

学位論文

顔認識処理の初期過程に関する研究

広島大学大学院
教育学研究科
教育人間科学専攻

D050976

吉田 弘司

第1章 研究の背景と目的	1
第1節 顔認識の心理学的意味	1
第2節 顔認識研究の動向と問題点	2
第3節 本研究の目的	7
第2章 顔認識の初期過程の心理物理学的検討	10
第1節 顔検出課題における上下および明暗反転の効果 (実験1)	10
第2節 回転した顔の認識における顔テクスチャの効果 (実験2)	28
第3節 Hollow-face 錯視における顔テクスチャ・呈示方向 ・光源位置の効果 (実験3)	45
第4節 合成顔を用いた年齢知覚手がかりの検討 (実験4)	65
第5節 年齢・性別知覚の空間周波数特性 (実験5-1, 5-2, 5-3)	81
第3章 総合考察	101
第1節 本研究のまとめ	101
第2節 今後の検討課題	104
引用文献	107

第 1 章 研究の背景と目的

第 1 節 顔認識の心理学的意味

人が外界のさまざまな事物を認識するとき、もっとも重要な役割を担っているのは、視覚的な情報であろう。外界から視覚情報を取得するための器官は眼であり、視覚情報はまず眼球の奥に位置する網膜上に 2 次元の像として投映される。我々は、視神経を通過して視覚野へと伝達された網膜像の情報を処理し、そこに含まれる対象を認識するという作業を、ほとんど意識的な努力を払うことなく瞬時に行うことが可能である。そのとき、人の脳は、画像に含まれるどのような情報を抽出し、それをどのように処理して、認識に結びつけているのだろうか。人は、視覚的な動物であるといわれるが、視覚系の構造が人に類似したマカクザルの脳で調べると、何らかのかたちで視覚情報の処理に携わる細胞は全皮質細胞の 30% 以上にものぼることがわかっている (Treisman, Cavanagh, Fischer, Ramachandran, & von der Heydt, 1990)。したがって、対象の認識という作業を特別な努力も要さず、瞬時に行うことができるといっても、その背景には、脳内での非常に複雑で高度な処理が存在すると推測される。

この視覚認識の能力は、我々が日常生活において他者の顔を認知する際にも発揮される。たとえば、日曜日の昼間に都市の繁華街を歩けば、我々はおそらく千人以上にもおよぶ多くの人々とすれ違うことになるだろう。しかし、そのような状況下においても、我々は見知った友人がいるとその存在を認識し、声をかけ、立ち話を始めるという行為を、さほどの苦労もなく行うことができる。実際、メディアの発達した現代社会

において、人は、数千にもわたる顔を弁別・認識することができるといわれている。この数は、数百年前に生きていた人が一生のうちに出会ったであろう人々の数を大きく超えるだけでなく、一般的に考えられている人の記憶容量の限界さえ超えたものといえる（Grüsser & Landis, 1991）。顔という対象も、物理的にとらえるならば、外界に存在する3次元の構造をもつ対象のひとつである。しかしながら、顔という対象が比較的複雑な構造をもつ自然対象であるということや、人々の顔が相互に極めて類似した構造をもつことなどを合わせ考えると、我々の顔認識の能力は極めて優れたものといわざるを得ない。

このような背景から、顔の認識では、対象物の認識とは異なる処理が行われていると考えられている。したがって、顔を認識するために独自に発達したと考えられる情報処理過程を研究することは、社会的存在である人間の脳の処理過程を、視覚情報処理の観点から解明することにつながると思われる。

第2節 顔認識研究の動向と問題点

顔も、対象物と同様に3次元の構造をもつことから、顔認識の情報処理もまた、対象物の認識処理と同様な方法で行われていると考えられるかもしれないが、顔と対象物の認識過程は同一ではない。3次元対象の認識過程は、古くから重要な研究テーマとして、多くの心理学者の興味を集めてきた問題である。

我々を取り巻く現実世界が3次元の広がりをもつのに対し、人は、そこに存在するさまざまな事物を、眼球の奥に位置する網膜上に投映された2次元の像をもとに認識しなければならない。3次元の世界において

は、対象を観察する方向が異なれば、それが同一の対象物であったとしても、異なった形状の網膜像が得られることになる。そこで、対象物の視覚認識過程においては、通常、視点に依存しない対象の認識を成立させることが重要であると考えられる。しかし、3次元の対象のデータを、2次元的に投映された像をもとに再現することは、数学的には解を一義に求めることができない不能問題（ill-posed problem）である。この問題を、脳がどのような情報処理によって解決しているかは、視覚的对象認識の分野における中心的研究テーマのひとつであり、これまでにさまざまな知見が得られてきた。その結果、一般的な状況下での対象認識の過程は、(a) 得られた2次元の網膜像に含まれるエッジ（急峻な光強度の変化点）を描き出すことによって、対象と背景間あるいは対象部分間の画像領域の切り分けを行う過程、(b) 種々の奥行き手がかりをもとに、対象を構成する表面の方向やおおまかな奥行き、およびこれらの量が不連続になっている部分の輪郭を描き出す過程、(c) 観察者中心の座標系で記述された対象の空間的構造を、視点に依存しない対象中心の座標系で記述し直し、対象に関する3次元のモデルを再構築する過程などが含まれていることが理論的に示唆されている（Marr, 1982; Marr & Nishihara, 1978）。

顔が3次元の構造物であるからといって、対象認知の研究によって得られた知見を、即、顔認知についても適用できるものであろうか。この点については、以下に述べるような理由から、異論を唱えることができる。

まず、対象物の認識においては、通常、それがペンであるとか、カップであるというような対象クラス（対象カテゴリー）間の弁別がなされることが多い。それに対し、顔という対象を我々が認識する操作は、（た

たとえば“誰の”顔であるかというような) 対象クラス内での弁別を要する。したがって、顔の認識には、対象物の認識よりもさらに高度に専門化された知覚的スキルが必要となるに違いない。

また、一般的に対象物の表面は固い性質をもち、変形することが少ないのに対し、顔という刺激は、表情の表出や発話に伴って動的に変形する性質をもつ。また、加齢などに伴い、長期的にもその形状は変化する。もちろん、対象物においても、変形するものはあるが、その認識においては、構成部分のみに基づく認識を行うなど、変形情報を無視することができるような情報処理を行えばよい。しかしながら、顔の変形は、通常、それ自体が重要な意味をもつものである。表情による顔の変形は相手の情緒的状态を探る極めて有効な手がかりであるし、発話による変形も聴覚的に会話を理解する際の手助けとして用いられている。また、加齢による顔の変形も、日常のコミュニケーション場面において、相手の年齢を推定する手がかりとして用いられる。したがって、顔認識の情報処理において、これらの変形情報は必ずしも無視してよいものとはいえない。

さらに、顔認識に関与するメカニズムが、対象物の認識とは独立して別個に存在するかもしれないことを示唆する証拠は、対象物の認識能力が正常なレベルに保たれている一方、顔による人物の同定や表情の識別などが選択的に障害を受ける「相貌失認 (prosopagnosia)」と呼ばれる脳損傷患者の報告などにも見ることができる (Farah, 1990; McCarthy & Warrington, 1990)。

このような点から、近年、顔認知に関する研究は頻繁に行われるようになってきており、さまざまな心理学的知見が集約され、顔認識に特有な情報処理モデルについてもいくつか提唱されている。Figure 1 は、人

の顔に特徴的な認識モデルとして、現在、広く受け入れられている Bruce & Young (1986) の提唱するモデルである。このモデルの特徴は、それぞれ独自の機能をもつモジュールから構成されていること、人物同定の過程が系列的な処理の過程として示されていること、および、表情分析や発話情報の分析過程が人物同定過程とは独立した過程として描かれていることであるといわれる (遠藤, 1993)。

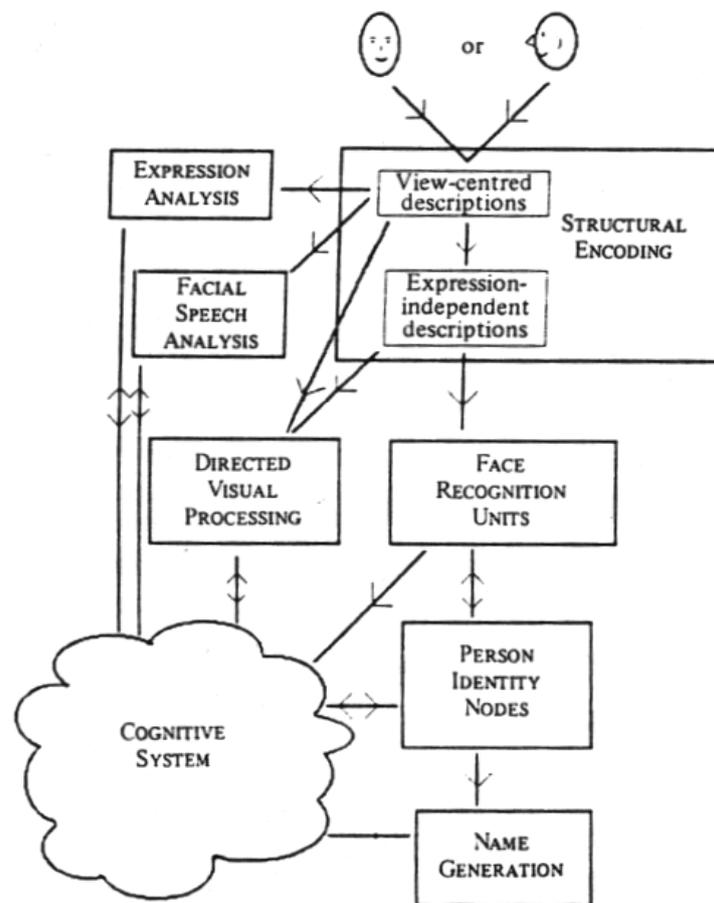


Figure 1. Bruce & Young (1986)の顔認識モデル

このモデルにおいて、人が顔から人物を同定するときには、以下のよう
な過程を経る。

まず、知覚された顔が構造的に符号化される (structural encoding)。こ

の過程は、顔の形態的特徴を記述する過程であり、すでに貯蔵されている顔の表象と照合が可能なように入力情報を変換する過程でもある。この過程には2つの段階が含まれており、最初の段階では、観察された顔は視点依存の記述で符号化される。この観察者中心の記述は、表情の分析や発話情報の認識に用いられる。一方、次の段階では、表情とは独立した構造的記述がなされ、これが個人の認識過程に利用される。このようにして作られた顔の構造的記述は、次に、顔認識ユニット（face recognition units）へと送られる。顔認識ユニットは既知の顔の情報を貯えており、入力情報との類似度がある閾値に達することで、入力された顔が知った人のものであるという判断（既知性判断）がなされる。顔が既知の人物のものであれば、その後、個人情報ノード（person identity nodes）へのアクセスが行われる。個人情報は、その人の職業や性別、年齢、いつもどこで会うかといったような情報からなっている。最後に、名前情報にアクセスすることによって、その人の名前が生成される（name generation）。

人物同定過程における系列的処理は、どのような人物であるかはわかっているが名前が出てこないことはしばしば経験するが、どのような人物かわからないのに名前だけが出てくることはないというような、我々の日常的経験にも合致する。また、これは、呈示された顔写真の人物が知っている人かどうかを判断する方が（政治家かどうかというような）意味的分類を行うよりも早い（Young, McWeeny, Ellis, & Hay, 1986a）、あるいは意味的分類課題の方が顔から名前を生成するよりも早い（Young, McWeeny, Ellis, & Hay, 1986b）というような実験的な証拠にも支持されている。

さらに、人物同定過程と表情認識過程の独立性は、相貌失認の患者に

において、表情の区別はできるが誰であるかがわからないという患者がいたり、逆に、誰であるかはわかるが表情が読み取れない患者がいたりする事実とも整合性をもつものである (Farah, 1990)。

現在においても、Bruce & Young (1986) のモデルによって示される顔認識の特性を検証し、モデルの修正あるいは精緻化を行おうとする試みは多くなされている。しかし、その試みの多くは、視覚的に呈示された人物の写真から記憶内に保持されている人物情報を検索する過程や、人物同定から名前の想起に至る過程、人物同定過程と表情分析過程の独立性の実験的検証など、顔認識における比較的高次の心的過程に焦点をあてたものが多いように思われる。それに対し、視覚的に得られた顔の画像特徴を分析するというような、この顔認識モデルの初期の処理過程である構造的符号化過程について、その詳細を検討するような研究はあまりない。モデルにおける個々のモジュールで行われている処理の詳細を検討することは、Bruce & Young (1986) においても、今後に残される問題として述べられていることである。

第3節 本研究の目的

Bruce & Young (1986) のモデルは、ある意味で、“顔だけ”の情報処理モデルである。その中では、顔以外の刺激がどのような処理を受けるのか、どの時点で顔と顔以外のパターンが異なった処理経路に振り分けられるのかが描かれていない。これに対し、Figure 2 に示す Ellis (1986) のモデルは、視覚認識処理の初期の構造的符号化段階で、顔か顔でないかを分類する過程が存在することを示唆している。顔認識の情報処理過程が、他の対象物とは異なる特性をもつのであれば、視覚認識処理の初

期段階においても、一般の対象物と顔パターンは異なる経路に振り分けられ、それぞれ特有の処理を受ける可能性が考えられる。

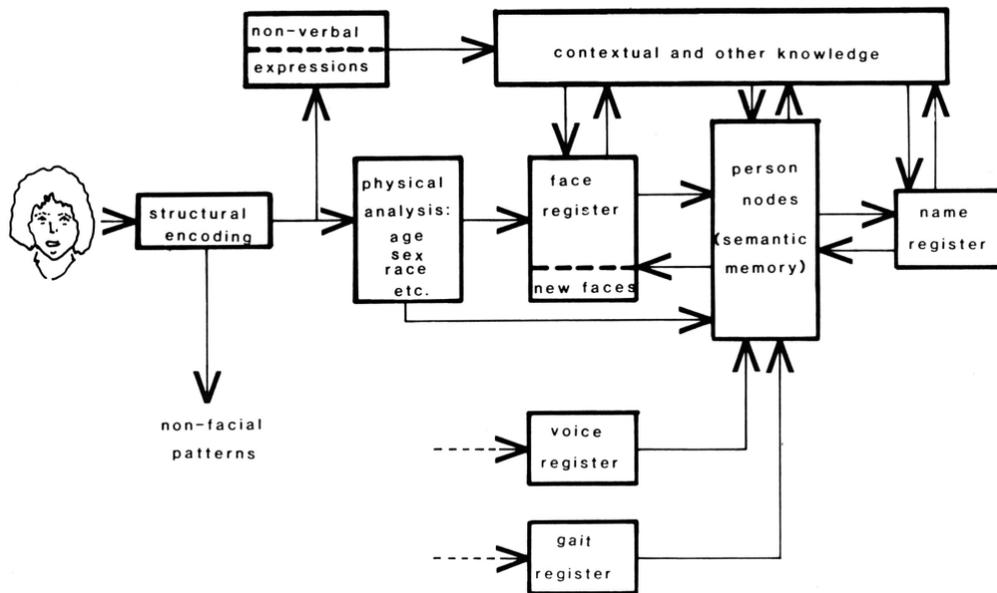


Figure 2. Ellis (1986)の顔認識モデル

そこで、本研究では、顔認識の初期過程に焦点をあて、対象物の認識とは異なる視覚情報処理の特徴を解明することを目的として、以下の5つの実験を行う。

顔認識の初期過程に関係すると考えられる、顔に特異的な知覚現象がある。たとえば、顔は上下逆さに呈示されると、誰の顔であるか判別が難しくなる (Yin, 1969)。また、顔は、画像の明暗 (白黒) が反転した場合にも認識が困難になる (Galper, 1970; Phillips, 1972)。これらの現象は、主として人物同定課題などの対象クラス内の弁別課題で確認されてきたが、実験1では、顔における上下反転および明暗反転効果が、顔を検出するという、より原始的なクラス間弁別課題においても認められるかを検討する。

対象物の認識過程では、人は、視点に依存しない3次元の表象を構築しているといわれる。しかし、顔の認識においては、正面向きの顔写真と実際の横顔の照合が難しいなど、観察方向への依存が経験される。実験2では、顔の3次元モデルを刺激とすることで、陰影によってもたらされる3次元形状に関する情報と、顔表面の2次元テクスチャの情報が、どのように顔の認識に貢献するかを検討する。

実験3では、奥行き形状知覚における錯覚である hollow-face 錯視を取り上げ、その生起要因を検討することで、顔の認識ユニットと奥行き知覚との関連を検討する。

実験4では、人物や表情に比べて研究の少ない年齢知覚に関して、異なる年齢顔をモーフィング合成した刺激を用いることで、年齢をもたらず顔の手がかりがどのように相互に影響しあって、知覚年齢を決定するかを検討する。

視覚情報処理の初期段階において、画像に含まれる大まかな情報や細かな情報は、異なる空間周波数処理チャンネルによって媒介されることがわかっている (De Valois & De Valois, 1988; Ginsburg, 1986)。実験5では、実験4で調べた年齢の知覚や性別の知覚が、どのような空間周波数の情報に依存して行われているかを検討する。

第2章 顔認識の初期過程の心理物理学的検討

第1節 顔検出課題における上下および明暗反転の効果（実験1）

顔認識の情報処理過程において、独自の処理機構の存在を示唆する証拠として、しばしば、顔刺激に特有にみられる顕著でよく知られた知覚的現象があげられる。顔は逆さに見せられると、誰の顔であるかの判別が極めて難しくなる。Yin (1969) は、顔の再認記憶に及ぼす倒立呈示の効果が、家や飛行機のようなパターンに比べて著しく強いことを見出した。複数の部分からなり、その関係性によって弁別の特徴がもたらされるような刺激は、倒立した際にもっとも識別が困難になる (Rock, 1974)。したがって、顔の認識は、部分間の関係構造を把握する全体的処理がなされていることが特徴であり、倒立効果は、顔のもつ全体的な布置情報が利用できなくなるためだと考えられている。

また、写真のネガのように、画像の明暗（白黒）が反転した場合も、顔からの人物の同定などが非常に困難になることが知られている (Galper, 1970; Galper & Hochberg, 1971; Phillips, 1972)。実際、写真のネガを見て、そこに写っている人々の顔をわかりにくく感じるのは日常でも我々が経験することであろう。この現象について、Hayes, Morrone, & Burr (1986) は、特定の帯域の空間周波数成分のみを取り出した画像を刺激として人物同定課題を行ったところ、明暗反転による顔認知の困難が低空間周波数領域で顕著にみられたことを報告している。顔刺激の場合、ぼかしたり、モザイク処理を施した画像においても、比較的容易にそれを認識可能であることから (Harmon, 1973; Harmon & Julesz, 1973)、顔における明暗反転効果は、我々が顔を認識する際に低い空間周波数成

分の情報を主として用いていることを示唆するものと考えられている (Hayes, 1988; 吉田, 2000; 吉田・利島, 1995)。

対象物の認識過程においては、その初期の段階で、2次元画像に含まれる強度変化（ゼロ交差）やそれらの幾何学的分布によってエッジ境界を描き出すことが重要であると考えられている (Marr, 1982)。また、こうして描かれたエッジや輪郭の情報を用いて、対象を構成する部分の特徴が描き出され同定される。このようにして、外界の対象物は、主としてそれを構成する部分の記述の集積によって成立するものと考えられている (Biederman, 1985, 1987; Marr, 1982)。

顔刺激における倒立効果や明暗反転の効果は、上述した対象物の認識とは異なる手法が顔の認識時に用いられていることを示唆する。たとえば、倒立効果は、顔認識において、部分の記述よりも全体の情報が重要であることを示唆するものである。また、明暗反転の効果は、顔の表象がエッジや輪郭の検出に基づいて形作られているわけではなく、顔の表面がもつ明るさや色の情報が重要であることを示唆している。

これに対し、顔に特有なこれらの現象が、かならずしも顔独自の処理過程を反映させているわけではないと示唆するような研究も最近いくつか報告されている。

Diamond & Carey (1986) は、人の顔と犬の写真を刺激として、再認記憶課題における倒立呈示の効果を測定した。参加者は、犬に関する専門家（ブリーダー）と一般の大学生であった。実験の結果、大学生の参加者は、顔が呈示された場合に大きな倒立効果を示したが、犬の写真では倒立効果を示さなかった。これに対し、犬の専門家は、顔写真だけでなく、犬の写真においても倒立効果を示すことが認められた。この結果は、ある特定の対象クラス（カテゴリー）に属する対象同士を見分けること

ができるような高度に専門化された知覚技能をもつ人が、顔でない刺激に対しても、我々が顔に対して行うのと同様の処理を行っていることを示唆するものである。この結果に対し、彼らは、対象クラス間の弁別には1次的な形態・布置情報（first-order relational properties）が必要であるが、同一の対象クラスに属する対象を弁別するには2次的な形態・布置情報（second-order relational properties）が要求されるものであり、後者の情報が、倒立呈示によって利用できなくなるのだと述べている。つまり、犬を見分ける技能を発達させた犬の専門家は、この2次的な形態・布置情報を利用しているために大きな倒立効果を示したと考えられる。このように、Diamond & Cary（1986）の研究は、顔の認識処理における全体的布置情報の重要性が、顔に対する知覚技能を発達させていく上で獲得されたものであることを示唆する、極めて重要な証拠であると考えられよう。

これに対し、発達の視点からの研究においては、生後数時間という新生児が、顔パターンに対して特別な反応を示すことが知られており（Goren, Sarty, & Wu, 1975）、顔認識の背景にある処理メカニズムが特殊なのではないかという考えをもたらし根拠のひとつとなっている。したがって、顔に対する認識処理がすべて生後に獲得されるものであるとはいえないかもしれない。この点に関連した研究として、Carey & Diamond（1994）は、人物の顔を上半分と下半分に分け、上半分の顔に対する命名をさせる課題において、顔が正立に呈示された場合、上下の顔の輪郭を揃えるとひとつに知覚されて命名が困難になるという“キメラ効果”（倒立時には困難とならない）を、6才児、10才児、成人を参加者として検討した。その結果、キメラ効果には発達の違いは認められなかったが、倒立呈示時の反応時間の遅れが、子どもにおいては成人よりも少

ないことが認められた。このことから、彼らは、倒立効果には、年齢に関係なく生じる部分と、経験に伴う専門技能の発達によって獲得される部分の2つの要素があると考察している。

また、明暗反転の効果が示唆するような、対象を認識する際にエッジ特徴が用いられるか、それとも表面特徴が用いられるかの違いについても、これが課題依存の特性ではないかと考える研究もある。

対象物と顔とでは、それらを認識する際に要求される課題の性質が異なることが多い。我々が物を認識する際には、通常、それがカップであるとかハサミであるというような、対象クラス間の弁別が要求される。それに対し、顔という対象を我々が認識する際には、それが誰の顔であるかとか、どんな表情をしているかなど、顔というひとつの対象クラスの内側での弁別を行うことが要求される。したがって、対象物においても、我々が顔に対して行うのと同じようなクラス内弁別が要求されるような事態を設ければ、顔に特有といわれるような処理が必要となることも推測される。

従来の研究において、我々は、画像が矛盾した色で呈示されても（たとえば、犬が赤で、リンゴが青で表示されていても）、その刺激からさほど苦もなく対象を分類することができることが知られている（Bruce & Humphreys, 1994）。これは、対象の分類が色やテクスチャ要素、陰影などに影響されず、エッジに基づく表象によってなされることを示す証拠と考えられている。それに対し、Price & Humphreys (1989) は、通常の色やテクスチャをもつ刺激と、単純化された線画、および矛盾した色をもつ刺激の間で、どのように表面特徴が利用されるかを検討した。その結果、矛盾した色で対象が呈示された時に生じる認識の難しさは、標本の多くが共通した知覚的特徴をもたない場合に比べて、知覚的特徴が似

通った標本を弁別する場合に、より大きく生じることが認められた。

以上の事柄を踏まえると、対象物においても、知覚的に類似した標本に対する対象クラス内の弁別が要求されるような状況であれば、顔刺激に特有とみられるような現象が観察されるようになるものと考えられる。それならば、逆に、見せられた画像が“顔であるかどうか”というような、“対象クラス間”の弁別課題が要求されるような状況では、顔に顕著にみられる倒立効果や明暗反転効果は消失するのだろうか。

人は、顔というパターンに対して極めて敏感に反応する動物である。日常における顔の記憶の失敗においても、顔自体を他のパターンとして見間違えたり、見逃した例は報告されていない (Young, Hay, & Ellis, 1985)。むしろ、我々は、雲や炎のような顔以外のパターンをも顔として見てしまうような、強い知覚的バイアスをもっている (Ellis, 1986; 遠藤, 1993)。また、たとえ、身近な人の顔さえ識別できないような相貌失認の患者であっても、見ているパターンが顔であることは容易に検出することができる (McCarthy & Warrington, 1990)。そのため、顔の研究においては、これまでに、“このパターンは顔かどうか”というような課題が用いられることはほとんどなかった。

これに対し、本実験においては、トリックアートを利用することによって、顔かどうかを参加者に問う“顔検出”実験を行う。Figure 3 は、Bev Doolittle (1985) が描いた“*The Forest Has Eyes*”という題目の絵画である (Goldstein, 1996 による)。この絵画には、溪流の中、馬に乗った人物が描かれているが、風景には、樹木や岩で構成された 13 個の顔が隠されている。実験においては、この絵画を呈示する際、正立・倒立、あるいはポジ・ネガの操作を加え、これらの操作によって顔の検出パフォーマンスがどのように影響されるかを量的に測定する。この絵において、

顔の検出に失敗すれば、その部分は岩や樹木として認識される。したがって、この顔検出課題は、対象クラス間の弁別課題といえよう。このような課題において、もし、明暗反転や倒立呈示の効果が見られないのならば、これらの現象は、クラス内弁別という顔認識時に用いられる課題特性に依存したものであることを示唆するものといえよう。それに対し、この課題においてもこれらの効果が見られるのならば、それはクラス間・クラス内弁別という課題依存特性を反映したものでなく、顔に特有な初期情報処理過程の何らかの特性を反映したものだと考えられよう。

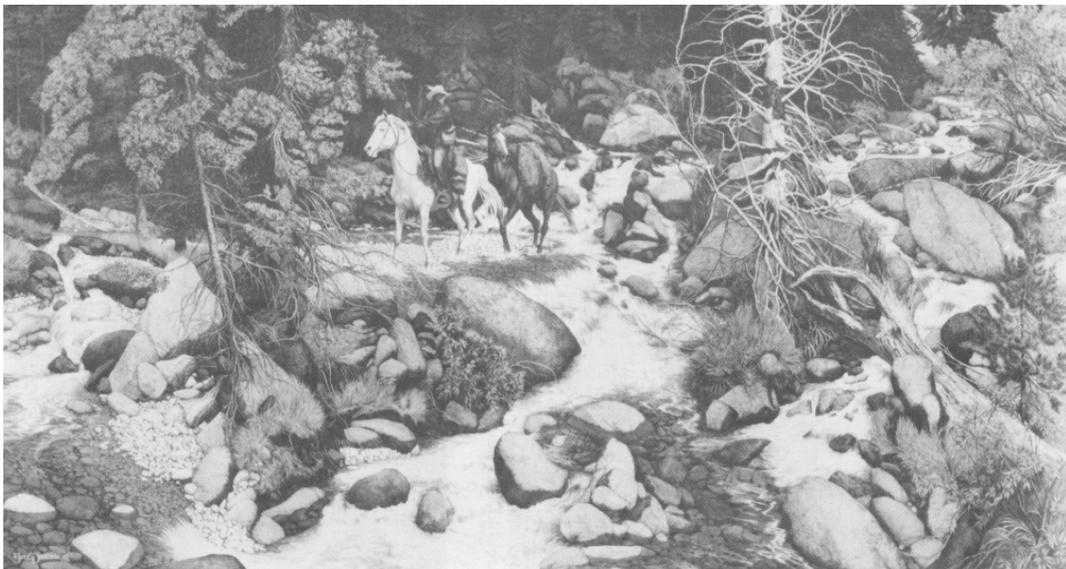


Figure 3. The Forest Has Eyes (Bev Doolittle, 1985; Goldstein, 1996 による)

方法

実験参加者 比治山大学に在籍する学部学生 70 名が本実験に参加した。視力の低い者は、実験時に眼鏡またはコンタクトレンズを使用した。また、参加者は、コンピュータ上でのプログラムの起動・終了やマウスの操作など、簡単なパソコンの操作を習得済みで、かつ、刺激となる絵画についての知識をもたない者であった。なお、実験は、比治山大学に

おける情報系授業の時間を利用して集団実験の形態で行われた。その際、室内の照明は、通常の室内光源（白色蛍光灯）を用いた。

装置 刺激のデジタル化のためにスキャナ装置(EPSON GT-9500)を、刺激の呈示と試験者の反応記録のため、パーソナルコンピュータ(EPSON VL-626E)および 17 インチカラーディスプレイ(飯山電機 MT-8617ES)を使用した。なお、コンピュータの画面解像度は、横 1024 画素×縦 768 画素に設定した。

刺激材料 まず、Goldstein (1996, p.179) より、絵画を横 1000 画素×縦 503 画素の解像度、白黒 256 階調の色深度でコンピュータに取り込み、画像のピーク間コントラストの最大化とガンマ補正による平均輝度の調整を行った。これを原画像とし、その後、画像を構成する各画素のグレイレベルを反転させることによって明暗を反転させた画像 (Figure 4) を作成した。



Figure 4. 明暗を反転させた刺激画像(ネガ画像)

手続き 本実験で用いた課題は、コンピュータ画面上に呈示される刺

激の絵を注意深く観察し、3分の制限時間内にできるだけ多くの隠された顔を見つけ出すというものであった（観察距離は約 50 cm で、画面上方には秒単位の経過時間が表示された）。参加者は、顔を見つけた際、画面上に表示されるマウスカーソルでその鼻の頭をポイントし、マウスの左ボタンをクリックするように教示された。実験はすべてコンピュータプログラムによって制御され、参加者がマウスをクリックしたときには、そのときのマウスカーソルの画面上座標と、画像呈示開始からの時間（ミリ秒単位）が記録されるようにプログラムされていた。また、参加者のクリック反応が、絵に隠された鼻の頭を中心より半径 10 画素以内にあった場合を正解とし、コンピュータはチャイム音を鳴らし、その鼻の頭に半径 5 画素の赤いドットを表示するようにした。

Figure 5 に、絵に隠された顔の正解位置を示す（背景の絵は画像の 2 次微分成分を基に検出したエッジによる輪郭画である）。絵画には、岩や木からなる 13 個の顔が隠されていたが、それに合わせ、馬上の人物の頭部も描かれていた（図中 14 番）。そこで、課題の実施時には、馬上の人物の顔についても正解と同様に赤いドットを表示し、チャイムによるフィードバックを行ったが、後の分析からはそのデータを除外するようにした。これは、馬上の人物の顔に対して参加者が固執し、それに時間を費やすことを避けるためであった。

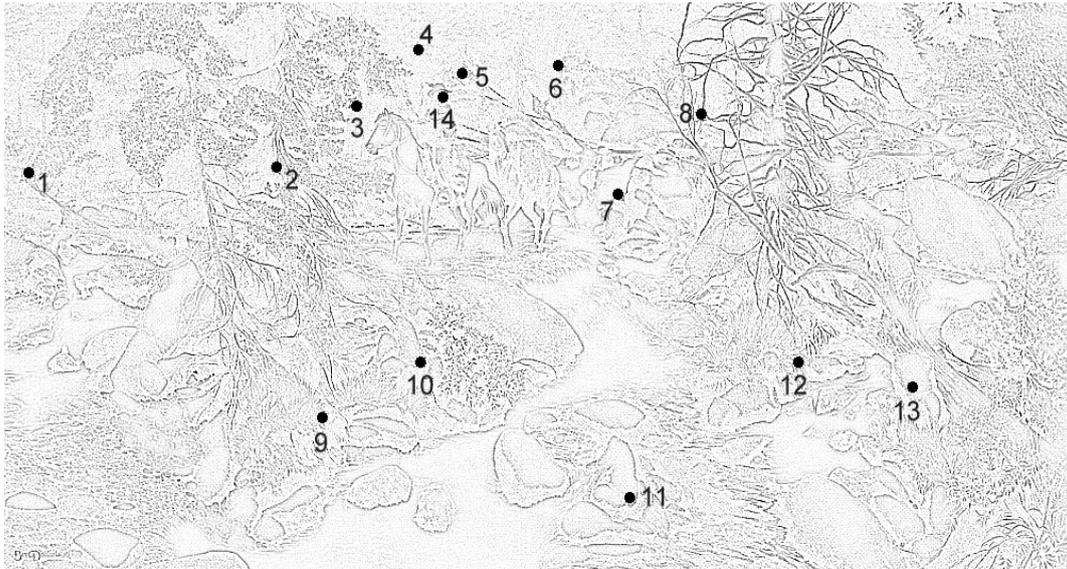


Figure 5. 絵に隠された顔の位置

実験では、まず、参加者全員に対し、原画（正立ポジ画像）をコンピュータ画面上に呈示し顔検出課題を行った（統制条件）。その後、参加者は3群に分けられ、それぞれ、正立ネガ画像（24名）、倒立ポジ画像（23名）、倒立ネガ画像（23名）を呈示し、同様の課題を引き続き行った（実験条件）。なお、倒立呈示時には、画像を180度回転させたものを刺激として使用した。

このような（統制条件と実験条件という）手続きを用いたため、本実験で、倒立画像やネガ画像の条件（実験条件）で課題を行うときには、参加者はすでに統制条件を経験済みで、顔の隠れている位置の情報についてある程度の知識をもっていたことになる点には注意が必要である。通常であれば、参加者を4群に分け、正立ポジ、倒立ポジ、正立ネガ、倒立ネガの画像をそれぞれ呈示するように実験計画をするであろう。しかしながら、当初に予備実験を行ったところ、倒立あるいはネガの画像からの顔検出数が極めて低い（1～2個程度）ことが明らかであったため、今回のような実験計画とした。

結果

まず、本実験に参加した3つの参加者群の統制条件における等質性の確認と、刺激をネガあるいは倒立した際（実験条件）に顔の検出が困難になったかどうかを確かめるために、検出された顔の数を測度として、群（3水準：正立ネガ，倒立ポジ，倒立ネガ）×観察条件（統制条件，実験条件）の2要因分散分析を行った。

分散分析の結果は、群 ($F(2,67) = 3.50, p < .05$)、観察条件 ($F(1,67) = 101.23, p < .0001$) とも有意な主効果を示した。さらに、群×観察条件の交互作用も有意であった ($F(2,67) = 8.88, p < .0005$)。この交互作用について、単純主効果の下位検定を行ったところ、3群間における顔検出数の違いは、ネガや倒立の画像が呈示された実験条件においてのみ有意で ($F(2,134) = 9.85, p < .0005$)、正立ポジの画像が呈示された統制条件では有意ではなかった ($F(2,134) = 0.18, ns$)。また、3群とも統制条件よりも実験条件の顔検出数が有意に少ないということが認められた ($F_s(1,67) > 16.01, p_s < .0005$)。さらに、実験条件における3群間の顔検出数の違いについて、Ryan法による多重比較検定（有意水準は5%）を行ったところ、正立ネガ群と倒立ポジ群の間の差は有意ではなかったが、倒立ネガ群の検出数は他の2群よりも有意に少なかったことが示された。

顔の検出数の結果を Figure 6 に示すが、3群とも統制条件では検出数にほとんど差はみられない。それに対して、顔の検出数が有意に減少した実験条件では、倒立ネガの画像を呈示された群が、他の2群よりも減少幅が大きかったことがわかる。実際に、統制—実験条件間での顔検出数の減少量を求めたところ、正立ネガ群と倒立ポジ群では両群とも 1.8 であったのに対し、倒立ネガ群では 4.0 であった。

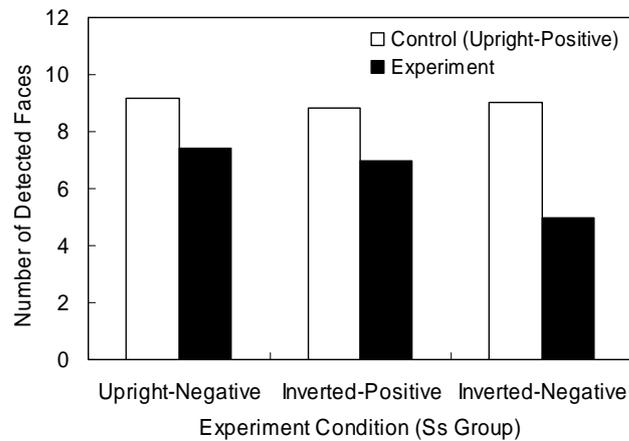


Figure 6. 実験結果 (顔検出数)

Figure 7 は、参加者のすべてのクリック反応を 10 秒おきの経過時間ごとにプロットしたものである。これを見ると、試行開始後 10 秒までは、統制条件も実験条件も誤反応数に違いはないが、倒立やネガの画像が呈示された実験条件においては、その後、急激に誤反応が増加する傾向にあったことがわかる。また、両条件間において、試行開始後 30 秒程度までの間の正反応数に特に違いがみられる（統制条件の方が正反応数が多い）。実際、刺激呈示後 30 秒以内の正反応数が全正反応数に占める割合を求めると、統制条件は 48.2% であり、全正反応のおよそ半分が 30 秒以内に生起していたのに対し、実験条件は 33.6% で、全正反応の 3 分の 1 程度に留まっていた。

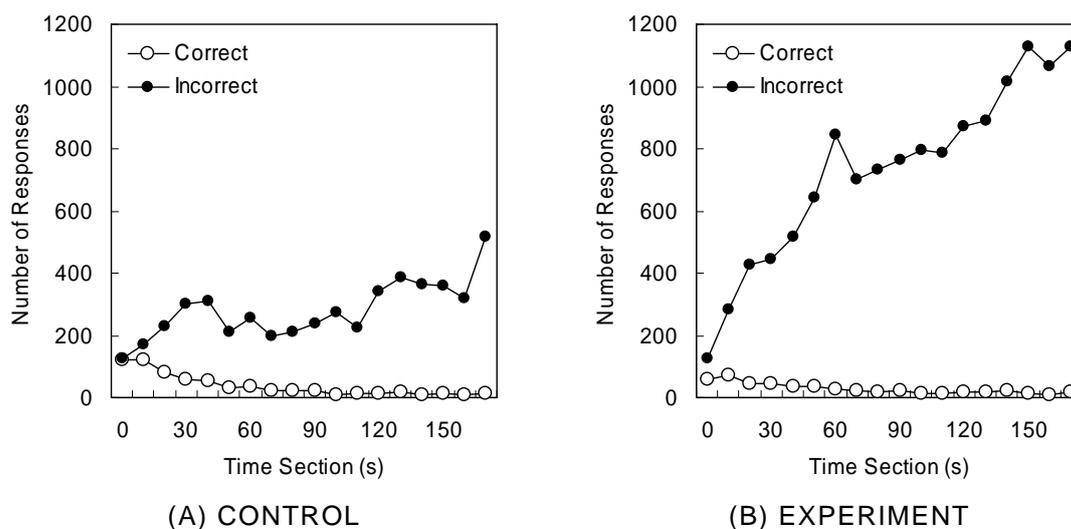


Figure 7. 全参加者の反応数の時系列的変化

また、Figure 8 は、統制条件と実験条件で、刺激に隠された顔ごとに検出人数の総数を示したものである（図中の顔番号は、Figure 5 に示したものと一致する）。この図を見て、まず顕著に認められる特徴は、4番と8番の顔においては、他の顔に比較して、極端に検出者数が少なかった（統制条件では正反応者は皆無、実験条件ではそれぞれ1人と2人）という点である。それ以外にも、1番、6番、12番、13番の顔は比較的検出者数が少なかった。極端に検出者数が少なかった4番、8番以外のすべての顔では、統制条件に比べて実験条件で検出者数が大きく減少している。また、十分な検出者数を示した顔の中でもっとも実験条件での減少量が少なかったのは10番の顔であった。

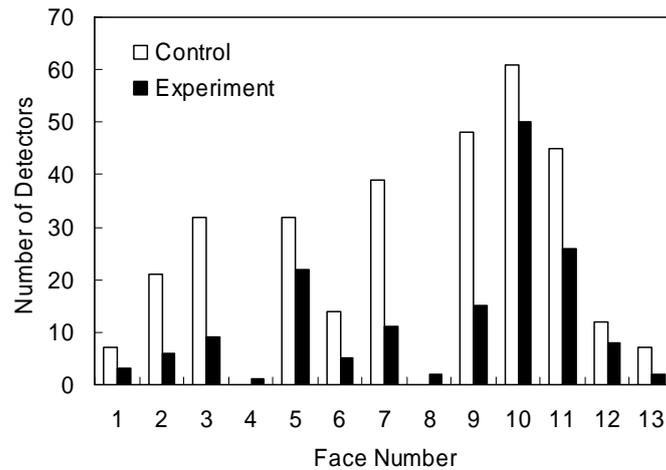


Figure 8. 顔ごとの検出者数

考察

本実験の目的は、画像に含まれる顔を単に検出するという課題においても、顔の識別実験などでみられるような倒立呈示の効果や明暗反転の効果がみられるかを確認することであった。その結果を端的に述べるならば、画像を倒立に呈示したり明暗を反転させたりすると、顔の検出という水準でも、我々の認識パフォーマンスは確実に阻害されるというものであった。

実験参加者は、最初に、ポジの画像を正立呈示するという統制条件を行った。この条件での顔の検出数には、3群間で有意な違いが認められなかったことから、顔の検出パフォーマンスという点では、これらの群はほぼ等質であったと考えられる。もちろん、統制条件として正立ポジ画像での観察と反応を先立って行ったことは、顔の隠れている位置についての情報を参加者にもたらしたに違いないだろう。しかしながら、それにもかかわらず、画像を倒立に呈示したり、明暗を反転させたり、その両者の処理を行った実験条件では顔の検出パフォーマンスが大きく低

下した。実際、自省報告として、実験条件では“どこに顔が隠れているか見当もつかなかった”という報告が多く寄せられた。本実験を行うにあたって、当初、予備実験を行ったが、倒立あるいはネガの画像が最初に見せられると、参加者は1～2程度の顔しか見つけることができなかった。これらのことから、実験条件においては、Figure 6 に示された測定値以上に、顔の検出が困難であったのではないかと推測される。

実験条件において顔を検出することが極めて困難であったらうことは、Figure 7 の結果からも認められる。正立ポジの画像が呈示された統制条件では、最後の10秒間を除いて10秒あたりの誤反応数はせいぜい400程度であった（統制条件で最後の区間の誤反応数が増加したのは画面上方に経過時間を表示したためと考えられる）。それに対して、実験条件においては、試行開始以降、誤反応数は大きく増加する傾向にあり、試行終盤においては、1000以上にもものぼった。参加者数は70名であったので、1000の誤反応は、1秒間に一人平均1.4回以上にもものぼる（誤った）クリック反応がなされたことを示している。すべてのマウス操作が反応としてコンピュータに記録されることを前もって教示していたにもかかわらず、このような反応を引き起こしたことは、実験条件における顔の検出がいかに困難な課題であったかを意味しているといえよう。

また、分散分析の結果とその後の多重比較の結果は、本実験で用いた3種の画像操作のうち、倒立ネガ条件が他の条件（正立ネガ、倒立ポジ）に比べて、課題をさらに困難にするものであったことを示している。Bruce & Langton (1994) は顔認識における倒立効果と明暗反転効果について体系的な検討を行い、倒立呈示と明暗反転の2つの操作を行うと、単独の操作を行ったときに比べ、顔認識がさらに難しくなることを示している。このことは、倒立呈示と明暗反転という操作が顔認識に関する

視覚情報処理の異なった側面に影響することを示唆するものである。このような考察の理論的背景は、Sternberg (1969) が提起した “additive factors method” の考え方によるが、本実験の結果は、対象クラス内弁別である顔認識に比べ、より初期段階における原始的な反応と考えられる顔検出という課題（対象クラス間弁別）においても、倒立呈示や明暗反転という操作が同様の影響を及ぼすことを示唆するものといえよう。

本実験で課題として用いられた顔検出課題において、参加者はどのような手がかりをもとに顔を見つけるという作業を行っていたのであろうか。この問いに対する答えに関して、Figure 8 に示した顔ごとの検出者数の結果を元に、その手がかりを探してみたい。まず、本実験の結果、極端に検出者数が少なかった顔は、4番と8番であった。この2つの顔については、正立ポジの画像が呈示された統制条件であっても、一人もそれらを見つけることができなかつたことが特徴的である。

Figure 5 を見るとわかるように、4番の顔は、絵画のもっとも上部に位置するものである。さらに、その位置を原画で確認すると、森の奥に相当するこの部分は非常に暗く描かれておりコントラストが低いことがわかる。また、本実験では、鼻の頭をクリックすることで参加者が顔を検出したことを確認するという課題構成となっていたため、参加者は鼻らしい視覚パターンを探す傾向が強かったかもしれない。4番の顔についてみると、鼻の部分がコントラストの低い陰の中に隠れてしまっていることがわかる。この課題依存の性質が、4番の顔の検出率を低くしたのかも知れない。

それに対し、8番の顔は非常に特徴的に定義されるものである。この顔は、他の顔と異なり、木の枝によって顔の輪郭のみが描かれている、いわゆる“輪郭画”である。そのことは、顔の位置と番号を示すために

輪郭抽出を行い示した Figure 5 で、この顔の見た目が何ら変わらないことから明らかである。この顔の検出率が極めて低かったことは、我々の顔検出メカニズムが、明るさやテクスチャ、陰影のような表面情報を主として用い、輪郭成分には反応しにくい性質をもつのではないかということ推測させる。表面特徴の重要性は、対象クラス内の顔認識課題を用いた Bruce & Langton (1994) も示唆したことであるが、対象クラス間の課題である顔検出の背景にあるメカニズムも同様の性質を有していると考えられる。

他にも、検出者数が少なかった顔には 1 番や 13 番があった。この 2 つは、絵画に含まれる顔の中でもっとも大きいものである。これらの顔の低検出率には、参加者の注意の範囲が関係しているのかもしれない。さらに、13 番の顔はかなり不完全な状態に描かれており、全体としての顔のまとまりをもっていない。このこと（顔の不完全さ）も検出率を低下させた原因であるように思える。また、1 番の顔は、横向きに近い顔である。同様に検出者数が少なかった 6 番や 12 番もまた横顔であることを考えると、我々の顔検出メカニズムは横顔に対する感受性が低いのもかもしれない。特に 6 番は顔の上部が森の奥の陰に位置することで不完全であるし、12 番も不完全に描かれている。それに対し、同様に完全に描かれていない顔であっても、正面を向いている 5 番や 11 番の顔の検出者数は比較的多い。さらに 5 番、11 番の顔は、実験条件における検出者数の低下量も比較的少ない。日常生活において、偶然に自分の方を向いている見知らぬ人を目の端にとらえ、定位反射的に注意が向けられることを経験することがあるだろう。横顔であっても、完成した顔の形態をもっている 3 番の顔などは検出者数も比較的多かったが、以上の事柄を合わせて考えると、顔の検出メカニズムは、正面を向いた顔に特に高い感受

性をもつように思われる。

検出が難しい顔が多くあった一方、10番の顔は、最も検出者数が多いだけでなく、倒立呈示や明暗反転という処理にも検出者数の大きな減少を示さなかった。10番の顔は、この絵画の中にあつて、完全な形態をもっているだけでなく、目、鼻、口という部分についても非常に細かく描き込まれていることが特徴である。このような、豊富な情報をもつ顔は、倒立呈示や明暗反転に対して頑強なのかもしれない。日常において、顔写真を逆さに見たり、ネガフィルム上で顔を見たりすると、誰の顔であるかがわからないという現象はよく経験されることである。しかしながら、そのような状況でも、通常、我々はそのパターンが顔であることはわかる。実際の顔のように豊富な情報をもつパターンであれば、倒立呈示や明暗反転が行われたような場合でも、顔検出メカニズムにとっては検出が可能なのかもしれない。

以上の考察を要約するならば、顔の検出にかかわる視覚情報処理の特性は以下のようなものと推測される。

(a) 対象クラス間の弁別課題である、視覚パターンが顔かどうかを検出するような課題においても、顔を倒立に呈示したり画像の明暗を反転させたりすることによって、そのパフォーマンスは明らかに阻害される。

(b) 倒立効果や明暗反転効果は、顔検出処理の異なる側面に作用するものであり、その性質は、対象クラス内弁別課題である顔認識課題においてみられるのと類似したものである。

(c) 顔の検出においては、顔認識と同様（あるいはそれ以上に）、輪郭よりも表面の情報が重視される。

(d) 顔検出メカニズムは、顔が完全な形態をもっている場合は横顔の検出も難しくはないが、正面の顔に対する感受性がより強い。

(e) 豊富な情報をもつ顔パターンや、正面を向いている顔パターンは、倒立呈示や明暗反転の処理に対して頑強である。

このような顔検出過程のもつ特性は、現時点においてはまだ仮説に過ぎず、本実験の結果のみでは、これらの特性の正当性を確証できる証拠を得たわけではない。今回の実験においては、意図的に描かれた芸術絵画を刺激として用いたため、その絵画の特性を反映させている部分も多いかもしれない。しかしながら、本実験では、従来、顔研究で広く用いられてきたような顔の再認記憶課題などよりも、より原始的で、顔の情報処理過程においてはより初期の段階で行われると考えられる顔の検出課題においても、顔認識時と同様、画像の倒立呈示や明暗反転の処理の影響があることがわかった。

Ellis (1986) は、顔の認識モデルを提唱している。そのモデルの特徴は、顔パターンの視覚情報処理の初期段階において、“顔”と“顔以外”を分類する過程が存在するというものである。それに対して、Bruce & Young (1986) は、Ellis のような顔の分類過程を独立したモジュールとしてみならず積極的な証拠が提出されていないことを理由に、この過程をモデルの機能的要素として含めることには反対し、“顔だけ”の情報処理モデルを提供している。そのため、Bruce らのモデルでは、顔以外の刺激がどのような処理を受けるのか、どの時点で顔と顔以外のパターンが異なった処理経路に振り分けられるのかが描かれていない。本実験においては、対象クラス内弁別課題である顔認識時と同様の処理特性が、顔と顔以外の分類課題である顔検出課題においても確認されたが、このことは、“顔の情報処理モデルの一部”として、顔の分類過程を設ける必要性を考えさせるものといえよう。

第2節 回転した顔の認識における顔テクスチャの効果（実験2）

我々を取り巻く世界は3次元の広がりをもつため、網膜に投映される対象像は、対象や観察者の移動によって大きく変形する性質をもつ。そこで、対象認識の情報処理過程においては、対象に関する視点に依存しない3次元の表象を再構築することが重要だと考えられてきた（Biederman, 1985, 1987; Marr, 1982; Marr & Nishihara, 1978）。顔という対象も、物理的には外界に存在する3次元対象のひとつであるといえる。それならば、顔に対する知覚的表象もまた3次元的に構築されているのであろうか。

身分証明書などに貼る写真について、正面から撮影したものがよいのか、それとも横顔や斜め前から写したものがよいのかという問題は、2次元の画像である写真と、目の前にいる本人の3次元の顔との照合における問題を反映するものといえる（池田, 1995）。この点に関し、Laughery, Alexander, & Lane (1971) は、正面、斜め45度、横顔の画像を用いて再認成績を比較し、それらの間に明確な差が認められないことを示唆している。それに対し、再認課題において、訓練試行とテスト試行の間で画像の顔の向きが同じならば横顔の再認成績がよく、顔の向きが異なるならば斜め45度から撮影した画像が有効であるとする研究もある（Krouse, 1981; Logie, Baddeley, & Woodhead, 1987; Woodhead, Baddeley, & Simmonds, 1979）。また、Burce, Valentine, & Baddeley (1987) は、1人の人物に対する2枚の異なる写真を照合する場合には、その人物が参加者にとって未知の人物であった場合には斜め前からの画像が有効だが、既知の人物にはそのような傾向が認められないことを示している。

これらの結果は、必ずしも完全に一致したものとはいえないが、その

研究テーマの背景には、日常的にみられる事柄として、我々が顔を認識するとき、顔の向きによってその認識に困難を感じるという事実があげられよう。つまり、我々が顔を認識する時には、対象物の場合にいわれるように顔の3次元的な構造の情報だけが用いられるわけではないのかもしれない。

Bruce, Burton, Hanna, Healey, Mason, Coombes, Fright, & Linney (1993) は、顔から性を弁別する際、人は3次元形状の情報だけを用いているわけではなく、2次元的な特徴もまた重要であることを示している。彼らは、顔の写真だけでなく、レーザースキャンによって得られた頭部の3次元モデルからでも、参加者が性を正しく認識できるかどうかを調べた。その結果、3次元モデルによる性弁別は、写真に比べるとかなり不正確であることが示された。また、3次元モデルにおいてはその向きによって弁別のパフォーマンスが異なり、3次元的な形状がとらえやすい45度の角度からであれば横顔よりも正確に性の弁別が可能であることがわかった。これらの結果から、彼らは、顔から性を判断する過程では、眉の形や肌のきめのような2次元的なテクスチャの情報と、顔の立体構造というような3次元の情報の両者が用いられているのだと示唆している。

我々が顔から人物を同定・弁別するとき、このような2次元の表面情報と3次元の構造的情報は、それぞれどのように働くのであろうか。日常において、識別すべき人物の顔は必ずしもこちらを向いているわけではなく、横顔であったり、斜め前から見た顔であったりする。そこで、本実験では、人物を同定する際に、顔の画像に含まれる2次元情報と3次元情報がどのように用いられているかを検討したい。

対象物であれば、人は、2つの対象像が同じ3次元形状をもつ物体であるかどうかを、それらが異なった方向から描かれていても判断するこ

とができる。たとえば、Shepard & Metzler (1971) と Metzler & Shepard (1982) は、対象をさまざまな角度で回転させた像を用いて、それらが同一の物体であるのか、それとも一方が他方の鏡映像であるのかを参加者に判断させた。その結果、判断に要する時間は、2つの対象間の角度差が大きくなるにつれ直線的に増加する傾向が認められた。このことは、参加者が要求された課題を行うために、一方の物体で得られた3次元の心的表象を、他方の物体と同じ向きになるように“心的”に一定の速度で回転させ、2つの対象像の比較を行っていること（心的回転、*mental rotation*）を示唆する証拠とされている。それならば、3次元表象の心的回転の操作は、我々が他者の顔を識別する際にも用いられているのだろうか。

顔を刺激とした心的回転の実験を行った研究として、Valentine & Bruce (1988) の研究があげられよう。人の顔は倒立に呈示されるとその認識が困難になることが知られているが、彼らは、顔を正立（0度）から倒立（180度）まで45度おきに回転させ、顔の認識に要する時間がどのように変化するかを検討した。その結果、課題に用いられる2つの顔の回転角度の差が大きくなるにしたがって、反応時間は直線的に長くなっていくことが認められた。このことから、彼らは、倒立顔の認識処理は正立顔の認識時と質的に異なるものではなく、心的回転で示唆されるような量的な問題を含んでいるのではないかと示唆している。しかしながら、彼らが行った実験においては、回転は視軸を中心とした2次元的なものだけであり、3次元的な心的回転操作を要求するものではなかった。

そこで、本実験においては、顔を正面から横向きに回転させた刺激を用い、心的回転実験を行う。また、その際、顔がもつ2次元的な表面特徴と3次元的な構造特徴がどのように用いられるかを検討する。

Figure 9 は、レーザースキャンによって顔表面の 3 次元座標データをコンピュータに取り込み、それに顔の表面がもつ 2 次元テクスチャ（顔の写真）を貼り付けて作った画像である。通常、我々が顔を識別するときには、この画像に示したように、顔のもつ 3 次元構造の情報だけでなく、眉の形や肌のきめのような 2 次元的な表面特徴の情報も受け取っている。

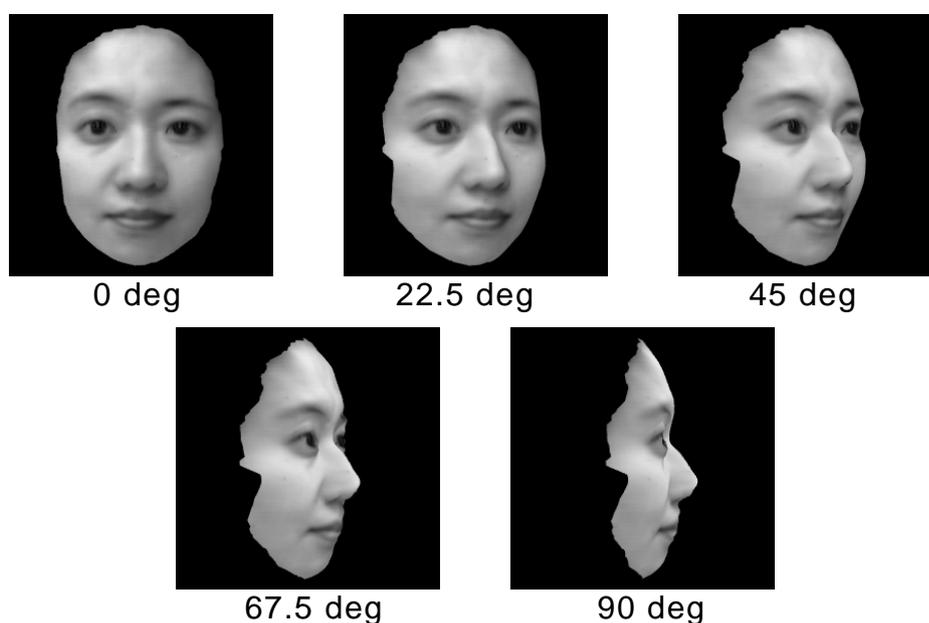


Figure 9. 表面テクスチャをもつ3次元の顔刺激

それに対し、Figure 10 に示した画像は、顔の 3 次元構造のデータだけをもとに顔画像を描き出したものである。このような処理を行った画像においては、石膏像の顔を観察するときのように、顔が本来もっている表面テクスチャの情報が失われる。しかしながら、このような画像からでも、我々は、陰影の情報をもとに顔の 3 次元構造についての情報は十分に得ることができる。

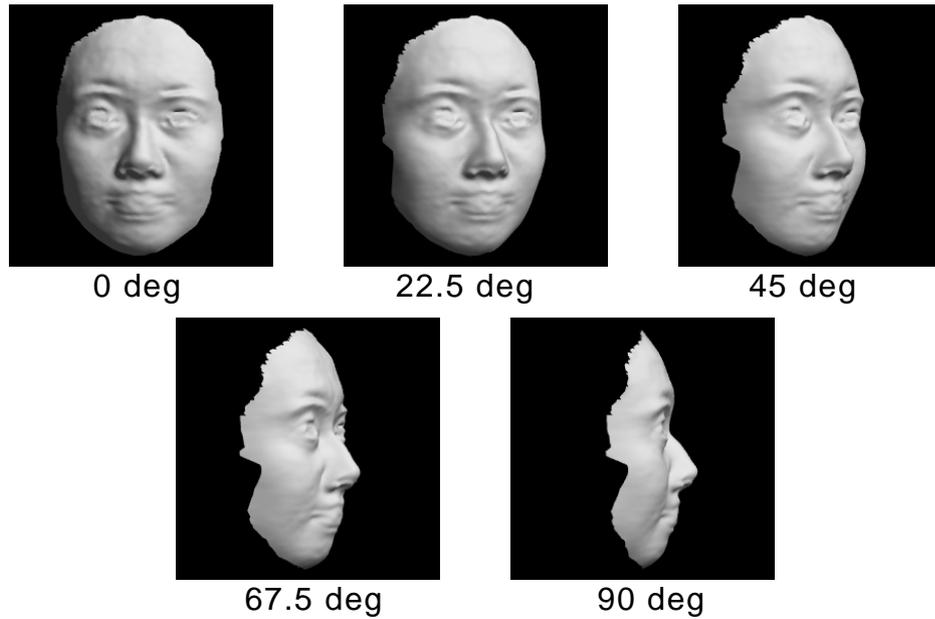


Figure 10. 表面テクスチャをもたない3次元の顔刺激

もし、顔という刺激が、対象物と同じように3次元的な表象として保持され、心的に回転できるものであれば、刺激に含まれる顔の3次元的構造についての情報が重要であろう。それに対し、顔が2次元的な表象として保持されているのならば、刺激に含まれる2次元の画像情報が重要であろう。そこで、本実験では、表面テクスチャをもつ顔ともたない顔を刺激として心的回転のパラダイムを利用した識別実験を行い、顔認識において、表面テクスチャが提供する2次元的な情報と、陰影が提供する3次元構造に関する情報がそれぞれどのように寄与するかを検討する。

方法

実験参加者 比治山大学に在籍する学部1年生72名が本実験に参加した。参加者は、後述の実験計画に基づき、36名ずつの2群に分けられ、一方はテクスチャのある顔を刺激として、他方はテクスチャのない顔を

刺激として心的回転の実験を行った。なお、参加者の中で視力の低い者は実験時に眼鏡またはコンタクトレンズを使用した。

実験計画 実験では、以下の3要因の組み合わせで刺激を作成し、心的回転の実験パラダイムに基づく顔の同定・弁別課題を行った。

第1の要因は、呈示する顔刺激のテクスチャの有無（2水準）であり、テクスチャのある顔とない顔が刺激として用いられた。なお、この要因のみ、参加者間要因とし、それ以外は参加者内要因とした。第2の要因は、顔の呈示方向（2水準）で、刺激の顔は正立で呈示される場合と倒立で呈示される場合があった。第3の要因は、顔の回転角度（5水準）で、正面（0度）から右向き横顔（90度）まで22.5度おきに5種の回転角度（0度、22.5度、45度、67.5度、90度）をもつ顔刺激が作成された。

実験装置 刺激の呈示および被験者の反応記録のため、パーソナルコンピュータ（EPSON VL-626E）および17インチカラーディスプレイ（飯山電機 MT-8617ES）を使用した。

刺激 被験者にとって未知の女子大学生8名の顔を、非接触型3次元形状入力機（Minolta, VIVID-700）を用いて、顔表面の3次元座標データと2次元画像（写真）に分けてコンピュータに取り込んだ。

これらのデータをもとに、3次元画像処理ソフトウェア（Newtek LightWave 3D）によってレンダリング処理を行い、実験で使用するための刺激画像を作成した。なお、テクスチャをもつ顔では、テクスチャ画像に含まれる明度でレンダリング処理を行ったが、テクスチャをもたない白色顔のレンダリングでは、陰影による顔表面形状の知覚が成立しやすいよう、顔の回転角にかかわらず、手前右側30度、上方30度に光源をおいてレンダリング処理を行った。刺激は、すべて、256画素四方の解像度をもつ白黒256階調（8ビット）の画像とした。

手続き 参加者は、無作為に 36 名ずつの 2 群に分けられ、一方の群はテクスチャありの顔刺激で、もう一方の群はテクスチャなしの顔刺激で、人物の同異判断実験を行った。

実験では、画面の左右いずれかに正面（0 度）の顔が表示され、同時に、その反対側に回転した顔が表示された。参加者は、2 つの顔が同一人物かどうかをキーボードの矢印キーを押すことによって回答した。なお、同異判断に用いるキーの左右については参加者間でカウンタバランスをとった。実験時の観察距離は 50 cm とし、刺激画像の大きさは視角において 10 度、2 つの刺激の間隔距離は 2.5 度であった。

実験試行は、顔の呈示方向（正立、倒立の 2 水準）×回転角度（5 水準）×正面顔の人物（8 名）×回転顔との人物の同異（同、異の 2 水準）を組み合わせ、計 160 試行とした。これらの実験試行は、16 試行ずつ 10 のブロックに分けて実施され、ブロック間では参加者が休憩を取ることができるようにした。また、左右どちらに正面顔が呈示されるか、および、異なる人物が呈示される試行でのもう一方の顔の組み合わせは、コンピュータプログラムによって無作為に決定された。

各ブロックは、参加者がキーボードのスペースキーを押すことによって開始された。スペースキー打鍵の 1.5 秒後に 2 つの顔刺激が表示されるので、参加者はその人物が同一人物かどうかを、できるだけ速くかつ正確に矢印キーの左右を押して分けて回答した。その際、刺激画像呈示直後から被験者のキー押し反応までの時間がミリ秒単位で測定され、反応時間として記録された。参加者が反応することによって、画面上の刺激が消え、その 1 秒～1.5 秒後に次の試行の刺激が呈示された。なお、参加者への教示においては、できるだけ間違えずに正確に反応することが強調された。参加者が誤った反応を行った場合は直後にチャイム音を

鳴らすようにし、ブロック終了後には、そのブロックでのエラー数が画面上表示としてフィードバックされた。

なお、本実験で使用した顔刺激は参加者にとって未知の顔であったため、実験試行の前には5ブロック（80試行）の練習試行が行われた。練習試行の最初の3ブロックでは、速く反応する必要はないので、2つの顔を十分に吟味して人物の顔をしっかりと覚えながら反応するように教示された。その後の2ブロックは、間違いを少なくしながらできるだけ速く反応するための練習を行った。

結果

本実験の結果として得られた、組み合わせ条件ごとの反応時間の平均を Figure 11 に示す。この反応時間の結果に対し、顔テクスチャの有無×顔の呈示方向×回転角度の3要因分散分析を行ったところ、まず、テクスチャの主効果 ($F(1,70) = 11.58, p < .005$) が有意で、テクスチャのある顔の方がテクスチャのない顔よりも速く反応されたことが示された。また、呈示方向の主効果 ($F(1,70) = 37.02, p < .0001$) も有意で、正立顔の方が倒立顔よりも速く反応されていた。さらに、回転角度の主効果も有意であった ($F(4,280) = 64.64, p < .0001$)。下位検定として、Ryan 法による多重比較（有意水準は5%）を行ったところ、回転角度が22.5度と45度の条件間を除くすべての回転角度条件間に有意な反応時間の差が認められた。

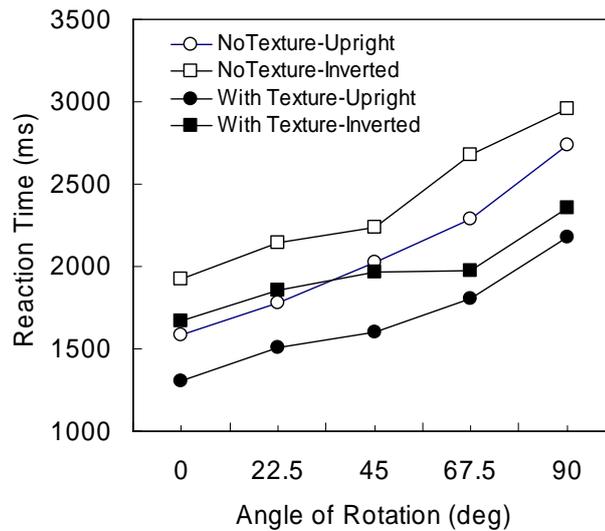


Figure 11. 反応時間に対するテクスチャ・呈示方向・回転角度の効果

交互作用については、テクスチャ×回転角度の交互作用が有意であった ($F(4,280) = 3.24, p < .05$)。このパターンを Figure 12 に示すが、下位検定を行ったところ、回転角度が 0 度、22.5 度においては、テクスチャの単純主効果は（傾向は認められるものの）有意でなかったのに対し（それぞれ、 $F_s(1,350) = 3.43, 3.66, p_s < .10$ ）、45 度 ($F(1,350) = 5.62, p < .05$)、67.5 度 ($F(1,350) = 16.71, p < .0005$)、90 度 ($F(1,350) = 15.83, p < .0005$) においては、顔にテクスチャが与えられた場合に反応時間が有意に短縮されていたことがわかった。

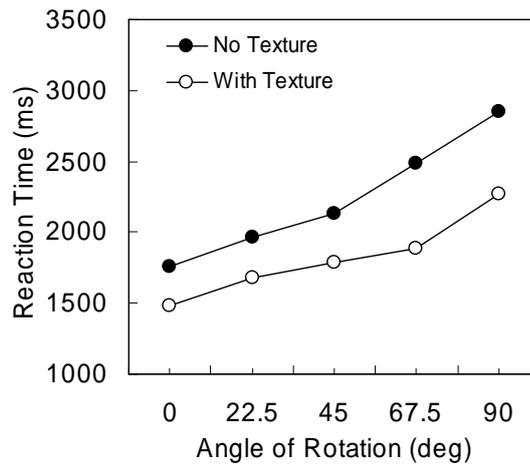


Figure 12. 反応時間におけるテクスチャ×回転角度の交互作用

なお、テクスチャ×呈示方向 ($F(1,70) = 0.04, ns$)、呈示方向×回転角度 ($F(4,280) = 1.09, ns$)、および、テクスチャ×呈示方向×回転角度 ($F(4,280) = 1.16, ns$) の交互作用は有意とは認められなかった。

また、エラー率に対しても、その逆正弦変換値を用いて同様の3要因分析を行った (Figure 13 に組み合わせ条件ごとの平均エラー率を示す)。その結果、まず、テクスチャの主効果 ($F(1,70) = 56.44, p < .0001$) が有意で、テクスチャのある顔の方がテクスチャのない顔よりも誤反応は少なかった。呈示方向の主効果 ($F(1,70) = 144.47, p < .0001$) も有意で、正立顔の方が倒立顔よりも正確に識別されていた。また、回転角度の効果も有意であった ($F(4,280) = 305.11, p < .0001$)。回転角度要因についての Ryan 法による下位検定 (5%水準) の結果では、すべての回転角度条件間に有意な差が認められた。

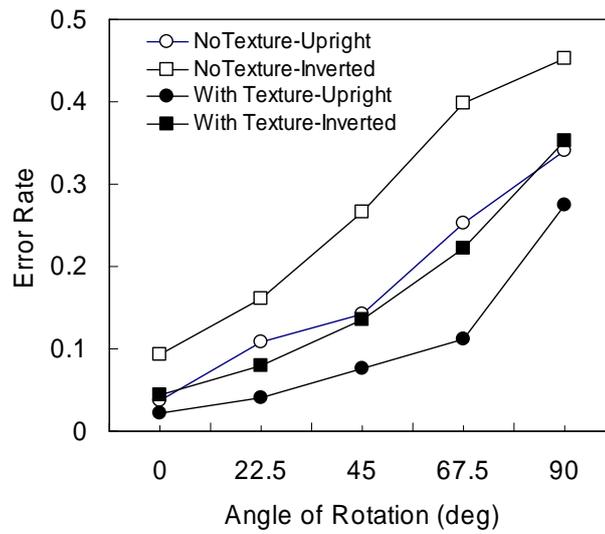


Figure 13. エラー率に対するテクスチャ・呈示方向・回転角度の効果

エラー率における交互作用については、まず、テクスチャ×呈示方向の交互作用が有意と認められた ($F(1,70) = 4.91, p < .05$)。単純主効果の検定を行ったところ、テクスチャの効果も倒立呈示の効果も、もう一方の水準のいかににかかわらず有意であったが、Figure 14に見られるように、呈示方向の効果がテクスチャなしの顔で大きく、テクスチャありの顔では小さかった。

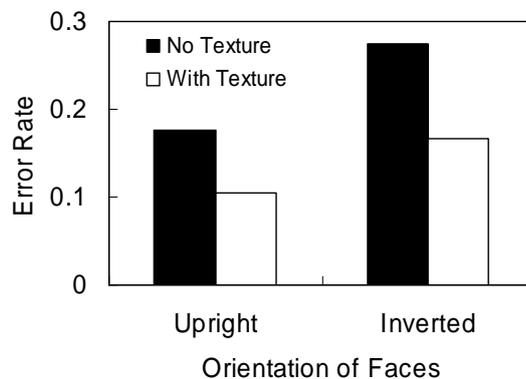


Figure 14. エラー率におけるテクスチャ×呈示方向の交互作用

さらに、テクスチャ×回転角度の交互作用も有意であった ($F(4,280) = 8.75, p < .0001$)。Figure 15 にそのパターンを示すが、テクスチャの効果はすべての回転角度条件で有意であったものの、0 度では小さく、22.5 度から 67.5 度まで回転角度が大きくなるにつれてその効果も大きくなっていった (90 度ではまた逆に効果は減少した)。

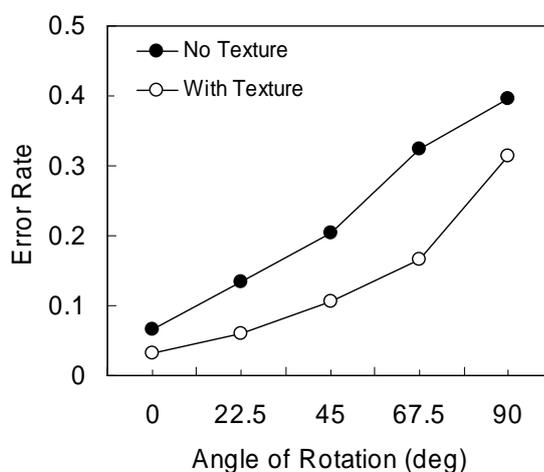


Figure 15. エラー率におけるテクスチャ×回転角度の交互作用

また、呈示方向×回転角度の交互作用も有意であった ($F(4,280) = 5.17, p < .001$)。呈示方向の効果も、すべての回転角度条件において有意であったが、Figure 16 に示したように、その効果は 0 度、22.5 度では小さく、45 度から 90 度では効果が大きくなっていったことがわかる。

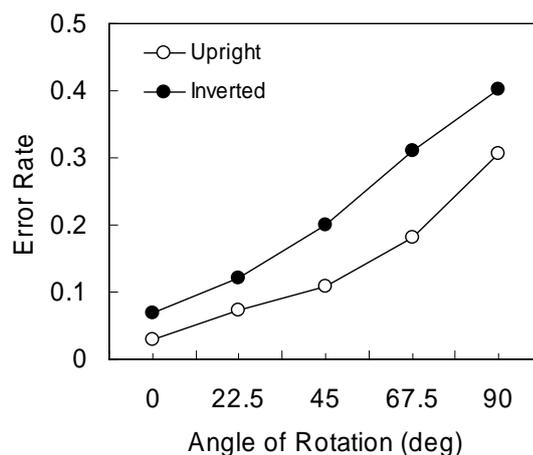


Figure 16. エラー率における呈示方向 × 回転角度の交互作用

なお，エラー率においても，テクスチャ × 呈示方向 × 回転角度の 2 次の交互作用は有意ではなかった ($F(4,280) = 0.53, ns$)。

考察

本実験は，顔の表面がもつ 2 次元テクスチャの有無，顔の呈示方向，および 2 つの顔刺激間の回転角度差によって，その識別パフォーマンスがどのように変化するかを検討することを目的とした。

その結果，まず，反応時間 (Figure 11) は 2 つの顔の回転角度の違いによって大きく変化し，角度の違いが大きいほど，参加者は人物の同異を判断するのに長い時間を要することがわかった。同様の結果は，エラー率 (Figure 13) においてもみられ，回転角度差が増大するにつれ，エラー率が大きく上昇することがわかった。

次に，本研究で用いた刺激の特徴である顔表面テクスチャの要因についてみると，顔が本来有しているテクスチャ (眉の形や肌のきめ，唇や目の明るさなど) を貼り付けた顔では，テクスチャがなく石膏像のように見える顔よりも，より速くかつ正確に識別可能であることがわかった。

また、反応時間においてもエラー率においても、顔テクスチャの要因は回転角度と交互作用をもつことがわかった。反応時間で示された交互作用は、顔刺激に表面テクスチャを与えることが、正面の顔同士や、正面と 22.5 度回転した顔を識別する際にはそれほど有効ではないが、45 度以上回転した顔との同異を判断する際には有効な手がかりとなり、結果として速い反応を生起させたことを示している (Figure 12)。エラー率における交互作用もほぼ同様な特徴を示し、顔に表面テクスチャが与えられていれば、角度差のある顔を識別する際により正確な同異判断が可能であったことを示している (Figure 15)。

これは、我々が人の顔を認識する際に、顔の表面特徴を利用していることを示唆する結果といえよう。また、回転角度との交互作用で示されたように、顔の表面テクスチャは、正面の顔と回転した顔の同異を判断するような場合に、特に有効な手がかりとなることが示唆される。さらに、回転角度の増加に伴う、テクスチャありの顔に対する反応時間 (Figure 12) とエラー率 (Figure 15) の増加傾向をみると、67.5 度 - 90 度の間で特に大きくなっていった。このことは、顔の表面テクスチャが、異なる角度から観察した顔を識別する際に手がかりとして有効に働きはするが、正面の顔と横顔を比較するような極端な角度の違いがある場合には、その有効性が低下することを示している。これは、テクスチャが 2 次元の情報であることに起因する限界を表しているといえよう。

また、本実験の結果、顔の呈示方向の効果も確認され、顔が正立呈示された場合は倒立呈示された場合に比べ、より速くかつ正確に人物の同異判断がなされることがわかった。顔の呈示方向は、反応時間においては回転角度条件と交互作用を示さなかったが、エラー率においては、回転角度が大きくなるにつれ、倒立顔のエラー率が正立顔よりも大きく上

昇することを示した (Figure 16)。顔認識における倒立効果は、我々が顔を認識する際、顔の部分的な特徴の記述よりも、部分同士が相互に関連した全体的な布置の情報が重要であることを示唆するものと考えられている (Bruce, 1988; Valentine, 1988)。したがって、エラー率においてみられた顔の呈示方向と回転角度の交互作用は、顔についての全体的な水準での処理が、異なった角度で呈示された顔を同異判断する際に用いられていることを示唆するものと考えられる。

なお、顔テクスチャの要因は、この倒立効果とも交互作用を示していた (Figure 14)。この交互作用は、表面テクスチャをもつ顔では、表面テクスチャをもたない顔よりも倒立効果が小さいことを示していた。これは、いい替えれば、全体的な水準での処理がより困難になる倒立顔において、表面テクスチャが顔の同異判断に寄与していたことを示すものであろう。被験者の内省報告の中に“判断が難しい条件では眉の形などが判断の手がかりになることがあった”という報告があったが、これと合わせて考えれば、顔テクスチャの情報には (全体的な特徴も含まれるが) 部分的に機能するような特徴情報も含まれており、それが倒立顔の照合に役立ったのだと推測される。

最後に、本実験においては、回転角度の差が大きくなるにつれて反応時間が増加するという、心的回転実験 (Metzler & Shepard, 1982; Shepard & Metzler, 1971) と同様の結果が得られた。このことは、我々が、視覚的に得られた顔の画像から3次元の表象を構築し、それを心的に回転させていることを反映するものなのだろうか。

筆者は、本実験の結果は、必ずしも Shepard らのような心的な回転操作を反映したものではないと考える。

その根拠のひとつは、本実験において、被験者が (正確な反応を強調

して教示されたにもかかわらず) 極めて高いエラー率を示したことである。Figure 13 を見て明らかなように、回転角度の差が大きくなるにつれてエラー率は大きく上昇し、テクスチャなしの顔が倒立に呈示された条件では 0.4 以上と、チャンスレベルに近いところまで達した。また、他の条件においても、回転角が 90 度の条件では非常に高いエラー率を示していた。実際、被験者の内省報告にも“横顔との比較は極めて難しい”という報告が多くみられた。それに対して、Shepard らの実験での誤答率は全体の平均で 3%~4%程度に過ぎず、回転角の増加に伴うエラー率の増加についても、180 度の条件でさえ 6~8%に留まっていた。顔を 2 次元的に回転させた Valentine & Bruce (1988) も同様で、2 つの顔の間の表情の不一致など、エラー率が増加する条件は含まれていたものの、多くの条件でエラー率は数%に留まっていた。したがって、本研究で得られた回転角度の増加に伴う反応時間の上昇が、得られた刺激の表象を心的に回転するのに要した時間のみを反映するとは考え難い。むしろ、顔刺激を奥行き方向に回転させ、正面の顔との同異判断を行うという課題においては、回転角度の増加は課題の難度そのものを上昇させたと考えた方がよいのではないだろうか。

もうひとつの根拠は、対象物の心的回転において 2 次元的な表面情報はあまり寄与しない (Metzler & Shepard, 1982) といわれるのに対し、本研究では、回転した顔の照合に表面テクスチャのような 2 次元的な画像特徴が利用されていることが示唆されたということである。また、この顔テクスチャは、顔の全体的な布置情報の処理が困難になるとされる倒立条件において、倒立効果を減少させる働きをもっていた。顔の布置情報は、いい替えれば、顔の形態についての構造的な情報である。顔テクスチャが、これらの構造的情報を処理しにくい倒立時にも有効であった

ことから、我々が顔の3次元構造に対する表象を心的に回転させることによって、異なった視点から見た顔を識別しているとは考え難い。

以上のことから、3次元空間内における我々の顔認識には、顔の3次元形状についての表象よりも、むしろ、顔の表面がもつ種々のテクスチャ情報が重要な役割をもっているように思われる。顔認識におけるこのような情報処理特性が、我々が日常において、身分証明書などの顔写真と、目の前にいる人物の立体的な頭部を同定するときの困難に結びついているのではないだろうか。

第3節 Hollow-face 錯視における顔テクスチャ・呈示方向・光源位置の 効果（実験3）

我々を取り巻く世界は3次元の広がりをもつため、空間内を移動したり、物を手に取ったり、対象の形状を認識したりする際には、3次元空間の構造について正しく知覚することが重要である。人は、一般に、このような3次元空間の知覚を特別に意識的な努力を払うこともなく容易に得ることができる。

網膜上の2次元像に含まれるどのような情報が我々に3次元の情報をもたらすかという、網膜像からの3次元性復元の問題は、古くより心理学の主要な興味のひとつであり、多くの研究が行われてきた。その結果、奥行き知覚においては、両眼の輻輳角や眼球調節などの視運動系の手がかり (oculomotor cues)、重なり合いや大きさの比、大気効果、線遠近法の効果などの絵画的手がかり (pictorial cues)、運動視差に代表されるような運動の手がかり (motion cues)、および、両眼が異なった視点をもつことによる両眼網膜非対応の手がかり (binocular disparity cue) などが、我々の奥行き知覚の成立に影響を及ぼすことが認められている (Goldstein, 1996)。

3次元の対象形状の知覚においても、奥行き知覚と同様、その形状復元に有効な複数の手がかりの存在が知られている。両眼網膜非対応は、奥行き知覚の場合と同じく3次元形状の知覚においても重要な決定因となり得るし、両眼からの情報が得られない単眼視状況においては対象や観察者の運動によって3次元形状が知覚できることも見出されている (Braunstein, 1976; Regan, Frisby, Poggio, Schor, & Tyler, 1990; Ullman, 1979; Wallach & O'Connell, 1953)。また、網膜像に含まれる静的な手がかり

りについても、対象表面の陰影やテクスチャ密度の勾配、表面輪郭の解釈などが対象形状の知覚の決定に大きく影響することが知られている（Horn, 1977; Stevens, 1981）。

これらの手がかりを基に、外界の3次元性に適応した知覚が成立していると考えられているが、その一方で、我々がときに、3次元形状の正しい知覚に失敗する現象もある。たとえば、“hollow-face 錯視”と呼ばれる現象（Gregory, 1973, 1998）は、対象の奥行き形状に関する知覚の失敗（錯覚）を示す代表的な例である。この錯視は、顔を象ったお面などを裏側から観察すると、その表面は凹状に知覚されるべきであるのに、我々はむしろ凸状に知覚してしまうという現象である。

Figure 17 は、人の顔表面の3次元座標データを基にコンピュータグラフィックス（CG）によって作成（レンダリング）した画像である（光源は手前上方45度に位置している）。左の画像（Figure 17-A）は顔表面を外側から観察した時の見えを示しているが、この2次元の画像からでも、我々は、陰影の手がかりによってその形状を知ることができる。それに対し、右の画像（Figure 17-B）は、顔を裏側から見たときの像である。顔の表面（たとえば鼻）は向こうを向いているわけであるから、面の3次元構造は凹状に知覚されるべきであるのに、我々は、むしろ、下方から照明された顔が凸状に出っ張っているかのように見てしまう（Figure 17-B の画像では、顔の外側表面は顔の左側に見えるわずかな領域だけである）。

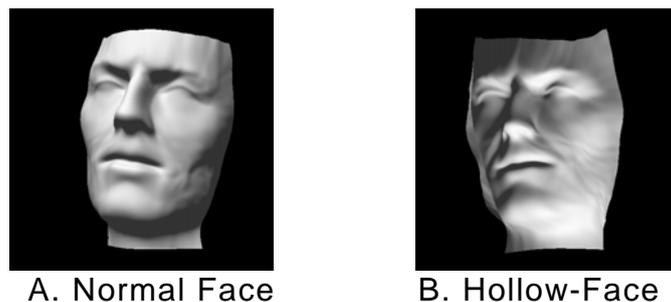


Figure 17. Hollow-Face 錯視

この hollow-face 錯視の生起因のひとつとして、陰影からの 3 次元形状の知覚がそもそもあいまいな性質をもつことがあげられる。陰影は、照明を受けている領域の明るさの空間的な変化であり、その情報は、常に光源の位置と観察方向に依存する性質をもつ (Cavanagh & Leclerc, 1989; Horn, 1977)。したがって、対象の位置とそれに対する観察方向が固定しているならば、観察される 3 次元表面の形状は、光源の位置がどの方向に推定されるかに依存して変化する。

Figure 18 は、陰影からの構造復元問題のあいまい性を示す例である。Figure 18-A は、凹凸をもつ表面を、手前上方 45 度に光源をおいてレンダリングしたものである。この図で、中央に位置する円は実際に凸状の形状にデザインされている。また、その左右あるいは上下にある円は凹状の形状としてデザインされている。この図を、我々はデザイン通りに、中央の円は凸状に、その左右あるいは上下の円は凹状に知覚する。それに対し、Figure 18-B は、光源を手前下方 45 度に位置させてレンダリングしたものである。この図において、元となる 3 次元の形状に関するデータは Figure 18-A と同じものであるのに、我々は、逆に、中央の円は凹状に、その左右あるいは上下の円は凸状に知覚してしまう。

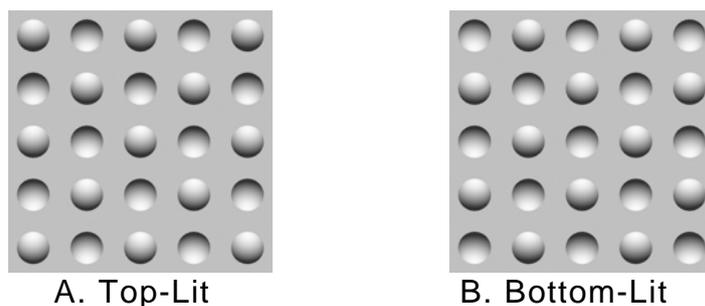


Figure 18. 陰影に基づく形状の知覚

Figure 18 のデモンストレーションは、我々が陰影の情報から 3 次元構造を復元する際に“上方光源”を仮定していること (“light-from-above assumption”)を示すものである (Horn, 1977; Ramachandran, 1988a, 1988b)。たとえば、この図を回して逆さにすると、凹凸の見えは逆転する。我々が生活している光環境においては、光は上方からやってくるのが一般的である。上方光源の仮定には、我々の視覚システムがこのような光環境への適応の結果として、陰影からの構造復元の作業を行っていることを示している。

さて、hollow-face 錯視の成立にも、上述したような陰影からの 3 次元形状復元におけるあいまいさの問題が関係していることが推測される。実際、Figure 17-B を見るとわかるように、我々は、錯視によって凹状の顔表面を凸状に知覚する場合に、光源位置を通常の上方ではなく、下方に推定しているように認められる。

Hollow-face 錯視が、どのような要因によって生起しているかを検討する研究が、Hill & Bruce (1993, 1994) によって行われている。Hill & Bruce (1993) は、hollow-face 錯視において、顔の呈示方向 (正立, 倒立), 照明方向 (上方光源, 下方光源), 観察方法 (両眼視, 単眼視) の要因が、その錯視量の大きさにどのように影響するかを検討した。その結果、hollow-face 錯視は、倒立顔よりも正立顔でより大きく生じること、光源

が手前にある場合は下方から照明した方が錯視量が大きいこと、両眼視よりも単眼視状況下で錯視量が大きいことなどが認められた。

また、Hill & Bruce (1994) は、hollow-face 錯視が、一般に我々が3次元表面を凸状に知覚しやすい傾向によるものかどうかを検討するために、顔の仮面とジャガイモ状の表面を象ったマスク (“hollow-potato” : Johnston, Hill, & Carman, 1992) を刺激として錯視強度を調べた。その結果、顔刺激においては正立に呈示した方が、倒立に呈示するよりも大きな錯視量を生じたが、ジャガイモの表面では呈示方向による違いはみられなかった。また、倒立顔の錯視量は、ジャガイモの表面に対する錯視量と同等であった。

これらの結果をもとに、Hill らは、人はあいまいな3次元表面を凸状に知覚する一般的傾向があるが、hollow-face 錯視はそれだけに起因するものではなく、顔パターンに特有な知識が働いていること、および、この顔という対象についての知識が、正立に呈示された顔では働くが、倒立の顔には働かないことなどを示唆している。

人において、倒立呈示された顔刺激に対する情報処理が特殊であるらしいことは、顔が倒立呈示されると再認率が著しく低下することを示した Yin (1969) の研究や、写真の顔の目や口を切り取って逆さに貼り付けた刺激に対する感受性が、倒立呈示条件下では著しく低くなるという、いわゆる“サッチャー錯視”(Thompson, 1980) のデモンストレーションでも知られている。

ところで、倒立呈示と同様、人の顔刺激に対する特徴的な情報処理特性を示す現象として、写真のネガのように、画像の明暗(白黒)が反転した場合も、顔からの人物の同定などが非常に困難になることが知られている(Galper, 1970; Galper & Hochberg, 1971; Phillips, 1972)。画像の明

暗反転によって顔認識が大きく阻害される事実は、顔の認識に、エッジに基づく表象 (edge-based representation) ではなく、むしろ表面がもつ特性がそのまま反映されているような表象 (surface-based representation) が用いられる可能性を示唆するものである (Bruce & Humphreys, 1994)。

明暗が反転した画像においては、顔表面がもつ陰影パターンの極性も反転するだろう。したがって、明暗反転した画像において、顔の認識が困難になるのは、陰影からの表面形状の復元に失敗するからとも考えられる。たとえば、人の顔を下方から照明するとその認識が非常に困難になるのは、顔の陰影情報が我々の顔認識において重要であることを示す事実である (Johnston et al., 1992)。しかし、顔の表面特徴が与える情報には、陰影の情報だけでなく、顔の表面が本来有しているテクスチャの特徴 (眉が黒い、唇が赤い、目が茶色であるなど) も含まれていることに注目する必要があるだろう。下方照明の操作は、表面が与える陰影情報の極性を反転させるが、表面テクスチャの情報 (テクスチャコントラスト) を反転させることはない。それに対して、画像の明暗反転の操作は、陰影だけでなくテクスチャコントラストも反転させる操作となっている。

最近の CG 技術を応用すれば、顔のもつ表面テクスチャと、光源によって与えられる陰影の情報を独立に操作することが可能である。そこで、本実験においては、hollow-face 錯視がどのような要因によって生起しているかという問題について、顔の呈示方向や光源位置だけでなく、顔がもつ表面テクスチャの情報も合わせて操作することによって、その生起メカニズムを明らかにすることを目的とする。仮説としては、まず先行研究と同様、hollow-face 錯視は倒立呈示よりも正立呈示された顔で大きく生じるだろう。また、上方光源時よりも下方光源時に、より大きく生じるだろう。さらに、この錯視に顔特有の処理メカニズムが寄与してい

るのであれば、顔のテクスチャをなくしたり、明暗を反転させた顔では、倒立呈示時と同様、錯視量の減少が見られるのではないかと推測される。

方法

実験参加者 比治山大学に在籍する学部学生 9 名と教員 1 名、計 10 名が本実験に参加した。なお、視力の低い者はコンタクトレンズを使用した。

実験計画 実験では、両眼視によって立体呈示される顔刺激に対する hollow-face 錯視強度を、以下の 3 要因の組み合わせで測定した。

第 1 要因は、テクスチャの有無であり、テクスチャなし、ポジティブテクスチャ（通常の写真のマッピング）、ネガティブテクスチャ（写真のネガをマッピング）の 3 水準を設けた。第 2 要因は顔刺激の呈示方向で、正立呈示、倒立呈示の 2 水準を設けた。また、第 3 の要因は照明方向で、上方 45 度、および下方 45 度からの照明の 2 水準が設けられた。これら 3 要因はすべて参加者内要因とし、それぞれの組み合わせ（12 条件）について、呈示される顔が凸状に知覚されるか、それとも凹状に知覚されるかという反応の転換点を、二重階段法により測定した。

実験装置 刺激の呈示、および参加者の反応記録のため、パーソナルコンピュータ（EPSON VL-626E）および 17 インチカラーディスプレイ（飯山電機 MT-8617ES）を使用した。また、両眼立体視を成立させるため、液晶シャッターを組み込んだステレオ画像呈示装置（Stereo Graphics Crystal Eyes PC 2）を使用した。

刺激 まず、20 歳代の女性の顔を、非接触型 3 次元形状入力機（Minolta VIVID-700）を用いて、顔表面の 3 次元座標値と 2 次元画像（写真）に分けてコンピュータに取り込んだ（Figure 19）。



Figure 19. 刺激作成の基となる3次元および2次元データ

これらのデータをもとに、3次元画像処理ソフトウェア（Newtek LightWave 3D）によってレンダリング処理を行い、実験で使用する立体視のための刺激画像を作成した。まず、レンダリング時に使用するテクスチャとして、2次元の写真画像データをもとに、テクスチャなし条件用には顔の肌の色を平均化したもの、ポジティブテクスチャ条件用にはそのままの写真画像、ネガティブテクスチャ条件用には原画像の RGB 強度を反転した画像を、それぞれ作成した。なお、これらの画像はすべてカラー画像を用いた。また、テクスチャなし条件において、両眼立体視時に奥行き情報をもたらす対応点が不足することを避ける目的で、上述したテクスチャ画像と 400 画素四方の白黒ランダムドットパターンをそれぞれ 50% のコントラストで合成した画像を作成し、これを最終的にテクスチャ画像として用いた。

刺激画像のレンダリング時には、テクスチャ画像に含まれる撮影時の光源位置の影響を弱める目的で、レンダリング時の光源とは別に、顔表面にその光源の 33% の強度で自己発光属性を与え、同時に同強度の周辺光環境を設定した条件の下でレンダリング画像を作成した。レンダリング時のその他の操作としては、顔（高さ 190 mm）に対しカメラ距離を 10 m に設定することで画像に含まれる遠近法による手がかりを排除す

るようにした。また、影（shadow）のキャスティング計算を行わないよう処理することによって、顔の端や鼻の部分に影ができ、それを手がかりにして、参加者が顔の凹凸を判断することのないよう配慮した。

以上のような手続きで作成した刺激画像の単眼視イメージを、Figure 20 に示す。ここに示した顔はすべて凹状の顔（hollow-face）であるが、錯視によって凸状に知覚されるため、光源位置が上方にある場合には下方から、下方にある場合には上方から照明されているように知覚される。また、本実験で述べる光源位置の上下は、外界座標における位置を意味している。したがって、倒立呈示の場合には、Figure 20-A を逆さに見た画像が下方光源、Figure 20-B を逆さに見た画像が上方光源の刺激イメージとなる。

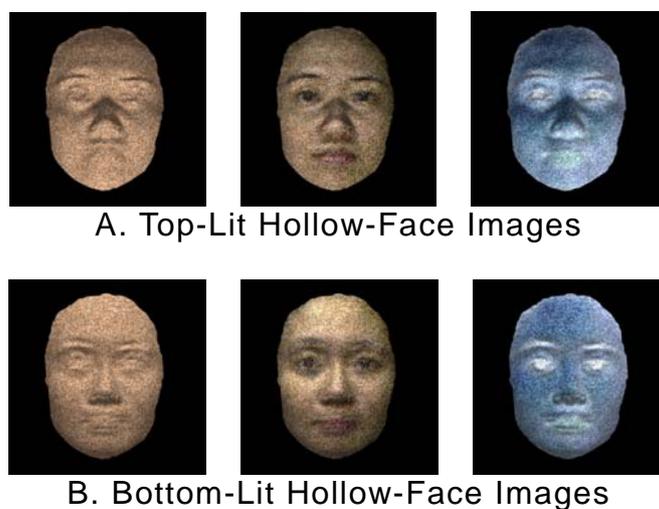


Figure 20. 実験で使った刺激の単眼イメージ

実験に使用する刺激として、上に述べたような設定のもとで、正立状態の凹状の顔に対し正面（0度）から左右2.5度まで、0.1度ごとにカメラを移動させ、51枚の画像をレンダリングして作成した。実験試行では、これらの画像をステレオグラム（両眼視刺激）として呈示した。両眼視

差は最大5度で、正值の視差のある状態では凹んだ顔（hollow-face）が知覚されるものであった。また、刺激の両眼視差は、0.2度おきに変化させることができ、これによって、錯視強度の測定が可能となるようにした。さらに、左右眼の刺激を入れ換えて呈示することによって、凸状に見えるように負値の視差を与えることもできるようにした。

なお、以上のような手続きで刺激を作成したことから、本実験で用いる“両眼視差”という用語は、文字通り“binocular parallax”の意である。したがって、本実験における両眼視差という用語は、しばしば意識的に用いられる“binocular disparity”の訳語ではなく、“disparity”については“網膜非対応”という訳語を用いて区別した。

手続き 実験は暗室内において行い、観察距離は50 cmとした。なお、刺激の大きさ（顔の高さ）はディスプレイ表面上で100 mmであったので、刺激は、視角にして11.4度の大きさに呈示されたことになる。

まず、ステレオ画像呈示装置の調整を行った後、練習試行を50試行以上行い、その後、本試行に移った。練習試行では、どの条件の刺激が呈示されているかの符号情報が画面上に表示され、実験者は、参加者の反応が正しく行われているかをモニターした。本実験で用いた階段法の設定（後述）により、初期の試行では、両眼立体視によって判断が可能な大きな視差をもった刺激が呈示されたが、このときに明らかに誤反応の多い参加者は、分析の対象から除外した。なお、除外した参加者は3名であり、前述した実験参加者は、これらを除外した後の参加者数である。

各試行においては、ディスプレイ上に顔刺激が呈示され、参加者には、立体視ゴーグルを通してそれを観察し、凸状に見えるならばマウスの左ボタンを、凹状に見えるならばマウスの右ボタンを押して回答するように教示した。また、反応時間等は計測しないため、よく観察し、間違い

のないよう判定を行うよう強調した。

顔刺激が凸に知覚されるか、凹に知覚されるかの閾値は、二重階段法により測定した。テクスチャ（3水準）、顔の呈示方向（2水準）、光源位置（2水準）のそれぞれの組み合わせにおいて、まず、2つの刺激呈示系列が用意され、一方は明らかに凹状に知覚される点（両眼視差＝＋5度）から、もう一方は明らかに凸状に知覚される点（両眼視差＝－5度）から開始された。この刺激系列は、階段状に繰り返し両眼視差を変化させ、6個の反応転換点（上昇系列であれば凹状知覚が得られた点、下降系列であれば凸状知覚が得られた点が転換点となった）が得られるまで実施された。なお、試行数を減少させる目的で、最初の2個の転換点までは1度おきに両眼視差を変化させ、その後、0.2度おきに变化するよう設定した。

本実験で用いる実験要因の組み合わせは全12条件であった。階段法は極限法（極小変化法）の変形法であり、閾値を求める規定の数の転換点を得られるまで、同一条件の刺激を用いて、上昇系列と下降系列を繰り返すのが一般的である。しかし、そのために参加者の予測が測定値に影響することがある。本実験では、12条件において、それぞれ2つの刺激呈示系列が用いられたが、参加者の予測の影響を避けるため、すべての呈示系列はコンピュータプログラムによって並列的に制御された。そのため、第1試行から第24試行までは、各条件における第1試行の刺激が無作為順に呈示され、25試行から48試行は各条件内の第2試行の刺激が無作為順に呈示されるというように、試行ごとに異なる条件の刺激を呈示することで、恒常法と同様、参加者の予測が入り込まないようにした。

実験終了後、各条件の組み合わせのそれぞれの階段系列において、最

初の2個の転換点を除く4個の反応転換点を求め、2つの階段系列で合計8個の転換点の平均値を算出し、それを、呈示された顔刺激が凸状－凹状に知覚される閾値の代表値とした。なお、最初の2個の転換点を代表値に含めなかったのは、試行数減少のために行った1度おきの刺激変化が、極限法における極小変化量を大きく超えるため、それを代表値算出に用いることが有効とは考えられなかったためである。

結果

本実験の結果として得られた閾値データに対し、顔テクスチャ要因(3水準:テクスチャなし, ポジティブテクスチャ, ネガティブテクスチャ) × 顔刺激の呈示方向(2水準:正立, 倒立) × 光源位置(2水準:上方, 下方)の3要因分散分析を行った。分散分析の結果は、有意性を示した項目が多岐にわたるので、有意性が確認された項目についておのこのFigureを示して説明を補うことにする。なお、得られた閾値の平均はすべて正の値となったが、これは、凹状に見えるようにある程度の(正值の)両眼視差を与えなければ、凹状の顔表面が正しく凹状に知覚されなかったことを示す。したがって、高い閾値を示した条件であるほど、hollow-face 錯視の錯視強度が大きかったことを表している。

まず、顔テクスチャの主効果が有意であった($F(2,18) = 13.96, p < .0005$)。そこで、Ryan法による多重比較(有意水準は5%水準)を行ったところ、Figure 21に示すように、ポジティブのテクスチャをマッピングした条件では、他の条件に比べ、大きな錯視強度を示すことが認められた。それに対し、テクスチャなし条件とネガティブテクスチャ条件間には有意な錯視強度の差が認められなかった。

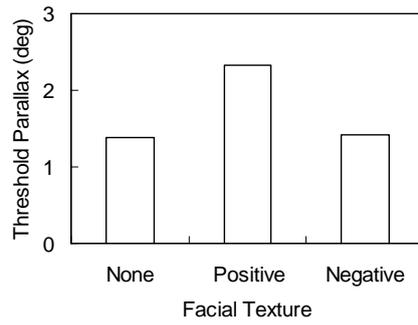


Figure 21. 顔テクスチャの主効果

また、顔の呈示方向の主効果も有意で ($F(1,9) = 7.33, p < .05$), Figure 22 にみられるように、錯視は正立の顔に対して、倒立の顔よりも強く現われていた。

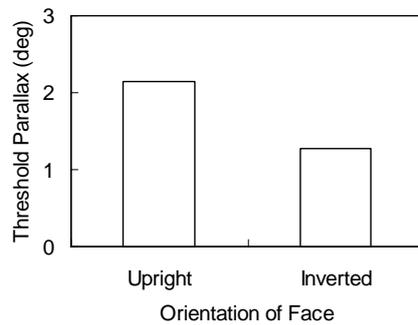


Figure 22. 顔呈示方向の主効果

第3の要因の光源位置の主効果も有意で ($F(1,9) = 6.42, p < .05$), hollow-face 錯視は、上方光源よりも下方光源でその強度が大きいことが示された (Figure 23)。

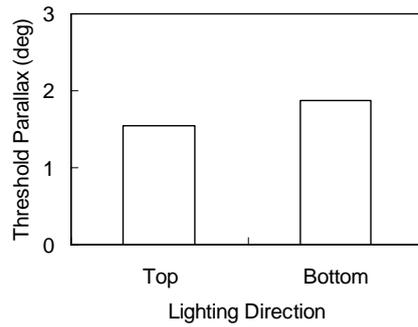


Figure 23. 光源位置の主効果

次に、1次の交互作用についてみると、まず、顔テクスチャ×顔呈示方向の有意な交互作用が認められた ($F(2,18) = 18.62, p < .0001$)。これについて、単純主効果の下位検定を行ったところ、Figure 24 に示すように、倒立顔で錯視量が減少するという顔呈示方向の効果 (Figure 22) が、テクスチャなし条件や、ポジティブテクスチャ条件では有意であるのに対し、ネガティブテクスチャ条件では有意と認められなかった。また、顔テクスチャの単純主効果をみると、正立呈示時にはテクスチャの効果がみられたが、倒立呈示時にはテクスチャ条件による錯視量には違いが認められなかった。

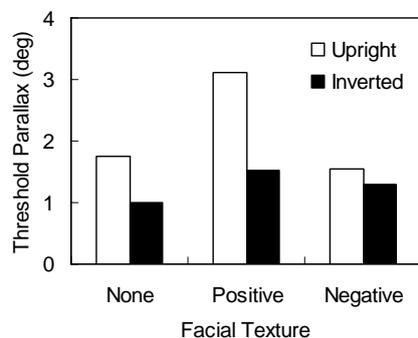


Figure 24. 顔テクスチャ×顔呈示方向の交互作用

顔呈示方向×光源位置の交互作用も有意で ($F(1,9) = 12.83, p < .01$), 正立に呈示された顔では, 光源位置が下方にある方が錯視量は大きかった。逆に, 倒立呈示された顔では, 光源位置が上方にある場合に錯視量が大きくなった (Figure 25)。

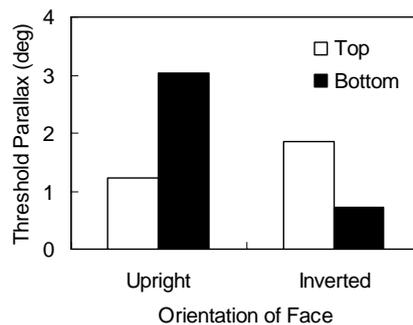


Figure 25. 顔呈示方向×光源位置の交互作用

なお, テクスチャ要因と光源位置の間には有意な1次の交互作用は認められなかった ($F(2,18) = 0.37, ns$)。

交互作用については, 顔テクスチャ×顔呈示方向×光源位置という2次の交互作用についても有意性が認められた ($F(2,18) = 7.04, p < .01$)。Figure 26に, この3要因の組み合わせごとの錯視量を示す。先に, 正立に呈示された顔では下方光源において, 倒立呈示された顔では上方光源において, それぞれ錯視量が大きくなるという1次の交互作用パターン (Figure 25) が認められたが, この2次の交互作用について光源位置の単純単純主効果の下位検定を行ったところ, ネガティブテクスチャ条件の顔が倒立呈示されたときのみ, 光源位置の効果がないことが確認された。

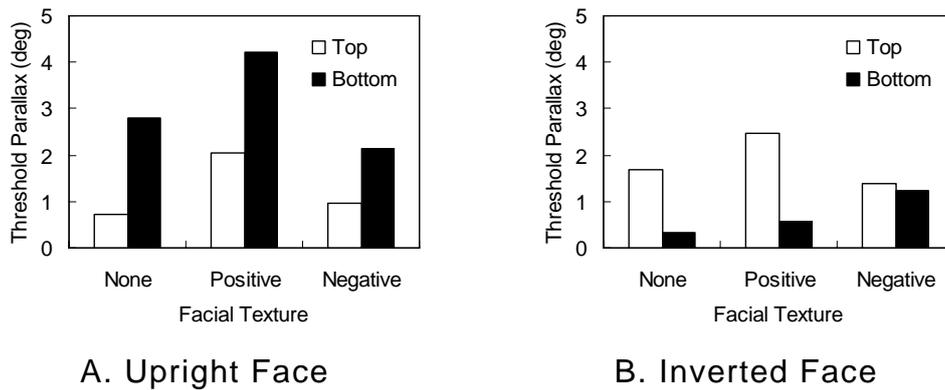


Figure 26. 顔テクスチャ×顔呈示方向×光源位置の交互作用

考察

本実験の目的は、hollow-face 錯視の錯視強度に及ぼす顔の表面テクスチャ、顔の呈示方向、光源位置の効果を調べ、hollow-face 錯視がどのような要因によって成立しているかを検討することであった。

実験の結果は、まず、顔の表面テクスチャによって、錯視量が大きく変わることを示していた。Figure 21 に示したように、ポジティブテクスチャを貼った顔において、錯視量は特に大きくなった。それに対し、写真のネガであるネガティブテクスチャを貼った条件では、テクスチャのない条件と同等の錯視量しか得られなかった。

顔の呈示方向も錯視量に影響し、顔が正立に呈示された場合に錯視量は大きく、倒立に呈示された場合は小さくなることがわかった (Figure 22)。

顔写真が逆さに呈示されたり、顔写真の明暗が反転したネガフィルム上では、顔を識別することが極めて困難になることは古くから知られている (Galper, 1970; Galper & Hochberg, 1971; Phillips, 1972; Thompson, 1980; Yin, 1969)。これは、我々の顔認識メカニズムが顔の情報を処理する際に、部分的特徴よりも全体的布置の情報を、また、エッジ特徴より

も表面特徴を重視して用いていることを示唆している。言い換えれば、倒立の顔やネガの顔画像に対しては、顔認識メカニズムは十分に機能しないと考えられる。本実験においては、顔が倒立呈示されたり、ネガのテクスチャが貼られた顔で、hollow-face 錯視の錯視強度が減少した。これらの結果は、hollow-face 錯視の成立に、前述したような特性をもつ顔の情報処理メカニズムが関与している可能性を示唆している。

実験結果からは、顔テクスチャと顔呈示方向の交互作用も示された。Figure 24 をみると、hollow-face 錯視の強さは、ポジティブのテクスチャが貼られた顔が正立に呈示されたときに、特に大きくなるようである。倒立呈示と明暗反転は、両者とも顔認識パフォーマンスを阻害するが、それらは独立した効果を持ち、顔の情報処理の異なる側面に影響するといわれている (Bruce & Langton, 1994)。また、実験 2 (第 2 節) では、この 2 つの操作が、単に顔を検出するという、より原始的な反応においても同様な性質をもつことが明らかになった。これらのことを考えると、本実験の結果は、より顔らしく見える正立ーポジティブの画像において、呈示された刺激がより“顔として”処理されたことに起因すると考えられる。つまり、hollow-face 錯視は、呈示された陰影パターンが顔として処理される程度が大きければ、その錯視強度も大きくなる傾向にあると推測される。

光源位置の効果については、全体として、下方光源において上方光源よりも錯視量が大きくなるという傾向を示していた (Figure 23)。この結果は、Hill & Bruce (1993) が認めたものと全体的な傾向としては一致する。しかしながら、彼らの研究とは異なり、本実験の結果は、光源位置の効果が、顔の呈示方向に依存して影響の向きを変えるというものであった (Figure 25)。正立呈示された顔では、光源が下方にある方が錯視量

が大きかったが、倒立呈示された顔では、光源が上方にある方が錯視量が大きくなった。

我々は陰影からの構造復元のあいまいさを解決するために、一般に光源位置を上方に仮定する傾向がある。この仮定の下では、hollow-face のような凹状の表面を下方から照明すると、凸状の表面を上方から照明したときの見えと等しくなり、凸状に知覚されやすくなる (Figure 18)。したがって、下方光源において hollow-face 錯視強度が増大する傾向は、顔パターンに限らず、あいまいな陰影パターンから 3次元構造を復元する際には一般的にみられる傾向である。それに対して、本実験において、光源位置の効果が顔の向きに依存して変化したことは、我々が、顔パターンに対して、必ずしも上方光源の仮定を用いていないことを示唆するものであった。得られた結果から、我々が外界座標ではなく、顔中心の座標系の上で、光源位置の推定を行っているとは推測される。実際、本実験の結果は、我々が、顔パターンに対して“顔座標における上方”に常に光源位置を推定していると仮定すると説明がつく。また、光源位置の効果は、テクスチャなし条件やポジティブテクスチャ条件の顔に対しては、顔方向依存の特性を示したのに対し、顔として処理されにくいネガティブテクスチャ条件の顔では、その傾向は明らかでなかった (Figure 26)。このことも、光源位置の推定が、顔パターンに特有な処理特性と関連したものであることを示唆している。

Ramachandran ら (Kleffner & Ramachandran, 1992; Ramachandran, 1988a, 1988b) は、立体形状として知覚される陰影パターンが、潜時は遅いが知覚的群化や分凝、あるいは前注意的なポップアウトの知覚的手がかりとして機能すること、およびその上方光源の仮定が網膜座標に依存して決定される事実から、陰影から構造を復元する処理は、視覚情報処理の初

期の過程にあると示唆している。たとえば，Figure 18 に示したパターンにおいて，我々は，凸と凹のパターンをそれぞれひとつのまとまりとして知覚することができる。また，図を回転させて逆さにすると奥行きが反転するだけでなく，図を立てたまま，観察者が頭を傾けて逆さに見ることによっても奥行きを反転を観察することができる。

本実験では，顔パターンに対する光源位置の推定が，顔の向きに依存して決定されるという結果を得たが，このことは，顔の情報処理が，陰影パターンによる3次元形状の知覚という，視覚過程の初期段階の処理にも影響し得ることを示唆している。

最後に，本実験の結果は，光源位置の効果が顔の呈示方向とは独立に働くという Hill & Bruce (1993) の研究結果とは異なっていた。彼らは，半透明のプラスチックで作られた hollow-face を用いて，参加者が遠方より刺激に接近していき，どの段階で凹状に見えるかという実験を通して錯視強度を測定した。このような測定方法をとったため，参加者にとっては，顔が向こう側を向いていることは既知であったと考えられる。また，彼らの実験では単眼視においても閾値測定が可能であったことから，参加者は，両眼網膜非対応の手がかりだけでなく，頭を動かすことによる運動視差の手がかりや，刺激対象表面（あるいはその周囲）のさまざまな手がかりも利用可能であったと考えられる。それに対して，本実験では，二重階段法を用い，試行ごとに異なった条件を呈示することにより系列効果を排除すると同時に，凹に見えるか凸に見えるかという2件法での閾値測定を行うことで，刺激の立体形状に対する参加者の知識や予測が働かない状況下での錯視強度を測定した。さらに，バーチャルリアリティ技術を応用することにより，参加者に与えられる奥行き手がかりのうち，両眼視差のみを単独に操作することができた。

これらの違いから、Hill らの実験では、参加者に認知された実験室内の空間情報が光源位置の推定等に影響したと考えられる。それに対し、本実験は、周辺環境についての情報をより統制した手法で錯視量の測定を行ったため、結果上の違いがあったと考えられる。

第4節 合成顔を用いた年齢知覚手がかりの検討（実験4）

我々の日常生活において、顔は極めて重要な役割を担っている。顔は、社会の中で個人を特定するためのラベルとして機能するし、表情を通して個人内部の感情や情動を伝達する働きももつ。また、唇の動きは会話理解の助けともなるし、性や人種、年齢などの社会的情報も顔によって伝えられるところが大きい。このようにしてみると、顔はひとつのデバイスで複数次元の情報を伝達する一種の多重通信装置といえるが、人物や表情の認知に関する研究に比べると、それ以外の属性に関する研究はあまり多く行われてきたとはいえない。これに対し、本実験では、人が顔から年齢を知覚する際、顔に含まれるどのような情報を用いているかを検討する。

Pittenger & Shaw (1975) は、顔特徴の知覚において、種や人種、性、血縁による顔立ちの類似性、および個人特徴の情報は、顔パターンの中に“構造的不変項”として含まれているが、年齢は“変形的不変項”として変形の中に動的な情報として含まれるという考えを導入し、事象知覚としての成長の知覚に関する実験を行った。彼らは、基準となる10歳少年の横顔形状にひずみ (strain) とずれ (shear) の変形を与えて作成した刺激図を用いて年齢比較実験を行い、ひずみ変形が年齢判断に用いられていることを明らかにした。この古典的研究は、その後いくつかの発展的追試研究がなされ、カージオイド (心臓) 型の変形が成長の知覚をもっともよく表すと考えられている (Mark, Todd, & Shaw, 1981; Mark & Todd, 1985; Todd, Mark, Shaw, & Pittenger, 1980)。

変形に基づく年齢手がかりの研究は興味深い試みではあるが、これらの研究では、頭部骨格形状が大きく変化する乳幼児期から児童期にかけ

での顔が対象で、しばしば“かわいらしさ”という解発刺激性との関連で論じられてきた (Alley, 1981)。また、横顔の輪郭形状のみに目を向けたものがほとんどである点でも、年齢知覚の一側面しかとらえていないといわざるを得ない。平面的な輪郭刺激ではなく、3次元的な形状について問題にした研究もあるが、そのような研究でも、顔の表面的な手がかり情報はほとんど扱われていない (Bruce, Burton, Doyle, & Dench, 1989; Mark & Todd, 1983)。成人の顔から年齢を知覚する際には、しわやたるみなどの顔表面の手がかりも重要な役割をもつと考えられることから、成人も含めた広い年齢範囲の顔を用いて年齢知覚手がかりを検討することも必要である。

これに対し、Burt & Perrett (1995) は、20歳から60歳までの白人男性の顔画像に対してコンピュータグラフィックスを応用することによって、年齢知覚における顔の形状と皮膚の色の役割について検討している。彼らは、全年齢 (20–54歳) の平均に対して高齢の合成顔 (50–54歳) がもつ肌の色を強調すると、その顔がより高齢に知覚されることを見出した。また、個人の顔に対して、高齢顔がもつ肌の色の変化や顔の形の変形を適用すると、参加者はその顔をより高齢に知覚した。この効果は、色と形の両者を変化させたときに最大であった。また、色だけを変化させたときにも年齢は高齢に知覚されたが、顔の形だけを変化させた場合には、知覚年齢はほとんど影響されなかった。

Burt & Perrett (1995) の研究は、年齢の知覚において、顔の形状だけでなく顔表面の色特徴も重要な働きをもつことを示したという点で重要である。しかしながら、彼らは20歳以上の成人の顔しか用いておらず、幼少時に見られる頭部形状の変化がどのような役割をもつかについては調べられていない。

子どもの顔と大人の顔では、年齢知覚に用いられる手がかりは異なるかもしれない。乳幼児期から児童期にかけては、頭部骨格が大きく成長するため、それに伴って頭の形状や顔のパーツの布置情報が変化する。しかし、このような顔の構造は成人期になるとほとんど変化しない。成人においては、むしろ、しわや目の下のたるみ、頬の肉垂れなど、顔表面の手がかりが年齢知覚の手がかりとなるであろう。

そこで、本実験では、乳幼児から 60 歳代までの広い年齢範囲の顔を互いに合成することで、いろいろな年代の顔に含まれる手がかりが、どのように年齢の知覚に影響するかを検討する。実験では、モーフィングによる画像合成を用いて刺激を作成する。Figure 27 は、実験で用いるモーフィング合成の例である。ここでは、男性と女性の顔が 50 % ずつの割合で合成されている。モーフィングは、画像がもつ色と形の両者を平均化する方法であるので、合成された顔は、物理的には元になる 2 つの画像の中間の見えをもつ。したがって、異なる年齢の顔を合成した場合に、もし、年齢の知覚がすべての年代の顔において常に同じ特徴を用いてなされるのならば、異年齢間で合成された顔は互いの特徴が平均化され、中間年齢の顔として認識されると予測できる。しかし、年代によって異なる特徴が年齢知覚に用いられるのならば、異質な手がかりは、単に融合したり平均化されることなく、年齢知覚において排他的あるいは拮抗的な作用をもたらす可能性が考えられる。

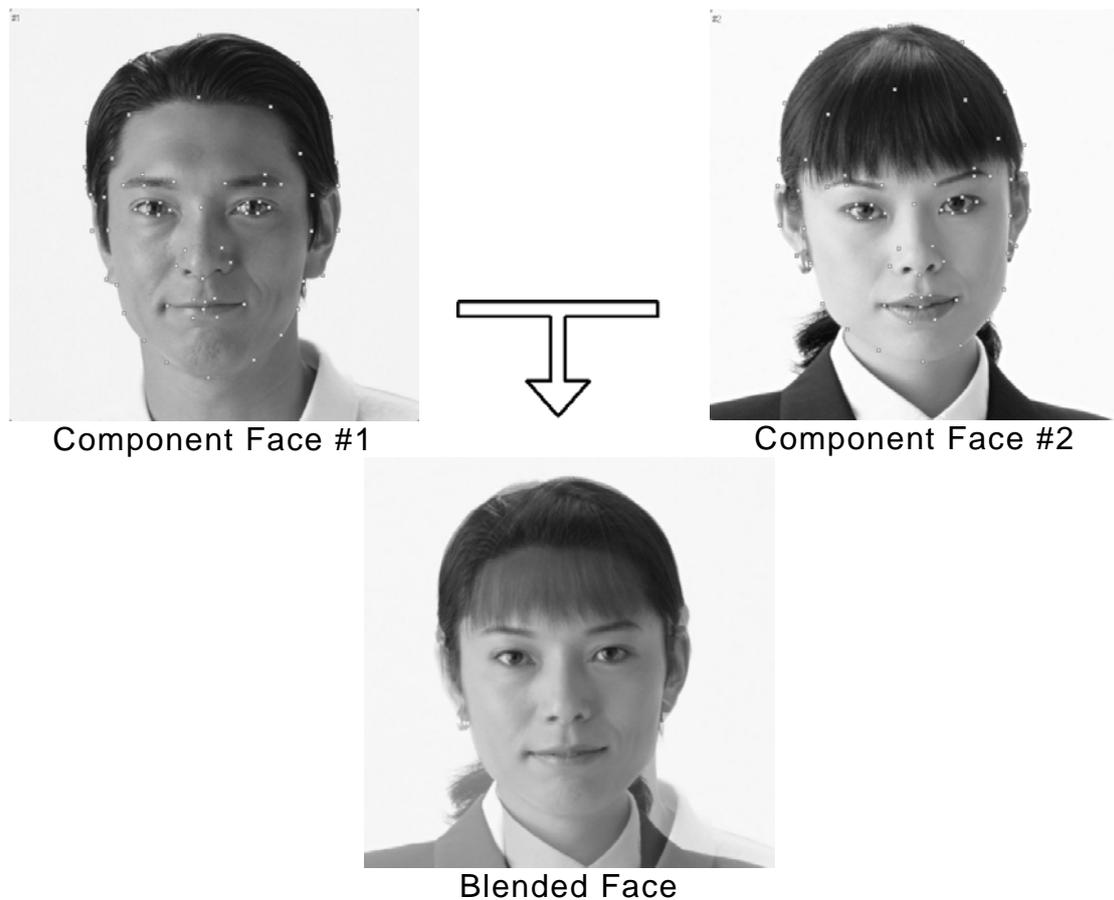


Figure 27. モーフィングによる画像合成

方法

実験参加者 比治山大学現代文化学部に所属する学部学生 134 名（男子 51 名，女子 83 名）が研究協力者として実験に参加した。

装置 画像の生成および実験手続きの自動制御のため，パーソナルコンピュータ（EPSON VL-626E）および 17 インチカラーCRT（飯山電機 MT-8617ES）を使用した。また，実験において用いる合成顔を作成するための顔写真収集の際には，デジタルカメラ（オリンパス C-3030）を使用した。

刺激 まず，1 歳代（1－2 歳），10 歳代（14－15 歳の中学生），20 歳代（20－22 歳の大学生），60 歳代（62－69 歳）の男女各 8 名の顔写真

を収集し、それらを合成することで、各年代の男女の平均顔（8枚）を作成した。画像はすべて、縦横 512 画素からなるカラー画像であった。画像合成にはモーフィングプログラム（Morpher for Windows v3.1: Fujimiya, 2003 による）を使用した。合成画像を作成するための対応点は、Figure 27 に示したように、左右の目に各 6 点、眉に各 4 点、耳に各 5 点（内 2 点は輪郭と共有）、鼻に 6 点、唇に 8 点、その他輪郭等に 21 点を用いた。Figure 28 は、このようにして作成した各年代の平均顔である。

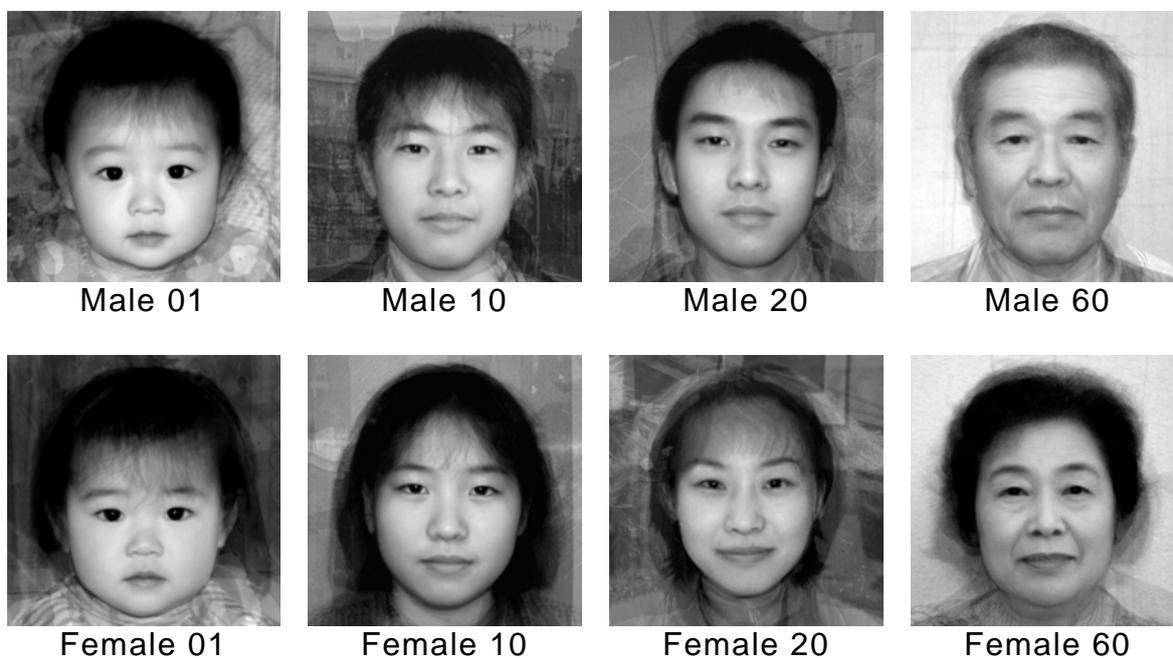


Figure 28. 各年代の平均顔

さらに、これら各年代の顔を元に、異なる年齢の顔画像を平均化することにより、Figure 29 に示したような男女ごとの異年齢間の合成顔（12枚）を作成した。

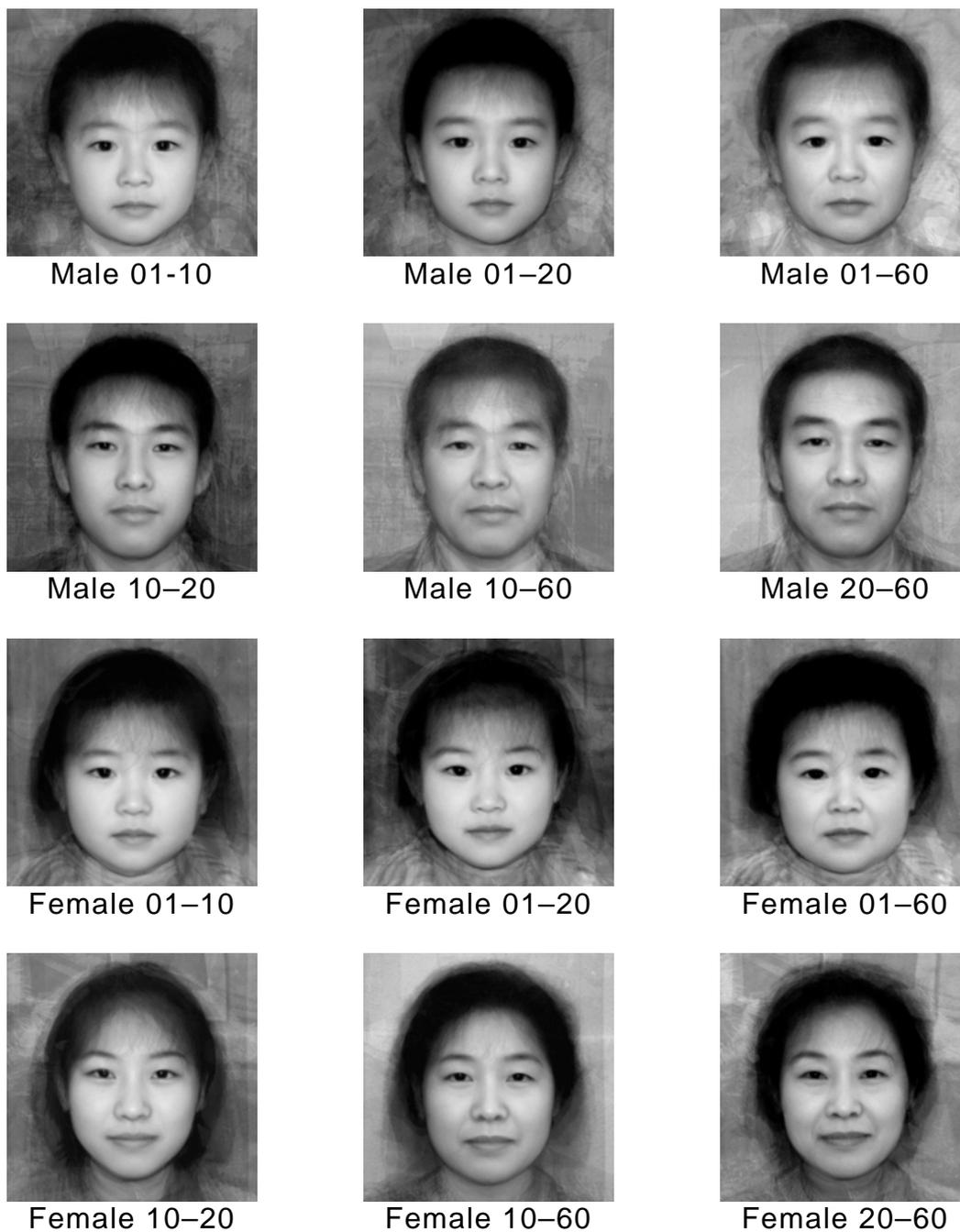


Figure 29. 異年齢間の合成顔

手続き 実験は、大学における3クラスの情報系科目の授業時間の一部を利用して集団実験で行った。参加者は、個別にパーソナルコンピュータに向かい、この実験のために特別に開発されたコンピュータ・プログラムにしたがって実験を進めた。実験に使用したすべてのコンピュー

タ（全 56 台）は、事前に、画面解像度や色深度、輝度特性等に関して同一のセッティングが施されていた。

実験では、まず、実験者が映像配信システムを使って、すべての参加者にプログラムの操作と実験方法について実際の操作画面を示しながら教示した。その後、各参加者は、自分のコンピュータ上で実験プログラムを走らせ、画面上に無作為順に呈示される計 20 枚の顔刺激に対して年齢を推定し回答した。

各試行では、画面中央左よりに刺激となる顔画像が 1 枚呈示され、参加者は、画像に示される顔の年齢が何歳に見えるかを画面右側に呈示された入力ボックスに入力して回答した。なお、年齢を回答する際には、必要に応じて小数を用いて構わないこと、および、年齢が判断しにくい顔も多く出てくることから、あまり深く考え込まず、見た目で感じたままの年齢を回答することを教示した。

結果

各年代の平均顔に対して参加者が回答した平均知覚年齢を男女別に Figure 30 に示す。1 歳代の顔は平均すると 1.99 歳、10 歳代は 16.78 歳、20 歳代は 24.72 歳、60 歳代は 63.31 歳と知覚されていた。

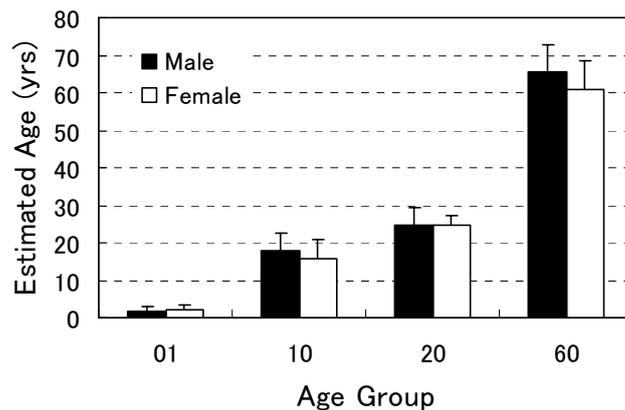


Figure 30. 平均顔に対する年齢知覚結果

モーフィング合成は、2つの画像の中間画像を作成するため、もし、参加者が1歳代の平均顔を1.99歳、10歳代の平均顔を16.78歳と知覚したならば、1歳代-10歳代の平均顔はその中間年齢である9.39歳に知覚されると推定される $[(1.99 + 16.78) / 2 = 9.39]$ 。そこで、異年齢間の合成顔に対する実験結果については、参加者が実際に知覚した年齢（実験結果）と、合成元となる2つの平均顔の年齢知覚結果から予測される推定値とを合わせて、Figure 31に示した。実験結果と推定値との間で t 検定を行ったところ、10歳代-20歳代の女性顔 ($t(133) = 1.61, ns$)、20歳代-60歳代の男女の顔（それぞれ、 $ts(133) = 1.37, 1.06, ns$)を除くすべての異年齢間合成顔で、有意な差が認められた ($ts(133) > 2.36, ps < .05$)。この異年齢間の合成顔に対する年齢知覚結果の特徴については、以下の3点に要約できる。まず、1歳-10歳、1歳-20歳の合成顔にみられるように、1歳代の顔が中間年齢の顔と合成されると、知覚された年齢は予測値よりも低くなった。しかし、1歳-60歳、10歳-60歳にみられるように、60歳代の顔が低年齢顔と合成されると、逆に、知覚年齢は予測値よりも引き上げられる結果となった。また、標準偏差の大きさから

明らかなように、判断のばらつきは異年齢間の合成顔において大きい傾向にあり、特に、幼児と高齢者という両極にある顔を合成した1歳-60歳では極めて大きかった。

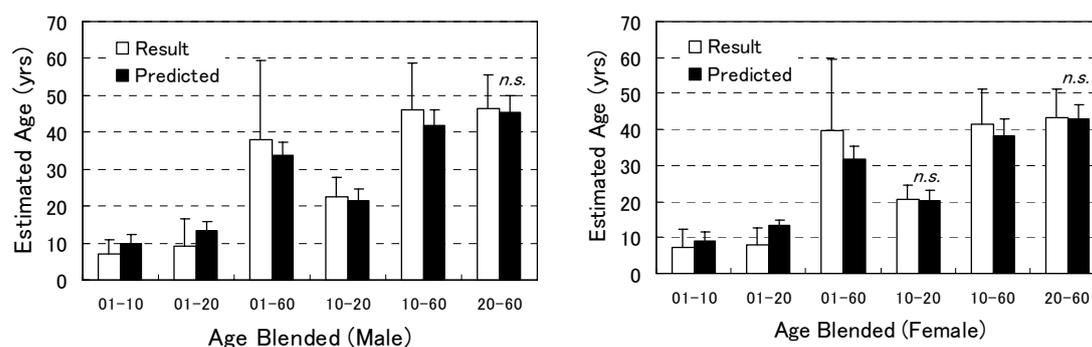


Figure 31. 異年齢間の合成顔に対する年齢知覚結果

参加者の年齢判断のばらつきがどのように拡大しているかの手掛かりとして、Figure 32には、異年齢間のそれぞれの合成顔に対する、すべての参加者の反応分布を示した。これから明らかなように、参加者の反応分布は、多少の偏りはあっても基本的には分散の異なる正規分布に近い形状であったが、1歳-60歳の合成顔の場合だけは、明らかな二極分布となっていた。このことから、ある参加者は、1歳-60歳の合成顔に対して、5歳から9歳をピークとする子どもとして知覚していたが、別の参加者は、同じ顔を50歳から54歳をピークとする大人として知覚していたという可能性が考えられる。

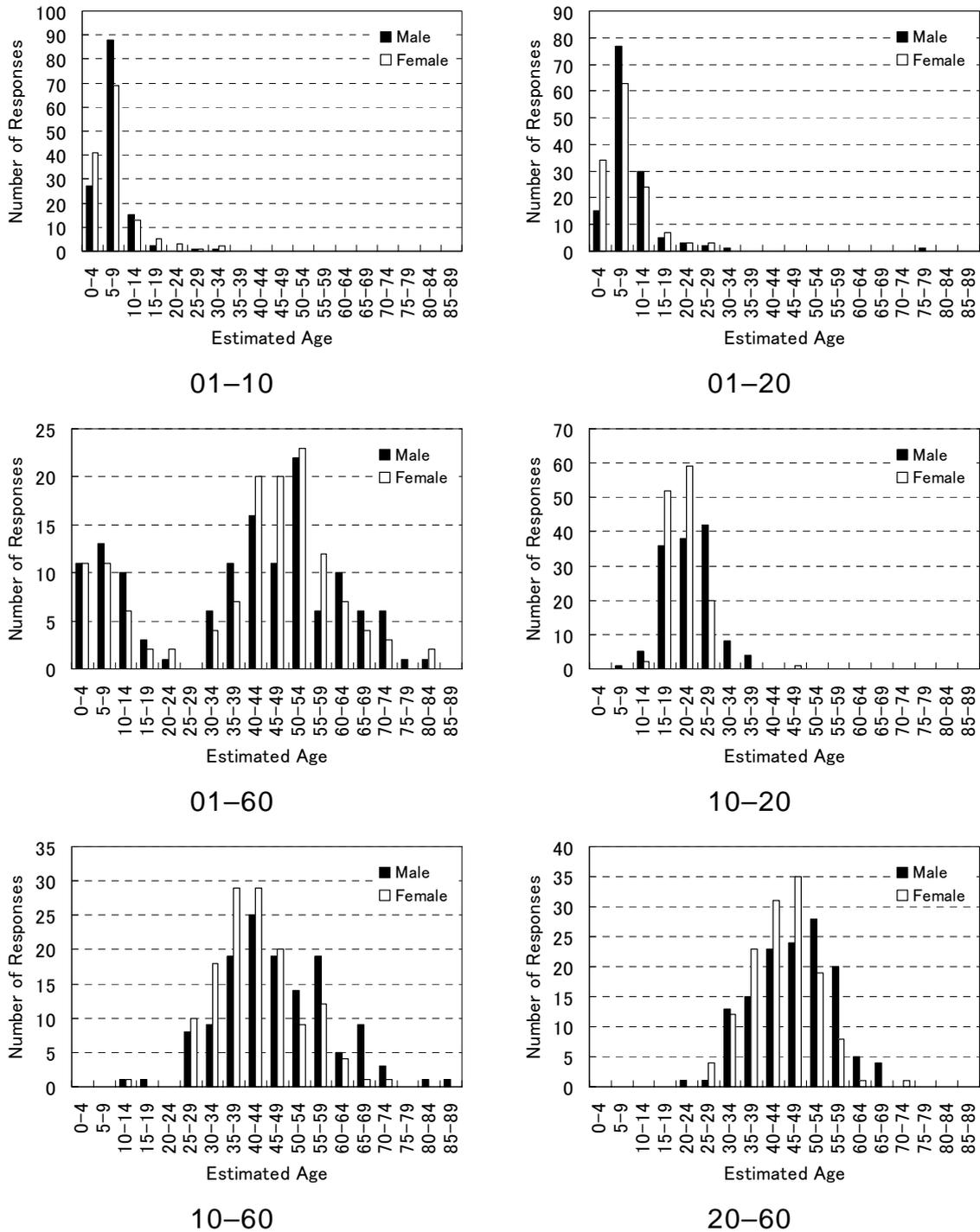


Figure 32. 異年齢間合成顔に対する反応分布

この点を明らかにするため、1歳-60歳の合成顔に対する反応について、反応が皆無だった25歳から29歳の区分を境に、参加者の分類を行

った。その結果、男女2枚の合成顔に対して、両方とも子どもと判断した参加者は14名、両方とも大人(30歳以上)と判断した参加者は79名、1枚は子ども、もう1枚は大人と判断した参加者は41名であった。

これまでの年齢知覚の研究では、参加者の個人特性によって、顔からの年齢推定が過大視あるいは過小視される傾向が存在することが知られている(根ヶ山, 1993)。1歳-60歳の合成顔に対する年齢推定にみられた二極化が、年齢を低くあるいは高く見積もる参加者の個人特性に起因するかどうかを確かめるため、上述した3つの参加者群(両方とも子ども反応、半々の反応、両方とも大人反応)が、他の顔刺激に対してどのような年齢推定を行ったかを調べ、Table 1に示した。それぞれの刺激条件に対して1要因の分散分析を適用したところ、これら3群間で年齢推定値に違いが認められたのは、平均顔では60歳代のみで、異年齢間合成顔では、1歳-20歳、1歳-60歳、10歳-60歳、20歳-60歳に対してであった。

Table 1 1歳-60歳の合成顔に対して反応が異なった3群の参加者による他刺激に対する年齢知覚結果

		Response to the combination of Infants-60s			<i>F</i> values (<i>df</i> = 2/131)
		Two Children (<i>n</i> = 14)	A Child & an Adult (<i>n</i> = 41)	Two Adults (<i>n</i> = 79)	
Averaged Faces	01	2.1	2.2	1.9	1.91
	10	14.8	16.7	17.2	2.83
	20	24.0	24.6	24.9	0.74
	60	59.5	62.0	64.7	5.93 **
Age- Blended Faces	01-10	6.5	6.7	7.3	0.50
	01-20	6.3	7.2	9.4	4.09 *
	01-60	5.9	27.8	50.3	286.33 ***
	10-20	20.4	21.8	21.6	0.97
	10-60	37.7	42.8	45.5	6.68 **
	20-60	39.9	43.7	46.4	6.64 **

(* $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$)

考察

本実験の目的は、モーフィングによって合成された各年代の平均顔や、異年齢間の合成顔に対して、どのような年齢推定が行われるかを分析することによって、顔から年齢を知覚する際に用いられる年齢知覚手がかりについて検討することであった。

4つの年代の平均顔についてみると、1歳代は1.99歳、10歳代は16.78歳、20歳代は24.72歳、60歳代は63.31歳と知覚された（Figure 30）。異年齢間の合成顔に対する年齢知覚結果（Figure 31）についてみると、まず、1歳代の幼児と中間年齢の顔を合成した1歳-10歳、1歳-20歳の顔に対する知覚年齢値は中間となる年齢値よりも過小視される傾向にあった。それに対し、1歳-60歳、10歳-60歳の顔のように、60歳代の顔と合成されると、知覚年齢は中間年齢よりも過大視される傾向に変わった。このように、各年代の平均顔に対する年齢知覚結果からの予測に比べて、大きな過小視あるいは過大視が生じたのは、1歳代の幼児の顔や60歳代の高齢者の顔が合成対象となったときであった。このことから、幼児や高齢者の顔は、強い年齢手がかりを含んでいると考えられる。

幼児の顔に関しては、この強い年齢手がかりは、彼らの未発達な頭部骨格形状と、それに起因する目や鼻、口などの特徴部位の特異的な布置の情報によってもたらされていると考えられる。これらは、Mark, Pittenger, Shaw, Toddらを中心とした成長知覚に関する過去の研究において、強い年齢手がかりとして機能することが確かめられたカージオイド型のひずみ変形と同じものといえる（Mark et al., 1981; Mark & Todd, 1983, 1985; Pittenger & Shaw, 1975; Todd et al., 1980）。これに対し、高齢性をもたらす手がかりは、高齢になるにつれて顔に生じてくるしわや、

目の下のたるみ、頬の肉垂れなど、顔表面の変化によってもたらされる特徴情報であろう。

Mark, Pittenger, & Hines (1980) は、手書きのポートレイトを刺激として、顔のしわと頭部形状が年齢判断にどのような影響を及ぼすかを調べた。両者はそれぞれ年齢判断に大きな影響を与えたが、両者が一致しているときに、年齢は最も正確に判断された。また、しわは頭部形状よりも大きな効果をもたらし、15歳の頭部形状に70歳のしわを与えたときには、68.7歳と高齢に知覚された。その顔は早老症候群 (progeria) の子どものように見え、矛盾や異常を感じさせるものであったため、ポートレイトから受ける矛盾や異常性の評定を求めたところ、参加者は両者の示す年齢の不一致に対して感受性が高いことがわかった。これらの結果から、彼らは、顔の年齢をもたらす情報は複雑に影響し合っており、それらが調和的に働くことで、年齢判断が行われているのだと論じている。

本実験において、強い年齢手がかりをもつ顔同士を合成した1歳–60歳の合成顔では、参加者の年齢推定反応に大きなばらつきが生じたが、Mark et al. (1980) と同様、年齢推定の平均値をみる限り、幼少性よりも高齢性の手がかりの方が優勢なようで、1歳、60歳のそれぞれの平均顔の年齢知覚結果からの予測よりも合成顔は高齢に知覚された。また、Figure 29の画像で明らかのように、1歳–60歳の合成顔は、矛盾や異常を感じさせる見え方がするのも事実である。この点で、本実験でもMarkらの結果を確認できたといえるが、Figure 32に示した反応分布は、これらの年齢手がかりの質的特性に関して、さらなる新しい発見をもたらした。1歳–60歳の合成顔に対する年齢知覚反応は、他の合成顔とは異なる二極分布となった。反応は5歳から9歳をピークとする子どもか、50歳から54歳をピークとする高齢に近い成人に分類され、中間年齢である

25 歳から 29 歳の反応は皆無であった。このことは、幼少性と高齢性をもたらす手がかり情報が、何らかの質的な側面で異なるものであり、1 つの顔の中に存在しても融合したり相殺されることはなく、共存可能であることを意味している。

では、1 歳－60 歳の合成顔に対して、子どもと知覚した参加者と、高齢であると知覚した参加者の間に、何らかの知覚特性の違いがあるのだろうか。たとえば、あいまいな顔刺激から年齢を判断する際に、全体的に過小視あるいは過大視してしまうというような個人の特性がこれらの反応を分けているのだろうか。あるいは、年齢が不明確に見える顔刺激に対する、単なる反応の拡散が二極分布をもたらした可能性も否定できない。

Table 1 では、参加者を、1 歳－60 歳の 2 枚の顔刺激に対して両方とも子どもと判断した 14 名、片方を子ども、もう一方を高齢と判断した 41 名、両方とも高齢と判断した 79 名に分類し、他の顔刺激に対する反応傾向を調べた。これらの参加者の反応が、全体的な年齢の過小視・過大視によるのならば、その反応傾向は他の顔刺激に対しても認められるだろう。また、二極分布があいまいな刺激に対する単なる反応の拡散であるならば、あいまいに見えない他の刺激に対しては、参加者はこのような反応の違いを起ささないだろう。

結果を見ると、平均顔では、60 歳代の顔に対して 3 群間に年齢推定値の違いがみられ、1 歳－60 歳を子どもと判断した参加者よりも、大人と判断した参加者の方が、60 歳代の平均顔を、より高齢に知覚する傾向にあった。しかし、この傾向は、1 歳代、10 歳代、20 歳代の顔では認められなかった。また、異年齢間の合成顔に対する反応では、1 歳－60 歳は当然であるが、1 歳－20 歳、10 歳－60 歳、20 歳－60 歳の合成顔でも、

群間の知覚年齢値に違いがみられた。それに対して、1歳–10歳、10歳–20歳では違いは認められなかった。これらの結果は、1歳–60歳の合成顔で見られた二極分布が、参加者の全体的な年齢の過小視・過大視傾向によるものでも、あいまいに見える顔に対する単なる反応の拡散によるものでもないことを示唆している。

これらの事柄を理論的に説明するため、筆者は、幼少性の手がかりと高齢性の手がかりに対してそれぞれ反応するような独立した2つの“検出器”が存在するのではないかと考える。この仮説に基づけば、1歳–60歳の合成顔に子どもと判断したケースでは幼少性の検出器の出力が優勢に働き、高齢と判断したケースでは高齢性の検出器の出力が優勢に働いたと考えられる。

Table 1の結果を詳細に見ると、1歳–60歳を子どもに分類したか高齢に分類したかに基づく3群間で、年齢知覚結果が有意に異なった顔は、1歳–20歳を除けば、60歳代の平均顔や10歳–60歳、20歳–60歳の合成顔というように、60歳代の顔を含んだ刺激画像であった。高い有意性 ($p < .01$) が60歳代を含むすべての顔で得られたことを考えれば、高齢性の手がかり検出において、その感受性に個人差が大きいことが示唆される。

これに対し、幼少性の手がかりを含む1歳代の平均顔では3群間で違いがみられなかった。合成顔については、1歳–20歳で効果がみられたが、1歳–10歳では群間の違いは認められなかった。この結果は、幼少性の手がかり検出については、個人差が比較的小さいことを示唆している。比較行動学者のLorenz (1943) は、乳児やよちよち歩きの子どもの見てかわいいと感じる仕組みを“ベビー・スキーマ”という概念を用いて説明した。ベビー・スキーマは、我々の中にある生得的解発機構のひ

とつであり，サインとなる鍵刺激を選択的に感受できるような神経機構である。

以上のように考えていくと，幼少性をもたらす手がかりは，誰もがもつ生得的感覚神経機構である検出器を刺激し，幼さやかわいらしさを感じさせると考えられる。実際，Figure 29 に示す合成顔で，1歳－10歳あるいは1歳－20歳の合成顔は，おそらく誰の目にも非常にかわいらしく映るだろう。これに対し，高齢性手がかりの方は，おそらく，学習や経験によって調律された検出器により検出・評価されるので，本実験で見られたように個人差が現れるのではないかと考えられる。

第5節 年齢・性別知覚の空間周波数特性（実験 5-1, 5-2, 5-3）

実験4（第4節）では、画像合成を応用した年齢知覚実験を行い、人が顔から年齢を推定する際の知覚の手がかりについて検討を行った。その結果、幼少性の知覚手がかりと高齢性の知覚手がかりが相互に独立しており、ひとつの顔に共存できることが見出された。

実験では、1歳代、10歳代、20歳代、60歳代の男女の平均顔を基に、異なる年齢の顔を合成した刺激が使用された。これらを Figure 33 に示す。この図で、刺激名に含まれる“A”は、後述する本実験の空間周波数操作で全帯域の成分が合成されたことを意味する。実験4では、1歳－10歳、1歳－20歳、10歳－20歳、10歳－60歳、20歳－60歳の異年齢間合成顔は、それぞれの顔の年齢特徴が融合し、ほぼ中間の年齢に知覚された。これに対し、1歳－60歳の合成顔は、高齢の大人と知覚される一方で、子どもと知覚されることもあった。また、中間の25歳から30歳と見えることは皆無で、年齢推定反応は明らかな二極分布を示していた。互いの手がかりが融合しているとは認められなかったことから、顔によって伝えられる幼少性と高齢性の手がかりはそれぞれが独立しており、ひとつの顔に共存可能であること、および、我々はこれらの手がかりに対する検出器をもち、その出力が拮抗的に働くためにこのような現象が生じるのだと考えられた。

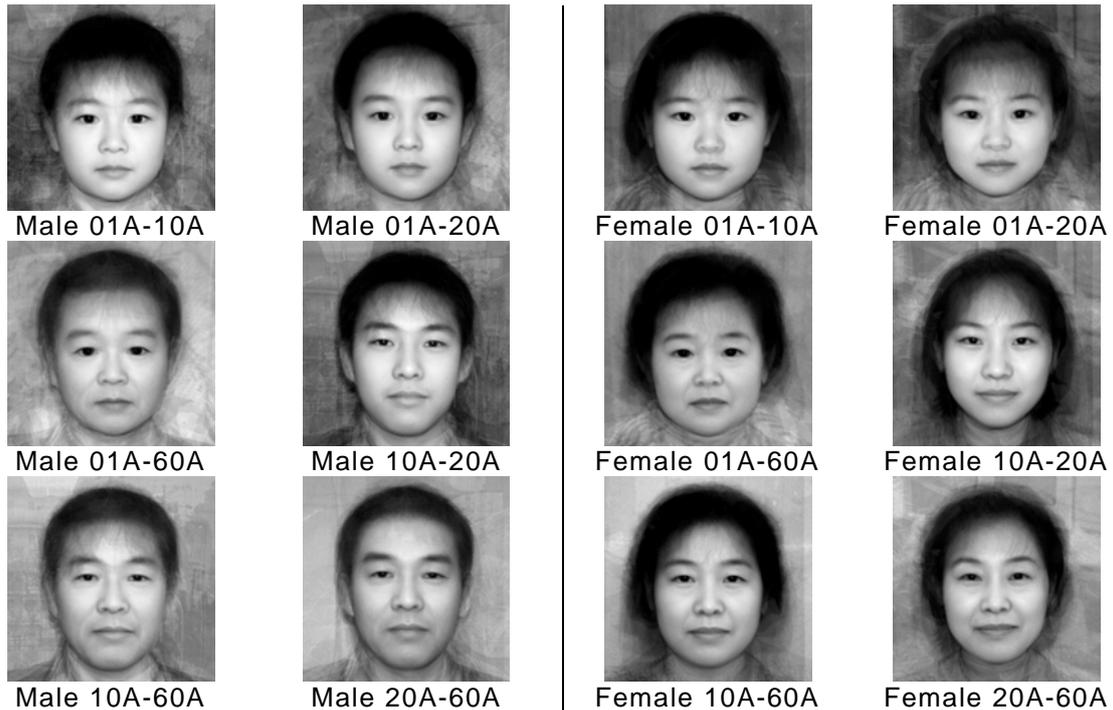


Figure 33. 異年齢間で全帯域成分を合成した顔画像

幼少性をもたらす手がかりは、幼児の未発達な頭部骨格形状と、それに起因する目や鼻、口などの特徴部位の特異的な布置の情報によって媒介されると推測される。Pittenger & Shaw (1975) をはじめとして行われた成長の知覚に関する研究においては、成長に伴う頭部のカージオイド（心臓）型のひずみ変形が年齢判断の強い手がかりとなることが知られている。また、Lorenz (1943) は、乳児やよちよち歩きの子どもを見てかわいいと感じる仕組みを“ベビー・スキーマ”という概念を用いて説明した。ベビー・スキーマは、人の内部にある生得的解発機構であり、サインとなる鍵刺激を選択的に感受する神経機構である。これらのことを踏まえれば、幼少性の手がかりは、幼児の特異な頭部形状によってもたらされ、我々がもつ生得的感受機構である検出器を刺激し、幼さやかわいらしさをもたらすのであろう。

これに対して、高齢性をもたらす手がかりは、加齢に伴って生じてく

るしわや、目の下のたるみ、頬の肉垂れなど、顔の表面手がかりによってもたらされると推測される。Mark et al. (1980) は、手書きのポートレイトを刺激として、しわと頭部形状が年齢判断にどのように影響するかを調べた。実験では、15歳の頭部形状に70歳のしわを与えたときに68.7歳と高齢に知覚されるなど、しわは大きな効果をもたらした。つまり、加齢に伴う顔表面の手がかりも、強力な年齢推定手がかりとして作用すると考えられる。

本実験では、顔画像に空間周波数フィルタリングを適用することで、年齢に関する強力な手がかりと考えられる幼少性・高齢性の手がかりを操作し、年齢知覚がどのように影響されるかを検討する。顔認識の空間周波数特性に着目した研究は、古くは、粗くモザイク化した画像でも誰の顔か認識できることを示した Harmon (1973) に始まるが、コンピュータによる画像処理が容易になった近年において、応用が多くなされるようになってきた。また、空間周波数分析は、顔の認識において、画像に含まれるどのような情報が用いられているかを定量的に検討するためのひとつの有効な道具でもある（永山，2000；永山・吉田・利島，1995；吉田，2000；吉田・利島，1992, 1995；Yoshida & Toshima, 1993）。

年齢手がかりを空間周波数の観点からとらえると、高齢性の手がかりである顔のしわやたるみは、画像では局所的な輝度変化として現れることから、高周波成分によって伝達されるものである。したがって、空間周波数成分を操作することによって、その強度を操作することができると考えられる。これに対し、幼少性の手がかりが頭部形状に基づく目や鼻、口などの布置情報に基づくのであれば、位置に関する情報は低周波でも高周波でも利用できるもので、周波数操作には影響されないだろう。

この考えに基づき、実験 5-1 では、空間周波数を操作することが年齢

の知覚にどのような影響を及ぼすかを検討する。また、実験 5-2 においては、同様の操作が性別の知覚にどう影響するかを調べ、実験 5-1 で得られた結果が、年齢知覚特有の問題であるのか、それとも、他の顔属性の知覚にもみられるような問題であるのかについて検討する。

実験 5-1

実験 5-1 では、異なる年齢の平均顔を合成した画像を呈示し、それが何歳に見えるかを問う。刺激には、Figure 33 に示したように、各年代の平均顔を全帯域にわたって合成したものだけでなく、一方の年代顔の低周波と他方の高周波を合成した画像が含まれる。

本実験で空間周波数を操作した画像は、Schyns & Oliva (1999) の刺激に似ている。彼らは、顔から性別を判断する課題、表情の有無を判断する課題、表情の種類を判断する課題のそれぞれで、どのような知覚的処理が行われているかを調べるため、特定の性別と表情をもつ刺激の低周波と、別の性別・表情をもつ刺激の高周波を重ね合わせた。画像を瞬間呈示して参加者に判断を求めた結果、例えば彼らの実験 1 では、表情の有無を判断する際には高周波への依存が、表情の種類を判断する際には低周波への依存、性別判断では特に偏りは認められなかった。2つの画像の低周波と高周波を合成して知覚・認知を調べるという方法は、体系的かつ厳密に空間周波数を操作するような心理物理実験とは異なるが、視覚認識における空間周波数特性を簡便に探る方法としては有用である。

本実験の刺激が Schyns & Oliva (1999) と異なる点は2点ある。ひとつは、低周波と高周波の合成に、単なる重ね合わせではなく、モーフィングを用いたことである。彼らの実験では、50 ms の瞬間呈示が用いら

れたため、2つの画像のずれは問題となっていない。しかし、低周波の伝達経路は高周波の経路よりも速いため、瞬間呈示は知覚システムを低周波依存に偏らせてしまう。本実験では、瞬間呈示や高速反応を求めないので、重ね合わせのずれが観察されることになる。例えば、幼児と成人の顔を単に重ね合わせると特徴部位の位置が大きくずれた顔になる。この問題を修正するため、本実験では特徴部位を対応づけて移動合成するモーフィングを用いた。また、第2点として、異年齢間で顔を合成する際、それぞれの合成元として各年代の平均顔を使用した。このことは、高齢顔に含まれる細かなしわなど、個人によって出現位置が異なる微細な手がかりについて、その強度が減少するため多少若く見えやすくなるという問題はあるが、試行数を大幅に増やすことなく、個々の顔がもつ個人差の影響を減らすのに効果的であると考えた。

方法

実験参加者 比治山大学の学部学生 62 名が研究協力者として実験に参加した。なお、実験 5-1 と実験 5-2 は同じ対象者で行ったため、半数は本実験を、残り半数は実験 5-2 を先に行った。

装置 画像の生成および実験手続きの自動制御のため、PC (EPSON VL-626E) および 17 インチ CRT (飯山電機 MT-8617ES) を使用した。

刺激 まず、1 歳代 (1 - 2 歳)、10 歳代 (14 - 15 歳の中学生)、20 歳代 (20 - 22 歳の大学生)、60 歳代 (62 歳 - 69 歳) の男女各 8 名の顔写真を収集し、各年代の男女それぞれの平均顔を作成した。8 名という数は平均顔を作成するには少ないかもしれないが、多くの顔を合成することにより、しわなどの手がかりが極端に消えてしまわないよう、本実験では 8 名の平均顔とした。画像はすべて、縦横 512 画素からなるカラー

画像であった。画像合成には **Morpher for Windows v3.1** (Fujimiya, 2003) を使用した。合成時の対応点は、左右の目に各 6 点、眉に各 4 点、耳に各 5 点 (内 2 点は輪郭と共有)、鼻に 6 点、唇に 8 点、その他輪郭等に 21 点を用いた。なお、モーフィングが移動合成を行うことから、前もって厳密な顔の正規化や位置の補正は行わなかった。

フィルタリングを行わない刺激 (Figure 33) は、各年代の平均顔を、そのまま異なる年齢間で合成して作成した。これに対し、空間周波数を操作した合成顔では、各年代の平均顔に対し、**RGB** のチャンネルごとに 2 次元フーリエ変換を行い、画像の幅あたり 16 サイクルを臨界周波数とする低域あるいは高域通過フィルタリングを行ったものを異年齢間で合成することとした。

フィルタリングにおいては、特定の周波数以上あるいは以下の成分を急峻にカットすると “ringing” と呼ばれる特定の変動パターンが繰り返し現れる現象が生じる。これを避けるため、本実験では吉田 (2000) の手法に倣い、周波数の対数軸上で対称となる正規分布曲線 (SD は 0.5 オクターブ) の片側形状を用い、遮断周波数にピークより 1 SD 偏移した箇所を当ててパワー減衰を行った。この処理の特性として、例えば、低域通過フィルタリングを施した画像では、16 サイクルの成分は 61 % が再現され、1 オクターブ上の 32 サイクルの成分はほとんど通らない (1 %)。また、すべてが通過するのは、16 サイクルの 0.5 オクターブ下の 11.3 サイクル以下となる。

また、顔のような自然の造形物の画像では、周波数が高いほど信号強度が弱くなるため、フィルタリングを行うだけでは、高域通過フィルタを通した画像のコントラストが低下し、十分な視認性が得られない。そこで、本実験ではフィルタリング後、画像の **RGB** 値に対して **HSV** (hue,

saturation, value) 変換を施し、輝度特性を反映するV値に対してピーク間コントラストを最大化する変換処理を行うことで、色相・彩度を維持したままで輝度コントラストのみを最大化した。

このような手続きを踏まえ、ある年齢の低周波画像（刺激の識別名中に“L”を付加）と、別の年齢の高周波画像（識別名中に“H”を付加）をモーフィング合成することで、異年齢間で空間周波数を操作した刺激を作成した。Figure 34には低年齢顔の低周波と高年齢顔の高周波を合成した画像、Figure 35には低年齢顔の高周波と高年齢顔の低周波を合成した画像を示す。

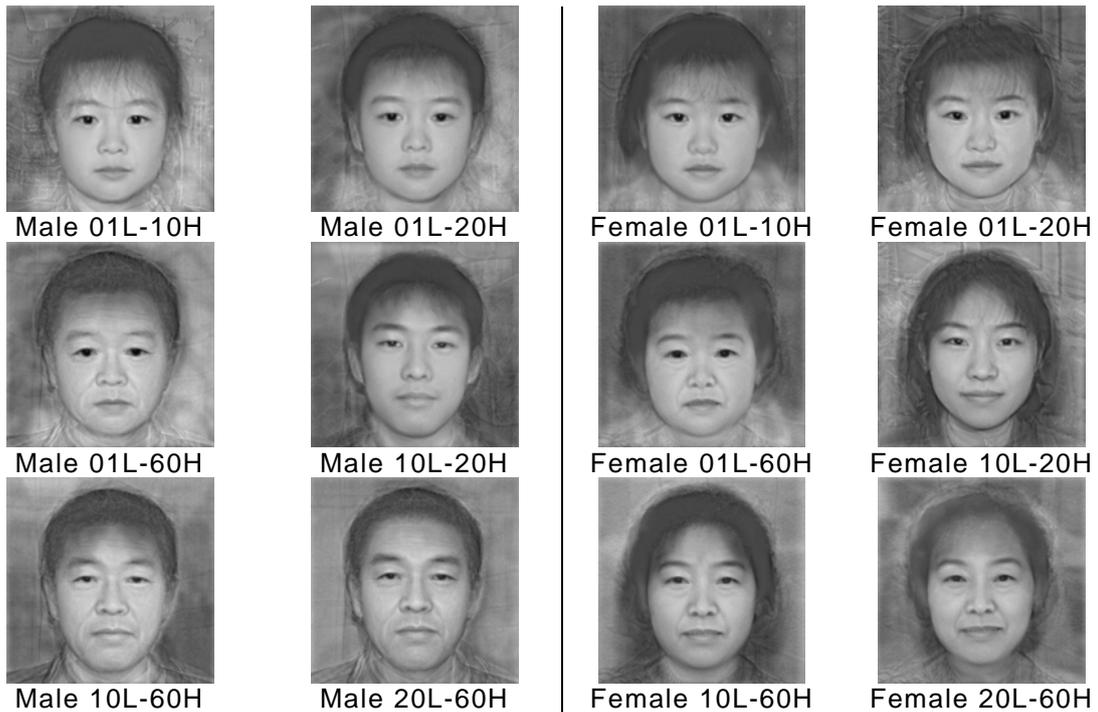


Figure 34. 低年齢の低周波成分と高年齢の高周波成分の合成顔

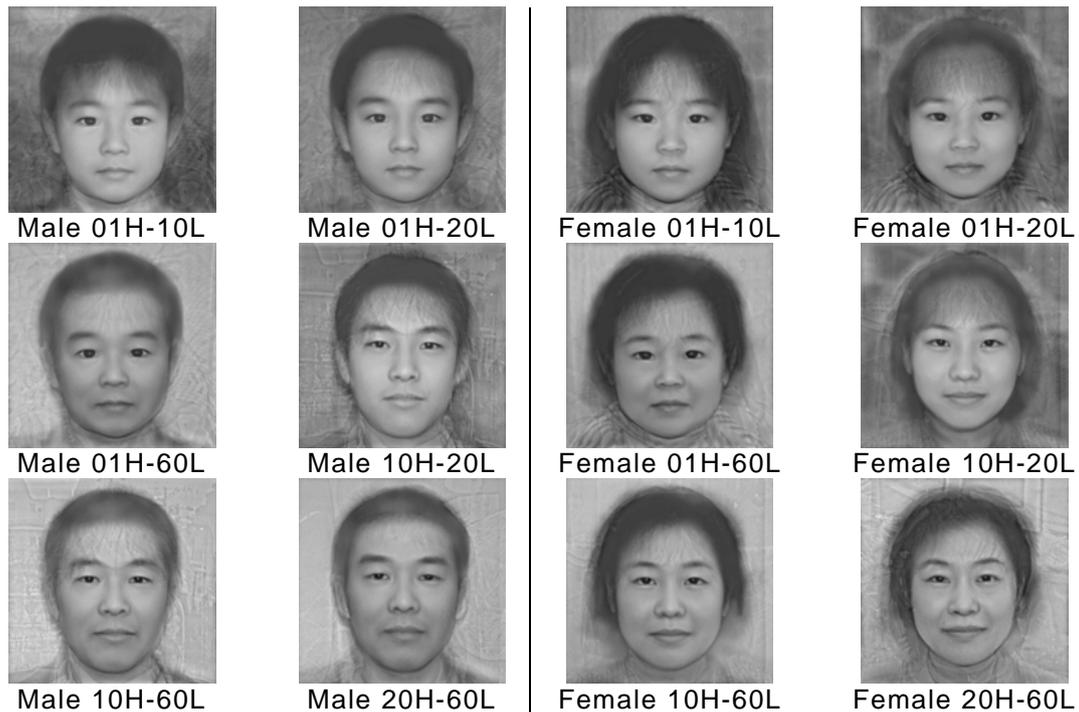


Figure 35. 低年齢の高周波成分と高年齢の低周波成分の合成顔

手続き 実験は、情報系科目の授業時間を利用して集団で実施した。参加者は、実験プログラムを走らせる PC に向かい、実験を行った。PC と CRT は、事前に画面解像度や色深度、輝度特性に関して同じセッティングを施した。

実験ではまず、実験者が映像配信システムを使って、参加者にプログラムの操作と実験方法について教示した。その後、各参加者は、自分の PC で実験プログラムを走らせ、画面上に無作為順に呈示される 36 枚の顔画像が何歳に見えるかを数値入力で回答した。刺激は入力終了まで呈示されていた。なお、年齢回答時には、必要に応じて小数を用いて構わないこと、および、年齢が判断しにくい顔が多いので、あまり深く考え込まず、見て感じたままの年齢を回答するよう教示した。

結果と考察

実験で得られた平均年齢推定値を、刺激の年齢と空間周波数の組み合わせごとに図示したものが Figure 36 である。考察の目安とするため、6種類の年齢条件のそれぞれについて、空間周波数の操作の効果を調べる1要因の分散分析を行ったところ、すべての年齢条件において、空間周波数の操作の主効果が得られた ($F_s(2,122) > 10.20, p_s < .0001$)。下位検定として行った Ryan 法による対比較 (有意水準 1%) では、01A-10A と 01H-10L, 01A-20A と 01H-20L, 10A-20A と 10H-20L を除いたすべての条件間に有意な差が認められた。

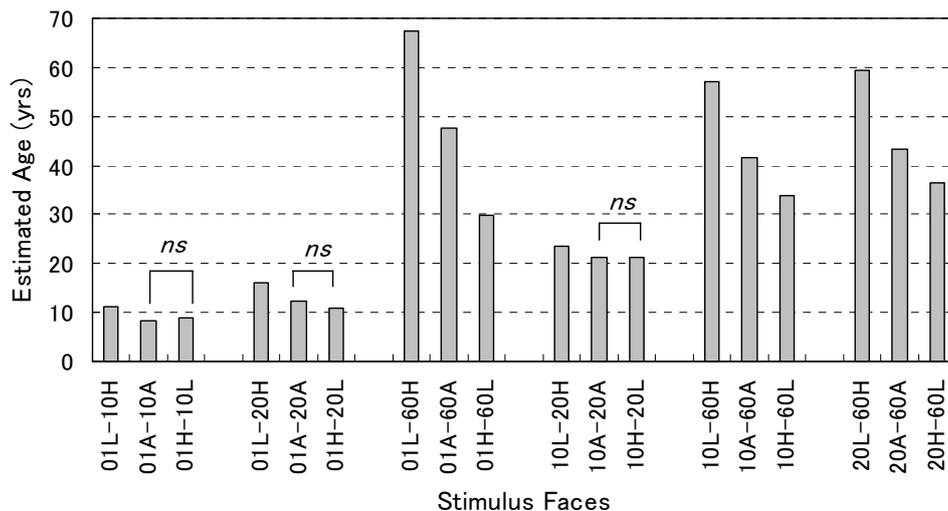


Figure 36. 合成顔に対する年齢知覚結果

Figure 36 で明らかなように、60歳代を含む合成顔では、空間周波数の操作が非常に大きな効果をもたらした。また、1歳-10歳、1歳-20歳、10歳-20歳の合成顔でも、低年齢低周波と高年齢高周波を合成した条件と、低年齢高周波と高年齢低周波を合成した条件の間では、年齢推定値に有意な差がみられた。高齢性をもたらすと考えられるしわやたる

みなどの手がかりは、視覚情報としては高周波によって媒介される。そのために、空間周波数の操作は 60 歳代を含む合成顔の年齢推定に大きく影響したと考えられるが、20 歳代以下の年齢の組み合わせでも、年齢推定値が高周波顔の年齢側に変移したことを考えると、顔から視覚的に年齢を知覚する過程は全体として高周波に依存しているのかもしれない。

実験 4 (第 4 節) では、1 歳 - 60 歳の合成顔に対する年齢推定反応は、子どもか成人かという二極分布をとることが示された。空間周波数の操作が、この分布形状にどのような影響を及ぼしたかを検討するため、1 歳 - 60 歳の合成顔に対する反応分布を Figure 37 に示した。本実験においても二極分布が得られ、空間周波数の操作は、この分布形状を大きく変えていた。全帯域を合成した 01A-60A では比較的少なかった子ども反応は、1 歳高周波と 60 歳低周波を合成した 01H-60L では大きく増加した。それに対し、1 歳低周波と 60 歳高周波を合成した 01L-60H では、子どもと知覚する反応は皆無となった。また、成人と判断した反応に対しても空間周波数操作の影響は大きく、01A-60A に比べ、01H-60L では分布は大きく若年側に、01L-60H では大きく高齢側にシフトしていた。

成人反応については、度数の増減だけでなく、分布のピークが大きく移動しているように見える。実際、25 歳以上と答えた分布の平均値 (および SD) は、01H-60L では 41.95 (10.39) 歳、01A-60A では 51.96 (10.63) 歳、01L-60H では 67.36 (11.76) 歳であった。1 要因の分散分析を適用したところ、これら空間周波数の組み合わせの主効果が有意であることが認められた ($F(2,313) = 136.61, p < .0001$)。下位検定として Ryan 法による多重比較 (有意水準 1%) を行ったところ、すべての水準間に有意な差が認められた。それに対し、子ども反応について、20 歳未満と答えた分布の平均 (SD) は、01H-60L で 7.79 (3.99) 歳、01A-60A で 6.42 (3.52)

歳であり、有意なピーク（反応平均値）の移動は認められず、単に反応度数が増減しているだけであった ($t(53) = 1.06, ns$)。

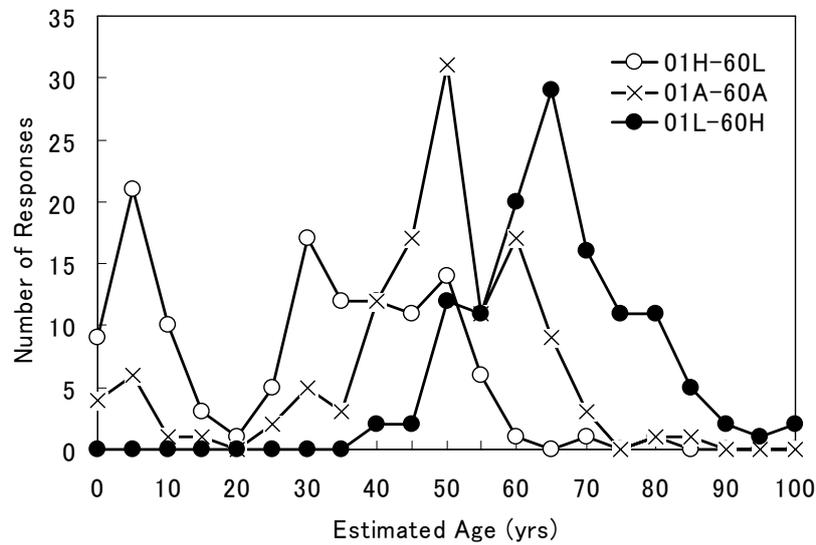


Figure 37. 1歳－60歳の合成顔に対する反応分布

実験 5-2

実験 5-1 では、空間周波数の操作が異年齢間合成顔の知覚年齢に影響することが示されたが、その効果は、60歳代を含む顔だけでなく、すべての年齢組み合わせ条件において確認された。低年齢低周波と高年齢高周波の合成顔では高年齢側に、低年齢高周波と高年齢低周波の合成顔では低年齢側に偏って知覚されたが、この結果は、年齢知覚が高周波依存の特性をもつことを示している。

実験 5-1 では、フィルタリングの遮断周波数を画像の幅あたり 16 サイクルとした。顔の幅は刺激画像のおよそ 65%であったので、この空間周波数は顔の幅あたり 10.4 サイクルとなる。顔認識の空間周波数特性に関する過去の研究では、重要と考えられる周波数成分は研究によって大き

く異なり、顔の幅あたり 8 サイクル程度から 25 サイクルまでと幅広い（永山，2000；吉田，2000；吉田・利島，1995）。これは、フィルタリング処理の違い（低域－高域通過型か帯域通過型か、遮断周波数や通過帯域幅はどのくらいか）や課題の違い（瞬間呈示や高速反応課題，表情判断課題では低周波依存が起きやすい）によるところが大きい。しかしながら、総じて見ると、低周波の重要性を唱える研究が多く、高周波の重要性を明確に主張した研究はほとんど見られない。例えば、Fiorentini, Maffei, & Sandini（1983）は、高周波の重要性を唱える研究として紹介されることが多いが、彼らの実験でも、遮断周波数を顔の幅あたり 5 サイクルと、最も低く設定した条件で高周波優位の結果が得られたに過ぎない。

実験 5-1 では、遮断周波数を顔の幅あたり 10.4 サイクルと比較的低く設定した合成顔で高周波依存が示されたが、使用した刺激において、知覚判断に有効な情報が高周波側に偏っていた可能性も考えられる。この点を確認するため、実験 5-2 では、同じ画像を用いて男女の性別判断を行う。これにより、実験 5-1 で得られた高周波依存が年齢知覚に特有のものか、それとも、他の課題でもみられる刺激特性等の問題であるのか検討する。

方法

実験参加者 実験 5-1 の協力者が本実験にも参加した。

刺激 実験 5-1 で使用したのと同じ平均顔を、異年齢間ではなく、年齢ごとに男女間で合成することで、Figure 38 に示す刺激画像を作成した。

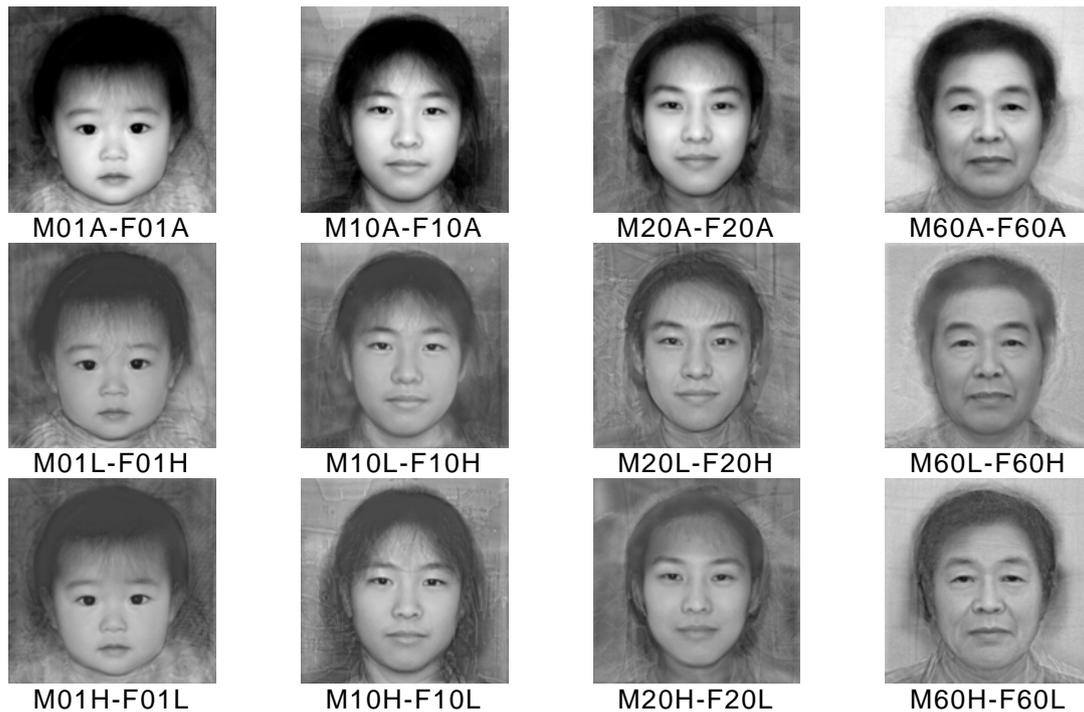


Figure 38. 実験 5-2 で使用した男女間の合成顔刺激

手続き 参加者は、画面上に無作為順に呈示される顔画像に対して、それが男性に見えるか女性に見えるかを強制選択した。

結果と考察

空間周波数を操作した各年代の男女合成顔に対して、参加者が男性または女性と判断した反応率は Figure 39 のようになった。どの年代においても、男性低周波と女性高周波の合成顔に対して男性と判断した率が最も高く、次に、男性高周波と女性低周波の順で、全帯域を合成した顔は、女性と判断した率が最も高かった。男性低周波－女性高周波と男性高周波－女性低周波の間で、性別判断の割合に違いがあるか検討するため、McNemar の検定を行ったところ、1 歳代と 60 歳代の顔では有意な比率の差があったが ($z = 2.31, 3.85, ps < .05$)、10 歳代と 20 歳代では傾向差にとどまった ($z = 1.66, 1.75, ps < .10$)。

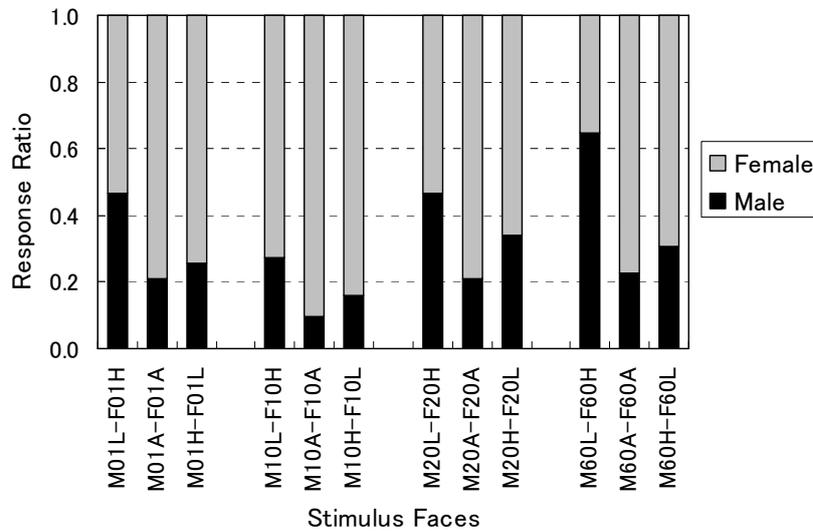


Figure 39. 男女間合成顔に対する性別知覚の反応率

本実験の結果は、一部が傾向差ではあるが、性別判断が低周波に依存する傾向のあることを示した。ただし、以下の方法論的問題が考えられないわけではない。

まず、平均顔は、女性に見えやすくなることがある。例えば、Brown & Perrett (1993) は、男性合成顔が女性に見えやすいことを見出した。本実験の結果も全体的に女性と判断されることが多かったが、このバイアスのために空間周波数を操作した効果が有意とならなかった可能性がある。また、実験の結果、全帯域で男女を合成した顔が最も女性に見えやすかったが、これには髪が影響しているように思われる。我々が性別を判断する際、髪の長さが大きな手がかりとなることは疑うまでもない。髪の黒い色は低周波によって伝達されるため、高域通過フィルタリングを行えば失われてしまう。したがって、Figure 38に見られるように、空間周波数を操作していない全帯域の合成顔で、髪はもっとも黒くボリュームがあるように見える。また、女性の方が髪が長いため、低周波に女

性顔が含まれる画像の方が、髪がはっきりと見えやすい。

このような点を考慮すれば、本実験の結果のみで、性別の知覚が低周波に依存すると結論することは望ましくない。そこで、次の実験 5-3 を行うこととした。

実験 5-3

先の問題点を踏まえ、本実験では髪などの手がかりを削除した刺激 (Figure 40) を用いる。また、課題として、男性に見えるか女性に見えるかを尋ねるのではなく、男性低周波－女性高周波の合成顔と男性高周波－女性低周波の合成顔を画面上に同時呈示して、どちらがより男性らしく（あるいは女性らしく）見えるかを選択させる。

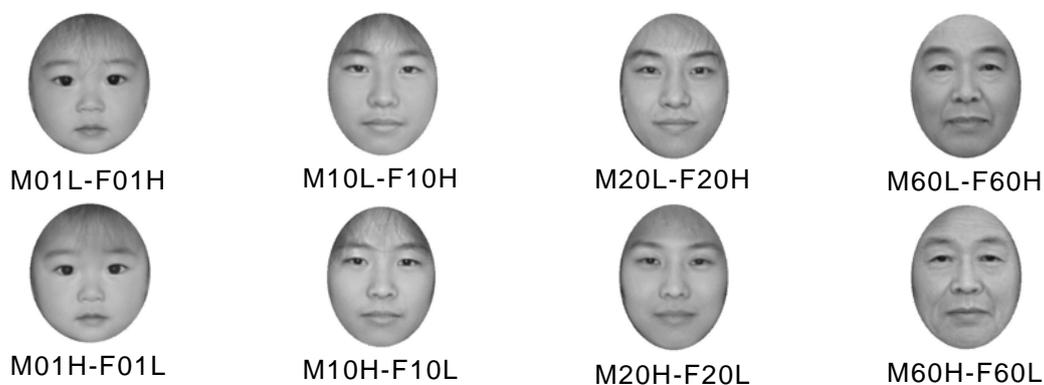


Figure 40. 実験 5-3 で使用した男女間の合成顔

方法

実験参加者 これまでの実験には参加しなかった学部学生 102 名が研究協力者として本実験に参加した。

刺激 Figure 40 に示すように、髪などの手がかりを削除した男女合成

顔を用いた。

手続き 実験は4試行からなる単純なものであった。参加者は、各自のPCで実験プログラムを走らせ、画面上左右に呈示される2つの画像（同年齢で、男性低周波－女性高周波を合成したものと男性高周波－女性低周波を合成したもの）のうち、どちらがより男性らしく（あるいは女性らしく）見えるかを強制選択で回答した。参加者の半数は男性を、残り半数は女性をターゲットとして判断を行った。なお、実験を実施したところ、多数の参加者が“2つの画像が同じ顔にしか見えず、答えようがない”と報告したため、“正解はないので、自分が感じるままに適当な方を選んでかまわない”と教示した。

結果と考察

参加者の多くが“でたらめに勘で選んだ”と感想を報告したが、結果を分析したところ、102名の参加者のうち、1歳代の顔では86名(84.3%)が、10歳代の顔では71名(69.6%)が、20歳代の顔では79名(77.5%)が、60歳代の顔では65名(63.7%)が、ターゲットとなる性別の顔が低周波に含まれている方を選択していた。この選択率は、二項確率において少なくとも1%以下の水準で有意な偏りを示すものであった。

本実験では、どちらがより男性らしく（あるいは女性らしく）見えるかという強制選択を行ったため、厳密な性別判断とは異なるところがある。また、顎など、顔の輪郭も性別判断において重要な役割をもつといわれており（山口，2002）、楕円のフレームが性別の判断に影響した可能性も考えられる。しかしながら、このような点を踏まえても、本実験で得られた結果は、性別判断が低周波に依存することを示唆するものであった。

考察

本節では、画像の空間周波数特性を操作することで、人が顔から年齢や性別を判断する際に、どのような情報を用いるかという知覚特性について検討した。

実験 5-1 では、空間周波数を操作した異年齢間の合成顔を刺激として年齢判断を行ったが、高齢の 60 歳代を含む合成顔の知覚年齢は空間周波数の操作に大きく影響された。しわなどの局所的な手がかりが影響したことは、年齢の知覚が高周波の情報に基づいて行われたことを示唆するが、この傾向は、1 歳–10 歳の合成顔のような若年の合成顔も含め、すべてにおいて有意に認められた。

実験 4（第 4 節）では、1 歳–60 歳の合成顔に対する年齢知覚反応が二極分布することが見出されたが、実験 5-1 でも同様の結果が確認された（Figure 37）。空間周波数の操作によって、二極分布中、顔を成人と知覚する反応は、度数の増減だけでなく分布のピークが大きく移動した。それに対し、子どもと知覚する反応は、ピークの移動はなく、単純に度数が増減した。子どもに見える知覚反応は、Lorenz（1943）が言うように、スイッチのような働きをしているように思える。年齢知覚の背景にある幼少性の検出メカニズムは特殊な性質をもつのかもしれない。

実験 5-2 と実験 5-3 では、男女間の合成顔を使って性別判断実験を行った。その結果、高周波に依存した年齢知覚とは異なり、性別知覚は低周波に依存することが示された。Schyns & Oliva（1999）では、性別判断に特定の周波数成分への偏りが見られなかったのに対し、本実験で異なる結果が得られたのは、刺激の作成方法の違いによるのかもしれない。

彼らは、低周波としては画像の大きさに対して8サイクル以下の成分を、高周波としては24サイクル以上の成分を用いており、中間の周波数成分を用いていない。初期視覚系は、1-2オクターブ幅の比較的狭い周波数帯域に調律されている（De Valois & De Valois, 1988; Ginsburg, 1986）。そのため、1.6オクターブ離れた2つの成分は知覚的には完全に融合せず、2つの画像が分離して見え、選択的に一方に注意を向けることができるものであった。したがって、彼らの研究では、先行課題として低周波あるいは高周波に依存するカテゴリーの判断を行うと、それに引きずられて性別判断が低周波あるいは高周波に偏るといった認知的バイアスが認められた。これに対して、本実験では、低周波画像と高周波画像を、16サイクルを境に連続的にオーバーラップさせながら混合させた。また、モーフィングによって位置情報についても平均化しながら重ね合わせたため、完全に1つの顔として見えるものであった。そのため、中間領域にある微妙な低周波依存の知覚的バイアスが現れたのではないだろうか。

先に述べたように、顔認識の空間周波数特性に関する研究では、低周波の重要性を説くものが多い。もちろん、顔の幅あたり20サイクル以上の中間域の重要性を唱える研究もあるが、写真のネガによる顔認識の困難性に代表されるような明暗反転効果の存在は、顔認識にとって、やはり低周波が重要な働きを担っていることを示唆している（Hayes et al., 1986; 吉田・利島, 1995）。

顔認識が低周波に依存する理由として、乳児期の視覚特性を反映すると思われるものも多い（永山, 2000; 吉田, 2000; 吉田・利島, 1995）。生後まもなくの乳児であっても、顔パターンを好むことが知られているし、母親を見分ける能力をもつ（山口, 2003）。しかし、乳児の視覚能力は低く、生後1ヶ月頃までの乳児は視角1度あたり1サイクル以上の成分は

ほとんど見えない。また、視覚伝達経路の側抑制回路が未発達のため、成人のような輪郭抽出の機能をもたない（佐藤，1982）。この時期に顔の認識システムが発達するならば、それは乳児の視覚特性を反映したものになるだろう。

本実験において、性別判断は低周波に依存していた。生後まもない乳児にとって、最初に弁別対象となる顔は、最も身近な存在である父母であろう。それゆえ、性別の知覚には乳児期の視覚特性が反映するのではないだろうか。これに対し、年齢の知覚は高周波依存であった。他者の年齢を認識することが社会生活を営む上で重要であることは間違いないが、それが生後まもない乳児にあてはまるとは思えない。年齢の認識システムが発達するころには、より細かな視覚情報が得られるため、高周波に依存するようになるのではないだろうか。

最後に、本実験では、異なる年齢あるいは性別の顔の低周波成分と高周波成分を相補的に合成した刺激を用いたが、ある画像の低周波成分が高周波に切り替わることは、他方の高周波が低周波に切り替わることを意味するので、それぞれの独立した効果を検討することはできない。この手法は、知覚・認知の空間周波数特性を検討する一種の簡便法にすぎないので、今後は、より厳密な実験的検討も必要であろう。しかし、顔認識と空間周波数の問題は、近年、認知神経科学の分野において、視覚野を経ずに直接皮質下に向かう低周波依存の顔認識経路が知られるようになったことで再び注目されている（Johnson, 2005）。この経路が、乳児における顔への選好や初期の顔認識機能をもたらし、後の脳の社会的機能の基礎となっており、この経路の障害と特定の発達障害の関連も示唆されていることから、今後の研究の動向には興味もたれる。実験 5-3 において、参加者の多くは“でたらめに勘で選んだ”と言いながら、低

周波に埋もれた顔の性別を検出していた。また、もっとも高率で低周波を検出したのは、1歳代の赤ん坊の合成顔に対してであり、102名中86名（84.3%）と非常に高い確率であった。しかし、日常の経験に基づけば、我々は児童や青年、成人、高齢者の男女を誤って認知することはほとんどない。逆に、赤ん坊については、その認知の難しさを実感することが多いのではないだろうか。半世紀以上も前に、Lorenz（1943）はベビー・スキーマを生得的な解発機構であり、本能の一部であると論じたが、意識的な作業としては非常に困難なはずの赤ん坊の男女の識別が、実際には低周波の情報に基づいてかなり正確になされたという本実験の結果は、知覚過程と認知過程の間のパラドックスに対する新たな問題を提供しているように思われる。

第3章 総合考察

第1節 本研究のまとめ

本研究では、主に顔認識の初期過程に焦点をあて、対象物の認識時とは異なる顔刺激に特異的な視覚情報処理の特徴を解明することを目的とした。

実験1では、顔に特有な現象として知られている上下反転や明暗反転の効果が、人物同定などよりも初期の、顔を顔として分類する段階で生じていることがわかった。このことは、Ellis (1986) のいうように、顔の情報処理モデルの一部として、初期の段階に顔の分類過程を設ける必要性を示唆するものである。白黒反転や上下反転は、この顔の分類過程を妨げるために、それ以降の顔特有の処理を困難にしているのではないかと考えられる。

実験2では、顔を認識する際に、顔の3次元構造に関する情報と、顔表面の2次元テクスチャの情報がどのように用いられているかを検討した。その結果、顔の認識には、3次元構造に関する情報よりも、2次元的表面テクスチャの情報が用いられていることが認められた。実際、顔のテクスチャは、正面向きの顔同士よりも、むしろ回転した顔と人物を照合するときに、より反応時間を短縮させていた。しかしながら、テクスチャは2次元的な情報であるので、正面顔と横顔のように90度回転した顔同士を識別するときには、エラー率の顕著な上昇が認められた。

実験3では、hollow-face 錯視の生起要因を検討する実験を通して、顔の認識ユニットと3次元形状の知覚の関係を調べた。その結果、凹んだ顔が凹んで見えない hollow-face 錯視は、ポジティブのテクスチャをもつ

顔が正立に呈示されたときに最も錯視量が大きくなることがわかった。また、正立顔では先行研究と同様、下方に光源を置いたときに錯視量が増大したが、倒立顔では、逆に、上方に光源を置いたときに錯視量の増加が見られた。先の実験2では、顔の認識に3次元の情報よりも2次元の情報が有効であることが示唆されたが、本実験において、顔がもっとも顔らしく見え、顔の情報処理メカニズムがもっとも有効に機能する条件で最大の hollow-face 錯視が得られたことや、顔の向きによって、3次元知覚をもたらす前提条件である光源位置が異なる効果をもたらしたことは、顔の初期の情報処理の結果が、同じく初期段階の視覚ユニットである3次元の知覚ユニットに、むしろ逆方向の影響さえ及ぼしうる証拠といえる。

実験4では、異なる年代の平均顔を合成することにより、顔に含まれる年齢手がかりがどのように作用しあって知覚年齢を決定するかを調べた。その結果、1歳代の幼児の顔と60歳代の高年齢者の顔は、強い年齢手がかりを含むことがわかった。さらに、1歳-60歳の合成顔に対する年齢知覚反応は明らかな二極分布を示し、反応は5-9歳をピークとする子どもか、50-54歳をピークとする成人かに分かれた。このことから、幼少性をもたらす手がかりと高齢性をもたらす手がかりが質的に異なるもので、ひとつの顔に共存可能であること、また、それらが年齢を知覚する際に排他的・拮抗的に作用することがわかった。さらに、1歳代と60歳代の合成顔に対する参加者の反応の個人差を分析したところ、幼少性の手がかりの影響には個人差がないが、高齢性の手がかりの影響には個人差があることが示された。このことから、高齢性手がかりの検出メカニズムは学習や経験の影響を受けるが、幼少性手がかりの検出メカニズムは、Lorenz (1943) が示唆したように、生物学的に誰にでも備わっ

ているような生得的メカニズムによるのではないかと推測された。

実験 5-1 では、顔刺激に含まれる空間周波数成分を操作することで、年齢の知覚がどのように影響されるかを検討した。実験の結果、空間周波数の操作は、高齢性の手がかりの効果を大きく左右することがわかった。また、1 歳代と 60 歳代の合成顔に対する年齢知覚反応が二極分布を示すことは本実験でも確認されたが、空間周波数の操作によって、成人反応は度数の増減だけでなく、分布のピークも大きくシフトした。それに対し、子ども反応は分布のピークの移動は認められず、度数が増減しただけであった。この点においても、実験 4 と同様、幼少性の検出メカニズムと高齢性の検出メカニズムが異なる特性をもつことが示唆された。また、本実験の結果は、年齢知覚が全体として高周波成分に依存することを示唆していた。そこで、実験 5-2 では、同じ顔刺激を男女間で合成することで性別判断実験を行った。その結果、性別の知覚は、人物や表情の認識時と同様、低周波成分に依存して行われることがわかった。この性別知覚の低周波依存は、頭髮を削除した刺激を用いた実験 5-3 でも確認された。このように、本実験では、年齢や性別といった、知覚次元の違いによって、初期の視覚系で分析される異なる空間周波数処理チャンネルの情報が用いられることがわかった。

これらの実験結果を総合すると、顔の視覚認識の背景にある情報処理過程は、その初期段階においても、対象物とは異なる特異的な性質をもつと考えられる。それどころか、視覚的に呈示された刺激が顔として処理されることで、視覚情報処理の初期段階で行われている陰影処理の前提となる光源の効果も変わってくるなど、顔という刺激は、脳の全般的な視覚情報処理過程の中でもきわめて特殊な扱いを受けているように思われる。このことは、高度に発達した人の脳が、他者を認識することを

いかに優先しているかという、脳の社会化の側面を反映しているといえよう。

第2節 今後の検討課題

本研究で明らかになった顔認識の情報処理過程の特性は、人の発達における顔認識の重要性という観点から説明できるように思われる。生後まもなくの乳児であっても、顔パターンを好むことが知られているし、母親を見分けることができる (Bushnell, Sai, & Mullin, 1982; Fantz, 1961, 1963; Fantz & Fagan, 1975)。しかし、乳児の視覚能力は低く、成人に比べると全体的にかなり低いコントラスト感度しかもたず、その感受性も低い空間周波数帯域に限定されている (Atkinson, Braddick, & Moar, 1977; Banks & Salapatek, 1978; Pirchio, Spinelli, Fiorentini, & Maffei, 1978)。また、生後1ヶ月齢までは、成人において見られるような低空間周波数帯域における感受性の落ち込みが見られないことから、生後まもない乳児では、視覚系内部での側抑制回路が未発達である可能性が示唆されている (Atkinson et al., 1977; 佐藤, 1982; 吉田, 1995)。このことは、乳児の視覚系が、まだ輪郭を抽出する機能をもたないことを意味する。また、立体視によって奥行きを知覚できるようになるのも、生後16週を待たなければならない (Birch, Gwiazda, & Held, 1982; Held, Birch, & Gwiazda, 1980)。このような時期に顔の認識システムが発達するならば、それは乳児の視覚特性を反映したものになるだろう。

顔認識における倒立効果は、乳児期からの顔とのかかわり方 (倒立した顔を見る経験が極めて少ないこと) に起因すると考えられているが、それ以外に本研究で確認された顔に特有な現象も、乳児期の視覚特性と

関連づけると合理的に説明しやすい。たとえば、顔認識における明暗反転効果や表面テクスチャの利用は、生後まもない乳児の輪郭に基づかない低周波依存の視覚特性を反映していると考えられる。また、顔認識過程の2次元情報への依存は、3次元知覚よりも先に、顔認識メカニズムが発達することを反映している。対象物の認識においては、3次元構造の知覚がなされた上で、対象の認識が成立するが、本研究で得られた知見は、顔の情報処理過程においては、顔パターンに対する初期処理が行われた後で、それに“つじつまを合わせる”かのように3次元の知覚が行われることを示唆している。

顔の空間周波数特性に関しても、人物や表情、性別を認識する際の低周波成分依存特性は、生後まもない乳児においても、父母を見分けたり、表情を認識することができることと整合性をもつ。それに対して、相手の年齢を知覚することが意味をもつようになるのは、より成長してからであろう。乳児も生後5ヶ月頃になると赤ん坊の顔と大人の顔を区別することができる程度できるようになるが (Fagan & Singer, 1979), その頃には、比較的高い空間周波数成分も見ることができるようになり視覚システムは発達を遂げる。またその頃に、乳児は、父母と祖父母を見比べて、“しわ”が彼らの弁別特徴であることを学習するのかもしれない。本研究において、高齢性の手がかりに対する検出感受性には個人差があることが示されたが、これも、このような発達の様相に関連したものと考えられる。

最後に、近年、認知神経科学の分野では、顔認識の初期の情報処理過程に関連して、外側膝状体や後頭の視覚皮質を経由しない上丘—視床枕—扁桃体の視覚経路の役割に注目が集まり始めている (Johnson, 2005)。この経路は、本来、眼球運動の制御に用いられる発生的に古い経路とし

て知られていたが、この経路が、網膜像に含まれる低空間周波数成分を伝達し、高速な顔の検出や表情の読み取りに寄与していることがわかってきた。また、乳児に顔への選好や原始的な顔認識機能をもたらすのもこの経路であると考えられ、この経路の障害と自閉性発達障害との関連性も示唆されている。

人間は社会的動物であるといわれるが、社会つまりは人間関係への適応をもたらすことが、脳のきわめて重要な目標（究極目標）のひとつであることは間違いない。このような点から、今後は、顔に対する視覚機能と、対人的・社会的な脳機能の発達との関連についての研究が望まれる。

引用文献

- Atkinson, J., Braddick, O., & Moar, K. (1977). Development of contrast sensitivity over the first 3 months of life in the human infant. *Vision Research*, **17**, 1037-1044.
- Banks, M. S., & Salapatek, P. (1978). Acuity and contrast sensitivity in 1-, 2-, and 3-month-old human infants. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, **17**, 361-365.
- Biederman, I. (1985). Human image understanding: Recent research and theory. *Computer Vision, Graphics and Image Processing*, **32**, 29-73.
- Biederman, I. (1987). Recognition-by-components: A theory of human image understanding. *Psychological Review*, **94**, 115-147.
- Birch, E. E., Gwiazda, J., & Held, R. (1982). Stereoacuity development for crossed and uncrossed disparities in human infants. *Vision Research*, **22**, 507-513.
- Braunstein, M. L. (1976). *Depth perception through motion*. New York: Academic Press.
- Brown, E. & Perrett, D. I. (1993). What gives a face its gender? *Perception*, **22**, 829-840.
- Bruce, V. (1988). *Recognising Faces*. Hillsdale: Lawrence Erlbaum.
- Bruce, V., Burton, M., Doyle, T., & Dench, N. (1989). Further experiments on the perception of growth in three dimensions. *Perception & Psychophysics*, **46**, 528-536.
- Bruce, V., Burton, A. M., Hanna, E., Healey, P., Mason, O., Coombes, A., Fright, R., & Linney, A. (1993). Sex discrimination: How do we tell the

- difference between male and female faces? *Perception*, **22**, 131-152.
- Bruce, V., & Humphreys, G. W. (1994). Recognizing objects and faces. In V. Bruce & G. Humphreys (Eds.), *Object and face recognition (Special issue of Visual Cognition)*. Hove: Lawrence Erlbaum. pp. 141-180.
- Bruce, V., & Langton, S. (1994). The use of pigmentation and shading information in recognising the sex and identities of faces. *Perception*, **23**, 803-822.
- Burce, V., Valentine, T., & Baddeley, M. M. (1987). The basis of the 3/4 view advantage in face recognition. *Applied Cognitive Psychology*, **1**, 109-120.
- Bruce, V., & Young, A. (1986). Understanding face recognition. *British Journal of Psychology*, **77**, 305-327.
- Burt, D. M., & Perrett, D. I. (1995). Perception of age in adult Caucasian male faces: Computer graphic manipulation of shape and colour information. *Proceedings of the Royal Society of London, B*, **259**, 137-143.
- Bushnell, I. W. R., Sai, F., & Mullin, J. T. (1982). Neonatal recognition of the mother's face. *British Journal of Developmental Psychology*, **7**, 3-15.
- Carey, S., & Diamond, R. (1994). Are faces perceived as configurations more by adults than by children? In V. Bruce & G. Humphreys (Eds.), *Object and face recognition (Special issue of Visual Cognition)*. Hove: Lawrence Erlbaum. pp. 253-274.
- Cavanagh, P., & Leclerc, Y. G. (1989). Shape from shadows. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, **15**, 3-27.

- De Valois, R. L., & De Valois, K. K. (1988). *Spatial Vision*. New York: Oxford University Press.
- Diamond, R., & Carey, S. (1986). Why faces are and are not special: An effect of expertise. *Journal of Experimental Psychology: General*, **115**, 107-117.
- Ellis, H. D. (1986). Processes underlying face recognition. In R. Bruyer (Ed.), *The neuropsychology of face perception and facial expression*. Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates. pp. 1-27.
- 遠藤光男 (1993). 顔の認識過程 吉川左紀子・益谷真・中村真(編) 顔と心—顔の心理学入門— サイエンス社 pp. 170-196.
(Endo, M.)
- Fagan, J. F., & Singer, L. T. (1979). The role of simple feature differences in infants' recognition of faces. *Infant Behavior and Development*, **2**, 39-45.
- Fantz, R. L. (1961). The origin of form perception. *Scientific American*, **204**, 66-72.
- Fantz, R. L. (1963). Pattern vision in newborn infants. *Science*, **140**, 296-297.
- Fantz, R. L., & Fagan, J. F. (1975). Visual attention to size and number of pattern details by term and preterm infants during the first six months. *Child Development*, **46**, 224-228.
- Farah, M. J. (1990). *Visual agnosia*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Fiorentini, A., Maffei, L., & Sandini, G. (1983). The role of high spatial frequencies in face perception. *Perception*, **12**, 195-201.
- Fujimiya, M. (2003). Morpher. In *Fujimiya's Computer Graphics*

Laboratory. Retrieved July 20, 2006, from <http://www.asahi-net.or.jp/~FX6M-FJMY/index2.html>.

Galper, R. E. (1970). Recognition of faces in photographic negative. *Psychonomic Science*, **19**, 207-208.

Galper, R. E., & Hochberg, J. (1971). Recognition memory for photographs of faces. *American Journal of Psychology*, **84**, 351-354.

Ginsburg, A. P. (1986). Spatial filtering and visual form perception. In K. R. Boff, L. Kaufman, & J. P. Thomas (Eds.), *Handbook of perception and human performance*. Vol. 2. *Cognitive processes and performance*. New York: John Wiley & Sons. pp. 34.1-34.41.

Goldstein, E. B. (1996). *Sensation and perception*. 4th ed. Belmont: Wadsworth.

Goren, C. C., Sarty, M., & Wu, P. (1975). Visual following and pattern discrimination of face-like stimuli by newborn infants. *Pediatrics*, **56**, 544-545.

Gregory, R. L. (1973). The confounded eye. In R. L. Gregory & E. H. Gombrich (Eds.), *Illusion in nature and art*. London: Duckworth. pp. 49-96.

Gregory, R. L. (1998). *Eye and brain: The psychology of seeing*. Oxford: Oxford University Press.

Grüsser, O., & Landis, T. (1991). *Visual agnosias and other disturbances of visual perception and cognition*. Hampshire: Macmillan Press.

Harmon, L. D. (1973). The recognition of faces. *Scientific American*, **227**, 71-82.

Harmon, L. D., & Julesz, B. (1973). Masking in visual recognition: Effects

- of two-dimensional visual noise. *Science*, **180**, 1194-1197.
- Hayes, A. (1988). Identification of two-tone images: Some implications for high- and low-spatial frequency processes in human vision. *Perception*, **17**, 429-436.
- Hayes, T., Morrone, M. C., & Burr, D. C. (1986). Recognition of positive and negative bandpass-filtered images. *Perception*, **15**, 595-602.
- Held, R., Birch, E. E., & Gwiazda, J. (1980) Stereoacuity of human infants. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, **77**, 5572-5574.
- Hill, H., & Bruce, V. (1993). Independent effects of lighting, orientation, and stereopsis on the hollow-face illusion. *Perception*, **22**, 887-897.
- Hill, H., & Bruce, V. (1994). A comparison between the hollow-face and 'hollow-potato' illusions. *Perception*, **23**, 1335-1337.
- Horn, B. K. P. (1977). Understanding image intensities. *Artificial Intelligence*, **8**, 201-231.
- 池田 進 (1995). 人の顔または表情の識別について (中) —顔認知の諸現象をめぐる実験的研究の展望— 関西大学出版部
(Ikeda, S.)
- Johnson, M. H. (2005). Subcortical face processing. *Nature reviews, Neuroscience*, **6**, 766-774.
- Johnston, A., Hill, H., & Carman, N. (1992). Recognising faces: Effects of lighting direction, inversion, and brightness reversal. *Perception*, **21**, 365-375.
- Kleffner, D. A., & Ramachandran, V. S. (1992). On the perception of shape from shading. *Perception & Psychophysics*, **52**, 18-36.

- Krouse, F. L. (1981). Effects of pose, pose change, and delay on face recognition performance. *Journal of Applied Psychology*, **66**, 651-654.
- Laughery, K. R., Alexander, J. F., & Lane, A. B. (1971). Recognition of human faces: Effects of target position, pose position, and type of photograph. *Journal of Applied Psychology*, **55**, 472-483.
- Logie, R. H., Baddeley, A. D., & Woodhead, M. M. (1987). Face recognition, pose and ecological validity. *Applied Cognitive Psychology*, **1**, 53-69.
- Lorenz, K. (1943). Die angeborenen Formen möglicher Erfahrung. *Zeitschrift für Tierpsychologie*, **5**, 235-409.
- Mark, L. S., Pittenger, J. B., & Hines, H. (1980). Wrinkling and head shape as coordinated sources of age-level information. *Perception & Psychophysics*, **27**, 117-124.
- Mark, L. S., & Todd, J. T. (1983). The perception of growth in three dimensions. *Perception & Psychophysics*, **33**, 193-196.
- Mark, L. S., & Todd, J. T. (1985). Describing perceptual information about human growth in terms of geometric invariants. *Perception & Psychophysics*, **37**, 249-256.
- Mark, L. S., Todd, J. T., & Shaw, R. E. (1981). Perception of growth: A geometric analysis of how different styles of change are distinguished. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, **7**, 855-868.
- Marr, D. (1982). *Vision: A computational investigation into the human representation and processing of visual information*. New York: Freeman.
- Marr, D., & Nishihara, K. (1978). Representation and recognition of the

spatial organisation of three-dimensional shapes. *Proceedings of the Royal Society of London, B*, **200**, 269-294.

McCarthy, R. A., & Warrington, E. K. (1990). *Cognitive neuropsychology: A clinical introduction*. San Diego: Academic Press.

Metzler, J., & Shepard, R. N. (1982). Transformational studies of the internal representation of three-dimensional objects. In R. N. Shepard & L. A. Cooper (Eds.), *Mental images and their transformations*. Cambridge MA: MIT Press. pp. 25-71.

永山ルツ子 (2000). 顔知覚の空間周波数特性 心理学評論, **43**, 276-292.
(Nagayama, R. (2000). The spatial frequency characteristic of the facial perception. *Japanese Psychological Review*, **43**, 276-292.)

永山ルツ子・吉田弘司・利島保 (1995). 顔の表情と既知性の相互関連性—顔画像の空間周波数特性の操作と倒立呈示法を用いた分析— 心理学研究, **66**, 327-335.

(Nagayama, R., Yoshida, H., Toshima, T. (1995). Interrelationship between the facial expression and familiarity: Analysis using spatial filtering and inverted presentation. *Japanese Journal of Psychology*, **66**, 327-335.)

根ヶ山光一 (1993). 顔から年齢を知る 吉川左紀子・益谷真・中村真(編) 顔と心—顔の心理学入門— サイエンス社 pp. 88-108.

(Negayama, K.)

Phillips, R. J. (1972). Why are faces hard to recognize in photographic negative? *Perception & Psychophysics*, **12**, 425-426.

Pirchio, M., Spinelli, D., Fiorentini, A., & Maffei, L. (1978). Infant contrast sensitivity evaluated by evoked potentials. *Brain Research*, **141**,

179-184.

- Pittenger, J. B., & Shaw, R. E. (1975). Aging faces as viscal-elastic events: Implications for a theory of nonrigid shape perception. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, **1**, 374-382.
- Price, C. J., & Humphreys, G. W. (1989). The effects of surface detail on object categorization and naming. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, **41A**, 797-828.
- Ramachandran, V. S. (1988a). Perceiving shape from shading. *Scientific American*, **256** (6), 76-83.
- Ramachandran, V. S. (1988b). Perception of shape from shading. *Nature*, **331**, 163-166.
- Regan, D., Frisby, J. P., Poggio, G. F., Schor, C. M., & Tyler, C. W. (1990). The perception of stereodepth and stereomotion. In L. Spillman & J. S. Werner (Eds.), *Visual perception: The neurophysiological foundations*. San Diego: Academic Press. pp. 317-347.
- Rock, I. (1974). The perception of disoriented figures. *Scientific American*, **230**, 78-85.
- 佐藤隆夫 (1982). 視覚系のパターン処理機能の発達とその生理学的基礎— X・Y細胞によるモデルの可能性— 基礎心理学研究, **1**, 101-113.
(Sato, T. (1982). The underlying neuronal maturation for the development of visual pattern processing: A model based on differential contributions of X and Y cells. *Japanese Journal of Psychonomic Science*, **1**, 101-113.)
- Schyns, P. G., & Oliva, A. (1999). Dr. Angry and Mr. Smile: When

- categorization flexibly modifies the perception of faces in rapid visual presentations. *Cognition*, **69**, 243-265.
- Shepard, R. N., & Metzler, J. (1971). Mental rotation of three-dimensional objects. *Science*, **171**, 701-703.
- Sternberg, S. (1969). The discovery of processing stages: Extensions of Donder's method. In W. G. Koster (Ed.), *Attention & performance*. II. Amsterdam: North Holland.
- Stevens, K. A. (1981). The visual interpretation of surface contours. *Artificial Intelligence*, **17**, 47-74.
- Thompson, P. (1980). Margaret Thatcher: A new illusion. *Perception*, **9**, 483-484.
- Todd, J. T., Mark, L. S., Shaw, R. E., & Pittenger, J. B. (1980). The perception of human growth. *Scientific American*, **242**, 106-114.
- Treisman, A., Cavanagh, P., Fischer, B., Ramachandran, V. S., & von der Heydt, R. (1990). Form Perception and Attention. In L. Spillmann & J. S. Werner (Eds.), *Visual perception: The neurophysiological foundations*. London: Academic Press. pp. 273-316.
- Ullman, S. (1979). The interpretation of structure from motion. *Proceedings of the Royal Society of London, B*, **203**, 405-426.
- Valentine, T. (1988). Upside-down faces: A review of the effect of inversion upon face recognition. *British Journal of Psychology*, **79**, 471-491.
- Valentine, T., & Bruce, V. (1988). Mental rotation of faces. *Memory & Cognition*, **16**, 556-566.
- Wallach, H., & O'Connell, D. N. (1953). The kinetic depth effect. *Journal of Experimental Psychology*, **45**, 205-217.

Woodhead, M. M., Baddeley, A. D., & Simmonds, D. C. V. (1979). On training people to recognize faces. *Ergonomics*, **22**, 333-343.

山口真美 (2002). 顔の特徴情報を探る実験的研究—表情・性・年齢情報を中心に— 風間書房
(Yamaguchi, M.)

山口真美 (2003). 赤ちゃんは顔をよむ 紀伊國屋書店
(Yamaguchi, M.)

Yin, R. K. (1969). Looking at upside-down faces. *Journal of Experimental Psychology*, **81**, 141-145.

吉田弘司 (1995). 視覚発達に及ぼす光刺激の影響 佐藤愛子・利島保・大石正・井深信男(編) 光と人間の生活ハンドブック 朝倉書店 pp.267-273.
(Yoshida, H.)

吉田弘司 (2000). 顔認識処理の初期過程に関する研究 平成10年度～平成11年度文部科学省科学研究費補助金(基盤研究(C)(2)) 研究成果報告書
(Yoshida, H.)

吉田弘司・利島 保 (1992). 顔認知の空間周波数特性に関する研究—顔の記憶から高空間周波数成分は失われるか— 広島大学教育学部紀要, 第1部(心理学), **41**, 9-16.

(Yoshida, H., & Toshima, T. (1992). The effect of spatial frequency filtering on face recognition: A comparison between perceptual and memory processes. *Bulletin of the Faculty of Education, Hiroshima University*, Part 1 (Psychology Division), **41**, 9-16.)

Yoshida, H., & Toshima, T. (1993). Recognition of band-pass filtered facial

images: A comparison between perceptual and memory processes. *Proceedings of 2nd IEEE International Workshop on Robot and Human Communication*. Tokyo, Nov. 1993. pp. 200-204.

吉田弘司・利島 保 (1995). 顔の画像認識における空間的特性—視覚情報のキャリアとしての空間周波数成分の分析を通して— 広島大学教育学部紀要, 第1部 (心理学), **44**, 9-18.

(Yoshida, H., & Toshima, T. (1995). Spatial characteristics in recognizing facial images: Analyses of spatial frequency components as carriers of visual information. *Bulletin of the Faculty of Education, Hiroshima University*, Part 1 (Psychology Division), **44**, 9-18.)

Young, A. W., Hay, D. C., & Ellis, A. W. (1985). The faces that launched a thousand slips: Everyday difficulties and errors in recognising people. *British Journal of Psychology*, **76**, 495-523.

Young, A. W., McWeeny, K. H., Ellis, A. W., & Hay, D. C. (1986a). Access to identity-specific semantic codes from familiar faces. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, **38A**, 271-295.

Young, A. W., McWeeny, K. H., Ellis, A. W., & Hay, D. C. (1986b) Naming and categorisation latencies for faces and written names. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, **38A**, 297-318.