採用し、両モダリティのWMCとの関連を分析する。

ところで、物理分野の動機づけは男子の方が女子よ

2017年3月22日受理

[†] Yuuki HARADA^{*1} and Makoto SUZUKI^{*1} : The Relationship Between Control Beliefs for Four Fields of Science Learning and Verbal - Spatial Working Memory Capacities

^{*1} Graduate School of Science, Hokkaido University North-10, West-8, Kita-ku, Sapporo, Hokkaido, 060-0810 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

りも高い傾向にあり (e.g., OGURA 1995), さらに空間性 WMC にも同様の性差がある (VOYER *et al.* 2016). 現在, 理系諸分野に女性が少ない理由は何であるか, 空間能力などの生物学的要因と社会的要因の両側面から議論されており (CECI and WILLIAMS 2007), この機序の解明は喫緊の課題である. そこで, 本研究でも統制感と空間性 WMC に性差があった場合, 統制感における性差が空間性 WMC によって媒介されるかの検討を 2 つ目の目的とし, その機序の分析を試みる.

3. 方 法

3.1. 研究参加者

北海道内の公立高校 1 校に在籍する 1 年生 65 名 (男子 28 名, 女子 37 名) を対象とした.

3.2. 測定内容

3.2.1. ワーキングメモリ課題

リーディングスパンテスト (RST)

言語性 WMC の指標には, 荻阪 (2002) によるリーディングスパンテストを使用した. 灰色の画面に黒文字で文章が表示され, その一部 (ターゲット語) に赤の下線が引かれていた. 参加者は文章を声に出して音読しながら, 同時にターゲット語の記憶が求められた. RST は 2 文条件から 5 文条件まで 5 試行ずつ実施した. 先行研究に従い, 各条件のうち 3 試行以上正しく再生できた文の数を RST 得点とし, 5 試行中 2 試行のみ正しく再生できた場合には 0.5 点を与えた.

空間スパンテスト (SST)

空間性 WMC の指標には, ひらがな刺激による空間スパンテスト (SHAH and MIYAKE 1996) を使用した. 刺激は灰色の画面にひらがなの文字刺激 (あ, か, す, は, も) が正像もしくは鏡像で提示され, 45 度刻みの間隔で回転された状態であった (0 度を除く). 参加者は心的回転によって各文字刺激が正像であるか鏡像であるかを判断しながら, 文字刺激の向きを記憶することが求められた. RST と同様に 2 刺激条件から 5 刺激条件まで 5 試行ずつ実施され, 3 試行以上正しく再生できた条件の刺激数を SST 得点とし, 2 試行再生できた場合 0.5 点を与えられた. 正像鏡像判断が不正解であった場合, 当該試行は不正解として扱った.

3.2.2. 理科 4 分野の統制感

鈴木 (2012) による理科教育用自己効力感測定尺度 (SESSE) のうち, 統制感の下位尺度 4 項目を理科 4 分野の文脈に適合するように修正して使用した. この尺度は, 理科に対する動機づけを様々な側面から測定

するため, 複数の下位尺度から構成されている. 本研究で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. なお, 項目には「実験」について尋ねるものが存在した. 生物や地学分野では「実験」だけでなく, 「観察」も重要であることが想定されるが, 本研究では理科 4 分野で項目表現を揃えることを優先し, 表現の修正は行わなかった. 総項目数は 16 項目であった. 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)」の 4 件法で求めた.

対象とした学校の 1 年生は化学基礎と生物基礎を学習しており, 高校以降の学習の影響が 4 分野で異なることが考えられた. そこで, 「中学校理科での学習の様子について尋ねます」と教示し, どの学習内容が各分野に該当するかを説明し, また調査用紙に明記した.

3.3. 手続き

本研究は, 7 月下旬の夏休み中に実施した. 測定は, 理科 4 分野の統制感尺度への回答後, RST, SST を実施した. 参加者には研究協力は任意であること, 個人情報には取り扱わないこと, 任意のタイミングで辞退できることを説明し, 同意を得た上で実施した.

4. 結 果

4.1. 各変数の基本統計量と相関分析

各変数の基本統計量と α 係数, 相関係数を表 1 に示した. 性差検討のため Welch の検定を実施したところ, SST 得点と ($t(56.40) = 2.78, p = .01, d = 0.69$), 物理の統制感 ($t(61.40) = 2.84, p = .01, d = 0.69$) に有意な性差が認められた.

4.2. 各 WMC が理科 4 分野の統制感に与える影響

各モダリティの WMC が理科 4 分野の統制感に与える影響を検討するため, WMC を独立変数, 統制感を従属変数とした共分散構造分析を実施した. モデルは適合度指標を参照しながらパスの選択がなされた. 最終モデルを図 1 に示した ($\chi^2(5) = 5.96, p = .31, GFI = .97, AGFI = .87, CFI = .98, RMSEA = .06$).

RST 得点はすべての分野の統制感に対して有意, もしくは有意傾向で影響を与えていた. SST 得点は物理と地学分野の統制感に対してのみ有意な影響を与えていた.

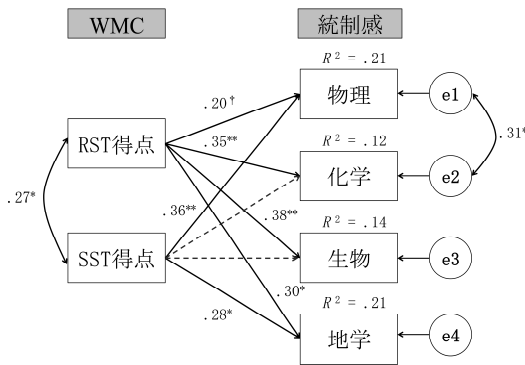
4.3. 物理の統制感における性差と空間性 WMC

物理の統制感と SST 得点に有意な性差が認められたため, 媒介分析を行った (図 2). 性別はダミー変数化し, 男子を 0, 女子を 1 とした.

表1 各変数の平均値 (標準偏差), α 係数, 相関係数 ($n = 65$)

	Mean (SD)			α	相関係数				
	全体	男子	女子		1	2	3	4	5
1 RST得点	3.15 (0.75)	3.13 (0.77)	3.18 (0.76)	—	—				
2 SST得点	3.08 (0.97)	3.45 (0.96)	2.80 (0.90)	—	.27*	—			
統制感									
3 物理	2.48 (0.91)	2.82 (0.80)	2.22 (0.91)	.72	.30*	.41**	—		
4 化学	2.70 (0.70)	2.78 (0.78)	2.64 (0.64)	.81	.30*	-.09	.29*	—	
5 生物	2.97 (0.58)	2.96 (0.60)	2.98 (0.58)	.83	.38**	.09	.15	.22†	—
6 地学	2.61 (0.58)	2.66 (0.57)	2.57 (0.60)	.77	.37**	.36**	.36**	.24†	.25*

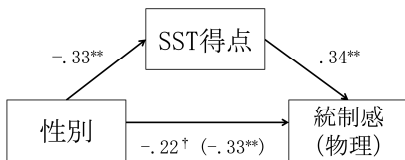
† $p < .10$, * $p < .05$, ** $p < .01$



† $p < .10$, * $p < .05$, ** $p < .01$

注) 破線は有意でないパスを示す。

図1 WMCが理科4分野の統制感に及ぼす影響



† $p < .10$, ** $p < .01$

注) 括弧内は媒介なしモデルの標準化係数

図2 物理の統制感における性差についての媒介分析

ブートストラップ法 (リサンプリング数: 5000) による分析の結果, 有意な間接効果があった (95%CI [-0.49, -0.04]). 媒介を想定しない場合の統制感への性別の効果 ($\beta = -.33, B = -0.61, p = .01$) は, SST得点を媒介変数として組み込んだところ減衰した ($\beta = -.22, B = -0.40, p = .07$). しかし, その効果は依然として有意傾向であった.

5. 考 察

5.1. 理科4分野の統制感と言語性-空間性 WMC

理科4分野の統制感と言語性-空間性 WMC との関

連を検討したところ, 言語性 WMC はすべての分野の統制感に影響していた. 理科学習では分野によらず言語的な情報処理が不可欠であるため, こうした認知的処理に苦手さがあるとつまずきを経験すると考えられる. この効果はあらゆる教科で観察されており (GATHERCOLE *et al.* 2004), 言語性 WMC による統制感への寄与は, 「理科の得意不得意」というよりも「学習全般に対する得意不得意」と関連すると解釈する方が妥当であろう.

それに対して, 空間性 WMC の影響は物理と地学分野の統制感に限定されていた. この結果から, 中学校理科の物理分野および地学分野に対する得意不得意には空間性 WMC の個人差が関連するといえる.

地学分野では以前から月や金星の見え方などの天体学習で空間認識力が必要であることが指摘されている (e.g., 岡田・松浦 2014). 小さい空間性 WMC を持つ生徒は, こうした思考が要求される場面ではつまずきを経験しやすいために, 統制感が低下しやすいのだろう. また, 物理分野の問題解答には個人の空間能力が影響するため (KOZHEVNIKOV *et al.* 2007), 特に問題演習時に困難を知覚しやすいものと思われる.

空間性 WMC は化学と生物分野に対する統制感と関連していなかった. これは, 中学校理科での化学分野は化学反応式や計算問題など, 命題的処理が要求される学習場面が中心であり, 生物分野でも空間的な思考が必要な場面が少ないためだろう. ところで, 対象者は高校入学後に化学基礎と生物基礎を学習しており, その影響が混入した可能性も否定できない. しかし, その上でも空間性 WMC との関連が検出されなかったため, 化学基礎および生物基礎の初期段階でも, 空間的な認知処理は強く要求されない可能性がある.

本研究の結果と先行研究の知見をまとめると, 化学や生物分野を含む理科全般に苦手意識を持ちやすい子どもは言語性 WMC が小さい可能性があり, その困難

はあらゆる学習場面, あらゆる教科に及ぶと考えられる。一方, 物理や地学分野に特異的な苦手意識を持つ子どもは空間性 WMC が小さい可能性があり, 特定の科目での学習に困難を示す傾向があると考えられる。

5.2. 物理の統制感に性差が生じる機序

物理の統制感における性差は空間性 WMC によって媒介された。この結果から, 物理の統制感に性差がみられる背景は, 空間性 WMC によって説明可能といえる。

しかし, 空間性 WMC を媒介変数として想定した上でも, 性別から物理の統制感への影響は依然有意傾向であったことは注目すべきである。この結果は, 空間性 WMC の性差だけでは物理の統制感における性差を説明しきれないと解釈できる。物理分野と同じく空間性 WMC が関連する地学分野の統制感には性差がないことから, 空間性 WMC の性差が理科の統制感に直結するとは考えにくい。この性差発生機序には本研究で測定しなかった様々な変数も複雑に関連しているものと推察される。

6. 本研究の課題

本研究の対象者は少人数であり, また1校の高校生を対象としたため図らずも学力レベルが制御された可能性がある。結果の一般化には慎重になるべきである。

また, 本研究では, 統制感の項目表現を4領域で揃えたため, 生物や地学領域で行われる「観察」に対する統制感測定していない。今後は各領域に固有の学習場面における得意不得意も検討する必要がある。

さらに, 今後は小さい空間性 WMC を持つ子どもに物理や地学分野に苦手意識を持たれないよう, どのような指導方策が考えられるか, ワーキングメモリの理論を基礎とした実践的研究がなされる必要がある。

付 記

本研究は, HARADA and SUZUKI (2016) で発表した内容に大幅な加筆・修正を施してまとめたものである。

謝 辞

本研究にご協力いただいた高校の生徒の皆さんおよび教職員の皆さん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

- CECI, S. J. and WILLIAMS, W. M. (2007) Why aren't more women in science: Top researchers debate the evidence, American Psychological Association, Washington, DC
- GATHERCOLE, S. E., PICKERING, S. J., KNIGHT, C. and STEGMANN, Z. (2004) Working memory skills and educational attainment: Evidence from national curriculum assessments at 7 and 14 years of age. *Applied Cognitive Psychology*, **18**(1): 1-16
- HARADA, Y. and SUZUKI, M. (2016) Poor verbal and visuospatial working memory of students induces modality specific errors in science learning. 2016 International Conference of East-Asian Association for Science Education, 26-28 August, Tokyo, Japan.
- KOZHEVNIKOV, M., MOTES, M. A. and HEGARTY, M. (2007) Spatial visualization in physics problem solving. *Cognitive Science*, **31**(4): 549-579
- OGURA, Y. (1995) Development of interests in science and the influences of gender and parent. *科学教育研究*, **19**(3): 172-180
- 岡田大爾, 松浦拓也 (2014) 天文分野における児童・生徒の空間認識に関する比較研究, *図学研究*, **48**(2-3): 3-10
- 荻阪満里子 (2002) 脳のメモ帳 ワーキングメモリ, 新曜社, 東京
- SHAH, P. and 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. 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
- 鈴木誠 (2012) ボクにもできるがやる気を引き出す一学ぶ意欲を捉え, 伸ばすための処方箋, 東洋館出版社, 東京
- VOYER, D., VOYER, S. D. and SAINT-AUBIN, J. (2016) Sex differences in visual-spatial working memory: A meta-analysis. *Psychonomic Bulletin & Review*: 1-28
- (Received March 22, 2017)