

三次元図形同異判定過程への描画法の影響

坂本 忠明† 今宮 淳美†

本論文ではアイカメラを使って対話型3次元図形処理システムのユーザモデルを調べるために、心的回転に関するユーザの処理過程と応答時間について述べる。すなわち、従来の心的回転実験で残された課題を指摘し、それらを明らかにするための実験とその解析について述べる。2実験の解析から描画法の影響について、以下に示す結果を得た。(1)写実レベルが高いと心的回転における図形間の角度差の影響が少なく、回転以外の時間が長くなる。(2)心的回転での処理は初期過程から特徴比較過程へ移り、図形の注視点が各々の過程で異なる。(3)特徴比較の過程によって、提示図形 10 ブロックとパイプに対する同異判定の応答時間は異なる。(4)異判定と同判定において、回転処理時間は同じであるが、それ以外の時間については同判定の場合の方が長い。(5)心的回転のプロセスは、アナログまたはイメージ処理と命題処理の混合である。

The Effect of Graphical Representations on the Process and Performance in Mental Rotation Tasks

TADA AKI SAKAMOTO† and ATSUMI IMAMIYA†

This paper presents an analysis of human's process and performance in the experiments of a mental rotation task using eye-movement analyzer (or eye tracker). The question is that "how much the reality of images with which user could interact is enough in the interactive graphics?". As the result of analyzing the experiments, we provide basic data for the effects of graphics realism cues on the process and performance of mental rotation.

1. はじめに

対話型3次元図形処理システムでのユーザは、基本対話タスクを組み合わせて図形操作をしている。たとえば、3次元図形対話の重要な操作である回転操作では、基本対話タスクとして、回転する対象のオブジェクトの選択、回転中心の位置決め、および実際の回転がある。本論文では、対話型3次元図形処理システムのユーザモデルを調べるための一連の実験の第一報として、心的回転に関するユーザの処理過程と応答時間について述べる。

心的回転の実験は、提示した画像の心像がアナログ的であるとする古典的な研究である^{1)~3)}。これらの実験では刺激として、同一の3次元オブジェクト対の各々異なる視点からの図形、または似ているが異なるオブジェクト対(たとえば鏡像)の図形を左右に提示して2図形が同じ図形であるかどうかを被験者に判定させる。ここでの図形は、立方体ブロックを組み合わ

せたオブジェクト(ブロック図形^{1)~6)}と、円管を組み合わせたオブジェクト(パイプ図形^{7),8)}の2種類である⁹⁾。

古典的な心的回転実験では、被験者が図形をどう捉えるかによって、図形間の角度差と応答時間に線形関係が認められる場合^{1)~3)}と、応答時間が角度差にかかわらず一定である場合^{4)~6)}があった。Foleyらはパイプ図形について、3次元図形処理での描画法の違いによる、正答率、および応答時間と角度差の関係を分析している^{7),8)}。その結果、正答率の高い図形対については角度差と応答時間で線形関係が強いことと、描画法が正答率に影響することを彼らは示している。描画法には、線画として隠線(隠稜)処理の有無、および画面としてのシェーディング(色塗り)処理がある。

しかし、これら従来の心的回転の研究では以下に示す課題が残されている。

課題1: 描画法の違いによる判定過程と応答時間: ブロック図形とパイプ図形の各々について、描画法の違いが心的回転の判定過程および応答時間にどう影響するかを求める。

課題2: 同判定と異判定の違い: 従来の実験では同

† 山梨大学工学部電子情報工学科
Department of Electrical Engineering and Computer Science, Faculty of Engineering, Yamanashi University

判定と異判定を一緒に扱っていたが、本研究でこれを別々に分析する。

課題 3: 心的回転の処理過程: 視線データ列の分析から心的回転の表象系を明らかにする。

課題 4: 心的回転の実験環境の比較: 本研究での実験が従来の心的回転の研究と同じ実験環境であるかを評価することで、各課題で求めた結果の正当性を検証する。

これらの課題のために本研究では、被験者が図形のどこに注視するかをアイカメラ(視線追跡装置)で記録し、その視線データ列を分析することによって心的回転の処理過程を明らかにすることを試みる。

2. 実験

本論文での描画方法には、線画で隠線処理の有無、画面(カラー)についてフラットシェーディングとスムーズシェーディング(Gourandの描画モデル)の4種類がある。これら3次元図形の各描画について、被験者に「できるだけ早く図形対が同じか異なるか」を言葉で応答させる。このとき、アイカメラ(角膜反射方式)と被験者観察用のビデオカメラを用いて視線データと被験者の反応の様子をVTRに記録する。各図形対は、図形処理ワークステーションのフルカラーディスプレイ(19インチでGRB各8ビット同時表示)上の左右に表示される。この環境による実験は以下の2種類である。

2.1 実験 1: 10ブロックス

被験者はコンピュータの知識をもつ大学4年生3名と大学院生2名の計5名である(いずれも男子)。10個のブロックを組み合わせて同じ図形対、または異なる図形対を図形間に 30° から 60° の範囲で 10° ごとの角度差をつけて被験者への見え方を違えて提示する(図1)。これら図形対を練習フェーズ用に12課題と実験フェーズ用に36課題を用意する。

2.2 実験 2: パイプ

被験者はコンピュータの知識を持つ大学3年生20

名(男子)である。4種類の各描画方法に対して5名ずつ割り当てる。パイプ図形(図2)の同じ図形対と、異なる図形対に対して、実験1と同じく見え方を違えるために角度差をつけて被験者に提示する。このようにして作成した図形対を練習フェーズ用に20課題と実験フェーズ用に16課題を用意する。

3. 分析

被験者の視界と視線の注視位置マークを視線データ列としてビデオに録画した。これらの画像を1/60 sec 1フレームとして分析する。

視線データ分析の結果、視線の停留点の多く集まるいくつかの領域が存在することがわかった。これらの領域を特徴領域と呼ぶことにする。この特徴領域(図3, 4)に対し、アイカメラで記録した被験者の視線データ列について、各特徴領域での視線の停留時間と視線移動軌跡(スキャンパス)を求める。

3.1 照合パターン

視線データ分析の結果、被験者が同異判定をするときの視線の動きには、交互照合、構造照合、および交互照合と構造照合の折衷型があること、またこれら照合パターンには特定の遷移順序があることがわかった。以下に視線データの移動パターンとその意味づけについて述べる。

(1) 交互照合

交互照合は、被験者が図形対の対応する特徴領域を

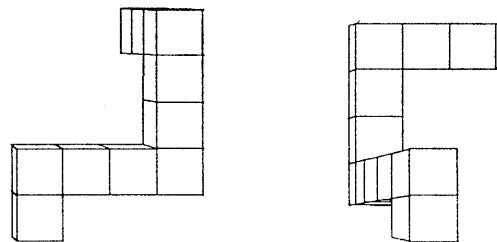


図1 10ブロックス(実験1)

Fig. 1 Pictures of 10-blocks (Experiment 1).

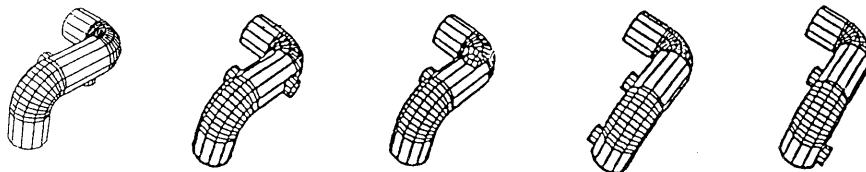


図2 パイプ(実験2)

Fig. 2 Pictures of pipe (Experiment 2).

左右交互に見る視線の動きのパターンである。

実験1と2の両方の練習フェーズで交互照合の過程が見られた。たとえば、実験1では、一方の図形の曲部を見ると、次にもう一方の図形の曲部を見る。実験2では、一方の図形の突起部を見ると、次にもう一方の図形の突起部を見る(図5)。曲部や突起部などの特徴領域を見る時間、および同異判定までの時間は被験者により、また実験1と2で異なる。

隠線処理なしの図形対では、実験1と2の両方で、しかも練習および実験フェーズにかかわらず、この交互照合だけで同異判定をしている(図5)。この場合の正答率は、実験1では41%、実験2では52%である。

(2) 構造照合

構造照合は初期と特徴比較の2つの過程からなる。

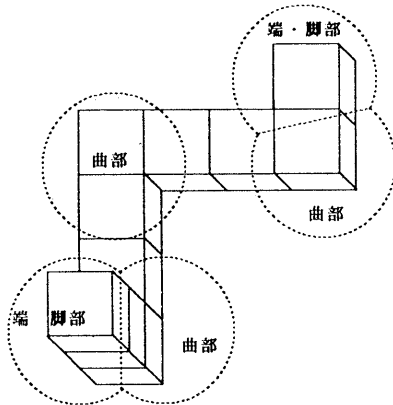


図3 10ブロックの特徴領域(実験1)
Fig. 3 Feature parts of the 10-blocks.

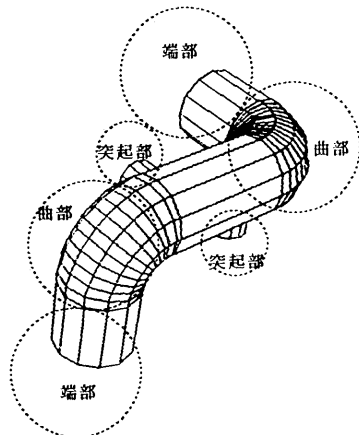


図4 パイプの特徴領域(実験2)
Fig. 4 Feature parts of pipe (Experiment 2).

はじめに、図形の構造全体を把握するために被験者の視線の動きが一時止まる(この動作パターンを初期

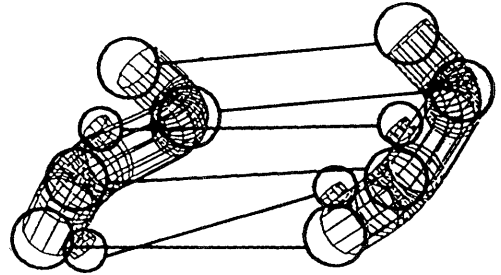
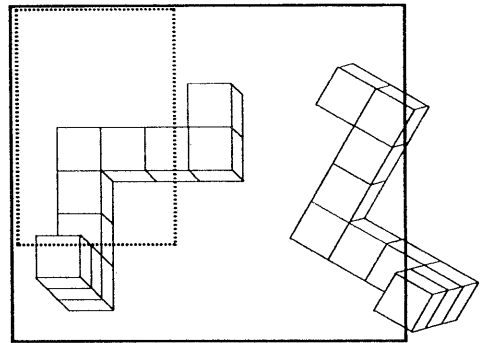
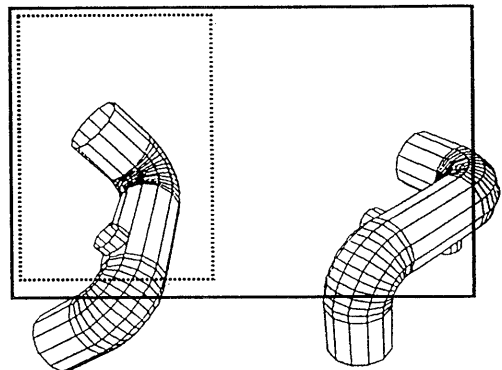


図5 隠線処理なしの図形対の視線(実験2)
Fig. 5 Without hidden line eliminated (Experiment 2).



□ 練習フェーズにおいて、固視が存在する場合の分布の範囲
 □ 実験フェーズでの固視の分布の範囲

図6 初期過程の固視位置(実験1)
Fig. 6 Fixation area of initial phase (Experiment 1).



□ 練習フェーズにおいて、固視が存在する場合の分布の範囲
 □ 実験フェーズでの固視の分布の範囲

図7 初期過程の固視位置(実験2)
Fig. 7 Fixation area of initial phase (Experiment 2).

過程とよぶ：図 6, 7)。次に被験者は、図形の特徴をその構造内につけ加えて図形全体を構成するために、一方の図形の特徴領域を照合し、そして角度推定のために特徴領域を見る。その後もう一方の図形の角度推定のために特徴領域を見る。被験者はその図形と前に記憶した図形の構造を照合する（これらの動作パターンを特徴比較過程とよぶ：図 8, 9)。

視線データ分析の結果、実験 1, 2 の実験フェーズにおいて、すべての被験者が隠線処理なし以外の図形対に対しては構造照合をしていることがわかった。この場合の正答率は、実験 1 および 2 の両方とも 100% である。隠線処理なしの図形対について、練習フェーズの前半までの課題では交互照合だけである。それ以降の課題では特徴領域と同じ初期値過程があり、その過程後に交互参照をしている。

刺激図形提示後、最初に視線が停止するまでの初期過程は、実験 1 と 2 の練習フェーズの初期に左右の図形上に広く点在するが、練習フェーズでの課題回数が増すに従って左側の図形上に集中する。実験フェーズではその停留点が左上方から中央付近になる（図 6, 7)。この初期における停留時間は、描画方法および図形間の角度差にかかわらず 1/4 sec である（表 1)。

隠線処理なし以外の描画方法では、共通して特徴比較過程を数回繰り返した後に同異判定をする。実験 1 の 10 ブロックで平均 1.34 回、実験 2 のパイプで平均 2.78 回である。さらにこの特徴比較過程では、図形間の角度差と応答時間の間に線形関係がある（図 10, 11, 12)。この回帰式において、練習フェーズでは相関が弱いので有意性がない。一方、実験フェーズで相関が強いため統計的に有意性がある。

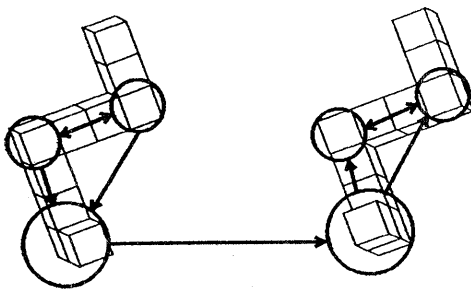


図 8 特徴比較過程のスキャンパス (実験 1)
Fig. 8 The traces of gage location for the 10-blocks (Experiment 1).

表 1 初期過程の固視時間

Table 1 Fixation duration time of initial phase.

実験 1: 10 ブロックス		表現方法	実験 2: パイプ	
標準偏差	平均値		平均値	標準偏差
5.51	19.18	隠線処理なし	16.77	3.61
4.30	12.33	隠線処理	13.26	2.45
2.64	15.09	フラットシェーディング	14.01	3.32
2.95	16.80	スムーズシェーディング	16.32	2.29

平均値=15.47

単位: 1/60 sec

(3) 交互照合と構造照合の折衷型

最初に交互照合をするが同異判定をせず、次に構造照合によって同異判定をする（図 13)。またはその逆の照合パターンがある。

この照合パターンは、隠線処理なし以外の図形対の場合だけにある。しかも実験 1 および 2 の両方の練習フェーズだけにあることが観察できた。さらにこのフェーズにおいて、交互照合によって同異判定をする課題の後に、また構造照合で同異判定をする課題の前に発生している。このパターンに入るはじめの課題では交互参照の次に構造参照で同異判定し、終わりの方の課題では構造参照の後に交互参照をして同異判定を

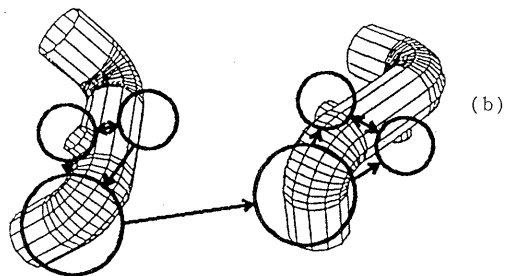
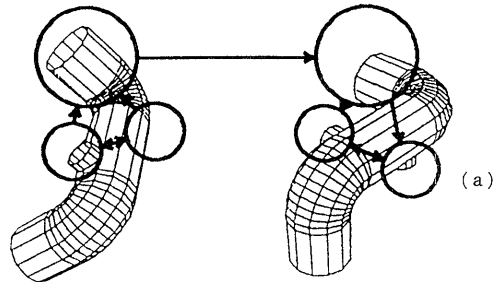


図 9 隠線処理なし以外の図形対の視線 (実験 2)
Fig. 9 Traces of gage location for hidden line eliminated, and shaded images (Experiment 2).

する。このパターンにおける正答率は、実験1では74%、実験2では84%である。

4. 検討・結論

視線データの分析結果から、被験者の処理過程を次のようにまとめることができる。

4.1 練習の効果

練習の効果は、被験者が課題をする上での正答率の改善に表れると考える。

(1) 隠線処理なしの図形対

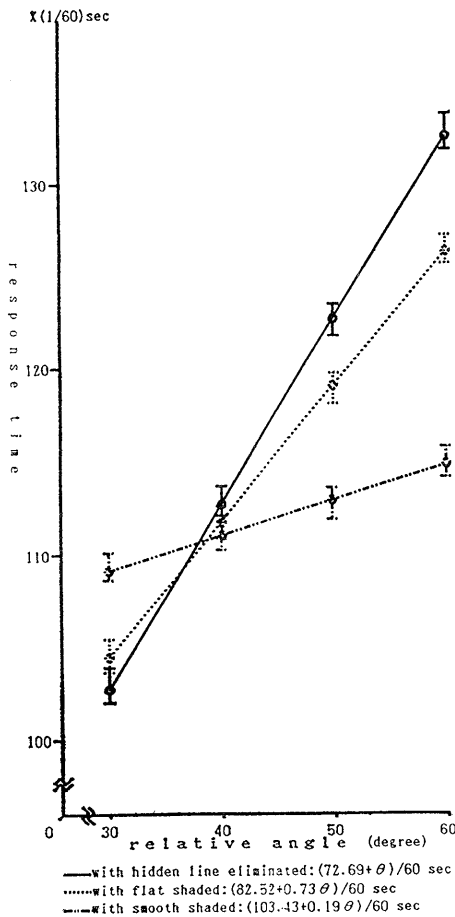
練習フェーズの前半までの課題では図5に見られるように、被験者は交互照合だけで同異判定をしている。その後の課題では初期過程後に交互照合をする。この初期過程が正答率の改善をしていると考えられる。す

なわち、前半の課題では、図形の部分的な比較・検討で同異判定をしている(正答率33%)。それ以降の課題では、初期過程において図形の構造全体を捉え、そこに特徴を付加しながら図形全体での比較・検討で正答率を上げる(正答率68%)という処理過程である。

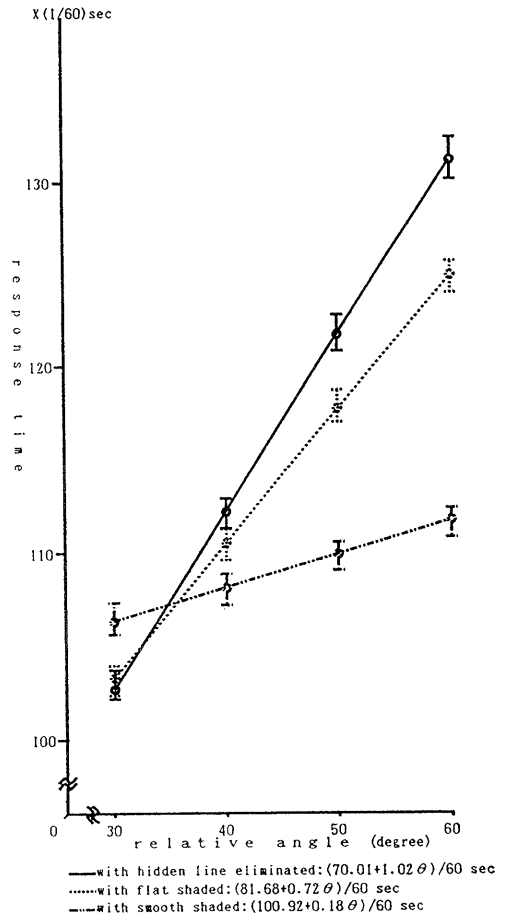
(2) 隠線処理なし以外の図形対

練習フェーズの課題に対して被験者は、前半までの課題で隠線処理なしの図形対と同様に、交互照合で部分的に照合することで同異判定をする。この時点では図形間の角度差と応答時間に線形関係はみられない。このフェーズの前半の課題を過ぎる頃より交互照合と構造照合の折衷型がみられる。

視線データ分析の結果から、次に述べる処理行動を被験者がとっていると私たちは推測した。このパター



(a)



(b)

図10 角度差と応答時間 (10ブロックの場合: 実験1)
Fig. 10 Response time for 10-blocks images (Experiment 1).
(a) "same" answer, (b) "different" answer.

ンに入るはじめの課題では、交互参照によりある程度同異の確信を得て、次に図形全体を捉えた図形同士の比較・検討（構造照合）によって同異の確信を高めて同異判定をする。課題が進むにつれ、さきに構造照合をすることで、ある程度同異を確信し、さらにその確信を向上させるために交互照合をした上で同異判定をする。さらに練習フェーズの課題が進むと構造照合だけで同異判定をしている。初期過程で捉えた図形構造のどちらか一方の図形に対し、全体像を得て向きを同じにする心的操作（回転）によってもう一方の図形と比較・検討することでさらに正答率が上がる。

以上までの被験者の行動の推移過程に従って正答率が向上していることから、正答率の改善が練習の効果

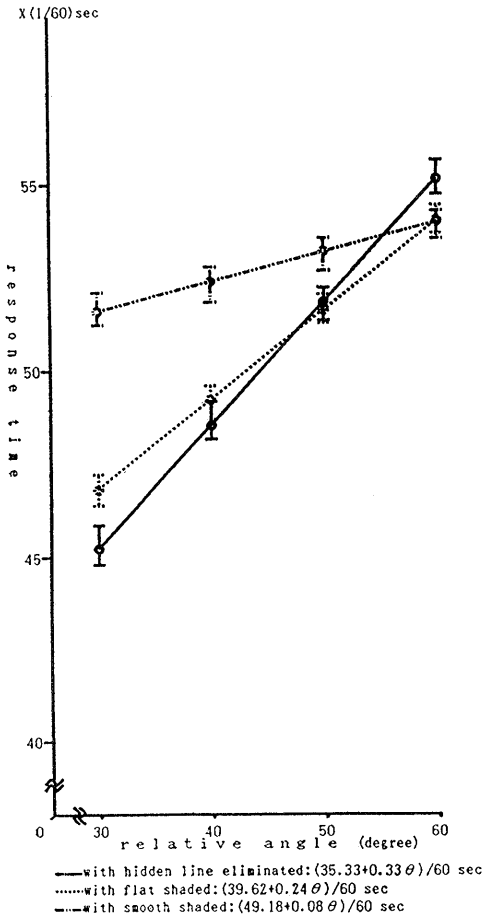
として表れている。

4.2 タスク

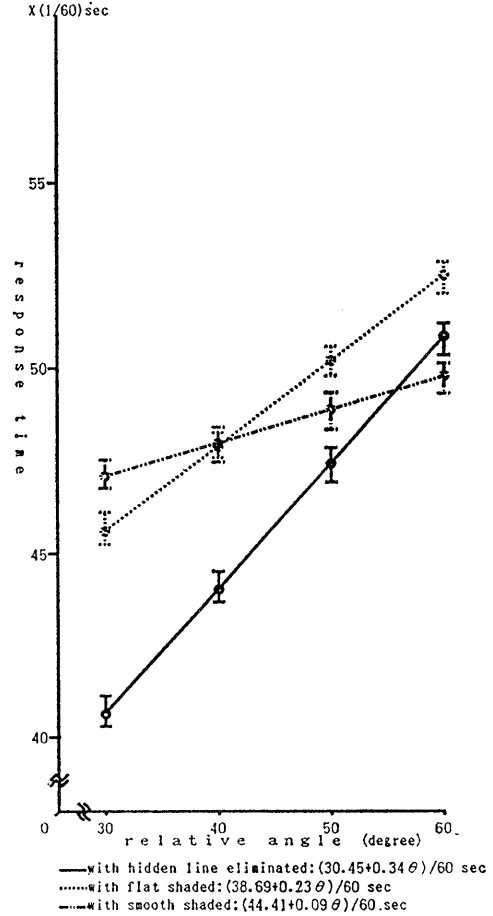
視線データの分析から得た3種類の照合パターンのひとつ、構造照合について被験者の処理行動の意味を検討してみる。処理行動は、初期過程と特徴比較過程である。

(1) 初期過程

この過程における被験者のタスクには、両図形の空間位置と方向を把握する空間定位タスク、回転規準の図形を決める図形決定タスクの2種類がある。回転規準を決めるには、被験者はすべての図形の特徴が可視で、しかも見やすい図形のほうを選択する傾向がある。左右の図形がともにこの条件を満たす場合、左側



(a)



(b)

図 11 角度差と応答時間 (図 9 (a) の場合: 実験 2)
 Fig. 11 Response time for pipe images (Experiment 2)
 (a) "same" answer in Figure 9(a).
 (b) "different" answer in Figure 9(a).

の図形を選ぶ傾向がある。

この過程での被験者の視線の動きは停止するので、並列処理か、逐次処理かは明らかではない。しかし、被験者はこのタスクを描画方法、10ブロック、パイプの違いに依らず 1/4 sec で処理している。

以上のことから被験者の処理行動には、空間定位タスクと図形決定タスクの2つが存在して、並列処理とすると2つのタスクのどちらか一方のタスクの時間、また逐次処理とすると2つのタスクの和が 1/4 sec であると考えられる。

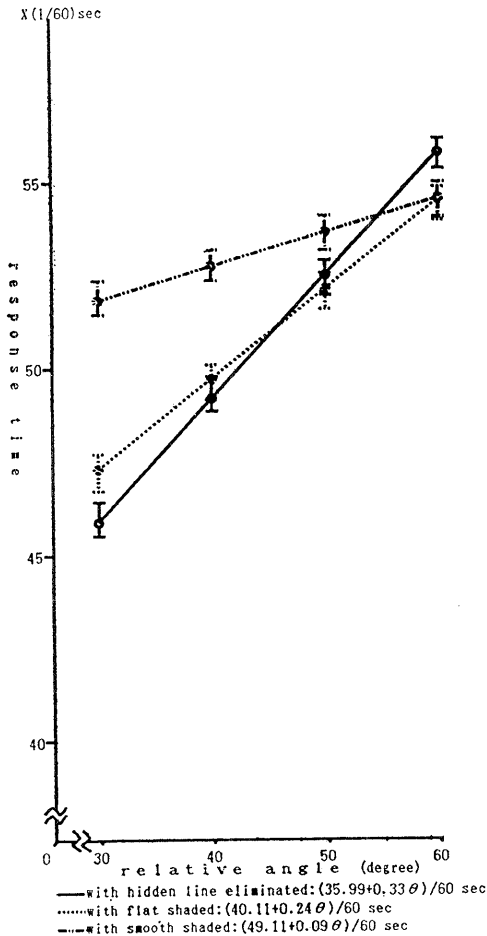
(2) 特徴比較過程

初期過程で定めた回転規準図形に対して被験者は、

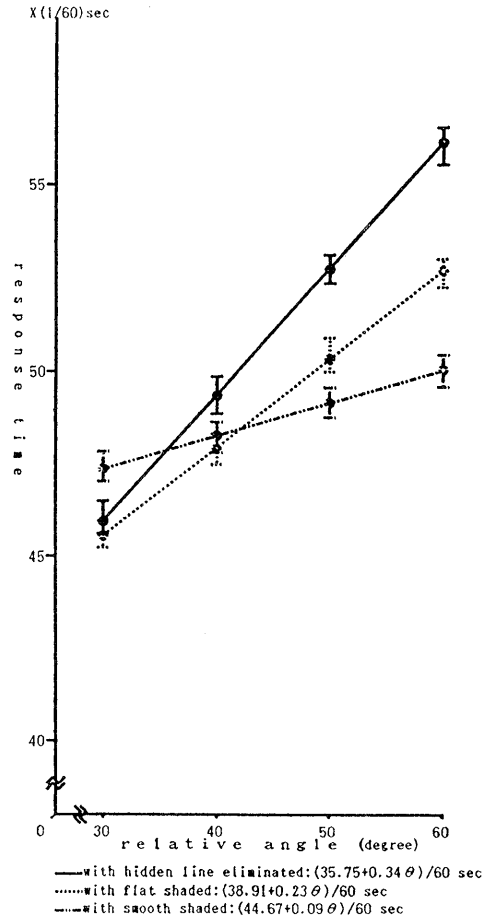
その図形の特徴を抽出し、それを初期過程で得た図形構造、いわゆる図形骨格につけ加える(特徴把握タスク)。次に、被験者は回転角度の推定のためにこの規準図形の特徴領域、その後でもう一方の図形の対応する特徴領域を比較して角度差を捉える(角度推定タスク)。この角度差にもとづいて規準図形を心的回転し(心的回転タスク)、その後で他方の図形と回転した図形を照合する(特徴照合タスク)。各タスクにより視線が順次遷移していくので、これらすべてのタスクは逐次処理と考えられる。

4.3 課題の検討

1章で示した課題に対する検討を以下に述べる。



(a)



(b)

図 12 角度差と応答時間 (図 9 (a) の場合: 実験 2)

Fig. 12 Response time for pipe images (Experiment 2)

(a) "same" answer in Figure 9(a).

(b) "different" answer in Figure 9(a).

(1) 課題 1: 描画方法の違い
による判定過程と応答時間
4 種類の描画方法について実験
した。図形の写実レベルは高い方
からスムーズシェーディング, フ
ラットシェーディング, 隠線処理
の有無である。写実レベルが高い
とは, 画像としてグラフィックス
属性が多いことを意味する^{7), 8)}。

隠線処理なしの図形対: 描画方
法の違いによらず交互照合で同異
判定をする。この交互照合の前処
理として初期過程があり, 描画方
法の違いによらず一定 (1/4 sec)
である。

隠線処理なし以外の図形対: この
図形対での描画方法の回帰式は
線形である。傾きは角度差に従っ
て変化するために実際の回転角速
度となり, 切片は角度差に影響し
ないために回転のための前処理と
後処理の和として表れる。図 10,
11, 12 で示すように写実レベ
ルが高いとこれら線形式の傾きは小
さく, 逆に切片は大きい。したが
って写実レベルが高いほど図形間
の角度差の影響が小さく, 心的回転
に要する時間は短い。このこと
は, 写実レベルが高いと実際に近
く図形を捉えることができ, 表象
としての心像が的確になること
で, 心的回転タスクの処理時間が
減少すると考えられる。一方, 心
的回転以外の前処理, および後処
理の時間は長くなる。これは, 写
実レベルが高い場合, グラフィッ
クス属性が多いので被験者は詳
しく図形の特徴を捉えることが必
要なために, 特徴把握タスク, 角
度推定タスク, および特徴照合タ
スクの合計処理時間が長くなるこ
とを示している。

従来の研究では, 10 ブロック (実験 1) とパイプ (実験 2) で応答時間に差があった^{1)~3), 7), 8)}。角度推定タスクで注目する特徴領域は, 実験 1 では端・脚部の 1 種類, 実験 2 では端部と曲部の 2 種類である。図 14 によれば, 実験 2 では被験者がこの 2 種類の領域を複数使って同異判定をしていることを示している。これが 10 ブロックとパイプでの応答時間の違いとなる原因である。

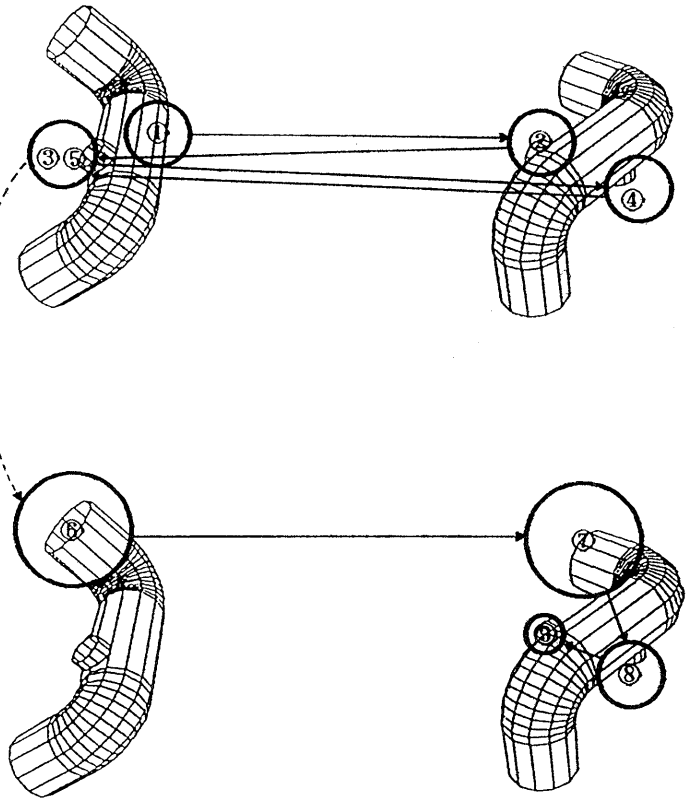


図 13 折衷型の視線の移動例 (実験 2)
Fig. 13 Example of sight-line displacements in compromise type (Experiment 2).

(2) 課題 2: 同判定と異判定の違い

従来の研究では, 同判定と異判定をまとめて回帰分析してただけで, 同異二判定間の違いを求めていない。各描画方法による被験者の処理行動パターンを以下にまとめる。

隠線処理なしの図形対: 初期過程として視線が止まっている時間は, その後の同と異の判定にかかわらず一定である。また, 交互照合での照合順序, および応答時間については各判定で違いがない。

隠線処理なし以外の図形対: 各々の描画方法ごとに同異判定の応答時間について回帰式の切片が異なる結果を得た。傾きはほぼ一致している。切片は回転以外の処理に, 傾きは実際の回転に関係すると課題 1 で述べた。同判定の場合, すべての特徴と構造が一致する必要があるので, 被験者は特徴領域を詳しく照合する。一方, 異判定の場合, 特徴領域のどれかが異なれば他の特徴領域を詳しく照合する必要がない。したがって, 異判定が同判定より応答時間が短くなる。これ

が線形式の切片の大小となって表れている。

(3) 課題 3: 心的回転の処理過程

心的回転が明らかに起きているのは隠線処理なし以外の図形対である。ここでの心的回転については、アナログ処理的表象^{1),3),5),6)}であるか、それとも命題処理的表象^{4),9),11)}であるかの議論がある。アナログ仮説は、主として図形間の角度差と応答時間に線形の関係があることを論拠としている。命題仮説は、処理プロセスをタスクに分け、タスクの解決目標とタスク間の遷移があることをひとつの論拠としている。

視線データ列の分析から、初期過程は一定時間で命題処理の表象と考えることができる。ここでの2種類の処理タスクが並列か逐次処理かは判断できない。次の特徴比較過程では、特徴把握タスク、角度推定タスク、および特徴照合タスクで処理時間が一定であるので、命題処理の表象であると考えられる。視線データ列の分析からは、実際の心的回転タスクでは、複数回の回転を繰り返す傾向はなく、視線の動きは固視である。

以上の視線データ分析からの推測により、心的回転

の処理過程は、初期過程では2種類のタスクがあり、命題処理の表象である。次の特徴比較過程では、命題処理の表象として特徴把握タスク、次に角度推定タスクがある。そして心的回転タスクとしてアナログ処理の表象となる。さらに特徴照合タスクとして命題処理の表象となる。この順に心的処理がなされている。これらのことから、心的回転はアナログ処理と命題処理の表象の混合で行われていると推測できる。これは Kosslyn の理論¹²⁾を支持する結果であると言える。

(4) 課題 4: 心的回転の実験環境の比較

ここでは、本研究での実験と従来の研究とを比較する。まず従来の実験と本研究での実験の違いは、実験環境にある。従来の実験では、スライドを用いて図形対を提示している。本研究での実験ではグラフィックディスプレイを使っているのが被験者に与える図形対の大きさが異なる。この図形対の大きさの違いが応答時間に影響しているかどうかを以下に考察する。

本研究での実験1の隠線処理図形は従来の刺激図形と同じである^{1),3)}。実験1の隠線処理図形の同判定の応答時間 T_1 は、

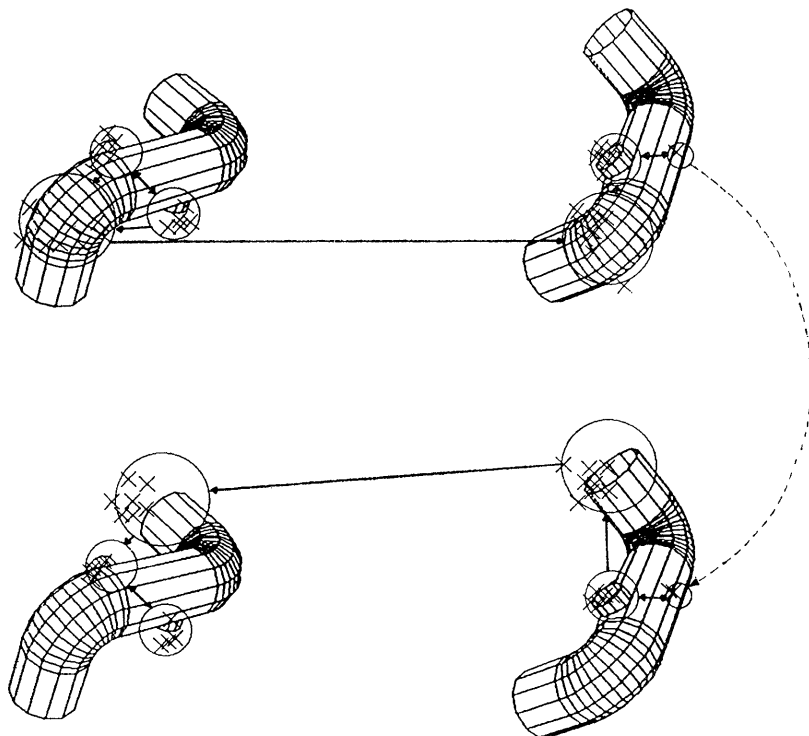


図 14 視線の移動の例 (実験 2)

Fig. 14 Typical sight-line displacements (Experiment 2).

$$T_s = 72.69 + \theta \quad [/ 60 \text{ sec}]$$

異判定の応答時間 T_d は

$$T_d = 70.01 + 1.02\theta \quad [/ 60 \text{ sec}]$$

である。次に従来の研究の実験で、角度差と応答時間の結果を調べると、Shepard らの応答時間 T の回帰式は

$$T = 71.52 + 1.03\theta \quad [/ 60 \text{ sec}]$$

である。このときの実験結果の表³⁾から各項を調べると、傾きは ± 9.23 , 切片は ± 0.28 の範囲にある。

したがって、 T_s , T_d ともに従来の研究とほぼ一致する。このことにより本研究の実験での図形対の大きさは影響しないので、応答時間からみて従来の研究と同等な実験環境であると言える。

4.4 まとめ

本論文では、3次元図形処理の4種類の描画方法が同異判定にいかに関与するかを分析し、次の結果を得た。

1 描画方法の違い

1-1 隠線処理なしの図形対では、描画方法によらず交互照合で同異判定をするが、その正答率を上げるために交互照合の前処理として初期過程がある。

1-2 隠線処理なし以外の図形対では、写実レベルが高いと心的回転時間に及ぼす図形間の角度差の影響が少なく、逆に心的回転以外の時間が長くなる。

2 図形の注視点

2-1 隠線処理なしの図形対では、はじめに被験者は図形構造、次に図形の特徴を注視する。

2-2 隠線処理なし以外の図形対では注視点が初期過程と特徴比較過程で異なる。注視点は初期過程では図形の構造、特徴比較過程でははじめに特徴領域、角度推定のための特徴領域、次に同異判定のための特徴領域の順序となる。

3 10ブロックとパイプでの応答時間の差

3-1 隠線処理なしの図形対では応答時間の差がない。

3-2 隠線処理なし以外の図形対では、角度推定をする特徴領域数の違いに応答時間の差があり、この違いにより複数回の特徴比較で応答時間に差がでる。

4 同判定と異判定の違い

4-1 隠線処理なしの図形対では、同判定と異判定での応答時間の違いがみつからない。

4-2 隠線処理なし以外の図形対では、被験者は異判定でどれかひとつ異なると判定できれば他の特徴を詳しく調べなくともよく、同判定より短い応答時間となる。

5 心的回転の処理過程

5-1 図形対間の角度差と同異判定の応答時間にある線形関係、これが心的回転の特徴である。隠線処理なしの図形対では、この線形関係を見つけることができなかったため、心的回転の処理過程の有無は不明である。

5-2 隠線処理なし以外の図形では、アナログ処理と命題処理の混合である表象系を持つと考えられる。初期過程以外の特徴比較過程は逐次的であり、ここにアナログ処理と命題処理の表象が共存する。

今後の課題として；1) 3次元図形の描画方法に影響する照明や背景、質感処理などが心的回転にどう影響するか、2) ダイヤル回転デバイスによる処理過程モデルを調べること、および 3) アナログ、命題表象について別な観点からの実験などがある。

謝辞 本研究の実験環境を整えてくれた山梨大学大学院生船戸康徳君、また初期の実験およびデータ収集を行った西田広司君(現在日本航空)に感謝する。さらに実験、分析に対して多くの示唆を与えてくれた渋谷昌三山梨医科大学助教授、三浦利章大阪大学助教授、星薫放送大学助教授、太田裕彦放送大学助教授に感謝する。

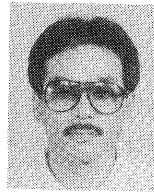
参考文献

- 1) Shepard, R. N. and Metzler, J.: Mental Rotation of Three-Dimensional Object, *Science*, Vol. 171, pp. 701-703 (1971).
- 2) Booth, K. S., Bryden, M. P., Cowan, W. B., Morgan, M. F. and Plante, B. L.: On the Parameters Human Visual Performance—An Investigation of the Benefits of Antialiasing, *Computer Human Interaction and Graphics Interface Proc.*, pp. 13-19 (1987).
- 3) Shepard, R. N. and Cooper, L. A.: *Mental Images and Their Transformations*, MIT Press, Cambridge, MA (1982).
- 4) 高野陽太郎: 傾いた図形の謎, 東京大学出版会 (1987).
- 5) Sayeki, Y.: 'Body Analogy' and the Cognition of Rotated Figures, *The Quarterly Newsletter of the Laboratory of Comparative Human Cognition*, No. 3, pp. 36-40 (1981).
- 6) Marr, D.: *Vision—A Computational Investigation into the Human Representation and Processing of Visual Information*, Freeman and Company, New York (1982).
- 7) Sandford, J., Barfield, W. and Foley, J.: *Empirical Studies of Interactive Computer Graph-*

- ics—Perceptual and Cognitive Issues, *Proc. Human Factors Society, 31st Annual Meeting*, pp. 519-523 (1987).
- 8) Barfield, W., Sandford, J. and Foley, J.: The Mental Rotation and Perceived Realism of Computer-Generated Three-Dimensional Images, *Int. J. Man-Machine Studies*, Vol. 29, pp. 669-684 (1988).
- 9) Takano, Y.: Perception of Rotated Forms—A Theory of Information Types, *Cognitive Psychology*, Vol. 21, pp. 1-59 (1989).
- 10) Haber, R. N. and Hershenson, M.: *The Psychology of Visual Perception*, Holt, Rinehart & Winston, New York (1973).
- 11) Crossman, E.: A Theory of the Acquisition of Speed-Skill, *Ergonomics*, Vol. 2, pp. 153-166 (1959).
- 12) Kosslyn, S. M.: The Medium and the Message in Mental Imagery, *Psychological Review*, Vol. 88, pp. 44-66 (1981).

(平成5年3月15日受付)

(平成6年6月20日採録)



坂本 忠明 (正会員)

1956年生. 1975年山梨大学工学部計算機科学科文部技官. 現在, 筑波大学社会人夜間大学院経営・政策科学研究科在籍. 人間と計算機の対話特性 (artificially, artistically and fuzzily) に興味がある. 人工知能学会, 日本認知科学会, 日本工業教育協会, 日本品質管理学会各会員.



今宮 淳美 (正会員)

1945年生. 1968年東北大学通信工学部卒業. 1973年東北大学博士課程修了. 工学博士. 1973年東北大学助手. 1975年山梨大学工学部計算機科学科助教授. 現在, 山梨大学工学部電子情報工学科教授. 研究: 図形処理と対話型システム, ヒューマンインタフェース, アルゴリズム. ACM, IEEE, 人工知能学会各会員.