

乳児感情の読み取り課題における前頭前野NIRSデータの個人差について — 因子分析とクラスター分析を用いた記述の検討 —

松澤 正子

1. 本稿について

養育者による乳児感情の読み取りの個人差は、乳児の感情発達の重要な要因とされている (Inoue, Hamada, Fukatsu, Takiguchi, & Okonogi, 1993)。これを踏まえ筆者 (松澤, 2016, 2017) は、女子大学生や乳幼児を養育中の父母を対象に、乳児感情の読み取りを行っている際の前頭前野の脳活動のNIRS計測を行い、感情読み取りの個人差と前頭前野の活動との関連を検討してきた。しかしながら、両者の間に関連を見出すことはできていない。ただし、これらの研究の問題点として、①実験課題と統制課題の繰り返し計測がないために順序効果が懸念される実験デザインであったこと、②NIRSデータに含まれる頭皮の血流変化成分の除去処理がなされていなかったこと、③単一計測チャンネルのデータで分析を行ったために測定上のノイズによる誤差が結果に影響した可能性があること、④実験参加者の人数が個人差の検討には不十分であったこと、などが指摘され、再検討が必要と考えた。

そこで、①実験課題と統制課題を複数回繰り返す実験デザインとする、②血流動態分離法による頭皮の血流変化成分の除去処理を行う、③機能的に近いと考えられる複数の計測チャンネルをグループ化して分析を行う、④実験参加者を増やす、などの改善を施した研究計画のもとデータの収集を行った。

本稿では、そこで計測された乳児感情を読み取る際の前頭前野活動とその個人差の記述について検討した結果を報告する。NIRSの計測データは膨大で、個人によって少しずつ、あるいは大きく違う動きをする。精神機能との関連を検討する前に、実際にどのような個人差があるのかを理解し、どのように扱っていくかを検討する必要があるだろう。前頭前野活動と乳児感情の読み取りとの関連については、今回報告する結果に基づき、今後検証を進めていきたいと考えている。

2. 前頭前野活動の個人差の記述について

乳児感情を読み取る際の前頭前野活動には大きな個人差があることがわかっている (松澤, 2016, 2017)。この個人差について、今回は次のような分析による記述を試みた。

(1) 前頭前野では領域による機能の違いが指摘されており、先行するNIRS研究では複数の計測チャンネルを前頭前野右側部 (right prefrontal cortex: RPF) 、前頭極部 (frontal pole: FP) 、前頭前野左側部 (left prefrontal cortex: LPFC) にグループ化して分析が行われることが多い (岩山・松永・鍋田・片山, 2019; Makizako et al., 2013; Yeung, Lee, & Chan, 2020)。グループ化は、様々な測定上のノイズによる誤差を小さくできるという利点がある。そこで、今回計測された16チャンネルの計測データをグループ化するために、因子分析を試み、先行研究と同様の機能的グループが確認できるかを検討する。また、グループが確認された場合には、それらに関心領域として設定する。

(2) 次に各関心領域の平均賦活量の分布を確認し、課題遂行中の脳活動の個人差を把握する。また、各関心領域の平均賦活量が、対象者の子どもの有無、性別、利き手といった個人属性と関連するかを検討する。

(3) さらに、各関心領域の賦活パターンによって個人を分類できる可能性があるかを確かめるために、クラスター分析を試みる。クラスターに分類できた場合、賦活パターンの違いが子どもの有無、性別、利き手といった個人属性と関連するかを検討する。

3. 乳児感情の読み取り課題と前頭前野活動のNIRS計測

対象者 未婚で出産経験のない女子大学生・大学院生61人 (平均21.7歳、右利き57人、左利き4人) と0~2歳児を養育中の母親26人 (平均34.9

歳、右利き23人、左利き3人)、父親4人(平均33.3歳、右利き4人、左利き0人)を対象とした。

刺激写真 日本IFEEL Pictures研究会の許可を得て、日本版IFEEL Pictures (JIFP) 第2版の30枚の写真(日本IFEEL Pictures研究会, 2003)を、Task区間とPost-task区間の課題に用いた。写真は12ヶ月齢の日本人乳児のさまざまな表情から成る。また、これ以外にフリー素材として公開されている同様の乳児表情写真10枚をPre-task区間の課題に用いた。

NIRS測定 株式会社スペクトラテックのOEG-16を用いて、課題中の前頭前野の脳活動を測定した。OEG-16は16チャンネル(ch)からなるNIRS装置で、前額部のみに測定プローブを装着する簡易型装置である。計測部位は国際10-20法に基づき、測定プローブの中心をFpzに位置させた。

NIRS課題 賦活課題として‘感情読み取り課題’を、ベースライン課題として‘性別判断課題’を実施した。感情読み取り課題では、乳児の表情写真がモニタに3秒呈示された後、固視刺激(+)が3秒呈示された。参加者はこの6秒の間に乳児の感情がポジティブかネガティブかを手元のボタンで回答した(2件法)。性別判断課題では、感情読み取り課題と同じタイミングで提示される乳児の表情写真を見て、乳児の性別が男子か女子かをボタンで回答した。課題は10試行を1区間と

し、課題の開始と終了の合図を含めて1区間70秒であった。

対象者はそれぞれの課題について練習を行った後、まずPre-task区間として性別判断課題を行った後、Task区間として感情読み取り課題とPost-task区間として性別判断課題を行うセットを3セット繰り返した(Figure 1)。Task区間とPost-task区間では同じ写真刺激30枚を、順序を変えて提示した。なお、ボタンを押して回答する際には右手を用い、なるべく上体を固定し、目や頭も動かさずに指だけで反応するよう依頼した。

倫理的配慮 実験は昭和女子大学倫理委員会の承認を受け、倫理的配慮のもとに実施された(承認番号18-35)。

分析方法 Pre-task区間末の10秒間をベースラインとして、Task区間で上昇した脳血流変化がPost-task区間の60秒で減衰し、区間末の10秒間で再びベースラインに戻ると仮定し、ベースライン補正を行った。その後、高速フーリエ変換を用いたローパスフィルター(0.05Hz)を用いて体動のノイズ成分を取り除いた。また、得られた血流変化成分から頭皮の血流変化成分を差し引き、脳活動の信号成分を推定するため血流動態分離法を用いた。賦活指標には、Task区間末30秒間中の酸素化ヘモグロビン([Oxy-Hb])の平均賦活量(mM·mm)を用いた。なお、統計解析にはIBM

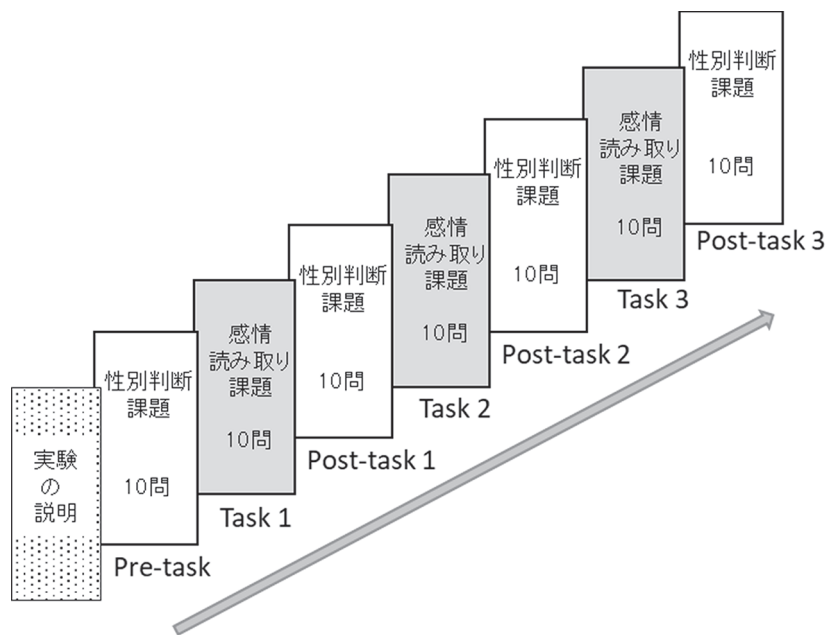


Figure 1 NIRS課題の流れ

SPSS Statisticsバージョン25を用いた。

4. 因子分析による関心領域の特定

前頭前野は機能的・解剖学的な性差や利き手による違いが指摘されており (Goldberg, Harner, Lovell, Podell, & Riggio, 1994; 金村・相原・中澤, 2002)、性別や利き手の異なる対象者が混ざったデータを用いた因子分析は適切でないと考えられた。このため、本研究の対象者の多数を占める右利き女性をプロトタイプとし、これにあたる80人(うち未婚学生57人、養育者23人)のデータのみを対象として因子分析を行った。まず、16チャンネルの賦活指標について固有値を求めたところ、第1因子10.631、第2因子1.146、第3因子1.116、第4因子0.563となったため、ガットマン基準(固有値1以上)から3因子構造を採用することとし、3因子解を当てはめた因子分析(主因子法、プロマックス回転)を行った。その結果、2つの因子に高い負荷を示すチャンネル(ch5)や、どの因子にも因子負荷が低いチャンネル(ch3, 6, 14)があったため、これらを除外し、再度3因子解を当てはめて因子分析を行った。その結果、因子間相関はかなり高いものの、すべてのチャンネルがいずれか1つの因子に対して比較的高い負荷量を示した(Table 1)。なお回転前の3因子での累積寄与率は77.2%であった。

第1因子はch7, 8, 9, 10, 11から成る前頭極部、第2因子はch12, 13, 15, 16から成る前頭前野左側部、第3因子はch1, 2, 4から成る前頭前野右側部ということができよう (Figure 2)。この結果は先行研究(岩山他, 2019; Makizako et al., 2013; Yeung et al., 2020)におけるチャンネルの分類とほぼ一致し、乳児感情の読み取り課題における3つの部位の何らかの機能的な違いが示唆されたのではないかと考える。一方で、今回の分析結果は、各因子に含まれるチャンネルの数が異なり、左右対称の分布になっていない。含まれるチャンネル数の違いは、今後領域間の公平な比較を妨げる可能性がある (Yeung et al., 2020)。しかし、多くの研究で前頭前野機能の左右差が指摘されている (e.g. Cipolotti et al., 2016; Goldberg et al., 1994) ことを考えると、分布が左右対称となっていないことは不思議でないように思われる。現段階では、乳児感情の読み取り課題における各領域の機能について推測できないが、ここでは因子分析の結果をある機能を担う領域と捉える。そして、因子分析から得られた同一因子のチャンネルをグループ化し、関心領域として設定することとした。なお、各因子の信頼性係数を算出してみると、第1因子は $\alpha = .957$ 、第2因子は $\alpha = .916$ 、第3因子は $\alpha = .751$ で、含まれるチャンネル数が少ない第3因子で信頼性がやや低かった。

Table 1 16チャンネルの賦活指標に対する因子分析結果

チャンネル	因子負荷			共通性
	因子1	因子2	因子3	
ch8	1.03	-.20	.04	.85
ch7	.93	-.03	.00	.82
ch11	.86	.11	.00	.90
ch10	.80	.31	-.15	.91
ch9	.66	.31	-.04	.78
ch15	-.07	.96	.05	.89
ch16	-.01	.81	.03	.66
ch12	.08	.78	-.01	.70
ch13	.23	.66	.10	.83
ch2	.14	-.13	.87	.80
ch1	-.24	.28	.58	.38
ch4	.36	.12	.50	.75
因子間相関	因子2	.72		
	因子3	.63	.57	

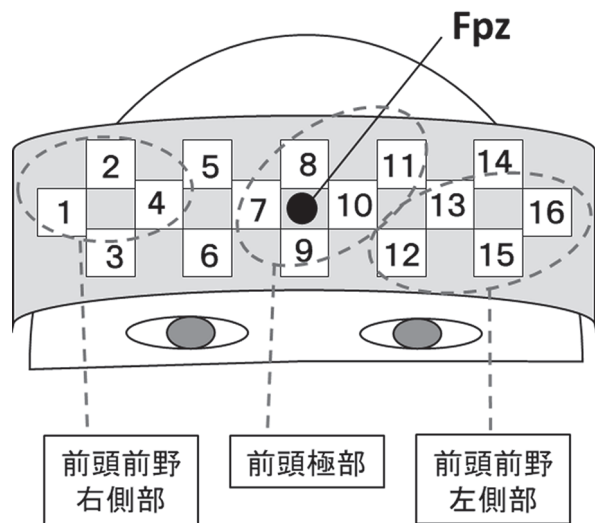


Figure 2 NIRSチャンネルの位置と因子分析に基づき設定された関心領域

Table 2 右利き女性 ($n = 80$) における各関心領域の平均賦活量

	前頭前野 右側部	前頭極部	前頭前野 左側部
<i>M</i>	0.010	0.004	0.010
(<i>SD</i>)	(0.031)	(0.030)	(0.029)
<i>min.</i>	-0.053	-0.101	-0.038
<i>max.</i>	0.132	0.128	0.130

(単位：mM·mm)

5. 関心領域における賦活量の分布について

右利きの女性対象者のデータを用いて各関心領域の平均賦活量を算出した (Table 2)。いずれの領域も平均値は0に近く、また同様のばらつきがみられる。乳児感情の読み取り課題の際に賦活量が増加する者もいれば、減少する者もいることがわかる。領域間の比較のために1要因分散分析を行ったところ有意差が認められ ($F(1.84, 145.17) = 3.28, p < .05$)、多重比較 (Bonferroni法) から、前頭極に比べて前頭前野左側部の賦活量が多いことが示された ($p < .05$)。右利き女性の乳児感情の読み取りにおいては、前頭前野の左側部が右側部や極部より多く使われる傾向があることが示唆される。ただし、左側部と右側部の平均値の値には差がなく、右側部の因子としての信頼性の低さが検定結果に影響した可能性がある。

次に、全対象者のデータを用いて属性 (未婚女

子学生・母親・父親) と利き手 (右利き・左利き) の違いが各領域の賦活量に影響するかどうかを2要因分散分析で確認したが、いずれの領域においても有意な差は見られなかった。ここから、各領域の平均賦活量のばらつきはこのような個人属性以外の要因によるところが大きいのではないかと予想される。ただし、男性である父親や左利きの人では、右利き女性における前頭前野の因子構造とは異なっている可能性があること、また本研究の対象者に父親と左利きの人の数が非常に少ないことから、この結果の解釈には注意を要するといえるだろう。

6. 賦活パターンの個人差

続いて、各領域の平均賦活量の標準化得点に基づきクラスター分析 (Ward法) を行い、賦活パターンの類型化を試みた。クラスターの人数が5人以上になることを指標としたところ、4クラスターが見いだされた (Figure 3)。平均賦活量に対して、関心領域とクラスターの2要因分散分析を行ったところ、交互作用が有意であった ($F(6, 174) = 3.62, p < .01$)。賦活パターン1の各関心領域の平均賦活量は他のすべてのパターンの賦活量より有意に低く ($p < .05$)、値がマイナスであることから、「無賦活群」と名付けた。賦活パターン2はすべての領域について平均賦活量の値がプラスではあるが、パターン3・4より有意に低い (p

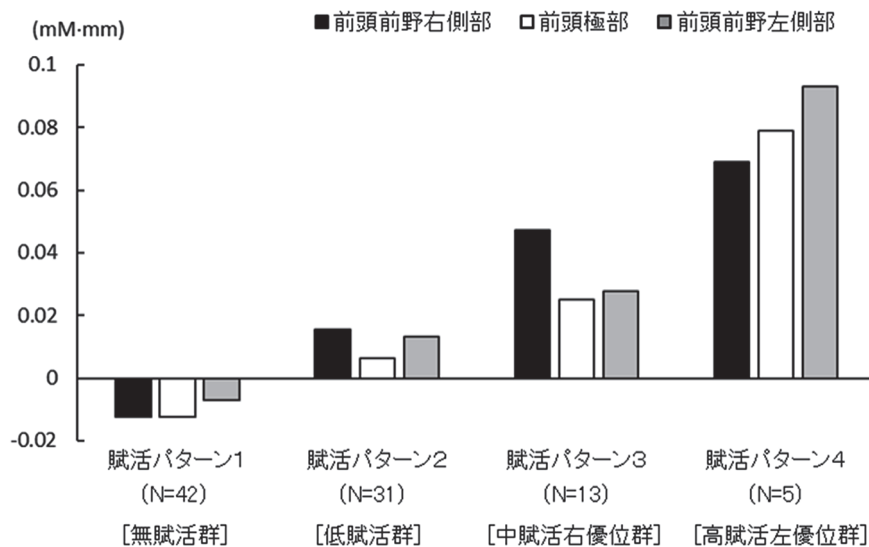


Figure 3 クラスター分析による賦活パターンの類型化

<.05) ことから、「低賦活群」と名付けた。なお、無賦活群と低賦活群では、平均賦活量に領域間の差が見られなかった。賦活パターン3は、前頭極部と前頭前野左側部についてはパターン2と4の中間的な賦活量であり ($p < .05$)、また右側部についてはパターン2より有意に多く ($p < .05$)、パターン4より少ない傾向 ($p < .10$) があった。また、パターン3の前頭前野右側部の平均賦活量は他の領域より多い傾向がみられた ($p < .10$)。ここから「中賦活右優位群」と名付けた。賦活パターン4は他の群より賦活量が多く、また左側部の賦活量が他の領域より多い傾向がみられた ($p < .10$)。ここから「高賦活左優位群」と名付けた。

それぞれの群の人数にはばらつきがみられた。総対象者のうち無賦活群が半数弱、低賦活群が約3割を占めており、乳児感情の読み取りにおける前頭前野の賦活は概して弱く、乳児感情の読み取りは一般に前頭前野に大きな負荷のかからない判断であると理解できる。一方で、割合は少ないが相対的に強い賦活を示した群があり、その中に右側部が優位な群と左側部が優位な群があった。今後は、賦活パターンと乳児感情の読み取りの特徴等との関連を検討することで、これらの群の対象者が、前頭前野を使ってどのような処理を行っていたのかを明らかにしていきたいと考える。

なお、対象者の属性（未婚女子学生・母親・父親）や利き手（右利き・左利き）の違いと賦活パターンとの関連についてカイ二乗検定を用いて確認したが、いずれの関連も見いだせなかった。賦活パターンもこのような個人属性以外の要因によるところが大きいのではないかと予想する。

7. まとめ

本稿では、乳児感情を読み取る際にみられる前頭前野活動の個人差を因子分析とクラスター分析の手法を使って記述することを試みた結果を報告した。NIRS計測による16チャンネルの因子分析では、先行するNIRS研究と同様の、前頭前野右側部、前頭極部、前頭前野左側部の3因子が得られた。それぞれの領域に含まれるチャンネルは数が異なり、また左右非対称であったが、乳児感情の読み取りに必要な何らかの異なる機能を担う領域と捉えることができるものと考えた。ここから、因子分析結果に基づいたチャンネルのグルー

プを関心領域として設定し、今後の分析を進めていくのが妥当であろうと判断した。

次に、各関心領域の賦活量を用いたクラスター分析を行ったところ、無賦活群、低賦活群、中賦活右優位群、高賦活左優位群の4群に分けられ、賦活パターンによって個人を分類できることがわかった。対象者の約8割が無賦活群や低賦活群に含まれたが、比較的強い賦活を示した群には、右側優位の群の左側優位の群があった。このような賦活パターンと乳児感情の読み取りとの関連についての検討は、結果によっては示唆に富むものとなるだろう。

引用文献

- Cipolotti, L., Spanò, B., Healy, C., Tudor-Sfetea, C., Chan, E., White, M., ...Bozzali, M. (2016). Inhibition processes are dissociable and lateralized in human prefrontal cortex. *Neuropsychologia*, 93 (Part A), 1-12.
- Goldberg, E., Harner, R., Lovell, M., Podell, K., & Riggio, S. (1994). Cognitive bias, functional cortical geometry, and the frontal lobes: laterality, sex, and handedness. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 6, 276-96.
- Inoue, K., Hamada, Y., Fukatsu, C., Takiguchi, T., & Okonogi, K. (1993). The Japanese IFEEL Pictures. In R. N. Emde, J. D. Osofsky, & P. M. Butterfield (Eds.), *The IFEEL pictures: A New Instrument for Interpreting Emotions* (pp. 299-308). Madison, CT US: International Universities Press, Inc.
- 岩山孝幸・松永美希・鍋田恭孝・片山信吾 (2019). 近赤外分光法 (NIRS) を用いたうつ病の治療転帰と前頭前野機能との関連についての縦断的検討. *精神神経学雑誌*, 121, 259-273.
- 金村英秋・相原正男・中澤眞平 (2002). 前頭葉および前頭前野の成長に関する研究—III. 3-D MRIによる性差に関する検討—. *脳と発達*, 34, 404-408.
- Makizako, H., Doi, T., Shimada, H., Park, H., Uemura, K., Yoshida, D., Tsutsumimoto, K., Anan, Y., & Suzuki, T. (2013). Relationship between

- going outdoors daily and activation of the pre-frontal cortex during verbal fluency tasks (VFTs) among older adults: A near-infrared spectroscopy study. *Archives of Gerontology and Geriatrics*, 56, 118-123.
- 松澤正子 (2016). 乳児感情の読み取りにおける前頭前野活動と心理的特徴の関連—女子青年を対象とした探索的NIRS研究— 昭和女子大学生生活心理研究所紀要, 18, 13-21.
- 松澤正子 (2017). 乳児感情の読み取りにおける前頭前野活動と心理的特徴の関連：乳幼児を養育中の父母を対象として 昭和女子大学生生活心理研究所紀要, 19, 1-10.
- 日本IFEEL Pictures研究会 (2003). 日本版IFEEL Pictures 第二版 (未公刊)
- Yeung, K. K., Lee, T. L., & Chan, A. S. (2020). Neurocognitive development of flanker and Stroop interference control: A near-infrared spectroscopy study. *Brain and Cognition*, 143, 105585.
-

まつざわ まさこ (昭和女子大学大学院生活機構研究科)