

学位論文

日常物体の方向知覚に関する実験心理学的研究

新美亮輔

平成 20 年 3 月 1 日

目次

要旨	1
第1章 序論	4
1.1. 物体同定と物体方向：心理学的諸研究から	7
1.1.1. 視点依存性論争 ～ 物体方向は物体同定に影響するか	
1.1.2. 典型的見えと偶然的見え	
1.1.3. アスペクト・グラフと見えのカテゴリ化	
1.1.4. まとめ	
1.2. 視覚系は物体方向をどうコードしているか：神経科学的諸研究から ...	24
1.2.1. 腹側経路での物体の表象は視点依存的吗，視点非依存的吗	
1.2.2. 背側経路での物体方向の処理	
1.2.3. 考察とまとめ	
1.3. まとめと本研究の目的	33
第2章 物体方向知覚に影響する視覚的要因の検討	35
2.1. 実験1：物体方向ずれ検出課題	37
2.1.1. 方法	
2.1.2. 結果	
2.1.3. 考察	

2.1.4. 水平輪郭線の影響の検討	
2.2. 実験 2：異物体間比較	52
2.2.1. 方法	
2.2.2. 結果	
2.2.3. 考察	
2.3. 実験 3：非対称物体	56
2.3.1. 方法	
2.3.2. 結果	
2.3.3. 考察	
2.4. 実験 4：長軸の効果	62
2.4.1. 方法	
2.4.2. 結果	
2.4.3. 考察	
2.5. まとめと考察	68
2.5.1. 物体方向知覚は方向依存的な特性を持つ	
2.5.2. 物体方向知覚はカテゴリー的か	
2.5.3. 物体方向知覚に影響する可能性がある他の要因	
2.5.4. 典型的見えと偶然的見えでの物体方向知覚	
2.5.5. 物体同定と物体方向知覚の関係	
第 3 章 知覚された物体方向はどれくらい正確か	80
3.1. 実験 5：物体方向の評定	83
3.1.1. 方法	
3.1.2. 結果：平均評定方向	

3.1.3. 結果：評定方向の標準偏差	
3.1.4. 考察	
3.2. まとめと考察	102
 第4章 物体方向知覚と典型的見え・偶然的見え	105
4.1. 長軸がない日常物体の同定の視点依存性	106
4.2. 実験6：前・上・横の物体方向の知覚	111
4.2.1. 方法	
4.2.2. 結果	
4.2.3. 考察	
4.3. 物体方向知覚と見えの親近性	119
4.4. 実験7：物体方向知覚と見えの良さ	120
4.4.1. 方法	
4.4.2. 結果	
4.4.3. 考察	
4.5. まとめと考察	127
 第5章 総合考察	130
5.1. 実験結果のまとめ	131
5.2. 物体同定と物体方向知覚の関係	135
5.3. 偶然的見えの処理機構	137
5.3.1. 頭頂葉と偶然的見え：症例研究から	
5.3.2. 頭頂葉と偶然的見え：イメージング研究から	
5.3.3. 偶然的見えでの物体同定	

5.4. これまでの物体認知理論との関係	141
5.5. おわりに	145
引用文献	146

謝辞

要旨

視覚的物体認知は、ヒトの高次視覚認知メカニズムの最も重要な要素のひとつである。その第一の役割は物体を同定する（再認・命名する）ことだが、その後に行われる種々の目的志向的な行動を考えると、「その物体が何であるか」以外にも物体の様々な情報を獲得する必要があるだろう。例えば道具を手にとって使う場合や、複数の物体が含まれる複雑な情景の理解には、物体が観察者に対してどのような方向を向いているかを知覚することが重要である。本論文では、視覚系が日常物体の方向をどのように知覚しているのか、また物体方向知覚は物体同定とどのような関係にあるのかを実験的に検討し、視覚的物体認知メカニズムの新しく統合的な理解を提供する。

まず第1章では、序論として、これまでの視覚的物体認知研究の中で物体方向が関係している知見を概観する。心理物理的実験研究からは、物体同定のしやすさに物体方向が影響するという視点依存性の問題と、物体方向によって異なる物体の見え（view）はいくつかのカテゴリに分類できるというアスペクト・グラフの理論を取り上げ、物体方向は必ずしも物理的に正確に知覚されるのではなく、カテゴリ的に知覚されるのではないかという仮説を提案する。さらに神経科学的諸研究からは、物体方向の処理が物体同定のための処理を行っていると言われる神経機構とは別個の神経機構によって行われているのではないかという示唆を得る。

第2章では、日常物体の画像刺激を用いて行動実験を行い、物体方向知覚の基本的な特性を検討した。具体的には、物体方向の15°の違いを検出する実験課題を行い、前や後ろ方向では物体方向の違いが視覚的に顕著だが斜め方向ではそうではないこと

がわかった。またこれは前や後ろ方向でその方向に特異的に現れる視覚的特徴（水平輪郭線や輪郭の対称性など）の影響であることも確かめた。前や後ろ方向とそれ以外の斜めの方向とは異なるカテゴリの方向として知覚されているため、前・後ろ方向と斜め方向の間では方向ずれが検出しやすいが、斜め方向同士は違いが検出しにくいと考えられる。また、従来物体同定が困難だとされてきた前や後ろ方向の偶然的見え（accidental view）でむしろ物体方向知覚が正確だという知見は、物体同定と物体方向知覚が異なるメカニズムに基づいているという示唆に適合的である。

第3章では、上述の実験結果を踏まえて、知覚された（主観的な）物体方向が物理的な物体方向とは必ずしも一致せず、一定の誤りを伴っているのではないかという仮説を検証する。物体方向を直接に評定する実験課題を行い、前や後ろに近い方向では知覚された物体方向は正確だが、斜め方向では前や後ろとの方向の違いを過大視するような誤りがあることがわかった。この結果は、やはり前や後ろといった物体方向（偶然的見え）と、それ以外の斜めの物体方向（非偶然的見え）とが異なるカテゴリとして処理されていることを示唆している。

第4章では、物体方向知覚と物体同定とがどのような関係にあるのかを、典型的見え・偶然的見えの違いの問題を通して詳しく検討した。物体同定についての先行研究の知見と第2・3章で得られた物体方向知覚の特性、さらにいくつかの追加実験の結果から、物体方向知覚の正確さと物体同定のしやすさは逆の傾向を示すことを確かめた。つまり、物体同定がしやすい典型的見えでは物体方向知覚は不正確となり、物体同定が難しい偶然的見えでは物体方向知覚は正確なのである。このことは、物体方向知覚と物体同定とが基本的に異なる処理過程であるだけでなく、両者は相反する機能を同時に満たすために相補的に働いているのだということを示唆している。

これらの知見を踏まえ、第5章の総合考察では、これまで主として物体同定過程の側面からしか語られてこなかった視覚的物体認知メカニズムについて、物体方向知覚

過程という別の側面から光を当て、統合的な理解を試みた。物体は、前や後ろなどの一部の方向ではその方向に特異的な視覚特徴を多くもたらすが、逆に方向に依存せず多くの方向に共通してその物体に見られる視覚特徴を欠いている場合が多い。このため物体方向は正確に知覚できるが、視点非依存的特徴に基づいて行われる物体同定は難しくなると考えられる。斜めの方向ではその逆で、視点非依存的特徴の量が多いため物体方向はわかりにくい、同定はしやすい。両者はそれぞれ異なるカテゴリの方向として処理されることとなる。そして斜め方向のカテゴリでは、そこに含まれる物体方向が比較的広い範囲にわたるため、結果として親近性が高くその物体の典型的な見えとして認知されるのだと考えられる。

神経科学的研究を概観すると、物体の偶然的見えに対しては、通常の物体同定処理を行っているとされる腹側視覚経路ではなく背側視覚経路が関わるという可能性が指摘できる。これは物体方向の正確な知覚や、偶然的な見えの処理に適した物体認知メカニズムが背側経路にあることを示唆している。一方で、物体方向の情報は捨象するかわりに効率的な物体同定を行うような、典型的見えに対して最適な物体認知メカニズムが、これまでよく検討されてきたような腹側視覚経路の機構なのだと考えられる。視覚的物体認知のメカニズムは、このような相反する特性を持った2つのメカニズム（方向特異的視覚特徴を処理し、物体方向知覚に最適なものと、方向非依存的特徴を処理し、物体同定に最適なもの）が協働することで、物体同定や物体方向知覚といった物体に関する多様な処理を同時に実現し、種々の認知機能に貢献しているのだと考えられる。

第1章 序論

ヒトは視覚系のはたらきによって周囲の環境の情報をさまざまな形で獲得している。中でも、身の回りにどのような物体が存在しているのかを把握する視覚的物体認知のメカニズムは、周囲の環境を理解し有益な情報を抽出するために欠かせない、高次視覚認知メカニズムの主要な構成要素である。情景の中の注意を向けた対象を記憶と照合し、既知の物体だということがわかれば、その物体についての過去の経験や知識を活性化させることで、速やかに適応的な行動を導くことができる。従って、物体認知メカニズムの第一の役割は、物体を同定することである。

物体を同定する（再認し、命名する）ためには、物体のおよそ無限とも言える多様な像を同じ表象に関連づけなければならない。例えば、晴れた昼間にフェンスの向こうを飼い主に連れられて散歩しているプードルを横から見た像と、夕暮れ時の庭先で目の前にうずくまっている秋田犬を前から見た像とでは、およそ共通点を見出すのは不可能とさえ思えるほど大きな違いがある。にもかかわらず、ヒトの視覚的認知システムはどちらの像からも「イヌ」という同一の表象をたやすく得ることができる。同じ「イヌ」が異なる像をもたらす要因としては、照明条件の違い（昼間と夕暮れ時）、他の物体による遮蔽（フェンスの有無）、像の大きさ（遠くか目の前か）、同じカテゴリ内での下位カテゴリの違い（プードルと秋田犬）、同じ物体が取りうる異なる姿勢の違い（立っているか座っているか）、そして視点の違い（横と前）などが挙げられる。こういった要因の影響を取り除き、像の多様性にもかかわらず同じ物体として同定・再認できるという、観察条件に対する不変性・恒常性の問題（光松・横澤, 2004）が、物体認知研究の主題であり、いかにその場の個別具体的な状況の影響を取り除いて物体を同定するかが心理学的に研究されてきた。

しかし一方で、物体を同定しただけでは周囲の環境を理解するのに必ずしも十分ではない。複数の物体が同時に存在している情景を理解するには、物体の位置や相互関

係といった空間的な情報をあわせて処理する必要がある。どのような物体がどの位置にどういう方向であるのかを把握できて初めて、周囲の環境を理解することができる。例えば、2 人の人物が向き合っているか別々の方向を向いているかによって、理解される情景の意味は大きく異なるはずである。また、マグカップや懐中電灯などの物体を手にとって使おうとする場合、物体の位置と方向を視覚的に捉えなければ適切な手の運動を行うことができないだろう。物体認知メカニズム単独ではなく、情景認知 (scene perception; e.g., Biederman, Mezzanotte, & Rabinowitz, 1982; Simons & Wang, 1998) や物体に対する行動 (e.g., Goodale, Milner, Jakobson, & Carey, 1991; Jeannerod, 1984) といったより高次の認知機能を考慮に入れるならば、物体方向知覚もまた広義の物体認知メカニズムが持つひとつの重要な機能だと言うべきであろう。事実、サル
の脳活動を調べた研究では、物体認知関連領域においてヒトの顔の方向に関連した活動が見られたという報告 (Wang, Tanifuji, & Tanaka, 1998) や、物体に対する手の到達運動の制御に関連した領域のニューロンが幾何学的物体の 3 次元的方向に選択的な発火をするという報告 (Sakata et al., 1999) があり、物体方向の処理が実際に視覚系で行われていることが示唆されている。

では、物体の方向はどのようにして知覚されているのだろうか。これまでの心理学的研究においては、物体の同定過程についての研究は多数行われてきたが、物体方向の知覚については直接には何も調べられていない。そこで本研究では、物体方向の知覚がどのように行われているのかを、実際に日常物体の方向を判断する実験課題を用いて検討する。その結果と既存の心理学的な物体認知モデルとの関連についても議論したい。物体方向知覚の特性を明らかにすれば、視覚的物体認知をより大きな視覚認知機能全体の中で位置づけることができるだろう。また、物体方向知覚についての理解は、これまでの物体同定過程についての研究だけではわからなかった物体認知メカニズムの新しい側面を明らかにするであろう。

この第1章では、まずこれまでの物体認知に関する心理学的研究の中で物体方向が関係している諸研究の知見を概観する。次に、ヒトの視覚系で物体方向が物体同定とは別に処理されていることを示唆する神経科学的諸研究を見てゆく。これらのレビューを通して、物体方向知覚は必ずしも物体同定過程の一部ではなく比較的独立した機構であろうこと、そして物体方向知覚は必ずしも実際の物理的な物体方向を正確に反映したものではなく、全ての物体方向が同等に処理されるわけではないという可能性を指摘する。

1.1. 物体同定と物体方向：心理学的諸研究から

1.1.1. 視点依存性論争 ～ 物体方向は物体同定に影響するか

物体同定に視点の違いが影響するという視点依存性の問題は認知心理学的物体認知研究の中心的な関心事であり、多くの関連研究がある（レビューとして、Biederman, 2001; Lawson, 1999）。たいてい、様々な視点から見た物体の画像を刺激として提示し、物体の同定課題が行われる。しかし、実験の際に参加者の実際の視点自体は固定されて動かない上、刺激には背景が含まれず物体が単独で提示されるので、これらの実験で検討されている視点の違いとは物体方向の違いと同一である。したがって、物体認知の視点依存性の研究は、物体同定に対する物体方向の影響の研究と言ってもよい。

視点依存性の研究で操作される物体方向には2通りある（図1）。第一には奥行き回転（depth rotation）と呼ばれるもので、物体を鉛直軸に関して回転させて物体方向を変化させる（図1A）。この場合、物体の画像に含まれる局所的な視覚特徴は回転によって大きく変化する。例えばある方向では明確に観察される物体の一部が、別の方向では遮蔽されて見えないということがあり得る。第二には平面回転（plane rotation）と



図 1. 物体の奥行き回転 (depth rotation, A) と平面回転 (plane rotation, B)。

呼ばれるもので、これは 2 次元画像を前後方向の軸に関して回転すること、つまり前額平行面の中での方向変化である (図 1B)。例えば、物体の画像を 180° 平面回転すると、上下さかさまの画像になる。視点依存性の研究はこのどちらの場合についても検討しており、基本的にどちらの場合でも物体方向が物体同定課題の成績に影響することが知られている。ただし、日常的な視覚経験での物体同定過程により関連が深いと思われる、視点依存性についての議論でも主たる問題点となっているのは、奥行き回転による物体方向変化の方だろう。本研究でも主として物体の奥行き方向の知覚について検討している。確かにどちらの種類も物体方向変化も物体同定課題の成績に影響を与えるが、両方を同時に行い、日常物体の線画刺激に対する命名課題の成績を調べた研究 (Lawson, Humphreys, & Jolicoeur, 2000) によれば、両者の効果は独立であり、異なるメカニズムによって生じることが示唆されている。

物体同定の視点依存性は、その解釈を巡って大きな論争を巻き起こした。物体方向が物体同定課題の成績に影響するという現象は、物体方向ごとにそれぞれ異なる 2 次元的な表象が形成されることの証拠とみなされ、2 次元表象に基づいた物体認知理論

(Tarr, 1995; Tarr & Bülthoff, 1998) を主張する研究者によってこの現象を示す実験結果が数多く報告された。これに対して、物体表象は 3 次元的パーツの配置によって立体構造が記述されたものだと考える、3 次元表象に基づいた物体認知理論 (Biederman, 1987; Marr, 1982) の立場から反論がなされてきた。以下、詳しく見てゆきたい。

物体同定の視点依存性を調べる典型的な実験事態では、3 次元新奇物体を刺激として用い、これをまず学習ブロックである決まった方向でのみ提示し、観察者はその物体を記憶する。続いて再認ブロックでは、学習ブロックで記憶した物体かそうではない新しい物体かが各試行で 1 つずつ提示され、記憶した物体かそうでないかを判断する (再認課題)。このとき、記憶した物体は学習ブロックと同じ方向で提示される場合と、異なる方向で提示される場合があり、前者の方が再認成績が良く、後者では学習ブロックでの物体方向との方向の差が大きいほどそれに比例して再認成績が低下する (視点変化のコスト, viewpoint cost), というのが典型的な結果である (Bülthoff & Edelman, 1992; Edelman & Bülthoff, 1992; Foster & Gilson, 2002; Gauthier et al., 2002; Logothetis, Pauls, Bülthoff, & Poggio, 1994; Rock & DiVita, 1987; Vetter, Poggio, & Bülthoff, 1994)。学習・再認課題ではなく、継時マッチング課題を用いても同様の知見が得られる。やはり 3 次元の新奇物体を短時間提示 (数 100 ミリ秒程度, 後続マスクを伴う) し、続いてもう一度物体を短時間提示する。この継時提示される 2 つの物体が同じ物体かどうかを判断するのが課題で、同じ物体でも両方で物体方向が異なる場合とそうでない場合とで成績を比較する。するとやはり、物体方向が異なるほどそれに比例して成績は低下する (Hayward, 1998; Hayward & Williams, 2000; Tarr, Bülthoff, Zabinski, & Blanz, 1997)。日常物体の写真による実験でも、視点変化のコストが見られている (Ellis, Allport, Humphreys, & Collis, 1989)。学習・再認課題と継時マッチング課題の両者を行っている研究としては Hayward & Tarr (1997) や Tarr, Williams, Hayward, & Gauthier (1998) がある。いずれの課題にせよ視点変化のコストが意味するのは、同じ物体かど

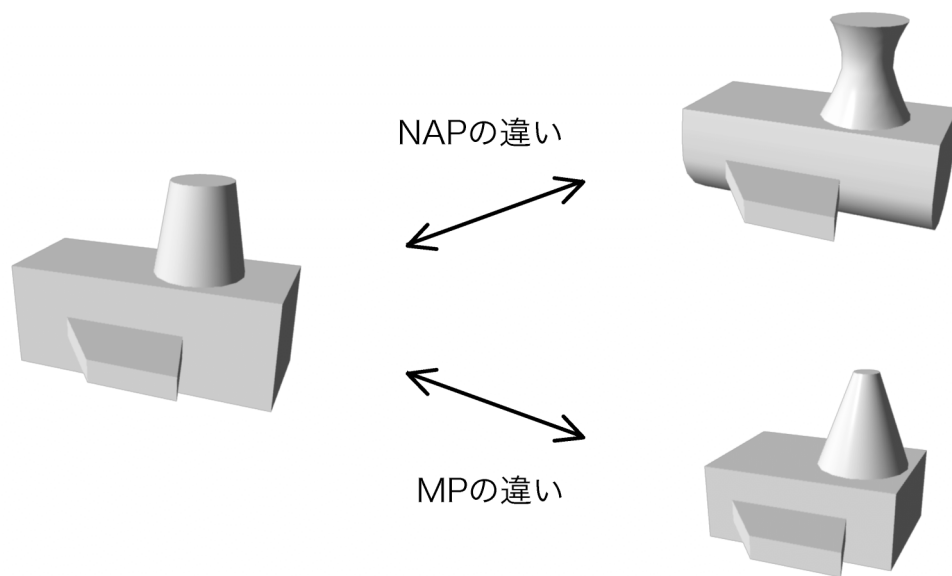


図 2. NAP(non-accidental property, 直線か曲線かといった質的な特性)において異なる物体は区別しやすいが、MP(metric property, 量的な特性)でのみ異なる物体は区別しにくい。

うかを判断するには、違う方向で提示されると同じ方向で提示されるよりも難しいということである。従って、物体同定過程で形成されている物体表象は、観察した時の物体方向に特異的な 2 次元的な表象であり、物体方向に依存しない 3 次元的ないし抽象的な表象ではない、という結論がしばしば導かれる。

しかし、物体を両眼立体視で観察するこの視点変化のコストが弱まるという、部分的には 3 次元的な物体表象が関与していることを示唆する知見もある (Burke, 2005)。また、新奇物体の継時マッチング課題で、方向の違いの量に比例してコストが増すという現象は見られず、方向の違いがある条件ではない条件に比べて常に一定量のコストのみが生起したという報告もある (Johnston & Hayes, 2000)。さらに、同定しなければならない物体が他の物体と視点不変的特徴 (NAP: non-accidental property) によって区別できる場合 (図 2 参照) には、この視点変化のコストは消失するとされ (Biederman & Bar, 1989; Biederman & Gehardstein, 1993)、視点依存的な結果を報告している研究結

果は視点不変的特徴によって物体同士の区別ができないような特殊な刺激を用いたために得られたものだと指摘されている。

物体方向の相対的な違いの物体同定への影響は、プライミングによって間接的にも調べられている (Bartram, 1974; Biederman & Gehardstein, 1993; Hayward, 1998; Lawson & Humphreys, 1998; Srinivas, 1995)。プライミングによる研究では日常物体刺激がよく用いられる。例えば Biederman & Gehardstein (1993)は、短時間提示される日常物体の線画刺激に対する物体命名課題で、以前の試行（プライム試行）で提示された物体と同じ物体が後の試行（テスト試行）で提示されると、物体方向が同じでも違っていても同程度に反応時間は短く、また誤答率も減少していた。すなわち、プライム試行での物体同定のために方向に依存しない3次元的な物体表象が形成されたために、同じ物体の同じ3次元的な表象を形成する刺激がテスト試行で提示されるとプライミング効果によって同定が容易になった、ということである。同じ名称を持つが別の物体同士（例えば、ジェット機とプロペラ機）でもやはりプライミング効果は見られたが、その量は同物体の場合よりも小さかった。従って、同物体だが方向が異なる刺激の間で生じた上記のプライミングは、意味のないし言語的なプライミングだけでは説明がつかない。一方で、このようなプライム試行とテスト試行で物体方向が異なっているとプライミング効果は生起しない場合もあり (Hayward, 1998; Lawson & Humphreys, 1998), やはり必ずしも一貫した結果は得られていない。

前述のように、学習時と同じ方向で提示された物体に対する同定が、異なる方向で提示された物体に対する同定よりも速くて正確であれば、物体の記憶表象は視点依存である、という結論が導かれる。しかしこれまで見てきたように、実験結果はしばしば一貫していないため、大きな論争となった (Biederman & Bar, 2000; Biederman & Gehardstein, 1995; Hayward & Tarr, 1997, 2000; Tarr & Bülthoff, 1995)。さらには、例え観察された物体同定課題の成績やプライミング量が視点依存であっても、視点非依存

的な記憶表象による物体同定過程を必ずしも否定するものではないという主張もあり (Bar, 2001), どちらか一方の立場だけが支持されるような結論には達しなかった。

近年の研究は、物体同定がどのような場合に視点依存性が低く抑えられ、どのような場合には視点依存性が高くなるのか、というような場合分けをすることで、物体同定メカニズムの統合的な理解を目指しているようである (Hayward, 2003)。

Biederman & Gehardstein (1993)はすでに、視点不変的な物体同定が成立するための条件を提示し、それが満たされない場合には視点不変性が損なわれるとしている。Tarr & Bülthoff (1995)もまた、同じカテゴリ内の異なる成員を弁別する必要がある課題 (例えば、鳥の種類を見分ける場合) では視点依存性が高くなり、逆にカテゴリ間の弁別が必要な課題 (花や魚と鳥を区別する場合) では視点依存性が低くなるというモデルを示している。実際、所与の課題において弁別しなければならない物体同士を区別している特性の種類に依存して物体同定が視点依存的にも非依存的にもなることが、新奇物体を用いた実験から示されている (Hayward & Williams, 2000; Vanrie, Willems, & Wagemans, 2001)。さらに Foster & Gilson (2002)は、3次元新奇物体の同定課題において、単一の課題においてさえ視点依存的メカニズムと視点非依存的メカニズムの両者が同時に働いていると示唆している。

このように、日常物体であれ新奇物体であれ、物体同定には少なからず視点依存的な現象が伴う。物体同定のメカニズムは、それが2次元表象によるものであれ、3次元表象によるものであれ、日常的な視覚経験のほとんどの場合では高い (しかし完全ではない) 視点非依存性を実現している。しかし、しばしばそのメカニズムがうまく対応できない例外的な状況があり、そのために物体同定実験の結果が視点依存的になるのだ、と考えられる。

1.1.2. 典型的見えと偶然的見え

視点依存性論争に関わる諸研究のような継時マッチング実験やプライミング実験は、言わば物体の相対的な方向の物体同定への影響を調べたものである。一方、日常物体の同定実験では、物体の絶対的な方向が同定成績に影響することがよく知られている。つまり、ある方向では物体の同定が難しいが、別の方向では同定しやすい、ということである。例えば、真正面を向いている馬は同定しにくい、斜め横を向いていると同定しやすい（図3）。これも物体同定の視点依存性の例である。前者のような見えは偶然的見え（accidental view）と呼ばれている。逆に、物体の同定が最も効率的に行われる方向での見えは典型的見え（canonical view）と呼ばれている。

偶然的見えは、通常は同定が容易な日常物体が例外的に同定しづらくなる物体方向での見えである。具体的には、物体の真正面や真上、真後ろなどの方向の見えであることが多い。Marr (1982)は、バケツを下から見た見えを偶然的見えの例として挙げているが、これはバケツの立体構造を記述するために必要な主軸（major axis）を認識しづらいために3次元物体表象を得にくいからだと説明されている。Biederman (1987)は上から見たミキサーの例を挙げているが、この場合はミキサーの主要なパーツである容器の部分が遮蔽されて見えないため、同定が困難になるとされている。

特定の物体方向が同定を困難にすることは、実験からも確かめられている。日常物体の線画刺激に対して物体名を回答する課題を行った Humphrey & Jolicoeur (1993)は、物体の長軸（axis of elongation）が観察者の視点の方を向いているような物体方向では偶然的見えとなり、同定が難しくなることを示している。しかし、刺激にテクスチャの勾配を加えることで奥行き情報を付加すると同定成績が改善したことから、この偶然的見えでは2次元画像上で長軸が圧縮（foreshortening）されたために奥行き知覚が阻害され、物体の立体構造が把握しにくくなったのが同定課題の成績低下の原因だと解釈されている。この長軸圧縮の効果は、他の多くの研究でも確かめられている（Lawson & Humphreys, 1996, 1999; Lawson et al., 2000; Newell & Findlay, 1997）。多くの

典型的見え



偶然的見え



図 3. 日常物体の典型的見え（左列）と偶然的見え（右列）の例。

日常物体は前後に細長い形状をしているため、前方向でやはり同定が難しくなる (Mitsumatsu & Yokosawa, 2002)。また、長軸のある物体で視線が長軸に直交するような (真横の) 方向でもいくらか同定課題の成績が低下することや (Lawson & Humphreys, 1999)、前後が明確に決まっているが長軸が明確ではない (細長くない) 物体の正面および真横方向でも斜め方向より同定成績が低下する (野々瀬, 2006) ことも示唆されている。このように、日常物体の偶然的見えを決定する要因は必ずしも明らかではないが、長軸が圧縮されるような物体方向を含め、前や横、上、後ろなどの斜めではない方向が偶然的見えとなりやすいようである。

これに対して典型的見えとは、その物体をもっともよく表している見えだが、元は Palmer, Rosch, & Chase (1981) によって提唱された概念である。彼らは日常物体の様々な方向の写真を刺激として用いた研究で、(a) 見えの良さ (goodness) の評定が最も高い見え、(b) 参加者が最初にその物体を思い浮かべた際の見え、そして (c) その物体の最も良い写真を撮影する課題で撮影された見え、とがよく一致しており、かつそのような見えでは物体の同定成績も良くなることを示した。このように、日常物体には視覚的物体認知にとって最適となるような方向が存在しており、彼らはそれを典型的見えと呼んだのである。典型的見えは概して、真正面や真横ではなく、前と横の中間の適度に斜めになっている方向であることが多い (Blanz, Tarr, & Bülthoff, 1999; Palmer et al., 1981; Verfaillie & Boutsen, 1995)。このように「軸を外した (off-axis)」見えが典型的見えになりやすいことは、真正面や真横ではない視点で物体同定課題の成績が良いという日常物体同定の視点依存性についての知見 (Lawson & Humphreys, 1999; 野々瀬, 2006) とも符合するだろう。典型的見えの規定要因について Palmer (1999) は、その見えの親近性が高いことと、その見えが物体についての重要な情報をより多く含んでいることを挙げている。多くの日常物体では、前や横の見えは親近性が低く、またその物体の重要な部分 (例えば、自転車の車輪) が遮蔽されて見えないために、見えの

良さの評定は低くなり、かつ同定課題の成績も低下するのだと考えられる。このような見えが、偶然的見えと呼ばれる。

明らかに、日常物体の同定には物体方向が影響している。このこと自体は、視点依存で2次元的な物体表象に基づく物体同定の証拠とも見える。しかし、むしろ偶然的見えでは視点非依存的な物体同定過程が例外的にうまく機能しないために同定成績が低下しているのであって、それ以外の（典型的見えを含めた）多くの場合は3次元の表象に基づく視点非依存的な物体同定が成立しているとも考えられる。上述の諸研究でも、偶然的見えで同定成績が低下してはいるが、それ以外の複数の物体方向（例えば、前から30°の方向や60°の方向）の間では同定成績に差はなく、同等に良好である（Lawson & Humphreys, 1996, 1999）。

典型的見えと偶然的見えの違いは、日常物体の見えが視覚認知において質的に異なる複数の見えに分類されているということを示している。そしてその分類に依存して、物体同定のメカニズムは異なった働きをしている可能性がある。典型的見えにおいては比較的視点依存性の低い物体表象が得られ、効率的で視点非依存的な物体同定が行われるが、偶然的見えではそれがうまく機能しないため、その見えに特異的な（視点依存的な）物体表象が得られている、と考えられるだろう。Lawson & Humphreys (1998) は日常物体の線画刺激での継時マッチング課題を行っているが、斜めの見え（物体方向150°）を長軸が圧縮された偶然的見え（90°）とマッチングするのは難しいが、物体方向が異なる他の斜めの見え（30, 60, 120°）とマッチングするのは容易だという結果を報告している。この知見も、斜めの方向では物体方向に比較的依存しない表象が得られるが、偶然的見えではその方向に特異的な表象が得られていることを示唆している。偶然的見えとなりやすい前などの方向と、典型的見えとなりやすい斜めの方向とでは、利用できる視覚的情報が質的に異なっているのではないだろうか。

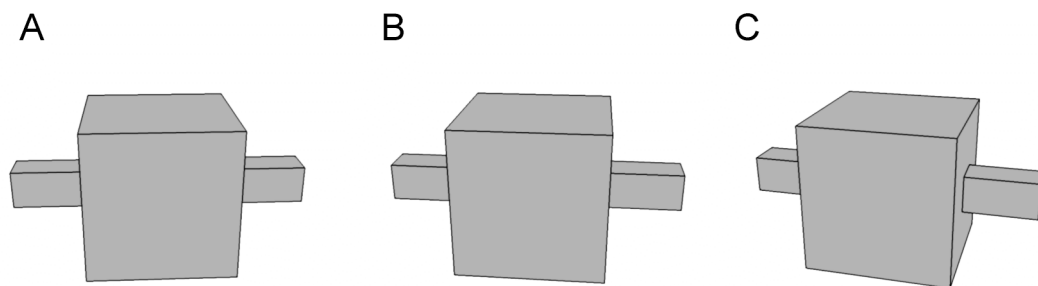


図 4. A と B は類似した見えだが、B と C は質的に異なる見えとなっている。

1.1.3. アスペクト・グラフと見えのカテゴリ化

単一の物体が方向を変えることでもたらす様々な見えにはいくつかの質的に異なる見えがある、という上述の考察は、無限個の物体の見えがある処理過程によって有限個のカテゴリに分類されているということを示唆している。この見えのカテゴリ化の理論は、アスペクト・グラフ (aspect graph) として知られている (Callahan & Weiss, 1985; Koenderink & van Doorn, 1979; Kriegman & Ponce, 1990)。図 4 に示したような物体の例では、A と B とでは物体の方向は異なっているが、それぞれの見えは類似している。輪郭線の傾きや長さは異なっているものの、輪郭線や頂点の数およびその相互関係は同じだからだ。一方、B と C とではやはり物体の方向が異なるが、質的に異なる見えとなっており、区別しやすい。B に比べて C では、新しい面が出現していたり、いくつかの頂点 (T-junction) が消失したりしているからだ。この場合、A と B は同じカテゴリに含まれるが、C は異なるカテゴリだと考えることができる。このようにして、ある物体の見えのすべてをカテゴリ化することができる。このようにして分類された物体の 2 次元像のカテゴリ (アスペクト) の組み合わせとして物体を記述したものがアスペクト・グラフである。例えば正 4 面体の見えは、合計で 14 のアスペクトに分類できるという (Koenderink & van Doorn, 1979)。図 5 は、円柱の見えをアスペクト・

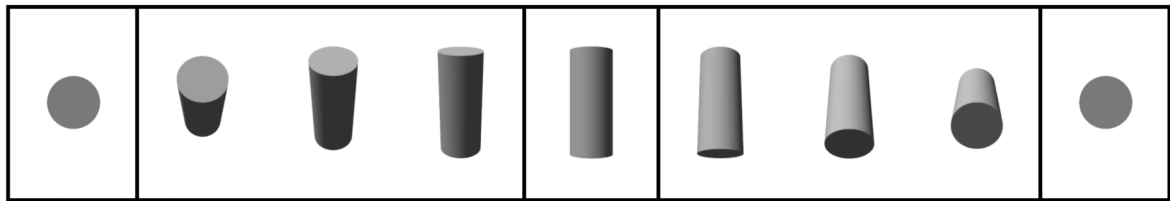


図5. 物体の見えのカテゴリ化の例。円柱の見えは5つに分類できる。

グラフにならってカテゴリ分けして示したものである。Tarr & Kriegman (2001)はさらに、アスペクト・グラフで異なるカテゴリに分類された見え同士が実際に観察者にとって弁別しやすいかどうかを実験によって検討している。刺激として用いられた物体はドーナツ形とベル形の2種類の物体のみであったが、アスペクト・グラフによって質的に異なる見えとされたもの同士の弁別は、そうでない見え同士の弁別に比べて、正答率が高いことが確認されている。ただし、中には質的に異なる見え同士であっても弁別成績には影響をもたらさない場合もあった。ヒトの視覚系による物体の見えのカテゴリ化は、アスペクト・グラフにおいて幾何学的に記述されるものよりも、やや粗く、不完全なカテゴリ化となっているのかも知れない。

アスペクト・グラフの議論は幾何学的な3次元形状についてなされているものの、この見えのカテゴリ化という考えは、Tarr (1995)の日常物体認知の理論でも用いられている。彼の理論は基本的には2次元テンプレート仮説と呼ばれる立場をとっており、記憶に保持されている物体の見えの2次元表象と現実を観察している物体の見えとを照合することで物体が同定されるとするものである。2次元テンプレート仮説の問題点は、単一の物体が生じ得る無限個の見えをすべて記憶表象に保持することが不可能と考えられることだが、Tarr (1995)は見えの複合体 (multiple-views) という概念によってこれを解決している。ある物体がもたらす多様な見えがいくつかのカテゴリに分類され、その複数のカテゴリが集まった構造として「見えの複合体」が構成され、物

体の記憶表象として保持されているというのだ。例えば上から見た見え、前から見た見え、右斜めから見た見え、というように、カテゴリごとに見えが2次元的表象として保持されており、実際に目にした物体の見えは各カテゴリのうち最も類似しているものに正規化され、照合されることで物体が同定されるとしている。

アスペクト・グラフのような見えのカテゴリ化の理論は、物体認知の2次元テンプレート仮説だけに関係するものではない。物体を記述する基本的な視覚情報として輪郭線や輪郭線が成す頂点を用いている点では、Biederman (1987) の RBC (recognition-by-component) 理論もアスペクト・グラフと共通している。アスペクト・グラフではそれらの情報を単一の物体の異なる見え同士の区別に用いていたが、RBC 理論では物体のパーツであるジオン (geon) の種別にも用いているのである。ジオンとは定義上、視点非依存的特徴のみによって他のジオンと弁別されるものなので、その全ての見えは単一のカテゴリのみに属すると考えることができる。すなわち、どの視点から観察しても、ヒトの視覚系にとっては常に質的に同一の見えとして知覚される、ということである。従って、理論的にはアスペクト・グラフにおける見えの区別とまったく同様にジオンの区別ができるということになる。ただ、実際にはジオンの見えにも例外としての偶然的見えが存在する。例えば円柱形のジオンはほとんど全ての視点から観察しても、その輪郭線は2本の平行する直線と底面の楕円形および1本の曲線によって構成されている。しかし、ちょうど真横の視点ではその輪郭線は4本の線分からなる長方形となり、またちょうど真上の視点では、円のみが観察される (図5)。このように考えると、ジオンの見えはおそらく数個の偶然的見えと単一の典型的見えとにカテゴリ化することができると言えるだろう。そして物体のほとんどのジオンが典型的見えを呈している時、その物体全体の見えもまた典型的見えを呈し、多少の視点の変化ではその見えは質的には変化しない、と考えることができる。

このように、物体の見えが質的に異なるいくつかのカテゴリに分類して処理されて

いると考えることは、物体認知を考える上で非常に有用な理論的アプローチである。アスペクト・グラフそのものは幾何学的な議論であって、それは Tarr & Kriegman (2001) が示したように実際のヒトの視覚的認知とは必ずしも完全に対応はしないし、またアスペクト・グラフの研究で用いられているような単純な幾何学的物体に比べると日常物体はあまりに複雑な形状をしているから、その理論を日常物体の認知過程にそのまま厳密にあてはめることはできないだろう（アスペクト・グラフではただの正4面体でさえ14の見えるを持つものだから、全く同じ方法で飛行機のような複雑な日常物体の見えるを分類したら膨大な数になってしまう）。しかし、Tarr (1995)の見えるの複合体の例のように、日常物体の見えるもいくつかのカテゴリに分けられるという仮説は示唆に富んでおり、かつ妥当なものだろう。実験的にも、例えば Hayward (1998)は、日常物体の継時マッチング課題で、1つめの刺激と2つめの刺激で視点が異なっているにもかかわらず、見える物体の主要なパーツが同じ場合（つまり、両者は同じカテゴリの見えるだと考えられる）には成績が良いが、1つめの刺激で見ていたパーツが2つめの刺激で遮蔽されるなどして両方で異なるパーツが見えている場合（つまり、両者は異なるカテゴリの見えるだと考えられる）には成績が低下するという結果を報告している。これは物体同定過程において物体の見えるがカテゴリに分類して処理されていることを示唆するものだと考えられるだろう。

同じように、日常物体の偶然的見えると典型的見えるも、明らかに異なるカテゴリの見えると言えるのではないだろうか。前述のように、偶然的見えるとなりやすい「前」や「横」といった物体方向は、そもそも「前」「横」という名称を与えられていることが、他の方向とは異なるカテゴリとして認知されていることの証左だとも考えられる。日常物体の見えるがカテゴリ的に知覚されることで、日常物体の方向もカテゴリ的に表象されている可能性があるだろう。

1.1.4. まとめ

これまで見てきたように、物体同定は概して視点依存的な振舞いを見せる。それが視覚系における物体表象が視点依存的であることの証拠かどうかが問われたのが視点依存性論争であった。物体表象の視点依存性を考える際には、議論されているのがどのレベルの表象なのかを合わせて考えなければならない。物体同定の過程は、視点に完全に依存した像である網膜像から次第に物体を同定するのに必要な情報を抽出し、最終的に物体名という視点にまったく依存しない言語的表象を活性化させることなのだから、結局のところ、処理の段階に応じてさまざまな度合いの視点依存性を持った表象が処理されているのである（図6）。視点依存性論争において論じられたのは、長期記憶に保持されている物体の記憶表象についてである。しかし、それは言い換えれば、物体表象はどのレベルまで処理が進んだ段階で長期記憶として蓄えられるのか、という問題でもある。さらに本論文の主題である物体方向知覚との関連において考えれば、この問題は物体の記憶表象には物体方向の情報が含まれているか、という問題でもある。完全に3次元的な物体表象は、定義上、物体方向の情報を含まない。従って、記憶表象よりも低いレベルの（視点依存性が高い）表象に含まれる、物体方向の手がかりとなるような何らかの情報を抽出することによって物体方向知覚が実現されなければならない。あるいは、物体の3次元的な記憶表象から心的回転（mental rotation; Shepard & Metzler, 1971）によってある方向での見えを視覚的イメージとして生成し、これと物体の網膜像とのマッチングを行うことで物体方向を判断するという可能性もある。一方、物体の様々な方向の見えを保持している2次元記憶表象（見えの複合体）であれば、それは物体方向の情報を含むことができる。この場合は、記憶表象に含まれる見えの表象とのマッチングによっても物体方向を判断することが可能だということになる。

偶然的見えと典型的見えの問題は、網膜像からボトムアップに処理されて得られた

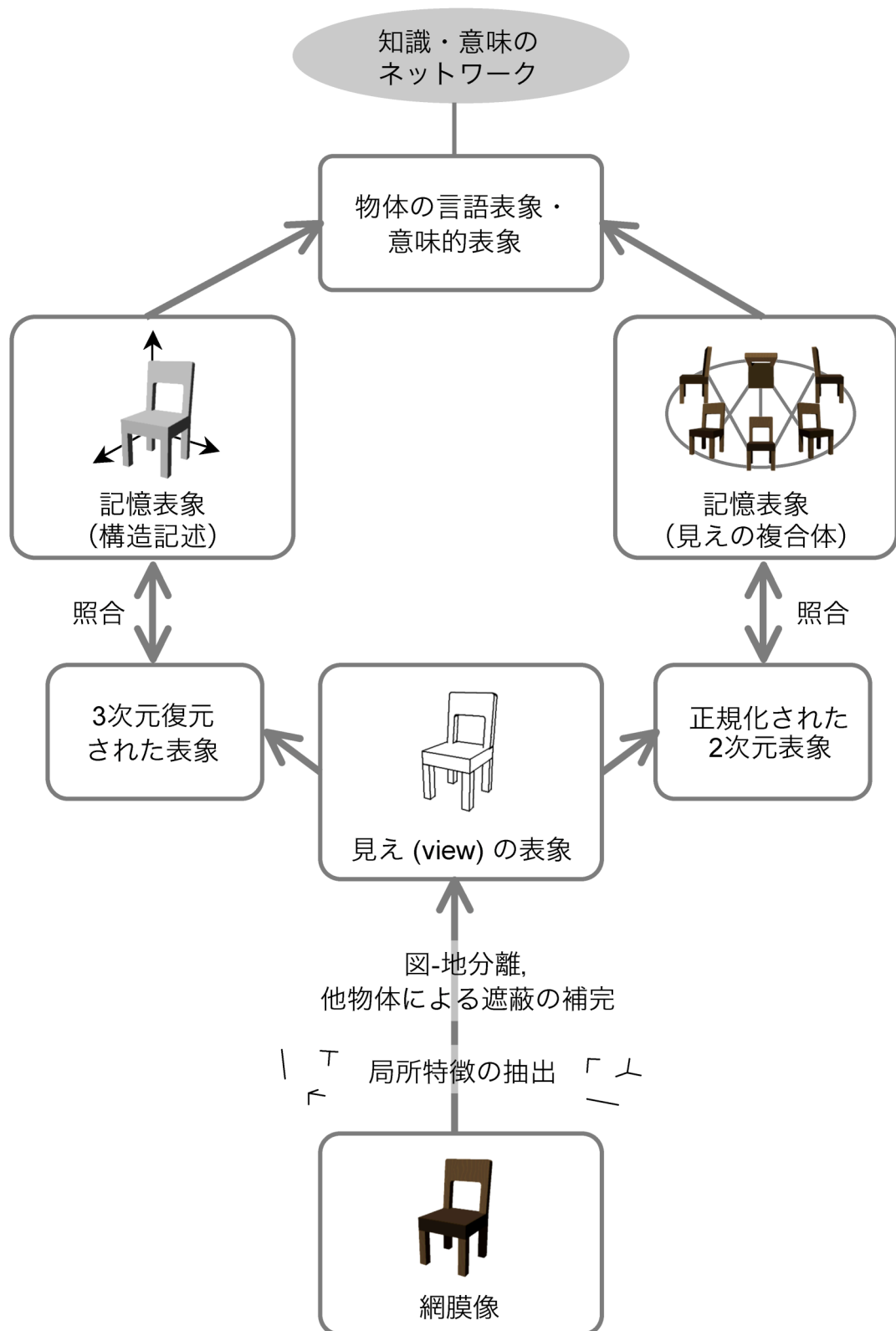


図 6. 視覚的物体認知過程におけるさまざまな段階の表象。処理が進む（図の上に進む）に従って、物体表象の視点依存性は小さくなってゆく。

物体の見えの表象が物体の記憶表象と照合しやすい場合とそうでない場合があることを明らかにした。Biederman (1987)のような3次元物体表象仮説に立てば、偶然の見えからは円柱の真上の見え（図5）のように3次元的表象をうまく計算できないので、そもそも記憶表象との照合が難しいのだということになる。一方、Tarr (1995)のような2次元物体表象仮説に立てば、偶然の見えは過去に経験したことがほとんどないためにその物体の記憶表象である見えの複合体の中に対応する見えが含まれておらず、しかも見えの複合体に含まれる他のどの見えとも類似していないので、物体同定が難しくなる、ということになる。いずれにせよ重要なのは、物体の像の局所的特徴抽出の段階と、物体の記憶表象の段階との間に、見えという中間的な物体表象の段階がある（図6）ことを示している点だろう。

アスペクト・グラフの研究は、そのような物体の見えの表象を幾何学的に定義しようとした試みであった。そしてTarr & Kriegman (2001)が行った実験は、実際にアスペクト・グラフの予想に類似して、視覚系が物体の像から見えの表象を得ていることを示している。この処理過程は、ボトムアップに行われる知覚的なものである。彼らの実験課題は物体の像の違いを報告するものであって、物体同定の課題ではないから、そこで議論されている物体の見えの表象は物体の記憶表象とはレベルの異なるものである。しかし、物体の同定も含めた広義の物体認知メカニズムの入口として物体の見えの知覚の段階を実際に調べたことは、きわめて重要である。

Tarr & Kriegman (2001)の知見は、物体方向の知覚という本論文の主題に関しても重要な意味を持っている。視覚系が物体方向を処理しようとするならば、それは視点依存的な表象に基づく必要がある。物体の像からボトムアップに処理された物体の見えの表象は、これに適していると言えよう。実際、Tarr & Kriegman (2001)が行った物体の像の違いを検出する課題は、物体方向の違いを検出する課題だとも言える。異なるカテゴリの見え同士では物体方向の違いを検出しやすいが、同じカテゴリの見え同士

では物体方向の違いは検出しにくい、というのが彼らの結果である。物体の見えるの表象がカテゴリ的だとするならば、そのような表象に基づいた物体方向知覚もカテゴリ的となり、物体方向の処理は必ずしも物理的な物体方向を正確に反映したものではない可能性があるだろう。前などの偶然的見えと、斜めなどの典型的見えとでは、物体方向は同等に表象されていないのではないだろうか。

1.2. 視覚系は物体方向をどうコードしているか：神経科学的諸研究から

これまで見てきたように、日常物体認知の心理学的研究は物体同定過程について多くの知見を提供してきたが、物体方向そのものがどのように表象されているかについては確たる見解が得られていない。物体同定の視点依存性論争において、物体の記憶表象は視点依存的な2次元の表象か、視点非依存的な3次元の表象か、という議論はすでに見た。もし物体を観察した際に得られる物体表象が視点非依存的な3次元の表象であれば、それは定義上、物体方向の情報を含んでいないということになる。逆に、視点依存的な2次元の表象であれば、それは物体方向の情報を含んでいるということになる。従って、3次元の物体表象を仮定するならば、物体同定過程と物体方向の知覚とは関係がない、と考えられる。2次元の物体表象を仮定すれば、物体同定過程と物体方向の知覚とは単一のメカニズムで同時に実現できる、と考えられる。しかしながら、視点依存性論争についての実験心理学的研究の中で、物体方向知覚の問題が検討されたことはなかった。

一方で神経科学的知見に目を移すと、脳の視覚領野において物体方向が表象されている可能性がしばしば報告されている。しかもそれらの知見は、物体方向知覚が物体同定過程とは別個のメカニズムであることさえ示唆しているのである。ここでは、

fMRI (functional magnetic resonance imaging, 機能的核磁気共鳴画像法) や PET (positron emission tomography, 陽電子断層法) といった手法を用いたヒトの脳機能イメージング研究, 脳損傷患者に対する行動実験による症例研究, そしてサルを用いた動物実験研究を概観し, ヒトの脳で実際に物体方向が処理されている可能性を指摘する。また, そのような物体方向の処理が, 物体同定のための処理過程とどのような関係にあるのかについても議論する。

1.2.1. 腹側経路での物体の表象は視点依存的か, 視点非依存的か

物体認知に関わる脳領域としては, 後頭葉から側頭葉下部および紡錘状回にかけての視覚処理経路である腹側視覚経路 (ventral visual pathway) に含まれる諸領域がよく知られている。腹側経路の機能が物体の視覚的同定であるという理論的枠組み (Goodale & Milner, 1992; Mishkin, Ungerleider, & Macko, 1983) は, すでに古典的な見解として広く受け入れられている。ヒトでの fMRI 研究を見れば, 例えば日常物体の画像を観察している時には無意味なテクスチャ画像を観察している時に比べて後頭葉下部の外側領域である LOC (lateral occipital cortex, 図 7A) が活性化する (Malach et al., 1995)。さらに, 腹側経路の活動が実際の物体認知機能と関連していることは, 活動が物体同定課題の成績と相関すること (Grill-Spector, Kushnir, Hendler, & Malach, 2000) や, 活動が刺激の物理的な形状より知覚された形状に対して順応を示すこと (Kourtzi & Kanwisher, 2001) などからも示唆される。顔や身体のパーツなどの特定の物体カテゴリに対して選択的な活動を示す領域も腹側経路の中に見つかっている (Downing, Jiang, Shuman, & Kanwisher, 2001; Kanwisher, McDermott, & Chun, 1997; レビューとしては Kanwisher, 2003; ただし Haxby et al., 2001; Reddy & Kanwisher, 2006 も見よ)。

実験心理学における物体認知の視点依存性論争を反映して, 腹側経路で処理されている物体表象は視点依存的か視点非依存的かを調べる神経科学的研究がいくつか行わ

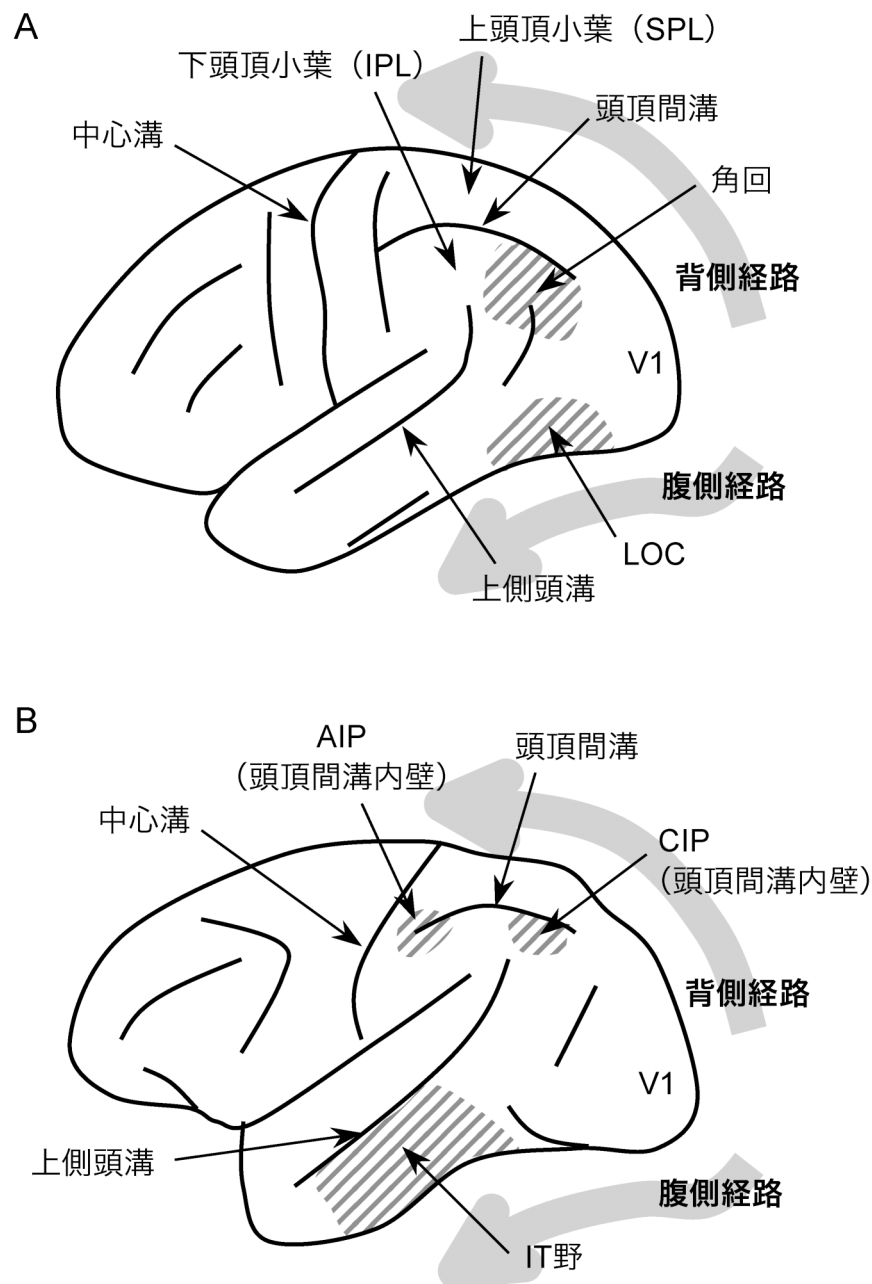


図 7. ヒト (A) とサル (B) の大脳皮質における 2 つの視覚経路と、それぞれに含まれるいくつかの領域。ヒトの LOC とサルの IT 野は物体の視覚刺激に対してよく活動することが知られている。なお、紡錘状回は後頭葉～側頭葉の下面にあり、この図では見えない。下頭頂小葉 (IPL、角回を含む) と上頭頂小葉 (SPL) は、頭頂間溝によって隔てられている (A)。サルの AIP および CIP (B) は、実際には頭頂間溝の内壁面の領域なので、頭頂間溝を開かないと観察できない。V1 : 初期視覚野, LOC : lateral occipital cortex.

れてきた。物体認知の際に腹側経路で実際に処理されている物体表象の視点依存性を調べることで、視点依存的物体認知と視点非依存的物体認知のどちらが行われているのかを確かめるというのがその目的である。具体的には、fMRI 順応あるいは fMRI プライミングという現象を用いている。この現象は、同じ刺激を繰り返して提示するとその刺激に対する fMRI の BOLD 信号が次第に減少するというものである。繰り返しが短時間のうちに行われる場合にはその刺激に対するニューロン群が順応を起こすために発火が減少し、必要とされる血流量も減少するので、信号が減少すると考えられている (fMRI 順応)。また、繰り返しが短時間のうちに行われなくても、その刺激に対する処理が過去の同じ刺激の提示によってプライミングされ、効率的な処理が行われることで、やはりニューロンが必要とする血流量が減少すると考えられている (fMRI プライミング, Shacter & Bucker, 1998; Wiggs & Martin, 1998)。そこで、例えば同じ物体でも異なる視点から撮影した画像をいくつか提示し、これに対する腹側経路の脳活動で fMRI プライミングが生じれば、腹側経路の物体表象は視点に依存しない表象であると言えることができる。逆に、同じ物体でも視点が異なる刺激に対しては fMRI プライミングが生じず、同じ物体の同じ視点での画像の繰り返し提示によってのみ fMRI プライミングが生じるならば、腹側経路の物体表象は視点に依存した表象であり、そこでは物体方向の違いが符号化されている可能性がある。

実際の結果を見ると、どちらの場合も報告されている。Grill-Spector et al. (1999)は、日常物体の写真を刺激として用いてヒトの LOC の活動を調べた結果、同じ物体でも視点の異なる刺激に対しては fMRI 順応が見られなかったとしている。しかし、Vuilleumier, Henson, Driver, & Dolan (2002)は、視点が異なるが同じ日常物体の刺激に対する fMRI プライミングを左紡錘状回の活動に見出している (ただし、右の紡錘状回ではそのようなプライミングは見られなかった)。James, Humphrey, Gati, Menon, & Goodale (2002)もまた、日常物体の刺激で視点が異なっても fMRI プライミングが起こ

ることを報告している。ただしこのプライミング効果は LOC 全体ではなく、LOC の中でも特に日常物体刺激に対して高い活動を示した一部の領域（vTO: ventral temporo-occipital cortex）に限られていた。このように、一見したところ知見は一貫していないが、LOC や紡錘状回を含む腹側経路全体の広い領域すべてではなく、そのうち一部の領域では物体が視点非依存的に表象されているとすることができるだろう。腹側経路の機能が、特定の視点から見た物体の刺激から特定の視点に依存しない物体表象を作り上げてゆく処理である、と考えるならば、LOC でも初期視覚野に近い後方の領域では物体表象がまだ視点依存的であるのに対し、紡錘状回に近い前方の領域では処理が進んでいるため、James et al. (2002)が報告したように物体表象の視点依存性が減っている、と考えることができる。Grill-Spector et al. (1999)も、LOC の中で紡錘状回に近い一部の領域では、刺激の大きさや位置が変化しても fMRI 順応が起こったことを指摘しており、LOC の物体表象は紡錘状回に近い領域ではより視点依存性が低く、抽象度が高いことが示唆される。したがって、腹側経路でも視点依存的な物体表象は存在するものの、これをもって腹側経路で物体方向が表象されている証拠だと言うことはできないだろう。腹側経路の物体表象は、処理が進むにつれて視点非依存的になっていると考えられる。

1.2.2. 背側経路での物体方向の処理

一方、通常は物体認知でなく空間視や視覚的注意と関係づけられる背側視覚経路（dorsal visual pathway）の頭頂葉皮質でも、日常物体の刺激に対する活動が見られることがある（e.g., James, Humphrey, Gati, Menon, & Goodale, 2000; Kraut, Hart, Soher, & Gordon, 1997）。しかも興味深いことに、この頭頂葉での物体関連活動は、これまで見てきた腹側経路のそれと比べて、視点依存性が高いことが示唆されている。前述の Vuilleumier et al. (2002)による fMRI プライミングの研究では、腹側経路での活動と同時

に頭頂葉での物体関連活動についても調べられている。それによると、右の頭頂葉後部の活動が、以前に観察した物体と同じ物体の異なる視点での画像に対して、以前に観察していない新しい物体の画像に対する活動よりも高くなったという。つまり、この領域の物体関連活動は、単に視点依存的だと言うのみならず、むしろ物体の視点の違いや方向の違いそのものに反応していると考えられるのである。腹側経路での物体関連活動では、このような現象は見られていない（同じ物体の異なる視点の画像に対する活動は、新しい物体の画像に対する活動と同等であるか、減少する）。James et al. (2002)もまた、頭頂葉の物体関連活動が物体方向の違いに対する処理を反映しているということを示唆する知見を報告している。彼らの実験では、ドライバーや歯ブラシ、バナナのように比較的細長い形状の日常物体が刺激として用いられているのだが、物体がある決まった方向（30°もしくは330°）で提示されるブロックと、その後異なる物体が前のブロックと同じ決まった方向（30°もしくは330°）で提示されるブロックが設けられている。そして頭頂間溝後部の脳活動について調べると、前者のブロックに比べて後者のブロックでは活動が減少していた。この結果は、物体の種類に関係ない、物体の長軸の方向そのものに対するfMRIプライミングではないかと考察されている。

このような知見から、頭頂葉では物体の方向や視点の違いが処理されているという可能性が指摘できるだろう。しかも、上記のfMRI研究のみならず、動物実験やヒトの症例研究にもこの仮説を支持するような知見を見出すことができるのである。

物体の2次元方向の処理と頭頂葉

サルを用いた動物実験では、腹側経路のIT野（inferotemporal cortex, 下側頭葉皮質; 図7B）のニューロンが様々な複雑な形状に対して選択的に発火することが知られており（Tanaka, 1993, 1997）、実際にこの領域を切除するとサルは2次元形状や3次元物体の弁別学習ができなくなる（Gaffan, Harrison, & Gaffan, 1986; Mishkin et al., 1983）。とこ

ろが、IT 野を切除しても、サルは方向の異なる同じ 2 次元形状を弁別することができ
る (Gross, 1978; Holmes & Gross, 1984; Walsh & Butler, 1996)。これに対し、頭頂葉下部
を切除したサルは、2 次元形状の弁別課題はできるが同じ形状の異なる方向を弁別で
きなくなるという (Eacott & Gaffan, 1991; Walsh & Butler, 1996)。つまり、IT 野では方
向に依存しない物体の同定が、頭頂葉では物体方向の処理が、それぞれ独立に行われ
ていると考えられるのである。

ヒトでの症例研究を見ると、日常物体刺激の 2 次元方向の処理に関する興味深い報
告が数多い。脳損傷による視覚失認のうち、日常物体の再認に障害のある症状は連合
失認 (associative agnosia) として知られているが (Farah, 1992)、これは主として腹側
経路である後頭葉から側頭葉にかけての領域の損傷によって生じる (Farah, 1995)。と
ころが、頭頂葉を含む領域の損傷により、日常物体の再認には障害がないが、物体の
方向が判断できないという症状を呈する例が報告されている。例えば、右側頭葉から
頭頂葉にかけての領域に損傷のある症例 (Turnbull, 1997; Turnbull, Laws, & McCarthy,
1995) では、日常物体の線画の刺激に対して命名はできるものの、その線画を実生活
で通常見かける向き (upright position, 正立方向) に回転させる課題では誤答が多いな
ど、物体の同定は可能だが物体方向の処理に困難があるという。同様の知見は Karnath,
Ferber, & Bühlhoff (2000) による別の症例にも見ることができ、物体方向判断の障
害は正立方向以外の方向の場合 (例えば上下さかさまの場合) に限られていた。やは
り日常物体の同定はできるが正しい方向に回転させる課題で困難を示す右頭頂葉前部
損傷の症例 (Turnbull, Beschin, & Della Sala, 1997) では、日常物体の線画を提示された
通りに模写する課題で、正立方向ではない方向で提示された物体を正立方向に回転さ
せたように模写してしまう傾向があった。このように、頭頂葉損傷によって物体の 2
次元方向の判断に障害がもたらされるが、日常物体の正立方向の知識は保たれている
ようである (Davidoff & Warrington, 1999)。物体の 2 次元方向の処理は主に頭頂葉で行

われ、物体の同定や正立方向についての知識は主に腹側経路に負っているのではないだろうか。

このような症例は、物体の同定と物体方向の処理が異なる神経基盤で行われており、物体方向の処理は必ずしも物体同定のための情報処理過程に含まれているわけではないということを示唆している (Turnbull, 1997)。同様の主張は、健常者に対する心理物理実験を行った研究にも見ることができる (De Caro & Reeves, 2000; Harris & Dux, 2005a, 2005b)。例えば Harris & Dux (2005a)は、日常物体の線画が 100 ミリ秒ごとに高速連続提示される刺激で物体を同定する課題を行い、方向が異なっても同じ物体が繰り返されると繰り返された刺激を見落としやすかった (反復の見落とし, repetition blindness) ことから、やはり物体の同定過程と物体方向の処理過程との独立性を論じている。ただし、正立方向と上下さかさまの方向の組み合わせでは、同じ物体でも反復の見落としが生じなかった (Harris & Dux, 2005b) ことから、日常物体では正立方向に限っては特別な方向として他の方向とは異なる処理が行われていることを示唆している。これは前述の症例研究での物体方向判断に困難があっても正立方向の知識は保たれているという知見とも合致するものだと言えるだろう。

物体の 3 次元方向の処理と頭頂葉

上記の諸研究は 2 次元形状の前額平行面内での方向の違いについてしか検討していないが、単純な幾何学的物体の 3 次元的な方向がサル頭頂葉ニューロンで処理されているということも知られている。尾側頭頂間溝領域 (caudal intraparietal area, CIP または cIPS と略称; 図 7B) での単一細胞記録研究によれば、両眼視差やテクスチャ勾配によって定義された面の傾きに対して選択的な発火が見られるという (Shikata, Tanaka, Nakamura, Taira, & Sakata, 1996; Taira, Tsutsui, Jiang, Yara, & Sakata, 2000; Tsutsui, Sakata, Naganuma, & Taira, 2002)。さらに、円柱や角柱といった細長い形状の物体の主

軸の3次元的な方向に対して選択的な発火をするニューロンも報告されている (Sakata et al., 1998)。この領域では、物体の3次元的な形状についての分析のために、立体視機構の高次の段階の処理が行われていると考えられている。同じ頭頂間溝の前部領域である AIP (anterior intraparietal area; 図 7B) でも、視覚提示された物体の3次元的な方向や、3次元物体の形状に対して選択的な発火をする視覚性ニューロンが知られている (宮下・Shein・村田・田中・酒田, 1998; Murata, Gallese, Luppino, Kaseda, & Sakata, 2000)。もともと AIP では物体に対する視覚誘導性の到達把握運動に際して発火する運動性ニューロンの存在が知られており (Mountcastle, Lynch, Georgopoulos, Sakata, & Acuna, 1975; Taira, Mine, Georgopoulos, Murata, & Sakata, 1990), CIP で符号化された物体の3次元的特徴についての情報が AIP へ送られて物体に対する視覚誘導性運動に役立てられているようである (Sakata, Taira, Kusunoki, Murata, & Tanaka, 1997)。

同様の知見はヒトでの fMRI 研究からも得られている。Faillenot, Decety, & Jeannerod (1999)は、平らな板のような形状の物体の3次元的な方向 (両眼視差によって提示) の違いの判断に右頭頂間溝および右後頭・側頭接合部 (頭頂葉の角回に及ぶ) が関わっていることを報告している (図 7A を参照)。Shikata et al. (2001)も、テクスチャ勾配による面の方向の弁別課題を行っている時に、頭頂間溝の後部と前部に活動が見られたことを報告しており、この2つの活動領域がそれぞれサルの CIP と AIP に対応するのではないかと論じている。加えて、やはりヒトでも頭頂葉の機能が物体に対する行為、とりわけ道具などの物体の使用に重要であることも示唆されている。右角回損傷の症例 (Feinberg & Jones, 1985) では、物体の左右・上下を逆に認識してしまうために道具をうまく使うことができなかったという (スプーンの柄をコーヒーカップに入れようとする、クシの歯を上に向けて使おうとする、靴の左右を取り違える、等)。また、Chao & Martin (2000)による fMRI 研究では、ハンマーなどの道具の物体の画像を受動視している時には、他のカテゴリの物体の画像 (家、動物、顔) の場合に比べて、運

動に関わる運動前野のみならず頭頂葉後部でも高い活動が見られているのである。

1.2.3. 考察とまとめ

ヒトでもサルでも、頭頂葉において物体の方向や詳細な 3 次元の特徴が視覚的に処理されていることは間違いない。重要なのは、その処理過程が日常物体の同定の過程（主に腹側経路で行われている）とは別のメカニズムによっていると考えられることである。物体方向の知覚は、必ずしも物体同定過程の前段階というわけではなく、物体に対する行為など他の認知機能の実現のために頭頂葉を含む背側経路で実現されていると考えられる。物体方向そのものを利用可能な情報として符号化しているのは物体の同定・再認を主たる機能とする腹側経路ではなく、背側経路であろう。これに対し、腹側経路における物体表象では、高次の処理段階に進むにつれて物体方向の情報は失われていくのではないかと考えられる。腹側経路の主たる機能が視点に依存しない頑健な物体同定であり、そのために視点や物体方向の違いを無視し視点に依存しない物体の特徴を抽出してゆく処理が行われていると考えれば、これは当然である。

1.3. まとめと本研究の目的

ヒトの視覚が物体方向を処理できることは間違いないが、その過程は既存の心理学的な物体認知の理論には含まれていない。多様な認知機能との関連において日常物体の視覚的認知を幅広く総合的に理解するためには、これまでの実験心理学が行ってきたような、物体方向の情報を捨象してゆく物体同定過程についての研究だけでは必ずしも十分ではないということである。物体同定過程とは独立に物体方向知覚を調べることで、視覚的物体認知機構の未だ心理学的に知られていない側面が明らかにできる

だろう。

これまで見てきたように、実際のヒトの物体方向知覚はおそらく、必ずしも物理的な方向を正確に表象してはいない。すべての日常物体のすべての物体方向が同様に表象されているとは考えにくい。とりわけ、偶然的見えと典型的見えとでは、物体方向知覚の特性が大きく異なっている可能性がある。本研究の第一の目的は物体方向が実際にどのように知覚されているのか、その基本的特性を心理物理的実験によって明らかにすることである。次章では、まず物体方向知覚のしやすさが偶然的見えや典型的見えを含む様々な場合で異なるのかを検討し、そのような物体方向知覚の差異を生じている視覚的要因をひとつずつ検討する。さらに第3章では、知覚された日常物体の方向が実際の物理的な方向とどのように異なっているのかを実験的に調べ、日常物体方向の表象がどのような特性を持っているかを検討する。第4章では、第2章・3章で得られた物体方向知覚の基本的特性についての知見を元にして、物体方向知覚と物体同定過程との関連性について議論する。このような検討を通して、物体方向知覚と物体同定過程の両方のメカニズムを統一的に理解するための理論的枠組みを構築してゆく。

第 2 章 物体方向知覚に影響する視覚的要因の検討

本章では4つの実験を通して、日常物体の方向を視覚的に判断する際にどのような情報が用いられているのかを実証的に検討する。Tarr & Kriegman (2001)は、ドーナツ形とベル形の2つの単純な形状の物体について、物体方向の違いを検出する課題を行っている。同じ物体の画像が2つ継時提示され、参加者は両者に方向の違いがあるかないかを判断した。方向の違いは常に一定 (2.5°) であったが、検出成績は物体の方向に応じて大きく変化していた。例えば図 8A のように、斜めの方向同士では方向の違いがわかりにくい、図 8B のように、横の方向では方向の違いがわかりやすかったという。横から少し方向が変化すると、遮蔽されていた輪郭線が現れるため、これが物体方向を判断する視覚の手がかりとなったのである。ところが、斜め方向ではこのような手がかりは存在しなかった。このように、物体方向によって、物体方向判断に利用できる視覚の手がかりには差がある。

しかし、Tarr & Kriegman (2001)はドーナツ形とベル形の2種類の物体についてしか調べていない。では、日常物体の場合はどうなのだろうか。ドーナツ形物体とベル形物体はどちらも回転対称形で、かつその見えは曲線的輪郭線によって構成されている。しかし、多くの日常物体（例えば動物や乗り物）は左右対称形であり、かつその見えには直線的輪郭線が含まれることも多い。しかも日常物体は、たいていドーナツ形やベル形よりも複雑な形状をしている。従って日常物体の場合には、物体方向知覚に利用される視覚の手がかりがより豊富に存在していると考えられる。また、日常物体には幾何学的物体とは異なり、「前」や「横」といった特別な方向が存在することが多い。情景認知や物体に対する行動といった高次の認知処理との関係性を考えるならば、こういった特別な方向の知覚の特性を知ることが重要になるだろう。

そこで、本章の実験ではさまざまな方向を向いた日常物体の画像を刺激として用いて、日常物体の方向知覚はどのような視覚の手がかりによっているのかを検討した。

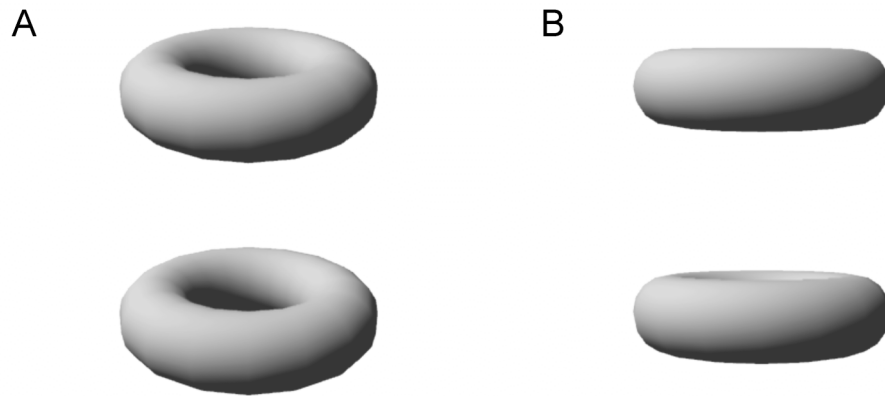


図8. 2物体の方向ずれの量は同じでも, AよりBの方がずれに気づきやすい。

Tarr & Kriegman (2001) と同様に同じ物体の方向の違いを検出する課題を行い, その成績が良い場合と悪い場合はそれぞれどのような場合なのかを調べてゆく。

2.1. 実験1：物体方向ずれ検出課題

この実験では, Tarr & Kriegman (2001) のように同じ物体の方向ずれを検出する課題を行ったが, 彼らとは異なり日常物体について調べた。実験課題は, 同時に提示された2つの日常物体画像を見て両者に方向の違いがあるかないかを回答することで, その反応時間と誤答率を測定した。図9Bに示したとおり, 半分の試行では 15° の方向ずれがあり(異試行), 残りの試行では方向ずれはなかった(同試行)。Tarr & Kriegman (2001) と同じく継時提示で 2.5° の方向ずれを検出する課題は, 日常物体の刺激では非常に難易度が高かったため, 本実験では同時提示とし, また方向ずれの量も 15° と大きくした。

実験の主たる目的は, 方向ずれ検出成績が前や横, 斜めなど方向によってどのよう

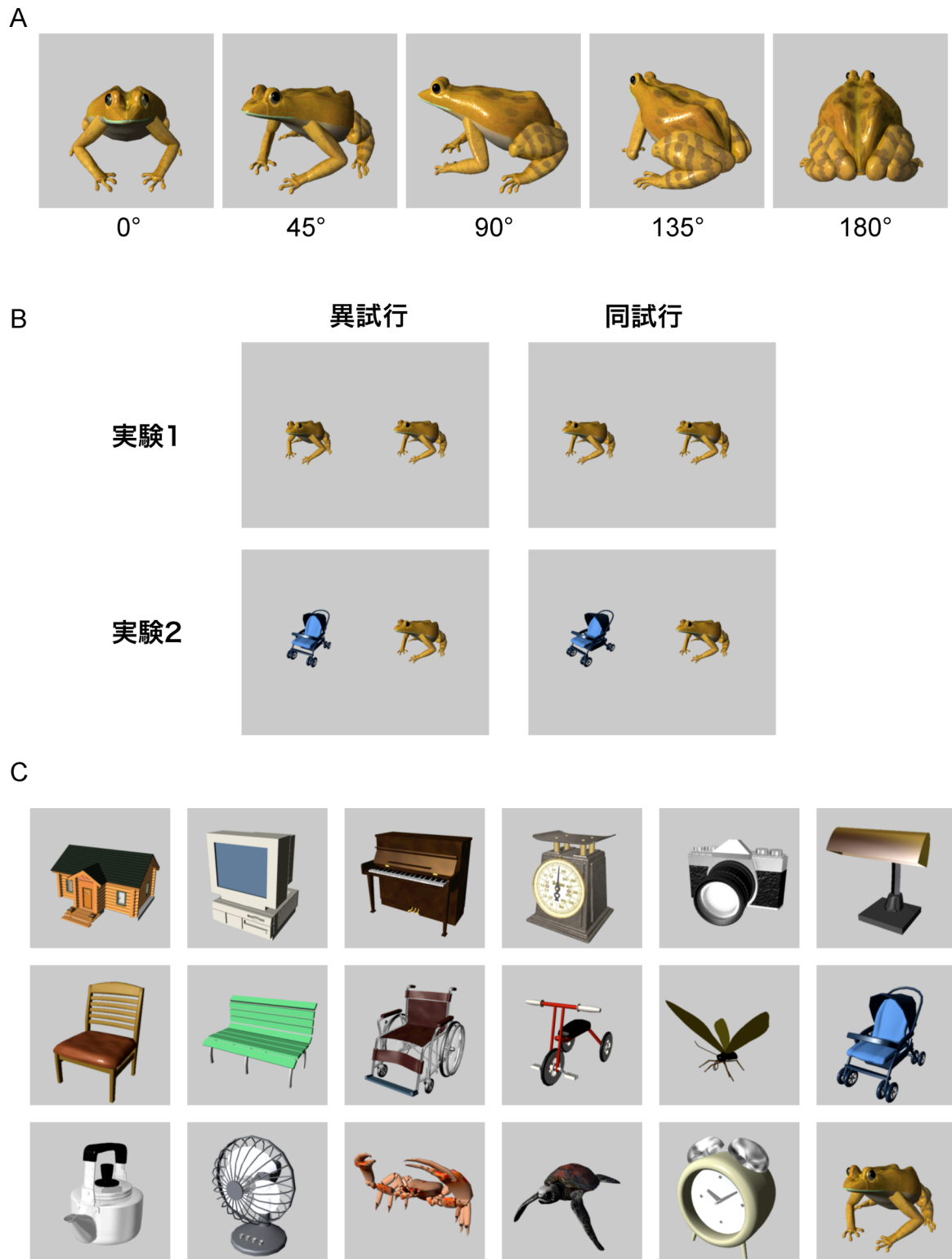


図 9. 実験 1・2 の刺激例。A, 基準となる 5 方向。B, 15°の方向ずれのある試行（異試行）とない試行（同試行）の例。C, 刺激に用いた 18 物体。直線的輪郭線が多いと評定された順に示している（本文 2.1.4.を参照）。なお、いずれも物体方向 30°の刺激を例として掲載している。

に変わるのかを検討することである。具体的には、刺激物体の前方向を 0° とし、これを基準として、 0° (前)、 45° 、 90° (横)、 135° 、 180° (後ろ) の 5 方向について調べた (図 9A)。物体同定の視点依存性の研究から、 0° や 180° の方向では物体同定の難しい偶然的見えになると言える。これらの方向と、その他の方向 (特に、典型的見えに近いと思われる 45° の方向など) とでは、物体方向知覚の特性も異なっているのではないかと考えられる。

2.1.1. 方法

実験参加者

12 名 (8 名の女性および 4 名の男性) が実験に参加した。実験時の年齢は 19~25 歳であった。全員が正常な視力を有していた (矯正を含む)。

刺激

刺激物体として 24 の日常物体を用いた。うち 18 物体は本試行で、6 物体は練習試行で用いられた (本試行用 18 物体を図 9C に示す)。これらの物体の 3 次元モデルデータは市販のデータ集に含まれるものを利用し、さまざまな方向を向いた物体の画像を市販の 3D コンピュータソフトウェア (イー・フロンティア Shade 7.0) によって作成した。この際、視点は水平面より仰角 20° とした。また、光源方向の違いや、物体の突出した部分が生じる影 (cast shadow) の位置などが物体方向ずれの手がかりとなることを避けるため、視点に対する光源の位置は常に一定 (左上方) とし、影は描画しなかった。1 つの物体画像は、視角およそ 7.3° 四方の大きさで提示された。各試行では画面上に同じ物体の 2 つの画像が同時に左右に並んで提示された (図 9B) が、この 2 画像の中心同士の水平距離は視角 11° とした。

刺激物体はすべて明確な前後軸および上下軸を持つものとした。すなわち、刺激物体には明確な「正面」があり、この方向を物体方向 0° とした。予備調査において、本実験に参加していない 15 名の参加者に刺激物体の $0, 45, 90, 135, 180^\circ$ の画像を提示し、このうちどれがその物体の正面であるかを選択してもらったところ、 0° が正面として選択された割合は 95.6% であった。従って、本実験で用いた 0° 方向の見えは、主観的な前方向に一致していることが確認された。

細長い形状や平らな形状の物体（列車や本など）のように、明確な長軸のある物体では、物体方向によって像のアスペクト比（縦と横の長さの比）が極端に変化してしまう。例えば列車の正面とそこから 15° ずれた方向とでは、物体の見えは大きく異なり、結果としてこの 15° の方向ずれは容易に検出できると考えられる。逆に、列車の真横とそこから 15° ずれた方向とでは、物体の見えの変化は小さく、方向ずれの検出は難しいと考えられる。このような長軸の効果は非常に大きいと予想されたため、本実験では長軸の効果を統制した。そのために、まず物体の奥行き（前後長）・幅（左右長）・高さ（上下長）のうち、最長のものと最短のものの比が 1.7 以下の物体だけを刺激物体とした。加えて、本試行用の 18 物体には、奥行き・幅・高さのうち奥行きが最も長い物体を 6 つ、幅が最も長い物体を 6 つ、高さが最も長い物体を 6 つ、それぞれ等数ずつ含めた。

装置

実験刺激は 21 インチのカラー CRT（ソニー製 CPD-G520）の画面に提示された。刺激の提示など実験の制御は、MATLAB ソフトウェアのプログラムを用い、パーソナルコンピュータによって行われた。反応はコンピュータのキーボードのキーを押すことで行われた。実験参加者はあご台によって顔面を固定し、刺激提示画面からの視距離を 80cm に統制した。

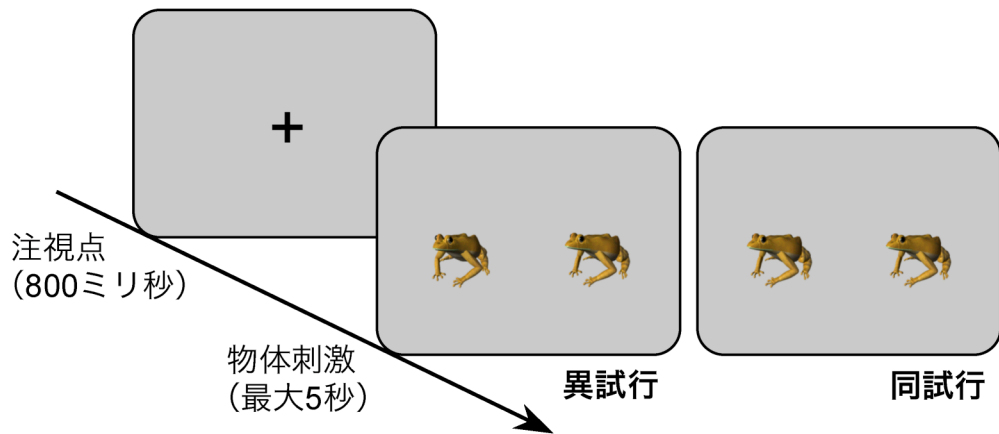


図 10. 実験 1 の試行の説明図。全試行の半数が異試行，残りが同試行だった。

実験計画

実験課題は、画面上に提示された 2 つの物体画像を観察し、両者に物体方向の違いがあるかないかをできるだけ速く正確にキー押しで回答することだった（2 肢強制選択）。回答にはキーボード上の F と J のキーが用いられたが、半数の参加者は方向ずれがある場合に F を、ない場合に J を押すように教示され、残りの参加者はその逆の教示を受けた。

全体の半数の試行では、物体方向ずれはなく、同じ物体の同じ方向の画像が 2 つ提示された（同試行）。このとき、物体方向は 0, 45, 90, 135, 180° のいずれかであった。残り半数の試行では、提示される 2 つの画像は同じ物体だが物体方向が異なる画像だった（異試行）。このうち一方は 5 つの基準方向（0, 45, 90, 135, 180°）のいずれかであった。もう一方は、これと +15° ないし -15° 異なる物体方向の画像だった。従って、例えば 45° の方向に対しては、30° もしくは 60° の方向が組み合わされた。画面上の左右どちらが基準方向でどちらが 15° ずれた画像であるかは試行によってランダムに変えた。5 つの基準方向および方向ずれの有無（異試行か同試行か）、刺激物体の種類はそれぞれ

均等な確率でランダム順に各試行に割り当てられた。各参加者は 360 試行の本試行を行った（5 つの基準方向×方向ずれの有無×方向ずれは $+15^{\circ}/-15^{\circ} \times 18$ 物体）。独立変数は物体方向（5 つの基準方向）であり、5 つの物体方向において物体方向ずれの検出成績がどのように変化するかを検討するのが実験目的であった。

手続き

各試行では、まず画面中央に注視点が 800 ミリ秒間提示された（図 10）。参加者はこれに注視するようあらかじめ教示された。注視点が消えると、刺激の物体画像が 2 つ同時に提示された。刺激は参加者がキー押し反応をするか、もしくは 5 秒間が経過するまで提示された。反応の正確さについてのフィードバックは与えられなかった。

各実験参加者は、24 試行の練習試行および 360 試行の本試行を行った。練習試行では本試行とは異なる刺激物体が用いられた。練習試行および本試行それぞれの実施前に、参加者は刺激物体の名称のリストを提示され、黙読した。これは物体方向によって異なるであろう物体同定の困難さの影響を低減するための手続きである。参加者は知らない物体があれば報告するよう求められたが、そのような報告はなかった。練習試行は誤答率が 20%より低くなるまで最大 3 回繰り返された。3 回目の練習試行でも誤答率が 20%を越える参加者はなかった。本試行では、参加者は 12 試行ごとに自由な時間だけ休憩をとることができた。

2.1.2. 結果

反応時間が極端に短い（200 ミリ秒未満）試行および 5 秒間の刺激提示時間以内に反応のなかった試行は分析から除外することとしたが、該当する試行はなかった。反応時間および誤答率の結果について、5 つの物体方向でどのように変化するか検討した。

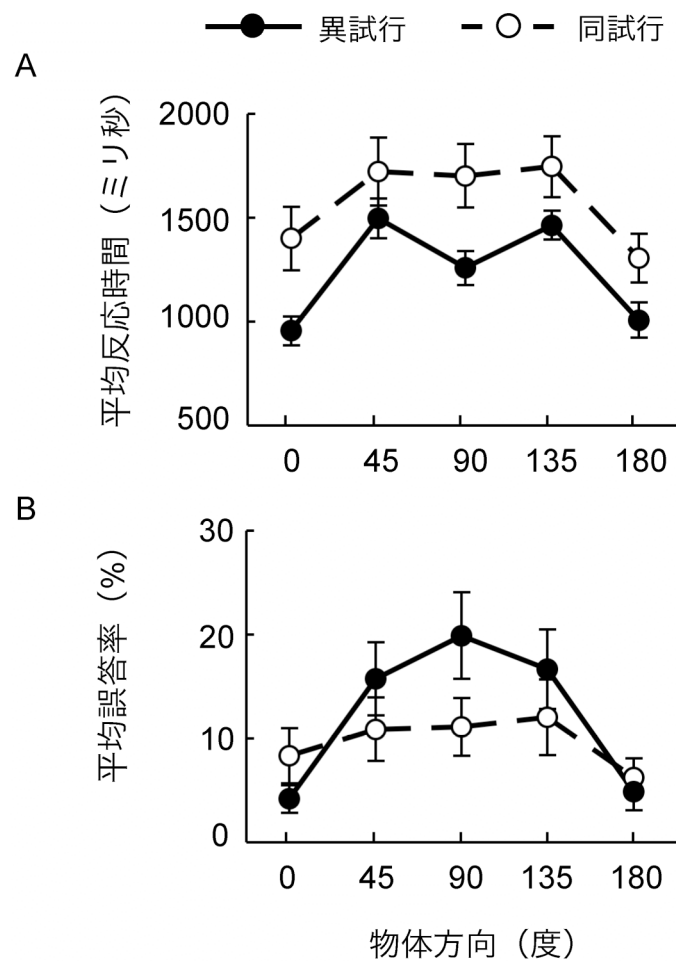


図 11. 実験 1 の結果。A, 反応時間, B, 誤答率。誤差線は標準誤差を示す。

反応時間

正答試行の平均反応時間は図 11A のようになった。異試行・同試行いずれでも、0° および 180° で反応が速くなっている傾向が見られた。この結果について物体方向 (0, 45, 90, 135, 180°) および方向ずれの有無 (異試行/同試行) の 2 要因の分散分析 (対応あり) を行ったところ、どちらの主効果も有意となった (それぞれ, $F(4, 44) = 44.23, p < .01$; $F(1, 11) = 8.83, p < .05$)。交互作用も有意であった ($F(4, 44) = 5.65, p < .01$)。交互作用について検討するため、物体方向の単純主効果について検討した。異試行における物体

方向の単純主効果は有意で ($F(4, 88) = 39.88, p < .01$), これについてチューキーの HSD 法による下位検定を行ったところ, 0° および 180° の反応時間は他の 3 方向より有意に短く ($p < .01$), また 90° の反応時間は 45° および 135° の両条件に比べて有意に短かった ($p < .01$)。一方, 同試行でもやはり物体方向の単純主効果は有意となった ($F(4, 88) = 26.87, p < .01$)。同様の下位検定の結果, 0° と 180° の反応時間は他の 3 方向より有意に短かった ($p < .01$)。従って, 90° 条件の反応時間が異試行では短くなっていたが, 同試行ではそうではなかった。この違いが有意な交互作用に反映されていたと考えられる。 0° と 180° の両条件は異試行・同試行のいずれでも反応が速くなっていたと言える。

まとめると, 0° と 180° の両条件で反応時間が短くなっていた。加えて, 90° でもいくらか反応が促進されていた。また, 図 11A にも表れているように, 全体的に異試行の反応時間は同試行より短くなっていた。

誤答率

平均誤答率の結果を図 11B に示す。やはり 0° と 180° の 2 条件で成績がよいという結果が得られた。反応時間と同じく 2 要因の分散分析を行ったところ, 物体方向の主効果が有意で ($F(4, 44) = 9.88, p < .01$), 交互作用も有意であった ($F(4, 44) = 4.35, p < .01$)。方向ずれ有無の主効果は見られなかった ($F < 1$)。交互作用が有意となったのは, 物体方向の単純主効果が異試行では有意だったが ($F(4, 88) = 13.73, p < .01$), 同試行では有意でなかった ($F(4, 44) = 1.48, p > .1$) ためだと考えられる。異試行での物体方向の単純主効果について下位検定 (チューキーの HSD 法による) を行った結果, 0° 条件と 180° 条件の誤答率が他の 3 方向より有意に低かった。これは反応時間の結果と一貫した傾向である。

2.1.3. 考察

結果をまとめると、 0° （前）方向および 180° （後ろ）方向からの 15° の方向ずれは容易に検出できるが、斜め方向（ $45, 135^{\circ}$ ）からの 15° の方向ずれの検出はそれほど容易ではないということがわかった。 90° （横）方向からの方向ずれの検出成績も、 0° や 180° ほどではないが、斜め方向よりは良いということもわかった。この結果は、日常物体の方向知覚の精度が前や後ろ方向では高いが、それ以外の斜め方向では低いということを示唆している。前方向や後ろ方向は、非常に正確にその方向が知覚されていると考えられる。誤答率の結果（図 11B）を見ても、 $0, 180^{\circ}$ に比べて $45\sim 135^{\circ}$ で誤答が多いのは、実際に方向ずれがある場合（異試行）にそれを見落とす誤答が増えているためだということがわかる。 $0, 180^{\circ}$ では物体方向ずれによって顕著に変化する視覚的特徴が検出されていたが、 $45\sim 135^{\circ}$ では物体方向ずれによる視覚的特徴の変化が顕著ではなく、見落とされやすかったのだと考えられる。

では、本実験において実際にどのような視覚的特徴が方向ずれ検出に利用されていたのだろうか。実験終了後、刺激のどのような点に注目して課題を行っていたのか、実験参加者に内観報告を求めた。その回答によると、次のような手がかりが利用されていたことがわかった（回答した参加者数の多い順に示す）。

1. 方向ずれによって陰影や鏡面反射光が異なるために生じる、刺激の色や明るさの違い
2. 物体のパーツの位置関係の違い（e.g., カエルの右脚が左脚と重なって見えるか否か）
3. 直線的な輪郭線の傾きの違い
4. 物体全体もしくは一部のパーツの輪郭形状の変化
5. 直方体に近い形状の物体で、物体のある面が見えているか否か（e.g., 家の正面と右側面が見えている場合と、正面が遮蔽されて側面しか見えていない場合の

違い)

なお、同時提示されている2つの物体画像を両眼融合して両者の相違点を検出したという報告はなかった。

2. および 5. は、アスペクト・グラフでも表現されうる見えの違いであり、Tarr & Kriegman (2001) の研究とも一貫した結果だと言える。1. のような物体方向の違いによる局所的な色・明るさの変化は、本実験ではさまざまな色を持った日常物体が刺激であること、また継時提示ではなく同時提示をしていることから利用可能になっていると考えられ、Tarr & Kriegman (2001)の研究では注目されていない点であろう。しかし、この局所的な色・明るさの変化は、物体方向によって方向ずれ検出の容易さが変化するという本実験の結果とはあまり関係がないだろう。前方向からの15°の方向ずれと、斜め45°方向からの15°の方向ずれとで、前者の方が後者よりも陰影や鏡面反射光の変化が大きいとは考えにくいからだ。この点については、実験2で検討する。

4. 輪郭形状の変化は、はかりの文字盤の円形状やパソコンのディスプレイの長方形など、顕著な2次元形状を有するパーツについて報告されることが多かった。こういったパーツの形状は、そのパーツが正面から観察される物体方向では円や長方形の像を生じるが、物体方向が変化すると刺激画像上での形状を楕円や台形に変化させる。このような場合でも、それを楕円や台形ではなく円や長方形として一貫して知覚できることは、形の恒常性 (shape constancy; Koffka, 1935 鈴木他訳 1998; Pizlo, 1994) の研究からよく知られていることである。しかし本実験の課題では逆に、そのような像の変化を検出し利用することが求められていたということになる。より極端な表現をすれば、形の恒常性が成立しにくいほど、本実験の課題成績は向上するとも考えられる。例えばはかりの文字盤をほとんど真横に近い方向から観察すると、それは非常に細長く圧縮された楕円形の像を生じる。このように大きな歪みを伴っている場合には、形

の恒常性が成立する（楕円ではなく円として知覚される）のは難しいかも知れない。しかし物体方向知覚に関しては、この細長く圧縮された楕円の像は多くの情報を持っている。それは物体方向が真横に近い方向であることの手がかりとなるだろうし、少しでも物体方向が変化すれば楕円の形状も大きく変化すると考えられるからだ。

輪郭形状の変化の利用の可能性として、もう一つ指摘できるのは、輪郭線の対称性である。本実験の刺激物体はすべて左右対称な形状であるため、 0° と 180° 方向では左右対称な輪郭形状をもたらすが、それ以外の方向では非対称な輪郭形状となる。従って、 0° と 180° からの方向ずれの有無の判断には、輪郭形状の対称性が利用でき（ 15° 方向がずれると、物体の輪郭形状の対称性が失われるため）、結果として 0° と 180° 条件での成績が良くなっていた可能性がある。この点については実験3で検討する。

3. の直線的輪郭線の傾きの利用も、本実験の結果にとって重要である。日常物体を刺激として用いたため、Tarr & Kriegman (2001)の刺激とは異なり、本実験の刺激には水平線や垂直線を含む直線的輪郭線が豊富に含まれていた。とりわけ 0° や 90° , 180° 方向では、物体の輪郭形状に水平輪郭線が多く含まれていた可能性がある。例えばピアノは、 0° 方向ではその上端と下端とが水平輪郭線となっている。しかし 0° から 15° 方向がずれると、その輪郭線は水平ではなくなる。従って、 0° , 90° , 180° の各条件では、輪郭線が水平かそうではないかを判断することによって方向ずれを検出することができる。斜め方向からの 15° の方向ずれでももちろん直線的輪郭線の傾きは変化するが、傾き効果 (oblique effect) として知られているように、ヒトの視覚は斜めの方向よりも垂直や水平の方向に対して感度が高い (Appelle, 1972; Heeley & Timney, 1988)。従って、水平輪郭線の利用によって 0° や 180° , そして 90° 条件での課題成績が向上していた可能性がある。この点について、次に詳しく検討する。

2.1.4. 水平輪郭線の影響の検討

本実験の参加者は、実際に水平輪郭線を利用することで物体方向ずれ検出課題の成績を向上させていたのだろうか。これを検討するため、本実験で用いられた 18 の刺激物体を、直線的輪郭線を多く含む群（直線物体）と、直線的輪郭線に乏しく曲線的輪郭線を多く含む物体（曲線物体）とに分け、それぞれに対する課題成績に傾向の違いが見られるかを調べた。

まず、刺激物体を 2 群に分けるため、質問紙調査によって刺激物体の輪郭線の主観的な直線性を調べた。質問紙には本実験で用いた 18 物体について 0, 45, 90, 135, 180° 方向の 5 つの刺激画像が印刷され、それぞれの物体について「その物体の輪郭線にはどれくらい直線が含まれると思うか」を 7 件法で評定してもらった。調査には本実験に参加していない 12 名が参加した。その結果得られた輪郭直線性の平均評定値を図 12 に示す。これに従い、中間の評定値である 4 よりも高い平均評定値を得た 10 物体を直線物体、4 より低い平均評定値を得た 8 物体を曲線物体とした。なお、図 9C は、平均評定値が高い順に 18 物体を示したものである。

次に、実験 1 のデータを直線物体の試行のデータと曲線物体の試行のデータに分け、それぞれ正答試行の平均反応時間と平均誤答率を集計した。その結果を図 13 に示す。

反応時間

反応時間の結果（図 13A）では、直線物体・曲線物体のいずれにおいても 0° と 180° 条件での反応時間が短くなっている傾向が見られた。2.1.2.と同様に物体方向と方向ずれ有無の 2 要因の分散分析を行ったところ、まず直線物体では物体方向の主効果 ($F(4, 44) = 27.66, p < .01$)、方向ずれ有無の主効果 ($F(4, 44) = 15.77, p < .01$)、および交互作用 ($F(4, 44) = 3.72, p < .05$) のいずれも有意だった。物体方向の主効果についての下位検定（テューキーの HSD 法）の結果、0° および 180° 条件はそれぞれ他の 3 条件より有意に反応時間が短かった ($p < .01$)。方向ずれ有無の主効果は、図 13A から明らかな

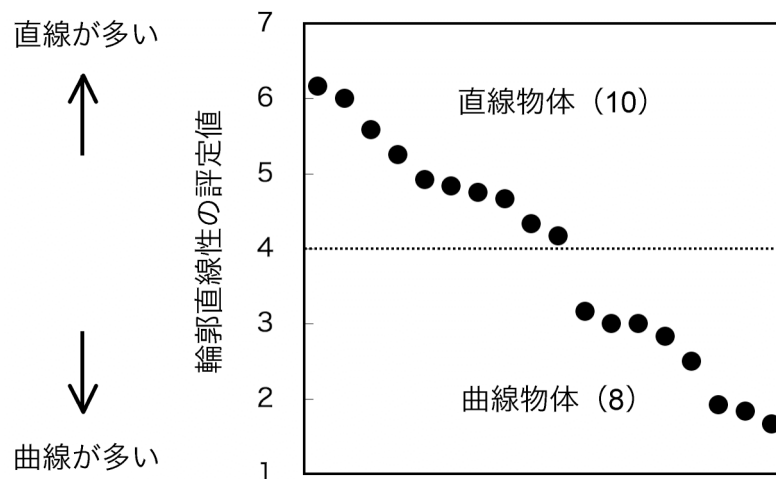


図 12. 実験 1 の刺激物体について、輪郭の直線性を評価した実験の結果。物体ごとの平均評価値を、高い順に並べて示している。

ように、異試行の反応が同試行の反応より速かったことを示している。この結果は、どちらも 2.1.2. で述べた全体の結果に共通するものである。交互作用も、やはり全体の結果と同じく、異試行でのみ 90°条件で反応時間が短くなっていることを反映していると考えられる。

曲線物体の反応時間では、物体方向の主効果 ($F(4, 44) = 31.35, p < .01$) および交互作用 ($F(4, 44) = 4.25, p < .01$) が有意だった。直線物体と異なり、方向ずれ有無の主効果がなく、異試行と同試行で同等の反応時間だったことがわかる (図 13A)。物体方向の主効果についての下位検定 (チューキーの HSD 法) の結果、0°および 180°条件はそれぞれ他の 3 条件より有意に反応時間が短く ($p < .01$)、また 90°条件は 135°条件よりも有意に反応時間が短かった ($p < .05$)。これは、直線物体の結果および 2.1.2. で述べた全体の結果と同様の傾向である。交互作用も、やはり直線物体および全体の結果と同じく、異試行でのみ 90°条件で反応時間が短くなっていることを反映していると考えられる。

以上、反応時間の結果では、物体方向の効果について直線物体と曲線物体で大きな

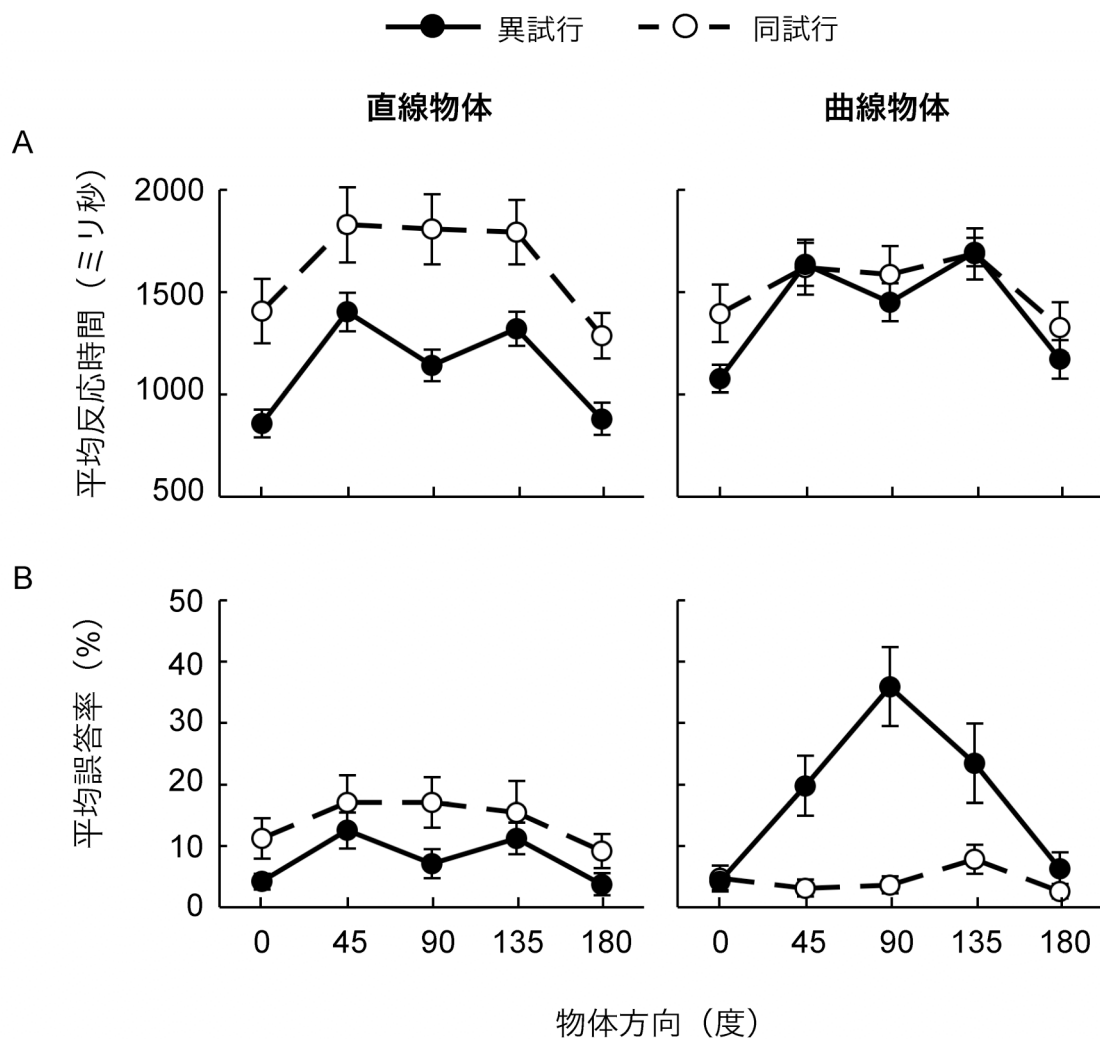


図 13. 実験 1 の結果を、輪郭が直線的な物体 (10) と輪郭が曲線的な物体 (8) に分けて分析した結果。A, 反応時間, B, 誤答率。誤差線は標準誤差を示す。

違いは見られず、どちらの物体でも 0°および 180°条件で成績が良く、90°条件でもやや成績の良い傾向となっていた。ただし、直線物体でのみ方向ずれ有無の主効果が得られたことは、直線物体では水平輪郭線が手がかりとして用いられていたことの間接的な証拠だと解釈できる。なぜなら、もし直線的輪郭線が水平かそうでないかという局所的な相違点を方向ずれ検出に利用していたならば、異試行ではそのような相違点を見つけた時点でただちに反応できるが、同試行では相違点を見つけられないために刺

刺激全体を悉皆的に探索することとなり、結果として同試行での反応が遅延すると考えられるからである。

誤答率

一方、誤答率の結果(図 13B)では、直線物体と曲線物体で異なる傾向が見られた。反応時間と同様に 2 要因の分散分析を行った結果、まず直線物体では物体方向の主効果のみが有意となった ($F(4, 44) = 3.67, p < .05$)。これについてテューキーの HSD 法による下位検定を行った結果、45°条件の誤答率が 180°条件より有意に高かった ($p < .05$)。統計的な有意水準に達したのはこの比較のみであったが、反応時間の結果や 2.1.2.の全体の結果と同様に 0°と 180°で誤答が少なく他の 3 方向で多いという傾向に変わりはない。これに対して曲線物体の誤答率は、90°条件で極端に誤答が多いという結果を見せている。分散分析の結果、物体方向の主効果 ($F(4, 44) = 12.93, p < .01$) および交互作用 ($F(4, 44) = 13.33, p < .01$) が有意となった。交互作用を反映して、物体方向の単純主効果は異試行でのみ有意だった ($F(4, 88) = 25.59, p < .01$)。この効果についての下位検定(テューキーの HSD 法)の結果、90°の誤答率は他のすべての条件より有意に高く、また 0°と 180°の誤答率は他の 3 条件すべてより有意に低かった ($p < .05$)。

このように、90°条件で成績が低下するという現象が曲線物体でのみ見られた。2.1.2.で述べた全体の結果では 90°条件でやや成績が向上している結果が得られているが、それは直線物体にのみあてはまることだと言える。従って、90°条件では水平輪郭線が物体方向の視覚的手がかりとして課題遂行に利用されていたと考えられる。

しかしながら、0°(前)と 180°(後ろ)の物体方向の判断に水平輪郭線が用いられていることを示すような結果は得られなかった。実際に刺激画像に含まれる輪郭線の方位を、輪郭強調した刺激画像のフーリエ変換により分析したところ、90°のみならず 0°および 180°条件の刺激画像にも、水平方位の輪郭線が顕著に含まれていた(45°およ

び 135°条件の刺激では水平方位の成分は顕著ではなかった)。従って、水平輪郭線を物体方向の手がかりとして用いていたならば、0°および 180°条件でも曲線物体で成績が低下するはずである。そのような結果が得られなかったのは、前および後ろ方向では輪郭線の対称性など水平輪郭線以外にも利用可能な視覚的手がかりが豊富に存在しているため、曲線物体でも成績が向上したからではないかと考えられる。

2.2. 実験 2：異物体間比較

実験 1 では全く同じ物体の画像を 2 つ同時提示し、両者の物体方向に違いがあるかどうかを判断する実験課題を用いた。しかし、前述のようにこの場合には物体の像の局所的な色や明るさの違いを見つけることによって方向の違いを検出することが可能である。この同物体間比較であるために利用可能な局所的な視覚的特徴の違いが実験 1 の結果にどのような影響を与えていたのかを検討するため、実験 2 では異物体同士を組み合わせて同時提示し、実験 1 と同様の方向ずれ検出課題を行った。実験 2 でも実験 1 と同様の物体方向の効果 (0, 90, 180°条件での成績向上) が見られるならば、実験 1 の結果は局所的な色や明るさの違いの利用が原因ではないと言えるだろう。

2.2.1. 方法

実験参加者

実験 1 に参加していない 12 名 (7 名の女性および 5 名の男性) が実験 2 に参加した。実験時の年齢は 21~26 歳であった。全員が正常な視力を有していた (矯正を含む)。

手続き

実験刺激の物体画像には、実験 1 で用いた画像をそのまま用いた。本実験では、実験 1 と異なり、各試行において異なる物体の画像が組み合わされて同時提示され（図 9B）、参加者は両者の物体方向に違いがあるかないかを回答した。物体の組み合わせはランダムとしたが、必ず全て（18 種）の物体を等しい回数ずつ提示するようにした。また、奥行き・幅・高さのうち最長の軸が異なる物体同士（例えば、奥行きが最長のカエルと幅が最長のベンチ）は組み合わせないこととした。これは、もし物体方向の判断に物体の長軸が用いられている場合、長軸が異なる物体同士では物体方向が同じが違うかの判断に困難が生じ、それが実験 1 とは異なる結果をもたらしてしまう可能性を統制するためである。

これ以外の手続きおよび実験装置は実験 1 と同じだった。

2.2.2. 結果

実験 1 と同様に平均反応時間および平均誤答率を集計したところ（図 14）、実験 1 に比べてかなり誤答率が高くなっていたものの、物体方向の効果は同様の傾向を示し、0, 180°条件で成績が良くなっていた。以下に詳細な分析結果を述べる。

反応時間

正答試行の平均反応時間（図 14A）について、実験 1 の結果と同様に対応のある 2 要因の分散分析を行ったところ、物体方向の主効果のみが有意だった ($F(4, 44) = 10.53$, $p < .01$)。実験 1 で見られた方向ずれ有無の主効果と交互作用は見られなかった。物体方向の主効果についてチューキーの HSD 法による下位検定を行ったところ、0, 180°条件の反応時間は 45, 135°条件よりもそれぞれ有意に短かった ($p < .01$)。90°条件は他

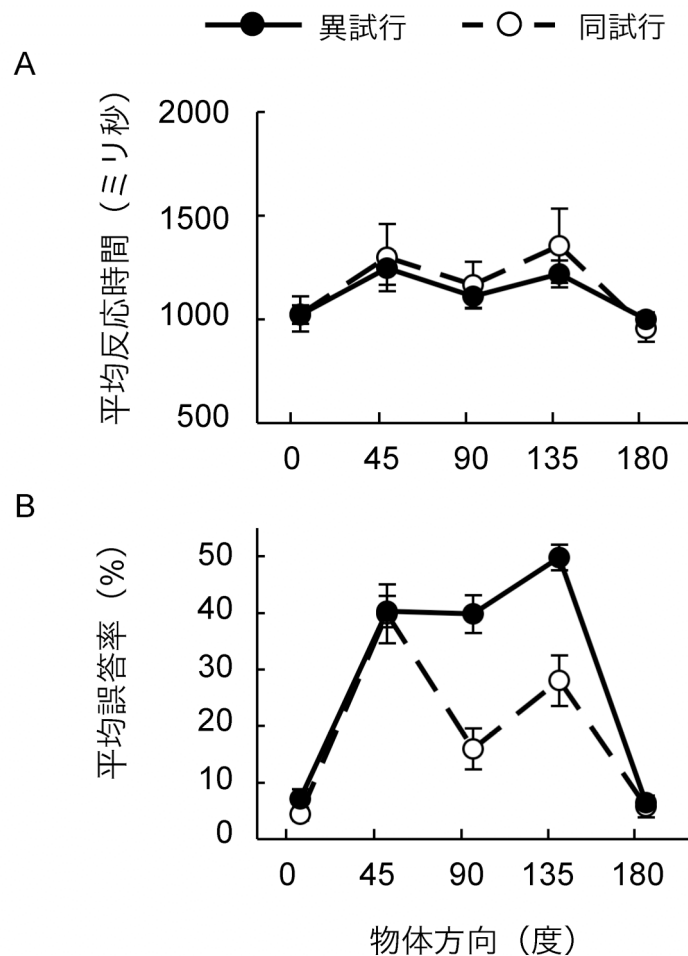


図 14. 実験 2 の結果。A, 反応時間, B, 誤答率。誤差線は標準誤差を示す。

のいずれの条件との間にも有意差が見られず、中間的な成績だった。結果として、 0° および 180° 条件で成績が良く、 45° および 135° 条件で成績が低下していたことから、実験 1 と同じ物体方向の効果が得られたと言える。

誤答率

誤答率の結果 (図 14B) についても同様の分散分析を行った。物体方向の主効果は有意で ($F(4, 44) = 92.50, p < .01$)、方向ずれ有無の主効果も有意だった ($F(1, 11) = 7.42, p < .05$)。加えて交互作用も有意となった ($F(4, 44) = 7.30, p < .01$)。異試行・同試行い

ずれでも 0°と 180°条件では低い誤答率だったが、交互作用に現れているとおり、90°条件と 135°条件では同試行で異試行より低い誤答率となっていた。異試行と同試行それぞれの物体方向の効果についての統計的分析結果は以下のとおりである。まず異試行では、物体方向の単純主効果が有意で ($F(4, 88) = 52.61, p < .01$)、この効果についての下位検定（チューキーの HSD 法）の結果、0°と 180°の両条件が他の 3 条件より有意に低い誤答率だということがわかった ($p < .01$)。同試行でもやはり物体方向の単純主効果は有意となり ($F(4, 88) = 28.90, p < .01$)、下位検定の結果でも 0°と 180°条件で他の 3 条件より誤答率が有意に低かった ($p < .05$) が、異試行とは違って 90°と 45°の間にも有意差が見られた ($p < .05$)。まとめると、異試行でも同試行でも 0°と 180°条件で誤答率が低くなっていた点は実験 1 と同じ結果だったが、実験 1 とは違って同試行の方が誤答率が低い傾向が見られた。この傾向は 90°条件および 135°条件でのみ現れていた。

2.2.3. 考察

実験 1 と実験 2 の結果を比べると、誤答率は実験 2 の方が非常に高くなっていた。これは、実験 2 では異物体間比較になったことで局所的な色や明るさの違いが物体方向ずれの手がかりとして利用できなくなり、課題の難易度が上昇していたので、自然な結果である。ひるがえって、実験 1 では局所的な色や明るさの違いが利用されていたことが確かめられたとも言える。局所的な違いが実験 1 で利用され、実験 2 で利用されなかったことは、異試行の反応時間が実験 1 では同試行より短かったが実験 2 では同試行と同等だったという結果とも符合している。同時提示された 2 つの物体画像の局所的な違いを見つけることで課題を遂行していたならば、異試行では 1箇所でも局所的な違いを見つければその時点で正しい反応をすることができるが、同試行では本当に局所的な違いが存在しないのか悉皆的な視覚的探索を行い反応時間が長くなる

と考えられるからだ。なお、実験2の反応時間が実験1よりも長くならなかった（むしろやや短くなった）のは、課題難易度があまりに高かったために参加者が正確な反応をすることをあきらめ、かわりに速い反応を優先する方略をとったためであろう。

上記のような違いは見られたものの、本実験において重要な点は、実験1でも実験2でも同様に0°および180°条件で物体方向ずれの検出が容易だったという結果である。従って、実験1で前や後ろ方向からの方向ずれの検出が容易だったのは、陰影や鏡面反射光の変化による局所的な色や明るさの違いが原因とは言えない。

ただし、実験1で明確に観察された90°条件での成績向上は、実験2ではあまり強くなかったようである。実験1での水平輪郭線の効果についての分析(2.1.4.)で示唆されたように、90°条件では水平輪郭線が物体方向の手がかりとして重要だと考えられる。実験1では同物体間比較であったので、刺激が直線物体であれば必ず水平輪郭線が課題遂行に利用可能だったが、実験2では異物体間比較だったため、組み合わせられて提示される2種類の物体がどちらも直線物体でなければ水平輪郭線が利用できない。実験2で物体はランダムに組み合わせられたから、全体的に見ると実験2では実験1に比べて水平輪郭線が横方向の手がかりとして利用可能な試行が少なかったのだろう。その結果として、90°条件での成績向上が弱まったのだと考えられる。

2.3. 実験3：非対称物体

実験1の考察で述べた通り、0°および180°条件での成績向上の原因の一つとして、輪郭線の対称性の利用が考えられる。実験1で用いた刺激物体はすべて左右対称だったので、0°や180°方向ではその像の輪郭線は左右対称になるが、それ以外の方向では非対称になるからだ。像の2次元的な対称性がヒトの視覚系にとって容易に検出でき

る視覚的特徴であることは、対称なドットパターンや無意味輪郭図形を刺激として用いた実験研究からもよく知られている (Barlow & Reeves, 1979; Wagemans, 1995)。加えて、対称性が物体の前方向や後ろ方向の手がかりとして実際に利用されることを示唆する知見もいくつかある。McBeath, Schiano, & Tversky (1997)は、左右対称な無意味多角形図形が物体の前や上の像として解釈されやすいことを報告している。また Zabrodsky, Peleg, & Avnir (1995)は、3次元物体が左右対称な形状をしていると仮定することによって、その物体の2次元画像から物体の方向（前方向から何度ずれているか）を推定する計算が可能なことを示している。実験1の参加者の内観報告には対称性を利用していたという報告は見られなかったものの、無意図的に対称性が0°や180°からの方向ずれ検出に利用されていた可能性はあるだろう。

対称性が0°および180°条件での成績向上をもたらしていたのかを確かめるため、この実験3では非対称な形状の物体を刺激物体として用いて、実験1と同じ方向ずれ検出課題を行った。もし対称性が0°および180°条件での方向ずれ検出に利用されていたならば、本実験では0°および180°条件の成績向上が減少すると考えられる。

2.3.1. 方法

実験参加者

本実験には10名（8名の男性および2名の女性）が参加した。実験時の年齢は21～26歳であった。全員が正常な視力を有していた（矯正を含む）。このうち2名は実験1に、別の2名は実験2にすでに参加していたが、残りの6名は実験1・2どちらにも参加していなかった。

刺激

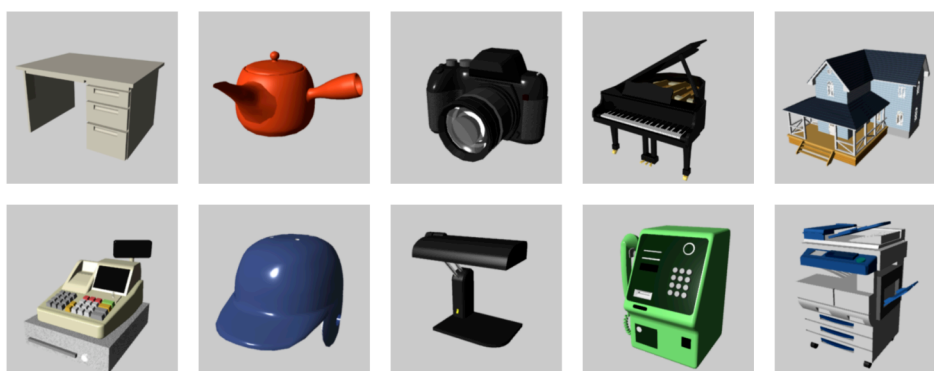


図 15. 実験 3 で刺激に用いた物体。非対称な形状の日常物体 10 種類。

刺激物体として、非対称な形状を有する 14 の日常物体を用いた。これらの物体は、実験 1・2 で用いられた刺激物体と同様、明確な前後軸と上下軸を持ち、かつ顕著な長軸を持たない（奥行き・幅・高さの比が 1.7 以下）ものとした。これら 14 物体のうち 6 物体は市販のデータ集から採用し、8 物体は実験者が立体モデルを制作した。練習試行には 4 物体が、本試行には 10 物体が用いられた。本試行用の 10 物体を図 15 に示す。実験 1・2 に比べて刺激物体の数が少ないが、これは上記の条件を満たす非対称な日常物体がそもそも少なく、実験 1・2 と同数 (18) だけ用意するのが困難だったためである。刺激物体の立体モデルデータから、実験 1・2 と全く同じように刺激画像が作成された。

手続き

実験課題は実験 1 と同じで、同時提示された 2 つの物体の物体方向に違いがあるかないかを回答することだった。刺激物体が異なる他は、実験装置・手続きともに実験 1 と同じだった。なお、刺激物体が実験 1 より少なかったため、各参加者が行った本試行の数も実験 1 より少なく、200 試行だった（5 つの基準方向×方向ずれの有無×方

向ずれは $+15^{\circ}/-15^{\circ} \times 10$ 物体)。各参加者は本試行の前に練習試行を行ったが、練習試行で用いられた物体は本試行には用いられなかった。

2.3.2. 結果

平均誤答率および正答試行の平均反応時間について、実験 1・2 と同様の分析を行った。

反応時間

図 16A に見られるとおり、 $0, 90, 180^{\circ}$ の条件において反応時間が短くなっている傾向が得られた。物体方向の効果について検討するため、実験 1・2 と同様に 2 要因（物体方向 \times 方向ずれ有無）の対応のある分散分析を行ったところ、物体方向の主効果が有意で ($F(4, 36) = 38.12, p < .01$)、方向ずれ有無の主効果も有意となった ($F(1, 9) = 18.70, p < .01$) が、交互作用は有意ではなかった ($F(4, 36) = 1.93, p > .1$)。物体方向の効果について実験 1 の結果と比較検討するため、実験 1 と同様に異試行・同試行それぞれにおける物体方向の単純主効果の分析を行った。まず異試行では、物体方向の単純主効果が有意で ($F(4, 72) = 15.44, p < .01$)、下位検定（テューキーの HSD 法）の結果、 $0, 90, 180^{\circ}$ の各条件は $45, 135^{\circ}$ 条件より有意に反応時間が短かった ($p < .05$)。実験 1 と異なり、 90° 条件と $0, 180^{\circ}$ 条件との間には有意差は見られなかった。同試行でも物体方向の単純主効果は有意で ($F(4, 72) = 19.48, p < .01$)、下位検定の結果、 $0, 180^{\circ}$ 条件の反応時間は $45, 135^{\circ}$ 条件より有意に短かった ($p < .01$)。 90° 条件では、 45° 条件より有意に反応時間が短かった ($p < .01$) が、同時に 180° 条件より有意に長かった ($p < .01$)。同試行の結果をまとめると、 $0, 180^{\circ}$ 条件で反応時間が短くなっていたのは実験 1 と同じ結果だが、 90° 条件でもやや成績が向上していたと言える。

このように、 $0, 90, 180^{\circ}$ 条件で成績が良く、 $45, 135^{\circ}$ 条件で成績が悪いという結果は、

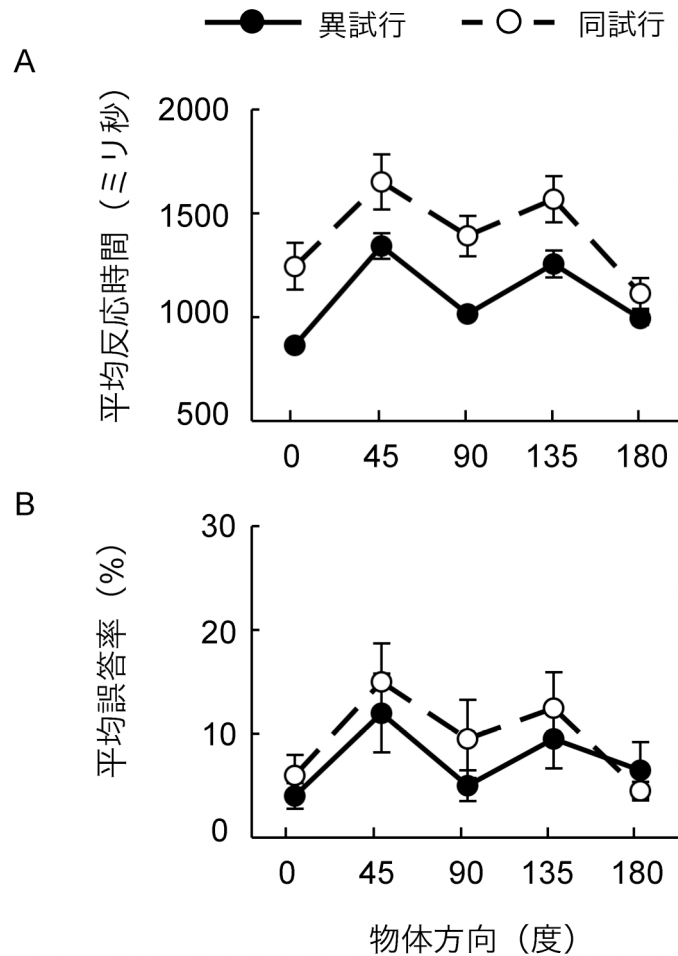


図 16. 実験 3 (非対称物体による方向ずれ検出課題) の結果。A, 反応時間, B, 誤答率。誤差線は標準誤差を示す。

実験 1 の結果と類似している。しかしながら、実験 1 では 90°条件の反応時間は 0, 180°条件と 45, 135°条件の中間程度であったのに対して、本実験の結果では 0, 180°条件とほぼ同等の成績になっていると言えるだろう。

誤答率

誤答率の結果 (図 16B) についても同様に分散分析を行ったが、物体方向の主効果のみが有意となった ($F(4, 36) = 4.13, p < .01$)。下位検定 (テューキーの HSD 法) の結

果、0, 180°条件の誤答率は45°条件より有意に低いことがわかった ($p < .05$)。下位検定で他の条件間には統計的な有意差は得られなかったが、0, 90, 180°条件で誤答率が低く、45, 135°条件で誤答率が高い傾向が見られている。0, 180°条件での成績向上は実験1の結果と同じだが、90°条件でも誤答率が低くなっている傾向が見られているのは実験1とは異なる結果と言えるだろう。

2.3.3. 考察

対称な物体を用いた実験1の結果と同様、0°や180°方向からの方向ずれの検出成績は良好だった。しかし、実験1と異なっていたのは、0, 180°条件の成績が90°条件の成績と同等になっていたという点である。実験1でも90°条件の成績は45, 135°条件より良かったが、0, 180°条件よりは有意に悪かった。従って、本実験で非対称物体を刺激に用いた結果、90°条件の成績が向上したか、もしくは0, 180°条件の成績が90°条件の成績と同等にまで低下したと考えられるが、物体が非対称であることによって横方向の方向知覚がしやすくなるとは考えにくい。対称性が前や後ろ方向の手がかりとして利用できなくなったために、0, 180°条件の成績が相対的に低下したと考えるのが妥当だろう。

では、対称性が利用できなくなったにもかかわらず、依然として0, 180°条件の成績が斜め方向の45, 135°条件より良い原因は何だろうか。まず考えられるのは、実験1の分析でもその役割を検討した水平輪郭線の利用である。本実験で用いた10の非対称物体にも、つくえや電気スタンドなど、前・横・後ろ方向で水平輪郭線を生じるような物体が含まれていた。水平輪郭線が物体方向の手がかりとして用いられたため、0, 90, 180°の3条件で成績が向上していたと考えられる。もうひとつは、部分的な対称性の利用である。本実験の刺激物体は非対称な形状とは言え、その一部分だけに関しても対称な形状になっているものも多い。例えば、ヘルメットは耳あての部分を見れば

すれば左右対称である。したがって、実験1ほどではないが、本実験でも物体の一部分に注意を向けることで輪郭の部分的な対称性が前や後ろ方向の手がかりとして利用できる場合があった可能性は否定できないだろう。

2.4. 実験4：長軸の効果

実験1～3では、物体の長軸の影響を避けるために顕著な長軸を持たない物体を刺激として用いた。しかし、当然ながら長軸は物体方向知覚に大きな影響を与えることが予想される。細長い形状の物体は、その長軸が視線と平行に近いとき、奥行きが圧縮された見え (foreshortened view) を生じる (e.g., 船の正面やベンチの横)。このような方向では、少しでも物体方向が変化すると見えに大きな変化が生じるのでその方向変化は視覚的に顕著なものとなるだろう。しかし、長軸が視線に対して直交するような場合 (e.g., 船の横やベンチの正面) には、物体方向が変化しても見えにはあまり大きな変化が生じないと考えられる。そこで実験4では、顕著な長軸を有する日常物体を刺激として用いることで、物体方向知覚に対する長軸の効果を実際に検討した。また、刺激物体には前後方向に長軸を持つ物体 (奥行きが長い物体) と、左右方向に長軸を持つ物体 (幅が長い物体) とを用意することで、長軸の効果を物体の前後軸とは独立に検討した。

2.4.1. 方法

実験参加者

実験1, 2, 3のいずれにも参加していない8名 (6名の男性および2名の女性) が

奥行きが長い物体

幅が長い物体



図 17. 実験 4 に用いた刺激物体。奥行きが長い（前後軸が長軸となっている）物体と、幅が長い（左右軸が長軸となっている）物体を、各 9 種ずつ用いた。

本実験に参加した。実験時の年齢は 19～34 歳であった。全員が正常な視力を有していた（矯正を含む）。

刺激

刺激物体として、24 の日常物体を用いた。このうち 6 物体は練習試行で、18 物体は本試行で用いられた（図 17）。また、3 物体は実験者が立体モデルデータを作成したもので、21 物体は市販のデータ集から選ばれたものだった。物体は実験 1 と同様に明確な前後軸および上下軸を持ち左右対称な形状の物体だったが、実験 1 とは異なり顕著な長軸を有していた。奥行き・幅・高さのうち最長のものと最短のものの比は 2.0 から 4.7 の範囲で、平均 3.0 だった。本試行用 18 物体のうち 9 物体では奥行きが最長、残り 9 物体では幅が最長だった。奥行きが長い物体では 0° および 180° 条件で長軸が圧縮された見えに、幅が長い物体では 90° 条件で長軸が圧縮された見えになる。刺激物

体の立体モデルデータから、実験 1 と全く同じように刺激画像が作成された。

手続き

実験課題は実験 1 と同じで、同時提示された 2 つの物体の物体方向に違いがあるかないかを回答することだった。刺激物体が異なる他は、実験装置・手続きともに実験 1 と同じだった。各参加者は本試行として 360 試行を行った（5 つの基準方向×方向ずれの有無×方向ずれは $+15^{\circ}/-15^{\circ} \times 18$ 物体）。物体が現れる順序はランダムだった。各参加者は本試行の前に練習試行を行ったが、練習試行で用いられた物体は本試行には用いられなかった。

2.4.2. 結果

前述のように、奥行きの長い物体と幅の長い物体とでは、長軸が圧縮される方向が異なっている。そのため、奥行きの長い物体の試行と幅が長い物体の試行（それぞれ全試行の半数ずつ）とに分けて結果を分析し、比較した。

奥行きの長い物体、反応時間

奥行きの長い物体の試行のうち、正答試行について、異試行と同試行それぞれの平均反応時間を求めたところ、図 18A のようになった。これに対して実験 1 と同様に 2 要因（物体方向×方向ずれ有無）の対応のある分散分析を行った結果、物体方向の主効果（ $F(4, 28) = 12.95, p < .01$ ）および交互作用（ $F(4, 28) = 4.91, p < .01$ ）が有意となった。異試行・同試行どちらも物体方向の単純主効果は有意だった（それぞれ $F(4, 56) = 10.27, p < .01$; $F(4, 56) = 11.96, p < .01$ ）。しかし、交互作用にも現れているように、同試行では 90° 条件で反応時間が短くなっているが、異試行ではそうではない傾向となっている。それぞれの単純主効果についてテューキーの HSD 法による下位検定を行ったところ、まず異試行では $0, 180^{\circ}$ の両条件で他の 3 条件より有意に反応時間が短か

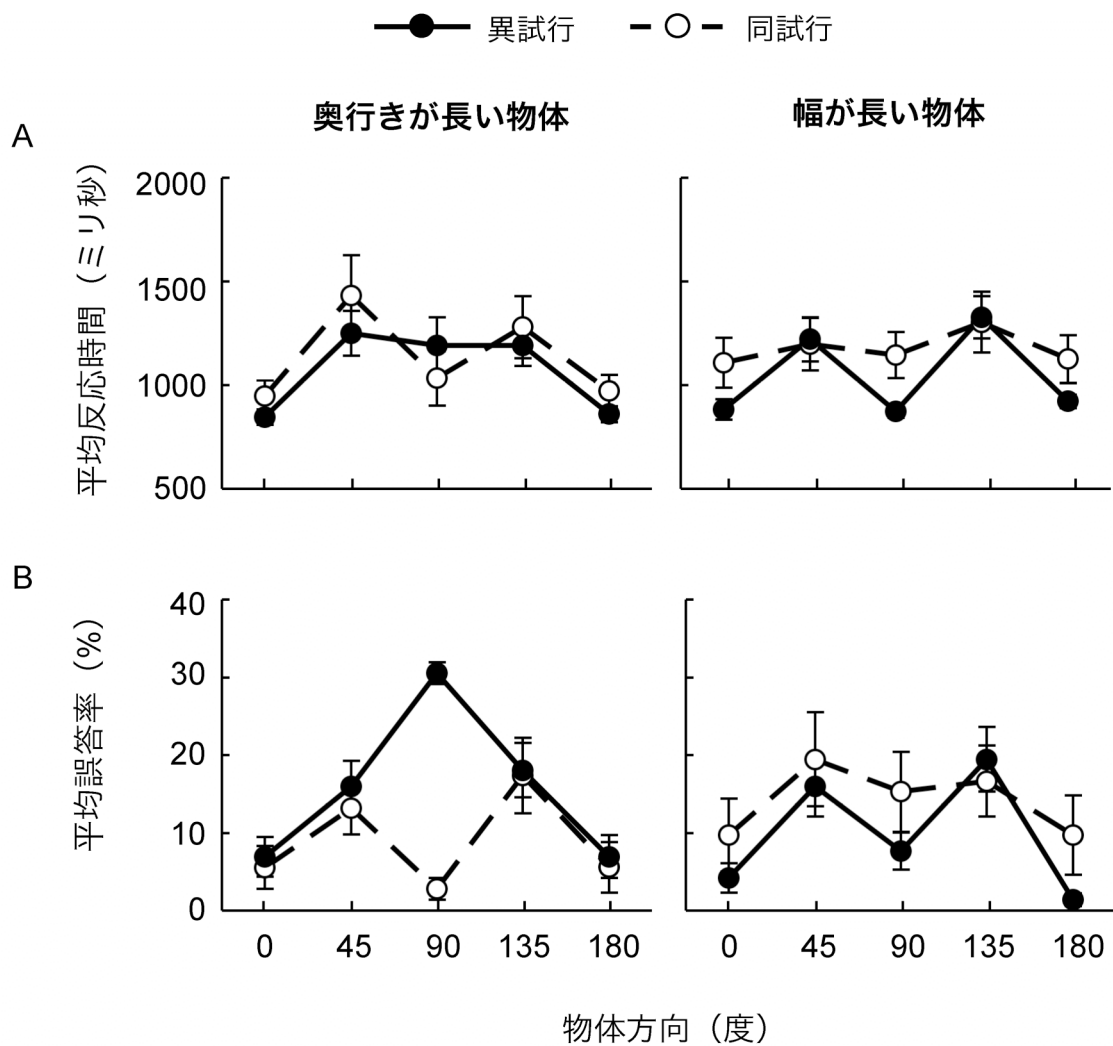


図 18. 実験 4 の結果。A, 反応時間, B, 誤答率について, 奥行きが長い物体の結果と幅が長い物体の結果を別に表示している。誤差線は標準誤差を表す。

った ($p < .01$)。しかし同試行では, 0° 条件が 45° , 135° 条件より, また 180° 条件が 135° 条件より反応時間が短かった ($p < .01$) のに加えて, 90° 条件も 45° 条件より有意に短い反応時間となっていた ($p < .01$)。 90° 条件と 0° , 180° 条件の間には有意差は見られなかった。結果として, 0° , 180° 条件では異試行・同試行ともに成績が向上していたが, 同試行では 90° 条件でも成績向上が見られた。 0° , 90° , 180° 条件で成績が向上したのは, 実験 1 の結果と同様の結果だと言える。

奥行きが長い物体, 誤答率

次に誤答率の結果（図 18B）では，異試行の 90°条件で非常に誤答が多くなる結果が見られた。反応時間と同様の 2 要因の分散分析を行ったところ，まず物体方向の有意な主効果が見られ ($F(4, 28) = 14.51, p < .01$)，方向ずれ有無の主効果も有意だった ($F(1, 7) = 8.87, p < .05$)。90°条件だけで見られる異試行と同試行の成績の大きな差を反映して，交互作用も有意だった ($F(4, 28) = 7.56, p < .01$)。物体方向の単純主効果は異試行・同試行ともに有意となった（それぞれ $F(4, 56) = 14.07, p < .01$; $F(4, 56) = 5.55, p < .01$ ）。これらの効果についての下位検定（テューキーの HSD 法）を行った。まず異試行では 90°条件の誤答率が他のすべての条件より有意に高かった ($p < .05$)。135°条件も，0, 180°両条件より有意に誤答が多かった ($p < .05$)。一方，同試行では 135°条件が 0, 90, 180°条件より有意に誤答率が高いという結果が得られた ($p < .05$)。

0, 180°条件で成績が良くなっていたのは実験 1 と共通の結果だが，90°条件の成績に特徴が見られた。異試行の誤答が非常に高く，同時に同試行の誤答が非常に低くなっており，90°条件においてのみ実験参加者が「同」反応に対する強いバイアスを持っていたことがわかる（実際，方向ずれ有無の単純主効果が 90°条件のみで有意だった）。この結果は，奥行きが長い物体の 90°方向では物体方向が 15°ずれても非常に気付きにくかったということを示唆している。

幅が長い物体, 反応時間

幅が長い物体の結果についても，上記の奥行きが長い物体と同様に分析を行った。反応時間（図 18A）についての 2 要因の分散分析の結果，物体方向の主効果が有意で ($F(4, 28) = 14.80, p < .01$)，交互作用も有意だった ($F(4, 28) = 8.66, p < .01$)。物体方向の単純主効果は，異試行 ($F(4, 56) = 22.84, p < .01$) および同試行 ($F(4, 56) = 3.12, p < .05$)

ともに有意だった。これらの効果についての下位検定（チューキーの HSD 法）の結果、異試行では 0, 90, 180°条件の反応時間が 45, 135°条件より有意に短いという結果が得られた ($p < .01$)。しかし同試行では、図 18A にも現れているとおり物体方向による反応時間の違いはあまり大きくなく、下位検定で有意な差は見られなかった。すなわち、0, 90, 180°条件では同試行より異試行で反応が速くなる効果が見られたと考えられる。0, 90, 180°条件では物体方向ずれによって生じる物体像の顕著な変化を検出することで異試行の反応が促進されたため、このような効果が生じたのであろう。同試行の反応時間に物体方向の効果がほとんど見られていないことは、奥行きが長い物体の結果と異なる点である。その理由は明らかではないが、刺激に用いた物体数があまり多くない（9 種）ことが関係している可能性はあるだろう。

まとめると、幅が長い物体では実験 1 の結果と同様に 0, 90, 180°で反応時間が短くなっていたが、90°条件は 0, 180°条件と同等に短い反応時間となっており、実験 1 に比べて 90°条件の成績が向上していたと言える。

幅が長い物体、誤答率

誤答率の結果（図 18B）についても反応時間と同様の分散分析を行ったところ、物体方向の主効果のみが有意となった ($F(4, 28) = 4.99, p < .01$)。物体方向の効果についての下位検定（チューキーの HSD 法）の結果によると、0°条件は 135°条件より有意に誤答が少なく、また 180°条件も 45, 135°条件より有意に誤答が少なかった ($p < .05$)。従って、幅が長い物体では 0, 90, 180°条件で同等に成績が良かったと言える。実験 1 の結果や、本実験の奥行きが長い物体の結果と比べると、90°条件の成績が 0, 180°条件と同等にまで向上している点が異なっている。これは上記の反応時間の結果と共通した知見である。

2.4.3. 考察

奥行きが長い物体・幅が長い物体どちらも、 0° 条件と 180° 条件は成績が良かった。これは実験 1 とも共通した結果である。奥行きが長い物体では、 0° と 180° で長軸が圧縮されるため、物体方向ずれの検出は容易になると考えられたが、奥行きが長い物体と幅が長い物体ではどちらも同等に 0° および 180° 条件の成績が良い。これはおそらく、対称性や水平輪郭線など、長軸とは関係のない物体方向手がかりが前や後ろ方向で利用できたからであろう。特に誤答率の結果に関しては、床効果によって奥行きが長い物体と幅が長い物体とに差が見られていない可能性もあるだろう。

奥行きが長い物体と幅が長い物体で異なる傾向が見られたのは 90° 条件（横方向）である。実験 1 の結果でも 90° 条件でやや成績が向上する結果は得られているが、これに比べると本実験の幅が長い物体の結果では 90° 条件の成績が非常に良くなっていると言えるだろう。逆に、奥行きが長い物体では、 90° 条件で成績が低下する傾向が見られている。幅が長い物体では、横方向で長軸が圧縮されているため、 15° の方向ずれによって見えに大きな違いが生じるためだと考えられる。奥行きが長い物体では横方向では長軸が伸展しており、方向がずれても見えにはあまり違いが生じないのでそれに気づきにくく、結果として異試行での誤答率が高くなったのだろう。

これらの結果は、予測通り長軸が物体方向知覚に影響することを示している。長軸が圧縮された見えでは物体方向の違いが見えに顕著な変化をもたらすことが実際に確かめられたと言えるだろう。長軸が圧縮された見えでは、物体の多くの部分が遮蔽されて見えなくなるが、そこから物体方向が変化するにつれて次々と遮蔽されていた部分が見えるようになり、見えに大きな変化が生じると考えられる。

2.5. まとめと考察

2.5.1. 物体方向知覚は方向依存的な特性を持つ

実験1～4の結果から、日常物体の物体方向の知覚は非常に方向依存的であることが明らかとなった。ヒトの視覚はすべての物体方向を等しい精度で知覚できるわけではなく、前や後ろ、横方向など限られた特別な方向に対しては正確に方向を知覚できる反面、それ以外の斜めの方向（45°や135°）では15°方向がずれても検出しにくい。日常物体の前・後ろ・横方向の見えには、水平輪郭線や輪郭線の対称性といったそれらの方向に特異的に現れる視覚的特徴が存在するため、その方向が他の方向と区別しやすくなるのである（実験2・3）。また、それらの方向では長軸が圧縮された見えになりやすいことも寄与していることがわかった（実験4）。ドーナツ形物体とベル形物体を刺激として用いた Tarr & Kriegman (2001)と同様、物体方向の違いによる見えの変化には顕著な場合とそうでない場合があることが日常物体についても示されたわけだが、本研究ではさらに水平輪郭線や対称性といった日常物体特有の方向手がかりが重要なことがわかった。

正確に知覚される方向と不正確に知覚される方向があるということは、物体の物理的な方向と知覚された方向との間には違いがある可能性をも示唆している。ヒトの視覚は、「正面かそうでないか」という判断のように重要で特殊な方向の同定には適しているかもしれないが、「何度くらい斜め方向か」というような物理的に正確な物体方向の情報を得るのには適していないように思われる。心的イメージに関する重要な研究として知られる心的回転（mental rotation; Shepard & Metzler, 1971）の結果を見ると、心的回転に要する時間は物体の物理的な方向と完全に直線的な比例を見せており、物体の物理的な方向がそのまま正確に物体の心的表象にも反映されているかのように思えるかもしれない。しかし、これは前や横といった特殊な方向を持たない新奇物体についての結果である。しかもさまざまな形状の物体のさまざまな方向から開始された

心的回転の結果を平均して得られた知見であるから、結果として物理的方向に比例した反応時間が得られるのだと考えられる。新奇物体でも、Tarr & Kriegman (2001)のように個別の物体ごとに結果を見れば、物体方向知覚は必ずしも均一ではないのである。Shepard & Metzler (1971) が用いたような物体であっても、アスペクト・グラフによって異なるカテゴリに分類される見え同士と、同じカテゴリに分類される見え同士とでは、例え物理的方向差が同じでも前者では心的回転が難しくなるという可能性はあるだろう。

2.5.2. 物体方向知覚はカテゴリ的か

実験1～4の結果は、前後方向・上下方向が明確な日常物体ではその見えがいくつかのカテゴリに分けて知覚されている可能性を示唆しているだろう。物体方向知覚が単に方向依存적であるというだけではなく、カテゴリ的であると考えられるのは、次の2つの理由による。まず、実験1の結果は、同一カテゴリの成員同士は区別しにくい（同一視しやすい）がカテゴリの異なる成員同士は区別しやすいという意味において、物体方向のカテゴリ知覚を示唆している。0°方向は前の見えのカテゴリに属するが、15°方向は斜め方向のカテゴリに属するため、両者の区別は容易になる。しかし45°方向と30°方向の見えには顕著な違いはなく、どちらも同じ斜め方向のカテゴリに属するため、その区別は相対的に難しい。従って、実験1で用いた0～180°の物体方向は、前・斜め・横・斜め・後ろというようにカテゴリ化されていると解釈することができる。次に、実験1の結果から推測されるこのような物体方向の分類が、それぞれ適切な言語的表象（物体方向を表す名詞）に対応づけられているという事実も、日常物体の方向がカテゴリ的に処理されていることの傍証だと言えるだろう。ただし、物体方向の言語的表象については本実験では直接に検討していない。例えば0°からどれくらい方向が変わっても「前」と呼べるかというように、言語的表象の観点から物

体方向のカテゴリ的知覚について検討することは、今後の課題の一つである。

しかしながら、物体方向知覚がアスペクト・グラフで記述されるように完全にカテゴリ的だと結論づけることには問題がある。実験1で用いた18種の日常物体について、例えば0°から10°までは「前」カテゴリ、10°から80°までは「斜め」カテゴリ、80°から100°までは「横」カテゴリ、というようにカテゴリ間に明確な境界線を定義することはできないだろう。アスペクト・グラフでは見えの質的な違いの存在によって見えのカテゴリ間に明確な境界線を定義することができたが(図5)、これをそのまま日常物体に適用することは難しい。序論ですでに指摘したように(1.1.3.), 多くの日常物体はアスペクト・グラフの研究で用いられるような単純な幾何学的3次元物体に比べて非常に複雑な形状をしており、アスペクト・グラフに従うとその見えは膨大な数のカテゴリに分類されてしまう。日常物体については、アスペクト・グラフによる記述と全く同様に物体方向が知覚されていると考えるのは不自然である。むしろ、アスペクト・グラフによって記述されるような小さいが質的な見えの違いが大量に生じたとき、ヒトの視覚は物体方向が明らかに変化したと知覚すると考えるのが妥当である。前方向や後ろ方向の見えから15°方向がずれると、そのような変化が非常に多い。しかし45°と60°の違いでは、そのような変化の数はかなり少ないのだろう。日常物体の方向知覚の特性は、アスペクト・グラフが対象としているような幾何学的に定義できる質的な見えの違いの総和を反映していると考えられるべきである。アスペクト・グラフにおける見えのカテゴリと、実験1の結果から示唆される「前」や「横」といった日常物体の見えのカテゴリとは、異なった基準に基づいて定義されるものだという事に注意しておく必要がある。

物体方向知覚がカテゴリ的だとすると、そのカテゴリはヒトの視覚系が生得的に備えている特性を反映したものなのか、あるいは経験を通して学習されるものなのか、という点も問題になる。「前」や「横」といった言語的表象の存在を重視するならば、

物体方向のカテゴリは言語の獲得を通して学習されるものだと考えられるかも知れない。しかし前述のように、対称性や水平輪郭線といった視覚的特徴の有無、アスペクト・グラフによって記述される見えの質的な違いといった、視覚的物体認知機構のボトムアップな処理によって得られる情報に基づいて物体方向のカテゴリ的知覚を説明することもできる。言語の獲得を待たずとも、方向特異的視覚的特徴の利用によって物体方向知覚がある程度はカテゴリ的な特性を示すという可能性は十分にあるだろう。例えば対称性については、乳児でも知覚されているという (Bornstein, Ferdinandsen, & Gross, 1981; Fisher, Ferdinandsen, & Bornstein, 1981)。従って、少なくとも方向特異的特徴の多い偶然的見えの方向とそれ以外の方向とは、乳児でも異なるカテゴリとして知覚されていることはあり得る。しかし、例えば同じ偶然的見えでも前方向と後ろ方向とを区別するには物体についての知識が必要であるように、物体方向のカテゴリ的知覚には経験を通して完成されるという側面があることも間違いない。2次元形状については、どの方向を正立 (upright) 方向とするかが年齢に応じて変化するということが幼児を対象とした研究から示唆されている (Schaller & Harris, 1975)。

2.5.3. 物体方向知覚に影響する可能性がある他の要因

実験1~4では、物体方向知覚に水平輪郭線や対称性、そして長軸が影響することを明らかにした。しかし、これ以外にも物体方向知覚に影響しうる要因がいくつか考えられるので、触れておきたい。

前方向の見えに関しては、今回用いた刺激物体は日常生活で前から観察することが多いために前の見えの親近性が高く、そのために方向知覚が正確だったのではないかという解釈も可能かもしれない。この点について検討するため、実験1・2で用いられた刺激画像 (18物体×0, 45, 90, 135, 180°の5方向) について見えの親近性を実験に参加していない12名の参加者に評定してもらった。その結果は図19のとおりで、前(0°)

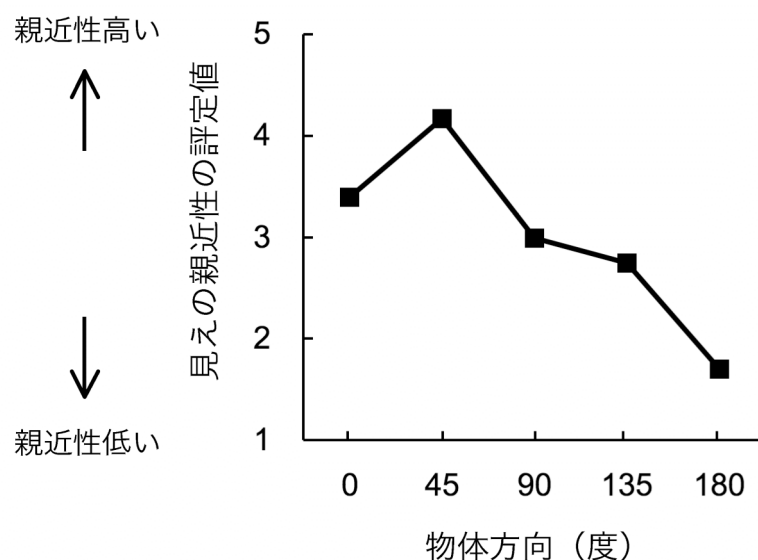


図 19. 実験 1 の刺激 (18 物体の 0~180°方向の見え) について見えの親近性の評定実験を行った結果。評定値が大きいほど親近性が高いことを示す。

の親近性は特に高くなかった。さらに、物体方向ずれ検出課題では成績が良かった 180°条件は最も親近性が低いと評定され、物体方向ずれ検出課題の成績が悪かった 45°条件は親近性が最も高かった。従って、見えの親近性と物体方向知覚の正確さとは直接の関係はないと言える。親近性は過去の経験に基づくものだから、物体の記憶表象の特性を反映していると考えられる。しかし本実験で調べた物体方向知覚は、記憶表象とは関係なく、水平輪郭線など刺激が持つ視覚的特徴をボトムアップに処理した結果に多くを負っていると考えられる。そのため、親近性が高い見えでも必ずしも物体方向知覚が正確で速くなるとは限らないのだろう。

視覚的な奥行き手がかりの効果は、今回の実験で検討されていない。刺激は 3D ソフトウェアを用いて作成したものの、単一の視点から観察される 2 次元像を描画したものである。そして参加者が刺激を観察する際には両眼立体視を行っていない。また、刺激は均一輝度の背景上に物体画像が提示されるものだったので、物体が置かれてい

る地平面のテクスチャの勾配も存在しない。もし両眼視差や地平面のテクスチャの勾配などの奥行き手がかりを加えた刺激を用いれば、物体の観察者に対する 3 次元的な方向がより正確に知覚され、課題成績を向上させた可能性はあるだろう。今回の実験結果では斜め方向での方向ずれ検出成績が非常に悪くなっており、とりわけ異物体間比較を行った実験 2 の結果 (図 14) では、45、135°条件で 40%程度という非常に高い誤答率を観測している。この結果は、水平輪郭線や対称性のような 2 次元視覚特徴の物体方向手がかりが存在しない斜め方向では物体の 3 次元的な方向を正確にとらえることがほとんどできないことを示している。適切な奥行き手がかりが利用可能ならば、この斜めの物体方向の知覚の難しさが部分的には解消される可能性があるだろう。

より日常的な視覚経験を考えると、背景の情報は奥行き手がかりを与えるだけでなく、別の空間参照枠を与えることもある。例えば物体が四角い机の上に置かれていれば、その机に対して相対的に物体の方向を定義することもできるだろう。本実験ではこのような外部参照枠が存在しない状況で観察者中心参照枠における物体方向の知覚について調べてきたが、机や部屋といった外部参照枠が存在する状況での物体方向知覚は本実験の結果とは異なる特性を示す可能性もある。たとえ物体が観察者に対してちょうど前方向でなくとも、机のちょうど正面を向くような方向であれば、そこからの物体方向のずれが知覚しやすくなるということもあるかも知れない。外部参照枠の影響は、今後の重要な検討課題である。

最後に、物体のカテゴリの影響について指摘しておきたい。本論文では 18 の刺激物体を直線物体と曲線物体に分類して物体方向知覚の特性が異なることを示したが (2.1.4.)、より高次の属性に基づく物体のカテゴリも物体方向知覚に影響しないだろうか。例えば生物と非生物 (人工物) の違い、あるいは前後に移動できる物体とそうではない物体の違いなどである。正面に顔のような視覚系にとって特別な意味のあるパーツを持つ生物や、前後軸が物体の運動という意味においても重要な意味を持つ移

動できる物体では、他の物体に比べて前方向の知覚がとりわけ正確になるということはあるようである。しかし、一般に生物は非生物よりも直線的輪郭線に乏しいと考えられる（図 9C を参照）。また、前後に移動する物体はそうでない物体に比べて、前後に細長い形状を持つことが多いだろう（図 17 を参照）。従って、こういった物体カテゴリの影響は、本論文で検討してきたような水平輪郭線や長軸の影響と交絡している可能性が高い。水平輪郭線や長軸の影響とは独立に物体カテゴリが物体方向知覚に影響する可能性は否定できないものの、その可能性を検討するためには、より統制された刺激を使った実験が必要となるだろう。

2.5.4. 典型的見えと偶然的見えでの物体方向知覚

序論において述べたように、日常物体の典型的見えと偶然的見えとは異なる見えのカテゴリとして処理されていると考えられる。日常物体において偶然的見えが概して正面や長軸が圧縮された見えであることも、序論で見たとおりである（Lawson & Humphreys, 1996; Mitsumatsu & Yokosawa, 2002; Newell & Findlay, 1997）。今回の実験結果は、偶然的見えでは物体方向ずれが検出しやすいことを示している。前や後ろ方向で成績が良く（実験 1～3）、また長軸が圧縮された見えでも成績が良くなった（実験 4）からだ。偶然的見えとはすなわち、その物体が偶然のごく限られた方向においてのみもたらす特殊な見えのことであるから、そこから少しでも方向が変化するとただちに別のカテゴリの見えが生じ、その違いが顕著なのである。そして偶然的見えでは、水平輪郭線や対称性などその見えに特徴的に現れる（方向特異的な）視覚的特徴に富んでいる。偶然的見えとは、物体方向知覚が正確にできる見えだと言うことができる。

典型的見えが概して物体の斜め方向での見えである（Blanz et al., 1999; Palmer et al., 1981; Verfaillie & Boutsen, 1995）ことはすでに序論で述べた。そして今回の実験結果によると、斜めの物体方向では物体方向ずれの検出が困難になっていた。上記の偶然的

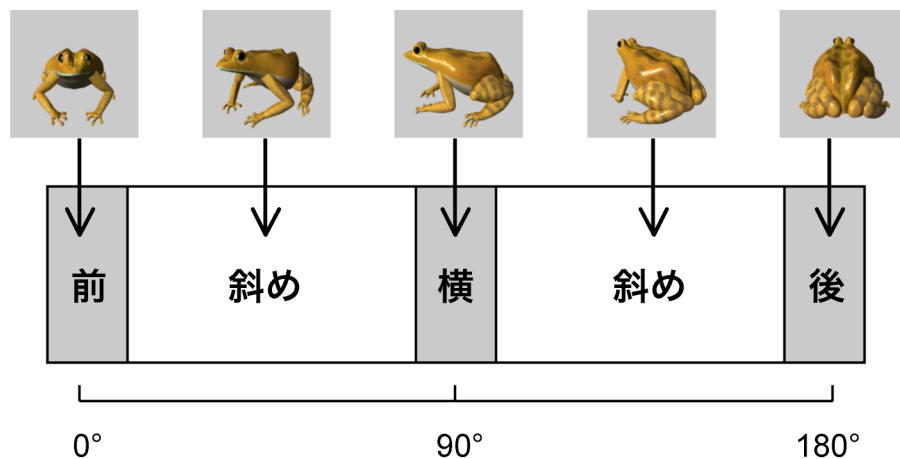


図 20. 明確な前後軸を持つ日常物体の見えを、アスペクト・グラフにならって模式的にカテゴリ分けした図。前・横・後ろ方向での偶然的見えと、それ以外の斜め方向の見えに分類できると考えられる。

見えとは対照的に、典型的見えとは多少物体方向が変化しても同じカテゴリの見えしかもたらず、またその方向に特異的な視覚的特徴に乏しいため物体方向知覚が低い精度でしかできない見えだと言うことができるだろう。これをアスペクト・グラフにならって模式的に表すと図 20 のようになる。前や横・後ろ方向では、ごく狭い範囲の物体方向に特異的に現れる見えのカテゴリ、すなわち偶然的見えが生じている。その他の斜め方向では、比較的広い範囲の物体方向で同じカテゴリの見えが生じる。これは非偶然的見えだと考えられるだろう。広い範囲の物体方向で同じカテゴリの見えとして知覚されるということは、たとえ日常生活の中でその物体をあらゆる方向から均一の確率で観察しているとしても、視覚系が得たその物体の表象は斜め方向の非偶然的見えの表象であることが圧倒的に多いということである。このことが、斜め方向の見えが親近性が高く、結果として典型的見えとなりやすいことの原因のひとつではないだろうか。Palmer (1999) は、典型的見えの規定要因として見えの親近性が高いことを挙げている。

ただし、問題となるのは後ろ斜め方向の見え（例えば、本実験での 135° 条件）である。この方向では、前斜めの方向（ 45° 方向）と同等に物体方向ずれ検出課題の成績は低かった。しかし、このような方向が典型的見えだとは考えにくい。Palmer et al. (1981) による物体の典型的見えは、たいてい前斜め方向である。これは、そもそも日常物体は後ろより前から観察することが多いため、前方向に近ければ近いほど見えの親近性は高くなると考えることで説明できる。つまり、見えの親近性は2つの要因によって決まっており、幅広い物体方向を含むカテゴリである斜め方向の非偶然的見えで親近性が高くなるという前述の要因と、物体方向知覚の精度とは関係なく日常生活の中で見かける確率が高い方向ほど親近性が高くなるという要因である。実際、本実験の刺激の見えの親近性の評定値（図 19）を見ると、 45° 、 135° 方向で評定値が高くなる特性（M 字型の特性）と、前から離れるほど評定値が低くなる特性（単調減少の特性）とを合わせたような結果となっている。Palmer et al. (1981) が挙げている典型的見えの例には斜め方向ではなく正面の見えも3つ含まれているが（時計・電話機・家）、これらは上記2要因のうち後者の要因の影響が特別に大きい場合だと考えることができる。

このように、日常物体の典型的見えと偶然的見えの区別には、物体方向知覚の正確さという要因が関わっている。その方向に特異的な見えで物体方向知覚の精度が高いのが偶然的見え、その方向に非特異的な見えで物体方向知覚の精度が低いのが典型的見えである。両者の区別をもたらす大きな要因としてこれまでも親近性が考えられてはいたが、親近性は観察者の過去の経験に依存するため、それを客観的に調べることは難しく、なぜ斜め方向で親近性が高くなるのかが具体的に説明されたことはなかった。本実験の結果は、物体方向知覚の正確さの違いという知覚的な特性によって見えの親近性を説明できることを示唆しており、典型的見えと偶然的見えの問題にまったく新しい理論的枠組みを与えたと言えるだろう。

2.5.5. 物体同定と物体方向知覚の関係

本実験の結果でいまひとつ興味深い点は、視点依存性の研究において物体同定が容易だとされてきた斜めの物体方向で、物体方向ずれ検出は難しくなっていたことである。逆に物体同定が難しいとされる正面などの偶然的見えでは、物体方向が正確に知覚されていた。すなわち、物体同定の容易さと物体方向知覚の正確さとは逆の傾向を示すということが示唆される。物体同定課題の成績は物体の記憶表象の特性を反映したものだが、今回の物体方向ずれ検出課題の成績は物体刺激に対するボトムアップな知覚的処理の特性を反映したものだから、両者が独立の特性を示すのは自然だと考えることもできる。しかし、両者は単に独立なのではなく、必然的に逆の傾向を示すのではないだろうか。

本論文の冒頭でも論じたように、物体同定過程においては、さまざまな物体方向でのさまざまな見えから単一の物体表象を活性化させなければならない。従って、Biederman (1987)などの物体認知理論が主張するように、物体同定のメカニズムは視点に依存しない視覚的特徴を利用することで視点非依存的（方向非依存的）な同定を実現できる。ところがこれは一方で、物体方向の情報を捨象する必要があるということでもある。水平輪郭線や対称性など、特定の物体方向に特異的に現れる視覚的特徴は、物体方向に非依存的な物体同定を実現するためには原理上、利用価値のないものである。物体同定は視点非依存的（方向非依存的）な視覚的情報に依存し、物体方向知覚は視点特異的（方向特異的）な視覚的情報に依存する。そのため、物体同定の容易さと物体方向知覚の正確さとはトレード・オフの関係にあるのではないだろうか。視点非依存的特徴の多い典型的見えでは物体同定は容易だが、物体方向知覚は不正確になるのである。

次の第3章では、斜め方向での物体方向知覚が不正確であるということについて、

より詳細に調べることにする。さらに第4章では、物体同定と物体方向知覚とがトレード・オフの関係にあるのではないかという上記の仮説を実証的に検討する。

第3章 知覚された物体方向はどれくらい正確か

第2章（実験1～4）では、日常物体の方向知覚の特性が、前や後ろ方向とその他の斜め方向とで異なることが示された。前や後ろ方向は、その方向が正確に知覚されるため、方向がずれるとそれを検出しやすい。では、本当に前や後ろ方向の知覚は正確で、斜め方向の知覚は不正確なのだろうか。本章では、物体方向の知覚の正確さが方向によってどのように異なるのかを実験的に検討する。

まず実験1～4の結果を、物理的な（実際の）物体方向と、主観的な（知覚された）物体方向との関係という観点からとらえ直してみたい。視覚系には物体方向を表象している神経機構が存在すると仮定しよう。観察者がある方向の物体を観察し、その物体方向を知覚すると、この神経機構では知覚された主観的な物体方向の表象が活性化する。しかし、この主観的な物体方向の表象は常に正確ではないから、例えば実際には右に30°の物体方向を観察しても、主観的方向では40°として表象されることも、20°として表象されることもあるだろう。従って、特定の物理的方向に対して得られる主観的方向の表象は、図21のように、主観的物体方向の連続的な尺度上にある程度の分散を持った確率分布として考えることができる。実際、ヒトの顔や車、新奇物体を刺激として用いた実験で、例えば観察者が右30°方向の刺激に順応した後には前方向の物体が実際よりもやや左に偏った方向として知覚されるというように、物体方向に対する残効が見られることが報告されており（Fang & He, 2006）、主観的物体方向が視覚系の神経機構によって連続的に表象されていることが示唆される。

実験1～4から、0°（前）方向とそこから15°ずれた方向とは区別しやすいが、45°方向とそこから15°ずれた方向は区別が難しいことがわかっている。この現象を上記のモデルで説明するとどうなるだろうか。2つの説明が考えられる。第一の仮説は分布の分散の違いによるものである（図21A）。0°方向はその方向の見えに特異的な視覚的手がかりが多いためにその知覚も非常に正確で、主観的物体方向の上では分散が非

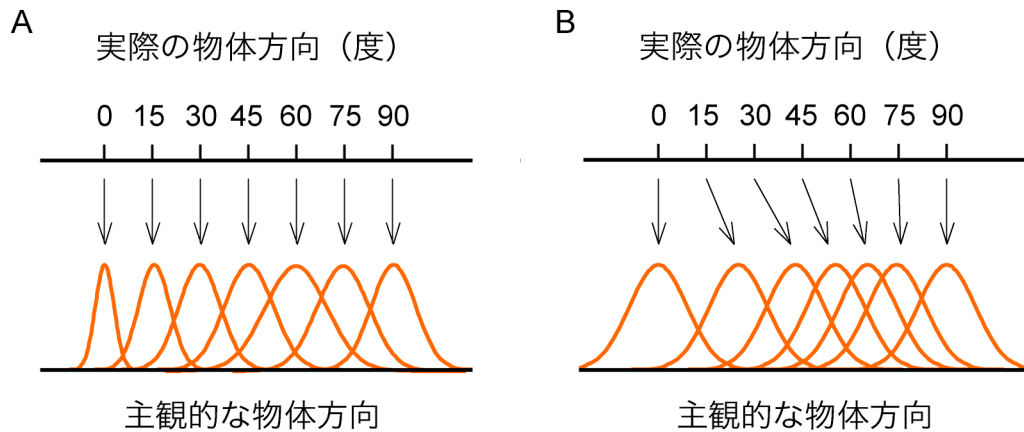


図 21. 物体方向知覚が斜め方向では不正確だという第 2 章の知見を説明する 2 つの仮説。A, 分散の違いモデルでは、斜め方向では主観的な（知覚された）物体方向のばらつきが大きいと考える。B, 平均の違いモデルでは、斜め方向ではそもそも実際からずれた方向が知覚されていると考える。

常に小さい。従って 15°方向に対応する主観的方向の分布とは重なりが少なく、両者は区別しやすい。ところが 30°方向の見えでは方向特異的な手がかりが乏しいため、その知覚は精度が低く、主観的物体方向の分散が大きい。このため、30°と 45°それぞれに対応する主観的方向の分布は重なりが大きく、区別がしにくいのである。これは、実験 1～4 の結果を、主観的物体方向の精度の違いで説明するモデルである。

第二の仮説は分布の平均の違いによるものである（図 21B）。30°方向に対応する主観的方向の分布は、そもそも 30°ではなくやや偏った方向にその平均を持つかも知れない。すなわち、実際には 30°の物体方向が、主観的には横方向に偏って（例えば 40°程度として）知覚されているかも知れない。このような横方向への分布のずれの量は、0°と 90°、180°付近では小さく、斜め方向では大きいと仮定しよう。すると、30°に対応する分布と 45°に対応する分布はその重なりが大きくなり、結果として両者の区別は難しくなる。しかし 0°に対応する分布と 15°に対応する分布とはその重なりが小さくなり、逆に両者の区別は容易になるかもしれない。これは、実験 1～4 の結果を、前・

後ろ方向からの方向ずれの過大視によって説明するモデルである。

本章では、この2つの仮説のどちらが正しいかを検討するため、物体の主観的方向が実際の方向をどれくらい正確に反映したものなのかを実験的に検討する。もちろん、この2つの仮説は必ずしも排他的なものではなく、どちらも正しい可能性もあるだろう。そこで、実験参加者にはさまざまな方向で提示される日常物体の方向を評定してもらうことで主観的物体方向を測定し、その主観的方向は方向によって分散に違いがあるのか、実際の物体方向からずれているのか、あるいはその両方なのかを検討することとした。

3.1. 実験5：物体方向の評定

本実験では、参加者は実験1と同じ刺激物体をさまざまな方向で観察し、その物体方向を直接に評定した。物体の画像をコンピュータ画面上（刺激ディスプレイ）に提示し、参加者にはその物体の方向を別の画面（反応ディスプレイ）に表示された円盤や矢印を回転させることで回答してもらった。実際の物体方向（独立変数）に対して、回答された評定方向（従属変数）がどのような関係にあるのかを調べるのが目的である。

ただし、もし評定された方向が実際の方向と異なっていた場合、参加者が知覚した主観的な物体方向が実際の方向と異なっていたからではなく、反応ディスプレイの特性のためだという可能性がある。すなわち、参加者は正確に物体方向を知覚し、主観的な物体方向と実際の方向との間に相違はなかったが、本実験で用いた反応ディスプレイの操作が難しかったために、報告された方向が実際の物体方向と異なってしまう可能性がある。このような可能性について検討するため、3種類の反応ディスプレイ

を使用して3つの実験（実験5A, 5B, 5C）を行い、一貫した結果が得られるかどうかを検討した。

3.1.1. 方法

実験参加者

実験5Aには10名（男性6名・女性4名）が、実験5Bには8名（男性7名・女性1名）が、実験5Cには8名（男性7名・女性1名）が参加した。2つ以上の実験に参加した参加者はなかった。いずれの参加者も、正常な視力を有していた（矯正を含む）。実験時の参加者の年齢は、実験5Aでは20～33歳、実験5Bでは20～29歳、実験5Cでは21～27歳だった。

刺激

実験1と同じ24物体（本試行用18、練習用6）を刺激に用いた。同じ3Dソフトウェアを用いて刺激画像を作成したが、このとき、実際の実験状況における実験参加者の視点と刺激提示ディスプレイの位置関係を再現した（図22A）。すなわち、物体は刺激提示ディスプレイ面のすぐ後ろに置かれていると想定し、そのとき参加者の視点から見てディスプレイ面に投影される像を作成した。実験1と同様、光源方向は視点に対して常に一定（左上方）とし、影は描画しなかった。物体の画像は視角およそ15.0°四方の大きさで提示された。

各物体につき、20方向の画像を作成した。実験1と同様に前方向を0°とし、左右それぞれに9, 27, 45, 63, 81, 99, 117, 135, 153, 171°回転した方向である（図23）。前・横および後ろ（0, 90, 180°）方向を含めなかったのは、次のような理由による。実験1～4の結果から、前・横・後ろ方向は正確に知覚されることがわかっている。これらの

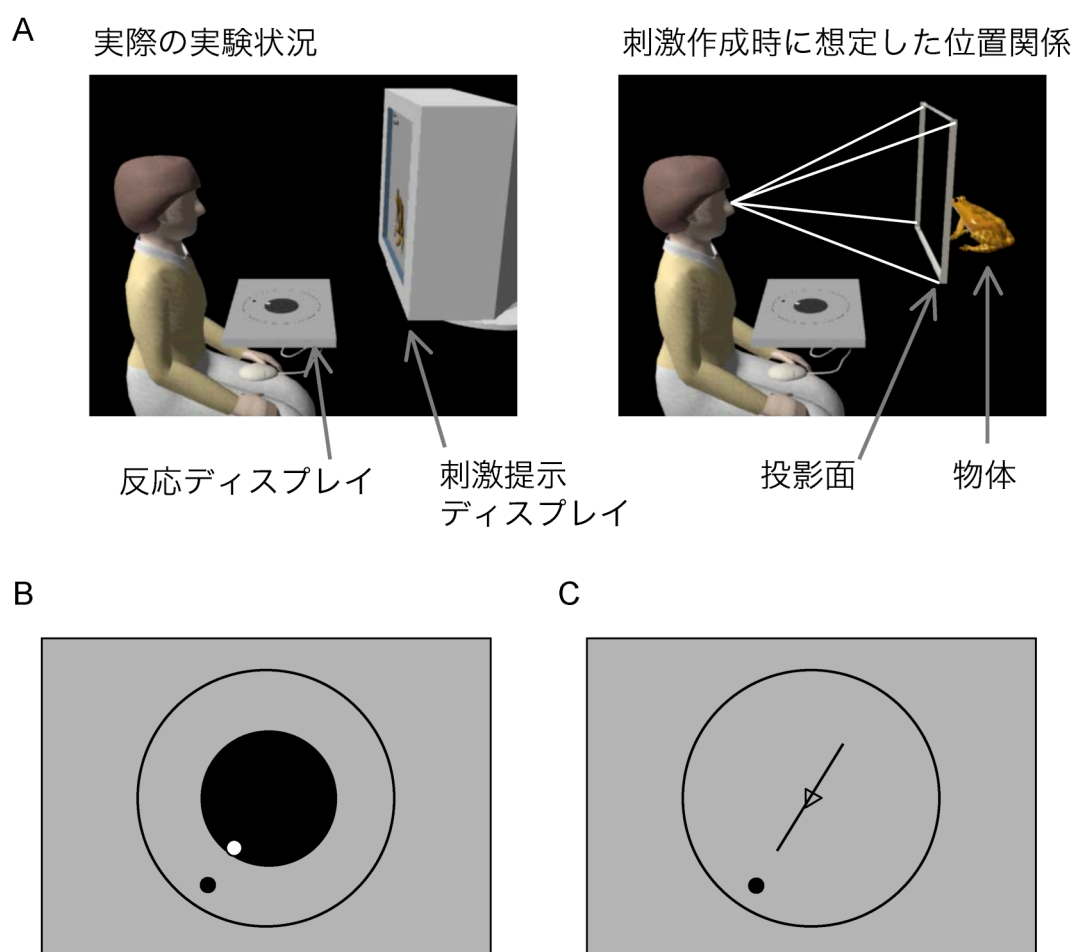


図 22. A, 実験 5 の実験装置の概念図 (左)。この実際の位置関係が、3D ソフトウェアによる実験刺激作成時に再現された (右)。B, 実験 5A および 5B で用いた反応ディスプレイ。白い点が黒い円盤の前方向を表す。黒い点はマウスカーソル。C, 実験 5C の反応ディスプレイ。円盤ではなく線分を用いた。

方向の刺激を提示すると、参加者は水平輪郭線や対称性といった視覚手がかりによってその方向を容易に同定し、物体方向の基準となる空間的参照枠を形成してしまう可能性がある。その結果、それ以外の斜めの方向の場合に、その参照枠に依拠して物体方向を推測してしまうかも知れない。また、 $0, 90, 180^\circ$ といった物体方向が何度も提示されると、提示されている物体方向は例えば斜めの方向でも $0, 90, 180^\circ$ 方向から等分された決まった方向 (例えば 30° や 45°) であろうと参加者が推測してしまう可能性もある。

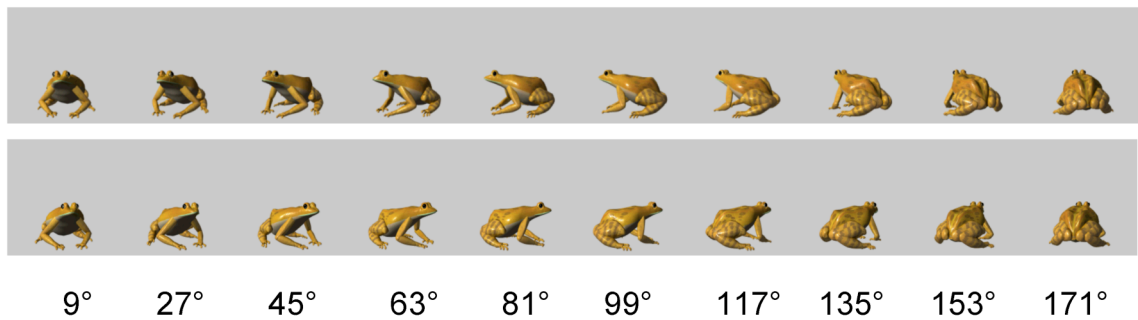


図 23. 実験 5 の刺激例。物体を左方向（図上段）または右方向（下段）に 9°～171°回転した計 20 方向を用いた。

こういった方略が採用されることを避けるため、0, 90, 180°方向は除外することとした。加えて、提示される物体の方向はまったくランダムで、切りのよい数字の方向とは限らないということを、実験を行う前に参加者に口答で教示した。

装置

刺激ディスプレイは、実験 1～4 と同じ 21 インチのカラーCRT 画面だった。実験参加者はあご台によって顔面を固定し、刺激ディスプレイ面からの視距離を 80cm に統制した。

反応ディスプレイには、15.2 インチのカラー液晶ディスプレイを使用した。参加者はこの反応ディスプレイを用いて評定した物体方向を報告した。実験 5A では、反応ディスプレイは参加者の視点と刺激ディスプレイの間に水平に設置された（図 22A）。このディスプレイには図 22B のように暗い円盤が表示されたが、この円盤の端には物体の前方向を意味する白い点が 1 つあった。あわせて黒い小さな円形のマウスポインタが表示されていた。参加者はコンピュータのマウスを用いてこの円盤の方向を操作した。マウスをクリックすると、直ちに円盤の白点がマウスポインタの方向に向くようになっていた。円盤を用いたのは、反応ディスプレイに顕著な直線成分を表示する

ことを避けるためである。そうすることで、反応ディスプレイ上の顕著な直線の方
向を刺激ディスプレイ上の物体の像の直線的な輪郭線の方とを合致させようとする方
略が採用されないようにした。

実験 5B では、この反応ディスプレイが参加者の視点に正対するよう、水平面から
45°の角度で設置された。これは、反応ディスプレイの円盤が参加者の網膜像上でほぼ
真円になるようにすることで、反応ディスプレイの円盤の方向が奥行きのために歪ん
で知覚されてしまうことを避けるためである。実験 5C では、実験 5A と同じく反応デ
ィスプレイは水平に設置されたが、円盤に代えて矢印を用いた (図 22C)。円盤ではそ
の方向が知覚しにくい可能性があったため、反応ディスプレイの方向がより知覚しや
すいと考えられる矢印を用い、同じ結果が得られるかを確かめた。

刺激の提示など実験の制御は、MATLAB ソフトウェアのプログラムを用い、パー
ソナルコンピュータによって行われた。

手続き

実験 5A, B, C いずれでも、各参加者はまず 10 試行の練習試行を行い、続いて 180
試行の本実験を行った。練習試行では練習試行用の物体が、本試行では本試行用の物
体が用いられた。本試行では、18 物体が 9, 27, 45, 63, 81, 99, 117, 135, 153, 171°の 10 方
向でそれぞれ 1 試行ずつ、ランダムな順で現れた。ただし、連続する 2 試行で同じ物
体が現れないようにした。18 物体のうち 9 物体 (物体群 A) では 9, 45, 81, 117, 153°
方向が正面から右方向へ回転された方向で、27, 63, 99, 135, 171°方向が左方向へ回転さ
れた方向だった。残り 9 物体 (物体群 B) では左右方向をこの逆とした。なお、各実
験において、半数の参加者はこの通りの物体と方向の割り当てで本試行が行われ、残
り半数の参加者では逆の割り当て (すなわち、物体群 A では 27, 63, 99, 135, 171°が右
方向で、9, 45, 81, 117, 153°が左方向) で本試行が行われた。従って、各実験において、

18 物体は 20 の方向すべてで等しい試行数ずつ提示された。各参加者が 360 試行（18 物体×20 方向）の本試行を行うと実験所要時間が長大となるため、このような手続きによって所要時間を低減した。本試行では 18 試行ごとに休憩時間が設けられ、参加者は自由な時間だけ休憩をとることができた。

各試行では、刺激ディスプレイに物体刺激が提示されると同時に反応ディスプレイにも反応用の円盤もしくは矢印が提示された。刺激ディスプレイには、物体の刺激画像に加えて物体名が文字でディスプレイ左上に提示された。これは、方向によって物体の同定が困難となり（例えば、後ろ向きのピアノなど）、物体が同定できなかったために物体方向が評定できなくなるという可能性を排除するための手続きである。参加者は物体を観察してその方向を評定し、反応ディスプレイでその方向を回答するよう教示された。反応に時間制限はなく、参加者は自由に反応ディスプレイを操作することができた（円盤や矢印の方向は何度も調整しなおすことができた）。参加者が十分に反応ディスプレイの方向を調整すると、円盤もしくは矢印の外側に表示されている円のさらに外側の領域（図 22B,C 参照）をマウスでクリックした。このクリックによって、その試行は終了し、その時点での反応ディスプレイの円盤もしくは矢印の方向が評定方向として記録され、刺激ディスプレイと反応ディスプレイには一様な灰色のブランク画面が表示され、自動的に次の試行へと進んだ。

実験参加者には、物体は刺激ディスプレイの表面のすぐ後ろ側にあり、回転台の上に置かれていて様々な方向を向けられるようになっている、とあらかじめ教示した。また、反応ディスプレイの操作に困難を感じるかを練習試行終了後に参加者に尋ねたが、特に困難を報告した参加者はいなかった。

3.1.2. 結果：平均評定方向

物体を右方向に回転した場合と左方向に回転した場合とで評定方向はほとんど同

じだったため、左右方向は区別しないこととした。すなわち、独立変数は 9, 27, 45, 63, 81, 99, 117, 135, 153, 171°の 10 方向とし、それぞれの方向における本試行での評定方向の平均値を求めた。なお、評定方向が実際の方向と 45°以上異なっていた試行は、誤答試行として以下のすべての分析から除外した。全試行に占める誤答試行の割合は、実験 5A で 1.40%、実験 5B で 1.81%、実験 5C で 1.67%だった。

実験 5A の結果を図 24 に示す。平均評定方向は、実際の物体方向から一定のずれを見せていた。前や横、後ろに近い 9, 81, 99, 171°方向では比較的ずれは少ないが、45, 135°などの斜めの方向ではずれが大きい。しかも、45°条件の平均評定方向は 55.3°、135°条件の平均評定方向は 130.4°といったように、実際よりも横方向（90°）に偏った方向が報告されていたことがわかる。このずれの量について調べるため、平均評定方向から実際の方向を引いた差分の値（偏差量）を求めた（図 24B）。平均評定方向が実際の方向から有意にずれていたかを検討するため、この偏差量が 0 から有意に外れているかを条件ごとに t 検定（有意水準 5%）によって検討した。その結果、図に示されているように 117°条件以外の全ての条件で平均評定方向が実際の方向からずれていたことがわかった。すなわち、7~99°条件では物体は実際よりもやや後ろに向いているように、また 135~171°条件では実際よりも前を向いているように知覚されていたと考えられる。

同様の分析を実験 5B, 5C についても行ったが、類似した結果が得られた。反応ディスプレイを参加者の視点に正対するように傾けた実験 5B の結果（図 25）では、やはり各条件について t 検定（有意水準 5%）を行ったところ、9~81°条件および 153~171°条件で平均評定方向が実際の方向から有意にずれていたことがわかった。斜め方向の条件で評定方向が横（90°）方向へと偏るという結果は実験 5A と同じだが、90°より前の方向でずれが大きく 90°より後ろの方向でずれが小さいという偏差量の非対称性は実験 5A よりも顕著である。

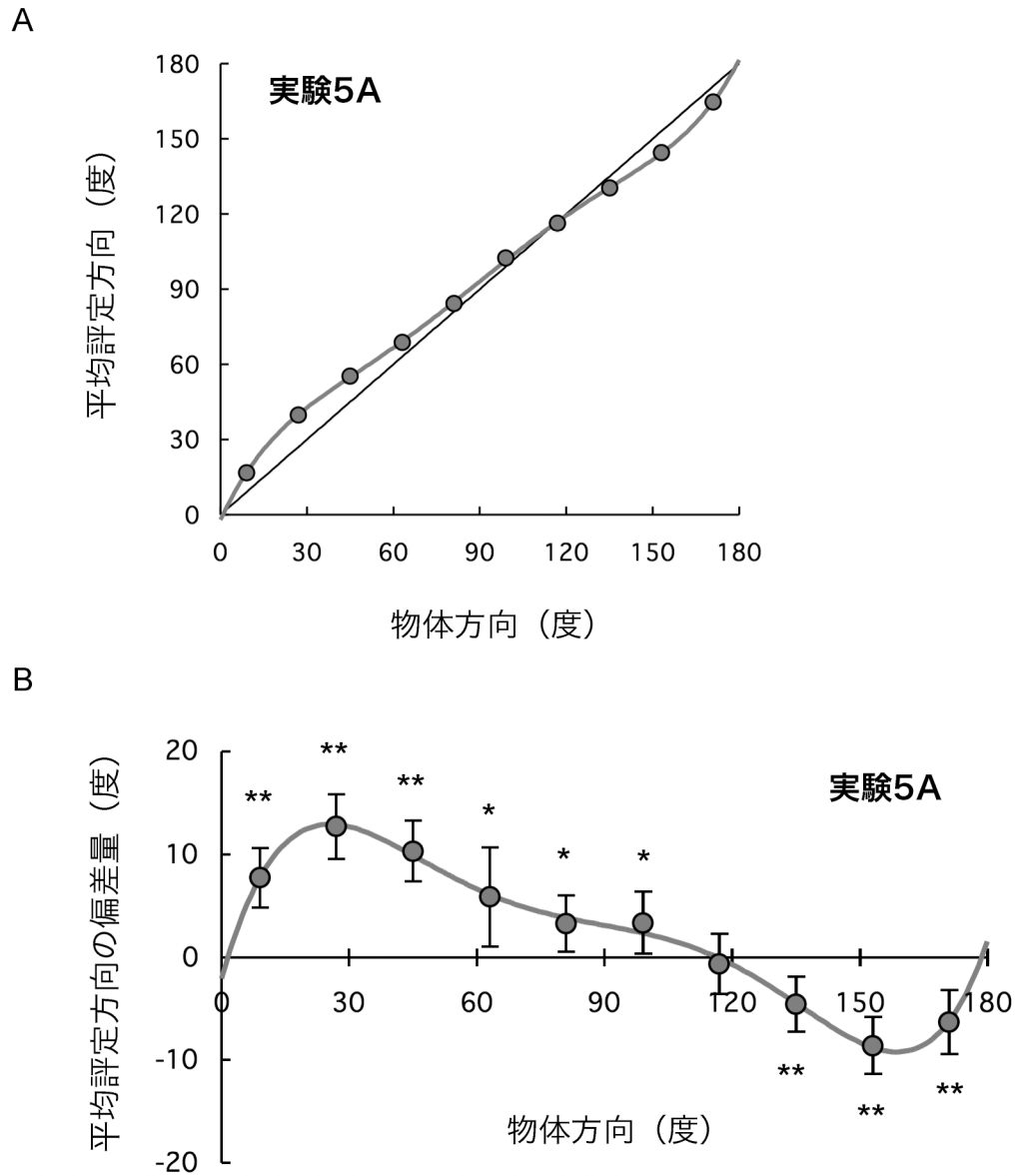
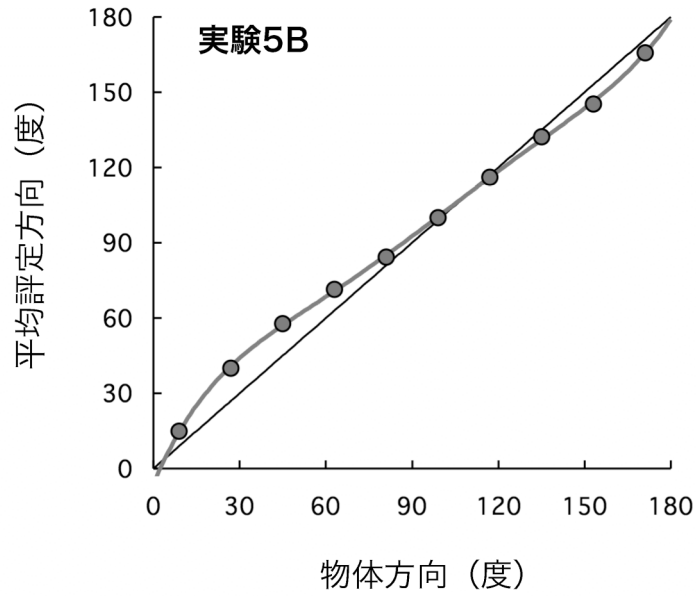


図 24. 実験 5A (物体方向の評定実験) の結果。A, 実際の物体方向と平均評定方向との関係。データプロットに対して近似した 5 次曲線を同時に示している。B, 平均評定方向から実際の方向を引いた偏差量を表した図。斜め方向で偏差量が多いことがわかる。誤差線は 95%信頼区間を表す。** $p < .01$, * $p < .05$.

A



B

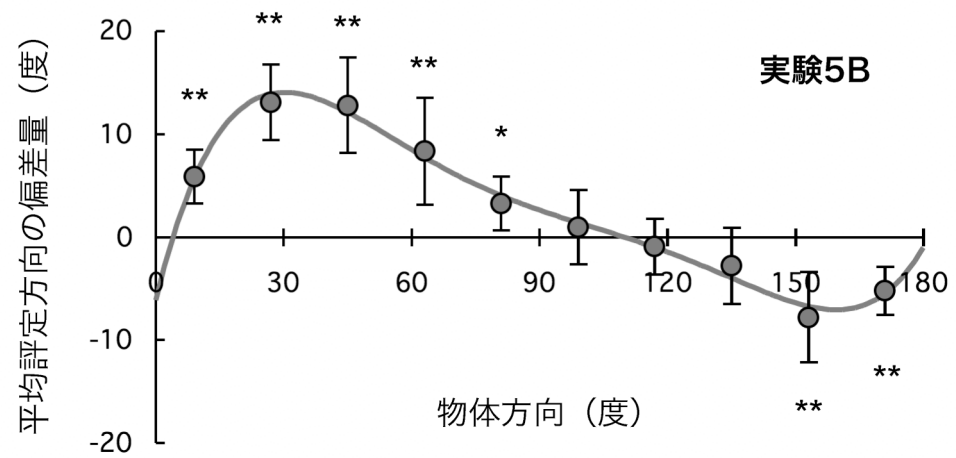


図 25. 実験 5B (反応ディスプレイを斜め 45°の角度で設置) の結果。実験 5A と同様の結果となっている。A, 実際の物体方向と平均評定方向との関係。B, 平均評定方向から実際の方向を引いた偏差量。誤差線は 95%信頼区間を表す。** $p < .01$, * $p < .05$.

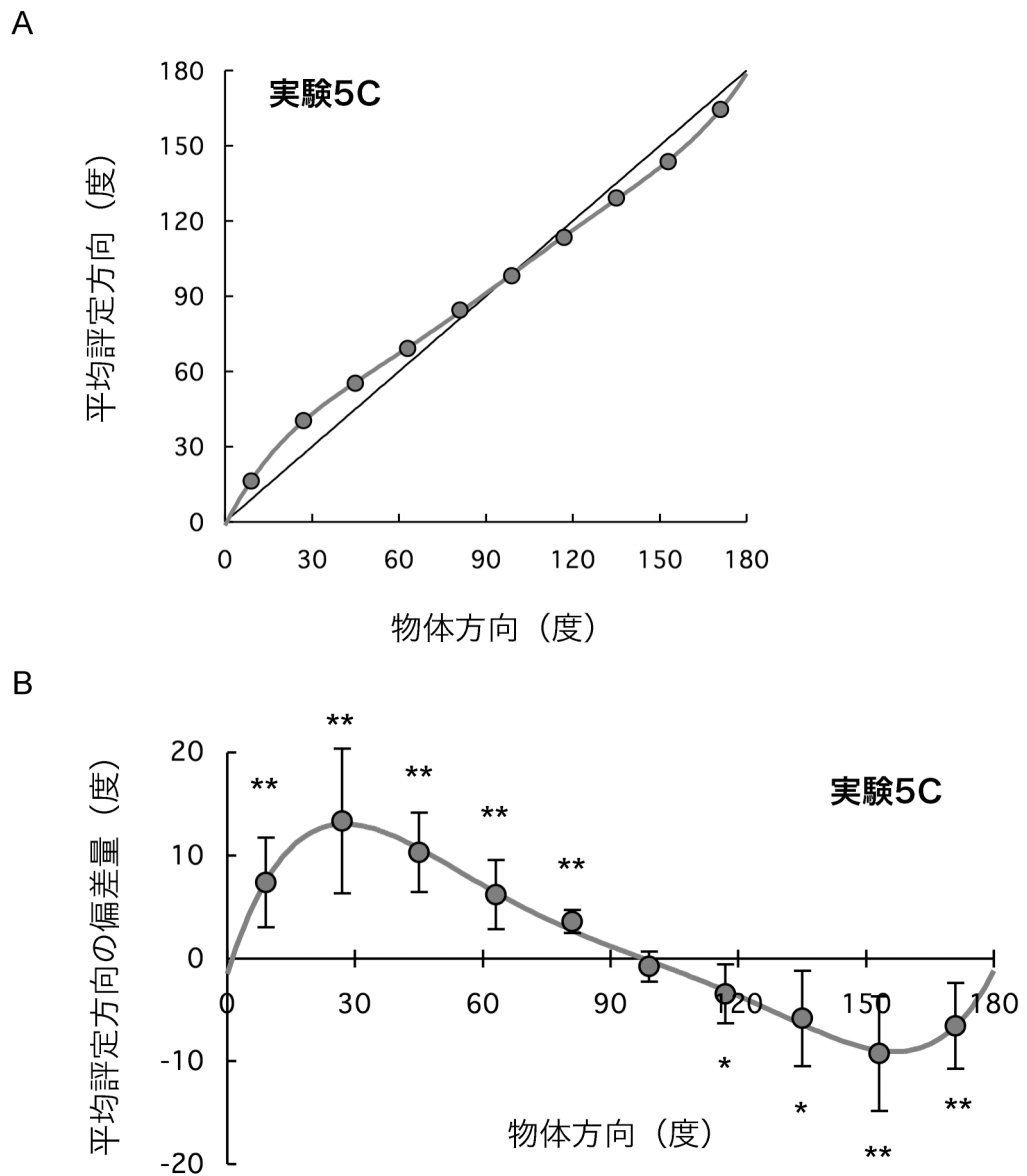


図 26. 実験 5C (反応ディスプレイに円盤ではなく矢印を使用) の結果。やはり実験 5A と同様の結果である。A, 実際の物体方向と平均評定方向との関係。B, 平均評定方向から実際の方向を引いた偏差量。誤差線は 95%信頼区間を表す。** $p < .01$, * $p < .05$.

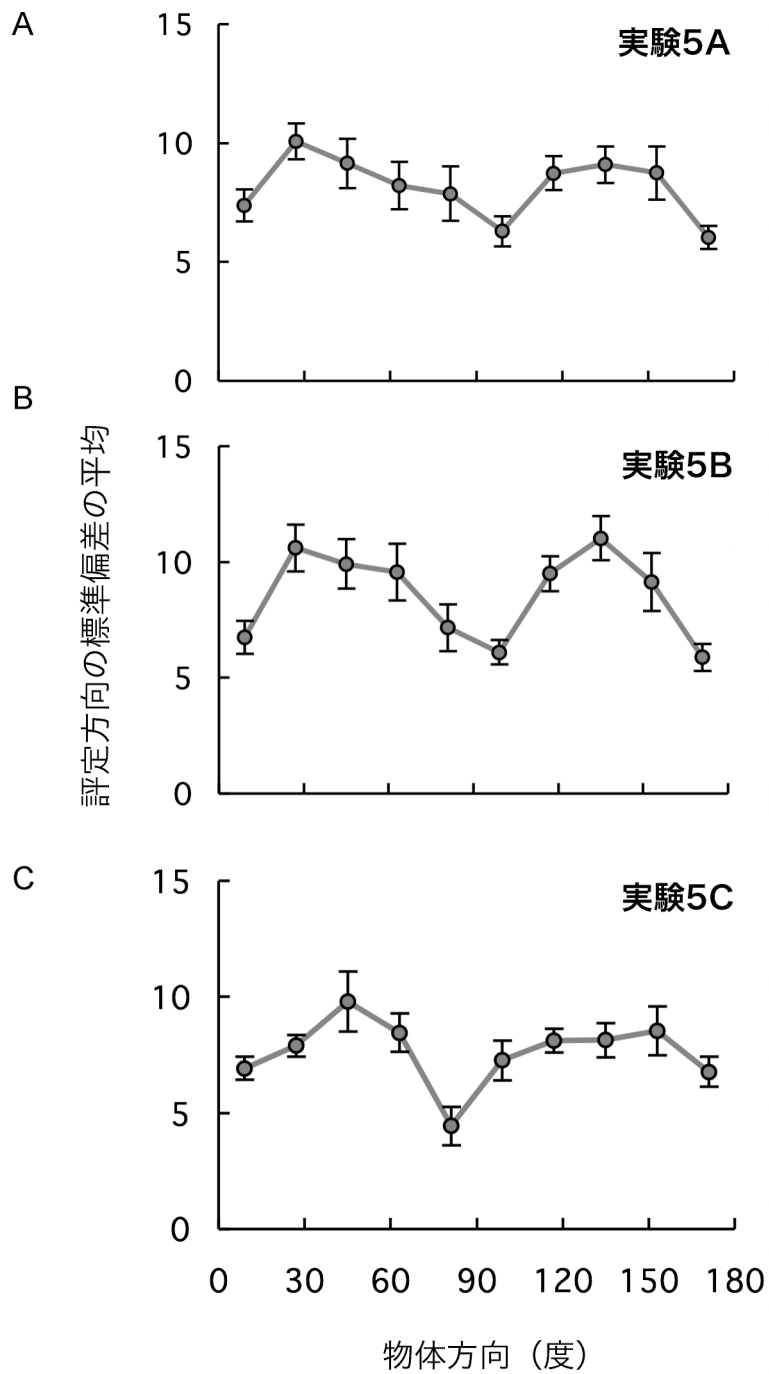


図 27. 実験 5A, 5B, 5C の結果について、参加者ごとに各物体方向での評価方向の標準偏差を算出し、それを平均した結果。いずれの実験においても、斜め方向では標準偏差が大きく、評価に大きなばらつきがあったことを示している。誤差線は標準誤差を表す。

反応ディスプレイに矢印を用いた実験 5C の結果 (図 26) でも、やはり斜め方向の条件で 90°方向に偏った評定方向が得られている。条件ごとの t 検定 (有意水準 5%) の結果、9~81°条件および 117~171°条件で平均評定方向が有意に実際の方向と異なっていたことがわかった。実験 5A, 5B とは異なり、実験 5C ではずれの量が 90°より前方向の条件と 90°より後ろ方向の条件で比較的同等であり、対称な結果が得られている。実験 5A, 5B でずれの量が非対称だったのは、円盤の反応ディスプレイを用いていたことが原因だったと推測される。

3.1.3. 結果：評定方向の標準偏差

次に、評定された方向はどれくらいのばらつきを伴っていたのかを、評定方向の標準偏差を調べることで検討した。実験参加者ごとに、9~171°の各条件で評定方向の標準偏差を求め、その平均値をとった (図 27)。評定方向の標準偏差の値が大きければ、その条件では参加者の評定には一貫性が少なく、得られた物体方向の表象は精度が低いものだったと考えられる。この標準偏差の平均値が、物体方向によって異なっていたかを検討した。

まず実験 5A の結果 (図 27A) では、前や横、後ろに近い方向の条件で評定の標準偏差が少なく、斜め方向の条件で大きい傾向が見られている。条件によって標準偏差の平均値が異なっていたかを調べるため、対応のある 1 要因の分散分析を行ったところ、有意な物体方向の主効果が見られた ($F(9, 81) = 3.01, p < .01$)。テューキーの HSD 法による下位検定の結果、27°条件の標準偏差が 99°条件より ($p < .05$)、また 171°条件より ($p < .01$) 有意に大きいことがわかった。

実験 5B の結果 (図 27B) に対しても同じ分析を行ったが、実験 5A と同様の傾向がより統計的に明確に見られた。まず分散分析の結果、物体方向の主効果が有意だった ($F(9, 63) = 6.10, p < .01$)。下位検定の結果によると、9°条件の標準偏差は 27, 135°条

件より小さく ($p < .05$), 99°条件の標準偏差は 27, 135°条件より ($p < .01$), また 45°条件より ($p < .05$) 小さかった。171°条件の標準偏差は 27, 135°条件より小さく ($p < .01$), また 45, 63, 117, 153°条件よりも小さかった ($p < .05$)。また, 81°条件と 135°条件の間にも有意差が見られた ($p < .05$)。まとめると, 前や横・後ろ方向に近い 9, 81, 99, 171°条件では, それ以外の斜め方向の条件よりも評定方向の標準偏差が有意に小さかった。

実験 5C の結果 (図 27C) も, やはり同様の傾向だった。分散分析の結果, 物体方向の主効果が有意で ($F(9, 63) = 4.22, p < .01$), 下位検定の結果 81°条件の標準偏差が 27, 45, 63, 153°の各条件より有意に小さく ($p < .01$), また 117, 135°条件よりも有意に小さい ($p < .05$) ことがわかった。やはり, 斜め方向の条件では物体方向の評定に相対的に大きなばらつきが生じていたと考えられる。

3.1.4. 考察

本実験の結果は, 日常物体の方向知覚は前や横, 後ろ方向では正確だが, 斜め方向では不正確だという実験 1~4 で得られた示唆を, 明確に裏付けるものである。加えて, 斜めの物体方向の知覚が不正確なのは, 知覚された主観的な方向が実際の方向から平均的にずれていて, かつばらつきも大きいためだということが明らかになった。図 21 に示した「分散の違い」モデルと「平均の違い」モデルの, 両方が支持されたと言えるだろう。そもそもこの 2 つのモデルは排他的なものではなく, 主観的な物体方向の「平均の違い」も, 「分散の違い」から説明できる可能性がある。例えば, 30°方向の物体像を符合化しているニューロンと, 45°方向の物体像を符合化しているニューロンがあるとしよう。「分散の違い」モデルに従って考えると, 45°ニューロンは 30°ニューロンよりも物体方向に対する選択性が低い。このため, 30°と 45°の間である 37.5°の物体像が提示されたならば, これに対して 30°ニューロンは 20%程度の反応しか示さないが, 45°ニューロンはより高く, 30%程度の反応を示すかも知れない。両者の反

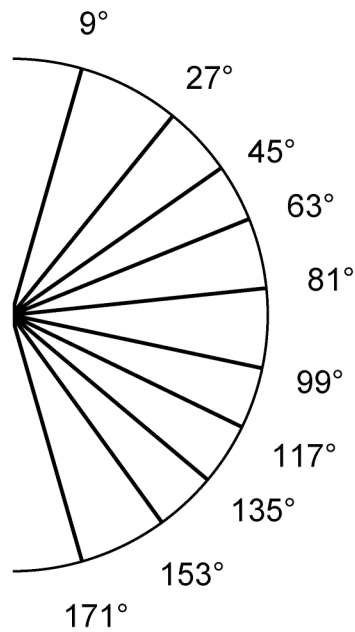


図 28. 実験 5A の結果を模式的に示す。数字が表す物体方向に対する平均評定方向を、線分の傾きで表している。実際には一定 (18°) である各物体方向の間隔が、主観的には斜め方向付近で小さくなっていたことがわかる。

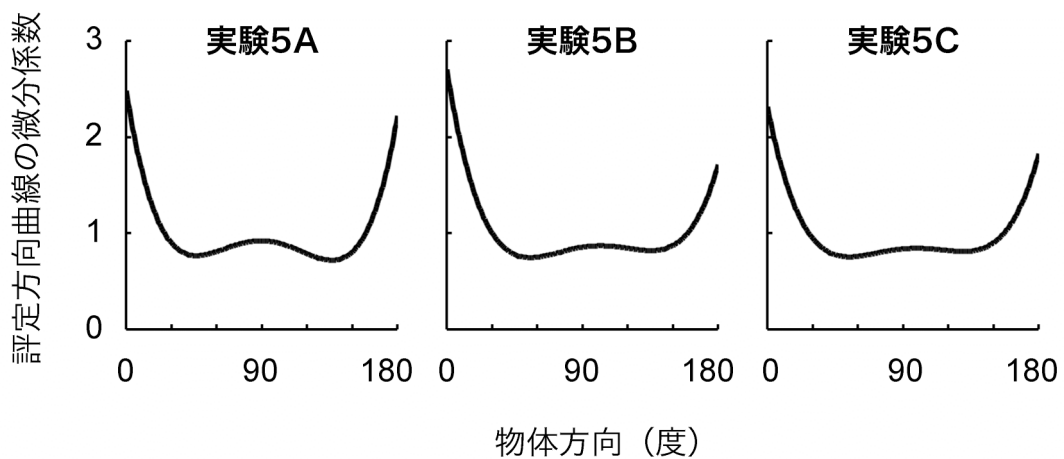


図 29. 実験 5A～C で得られた平均評定方向の結果に近似した 5 次曲線の微分係数。この値が大きいほど、実際の物体方向の変化に対して主観的な物体方向の変化が大きく、物体方向に対する感度が高いことを表す。前や後ろ方向では感度が高く、斜め方向では感度が低くなっていることがわかる。

応の比率によって主観的な物体方向が決定されたとすると、結果として 37.5° 方向は実際よりも 45° に近い方向に偏って知覚されてしまうと考えられる。

実験 5A, 5B では、斜め方向だけでなく真横方向 (90°) もわずかながら後ろ方向へ偏って知覚されている傾向が見られた。しかし、この傾向は矢印の反応ディスプレイを用いた実験 5C ではほとんど消えており、実験 5A, 5B で用いた円盤による反応ディスプレイの影響だと考えられる。円盤の反応ディスプレイでは正しく 90° に円盤の方向を調整するのが難しく、 90° よりやや後ろ寄りの方向に調整してしまう反応バイアスがあったのではないだろうか。

さて、本実験の結果で興味深いのは、斜めの物体方向の表象が単に精度が低い（主観的方向のばらつきが大きい）だけでなく、一定の誤りを伴っているという点である。つまり、斜めの方向はより横方向に近い方向として知覚されていた。逆に言えば、前や後ろ方向から実際よりも離れた方向として知覚されていた。実験 5A の結果に基づいて、主観的な物体方向がどのように偏っているかを模式的に表したのが図 28 である。実際には等しい (18°) 各条件間の物体方向の差が、主観的には前や後ろ方向付近で大きく、斜め方向では縮まっていることがわかる。実験 1~4 で前や後ろ方向からの 15° の方向ずれが検出しやすかったのは、そもそも 15° の方向ずれが過大視されていたからだとも解釈できる。さまざまな物体方向において、その方向から物体方向がずれた時に、その方向ずれがどの程度過大視されるかを、実験 5A, 5B, 5C の結果から推定することができる。図 24A, 25A, 26A は平均評定方向のデータに 5 次曲線をあてはめたものだが、これらの曲線の微分係数が、物体方向ずれに対する感度の指標となる。その結果を示したのが図 29 である。 $0, 180^\circ$ 方向では、物体方向のずれが非常に大きく過大視されることがわかる。 90° 方向では微分係数はほぼ 1 に等しく、実際の方向ずれと主観的な方向ずれに差がなく正確な方向知覚がなされていることがわかる。一方で、 45° や 135° などの斜めの方向では微分係数は 1 を下回り（実験 5A の場合 0.77 および



図 30. 前方向の手がかりとなる水平輪郭線は、斜め 45°の物体方向では 45°の傾きになるわけではない。

0.72), 方向ずれに対する感度が低いことがわかる。これは, 0, 180°で最も方向ずれ検出が容易で, 90°でもいくらか成績がよく, 45, 135°では成績が悪いという実験 1~4 の結果と一貫した特性だと言えるだろう。

主観的な物体方向がこのように偏っていることは, 前や後ろ方向では水平輪郭線などの方向特異的な視覚的手がかりが豊富なためにその方向の知覚が正確になるという実験 1~4 で得られた知見だけでは説明できないかも知れない。方向特異的な視覚的手がかりによって物体方向知覚の精度が高まりばらつきが小さくなることは考えられるが, 斜めの物体方向が横方向に偏って知覚されることとは必ずしも関係がないと考えられるからだ。

では, 斜め方向での偏った方向知覚が, 物体の直線的輪郭線の画像上での方位に影響された結果だという可能性はないだろうか。例えば家のような直方体様の物体では, その正面下端の輪郭線は 0°の物体方向では水平となるが, 45°の物体方向では 2 次元像の上では水平方位から 45°の傾きとはならず, それよりも小さな傾きとなる (図 30)。このような効果が, 斜め方向の知覚に偏りをもたらさしめないだろうか。この点について検討するため, 実験 1 の分析と同様に刺激物体を直線物体と曲線物体に分け (2.1.4. 水平輪郭線の影響の検討 を参照), 直線的な輪郭線に富む直線物体で評定方向の偏りが大きいかどうかを検討した。その結果を図 31 に示す。実験 5A~5C のいずれにおい

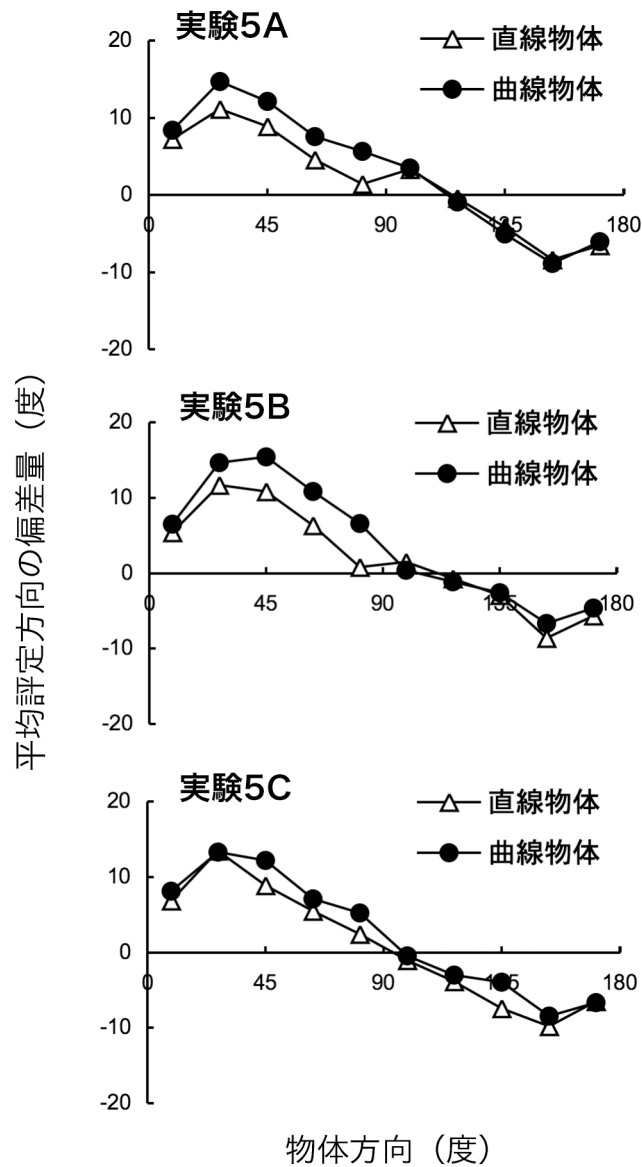


図 31. 実験 5A～C の偏差量の結果を、直線物体と曲線物体とに分けて示す。直線物体では、曲線物体に比べて、物体方向 0～90°の範囲で偏差量がやや少なくなっている。

ても、直線物体はむしろ曲線物体よりも評定方向がより正確に（実際の方向に近く）なっていた。従って、直線的輪郭線が評定方向の偏りの原因とは言えない。むしろ、直線的輪郭線は部分的には斜め方向での主観的物体方向の誤りを低減するために役立てられているかも知れない。図 30 に例として挙げた家のような直線的物体には、正面や側面が長方形の形状をしているものが多い。これらの形状は、斜めの物体方向では歪んだ四角形の像となるが、形状知覚の恒常性によって、あるいは「一般に家という物体の正面や側面は長方形である」という既存の知識をトップダウンに活用することによって、その歪んだ四角形の像が本来は長方形であるという仮定を置くことができる。この仮定の下で、像の歪み方から物体方向を逆算し推定することが理論的には可能であり、物体方向の評定をいくらか正確にしていたかも知れない（ただし、その効果は図 31 に現れているように 90° よりも前の方向でしか見られていないため、参加者が意図的に物体の正面形状のみを手がかりとして利用する方略を用いていた可能性はあるだろう）。

それでは、なぜ斜めの物体方向は横方向に偏って知覚されるのだろうか。ここでは 2 つの仮説的説明を提示したい。第一の説明は、物体方向知覚が想像上の物体前後軸に影響されるというものである。本実験で参加者が物体方向の評定する際、図 32A に模式的に表したように、刺激物体の前後軸を刺激画像上に推定していたかも知れない。実際、実験後の参加者に内観報告を求めたところ、物体の前後軸や、物体の進む方向（三輪車などの移動する物体の場合）を想像したという報告が聞かれることがあった。この物体前後軸は、図 32B のように、前や後ろの物体方向付近で方向が変化すると、その画像上の傾きの角度を大きく変える。しかし、横方向付近では同じだけ物体方向が変化しても、像の上での物体前後軸の傾きの変化は少ない。もし想像された物体前後軸の画面上の方位を物体方向の手がかりとしていたならば、このような傾向のために斜めの物体方向が横方向に偏って評定されていたと考えられる。

A



B

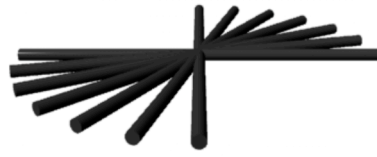


図 32. A, 物体の前後軸を模式的に表す。B, 前後軸を 15° おきに回転させた様子。前方向付近では、横方向付近に比べ、画像上の角度が大きく変化する。

この第一の説明は、実験 1 の考察 (2.1.3.) でもすでに触れている傾き効果 (oblique effect) を 3 次元空間に類推的に拡張したものと言えるかも知れない。前額平行面における線分の方位の知覚が斜めよりは垂直・水平の方位に対してより正確であるのと同様に、3 次元空間内にある物体前後軸の方向の知覚も斜めより前・横・後ろ方向に対して正確だ、というわけである。傾き効果が 2 次元・3 次元を問わずヒトの空間的知覚・認知全般に共通して見られる特性かも知れない、という仮説は魅力的ではある。しかし、この点についての詳細な議論は本論文の範囲を超えてしまうだろう。本実験から得られた示唆のひとつとして提示するにとどめておきたい。

第二の説明は、見えのカテゴリ的知覚によるものである。実験 1~4 の結果についての考察 (2.5.) で議論したように、前や後ろ方向での物体の見えは、その方向に特異的な見えのカテゴリを形成し、その他の斜めの物体方向では比較的広い範囲の物体方向が同じ見えのカテゴリを形成していると考えられる。そのため、例えば 15° の物体方向での物体の見えは、 0° での見えとは異なるカテゴリとなるために 0° との方向の違いは過大視されるだろう。一方で、 15° での見えは 30° での見えとは似ている。もし 15° の見えが、 $10^\circ \sim 80^\circ$ 程度の広い物体方向を含む「斜め前方向の見え」のカテゴリに属する見えとして処理されるならば、そのカテゴリの中心的・平均的な物体方向（例え

ば 45°) に偏った物体方向を回答してしまうかも知れない。

3.2. まとめと考察

斜めの物体方向では方向知覚が単に精度が低いだけではなく、実際よりも横方向に偏って知覚されるという実験 5 の結果は、物体方向知覚がカテゴリ的だという実験 1 ～4 の示唆をさらに支持するものだと言えるだろう。斜めの方向の物体の見えでは、物体方向の手がかりとなるような視覚的特徴が乏しく、正確な物体方向がわかりにくい。そのため、「似たような」見えをもたらす近隣の他の物体方向と混同されるのだろうが、ランダムに混同されるのではなく横方向に近い方向と混同されやすいという傾向は興味深いものである。おそらく、斜め方向の見えが共通して持つ視覚的特徴を最も多く含んでいるような「最も典型的な斜めの見え」があり、たいていの斜め方向の見えは多かれ少なかれこの「最も典型的な斜めの見え」と混同されやすいからではないだろうか。例えば、15, 30, 45, 60, 75°の 5 つの方向でのカエルの像があったとする。15°のカエルの像が持つ視覚的特徴のうち他の 4 つの像のいずれか 1 つとでも共有している特徴の割合は、せいぜい 20% 程度かも知れない。しかし、45°のカエルの像が持つ視覚的特徴の 60% は、他の 4 つの見えのいずれか 1 つとでも共有されていて、その割合は他のどの像よりも高いかも知れない。この場合、45°の見えが「最も典型的な斜めの見え」であり、結果として物体方向知覚がこの見えをもたらす方向に偏って判断されると考えられる。

「最も典型的な斜めの見え」とは、多くの物体方向の見えが共通して持つ視覚的特徴、つまり方向非依存的な視覚的特徴を最も多く含む見えである。従って、実験 5 の結果からその方向を推定するならば、物体方向ずれに対する感度が最も低い方向とし

て推定できるだろう。すなわち、平均評定方向曲線の微分係数（図 29）が最も小さくなるような方向である。実際にこれを計算すると、実験 5A の結果で 90° より前方向では約 47° 、 90° より後ろ方向では約 137° となった。同様に実験 5B の結果からは約 55° と約 135° 、実験 5C の結果からは約 55° と約 130° という結果が得られた。物体方向は、これらの「最も典型的な斜め」の方向を中心とした「前斜め」方向および「後ろ斜め」方向と、前方向・横方向・後ろ方向の各カテゴリに分類して処理されているのではないだろうか。加えて、前斜め方向の「最も典型的な斜め」方向の見えに関しては、Palmer et al. (1981)などの先行研究が報告している日常物体の典型的な見え（canonical view）にあたるものだと言えるかも知れない。

ただ、これまで述べてきたような議論は、物体の見えがカテゴリ的に知覚されているという原因によって物体方向知覚もカテゴリ的になるという因果関係を仮定したものである。3.1.4. 考察 の最後で述べた、実験 5 の結果についての 2 つの説明のうち、第 2 の説明（物体の見えがカテゴリ的に知覚されることが原因）に基づけば、この因果関係が導かれる。しかし、もう一方の説明（物体前後軸を画像上に推定することが原因）をとるならば、逆の因果関係もあり得るだろう。すなわち、まず前後軸の推定によって物体方向が偏って知覚されるため、物体方向知覚がカテゴリ的になり、ひいては物体の見えもカテゴリ的に知覚されるようになる、という因果関係である。どちらが原因でどちらが結果であるかは、本実験の結果だけでは明らかなにはできない。

しかしながら、物体方向知覚と物体の見えの知覚とは、そもそもどちらが原因でどちらが結果というように分けて考えられるものではなく、つまるところ同じ視覚処理過程なのかも知れない。実験 1～4 の課題は、物体方向のずれを検出する課題ではあったが、実際に必要とされるのは像の異同判断にすぎない。一方、実験 5 の課題は直接に物体方向を参加者に回答してもらうものである。もし実験 5 の結果が、「平均の違い」仮説を棄却し、「分散の違い」仮説のみを支持するものだったならば、実験 1～4 の結

果が示すように物体の見える知覚はカテゴリー的だが、物体方向知覚はカテゴリー的ではなく物理的方向を正確に反映することになり、両者は異なる処理過程に基づいているという可能性があるだろう。しかし、実際にはそのような結果にはならなかった。物体方向知覚は、物体前後軸の想定というような抽象的な過程ではなく、物体の見える知覚と同じ過程に基づいたものだと考えるのが妥当なのであろう。

第4章 物体方向知覚と典型的見え・偶然の見え

これまでの実験の結果は、日常物体の物体方向知覚が見えの表象に依存していることを示唆している。前や横・後ろの見えでは物体方向が容易かつ正確に知覚されるが、その他の斜めの見えでは方向知覚が困難で不正確（精度が低く、かつ偏りがある）だった。すでに言及したように、物体方向知覚のこのような特性は、偶然的見え（多くは前や上の見えである）は物体方向知覚が正確な見えだが、典型的見え（多くは斜めの見えである）は方向知覚が不正確な見えだ、ということを示唆している。

本章では、典型的見え・偶然的見えと物体方向知覚との間に本当にそのような関係があるのかを、実験的証拠に基づいて検討してゆく。偶然的見えでは物体同定課題の成績が低く、また見えの良さや親近性も低いと考えられている（Blanz et al., 1999; Palmer, 1999; Palmer et al., 1981; Verfaillie & Boutsen, 1995）。典型的見えはその逆である。そこで、物体同定課題や見えの良さの評定、見えの親近性の評定などの結果が、物体方向知覚課題の成績とどのような関係にあるのかを、偶然的見えだと考えられる前・横・上の見えと、典型的見えだと考えられる斜めの見えとについて検討した。

4.1. 長軸がない日常物体の同定の視点依存性

これまでの実験結果では、前や横、後ろ方向で物体方向知覚が正確になることがわかっていて、では、これらの方向での物体の見えは、物体同定が難しくなる偶然的見えだと言えるのだろうか。序論で述べたように、先行研究では、長軸が圧縮した見えで物体同定が難しくなることが知られている（Humphrey & Jolicoeur, 1993; Newell & Findlay, 1997）。そして本論文の実験4が示したとおり、明確な長軸のある日常物体で長軸が圧縮されると物体方向ずれの検出が容易になる。従って、確かに長軸が圧縮さ

れている偶然的見えでは、物体同定が難しく、方向知覚が正確になると言えるだろう。

では、本論文の実験 1～3 および実験 5 で用いたような、明確な長軸のない物体の場合はどうだろうか。実験 1～3 の結果では、前および後ろ方向で物体方向ずれ検出成績が良く、横方向でもやや成績が良かった。また実験 5 の結果では、前・横・後ろ方向で主観的な物体方向が正確であることが示唆されている。長軸がない物体でも、これらの物体方向知覚が正確になる方向では物体同定が難しくなるのだろうか。また、しばしば偶然的見えの例として挙げられる上方向の見え (e.g., Biederman, 1987; Newell & Findlay, 1997) も、長軸が圧縮されていなくとも物体同定が難しいのだろうか。

長軸のない日常物体の同定の視点依存性について調べた研究として、野々瀬 (2006) がある。この研究では、物体の名称と画像との継時マッチング課題によって物体同定の視点依存性を調べている。刺激に用いられたのは、明確な前後軸・上下軸を有するが、奥行き（前後長）と幅（左右長）の比が 1.5 以下である（つまり、明確な長軸を有しない）24 の日常物体だった。各試行ではまず物体名の単語がコンピュータ画面に 2000 ミリ秒間提示され、続いて 500 ミリ秒の空白画面と 1000 ミリ秒の注視点が提示され、その後に物体の画像が提示された。実験参加者は、画像の物体が物体名の表すものであるかどうかをできるだけ速く 2 肢強制選択で回答した。全体の半数の試行では物体名と一致する物体の画像が提示され（一致試行）、残り半数の試行では物体名とは異なる物体の画像が提示された（不一致試行）。物体画像は刺激物体の 3D モデルデータを 0, 15, 30, 45, 60, 75, 90° の 7 つの視点から画像にしたもので（本研究と同様に 0° は前を、90° は横を表す）、各試行にどの視点の画像が現れるかはランダムだった。明確な長軸のない物体では、長軸圧縮の効果がほとんどないため、どの視点でも偶然的見えにはならず物体同定が難しくなることもないとするならば、視点によって物体同定課題の成績（反応時間と誤答率）は変化せず一定になるはずである。しかし反応時間の結果からは、明らかな視点依存性が見られた（図 33A）。前と横の視点では、斜め

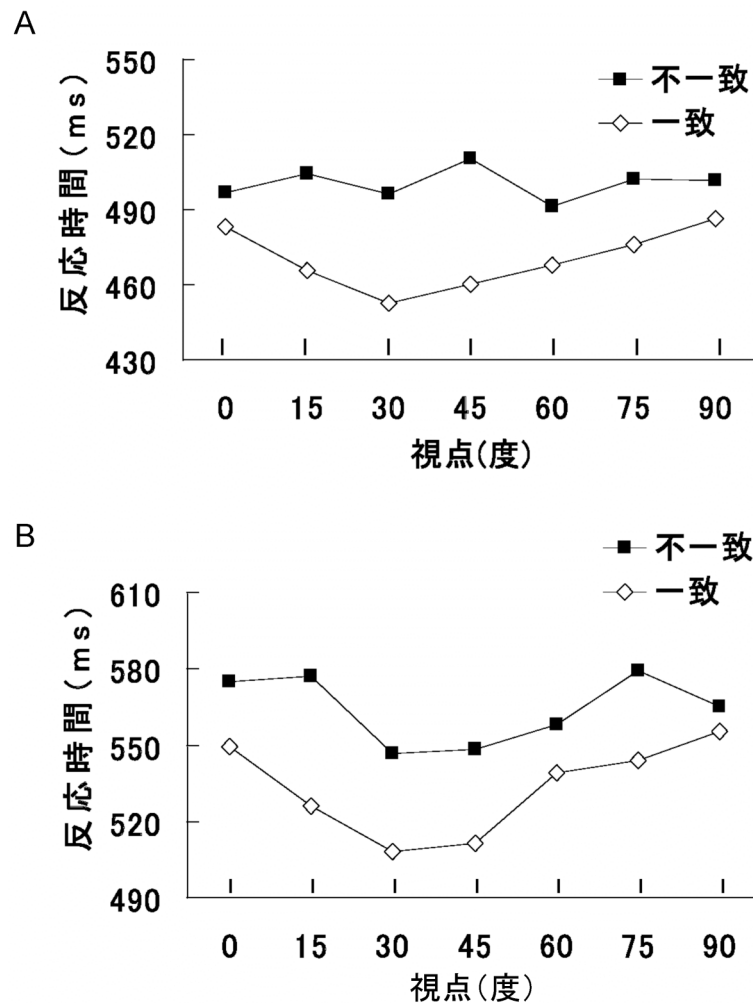


図 33. 野々瀬 (2006) の実験 1 (A) および実験 2 (B) の結果。前後や左右に細長くない日常物体でも、前や横方向では物体同定課題の成績が低下する。

(30°) の視点に比べて有意に反応時間が長くなっていたのである。従って、明確な長軸のない物体でも、前と横の見えは物体同定が難しい偶然的見えだと言える。

ただし、この実験で用いられた刺激物体は、奥行きと幅の長さの比が小さいとは言え、奥行き・幅・高さの3つの軸のうち奥行きもしくは幅が最長軸となっている物体でもあった。そのため、顕著ではないとは言え最長軸の圧縮によって前と横の視点で物体同定が難しくなっていた可能性もある。そこで野々瀬 (2006) の実験 2 は、奥行

きと幅の比が小さいのみならず、高さが最長であるような日常物体 12 種を刺激に用いて同じ課題を行っている。その結果、やはり変わらずに 0° と 90° の視点で 30° より反応が有意に遅延していたのである (図 33B)。このように、長軸が圧縮されていない見えであっても、前や横の物体方向では斜めの方向よりも物体同定が難しくなる。

前・横方向だけでなく上方向も含めて、明確な長軸のない日常物体の同定の視点依存性を調べた研究としては、Niimi & Yokosawa (2007) がある。野々瀬 (2006) と同様の物体名と物体画像の継時マッチング課題を用いた実験で、物体画像刺激には前・上・横・斜めの 4 つの視点条件があった (図 34A)。ここで斜め方向は、前・上・横のいずれの方向からも等しい角距離になる方向として定められている。刺激となった物体はやはり奥行き・幅・高さの比が 1.7 以下であるような明確な長軸のない日常物体で、しかも奥行きが最長の物体、幅が最長の物体、高さが最長の物体が等数ずつ、合計 36 物体だった。その結果、反応時間・誤答率ともに、前および上条件で横・斜め条件より有意に同定成績が低下していた (図 34B)。また、上条件は前条件よりもさらに低い成績となっていた。この結果は、明確な長軸のない物体でも、上方向の見えは物体同定が非常に難しい偶然的見えだということを示している。また、前方向の見えで同定成績が低くなっていたのは野々瀬 (2006) と同じ結果である。

ただし、横条件では斜め条件と同程度の同定成績となっており、横 (90°) の視点で斜めの視点より同定成績が低下していた野々瀬 (2006) の結果とは一致していない。この相違の原因はいくつか考えられる。第一に、野々瀬 (2006) の刺激物体には横方向で偶然的見えになりやすい物体が多く含まれていたのかも知れない。第二に、野々瀬 (2006) では視点が $0 \sim 90^\circ$ の範囲内でのみ変化したので、実験参加者はその中間である斜め方向に対して構えを形成し、その結果として斜め方向から遠い視点である横方向での成績が低下した可能性がある。しかし、いずれにせよ重要なのは、横方向は常に偶然的見えになるとは限らないということだろう。前や上方向の見えがほとんど

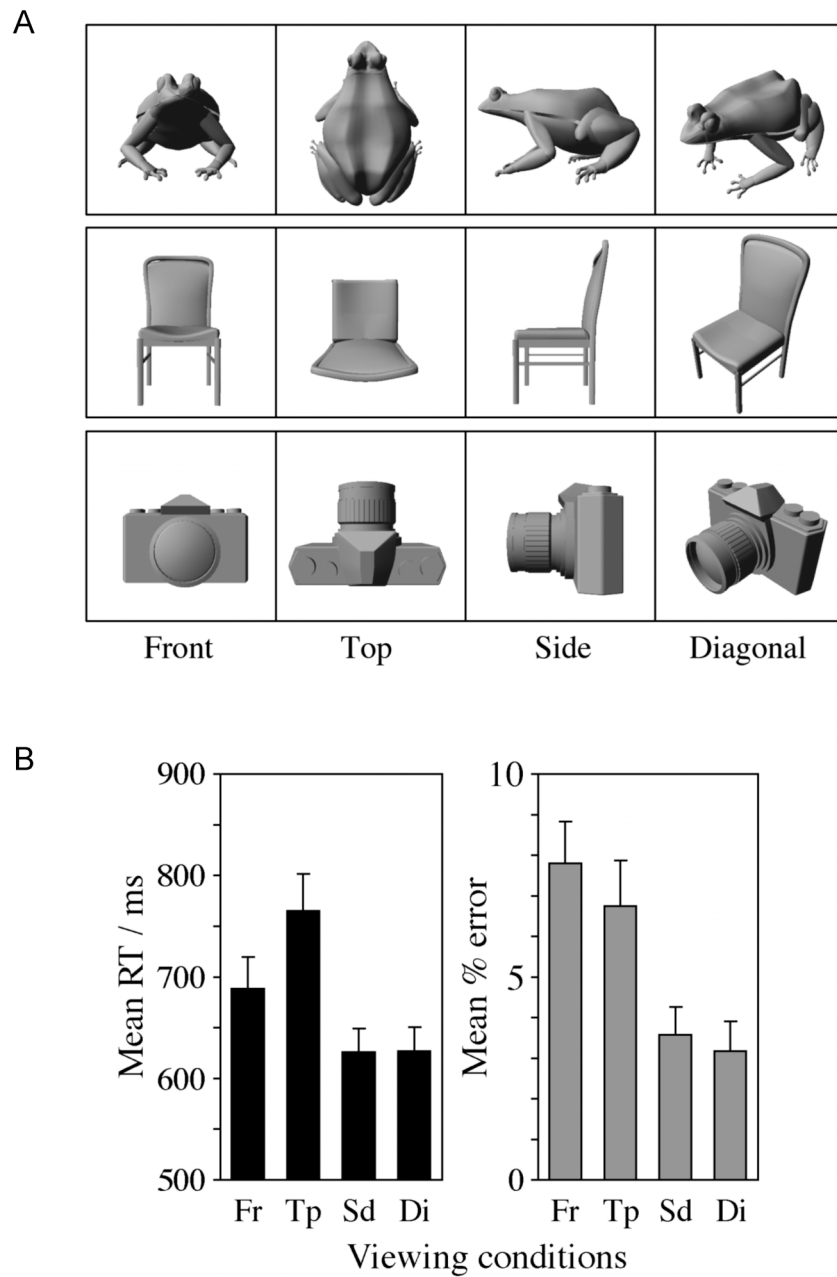


図 34. Niimi & Yokosawa (2007) は、明確な長軸のない日常物体の同定課題成績が、前・上・横・斜めの4方向でどのように変化するかを検討した。A, 刺激の例。B, 反応時間および誤答率の結果。前と上方向で成績が低下している。Fr = Front, Tp = Top, Sd = Side, Di = Diagonal.

の場合に偶然的見えとなるのに対して、横方向が偶然的見えにならない物体も少なくないと考えられる。明確な長軸を持つ日常物体を刺激に用いた Lawson & Humphreys (1999)の研究でも、真横の見えで同定成績がわずかに低下することが報告されている。

本論文の実験1や2の結果を見ても、斜め方向(45, 135°)に比べて前・横・後ろ方向(0, 90, 180°)での方向ずれ検出成績は良くなるが、横方向での成績向上は前・後ろ方向に比してかなり小さいものだった(図11, 14)。野々瀬(2006)および Niimi & Yokosawa (2007)の知見をあわせて考えれば、長軸圧縮の効果がなくてもやはり物体方向知覚の成績と物体同定課題の成績は反対の傾向を示すのだと考えられる。前方向では偶然的見えとなり、物体同定は難しく、物体方向知覚は正確である。斜め方向では典型的見えとなり、物体同定は容易だが方向知覚は難しい。そして横方向では、物体同定がいくらか難しく、方向知覚の成績もいくらか向上することがあるが、多くの場合は斜め方向とあまり変わらないと考えられる。

上方向の見えについては、前述のように物体同定が難しい偶然的見えであるということ間違いはない。しかし、物体方向知覚については調べられていない。前方向の見えと同じように、斜め方向の典型的見えとは異なるカテゴリの見えとして処理されているならば、方向知覚は正確になると考えられる。次はこの点について検討する。

4.2. 実験6：前・上・横の物体方向の知覚

これまで見てきたように、日常物体の前や上の見えは偶然的見えとなり、斜めの典型的見えとは異なるカテゴリの見えとして処理されることが示唆されている。前や上の見えはその方向でしか現れないような方向特異的な視覚特徴を多く含む一方、典型的見えを含む多くの見えに共通している視点非依存的な視覚特徴に乏しいため、方向

知覚は正確だが物体同定は困難になると考えられる。この仮説をより直接に検討するため、実験6では前・上・横方向と斜め方向との方向弁別課題を行った。

前や上の見えが、斜めの典型的見えとは大きく異なる偶然的見えであるならば、物体の前方向もしくは上方向と斜め方向との弁別は容易なはずである。これに対して、前節で見てきたように横方向の見えは必ずしも偶然的見えとは言えず、斜めの典型的見えに近い（共有する視覚的特徴が多い）と考えられるから、横方向と斜め方向の弁別は相対的に難しいと考えられる。そこで、本実験では物体の前方向を斜め方向と弁別する課題、上方向を斜め方向と弁別する課題、横方向を斜め方向と弁別する課題の3つの課題をそれぞれ独立した実験ブロックで実施し（前ブロック・上ブロック・横ブロック）、課題成績に差があるかを検討することとした。

本実験には次のような目的もある。第一に、実験1～5では検討されていない上方向の知覚について検討することである。これまで見てきたように上方向は物体同定の難しい偶然的見えだと考えられるが、同じく偶然的見えである前方向と同じように物体方向知覚が容易になるかを調べることができる。第二に、実験1～4とは異なり、各試行で1つの物体画像（弁別すべき2方向のどちらか）が提示され、それに対して物体方向を判断する課題だったため、より日常の視覚経験に近い、絶対的な物体方向知覚の特性を調べることができる。2つの物体画像が同時提示され両者の方向ずれを検出する課題だった実験1～4では、「間違い探し」のように2つの物体画像の相違点を探索することで課題を遂行できたため、さまざまな探索方略の影響を受けてしまう可能性があった。また、15°という細かな物体方向のずれを検出する課題は、日常的な視覚的物体認知の場面においてはあまり行われていない処理だという可能性もある。物体が単独で提示され、その物体方向を大きくカテゴリ的に判断する、という本実験の課題は、より日常的な視覚経験に即したもので、特殊な方略の影響が少ないと考えられる。このような課題においてもやはり前方向は物体方向知覚が容易であることを確

認することで、実験 1～4 で得られた結論が同時提示された 2 物体画像の方向ずれ検出課題という課題に特異的なものではないことを示すことができるだろう。

4.2.1. 方法

実験参加者

24 名（13 名の男性および 11 名の女性）が本実験に参加した。実験時の年齢は 19～23 歳で、全員が正常な視力を有していた（矯正を含む）。

装置

刺激は 21 インチのカラー CRT ディスプレイ（三菱電機製 RDF223H）に提示された。刺激の提示など実験の制御は、MATLAB ソフトウェアのプログラムを用い、パーソナルコンピュータによって行われた。反応はコンピュータのキーボードのキーを押すことで行われた。実験参加者はあご台によって顔面を固定し、刺激提示画面からの視距離を 80cm に統制した。

刺激

実験刺激は、日常物体の前・上・横・斜め方向の画像である。物体には実験 1 と同じ 24 物体（本番用 18 物体・練習試行用 6 物体）を用いた。すなわち、全ての物体は前後・上下方向が明確で、顕著な長軸は有していなかった。これらの物体の 3 次元モデルデータから、実験 1 と同様にコンピュータソフトウェアによってカラー画像を作成した。

前・上・横・斜めの 4 方向の刺激例を図 35 に示す。横方向では、物体の前部が画像の左を向いていた。上方向では、物体の前部は画像の上または下を向いていた（図

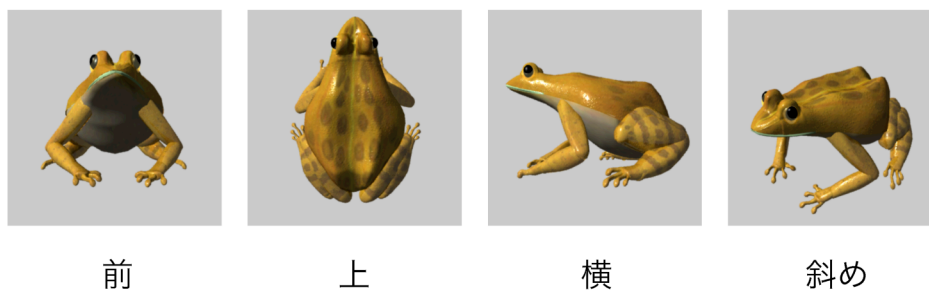


図 35. 実験 6 の刺激例。この実験では、前・上・横のいずれかの方向と斜め方向とを弁別する方向弁別課題が行われた。

35 の例では上向き)。物体によって上向き・下向きのどちらを用いるかは、どちらがより自然かを評定する予備調査の結果によって決定した。斜め方向での視点は、前・上・横方向の各視点からそれぞれ等しい角距離にあたる視点とした（方位角 45° ，仰角 35.3° ）。従って、前・上・横のいずれの視点も、斜めの視点からの物理的な回転角度は等しかった。照明の方向や影の位置が物体方向の手がかりとなるのを避けるため、やはり実験 1 と同じく、照明（点光源）の位置は視点に対して常に一定（左上方）とし、また影は描画しなかった。物体画像の大きさは、視角およそ $7.0^\circ \times 7.0^\circ$ だった。すべての刺激は灰色の背景上に提示された。

手続き

実験は前ブロック・上ブロック・横ブロックの 3 つのブロックに分けられる。前ブロックでは各試行で前方向もしくは斜め方向の物体刺激が提示され、どちらの方向であるかを回答するのが課題だった。同様に上ブロックでは上方向か斜め方向かを、また横ブロックでは横方向か斜め方向かを回答するのが課題だった。これらの課題の内容は、ブロック毎に参加者に教示した。なお、斜め方向が提示される試行（全試行の半数）を「斜め試行」、前・上・横方向のいずれかが提示される試行（残りの半数）を

「非斜め試行」と呼ぶこととする。

各ブロックでは 12 試行の練習試行の後、72 試行の本試行（18 物体×2 方向×2 回繰り返し）が行われた。各試行でどの物体・どの方向が現れるかはランダムな順とした。練習試行で用いられた刺激物体は本試行では用いられなかった。また、練習試行・本試行それぞれの前に、刺激物体の名称のリストが参加者に提示された。これは、前・上・横・斜めの各方向によって物体同定の困難さが異なることが実験結果に影響を与えることを避けるための手続きである。なお、参加者はリストを黙読して知らない物体や形状を想像することが難しい物体がある場合には報告するよう求められたが、そのような報告はなかった。

各試行では、最初に注視点が画面の中央に 1 秒間提示された。参加者はこの注視点を注視するよう、あらかじめ教示された。続いて 0.5 秒間の空白画面の後、刺激画像が提示された。参加者は、この物体の方向が 2 つの方向のどちらであるかを、2 肢強制選択のキー押しで回答した。回答はできるだけ速くかつ正確に行うよう教示した。物体刺激は参加者がキー押しをするまで提示された。キー押し反応の後、直ちに画面は空白となり、1 秒の空白画面をはさんで次の試行が自動的に開始された。72 試行の本試行の間には、12 試行ごとに計 5 回の休憩が設けられた。参加者は任意のキーを押すことで自由に実験を再開した。

前・上・横の各ブロックは、ランダムな順で実施された。実施順序は合計 6 通りあり、それぞれに 4 名の参加者が割り当てられた。また、回答に用いるキーは、半数の参加者では斜め方向に対して F のキーを、前・上・横方向に対して J のキーを用いた。残り半数の参加者はその逆の割り当てを用いた。

4.2.2. 結果

前・上・横の各ブロックで課題成績に差があるかを調べるため、参加者毎に各ブロ

ックの非斜め試行・斜め試行それぞれでの平均反応時間と誤答率を算出し、その結果について以下のような統計的分析を行った。なお、反応時間は正答試行のみを分析の対象とした。また、反応時間が200 ミリ秒より短い試行および平均値より標準偏差の3 倍以上長い試行は外れ値としてやはり分析から除外した（全試行の 2.0%）。その結果、全試行の 96.0%が分析の対象となった。

非斜め試行の結果

非斜め試行の結果を図 36A に示す。ブロックごとの平均反応時間を見ると、前ブロックでは上・横ブロックより短くなっていた。ブロックの効果について1 要因の対応のある分散分析を行ったところ、主効果が有意だった ($F(2, 46) = 11.58, p < .01$)。テューキーの HSD 法による下位検定の結果、確かに前ブロックの反応時間は上・横ブロックより有意に短かった ($p < .01$)。

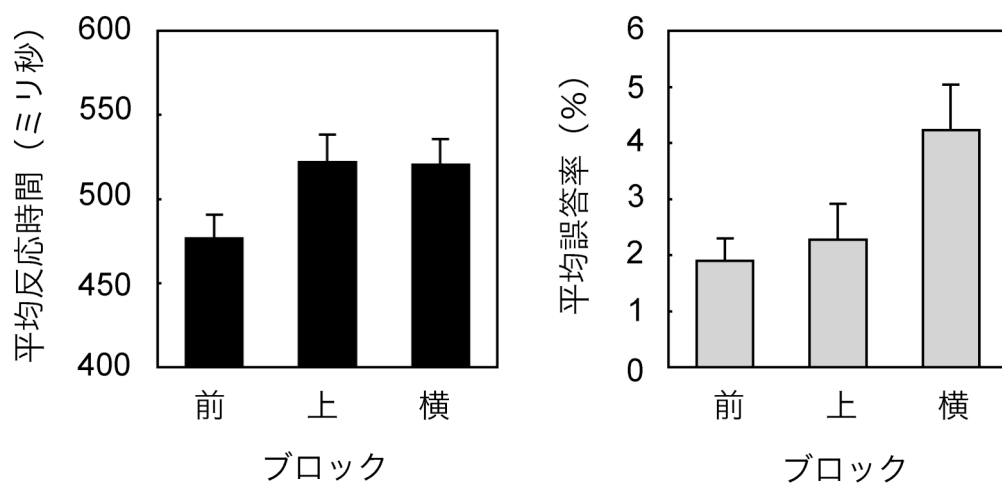
誤答率の結果（図 36A）についても同様の分析を行った。横ブロックのみ誤答率が高くなっているが、実際にブロックの主効果が有意となり ($F(2, 46) = 4.35, p < .05$)、下位検定の結果、横ブロックの誤答率は前ブロックより有意に高かった ($p < .05$)。

まとめると、非斜め試行では前ブロックの成績が良く、横ブロックの成績が悪いことがわかった。上ブロックの成績はその中間程度だと考えられる。

斜め試行の結果

斜め試行についても上記と同様の分析を行った（図 36B）。なお、斜め試行では、前・上・横ブロックのいずれにおいても提示されている刺激は同一（斜め方向の物体画像）である。従って、斜め試行の成績がブロックによって異なるならば、それは刺激そのものに由来する効果ではなく、参加者の内的な要因（課題に対する構えなど）に由来する効果だと考えられることに注意しておきたい。

A 非斜め試行



B 斜め試行

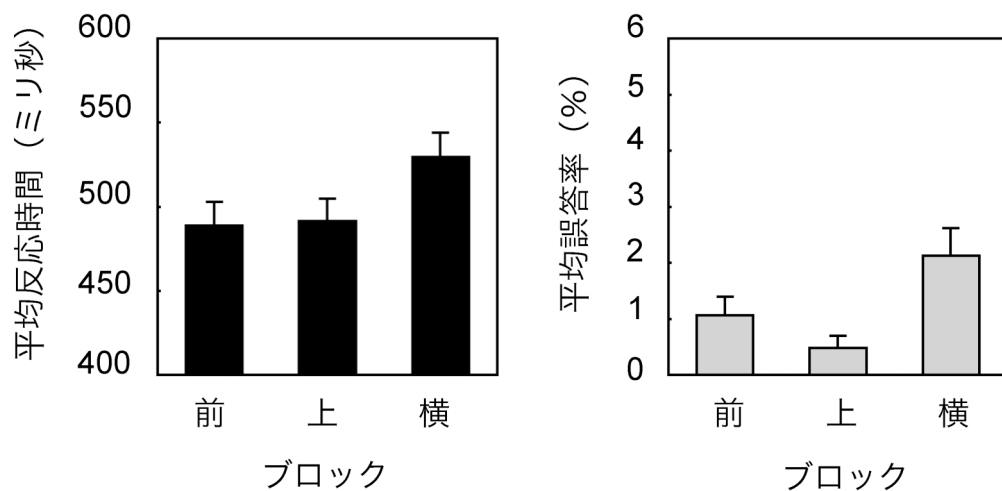


図 36. 実験 6 の結果。反応時間および誤答率の結果を、非斜め試行 (A, 前・上・横方向のいずれかの画像が提示された試行) と斜め試行 (B, 斜め方向の画像が提示された試行) とに分けて示す。誤差線は標準誤差を表す。

まず反応時間の結果では、非斜め試行とは異なり、横ブロックのみで反応が遅延していたことがわかる。分散分析の結果、ブロックの主効果が有意で ($F(2, 46) = 9.45, p < .01$)、下位検定の結果からも横ブロックが前・上ブロックより有意に長い反応時間だったと言える ($p < .01$)。

誤答率の結果も類似した傾向を見せている。分散分析の結果、ブロックの主効果が有意となり ($F(2, 46) = 5.34, p < .01$)、下位検定の結果、横ブロックの誤答率は上ブロックより有意に高かった ($p < .01$)。

まとめると、非斜め試行の結果と同様、横ブロックでの成績低下が見られた。上ブロックの成績は最も良く、前ブロックはそれに続く成績であった。

4.2.3. 考察

総じて見ると、非斜め試行・斜め試行ともに、横ブロックの成績は前・上ブロックより悪いという結果になった。このことは、横の見えと斜めの見えは視覚的に類似度が高く、弁別が相対的に難しかったことを示している。全てのブロックで同じ斜め方向の刺激が提示されている斜め試行でもそのような結果が得られていることから、これは横方向の見えそのものに処理を妨げる要因が含まれていた（例えば、物体の同定が困難である、等）ためではなく、斜め方向との弁別課題が難しかったためだと言えるだろう。例えば前や上方向の見えは左右対称な像であり、斜め方向の非対称な見えとは対称性という方向特異的特徴を利用することで弁別が可能である。しかし横と斜めの見えには対称性のような方向特異的特徴が少なく、そのため両者は相対的に類似度が高くなり、弁別が困難になったと考えられる。

非斜め試行の反応時間の結果（図 36A）に表れているように、上ブロックの成績も前ブロックに比べるといくらか悪くなる傾向が見られた。しかし、この傾向は斜め試行では見られていないことから、必ずしも上方向と斜め方向の見えが弁別しづらかつ

たわけではなく、上方向の見えそのものに何らかの原因があったためだと考えられる。具体的には、上方向では物体の同定が最も困難であり、したがって課題成績に負の影響を与えた、という可能性が考えられる。実際、実験後に参加者から聴取した内観報告によると、上方向の見えは何の物体だかわかりにくい、もしくは見慣れていない、という報告が5名から聞かれている。

本実験の結果は、前方向・上方向の見えは斜め方向の典型的見えと類似度が低い偶然の見えだという解釈を支持するものだと言えるだろう。また、横方向の見えは、前・上方向の見えに比べると斜めの典型的見えとの類似度が高く、従って必ずしも偶然の見えとは言えないということも確かめられた。本実験と同様の明確な長軸のない刺激物体を用いている Niimi & Yokosawa (2007) の物体同定実験でも、前・上方向は同定が難しく偶然の見えだと考えられるが横方向はそうではない、という結果であり、一貫した結果だと言えるだろう。

4.3. 物体方向知覚と見えの親近性

ある物体の典型的見えは、日常的な視覚経験の中でその物体が最も高い頻度で現れる見え、つまり親近性の高い見えだとも考えられている。逆に、偶然の見えとは、日常生活でほとんど経験することのないような新奇で親近性の低い見えだと考えられる。では、もし正面のように物体方向知覚が正確な見えが偶然の見えだとすれば、そのような見えは親近性が低いのだろうか。ここでは、実験1や実験6で用いたような明確な長軸のない日常物体の見えの親近性について検討する。

実験6と同じように前・上・横・斜めの4方向の刺激を用いた Niimi & Yokosawa (2007)は、その刺激について見えの親近性の評定実験を行っている。36の物体の4方

向の見えのそれぞれについて、その物体をその方向でどれくらいよく見たことがあるかを、40名の参加者が7件法で評定した。その結果は図37Aに示した通りで、斜め方向では他の3方向より有意に親近性が高く、逆に上方向では他の3方向より有意に親近性が低かった。一方、前と横方向では中間の評定値である4に近い結果が得られ、特に親近性が高くも低くもないと評定されていたことがわかる。この結果からは、斜め方向の見えが典型的見えであり、上方向の見えが偶然的見えだということは言えるだろう。特に上方向で親近性が低いことは、上方向の刺激は見慣れないためわかりにくかったという実験6の参加者の内観報告の内容とも符合するものである。しかし前方向の見えは、これまで見てきたように偶然的見えだと考えられるにもかかわらず、特に親近性が低いわけではなかった。

前方向の親近性が低くない理由としては、前方向の親近性が特別に高い特殊な物体が含まれていたことが指摘できる。多くの物体は前方向が偶然的見えであり、親近性も低い。日常生活で前から見るものが特に多い物体の場合には、例外的に前方向の見えの親近性が高くなることがあると考えられるからだ。例えばテレビやパソコン、家、扇風機、電気スタンドといった物体は、前方向の見えを観察する頻度が他の物体よりも高いだろう。この6つの物体は、実際に見えの親近性の評定値が前で最も高くなっていた物体である。こういった物体では、むしろ斜め方向より前方向の見えが典型的見えだとすら考えられる。事実、Palmer et al. (1981)が実験によって定めた典型的見えも、たいていは斜め方向の見えだが、12物体のうち家と時計、電話の3物体については前の見えであった。

前方向で見えの親近性が高くなる傾向は、すでに実験1・2の結果についての考察で触れた親近性の評定実験の結果(2.5.2. および図19を参照)でも明らかである。ただ、それでも前(0°)の評定値は斜め(45°)の評定値よりは低くなっていることに注意したい。また野々瀬(2006)も、0~90°の方向の物体の見えについて親近性の評定

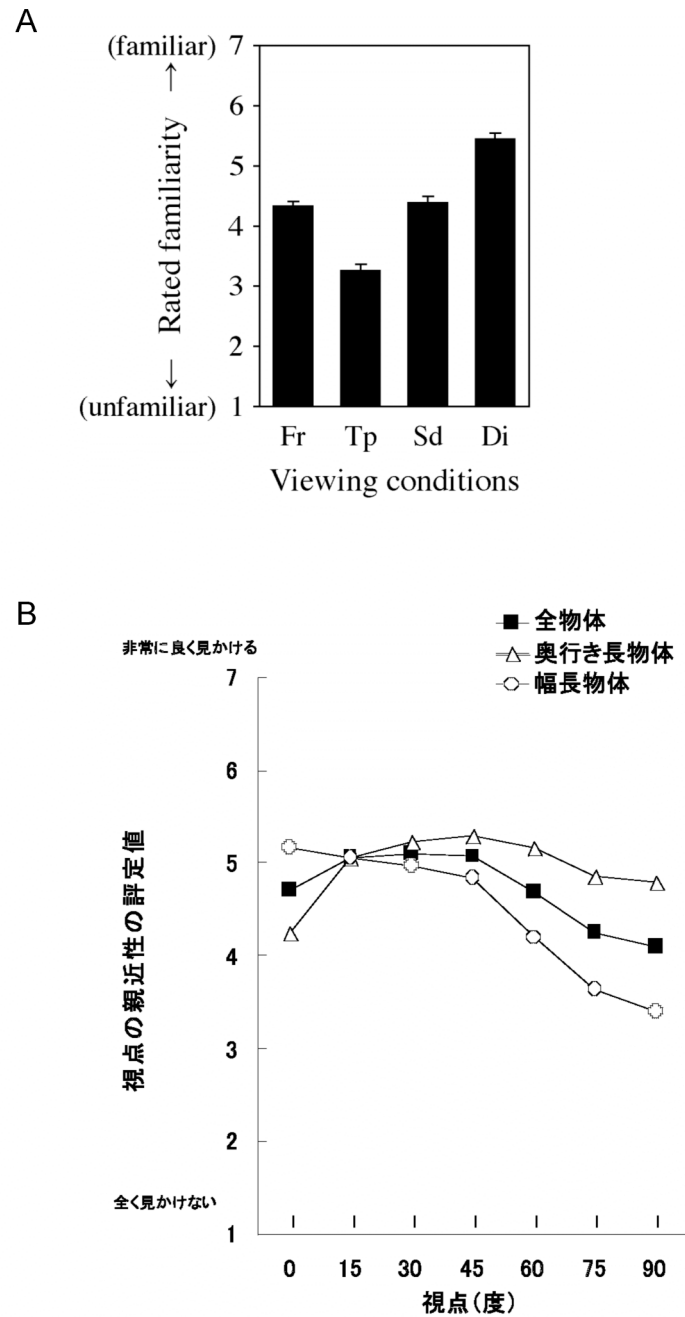


図 37. A, Niimi & Yokosawa (2007) が行った見えの親近性評定実験の結果。Fr = Front, Tp = Top, Sd = Side, Di = Diagonal. B, 野々瀬 (2006) が行った見えの親近性評定実験の結果。視点は 0°が前, 90°が横にあたる。

を行っており、同様の結果を得ている (図 37B)。すなわち、平均的には斜め (30~45°) で最も親近性が高く、前 (0°) がそれに次ぎ、横 (90°) はさらに低かった。ただし、奥行きが長い物体では前の親近性が最も低くなり、また幅が長い物体では横の親近性がさらに低くなるという傾向も見られたが、これは長軸圧縮の効果だと考えられる。

こういった傾向は、2.5.2.でもすでに論じたように、斜め以外の方向では親近性が低くなる効果に加えて、前方向に近いほど親近性が高くなる効果があり、この2つの傾向が加算された結果だと考えるのが自然であろう。そして前者の効果は、物体方向知覚の正確さと高い関係があると推測される。すなわち、方向依存的特徴に富む前や横・後ろの見えは、物体方向知覚が正確であり、同時にその物体の典型的な見えと共有する視覚的特徴が少ないために親近性が低い。逆に斜め方向の見えは、視点非依存的特徴に富み、同じカテゴリの見えをもたらす方向が幅広い (図 20 の模式図において広い範囲を占める)。そのため、仮に日常生活の中でその物体をすべての方向から等しい頻度で観察していたとしても、斜めの見えのカテゴリを経験する確率は、前や横の見えを経験する確率よりも高くなり、結果として親近性が増すと考えられる。一方で、後者の効果は物体の見えが含む視覚的特徴の性質とは関係がなく、物体は後ろ側より前側から観察した方が親近性が高く評定されるという一般的な傾向を反映したもののだろう。両者の効果が合成された結果、前斜め方向が最も親近性が高く典型的な見えとなる (後ろ斜めの見えはそうはならない) のではないだろうか。

従って、見えの親近性が低いことが原因となって、物体方向知覚が容易になるわけではないと考えるのが妥当であろう。ごく狭い範囲の物体方向で単一の見えのカテゴリを形成するような見えは、方向非依存的特徴に乏しく、方向特異的特徴に富んでおり、そのことが原因となって、親近性が低くなり、また同時に方向知覚が容易になるのだと考えられる。

4.4. 実験 7：物体方向知覚と見えの良さ

物体方向知覚と典型的見え・偶然的見えの関係について検討するために同定課題の成績と見えの親近性について見てきたが、典型的見えを定めるための指標としては主観的な見えの良さ（view goodness）も代表的なものである。例えば Palmer et al. (1981) は、物体の典型的見えを定めるため、物体の 12 方向の写真についてそれらがどれくらいその物体の良いもしくは典型的な（typical）見えかを 7 件法で評定するという実験課題を用いている。また Verfaillie & Boutsen (1995) は、2 つ同時提示される物体の見えのうちどちらがよりその物体を認識しやすいと思うかを回答するという実験の結果から、物体の見えの良さを統計的に推定している。物体を典型的見えになるように実験参加者が自由に回転させる実験を行った Blanz et al. (1999) の場合には、パンフレットに載せる写真を作るためにその物体の最も良い印象を与えるような見えを選ぶように参加者に教示している。いずれの研究も実験課題に細かな相違はあるが、物体の見えの主観的な良さが最も高くなるのはどのような場合かを検討するための実験であり、多くの物体で見えの良さが最も高くなるのは斜め方向（前後軸が明確な物体では前斜め方向）であるという結果も共通している。

そこで、本論文の実験で用いた明確な長軸のない刺激物体についても同様に見えの良さを測定し、物体方向知覚が不正確で典型的見えだと考えられる斜め方向では見えの良さが高く、また物体方向知覚が正確で偶然的見えだと考えられる前や後ろ方向では見えの良さが低くなるかを確かめることとした。具体的には、実験 5 で用いた 20 方向の物体の見えの刺激について、実験参加者に見えの良さを評定してもらう実験を行った。

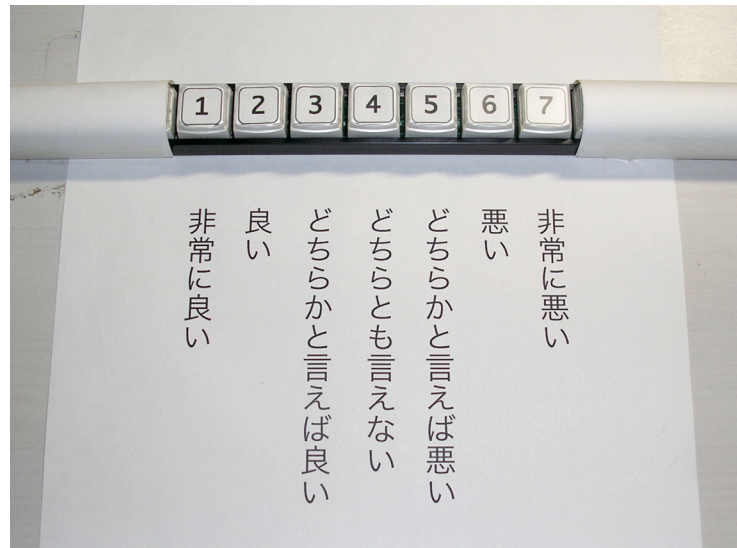


図 38. 実験 7（見えの良さの評定実験）で用いた反応装置。

4.4.1. 方法

実験参加者

正常な視力（矯正を含む）を有する 10 名（男性 5 名，女性 5 名）が参加した。

装置

物体画像の刺激は，実験 5 と同じ 21 インチのカラー CRT ディスプレイに提示された。やはり実験 5 と同様，あご台によって参加者の視点からディスプレイ画面までの視距離を 80cm に固定した。実験参加者の手元には，キーが横 1 列に並んでいるキーボード（P.I. Engineering 製 X-Keys Stick）が置かれ，このうち 7 つのキーに 1～7 の評定値のラベルがつけられていた（図 38）。参加者はこのキーを押して評定を回答した。キーの番号への評定の割り当ては，半数の参加者では 1：非常に悪い，2：悪い，3：どちらかと言えば悪い，4：どちらとも言えない，5：どちらかと言えば良い，6：良い，

7：非常に良い，であった。残り半数の参加者ではこの逆転項目とした（すなわち，図 38 の例のように，1：非常に良い）。

刺激

刺激は実験 5 の物体画像刺激と同一だった。すなわち，24 の物体（練習試行用 6 物体・本試行用 18 物体）の 20 方向（左右それぞれに 9, 27, 45, 63, 81, 99, 117, 135, 153, 171°）の見える画像である。提示の方法や大きさも実験 5 と全く同一だった。

手続き

各参加者は，10 試行からなる練習試行と，360 試行からなる本試行（18 物体×20 方向）を行った。練習試行には練習試行用の物体が，本試行には本試行用の物体が用いられた。本試行では提示される物体の種類や方向はランダムな順とした。また，同じ物体が連続した 2 試行で現れないようにした。各試行では，実験 5 と同様に，物体の画像と物体名が提示された。参加者はこの物体画像を観察して，「その画像がその物体をどれくらいよく表していると思うか」を回答するよう求められた。回答に時間制限はなく，刺激はキー押し回答がされるまで提示された。本試行では 18 試行おきに休憩がとられ，参加者は自由に実験を再開することができた。

4.4.2. 結果

逆転項目を用いた半数の参加者のデータは評定値を逆転し，残り半数の参加者と同じく大きな評定値が高い見えの良さを表すようにした。こうして得られた評定値の平均値を物体方向ごとに表した結果が図 39 である。見えの良さは 27°条件で最も高いと評定されていた。また，全体的に 90°より前方向では見えの良さが高く，後ろ方向では低く評定されていたこともわかる。

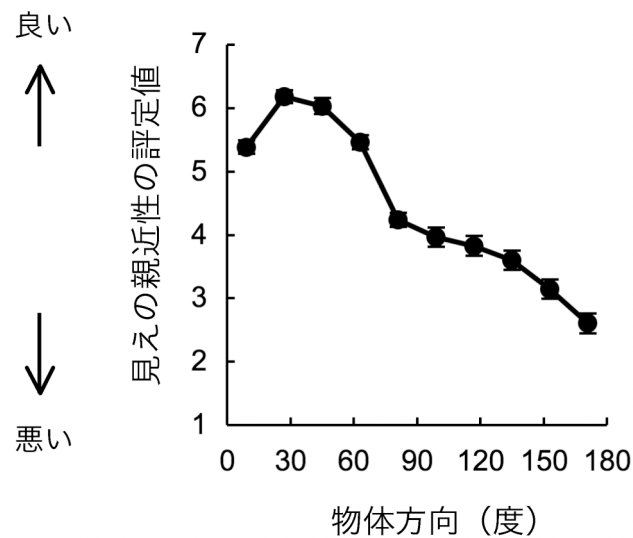


図 39. 実験 7 の結果。見えの良さの評定値の平均を、物体方向ごとに示す。評定値が大きいほど見えの良さが高いことを表している。誤差線は標準誤差。

物体方向が見えの良さの評定値に与える効果について検討するため、1 要因の対応のある分散分析を行った。その結果、物体方向の効果が有意だった ($F(9, 81) = 185.98$, $p < .01$)。テューキーの HSD 法による下位検定の結果によれば、27, 45°方向の評定値は他の全方向の評定値より有意に高く ($p < .01$)、27~45°付近の方向で見えの良さが最も高くなることがわかった。逆に見えの良さが最も悪いと考えられるのは真後ろ方向に近い 171°で、評定値は他の全方向の評定値より有意に低かった ($p < .01$)。

4.4.3. 考察

見えの良さが最も高くなるのは 27~45°付近の前斜め方向だった。多くの場合に日常物体の典型的見えはこの前斜め方向の見えだとされているが、それが実験 5 で用いた物体刺激についてもあてはまることが示されたと言えるだろう。また、全体的に前方向に近いほど見えの良さは高く、後ろに近いほど低下してゆく傾向も見られた。しかしながら、後ろ斜め方向 (135°付近) においては評定値の低下が一時的に鈍るよう

な傾向も見られる。90°より後ろの方向においても、全体的に見えの良さは低いものの、斜め方向においてやや評定値が高くなる傾向があると言えるだろう。前や横、後ろ方向などの偶然的見えに比べて斜め方向の見えでは見えの良さが高くなるという要因があり、加えて前方向に近いほど見えの良さは高く後ろ方向に近いほど低いという要因があり、この両者が合わせられた結果として、図 39 のような実験結果が得られているのではないだろうか。

この結果は、見えの親近性の結果（図 19, 37）とほとんど同じ傾向を示している。見えの親近性の評定と、見えの良さの評定とは、同じ心理量を測定している可能性もあるだろう。いずれにせよ、明確な長軸のない物体でも前斜め方向では見えの親近性・見えの良さ共に高く、典型的見えだということは間違いない。

4.5. まとめと考察

実験 1～5 で見られたような物体方向知覚の特性が、日常物体の典型的見え・偶然的見えとどのような関係にあるのかを検討するため、前・上・横・斜めといった様々な方向で物体方向知覚、物体同定、見えの親近性、見えの良さがそれぞれどのように変化するかを概観してきた。その結論は、大きく次の 2 点にまとめることができる。

第一点は、物体同定課題の成績との比較からわかったことである。同定が難しくなる偶然的見え（前・上方向）では物体方向知覚は正確であるということがわかった。さらに詳しく見てゆくと、斜め方向では物体同定は容易だが方向知覚は難しいというように、一般的に物体方向知覚と物体同定の成績は逆の傾向を示すということも明らかとなった。この関係は明確な長軸のない物体でも見られているから、長軸圧縮の効果だけでは説明できない。物体方向知覚と物体同定という処理過程は相反するものだ

ということが示唆される。理論的には、物体方向知覚はある方向に特異的に見られる視覚的特徴が多いほど容易である。実際、実験 1～4 の結果からも、水平輪郭線や対称性といった方向依存的特徴が物体方向知覚の成績を向上させたことが示されている。逆に、どの方向でも共通して知覚されるような方向非依存的特徴は方向知覚には役立たない。これに対して物体同定では、方向による見えの違いを捨象しなければならないから、方向非依存的特徴が役立つ。しかし水平輪郭線や対称性のような方向依存的特徴は同定には役立たない。従って、物体同定と物体方向知覚はちょうどトレード・オフの関係になるのである。

第二点は、物体の見えの良さや親近性の評定結果からわかったことである。見えの良さや親近性が最も高い典型的見え(前斜め方向)では物体方向知覚は不正確だった。そこで、見えの良さや親近性の高さとは物体方向知覚の正確さは逆の傾向を示すことが示唆されたが、これは必ずしも正しくない。例えば、前方向の見えの良さや親近性は後ろ斜め方向のそれよりも高いが(図 19, 39)、物体方向知覚も後ろ斜め方向より前方向の方が良い(図 11)。これはすでに議論したように、前方向に近いほど見えの良さや親近性は高くなるという傾向のためだと考えられる。この傾向はおそらく日常生活の中で実際に物体は前方向から観察することが多いためであって、物体の見えの視覚的特徴の量とは関係のない効果だろう。重要なのは、この効果を差し引けば、おそらく見えの良さや親近性の高さは物体方向知覚と逆傾向になると考えられることだ。斜めの方向では視点非依存的特徴が多く、幅広い方向で同じカテゴリの見えが得られる。従ってそのような見えを経験することは多く、主観的な親近性も増す可能性があるだろう。逆に前や後ろ、あるいは横のような狭い範囲の方向でしか見られない偶然的見えは、そのようなカテゴリの見えを観察することが相対的に少なくなるため、主観的な親近性も減るのだろう。このような効果に加えて、前方向ほど親近性が高いという効果が加わり、図 19 や図 39 のような結果が得られるのだと考えられる。

これらの分析を通して、物体方向知覚と典型的見え・偶然的見えの関係が明らかになった。さらに重要なことは、物体の見えに含まれる方向特異的特徴と方向非依存的特徴の量によって、物体同定や物体方向知覚の容易さ、偶然的見え・典型的見えの区別も説明できるということである。典型的見えがどのように定まるのか、なぜ斜め方向になることが多いのかについては、いろいろな要因が個別に指摘されてきた (e.g., Blanz et al., 1999)。これとは別に、偶然的見えでの物体同定がなぜ難しいのかについても、やはり様々な知見が報告されてきた。こういった日常物体認知研究の諸問題を統一的に理解するための理論的枠組みが、物体方向知覚と方向特異的特徴・方向非依存的特徴の多寡の問題を通じて与えられたと言えるのではないだろうか。

もうひとつ重要な点は、日常物体について、方向特異的特徴・方向非依存的特徴の多寡やその結果として生じる偶然的見え・典型的見えの構造が、決してランダムではなく、かなり組織的だとわかったことである。様々な種類の日常物体がもたらす様々な見えを、前・横・後ろ・上といった偶然的見えとそれ以外の斜めの見えとにカテゴリ化することで、ヒトの視覚系は効率的な物体認知メカニズムを作り上げているのではないだろうか。もちろん、そのようなカテゴリ化のパターンがあてはまらない日常物体も数多いだろう。本論文の実験で用いた物体は明確な前後・上下の定まっている物体であり、日常物体の中でも限られたカテゴリだと考えることもできる。しかし、たとえ前・横・後ろ・上・斜めといったカテゴリ化はあてはまらなくとも、方向特異的特徴と方向非依存的特徴の多寡によって見えのカテゴリ化や物体同定・物体方向知覚のしやすさが定まるという一般的法則は、今回の実験で用いなかった物体についてもあてはまるのではないだろうか。

第5章 総合考察

5.1. 実験結果のまとめ

本論文の実験から、日常物体の3次元的方向の知覚の基本的特性が明らかになった。まず、15°の物体方向ずれを検出する課題を用いた実験1〜4では、前や後ろ、そして横といった特殊な方向は正確に知覚できるため、そこから方向がずれると容易に検出できることがわかった。その原因としては、長軸圧縮の効果に加えて、水平輪郭線や輪郭の対称性といった方向特異的な視覚特徴が物体方向の手がかりとして利用可能だということが明らかにされた。前や後ろ、横方向の見えは、その方向に特異的な見えである。これに対して斜め方向の物体の見えには、そのような方向の手がかりとなる視覚手がかりが乏しく、逆にある程度は方向が変化しても変わらず保たれるような方向非依存的視覚特徴に富んでいることが示唆された。したがって物体方向が15°ずれても物体の見えに大きな変化がなく、方向ずれを検出しにくい。このような物体の見えは、非偶然的見えである。

方向非依存的視覚特徴としては、序論でも触れたが、視点の変化に依存せずに異なる物体を弁別するために利用される視覚特徴として Biederman らによって概念化されている NAP (Biederman, 2001; Biederman & Bar, 1999) が挙げられるだろう。具体的には、輪郭線が形成している頂点のタイプ (L 字型, Y 字型, 矢印型など) や、輪郭線が直線か曲線か、といった特徴である。前や後ろ方向などの偶然的見えを除いた多くの物体方向で、NAP は共通して保たれるとされる。例えば調理用のボウルのような半球形は、ほとんどすべての方向でその輪郭線が曲線である。物体方向が変化しても、曲線輪郭線の長さや曲率の強さといった量的な属性 (Biederman らの言う MP: metric property にあたるだろう) は変化するものの、曲線であるという特徴は保たれている。

しかし唯一の例外として、真横から観察した場合にのみ、半月形の輪郭の弦の部分が直線となる。このような場合が偶然的見えである。

物体方向を直接評定する実験課題を用いた実験5の結果も、前や後ろ、横方向の知覚は正確だが斜め方向の知覚は不正確だということを示している。さらに斜め方向の知覚が不正確なのは、知覚された方向の精度が低い（評定のばらつきが大きい）のみならず、一定の誤りを伴っているからだということもわかった。具体的には、斜め方向は実際よりも横方向に近い方向として評定されていた。斜め方向で評定方向の精度が低いことは、上述のように斜めの見えには方向特異的な視覚的特徴が乏しいことから説明できるが、評定された方向にこのような偏りがあることはそれだけでは説明できない。おそらく、前と後ろ方向の偶然的見えと、それ以外の斜め方向の見え（非偶然的見え）とは、異なるカテゴリの見えとして処理されているためにこのような偏りが生じるのだと考えられる。例えば斜め45°方向の見えは、前方向（0°）の見えとは大きく異なるが、横方向（90°）の見えとは共有している特徴が多い。そのために、斜め45°の方向は実際よりも前方向から遠く、横方向に近い方向として知覚されるのであろう。偶然的見えと非偶然的見えといった見えのカテゴリの違いに応じて、物体方向知覚もカテゴリ知覚的な特性を示すのである。

前・上・横方向と斜め方向との方向弁別課題を行った実験6の結果は、上記の解釈を裏付けている。前方向の見えと斜め方向の見え、また上方向の見えと斜め方向の見えは、偶然的見えと非偶然的見えとの組み合わせなので、弁別が容易である。しかし横方向の見えと斜め方向の見えは、さほど異なっていないため、その弁別成績は相対的に低かったのである。

これらの知見を基に、物体方向の変化がヒトの視覚的物体認知に及ぼす影響を模式的に表わしたのが図40である。前と後ろ方向では方向特異的視覚特徴が多く（図40A）、偶然的見えとなる。そこで、アスペクト・グラフにならって見えのカテゴリを模式的

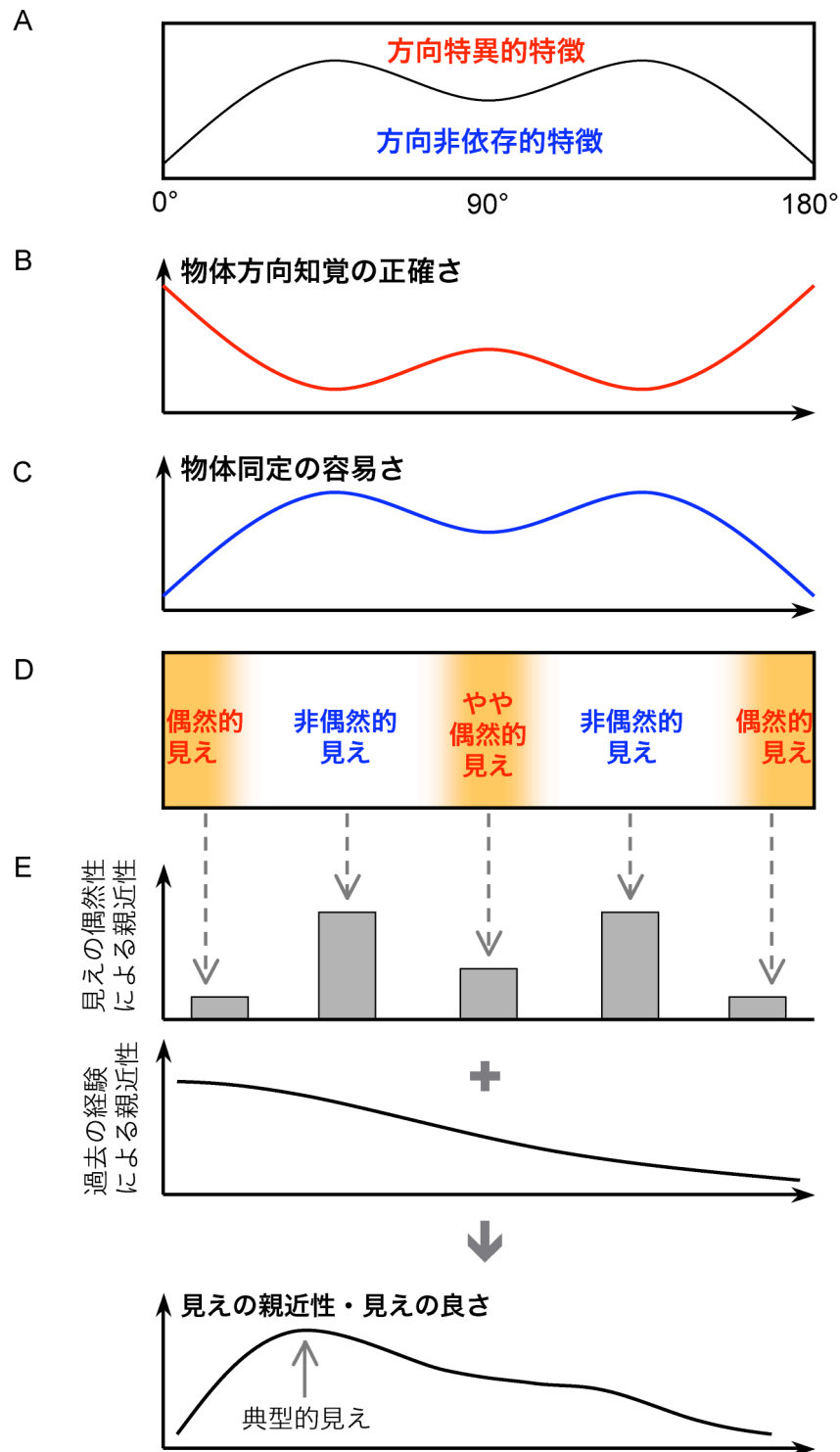


図 40. 本研究で得られた知見のまとめ。A, 日常物体の像が含む方向特異的な視覚特徴と方向非依存的視覚特徴の量は、方向によって異なる。この特性が、物体方向知覚の正確さ (B) や物体同定の容易さ (C) に影響している。方向非依存的特徴の少ない前・横・後ろ方向は偶然的見えとなることが多い (D)。この見えの偶然性の効果に加え、日常生活では一般に前方向の物体像を観察することが多い効果が加わり、前斜め方向が典型的見えとなる (E)。

に表すと図 40D のようになり、前や後ろ方向の偶然的見えは非常に狭い範囲の物体方向にしか現れないカテゴリを形成する。この範囲の狭さが「偶然的 (accidental)」という語の所以である。この図では簡略化のため含めていないが、上方向の見えも同様に方向特異的視覚特徴が多く、偶然的見えのカテゴリを形成していると考えられる。逆に、斜め方向では方向非依存的特徴が多く、多少異なる方向でもほとんど同じような見えとなるため、広い範囲を覆う非偶然的見えのカテゴリが形成される。横方向の見えは、物体によって偶然的見えとなる場合もあればそうはならない場合もあると考えられる。例えば実験 1 において、横方向 (90°) の結果が直線物体と曲線物体とで大きく異なっていた (図 13)。そのため、総じて見ると横方向は偶然的見えと非偶然的見えの中間的な性質を示している。

このような基本的特性は、物体同定や物体方向知覚にも影響を与える (図 40B, C)。方向特異的な視覚特徴に富む偶然的見えでは物体方向の知覚が正確になるが、方向非依存的特徴は乏しいために物体の同定は難しくなる。斜め方向などの非偶然的見えではその逆である。このため、第 4 章で見てきたように、物体同定の容易さと物体方向知覚の正確さは相反する傾向を示すのである。

さらには、なぜ前斜め方向が概して物体の典型的見え (Palmer et al., 1981) となるのかという問題についても、新しい解釈が可能である。斜め方向の非偶然的見えのカテゴリには、幅広い範囲の物体方向の見えが含まれるために、仮に物体をすべての方向から等しい頻度で観察しても、非偶然的見えの表象が活性化されることが多くなる。このため、前や後ろ方向などの見えに対して斜め方向の見えは高い親近性を獲得すると考えられる。しかし実際の日常生活では、すべての方向から等しい頻度で物体を観察するわけではなく、後ろよりの方向よりは前よりの方向から観察することが多いために、結果として前斜めの方向での見えが最も親近性が高くなるのである (図 40E)。偶然的見えとは物体方向知覚が正確な見えであり、典型的見えに代表される非偶然的

見えとは物体方向知覚が不正確な見えである、という新しい解釈が可能である。

5.2. 物体同定と物体方向知覚の関係

本研究では物体方向知覚の特性を調べてきたが、それが物体同定の過程とどのような関係にあるかは、既存の物体認知研究との整合性を考える上でも重要な論点である。第4章で見てきたように、実験結果が示唆しているのは物体方向知覚が物体同定とトレード・オフの関係にあるということである。どこから見ても同じような見えにしかないサッカーボールのような物体は、これを示す極端な例である。偶然的見えをもたらすような方向がないため、どの方向から見ても同定は容易だが、逆にその方向を正確に定めることはほとんど不可能である（そもそもボールには前や後ろが存在しないので、無意味ですらある）。物体方向知覚と物体同定のこのような関係は、どのような意味を持つのだろうか。

物体方向が知覚できることは、一見、物体同定の視点依存性を低め、その恒常性に貢献するようにも思える。ある物体の像が与えられたとき、それがどの方向の像なのかわからないよりはわかっていた方が物体を同定しやすいと考えられるからだ。これは、物体方向知覚が物体同定過程の一部であり、物体同定に先立って物体方向が処理されているという考え方である。もしこの考え方が正しいければ、物体方向知覚が難しい見えでは物体同定も困難になると考えられる。しかし実験結果は明らかにこれを支持していない。ならば、物体同定の過程に物体方向知覚は含まれておらず、物体方向が知覚されていなくても物体が同定される、ということになる。

少なくとも、斜め方向の非偶然的見えの場合に限って言えば、これは正しいのではないだろうか。図9Aにあるような斜め45°方向のカエルの像の刺激が提示されたとき、

観察者は容易にこれをカエルと同定するだろうが、はたしてそれが斜め 30° か、 45° か、あるいは 60° かは、その同定過程にはあまり関係がない。あまつさえ、実験 5 で示されたように、明確に物体方向を判断するよう求められても、かなりの誤りを生ずる。おそらくは「前斜め方向」というようなごく粗い方向の情報しか得ていないのだろう。物体の像や 2 次元形状の表象においてしばしば正像と鏡像が区別されない (Biederman & Cooper, 1991; Kosslyn & Rabin, 1999; Rollenhagen & Olson, 2000) ことからわかるように、日常的な物体同定過程においては、右向きか左向きかさえ処理されていない可能性もあるのだ。物体の見えが図 40D に示されたような見えのカテゴリの中でどれに属しているかは、同定過程でも当然必要となる情報だろうが、それ以上の詳細な物体方向の情報は非偶然的見えの物体同定には必ずしも関係がないのだろう。

従って、物体同定と物体方向知覚とは別々の過程だと考えられる。第 1 章では、物体方向を処理している脳領域と物体同定を行っている脳領域が異なっている可能性を論じたが、この可能性が実際に物体方向判断を求める実験課題によって確かめられたと言えるだろう。日常物体の線画刺激を用いて物体同定課題の成績を測定した実験研究でも、あらかじめ 3 次元的な物体の方向を示す手がかり (矢印) を与えても同定成績の視点依存性は消失しないことが報告されている (Mitsumatsu & Yokosawa, 2002)。やはり第 1 章で触れたように、前額平行面での 2 次元像の方向に関しても、症例研究などから方向知覚と物体同定との独立性が主張されている (Turnbull, 1997)。

典型的見えを含む斜め方向の非偶然的な見えは、視点非依存的な物体同定のメカニズム (おそらくは腹側視覚経路による) がうまく機能するような見えだと言えるだろう。では、そのようなメカニズムとは独立の、偶然的見えに対してうまく働くような物体方向知覚のためのメカニズムとはどのようなものなのだろうか。

5.3. 偶然的見えの処理機構

物体の非偶然的見えと偶然的見えとが、質的に異なるものとして表象・処理されている可能性は、さまざまな心理物理実験からも示唆されている。例えば日常物体の同定課題におけるプライミングの効果を調べた Lawson & Humphreys (1998)の結果では、偶然的見えのプライム刺激は同じ見えに対してプライミング効果を生じるが、同じ物体の典型的見えに対しては生じない。逆も同じで、典型的見えのプライム刺激は偶然的見えに対してプライミングを生じない。また、日常物体の継時マッチング課題を行った Lawson & Humphreys (1996) の結果では、典型的見えとのマッチングは他の典型的見えとの間では容易だが、偶然的見えとの間では難しかった。

ただし、これらの実験結果はいずれも単に偶然的見えでの物体同定が典型的見えに比べて非常に難しいという難易度の差でも説明できる可能性がある。加えて、視点依存性論争の中でこれらの結果が視点依存的物体認知メカニズムの証拠と言えるかどうかという議論は行われたものの、それ以上の解釈可能性は検討されてこなかった。換言すれば、偶然的見えに対してなぜ物体同定のメカニズムがうまく働かないかは議論されてきたが、では実際のところ偶然的見えに対してどのような処理が行われているのかはあまり検討されてこなかったのである。しかし、これまで見てきたように、物体方向知覚のメカニズムはむしろ偶然的見えに対してうまく機能すると考えられるのである。

では、そのメカニズムとは具体的にどのようなものなのだろうか。すでに序論で見たように (1.2.), ヒトの背側視覚経路、中でも頭頂間溝付近の領域が、物体方向の情報を処理していると考えられる。この領域と、日常物体の偶然的見えとの間には、どのような関係が見いだせるのだろうか。ここでは、やはり神経科学的知見から検討する。

5.3.1. 頭頂葉と偶然的見え：症例研究から

興味深いことに、脳損傷による視覚失認についてのいくつかの研究が、通常の（非偶然的見えでの）物体認知には問題がないが、物体の偶然的見えに選択的な物体認知障害を呈する症例を報告している（Davidoff & Warrington, 1999; Humphrey & Riddoch, 1984, 1985; Layman & Greene, 1988; Warrington, 1982; Warrington & James, 1988; Warrington & Taylor, 1973, 1978）。例えば Layman & Greene (1988)では、左半球損傷患者、右半球損傷患者、統制群（損傷なし）の3群について日常物体の写真刺激を用いた物体同定課題の結果を比較し、非偶然的見えの場合には成績に差がないが、偶然的見えの場合には右半球損傷患者で統制群の倍程度の誤答率が見られたという。Warrington & Taylor (1973)も日常物体の写真の命名課題の成績を74名の脳損傷患者で調べているが、右頭頂葉損傷の群のみで偶然的見えに対する成績が悪かったという。

注目すべきなのは、主たる損傷領域が通常の物体認知過程に重要とされる腹側経路の領域ではなく、頭頂葉（主として右）だということである。後頭葉から側頭葉にかけての腹側経路の損傷では、偶然的見えに限らず物体同定一般が困難になる症例を起こすことが多い（e.g., Farah, 1995）。これは連合失認として知られる症候群である。しかしながら偶然的見えに選択的な物体認知障害を示す症例は、主に頭頂葉損傷によるため、空間的注意の障害や空間知覚の障害を伴っており、統覚型失認（*apperceptive agnosia*）に類型されるもののようである（Davidoff & Warrington, 1999; Warrington & James, 1988）。

偶然的見えでの物体同定は、当然、典型的見えでの同定に比べて課題の難易度は高い。従って理論的には、偶然的見えに選択的な物体認知障害は、物体認知一般の障害の程度が軽いものだと考えることも可能である。しかし、偶然的見えでの物体認知障害は腹側経路の損傷ではなく頭頂葉の損傷によるので、この症例を連合失認の程度の

軽いものだと考えることは難しい。偶然的見えでの物体認知は、通常の典型的見えでの物体認知とは質的に異なる処理過程(おそらくは頭頂葉によって担われているもの)によっていると考えるのが妥当である。

5.3.2. 頭頂葉と偶然的見え：イメージング研究から

症例研究からは、偶然的見えの処理に重要な頭頂葉の領域が正確にどのような位置にあるかを知ることは難しかった。しかし近年、偶然的見えに対する物体同定課題の際の健常者の脳活動を測定した研究により、主に右の角回(図 7A 参照)付近が重要だということが示唆されている。

fMRI を用いた Terhune et al. (2005)は、日常物体の写真刺激に対する同定課題を行い、偶然的見えの場合に非偶然的見えの場合より高い脳活動が見られた領域として、右角回、左中側頭回および下側頭回、右小脳を報告している。左側頭葉の活動はおそらく、見えに関係のない物体同定全般に関わる腹側経路の処理を反映したものであろう。PET を用いた Kosslyn et al. (1994)は、日常物体の線画での物体認知課題で、偶然的見えの場合に非偶然的見えの場合より高い活動を生じた領域として、やはり側頭葉(紡錘状回を含む)に加えて右角回、右 IPL (inferior parietal lobule, 下頭頂小葉; 図 7A)、左 SPL (superior parietal lobule, 上頭頂小葉; 図 7A) を挙げている。Sugio et al. (1999)は、日常物体の CG 画像に対する命名課題中の脳活動を fMRI で計測し、偶然的見えの場合に高い活動の見られた領域として左 SPL と両側運動前野を報告している(右角回は報告されていない)。

研究によって報告されている活性部位にやや相違は見られるものの、日常物体の偶然的見えでの物体認知に頭頂葉が関わっていることは間違いない。中でも、角回を含めた右 IPL はその中心的な役割を負っているのではないかと考えられる。

5.3.3. 偶然的見えでの物体同定

それでは、偶然的見えでの物体同定において頭頂葉で行われている処理とは具体的にどのようなものなのだろうか。

まず考えられるのは、心的回転（mental rotation）である。3次元物体の心的回転課題の際にも、頭頂葉の活性が見られることが知られている（Cohen et al., 1996; Richter, Somorjai, Summers, & Jarmasz, 2000; Gauthier et al., 2002）。もし偶然的見えの物体刺激を観察したとき、それを典型的見えとなるような物体方向になるまで心的回転を行い、その結果を記憶表象とマッチングすることで物体同定をしているとするならば、偶然的見えでの物体同定に関連した頭頂葉の活動は心的回転によるものと解釈できるだろう。しかしこれは以下のような理由により考えにくい。まず、心的回転で報告されている活性領域は主に SPL であり、偶然的見えでの物体同定に重要な IPL とは異なっている。また、心的回転課題は正常に遂行できるが、3次元物体の偶然的見えでの認知や前額平行面内で回転されている文字の認知が難しいという症例も報告されている（Turnbull & McCarthy, 1996）。

序論で概観してきたように、頭頂葉では物体の方向が処理されていると考えられる。偶然的見えでの物体同定にはおそらく、物体方向に関する処理が行われていると考えるのが妥当なのではないだろうか。例えば前から見たカエルの像に対しては、これは偶然的見えであるため、通常の腹側経路の機能である視点非依存的な物体同定がうまく機能しない。そこで、頭頂葉の機能によってその物体方向を検討し、側頭葉の物体同定機能と協働することで、それが「前方向のカエル」として物体方向の情報を含めて物体が同定されるのではないだろうか。

やはり序論で見たように、頭頂葉では日常物体の方向に関する処理に限らず、単純な幾何学的物体や面の3次元的方向の処理も行われている。従って、物体の像からそのパーツや面の方向を詳細に分析し、視点に対する物体の正確な立体的位置関係を把

握するのが頭頂葉の機能だとも考えられる。このような機能が、おそらく偶然的見えでの物体同定過程に貢献していると考えられる。実際、日常物体の線画刺激での物体同定とシルエット刺激での物体同定を比べた Mitsumatsu & Yokosawa (2002)の研究によれば、非偶然見えでは両方で物体同定課題の成績にあまり差がないが、偶然的見えの場合にシルエット刺激での成績が格段に低下するという。つまり、シルエット刺激で失われている物体のディテールの情報が、偶然的見えでの物体同定に重要だということである。この物体のディテールの情報は、物体の詳細な立体構造（例えば各パーツの面の方向や位置関係など）を知覚するために重要な奥行き絵画的手がかりを含んでいるのだろう。本研究の実験（物体方向ずれ検出課題や、物体方向の評定課題）の際に主に用いられていた脳機能も、おそらく、腹側経路の機能ではなく、むしろこのような頭頂葉機能だったのではないだろうか。

もちろん、こういった頭頂葉の機能が偶然的見えでの物体同定だけのためのものだと考える必要はない。頭頂葉の角回付近には、他に眼球運動や手の到達把握運動に関係した視覚性ニューロンが多く知られている（Culham & Kanwisher, 2001）。物体の詳細な立体構造の知覚や、それによって行われる物体方向の知覚は、例えば物体に対する手の運動の際にも重要となるだろう。事実、手で持って使用する日常物体（ハンマーなど）の刺激に対してヒトの頭頂葉で活動が見られるという fMRI 研究もある（Chao & Martin, 2000）。従って、上記の考察をもって角回などの頭頂葉領域が物体同定だけのための領域だと言うことはできないだろう。物体方向の処理を行う頭頂葉機能が、偶然的見えでの物体同定の際には腹側経路の物体認知機能と協調して働いている、と考えるのが自然である。

5.4. これまでの物体認知理論との関係

序論で述べたように、物体同定過程で利用されている物体の記憶表象が完全に 3 次元的な表象だとすると、定義上、それは物体方向の情報を含んでいないことになる。しかしもちろんこれは物体方向知覚が全く不可能になるということを意味はしない (1.1.4.)。加えて、本研究で繰り返し確認されたように物体方向知覚が正確な見えは物体同定が難しい見えであるから、そもそも物体方向知覚が物体同定で利用されている記憶表象に基づいているとは考えにくいのである。本研究の結果から、物体同定過程が 3 次元的記憶表象に基づいているのか、2 次元的記憶表象に基づいているのか、その答えを導くことは難しそうである。

とは言え、物体方向知覚に記憶表象がまったく関係ないと言い切るのもまた難しいだろう。実験 1~4 の課題のように 15° の方向ずれを検出する場合には、確かに長期記憶に保持されている物体の知識はあまり関係がないかも知れない。しかし、例えばどちらが物体の前であるか、というような情報は、知識として日常物体の記憶表象に保持されていてもおかしくはない。例えば実験 3 の結果から、輪郭線の対称性が前や後ろ方向の手がかりであることがわかったが、ではどちらも対称な見えである前と後ろとはどのようにして区別できるのだろうか。前方向のみに現れ、後ろ方向には現れない（あるいはその逆となる）視覚的特徴というのは、あまりなさそうである（動物の顔などは例外かも知れない）。前や後ろといった物体の絶対的な方向の判断には、物体の知識が用いられている可能性が高い。しかしこの可能性もまた、物体同定が 3 次元表象と 2 次元表象のどちらに基づいているかという二元的な議論に答えを与えはしないだろう。3 次元的表象であれば物体の主軸に「前」「後ろ」という極性を与えることによって、2 次元的表象であれば見えの複合体に含まれる前と後ろの見えにそれぞれ「前」「後ろ」という意味的表象を関連づけることによって、物体方向の知識を保持することができる。

本研究で解明された物体方向知覚の特性が物体同定の理論に与える最も有益な示唆はおそらく、偶然的見えと典型的見えの違いという問題にかかわるものである。これまで認知心理学的な物体認知研究は、どうすれば物体方向ないし視点の変化を捨象して方向非依存的な物体表象を形成することができるかという観点から物体認知理論を洗練させてきた。従って偶然的見えでの物体認知は、その理論の中で、いわば例外として扱われているわけである。偶然的見えでは物体の主要なパーツが遮蔽されていたり、主軸が圧縮されていて知覚しにくいために、物体同定に必要な3次元の表象が例外的に形成できない、と考えるのが、Marr (1982)や Biederman (1987)の理論である。物体の2次元の表象（見えの複合体）によって物体同定を説明する Tarr (1995)の場合には、偶然的見えは日常生活で経験することが稀な見えなので、そもそもその見えが見えの複合体の中に含まれていないか、もしくは見えの複合体に含まれている見えとの類似度が低いために正規化に時間がかかるというように説明されてきた。

しかしながら、偶然的見えそのものに対してどのような処理が行われているのかについては、ほとんど何も調べられてこなかったと言えるだろう。偶然的見えと典型的見えではたらいっているメカニズムが異なるとしたら、これまでの物体認知理論は偶然的見えの処理に対して十分な説明をできていないということになる。これまでの物体認知の理論は、おそらく腹側経路で行われている、非偶然的見えでの物体同定のメカニズムについての理論なのである。それがうまく働かないのが偶然的見えである。しかし、偶然的見えでも難しいとは言え、物体同定はまったく不可能ではない。にもかかわらず、どのようにして偶然的見えでの物体同定が行われているのかについては、きちんと説明されてこなかった。

これまで論じてきたように、偶然的見えでは物体の詳細な立体構造や方向の知覚を介することで、物体同定が行われていると考えられる。これはおそらく、時間のかかるあまり効率的ではないメカニズムだろうが、しかし偶然的見えのような「例外的」

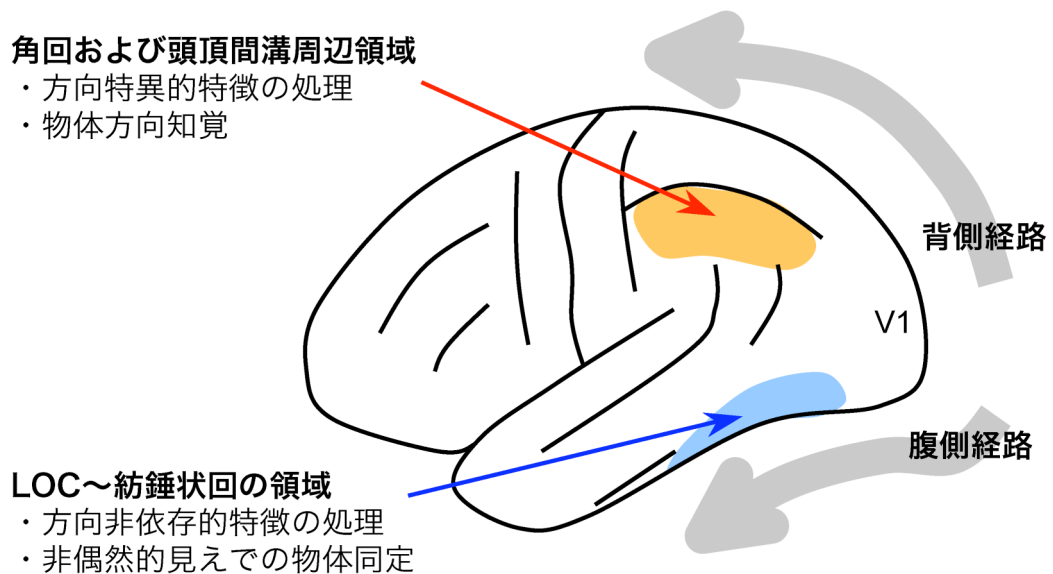


図 41. 視覚的物体認知には、役割の異なる 2 つの神経機構が関係すると考えられる。腹側経路の物体同定機構とは別に、方向特異的特徴や物体方向を処理する機構が頭頂葉に存在することが示唆される。

なケースにも適用できる、応用可能性の高いメカニズムなのだろう。逆に腹側経路での物体同定メカニズムは、日常生活で遭遇することの多いケースに特化することで効率的な処理を実現したメカニズムなのではないだろうか。おそらくそこでは、物体の詳細な立体構造を正確に復元するというような処理は行われず、入力された物体の像を長期記憶と照らし合わせて最も蓋然性の高い物体名を速やかに選び出すような処理が行われている。このように考えると、例えば初めて見る未知の物体を学習する際には、偶然的見えの場合と同じように頭頂葉機能によってその物体の詳細な分析が行われるが、学習が進むにつれて次第にその同定の処理は腹側経路に移っていくのだということも予測される。物体同定は難しいか物体方向知覚が正確な偶然的見えと、物体同定は容易だが物体方向知覚は不正確な典型的見えという見えのカテゴリの違いは、このような 2 つのメカニズム（図 41）の機能をそれぞれ反映したものである。

ヒトの視覚的物体認知のメカニズムは、このように特性の異なる 2 つのメカニズム

をあわせ持つことで、幅広い状況に対応できるようになっているのではないだろうか。

5.5. おわりに

本研究では、物体方向知覚という問題を通して、日常物体の視覚的認知について様々な新しい理解を得ることができた。視覚的物体認知を、物体同定のみならず様々な認知機能に関係して行われる物体の像に関する視覚情報処理全般というように広義に考えるならば、物体方向知覚はこれまで物体認知研究があまり目を向けてこなかった部分である。しかし、物体方向知覚がカテゴリ的であることや、偶然的見えでは正確だが非偶然的見えでは不正確で誤っているという、本研究で得られたその基本的特性は、物体認知メカニズムのまったく新しい側面である。それはこれまでの物体同定研究のちょうど裏側に光を当てるものであり、物体同定と物体方向知覚と双方の特性をあわせて考えることで、はじめて物体認知メカニズムの全体像を総合的に理解することができるのである。

物体方向知覚は、物体に対する行動や情景の理解など、より高次の様々な認知機能の実現に必要な構成要素であることが明白である。物体方向知覚とそのメカニズムを通して、「何のための物体認知」かを考慮し、ヒトの視覚的認知システム全体の中での物体認知機構の位置を見定めるような研究が今後は必要となるのではないだろうか。

引用文献

- Appelle, S. (1972). Perception and discrimination as a function of stimulus-orientation: the "oblique effect" in man and animals. *Psychological Bulletin*, **78**, 266-278.
- Bar, M. (2001). Viewpoint dependency in visual object recognition does not necessarily imply viewer-centered representation. *Journal of Cognitive Neuroscience*, **13**, 793-799.
- Barlow, H. B., & Reeves, B. C. (1979). The versatility and absolute efficiency of detecting mirror symmetry in random dot displays. *Vision Research*, **19**, 783-793.
- Bartram, D. J. (1974). The role of visual semantic codes in object naming. *Cognitive Psychology*, **6**, 325-356.
- Biederman, I. (1987). Recognition-by-components: a theory of human image understanding. *Psychological Review*, **94**, 115-147.
- Biederman, I. (2001). Recognizing depth-rotated objects: a review of recent research and theory. *Spatial Vision*, **13**, 241-253.
- Biederman, I., & Bar, M. (1999). One-shot viewpoint invariance in matching novel objects. *Vision Research*, **39**, 2885-2899.
- Biederman, I., & Bar, M. (2000). Differing views on views: response to Hayward and Tarr (2000). *Vision Research*, **40**, 3901-3905.
- Biederman, I., & Cooper, E. E. (1991). Evidence for complete transformational and reflectional invariance in visual object priming. *Perception*, **20**, 585-593.
- Biederman, I., & Gerhardstein, P. C. (1993). Recognizing depth-rotated objects: evidence and

- conditions for three-dimensional viewpoint invariance. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, **19**, 1162-1182.
- Biederman, I., & Gehardstein, P. C. (1995). Viewpoint-dependent mechanisms in visual object recognition: reply to Tarr and Bülthoff (1995). *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, **21**, 1506-1514.
- Biederman, I., Mezzanotte, R. J., & Rabinowitz, J. C. (1982). Scene perception: detecting and judging objects undergoing relational violations. *Cognitive Psychology*, **14**, 143-177.
- Blanz, V., Tarr, M. J., & Bülthoff, H. H. (1999). What object attributes determine canonical views? *Perception*, **28**, 575-599.
- Bornstein, M. H., Ferdinandsen, K., & Gross, C. G. (1981). Perception of symmetry in infancy. *Developmental Psychology*, **17**, 82-86.
- Bülthoff, H. H., & Edelman, S. (1992). Psychological support for a two-dimensional view interpolation theory of object recognition. *Proceedings of the National Academy of Science of the USA*, **89**, 60-64.
- Burke, D. (2005). Combining disparate views of objects: viewpoint costs are reduced by stereopsis. *Visual Cognition*, **12**, 705-719.
- Callahan, J., & Weiss, R. (1985). A model for describing surface shape. In *Proceedings of IEEE conference on computer vision and pattern recognition* (pp. 240-245). IEEE Computer Society, New York.
- Chao, L. L., & Martin, A. (2000). Representation of manipulable man-made objects in the dorsal stream. *NeuroImage*, **12**, 478-484.
- Cohen, M. S., Kosslyn, S. M., Breiter, H. C., DiGirolamo, G. J., Thompson, W. L., Anderson, A. K., et al. (1996). Changes in cortical activity during mental rotation: a mapping study using functional MRI. *Brain*, **119**, 89-100.

- Culham, J. C., & Kanwisher, N. G. (2001). Neuroimaging of cognitive functions in human parietal cortex. *Current Opinion in Neurobiology*, **11**, 157-163.
- Davidoff, J., & Warrington, E. K. (1999). The bare bones of object recognition: implications from a case of object recognition impairment. *Neuropsychologia*, **37**, 279-292.
- De Caro, S. A., & Reeves, A. (2000). Rotating objects to determine orientation, not identity: evidence from a backward-masking/dual-task procedure. *Perception & Psychophysics*, **62**, 1356-1366.
- Downing, P. E., Jiang, Y., Shuman, M., & Kanwisher, N. (2001). A cortical area selective for visual processing of the human body. *Science*, **293**, 2470-2473.
- Eacott, M. J., & Gaffan, D. (1991). The role of monkey inferior parietal cortex in visual discrimination of identity and orientation of shapes. *Behavioural Brain Research*, **46**, 95-98.
- Edelman, S., & Bülthoff, H. H. (1992). Orientation dependence in the recognition of familiar and novel views of three-dimensional objects. *Vision Research*, **32**, 2385-2400.
- Ellis, R., Allport, D. A., Humphreys, G. W., & Collis, J. (1989). Varieties of object constancy. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, **41A**, 775-796.
- Faillenot, I., Decety, J., & Jeannerod, M. (1999). Human brain activity related to the perception of spatial features of objects. *NeuroImage*, **10**, 114-124.
- Fang, F., & He, S. (2005). Viewer-centered object representation in the human visual system revealed by viewpoint aftereffects. *Neuron*, **45**, 793-800.
- Farah, M. J. (1992). Is an object an object an object? Cognitive and neuropsychological investigations of domain specificity in visual object recognition. *Current Opinion in Psychological Science*, **1**, 164-169.
- Farah, M. J. (1995). *Visual agnosia: disorders of object recognition and what they tell us about*

- normal vision*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Feinberg, T., & Jones, G. (1985). Object reversals after parietal lobe infraction - a case report. *Cortex*, **21**, 261-271.
- Fisher, C. B., Ferdinandsen, K., & Bornstein, M. H. (1981). The role of symmetry in infant form discrimination. *Child Development*, **52**, 457-462.
- Foster, D. H., & Gilson, S. J. (2002). Recognizing novel three-dimensional objects by summing signals from parts and views. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, **269**, 1939-1947.
- Gaffan, D., Harrison, S., & Gaffan, E. A. (1986). Visual identification following inferotemporal ablation in the monkey. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, **38B**, 5-30.
- Gauthier, I., Hayward, W. G., Tarr, M. J., Anderson, A. W., Skudlarski, P., & Gore, J. C. (2002). BOLD activity during mental rotation and viewpoint-dependent object recognition. *Neuron*, **34**, 161-171.
- Goodale, M. A., & Milner, D. (1992). Separate visual pathways for perception and action. *Trends in Neurosciences*, **15**, 20-25.
- Goodale, M. A., Milner, A. D., Jakobson, L. S., & Carey, D. P. (1991). A neurological dissociation between perceiving objects and grasping them. *Nature*, **349**, 154-156.
- Grill-Spector, K., Kushnir, T., Edelman, S., Avidan, G., Itzhak, Y., & Malach, R. (1999). Differential processing of objects under various viewing conditions in the human lateral occipital complex. *Neuron*, **24**, 187-203.
- Grill-Spector, K., Kushnir, T., Hendler, T., & Malach, R. (2000). The dynamics of object-selective activation correlate with recognition performance in humans. *Nature Neuroscience*, **3**, 837-843.
- Gross, C. G. (1978). Inferior temporal lesions do not impair discrimination of rotated patterns in

- monkeys. *Journal of Comparative and Physiological Psychology*, **92**, 1095-1109.
- Harris, I. M., & Dux, P. E. (2005a). Orientation-invariant object recognition: evidence from repetition blindness. *Cognition*, **95**, 73-93.
- Harris, I. M., & Dux, P. E. (2005b). Turning objects on their heads: the influence of the stored axis on object individuation. *Perception & Psychophysics*, **67**, 1010-1015.
- Haxby, J. V., Gobbini, M. I., Furey, M., Ishai, A., Schouten, J. L., & Pietrini, P. (2001). Distributed and overlapping representation of faces and objects in ventral temporal cortex. *Science*, **293**, 2425-2430.
- Hayward, W. G. (1998). Effects of outline shape in object recognition. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, **24**, 427-440.
- Hayward, W. G. (2003). After the viewpoint debate: where next in object recognition? *Trends in Cognitive Sciences*, **7**, 425-427.
- Hayward, W. G., & Tarr, M. J. (1997). Testing conditions for viewpoint invariance in object recognition. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, **23**, 1511-1521.
- Hayward, W. G., & Tarr, M. J. (2000). Differing views on views: comments on Biederman and Bar (1999). *Vision Research*, **40**, 3895-3889.
- Hayward, W. G., & Williams, P. (2000). Viewpoint dependence and object discriminability. *Psychological Science*, **11**, 7-12.
- Heeley, D. W., & Timney, B. (1988). Meridional anisotropies of orientation discrimination for sine wave gratings. *Vision Research*, **28**, 337-344.
- Holmes, E. J., & Gross, C. G. (1984). Effects of inferior temporal lesions on discrimination of stimuli differing in orientation. *The Journal of Neuroscience*, **4**, 3063-3068.
- Humphrey, G. K., & Jolicoeur, P. (1993). An examination of the effects of axis foreshortening,

- monocular depth cues, and visual field on object identification. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, **46A**, 137-159.
- Humphreys, G. W., & Riddoch, M. J. (1984). Routes to object constancy: implications from neurological impairments of object constancy. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, **36A**, 385-415.
- Humphreys, G. W., & Riddoch, M. J. (1985). Author's correction to 'Routes to object constancy'. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, **37A**, 493-495.
- James, T. W., Humphrey, G. K., Gati, J. S., Menon, R. S., & Goodale, M. A. (2000). The effects of visual object priming on brain activation before and after recognition. *Current Biology*, **10**, 1017-1024.
- James, T. W., Humphrey, G. K., Gati, J. S., Menon, R. S., & Goodale, M. A. (2002). Differential effects of viewpoint on object-driven activation in dorsal and ventral streams. *Neuron*, **35**, 793-801.
- Jeannerod, M. (1984). The timing of natural prehension movements. *Journal of Motor Behavior*, **16**, 235-254.
- Johnston, M. N., & Hayes, A. (2000). An experimental comparison of viewpoint-specific and viewpoint-independent models of object representation. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, **53A**, 792-824.
- Kanwisher, N. (2003). The ventral visual object pathway in humans: evidence from fMRI. In L. M. Chalupa & J. S. Werner (Eds.), *The visual neurosciences* (pp.1179-1189). Cambridge, MA: The MIT Press.
- Kanwisher, N., McDermott, J., & Chun, M. M. (1997). The fusiform face area: a module in human extrastriate cortex specialized for face perception. *The Journal of Neuroscience*, **17**, 4302-4311.

- Karnath, H.-O., Ferber, S., & Bühlhoff, H. H. (2000). Neuronal representation of object orientation. *Neuropsychologia*, **38**, 1235-1241.
- Koenderink, J. J., & van Doorn, A. J. (1979). The internal representation of solid shape with respect to vision. *Biological Cybernetics*, **32**, 211-216.
- Koffka, K. (1935). *Principles of Gestalt psychology*. London: Routledge & Kegan Paul.
- (コフカ, K. 鈴木正彌 (監訳) (1998). ゲシュタルト心理学の原理 福村出版)
- Kosslyn, S. M., Alpert, N. M., Thompson, W. L., Chabris, C. F., Rauch, S. L., & Anderson, A. K. (1994). Identifying objects seen from different viewpoints: a PET investigation. *Brain*, **117**, 1055-1071.
- Kosslyn, S. M., & Rabin, C. (1999). The representation of left-right orientation: A dissociation between imagery and perceptual recognition. *Visual Cognition*, **6**, 497-508.
- Kourtzi, Z., & Kanwisher, N. (2001). Representation of perceived object shape by the human lateral occipital complex. *Science*, **293**, 1506-1509.
- Kraut, M., Hart, J. J., Soher, B. J., & Gordon, B. (1997). Object shape processing in the visual system evaluated using functional MRI. *Neurology*, **48**, 1416-1420.
- Kriegman, D. J., Ponce, J. (1990). Computing exact aspect graphs of curved objects: solids of revolution. *International Journal of Computer Vision*, **5**, 119-135.
- Lawson, R. (1999). Achieving visual object constancy across plane rotation and depth rotation. *Acta Psychologica*, **102**, 221-245.
- Lawson, R., & Humphreys, G. W. (1996). View specificity in object processing: evidence from picture matching. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, **22**, 395-416.
- Lawson, R., & Humphreys, G. W. (1998). View-specific effects of depth rotation and foreshortening on the initial recognition and priming of familiar objects. *Perception &*

- Psychophysics*, **60**, 1052-1066.
- Lawson, R., & Humphreys, G. W. (1999). The effects of view in depth on the identification of line drawings and silhouettes of familiar objects: normality and pathology. *Visual Cognition*, **6**, 165-195.
- Lawson, R., Humphreys, G. W., & Jolicoeur, P. (2000). Combined effects of plane disorientation and foreshortening on picture naming: one manipulation or two? *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, **26**, 568-581.
- Layman, S., & Greene, E. (1988). The effect of stroke on object recognition. *Brain and Cognition*, **7**, 87-114.
- Logothetis, N. K., Pauls, J., Bülthoff, H. H., & Poggio, T. (1994). View-dependent object recognition by monkeys. *Current Biology*, **4**, 401-414.
- Malach, R., Reppas, J. B., Benson, R. R., Kwong, K. K., Jiang, H., Kennedy, W. A., et al. (1995). Object-related activity revealed by functional magnetic resonance imaging in human occipital cortex. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, **92**, 8135-8139.
- Marr, D. (1982). *Vision*. San Francisco: Freeman.
- McBeath, M. K., Schiano, D. J., & Tversky, B. (1997). Three-dimensional bilateral symmetry bias in judgments of figural identity and orientation. *Psychological Science*, **8**, 217-223.
- 宮下有紀子・Shein, W. N.・村田哲・田中裕二・酒田英夫 (1998). サル頭頂葉の手操作関連ニューロンの視覚反応について -三次元物体の形態と方位に対する選択性- リハビリテーション医学, **35**, 926-935.
- Mishkin, M., Ungerleider, L. G., & Macko, K. A. (1983). Object vision and spatial vision: two cortical pathways. *Trends in Neurosciences*, **6**, 414-417.
- Mitsumatsu, H., & Yokosawa, K. (2002). How do the internal details of the object contribute to

- recognition? *Perception*, **31**, 1289-1298.
- 光松秀倫・横澤一彦 (2004). 観察条件の変化における物体認知の不変性 心理学評論, **47**, 241-256.
- Mountcastle, V. B., Lynch, J. C., Georgopoulos, A. P., Sakata, H., & Acuna, C. (1975). Posterior parietal association cortex of the monkey: command functions for operations within extrapersonal space. *Journal of Neurophysiology*, **38**, 871-908.
- Murata, A., Gallese, V., Luppino, G., Kaseda, M., & Sakata, H. (2000). Selectivity for the shape, size, and orientation of objects for grasping in neurons of monkey parietal area AIP. *Journal of Neurophysiology*, **83**, 2580-2601.
- Newell, F. N., & Findlay, J. M. (1997). The effect of depth rotation on object identification. *Perception*, **26**, 1231-1257.
- Niimi, R., & Yokosawa, K. (2007). Viewpoint dependency in the recognition of non-elongated familiar objects: testing the effects of symmetry, front-back axis, and familiarity. Manuscript submitted for publication.
- 野々瀬晃平 (2006). 前後軸が圧縮された見えが物体認知に与える影響 卒業論文, 東京大学.
- Palmer, S. (1999). *Vision science: photons to phenomenology*. Cambridge: MIT Press.
- Palmer, S., Rosch, E., & Chase, P. (1981). Canonical perspective and the perception of objects. In J. Long & A. Baddeley (Eds.), *Attention and performance IX* (pp. 135-151). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Pilzo, Z. (1994). A theory of shape constancy based on perspective invariants. *Vision Research*, **34**, 1637-1658.
- Reddy, L., & Kanwisher, N. (2006). Coding of visual objects in the ventral visual stream. *Current Opinion in Neurobiology*, **16**, 1-7.

- Richter, W., Somorjai, R., Summers, R., & Jarmasz, M. (2000). Motor area activity during mental rotation studied by time-resolved single-trial fMRI. *Journal of Cognitive Neuroscience*, **12**, 310-320.
- Rock, I., & DiVita, J. (1987). A case of viewer-centered object perception. *Cognitive Psychology*, **19**, 280-293.
- Rollenhagen, J. E., & Olson, C. R. (2000). Mirror-image confusion in single neurons of the macaque inferotemporal cortex. *Science*, **287**, 1506-1508.
- Sakata, H., Taira, M., Kusunoki, M., Murata, A., & Tanaka, Y. (1997). The TINS lecture – The parietal association cortex in depth perception and visual control of hand action. *Trends in Neurosciences*, **20**, 350-357.
- Sakata, H., Taira, M., Kusunoki, M., Murata, A., Tanaka, Y., & Tsutsui, K. (1998). Neural coding of 3D features of objects for hand action in the parietal cortex of the monkey. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series B, Biological sciences*, **353**, 1363-1373.
- Sakata, H., Taira, M., Kusunoki, M., Murata, A., Tsutsui, K., Tanaka, Y., Shein, W. N., & Miyashita, Y. (1999). Neural representation of three-dimensional features of manipulation objects with stereopsis. *Experimental Brain Research*, **128**, 160-169.
- Schaller, M. J., & Harris, L. J. (1975). “Upright” orientations of forms changes with subject age and with features of form. *Perception & Psychophysics*, **17**, 179-188.
- Shacter, D. L., & Buckner, R. L. (1998). Priming and the brain. *Neuron*, **20**, 185-195.
- Shepard, R. N., & Metzler, J. (1971). Mental rotation of three-dimensional objects. *Science*, **191**, 952-954.
- Shikata, E., Hamzei, F., Glauche, V., Knab, R., Dettmers, C., Weiller, C., et al. (2001). Surface orientation discrimination activates caudal and anterior intraparietal sulcus in humans: an

- event-related fMRI study. *Journal of Neurophysiology*, **85**, 1309-1314.
- Shikata, E., Tanaka, Y., Nakamura, H., Taira, M., & Sakata, H. (1996). Selectivity of the parietal visual neurons in 3D orientation of surface of stereoscopic stimuli. *NeuroReport*, **7**, 2389-2394.
- Simons, D. J., & Wang, F. (1998). Perceiving real-world viewpoint changes. *Psychological Science*, **9**, 315-320.
- Srinivas, K. (1995). Representation of rotated objects in explicit and implicit memory. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, **21**, 1019-1036.
- Sugio, T., Inui, T., Matsuo, K., Matsuzawa, M., Glover, G. H., & Nakai, T. (1999). The role of the posterior parietal cortex in human object recognition: a functional magnetic resonance imaging study. *Neuroscience Letters*, **276**, 45-48.
- Taira, M., Mine, S., Georgopoulos, A. P., Murata, A., & Sakata, H. (1990). Parietal cortex neurons of the monkey related to the visual guidance of hand movement. *Experimental Brain Research*, **83**, 29-36.
- Taira, M., Tsutsui, K., Jiang, M., Yara, K., & Sakata, H. (2000). Parietal neurons represent surface orientation from the gradient of binocular disparity. *Journal of Neurophysiology*, **83**, 3140-3146.
- Tanaka, K. (1993). Neuronal mechanisms of object recognition. *Science*, **262**, 685-688.
- Tanaka, K. (1997). Mechanisms of visual object recognition: monkey and human studies. *Current Opinion in Neurobiology*, **7**, 523-529.
- Tarr, M. J. (1995). Rotating objects to recognize them: a case study on the role of viewpoint dependency in the recognition of three-dimensional objects. *Psychonomic Bulletin & Review*, **2**, 55-82.
- Tarr, M. J., & Bülthoff, H. H. (1995). Is human object recognition better described by Geon

- structural descriptions or by multiple views? Comment to Biederman and Gehardstein (1993). *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, **21**, 1494-1505.
- Tarr, M. J., & Bülthoff, H. H. (1998). Image-based object recognition in man, monkey, and machine. *Cognition*, **67**, 1-20.
- Tarr, M. J., Bülthoff, H. H., Zabinski, M., & Blanz, V. (1997). To what extent do unique parts influence recognition across changes in viewpoint? *Psychological Science*, **8**, 282-289.
- Tarr, M. J., & Kriegman, D. J. (2001). What defines a view? *Vision Research*, **41**, 1981-2004.
- Tarr, M. J., Williams, P., Hayward, W. G., & Gauthier, I. (1998). Three-dimensional object recognition is viewpoint dependent. *Nature Neuroscience*, **1**, 275-277.
- Terhune, K. P., Liu, G. T., Modestino, E. J., Miki, A., Sheth, K. N., Liu, C.-S. J., et al. (2005). Recognition of objects in non-canonical views: a functional MRI study. *Journal of Neuro-Ophthalmology*, **25**, 273-279.
- Tsutsui, K., Sakata, H., Naganuma, T., & Taira, M. (2002). Neural correlates for perception of 3D surface orientation from texture gradient. *Science*, **298**, 409-412.
- Turnbull, O. H. (1997). A double dissociation between knowledge of object identity and object orientation. *Neuropsychologia*, **35**, 567-570.
- Turnbull, O. H., Beschin, N. A., & Della Sala, S. (1997). Agnosia for object orientation: implications for theories of object recognition. *Neuropsychologia*, **35**, 153-163.
- Turnbull, O. H., Laws, K. R., & McCarthy, R. A. (1995). Object recognition without knowledge of object orientation. *Cortex*, **31**, 387-395.
- Turnbull, O. H., & McCarthy, R. A. (1996). When is a view unusual? A single case study of orientation-dependent visual agnosia. *Brain Research Bulletin*, **40**, 497-503.
- Vanrie, J., Willems, B., & Wagemans, J. (2001). Multiple routes to object matching from

- different viewpoint: mental rotation versus invariant features. *Perception*, **30**, 1047-1056.
- Verfaillie, K., & Boutsen, L. (1995). A corpus of 714 full-color images of depth-rotated objects. *Perception & Psychophysics*, **57**, 925-961.
- Vetter, T., Poggio, T., & Bülthoff, H. H. (1994). The importance of symmetry and virtual views in three-dimensional object recognition. *Current Biology*, **4**, 18-23.
- Vuilleumier, P., Henson, R. N., Driver, J., & Dolan, R. J. (2002). Multiple levels of visual object constancy revealed by event-related fMRI of repetition priming. *Nature Neuroscience*, **5**, 491-499.
- Wagemans, J. (1995). Detection of visual symmetries. *Spatial Vision*, **9**, 9-32.
- Walsh, V., & Butler, S. R. (1996). The effects of visual cortex lesions on the perception of rotated shapes. *Behavioural Brain Research*, **76**, 127-142.
- Wang, G., Tanifuji, M., & Tanaka, K. (1998). Functional architecture in monkey inferotemporal cortex revealed by in vivo optical imaging. *Neuroscience Research*, **32**, 33-46.
- Warrington, E. K. (1982). Neuropsychological studies of object recognition. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series B, Biological sciences*, **298**, 15-33.
- Warrington, E. K., & James, M. (1988). Visual apperceptive agnosia: a clinico-anatomical study of three cases. *Cortex*, **24**, 13-32.
- Warrington, E. K., & Taylor, A. M. (1973). The contribution of the right parietal lobe to object recognition. *Cortex*, **9**, 152-164.
- Warrington, E. K., & Taylor, A. M. (1978). Two categorical stages of object recognition. *Perception*, **7**, 695-705.
- Wiggs, C. L., & Martin, A. (1998). Properties and mechanisms of perceptual priming. *Current Opinion in Neurobiology*, **8**, 227-233.
- Zabrodsky, H., Peleg, S., & Avnir, D. (1995). Symmetry as a continuous feature. *IEEE*

Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, **17**, 1154-1166.

謝辞

1. 本研究は東京大学大学院人文社会系研究科において著者が行ったものである。博士課程指導教員であり、学位論文主査である横澤一彦教授には、著者の研究活動全般にわたり多大なるご指導・ご助力を賜った。ここに深く謝意を表する。また、多忙な中に学位審査をお引き受けいただいた佐藤隆夫教授・高野陽太郎教授・立花政夫教授（東京大学文学部）、ならびに渡邊克巳准教授（東京大学先端科学技術研究センター・産業技術総合研究所）にも感謝申し上げたい。本研究は著者の学位論文ではあるが、このように成果として形にできたことは、著者と研究生活を共にした横澤研究グループのメンバー・元メンバーの皆様にも多くを負っている。最後に、快く実験参加をお引き受け下さった実験参加者の方々のご協力にも謝することを記しておきたい。
2. 本研究の一部は、著者が（独）日本学術振興会科学研究費補助金（特別研究員奨励費）を受けて行った研究課題の成果に基づいている。
3. 本研究の一部（第2章の主要部分）は、Niimi, R., & Yokosawa, K. (2008). Determining the orientation of depth-rotated familiar objects. *Psychonomic Bulletin & Review*, **15**, 208-214. として公刊されている。