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

The Function of Mental Rotation on the Change of the Composite Rotating Axis

学生会員 鎌田 光宣[†], 正会員 杉浦 彰彦[†]Mitsunobu Kamata[†] and Akihiko Sugiura[†]

あらまし 本研究では、単軸では確認されているメンタルローテーション関数について、合成回転軸を変化させて評価するプログラムを作成して測定した。実験の結果、合成回転軸が変化しても、同様に最適の回転方向を瞬時に見つけ、メンタルローテーションを行っていることが確認できた。

キーワード: メンタルローテーション, 合成回転軸

1. ま え が き

人間が物を認識する場合、既知の記憶モデル（メンタルリプレゼンテーション）と比較して、同じであるか否かを判断する。しかし、対象物がいつも同じ距離や方向から見えるわけではなく、実際には傾いたりひずんだ状態でも認識が可能である。これは、頭の中でメンタルリプレゼンテーションの拡大・縮小や回転を行い、パターンを重ね合わせていることを示している。そして、この回転の処理に要する時間が、比較する2つの対象物の角度差に比例することが知られている¹⁾²⁾。例えば図1に示すように、図形が普通の「あ」か反転した「あ」かを判定する場合に、もともとなる図形と示された図形との角度差に比例して反応時間も増加する。このことから、頭の中ではイメージの回転が連続的に行われており、無意識のうちに現実世界での回転をシミュレートしていると考えられる。

我々は3次元空間で生活しており、物の形を認識する際、比較のために平面的な変換を行うのではなく、頭の中で立体モデルを3次的に回転させており、この回転処理をメンタルローテーションという。メンタルローテーションを理解することは、視覚的イメージが人間の頭の中でどのように分析され、理解されるかを知るうえで重要である。本研究では、これまで単軸のみで検討されていたメンタルローテーション関数を合成回転軸に拡張して測定する。単軸とは任意の回転軸であり、その軸をもう1つの軸のまわりで回転させたものを合成回転軸と表現する。この特性を

応用することで、画像圧縮における動き情報の表現や、動き補償予測を3次元に拡張したモデルベース符号化に適用することができる。

2. メンタルローテーション

目の前のものと記憶モデルが一致することを確認するために2つの形を頭の中で重ね合わせるとき、特徴の異なる形同士であれば瞬時に判断できるため、メンタルローテーションを行う必要はない。例えば図2の図形の場合、丸みを帯びた部分があるかどうか、または凹みの数を判断するだけで判定できる。しかしながら、図1のように同じ特徴を持つ形を比較する場合には、規則を当てはめて考えるよりもメンタルローテーションを行った方が速く確実な判断ができる。他にも、2つの対象の特徴が異なっていたとしても、被験者がそれに気が付かない場合にもメンタルロー

図1 特徴が同じ2つの図形。
Figures of the same characteristic.

図2 特徴の異なる2つの図形。
Figures of the different characteristic.

1999年5月31日受付, 1999年8月9日最終受付, 1999年8月10日採録

[†]豊橋技術科学大学 大学院 工学研究科

(〒441-8580 豊橋市天伯町雲雀ヶ丘1-1, TEL 0532-47-0111)

[†]Graduate School of Engineering, Toyohashi University of Technology

(1-1, Hibi-rigaoka, Tenpaku-cho, Toyohashi-shi 441-8580, Japan)

図 3 立体投影図.
Projected figures.

テーションが行われる。

本研究では、図 3 に示すような立体の投影図を用いてメンタルローテーションを測定する。他の図形でもメンタルローテーションは生じるが、立体の投影図の様な被験者にとっての意味や特徴を持たない図形を用いる方が、角度の差による反応時間差が大きく現れる。はじめに、スクリーンに対して奥行き方向に垂直な軸での回転でメンタルローテーションが起こることを確認する。そして、回転軸の傾きを変えて測定を行い、回転方向の違いによる反応時間の変化を測定する。この回転軸は複数の軸を組合せた合成回転軸となっており、反応時間に違いが出れば、人間の視覚認知において不得手な回転方向が存在することになる。

このとき、立体の特定の場所に軸を固定すると、被験者はひとめ見ただけで回転軸がどこにあるのかを判断できてしまう。そこで、本研究では、立体は任意の姿勢を初期値とし、立体の姿勢とは無関係な絶対座標系での軸を合成回転軸とした。立体の姿勢、合成回転軸の傾き、そして合成回転軸のまわりを回転させる角度のいずれもランダムに提示するため、被験者はひとめ見ただけでは回転軸がどこにあるのか判断できない。その上で、回転軸をどこに置いてもメンタルローテーション関数が変化しないことを確かめる。

3. メンタルローテーション関数の測定

実験では、鏡映の関係にある立体を用意した。例えば図 4 の立体の場合、Z 形に折れている部分に中心面が設定され、そこから左右が対象になっている。このように鏡映の関係にある立体をあらかじめ複数組用意しておき、それを立体的に回転させ、スクリーンに投影して実験に用いる。実験画面を図 5 に示す。図のように、2つのスクリーンを用意し、左には $x \cdot y \cdot z$ 軸のまわりをそれぞれランダムな角度で回した立体を表示する。右には同じ立体、または

図 4 鏡映像の関係にある 2つの立体.
Two figures reflected each other.

図 5 実験画面.
Screen of experiment.

鏡映の関係にある立体を、さらに回転させて表示する。被験者は2つの立体が一致しているかどうかを正確に、できるだけ速く判断してボタンを押し、その反応時間を測定する。ここで、奥行き方向に回転させる際に、回転方向の違いによる差を調べるため、回転軸を 0° 、 30° 、 60° 、 90° のいずれかに傾ける。さらに、この軸のまわりを 360° までの間でランダムに回転させて表示する。なお、1つの図形を示した後、その図形を隠してもう1つの図形を示す方法もあるが、この実験では2つの図形を同時に示す方法を適用する。

提示される画面の例を図 6 に示す。例えば図の2つの立体は同じもので、左の立体を奥行き方向に回転させると右のようになる。また、図 7 では L 字形のブロックを中心面とした鏡映の関係にあり、これらは不一致となる。この実験には被験者の訓練と多くの試行回数が必要となる。訓練を積むことにより、被験者は一致・不一致を判断するのに最適な方法、すなわちメンタルローテーションを行うようになる。また、はじめは大きなばらつきのあるグラフも、試行回数を増やしていくときれいな山形を示す。実験では、

図 6 一致例.
An example of agreement.

図 7 不一致例.
An example of disagreement.

図 8 合成回転軸におけるメンタルローテーション関数。
The function of mental rotation on the composite axis of rotation.

はじめに被験者に十分な訓練を行い、そののち 1 人あたり 1 万回の試行を行った。

図 8 は 1 つの軸のまわりを回転させたときの結果を図式的に表したものである。横軸には提示された 2 つの立体の角度差を、縦軸には反応時間をプロットした。反応時間が 180° を中心として対称な山形になっており、これは視覚イメージを回転させているという考えに一致している。また同時に、2 つの立体をどちらに回転させれば一致するかを自動的に判断していることを示している。

合成回転軸での実験結果を図 9 に示す。横軸は合成回転軸まわりで測った 2 つの立体の角度差、縦軸は反応時間で、合成回転軸の傾きごとに分けてプロットした。2 つの立体の角度差は、実験では $0^\circ \sim 360^\circ$ 間をランダムに回転させたものを、 20° ごとに区切ってグラフにしてある。図 8 と同じように角度差が大きくなるにつれて反応時間が増え、 180° を境に対称な山形になっており、メンタルローテーションの特徴が確認できた。そして、回転軸の傾きの違いによる差はどの角度においてもほぼ同じ形のグラフとなり、違いは見られなかった。これにより、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ことが確認で

図 9 合成回転軸におけるメンタルローテーション関数。
The function of mental rotation on the composite axis of rotation.

きた。

4. む す び

実験結果を見ると、各被験者ともに反応時間の個人差はあるものの、同様の傾向が確認された。被験者によって山の形が鋭いものと丸みを帯びたものがあるが、これは山の形が鋭いほど最短の回転方向を判断する能力が高いことになり、逆に 180° 付近において最短ではない誤った回転方向を判断することが増えると、山の形に丸みを帯びる。どの向きに回転させるのかを指示しないにもかかわらず、回転軸を傾けても同じ結果になり、どの回転方向であっても最適の回転方向を瞬時に見つけ、メンタルローテーションを行っていることが確認できた。

〔文 献〕

- 1) Y. Takano: "Perception of Rotated Forms: A Theory of Information Types", Cognitive Psychology, 21, pp.1-59 (1989)
- 2) Andreas Wohlschläger and Astrid Wohlschläger: "Mental and Manual Rotation", Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 24, 2, pp.397-412 (1998)

かまた みつお
鎌田 光宣 1999 年、豊橋技術科学大学工学部卒業。現在、同大学大学院工学研究科博士前期課程在学中。映像メディア情報の研究に従事。学生会員

すぎうら あきひこ
杉浦 彰彦 1990 年、東京農工大学大学院修士課程修了。同年、豊田工業大学制御情報工学科助手。1998 年、豊橋技術科学大学大学院知識情報工学系講師。1999 年、同助教授。工学博士。動画像の高効率符号化、デジタル放送方式、画像計測、画像応用、携帯電話方式、スペクトル拡散通信、符号分割多重接続、ITS 基盤技術等の研究に従事。正会員