視点の変化に伴う既知人物の頭部の認識¹

駒澤大学 仲渡江美²・永田陽子

Identification of familiar people viewed from a variety of viewpoints

Emi Nakato and Yoko Nagata (Department of Psychology, Faculty of Literature, Komazawa University, Komazawa, Setagaya-ku, Tokyo 154-8525)

We investigated the visual information used to recognize human head from a variety of viewpoints. Subjects' task was to identify three familiar people from five different views (from the frontal face to the back of the head in steps of 45°). The mean reaction time (RT) was not affected with changing head angles when the image was original face version. RT significantly decreased when the images contained in high spatial frequency (SF) component. Moreover, there was an effective SF range in recognition from each viewpoint, which was the middle range for the frontal face and the higher range for the back of the head. For the profile, there was no change in RT across the ranges of SF. These results suggest that different view-specific information was used on each view for identification, and the recognition of the profile might be unique on familiar face processing.

Key words: familiar face processing, spatial frequency analysis, viewpoints change, profile

日常、我々は顔の向きが変化しても、特定の人物を同定することができる。つまり、正面顔という単一的な向きのみから人物を認識しているわけではなく、正面以外の向きの顔からでも人物を認識できる。特に、既知人物の場合、斜め顔や横顔は正面顔と同程度の判断時間あるいは正答率で同定可能であることが示されている (Bruce, Valentine, & Baddeley, 1987; Valentin, Abdi, & Edelman, 1997)。既知人物の認識が顔の向きの変化に影響されない理由として、Bruce & Young (1986) は、人物同定では、まず顔の画像に含まれる特徴の分析が行われ、その際、顔の向きの変化に対して不変的な個々の顔の構造的特徴を符号化し、貯蔵された情報と知覚した顔の情報とを照合するためであると説明している。すなわち、既知人物の場合、正面以外の向きから見た顔のパターンでも、正面顔と同様に正確に早く人物を認識することが可能であるのは、日常の経験や学習によって個々の顔の向きが変化しても認識可能な不変的な情報を貯蔵しており、それらの情報と知覚入力される情報とを適切に照合することによって人物を認識しているためであると考えられる。

顔の認識の第一段階である特徴分析に関して、これまでの研究から、既知人物の正面顔においては、顔の構造についてより詳細な情報を伝達する目、鼻、口の内部特徴の方が、輪郭などの外部特徴に比べて、顔認識のための有効な手がかりとして働いていることが明らかにされている (Ellis, Shepherd, & Davies, 1979; Campbell, Coleman, Walker, Benson, Wallace, Michelotti, & Baron-Cohen, 1999)。しかしながら、頭部の向きが変化するに伴い、顔の画像から抽出される視覚情報 (ここでは、頭部の形状、内部特徴、内部特徴の布置関係などを含む) は、頭部の向きごとに異なる。Bruce & Young (1986) の認識モデルにおいても、さまざまな向きの頭部から抽出される視覚情報について詳しく言及されておらず、横顔や後頭部といった正面顔以外の向きは、いかなる視覚情報に基づいて既知人物を認識しているのかについて検討する必要があると考えられる。

顔に含まれる特徴情報の分析に関する方法の一つとして、空間周波数分析を用いた研究が挙げられる (e.g. Harmon, 1973)。人間の視覚系には、特定の空間周波数に選択的に応答するチャンネルが存在することが知られており (Campbell & Robson, 1968)、複雑な視覚刺激パターンをフーリエ解析によってさまざまな空間周波数に分解し、それぞれの空間周波数チャンネルに基づいて処理するという特性がある (市原、

¹ 本研究は、1998 年度に駒澤大学大学院人文科学研究科に提出した修士論文の一部である。

² 本研究を行うにあたり、駒澤大学 寺岡 隆先生、小野浩一先生、谷口泰富先生、茅原 正先生には、多大な御指導、御協力を頂きました。深く感謝致します。

1979). このような、我々の視覚系の感受性を記述するための手段として用いられる空間周波数によって、顔に含まれる情報をより定量的に制限して表すことができる。空間周波数成分という観点からいえば、高空間周波数成分は、細かい解像度をもち表面的な特徴などのパターンのもつ局所的な情報を伝え、低空間周波数成分は、粗い解像度をもち全体的な形態や配置などの大まかな情報を伝達する (Parker, Lishman, & Hughes, 1996). この空間周波数分析を用いて、顔画像に異なる空間周波数成分によるフィルタリングを施し、画像に含まれる情報を段階的に操作することによって、さまざまな向きの変化した顔の認識に有効となる情報について検討することが可能である。

最も初期に顔の画像に対してこの手法を用いた Harmon (1973) は、顔を認識するために必要となる情報について検討した結果、低空間周波数成分の情報だけで人物を同定できることを示した。このことは、顔の認識において、大まかな全体的情報が必要であることを示唆している。他方、Hayes, Morrone, & Burr (1986) や永山・吉田・利島 (1995) はバンドパスフィルターを用い、より限定した周波数域に基づいて顔の認識に有効となる情報について検討した。その結果、Hayes et al. (1986) では、20 c/fw (cycles per face width) 付近の正答率が最も高く、また永山他 (1995) では、12.4 c/fw から 24.8 c/fw までの間の反応時間が他の周波数域と比べ早かった。これらの結果から、正面顔は、中間域に含まれる情報を用いて認識されていることが示された。したがって、周波数域の数値に違いはあるものの、いずれの研究においても中間域の空間周波数成分が最もよく顔の情報を伝達すると示唆した。また Costen, Parker, & Craw (1996) は、顔の同定における空間周波数情報について検討した結果、8 c/fw から 16 c/fw までの周波数帯内に含まれる情報によって顔が認識されていると示した。顔画像に空間周波数分析を用いた研究から、刺激として用いる顔画像の顔幅が統一されていないため、有効的な周波数域の値は各々の研究ごとに異なるが、正面顔の認識は一定の周波数域に含まれる情報に基づいて認識されている可能性が高いことが示唆される。

しかしながら、空間周波数分析を用いて顔の認識に有効な視覚的特徴について検討している研究では、主に正面顔を刺激として用いた研究が多く、横顔や後頭部といった正面顔以外の向きにおける視覚特徴の分析に関してはあまり行われていない。そこで本研究では、既知人物の頭部を同定するために手がかりとなる情報について分析し、さらにその認識過程について検討する。具体的には、さまざまな向きから既知人物の頭部を同定する際に、各々の頭部、例えば正面顔、横顔、後頭部では、主に正面顔の認識に有効的な内部特徴 (目、鼻、口、およびそれらの布置関係) を手がかりとし、すべての向きの頭部が内部特徴の情報に基づく認識過程によって処理されるのか、あるいは頭部の向きごとに異なる特徴の情報を手がかりとし、各々の頭部に特有な情報に基づく独自の認識過程によって処理されるのかについて検討することを目的とする。

実験 1

Ellis et al. (1979) や Campbell et al. (1999) は、髪型や輪郭などの外部特徴よりも目、鼻、口などの内部特徴を手がかりとして、既知人物の認識が行われていると示唆した。彼らが示唆したように、内部特徴が既知人物を認識するための有効な手がかりとなるならば、正面顔を、横顔や後頭部と比較した場合、内部特徴の情報が最も多く含まれる正面顔の方が、横顔や後頭部よりも人物を判断する時間が短いと考えられる。つまり、頭部が正面顔から後頭部に移行するにつれ目、鼻、口の情報を抽出できなくなるため、人物を同定する時間が徐々に長くなると推測される。一方、Bruce et al. (1987) や Valentin et al. (1997) は、既知人物においては正面以外の向きの顔でも、正面顔と同程度の判断時間や正確さで同定可能であることを示した。頭部の向きが変化し、目、鼻、口の情報が抽出できなくても、既知人物の認識が一定であるならば、必ずしも内部特徴のみが既知人物の認識に有効的な手がかりになっていないと考えられる。そのため、内部特徴以外の情報も、既知人物の認識に効果的に作用するのではないかと推測される。

実験 1 では、既知人物の頭部を正面顔から後頭部まで五つの角度から見た場合、内部特徴の情報のみが人物を同定するための手がかりとなっているのか、あるいは内部特徴以外の情報も手がかりとなっているのかについて検討する。

方法

被験者 心理学専攻の学部生および大学院生計 12 名。全被験者とも、視力は正常範囲であった。被験者は、刺激となった 3 名の男性教員それぞれの講義を 1 年以上履修したことがある者とした。

刺激 被験者にとって既知の 3 名の男性教員 (49 歳, 49 歳, 50 歳) のモノクロ写真、計 15 枚。これらの写真は、被写体がいすに座った状態で、中心点 (いすのシートの中央) から各々 45 cm 離れた五つの地点、0° (正面顔)、45°、90° (横顔)、135°、180° (後頭部) から撮影された。カメラの高さを被写体の目線と平行にするために、床から被写体の鼻下までの高さと同程度の雲台の高さを同一に設定した。撮影は被写体ごとに、デジタルカメラ (FUJIX DS-300) を正面顔から後頭部までの設定位置に移動させて行った。刺激画像は、パーソナルコンピュータ (ACER 5133AT) に取り入れられ、画像処理ソフトウェア (Adobe

Photoshop 4.0J) によって、被写体の頭部のみを切り取り作成した。背景はすべて白に統一した。それらの刺激を、CRT (SONY GDM-17SE2T5) 上に、刺激提示装置 (Cambridge Research System VSG2/3) を用いてランダムに提示した。画面と被験者との距離は約 91 cm であり、刺激の大きさは画面上で 500×400 pixels, 視角 $11^\circ \times 9^\circ$ であった。

手続き 被験者には、提示された刺激の人物が 3 名の教員のうち誰であるかを、できるだけ早く正確に判断するように教示した。人物の判断は、それぞれの刺激人物ごとに割り当てられたスイッチボックス (Cambridge Research System, VSG2/3, CT-3) の反応キーを、左右の手で押して答えることであった。刺激人物ごとに割り当てた反応キーの位置は、被験者ごとに換え、カウンターバランスをとった。刺激の提示時間は、被験者が反応するまでとしたが、全く反応がない場合は刺激提示から 8000 ms 経過後に、刺激を消去し次の試行に移った。試行数は 60 試行 (3: 人物 $\times$ 5: 頭部の角度 $\times$ 4: セッション) であった。

結果

被験者全体の反応時間について、頭部の角度 (5) $\times$ 人物 (3) の二要因分散分析を行った結果、頭部の角度、および人物の主効果に有意な差が認められなかった。また、頭部の向き $\times$ 人物の交互作用も認められなかった。つまり、頭部の向きが変化しても、既知人物を同定するためにかかる判断時間は、すべての頭部の向きにおいて一定であった (Figure 1)。さらに、刺激として用いた 3 名の人物間において、反応時間に有意な差が認められず、人物間の同定に差はなかった。

Figure 1. The regression results of Experiment 1 (Open circles) and Experiment 2 (Solid triangles). The line indicates mean reaction times on recognition as head angle changes from 0° (the frontal face) to 180° (the back of the head). The abscissa shows the head angle. The ordinate shows the mean reaction time. Error bars represent SE of the mean reaction time. **: $p < .001$, n.s.: no significant.

考察

実験 1 の結果では、頭部の向きが正面顔から後頭部まで変化したにもかかわらず、反応時間は一定であった。このことは、横顔や後頭部のように頭部の全体的な形状が変化した場合や、正面顔と比べ顔の内部特徴の数が減少、あるいは全く存在しなかった場合でも、既知人物においては同定にかかる判断時間がほぼ同じ早さであったことを示す。すなわち、Ellis et al. (1979) や Campbell et al. (1999) が示唆したように、目、鼻、口の内部特徴のみに基づいて既知人物を認識しているというよりも、むしろ、頭部の向きが変化すれば、内部特徴以外の情報も既知人物の認識に効果的に作用すると示唆される。

実験 2

実験 1 において、正面顔から後頭部まで、どの向きから見ても既知人物を判断する時間は一定であったことから、頭部の向きが変化した既知人物の認識には、内部特徴ばかりでなく、内部特徴以外の情報も手がかりとなっている可能性が示された。さらに正面顔から奥行き方向に頭部の向きが回転するにつれ、各々の頭部に含まれる情報は変化するため、それぞれの向きに含まれ、なおかつ認識に有効となる情報は、頭部の向きごとに異なる可能性があると考えられる。仮に、それぞれの頭部において、内部特徴のような詳細な情報を手がかりとして既知人物を認識するならば、画像が不鮮明になるにつれ人物を判断する時間は増加するであろう。逆に外部特徴のような大まかな情報を手がかりとして認識するならば、人物を判断する時間は画像の鮮明度に影響されず一定であろう。そこで実験 2 では、頭部に含まれる視覚情報を明確化するための一つの方法として、画像情報の定量的操作 (Harmon, 1973) を用いて、正面顔から後頭部までさまざまな向きから既知人物を同定する際に、頭部の向きごとの認識に手がかりとなる視覚情報について分析し検討する。

方法

被験者 実験 1 に参加していない学部生および大学院生計 12 名。全被験者は、実験 1 と同じ条件を満たした学生であった。

刺激 総計 60 枚の画像刺激。実験 1 で用いた 0° (正面顔) から 180° (後頭部) までの五つの角度から撮影した 15 枚の頭部のモノクロ写真を、画像処理ソフトウェア (Adobe Photoshop 4.0J) のモザイクフィルターによって、正方形のセルに分割した。事前に周波数値を決定するための予備実験を行い、4 種類 (7, 12, 16, 22 pixels) のセルの幅を選択した。選択された 4 種類のセルの幅を、3 名の顔幅³ の平均値で

割って算出した単位である pixels per face-width (以下, p/fw と表記) により, 各カットオフ周波数, 15.3, 20.7, 27.1, 45.7 p/fw を表した (Figure 2)。

手続き 実験1と同様の手続きで行った。試行数は120試行 (3: 人物×5: 顔の角度×4: 周波数×2: セッション) であった。

結果

本実験では, まず被験者全員の反応時間について, 周波数(4)×頭部の角度(5)×人物(3)の三要因分散分析を行った。その結果, 周波数 ($F(3, 69)=19.298$, $p<.001$), 頭部の角度 ($F(4, 92)=14.617$, $p<.001$), 人物 ($F(2, 46)=19.505$, $p<.001$) とともに主効果が有意であった。さらに, 周波数×人物 ($F(6, 138)=3.466$, $p<.005$), 頭部の角度×人物 ($F(8,$

184)=6.256, $p<.001$), および周波数×頭部の角度×人物 ($F(24, 552)=2.265$, $p<.005$) の交互作用が有意であったが, 周波数×頭部の角度の交互作用は認められなかった。

まず, 周波数の主効果について, カットオフ周波数ごとに Tukey の多重比較を行った結果, 15.3 p/fw と 20.7, 27.1, 45.7 p/fw との間に, また 20.7 p/fw と 45.7 p/fw との間に有意な反応時間の減少が見られた (各々 $p<.05$)。つまり, カットオフ周波数が高くなるにつれ反応時間は減少したことから, 画像が鮮明なほど早く同定することを示した。さらに, 各角度のカットオフ周波数の変化による反応時間を Figure 3 に示す。角度ごとに分散分析を行った結果, 0°, 45°, 135°, 180° は, カットオフ周波数が高くなるにつれ反応時間は減少した (0°: $F(3, 287)=7.328$, $p<.001$; 45°: $F(3, 287)=4.025$, $p<.01$; 135°: $F(3, 287)=2.96$, $p<.05$; 180°: $F(3, 287)=4.683$, $p<.005$)。Tukey の多重比較の結果, 0° と 180° では, 15.3 p/fw と 27.1, 45.7 p/fw との間に, 45° と 135° では, 15.3 p/fw と

³ 各刺激人物の正面顔画像における目の位置の高さを測定し, その高さを基準として正面顔から後頭部まで各画像内の頭部の右端から左端までの間隔を顔幅とした。

Figure 2. Images of the stimuli used in Experiment 2. The top row shows the frontal face images with a cutoff frequency at 45.7 p/fw for three persons used as stimuli. The middle row shows 0° (the frontal face), 45°, 90° (the profile), 135°, and 180° (the back of the head) with a cutoff frequency at 27.1 p/fw from left to right. The bottom row shows the profile images with a cutoff frequency at 15.3 p/fw, 20.7 p/fw, 27.1 p/fw, and 45.7 p/fw from left.

45.7 p/fw の間に有意な差が認められ (各々 $p < .05$), それぞれの角度においても, 画像が鮮明なほど反応時間が短かった. しかしながら, 90° では, 周波数の値が変化しても反応時間は一定であり, 周波数の影響は認められなかった.

次に, 頭部の角度の主効果が有意に認められたことから (Figure 1), 頭部の角度の変化について分析した結果, 0°, 45° および 90° から見た画像と, 135° および 180° から見た画像の間に顕著な反応時間の増加が認められた ($F(1, 862) = 24.911, p < .001$). つまり, 頭部の角度が正面顔から横顔では反応時間は一定であったが, 横顔から後頭部へと角度が大きくなるにつれ反応時間は増加した. また, 0° から 180° まで角度ごとに, それぞれ実験 1 の結果と比較したところ, すべての角度において画像にフィルタリングを施すことによって, 有意な反応時間の増加が認められた (0°: $t(394) = 4.819, p < .001$; 45°: $t(394) = 3.823, p < .001$; 90°: $t(394) = 4.188, p < .001$; 135°: $t(394) = 5.134, p < .001$; 180°: $t(394) = 5.211, p < .001$). さらに, 周波数ごとに, 頭部の角度の変化に対して分散分析を行ったところ, 27.1 p/fw を除いて, 正面顔から後頭部に向かうにつれ反応時間の増加が認められ (15.3 p/fw: $F(4, 175) = 4.796, p < .001$; 20.7 p/fw: $F(4, 175) = 2.166, p < .07$; 45.7 p/fw: $F(4, 175) = 2.801, p < .005$), 正面顔ほど早く認識されることが示された.

一方で, 人物間の主効果が認められ, 周波数×人物の交互作用に有意な結果が示された. しかし, 各人物ごとにカットオフ周波数の変化に対して回帰分析を行った結果, カットオフ周波数が高くなり, 高空間周波数成分が含まれるにつれ, 人物を判断する時間が有意に早くなった (各人物: $F(1, 478) = 14.825, p < .001$; $F(1, 478) = 26.192, p < .001$; $F(1, 478) = 2.945, p < .08$). さらに, 頭部の角度×人物について, 周波数の場合と同様に回帰分析によって調べた結果, 0° から 90° までの向きでは反応時間に有意な差が認められなかった. しかし, 90° から 180° までの向きにおいては, 1 名のみ統計的に有意な差は認められなかったものの, 頭部の角度が大きくなるにつれ反応時間が長くなった ($F(1, 286) = 23.525, p < .001$; $F(1, 286) = 6.257, p < .005$). つまり, 90° から 135° および 180° までの向きに対する回帰直線の傾きは, 3 名の刺激人物ごとに異なったが, 上昇傾向であったことは 3 名とも共通していた. また周波数×頭部の角度×人物の交互作用が有意であったが, 各周波数における人物の違いが頭部の角度ごとに異なるかどうかを調べた結果, カットオフ周波数の変化にかかわらず, いずれの刺激人物においても, 0° から 90° では反応時間は一定であった. しかし, 90° から 135°, 180° になるにつれ, 刺激人物によっては統計的に有意な結果が認められず, 人物ごとに回帰直線の傾きが異なったものの, 反応時間は増加傾向を示した (各々 $p < .05$).

Figure 3. Mean reaction times on recognition as a function of cutoff frequencies for each head angle: (a) 0°, (b) 45°, (c) 90°, (d) 135°, and (e) 180°. Error bars represent SE of the mean reaction time. **: $p < .001$, *: $p < .05$, ns: no significant.

考察

正面顔から後頭部までそれぞれの向きにおいて、カットオフ周波数が15.3 p/fw から45.7 p/fw まで変化する際の反応時間について調べた結果 (Figure 3), 正面顔と後頭部は画像が不鮮明になるにつれ, 人物の同定に要する反応時間が長くなった。すなわち, 高空間周波数成分が失われるにつれ, 局所的で詳細な情報が抽出できず, そのため人物を同定するための判断時間が長くなったと考えられる。このことは, 正面顔と後頭部における人物の同定には, それぞれの頭部に含まれる局所的情報が手がかりとなっていることを示唆する。正面顔に含まれる局所的情報とは, 目, 鼻, 口の内部特徴を示す。他方, 後頭部の局所的情報として髪質や髪の色のような特徴が, 後頭部の内部特徴となっていると考えられる。つまり後頭部においても, 後頭部特有の内部特徴が存在し, それに基づいて認識している可能性が高いことが示唆される。

一方で, 横顔は画像が鮮明であっても不鮮明であっても, 反応時間に差は認められなかった。この結果から横顔では, 高空間周波数成分に含まれる情報は, 人物を同定するための判断時間に影響を及ぼさず, ゆえに横顔は正面顔や後頭部とは異なる情報に基づいて認識されていると考えられる。つまり, 局所的な情報ではなく, 輪郭などの大まかな情報である内部特徴以外の情報が手がかりとなって, 人物を同定していると推測される。

次に, 頭部の主効果が認められ, 頭部の向きが正面顔から後頭部まで変化する際の反応時間について検討した結果 (Figure 1), 斜め後ろや後頭部と比べ, 正面顔, 斜め前, 横顔といった目, 鼻, 口の顔の内部特徴が多いほど, 人物の同定にかかる時間が短いことを示した。Sergent (1986) は, 顔の同定のような高レベルの認識には, 高空間周波数成分に含まれる情報が必要となってくると示唆しており, 本実験においても高空間周波数成分に含まれる, 目, 鼻, 口の詳細な情報がより早く正確に既知人物を同定するために効果的に働いていたと考えられる。

以上, 本実験の結果は, 正面顔, 後頭部においては詳細な情報である内部特徴, 横顔においては正面顔および後頭部と異なり, 大まかな情報である外部特徴が手がかりとなって, 既知人物を同定していることを示唆するものである。

実験 3

実験2において, 正面顔, 横顔, 後頭部では, それぞれ認識に必要な周波数成分が変化し, さらに各向きごとに手がかりとなる情報も異なった。一方, 顔の認識と空間周波数帯域との関係について, 正面顔は, 中間の周波数域に含まれる情報に基づいて効率的

に認識されることが示されている (Hayes et al., 1986; 永山他, 1995)。正面顔と同様に, 横顔や後頭部においても, 効率的な認識を行うための特定の周波数域が存在するのであろうか。仮にそれぞれの頭部の向きごとに周波数域が異なるのであれば, 各向きにおいて周波数域の範囲内で最もよく伝達される情報も異なると推測される。すなわち, 周波数域を用いてさまざまな向きの頭部に含まれる視覚情報を測定することによって, 頭部の向きごとの認識に手がかりとなる情報がより詳細に特定化されると考えられる。

実験3では, 各々の頭部の認識に有効となる特定の周波数域が存在するのかについて検討する。

方法

被験者 実験1および実験2に参加していない学部生および大学院生計12名。全被験者は, 実験1および実験2と同じ条件を満たした学生であった。

刺激 総計60枚の画像刺激。実験1で用いた0° (正面顔) から180° (後頭部) までの五つの角度から撮影した15枚の頭部のモノクロ写真を, 4種類のバンドパスフィルターによって画像処理した。フィルターの通過中心周波数は, 8, 16, 32, 64 c/fw で, それぞれ帯域幅1.5オクターブの2次元フーリエフィルターを通過させた。刺激の大きさ, 観察距離は実験1および実験2と同様であった。

手続き 実験1および実験2と同様の手続きで行った。試行数は120試行 (3:人物×5:顔の角度×4:周波数×2:セッション) であった。

結果

全被験者の反応時間について, 周波数(4)×頭部の角度(5)×人物(3)の三要因分散分析を行った結果, 周波数 ($F(3, 69) = 23.215, p < .001$), 頭部の角度 ($F(4, 92) = 21.477, p < .001$), 人物 ($F(2, 46) = 18.171, p < .001$) とともに主効果が有意であった。さらに, 周波数×頭部の角度 ($F(12, 76) = 4.742, p < .001$), 周波数×人物 ($F(6, 138) = 3.816, p < .005$), 頭部の角度×人物 ($F(8, 184) = 6.778, p < .001$), および周波数×頭部の角度×人物 ($F(24, 552) = 2.804, p < .001$) の交互作用が有意であった。

まず, 周波数の主効果に有意な差が認められたことから, 周波数域ごとに分析した結果, 8 c/fw と16 c/fw の間 ($t(778) = 3.755, p < .001$), 8 c/fw と32 c/fw の間 ($t(778) = 5.533, p < .001$), 8 c/fw と64 c/fw の間 ($t(778) = 4.219, p < .001$), また16 c/fw と32 c/fw の間 ($t(778) = 2.048, p < .05$) に有意な差が認められた。つまり, 32 c/fw 以上の周波数域においては, 反応時間は一定であったものの, 周波数域が8 c/fw から32 c/fw に高くなるにつれ反応時間は減少した。このことから, 高空間周波数成分を含む画像の方が人

物の認識は早いことが明らかになった。また、周波数×頭部の角度の交互作用が有意であったため、各角度の反応時間を、通過中心周波数の変化について分析した (Figure 4)。その結果、0°, 45°, 135°, 180°では、周波数の変化に対し有意な関係があった (0°: $F(3, 311) = 3.807, p < .05$; 45°: $F(3, 311) = 3.432, p < .05$; 135°: $F(3, 311) = 8.639, p < .001$; 180°: $F(3, 311) = 2.398, p < .06$)。一方で、90°ではどの周波数域においても反応時間の変化は全く見られず、周波数域の影響は認められなかった。90°以外の角度において、それぞれの角度ごとに周波数域の比較を行った結果、0°, 45°, 135°, 180°では、8 c/fw と 16 c/fw, 8 c/fw と 32 c/fw, 8 c/fw と 64 c/fw の間に有意な関係が認められたが (各々 $p < .05$)、16 c/fw と 32 c/fw, 16 c/fw と 64 c/fw, 32 c/fw と 64 c/fw の間には、有意な差は認められなかった。具体的には、0°では、8 c/fw と 16 c/fw ($t(154) = 2.101, p < .05$) および 8 c/fw と 32 c/fw の間 ($t(154) = 3.263, p < .001$) で、反応時間が減少した。また 180°では、8 c/fw と 32 c/fw ($t(154) = 1.979, p < .05$) および 8 c/fw と 64 c/fw の間 ($t(154) = 2.073, p < .05$) に反応時間の減少が見られた。つまり横顔以外の向きでは、頭部の角度が大きくなるにつれ周波数域が徐々に高空間周波数帯域へと移行し、頭部の向きごとに認識に有効な周波数域が異なることが示されたが、横顔においては認識に重要と

なる周波数域が明確に示されなかった。

頭部の角度に関する結果は、実験 2 の結果とほぼ同様な傾向を示した。つまり、0°, 45° および 90° においては反応時間に有意な差が認められなかったが、90° から 180° までの間では反応時間の増加が認められた ($F(1, 862) = 35.421, p < .001$)。

周波数×人物および頭部の角度×人物の交互作用について、それぞれ周波数域の変化、頭部の角度の変化に対して人物ごとに回帰分析を行った。その結果、まず周波数域の変化に対しては、1 名のみ統計的に直線的な下降傾向が認められなかったものの、周波数域が高くなるにつれ反応時間が減少した ($F(1, 478) = 3.063, p < .08$; $F(1, 478) = 12.771, p < .001$)。また、16 c/fw と 32 c/fw, 32 c/fw と 64 c/fw の間では、どの人物にも反応時間に有意な差は認められず、周波数域が高くなるほど、より早く人物を判断する傾向が示された。次に頭部の角度の変化に対しては、いずれの人物においても頭部の角度が大きくなるにつれ反応時間が増加した (各人物: $F(1, 478) = 51.04, p < .001$; $F(1, 478) = 12.308, p < .001$; $F(1, 478) = 12.119, p < .001$)。周波数×頭部の角度×人物の交互作用が有意であったため回帰分析を行った結果、実験 2 の結果と同じく、0° から 90° の間では反応時間は一定であり、また 90° から 135° および 180° の間では、統計的に有意な差が認められないものもあったが、反応時間の増

Figure 4. Mean reaction times on recognition as a function of the levels of band-pass filter for each head angle: (a) 0°, (b) 45°, (c) 90°, (d) 135°, and (e) 180°. Each graph ((a) to (e)) of head angle is analyzed by t-test of the mean reaction times on every levels of band-pass filter. Error bars represent SE of the mean reaction time. **: $p < .001$, *: $p < .05$, ns: no significant.

加傾向が認められた（各々 $p < .05$ ）。

考察

まず、人物の同定における周波数の影響について、実験1において周波数による画像処理を行っていない場合には、人物間の同定に要する反応時間に差は認められなかった。つまり、3名の既知の刺激人物では、どの向きにおいても人物を同定する時間は一定であった。一方で、モザイクを用いた実験2、およびバンドパスフィルターを用いた実験3において、人物間に同定するための反応時間の差は認められた。しかしながら、実験2、実験3ともに周波数の変化に対する回帰分析を行った結果、いずれの人物にも共通した結果の傾向が認められた。具体的には、実験2において刺激人物ごとのカットオフ周波数に対する反応傾向を調べた結果、カットオフ周波数が高くなるにつれ反応時間の減少が示された。また実験3においては、反応時間の減少傾向が人物間で異なったものの、周波数域が高くなるにつれ反応時間は減少した。すなわち、周波数に対する影響はすべての人物において、カットオフ周波数、あるいは周波数域が高くなるにつれ、反応時間が短くなるといった共通な結果の傾向が認められた。また、それぞれの人物において、同定するための早さが異なった点に関して、実験2および実験3のように画像処理によって画像が不鮮明になった場合には、実験1のような視覚情報が明瞭な場合と比べ同定の手がかりとなる視覚情報を容易に抽出できず、そのためにすでに貯蔵されている人物の情報と視覚情報とを照合する時間がより必要となり、その照合の早さが、各人物ごとの同定に影響を及ぼしたからではないかと考えられる。

次に角度ごとに周波数域の変化について分析した結果、横顔以外の頭部の向きでは、周波数域の値が増加するにつれ、反応時間が減少した（Figure 4）。特に正面顔では、8 c/fw と 16 c/fw の間、8 c/fw と 32 c/fw の間に有意な反応時間の減少が認められたことから、16 c/fw から 32 c/fw までの中間域の周波数成分が正面顔の認識に有効的であると示された。このことは、Hayes et al. (1986) や永山他 (1995) の結果と同様、正面顔は中間域に含まれる情報に基づいて、早く認識されることが明らかになった。

後頭部では8 c/fw と 32 c/fw の間、8 c/fw と 64 c/fw の間に有意な反応時間の減少が見られ、32 c/fw から 64 c/fw までに含まれる周波数成分が認識に有効的であると示された。この帯域幅は、正面顔の帯域幅と比べ、より高空間周波数成分の情報を含んでおり、後頭部は正面顔よりもさらに細かい情報、つまり髪質などのきめの情報がより早く認識するための手がかりとなったと推定できる。また周波数域に関しては、正面顔から後頭部に向かうにつれ横顔を除き、徐々に高空間

間周波数帯域へと移行していることが示され、各々の頭部に独自に含まれる情報を抽出して認識していると考えられる。

それに対し、横顔はいずれの周波数域においても反応時間に変化が見られなかった。すなわち、高空間周波数成分に含まれる情報が失われたにもかかわらず、横顔での反応時間が一定であった。この結果から、横顔では局所的な情報は冗長的な情報であり、むしろ輪郭などの全体的で大まかな情報が認識に必要となる情報であると考えられる。したがって、横顔は、認識に手がかりとなる情報、およびその情報に基づく処理過程が他の向きから見た頭部と異なり、特殊であると考えられる。

本実験結果から、正面顔では16 c/fw から 32 c/fw の間の中間域、後頭部では32 c/fw から 64 c/fw の間の高域が、それぞれの頭部の認識に有効的な周波数域であることが示された。つまり、正面顔、後頭部ともに認識に重要となる周波数域において、最もよく伝達される情報を手がかりとして抽出したために人物の同定時間が早くなった。このことから、正面顔では中間域、後頭部では高域に含まれる情報が、それぞれの向きの認識に最も必要な情報であると推察される。一方、横顔の認識に有効的な周波数域について、本実験結果からだけでは明確な結論を示すことはできないが、横顔は低域においても同定可能であり、正面顔や後頭部と異なる結果を示した。このことから、横顔では低域の周波数域が、頭部の認識に有効的な周波数域であること、さらに認識の手がかりとなる情報が、正面顔や後頭部と比べ異なる可能性が推測される。

総合考察

本研究では、さまざまな向きから既知人物の頭部を同定する際に手がかりとなる情報、及びそれらの情報に基づく認識過程について検討し、以下の三点が明らかになった。

第一に、正面顔から後頭部までの頭部を用いて既知人物の同定判断を行った結果、どの向きの頭部においても、正面顔とほぼ同程度の早さの判断時間で同定することが可能であった（実験1）。このことは、Bruce et al. (1987) や Valentin et al. (1997) の研究と同様に、既知人物においては、頭部の向きの変化に影響されずに同定することが可能であることを示す。Valentin et al. (1997) は、シミュレーションの結果、学習時に頭部の向きを多く学習させるほど、向きの変化に影響されず認識できることを示した。この結果は、我々が既知人物をどの向きでも認識できるという実験1の結果と一致する。既知人物の場合、それぞれの向きに対する情報は、日常の経験によって蓄積されていくため、また Bruce & Young (1986) によれば、各個人の貯蔵された構造的特徴は、その人物と出会う

たびに精緻化されているため、頭部の向きが変化しても同定可能であると考えられる。すなわち、どの向きからでも同程度の早さで既知人物を同定できるための一つの要因として、日々の経験や学習などによって貯蔵された情報が、より詳細に符号化されるためであると示唆される。

第二に、頭部の向きごとに空間周波数による画像処理を行い、頭部を認識する際に手がかりとなる情報の分析を行った結果、正面顔から後頭部まですべての向きにおいて、それぞれ認識に有効となる周波数域が異なり、頭部の向きごとに特有な視覚情報を手がかりとして既知人物の同定を行っている可能性が示された(実験2および実験3)。このことは、実験1においてどの向きからでも同程度の判断時間で既知人物を同定可能であったにもかかわらず、各頭部を知覚する際の視覚情報を抽出する比較的初期の処理過程においては、頭部の向きごとに特異的な情報を抽出するといった特性に基づいていることを示す。顔の認識における入力段階での特徴分析は、個々の顔の構造的特徴を抽出し符号化すると示されている(Bruce & Young, 1986)。本研究により、頭部の向きが変化した際の顔画像から抽出される特徴として、正面顔は主に二次元的な目、鼻、口の内部特徴やその全体的配置のような情報、横顔は正面顔よりも目や口の情報量は少ないが、鼻の高低のような三次元的な情報、後頭部は、正面顔に含まれる内部特徴よりも、さらにきめの細かい髪質や髪の色のような後頭部特有の内部特徴の情報が挙げられる。これらの情報は各頭部の構造について確実な情報を伝達するものと考えられ、したがって、既知人物の入力段階においては、それぞれの向きごとに頭部の構造を最も明確に示す特有な特徴を抽出し、それらの情報に基づいて独自に認識されていると示唆される。さらに、神経生理学的研究において、Perrett, Smith, Potter, Mistlin, Head, Milner, & Jeeves (1985)は、サルの上頭溝(superior temporal sulcus)内に既知人物の正面顔、横顔、後頭部などの特定の頭部に選択的に活性化される細胞の存在を明らかにし、頭部の向きが変化すると神経システム内で異なる処理がなされることを示唆した。つまり、正面顔、横顔、後頭部は、脳内において活性化される細胞がそれぞれ異なるという知見と本研究結果とを考え併せると、特に正面顔、横顔、後頭部においては、それぞれの頭部の向きに含まれる特有な視覚情報を手がかりとする、各頭部の向きごとに独立した処理過程が存在している可能性が高いことが推測される。

一方で、各頭部ごとの処理過程に関して、刺激が自己顔の場合には、正面顔、斜め顔、および横顔の処理は同等なものであると示されている(Tong & Nakayama, 1999)。自己に関する処理は、他者とは異なり特殊であると示唆されていることから(Kircher,

Senior, Phillips, Rabe-Hesketh, Benson, Bullmore, Brammer, Simmons, Bartels, & David, 2001)、既知の他者顔と同様に、自己顔の認識については今後改めて検討していく必要がある。

第三に、横顔はカットオフ周波数の値ならびに周波数域が変化し、画像が不鮮明になったにもかかわらず、ほぼ一定の反応時間で認識可能であった。そのため、横顔では、認識の手がかりとなる情報が正面顔や後頭部などの横顔以外の向きと異なることが推測された(実験2および実験3)。Valentin, Abdi, & Edelman (1999)は、向きの変化した顔の場合、正面顔ではテキストチャー情報に注意を向けるのに対し、横顔では形態情報に注意を向けることを示した。また馬淵・片山・諸富(1999)は、人間の右後側頭部(T6)において、他の頭部の向きと比べ、左横顔に対してのみN170の振幅が最も高く、左横顔に対するニューロンの活動が大きいことを示した。この結果は、Perrett et al. (1985)のサルでの研究と同様、人においても横顔にのみ選択的に反応するニューロンが存在し、さらに横顔独自の認識機構が存在する可能性が高いことを示唆するものである。これらの研究から本研究の結果を考察してみると、横顔は、正面顔や後頭部などの他の頭部の向きとは異なる、横顔特有の情報に基づいて認識されており、横顔の視覚的処理の特殊性が示唆される。

以上、既知人物の同定に関する認識過程では、頭部の向きに影響されずどの向きにおいても同程度の判断時間で同定可能であること、一方で、正面顔、横顔、後頭部は、それぞれの向きごとに含まれる独自の情報に基づいて処理されていること、特に横顔の処理過程は特殊であることが推察された。横顔の特殊性が、横顔のもつ物理的な形態に基づく横顔独自の処理過程によるものか、あるいは、既知人物の同定課題においてのみに認められるものであるのかに関して、さらなる検討が必要であると考えられる。また、顔の認識は、顔の認識と物体認識の二つのシステムに依存していると示唆されていることから(Moscovitch, Winocur, & Behrmann, 1997)、頭部が奥行き方向に回転すると、複数の向きごとに独自に処理されるという処理過程が、顔独自の処理過程であるのか、あるいは顔以外の物体認識との関連があるのかについて、特に物体認識の研究において用いられている三次元情報を顔の認識にも適応させ、顔の認識と物体認識との関連性を解明していくことも今後の課題の一つである。

引用文献

- Bruce, V., & Young, A. 1986 Understanding face recognition. *British Journal of Psychology*, 77, 305-327.

- Bruce, V., Valentine, T., & Baddeley, A. 1987 The basis of the 3/4 view advantage in face recognition. *Applied Cognitive Psychology*, **1**, 109-120.
- Campbell, F. W., & Robson, J. G. 1968 Application of Fourier analysis to the visibility of gratings. *Journal of Physiology*, **197**, 551-566.
- Campbell, R., Coleman, M., Walker, J., Benson, P. J., Wallace, S., Michelotti, J., & Baron-Cohen, S. 1999 When does the inner-face advantage in familiar face recognition arise and why? *Visual Cognition*, **6**, 197-216.
- Costen, N. P., Parker, D. M., & Craw, I. 1996 Effects of high-pass and low-pass spatial filtering on face identification. *Perception and Psychophysics*, **58**, 602-612.
- Ellis, H. D., Shepherd, J. W., & Davies, G. M. 1979 Identification of familiar and unfamiliar faces from internal and external features: Some implications for theories of face recognition. *Perception*, **8**, 431-439.
- Harmon, L. D. 1973 The recognition of faces. *Scientific American*, **227**, 71-82.
- Hayes, T., Morrone, M. C., & Burr, D. C. 1986 Recognition of positive and negative bandpass-filtered images. *Perception*, **15**, 595-602.
- 市原 茂 1979 視覚系のフーリエモデルと特徴抽出機構——15年間のあゆみ—— 心理学研究, **50**, 161-174.
(Ichikawa, S. 1979)
- Kircher, T. T. J., Senior, C., Phillips, M. L., Rabe-Hesketh, S., Benson, P. J., Bullmore, E. T., Brammer, M., Simmons, A., Bartels, M., & David, A. S. 2001 Recognizing one's own face. *Cognition*, **78**, B1-B15.
- 馬淵慶子・片山順一・諸富 隆 1999 顔の角度が顔の認識に及ぼす効果のERPを用いた検討 生理心理学と精神生理学, **17**, 151.
(Mabuchi, K., Katayama, J., & Morotomi, T. 1999)
- Moscovitch, M., Winocur, G., & Behrmann, M. 1997 What is special about face recognition? Nineteen experiments on a person with visual object agnosia and dyslexia but normal face recognition. *Journal of Cognitive Neuroscience*, **9**, 555-604.
- 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.)
- Parker, D. M., Lishman, J. R., & Hughes, J. 1996 Role of coarse and fine spatial information in face and object processing. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, **22**, 1448-1466.
- Perrett, D. I., Smith, P. A. J., Potter, D. D., Mistlin, A. J., Head, A. S., Milner, A. D., & Jeeves, M. A. 1985 Visual cells in the temporal cortex sensitive to face view and gaze direction. *Proceedings of the Royal society of London B*, **223**, 293-317.
- Sergent, J. 1986 Microgenesis of face perception. In H. D. Ellis, M. A. Jeeves, F. Newcombe & A. Young (Eds.), *Aspects of face processing*. Dordrecht: Martinus Nijhoff. Pp. 17-33.
- Tong, F., & Nakayama, K. 1999 Robust representations for faces: Evidence from visual search. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, **25**, 1016-1035.
- Valentin, D., Abdi, H., & Edelman, B. 1997 What represents a face? A computational approach for the integration of physiological and psychological data. *Perception*, **26**, 1271-1288.
- Valentin, D., Abdi, H., & Edelman, B. 1999 From rotation to disfiguration: Testing a dual-strategy model for recognition of faces across view angles. *Perception*, **28**, 817-824.

——2000. 6. 5 受稿, 2001. 12. 1 受理——