

Title	図形操作行動中のインタラクションにみられる共通性
Author(s)	谷部, 好子
Citation	
Issue Date	2001-03
Type	Thesis or Dissertation
Text version	author
URL	http://hdl.handle.net/10119/743
Rights	
Description	Supervisor: 藤波 努, 知識科学研究科, 修士

修 士 論 文

図形操作行動中のインタラクションにみられる共通性

指導教官 藤波努 助教授

北陸先端科学技術大学院大学
知識科学研究科知識社会システム学専攻

谷部好子

2001 年 2 月 13 日

要 旨

生きている主体は、その主体が見ようとしているものを見ている。主体が動くことで、情報は増されることも削除されることもある。視知覚は運動と不可分であるとする見地から、不可能図形を被験者に操作させる実験を行った。被験者の行動には、操作中の図形がどのような図形かの把握を妨げるような行動がしばしば現れた。運動により不要な情報が削除されたのである。

目次

1	はじめに	1
1.1	背景	1
1.2	動機	2
1.3	目的	2
1.4	構成	3
2	運動は時に情報を減少させる	4
2.1	はじめに	4
2.1.1	背景	4
2.1.2	運動は情報を与えるのみか	7
2.2	運動と情報に関する実験	7
2.2.1	2つの実験について	7
2.2.2	プロトコルより	8
2.2.3	視線を追跡する	14
2.2.4	結果	15
2.3	考察	16
3	運動はどのように情報を隠すか	18
3.1	はじめに	18
3.1.1	背景	18
3.1.2	新たな仮説・「固執」行動	19
3.2	固執行動に関する実験	20
3.2.1	3つの実験について	20
3.2.2	子供を対象とした実験	20

3.2.3	操作前後に静止画を見せた	23
3.2.4	Web により採集したデータ	27
3.3	考察	28
4	結論	32

目 次

2.1 奥行知覚. ロバート L. ソルソ (1997) 脳は絵をどのように理解するか ー絵画の認知科学. (鈴木光太郎・小林哲生訳), 新曜社, p189 より . . .	5
2.2 奥行知覚. 下條信輔 (1986). 奥行「手掛り」論: 奥行知覚研究の現状と 将来. 電子技術総合研究所調査報告第215号, p32 より	5
2.3 Lee (1980) pp283 より	6
2.4 初期画面	9
2.5 回転された場面	10
2.6 初期画面2	11
2.7 操作後の反応・グラフ	12
2.8 操作後の反応・解説	13
2.9 被験者の手が止まった画像	14
2.10 ネッカーキューブ	17
3.1 小学生に示した図	21
3.2 陰影つきキューブ	24
3.3 表示させようとした画像1	25
3.4 表示させようとした画像2	25
3.5 表示させようとした画像3	26
3.6 表示させようとした画像4	26
3.7 回転	27
3.8 「口」で手を止めている例	28
3.9 頻繁な「目」の表示と「口」への固執の例	29
3.10 「目」その他への固執の例	29

表 目 次

2.1	操作中の発言例	13
2.2	瞬目・被験者 A	15
2.3	瞬目・被験者 B	15
2.4	瞬目・被験者 C	16
3.1	子供の印象に残った図形の順位	22

第 1 章

始めに

1.1 背景

本論では「見る」ということについて考察する。「見る」とは視知覚行為、つまり運動のひとつである。視知覚を運動として考えるにあたって、Gibson による一連の理論とそれに続くアフォーダンス研究を土台とした。

アフォーダンス [5] とは J.J.Gibson が打ち出した生態学的知覚理論である。動物は環境内であらゆる面を知覚する。面の配置や構造はそれらの面がアフォード（afford）するものを構成している。面を知覚することはすなわち、環境がその動物に提供する（offers）ものを知覚することである。この提供されるものが、環境のアフォーダンス（affordance）である。水や火、汽車を見るとき、動物はそれがアフォードするものを受け取っている。

動物は、素早い運動の最中でも、その運動に必要な情報を環境から取り出すことができる。運動は関節や筋肉を動かしている感じからのみ知覚されるのではない。周りの景色が変化することも、運動を知覚させる情報である。Lee (1974) [10] は視覚性自己受容感覚（visual proprioception）による運動制御について調べている。壁と天井が固定されていない部屋に幼児が入れられ、床以外を揺らしたときに幼児がどう行動するか、実験が行われた。壁と天井が揺れ出すや、幼児は床までが揺れているかのように体を動かし、筋肉や関節を動かしている感覚（mechanoreceptors）に視覚性自己受容感覚が優先するということが観察された。

Gibson は知覚を感覚からはっきり分けた [5] [8]。知覚は主体的であるが、感覚は受動的

である。知覚は情報を外界から瞬時に直接取り出す。この情報は運動と協調（coordinate）して法則的に知覚される [12]。どこか一点を注視することは普通ありえず、人間は眺める・探索するのみである [5]。「見る」ということは、運動と組み合わせるのみ働くのである。

1.2 動機

以上述べてきた背景から、本研究への動機を述べたい。本研究はアフォーダンスを土台としている。この理論で、知覚は感覚と分けて考えられる。知覚は主体的、感覚は受動的である。「見る」という知覚行為も、単に目に触れたものの写しが網膜にそのまま来るということではない。

環境についての誤った情報を、人間はどのように扱うのであろうか。上に述べた Lee (1974) [10] は、実際には生じていない運動が生じているように、視知覚によって錯覚させている。幼児が体を揺らしたのは、部屋が丸ごと動いているという「誤った」情報を幼児が知覚したからである。ただし、Lee (1974) [10] は、その錯覚がどのように対処されたのかには触れていない。床は揺れていないということが、もし幼児により同時に知覚されていれば、知覚同士の矛盾からもアフォーダンスを取り出そうとされるはずである。誤った知覚は不適切な行為を生む。動物にとって誤った知覚は危険にほかならない [5]。

1.3 目的

本研究の大きな目的は、「見る」ということ自体の究明である。「見る」ことは静的でも受動的でもなく、人間の運動全体の流れの一部である。「見えた」像が運動と切り離されて存在し、処理されるのではない。「見た」もの自体が情報であり、人間の運動と相互に作用する。このインタラクションが「見る」現場でどのように起こっているのか、これから明かにしてゆく。この論文では、描かれた図形が引き起こすインタラクションを観察した。コンピュータのディスプレイ等に表示された3次元図形が、操作者に矛盾した知覚をもたらすなら、何らかのインタラクションが生じるはずである。人間がインタラクティブに操作できるとき、図形が操作行動に影響を及ぼすに違いない。

本研究は工学的成果を得るための研究ではなく、実験と考察を繰り返すという手法を選択している。ただ、被験者が共通して画像から矛盾を発見し、それに対して一定の傾向がある行動が取られるのであれば、画像自体によりどのようなインタラクションが誘い出されるのかを予見できる。この予見は、ソフトウェアを開発する上で、使用者を導きスムーズに操作させる一方、ユーザがエラーを起こした場合、どのような場面でミスが起きたかを推定する助けになるはずである。

1.4 構成

運動が時として情報を減少させるということを第2章に記す。その減少をさせる方法から「固執」行動を選び、第3章に述べる。全体を第4章に概括する。

研究は実験を行いながら進められた。各章における実験では、操作者が視知覚から誤りを感じる要因として、矛盾した遮蔽関係を用いた。3次元に実際には存在し得ない物体のアニメーションを被験者にマウスで操作させ、行動の共通性を調べる。それぞれの実験に関する背景や仮説、考察は、各章において述べた。

第 2 章

運動は時に情報を減少させる

2.1 始めに

2.1.1 背景

「見る」ということに運動が果たす役割は、奥行き知覚について以前から論じられてきた。まず、奥行き知覚に関する伝統的な考え方は、図 2.1 [6] や 2.2 [1] である。後者の「運動－遮蔽関係」とは、運動に伴って起こる遮蔽関係を言う。たとえば、電車の窓から庭木と家屋を見ていると、始めは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、木が家を隠して行く。

また、Lee (1980) [11] は、対象と主体との距離が、その距離が変化する速さにより与えられると説明している（図 2.3）。主体が速度 V で移動しており、環境の肌理の要素 P と G とはそれぞれ、説明の便宜上想定された網膜像上の P' と G' とに投影されている。 G は地面にある。このとき、 $Z(t)/V = r(t)/v(t)$ となり、自分があと何秒ほどで P と接触するか、運動している主体は網膜像のみから当てることが出来る。運動により得られるようになる情報は、環境の構造を知らせる情報、つまり外界に特定される情報と、自分の位置を知らせる情報、つまり自己に特定される情報とを融合した情報（exproprioceptive information）である。



図 2.1: 奥行き知覚. ロバート L. ソルソ (1997) 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 より

	単眼性	両眼性	
生理的	水晶体調節	両眼輻輳 両眼視差	静止的
画像的	大きさ 直線的パースペクティブ 重なり (隠蔽関係) 明瞭さ/ぼやけ (コントラスト) 影 肌理 (きめ) の密度勾配		
	運動視差 運動—隠蔽関係		
			運動的

図 2.2: 奥行き知覚. 下條信輔 (1986). 奥行「手掛け」論：奥行き知覚研究の現状と将来. 電子技術総合研究所調査報告第215号, p32 より

VISUO-MOTOR COORDINATION IN SPACE-TIME

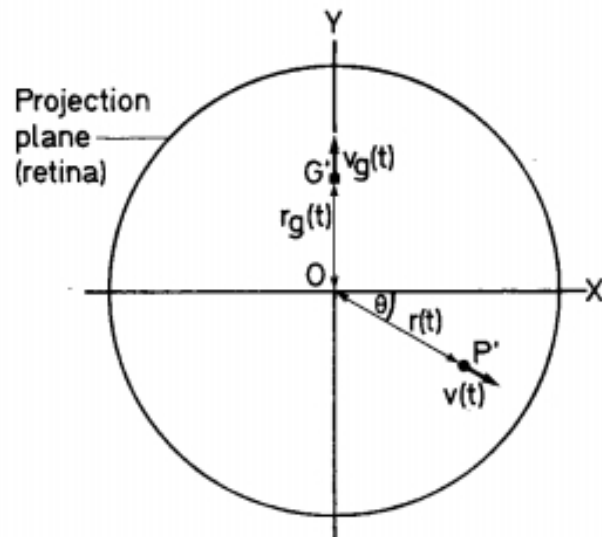
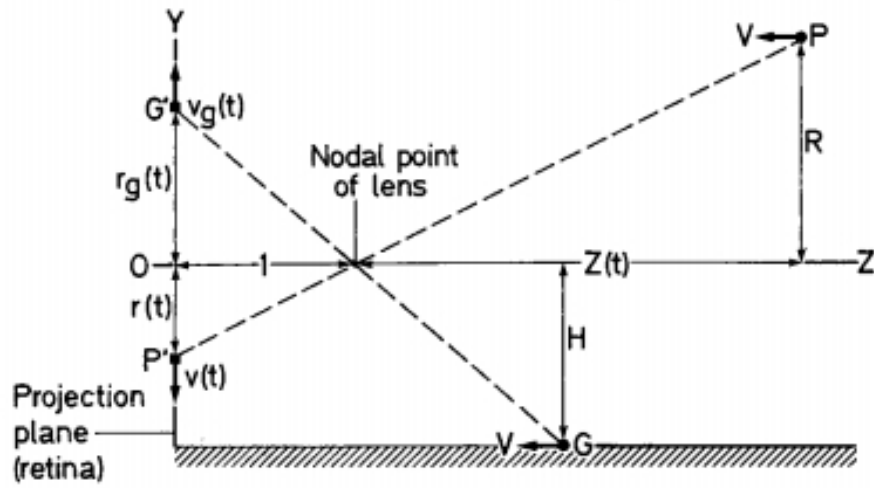


図 2.3: Lee (1980) pp283 より

2.1.2 運動は情報を与えるのみか

運動が視知覚に情報を与えるという点について述べてきた。これらは運動が情報を増すことにのみ触れている。ところが、アフォーダンスの理論では、動物は自らに必要な情報を環境から直接、即座に得なくてはならない。物を見たり触ったりするたびに、過去の経験へフィードバックしては、迅速な判断は出来ない。流動する環境から自分に必要な情報を抜き出すことで、動物は危険から身を守ったり食物を得たりする。伝統的な視覚理論は、流動しない環境、完全に静的な見え方を前提としているため、直接知覚の考え方により否定される。アフォーダンスの立場から物理的運動が情報をもたらすことを論じた例として、Lee (1980) [11] を見た。動物は動くそばから自分と対象とが衝突するまでの時間を知ることが出来る。直近の運動から必要な情報を得られることを指摘した点で、この理論は「直接」については満たしている。ただし、運動により誤った情報が増大するという事態について、これは触れていない。

運動により矛盾した情報が現れ、その矛盾がたやすく知覚され得るものであれば、人間は情報をむしろ視知覚から隠すような運動をするに違いない。本章では情報量を調整するような仕組みがあるという仮説に基づき、実験を行う。

2.2 運動と情報に関する実験

2.2.1 2つの実験について

この節では、2つの実験について記述する。前節に見たとおり、視知覚は運動の一環として見なすことが出来る。主体や対象が動くことで、包囲光配列が変化し、人間はより多くの情報を環境から得られるようになる。見られる対象は、たとえそれがディスプレイ上に描かれた立体図形であっても、静止している状態のときより動いているときのほうが、立体感も矛盾もより容易に知覚されるに違いない。また、その動きを主体的に変えられるのであれば、人間は自分が知りたい情報を探りやすいように操作するであろう。

実験は不可能図形を実現したアプレットを用いて行った。このアプレットをドラッグすれば、不可能図形が回転しているかのような画像がドラッグに伴い表示される。前節に述べた仮説が正しければ、図形が動くことにより増大する誤った情報は、その図形の

不可能さをよく知覚されるに違いない。図形は全体としては矛盾した遮蔽関係を持っても、各部分は矛盾していないため、立体感も増すであろう。不可能さと立体感という矛盾した情報を隠すための操作や反応が、観察されるはずである。

最初の実験はプロトコルに重点を置いている。被験者が何を思って操作しているのかがこれにより察せられる。次に視線を追跡する実験を行った。プロトコルに重点を置いた実験のみでは、被験者自身による解釈が発言に入り込んでいる恐れがあるため、不十分である。言葉にしづらい視知覚について発言しているため、まとまりのよい発言になるよう、被験者自身が内容を整理している可能性があるからである。また、視線追跡することで、操作以前に被験者が矛盾に対し反応している様子を知ることができる。

2.2.2 プロトコルより

実験概要

最初の実験では、矛盾した位置関係をもつ図形を操作する人間は、立体感を感じ取れるのか、矛盾した立体感にどのように対応するのかを観察した。用いたのは赤白2色のみで描かれた図形（図 2.4）である。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・辺が次々と現れる（図 2.5）。回転は滑らかであるが、アプレットとしてネットワークを介して動かす場合、ごく稀にポインターの動きに回転がついて行かないことがある。それ以外の状況では、どんなに速い手の動きにも軽くついてゆく。ある面は白く他の面は赤く塗られているが、これは陰影とは関係が無い。背景は灰色である。初期画面は図 2.4 の通りであるが、この図では図 2.6 の輪郭のうち点線で描かれた部分は描かれていない。これは Java で実装されており、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が現れるようにしてある。そのため、同一平面にあるかのような赤い部分と白い部分が別々にちぐはぐな動きをすることもある。

被験者は、20 才代から 30 才代の男女 33 人である。全員、裸眼・矯正視力で不自由なく生活している。

彼らによる操作行動を観察し、回転させながらの会話を録音あるいは録画した。また、最初に実験を行った 25 人については操作後に初期画面を再び見せ、それがどのように



図 2.4: 初期画面

見えるか・操作中と見え方に違いがあるかを尋ねている。

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たり、ある像の周辺のみで5秒程度かそれ以上小刻みにしか手を動かそうとしない行動があり、仮に「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。

結果

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2.7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2.8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

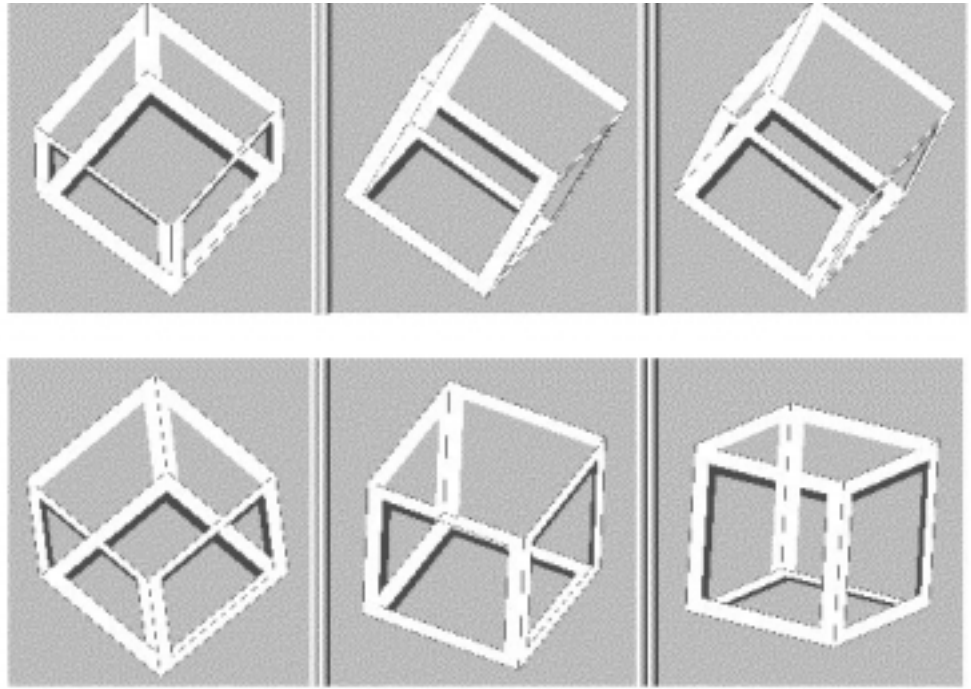


図 2.5: 回転された場面



図 2.6: 初期画面 2

方体として見えるということ、それぞれ表す。被験者の発言内容例を表 1 に示す。

25 人すべての被験者が、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」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きが減ったと述べた。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 2.1）も、それを裏付けている。操作を経ることによる馴化が、ほとんど見られなかったことになる。

一方、表 2.1 中 19 番の被験者等、動かすことで「より矛盾もしっかり」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。

矛盾した遮蔽関係に対する反応としては、平面的な見え方を何とか表示させようとする行動が、33 人中 16 人に観察された。彼らが「すっきりしている」と言い、好んで表示させたがった見え方の代表が、図 2.9 の 3 種の画像である。あたかも「すっきり」していない他の見え方の連続から、逃れようとしてその見え方を表示させ、マウスを動かす手を止めてしまうかのようであった。これらの図形はまた、「立体ぼくみえない」・「矛盾がない」・「うそが無い」・「意味がある」等とも表現されている。

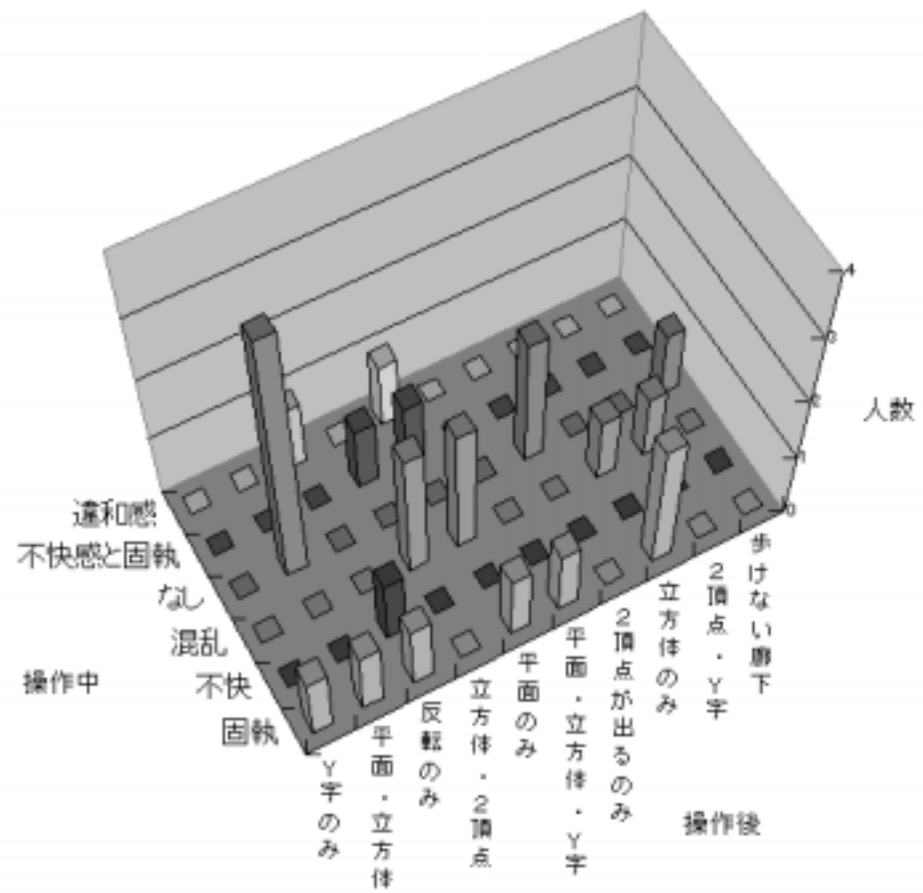


図 2.7: 操作後の反応・グラフ

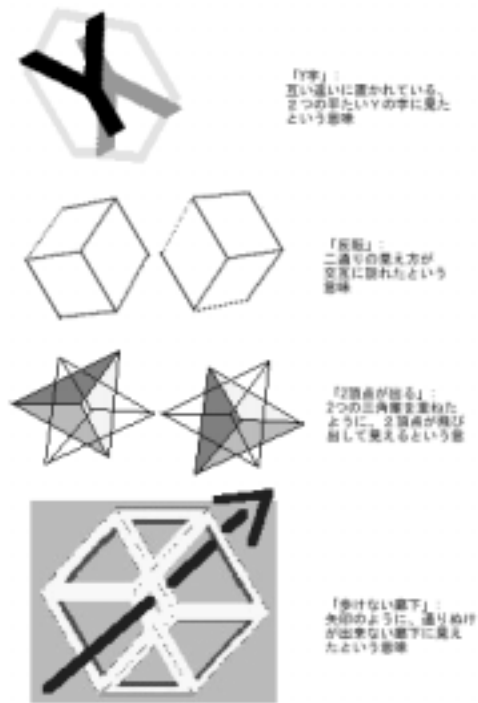


図 2.8: 操作後の反応・解説

表 2.1: 操作中の発言例

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	すっきりするように見ちゃってる
13	動かしてるほうが具体的
15	立体ぽくみえる。これ立体ぽく見えない
17	これくらいだと、うそがないかな
19	より立体的、より矛盾もしっかり
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なときかな

図 2.9: 被験者の手が止まった画像

2.2.3 視線を追跡する

実験概要

実験の目的は、プロトコルに注目した前の実験と同様である。運動している不可能図形に、被験者がどのように対応するのかを観察した。視線を追跡し、瞬目頻度を知ること、操作行動やプロトコルには現れない反応を調べた。

具体的には、「頭部・眼球運動分析システム」を被験者に装着させ、彼らが画面上のどこを見ているか、どのくらいの頻度で瞬きをするのか、観察した。この装置を用いると、被験者の右目・左目が見ている位置がビデオ画面上にドットとして表示され、そのデータはビデオテープに録画される。使用したのは陰影つきキューブである。画面が広くなれば誤差を少なくできるため、プロジェクターでスクリーンに陰影つきキューブを投影して実験を行った。

実験は3つのセクションに分けて行った。最初と最後のセクションでは、操作者は被験者自身ではない。真中のセクションでのみ、被験者は自由にタブレットを操作することができる。被験者の疲労を考慮し、個々のセクションは2分強とした。

被験者は5人である。使用したタブレットについて、あらかじめ見たことがない被験者が、そのうち3人である。視力は裸眼か矯正視力で日常生活を送れる程度以上を対象とした。また、利き目がどちらかも調べ、データを見る参考にした。

表 2.2: 瞬目・被験者 A	
操作者	瞬目回数 (回／秒)
他人	43
	44
本人	31
	37
他人	40
	48

表 2.3: 瞬目・被験者 B	
操作者	瞬目回数 (回／秒)
他人	6
	5
本人	17
	14
他人	31
	35

2.2.4 結果

自分で操作していないときには、瞬きが頻繁に行われた。始めてこのアプレットを目にした被験者3人について、瞬目回数を表2.2から2.4に示す。すべての被験者において、自分で操作しているときには、動きに合わせて視線をなめらかに移動させる行動が観察された。変化が少ない回転軸上の頂点に視線を定めるような行動も見られた。他人が操作しているのを見ているときには、視線は絶えず画面上をさまよい、移動は急であった。

表 2.4: 瞬目・被験者 C	
操作者	瞬目回数 (回/秒)
他人	18
	23
本人	13
	11
他人	20
	30

2.3 考察

本章では「運動により矛盾した情報が現れ、その矛盾がたやすく知覚され得るものであれば、人間は情報をむしろ視知覚から隠すような運動をするに違いない」という仮説に基づき、操作可能な不可能図形を用いた2つの実験を行ってきた。プロトコルに注目した最初の実験で、被験者は平面的な見え方をしきりに表示させようとし、この見え方について「すっきりしている」、「意味がある」などと発言した。視線を追跡する実験では、他人による操作中における頻繁な瞬目と、不安定な視線移動が観察された。

これらの行動において、不可能図形に関する情報は減少する。最初の実験で被験者に「固執」された図形では、表示されている柱の数が少ない。手前の柱が奥の柱を遮蔽しているからである。正方形のような見え方に至っては、図形のたった一つの面しか表示されていない。視線を追跡する実験で観察された頻繁な瞬目は、まぶたによって図形自体を遮蔽してしまう。不可能図形を操作した被験者から、操作による馴化は現れなかった。被験者は不可能図形全体を見てはいなかったのである。

不可能図形はどのように知覚されるのであろうか。目に飛び込んできた2次元像は、3次元空間に置かれた物体として「再現」されるという考え方がある。この再現過程は、「逆光学」(inverse optics)と呼ばれている [2]。ところが、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 (Necker Cube) 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 2.10 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

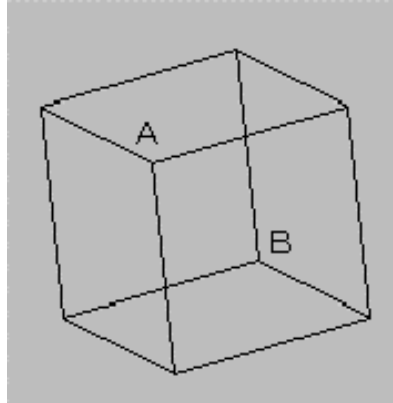


図 2.10: ネッカーキューブ

定問題」(Ill-posed problem)である。Poggio (1988) [2]によると、不良設定問題は情報不足により起こる。

不可能図形を見るときには、不良設定問題は片付かない。あまり矛盾を感じさせないアニメーションは、運動から提供される情報が3次元物体構造復元を助ける。実験で使ったアプレットでは、運動を加えると同時に矛盾した見え方が続出する。運動は情報を提供するが、「復元」を助けはしない。図形をどう解釈するべきか混乱している様子は、プロトコルに現れたとおりである。

不可能図形を操作したときに現れる矛盾が教えるのは、この図形が存在し得ないということである。矛盾していない部分も運動により現れるため、立体感はより知覚されやすくなるが(被験者13)、不可能さも同時に多く知覚される(被験者19)。現実の環境で存在不可能な図形は、生きている主体にとって不要なものであり、何もアフォードしない。何もアフォードしない情報が、運動により排除されたのである。

以上、運動が時に情報を隠すということを調べてきた。ここに課題として残るのは、「固執」された形は何であるのかということである。アフォーダンスを持たない見えを避けてこの見え方が選ばれたのは、単に誤った情報が含まれていないからではなく、アフォーダンスを取り出せそうな見え方と考えられたからではないのか。この疑問には次章で考察して行く。

第 3 章

運動はどのように情報を隠すか

3.1 はじめに

3.1.1 背景

これまでに、不可能図形を実現したアプレットを被験者に操作させたり、他人による操作を被験者に見せて反応を観察したりしてきた。他人が操作するのを見ている場合、被験者は頻繁な瞬きを行い、自由な操作を許されるた場合、被験者の多くは共通した図形で手を止め、それらの図形について「すっきり」していると述べた。また、自分で操作をしているときには、変化が少ない部分を注視し、現実には存在不可能な遮蔽関係からは目をそらしていた。これらはすべて、不可能図形に関する情報を視知覚から隠す行動である。

では、これらの見え方は、どのような見え方なのであろうか。イメージを人間が解釈し、3次元物体を頭の中で再構築する研究としては、Nakayama and Shimojo (1992) [3] がある。不良設定問題について、Nakayama and Shimojo (1992) [3] 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条件付確率の式で表現した。目に入ったイメージに対応するいくつかの3次元物体について、目に入った2次元像がそれらの物体から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。可能性が少ない状況、つまり偶然的な見え方を見ているという状況、例えば目の前の長方形を見せている3次元物体が直方体であるというような状況は、選択されることがない。

被験者はある特定の見え方を表示させようと試みていた。特定のインタラクションを

繰り返そうとすることについては、Maeda et al (2000) [7] がある。Maeda et al (2000) は、コンピュータ・ディスプレイ上でマウスポインターと共にインタラクティブに動き回る、猫や文字のアニメーションを用いた研究で、操作者が特定のインタラクションをどのように学習していくのかが調べられた。

3.1.2 新たな仮説・「固執」行動

この章では、主体にとっての「意味」と、対象にまつわる情報との関わりについて見てゆく。前章の実験において、操作中、ある平面的な見えが「すっきり」している等と評価されていた。これらの見え方は立体としての対象についてはあまり情報を持たない。不可解であるのは、被験者の多くが手を止め「すっきり」していると述べた図形が、どのように選ばれたかである。単に情報量が少ないというだけであれば、被験者がこれらの図形に対して「すっきりしている」、「意味がある」等と述べた理由が説明できない。

不可能図形から3次元物体を「復元」するときには、復元に必要な情報が欠落し、処理することの出来ない情報が代わりに付け加わっている。Nakayama and Shimojo (1992) [3] は人間が楽に3次元物体を復元できる理由を説いているが、イメージがアニメーションであった場合については考慮していない。

Maeda et al (2000) [7] では、人間が特定のインタラクションをどう学習していくのかのみを問題としている。これはアニメーションを動かす過程から共通性を抽出した研究である。どうしてそのインタラクションが選択されたのかについては考察されていない。

前章の実験に見られた「固執」行動は、視知覚が行う「探索」中の現象である。そこで、新しく以下の仮説を立てる。「固執」はアフォーダンスを抽出するために行われる。「固執」された見え方は、不可能図形についての情報は提供しないものの、主体には何らかの意味を持つものとして知覚されているのである。

3.2 固執行動に関する実験

3.2.1 3つの実験について

アフォーダンスの理論では、最小限の経験で視知覚行為は達成されなくてはならない。偶然的な見え方へを表示させる行動も、「探索」という視知覚行為の一環である以上、膨大な視経験は必要としないはずである。立体の見方がまだ定まっていない子供も成人同様の行動をするに違いない。また、静止画を見せられた人間は、操作中に「すっきり」しているとされた図形に対して関心を示さないに違いない。さらに、この行動が決して特定の被験者集団にのみ出現するのではないことを、Web で採集したデータを使って述べる。

3.2.2 子供を対象とした実験

実験概要

この実験は子供を対象としている。「固執」が視知覚行為に現れる現象であれば、この行動には大量の経験は不要のはずである。何らかの見え方を表示させようとする行動は、子供にも現れ得る。ただし、成人ほど視経験を蓄積していない子供達は、不快感は表さないに違いない。

横浜市立の小学校で、3年生31人を対象として実験を行った。小学校3年生を対象とした理由は、成人ほど視覚の処理機構が固まっておらず、かつ実験中にされる簡単な指示を理解できる年齢として、10歳程度が適当であると考えたからである。陰影付きキューブを使用した。無作為に抽出した17人についてはログを取ることができた。実験の直後、アンケートを取った。質問はパソコンやテレビゲームとどの程度親しんでいるのか調べるためのものと、操作した陰影付きキューブの見え方で、どれが印象に残ったかを尋ねるものとに分かれる。後者の質問では、見え方の例を12個挙げ、あてはまるものに丸をつけるよう示した。このときに使用した図が図3.1である。12個の内には、偶然的な見え方が4種類、一般的な見え方に混ぜられている。丸をつけていい個数には、指定をしなかった。選択肢を用意するに当たっては、最初の実験で固執された見え方を参考にした。

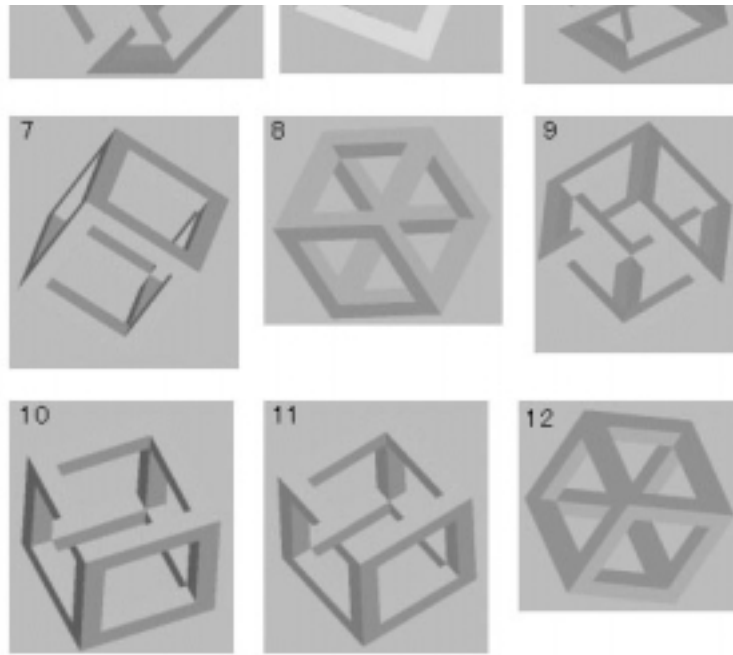


図 3.1: 小学生に示した図

表 3.1: 子供の印象に残った図形の順位

	5	1	4	2	11	3	9	10	6	7	12	8
type-1	1	2	3	4	4	6	7	7	7	10	10	12
type-2	1	3	1	3	8	3	3	8	11	3	11	8

type-1: 全体での順位

type-2: 特定の図形を表示させようとした子供5人による順位

結果

31人中30人からアンケートが返却された。環境についてのアンケートによると、22人の子供達の自宅にはパソコンがある。パソコンを操作したことがあるのは25人である。また、テレビゲームは21人の被験者が「よくする」と回答している。多くの子供達は家庭や小学校で日常的にパソコンに親しみ、アニメーションと戯れていることが察せられる。

印象に残った図形を尋ねるアンケートでは、1人が平均5.4個の図形に丸をつけた。偶然的な見え方につけた丸の個数は、平均1.9個である。1位と2位を占めたのは、正六角形に見える見え方である。図3.1中、2に丸をした子供が21人、1に丸をした子供が18人いた。ところが、大人が固執しがちであった正方形に見える見え方8を選んだのは8人と最下位であった。目の形をした見え方は11人が選び7位であった。

ログを取ることに出来た被験者17人中、偶然的な見え方を表示させようとする行動を示したのは6人である。そのうち1人からは、アンケートが提出されなかった。5通のアンケートで見る限り、彼らがパソコンやテレビゲームと親しんでいる度合いは、他の被験者達とあまり変わらなかった。データが少ないので厳密には言いきれないものの、他の被験者達と彼らと違いが若干出たのは、印象に残った図形の選択である。彼らは平均8.6個の丸をつけた。これは全体の平均の1.6倍である。偶然的な見え方につけた丸の個数は平均2.8個であり、丸の総個数に対するこの個数の割合は、全体の平均と大差はない。どの図形が印象に残ったのかの順位を見ると、全体では10位であった見え方7が3位にあがっているのが目立つ。

操作中の彼らの行動について述べる。先ほど触れたように、ログを取ることが出来た被験者の中で、固執行動を示したのは6人であった。17人中6人という数字は、実験1

と実験2で成人がとった固執行動の頻度よりは大分低いですが、それでも3人に1人は固執行動を取ったことになる。ただ、成人での結果と異なり、固執された図形は正方形のような見え方（図3.3）と目の形（図3.4）の見え方、その中間に来る見え方（図3.6）のみであった。印象に残った図形として1位と2位に挙げられた正六角形のような見え方へ（図3.5）の固執は、一切現れなかった。目の形が表示される度に、彼らが「先生、目！目！」と歓声を上げる様子が観察された。矛盾した見え方に嫌悪感を示す子供はいなかった。

3.2.3 操作前後に静止画を見せた

実験内容

この実験では、実験前後にいくつかの静止画を見せ、操作中に好んで表示されてきた見え方が、操作していないときにも好まれるのかを調べた。運動により現れる矛盾が、操作中の「固執」行動に結びついている以上、操作をしていないとき、これらの見え方への関心は示されないはずである。

使用したのは正面を光源とする陰影をつけられた、やはり立方体様の回転可能な不可能図形である。灰色のバックに、黄色い柱を12本組み合わせたような形をして浮いている。奥にあるはずの柱と手前に有るはずの柱とが重なっている部分を、あとから奥の柱の色で塗りなおしている。実験1と同様、Javaで実装されたアプレットである。ネットワークによる影響は見られるものの、ほぼ滑らかに動作する。この立方体様の図形を、仮に「陰影付きキューブ」と呼ぶ。

実験は、この陰影付きキューブを被験者に操作させ、その様子を録画することで行った。陰影が加わったことにより、立体感を与える要素が遮蔽関係ではなくなったので、立体感についての質問しないこととした。まだ6人でしか実験していないが、3人については、実験前と実験後に好みの見え方を聞いている。その選択肢は、偶然的な見え方をしている陰影付きキューブ3つ、一般的な見え方をしている陰影付きキューブ2つの計5つである。このときに用意した選択肢は、陰影無しのキューブを用いた前の実験において、被験者が共通して手を止めた見え方を参考に、ピック・アップしている。被験者は実験1と同じく、20才台から30才台の男女である。

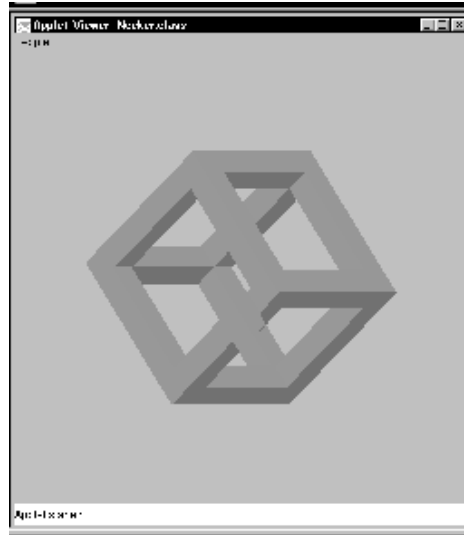


図 3.2: 陰影つきキューブ

結果

平面的な見え方を表示させようとする行動が6人中5人で現れた。実験前後に好みの見え方を聞いた3人の中では、2人にその行動が現れた。2人は実験前後とも、一般的な見え方を好むとし、操作行動中は、「きれいな四角に」・「普通の四角に」と発言した。5人が操作中にもっとも好んで取った見え方は、立方体を真横から見るような見え方である。すなわち、正方形のような見え方(図3.3)、「目」の字のような見え方(図3.4)、「日」の字のような見え方(図3.6)である。その見え方を維持しながら上下の柱と平行に回転させる行動も観察された。このように回転させると、図3.7のように、出現する面は極端に少なくなる。また、正六角形に見える見え方(図3.5)を表示させようとする行動も現れた。これについても同様に、手前の柱と奥の柱を沿わせるような回転行動が見られた。

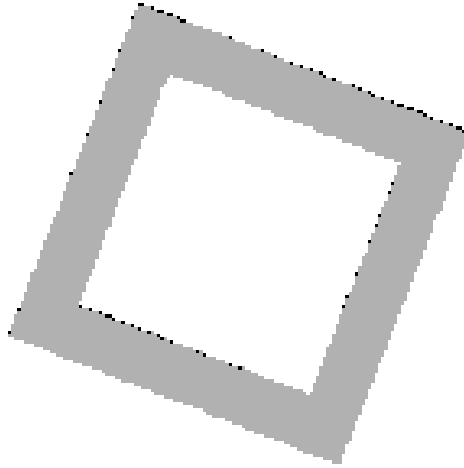


図 3.3: 表示させようとした画像 1

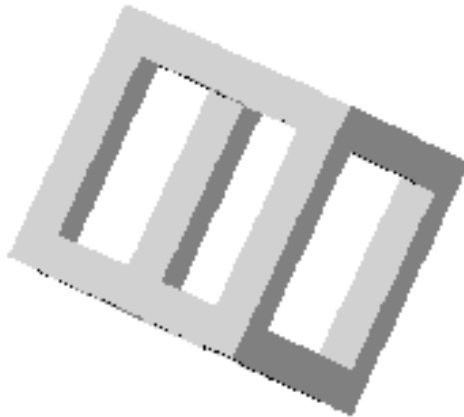


図 3.4: 表示させようとした画像 2

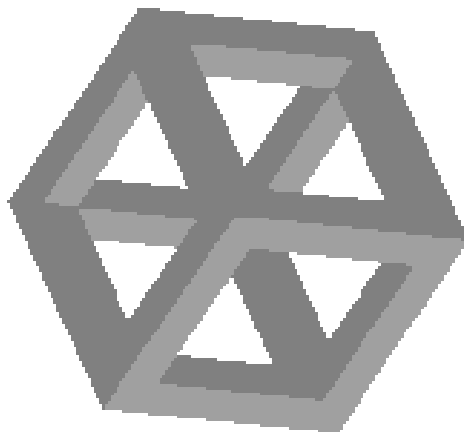


図 3.5: 表示させようとした画像3



図 3.6: 表示させようとした画像4

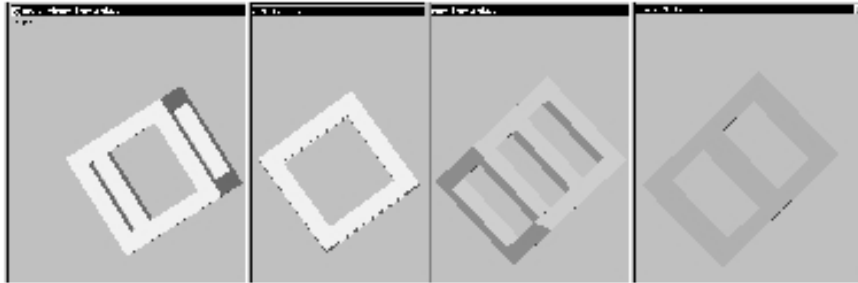


図 3.7: 回転

3.2.4 Web により採集したデータ

実験概要

固執行動が今までの被験者に特殊な現象ではないということを確認するため、Web 上でもデータを取ることにした。ただし、今までの実験と異なり、被験者がどのような状況で操作を行ったのかは知りようが無い。また、同一人物が何度も操作を行っているという可能性は多いにある。

使用したアプレットは陰影がついた不可能図形である。各種検索サイトおよびエッシャー関連サイトからリンクが張られている。また、途中から他大学の視覚関連を研究する講座からリンクが張られたようであった。操作者は北陸先端大関連サイトか、以上のサイトを閲覧していた人間であると見てよい。特に多いのはエッシャー関連サイトからの訪問者で、錯視に興味を抱いた集団が操作していると予想できる。

集まったデータのうち、73 個について今まで順に処理した。固執を抽出し、グラフにした。

結果

73 個のうち、操作の跡が記録されているのが 69 あった。アプレットを開いてからしばらく放置されたらしいものや、操作を中断した様子のあるものがあり、どのくらいの時間をかけて操作をしているかは不明である。多くは正味 70 秒程度であった。

特に目立った規則性は見出せなかった。「目」、「日」、「口」、もしくは「正六角形」の

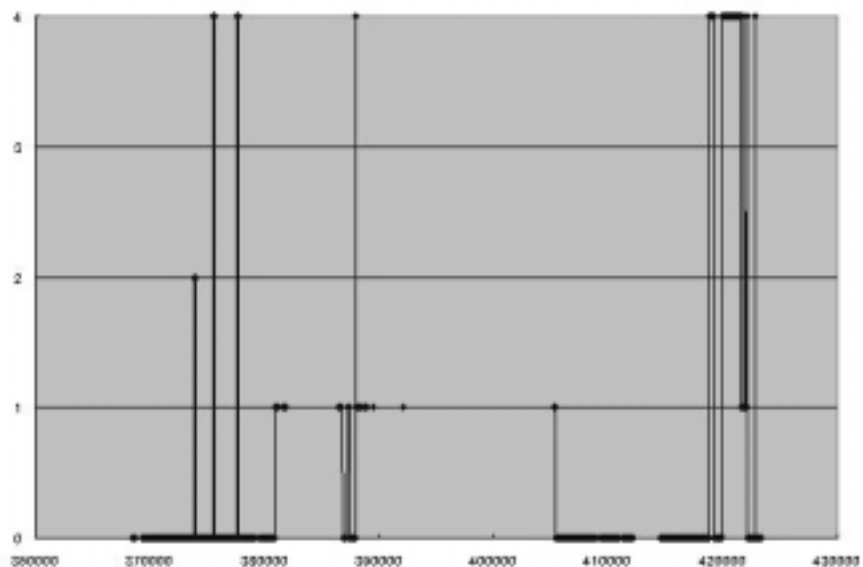


図 3.8: 「口」で手を止めている例

見え方は69個すべてのデータにおいて複数回出現している。すべてのデータにおいて「目」の見え方は出現していた。グラフの例を図3.8から3.10に挙げる。縦軸の「1」は「口形の見えを」、「2」は「六」形の見えを、「3」は「日」形の見えを、「4」は「目」形の見えを、それぞれ指す。どれにも該当しない見え方が表示されているときには「0」である。横軸はミリ秒である。図3.8では、操作の中ほどで「口」形の見えを表示させ、そのまま一旦手を休めた様子が伺われる。図3.9は、頻繁に「目」形を表示させながら、「口」形の見えに固執している。図3.10では、「目」形が最も頻繁ではあるが各種の見えも表示されていることがわかる。

3.3 考察

『固執』はアフォーダンスを抽出するために行われる」という仮説に基づき、本章には3つの実験を取り上げた。アフォーダンスを抽出する行動である以上、視経験による関与は最小限でなくてはならない。そこで子供を対象とした。つぎに、操作をしているときとしていないときとでは、画像が主体に対して持つ「意味」は変化するはずである

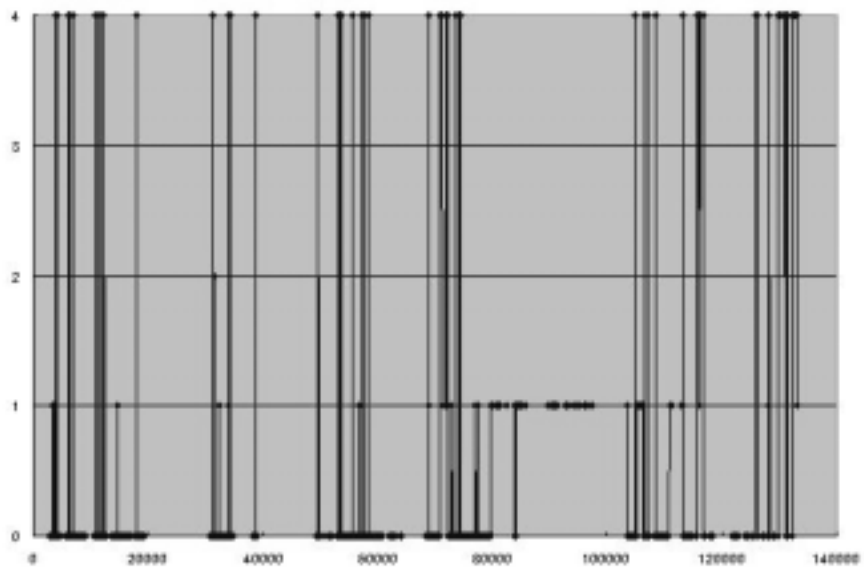


図 3.9: 頻繁な「目」の表示と「口」への固執の例

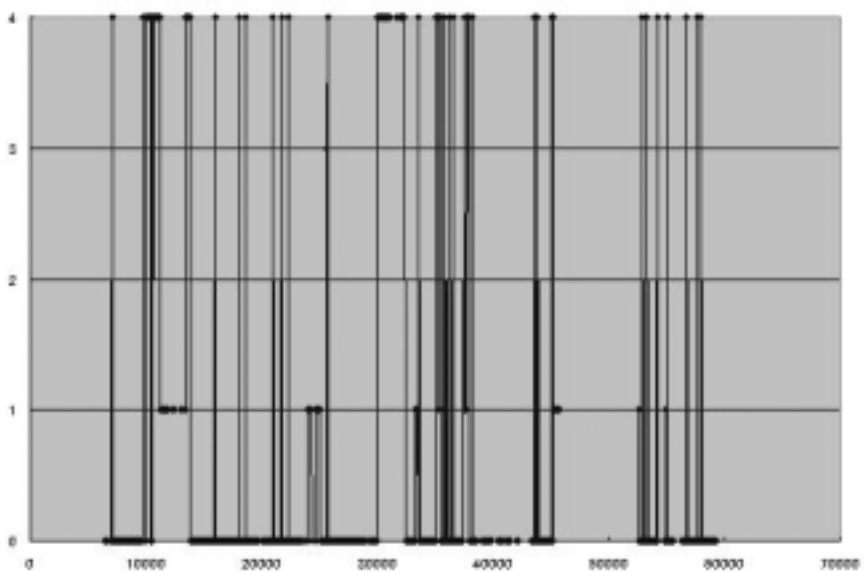


図 3.10: 「目」その他への固執の例

と考え、静止画を操作前後に見せる実験を行った。また、「固執」例を大量に見るため、Web によりデータを収集した。

子供も偶然的な像を表示させようとする行動を示した。ただしこれは、成人被験者が示した固執行動とは様子が異なる。被験者となった子供達は、図形の矛盾に気づきながら不快感は示さず、むしろ矛盾した遮蔽関係が出現する瞬間を何度も表示させようとしていた。また、柱と柱とを重ねるような動かし方も観察されなかった。彼らが出そうと努力していた「目」の形についても、成人が「すっきり」等と発言したのとは異なり、単にそれが漢字の「目」に似ているという点についてのみ発言している。

静止画を用いた実験では、操作中の固執の有無に関わらず、操作前後に「すっきり」した見え方が好まれることは無かった。また、Web から採集されたデータでも固執は現れた。

「固執」された見え方は、元の図形をある狭い角度から見たときの見え方である。直方体はある非常に限られた視点から見たときにのみ、四角形に見える。普通、直方体は六角形にいびつな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。Nakayama and Shimojo (1992) [3] は、人間はあるイメージ I_m を見ると、そのイメージを見せ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 をその像の面配置と考えることを明らかにした。立方体の例でいえば、固執された「正方形」や「目」の形を見せられたときに、その図を直方体の図であると即座に見なすことは無いことになる。3次元物体構造を認識するこの仕組みは、視経験 (visual experience) に基づいている。

ただし、単に3次元物体構造を認識するためであれば、用いられる視経験はそれほど多くのストックを必要とはしない。確かに、前章で見た通り、実験中、成人被験者は子供より強く不快感を示した。過去20年以上かけて馴化し蓄えてきた3次元物体復元に関する規則性を、使用することが出来ない。混乱している様子はプロトコルに現れている。それでも、「固執」された画像は子供と成人とであまり違いは無かった。

Nakayama and Shimojo (1992) [3] によると、「固執」された図形は偶然的な見えである。一般的な見え方はどれも互いに似通っているが、偶然的な見えはそうではない。故意に表示したときにのみ偶然的な見えは劇的に現れる。操作によって偶然的な見え方は

一般的な見え方から区別される。実際、偶然的な見え方への固執は操作中の被験者にのみ見られた。

現実には存在不可能な図形の性質を示す情報は、生きている主体には「無意味」である。ところが、「固執」された見えは平面として解釈すれば、「不可能」ではないことになり、意味を持ちうることになる。その図形が不可能であるかどうかは、3次元物体構造を復元する過程により判定される。この過程は最小限の視経験のみを要する。視経験が少ない者、つまり子供を被験者とした実験においても、成人被験者を対象とした実験とよく似た結果が出ていた。

以上より、「固執」された見え方は、故意に表示させたときのみ劇的に現れる、存在不可能ではない、「意味」を持つ可能性が少しでもある「模様」である。子供の被験者も成人の被験者もこれらの見え方について、漢字に似ていることや模様に見えることを述べている。「固執」された見え方は、板状の物体か平面に描かれた模様として何かを表現していると、操作者は見なすことが出来る。ある「すっきりした」見え方に「固執」する行動は、アフォーダンスを抽出しようとする行動のひとつと見なすことが出来る。

以上、『固執』行動は不可能図形から少しでも意味がありそうな見え方を探索する行動である」、ということについて考察した。「固執」された見え方が表現しているのは、それを見せている不可能図形に直接関わることはなかった。「口」のような見え方は不可能図形の一面しか表示していないし、「固執」された他の見え方も、不可能図形がどのような面配置を持っているかを示す情報を少ししか持たない。

残る課題は、操作行動中に見られた不可能図形と、この図形が見せるいくつかの偶然的な見えと、その見えが表現する「意味」との関わりを知ることである。大量の一般的な見えにも関わらず、この不可能図形が操作者に与える「意味」は、「口」や「目」に似た形が表現した意味に集約されてしまったのであろうか。そうであるとしたら、「見る」という行為は確かに非常に軽いものであると言える。同時に、「見る」という行為は必ずしも環境に関する克明な知覚を与えはしないとも言える。

第 4 章

結論

この論文は、「見る」という行為の中で起こる運動とのインタラクションを調べている。研究を始めるにあたり、アフォーダンスの見地から、視知覚を運動として見なす立場を取った。

運動は視知覚に情報を与え、視知覚が運動を制御する。このことは伝統的な視覚理論や Lee (1980) [11], Lee (1974) [10], Ullman (1979) [4] 等の研究により述べられてきた。ところが、もし運動が視知覚に与える情報が誤っていたら、動物は誤った行為をすることになる。本論文では、誤りを自覚できた場合、動物はどのような対処をするのかを扱った。

研究は実験と考察を繰り返すことにより進められた。実験では被験者に不可能図形を操作させたり、他人が操作する様子をみせたりした。本論文の主要部分は二つのパートで構成される。まず、運動が視知覚から情報を隠すことについて扱う。次に、その隠蔽が行われる方法の一つに注目する。

第一のパートでは、「運動により矛盾した情報が現れ、その矛盾がたやすく知覚され得るものであれば、人間は情報をむしろ視知覚から隠すような運動をする」という仮説を立て、プロトコルを調べる実験と、視線や瞬目を調べる実験とを行った。プロトコルを調べる実験において、被験者は共通して不可能図形の各部分が遮蔽し合う見え方を「すっきりしている」等と述べている。この見え方は平面的で、不可能図形自体に関する情報をあまり含まない。視線や瞬目を調べた実験では、被験者は他人による不可能図形操作を見ている間、自分で操作しているときより頻繁に瞬目を行った。平面的な見え方への固執も瞬目の増加も、情報が減る見方である。

次のパートでの実験は、前の実験結果を受けて行われた。多くの共通していた操作行

動に、平面的な見え方への「固執」行動がある。この行動について、「アフォーダンスを抽出しようとする行為のひとつである」という仮説を立てた。これが正しければ、視経験に関係無く様々な人間から同様の行為が観察されるはずである。そこで、子供を対象とした実験をおこなった。子供達も固執と同じ行動を示したが、成人が矛盾した図形に示したような不快感は現れなかった。また、運動の中で画像に「意味」が生じるということを確認するため、静止画を用いた実験を行った。「すっきり」しているとされた図形を操作前後に見せたが、操作中の行動に関係無く、これらの図形が特に好まれるということは無かった。補助的に Web でもデータを収集し、固執を観察した。

本論文では、運動には誤った情報を視知覚から隠し、少しでも意味がありそうな視野を得ようとする面があるということを述べてきた。誤った視知覚による誤った行為を防ぐことは、動物にとって危険から身を守るために必要な行動のひとつである。頻繁な瞬目や動きの少ない点の注視は、誤情報を視知覚から隠す行為であると言える。「固執」行動は、故意に表示させたときのみ劇的に現れる、存在不可能ではない模様を表示させる行動、つまり存在不可能で生体には無意味な情報から、少しでも意味を拾えそうな見え方を探す行動であった。

本研究に残った課題は、データの少なさである。実験結果は統計処理を出来るだけの数ではない。また、情報を取捨選択するのに必要な経験は最小限の量としたが、それがどの程度であるのか、調べる必要がある。始めの実験で馴化に触れたが、各主体が蓄積した経験は錯視を招く。個別に扱うことができないような長いスパンでの経験を視知覚に介入させることは、個別の体験へのフィードバックとは分けて考えることが出来る [9]。また、第二の仮説についての考察で触れた通り、操作中に得られた視経験は「固執」行動により廃棄されてしまったのであろうか。経験にをどのように扱うかを定めることも、今後の課題である。

謝辞

この研究を一貫して指導してくださった藤波努先生に感謝します。先が見えなくなりがちな研究中、先生の簡潔なご指示に霧が晴れるような思いをすることが度々でした。

國藤進先生、温かく見守ってくださりありがとうございました。

この研究のきっかけは櫻井彰人先生の元に行った副テーマから生まれました。お世話になりました。

視線を追跡する実験では、株式会社国際電気通信基礎技術研究所の開発した「頭部・眼球運動分析システム」を使用しました。草川直樹氏に深謝の意を表します。

小学生を対象とした実験では、大川華代子氏を始めとする横浜市立日吉台小学校の皆様にお世話になりました。深く感謝します。

お忙しい中被験者になって下さった皆様、被験者を集めてくれた友人達、ありがとうございました。

参考文献

- [1] 下條信輔: 奥行「手掛り」論：奥行知覚研究の現状と将来; 電子技術総合研究所調査報告第215号, pp38-48
- [2] Mario Bertero, Tomaso A. Poggio, Vincent Torre: Ill-posed problems in early vision; Proceedings of the IEEE, **Vol.76**, pp.869-889 (1988).
- [3] Ken Nakayama, Shinsuke Shimojo: Experiencing and perceiving visual surfaces; SCIENCE, **Vol.257**, pp.1357-1363 (1992).
- [4] Ullman, S: The Interpretation of Visual Motion; The MIT Press, p148 (1979).
- [5] James J. Gibson: The ecological approach to visual perception; Houghton Mifflin Company (1979). 邦訳：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・村瀬旻訳）；サイエンス社 (1985).
- [6] Solso, Robert L.: Cognition and the visual arts; MIT Press (1994). 邦訳：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).
- [7] Atsuhiko Maeda, Kozo Sugiyama, Kenji Mase: Log analyses of human behavior on interactive amusement media; Fourth International Conference on knowledge-Based Intelligent Engineering System & Allied Technologies, 30th Aug-1st Sept 2000, Brighton, UK, pp.229-232.
- [8] Reed, Edward S.: James J. Gibson and the psychology of perception Yale University Press, 1988.

- [9] Francisco J.Varela: A Neurophenomenology of Time Consciousness; Naturalizing Phenomenology, Jean Petitot, Francisco J. Varela, Bernard Pachoud, Jean-Michel Roy (eds.), Stanford University Press, 1999 ,pp.266-314.
- [10] David N. Lee and Eric Aronson: Visual proprioceptive control of standing in human infants; Percetion & Psychophysics, 1974, Vol. 15, No. 3, pp.529-532.
- [11] David N. Lee : Visuo - motor coordination in space - time ; Tutorials in Motor Behavior, G. E. Stelmach and J. Requin (eds.), North-Holland Publishing Company, 1980, pp.281-295.
- [12] M. T. Turvey: Coordination; The American Psychological Association, Inc, American Psychologist, August 1990, pp.938-953.
- [13] 谷部好子, 藤波努: 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ーネッカーキューブ操作行動に見られた共通点; ヒューマンインタフェースシンポジウム 2000 論文集, pp.483-486 (2000).