

論 文

《光・音・脳》 メディアアートと脳神経科学の融合にむけて

森 公 一

同志社女子大学
学芸学部・情報メディア学科
教授

Abstract

This project involves scientific research that explores, through the combined lenses of media art and neuroscience, emotional response to the experience of color and sound in a series of demonstration experiments. Subjects are placed in a special light-filled environment and the blood flow in their frontal lobes is measured using fNIRS (functional near-infrared spectroscopy). An artistic experience is enacted in the form of a biofeedback system, in which the measurements are analyzed instantaneously, and the colors and sounds in the environment adjusted in accordance with changes detected in the blood flow. The data collected through this system will provide a point of reference for further research into the relationships between emotions and the physical senses, emotions and the body, emotions and feelings, and so forth.

はじめに

本研究プロジェクトは、光や音の体験がヒトにもたらす情動反応について、脳神経科学とメディアアートの方法を用いたアプローチによって、実証実験的に探ろうとする試みである。光と音の充満する特殊な環境に身を置いた鑑賞者に対し、脳血流測定装置 fNIRS (functional Near-Infrared Spectroscopy) による前頭葉の血流測定を行う。測定結果は瞬時に解析され、血流の変化に応じて色や音が生成変換し鑑賞者に与えられる。これはバイオフィードバック・システムとしての芸術体験である。また同時に、この体験を通じて得られたデータは、情動と感覚、情動と身体、情動と感情などの諸関係について、新たな知見を深めるための資料となる。

Light/Sound/Brain
Toward the Fusion of Neuroscience and Media
Art

1. 研究の背景と目的

近年、芸術表現のフィールドでは、デジタル技術や情報技術を用いた実験的な試みが行われ、これまでの芸術とは異なる表現の地平が開拓されつつある。このような表現分野はメディアアートと呼ばれ、1990年代以降の先端的な芸術表現の一翼を担ってきた。一方で、脳神経科学のフィールドにおいても、デジタル技術や情報技術を応用した医工学系の研究開発が進み、脳機能の情報化や可視化において飛躍的な成果がもたらされている。これら情報化や可視化の技術は、脳疾患における画像診断に用いられるのみならず、ブレイン・マシン・インタフェース (BMI)、ブレイン・コンピュータ・インタフェース (BCI) と呼ばれるような麻痺患者のコミュニケーションや運動を補助する装置への応用が試みられている。

これまでも、芸術と科学の接点を探る多く

の試みがなされてきた。しかしながら、デジタル技術や情報技術の進展によってもたらされたメディアアートと脳科学は、相互に翻訳可能な技術的基盤、すなわちあらゆる情報をデジタル情報に還元することによって成立するという基盤を共有したことによって、これまでに例を見ない直接的な接点を持つに至ったと言えるだろう。

本研究プロジェクトは、このようなデジタル技術や情報技術の進展を背景とするメディアアートと脳科学の融合の可能性を探ろうとするものであるが、中でも最近の脳神経科学研究において最も注目されているテーマの一つである「情動」に着目し、メディアアートの方法をふまえた表現実験にアプローチすることを目指した。言うまでもなく、多くの芸術作品は鑑賞者に対してなんらかの感覚刺激を与え、そのことを通じて鑑賞者の情動反応を誘発する。この情動反応を情報として取得しメディアアート作品に応用することを第一の目的として、《光・音・脳》(写真1)を制作した。そして次に、《光・音・脳》の鑑賞を通じて取得した情動反応の情報を

分析することによって、情動計測の可能性の検証、情動と感覚の関係、情動と身体の関係、情動と感情の関係、といった脳神経科学における最新の課題を探ることを第二の目的とした。

以上のように、本研究では一見無関係に見えるメディアアートと脳科学研究を相補的に連関させることを通じて、双方に有益な成果をもたらすことを狙いとしている。

本研究プロジェクトは、2010年に京都国立近代美術館において開催された「Trouble in Paradise/生存のエシックス」展¹⁾に参加することを前提に、以下に掲げる本展覧会の企画コンセプトに沿って展開した。

「展覧会を通じて美術家や科学者、アクティヴィストなどが分野横断的な交流を重ねることで、宇宙滞在、発達障害、遺伝子組み換え、認知症、庭園、脳科学など、個別的で一見無関係に見えるこれらのテーマを、相互交流と対話が可能な新しい関係として再配列することを目指します。展覧会を通じて生まれる新しい関係と



写真1

視点は、私たちの馴染んでいる経験や社会的制度を捉え直すものになるだけではなく、「ヒト、時間、空間」など、「生存」に関わる基本的概念の再構築を促す大きな可能性を含むものになります。」²⁾

本研究プロジェクトは、以上のような展覧会コンセプトをふまえつつ、先に述べた目標の達成にむけて、メディアアートを専門とする美術家、医工学を専門とする研究者、計測機器メーカーの研究者らとのコラボレーションによる研究チームを編成し展開した。

研究チーム：森 公一（同志社女子大学）、精山明敏、堀翔太、高槻玲（京都大学大学院医学研究科人間健康科学系専攻）、二瓶晃（大阪成蹊大学）、真下武久（成安造形大学）、前田剛志（京都市立芸術大学）、吹田哲二郎（サウンドデザイナー）、砥綿正之（京都市立芸術大学）

協力：株式会社島津製作所、宗本晋作建築設計事務所、株式会社島津アドコム、

TSP 太陽株式会社、西尾真由子、三澤水希、岩城覚久、松谷容作

助成：平成 21 年度科学研究費補助金 基盤研究 (C)「メディアアートと脳科学の融合」

研究の前半では、鑑賞者の情動反応を用いたメディアアート作品の制作にむけて、各種計測機器を用いた予備的な実験と検証を行った。続いて「Trouble in Paradise/生存のエシックス」展において《光・音・脳》の展示を行い、鑑賞者からのアンケートや鑑賞体験に基づく情動のデータを収集した。研究の後半では、情動計測の可能性の検証や感覚と情動の関係などを探るために、作品の鑑賞を通じて取得したデータやアンケートの分析を行った。

2. 光

本研究プロジェクトの初期の段階において、情動反応のトリガーを光とすることにした。この場合の光とは、ジェームズ・タレルの一連の

作品を参照したもので、タレルが自らの作品に採用する全体野 (Ganzfeld) 的な状況³⁾における色光を指している。

タレルは光を扱うアーティストとして世界的に知られているが、彼の作品において与えられる光の有り様は、普段私たちが知っている、あるいは経験する光の有り様と大きく異なっている。例えば直島の地中美術館に設置された作品《オープン・フィールド》⁴⁾での光の体験を参照してみよう。この作品で鑑賞者がまず初めに目にするのは、壁に存在する薄青い大きな長方形である。この青い美しい色面に近寄ってみる。すると平面的に見えていた青い長方形が、実はもう一つの部屋へと続く開口部であったことに気づく。続いてこの開口部からもう一つの部屋に入ってみる。するとこの部屋の空間全体に光が充満していて、あたかも霧に包まれているかのような、あるいは光が身体にまとわりつくような状況に遭遇する。同時に自らの身体が光に溶けだし、その境界が曖昧になるような、不思議な感覚に襲われる。逢坂恵理子は、これを「自己の存在感が希薄になって、私自身が空間に浮遊してしまったかのような感覚にとらわれてしまった。何か光に包まれるといった経験」⁵⁾と述べている。実際、この空間には目に見えるところに照明器具等は存在せず、本来なら光(光源)と対になる影が存在しないのである。鑑賞者からは見えない、巧みに計算された場所におかれた光源からの光は、おそらく壁の反射を繰り返しながら部屋全体に充満し、触覚的な光体験や自身の存在の希薄化と言わせるような状況を産み出しているのである。

下條信輔は、ゲシュタルト心理学における知見を援用しながらタレル作品の解釈を試みている。彼によれば、デヴィッド・カツツによって提唱された色の現象学的区分、すなわち私たちが日常的に見ている物体の表面にある「表面色」、窓などで区切られた青空のように奥行きを感じられない「開口色」、知覚空間に漠然と充満しする濃霧のような状態の「空間色」、これら三つの分類が、タレル作品の分析に対して

有力な武器となると述べている。⁶⁾ この分類に従えば、《オープン・フィールド》における最初の体験は「開口色」であり、後半の体験は「空間色」が実現されていると言えるだろう。

本研究プロジェクトにおいて重視したのは、この非日常的な「空間色」としての光の体験である。そこには文字や記号、映像や写真のように意味を伝達するものが存在しない。また線や形のような境界を持った造形的構造も存在しない。解釈すること、理解することなど、対象に関わる認知的活動が遮断され、ただ強烈な光の色だけが与えられる。このような光を純粹に知覚する場を設定することによって、鑑賞者の情動の変化を促し、さらに情動の変化を鑑賞者にフィードバックすること。言い換えれば、鑑賞者の情動反応を光に変換し、情動としての光を知覚すること。そのための場を実現したいと考えた。

3. 情動

情動研究については、これまでに心理学や神経科学を中心として数多くの成果がもたらされているが、ひとまず情動研究のこれまでの流れを概観することを通じて、本研究における情動の位置づけを行いたい。

19世紀の情動研究において、心理学者・哲学者のウィリアム・ジェームズが、「悲しいから泣くのではない、泣くから悲しいのだ」と述べ、情動の抹消起源説を提唱したことはよく知られている。一般的な常識「悲しいから泣く」を覆す言説は意外に思えるが、その真意は次のとおりである。ある刺激が知覚されると、ただちに内臓や骨格筋に変化が生じ、この変化が脳に伝えられることによって情動の経験を生む。つまり「悲しい」という感情を産み出す起源は内臓や骨格筋のような身体の変化としたのである。同じ時期に生理学者のカール・G・ランゲも、ジェームズに近い説を主張した。彼は血管の反応や血行動態の変化が情動の経験を生むという点でジェームズとは違いがある。しかしながらジェームズ、ランゲともに、身体的反応の知覚

こそが情動の起源であるとする点で、同じカテゴリー（ジェームズ＝ランゲ説）とみなされている。

20世紀に入ると、生理学者のウォルター・B・キャンノンが実証実験をふまえてジェームズ＝ランゲ説を批判した。彼は、情動の起源は脳の視床だとする中枢起源説を提唱した。その後、社会心理学者のスタンリー・シャクターとジェローム・シンガーは、情動二因説によって情動の抹消起源説と中枢起源説を折衷したかのような説を唱えた。これは、ある刺激によって身体における生理的な変化が起こり、そこに変化の原因を探る認知的過程（ラベリング）が加わることによって情動の経験を生むとするものである。

その後、刺激が有害か無害か、あるいは不快か快かを判定するための認知的評価のプロセスが感情を規定すると主張した臨床心理学者リチャード S. ラザルスの説、反対に刺激に対する情動反応に認知的評価は必要ではなく、感情は認知に先立って起こるとする社会心理学者ロバート・サイアンスの感情優先説などが唱えられたが、結局のところ決着はつかなかった。⁷⁾

以上のように、19世紀から20世紀にかけての心理学における情動研究は、抹消起源説、中枢起源説、情動二因説、認知的評価説、感情優先説などの諸説が唱えられ、身体を重視する立場や脳を重視する立場、あるいは認知を重視する立場や感情を重視する立場の間で揺れ動いてきた。現在このような諸説は、神経科学における脳機能の解明を通じて再検討が進められているところである。中でも神経科医で神経科学者のアントニオ・ダマシオは、脳機能の緻密な分析を通じて、情動 (Emotion) と感情 (Feeling) を明確に区分した上で、身体的な反応を重視したジェームズ＝ランゲ説を神経科学的な立場からの検証によって補強・拡張、あるいは細部の修正をするかのような説を唱えている。⁸⁾

4. 情動と感情

ダマシオは、「情動は身体という劇場で演じ

られ、感情は心という劇場で演じられる」⁹⁾と述べ、情動と感情のそれぞれが異なるプロセスによって生じることを明らかにした。ダマシオは先ず、情動を一次の情動と二次の情動に区分する。一次の情動とは「人間が生まれて早い時期に経験する情動」すなわち「生得的」な「前もって構造化されている」情動であり、二次の情動とは「一次の情動の基礎の上に構造が組み上げられていく、大人として経験する情動」すなわち後天的な情動である。¹⁰⁾

一次の情動は、脳の最も古い部位の一つである大脳辺縁系の扁桃体と前帯状回が中心的役割を担うとされている。たとえば「巣の中のひよこはワシが何かは知らないが、広い翼をもった物体がある速度で頭上を飛ぶと、警戒し、頭を隠して反応する」のは、扁桃体が大きさや速さを信号として受け取ることによって引き起こされる情動的反応だとしている。¹¹⁾

二次の情動においても、外部からの刺激は一次の情動と同じく扁桃体を経由するが、大人の経験から情動が引き出される場合は、前頭皮質における思考や分析のプロセスが加わると考えられている。たとえば「旧友に会えば、心臓の鼓動は高くなり、顔は紅潮し、口と眼のまわりの筋肉が変化してうれしそうな表情になり、他の筋肉も弛緩する」のは、既知の情報が前頭皮質において分析され、その上で一次の情動と同じメカニズムを経由して、情動的反応を引き起こすというわけである。¹²⁾

一次の情動、二次の情動のいずれにしても扁桃体を代表とする辺縁系の脳部位が、なんらかの特徴的な身体状態を表象していることが明示されている。先の旧友に会う例で言えば「内臓（心臓、肺、腸管、皮膚）や骨格筋（骨についている筋肉）や内分泌腺（たとえば、下垂体や副腎）の機能のいくつかのパラメータに変化が起こる。いくつかのペプチド調節物質が脳から血流に放出される。免疫系も急激に変化する。動脈壁の平滑筋の基本的な活動が増加し血管を収縮させ、細くする（その結果、蒼白になる）。逆にその活動が減少すれば、平滑筋は弛

緩し、血管が膨張する（その結果、紅潮する）」などの多様な身体的変化が起こる。脳のシステムの制御下で引き起こされる、このような身体状態の一連の変化こそが、ダマシオの述べる情動の本質なのである。¹³⁾

では次に、ダマシオが情動と区分する感情はどのように位置づけられているのだろうか。彼は、「情動とその関連反応は、生命史において感情よりも先に誕生したと思われる。」¹⁴⁾あるいは、「情動が生じたあと感情ならびにその感情と関係する思考が生じるのだが、普通は、その速さゆえに、現象に固有の順序を正しく分析することが難しくなっている。まず、情動の原因になるような思考が心に生じると、それが情動を引き起こす。ついでその情動が感情を生み、今度はその感情が、主題的に関係しているその情動状態を増幅しそうな別の思考を呼び起こす。」¹⁵⁾例外はあるものの、彼は先に情動反応があり、その後に感情が生起するのだと述べている。

情動が生じているとき（身体状態が変化しているとき）は、皮膚、血管、内臓、随意筋、関節などの神経終端を介して、神経的信号が連続的に脳に送られる。そして血流に放出されたホルモンやペプチドは脳に還流し浸透していく。こうして身体状態は鳥領域と頭頂領域の複数の体制感覚皮質、辺縁系、視床下部、脳幹などにおいて知覚されるとともに、それらは相互に作用し合うニューラル・ネットワークによって調整されているのである。身体から信号を受け取った脳が「自分の身体状態の変化を知覚し、何秒、何分と、その展開を追っていく。その連続的なモニタリング・プロセス」が、ダマシオの述べる感情の本質なのである。¹⁶⁾

情動の状態を促す脳から身体への神経系・内分泌系の信号の流れを往路だとすれば、感情は身体から脳へと神経系・内分泌系の信号が戻る復路である。情動や感情が生起するときの、この身体と脳のダイナミックな交通あるいは相互作用こそが、ヒトの生命維持に関わる基本的なシステムなのであろう。本研究では、このよ

うなダマシオによる研究の成果に基づきながら、光や音の刺激に対して誘発される快あるいは不快の情動反応を計測するとともに、その状態を鑑賞者にリアルタイムでフィードバックすることによって、自らの情動や感情が刻一刻と変化する過程にあることを再発見することができるような、情動・感情体験の場を実現したいと考えた。

5. 情動反応の計測

《光・音・脳》は、鑑賞者の快・不快情動を測定し、リアルタイムでフィードバックするシステムである。光と音の感覚刺激によって生起する情動反応をfNIRS (functional near-infrared spectroscopy) によって測定し、快が検出された場合はその根拠となった光と音を継続して鑑賞者に与える、もし快が検出されない場合は光と音の種類をランダムに変更し、再び快が検出されるまで変化し続けるよう設計した。言わば《光・音・脳》は、光と音の組み合わせによって鑑賞者の快を継続させるバイオフィードバック・システムである。

ところで、情動を誘発する部位として扁桃体が重要な役割を担っていることは広く知られている。先に示したダマシオによる生得的な一次の情動、後天的な二次の情動、ともに扁桃体が大きな役割を果たしている点で共通している。またPET (positron emission tomography) を用いた大平らの実験においても、情動反応時に扁桃体が著しく活性化することが報告されている。この実験は、快または不快を誘発する写真を被験者に見せることによって、その際の脳全体の活動を検証したものである。その結果、両側の扁桃体に顕著な活動が見られたのと同時に、皮膚伝導反応 (Skin Conductance Response ; SCR) や副腎皮質刺激ホルモン (ACTH) の血中濃度が扁桃体の活動強度と正の相関を示したという。すなわち扁桃体の活動によって、自律神経系や内分泌系の反応 (ダマシオの言う情動反応) が引き起こされたのである。¹⁷⁾

このように、情動反応を探る際の最も注目す

べき脳部位は、必然的に扁桃体ということになるであろう。しかし、扁桃体のような脳の深部の情報を取得するには、先のPETやfMRI (functional magnetic resonance imaging) を用いる必要がある。これらの計測機器は時間分解能が低くリアルタイムでのフィードバックは不可能である。また装置自体が大きく移動が不可能であるし、そもそも《光・音・脳》で構想した全体野的な光の空間は構造的に困難である。

確かに情動反応がもたらされるきっかけとして、扁桃体は重要な役割を果たしている。しかし一方で、扁桃体以外の他の部位において情動反応を計測することが不可能という訳ではないだろう。やはりダマシオによれば、外部からの刺激に基づいて視覚野や聴覚野のような感覚の一次領野において処理された信号は、「脳の別の場所にあるいくつかの情動誘発部位で利用できるようになる」「ついでに情動誘発部位は、脳の別の場所にあるいくつかの情動実行部位を活性化する」¹⁸⁾ としている。このように、情動が生起するにはいくつかの情動誘発部位がネットワークし、さらに扁桃体などを含むいくつかの情動実行部位のネットワークに引き継がれる必要がある。つまり、情動は脳の特定の部位だけではなく、いくつかの部位の「協調的参加」から生じているのであるから、快・不快情動の計測を扁桃体以外の他の部位において計測できる可能性は残されていると言えるだろう。

実際、星らは前頭前野の情動計測によってにおいて快・不快の判定を行っている。星らの実験では、快を誘発する写真や不快を誘発する写真を被験者に見せ、その際の脳血流におけるHb (ヘモグロビン) の変化をfNIRSによって測定した。実験によれば快を誘発する写真を提示した場合、左半球の前頭前野背外側部 (DLPFC) 付近のoxy-Hb (酸化ヘモグロビン) 量が低下し、不快を誘発する写真を提示した場合、両半球の前頭前野腹外側部 (VLPFC) 付近におけるoxy-Hb量が増加するという結果が得られた。¹⁹⁾ 本研究では、この検証結果に基づき、fNIRSを用いた脳血流の測定によって快・

不快情動の測定を行うことにした。

6. 《光・音・脳》のシステム

《光・音・脳》のシステムは、鑑賞者が全体的な光を体験するための空間、鑑賞者の脳血流を測定するためのfNIRS、情動の判定と光・音の制御のためのPC、光による刺激のためのLED照明、音の刺激のためのオーディオ装置によって構成した。(図1)

fNIRS(写真2)は、近赤外線によって脳血流におけるヘモグロビン量を測定する装置である。近赤外線は780~3000nmあたりの波長の光のことを指し、水分を多く含む生体の透過性が高い。そのため非侵襲的な脳機能のマッピングに、近赤外線を用いた装置が使用されている。fNIRSでは、ヒトの頭皮上の任意の場所に取付けられた送光プローブから近赤外線が送出される。送出された近赤外線は頭皮、頭蓋骨、髄膜、脳髄液を通過して大脳皮質に至り、さらに、脳髄液、髄膜、頭蓋骨、頭皮を通過して別の場所にと付けられた受光プローブにおいて受光される。この時の近赤外線の変化に基づいて、大脳皮質における脳血流のHb量の変化を計測することができる。今回の実験ではfNIRSは島津製作所のFOIRE-3000を用いたが、本装置では近赤外線によってoxy-Hbやdeoxy-Hb(脱酸化ヘモグロビン)などの計測が行われ、それらの結果が脳の活動状況を示す二次元画像として表示(イメージング)される。

光を体験するための空間は、直径1800mm

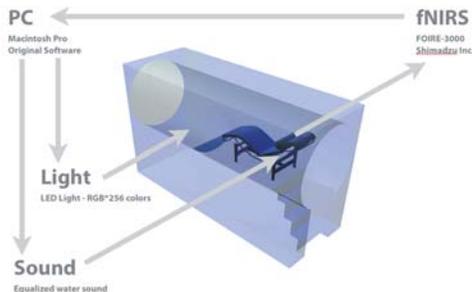


図1 《光・音・脳》のシステム構成

長さ5400mmの円筒状の空間であり、ここに鑑賞者用の寝椅子を設置した。鑑賞者の頭部にはヘッドバンド型のプローブホルダーと光ファイバーケーブルを通じて前頭前野に近赤外線を送光・受光するプローブを取付けた。(写真3) プローブの設置個所については、星らの実験で得られた結果に基づく同様の局所、送光用の4カ所と受光用の4カ所とした。計測のポイントは図のとおり、快情動の指標となる部位DLPFC(ch5)と不快情動の指標となる左右のVLPFC(ch2及び8)とした。(図2) また快・



写真2 fNIRS (FOIRE-3000)



写真3 プローブホルダーとプローブ

不快情動の判定には、局所脳血流の最も敏感な指標である oxy-Hb 量の変化値を採用した。

次に測定によって得られた oxy-Hb 量の変化値のデータを、ネットワークを介して PC に送信し快・不快の判定を行うとともに、その判定結果に基づいて光と音を制御するプログラムを組んだ。ch.5 から取得した生データには微細な変化の揺れが含まれるため、3秒間の移動平均フィルタにかけた値を用いた。この値と3秒前の値を比較し、正か負かを判定する。星らの実験によれば、正すなわち ch.5 の oxy-Hb 量の上昇中は快の状態ではなく、負すなわち下降中が快の状態を示すとしている。よって、もし正が判定された場合、快非検出とみなし光と音の刺激に変化を与えた。もし負の判定が出た場合、すなわち oxy-Hb 量が低下している場合、快が検出されているとみなし、現在与えている光と音の刺激を継続した。

光の刺激において特に重視した点は、記号や象徴など意味を直接的に示す要素、あるいは線や形などの造形的な構造を示す要素を排除し、鑑賞者の視野全体を同一の色彩で、かつ濃淡のない均質な明るさによって覆うことであった。そのために、光源を鑑賞者の背後に設置し、反

射光が円筒状の空間全体を回り込むように設計した。今回用いた光源は、1セットにつき384個の LED が配置されたバー状のステージ用照明で、これを4セット用いた。光源には RGB3色の LED が使用されており、それぞれの色ごとに256段階の明るさを制御することが可能である。理論上は発光色による加色混合によって、ほぼ全ての色を表示することができる。この照明を先に示した PC によって制御する。

快の非検出時には5秒毎に目標の色（RGBそれぞれが0%から100%までの値）をランダムに定め、現在の色から徐々に目標の色へと変化させる。快が検出された場合は1秒前の色を目標とし、その色へと変化する。快が検出されている間は、引き続きこの色が継続する。（写真4）なお、快の検出時に1秒前の色を目標としたのは、感覚刺激と情動反応のタイムラグを埋めるためである。

音の刺激についても、光の刺激と同じく具体的な物や現象を直接的に示すものを避け、限りなくノイズに近い自然音を選択した。そのため、今回は滝付近で収録した「ザー」という水流のサンプリング音を使用した。この音はスペクトル解析の結果、周波数が高くなるほどパワーが小さいことが判明した。すなわち周波数とパワーが反比例するピンクノイズ（1/f ゆらぎ）に近いものである。この音に対してイコライザーによる周波数特性の変更と音量の変更を行い、ヘッドフォンから鑑賞者に与えた。

快の非検出時には、3秒ごとに目標の音量をランダムに設定、4秒ごとに目標の周波数特性をランダムに設定し、それらの目標の音に向けて変化させる。そして快の検出時には、1秒前の音を目標とし、その音へと変化する。そして快が検出されている間は、引き続きこの音が継続する。

以上のように、《光・音・脳》のシステムは、鑑賞者が無限とも言える光と音の組み合わせの中から、自身の快情動を誘発する組み合わせを選択するものである。もしこのシステムに致命的な問題がなければ、最も長く継続した光と音の組み合わせこそ、鑑賞者にとって最も快適な

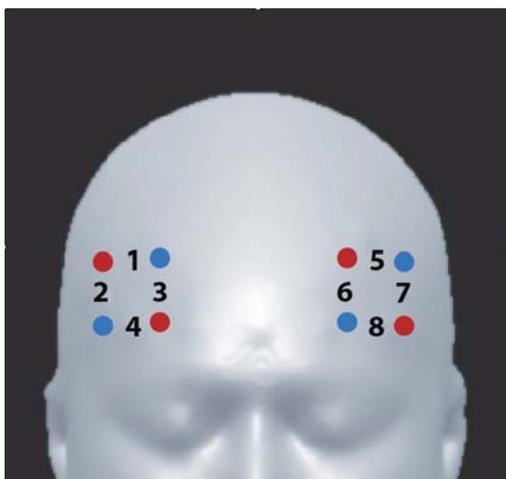


図2 測定ポジション

赤は送光、青は受光、数字はチャンネル



写真4

状況を生んだ組み合わせと言えるだろう。

7. 《光・音・脳》体験のプロセス

《光・音・脳》は、2010年7月9日から8月22日にかけて、京都国立近代美術館で開催された「生存のエシックス」展において展示した。期間を通じて《光・音・脳》を体験した総数は787名、そのうち男性が294名、女性463名、不明（アンケートの不記載者）が30名で、7歳から78歳までの広い年齢層の参加を得た。

なお《光・音・脳》は、作品の鑑賞という芸術的体験のみならず、鑑賞者個人の脳血流を計測し検証することから、倫理的配慮に基づくインフォームドコンセントを行った。²⁰⁾ 本研究の目的や方法、プライバシーの保護、途中辞退が可能であること、鑑賞者に不利益が生じないこと、得られたデータやアンケートは匿名化することなど、口頭と書面で説明を行い同意書を得た。

1_ 鑑賞者は、円筒状の空間に置かれたロングチェアに仰向けになり、fNIRSのプロープとヘッドフォンを装着する。体験が始まるまでは、光については白色光を、音については緩や

かな水流の音を流し、リラックスできる状態を用意した。

2_ 準備が整ったところでシステムをスタートする。一人につき5分を体験時間とし、その間にfNIRSによる脳血流の測定、PCによる情動の判定と光・音のコントロールを行い、快・不快情動のフィードバックを行う。この間の脳血流変化のデータ、情動判定のデータは、それぞれの装置において保存した。

3_ 体験の終了後にアンケートを行った。

8. データの分析

《光・音・脳》の鑑賞者による体験に基づいて取得したデータは次のとおり。

- 1 快検出に関わる左半球、前頭前野背外側部（DLPFC）付近におけるoxy-Hb量の変化
- 2 不快検出に関わる両半球、前頭前野腹外側部（VLPFC）付近におけるoxy-Hb量の変化
- 3 快・不快の検出時期
- 4 快・不快の検出時間
- 5 光の状態
- 6 音の状態

7 アンケート

快・不快相関

体験時のトレンドグラフ(図3)の例のように、ch.5の下降中は快とみなし、背景にグレーを表示している。またch.2とch.8が同時に上昇している間を不快とみなし、やはり背景にグレーを表示している。一般に快と不快が同時に起こることは考えにくいので、快・不快には相関関係があると考えられるが、図のグレーの表示からわかるように、快と不快が同時に検出されている部分がある。また、どちらも検出されない部分もある。そこでこの鑑賞者全員のデータに基づき、快・不快それぞれの検出時間の割合を求め、快・不快相関の分析を行った。(図4)その結果、快・不快の相関関係は $R=-0.322$ の弱い負の相関であることが判明した。

快・不快に負の相関が認められることから、《光・音・脳》による情動判定は、ある程度の整合性が認められる。しかし弱い相関関係であることから、判定の精度において問題解決の余地が残る。そもそも星らの研究で用いられた素材が、強い情動を誘発する素材であった。それ

に比べて《光・音・脳》の光・音体験は、刺激としては弱いものを含むので、快でもない不快でもない、曖昧な時間があると考えられる。よって、そのような時間をグレーゾーンとして位置づけ、快・どちらでもない・不快の判定システムを再構築することによって、より正確な情動判定を目指す必要があると考える。

快・不快の継続パターン

次に、快が継続するパターンについて分析を行った。(表1)体験中にch.5の快が連続して30秒以上検出された鑑賞者、あるいはch.2とch.8において不快でない状態が30秒以上検出された鑑賞者、これらを継続タイプとした。一方、体験中にch.5の快が連続して30秒以上検出されない場合、あるいはch.2とch.8において不快でない状態が30秒以上検出されない場合、これらを非継続タイプとした。継続タイプ、非継続タイプを男女別に比較し分析を行った結果、継続タイプの男性は快・不快相関が女性と比較して高く、快と不快が明確な傾向があった。継続タイプの女性については、快の重心が男性と比較してやや高く、不快の重心がやや低

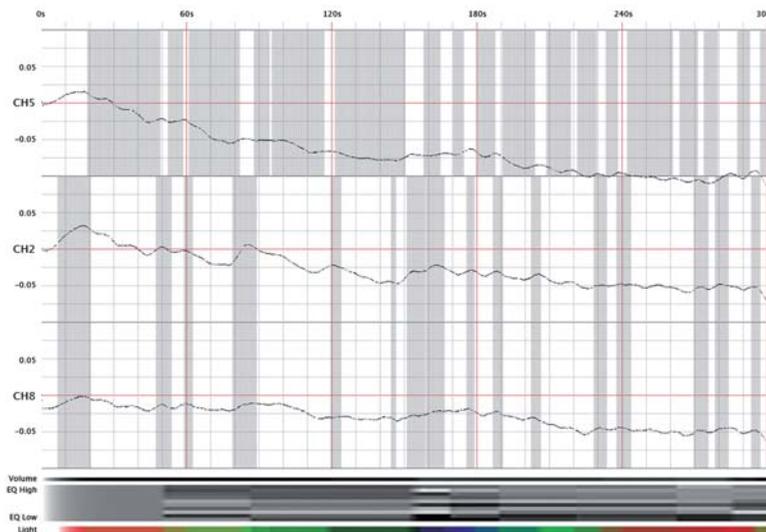


図3 oxy-Hb量のトレンドグラフ例

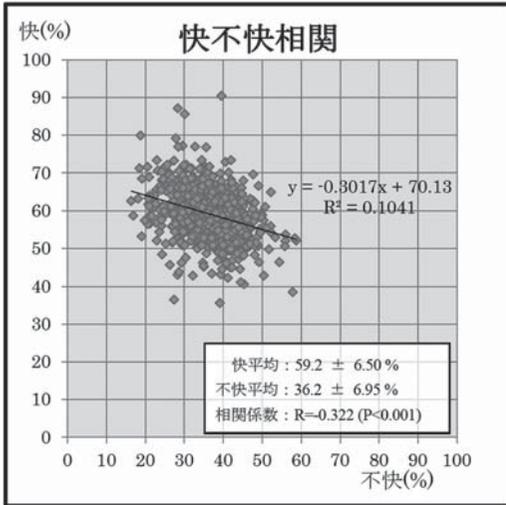


図4 快・不快相関

表1 継続タイプと性差

継続タイプ	男性 (117人)	女性 (222人)
重心 (不快・快)	(35.1, 60.5)	(34.2, 62.2)
相関係数	R=-0.390	R=-0.232
非継続タイプ	男性 (177人)	女性 (241人)
重心 (不快・快)	(37.8, 57.1)	(37.5, 57.2)
相関係数	R=-0.252	R=-0.240

い。つまり快の状態が相対的に多い傾向が見られた。一方の非継続タイプについては、両者とも快・不快相関が低い。また継続タイプと比較すると、快の重心が低く不快の重心が高い傾向が男女に共通して見られた。

光・音の刺激と情動

情動検出時の光と音の分析を行った。ただし光と音の状態は極めて複雑で多様なバリエーションがあることから、このままでは統計処理が困難である。よって、光・音ともにその特性に応じて3つに分類することにした。

光についてはRGBそれぞれの明るさをランダムに制御したが、このRGBカラーモデルを一旦HSBモデル（色相、彩度、明度）に変換

し、360°色環において3系統の色に分類した。赤をセンターとする120°をR系統、緑をセンターとする120°をG系統、青をセンターとする120°をB系統とした。音については10段階の周波数域をランダム制御によってイコライジングを行ったが、こちらでも3系統の音に分類した。512Hz以下をL（低音）、256~4kHzをM（中音）、2kHz以上をH（高音）とし、音の周波数特性において最も多く含まれる音域を参照し、L・M・Hの3つに分類した。

《光・音・脳》における光と音の体験は、常に両方の組み合わせによって鑑賞者に与えられる。従って、上記の色相3種類と音域3種類による分類は、RL・RM・RH・GL・GM・GH・BL・BM・BHの9パターンとなる。以上の9パターンのうち、快・不快を最も長く検出したパターンを各鑑賞者から抽出し、それらの人数比率を比較した。（表2）

快検出時の光の種類については、R：G：B = 31.9：34.4：33.7で大きな差はないが、赤がやや少ないという結果が見られた。一方の音については、L：M：H = 28.5：22.5：49.0の結果で、高音に有意差があった。

続いて不快検出時の光を検証したところ、R：G：B = 34.8：32.5：32.7となり、快検出時とは反対に赤がやや多かった。音については、L：M：H = 29.5：19.4：51.5という結果となり、快検出時と同じく高音に有意差が見られた。

以上の結果を総合すると、光については赤が不快を誘発しやすく、緑は快を誘発しやすい、青はやや快を誘発しやすいという傾向が見られる。音については、低音は不快を誘発しやすく、中音は快を誘発しやすい、高音は快・不快両方に強く作用する傾向がある。また光の刺激よりも音の刺激が情動を誘発しやすいことが判明した。ただし《光・音・脳》は、光と音を同時に提示しているため、両方の相乗効果を前提とする結果である。光・音をそれぞれ単独で提示した場合は、異なった結果となる可能性も考慮しておくべきだろう。

表2 刺激と快・不快

快検出時に最も提示された刺激の組み合わせ(単位：人、かつこ内は割合)

快検出時	R	G	B	計
L	62 (7.9%)	81 (10.3%)	81 (10.3%)	224 (28.5%)
M	56 (7.1%)	66 (8.4%)	55 (7.0%)	177 (22.5%)
H	133 (16.9%)	124 (15.8%)	129 (16.4%)	386 (49.0%)
計	251 (31.9%)	271 (34.4%)	265 (33.7%)	787 (100%)

不快検出時に最も提示された刺激の組み合わせ(単位：人、かつこ内は割合)

不快検出時	R	G	B	計
L	75 (9.5%)	81 (10.3%)	76 (9.7%)	232 (29.5%)
M	56 (7.1%)	54 (6.9%)	43 (5.5%)	153 (19.4%)
H	143 (18.2%)	121 (15.4%)	138 (17.5%)	402 (51.1%)
計	274 (34.8%)	256 (32.5%)	257 (31.4%)	787 (100%)

情動の判定とアンケートにおける快・不快

ここでは、快・不快の検出時間とアンケートに基づく快・不快の関連を調査した。すでに述べたとおり、《光・音・脳》によって判定している快・不快は、身体における潜在的な情動反応の過程のことであり、一方のアンケートにおける快・不快の回答は、鑑賞者によって意識された顕在的な感情である。これら潜在的な情動と顕在的な感情は関連があると予測されることから、両者を比較し検討した。

なおアンケートについては、展示期間の途中にその内容を変更した。特に鑑賞者が感じた「体験を通しての心地よさ」にかかわる項目において、後半のアンケートから -5(不快)から +5(快)までの点数化を行ったことにより、ここでは後半のアンケートの結果に基づいて、298名を対象とする分析を行った。(図5)

まず、快情動が検出された時間の割合の平均(59.5%)と不快情動が検出された時間の割合の平均(37.1%)を閾値とし、対象を次の4グループに分けた。

- A：快が平均より多く、不快が平均より少ないグループ。
- B：快が平均より多く、不快も平均より多いグループ。
- C：快が平均より少なく、不快も平均より少

ないグループ。

D：快が平均より少なく、不快が平均より多いグループ。

次に、これらのグループごとにアンケートによる点数の平均値を当てはめると、次のような結果となった。

A = + 2.54 (n=87)

B = + 2.48 (n=60)

C = + 2.48 (n=60)

D = + 2.29 (n=91)

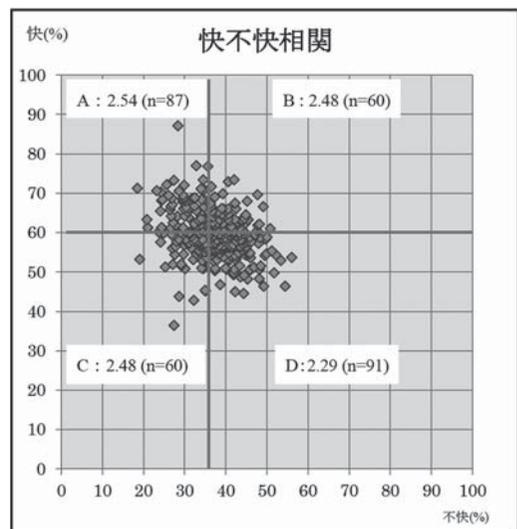


図5 アンケートとの比較

そもそも快情動の検出時間の平均値が59.5%で、不快情動の検出時間の平均値が37.1%であること、そして全グループのアンケートの点数が正の値でかつ2ポイント以上であることから、《光・音・脳》が体験全体として快の情動や感情をより多くもたらしていることは明らかである。また、Aグループにおける快感情のポイントが相対的に高く、Dグループにおける快感情のポイントが相対的に低いことから、本システムにおける情動の測定と体験者の実感としての感情は、ある程度一致していることが判る。ただしグループ間の差がわずかであるため、有意な差とは言いがたい。

以上のような結果から、《光・音・脳》が意図した快を誘発する機能については、情動面・感情面ともに成功していたと考えられるが、情動と感情の関連性については不確かだと言えるだろう。この点についても、先に述べた情動の判定における精度の問題、とりわけグレーゾーンの設定によって改善する余地が残されていると考える。

アンケートの記述

「体験中に思ったこと、感じたこと」について記述する項目をアンケートに設けた。「心地よい」「快感」「リラックス」といった快情動に起因すると思われる記述と「緊張」といった不快情動に起因すると見られる記述が多かったが、他にも以下のような回答があった。

快情動に起因すると思われる記述例

「懐かしい」「あたたかい」「きれい」「眠い」「気持ちいい」「期待」「ワクワク」「楽しい」「やさしさ」「包まれる感じ」「爽快」「安らぎ」「浮遊感」「開放感」「安定」「高揚感」など

不快情動に起因すると思われる記述例

「不快」「不安」「緊張」「怖い、恐怖」「違和感」「孤独」「消失感」「焦り」「死」「ナーバス」「危機感」「逼迫」「圧迫感」「追われている感じ」「めまい」「苦しい」「不安定」「自我喪失」「逃げたい」「落

ち着かない」「うるさい」「あわたししさ」など

感覚的な体験の記述例

「上昇感」「迫ってくる感じ」「爆発」「まぶしさ」「冷たい」「吸い込まれる感じ」「疾走感」「落下、下降感」「スピード感」「疾走」「飛んでいる感じ」「吸い込まれる」「空間の変化（拡大縮小）」「沈んでいく」「漂う」「静けさ」「目を開けているのか閉じているのか判らない感覚」「溶けていく感じ」「時折、ブラックアウトする」「澱のようなモヤ、あるいは特定の図形のようなものが見える」「光が中心から同心円状に広がる」「奥行きが全くわからなくなる」「温度や湿度、匂いの変化を感じる」「深い没入感」など

その他

「面白い」「妙な感動」「退屈」「不思議」「驚き、びっくり」「ドキドキ」「非日常感」「興奮」「ここどこ?」「無心」「人工的」「目が回った」「戦い」「気絶するような意識の途切れ」「思考が働きづらくなり、急激に眠くなる」など

実験中に浮かんだイメージ

宇宙、宇宙空間を飛ぶ、水中、雲の上、海、海中、ダイビング、小雨、スコール、どしゃぶり、豪雨、嵐、台風、ブリザード、ゲリラ豪雨、夕立、洪水、激流にさらわれる、広い空間に落ち込んでいく、雷、炎、風、樹木を潤す雨、草木が風に揺れる、せせらぎ、土の香りのする雨、滝、滝壺、エヴァンゲリオン、火山、大地の変動、草原、電車の高架下、棺で焼かれる、空、晴れた空、太陽、飼い犬、飛行機、離着陸、人間の体内、子宮の中、胎内の赤ん坊、卵の中、遠浅の海でたゆたっている、大学の友達と生活、血、トイレ、クリームソーダ、プラネタリウム、自転車に乗っている、バイクに乗っている、雨の中の登山、ジェット、ジェットエンジン、ジェット気流、かまくらの中、林の中、雨の森、ジェットコースター、夜、夢、激流の川下り、祇園祭、ジェームズ・タレル、田んぼ、SF宇宙の旅、雲の中、雲の中から太陽、大気圏を抜けるロケット

ト、つり橋を渡る、斎場の焼却炉、雨の登下校、空襲、死、疾走する忍者を俯瞰、培養液に浮かんでいる、機関車、田舎の川、田舎の山、昔の遊び場所、キャンプ場、焼肉、劇場の拍手、山頂で寝て空を眺める、昔のこと、下水道、空港、火事、林を抜けて空に飛びたつ、夜に飛んでいる、深海、砂浜、水辺、電車がトンネルに入る、スーパーのカートを押す、死んでしまった、森の小人、夕焼け、夕日、戦争、戦争映画、原爆、一人で家にいる、夢の中、時計仕掛けのオレンジ、地下、岩山、ゴジラ、桜、藤、イタリアの夏の空、京都の快晴の空、昆虫、青リンゴなど

記述によるアンケートの結果を見れば、実に多種多様な感想が述べられていることがわかる。中には「全ての感情の種があるように思う」といった、まるでこちらの意図をそのまま反映したかのような感想も寄せられた。言うまでもなくこれらの記述を定量的に分析することは困難であるが、個人の主観的体験という観点から見れば実に興味深いものである。それは光の色とノイズ音の変化という、言わば単純な刺激を通じて、鑑賞者一人一人に固有の感覚や感情あるいは記憶を、追時的・継続的に生起させている結果である。《光・音・脳》の体験は、神経科学的な脳と身体の潜在的な相互作用による情動生成の過程であると同時に、鑑賞者の過去の記憶を引き出しながら心的状況を刻々と変化させる生の経験でもあるのだ。時間の流れとともに生成変化する身体的・心的状況を自覚すること、それはベルクソンが「純粹持続」という概念を用いて探求した時間の存在、すなわち生命における潜在的なるものへの接続と言えないだろうか。ベルクソンは、「生命は最初から、持続の中で、過去を保存し未来を予測することに没頭します。持続におきましては、過去・現在・未来が重なり合い、分割できないひとつの連続を作っています。」あるいは「意識の巨大な流れが物質を横断してきたかのように事態が進行しているのです。意識の巨大な流れにおいてはあらゆる種類の潜在性が相互に浸透しています。

そしてこの意識の巨大な流れが物質を横断するのは、物質を機構へと導き、それは必然性そのものなのですが、その機構を自由の道具にするためなのです。」²¹⁾としている。生命の潜在的な多様性を「持続」という相においてとらえ直すことで、物質でもなく心でもない、私たち人間を含めたあらゆる生に共通の巨大な流れが、未来を創り出す。彼にとってみれば、人間の身体もまた、この流れにおいて創られた「芸術作品」の一つなのだ。《光・音・脳》における個人の主観的な体験が、そのような巨大な生命の流れに接続し還流することを促す契機であることを期待したい。

むすび

《光・音・脳》の体験を芸術的体験という観点から見れば、光と音の刺激が鑑賞者にもたらす自身の心的状況の変化を自らが見るといった経験こそが重要であろう。ある時は特定の光と音の組み合わせの美しさに感動することがあるだろうし、反対に違和感や恐怖などの不快な感情が生起することもあるだろう。またある時は光と音の刺激によって過去の記憶が生起することもあるだろう。いずれにせよ鑑賞者は、光と音のミニマルな刺激によって、自らの心的状況が刻々と変化するプロセスを体験することになる。これはすなわち、情動のバイオ・フィードバックを通じて、自己が自己の再発見を誘うようなメタ的・自己言及的な状況、あるいは瞑想的な状況を経験することに他ならない。その意味で、《光・音・脳》は芸術作品という観点においては、個の経験の固有性こそを重視した新しい経験の場として完結するものである。

一方、脳神経科学に関わる科学的探求という観点から《光・音・脳》を位置づけた場合、作品はすなわち感覚刺激と情動反応の関係を探る実験装置となる。鑑賞者は実験データを提供する被験者であり、続く実験データの検証や分析によって新たな知見を得ることこそが課題となる。しかし今回の取り組みは、どちらかと言えば芸術的体験の方に力点をおいた結果、分析・

検証の段階において科学的実験としての精度に欠けていることが判明した。この点については、改めて問題を整理するとともに、予備的な実験と検証が必要だと考える。

芸術と科学を融合すること、すなわち体験の豊かさを重視する芸術的営為と科学的普遍的成果の探求を重視する立場を両立させることは簡単なことではない。しかしドゥルーズ+ガタリが説いたように、探求すべき対象は「無限に多様なものとしての現実」であり、芸術と科学と哲学の三つの異なる方法によって相互に補い合うべきなのであろう。²²⁾ 今後は哲学からの観点も加え、次期プロジェクトへとつなげたいと考える。

本研究は、2010年度同志社女子大学教育・研究推進センターの国内研究助成 B に基づく研究成果である。

注

- 1) 京都国立近代美術館主催、京都市立芸術大学特別協力による展覧会で、国内外から11種類のプロジェクトが参加した。会期：2010年7月9日～8月22日、会場：京都国立近代美術館。
- 2) 京都国立近代美術館HPより、「生存のエシックス」プロジェクトチームによるテキスト。
- 3) 外的情報を遮断し知覚を均一にする方法。視覚においては視野全体を均質な光で覆う。聴覚では構造のないノイズ音を聞かせる。タレルの作品《ガスワークス》では、半球状の空間において、鑑賞者が視覚のガンツフェルトを体験することができる。日本では金沢21世紀美術館が本作品を所蔵している。
- 4) 2000年に制作された作品。蛍光灯、ネオン管が用いられている。
- 5) 逢坂恵理子「光との出会い」、『ジェームズ・タレル 未知の光へ』展覧会カタログ所収、水戸芸術館現代美術センター、1995年、8頁。
- 6) 下條信輔「知覚=記号無き思考—タレルと視覚科学」、『ジェームズ・タレル展 夢のなかの光はどこからくるのか?』展覧会カタログ所収、ジェームズ・タレル展実行委員会、1997年、13頁。
- 7) 大平英樹編『感情心理学・入門』、有斐閣、2010年。
- 8) アントニオ・R・ダマシオ『無意識の脳 自己意識の脳—身体と情動と感情の神秘』田中三彦訳、講談社、2003年（原著1999年）、344頁。
- 9) アントニオ・R・ダマシオ『感じる脳』田中三彦訳、ダイヤモンド社、2005年（原著2003年）、51頁。
- 10) アントニオ・R・ダマシオ『生存する脳—心と脳と身体の神秘』田中三彦訳、講談社、2000年（原著1994年）、214頁、218頁。
- 11) 前掲書、216頁。
- 12) 前掲書、220頁。
- 13) 前掲書、220頁。
- 14) アントニオ・R・ダマシオ『感じる脳』ダイヤモンド社、2005年（原著2003年）、88頁、51頁。
- 15) 前掲書、102頁。
- 16) アントニオ・R・ダマシオ『生存する脳—心と脳と身体の神秘』田中三彦訳、講談社、2000年（原著1994年）、233頁。
- 17) Ohira H, et al. 2006. Association of neural and physiological responses during voluntary emotion suppression. *NeuroImage*, 29, 721-733.
- 18) アントニオ・R・ダマシオ『感じる脳』ダイヤモンド社、2005年（原著2003年）、88頁。
- 19) Hoshi Y, et al. 2009. Recognition of Human Emotions from Cerebral Blood Flow Changes in the Frontal Region: A Study with Event-Related Near-Infrared Spectroscopy. *Neuroimaging* 21, e94-e101.
- 20) 京都大学大学院医学研究科・医学部及び医学部附属病院医による倫理委員会での承認（番号：E1269）を受けた。
- 21) ベルクソン『精神のエネルギー』宇波彰訳、第三文明社、1992年（原著1919）、23、31頁
- 22) ジル・ドゥルーズ+フェリックス・ガタリ『哲学とは何か』財津理訳、河出書房新社、1997年（原著1991年）、310頁