

メンタルローテーション課題の正誤による視線移動と脳活動の特徴の考察

Consideration of Characteristics of Eye Movement and Brain Activity Caused by Correct and Incorrect responses to Mental Rotation Tasks

近藤 竜生^{*1}, 岡本 尚子^{*2}, 田邊 宏樹^{*1}, 黒田 恭史^{*3}Tatsuki KONDO^{*1}, Naoko OKAMOTO^{*2}, Hiroki TANABE^{*1}, Yasufumi KURODA^{*3}^{*1}名古屋大学情報学研究科^{*1}Graduate School of Informatics, Nagoya University^{*2}立命館大学^{*2}Ritsumeikan University^{*3}京都教育大学^{*3}Kyoto University of Education

Email: kondo.tatsuki.r6@s.mail.nagoya-u.ac.jp

あらまし：平面上にかかれた空間図形の把握や頭の中で操作することは，児童生徒にとって理解困難なものの一つである。その要因を探るため，今日では視線移動や脳活動といった生理心理学的指標を用いた分析が行われている。本稿ではその基礎実験として，大学生を対象にメンタルローテーション課題時の視線移動と脳活動の同時計測実験を行い，課題の正誤によって生じる認知特性の違いを分析する。

キーワード：視線移動，脳活動，メンタルローテーション，空間認知能力

1. はじめに

算数・数学の空間図形の単元において，児童生徒によっては図から立体や空間関係がイメージできない⁽¹⁾。そのため空間図形の単元を指導するにあたり，空間認知に関する能力を十分に育成する必要がある。空間認知に関する能力の中でも，平面に描かれた立体図形の構造を把握し，頭の中で操作するメンタルローテーション（以下，MR）能力はSTEM（Science, Technology, Engineering and Mathematics）領域と最も関連があり⁽²⁾，生活を送る上でも重要な能力である。

MR能力の特徴を解明するために，近年では視線や脳活動の分析が行われている。筆者もこれまでMR課題の回転軸の違いによって生じる認知の特徴が，所要時間や正答率，視線移動の特徴として表れることを明らかにした⁽³⁾。しかしこの分析では課題の正誤を分けていない。教育への応用を見据えるならば，課題の正誤によって生じる特徴を分析し，正答や誤答に至った要因の解明が重要だと考えた。

以上のことから，本稿は近藤他（2022）で計測したデータを基に，MR課題の正誤によって生じる所要時間や視線移動，脳活動の特徴を解明することを目的とする。そこから正答や誤答に至った要因を推測し，空間図形教材の開発へ向けた知見を集約する。

2. 視線移動・脳活動同時計測実験

2.1 実験概要

実験で使用した視線計測装置はTobii pro Glasses2（Tobii AB, Danderyd, Sweden）でサングラス型，脳活動計測装置はSpectratech OEG-16（スペクトラテック，東京）でハチマキ型であり，軽量かつ拘束性が低いた

め，自然な学習姿勢に近い状況で計測が可能であった。実験参加者は京都教育大学の研究倫理審査委員会において承認を受けた実験データ取得方法，実験データ活用などについて説明を受け，同意書に署名した後，実験が開始された。

実験課題は回転角度の異なる左右の複合立体の異同を答えるMR課題（図1）で，立体の回転軸（回転する方向）は7種類ある。実験参加者は京都教育大学生・大学院生の計32名（平均年齢21.3±1.7歳，男性11名，女性21名）である。

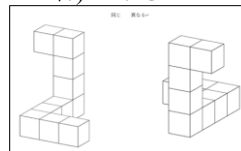


図1 実験課題例

2.2 分析方法

本稿では，MR課題の同じ回転軸内の正誤の違いによって生じる差のみを分析するために代表値の選定を行った。ある被験者の，各回転軸の課題で正答と誤答が両方存在する場合のみ，その平均値を代表値として選出することで，正答した課題（以下，正答課題）と誤答した課題（以下，誤答課題）を同数にした。こうすることで，正誤の特徴のみを分析できると考えた。

所要時間は正規分布に従うと判断したため，対応のあるt検定を用いて統計解析を行った。視線移動データ図2の4パターンに分類してそれぞれ集計を行った。よって離散的な数値となっておりデータの正規性が仮定できないため，ウィルコクソンの符号付順位和検定を用いて統計解析を行った。脳活動デー

タは前頭前野の oxyHb 最大値と oxyHb 値が最大値に到達した時間 (以下, 最大賦活時間) を分析した. 両方とも正規分布に従うと判断したため, 対応のある t 検定を用いて統計解析を行った.

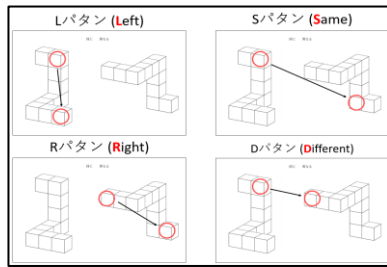


図2 視線移動パターン

3. 結果

図3は, 各回転軸の正答・誤答課題の視線移動パターンの割合を示した図である. 回転軸(0,0,1)N=10とは, 回転軸(0,0,1)の課題で正答と誤答両方存在する被験者は10名いたことを示している. 正誤間で有意差が見られた視線移動パターンは, 回転軸(0,1,1)(1,1,0)のRパターン, 回転軸(1,0,1)のDパターンである($ps < .05$). またすべての回転軸において誤答課題のほうが, Rパターン割合が高い. 表1は, 所要時間, 視線移動, 脳活動それぞれに対し, 同じ回転軸内の正誤間で統計解析を行い, 有意差が見られた回転軸を表したものである. 視線移動のRやDは, 図2のRパターン, Dパターンのことを指す. oxyHb 値と最大賦活時間の右や左は, 右前頭前野と左前頭前野のことを指す.

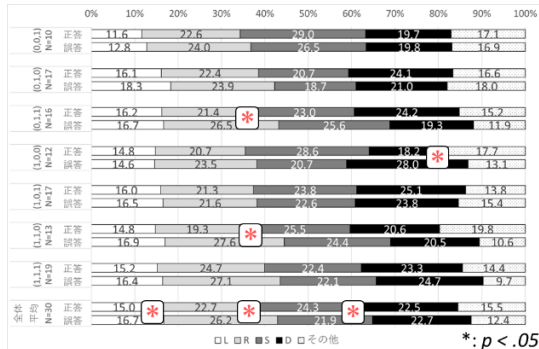


図3 正答・誤答課題の視線移動パターン割合

表1 正答課題と誤答課題の平均所要時間

回転軸	所要時間	視線移動	oxyHb 最大値	最大 賦活時間
(0,0,1) N=10				右*
(0,1,0) N=17	*		右**,左**	右**,左*
(0,1,1) N=16	*	R*	左*	
(1,0,0) N=12		D*		
(1,0,1) N=17	**			左*
(1,1,0) N=13	**	R**		左**
(1,1,1) N=19	**		右*,左*	右**,左*
全体平均 N=30	**	L*,R**,S*	右**,左**	右**,左**

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

4. 考察

表1より, 所要時間や視線移動, 脳活動の特徴を

まとめると, 次の3つのグループに分けられる. グループの特徴をもとに, MR 課題が誤答に至った要因を分析する.

1つ目のグループは, 正誤によって所要時間, 視線移動のRパターン, 脳活動で有意差が見られた回転軸(0,1,1)(1,1,0)である. これらの回転軸の課題を誤答した要因として, 誤答課題の方が平均所要時間は有意に長く, Rパターン割合が有意に高く, 前頭前野も賦活していることから, 被験者は右側の立体の構造を把握したり, 回転させたりすることが難しく, 手間取ってしまったことが考えられる.

2つ目のグループは, 正誤によって所要時間や脳活動には有意差が見られたが, 視線移動には有意差が見られなかった回転軸(0,0,1)(0,1,0)(1,0,1)(1,1,1)である. これらの回転軸の課題を誤答した要因として, 誤答課題の方が平均所要時間は有意に長く, 前頭前野も賦活していることから, 被験者は課題が難しいと感じているにも関わらず, 問題の解き方を変えずに課題に取り組んでしまったことが考えられる.

3つ目のグループは, 正誤によって視線移動のDパターンには有意差は見られたが, 平均所要時間と脳活動には有意差が見られなかった回転軸(1,0,0)である. 回転軸(1,0,0)は他の回転軸と違って, 正誤でSパターン割合とDパターン割合の大小関係が入れ替わり, かつ有意差も見られた (図3). この回転軸の課題を誤答した要因として, 左右の立体の異なる箇所を同じ個所であると誤解してしまったことが考えられる.

5. 結語

本稿ではMR課題の正誤によって生じる所要時間や視線移動, 脳活動の特徴を解明することを目的とした. 分析した結果をまとめると, 次のようになる.

- (1) すべての回転軸において, 正答課題より誤答課題のほうが, Rパターン割合が高い.
- (2) 正誤によって生じる所要時間や視線移動, 脳活動の特徴の違いは, 3つのグループに分けられる.

MR課題を解く上では, 右側の立体の形状把握がスムーズに行えるか, 左右の立体の同じ個所に着目できるかが重要であると考えられた. このことから, MR能力が必要とされる図形の回転体や展開図を指導する際には, どの点や辺が対応するのかを注意深く観察させることがよいと考える.

参考文献

- (1) 狭間節子: “空間思考の育成の視座からの図形・空間カリキュラム開発研究構想”, 大阪教育大学, 教科教育学論集, Vol.3, pp.67-70 (2003)
- (2) Uttal, D. H., Meadow, N. G., Tipton, E., Hand, et al.: ”The Malleability of Spatial Skills: A Meta-Analysis of Training Studies.”, Psychological Bulletin. Advance online publication, pp.1-51 (2012)
- (3) 近藤竜生, 岡本尚子, 黒田恭史, 田邊宏樹: “メンタルローテーション課題における視線移動と脳活動の探索的検討”, JSiSE Research Report, Vol. 37, No.1, pp.1-8 (2022)