

平成 21 年 6 月 8 日現在

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2007～2008

課題番号：19530663

研究課題名（和文） 近赤外分光法の長所を生かした2つの研究

研究課題名（英文） Two experiments make use of merits of near -infrared spectroscopy

研究代表者

小嶋 祥三（KOJIMA SHOZO）

慶應義塾大学・文学部・教授

研究者番号：70027499

研究成果の概要：

この研究では、新しい脳機能計測法である近赤外分光法（NIRS）の長所を生かした研究を行った。NIRSの長所は実験参加者の動きに比較的強いこと、複数の参加者から同時に記録することが可能なことであるが、その背景として、測定がきわめて容易、簡便であることがある。動きに関しては、上肢を使う大きな運動とそのイメージ生成が有線領外身体領域（EBA）を活性化させた。複数の同時記録では、囲碁の教授における前頭葉の活動記録の予備研究を行った。また、嘘や性格特性と脳の活動との関係も検討した。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,400,000	420,000	1,820,000
2008年度	1,400,000	420,000	1,820,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,800,000	840,000	3,640,000

研究分野：社会科学

科研費の分科・細目：心理学・実験心理学

キーワード：近赤外分光法 有線領外身体領域 前頭前野 運動 教授法 性格

## 1. 研究開始当初の背景

NIRSは新しい脳機能計測法であるが、長所と短所を持つ。短所は、酸素化ヘモグロビンと脱酸素化ヘモグロビンの脳内変動を計測すると考えられているが、その信号源が必ずしも明確でないこと、空間分解能が低いこと、脳深部の活動は計測できないこと、などである。長所はPETやMRIと異なり、大がかりな装置が不要であり、維持経費も高額にならず、安全かつ簡便に脳機能計測ができることで

ある。それゆえ、同一参加者から短期間のうちに複数回記録することが可能であり、乳幼児、児童、障害者、高齢者にも適した、万人向けの計測法といえる。また、実験参加者の運動に比較的頑健であり、加えて、複数の参加者の脳機能を同時計測可能である。この最後の2点に焦点を当てて、実験を実施することにした。また、計測の簡便性を利用して、記憶や、性格と情動的刺激の処理の関係を前頭前野の活性から検討することにした。

## 2. 研究の目的

(1) 運動に関しては、最近見つかった有線領外身体領域 (EBA) の機能を検討した。この領域は顔以外の身体刺激に反応し、加えて、視覚フィードバックなしの運動にも関係する。以上は機能的 MRI の研究であるが、NIRS でも同じ結果が得られるか、さらに同じ運動のイメージ生成で活性化があるか、それは前頭葉の活性化とどのように関係するかを検討する。これはイメージ生成をワーキング・メモリの枠組みでとらえた結果でもある。

(2) 複数参加者からの同時脳機能計測に関しては、教育を教授者と受講者の両者から同時計測することを試みた。内容は囲碁である。囲碁の熟達者が初心者に詰め碁を教授する際の前頭前野 (PFC) の活動を記録した。

(3) この他に、差別的記憶効果 (differential memory effect, DM 効果) を検討した。これは2週間の保持期間で、再認可能な項目と忘却される項目がでてくるが、それは記銘時の活動に原因があるのかを検討するものである。再認結果から、両項目の記銘時の活性化を調べ、差がみられるかを検討する。もし差があれば、忘却の原因は記銘時にあったと推測される。このように、短期間に複数回記録することは PET、機能的 MRI では難しい。性格特性と情動刺激の関係を、前頭前野の活性化から検討した。性格は NEO-PI-R とその簡易版 NEO-FFI で5項目の特性の得点を得る。情動刺激としては、良い嘘と悪い嘘、快、不快、中性の情動写真を用いる。これらの情動刺激に対する PFC の活性化と性格特性の間の相関を検討する。

## 3. 研究の方法

(1) 運動に関しては、3つの実験を行った。一つは果たして身体への反応が NIRS で記録可能かを検討した。左右の EBA を含む後頭 - 側頭領域をカバーするように NIRS のプローブ (3 × 5、22チャンネル) を装着した参加者に、頭部のない身体 (テスト刺激) と椅子 (コントロール刺激) の静止画を提示し、両刺激の差から、身体への脳の活性化を検討した。次に、長さ 40cm の L 字型のスリットを右人差し指で往復する運動実行時にこの領域の活性化を検討した。このとき閉眼状態で、身体は見えない。15s で往復し (テスト) 20s の休憩 (コントロール) がある。最後に、同じ運動のイメージを生成させ、EBA を含む領域の反応を検討した。閉眼、時間関係は運動実行と同じである。なお、イメージ生成の実験では、一部の参加者で PFC の活性

化も検討した。時間はメトロノーム (1/s) で知らせたが、コントロールではメトロノーム音のカウンティングを行わせた。

(2) 複数の参加者から同時記録をする実験では、囲碁の熟達者と初心者が詰め碁を行い、結果を講評する際の PFC の活性化を検討した。正中線を挟み 3 × 5 の NIRS プローブを装着し、詰め碁や講評で生起するイベントの前後の活動を比較した。この研究は予備的な段階にある。

(3) DM 効果については、国際情動写真システム (IAPS) 画像の中から快、不快、中性と思われる静止画を選択して実験を行った。まず、これらの画像を 60 名の学生に快、不快の程度を 5 段階評定させ、典型的な刺激を各 20 枚選び出し、参加者に提示した。参加者は 3 × 5 の NIRS プローブを正中線を挟み PFC に装着されている。参加者は提示された情動画像の快、不快の程度を 5 段階評定し、この間の PFC の活動を記録した。これが記銘であるが、偶発的な学習である。そして2週間後に再認のテストを行った。テストでは記銘に用いた各刺激から 10 枚を選び、新しい刺激各 10 枚とともに提示した。参加者は、その刺激が記銘時に提示されたものかを判断した。その結果、再認できる刺激と忘却される刺激が出てくるが、それぞれの刺激の記銘時の PFC の活性化を比較した。もし両者に違いがあれば、忘却の原因は記銘にあることが推測される (DM 効果)。

(3) 性格特性の個人差により、情動的な刺激の処理に差があるのかを、PFC の活性化から検討した。PFC の活性化は 3 × 5 のプローブを正中線を挟んで装着し、記録した。性格特性はいわゆる big5、NEO-PI-R とその学生用簡易版の NEO-FFI で測定した。参加者の神経症傾向 (N)、外向性 (E)、開放性 (O)、調和性 (A)、誠実性 (C) の 5 特性の得点を得た。今回はこれまで言及されることが少なかった A、C 特性に着目した。情動刺激としては、上記の IAPS の快、不快、中性画像各 12 枚を提示した。PFC の反応に関して、快 - 中性、不快 - 中性の引き算操作を行い、その結果と 5 つの特性との相関を検討した。もう一つは文章刺激で、ユーモアや他者を気遣う「良い嘘」と、他者を陥れ、傷つける「悪い嘘」を提示し、それらの許容の程度を 5 段階評定しているときの PFC の活性化を調べた。そして、それらの嘘に対する PFC の活性化と性格特性との間の相関を検討した。

なお、DM 効果や性格特性の実験では、刺激提示前後をコントロール、刺激提示中をテストとして、テスト - コントロールで脳の反応 (酸素化ヘモグロビン、oxy Hb) を評価した。

血液動態の時間遅れは考慮してある。

#### 4. 研究成果

(1) まず、EBA の研究について。椅子刺激に比較して、身体刺激は EBA を含む領域を活性化させた。これは NIRS により、EBA 特有の身体刺激への反応をとらえ得たことを示している。この領域は上肢の大きな運動でも活性化した。すなわち、コントロール期に比べて、テスト期に活性があった。この結果は EBA が単に身体への刺激に反応するのではなく、その動きにも関係することを示している。これも fMRI で得られた結果と一致する。この実験で最も興味深いのはイメージ生成の結果である。イメージ生成では当初の分析で活性化がみられなかった。その後、参加者の性別に基づいて分析したところ、男性ではこの領域の活性化が、女性ではむしろ不活性化（抑制）がみられた。この性差は PFC の活性化にも見られており、男性では EBA 領域と類似する活性がみられたが、女性では活性は顕著でなかった（不活性ということにはなかった）。この性差の意味するところは、今後の検討課題である。PFC と EBA が類似した活性化の傾向を示したことは興味深い。イメージ生成をワーキング・メモリの枠組みでとらえることを提唱している。すなわち、PFC にはイメージを生成する中央実行系的な機能を想定、（プロセッサと呼んでおく）一方、EBA には従属システムの機能を想定する（感覚運動バッファと呼んでおく）EBA は身体とその運動についての感覚運動バッファと考えられる。なお、紡錘状回には顔についての視覚バッファ、海馬傍回には場所についての視覚バッファがあると考えられる。顔や場所をイメージすると、これらの領域の活性が高まることが知られているが、身体の動きのイメージ生成では EBA が活性化する。なお、運動のイメージ生成では、補足運動野（SMA）が活性化することが知られているが、EBA は SMA などと運動に関するバッファを構成していると考えられる。

以上、NIRS が大きな動作を使用する実験に適していることを示した。

(2) 次に複数参加者からの同時記録について。この実験は予備的な段階にある。記録そのものは問題なくできる。ただ、囲碁に関する脳の活動の分析に問題があった。参加者が囲碁を打つイベントで活性化がみられるが、それが囲碁に関連した高次の機能を反映しているのか、それとも石を置くという運動反応に関連した活動を反映しているのかを分離する必要があった。また、熟達者が初心者に講評する場合、相互のやり取りのイベントがあり、それを反映したレシプロカルな脳

の活動がみられる。これに関しても、単なる運動反応を反映している可能性があり、今後の課題である。より単純化した実験事態で検討すべきと思われる。また、母子間の相互作用へと実験を発展させる必要があるが、幼児の動きなどを統制する必要があるだろう。EBA の実験では fMRI では困難な大きな動作を利用することができたが、NIRS の動きに対する頑健さは相対的なものであり、頭部の動きがないことが実験に好ましいことは、言うまでもない。

以上、NIRS で少なくとも複数の参加者の脳の活動を同時に記録することが可能であり、それが母子間、教師と生徒間などのインタラクションの脳内過程を検討する手段となることを示した。

(3) DM 効果について。この実験では記銘時に快、不快、中性の情動写真を提示し、情動評価をさせた。2週間後にそれらの刺激の再認のテストを行った。行動の結果は、不快、快、中性刺激の順序で、再認率が低下して行った（それぞれ、79%、72%、62%であった）。再認成績に関係なく、記銘時の脳の活性化を検討すると、すべての写真に対して、PFC の活動は低下した。ただし、低下は不快刺激で最も強く、快、中性刺激の順序だった。すなわち、PFC は再認率が高い不快刺激では最も不活性になり、次に再認率が高い快刺激で不活性が弱まり、最も忘却される中性刺激ではきわめて弱い不活性がみられたにすぎない。次に、再認テストで再認された刺激、再認されず忘却されたが、記銘時にどのような活性化を示したかを検討した（DM 効果）。その結果、再認された刺激では上記の傾向があった。一方、忘却された刺激では異なる反応がみられた。忘却された不快刺激に対して、PFC は最も強い活性を示していた。一方、忘却された中性刺激は、記銘時に最も強い不活性を示した。忘却された快刺激は不活性の程度をやや強めていた。したがって、DM 効果がみられたといえる。この結果は興味深い。まず、不快刺激は、快、中性刺激と異なる方向で DM 効果みられた。すなわち、中性、快刺激では PFC の不活性が強まること忘却につながり、不快刺激では活性化が強まること忘却につながった。不快刺激は、快、中性刺激と異なる処理を受ける可能性がある。PFC は外部刺激に注意が向くと活性が落ちるという報告がある。不快刺激の結果は、記銘時に注意が十分でなかったことが忘却につながったかもしれないことを示唆する。しかし、これは中性、快刺激の結果を説明できない。上記の異なる処理の可能性を考える必要がある。細部にわたっては説明できていないが、記銘時にみられた活性化をデフォルト・モードとすると、それから逸脱する活性化を示

す刺激は将来忘却されるのだろう。なお、このような結果はPFCの広い領域で共通してみられた。

以上、NIRSの安全性が高いので、同一参加者から何度も記録することが可能であり、この実験はその利点を示すことができた。

(3) NEO-PI-Rの下位項目を含む性格特性と、情動刺激の処理との関係をPFCの活性化からみた。情動写真に対するPFCの活性化と性格特性との相関は、特性によって異なっていた。N、E、C特性が特徴的な相関のパターンを示した。N特性は主に右PFCの腹側部で快刺激に対する脳反応と負の相関をもった。E特性は左PFCの背外側部で不快刺激と正の相関をもった。N傾向が強いと快な情動刺激への反応が低下する。N傾向が強いと、抑圧的になり、快刺激へ反応することが弱まる可能性が考えられた。領域から判断して、N特性は情動的なものである。E傾向が強いと不快な情動刺激への反応が増加する。E特性が強いと、不快刺激への対応も強まると考えられる。刺激希求の傾向が強いのだろう。E特性は脳領域から判断して、認知的な側面が強い。もっとも強く、PFCの広い領域で相関を示したのはC特性だった。快刺激、不快刺激と正の相関を示した。両刺激は興奮性を高めるので、その次元に反応する活性化かもしれない。C特性は自己統制と関係するので、その面を反映しているのだろう。C得点が高いと、これらの刺激に対するPFCの活性化も強い。C特性は情動的、認知的な両側面に関係すると思われる。

一方、嘘に対するPFCの反応とNEO-FFIによる性格特性の間の相関については、以下の結果となった。「悪い嘘」に対するPFCの反応は5つの性格特性をほとんど相関しなかった。「良い嘘」はA特性とE特性と負の相関をした。脳領域的な偏り、特徴はなく、広い領域で相関がみられた。「良い嘘」にはユーモアや他人を傷つけまいとする嘘が含まれた。A、E特性はこのような側面に関係したのだろう。ただ、なぜ負の相関なのか？この傾向が強いと、他人を思いやるのは当然で、あえてPFCを活性化させる必要がなくなるのだろうか。

なお、これら2つの性格特性の実験で、通常の分析法では有意な活性化部位は見られなかった。

以上、NIRSのもつ脳機能画像としての簡便さをフルに利用した実験となった。また、分析法としても興味深い問題を提起している。脳画像研究では、個人差を無視する分析法が一般的である。ある課題を行っている多くの参加者が、同じような脳の活性化を示すことにより、脳の機能が推定されてきた。この分析では、個人差が大きい場合、有意の結果が

得られない。しかし、本実験のように、個人差を分析の要因に加えることにより、これまで無視されてきた側面が浮かび上がってくる。性格特性の実験は、それを示した。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表](計3件)

石津 智大・綾部 友亮・小嶋 祥三 ヒト身体像認知における神経活動 -近赤外分光法による研究- 日本心理学会第72回大会、札幌、北海道大学、2008年9月21日

Kojima, S. Personality and prefrontal reactivity to emotional stimuli: A NIRS study. The 31th Annual Meeting of the Japanese Neuroscience Society. Tokyo, Tokyo Forum, July 10, 2008.

小嶋祥三・橋本照男 記銘時の脳の活動と再認の関係 - 近赤外線分光法(NIRS)による研究。日本心理学会第71回大会、東京、東洋大学、2007年9月18日

[図書](計1件)

Minagawa Kawai, Y., Naoi, N. and Kojima, S. (2009) A New Approach to Functional Neuroimaging: Near-Infrared Spectroscopy (NIRS). Pp.140. Tokyo:Keio University Press.

## 6. 研究組織

(1)研究代表者

小嶋 祥三 (KOJIMA SHOZO)  
慶應義塾大学・文学部・教授  
研究者番号：70027499

(2)研究分担者

(3)連携研究者