

3次元物体の認知過程における主体的操作の特徴について - ネットワークキューブ操作行動に見られた共通点

谷部 好子*¹ 藤波 努*¹

On the Spontaneous Operations for the Recognition of 3-D objects on Display

Yoshiko Yabe*¹ Tsutomu Fujinami*¹

Abstract - 3-D perception is enabled by inverse optics. We observed some common activities of the people operating an object which can not exist in the real world. The objects were drawn on a computer display. Many subjects act in a way which is similar to each other. To particular images, they said that they looked fine. To the images which was under the operation, they said that they looked more stereoscopic than the static image. The operation makes the 2-D image more stereoscopic. But in the mean time, the operation makes the subjects aware of the contrariness. Some subjects adhered to the 'fine' images by backing the inverse optics.

Keywords : 3-D perception, inverse optics, early vision, Necker Cube, interaction

1. はじめに

本論文では、何らかの2次元像からそれに対応する3次元の物体を人間が認知する仕組みに関し、3次元物体を操作できる場合について述べる。

目に飛び込んできた2次元像を、3次元空間に置かれた物体として「再現」する過程は、「逆光学」(inverse optics)と呼ばれている。ひとつの2次元図形に対応し得る3次元物体は複数存在し得る。たとえば輪郭線のみで表現された立方体は、どこがもっとも手前なのか、奥なのか、判定しようが無い。図1で言えばAが出っ張って見えたりBが出っ張って見えたりと、反転を起こす。これが不良設定問題 (Ill-posed problem) である。Poggio(1988)^[1]によると、不良設定問題は情報不足により起こる。初期視覚 (early vision) は、不足した情報を調整理論 (regularization theory) で引き出すわけではないという点である。また、Nakayama and Shimojo(1992)^[2] は、初期視覚では何が行われるのかを、ベイズの定理と似た式で表現した。目に入ったイメージに対応するいくつもの3次元物体について、それらの物体から元の2次元像が得られる可能性を比較することが、逆光学の過程で行われる。元の3次元物体は、目に入った2次元像から遡って得られる。一方Ullman(1979)^[3] は、運動 (motion) から物体構造を復元する仕組みについて、動いている物体のうち4点を3回見ることで、その物体がどんな構造をしてい

るのかは判明すると述べている。

奥行知覚をもたらす情報は、観察者や対象が動くことによって増大する。Gibson^[4]に従えば、運動が遮蔽を起こし、対象の面がどう配置されているかを観察者に気づかせる。2次元に描かれた図形であれ、3次元空間に存在する物体であれ、人間は遮蔽関係の変化を使い対象がどのような立体かを想定する。Poggio(1988)^[1]とNakayama and Shimojo (1992)^[2]では、対象が静止している場合のみが扱われている。本研究では運動が3次元物体の知覚に与える影響に着目している。

Ullman(1979)^[3]は3次元物体の知覚に運動が担う役割を重視しているが、人間が主体的に対象に働きかけて運動を起こす場合には言及していない。どのような3次元知覚を得ようとして、どのような操作を人間が取るかを本研究では調査した。実験では、思い通りの3次元知覚を得るのが難しい図形である不可能図形を採用し、アニメーションで操作できるようにしている。

次章では、実験の方法について述べ、3章では実験結果を説明する。そこから導いた考察を4章とする。5章で結論を述べる。

2. 実験

2.1 概要

もしNakayama and Shimojo (1992)^[2]が主張するように、受け取られた2次元像が、元となる3次元物体の候補を比較して最も可能性が高いものを選択することにより、知覚されるのであれば、画面上の3次元不可能図形を操作している人間は、動いている図形よ

*1: 北陸先端科学技術大学院大学知識科学研究科

*1: School of Knowledge Science, Japan Advanced Institute of Science and Technology

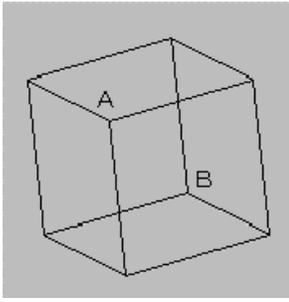


図1 ネッカーキューブ
Fig. 1 A Necker Cube

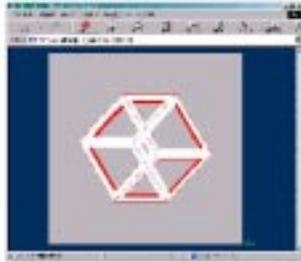


図2 初期画面
Fig. 2 Start Image

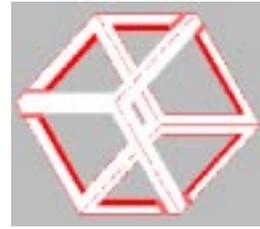


図3 初期画面2
Fig. 3 Start Image 2

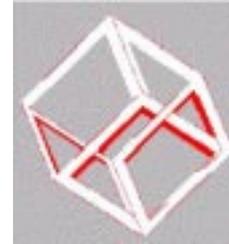


図4 回転された場面
Fig. 4 The Rolled Cube

りも静止している図形の方が、3次元物体として知覚しやすいと感じるはずである。不可能図形を解釈するときと比較される条件付確率は、その3次元物体が動いている場合、低くなる。ディスプレイに描かれている不可能図形は、選択可能な条件付確率を持たないので特定の立体として知覚されず、図形のどこが矛盾しているのかは運動により明確になるはずである。

コンピュータ・ディスプレイ上に描かれたネッカーキューブ様の不可能図形を、被験者はマウスで回転させる。その操作行動を観察し、回転させながらの会話を録音した。また、操作後に初期画面を再び見せ、それがどのように見えるか・操作中と見え方に違いがあるかを尋ねた。

2.2 ネッカーキューブ・アプレット

ネッカーキューブ (Necker cube) とは、どの頂点、面、辺が手前にあるのかを明言できない立方体の図である (図1)。これを JAVA で実装し、コンピュータ・ディスプレイ上に3次元不可能図形として描いた。操作者はマウスを使って回転させることができ、回転により、矛盾した位置関係にある頂点・面・辺が現れることになる。陰影は現れないが、ある面は白く他の面は赤く塗られている。初期画面は図2の通りであるが、この図では図3の輪郭のうち太線で描かれた部分は描かれていない。ポリゴンで描かれた図形は、普通、奥から順に描かれるが、この順序を無視することで、回転中の矛盾した見え方 (図4) は現れる。

2.3 被験者

被験者は、20才代から30才代の大学院生25人である。全員、裸眼・矯正視力で不自由なく生活している。

2.4 分析方法

録音された会話からキーになる言葉を抽出し、違和感・不快感・混乱に分類した。違和感に分類された言葉は、「違和感がある」、「何か変に思う」といった語である。「不快感」に分類されたのは、「気持ちが悪い」、「いやらしい」といった語である。「混乱」に分類されたのは、「こんがらがってきた」、「難しい」、「これが力学的不安定性」、「錯覚が起きて来た」といった発言である。さらに、操作中特定の像に固執して手を止める行動を「固執」とした。

以上の分類に被験者の行動をあてはめて分析に用いた。

3. 結果

3.1 操作中・操作後

操作中の発言・行動による分類と、その言葉を発した被験者が操作後どんな反応を示したかを、グラフ (図5) に示す。グラフにある「操作後の反応」中、「Y字」、「反転」、「2頂点が出る」、「歩けない廊下」について、図6で図解する。「平面」とは、初期画面に表示された図形が平面に描かれた模様に見えるということ、「立方体」とは、それが立方体として見えるということ、それぞれを表す。被験者の発言内容例を表1に示す。

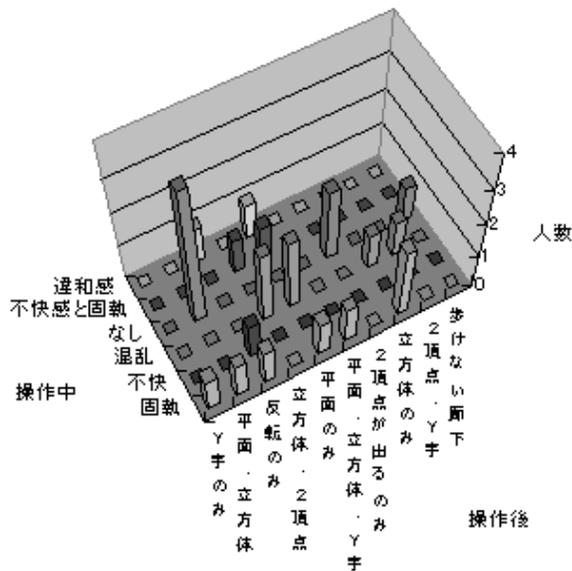


図5 被験者の操作中・操作後の反応
Fig. 5 Subjects' Reactions During and After the operation

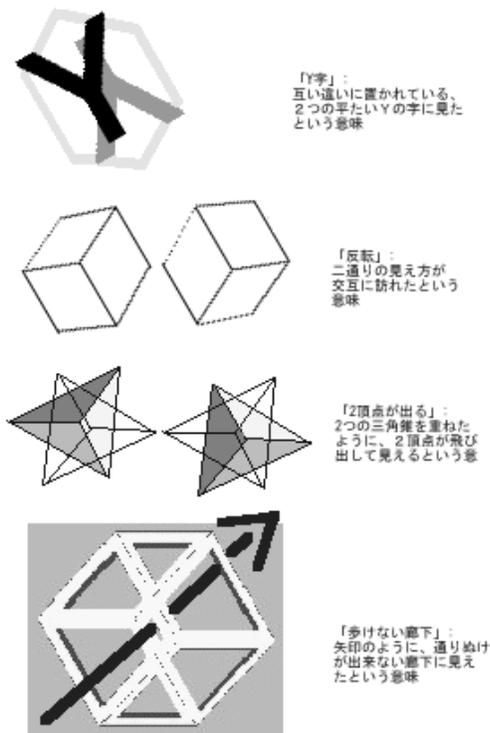


図6 操作後の見え方
Fig. 6 How Was The Figure Taken After The Operation

3.2 立体感

すべての被験者が、操作中のほうが操作後に見せられた静止画面より、図形が立方体らしく見えると述べた。操作後には、この図形を「立方体のみに見える」

表1 操作中の発言例
Table 1 Remarks Under The Operation

被験者番号	操作中の発言例
8	連続的に動かす分には正六面体に見える
11	すっきりするのに見ちゃってる
13	動かしてるほうが具体的
15	立体ぼくみえる。これ立体ぼく見えない
17	これくらいだと、うそがないかな
19	より立体的、より矛盾もはっきり
22	(最初の)イメージが崩れないよう
25	立体的に見えなくなるのはどんときかな



図7 固執された画像
Fig. 7 Adhered Image

としたのは、25人中3人に過ぎない。「平面のみに見える」としたのは、25人中5人であった。「立方体のみ」と答えた回答者と「歩けない廊下に見える」とした回答者以外は、「平面のみ」とは答えないまでも、静止画面では確実に奥行が減ったと述べた。8番・13番の被験者が、操作中に手を休めた時にした発言(表1)も、それを裏付けている。

4. 考察

4.1 条件付確率と「すっきり」した見え方

まず特に「すっきり」した見え方に注目する。固執行動を示した被験者が好んで表示させたがったのが、図7の3種の画像である。両者は「立体ぼくみえない」・「矛盾がない」・「うそが無い」等とも表現されている。図7に示した見え方は、立方体としてはごく限定された視点からしか見えない像である。これを立体として見ずに、平たく組み合わせられた柱があるいは平面に描かれた模様と解した時、3種の図形は不可能図形ではなくなる。操作者がその見え方を好み、自分からそれを表示させようとした点が、今回の発見の一つである。

「すっきり」した図形に関する発見は、Nakayama and Shimojo (1992)^[2]の理論と整合している。この論文では四角形が直方体の偶然的な見えとして挙げられている。直方体はある非常に限られた視点からみたときにのみ、四角形に見える。普通、直方体は六角形にYの字を入れたような図形として、目に飛び込んでくる。直方体の像において、四角形は偶然的 (accidental)

六角形にYの字が入った形は一般的 (general) である。また、人間はあるイメージ I_m を見ると、それを見ることが出来る図形 S_1, S_2, S_3, \dots を想定し、最も高い条件付確率 $p(I_m|S_m)$ を持つ S_n がその像の面配置であると考えられる。

被験者の3分の1が共通して固執した図形は、立体としては偶然的な像である。むしろ、平面としてとらえるとこれらは一般的な像となる。図7の画像は、真中を繰り抜いた四角形か、梯子状のものか、模様が描かれた六角形として見るときに、 $p(I_m|S_m)$ 間の差が最大になる。実際、固執行動を示した被験者の中には、これらの図形について、「立体ぼく見えな」と語った者もいた。

固執行動の下で行われたのは、各 $p(I_m|S_m)$ に明確な差がある I_m を故意に求めることである。逆光学では、人間は自分の目に入ったものから実際の3次元物体を「再現」する。不可能図形を回転させたときに現れた、矛盾した見えは、「再現」にあたって比較すべき $p(I_m|S_1), p(I_m|S_2), p(I_m|S_3), \dots$ を、どれも非常に小さい値でしか持たない。固執行動は、逆光学をさらに逆行する仕方で、各条件付確率に明確な差が生じる I_m を自分で呼び出す行動である。

4.2 運動と奥行

奥行知覚を与える要素の一つは運動 - 遮蔽関係であることは、伝統的な考え方である [4] [5]。観察点や対象物が動くことにより、面同士の遮蔽関係が変化したりすることが、奥行知覚を得るための情報となる。例えば電車の窓から庭木と家屋を見ていると、始め横に並んでいた両者が、電車の進行に連れて重なって行き、木が家を隠し、明かに木が手前にあることが理解される。

実験において被験者全員が、操作後より操作中のほうが、「図形は立方体らしく見えた」としている。操作後、大多数が「図形の奥行が減った」と述べている。実験前の予想は覆された。立方体として感じていたことによる馴化を彼らは受けていない。不可能図形操作中における立体としての知覚は、この点で普通の知覚と食い違う。

一方、表1中19番の被験者等、動かすことで「より矛盾もはっきり」見えるようになったと述べた人々がいる。マウスで回し始めた途端、違和感や混乱を露にした被験者たちも、操作により矛盾をしっかりと感じたようであった。ここでは予想が正しかったことになる。

ある対象が立体らしく見えるということと、その対象が立体であるには矛盾していると感知できることとが、同時に起こるということが今回の発見である。回転運動により現れる新しい面や、さらに、「回転させ

ることが出来る」ということ自体が、それを立体に見せているということがあり得る。ただし、これをもたらずなのが運動自体か操作行動かはまだ判然としない。

5. 結論

回転操作は不可能図形の矛盾をより明確に操作者に気づかせるが、同時にその図形を3次元物体として知覚させる。解釈しやすい図形が求められ、操作者は逆光学の手順を遡ろうとするという傾向が観察された。

今回の実験で見た限り、「立体らしさ」の知覚と「立体として整合性があるか」の知覚とは、正反対の知覚のようでありながら両立していた。この2種類の知覚が同一の系統で行われているとしたら、両者は実際には敵対するものではなく、統一されうる知覚であるに違いない。あるいは、これら2種類の知覚は別個の系統から出てきた答えであろう。それを明かにするのが、次の実験の課題である。

また、この現象が運動によって生じるのか、自ら操作することによって生じるのか、判然としていなかった。これをはっきりさせるため、他人が動かすのを観察している人がどのような知覚を得るか実験したい。

さらに、「すっきり」した図形を操作前に被験者が見たとき、これを「すっきり」していると感じるか、今回触れていない。実験前・中・後で、図形に対する印象がどう変わるのか、調べる必要がある。

本調査で得られた知見を生かし、より操作しやすいインターフェースを設計できるだろう。矛盾している立体も動かしている間は立体らしく見える点、ある見え方に固執する点を利用した表示方法を検討している。使用者にインタラクティブな操作を促したいときには矛盾した画面を、特定の画面に注目させたいときには平面的な画面を表示すると良いだろう。あるいは、普段は平面的な画面が表示されているが、奥に描かれているはずの面がマウスのドラッグにより手前に来、ドラッグ停止で元の画面に戻る、ということも出来よう。

6. 参考文献

参考文献

- [1] Mario Bertero, Tomoso A. Poggio, Vincent Torre: Ill-posed problems in early vision; Proceedings of the IEEE, Vol.76, pp.869-889 (1988).
- [2] Ken Nakayama, Shinsuke Shimojo: Experiencing and perceiving visual surfaces; SCIENCE, Vol.257, pp.1357-1363 (1992).
- [3] Ullman, S: The Interpretation of Visual Motion; The MIT Press, p148 (1979).
- [4] ギブソン: 生態学的視覚論 ヒトの知覚世界を探る (古崎敬・古崎愛子・辻敬一郎・村瀬晏訳); サイエンス社 (1985).
- [5] ロバート L. ソルソ: 脳は絵をどのように理解するか 絵画の認知科学 (鈴木光太郎・小林哲生訳); 新曜社, p189 (1997).