

# 幼児におけるスケールエラーと抑制能力の関係 —NIRS を用いた検討—

お茶の水女子大学大学院人間文化創成科学研究科 石橋 美香子

## Children's scale error with tools and inhibitory control ability: NIRS study

Department of Psychology, Ochanomizu University, ISHIBASHI, Mikako

### 要 約

スケールエラーとは、幼児が極端に小さな対象に無理やり自分の身体や道具を当てはめようとする行動を指す (DeLoache et al., 2004)。スケールエラーが生じる要因に、幼児期の抑制能力の未熟さとの関連が示唆されている。本研究では、この関連を検討するために、近赤外分光法 (NIRS, Near Infra-Red Spectroscopy) を用いて、道具を用いた際のスケールエラーを示す幼児と示さない幼児の前頭葉の活動を調べることを目的とした。さらには、形ストループ課題も併せて実施し、スケールエラー課題中の前頭葉の活動との関連についても検討した。その結果、スケールエラー課題中に、道具のサイズを選択する場面において有意に前頭葉の活動があることが示され、また、抑制能力を調べる課題との間にも一部関連が示された。スケールエラーを示す幼児とそうでない幼児との間に前頭葉の活動の差は見られなかった。この結果は、スケールエラー課題においては抑制能力が関連する可能性を示唆する。

**【キー・ワード】** スケールエラー, NIRS, 道具使用, 抑制制御能力, 幼児

### Abstract

The scale error is a phenomenon where young children attempt to perform size-inappropriate actions on extremely tiny objects. Previous studies suggest that the scale error may be related to the immaturity of inhibitory control. Here we explored whether children's scale error stems from the immaturity of the prefrontal cortex (an area associated with inhibitory control) using the Near Infra-Red Spectroscopy. We measured the activation of the prefrontal cortex when engaging in a tool-based scale error task. We also examined a Stroop task as behavioral measurement of inhibitory control in children. The results indicated that no group differences were seen in the activation of prefrontal cortex. However, the significant activation in the prefrontal area has shown for children with and without scale errors during the scale error task. Also, a significant

correlation between the performance of Strop task and a part of prefrontal areas was found. We concluded that children's prefrontal regions are significantly increased when engaging in the scale error task. However, the weaker prefrontal areas may not be the factors to the occurrence of tool-based scale error.

**【Key words】 Scale error, NIRS, Tool, Inhibitory control, Young children**

## 問題と目的

スケールエラーとは、幼児が、サイズが明らかに適さない物体に対して、自分の身体または道具を無理やり当てはめようとする行動を指す(DeLoache, Uttal, & Rosengren, 2004)。例えば、幼児は、非常に小さな車に真剣に乗り込もうとする。

スケールエラーは DeLoache ら(2004)によって初めて報告された現象である(DeLoache et al., 2004)。スケールエラーを調べるための実験手続きは、通常サイズの道具を提示し幼児に自由に遊ばせたのちに、その道具のサイズを幼児が見ていない間にミニチュアに置き換える。この、サイズが置き換わった際に、幼児が通常サイズ時と同様の振る舞いをするのかを観察するものである(DeLoache et al., 2004)。DeLoache らの実験の結果、54名のうち25名の幼児(18か月から30か月齢)が、少なくとも1回はスケールエラーを示すことが明らかになった。さらに、その頻度については、18から30か月の月齢の中でも特に24か月齢で最も多く見られ、かつその前後の月齢の生起が少ないことから、スケールエラーは逆U字型の発達パターンを示すことも報告されている<sup>1</sup>。このようにして報告されたスケールエラーは、実験場面だけではなく、保育室や家庭などの日常場面においても観察されることが報告され(Rosengren, Gutierrez, Anderson, & Schein, 2009; Ware, Uttal, & DeLoache, 2010)、幼児期に見られる頑健な現象であるとされる。

Ware, Uttal, Wetter, & DeLoache (2006)は、スケールエラーは幼児の身体と物体間のエラーだけではなく、物体と物体間においてもスケールエラーが確認されるのかを検証している。Ware らは幼児が人形のサイズに適したサイズの物体(例えば、人形が座れるサイズの椅子)で遊ばせた後、その人形サイズに適さないサイズの物体(例えば、ミニチュアサイズの椅子)に換え、幼児が、人形に対してミニチュアサイズの物体を当てはめるような行動を示すのかを観察した。16か月から40か月齢の幼児に実施した結果、その半数(74名中46名)が、少なくとも1回はミニチュアサイズの物体を人形に当てはめる振る舞いを示すことを明らかにし、物体間のスケールエラーも見られることを報告した。

Ware らの研究に続き、Casler, Eshleman, Greene, & Terziyan (2011)は、20か月から42か月の幼児の、道具を介したスケールエラーを検討している。彼女らは、通常サイズの装置と道具を提示し、自由に遊ばせたのちに、道具のサイズをミニチュアサイズ(または非常に大きなサイズ)に換え、そ

<sup>1</sup> Grzyb ら(2018)は、DeLoache ら(2004)の実験よりも、より多くのサンプルサイズ(125名)でスケールエラーの生起頻度を分析した。その結果、逆U字型の発達パターンは示されず、月齢に従いスケールエラーの頻度は減少する傾向にあることを報告している(Grzyb, et al 2018)。

の時の幼児の行動を観察した。その結果、Ware らの研究と同様に、通常サイズの装置にミニチュアサイズの道具を当てはめようとする行動を示すことが明らかになった。さらに、ミニチュアサイズの道具よりも生起頻度は少ないが、非常に大きなサイズの道具を通常サイズの装置に当てはめるようなエラーが見られたことも報告している。Casler ら(2011)の、道具を用いたスケールエラー課題に関する研究はその後別の研究者らによって追試され(Hunley & Hahn, 2016; Olah, Elekes, Peto, Peres, & Kiraly, 2016)、身体と物体間に限定されずに、物体間に見られるエラーもスケールエラーと位置付けられるようになった。

スケールエラーがなぜ生じるのか、その原因については複数の説がある。

まず、知覚の未熟さに原因を求める説では、物体のサイズ変化(通常サイズからミニチュアサイズへの物体の変化)を幼児が検知できず、ミニチュアを通常サイズの物体であると認識しているためにスケールエラーが生じると考える(Grzyb, Cangelosi, Cattani, & Floccia, 2017)。次に、サイズ理解の未熟さに原因を求める説である。この説によると、子ども自身の身体サイズの理解の未熟さや大小に関わる概念的理解の未熟さによってスケールエラーが生じると考えられている(Brownell, Zerwas, & Ramani, 2007; Ishibashi & Moriguchi, 2017)。また、道具とその使用に関する強いバイアスによってスケールエラーが生成されると考える立場もある(Casler et al., 2011)。例えば、幼児はミニチュアの靴を見た際に、靴は履くものといったその道具の使用に関するバイアス(これを *teleo-functional* バイアスと呼ぶ)が強く働くが、スケールエラーを示す幼児は、このバイアスが優先されるために、サイズ情報が無視されるという。さらに最近では、スケールエラーは、語彙が獲得される過程において見られる現象だと主張する立場もある(Grzyb, Cattani, Cangelosi, & Floccia, 2014; Grzyb et al., 2019; Hunley & Hahn, 2016)。Grzyb ら(2019)は、行為の実行においては、「車」や「乗る」などの意味に関する表象をもとにした行為選択と眼前の物体から得られる視覚情報をもとにした行為選択がなされるが、語彙を学び始めた幼児は、この意味表象が強く活動してしまうため、眼前の物体についての視覚情報が考慮されずにスケールエラーが生成されると論じている。

このようにスケールエラーの生成には複数の要因が検討されており、現在のところは複合的な要因がスケールエラーに影響していると考えられている。しかし、いずれの立場をとる研究者においても、スケールエラーの原因を説明しうる有力な説として挙げているのが、知覚と行為の統合の乖離に関する説である。

DeLoache ら(2004)は、スケールエラーを起こしているときの幼児の行動に着目した。幼児はミニチュアの物体に関わる際に、通常サイズの物体で関わった時と同様の行為を行うが、その身体的な制御はミニチュアに合わせて正確になされるという。例えば、ミニチュアの車のドアを開けて中に入ろうとする際に、幼児はしゃがんだり、ゆっくりと足を入れたり、ミニチュアの車のサイズに合わせた試みをする。このように、ミニチュアサイズの物体に関わろうとする行為の選択は適切ではないが、身体的な制御はサイズに応じて適切になされているように見える。こうした幼児の行動から、DeLoache ら(2004)は、乳児の知覚と行為の処理過程を説明する神経科学の知見を引用し(Goodale & Milner, 1992; Mareschal & Johnson., 2003)、幼児のスケールエラーは、行為の計画と実際の身体的な制御を行う際の視覚情報の乖離の結果であると解釈した。さらに DeLoache ら(2004)は、行為の計

画および身体的制御のいずれにも関わるとされるのが抑制能力であると論じ、知覚と行為の統合の乖離が生じうる要因の一つとして説明している。物体認識（例えば、椅子）と認識に基づくプランニング（例えば、座る）は腹側経路によって処理され、実際に物体に関わる際に必要とされるオンラインの行為の制御や実行に関わる処理は背側経路にて実行される(Goodale & Milner, 1992)。スケールエラーの生成においては、ミニチュアサイズのおもちゃを見た際に、腹側経路で処理される物体カテゴリー（形や色など）の特徴をもとに物体カテゴリー(通常サイズの椅子)の表象が活性化される。この活性化されたカテゴリー表象に従って、通常サイズの物体のアクションプランが選択される。しかし、活性化されたアクションプランは眼前の物体のサイズに応じて抑制される必要があるが、この部分が抑制できないために、スケールエラーが表出されるという(DeLoache et al., 2004; Ware et al., 2006)。それゆえ、スケールエラーの生成は、活性化された通常サイズの行為をもとにしたアクションプランが優位となっており、それを抑制することが困難であるために生じるとされている。このことから、DeLoacheら(2004)は抑制機能の発達を含む前頭葉の成熟が、物体のサイズに応じた適切な行為の産出において重要であると論じている。

スケールエラーと抑制能力の関連を調べた先行研究として、Riviere, Brisson, & Aubertin (2019)は、スケールエラーが幼児の衝動的な行為と関連があるのかを、スケールエラー課題の手続きを実験的に操作し、検討している。Riviereら(2019)は、通常サイズからミニチュアサイズにおもちゃを提示する際の待機時間を長くした場合と短くした場合とで、スケールエラーの生起頻度に違いが見られるのかを比較した。仮にスケールエラーが、過去にふるまった行為を抑制できず、目の前の物体に衝動的にふるまっているのであれば、待機時間を長くした際に、その行為を抑制できると考えたからである。その結果、待機時間の長い群は、短い群に比べて、スケールエラーの頻度が少ないことが示された。彼らは、幼児は、おもちゃが提示される際の待機時間が長いほど、衝動的な行動の抑制につながった可能性を挙げ、スケールエラーと幼児の抑制能力との関連を示唆している。

DeLoacheら(2004)が提案した説とRiviereら(2019)の先行研究に依拠すると、スケールエラーの生成においては抑制能力の未熟さが関連していることが考えられる。しかしながら、これまでの先行研究では、スケールエラーを示す幼児と示さない幼児が、スケールエラー課題従事中にいかなる脳の働きを示しているのかについて検討はなされてこなかった。仮に幼児期のスケールエラーが抑制能力と関連があるとすれば、スケールエラーを示す幼児と示さない幼児において課題従事中の前頭領域の活動に差異が認められることが考えられる。

本研究では、2歳から3歳までの幼児を対象に、近赤外分光法(NIRS, Near Infra-Red Spectroscopy)を用いて、スケールエラーを示す幼児と示さない幼児の課題従事中の前頭前野の活動を調べることで、スケールエラーの脳内機構を明らかにすることを目的とした。さらには、抑制能力に関わるとされる認知課題を実施し、その課題の成績と前頭前野の活動との関連も併せて検討することとした。なお、本研究では、身体を用いたスケールエラー課題と比べて、課題従事中の体動を比較的少なく抑えられると考えられたため、道具を用いたスケールエラーを適用することとした。

NIRSは非侵襲的であり、乳幼児の脳活動を安全に計測できる手法であるとされ、さまざまに検討されている(例えば、Moriguchi & Hiraki, 2009)。幼児の実行機能に関わる認知課題を実施した際に、

幼児の前頭葉に関わる領域（下前頭領域）が活動するとされ(Moriguchi & Hiraki, 2013), この時期の幼児に見られる前頭葉の未成熟さが優位な応答の抑制（ミニチュア物体への関わり）を難しくさせていることも指摘されている(DeLoache et al.,2004)。本研究においても、幼児の前頭前野の活動から、抑制能力の発達との関連性を調べることができると思われる。

具体的には、スケールエラー課題では、幼児が物体のサイズに適さない道具を選ぶことを抑え、適したサイズの道具を選ぶ必要がある点で、幼児の抑制能力が必要とされると考えられる。仮にスケールエラーが、活性化したカテゴリー表象の抑制の失敗によって生じるのであれば、スケールエラーを示さない幼児は、スケールエラーを示す幼児に比べて、道具が物体のサイズに適さないという葛藤状況下において、抑制能力に関わる前頭前野領域がより活動すると考えられる。さらには、優位な応答の抑制と適切な行為の選択が求められる課題として知られる形ストループ課題のなかでも(Vendrell et al.,1995), 2－3歳頃の幼児への実施に適した形ストループ課題 (Kochanska, Murray, & Harlan, 2000) を併せて実施し、スケールエラー課題中の前頭領域との関連性を検討する。

## 方 法

### 1. 調査参加児

参加児は27名であった（平均月齢 = 33.15 か月,  $SD = 5.56$ , 女児15名, レンジ = 26.00－42.00 か月）。すべての参加児は右利きであった。その他, 10名の参加児が調査に参加したが, NIRS装着の拒否(5名), 課題の中断(1名), 実験手続きによるエラー(4名)の理由で本分析からは除外された。

調査時期は2018年9月から2019年1月であった。本実験は, 京都大学構内のプレイルームにて行われた。

なお本研究は, 京都大学教育学研究科の倫理審査専門委員会にて承認を受けた。

### 2. 刺激

机, 椅子, ビデオカメラ1台を用意した。スケールエラー課題で使用した道具は, 先行研究(Casler et al., 2011)を参考に, 道具および装置を作成した。道具は装置に適した大きさのものと, ミニチュアサイズ(通常サイズの約4分の1サイズ)のものをそれぞれ用意し, 以下の4つの道具と装置を用いた。(a)Fishing: ネット(道具)で水槽(装置)の魚をすくうことができる。(b)Painting: 筆(道具)で容器(装置)に入った絵具で絵を描く。(c)Music: 箱(道具)に板(装置)を差し込むと音が鳴る仕組み。(d)Popping: パー(装置)にチューブ(道具)を差し込むとスポンジが飛び出す仕組み。課題従事中の幼児の様子を1台のビデオカメラで撮影した。形ストループ課題(Kochanska, Murray, & Harlan, 2000)では, 大小それぞれの大きさから成る, フルーツが描かれた絵カード(リンゴ, バナナ, オレンジ)を用いた。絵カードの大きさは, 大は20×28cmであり, 小は7×10cmであった。

### 3. 調査手続き

来学した保護者には、調査内容、データの管理および匿名での公表などの説明を行った。了承が得られた場合に、研究協力同意書に署名をしていただき、参加児が実験室および実験者に慣れたところで、スケールエラー課題、その後形ストループ課題を実施した。

#### 3.1 スケールエラー課題の手続きおよび課題従事中の脳活動の計測

まず参加児に通常サイズの道具および装置を提示し、4つの道具および装置の使い方を教示した。その後、参加児の同意を得られた場合にのみ NIRS を装着し、実験手続きを開始した。手続きは、15秒の課題を提示しない時間（レスト）、30秒の課題提示のフェイズからなり、計8試行繰り返すものであった。具体的には、15秒間の待機後、30秒間装置および通常サイズの道具を提示し、参加児にそれらで自由に遊んでもらった。その後、参加児には再び15秒間のレストを設け、参加児が見ていない間に通常サイズとミニチュアサイズの道具を2つ用意した。この時、装置がミニチュアサイズに換えられているため、参加児は、装置の大きさに適した、ミニチュアサイズの道具を選択する必要がある。30秒間、参加児がどちらの道具を選ぶのかを観察した。つまり、各タスク（free play session・scale error session それぞれ30秒）の前後に15秒間のレストがあり、レスト時はおもちゃの提示はなかった。この際に装置の大きさに適さないサイズの道具を選んだ場合をスケールエラーありとした。参加児は、装置の大きさに適さない道具を選ぶことを抑えて、装置のサイズに適した道具を選ぶことが求められる。

#### NIRS 計測

NIRS は 16 の計測チャンネルから成る光トポグラフィ検査用の光イメージング機能測定装置スペクトラテック(OEG-SpO<sub>2</sub>, Spectratech Inc., Tokyo, Japan)を使用した。近赤外線光の波長領域は 770-840nm, サンプリング周波数は 6.10Hz であった。送受信距離は 3cm であり、すべてのプローブは 15×3cm の範囲に格子状に配置された。

装置は、脳波国際 10-20 法に基づく、F3/4（チャンネル 2, 4, 5 とチャンネル 11, 13, 14：左右の背外側前頭前野）と F7/8（チャンネル 3, 4, 6 とチャンネル 12, 13, 15：左右の腹外側前頭前野）の位置に装着され、スケールエラー課題従事中の酸化ヘモグロビン(oxy-Hb)と脱酸化ヘモグロビン(deoxy-Hb)濃度の相対変化量が記録された。

#### NIRS 解析

解析においてはソフトウェア OEG-16 (Spectratech Inc., Tokyo, Japan) と Python 2.7.13 (<https://www.python.org/>)を用いた。解析においては 低域通過フィルター(Low-pass filter)に通し、高周波の信号(≦0.2Hz)を除去したうえで、F シグナルのみを用いた。また、局所脳血流の変化に敏感であり、かつ、血液酸素濃度依存性 (Blood oxygenation level dependent) と強い相関が見られるとされる酸化ヘモグロビン (oxy-Hb) シグナルのみを用い (Strangman, Culver, Thompson, & Boas, 2002), 各平均から±3SD 以上の値については除外した。

### 3.2 形ストループ課題の手続き

まず実験者は、絵カード（大）の下に絵カード（小）を机上に並べ、一つ一つ指さしながら名前と大きさを命名していった（例「大きいバナナだね」「小さいバナナだね」）。

その後、参加児にも同様に絵カードの名前と大きさについて質問をし（例「大きいバナナどれ？」）、指差しをさせた。不正解の場合は正解の刺激を教示した（プレストループフェイズ）。次に、実験者は絵カード大の上に異なる絵カード小を乗せた後、絵カード小を指さすよう尋ねた（ストループフェイズ）。例えば、大きいリンゴが描かれた絵カードの上に小さいバナナが描かれた絵カードを乗せ、小さいバナナを指さすよう教示した。その時に正解・不正解についての働きかけは行わなかった。幼児は、絵カード大の刺激を指さす行動を抑え、絵カード小の刺激を指さす行動が求められた。プレストループとストループをそれぞれ6試行、合計で12試行を行った。

## 結果

### 行動指標の結果

27名中9名の参加児がスケールエラーを示した。スケールエラーの平均回数は1.33 ( $SD=0.70$ )であった。9名の参加児をスケールエラーあり、残りの参加児をスケールエラーなしとし、2群の差を比較した。スケールエラーあり・なし群間で月齢および性別の差は見られなかった (gender:  $\chi^2(1)=0.68, p=0.42, \phi=0.16$ , age:  $t(25)=0.78, p=0.44, d=0.32$ )。したがって、解析においては月齢および性別は考慮しないこととした。

形ストループ課題については、課題を終えられた24名のデータを用いた。ストループ試行（最大6点）の平均得点は4.34 ( $SD=2.08$ )であった。スケールエラーあり児 ( $N=8$ ) の平均得点は5.38点 ( $SD=1.41$ ) であり、スケールエラーなし児 ( $N=16$ ) の平均得点は3.94点 ( $SD=2.39$ ) であり、スケールエラーあり・なし群間の得点差は見られなかった ( $t(22)=1.57, p=0.13, d=0.68$ )。

### NIRSの結果

#### (1) スケールエラー課題中の前頭葉の活動

スケールエラーあり児となし児の前頭領域の活動を調べるために、グループ（スケールエラーあり・なし）、領域（right DLPFC vs. left DLPFC vs. right VLPFC vs. left VLPFC）、セッション（free play・scale error）、タスク（レスト時・課題従事時）の4要因分散分析を行った。その結果、セッションおよびタスクの主効果が見られ、free play時に比べ、scale error時、かつレスト時に比べ課題従事時において前頭葉が有意に活動していることが示された[セッション:  $F(1, 25)=9.62, p<.01, \eta^2=0.28$ , タスク:  $F(1, 25)=12.44, p<.01, \eta^2=0.33$ ]。グループの主効果 [ $F(1, 25)=0.004, p=0.95, \eta^2=0.0002$ ] および領域の主効果 [ $F(3, 75)=0.09, p=0.97, \eta^2=0.003$ ] は有意ではなかった。またグループと他の要因間の交互作用は見られなかった (all  $ps > 0.92$ )。

スケールエラーありとなしのグループ間の差が見られなかったため、参加児全員のスケールエラー

課題中の oxyHb の変化を検討した。領域 (right DLPFC vs. left DLPFC vs. right VLPFC vs. left VLPFC), セッション (free play・scale error), フェイズ (レスト・タスク) の 3 要因分散分析を行った。その結果, セッションの主効果 [ $F(1, 26) = 11.48, p = .002, \eta^2 = .06$ ] とフェイズの主効果 [ $F(1, 26) = 14.94, p = .001, \eta^2 = .06$ ] が有意であった。領域の主効果は有意ではなかった [ $F(3, 78) = 0.21, p = .89, \eta^2 = .001$ ]。セッションとフェイズ間の交互作用が有意であったため [ $F(1, 26) = 7.57, p = .01, \eta^2 = .04$ ]、単純主効果の検定を行った結果, セッションのタスクにおいて有意であり ( $p = .002$ )、セッションのレストは有意ではなかった ( $ps > .10$ )。また, free play 時のフェイズは有意ではないが ( $ps > .10$ )、scale error 時のフェイズにおいては有意であることが示された ( $p = .0001$ )。つまり scale error セッション時にはレストとタスクのいずれにおいても oxy-Hb 値の上昇が見られることが示された。その他の交互作用は有意ではなかった (all  $ps > .09$ )。(図 1・2)

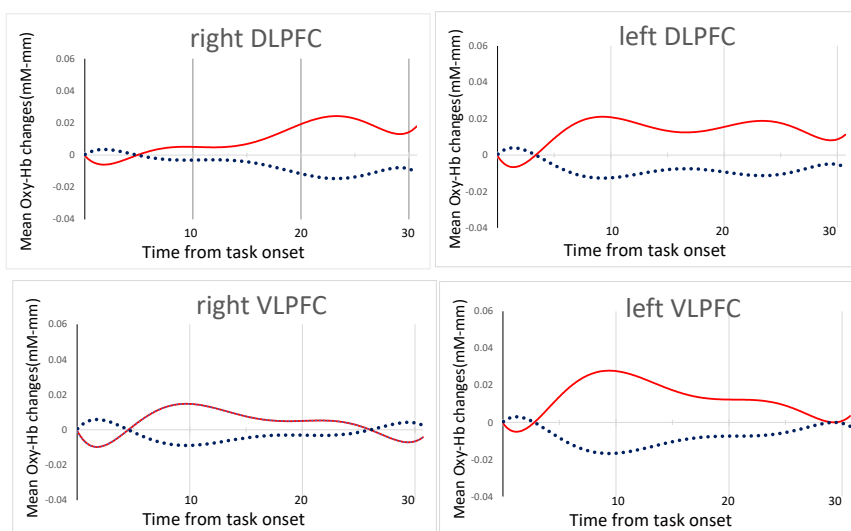


図 1 free play セッション時の各領域 (Right DLPFC[channels 2, 4, 5], Left DLPFC[ch 11, 13, 14 ], Right VLPFC[ch 3, 4, 5], Left VLPFC[ch 12, 13, 15 ])に見られる oxyHb (実線) と doxy-Hb (点線) の時系列データ



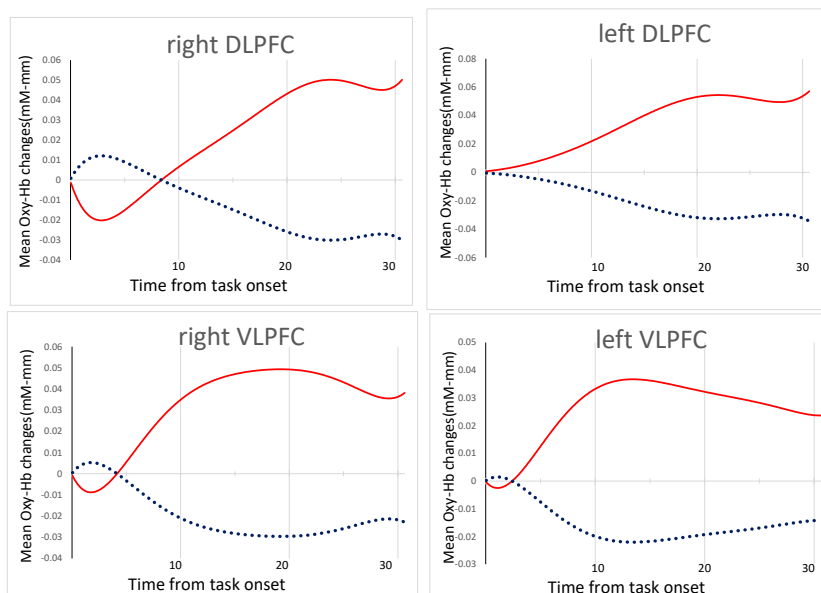


図2 Scale error セッション時の各領域 (Right DLPFC[channels 2, 4, 5], Left DLPFC[ch 11, 13, 14 ], Right VLPFC[ch 3,4,5], Left VLPFC[ch 12,13,15] ) に見られる oxyHb (実線) と doxy-Hb (点線) の時系列データ

(2) スケールエラー課題中の前頭葉の活動と形ストループ課題の関連

スケールエラー課題中の前頭葉の活動と形ストループ課題の得点の関連を調べるために、各セッション時の各領域の相関分析を実施した(表1)。表1からわかるように、scale error セッション時のright VLPFC との間に、有意傾向ではあるが、正の相関が見られた。その他の変数は有意ではなかった。

表1 各セッション(free-play・scale error)における4領域 (Right DLPFC4, Left DLPFC, Right VLPFC, Left VLPFC) のoxyHb値と形ストループ課題の得点間の相関係数

	free-play セッション				scale error セッション			
	rightDLPFC	rightVLPFC	left DLPFC	left VLPFC	rightDLPFC	rightVLPFC	left DLPFC	left VLPFC
形ストループ課題の得点	0.09	0.04	-0.12	-0.28	0.27	0.35†	0.22	0.24

n = 24, †p < .10

考 察

本研究では、スケールエラーと抑制能力の関連を調べるために、NIRSを用いてスケールエラー課題中の前頭前野の活動を、スケールエラーを示した幼児とそうでない幼児とで比較した。さらに、前頭前野の活動と抑制能力に関連があるとされる形ストループ課題との関連についても検討した。

結果として、スケールエラー課題中にスケールエラーを示した幼児とそうでない幼児との間に、前

頭前野の活動に違いは見られなかった。そのため、グループの変数を除き、参加した幼児全体のデータを用いて解析を行った。その結果、レスト時よりもタスク時において前頭前野の活動が有意に見られ、さらに、セッションのなかでも free-play 時と比べて道具の選択が求められる scale error 時において、有意な前頭前野の活動が示された。さらには、スケールエラー課題時の各セッション(free-play・scale error)中の前頭前野の活動と形ストループ課題の得点間の相関係数を求めたところ、rightVLPFC (右腹外側前頭前野)の間に、有意傾向ではあるが弱い正の相関が認められた。

まず、スケールエラー課題中の前頭前野の活動から得られた結果について考察する。

DeLoache & Uttal(2011) は、スケールエラーが生じる原因として、活性化された通常サイズの物体に対するアクションプランを抑制できないために、スケールエラーが表出されると述べ、スケールエラーの生成と抑制能力の未熟さとの関連を指摘している。このことから、スケールエラーを示す幼児は、活性化された通常サイズの行為をもとにしたアクションプラン(優位な応答)を抑制することが難しく、前頭葉の成熟が適切な行為の産出においては重要であると論じている(DeLoache et al., 2004)。本課題のスケールエラーセッション中の有意な前頭前野の活動は、以前の行為を抑制し、目の前の物体に応じた適切な行為を適用することが求められたためと考えられる。つまり、スケールエラー課題においては、自由におもちゃと関わるフェイズとは異なり、幼児は有意な応答(不適切なサイズの道具の選択)を抑え、その状況に応じた適切な応答(ミニチュアの装置に適したサイズの道具の選択)が求められると考えられる。本研究に関連して、不適切な行為の振る舞いの抑制がスケールエラーに影響しうのかなを Riviere ら(2019) はスケールエラー課題中のおもちゃを提示する際の待機時間を操作することで明らかにしている。彼らは、おもちゃ提示までの待機時間が長い時よりも短い時に、スケールエラーの頻度が増加したことを示し、スケールエラー課題においては衝動的な行動の抑制が関係しうることを示唆している。

さらには、3-5 歳児の幼児の実行機能を調べた研究では、課題に通過した幼児の外側前頭領域が有意に活動することが示されている(Moriguchi & Hiraki, 2009)。また、腹外側前頭前野は、複数の競合する刺激の中から、ある刺激を選択する際に特に活動することが知られている(Jha et al., 2004)。形ストループ課題の成績とスケールエラーの課題従事中の右腹外側前頭前野の間に弱い関連性が示された点においては、両課題とも優位な応答を抑え、適切な刺激の選択が求められたためであろう。

しかしながら、スケールエラーを示す幼児と示さない幼児との間に前頭領域の活動に差が見られなかった。この結果から、幼児のスケールエラーを示す幼児と示さない幼児との差異は、抑制能力によって規定されない可能性が考えられる。序論にも述べたが、スケールエラーの生成には抑制能力の未熟さ以外にも多数の要因が想定されている。Ishibashi & Moriguchi (2017)は、スケールエラーの頻度と幼児の抑制能力を調べる課題(A-not-B 課題)の成績を調べたところ、その間には関連は示されず、スケールエラーの頻度は大小のサイズ概念についての得点に関連することを報告している。特に道具を介したスケールエラーの生成においては、道具とその使用に関する結びつきが強いといった teleo-functional バイアスによって生じることが説明されている(Casler et al., 2011)。Casler ら(2011) は、幼児のスケールエラーは抑制能力の未熟さというよりも、道具から誘発される意味知識によって生じると論じている。このように、特に物体と物体間のスケールエラーにおいては、道具の機能に

関する情報が幼児のスケールエラーを誘発する要因となる可能性もあるだろう。

まとめると、スケールエラー課題は、幼児の抑制能力に関連するが、スケールエラーが生じうる要因を説明する際に抑制制御能力の未熟さが関連しているとはいえ、特に道具を介したスケールエラーにおいてはその他の認知的要因の影響が大きいと考えられる。

本研究の限界点として、以下の点が挙げられる。本研究の実験手続きは、先行研究の手続きとは異なり、前頭皮質の活動を比較するために、ミニチュアと通常サイズの道具を同時に提示するという手続きを行った。scale error フェイズ時に、新奇な道具と見慣れた道具を同時に提示していたが、道具の新奇性によって、前頭領域の活動が強まった可能性も否定できない。前頭領域の有意な活動が、見慣れた道具への優位な応答の抑制の結果を示していたのかは、慎重に解釈する必要があるだろう。さらに、道具を用いたスケールエラーが、身体と物体間のスケールエラー課題と同じ認知機能を持つのかは議論の余地がある。いずれのスケールエラーも通常サイズの物体をもとにしたアクションプランの抑制に失敗した結果(DeLoache et al., 2004)であると考えれば、道具と身体を介したスケールエラーは類似していると想定される。しかし、身体を介して物体にかかわる際のサイズ理解には、幼児自身の身体感覚を伴うサイズ理解が関係しており、物体と物体間の相対的なサイズ理解とは異なる。実際に、身体を介したスケールエラー課題の成績と身体サイズ理解に関する課題の成績には負の関連性が示されており、自分自身の身体の大さの理解がスケールエラー生成の要因の一つとなっていることも示されている(Brownell et al., 2007)。この点は、身体と道具を介したスケールエラーの脳活動もあわせて検討することで、明らかにされていく点であろう。

このようにいくつかの限界点はあるが、本研究ではスケールエラー課題中に前頭前野の活動が有意に活動する点を明らかにした点で、意義があるといえる。今後は、上記の限界点を考慮した実験手続きを行うことと、スケールエラーを示した幼児の前頭葉の発達の変化を縦断的に追うことで、スケールエラーの消失に関係する認知能力についても検討することができるだろう。これにより幼児期に見られるスケールエラーが生じる発達の意義についても検討できると考える。

## 引用文献

- Brownell, C. A., Zerwas, S., & Ramani, G. B. (2007). "So big": The development of body self-awareness in toddlers. *Child Development, 78*(5), 1426-1440.
- Casler, K., Eshleman, A., Greene, K., & Terziyan, T. (2011). Children's scale errors with tools. *Developmental psychology, 47*(3), 857.
- DeLoache, J. S., Uttal, D. H., & Rosengren, K. S. (2004). Scale errors offer evidence for a perception-action dissociation early in life. *Science, 304*, 1027-1029. doi:10.1126/science.1093567
- DeLoache, J. S., & Uttal, D. H. (2011). 4 Gulliver, Goliath and Goldilocks: young children and scale errors. In Slaughter, V., & Brownell, C. A. (Eds.), *Early development of body representations* (Vol. 13, pp. 59-67). Cambridge University Press.

- DeLoache, J. S., LoBue, V., Vanderborcht, M., & Chiong, C. (2013). On the validity and robustness of the scale error phenomenon in early childhood. *Infant Behavior and Development, 36*(1), 63–70. doi:10.1016/j.infbeh.2012.10.007
- Goodale, M. A., & Milner, A. D. (1992). Separate visual pathways for perception and action. *Trends in neurosciences, 15*(1), 20-25.
- Grzyb, B. J., Cattani, A., Cangelosi, A., & Floccia, C. (2014). Children in a wonderland: How language and scale errors may be linked. *In 4th International Conference on Development and Learning and on Epigenetic Robotics, 269-274.*
- Grzyb, B. J., Cangelosi, A., Cattani, A., & Floccia, C. (2017). Decreased attention to object size information in scale errors performers. *Infant Behavior and Development, 47*, 72-82.
- Grzyb, B. J., Cangelosi, A., Cattani, A., & Floccia, C. (2018). Children's scale errors: A by-product of lexical development?. *Developmental science, e12741.*
- Ishibashi, M., & Moriguchi, Y. (2017). Understanding why children commit scale errors: Scale error and its relation to action planning and inhibitory control, and the concept of size. *Frontiers in psychology, 8*, 826.
- Kochanska, G., Murray, K. T., & Harlan, E. T. (2000). Effortful control in early childhood: continuity and change, antecedents, and implications for social development. *Developmental psychology, 36*(2), 220.
- Mareschal, D., & Johnson, M. H. (2003). The “what” and “where” of object representations in infancy. *Cognition, 88*(3), 259-276.
- Moriguchi, Y., & Hiraki, K. (2009). Neural origin of cognitive shifting in young children. *Proceedings of the National Academy of Sciences, 106*(14), 6017-6021.
- Moriguchi, Y., & Hiraki, K. (2013). Prefrontal cortex and executive function in young children: a review of NIRS studies. *Frontiers in human neuroscience, 7*, 867.
- Rivière, J., Brisson, J., & Aubertin, E. (2019). The interaction between impulsivity, inhibitory control and scale errors in toddlers. *European Journal of Developmental Psychology, 1-15.*
- Rosengren, K. S., Carmichael, C., Schein, S. S., Anderson, K. N., & Gutiérrez, I. T. (2009). A method for eliciting scale errors in preschool classrooms. *Infant Behavior and Development, 32*, 286–290. doi:10.1016/j.infbeh.2009.03.001
- Strangman, G., Culver, J. P., Thompson, J. H., & Boas, D. A. (2002). A quantitative comparison of simultaneous BOLD fMRI and NIRS recordings during functional brain activation. *Neuroimage, 17*(2), 719-731.
- Ware, E. a., Uttal, D. H., Wetter, E. K., & DeLoache, J. S. (2006). Young children make scale errors when playing with dolls. *Developmental Science, 9*, 40–45. doi:10.1111/j.1467-7687.2005.00461.x
- Vendrell, P., Junqué, C., Pujol, J., Jurado, M. A., Molet, J., & Grafman, J. (1995). The role of

prefrontal regions in the Stroop task. *Neuropsychologia*, 33(3), 341-352.

## 謝 辞

本研究は、京都大学森口佑介准教授との共同研究です。本研究に参加くださったお子様、保護者の皆様、京都大学の上橋志穂様、京都大学森口研究室の皆様に心よりお礼申し上げます。

