

人間は顔を どのように認識しているのか

柿木隆介

総合研究大学院大学教授 生理科学専攻 / 自然科学研究機構 生理学研究所教授

「物を見る、食べる、呼吸する」といった機能を果たすとともに、相手の情報を引き出すための窓口にもなる顔。私たちは、顔の存在やその表情をどのように認識しているのだろうか。脳を傷つけることなく調べる手法が開発されたことで、その答えとなりうる成果がもたらされ始めている。

ほかの器官と異なり、顔には「他個体とのコミュニケーションをはかる」という機能が付加されている。例えば、動物は顔（相手の視線や口）の動きを見て、「敵か味方か」「攻撃しようとしているのか、防御しているのか」といった情報を瞬時に読み取る。同じように、ヒトにとっても、相手の顔を素早く認識し、そこからさまざまな情報を得ることが、生きるために不可欠な能力である。

非侵襲的な研究手法の登場

ひと昔前まで、ヒトを対象にした「顔認知」の研究は、心理学的な手法と脳波検査が主であった。ところが1990年代に入り、脳や体をまったく傷つけない（非侵襲）画期的な手法が開発されることで、研究が急激に進むようになった。それを鋭敏に反映したためと思われるが、文部科学省が平成20年度から開始した大型プロジェクトである新学術領域研究の一つとして、私が領域代表者を務める、「学際的研究による顔認知メカニズムの研究（略称：顔認知）」が採択され、5年間の予定で多数の研究者が「顔認知」の研究を行っている。

私たちのプロジェクトでは、電気生理学的な手法や脳血流計測を用いた基礎的研究、臨床研究、心理学・認知科学的研究、サルなどの動物を用いた研究、工学的な手法を用いた研究などが、多くの班員によって強力に進められている。このよ

うな大がかりな研究班が組織されたのは世界的にもはじめてで、成果には大きな期待が寄せられている。

非侵襲的に脳の活動を調べる手法は、大きく2つに分けられる。一つは、脳波（electroencephalography, EEG）や脳磁図（magnetoencephalography, MEG）のように、神経細胞の電気的な活動を記録する方法で「電気生理学的手法」と総称される。もう一つは、脳血流や脳代謝の変化を記録する方法で、主に「ポジトロン断層撮影（Positron emission tomography, PET）」、「機能的MRI（Functional magnetic resonance imaging, fMRI）」、「近赤外線分光法（Near-infrared spectroscopy, NIRS）」の3つがある。

前者の脳波と脳磁図は、脳活動の時間的な変化を1000分の1秒（ミリ秒）単位で調べることができ、非常に時間分解能が高いのが最大の長所である。例えば、手に触覚刺激を与えると、大脳の体性感覚野に約20ミリ秒で信号が到達し、その後、周囲の感覚野にミリ秒オーダーで信号が流れていくが、このような情報伝達の詳細を調べることができる。ただし、刺激後500ミリ秒よりも後は、脳の複数の領域が複雑に関連・干渉しながら同時に活動するため、それらを脳波と脳磁図で解析するのはきわめて困難である。

一方、後者のPET、fMRI、NIRSなどによる手法は、時間分解能がかなり低

く、ミリ秒オーダーの情報伝達の流れを知ることは難しいが、空間分解能は高い。例えば、fMRIでは活動部位をミリメートル単位で確認することができ、しかも、複数の領域の複雑な活動を明確に描写することができる。

つまり、視覚、聴覚、触覚、痛覚などの刺激が身体に与えられた場合、「大脳にその信号が到着してまもなく（遅くとも300～500ミリ秒程度まで）の反応」を解析するには、脳波と脳磁図が適しているが、それより後の脳活動の解析には、PETやfMRIが適しているといえる。このことは、両者をうまく併用すれば、さまざまな脳の活動を時間的にも空間的にも詳細に調べられることを示している。

静止した顔の認知

ヒトの顔は、常に変化している。その表情は、「目の動き」や「口の開閉」といった顔の各部分の変化だけでなく、光のあたり方など、周囲の状況によっても変化する。こうしたさまざまな表情を読み取るには、第一段階として「これは顔だ」ということを認識しなくてはならない。つまり、顔認知の際の脳活動をみるには、まず「静止した顔」に対する脳の情報処理過程の解析が必須となる。私たちは、「目を開いた顔（開眼顔）」「目を閉じた顔（閉眼顔）」「目だけ」「無意味画像」「手」の5種類の視覚刺激（図1）を

図1 実験に使った5種類の図

(Watanabe S et al : Brain Res Cogn Brain Res 8 : 125-142, 1999. より引用)



開眼顔

閉眼顔

目だけ

無意味画像

手

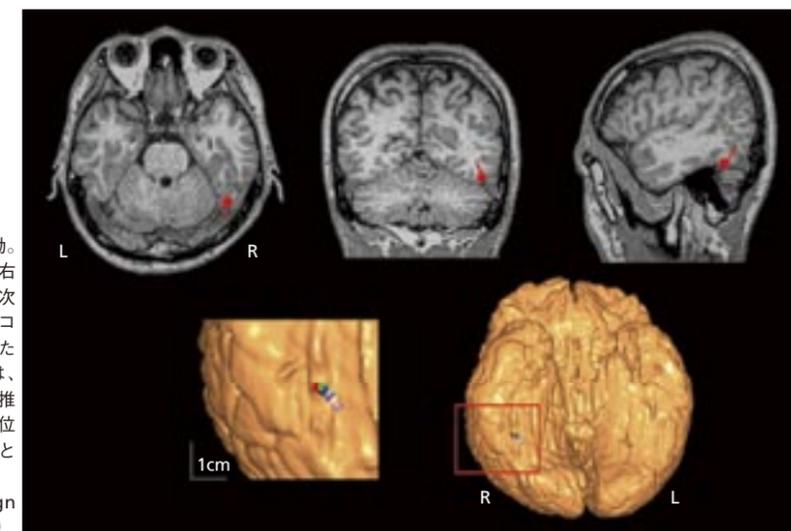


図2 静止した顔を見たときの活動。「静止した顔の画像」を見たときに、右半球で記録された脳磁図の活動を、二次元および三次元MRI上に投影した（コンピューター処理により小脳を除去したものを下から見ている）。活動部位は、側頭葉の下方に位置する紡錘状回だと推定される。静止した顔を認識する部位は、脳の非常に限局した位置にあることが示唆される。

(Watanabe S et al : Brain Res Cogn Brain Res 8 : 125-142, 1999 より引用)

用意し、各刺激に対する反応について、脳磁図を用いて解析してみた。

まず、刺激を与えた約100～120ミリ秒後に、後頭葉の第1次視覚野に活動がみられた。ただし、これはどのような視覚刺激に対してもみられた反応で、刺激の種類による特殊性はなかった。ところが、顔あるいは目の刺激に対してのみ、刺激後約150～170ミリ秒に、右半球側頭葉下面の紡錘状回という部分が活動していた。この部位こそが「顔認知中枢」であった（図2）。

視線の動きと顔

では、「それは顔だ」と認識した後の脳の反応はどのようになっているのだろうか。相手の表情や視線は「顔のパーツ

の動き」の認知、例えば「目の動き」や「口の開閉」などによって作り出される。こうした顔の動きの認知研究は主にサルで進んでおり、動きの変化に特異的に反応するニューロンが、側頭葉の中央部に存在することがわかっている。この部位は、解剖学的には「MT/V5野」とよばれる。

私たちは、ヒトを対象にして、視線が左右から正面を向く動き（目が合う：Back）と、正面から左右に向く動き（目がそれる：Away）に対する脳磁図の反応を比較してみた。すると、どちらの動きに対しても、目が動いた時点から約190ミリ秒後に明瞭な反応がみられた。その活動位置は側頭葉の下側頭溝の後方付近にあり、そこがサルのMT/V5野に相当する人間の脳の部分であると

推定された。

このとき、視線が動くときの脳の活動は、右半球で優位であることがわかった。また、Back条件の場合にはAway条件よりも反応が有意に大きく、活動部位はともにMT/V5野にあるが、Back条件の場合にはAway条件よりも前方にあることがわかった（図3）。この結果は、「相手の目が自分を見る時」と「相手の目が自分からそれるとき」とではニューロン群の活動が同一ではなく、目が合うときのほうがより大きな脳活動になることを示唆している。

ここまでの一連の成果から、私たちは、右半球の側頭葉下面の紡錘状回は主として静止した顔の認知に関与し、同じく右半球の側頭葉側面の上側頭溝とMT

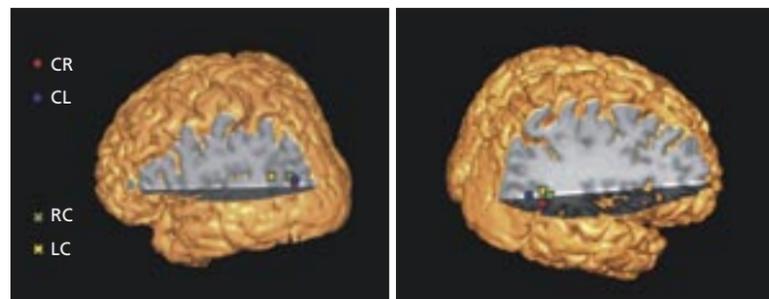


図3 左右の半球から記録された1M成分の活動源。脳磁図の結果から単一双極子モデルにより計算された双極子位置をMRI上に投影したもの。すべての双極子は後頭側頭境界付近、下側頭溝に沿った部位に位置している。R、L、C：右方向、左方向、中心を示す。LC (RC) は左(右)を向いていた目が中心を見る状態 (Back条件)、CL (CR) は中心を向いていた目が左(右)にそれる状態 (Away条件)を示す。Back条件の双極子位置 (xで示される)は、Away条件 (点で示される)に比べて有意に前方に位置する。(Watanabe S et al : Brain Res 1092 : 152-160, 2006 より改変)

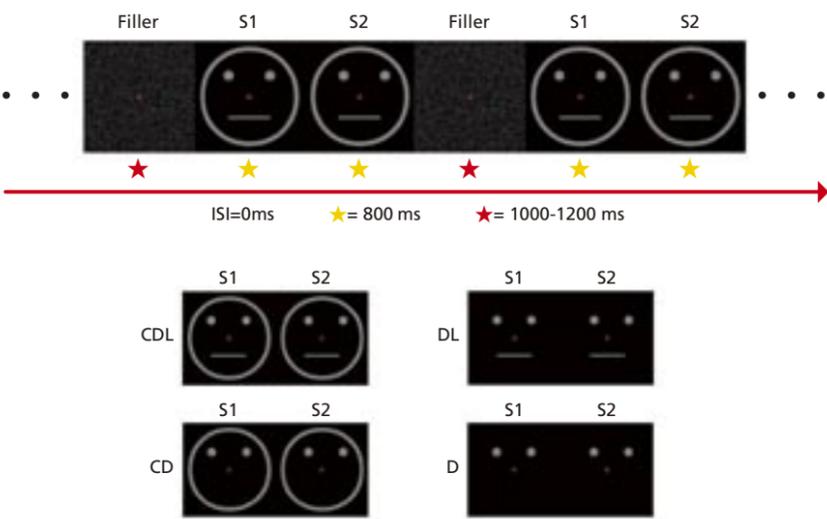


図4 実験に使った顔の模式図。S1の写真が突然S2に変わると、あたかも眼が動いたように見える。Fillerとは、顔の呈示の間に被験者に見せる無意味図形のことを示す。4つの条件の顔模式図を用いた。D:Dotsの意味で、2つの点を示す。L: Lineの意味で、あたかも口のように見える横線を示す。C: Contour (輪郭)の意味で、楕円があたかも顔の輪郭のように見える。D条件ではただの2つの点だが、他の条件、特にCDL条件では、あたかも顔のように見える。(Miki K et al: Neuroimage 35:1624-1635, 2007. より引用)

野は主として「顔や顔のパーツの動き」の認知に大きく関与しているのではないかという仮説を立てるに至った。そのうえで、「条件によっては目のようにも見える2つの点」「口のように見える横線」「顔の輪郭のように見える楕円」を用いた模式的な顔画像(図4)を用いて、2つの点の平行運動が本当に目として認識されるかどうか、そのときの脳磁場反応がどうなるかを検討した。

刺激としては、①点だけ、②点と横線だけ、③点と輪郭だけ、④点と横線と輪郭がすべて揃っている、という4条件を用いた。その際、いずれの条件においても、2つの点の平行運動は同一にした。感覚的には、①の条件ではただの点の動きに見えるが、②と③の条件では場合に

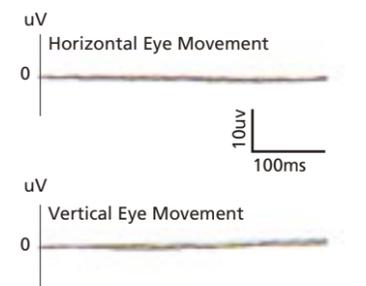
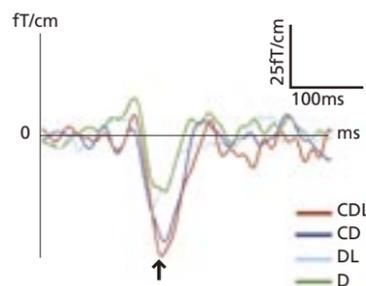
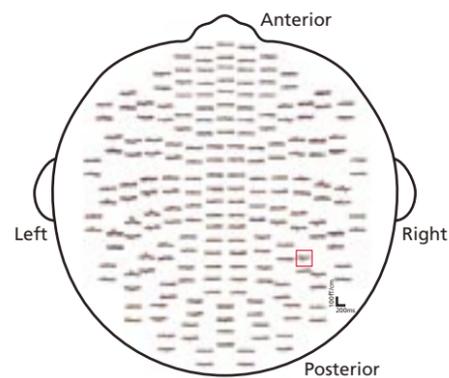


図5 各条件における、右半球のMT/V5野付近の脳磁図波形。いずれの条件においても、点の物理学的な動きは同じだが、脳磁図反応については、2つの点だけが見える条件(D条件)よりも、輪郭や口があって目の動きに見える条件(CDL条件やCD条件)のほうが有意に大きい。(Miki K et al : Neuroimage 35 : 1624-1635, 2007 より引用)

よっては点が目の動きに見える、④の条件では完全に目の動きに見える。

このような条件のとき、同一の点の動きでも、それが目としてとらえられているか否かによってMT/V5野の活動が異なるかどうかを調べてみた。すると、以下のことがわかった(図5)。

- ④の条件で最も反応が大きい。
- ③の条件では④よりも少し小さい。
- ②の条件では④の条件よりも有意に小さい。
- ①の条件では最も反応が小さい。

これらのことから、物理的に同一の動きを認知する場合でも、それを目の動きと思う場合には脳の反応は有意に大きく

なり、目と認知されるかどうかは、口よりも顔の輪郭の存在のほうがより重要であることが示唆された。

逆さまの顔と左半球の機能

次に、「逆さまの顔(倒立顔)」の認知について調べてみることにした。日常生活では、母親がベッドの乳児をのぞき込むときなど、相手の顔が逆さまに見える状況は少なくない。どのような物体でも逆さになっていると認識しにくくなるが、顔の場合はどうだろうか。

実は、これまでの研究により、顔の場合にはとくに認識しにくくなる傾向が強いことがわかっている。このことを「倒立顔効果(face inversion effect)」という。私たちは脳磁図を用いて実際の倒立顔

効果を検証してみた。すると、倒立顔を見たときの反応には、顕著な半球間差が存在するらしいということがわかった(図6)。というのは、右半球でのみ、倒立顔に対する反応時間が正立顔よりも長かったのである。この結果は、過去の心理学実験でもたらされた成果(反応時間の遅延)にも合致するものであった。ところが興味深いことに、左半球では、倒立顔を見たときの反応時間が正立顔のときよりも短縮していた。どうやら、倒立顔の認知には、左半球が主要な役目を果たしているらしい。

特異な視空間認知障害を示すことで知られる疾患に、Williams症候群がある。この疾患では顔の認知は比較的保たれていると考えられてきたが、本当にそうな

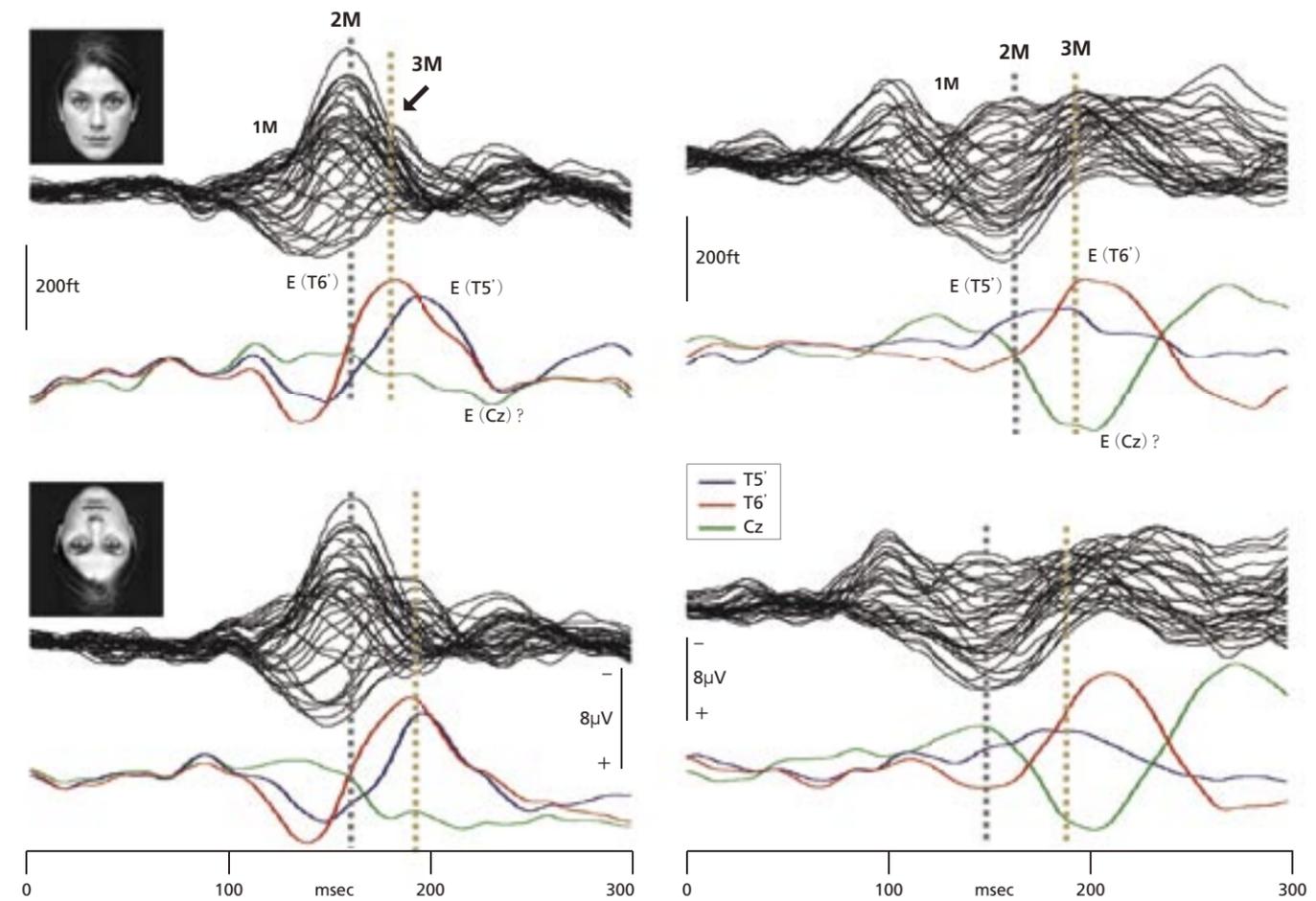


図6 正立顔あるいは倒立顔刺激に対し、左の図は左半球刺激時に右半球から、右の図は右半球刺激時に左半球から記録したもの。各図の上段は脳磁図波形、下段は脳波波形を示す。右半球では、倒立顔に対する反応が正立顔に対する反応よりも明らかに遅れるが(倒立顔効果)、左半球ではむしろ早い。(Watanabe S et al : Neuroscience 116 : 879-895, 2003 より引用)



図7 乳児の顔認知実験の様子。乳児用のNIRS測定プローブを装着しているが、嫌がっている様子はまったくない。提供：中央大学文学部心理学科、山口真美教授

のか。私たちは、同症候群の13歳の男児に正立顔と倒立顔を見せて脳磁図を記録してみた。すると、右半球でも倒立顔に対する反応が正立顔よりも短く、倒立顔効果がみられないことがわかった。Williams症候群では、空間的な配置全体における各構成要素の認知は極めて低い。各構成要素一つ一つの認知は比較的保たれているとされる。したがって、今回の結果は、顔を全体として認知するよりも顔の部分を知覚するほうの反応が早く、その特性が倒立顔の処理においても発現した結果だといえそうだ。

顔認知能の発達過程

いうまでもなく、こうした顔認知に関するさまざまな機能を獲得するのは、乳児期から小児期にかけてである。とくに、乳児がどのようにして顔を認知しているのか、その発達過程はどうなっているのかという点は非常に興味深い。ただし、言葉が未成熟な乳幼児の認知能は、心理実験による推測に頼る部分が大きかった。最近になって、冒頭で紹介したNIRSが開発され、乳児の認知機能を直接測定することで、さまざまな客観的な情報が得られるようになった。NIRSは軽いため装着しても違和感が少なく、乳児の負担にならない(図7)。また、身体や頭部を固定する必要がないため、覚醒

状態にある乳児でも計測できるという非常に優れた利点をもつ。

私たちはこのNIRSを使って、生後5～8カ月(平均6カ月)の乳児10名を対象に、「正立顔」、「倒立顔」、「野菜の提示」に対する脳活動を計測してみた。すると、正立顔の観察中だけに、右側頭部において有意に活動が上昇することがわかった。つまり、正立顔については、わずかに生後5カ月でも「それが顔である」ということをきちんと認識し、そのときの脳の活動は大人とおなじように右半球で優位であることが明らかになったのである。

さらに、横顔を認知できるかどうかについても調べたところ、5カ月では無理で、8カ月頃ようやく認知可能になることがわかった。日常生活では、母親が携帯電話をかけながら乳児に横顔だけを見せるといったことも多いと思うが、乳児にとっては、正面を向いて接するほうが好ましいといえそうだ。

つづく小児期では、さまざまな認知機能が急速に成熟していく。それだけ、顔に関する視覚情報をうまく処理する力は、社会的なコミュニケーションのためにきわめて重要だということだろう。私たちは、これら顔情報処理の特性の発達に関する研究成果を「小児の脳機能発達評価の研究手法」の開発に役立てたいと

考え、多数の小児を対象とした脳波による顔認知機能の研究を始めている。

その一つに、公募した6歳から15歳の児童および生徒の計148名に対し、視覚誘発脳波の測定を行い、顔に特異的とされる脳波成分(刺激後約170ミリ秒後に陰性波として記録され、N170成分とよばれる)をそれぞれの年代で比較解析しようとするものがある。まだ結論には至っていないが、大まかな傾向としては、6歳では正立顔、倒立顔のそれぞれに対するN170成分の反応に違いはみられないが、10歳頃には少し違いがみられるようになり、14歳頃になると成人と同じような倒立効果がみられるようである。

これらの結果は、6歳から10歳の間に顔情報の処理様式に大きな変化がもたらされることを示唆しており、中学生くらいになると、成人と同じような顔認知能力が獲得されることを示唆している。

「顔の情報」は特別な刺激

こうして、顔の認知に関するさまざまな知見がもたらされ始めているが、最後に、「意識されない視覚情報(サブリミナル刺激)」の中に顔が隠されている場合の脳の反応について述べたい。

ビデオなどの画像の途中に、非常に短い時間(例えば、0.01秒)だけ特殊な画像を挿入すると、その視覚刺激は、私たちの意識には上ることなく脳内で情報処理されることになる。このような意識閾値以下の刺激が、サブリミナル刺激である。例えば、映画の上映中にサブリミナル刺激として「キャビアの画像」を挿入すると、映画を観ている人はまったく意識しないうちに、喉の渇きを覚え、休憩時間にコーラを買い求める、といった現象がおきる。ただし現在では、このようなサブリミナル効果を引き起こす視覚画像を挿入することは、法律で禁止されている。

一方、「顔は、さまざまな刺激の中でも生物学的に特異な反応を誘発する」ということが指摘されはじめている。私たちはこの仮説を検討するために、あくまでも実験的に、以下のような画像を用

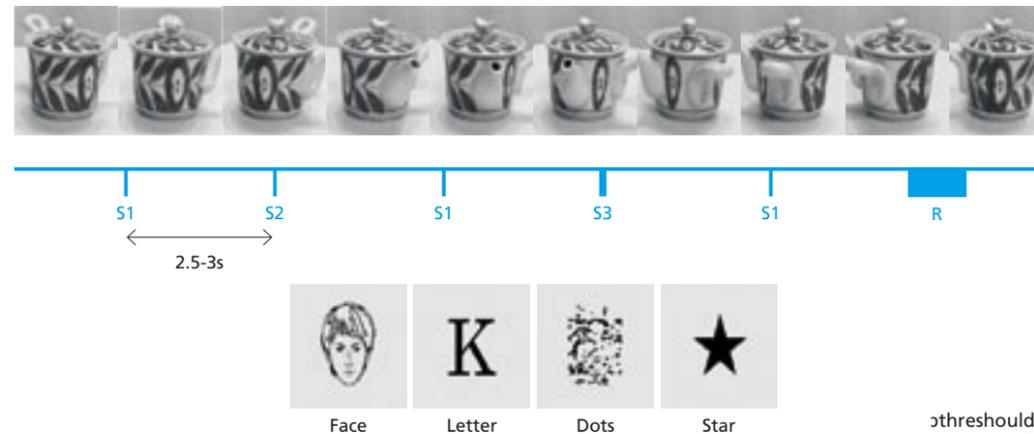


図8 実験に使ったビデオの解説。上図のように、急須がぐるぐる回っているビデオ画像の間に、非常に短時間、顔・文字・無意味な点の集まり、星の4種類の画像が挿入される。画像が挿入されたことがまったくわからない条件(サブリミナル、subliminalあるいはsubthreshold)、何かが挿入されたが、それが何であるかわからない条件(中間条件、Intermediate)、挿入された画像が何であるか明確にわかる条件(明示条件、suprathreshold)の3条件を用いた実験を行った。(Hoshiyama Metal: Neurosci Res 46: 435-442, 2003より引用)

いて、顔に対するサブリミナル効果を調べてみた。急須がぐるぐる回ると回り続けるビデオの途中に、「顔」「文字」「無意味な点の集合」「星」の4種類の画像を挿入した(図8)。挿入時間は、「意識に上らない、完全なサブリミナル条件」「不完全なサブリミナル条件(何らかの画像が挿入されたのはわかるが、それが何であるかはわからない)」「はっきりと挿入された画像がわかる条件」の3種類を用いた。

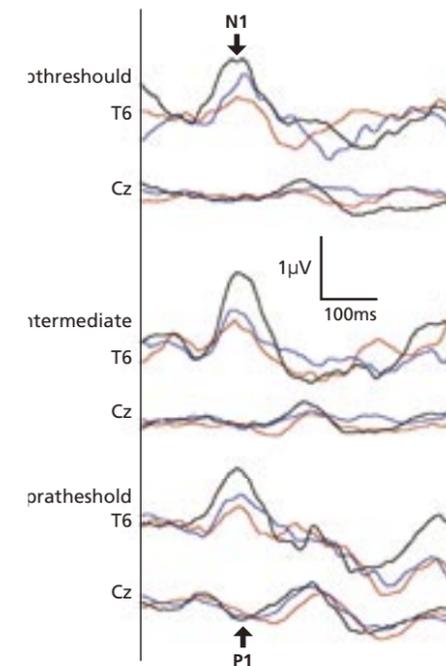
結果は、完全あるいは不完全なサブリミナル刺激であっても、顔に対する脳の反応がいちばん大きく、次に文字、最も反応が小さいのは無意味な点であった(図9)。この結果は、たとえ意識には上らないような短時間の画像を見た場合でも、顔に対しては脳が非常に鋭敏に反応することを示している。私たちは、ある

図9 サブリミナル効果実験の3条件における、顔(黒線)、文字(青線)、無意味な点(赤線)に対する誘発脳波反応。どの条件のときでも、顔に対する反応が最も大きい。脳磁図でも同様の所見を得ている。(Hoshiyama M et al: Neurosci Res 46: 435-442, 2003より引用)

人に会ったときに「どこでいつ会ったのかは覚えていないが、以前に会ったことだけは鮮明にわかる」といったことをしばしば経験するが、これも同様の反応だといえそうだ。

動物や虫の体の模様や樹木のくぼみなどが、なぜか顔のように見えたという経験も多いだろう。このような出来事も、「顔の記憶や認知」がいかに重要かということを示唆している。顔の認知に関する謎はまだ多く残されているが、研究が加速して進んでいくことを期待したい。

* ここで紹介した研究は以下の方々との共同研究によるものである。
自然科学研究機構生理学研究所: 三木研作、本田結城子 名古屋大学医学部: 宝珠山稔、渡辺昌子 愛知県心身障害者コロニー発達障害研究所: 中村みほ 中央大学文学部心理学科: 大塚由美子、仲渡江美、山口真美
ホームページ: <http://www.nips.ac.jp/smf/>



柿木隆介(かきぎ・りゅうすけ) 神経内科医となったのち、学位取得のためヒトの脳波の研究を始めた。生理学研究所に日本で初めての脳磁図の研究施設ができたときから、その研究に携わる。心理学が好きであること、臨床医時代も高次脳機能障害患者の検査と治療を積極的に行ってきたことなどから、しだいに認知系の研究が主要テーマとなってきた。現在は、顔認知の研究と、痛み認知時の情動反応(「心の痛み」)の研究を積極的に進めている。