



脳画像の認識論と神経美学：（〈特集〉脳／美学— 脳科学への感性学的アプローチ）

井上，研

(Citation)

美学芸術学論集, 8:36-51

(Issue Date)

2012-03

(Resource Type)

departmental bulletin paper

(Version)

Version of Record

(JaLCD0I)

<https://doi.org/10.24546/81003946>

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/81003946>



脳画像の認識論と神経美学¹

井上研

1. はじめに

fMRI（機能的磁気共鳴画像法）などの脳機能画像化技術の発展によって、生きたヒトの脳の動きを非侵襲的に測定することが可能となった。この技術を用いた研究は、様々な認知や言語などの高次機能の解明に大きく貢献している。近年、より複雑な行動や認知プロセスの解明のために脳機能画像化技術が用いられるようになってきており、その研究対象は多様化の傾向にある。経済活動や投票行動などはそれぞれ神経経済学（neuroeconomics）、神経政治学（neuropolitics）という学問分野としてすでに多くの研究がなされている。本稿で取り上げる神経美学（neuroesthetics）も、脳機能画像化技術を用いた研究の多様化の流れの中で現れてきた研究領域と言えるだろう。

神経美学の目的は、「美を経験しているときの脳活動を計測し、どのような神経基盤を持つのかを調べること」（池田・苧阪、2008年、318ページ）である。脳機能画像化技術を用いた神経美学の実験が本格的に行われたのは2004年である。この年に Cela-Conde ら（2004）、Kawabata と Zeki（2004）、Vartanian と Goel（2004）の三つの論文が出版された。これらの研究は、絵画や図形に対する視覚的な美しさの判断に関わる脳領域を同定しようとしている点が共通している（川畑、2009年、91ページ）。その後、2009年（Cinzia and Vittorio 2009）と2010年（Chatterjee 2010）にはレビュー論文が出版されており、神経美学は着実に知見を積み重ねているようである。また、インターネット上でも、国際的な研究者ネットワーク²が形成されており、一つの新しい研究分野の構築が進んでいる印象が強い。

本稿では、神経美学の研究を取り上げて批判的に検討することを試みる。その際、検討のためのツールとして「脳画像の認識論」という観点を導入する。内容については本論で詳しく述べるが、ここで予め脳画像の認識論とは何かを簡単に言い表すならば次のようになる。すなわち、脳画像から、どういうことをどの程度の正しさに引き出すことができるのかについて、脳画像の撮像原理や実験の方法論などを考慮に入れて分析するということである。

脳画像は見た目のインパクトが強く、まるで脳の写真を撮ったかのようにみえる（図1）。そ

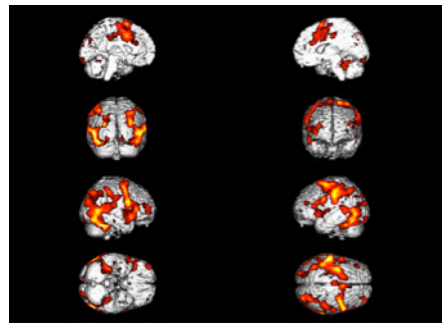


図1 脳機能画像
筆者の脳機能画像（名古屋大学医学系研究科
原田宗子氏提供）

1 本稿は、神戸大学文学部で行われた研究会「脳／美学－脳科学のイメージ（論）」での口頭発表（2011年11月19日）を元としている。当日は他のパネリスト、オーディエンスから大変貴重な示唆的なコメントをいただくことができた。この場を借りてお礼申し上げる。

2 ロンドン大学とカリフォルニア大学バークレー校による Institute of Neuroesthetics (<http://neuroesthetics.org/index.php>) とバレアレス諸島大学の心理学科による International Network for Neuroaesthetics (<http://neuroaesthetics.net/>) というサイトがある（両サイトとも2012年2月25日アクセス最終確認）。

してまた、画像に表現されている内容は非常に明白なように思われる。つまり、脳の活動を直接的に観察した結果が表現されているという印象を持つ。しかし、脳画像は複雑な測定装置によってデータを得、複雑なデータ処理を経た末に生成されるものである。測定されたデータと生成された画像の関係は非常に込み入っている。それゆえ、脳画像の解釈は専門家ですら注意を要するものなのである。現在でも脳画像の解釈に関わる問題について、専門家達は多くの議論を戦わせている³。脳神経科学の非専門家についても、脳画像が添えられているだけで誤った科学的説明でもそれを妥当だと判断してしまう、という報告 (McCabe and Castel 2008) や、科学的に妥当でない説明であっても、その説明に脳神経科学的な情報 (実際にはその情報は与えられた説明には何の関係もない) が付加されているだけで、より説得力があると判断してしまうという実験結果 (Weisberg et al. 2008) も報告されている。ゆえに脳神経科学の非専門家はなおのこと脳画像の解釈については慎重でなければならない。

神経美学においても、図1のような脳機能画像を元に、「美的判断は脳の○○という部位で行われている」というような結論を引き出す。それゆえ、脳機能画像の解釈に関わる問題は神経美学の研究にも関係する。本稿では神経美学の研究を批判的に検討するための視座として、脳画像の解釈に関わる認識論的な問題点に焦点を当てる。それは神経美学についてどのような評価をするにせよ、その評価が正当なものとなされるためには、神経美学のもたらす知見がどのような性質のものであるかについての理解が必要と考えるからである。

以下の議論の流れとしては、第2節でfMRIを用いた典型的な研究を紹介しながら、fMRIの撮像原理や実験の論理を概観する。第3節で脳画像の認識論について論じる。そこでは特に認識論的ギャップという概念を導入する。それを踏まえて第4節では神経美学の研究を批判的に検討する。

2. fMRI 研究紹介

fMRI 研究では、実験参加者はある刺激を繰り返し与えられ、それに反応している間の脳の活動が測定される。研究の目的は脳の活動と認知活動とを結び付けることである。本節ではfMRI研究を紹介しながら、fMRIは何を測定するのか、実験の基本的な論理、脳画像の色の付いている部分が示す意味について、本稿の議論に関係する部分だけを取り上げてごく簡単に説明する。ここでは事例として Kanwisher ら (1997) の研究を取り上げる。

Kanwisher らの研究の目的は、ヒトの顔の認識に関わる脳部位を同定することである。彼女らの研究の背景を説明しておこう。彼女らの研究に先立ち、脳

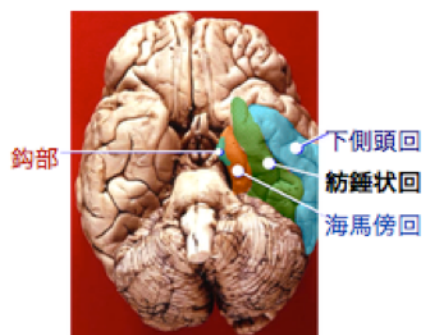


図2 下側頭回と紡錘状回

(<http://ja.wikipedia.org/wiki/%E7%B4%A1%E9%8C%98%E7%8A%B6%E5%9B%9E>)

3 本稿では紹介しないが、脳画像の生成に掛かる統計的な処理についての問題点を指摘し、大きな論争を巻き起こしたものに (Vul et al. 2009) がある。また、脳画像の認識論的問題について本稿よりも広範な話題を扱っている (Hanson and Bunzl eds. 2010) も挙げておく。

を損傷した患者やてんかん患者、マカクサルを使った研究などから、物体の認識と顔の認識は質的に異なるプロセスであり、それぞれ異なる脳の部位で処理されているということが示唆されていた。マカクサルを使った研究では、顔に選択的に反応を示すのは上側頭溝 (superior temporal sulcus; STS) という部位であることが明らかになった。また、ヒトにおいては、下側頭部を損傷した患者は顔の認識だけが選択的にできなくなる症状が現れるという報告が数多くなされていた。さらにてんかん患者は発作を抑えるために、脳に電極を埋め込まれているのだが、顔を見たときにだけ紡錘状回に電位が生じるということが観察されている(図2)。以上のような知見から、外線条皮質 (V1 と呼ばれる一次視覚野以外の V2、V3、V4、V5 領域の視覚野のこと) に顔を認識するモジュールが存在するということが仮説として持たれていた。しかし、脳損傷患者からの証拠だけでは、仮説をサポートするには弱い。なぜなら、脳の損傷部位は患者ごとに少しずつ異なっており、損傷範囲も一様ではないからである。このような背景から、Kanwisher らは健常なヒトを実験に使うことができる MRI を用いて、顔の認識と関係する脳の部位のより明確な特定を試みたのである (Kanwisher et al. 1997, p.4302)。

実験には 20 人が参加した。MRI に入った実験参加者はモニタに提示される写真を見るように教示された。提示される写真は二つのカテゴリに分けられた。第 1 のカテゴリはヒトの顔写真である。第 2 のカテゴリはヒトの顔以外の物 (トウモロコシ、電話、カニなど) の写真である。写真が提示される順番は図 3 にあるように、まずは写真なしで注視点を見ている (図中「・」)、次に顔写真 (図中 F)、また写真なしの注視点、それから物の写真 (図中 O) というサイクルを二回繰り返す。提示時間は、写真なしの注視点が 20 秒で写真ありが 30 秒である。この 30 秒の間

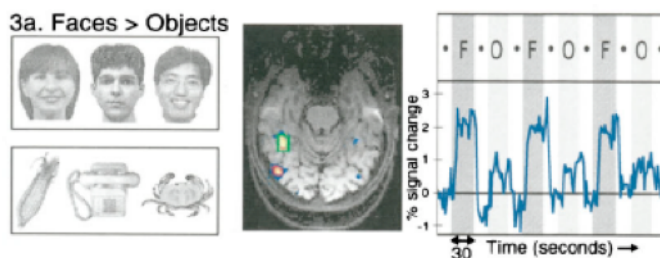


図 3 実験で用いられた写真と実験結果
(Kanwisher et al. 1997 より転載)

に 45 枚の写真が瞬時 (500 ミリ秒間) に次々と提示される。以上のタスクを行っている間の脳の活動が測定された。

さて、たった今、タスクが行われている間の脳の活動が測定されたと言ったが、具体的には何が測られたのだろうか⁴。ヒトの生体に豊富にある水の水素原子がここでの主役である。原子は均一な静磁場に置かれると、特定の周波数の電磁波を吸収し、放出する。これを核磁気共鳴現象と呼ぶ。MRI はその名が示すように、核磁気共鳴現象によって水素原子が放出する電磁波 (MR 信号⁵) を計測して、生体構造の断面画像を撮像する装置である。つまり MRI は静磁場を作り出

4 fMRI の撮像原理の解説については、(池田・芋阪 2008)、(定藤 2004) を参考にした。

5 より正確に言うと、水素原子が放出する電磁波は MR 波と呼ばれる。MR 信号は、MR 波が検出器であるコイルに達することで起こる電磁誘導によって生じる交流電流のことを指す。

し、生体内の水素原子に電磁波を照射し、跳ね返ってくる電磁波を捉える装置なのである。MRI が生成するのはある時間に撮られた静止画、断層画像である。一方 fMRI は、断層画像をすばやく何枚も撮ることによってその時間変化を捉え、脳機能つまり脳神経細胞の活動の様子を描き出す。神経活動が生じると、その領域では酸素の消費量が増大し、酸化ヘモグロビンが酸素を放出して還元型ヘモグロビンに変化する。そしてそこへ新たな酸化ヘモグロビンが供給されるというプロセスが生じる。酸化ヘモグロビンと還元型ヘモグロビンは磁性的性質が異なっており、還元型ヘモグロビンは酸化ヘモグロビンよりも磁化率が高い。つまりより磁石としての性質が強いのである。そのため、還元型ヘモグロビンが血管内に存在すると、MRI によって作られた磁場の均一さが局所的に乱れ、その部分の MR 信号が弱まる。このプロセスが MR 信号の強弱の時間的な変化として検出されるのである。このような酸化ヘモグロビンと還元型ヘモグロビンの血管内の量の時間変化によってもたらされる MR 信号の変化は BOLD 効果 (blood oxygenation level dependent effect) と呼ばれている。

次は、脳画像についている赤や黄といった色が何を表しているのか、についてである。fMRI 研究はある認知プロセスと関わりのある脳部位を調べるのが目的である。この目的のために広く用いられている方法は引き算法 (subtraction method) と呼ばれている。課題遂行中の信号と、対象となる状態 (たいていは課題を遂行していない安静状態) の信号とを比較して、統計的に有意な信号変化が見られた領域の分布を明らかにするのである。Kanwisher らの実験の場合、安静状態とは写真のない画面の注視点を見ているという状態で、課題遂行とは顔写真を見るとか物の写真を見えるということである。顔の認識に関わる脳の領域を同定するために、まず顔写真を見ているときに得られた信号から、安静状態のときに得られた信号を引いて、統計的に有意な信号変化が見られた部位を特定する。物の写真を見る場合も同じように、物の写真を見ている時に得られた信号から安静状態の信号を引いて、物の写真を見ている時に統計的に有意な信号変化があった場所を特定する。その上で、顔写真を見ている時の信号から物の写真を見ている時の信号を引いて、出た差が統計的に有意な差であるかどうかを検定する。そして有意差があった部位に色をつけるのである。つまり、脳画像の“光っている”ところは、その部位における二条件間の信号強度の差が偶然ではなかったということを示している。このような論理で Kanwisher らは顔を見ているときにだけ活動している脳の部位を取り出したのである。

このような、一見遠回りとも思える方法を採用するのは次の理由による。それは認知的に特に何もしていなくても、脳では至る所で血流の変化が生じている (例えば生命維持のため) ので、ただ顔写真を見ている時の信号変化を測定しただけでは意味のある画像は得られないからである。顔写真を見ている時も脳の至る所が活動しており、顔の認識にだけ関係する部位を特定できないのである。

以上でごく簡単にはあるが、fMRI の測定原理と実験の論理を見てきた。次節以降の議論で重要になる点をまとめておく。まず、fMRI 研究で測定されているのは、脳神経細胞が活動した後に生じる、局所的な血流量の変化である。だがそれは血流量を直接測っているのではなく、あくまで酸化ヘモグロビンと還元型ヘモグロビンの量の変化が引き起こす局所磁場の乱れから血流量の変化を推定しているにすぎない。それに加えて、脳神経細胞の電氣的な活動 (活動電位) を直接捉えているわけでもない。また、脳画像において色が付けられている部分は、実験条件間の

信号変化を引き算して、統計的な検定をした結果のプロットであり、それはつまり脳画像の“光っている”部分は血流量を表しているのではなく、統計値を表しているということである。

3. 認識論的ギャップ

fMRI 研究は、実験によってデータを得た後、コンピュータ処理によって脳画像を作成し、その結果に基づき、認知活動と脳活動を結び付ける結論を引き出している。Kanwisher らも実験によってデータを得て脳画像を作成し、紡錘状回が顔を認識する領域であるという結論を出した。ここで行われている推論は決して演繹的な推論ではない。脳画像から演繹的に彼女らが出した結論が出てきたわけではない。脳画像から結論に至る推論は蓋然的な推論である。そこには結論に至るために暗黙的に前提されていたり、結論を出すために敢えて無視したりしている事実もあるだろう。蓋然的であるがゆえに、画像とそれから引き出した結論の間には飛躍がある。その飛躍部分を「認識論的なギャップ」と呼ぶことにする。この認識論的なギャップという観点から fMRI 研究を分析すると、その研究に含まれる暗黙の前提や敢えて無視している事実などが明確になる。

認識論的ギャップと脳画像から引き出される結論との関係について注意すべき点がある。それは、脳画像から結論を引き出す推論には飛躍があると今述べたが、その飛躍の中には認められるであろう飛躍と認められない飛躍があるという点である。科学の研究は多かれ少なかれ、認識論的なギャップを超えて新たな仮説を立て、新たな知識を生み出す活動である。程よく大胆な結論、つまりある程度の飛躍が含まれる推論は科学知識の発展に寄与する。それはそこで出された結論が新たな仮説となり、新たな研究領域が開かれる可能性があるからである。しかし、あまりにも幅の広いギャップ、例えば考慮に入れるべき事実をいくつも除外して結論を引き出している研究は、その妥当性に疑いが生じてくる。以下ではギャップとなり得る要素を順に挙げていく。

3-1. 空間分解能

脳画像はボクセルと呼ばれる構成要素からなる。よく引用される fMRI 研究の上位 300 本を調べると、生成された脳画像の空間分解能（＝ボクセルのサイズ）は、 $9\text{-}16\text{mm}^2 \times 5\text{-}7\text{mm}$ であり、体積にして約 55mm^3 であった。この 55mm^3 のボクセルの中には、約 550 万個のニューロンが含まれることになる（Logothetis 2008, p. 875）（図 4）。

このサイズの分解能は、大脳皮質における比較的広範囲にわたる機能の分化を調べるのには十分であるが、脳神経細胞一個のレベルでその領域で何が生じているのかを知るのには不十分である。Logothetis は、動物実験において一つ一つの脳神経細胞に電極を挿して測定された活動電位と、ヒトから測定された fMRI 信号を直接比べることは、正しくない結論を導く

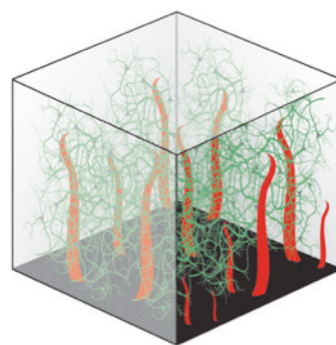


図 4 1 ボクセルあたりに含まれるニューロンと血管（イメージ）

©T. Dube

(<http://www.sott.net/articles/show/198375-Trawling-the-Brain>)

可能性があるとし、BOLD 効果にだけ依存した大半の fMRI 研究が、それぞれ注目する領域の脳神経細胞の性質を明らかにすることができなくても、そのことに何の驚きもないと述べている (ibid.)。

空間分解能という要素を考慮すると、脳画像だけからある認知活動の脳神経細胞レベルでのメカニズムについての結論を引き出すことは難しいということが含意される。

3-2. 時間分解能

第2節で述べたように、fMRI が測定するのは脳神経細胞が活動した後に生じる、局所的な血流量の変化である。脳神経細胞が活動すると、その部位の血流量に変化が生じ、MR 信号に変化が現れる。信号の変化は徐々に現れ、神経活動が生じてから約6秒後にピークに達する (図5)。つまり、fMRI の時間分解能は約6秒である。この6秒以内に生じる事柄について、fMRI は捉えることができないのである。このことは fMRI がある認知活動について言えることに対する一つの制約条件となる。というのも、脳神経細胞の電気的な活動は数十ミリ秒単位で生じるからである。空間分解能と同様に、時間分解能においても fMRI は脳神経細胞レベルの活動を捉えることが困難である。

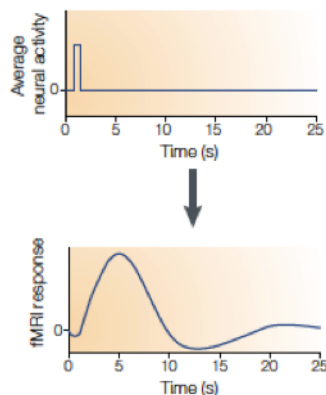


図5 MR 信号の時間変化 (Heeger and Ress 2002 より転載)

以上のことから、脳画像は認知プロセスの大まかな見取り図を描くことができるが、脳神経細胞レベルでのプロセスについては言えることが少ないということが含意される。

3-3. 逆向きの推論



図6 順向きの推論

逆向きの推論について説明する前にまず、順向きの推論について説明する。図6を見ていただきたい。順向きの推論とは、それに含まれる認知プロセスが比較的明らかな課題を実験参加者に行わせ、作成した脳画像と認知プロセスを関連づける、という推論である。第2節で紹介した Kanwisher らの研究も順向きの推論によって結論を導き出している。

一方、逆向きの推論とは、それに含まれる認知プロセスが明らかでない (多くの場合は複雑な) 課題を実験参加者に行わせ、できた脳画像から、行わせた課題に含まれる認知プロセスを推論す

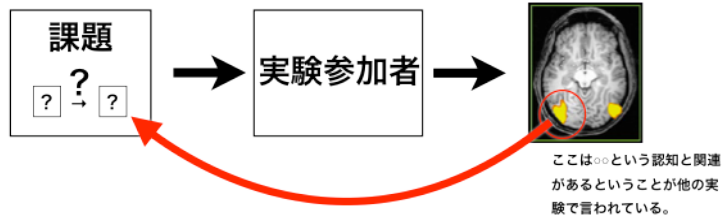


図7 逆向きの推論

るというものである（図7）。

この推論を形式的に書くと以下のようになる。

1. A という心の状態にあると、脳の X という部位が活動する。（他の実験からの前提）
2. 今、実験において脳の X という部位の活動が見られた。
3. ゆえに、実験参加者は A という心の状態にあったのだ。（結論）

Poldrack（2006）はこの推論は後件肯定の誤謬を冒していると指摘する。より単純な後件肯定の誤謬の例をみれば、Poldrack の論点が明確になるだろう。次の例は、今挙げた推論と同じ形の推論である。

1. 雨が降ったなら地面が濡れている。
2. 今、外を見ると地面が濡れている。
3. 雨が降った。

この推論が誤りであることは明白であろう。地面が濡れているからと言って雨が降ったとは限らないからである。例えば、誰かが水を撒いたり水道管が破裂したりして地面が濡れた可能性がある⁶。それと同様に、たとえ X という脳部位の活動が見られたからといって、必ず A という心の状態が実現されるわけではない。ある一つの脳部位が複数の機能を果たす可能性があるのである。実際、ブロードマンの脳地図で6野と呼ばれる部位は、意識的な手と腕の動き、空間的ワーキングメモリ、表情の認識、痛み、痒みなどの研究で活動が見られるということが指摘されている（Hardcastle and Stewart 2002, p. 79）。扁桃体という側頭葉の内側の奥に位置する部位も、様々なタスク遂行中に活動することが報告されている（Miller 2008）。

実際の研究に見られる逆向きの推論を見てみよう。取り上げるのは、Greene らの行った道徳的判断に関する fMRI 研究である（Greene et al. 2001）。彼らは路面電車のジレンマと歩道橋のジレンマという道徳的ジレンマに対して多くの人の回答が首尾一貫しないのはなぜか、という問いに答えようとした。二つのジレンマは共に、5 人の命を救うために 1 人の命を犠牲にするのは道徳的に適切かどうかを問う問題となっている。異なっているのは、5 人の命を救う際に 1 人の命を犠牲にしてしまう手段である。路面電車のジレンマの場合、ブレーキの壊れた暴走電車の進路

⁶ 後件肯定の誤謬の説明は、（戸田山 2002）を参考にした。

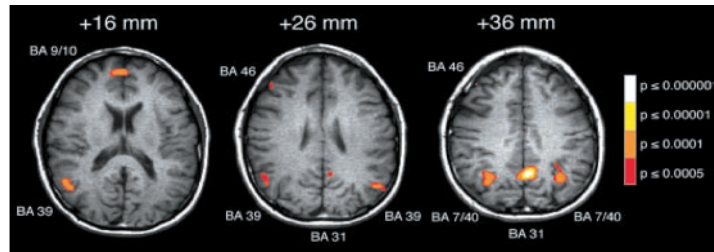


図 8 Greene らの得た脳画像 (Greene et al. 2001 から転載)

の切り替えだけがあなたの手に委ねられているという状況である。電車が行く線路の先は二股に分かれており、片方には 5 人の鉄道作業員が、もう片方には 1 人の鉄道作業員が作業中で、どちらも暴走電車が近づいていることに気づいていない。ポイントを切り替えなければ、電車はそのまま 5 人が居る方向へ行ってしまう。あなたはポイントを切り替えるか、というのが問いである。歩道橋のジレンマの場合、線路は一本だけで、電車が行く先には 5 人の作業員が作業中である。5 人は電車の接近に気づいていない。線路の上に架かる歩道橋にはあなたともう 1 人の人がいる。そのまま何もしなければ電車は 5 人に突っ込んでいってしまう。しかしもしあなたが隣にいる人を歩道橋から線路上へ突き落として電車を止めれば、その人は犠牲になってしまいが、5 人の命は助かる。あなたは自らの手で 1 人の人を歩道橋から突き落として電車を止めるか、というのが問いである。多くの人は路面電車のジレンマの問いにはイエスと答え、歩道橋のジレンマの問いにはノーと答える。功利主義的に考えれば、両方ともイエスと答えるのが筋が通っていて合理的である。回答にずれが生じるのはなぜなのか。これが Greene らの問いである。

彼らは道徳的な判断に感情が関わっているという仮説を立て、それを検証する実験を組み立てた。実験参加者に行わせたのは、直接手を下す道徳的ジレンマ（歩道橋のジレンマと類似のジレンマである）、直接手を下さない道徳的ジレンマ（路面電車のジレンマと類似）、道徳的でないジレンマが含まれるストーリーをそれぞれ読み、その行為が適切かどうかを判断させるというタスクである。結果として、直接手を下す道徳的ジレンマは、他の条件に比べて、内側前頭回 (BA9/10)、後帯状回 (BA31)、角回 (BA39、両側) に活動が見られた (図 8)。

この結果を得て、Greene らは次のような考察をしている。われわれの実験で得られた脳の活動部位は、他の研究では感情と関連づけられている。それゆえ、直接手を下す道徳的ジレンマを判断する際には感情的な反応が起こって判断が歪み、二つの道徳的ジレンマの回答を分けていると考えられる (Greene et al. 2001, pp. 2106-7)。彼らの推論を上記と同様の推論形式に当てはめると、以下ようになる。

1. タスクに感情が関与しているとき、内側前頭回 (BA9/10)、後帯状回 (BA31)、角回 (BA39、両側) が活動するという報告がある。
2. われわれの実験では、直接手を下す道徳的ジレンマを判断しているときに、内側前頭回 (BA9/10)、後帯状回 (BA31)、角回 (BA39、両側) の活動が見られた。
3. したがって、直接手を下す道徳的ジレンマの判断には感情が関与していた。

Greene らの研究は、作成した脳画像からタスクに含まれていた心的状態を推論する逆向きの推論を行っていることがわかる。しかし、これらの脳部位の活動によって、実験参加者がタスク遂行中に感情的な心的状態になっていたとは一概には言えない。そのことを示すためには、「感情的な心的状態にないときにはこれらの部位は活動しない」、つまり「これらの部位が活動するのは感情的な心的状態にあるときに限られる」ということが確かめられていなければならない。だが Greene らの論文の中には、そのことは示されていない。それに、これらの部位は、感情に関わっているだけではなく、記憶や言語とも関係があるという批判もある（Miller 2008, p. 1413）。それゆえ、彼らの立てた仮説が彼らの得た実験データによって支持された、とは言えない。彼らの出した結論に対しては、確かめられていない部分があるので、正しいかどうかはまだ不確定であり、さらなる証拠が求められると考えるのが安全である。

認識論的ギャップという観点から見てみると、逆向きの推論の問題はかなり大きなギャップを飛び越える推論であるということが言える。それは先ほど指摘したように、脳画像から逆向きの推論によって導き出された認知プロセスについての結論は、他に確かめなければならない事柄を考慮に入れないで導き出されているからである。

逆向きの推論に関しては、認識論的ギャップの問題から派生するもう一つの興味深い点がある。まずはニューヨーク・タイムズ紙に掲載されたある記事から話を始めよう。2007年11月11日、『ニューヨーク・タイムズ』紙に「これが政治に対するあなたの脳である」という記事⁷が掲載された。この記事は脳神経科学者や政治学者ら7人の連名で書かれた記事であった。その記事によると、彼らは当時のアメリカ大統領予備選挙においてまだ投票する候補者を決めていない投票者20名（男性10名、女性10名）を集め、候補者の写真や演説をしているビデオを見せて、その間の脳の活動を fMRI を用いて測定し、その結果である脳画像を新聞に載せたのである（図9）。彼らの行った“実験”⁸の結果は例えば、民主党の候補者達の写真を見た男性たちに、眼窩前頭皮質内側部の活動が見られた。これは彼らが民主党にポジティブな感じを抱いていることを示している、ということや、共和党の予備選挙に出馬していたミット・ロムニーの写真を見たときに扁桃体が活動しており、それは投票者が彼に不安を抱いていること示しているが、ビデオ映像で動く彼を見たり彼の声を聞いたりしたら彼らの不安は消えていった、というものであった。ここで注目すべき点は、ロムニーのビデオを見ると投票者の不安が消えた、という表現である。記事には実験の詳細が記されていないので推測しかできないが、おそらくロムニーのビデオを見た時には扁桃体の活動が見られなくなったのだろう。しかし記事では扁桃体の活動の低下のことは抜き落とし、扁桃体の活動の低下があたかも不安の低下と同じこととして捉えられていることが読み取れる。



図9 ニューヨーク・タイムズに掲載された脳画像

(http://www.nytimes.com/slideshow/2007/11/11/opinion/20071111_BRAIN_6)

7 <http://www.nytimes.com/2007/11/11/opinion/11freedman.html> (2012年2月25日アクセス最終確認)

8 “実験”と二重引用符を付けるのは、それがピアレビューを経て出版されたものではなく、学術雑誌に載るような正規の実験報告とは見なせないためである。以下では二重引用符付きの“実験”は、「これが政治に対するあなたの脳である」で報告されている実験を指す。

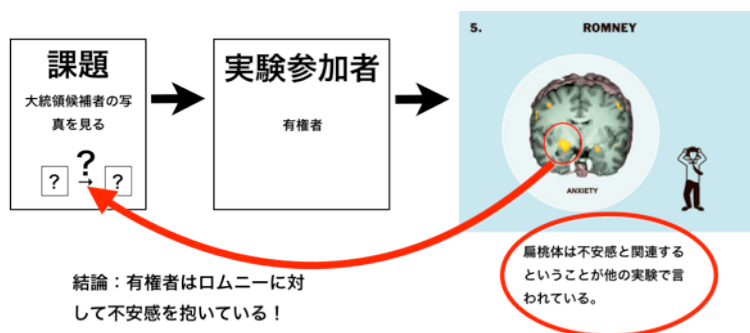


図 10 「これが政治に対するあなたの脳である」に見られる逆向きの推論

“実験”で行われた推論を形式的に書き出すと以下のようになる。

1. 不安を抱いているときには扁桃体が活動するという実験報告がある。
2. われわれの実験では、ロムニーの写真を見せると、扁桃体の活動が見られた。
3. したがって、ロムニーの写真を見ているときには実験参加者は不安を抱いていた。

図式化すると図 10 のようになる。図から明らかなように、“実験”は実験参加者に写真やビデオを見るというタスクを行わせ、タスク遂行中の心的状態を推測する、という逆向きの推論になっている。それゆえ、この“実験”で出された結論に対しても、先に指摘した批判が当てはまるだろう。つまり、扁桃体の活動が見られたからといって、そのときに不安感を抱いているとは一概には言えない。彼らの出した結論は大きな認識論的ギャップを超えて引き出されたものであり、データの過剰解釈が疑われるのである。“実験”記事が掲載されたその3日後に同じ『ニューヨーク・タイムズ』紙に掲載された記事がその点について批判している。「政治と脳」⁹と題された記事は神経科学者 17 人の連名¹⁰によるものであった。彼らの批判の内容はこうである。ある特定の脳領域の活動を見いだしたからといって、その人が不安を抱いているかどうかを明確に決定することは不可能である。なぜなら、一つの脳領域は概してたくさんの心的状態に関わっており、ある特定の脳領域と一つの心的状態を一对一対応させることは不可能だからである。

この『ニューヨーク・タイムズ』紙に掲載された“実験”結果や脳画像に対する解釈は、行き過ぎだと一笑に付して終わりとすべきものなのだろうか。そうではない。上で述べた興味深い点はここにある。行われた“実験”の論理や脳画像の解釈の際の推論を分析した結果明らかになったのは、この“実験”と Greene らの研究 (2001) は、実験の論理や脳画像の解釈の際に行われた推論の形式が類似しているということである。一方は多くの神経科学者から連名で批判を受けた“実験”であり、もう一方は「超」が付くほど一流の科学論文雑誌『Science』に掲載された実験である。それに関わらず、実験やデータ解釈のロジックは同じなのである。このことは、Greene ら (2001) の研究が本当はひどいものである、ということ意味しない。現役の脳神経科学者も、ここで取り上げた記事と同じ記事に言及し、この逆向きの推論というロジックは実は

9 <http://www.nytimes.com/2007/11/14/opinion/tweb14brain.html> (2012 年 2 月 25 日アクセス最終確認)

10 この連名記事には本稿で言及した Poldrack も名を連ねている。

学術論文でも頻繁に見られるもので、専門家の多くも実際に使っている、ということを指摘している。

たとえば大脳基底核底部や前頭葉底部の活動は脳にとっての報酬情報を反映しているとされています。これらの脳領域が活動したならば、いま、見ているものや抱いている感情が脳にとって報酬になっているのだという論理は頻繁に用いられています。(略)そしてこのような論理の展開をしている論文が結構な数、学術雑誌に掲載されているのが現実です。

(坂井 2009、86-7 ページ)

そして、さらに重要なのが次の発言である。

学術論文とこの記事(=『ニューヨーク・タイムズ』紙の“実験”記事)の違いについてふれるならば、多くの学術論文では、脳のどの部分が活動しているかにもとづいて、脳の中で行われている情報処理を推測するだけにとどまっています。ニューヨーク・タイムズ紙の記事では脳活動にもとづいて人の気持ちまで推測しています。この点が他の研究者にとっては行き過ぎだと感じられたのかもしれませんが。でもその線引きは非常にあいまいなものに過ぎません。

(同上、括弧内および傍点は引用者)

この発言からは次のような含意が引き出せるだろう。すなわち、脳画像から逆向きの推論によって引き出された結論は、たとえ学術雑誌に掲載されている研究であったとしても、行き過ぎた解釈をしてしまう可能性がある。

Poldrack は、逆向きの推論は研究対象となっている行動の基礎にある認知プロセスがまだ明確には突き止められていない分野、例えば神経経済学や神経政治学といった新興の分野でよく使われる、とインタビューで回答している(Miller 2008, p. 1413)。坂井も Poldrack と同様の主旨で、「(脳内のメカニズムについての) 推測の程度は脳画像を用いた認知神経科学研究の中でも、その対象とする領域によって大きく異なります。(略) 推測の程度が大きいのは社会的行動における脳内メカニズムを明らかにする研究です」(坂井 2009、87 ページ、括弧内は引用者)と述べている。つまり、逆向きの推論が用いられる研究の多くは、非常に複雑な行動や抽象的な心的状態を対象としているのである。神経政治学や道徳的判断の神経科学の研究者たちは、投票行動や道徳的判断といった複雑な行動やその基盤にある認知プロセスを解明するために、タスクを与えることで実験参加者の脳に働きかけ、その反応を MRI で測定するのである。彼らの研究対象へのアプローチは、「脳に聞いてみる」アプローチであるということもできるだろう。研究対象が非常に複雑で、どういうことが脳内で生じているのかわからないので、とりあえず「脳に聞いてみて」、その答え(つまり脳画像)から脳内で生じていたことを推測するのである。しかし、このアプローチは結局のところ、複雑な事象をそれと同じくらい、あるいはもっと複雑な道具を使って解明しようとしている、と見ることもできる。

本節では測定原理が影響する認識論的ギャップ、実験のデザインに関係する認識論的ギャップの二種類の認識論的ギャップについて論じた。特に逆向きの推論に関して詳しく論じた。それは神経美学もまた、美的判断という抽象的な心的プロセスを扱う分野であり、逆向きの推論との関係が深いからである。

4. 認識論的ギャップと神経美学

本節では、前節で導入した認識論的ギャップという概念を用いて、神経美学の研究を批判的に検討する。ここでは、fMRI を用いた神経美学研究の嚆矢である Kawabata と Zeki の 2003 年の論文 "Neural Correlates of Beauty" を詳しく取り上げる。まずは、実験の概略を紹介する¹¹。

彼らの実験の目的は、実験参加者が美しいと感じる絵画を見ているとき、一貫して活動する脳領域が存在するかどうかを明らかにすることであった。実験参加者は 10 名の学生で（半数は女性）、絵を専門的に描いた経験や芸術の専門教育を受けた者はいなかった。MRI での測定に先立ち、実験参加者は絵画の評定を行った。それぞれの実験参加者は、提示された絵画に対して 1 点から 10 点の点数を割り当てた。1 点から 4 点の絵画は Ugly、5 点、6 点は Neutral、7 点から 10 点は Beautiful という分類がなされた。この評定は実験参加者ごとに異なっており、ある 1 人の実験参加者が美しいと評定した絵画を別の実験参加者が美しくないと評定することもありえる。この評定に基づき、抽象画、静物画、風景画、人物画の四つのカテゴリ × Beautiful、Neutral、Ugly の 3 段階でそれぞれ 16 枚ずつ、合計 192 枚の絵画が 1 セットとしてランダムな順序で MRI のモニタに提示された。被験者は提示される絵画に対して、Beautiful、Neutral、Ugly に対応した 3 つのボタンの内どれか一つを押すように指示された。

実験の結果得られた脳画像が図 11 である。美しいと感じているときに活動する脳領域を検討するために、Beautiful 条件で得られた信号から Ugly 条件で得られた信号を引き算すると、眼窩前頭皮質が活動していることが示された（図中 A）。また、Beautiful 条件で得られた信号から Neutral 条件で得られた信号を引き算すると、眼窩前頭皮質（orbitofrontal cortex）、前部帯状皮質（anterior cingulate cortex）、頭頂葉が活動領域として示された（図中 B）。眼窩前頭皮質は、実験参加者がどの種類の絵画を見ようと、美しいと考えている際に活動した。

実験結果に対する彼らの解釈は次の通りである。（1）絵画の美醜を判断することと、特定の脳領域、主に眼窩前頭皮質の活動が相関している。この領域は報酬刺激の知覚に関係することが知られている（Kawabata and Zeki 2004, p. 1702）。（2）Beautiful 条件と Neutral 条件との対比において活動

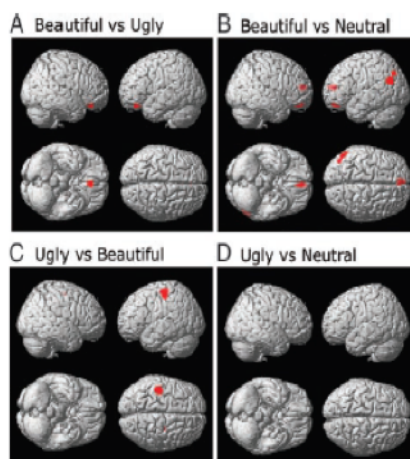


図 11 Kawabata と Zeki が得た脳画像 (Kawabata and Zeki 2003 から転載)

11 実験の概要については（池田・芋阪 2008）および（川畑 2009）も参照されたい。

が見られた前部帯状皮質と頭頂葉に関して、前者は恋愛感情や音楽に対する快感情、官能的な画像を見ているときの性的な興奮状態、といった様々な感情と関連づけられている領域である。このことは美的感覚と感情とのつながりが含意されているという点において興味深くなくはない (not un-interesting)。また、後者は空間的な注意と関連づけられている領域である。Beautiful 条件と Neutral 条件との対比において注意系により大きな負担がかかったのかもしれない (ibid, p. 1703)。

以上が実験報告の概略である。次に画像解釈において用いられた推論を取り出してみよう。彼らは絵画を見せてその美醜の判断をさせるというタスクを実験参加者に行わせた。与えたタスクに含まれる認知プロセスについて彼らはまったくの白紙状態、つまりどのような認知プロセスが含まれているかがまったくわかっていない、という状態ではなかった。というのも彼らは美醜の判断というプロセスを含むタスクを行わせたからである。しかし、美醜の判断がどのような下位の認知プロセスによって実現されているのかについてはわかっていなかった。彼らの解釈から判断すると、彼らは美醜の判断がどのような認知プロセスを含むのかについても関心があったことが読み取れる。考察の節で彼らは脳画像から推論して、絵画の美醜の判断がどのような認知プロセスを含むのかについての結論を引き出そうとしている。形式的に書き出すと次のような推論になる。

1. 眼窩前頭皮質は報酬刺激の知覚によって活動するという実験報告がある。
2. われわれの実験では、絵画の美醜判断をさせると、眼窩前頭皮質の活動が見られた。
3. したがって、絵画の美醜判断には報酬刺激の知覚というプロセスが含まれる。

1. 前部帯状皮質は、他の実験では恋愛感情や音楽に対する快感情、官能的な画像を見ているときの性的な興奮状態、といった様々な感情と関連づけられている。
2. われわれの実験では、絵画の美醜判断をさせると、前部帯状皮質の活動が見られた。
3. したがって、絵画の美醜判断には感情プロセスが含まれる。

これは、脳画像から行わせたタスクに含まれる認知プロセスへの推論である。したがって、逆向きの推論である。

では、認識論的ギャップという観点から、Kawabata と Zeki の研究を検討しよう。第3節で取り上げた、測定原理が影響する認識論的ギャップ、実験のデザインに関係する認識論的ギャップ（逆向きの推論における認識論的ギャップ）について順に見ていくことにする。3-1 節と 3-2 節では、fMRI は脳の活動の基本要素であるニューロンの電氣的な活動について知ることはできないことを論じた。fMRI が同定できるのは、タスク遂行中に血流が増加した比較的広い領域で、その脳領域にある個々の脳神経細胞と認知プロセスとの関係については明らかにはならない。Kawabata と Zeki が用いた MRI は他の実験でも広く用いられているような標準的なもの¹²であり、測定限界に由来する認識論的ギャップが存在する。つまり、絵画の美醜を判断する際に活動が高まる領域（眼窩前頭皮質）を同定することはできるが、その領域における個々の神経活動と認知プロセスとの直接的な関係については不明確さが残る。画像解釈で用いられた推論は先の分析結

12 Siemens 社製の 2T Magnetom Vision。現在でも実験で使われる MRI は 1.5 テスラから 3 テスラのものが主流である。

果のとおり逆向きの推論であった。逆向きの推論における認識論的ギャップとは、画像の解釈として示された仮説（結論）が、用いられた前提（証拠）によっては十分に裏付けられないということであった。言い換えると、証拠と結論との間の関係にはまだ不明確な部分が残っているということである。Kawabata と Zeki は、眼窩前頭皮質の活動は実際のところどれほど報酬刺激の知覚との結びつきが強いのか、眼窩前頭皮質の活動は報酬刺激の知覚以外のタスクでは見られないものなのかどうかを示さなければならない。そうしなければ、彼らの出した結論は実験で得られた脳画像からだけではサポートされないのである。

Kawabata と Zeki と同時期に出版された Vartanian と Goel (2004) も、行っていることは Kawabata と Zeki と同様であり解釈のロジックも似通ったものになっている。詳述はしないが、彼らは実験参加者に抽象画と具象画について、その絵を美的に気に入ったかどうかの評定を行わせ、その間の脳の活動を MRI で測定した。そして得られた脳画像から美的判断に含まれる認知プロセスについての結論を引き出している。彼らは絵を好ましいと感じている時には、左の前部帯状溝 (anterior cingulate sulcus)、両側の紡錘状回を含む後頭葉の活動が高まり、好ましくないと感じているときには右の尾状核 (caudate nucleus) の活動が低下するという脳画像を得た。これらの領域は感情や報酬への誘発性と関連づけられている領域であり、絵画の美的な好ましさの判断にはこれらのプロセスが関係していると結論づけている (Vartanian and Goel 2004, pp. 895-6)。また、彼らの用いた MRI の性能は、Kawabata と Zeki が用いた物と大きな差はない¹³。したがって、彼らの研究においても、Kawabata と Zeki と同様の認識論的ギャップが存在するのである。そして彼らは、逆向きの推論における認識論的ギャップを超えて、絵画に対する美的な好ましさに含まれる認知プロセスについての結論（仮説）を引き出している。

最近になっても、Kawabata と Zeki や Vartanian と Goel が用いた方法と同様の方法を用いた研究は散見される。例えば、Osaka ら (2007) は、Kawabata と Zeki の行った実験と同じ実験デザインを用い、与える刺激の種類のみを変えた実験を行っている¹⁴。彼らが実験参加者に与えた刺激は近代日本画の風景画、人物画、静物画であった。Beautiful 条件で得られた信号から Neutral 条件で得られた信号を引くと、海馬傍回、前部帯状回、右海馬、右中後頭回、左下前頭回の活動が見られ、一方、Ugly 条件から Neutral 条件を引くと、右眼窩前頭皮質、前部帯状回、右扁桃体などの領域の活動が見られた。この結果から、彼らは次のような結論を出している。Ugly 条件から Neutral 条件を引く（つまり、美しくないという判断をしている）と見られる扁桃体や眼窩前頭皮質の活動について、前者は嫌悪刺激について応答を示すことが動物実験などで知られており、後者は報酬と結び付けられている領域である。似たような実験デザインや画像解釈のロジックは、(Dio, Macaluso, and Rizzolatti 2007)、(Ishizu and Zeki 2011) でも見られる。

いくつかの例を挙げただけで一般化する危険を承知で言えば、少なくとも神経美学の研究において、逆向きの推論を用いることが特別なことではないということは言えるであろう。現在のところ神経美学のもたらす知見は、逆向きの推論におけるいくぶん大きな認識論的ギャップを飛び越えた、飛躍を含むものであると思われる。研究者たちの提示する画像解釈はもちろん魅力的な仮説ではあるが、その仮説とはまったく異なる別の解釈の可能性がまったく排除されてい

13 彼らが用いたのは、Oxford Magnet Technologies 社の 4 テスラの装置である。

14 実験の概要については、(池田・苧阪 2008) も参照されたい。

るわけではないことには留意する必要があるだろう。

5. おわりに

本稿は、認識論的ギャップという観点から、神経美学の研究を批判的に検討した。その分析結果については前節で述べたので、ここで繰り返すことはしないが、神経美学がもたらす知見がどのような性質のものかについての一端は示せたと思う。本節では本稿で十分に検討できなかった点を挙げて結語としたい。

まず、本論では神経美学は逆向きの推論を用いることが特別なことではないと述べたが、やはりもっと網羅的な調査をする必要があるだろう。このことは複雑な行動や抽象的な心的状態を扱う新興の研究分野では逆向きの推論がよく使われる、という Poldrack の言葉から洞察を得て述べたことであるが、専門家の述べていることであるにせよ、当の Poldrack の言葉も彼の印象にすぎないからである。

次に、本稿で言及した神経美学の研究はすべて視覚的な美的判断に関するものであった。しかし、数はまだまだ少ないとはいえ、音楽に対する美的な判断についての fMRI 研究も存在する。本稿ではそれに言及する余裕がなかった。この領域の分析は次の研究課題としたい。

最後に本稿はあくまで試論であり、脳機能画像の解釈に関わる認識論の問題は、本稿で言及したものでは尽きないことに留意されたい。

追記：今回の原稿作成にあたり、脳機能画像を提供いただき、また fMRI 研究について教授いただいた、名古屋大学医学系研究科原田宗子氏に謝意を表したい。

(名古屋大学：いのうえけん)

参考文献

- Chatterjee A, (2010), “Neuroaesthetics: A Coming of Age Story”, *Journal of Cognitive Neuroscience*, vol. 23, no. 1, pp. 53-62.
- Cela-Conde CJ, Marty G, Maestu F, Ortiz T, Munar E, Fernandez A, Roca M, Rossello J, and Quesney F, (2004), “Activation of the prefrontal cortex in the human visual aesthetic perception”, *PNAS*, vol. 101, no. 16, pp. 6321-5.
- Cinzia DD and Vittorio G, (2009), “Neuroaesthetics: a review”, *Current Opinion in Neurobiology*, vol. 19, pp. 682-7.
- Dio CD, Macaluso E, and Rizzolatti G, (2007), “The Golden Beauty: Brain Response to Classical and Renaissance Sculptures”, *PLoS ONE*, vol. 2, issue. 11, e1201.
- Greene JD, Sommerville RB, Nystrom LE, Darley JM, Cohen JD, (2001), “An fMRI investigation of emotional engagement in moral judgment,” *Science*, vol. 293, pp. 2105-8.
- Hanson SJ and Bunzl M, (eds.), (2010), *Foundational Issues in Human Brain Mapping*, The MIT Press.

- Heeger DJ and Ress D, (2002), "What Does fMRI Tell Us About Neuronal Activity?", *Nature Reviews Neuroscience*, vol. 3, pp. 142-51.
- Hardcastle VG and Stewart C, (2002), "What Do Brain Data Really Show?", *Philosophy of Science*, vol. 69, pp. S72-S82.
- Ishizu T and Zeki S, (2011), "Toward A Brain-Based Theory of Beauty", *PLoS ONE*, vol. 6, issue. 7, e21852.
- Kanwisher N, McDermott J, and Chun MM, (1997), "The Fusiform Face Area: A Module in Human Extrastriate Cortex Specialized for Face Perception", *The Journal of Neuroscience*, vol. 17, no. 11, pp. 4302-11.
- Kawabata H and Zeki S, (2004), "Neural Correlates of Beauty", *Journal of Neurophysiology*, vol. 91, pp. 1699-1705.
- Logothetis NK, (2008), "What we can do and what we cannot do with fMRI", *Nature*, vol. 453, no. 12, pp. 869-78.
- McCabe DP and Castel AD, (2008), "Seeing is believing: The effect of brain images on judgments of scientific reasoning", *Cognition*, vol. 107, pp. 343-52.
- Miller G, (2008), "Growing pains for fMRI", *Science*, vol. 320, pp. 1412-4.
- Poldrack RA, (2006), "Can cognitive processes be inferred from neuroimaging data?", *Trends in Cognitive Sciences*, vol. 10, no. 2, pp. 59-63.
- Osaka N, Ikeda T, Rentschler I, Osaka M, (2007), "PPA and OFC correlates of beauty and ugliness: An event-related fMRI study", *Perception*, vol. 36, S174-5.
- Vartanian O and Goel V, (2004), "Neuroanatomical correlates of aesthetic preference for paintings", *Cognitive Neuroscience and Neuropsychology*, vol. 15, no. 5, pp. 893-7.
- Vul E, Harris C, Winkielman P, and Pashler H, (2009), "Puzzlingly High Correlations in fMRI Studies of Emotion, Personality, and Social Cognition", *Perspective on Psychological Science*, vol. 4, no. 3, pp. 274-90.
- Weisberg DS, Keil FC, Goodstein J, Rawson E, and Gray JR, (2008), "The Seductive Allure of Neuroscience Explanations", *Journal of Cognitive Science*, vol. 20, no. 3, pp. 470-7.
- 池田尊司・苧阪直行 (2008) 「視覚的美しさの評価の神経基盤」、『心理学評論』第 51 巻 2 号、318-29 ページ
- 川畑秀明 (2009) 「ニューロエステティクス (神経美学) の動向」、『バイオインダストリー』第 26 巻 6 号、90-5 ページ
- 坂井克之 (2009) 『脳科学の真実：脳研究者は何を考えているか』、河出書房
- 定藤規弘 (2004) 「非侵襲的脳機能画像法の歴史と原理」、『日本生理学雑誌』第 66 巻 5 号、132-8 ページ
- 戸田山和久 (2001) 『論文の教室：レポートから卒論まで』、NHK 出版
- 信原幸弘、原塑、山本愛美 (編著) (2010) 『脳神経科学リテラシー』、勁草書房