

## 中学校理科の天文分野での活用を見据えた 紙筆版空間的視点取得課題 (PSPT) の開発<sup>†</sup>

原田勇希<sup>\*1,\*2</sup>

北海道大学大学院理学院<sup>\*1</sup>・日本学術振興会特別研究員<sup>\*2</sup>

本研究は、中学校理科の天文分野で活用することを見据えた紙筆版の空間的視点取得課題 (PSPT) の開発を目的とした。反応時間と誤答率の分析より、本研究で作成した刺激に対する左右判断は空間的視点取得の認知的処理を反映できていると考えられた。また、心的回転課題や「季節による星座の見え方」の単元テストおよび主観的理解度とも理論的に想定された相関があった。このことから、PSPT は基準関連妥当性を持つ課題であると考察された。

キーワード：天文分野，空間的視点取得，心的イメージ，空間認知，星座の見え方

### 1. 問題と目的

中学校理科における地球領域（地学）の「見方・考え方」として「時間的・空間的」な視点から自然の事物・現象を捉えていくことが領域における特徴的な視点として整理されている（文部科学省 2017）。しかし、とりわけ地球領域の中でも天文分野は空間認識的な理解を促すことが困難である（e.g., 松森 1983；岡田・松浦 2014）。そのため天文分野を扱う実践的研究では拡張現実（Augmented Reality；AR）の活用（瀬戸崎ほか 2017）など、多くの有効な指導法の提案や教材開発がなされている。

一方、空間イメージ能力の個人差に着目した基礎的研究も行われている。視空間性ワーキングメモリなどの空間イメージ処理に関わる個人差は、理科や数学の学業達成や動機づけを予測できる（e.g., 原田・鈴木, 2018ab；Wai *et al.* 2009）。空間イメージ課題には複数

のタイプがあり、例えば心的回転は対象物体を空間的に変換する処理であるのに対し、空間的視点取得（spatial perspective taking；以降、SPT）は自己の視点を空間的に変換する処理である。両者には強い相関があるものの、別の因子が抽出される（HEGARTY and WALLER 2004）。とりわけ天文分野の学習では SPT が要求されることが知られており（e.g., PLUMMER *et al.* 2016；RULE 2016）、SPT 能力が低い生徒ほど学習でつまづきを経験しやすく、学習内容の空間的な理解に至りづらい可能性がある。

上記の背景より、理科教師が授業前の診断的評価として生徒の SPT 能力を把握できれば、指導計画に活用できると考えられる。しかし、学校で SPT 能力を測定するには以下の問題がある。これまで理科教育学研究で天文分野の文脈における空間認識能力の評価課題が開発されているが、知識の有無や問題文の理解状況が混入しうる。そのため課題成績の低さをもって SPT をはじめとした空間イメージ処理過程に困難があったかどうかを特定できない。一方で実験心理学的な厳密な統制下での SPT 課題の実施は授業時間や技術上の制約があり、コンピュータによる刺激提示や行動指標の取得は困難である。すなわち、簡便、迅速かつ知識の影響を受けずに純粋な認知能力を測定できる SPT 課題を開発する必要がある。

こうした問題を受け、本研究は中学校理科の天文分野での活用を見据えた紙筆版の SPT 課題（Paper-pencil based Spatial Perspective Taking task；以下、PSPT）の

2018年4月3日受理

<sup>†</sup> Yuuki HARADA<sup>\*1,\*2</sup> : Development of Paper-pencil Based Spatial Perspective Taking Task for Astronomy Education in Lower Secondary School

<sup>\*1</sup> Graduate School of Science, Hokkaido University North-17, West-8, Kita-ku, Sapporo, Hokkaido, 060-0817 Japan

<sup>\*2</sup> 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

開発を目的とする。

## 2. 方法

### 2.1. 参加者と実施時期

北海道内の中学校1校に通う3年生30名(男子19名, 女子11名)を対象とした。例数設計には G\*Power3 (FAUL *et al.* 2007) を使用した。基準関連妥当性の基準として大きな効果量とされる  $\rho = .50$  を採用し, 危険率  $\alpha = 0.05$ , 検定力  $(1 - \beta) = 0.80$  としたときの適性サンプルサイズ ( $n = 29$ ) をもとに行った。

### 2.2. PSPT の刺激作成

刺激は MUTO *et al.* (2017) を参考に作成した (図 1)。円形のテーブルと, 手前を 0 度として左右に 40 度, 80 度, 120 度, 160 度回転した位置に椅子が配置されていた。椅子の正面にはオブジェクトを 2 つ配置し, 片方を標的刺激とした。PSPT は 3 セットで構成され, オブジェクトおよび標的刺激が異なっていた (第 1 セット: パイオリナー地球儀, 第 2 セット: ライオンイルカ, 第 3 セット: 急須-サッカーボール, すべて前者が標的刺激)。各セット 32 刺激 (回転角 (4)  $\times$  回転方向 (2)  $\times$  標的刺激の左右 (2)  $\times$  同刺激の提示回数 (2)) を A4 冊子の見開きに配置した。参加者は椅子の位置から標的刺激が左右どちらに見えるかを, 1 セット 20 秒の時間制限の中で, 刺激の下に配置した左右のチェックボックス中でできるだけ早く正確に解答するよう求められた。左右いずれかに解答があった刺激を採点対象とし, 正答数から誤答数を引いた値を PSPT 得点とした。

PSPT の刺激は天文分野の内容と関連せず, かつ厳しい時間制限を課した。そのため, 当該学習内容の知識を用いた推論がなされる可能性は低いと考えられる。

### 2.3. 測定変数

#### 2.3.1. コンピュータ制御による SPT 課題

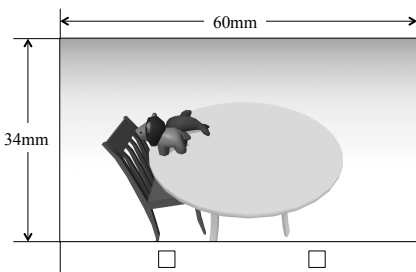


図 1 使用した PSPT の刺激 (左 80 度) とチェックボックス

PSPT と同じ刺激を用いてコンピュータ制御による SPT 課題を実施した。刺激は E-Prime3 (Psychology Software Tools) によって制御し, コンピュータディスプレイ (13 インチ) 上に提示した。1 試行の流れを図 2 に示した。1 ブロック 32 施行, 全 2 ブロック (パイオリナー地球儀, ライオンイルカ) で構成されていた。ブロックの順序はカウンターバランスした。

コンピュータ制御による SPT 課題を実施した理由は以下 2 点である。1 点目は, 作成した刺激に対する左右判断が SPT に基づいていることを確かめるためである。SPT 課題の反応時間は回転角度の関数となる (e.g., DIWADKAR and MCNAMARA 1997)。本実験で得られた行動データがこの知見と矛盾しないことを確認する。2 点目は, PSPT の得点と反応時間および誤答率との相関を確認することによって PSPT の基準関連妥当性を検討するためである。

#### 2.3.2. 心的回転課題

VANDENBERG and KUSE (1978) による心的回転課題 (Mental Rotation Test; 以下, MRT) を実施した。先行研究より, PSPT とは正の相関を示すことが予想される。

#### 2.3.3. 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。VVIQ は心的イメージ能力のうち鮮明性を測定できる。鮮明性と空間イメージは異なるタイプの処理であるため (e.g., KOZHEVNIKOV *et al.* 2005), PSPT とは相関がないことが予想される。

#### 2.3.4. 天文分野における空間的理解の状況

天文分野の空間的理解状況の評価には, 「季節による星座の見え方」の単元テストの得点を用いた (6 点満点)。問題文では季節, 時刻, 観察方角, 見える星座のうち 3 つを指示し, 残りの 1 つを解答する形式で

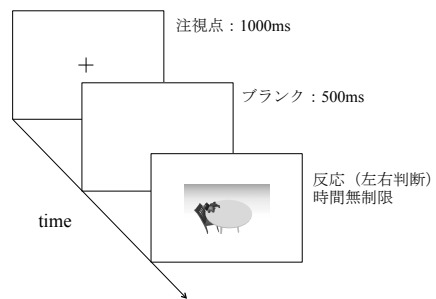


図 2 コンピュータ制御による SPT 課題の 1 試行の流れ

あった。この問題に解答するためには地球の公転軌道と自転(時刻)に沿ったSPTが要求される。もしPSPTが適切にSPT能力を測定できているならば、単元テスト得点との間に正の相関が検出されるだろう。

また、「季節による星座の見え方」の学習に対する主観的理解度を測定するため、「季節による星座の見え方の考え方について理解できていると思う」という質問項目に対して5件法(1:まったくあてはまらない, 5:よくあてはまる)で回答を求めた。

#### 2.4. 手続き

本研究は2017年12月に中学校で実施された。静粛を保てる教室を実験室として使用した。参加者には理科の授業時に「天文分野の学習と視覚的なイメージの関連に関する研究」への協力を呼びかけた。研究協力は任意であること、辞退しても不利益を被ることはないことが伝えられた。また事前実験計画を学校側に提出し許可を得た上で、教諭1名の監督下で実施した。

実施順序はMRT, VVIQ, PSPT, コンピュータ制御によるSPT課題の順であり、単元テストの前に実施した。課題間には休憩をとり、参加者の疲労を解消するように配慮した。単元テストと主観的理解度の測定は、協力校の3年生全員を対象とし、当該学習内容を扱った次の授業時の冒頭に抜き打ちで実施した。そのうち本研究の参加者のデータを取得した。採点后に単元テストの用紙とその解説を全生徒に、集計結果を協力校にフィードバックする倫理的配慮をした。

### 3. 結果

コンピュータ制御によるSPT課題の誤答率が著しく高かった1名(+3SD以上)をすべての分析から除外し、29名分(男子18名, 女子11名)を分析対象とした。

#### 3.1. コンピュータ制御によるSPT課題の分析

図3に各回転角の平均反応時間と平均誤答率を示した。分散分析の結果、反応時間( $F(2.35, 65.82) = 20.82, p < .001, \eta_p^2 = .43$ ), 誤答率( $F(2.07, 57.91) = 8.16, p < .001, \eta_p^2 = .23$ )とも回転角による差があった(自由度はGreenhouse-Geisserの $\epsilon$ によって補正した)。多重比較(Holm法,  $\alpha = 0.10$ )の結果、誤答率におい

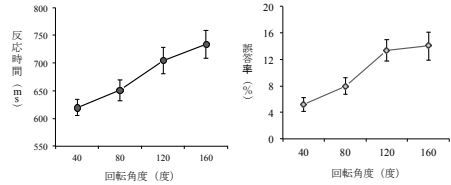


図3 回転角度と反応時間、誤答率の関連  
注) エラーバーは標準誤差

て40度と80度, 120度と160度の間に有意差はなかったが, それ以外では有意, 有意傾向で差があった( $p < .10$ ).

#### 3.2. PSPTの信頼性・基準関連妥当性の検討

PSPT得点の $\omega$ 係数は良好であった( $\omega = .96$ ).

表1にPSPT得点と各指標の記述統計量と相関係数を示した。PSPT得点はコンピュータ制御によるSPT課題における平均反応時間と強い負の相関があったのに対し、平均誤答率とは有意な相関はなかった。そこで、PSPT得点と誤答率との相関を詳細に検討するため、各回転角における平均誤答率との相関を求めたところ、160度条件での誤答率( $Mean = 14.01, SD = 11.41$ )と有意な負の相関があった( $r = -.50, p = .006$ ).

PSPTはMRTと有意な正の相関があり、VVIQとの有意な相関はなかった。さらに、「季節による星座の見え方」の単元テストの得点、ならびに主観的理解度との間にも有意な正の相関が確認された。

### 4. 考察

本研究の目的は、中学校理科の天文分野での活用を見据えた紙筆版のSPT課題を開発することであった。コンピュータ制御による実験を行った結果、反応時間、誤答率ともに回転角とともに値が大きくなることが示された。この結果は先行研究の知見と一致するものであり、本研究で作成した刺激に対する左右判断はSPTに基づいた解答を要求していると考えられる。

PSPTの内的整合性は非常に良好であった。そのため、PSPTは高い信頼性を有しているものと考えられる。

基準関連妥当性に関して、事前に立てた仮説とおお

表1 各測定変数の記述統計量とPSPT得点との相関係数 ( $n = 29$ )

	PSPT 得点	反応時間 (ms)	誤答率 (%)	MRT	VVIQ	単元テスト	主観的理解度
Mean	42.79	674.18	10.13	9.34	61.14	3.90	3.28
(SD)	(15.20)	(98.62)	(4.70)	(3.97)	(11.02)	(1.74)	(1.16)
$r$	-	-.60 **	-.28	.41 *	.23	.40 *	.52 **

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

むね整合する相関のパターンが観察されものの、平均誤答率のみ有意でなかった。誤答率が高い160度においては有意な相関があったことから、平均誤答率が床効果の傾向にあったことが要因と思われる。

さらに、「季節による星座の見え方」の単元テストおよび主観的理解度とも有意な相関が確認された。この結果は当該分野の学習過程でSPTが要求され、その能力の個人差が理解度に影響を及ぼすことを示す。天文分野の学習ではSPT能力を診断的評価として測定し、その結果に応じた指導計画や個別の配慮に生かすことが重要であると考えられる。例えば、低いSPT能力を持つ生徒ほど視覚化教材による支援を必要としているかもしれない。また、作図などの空間的学習方略の使用は空間イメージ能力とは独立して学習成果を予測できるため(FIORELLA and MAYER 2017)、学習方略への介入が有効である可能性がある。

今後の研究ではサンプル数を増やし、PSPTの再検査信頼性を確認することが重要だろう。また、実際にSPT能力が低い生徒が天文分野の学習過程のどの場面、どの学習内容で困難を感じるかを確認できていない。今後は現場での活用とともに、SPT能力の低い生徒への有効な教育的介入の方法を考える必要がある。

## 謝 辞

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

- DIWADKAR, V. A. and MCNAMARA, T. P. (1997) Viewpoint dependence in scene recognition. *Psychological Science*, **8**(4) : 302-307
- FAUL, F., ERDFELDER, E., LANG, A. G. and 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
- FIORELLA, L. and MAYER, R. E. (2017) Spontaneous spatial strategy use in learning from scientific text. *Contemporary Educational Psychology*, **49** : 66-79
- 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, **41** (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, **41**(4) : 315-327
- HEGARTY, M. and WALLER, D. (2004) A dissociation between mental rotation and perspective-taking spatial abilities. *Intelligence*, **32**(2) : 175-191
- 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
- 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
- MARKS, D. F. (1973) Visual imagery differences in the recall of pictures. *British journal of Psychology*, **64**(1) : 17-24
- 松森靖夫 (1983) 児童生徒の空間認識に関する考察(III)—視点移動の類型化について, 日本理科教育学研究紀要, **24**(2) : 27-34
- 文部科学省 (2017) 中学校学習指導要領
- MUTO, H., MATSUSHITA, S. and MORIKAWA, K. (2018) Spatial perspective taking mediated by whole-body motor simulation. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, **44**(3) : 337-355
- 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
- PLUMMER, J. D., BOWER, C. A. and LIBEN, L. S. (2016) The role of perspective taking in how children connect reference frames when explaining astronomical phenomena. *International Journal of Science Education*, **38**(3) : 345-365
- RULE, A. C. (2016) Spatial Thinking Skills and STEM Connections: How Does this Issue Address Them? *Journal of STEM Arts, Crafts, and Constructions*, **1**(2) : 1-8
- 瀬戸崎典夫, 鈴木渥平, 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
- VANDEMBERG, 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
- 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

(Received April 3, 2018)