

# 幼児における空間的視点取得と実行機能の関連 抑制機能と作動記憶について

渡部 雅之\*

## The Relation between Components of Executive Function and Spatial Perspective-Taking in Young Children

### Inhibitory Function and Working Memory Span

Masayuki WATANABE

キーワード：空間的視点取得、実行機能、抑制機能、作動記憶、幼児

#### 要約

幼児における空間的視点取得と実行機能（抑制機能や作動記憶）との関連について検討した。空間的視点取得課題としてゲーム形式の課題を採用し、認知抑制機能課題として赤・青課題と Dimensional Change Card Sort を、作動記憶容量課題として単語逆唱スパン課題とブロック位置再生課題を使用した。これらを幼児 144 名（男児 77 名、女児 67 名、平均月齢 61.3 ヶ月）に実施し、一部でも無効反応を示した者を除いて 90 名を分析した。その結果、幼児期には作動記憶の容量増加に伴って空間的視点取得の正確さが高まり、処理が速まること、特に視空間スケッチパッドの容量増加が空間的視点取得における情報処理の向上を直接的に促すことがわかった。さらに、視点取得過程における抑制機能の部分的な関与も示された。

発達初期の認知空間は成人のように構造化されておらず、自己中心的な特徴を有している (Piaget & Inhelder, 1948)。やがて徐々に行動空間が拡大し、その結果として空間座標が形成されてくると、空間内での自己の位置づけや自己

と空間内事物との位置関係が正しく認識できるようになる。

そうした空間に関する思考操作の 1 つに、空間的視点取得がある。空間的視点取得とは、自らの視点を異なる位置まで移動させ、そこから見える風景を推測する心の働きを意味しており (Huttenlocher & Presson, 1973)、三次元空間内のある位置に自己の身体が移動したイメージを形成する過程（以後「仮想的身体移動（渡部・高松, 2014）」）と、状況に応じて必要とされる他の認知的情報処理過程から構成される。前者に関して Qureshi, Apperly, & Samson (2010) は、実行機能とは独立に働く過程が空間的視点取得に存在することを示唆している。また脳科学研究からも、仮想的身体移動の独立性が示唆されている。Ruby & Decety (2001) は、自己視点もしくは他者視点からある行為を模倣しているところを実験参加者に想像させ、それぞれの脳活動を陽電子放射断層撮影によって測定した結果、動作結果の予測や体制感覚の成立に関わるとされる下頭頂小葉や、楔前部、中心後回などが、自他の視点の違いに深く関わっていることが示された。さらに、自発的に生じる視点移動では、運動を計画し制御する領域である補足運動野が活性化することが報告されている (Wraga, Shephard, Churcha, Inatic, & Kosslyn,

\* 滋賀大学教育学部

2005)。一方、仮想的身体移動以外の認知的情報処理のうち、視覚的注意には側頭頭頂後頭接合部が (Coslett & Saffran, 1991)、対象表象の変換操作には頭頂間溝とその近傍が (Zacks, 2008)、そして処理過程全体の制御には前頭前野が関わる (苧阪, 2009) と指摘されている。さらに渡部・高松 (2014) は、幼児・児童期における両課程の発達の特徴について検討した。その結果、仮想的身体移動に関わる能力が思春期以降に発達すること、それ以外の認知的情報処理に関わる能力は児童期後期から思春期頃に大きく伸張することが明らかにされた。

このように、空間的視点取得が仮想的身体移動とその他の認知的情報処理から構成されるのであれば、たとえ仮想的身体移動操作が適切に行われても、付随する認知的情報処理に問題があれば、最終産物として外在化される反応は不適切なものになってしまう。例えば McDonald & Stuart-Hamilton (2002) は、70 歳代の実験参加者に見られた自己中心的反応の原因が、空間技能や一般知能の低下、感覚や動機の変化など、仮想的身体移動以外の能力であったと報告している。そのため、空間的視点取得の中核が仮想的身体移動操作であり、これ以外の認知的情報処理は他視点から見た対象表象の形成を担っているだけだとしても (Hegarty & Waller, 2004)、認知的情報処理にどのような機能が含まれるのかを明らかにできれば、空間的視点取得課題における誤反応の意味をより深く読み取ることができるだろう。こうした観点から、渡部 (1987) は代表的な空間的視点取得課題である「3つの山問題」(Piaget & Inhelder, 1948) の解決に必要な複数の下位能力間の発達の関連性を調べ、いくつかの下位能力が空間的視点取得の発達に特に強い関連を示すことを明らかにしている。

さらに、仮想的身体移動においても、自己のみえと他者のみえという2つの相反する表象を、切り離したり関連づけたりする表象操作が必要となる。渡部 (2013) はこの操作を、体性感覚的な身体表象から仮想的な身体表象を分離することであると捉え、「引き剥がし (detachment)」と表現した。引き剥がし操作には、行為や思考のモニタリングやコントロール

の役割を果たす高次の自己制御過程である実行機能 (Carlson, 2005) が深く関与すると考えられる。特に引き剥がしとの強い結びつきが予想されるのは、抑制機能と作動記憶である (渡部, 2002)。

抑制機能とは、必要に応じて脳への情報の入出力を阻止する働きのことである。空間的視点取得において特に必要となるのは、不適切情報の活性化を抑制する活性化抑制である。空間的視点取得課題に正答するためには、目立った情報を抑制し、他視点からの表象に注意を向ける必要があるからだ。また、抑制機能は一般に行動抑制と認知抑制に分けられる。行動抑制が、自分の順番を待つといった反応の抑制であるのに対し、認知抑制は優勢な情報を抑制し、別の情報を活性化させることを意味する (Carlson & Moses, 2001)。このうち、空間的視点取得においてより重要となるのは認知抑制である (渡部, 2002)。認知抑制の代表的な課題には、クマ・ドラゴン課題 (Bear and Dragon; Kochanska et al., 1996) や昼・夜ストロープ課題 (Day and Night Stroop Task; Gerstad, Hong & Diamond, 1994) などがある。いずれの課題も2種類の対象を被験児に示した後に、実験者が示した対象とは別の対象名を答えさせる課題であるが、ここで重要なのは実験者が示した対象名を答えてしまうという誤った行動を抑制することではなく、不適切な対象の想起自体を認知的に抑制することである。

同様に、作動記憶も空間的視点取得の実行に大きく影響する (渡部, 2002)。認知抑制は複数の思考や反応を頭の中で操作する必要があることから、一定量の作動記憶容量を消費するからだ (Carlson & Moses, 2001)。例えば、「3つの山問題」に正答するには、眼前の対象物のイメージを保持しつつ、これを操作して他視点からの配置を構成しなければならない。特に、作動記憶の構成要素である視空間スケッチパッドは、空間表象の保持や操作を司る (Toms, Morris & Foley, 1994) ことから、空間的視点取得における認知的情報処理水準に大きな影響を与えると予想される。こうした作動記憶の容量を評価するには、実験者が示したのとは逆の順序で単語リストを復唱するよう求める、単語逆称スパン課

題 (Backward Word Span; Carlson et al., 2002) などが用いられる。

また実行機能は、自己の現在の信念や感情から離れて他者の内面世界に同化することを意味する社会的視点取得のうち、代表的な一領域である「こころの理論」とも深く関連することがわかっている (例えば小川・子安, 2008)。概念的には、空間的視点取得と社会的視点取得のいずれにおいても、自己と他者の心の存在を理解してその状態を心像化する働き、すなわちメンタライジングが前提となっていると考えられる。例えば、Bigelow & Dugas (2008) は、複数の視点取得課題を課して階層的回帰分析を施すことにより、両者の共通性を指摘した。しかし Frith & Frith (2006) は、空間的視点取得と社会的視点取得のそれぞれに関して行われた脳画像研究をメタ分析し、空間的視点取得では上側頭溝の後部領域と側頭頭頂接合部が、社会的視点取得では前頭前野内側部が関与するとして、共通項の存在に疑問を投げかけている。空間的視点取得と社会的視点取得を繋ぐメンタライジングの働きを実行機能が支えているのであれば、空間的視点取得における引き剥がしにも実行機能の強い関与が期待されるだろう。

しかし、これまで空間的視点取得と実行機能 (特に抑制機能や作動記憶) の関連を調べた研究は少ない。その原因は、空間的視点取得能力の測定に使用される課題にある。「3つの山問題」は確立された課題であるかのように扱われ、他の認識能力との関連性を論じた研究も多くなされている。例えば、心的回転などの他のイメージ課題と組み合わせて使用されたり (Inagaki et al., 2002)、誤った信念課題との関連が問題にされたり (Happe et al., 1998) している。だが、3つの山問題は決してよい測定課題ではない (渡部, 2002)。例えば、提示刺激の種類を少し変えるだけで正答率が大きく変化し、知覚的複雑さを低減させると年少の子どもでも課題に成功する。さらに問題なのは、仮想的身体移動とそれ以外の認知的情報処理能力とを分離できないことだ。そこで Watanabe (2011) は、身体表象操作において反応時間と移動距離との間に一次関数関係が成立することを利用し、両者を分離して測定する手法を考案した。次いで Watanabe &

Takamatsu (2014) ならびに渡部・高松 (2014) は、幼児や高齢者にも適用できるようにこれを改良し、隠れん坊を模したビデオゲーム「くるくるかくれんぼ」を作成している。

本研究では、幼児を対象として、表象操作ならびに認知的情報処理の課題成績と、抑制機能ならびに作動記憶の課題成績との関連について検討し、空間的視点取得における実行機能の役割について明らかにすることを目的とする。そのために、空間視点取得課題として「くるくるかくれんぼ」課題を使用する。さらに、認知抑制の機能を測定する課題として赤・青課題と Dimensional Change Card Sort (DCCS) を、作動記憶の容量を測定する課題として単語逆唱スパン課題を、そして特に視空間スケッチパッドの容量の測定のためにブロック位置再生課題を用いる。

## 方法

### 参加者

近畿圏の国公立幼稚園に通う幼児 144 名 (男児 77 名、女児 67 名、平均月齢 61.3 ヶ月) が参加した。子ども達には新しいゲームがあると伝え、彼らの興味を喚起した。保護者もしくは保育者に対して、実験の目的・内容と、万が一実験中に苦痛を感じたら中止できることを、口頭もしくは文書で説明した。実験中は実験者が細心の注意を払い、不快な様子を示した場合には直ちに実験を中止した。インフォームドコンセントが得られ、自発的な参加の意思を示した者のみを参加者とした。

### 装置等

くるくるかくれんぼ課題: Watanabe & Takamatsu (2014) ならびに渡部・高松 (2014) と同様のビデオゲーム機が使用された。コントローラに付属したカメラがプレイヤーの掌に巻いた専用バンドの位置を感知し、ディスプレイ画面上に仮想掌を映し出した。仮想掌は、プレイヤーの手の動きに合わせて画面上を移動し、これを画面内のアイコンに 2 秒間静止すれば、その指示通りにゲームを進めることができた。コントローラの直ぐ後ろに、ゲーム内容を映し出

すための14インチ液晶ディスプレイを置いた。画面は全てカラーであった。

赤・青課題：赤と青のカード(9.5×5.5cm)各1枚を用意した。

DCCS：緑色の車のモデルカードもしくは黄色の傘のモデルカードを取り付けたプラスチックの箱(8.5×11.5×4.8cm)各1箱と、黄色の車(車の形状はモデルカードとは異なる)4枚と緑色の傘(傘の形状はモデルカードとは異なる)4枚の合計8枚の分類カード(6.5×9.5cm)を用意した。

単語逆唱スパン課題：白色の紙片(11×5.1cm)を5枚と、ミッキーマウスの人形(15.3cm)1体を用意した。

ブロック位置再生課題：1つのブロックに1～9の数字が1種ずつ書かれた立方体のブロック9個(3×3×3cm)と、ボード(21×28cm)1枚を用意した。

### 手続き

実験は個別に行われた。参加者には固有の参加者番号を割り振った。全てのデータは、この参加者番号で記録・保存した。子ども達は、幼稚園の一室に1人ずつ実験者と一緒に入室し、実験者と机をはさんで向かい合った。最初に「くるくるかくれんぼ」課題を実施し、続いて残りの4課題をランダムな順で実施した。1人あたりの所要時間は20分から30分であり、一部の参加者はこれを2日に分けて実施した。各課題の内容と分析指標は次の通りである。

「くるくるかくれんぼ」課題：参加者はゲーム内でオニの役となり、仮想掌を使って特徴の異なる9人の子どもを順に1人ずつ見つけ出すよう求められた。ゲームの最初の場面で、平屋の家の左右いずれかの窓から1人の子どもが顔をのぞかせ、すぐに窓枠の後ろに隠れた。その後、画面中央に文字で「3、2、1」のカウントダウンが表示され、続けて「スタート」の合図が表示された。子どもが隠れたのは左右どちら側の窓であるのかを、なるべく早く答えるように求められた。「スタート」の合図直前に、家の画像が、ディスプレイ画面上で45°、90°、135°、180°、225°、270°、315°(反時計回り)のいずれかランダムな位置(以後「回転角度」)まですばやく回転し

た。この時、Watanabe & Takamatsu (2014) ならびに渡部・高松(2014)に倣い、家の画像を正立方向から認識するために回転角度に相当する身体表象の回転操作が行われると想定し、その反応時間を仮想的身体移動に要した時間と見なした。「スタート」の合図から解答終了までの反応時間とその時の反応の正誤が、コントローラによって自動計測された。家が無回転(0°)であった2問を含み、合計9問を出題した。以上を1試行として、各参加者について2試行を実施した。

反応時間を用いた指標の作成も Watanabe & Takamatsu (2014) ならびに渡部・高松(2014)に倣った。参加者の正中線に対して対称となる位置の反応時間どうしを組み合わせ、45°、90°、135°の各回転角度に対しては2個ずつ、180°位置には1個の測定値が得られたと見なした。反応時間と回転角度との間には、一般的に一次関数関係が成立することから、この7個の測定値を用いて回帰直線を計算した。傾きを180倍して180°位置までの身体表象操作に要した理論的な反応時間を求めて「身体表象操作時間」とした。また、0°位置での理論的な反応時間を意味する切片の値を「基礎的反応時間」とした。

赤・青課題：Gerstad, Hong, & Diamond (1994)の昼・夜ストループ課題を参考に小川・子安(2008)が作成したものと同一内容である。子どもに赤色と青色の2枚の四角形のカードを示し、実験者が言うのとは異なる色のカードを指すように求めた。青5問、赤5問の計10問(0～10点)をランダムな順で実施した。

DCCS：Frye, Zelazo, & Palfai (1995)の課題を参考にした。最初に、説明試行として、プラスチックの箱の上に取り付けた2枚のモデルカードを子どもに示した。1枚のカードには緑色の車、もう1枚のカードには黄色の傘が描かれていた。次に、実験者が分類カードのうち2枚を子どもに提示した。この時の分類カードには、それぞれ黄色の車と緑色の傘が描かれていた。モデルカードと分類カードについて、描かれている対象と色を対象児に確認した後、まず実験者がカード2枚を1枚ずつ色の次元に基づいて分類してみせた。その後、残り6枚のカードを色の次元に基づいて子どもに分類するよう求めた。子どもが6枚のカードを色の分類次元

に基づいて正しく分類できたら、次は分類次元を形に切り替えて同じことを繰り返した。6枚を正しく分類できれば課題内容を理解したと見なし、本試行を実施した。もし誤りがあれば正答を教示した。本試行では、実験者は分類基準をランダムに設定し、その次元だけを言語化した。すなわち「色（形）のゲームではこのカードはどこへ行くかな」と質問し、8枚の分類カードを全て分類させた。正しく次元を指摘できた枚数が得点（0～8点）となった。

単語逆唱スパン課題：Carlson（2002）を参考に、逆の順序で単語のリストを復唱させる課題を作成した。音韻ループの容量を測定する課題である。最初に、逆唱する単語と同じ数の紙片を机に置き、紙片のそれぞれを指さしながら、リストの単語を音読した。その後、逆の順番で紙片を指さしながら、実験者の言ったことを復唱するように指示した。子どもの理解を確認するため、ミッキーマウス人形を用いて逆唱の手本を示した後に、2単語のみの練習試行を実施した。子どもが間違えたり、無反応だった場合には練習を繰り返した。正答できることを確認した後に、本試行へ進んだ。本試行では2単語から5単語のリストをそれぞれ2問ずつ用意した。2問中1問以上正答できたら単語数を増やした。単語は、幼児が容易に理解できるもので、かつ単語リストの中に同じ範疇（動物・道具など）の単語が含まれないよう選定した。再生できた最大の単語数を得点（1～5点）とした。

ブロック位置再生課題：小川・子安（2010）が作成したのと同じ内容であり、視空間スケッチパッドの容量を測定する課題である。ボード上に9つの立方体のブロックを呈示した。ブロックには1から9まで1つずつ数字が書かれているが、子どもには数字が見えないようになっていた。実験者がタッチしたのと同じ順序でブロックをタッチするように教示したが、子どもは実験者が触るブロックを位置情報のみで覚えておかなければならなかった。練習試行として、タッチするブロックが1個の場合、2個の場合、3個の場合をそれぞれ1問ずつ実施した。これらに失敗した際には、教示を繰り返して、フィードバックを与えて、再度練習試行を

繰り返した。練習試行に成功した後に本試行へ移った。本試行はブロックが1個から9個の9段階あり、各段階に3問が用意された。1個のブロックから始め、段階ごとに2問以上成功したら次の段階に移った。2問以上失敗した場合はそこで終了した。失敗段階より1つ前の段階のブロック数をスパン得点（0～9点）とした。

## 結果

各課題の得点において性差がみられるかを検討するため、男女間で対応のないt検定を行ったが、全ての課題得点において有意差はみられなかった。そのため、分析は男女を込みに行った。

### 身体表象操作時間によるデータクリーニング

「くるくるかくれんぼ」課題の身体表象操作時間と月齢との間でPearsonの積率相関係数を算出したが有意な相関は認められず、身体表象操作時間が正と負の者の間で月齢の平均値をt検定したが有意ではなかった。これにより、身体表象操作時間が負の値であったことは、月齢による未熟さのためではなく、解答にあたって身体表象操作以外の方略を使用するか、もしくは著しく注意が分散していた可能性が考えられ、無効とするのが適当であると判断した。2試行とも有効であれば第2試行の値を、いずれかが無効であれば有効な試行の値を採用し、双方とも無効であればその者は分析から除外した。該当する31名が分析から除外された。さらに、採用された身体表象操作時間について、その平均と標準偏差を算出した（ $\bar{X}=3115.4$ ,  $s=2631.0$ ）。身体表象操作時間を用いて脳機能障害の有無を判定する場合には、カットオフ値が1800msと報告されている（Watanabe, Katagi, Ishikawa, & Kawamura, 2008）。加えて、大学生等の若年成人のほとんどは800ms以内で反応できるとの報告がある（Watanabe & Takamatsu, 2014）。そのため、平均±1標準偏差以上離れた値（484sec以下もしくは5746sec以上）は、身体表象操作が幼児にしては不自然に速いか、もしくは時間がかかり過ぎていて著しく注意が分散していた可能性が考えられた。これらを外れ値とみなし、

該当者を分析対象から除外した。23名がこの基準で除かれ、90名が残った（男児46名、女児44名、平均月齢61.36）。これらの者の身体表象操作時間における平均値は1921.5ms ( $s=54.6$ )であり、基礎的反応時間の平均値は1539.6ms ( $s=116.3$ )であった。なお、基礎的反応時間は負の値であっても不自然ではないため、クリーニング作業には用いなかった。

### 「くるくるかくれんぼ」課題の正当数、実行機能の課題成績、月齢間の関連

分析対象となった90名（月齢42～81ヶ月）について、実行機能課題の得点に発達的変化があるかどうかを調べるため、月齢を10ヶ月幅で分けて4つの階級を作り、4種の実行機能課題（赤・青課題、DCCS、単語逆唱スパン課題、ブロック位置再生課題）の得点分布を作成した（Figure 1~4）。さらに、各実行機能課題の得点と月齢との間でSpearmanの順位相関係数を算出した。単語逆唱スパン課題（ $\rho=0.404$ ,  $t=4.14$ ,  $df=88$ ,  $p<0.01$ ）とブロック位置再生課題（ $\rho=0.310$ ,  $t=2.53$ ,  $df=88$ ,  $p<0.05$ ）において有意な相関がみられた。

次に、「くるくるかくれんぼ」課題の正当数と、月齢および実行機能の4つの課題の成績との間で、Spearmanの順位相関係数を算出した（Table 1）。月齢との間に有意な正の相関（ $\rho=0.240$ ,  $t=2.32$ ,  $df=88$ ,  $p<0.05$ ）が示された。月齢が高い

ほど「くるくるかくれんぼ」課題の正当数が多いことを意味している。また、DCCS（ $\rho=0.242$ ,  $t=2.34$ ,  $df=88$ ,  $p<0.05$ ）、単語逆唱スパン課題（ $\rho=0.392$ ,  $t=3.99$ ,  $df=88$ ,  $p<0.01$ ）、ならびにブロック位置再生課題（ $\rho=0.353$ ,  $t=3.54$ ,  $df=88$ ,  $p<0.01$ ）との間に、いずれも有意な正の相関が示された。「くるくるかくれんぼ」課題の正当数が多いほど、それぞれの課題成績が高いことを意味している。単語逆唱スパン課題は月齢と関連したため、月齢の効果を除いた「くるくるかくれんぼ」課題の正当数との偏相関係数を算出した。単語逆唱スパン課題（ $\rho=0.332$ ,  $t=3.30$ ,  $df=88$ ,  $p<0.01$ ）とブロック位置再生課題（ $\rho=0.310$ ,  $t=3.06$ ,  $df=88$ ,  $p<0.01$ ）のいずれにおいても、有意な正の偏相関が確認された。

これらの相関分析において、「くるくるかくれんぼ」の正当数は1問から9問の間に分布していたが、正答が9問中6問以下であった場合には、課題の理解が不十分であるか、あるいは課題に集中できていなかったことが危惧された。そこで、以後の分析において、該当する24名を分析から除外することにした。分析対象として残った者は66名（男児34名、女児32名、平均月齢63.74）であった。これらの者について「くるくるかくれんぼ」の正当数と4つの課題の成績との間でSpearmanの順位相関係数を算出したが、有意な相関は認められなかった。

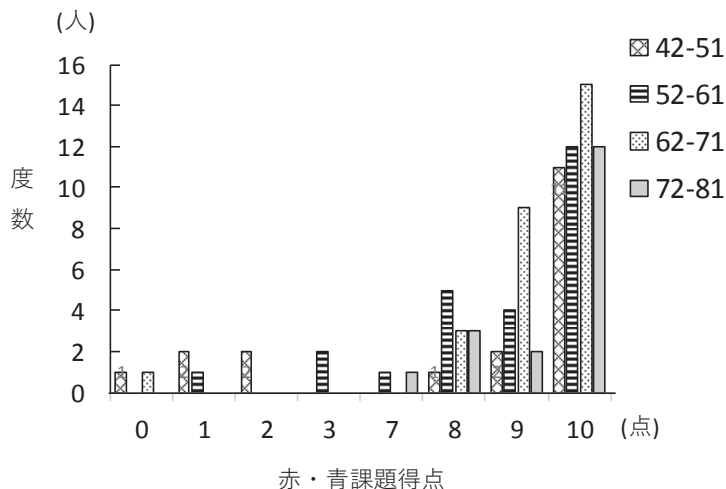


Figure 1 月齢群ごとの赤・青課題得点の度数分布

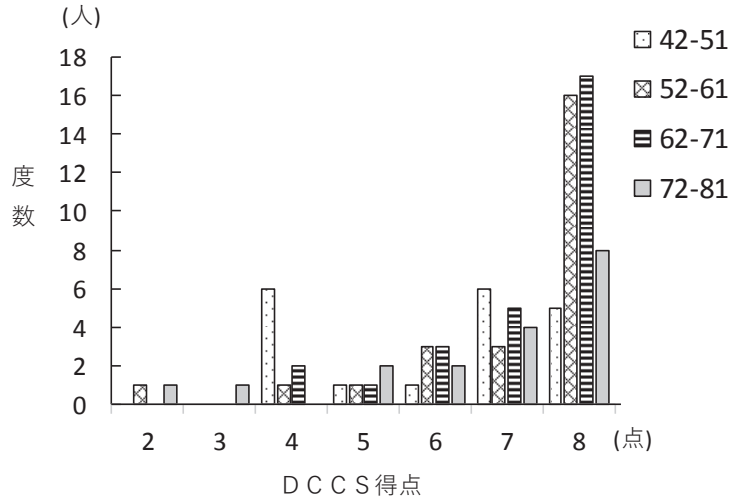


Figure 2 月齢群ごとのDCCS得点の度数分布

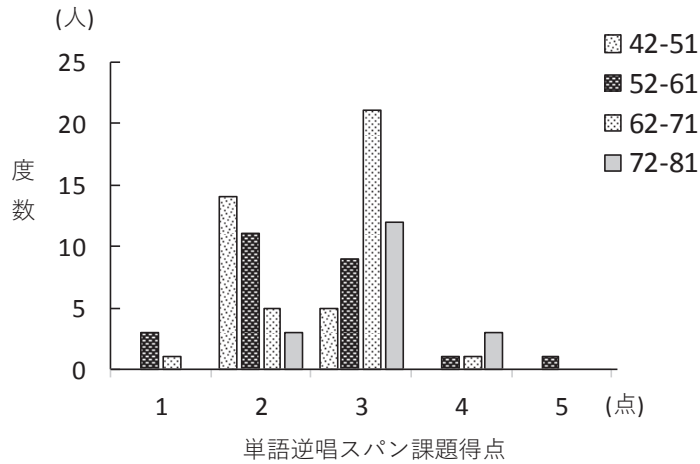


Figure 3 月齢群ごとの単語逆唱スパン課題得点の度数分布

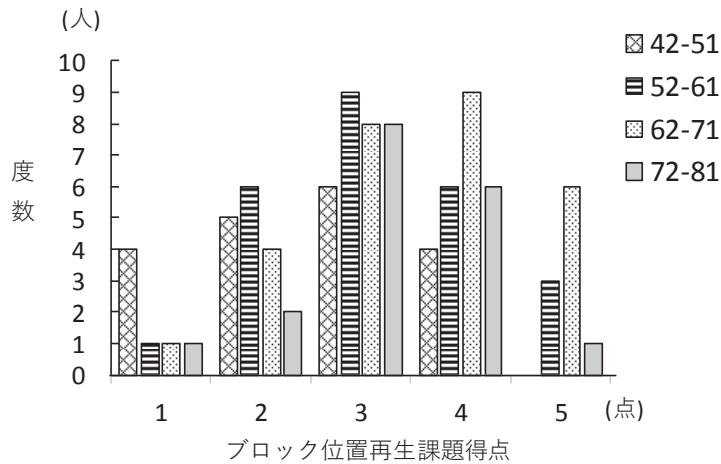


Figure 4 月齢群ごとのブロック位置再生課題得点の度数分布

Table 1 「くるくるかくれんぼ」の正当数と月齢および実行機能の4つの課題との間の Spearman の順位相関係数

| 変数名 | 月例        | 赤・青     | DCCS       | 単語逆唱       | ブロック位置    |
|-----|-----------|---------|------------|------------|-----------|
| 正答数 | 0.24008 * | 0.18213 | 0.24189 ** | 0.39168 ** | 0.35288 * |
| t 値 | 2.320     | 1.738   | 2.339      | 3.993      | 3.538     |

\* :  $p < .05$ , \*\* :  $p < .01$ ,  $df=88$ 

#### 身体表象操作時間ならびに基礎的反應時間と実行機能の課題成績との関連

身体表象操作時間ならびに基礎的反應時間と4種の実行機能課題の成績との間で、Spearman の順位相関係数を算出した (Table 2)。身体表象操作時間とブロック位置再生課題 ( $\rho=0.339$ ,  $t=2.89$ ,  $df=64$ ,  $p<0.01$ ) との間に有意な正の相関が、基礎的反應時間と DCCS ( $\rho = -0.257$ ,  $t=2.13$ ,  $df=64$ ,  $p<0.05$ )、単語逆唱スパン課題 ( $\rho = -0.287$ ,  $t=2.40$ ,  $df=64$ ,  $p<0.05$ )、ならびにブロック位置再生課題 ( $\rho = -0.531$ ,  $t=5.01$ ,  $df=64$ ,  $p<0.01$ ) との間に有意な負の相関が示された。身体表象操作時間が小さいほど DCCS 得点が低く、基礎的反應時間が小さいほどそれぞれの課題得点が高いことを意味している。身体表象操作時間と DCCS 以外の実行機能の3課題との間、ならびに基礎的反應時間と赤・青課題との間には有意な相関は認められなかった。次いで、身体表象操作時間、基

礎的反應時間ならびに実行機能課題と月齢との間で Spearman の順位相関係数を算出したところ、基礎的反應時間ならびに実行機能の3つの課題が月齢との有意な正の順位相関 (基礎的反應時間;  $\rho = -0.256$ 、赤・青課題;  $\rho=0.356$ 、単語逆唱スパン課題;  $\rho=0.473$ 、ブロック位置再生課題;  $\rho=0.253$ 、いずれも  $df=64$ ) を示したが、DCCS ならびに身体表象操作時間との相関は見られなかった。先に身体表象操作時間ならびに基礎的反應時間と実行機能課題との間に有意な順位相関が示された箇所について、月齢の効果を除く偏相関を算出した。身体表象操作時間とブロック位置再生課題 ( $\rho = 0.319$ ,  $t=2.69$ ,  $df=64$ ,  $p<0.01$ ) ならびに基礎的反應時間とブロック位置再生課題 ( $\rho = -0.499$ ,  $t=4.61$ ,  $df=64$ ,  $p<0.01$ ) の関連は確認されたが、基礎的反應時間と DCCS ならびに単語逆唱スパン課題との間に関連は見られなくなった。

Table 2 身体表象操作時間ならびに基礎的反應時間と実行機能の4つの課題との間の Spearman の順位相関係数

| 変数名      | 赤・青    | DCCS     | 単語逆唱     | ブロック位置    |
|----------|--------|----------|----------|-----------|
| 身体表象操作時間 | 0.052  | 0.180    | 0.179    | 0.339 **  |
| t 値      | 0.416  | 1.460    | 1.455    | 2.886     |
| 基礎的反應時間  | -0.065 | -0.257 * | -0.287 * | -0.531 ** |
| t 値      | 0.522  | 2.131    | 2.395    | 5.011     |

\* :  $p < .05$ , \*\* :  $p < .01$ ,  $df=88$



## 考察

「くるくるかくれんぼ」課題に正答するには、眼前の回転された家の映像を抑制し、これを正立方向から認識すべく回転角度に相当する身体表象の回転操作を行って、他視点からのみえを構成しなければならない。その際、自己の身体表象や対象表象を保持・操作するために、一定量の作動記憶が必要となると想定した。「くるくるかくれんぼ」課題の正当数は、作動記憶容量を示す単語逆唱スパン課題ならびにブロック位置再生課題との間に、月齢の効果を除いても有意な偏相関を示した。これより、作動記憶容量が小さいと「くるくるかくれんぼ」課題を正答に導く情報処理が十分に遂行できないことが示された。

一方、認知抑制機能を示す赤・青課題は、「くるくるかくれんぼ」課題正当数との関連が見られなかった。赤・青課題では、実験者が発声した色情報を抑制し、それとは別の色を答える必要があったことから、入力された不適切情報の活性化を抑える活性化抑制が関与したと考えられる。対してDCCSでは、色もしくは形のいずれかが不適切情報となるため、これを抑制して適切な情報のみを用いる入力抑制が関与したと考えられる。DCCSは「くるくるかくれんぼ」課題正当数との相関が示されたことから、同じ認知抑制であっても入力抑制は「くるくるかくれんぼ」課題正当数と関連し、活性化抑制は関連しない結果となった。「くるくるかくれんぼ」課題において、眼前の回転された家の映像を抑制することは入力抑制に相当し、活性化抑制にあたるような認知過程を含まなかったことが、今回の結果を生んだ原因かもしれない。なお、Figure 1とFigure 2からは、赤・青課題とDCCSにおいて天井効果に近い高い正答率が示されていたことがわかる。「くるくるかくれんぼ」課題の正答に必要な入力抑制機能も、幼児期後半にはほぼ獲得されるようだ。

反応時間を指標とした場合には、身体表象操作時間ならびに基礎的反応時間のいずれもが、ブロック位置再生課題と相関を示した。ブロック位置再生課題は、タッチするブロックの数が増えるほど視空間スケッチパッドの容量が必要

とされるため、空間的視点取得能力との強い関連が示されたことは当然と言える。ただし、身体表象の回転操作に要した時間を意味する身体表象操作時間は、ブロック位置再生課題との間に想定外の関連を示した。身体表象操作時間が小さいほど（表象操作が速く、認知的に優れているほど）、ブロック位置再生課題の得点が低かったのである。参考に、参加者を大学生に相当する484ms以上800ms未満の群（ $N=16$ ; 男児4人）、成人期以降であるなら機能低下が疑われる800ms以上1800ms未満の群（ $N=19$ ; 男児12人）、そして機能低下を示す1800ms以上5746ms未満の群（ $N=31$ ; 男児18人）の3つの機能群に分類し、3群の身体表象操作時間と基礎的反応時間から想定される回帰直線を描いた（Figure 5）。この時、Bonferroni法による多重比較から、1800ms以上5746ms未満の群は484ms以上800ms未満の群よりも、有意に平均月齢が高いことが示された（ $t=2.09$ ,  $df=63$ ,  $p<.05$ , Cohen's  $d=.527$ ）。すなわち、Figure 5で示す3本の直線が徐々に立ち上がるように発達の変化が生じたことがわかる。身体表象操作時間と基礎的反応時間は有意な負の相関を示した（ $r=-0.441$ ,  $t=3.93$ ,  $df=64$ ,  $p<.01$ ）ことから、身体表象操作時間もしくは基礎的反応時間の影響を除いてブロック位置再生課題との偏相関を算出したところ、基礎的反応時間とブロック位置再生課題の間には有意な偏相関（ $r=-0.452$ ,  $t=4.05$ ,  $df=64$ ,  $p<.01$ ）が示されたが、身体表象操作時間とブロック位置再生課題との偏相関は有意ではなかった。このことから、「くるくるかくれんぼ」課題の反応時間とブロック位置再生課題成績との間に示された関連は、仮想的身体移動操作以外の認知的情報処理能力の向上と視空間スケッチパッド容量の増加を意味するものと判断できる。

以上より、幼児期の空間的視点取得、特に引き剥がしと実行機能との関連について、次のように結論した。幼児期には、作動記憶が発達することで空間的視点取得の正確さが高まり、処理が速まる。中でも、空間表象の保持や操作を司る視空間スケッチパッドは、その容量の増加が、仮想的身体移動操作以外の認知的情報処理能力の向上を直接的に促す。また、入力抑制の機能も引き剥がしの正確さに関連するようだ。自

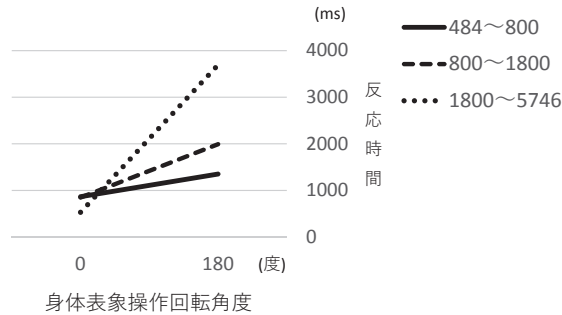


Figure 5 身体表象操作時間の各機能群の平均的な回帰直線

己視点からのみえを十分に抑制できなければ、他視点からのみえの生成時に不適切情報が入り込み、最終産物である反応が不正確なものとなるからだろう。一方で、引き剥がしの中核となる身体表象操作と実行機能との関連は、明確な示唆を得ることができなかった。

「くるくるかくれんぼ」課題を幼児・児童に適用した先行研究からは、身体表象操作時間の平均が、3歳から6歳の幼児で1500ms程度(渡部・高松, 2014)、6歳から9歳で3374.3ms(Watanabe & Takamatsu, 2014)と一旦上昇し、その後、10歳から19歳で1000ms程度まで短縮されることが示されている。また、3歳から6歳を対象とした本研究での平均値も1932msであり、渡部・高松(2014)と極端な違いはない。そのため、発達が進んだ者では、6歳以降の身体表象操作時間の伸長に向けた変化が見られたのだと考えて矛盾はないだろう。Figure 5に示したように、幼児期には身体表象操作時間が伸長するという発達の変化が生じるが、そこに実行機能の発達が反映される可能性について、本研究の結果は否定的であったと言える。

ただし、身体表象操作時間に関して行ったデータクリーニングが、身体表象操作と実行機能との関連を攪乱してしまった恐れもある。最終的には、3歳児81.8%(11人中9人)、4歳児63.5%(52人中33人)、5歳児49.1%(53人中26人)、6歳児35.7%(28人中10人)を分析から除いた。除外された割合に年齢ごとに大きな違いがあったことから( $\chi^2=9.60, df=3, p<.05, \omega=.381$ )、「くるくるかくれんぼ」課題の反応時間と実行機能課題の相関分析に使用したデータに、某かの偏りが生じてしまった可能性も考えられる。年少

児は注意持続に限界があることから、課題の実施において試行回数に制限を設けざるを得ないが、その中でいかにして信頼性の高い測定値を得るかが今後の課題だろう。

今回は実行機能として抑制機能と作動記憶に着目したが、このほかに空間的視点取得、特にその引き剥がし過程に関連する機能として、注意の切り替えや作動記憶の更新(Miyake, et al., 200)、選択的注意や注意の配分(Anderson, 2002)なども候補に挙げることができる。こうした多様な機能について検討するとともに、実行機能障害が問題となることの多い高齢者を含むより幅広い年齢層を対象とすることで、空間的視点取得と実行機能の発達の関連をより詳細かつ正確に明らかにすることができるはずだ。

さらに、仮想的身体移動には、体性感覚的な身体表象から仮想的な身体表象を分離する引き剥がしが不可欠であることから、行為者の身体感覚や運動能力がその過程に反映されるという意味での身体性(Kessler & Thomson, 2010)が存在する。そのため、幼児期の急激な身体・運動能力変化が、空間的視点取得能力の発達に影響する可能性は十分に考えられる。実行機能のみならず身体機能も取り上げて関連を見ることで、空間的視点取得の発達課程をより正確に解明することができるだろう。

#### <文献>

- Anderson, P. (2002) Assessment and development of executive function (EF) during childhood. *Child Neuropsychology*, 8, 71-82. DOI: 10.1076/chin.8.2.71.8724

- Bigelow, A. E. & Dugas, K. (2008) Relations among preschool children's understanding of visual perspective taking, false belief, and lying. *Journal of Cognition and Development*, 9, 411-433. DOI: 10.1080/15248370802678299
- Carlson, S. M. (2005) Developmentally sensitive measures of executive function in preschool children. *Developmental Neuropsychology*, 28, 595-616. DOI: 10.1207/s15326942dn2802\_3
- Carlson, S. M., & Moses, L. J. (2001) Individual differences in inhibitory control and children's theory of mind. *Child Development*, 72, 1032-1053. DOI: 10.1080/87565641.2012.718818
- Carlson, S. M., Moses, L. J., & Breton, C. (2002) How specific is the relation between executive function and theory of mind?: Contributions of inhibitory control and working memory. *Infant and Child Development*, 11, 73-92. DOI: 10.1002/icd.298
- Coslett, H. B. & Saffran, E. (1991) Simultanagnosia: To see but not two see. *Brain*, 114, 1523-1545. DOI: 10.1093/neucas/1.4.331-b
- Frith, C. D. & Frith, U. (2006) The neural basis of mentalizing. *Neuron*, 50, 531-534. DOI: 10.1016/j.neuron.2006.05.001
- Frye, D., Zelazo, P.D. & Palfai, T. (1995) Theory of mind and rule-based reasoning. *Cognitive Development*, 10, 483-527. DOI: 10.1016/0885-2014 (95) 90024-1
- Gerstad, C. L., Hong, Y.J., & Diamond, A. (1994) The relationship between cognition and action: Performance of children 3 1/2-7 years old on a Stroop-like day-night test. *Cognition*, 53, 129-153. DOI: 10.1016/0010-0277 (94) 90068-X
- Happe, F. G. E., Winner, E., & Brownell, H. (1998) The getting of wisdom: Theory of mind in old age. *Developmental Psychology*, 34, 358-362. DOI: 10.1037/0012-1649.34.2.358
- Hegarty, M. & Waller, D. (2004) A dissociation between mental rotation and perspective-taking spatial abilities. *Intelligence*, 32, 175-191.
- Huttenlocher, J. & Presson, C. C. (1973) Mental rotation and the perspective problem. *Cognitive Psychology*, 4, 277-299. DOI: 10.1016/0010-0285 (73) 90015-7
- Inagaki, H., Meguro, K., Ishizaki, J., Okuzumi, H., & Yamadori, A. (2002) Discrepancy between mental rotation and perspective-taking abilities in normal aging assessed by Piaget's three-mountain task. *Journal of Clinical Experimental Neuropsychology*, 24, 18-25. DOI: 10.1076/jcen.24.1.18.969
- Kessler, K. & Thomson, L. A. (2010) The embodied nature of spatial perspective taking: Embodied transformation versus sensorimotor interference. *Cognition*, 114, 72-88. DOI: 10.1016/j.cognition.2009.08.015
- Kochanska, C., Murray, K., Jacques, T. Y., Koenig, A. L., & Vandegest, K. A. (1996) Inhibitory control in young children and its role in emerging internalization. *Child Development*, 67, 490-507. DOI: 10.2307/1131828
- Mcdonald, L. & Stuart-Hamilton, I. (2002) Egocentrism in older adults-piaget's three mountains task revisited. *Educational Gerontology*, 28, 35-43. DOI: 10.1080/036012702753304476
- Miyake, A., Friedman, N. P., Emerson, M. J., Witzki, A. H., Howerter, A., & Wager, T. D. (2000) The unity and diversity of executive functions and their contributions to complex "frontal lobe" tasks: A latent variable analysis. *Cognitive Psychology*, 41, 49-100. DOI: 10.1006/cogp.1999.0734
- 小川 絢子・子安増生 (2008) 幼児における「心の理論」と実行機能の関連性：ワーキングメモリと葛藤抑制を中心に。発達心理学研究, 19, 171-182.
- 小川 絢子・子安増生 (2010) 幼児期における他者の誤信念に基づく行動への理由づけと実行機能の関連性。発達心理学研究, 21, 232-243.
- Piaget, J. & Inhelder, B. (1948) La representation de l'espace chez l'enfant. Presses Universitaires de France, Paris. F.J. Langdon & J. L. Lunzer (Trs.) (1956) The child's conception of space. London: Routledge & Kagan Paul.
- Qureshi, A. W., Apperly, I. A., & Samson, A. (2010) Executive function is necessary for perspective selection, not Level-1 visual perspective calculation: Evidence from a dual-task study of adults. *Cognition*, 117, 230-236. DOI: 10.1016/j.cognition.2010.08.003
- Ruby, P. & Decety, J. (2001) Effect of subjective perspective taking during simulation of action: A PET investigation of agency. *Nature Neuroscience*, 4, 546-550. DOI: 10.1038/87510
- Toms, M., Morris, N. & Foley, P. (1994) Characteristics of visual interference with visuospatial working memory. *British Journal of Psychology*, 85, 131-144. DOI: 10.1111/j.2044-8295.1994.tb02513.x
- 渡部雅之 (1987) 空間表象の変換能力に関する発達研究—下位能力との関連から—。教育心理学研究, 35, 107-115.
- 渡部雅之 (2002) 「3つの山問題」研究の動向と展望—空

- 間的視点取得の生涯発達理論構築に向けて一. 滋賀大学教育学部紀要: 教育科学, **52**, 101-116.
- Watanabe, M. (2011) Distinctive features of spatial perspective-taking in the elderly. *The International Journal of Aging and Human Development*, **72**, 225-241. DOI: :10.2190/AG.72.3.d
- 渡部雅之 (2013) 空間的視点取得の脳内機序と生涯発達. 心理学評論, **56**, 357-375.
- 渡部雅之・高松みどり (2014) 空間的視点取得における仮想的身体移動の幼児期から成人期に至る変化. 発達心理学研究, **25**, 111-120.
- Watanabe, M. & Takamatsu, M. (2014) Spatial perspective taking is robust in later life. *The International Journal of Aging and Human Development* **78**, 277-297. DOI: 10.2190/AG.78.3.d
- Watanabe, M., Katagi, R., Ishikawa, K., & Kawamura, W. (2008) Development of a Spatial Cognition Test for the Old Handicapped. Proceedings of the 20th Biennial Meeting of the International Society for the Study of Behavioural Development.
- Wraga, M., Shephard, J. M., Churcha, J. A., Inatic, S., & Kosslyn, S. M. (2005) Imagined rotations of self versus objects: An fMRI study. *Neuropsychologia*, **43**, 1351-1361. DOI: 10.1016/j.neuropsychologia.2004.11.028
- Zacks, J. M. (2008) Neuroimaging studies of mental rotation: A metaanalysis and review. *Journal of Cognitive Neuroscience*, **20**, 1-19. DOI: 10.1162/jocn.2008.20013

### 謝辞

本研究のデータ収集の一部において、2011年度滋賀大学教育学部卒業生入江亮太氏の協力を得ました。感謝いたします。