

# 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

近藤 竜生<sup>\*1</sup>, 岡本 尚子<sup>\*2</sup>, 黒田 恭史<sup>\*3</sup>, 田邊 宏樹<sup>\*1</sup>

<sup>\*1</sup> 名古屋大学情報学研究科, <sup>\*2</sup> 立命館大学, <sup>\*3</sup> 京都教育大学

## Exploratory Study of Eye Movement and Brain Activity During Mental Rotation Tasks

Tatsuki Kondo<sup>\*1</sup>, Naoko Okamoto<sup>\*2</sup>, Yasufumi Kuroda<sup>\*3</sup>, Hiroki Tanabe<sup>\*1</sup>

<sup>\*1</sup> Graduate School of Informatics, Nagoya University, <sup>\*2</sup> Ritsumeikan University, <sup>\*3</sup> Kyoto University of Education

Recently, spatial cognition has been studied using biometric information such as eye movement and brain activity. To elucidate the characteristics of gaze and brain activity in spatial cognition, we conducted an eye-tracking and functional NIRS experiment using mental rotation task in which participants answer the difference between a left and right 3D object with different rotation angles. The results showed that the cognitive characteristics produced by the different rotation axes were expressed in the time required, the percentage of correct answers, and eye movement. In particular, the rotation axes with shorter reaction times and higher percentage of correct answers were associated with more eye movement between the same points on the left and right solids, while the rotation axes with longer reaction times and lower percentage of correct answers were associated with more eye movement between different points. On the other hand, no difference in brain activity was found.

キーワード: メンタルローテーション, 空間認識力, 視線移動, 脳活動, 生体情報

### 1. はじめに

空間図形の把握は、児童・生徒にとって理解困難なものの一つである。児童・生徒は、図から立体や空間関係がイメージできない、結果の予想や考えの見通しが立たない、図がかけない、持っている知識が使えない等、多くの困難に出会い、学年が進むにつれてこれらの傾向は顕著になる<sup>(1)</sup>。よって、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。

Linn ら<sup>(2)</sup>は、空間認知に関する能力を空間認識力 (spatial perception), メンタルローテーション (mental rotation), 空間視覚化 (spatial visualization) に分類した。メンタルローテーション (以下, MR) 能力とは、図形を頭の中で操作 (念頭操作) する能力のことであ

り、空間認知に関する能力の中でも STEM (Science, Technology, Engineering and Mathematics) 領域と最も関連があることが分かっている<sup>(3)</sup>。よって本稿では、空間認知に関する能力の中でも MR 能力に着目する。

MR 能力を測るために、回転角度が異なる複合立体を複数個提示し、指定された立体とそれらの立体の形の異同を答える MR 課題が用いられてきた。MR 課題は、立体の回転角度の大きさと解答に要する時間の長さが比例関係にあること<sup>(4)</sup>から、頭の中で物体を徐々に回転させることで一致するかどうかを確かめていると推察されている。

近年では、MR 課題時の視線移動や脳活動を計測した研究がなされている。これまでの視線の移動順序に着目した研究から、高得点者は左右の立体を交互に見比べる動きをすることで課題を解いていることが明らか

となっている<sup>5)</sup>。また NIRS (near-infrared spectroscopy) を用いて脳活動を分析した研究では、二次元の MR 課題時の低得点者は高得点者に比べて前頭前野の OxyHb 値の減少が有意に少ないことが報告されている<sup>6)</sup>。このように MR 課題時の視線移動や脳活動を分析している研究はあるものの、同時計測を行っているものは非常に少ない。同時計測によって両者を関連付けたより精緻な分析が可能になると考えられる。

また、MR 課題の立体の回転においても、回転角度に着目した研究は多く行われているが、回転軸に着目した研究は少ない。三次元の MR 課題においては、立体図形の回転角度と回転軸(回転する方向)によって、立体図形の見え方が変化する。鎌田ら<sup>7)</sup>は、回転軸を傾けても課題の反応時間はほぼ同じ結果となり、人間の視覚認知において得手・不得手な合成回転軸は存在しないと結論づけているが、回転角度が同じでも、回転軸によって立体の見え方が異なるため、課題の難易度や解決方法は異なる可能性もある。

以上のことから、本稿では視線移動データと脳活動データの分析を通して MR 能力の特徴を解明することを目的とし、立体の回転軸の異なる MR 課題を用いた視線移動・脳活動同時計測実験を実施することとした。

## 2. 視線移動・脳活動同時計測実験

### 2.1 実験概要

実験概要は以下のとおりであった。実験で使用した視線計測装置はサングラス型、脳活動計測装置はハチマキ型であり、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。

実験期間：2020年10月～2021年1月、6月～7月

実験場所：京都教育大学 実験室

使用装置：視線移動計測は Tobii pro Glasses2 (Tobii AB, Danderyd, Sweden), 脳活動計測は Spectratech OEG-16 (スペクトラテック, 東京)を用いた。

実験参加者：京都教育大学生・大学院生 計 32 名(平

均年齢 21.3±1.7 歳, 男性 11 名, 女性 21 名)

### 2.2 実験課題

実験課題は、図 1 のように、左右の複合立体の異同を答える MR 課題であった。A3 用紙に印刷した課題を実験参加者に提示し、「同じ」「異なる」のどちらか片方を丸で囲むことで解答させた。左側の立体を基準としたとき、右側の立体は左側の立体を 180° 回転したものであった。ただし、課題の中には、左側の立体の鏡像を 180° 回転したものを右側に表示しているものがあり、この際の答えは「異なる」となる。

どの課題も立体の回転角度は 180° であったが、回転軸が異なっていた。図 2 は、課題に用いた回転軸を表した図である。回転軸は、原点(0,0,0)と、ある 1 点を通る直線とした。ある 1 点は、点(0,0,1), (0,1,0), (0,1,1), (1,0,0), (1,0,1), (1,1,0), (1,1,1)のいずれか一つの点とし、計 7 種類の回転軸を定めた。以降、原点と点(0,0,1)を通る直線でできた回転軸を回転軸(0,0,1)のように、「回転軸 (座標)」で表記する。

図 3 は、実験課題に用いた立体 A~H の 8 種類を表したものである。立体はどれも 10 個の立方体で構成されていた。立体 A はすべての回転軸の課題で用いたが、立体 B~H はある 1 つの回転軸でのみ扱った。

図 4 は実験手順を示したものである。課題は全部で 28 問(課題①~⑧)あり、実験参加者は 1 問ずつ解いていった。また、課題間には 30 秒間のレスト(閉眼安静状態)が取られた。各課題の制限時間は 30 秒で、実験参加者は、実験者の「はじめ」の合図で解答を開始し、解答が終了した時点で「できました」と口頭で解答終了を伝えた。30 秒以内に解答できなかった場合は、実験者が「やめてください」と合図をしてその課題を終了させた。

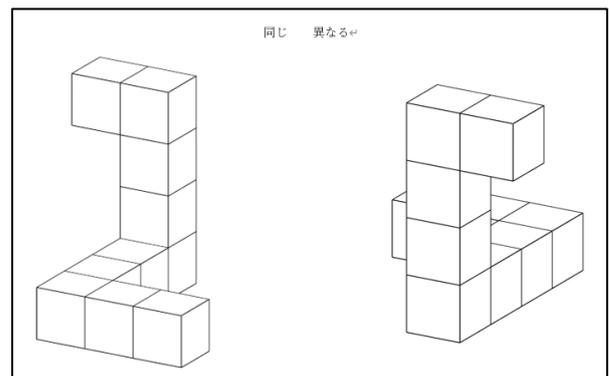


図 1 実験課題例

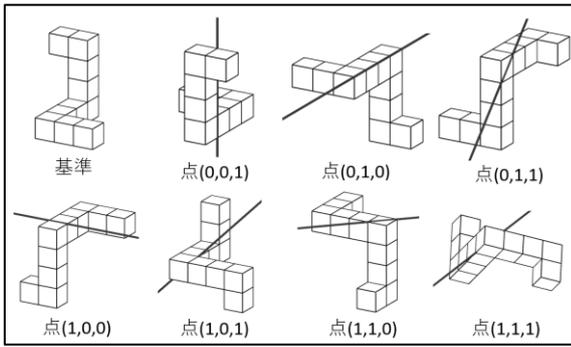


図2 課題で用いた7種類の回転軸

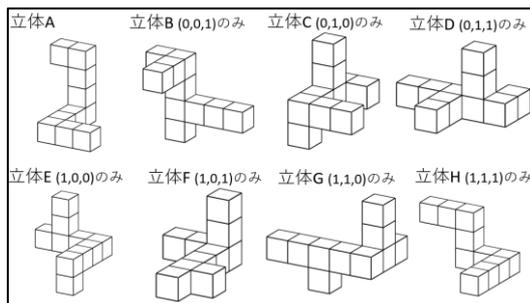


図3 課題で用いた8種類の立体

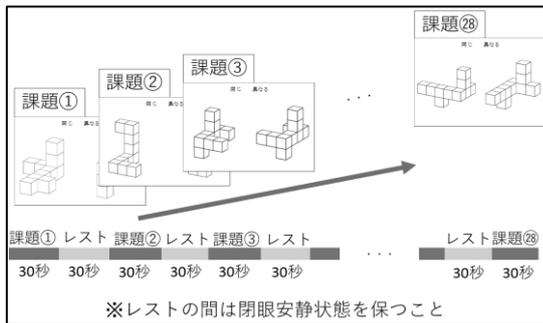


図4 実験の手順

### 3. 分析方法

#### 3.1 代表値の選び方

課題は全部で28問あるが、各実験参加者が1問目に取り組んだ課題はデータの分析対象から除いた。これは、課題が始まって最初の1問目の脳活動計測値が安定しておらず、分析対象として不適合であると判断したためである。今回の実験では、課題を①から始めた実験参加者、⑩から始めた実験参加者、⑳から始めた実験参加者がいたため、課題①、⑩、⑳は他の課題に比べて分析対象となる問題数が少なくなった。この問題数のばらつきを補正するため、本分析では課題を回転軸ごとに分類して平均値を算出し、それを代表値とした。

図5は、ある実験参加者から各回転軸の所要時間の代表値(平均値)を選出した手順を表したものである。回転軸は全部で7種類あり、1つの回転軸につき課題は4問または3問ある。各課題のデータを回転軸ごとに分類したあと、平均値を算出したものを代表値として扱った。つまり、分析するデータは1名の実験参加者あたり7個となった。所要時間だけでなく、正答率、視線移動データ、脳活動データもすべて同様の方法を用いて代表値を選出し、それらを後に行う統計解析のデータとした。

出題順序	回転軸	所要時間(秒)	各課題の所要時間(秒)				代表値(平均値)
1	(0,0,1)	13.6	1番目は削除				
2	(0,1,0)	18.9					
3	(0,1,1)	30.0					
4	(0,0,1)	17.5	17.5	17.8	22.6	11.6	17.4
5	(0,1,0)	18.9	9.2	16.5	18.9		15.9
6	(0,1,1)	30.0	11.8	19.2	10.1		17.8
7	(1,0,0)	11.5	11.5	10.8	12.1	9.8	11.1
8	(1,0,1)	19.0	19.0	25.4	12.2		18.8
...	...	...					
...	...	...	24.2	30.0	24.8	8.5	21.9
28	(1,1,0)	30.0	13.3	30.0	30.0	18.7	23.0

図5 各回転軸の所要時間の平均値の選出方法

#### 3.2 所要時間と正答率の分析方法

左右の立体の形が「同じ」か「異なる」か正しく判断できた場合を正答とし、正しく判断できていない場合や制限時間内に解答できなかった場合は誤答として正答率を算出した。なお、制限時間内に解答できなかった実験参加者の所要時間は30秒として扱う。各回転軸の制限時間を過ぎた課題の割合は、回転軸(0,0,1)は0.8%、回転軸(0,1,0)は4.7%、回転軸(0,1,1)は7.0%、回転軸(1,0,0)は2.3%、回転軸(1,0,1)は4.7%、回転軸(1,1,0)は5.5%、回転軸(1,1,1)は8.6%、全体で4.8%である。本分析では、制限時間を過ぎた解答の割合は低いと判断し、所要時間が正規分布に従うと判断したため、所要時間は一元配置の分散分析を用いて統計解析を行った。一方で、正答率は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、フリードマン検定を用いて統計解析を行った。

#### 3.3 視線移動データの分析方法

図6は、Tobii Pro ラボを用いることで得られる視線移動データである。Tobii Pro ラボでは、眼球の速度が100°/s以下のとき、視線がその箇所停留したと判断している。本分析では実験参加者の視線がある位

置で停留した場合、その箇所を注視したと判断した。円の位置は実験参加者の視線の注視箇所、円の中の数字は何番目の注視箇所であることを示している。図6のような視線データを基に、視線の注視箇所がどこからどこへ移動したのかを分類し、集計した。

図7は、視線移動の分類パターンを表している。Lパターンは左の立体内部で視線が移動したパターン、Rパターンは右の立体内部で視線が移動したパターン、Sパターンは左右の立体の対応する同じ箇所間で視線が移動したパターン、Dパターンは左右の立体の異なる箇所間で視線が移動したパターンである。視線移動のパターンを大きく分けると、同一立体内の視線移動（L, Rパターン）と左右の立体間の視線移動（S, Dパターン）の2つに分けることができる。先行研究<sup>6)</sup>において、高得点者は左右の立体間の視線移動を上部から下部にかけて行っていることが明らかとなったが、このときの課題は回転軸が鉛直方向のみであり、左右の立体の対応する同じ箇所が同じ高さにあるため、左右の立体の同じ箇所を容易に特定できるものであった。一方、本稿の実験課題は回転軸が7種類存在するため、左右の立体の同じ箇所を容易に特定できない。よって、左右の立体間の視線移動を、左右の立体の同じ箇所間で移動するパターン（Sパターン）と異なる箇所間で移動するパターン（Dパターン）に細分することで、解決方略の特徴の差が表れると考えた。

視線移動データは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、フリードマン検定や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。

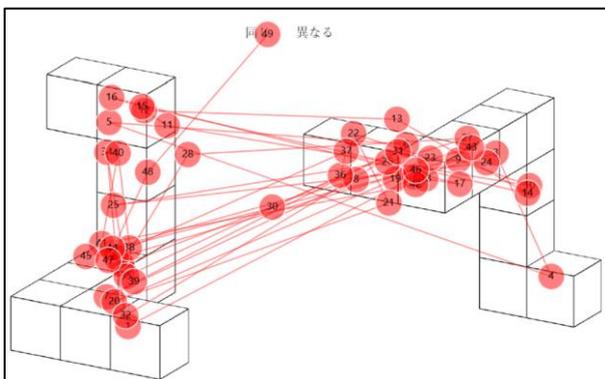


図6 視線移動データ

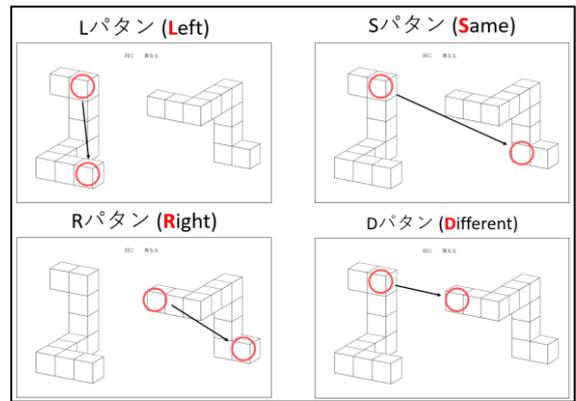


図7 視線移動の分類パターン

### 3.4 脳活動データの分析方法

Spectratech ORG-16を用い、図8のようにプローブを装着し、ch1~ch16の計16カ所でOxyHb値とDeoxyHb値を計測した。OxyHbとは酸素を含んだヘモグロビンで、DeoxyHbとは酸素を含んでいないヘモグロビンのことであり、その変動は局所の神経活動と関連があることが分かっている。ただし、装着の方法や実験参加者の頭部形状により、特にch1やch16といった端の測定点はうまく計測できない場合がある。そのため本稿では、すべての実験参加者でデータを取得できたch7とch10のデータに絞って分析をおこなうこととした。なお、ch7とch10はそれぞれ右半球、左半球の前頭前野（前頭極付近）の脳活動を強く反映すると考えられる。

脳活動計測で得られたデータは、図9のようにグラフで表示される。赤色の折れ線グラフはOxyHb値を、青色の折れ線グラフはDeoxyHb値をそれぞれ表している。先行研究でOxyHb値に統計的に有意な差が見られたことを報告していたため<sup>6)</sup>、それに倣い本稿でもOxyHb値に着目して分析することとした。

また、NIRSの計測対象であるOxyHbとDeoxyHbの生理学的特性から、局所の神経細胞の活動変化からOxyHbとDeoxyHbの局所部位の濃度変化が生じるまでには数秒以上のタイムラグが生じる。よって、脳活動の分析に際して、分析対象とする範囲を課題開始地点から課題終了後15秒までとした。つまり、ある課題が10秒で終わった場合は25秒間、30秒で終わった場合は45秒間の脳活動データを分析対象とした。課題終了後15秒とした理由は、ほとんどの実験参加者で、課題が終了してから15秒後までにはOxyHb値の

上昇が見られなくなり、実験参加者の脳活動が安静時へと戻ったと判断したためである。神経活動時には局所脳血流が上昇し、活動神経近傍の領域では OxyHb 値が増加するため<sup>(8)</sup>、本稿では、上記分析対象期間内の OxyHb 値の最大値と最大値を示した時間に着目して分析を行った。なお、OxyHb 値の最大値を OxyHb 最大値、最大値を観測した時点の時間を最大賦活時間と呼ぶこととする。OxyHb 最大値も最大賦活時間も、連続的な数値になっており、データが正規分布に従うと判断したため、一元配置の分散分析を用いて統計解析を行った。

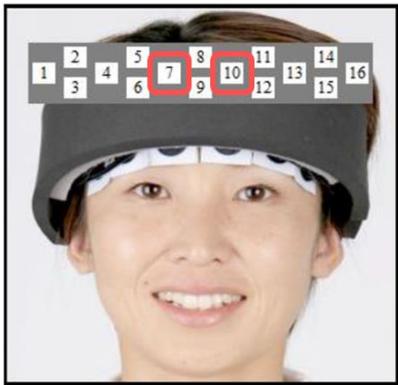


図 8 脳活動の計測チャンネル<sup>(9)</sup>

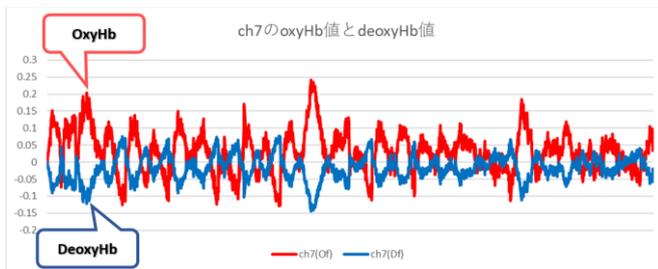


図 9 ch7 の OxyHb と DeoxyHb のグラフ

## 4. 結果

### 4.1 所要時間と正答率

表 1 は、課題を回転軸ごとに分類し、それぞれの回転軸の課題の平均所要時間と平均正答率、課題全体の平均所要時間、平均正答率を表したものである。回転軸の違いによって生じる平均所要時間や平均正答率の差を分析する。平均所要時間に対し、回転軸を要因とした一元配置の分散分析を行った結果、統計的に有意差が見られた( $F(6,181) = 9.70, p < .001, \eta^2 = .08$ )。多重比較を行った結果、回転軸(0,0,1)は回転軸(0,1,0)(0,1,1)(1,1,1)より平均所要時間が有意に短く( $ps < .05$ )、回転軸(0,1,1)は回転軸(0,0,1)(1,0,0)(1,0,1)

より平均所要時間が有意に長く( $ps < .05$ )、回転軸(1,1,1)は回転軸(0,0,1)(1,0,0)(1,0,1)(1,1,0)より有意に所要時間が長い( $ps < .05$ )ことが分かった。平均正答率に対し、回転軸を要因としたフリードマン検定を行った結果、こちらにも有意差が見られた( $p < .05$ )。多重比較を行った結果、特定の回転軸間では有意差が見られなかった。

表 1 回転軸ごとの平均所要時間と平均正答率 (N=32)

回転軸	平均所要時間	平均正答率
(0,0,1)	15.9 秒	86%
(0,1,0)	18.0 秒	80%
(0,1,1)	19.0 秒	81%
(1,0,0)	16.1 秒	91%
(1,0,1)	17.0 秒	76%
(1,1,0)	17.1 秒	88%
(1,1,1)	19.3 秒	77%
全体平均	17.5 秒	82%

### 4.2 視線移動データ

図 10 は、回転軸ごとの視線移動パタンの割合を表したグラフである。左から順に L パタン、R パタン、S パタン、D パタン、その他となっている。「その他」のほとんどは、答えを記入する際に「同じ」「異なる」のどちらかに視線が向いているものである。この分析では、L パタンと R パタンを同一立体内の視線移動、S パタンと D パタンを左右の立体間の視線移動とみなす。

回転軸の違いによって生じる各視線移動パターン割合の差を分析する。図 10 の L、R、S、D パタンの視線移動それぞれに対し、回転軸を要因としたフリードマン検定を行った結果、すべての条件において統計的な有意差が見られた(L :  $df = 6, p < .01$ , R :  $df = 6, p < .001$ , S :  $df = 6, p < .001$ , D :  $df = 6, p < .05$ )。多重比較を行った結果、回転軸(0,1,1)は回転軸(0,0,1)(1,0,0)よりも有意に L パタン割合が高く( $ps < .05$ )、回転軸(1,1,1)は回転軸(0,0,1)(0,1,0)(0,1,1)(1,0,0)(1,1,0)よりも有意に R パタン割合が高く( $ps < .05$ )、回転軸(0,1,0)は回転軸(0,0,1)(0,1,1)(1,0,0)(1,1,0)よりも有意に S パタン割合が低く( $ps < .05$ )、回転軸(1,1,1)は回転軸(0,0,1)(0,1,1)(1,0,0)(1,1,0)よりも有意に S パタン割合が低く( $ps < .05$ )、回転軸(0,1,0)は回転軸(1,1,0)よりも有意に D パタン割合が高かった( $ps < .05$ )。

次に、同じ回転軸内で、同一立体内の視線移動と左

右の立体間の視線移動に関して、ウィルコクソンの符号付順位和検定を行ったところ、回転軸(1,1,1)以外の回転軸で有意差が見られた( $p < .05$ )。また、S パタン割合と D パタン割合の差に関しても同様に検定を行ったところ、回転軸(0,0,1)(1,0,0)(1,1,0)は S パタン割合の方が D パタン割合より有意に高く、回転軸(0,1,0)は S パタン割合の方が D パタン割合より有意に低いことが分かった( $p < .05$ )。

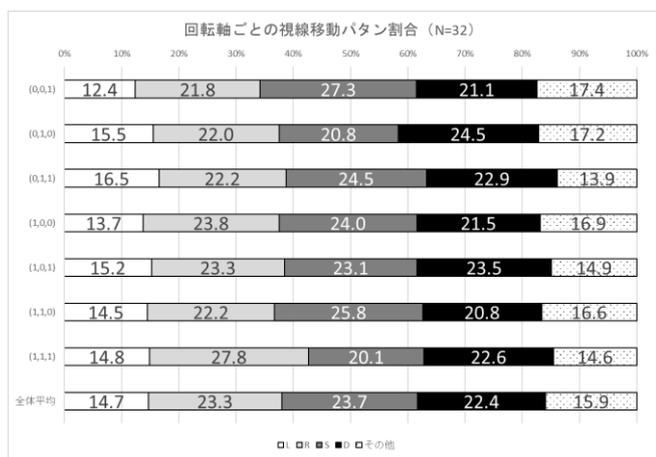


図 10 回転軸ごとの視線移動パターン割合 (N=32)

### 4.3 脳活動データ

まず、回転軸ごとの OxyHb 最大値について検討した。表 2 は、右前頭前野と左前頭前野の平均 OxyHb 最大値を回転軸ごとに示した表である。回転軸を要因として一元配置の分散分析を行った結果、右前頭前野の平均 OxyHb 最大値は有意傾向にあり ( $F(6,181) = 2.06, p < .10, \eta^2 = .02$ )、左前頭前野の平均 OxyHb 最大値には有意差が見られなかった ( $F(6,181) = 0.97, p = .42, \eta^2 = .02$ )。

次に、回転軸ごとの最大賦活時間について検討した。表 3 は、回転軸ごとの平均所要時間と右前頭前野と左前頭前野の平均最大賦活時間を示した表である。回転軸を要因として一元配置分散分析を行った結果、右前頭前野にも左前頭前野にも統計的な有意差は見られなかった (右前頭前野:  $F(6,181) = 1.26, p = .28, \eta^2 = .03$ , 左前頭前野:  $F(6,181) = 1.66, p = .14, \eta^2 = .03$ )。

表 2 右前頭前野と左前頭前野の平均 OxyHb 最大値

回転軸	右前頭前野の平均 OxyHb 最大値	左前頭前野の平均 OxyHb 最大値
(0,0,1)	0.0841	0.0808
(0,1,0)	0.1130	0.0772
(0,1,1)	0.1003	0.0787
(1,0,0)	0.0872	0.0617
(1,0,1)	0.1101	0.0795
(1,1,0)	0.1091	0.0861
(1,1,1)	0.1015	0.0807
全体平均	0.1008	0.0778

表 3 右前頭前野と左前頭前野の平均最大賦活時間

回転軸	右前頭前野の平均最大賦活時間	左前頭前野の平均最大賦活時間
(0,0,1)	15.6 秒	16.7 秒
(0,1,0)	16.3 秒	17.7 秒
(0,1,1)	16.1 秒	17.7 秒
(1,0,0)	15.8 秒	15.1 秒
(1,0,1)	15.3 秒	16.0 秒
(1,1,0)	17.9 秒	17.8 秒
(1,1,1)	18.6 秒	19.1 秒
全体平均	16.5 秒	17.1 秒

## 5. 考察

### 5.1 所要時間と正答率について

平均所要時間と平均正答率に関して、回転軸によって有意差が見られたことから、回転軸の違いによって生じる認知プロセスの差が、平均所要時間や平均正答率に表れることが示された。さらに、回転軸(1,0,1)を除く 7 個中 6 個の回転軸においては、平均所要時間が全体平均よりも短い回転軸は正答率が全体平均よりも高く、平均所要時間が全体平均よりも長い回転軸は正答率が全体平均よりも高かったことから、平均所要時間の特徴と平均正答率の特徴は相関が高いと考えられた。平均所要時間と平均正答率の関係から、回転軸(0,0,1)(1,0,0)(1,1,0)は難易度が低く、回転軸(0,1,0)(0,1,1)(1,1,1)は難易度が高いと考えられる。中でも、平均所要時間について多重比較を行った結果より、回転軸(0,0,1)は回転軸(0,1,0)(0,1,1)(1,1,1)よりも平均所要時間が有意に短いことから、回転軸(0,0,1)は

特に難易度が低いと推察される。同様に、回転軸(0,1,1)は回転軸(0,1,0)(1,0,0)(1,0,1)よりも平均所要時間が有意に長く、回転軸(1,1,1)は回転軸(0,0,1)(1,0,0)(1,0,1)(1,1,0)よりも平均所要時間が有意に長いことから、回転軸(0,1,1)(1,1,1)は特に難易度が高いと推察される。

## 5.2 視線移動データについて

本稿で分類した図7の視線移動パターンに関して、L, R, S, D パターン割合のすべてで条件間に有意差が見られたことから、回転軸の違いによって生じる認知プロセスの差が、視線移動パターン割合の特徴としても表れたと考えることができる。

椎名ら<sup>6)</sup>は、高得点者は左右の立体間の視線移動を行い、課題を解いていることを報告している。本稿でも回転軸(1,1,1)以外は、同一立体内の視線移動(L, R パターン)割合よりも左右の立体間の視線移動(S, D パターン)割合の方が有意に高かったことから、左右の立体間の視線移動が課題を解くうえで重要であることが示唆された。

左右の立体間の視線移動であるSパターンとDパターンに着目すると、回転軸(0,0,1)(1,0,0)(1,1,0)はSパターン割合の方がDパターン割合より有意に高く、平均所要時間は全体平均より短く、平均正答率は全体平均より高かった。また回転軸(0,1,0)はSパターン割合の方がDパターン割合より有意に低く、平均所要時間は全体平均より長く、平均正答率は全体平均より低かった。また統計的な有意差は見られなかったものの、同様の傾向が回転軸(1,0,1)(1,1,1)でも見られた。このことから、回転軸の違いによって生じるSパターン割合とDパターン割合の大小関係の特徴が、平均所要時間や平均正答率に反映していると考えられた。さらに、難易度が低いと想定される回転軸(0,0,1)(1,0,0)(1,1,0)はSパターン割合が高く、難易度が高いと想定される回転軸(0,1,0)(1,0,1)(1,1,1)はDパターン割合が高かったことから、左右の立体の同じ箇所間の視線移動が課題を早く正確に解くうえで重要である可能性が高い。

また難易度が高いと想定される回転軸(1,1,1)は、回転軸(0,0,1)(0,1,0)(0,1,1)(1,0,0)(1,1,0)よりRパターン割合が有意に高く、回転軸(0,0,1)(0,1,1)(1,0,0)(1,1,0)よりSパターン割合が有意に低いことから、左右の立体の

同じ箇所を見つけることができず、右側の立体の形状把握に手間取ってしまったことが推察される。

## 5.3 脳活動データについて

右前頭前野の平均OxyHb最大値は有意傾向にあったものの、OxyHb最大値、最大賦活時間ともに回転軸の違いによる統計的な有意差を見いだせなかったことから、回転軸の違いによって生じる特徴は、前頭前野の脳活動の特徴として表れない可能性が考えられる。本稿の結果は、前頭前野でOxyHb値に特徴が見られたとするDandanら<sup>6)</sup>の結果と一致しないが、その原因の一つとして両者の実験で用いたMR課題の違いが挙げられる。Dandanら<sup>6)</sup>のMR課題は二次元平面上のイラストを回転させたものをMR課題として扱っており、回転角度の違いによってのみ難易度に差が生じるため元々の難易度が低いのに対し、本実験で扱った三次元のMR課題は、回転角度は180°で固定されており、回転軸の違いによってのみ難易度に差が生じるため元々の課題の難易度が高いと推察される。よってDandanら<sup>6)</sup>のMR課題は回転角度の違いによって生じる難易度の差が表れやすいため脳活動の特徴としても差がみられたが、本実験で扱った三次元のMR課題では、元々の難易度が高かったため、難易度の差が生じにくく、脳活動の特徴としても差が見いだせなかったことが考えられる。

## 6. まとめ

本稿では、MR能力の特徴を解明することを目的に、視線移動・脳活動同時計測実験を実施した。課題を回転軸ごとに分類し、視線移動と前頭前野の脳活動を分析した結果をまとめると、次のようになる。

- (1) 回転軸の違いによって生じる認知と問題解決プロセスの差を、平均所要時間や平均正答率、視線移動の特徴として捉えることができたが、前頭前野の脳活動では捉えることができなかった。
- (2) Sパターン割合とDパターン割合に着目すると、Sパターン割合の方が高い回転軸は所要時間が短く正答率が高く、Dパターン割合の方が高い回転軸は所要時間が長く正答率が低い傾向にあった。
- (3) 視線移動の分析より、MR課題を解決する上では左右の立体間の視線移動が重要であり、中でも左右の

立体の同じ箇所間の視線移動が重要である。

通常は神経活動に伴い OxyHb 値が増加する<sup>(8)</sup>が、Dandan ら<sup>(6)</sup>は MR 課題の点数が高い実験参加者の前頭前野で OxyHb 値が有意に減少したとしている。よって今後は OxyHb 値が減少した箇所にも着目して分析を行う。また、正答・誤答によって生じる特徴を分析し、MR 能力のより精緻な特徴の解明を行っていききたい。

<https://www.spectratech.co.jp/download/OEG16SummaryInstructionManualSoftwareV1.1.pdf> (2022年4月11日確認)

## 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) Linn, Marcia C., and Ann C. Peterson: ”Emergence and Characterization of Sex Difference in Spatial Ability: A Meta-Analysis.”, Child Development 56, no.6, pp.1479-1498 (1985)
- (3) Uttal, D. H., Meadow, N. G., Tipton, E., Hand, L. L., Alden, A. R., Warren, C., & Newcombe, N. S.: ”The Malleability of Spatial Skills: A Meta-Analysis of Training Studies.”, Psychological Bulletin. Advance online publication, pp.1-51 (2012)
- (4) Shepard RN, Metzler J: “Mental rotation of three-dimensional objects” , Science 171, pp.701-703 (1971).
- (5) 椎名久美子, 斎藤孝明, 鈴木賢次郎: “アイカメラによる MRT 問題解決過程の解析(2)—Shepard-Metzler 課題の解決過程—”, 図学研究 29 卷 Supplement 号, pp.131-136 (1995)
- (6) Dandan wu, Jinfeng Yang, Sha Xie, Jiutong Luo, Chunqi Chang, Hui Li: “An fNIRS examination of the neural correlates of mental rotation in preschoolers”, Human Behavioral and Brain , vol.1(2), pp.37-42 (2020)
- (7) 鎌田光宣, 杉浦彰彦: “合成回転軸の変化とメンタルローテーション関数の関係”, 映像情報メディア学会誌, Vol.53, No.9, pp.1325-1327 (1999)
- (8) Fox PT, Raichle ME. : “Focal physiological uncoupling of cerebral blood flow and oxidative metabolism during somatosensory stimulation in human subjects”. Proceeding of the National Academy of Science of the United States of America, Vol.83, No.4, pp.1140-1144 (1986)
- (9) Spectratech Inc. Spectratech OEG-16 概要説明書 ソフトウェア編