

令和 6 年 6 月 20 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21H00937

研究課題名（和文）幼児期の算数と実行機能の関連についての発達認知神経科学的研究

研究課題名（英文）A Developmental Cognitive Neuroscience Study of the Relationship between Arithmetic and Executive Function in Early Childhood

研究代表者

森口 佑介 (Yusuke, Moriguchi)

京都大学・文学研究科・准教授

研究者番号：80546581

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,400,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、実行機能と幼児向け算数の発達の関連を発達認知神経科学的手法によって検証することを目的とした。具体的には、まず、行動実験を用いて実行機能と幼児向け算数の発達の関連の解明を目的とした。次に、近赤外分光法を用いて、これらの課題の脳内基盤を検討することを目的とした。行動実験の結果、計算課題とワーキングメモリ課題および認知的柔軟性課題の間に中程度の相関関係が見られた。また、脳活動の計測の結果、実行機能課題および計算課題時に外側前頭前野の活動が認められたが、課題間に関連は認められなかった。これらの結果は、今回用いた課題においては、実行機能と幼児向け算数の脳内基盤は異なる可能性を示唆する。

研究成果の学術的意義や社会的意義

これまでの研究から、幼児において実行機能と算数の間に関係があることが示されている。しかしながら、両者の関係は相関関係にすぎず、同じような認知・脳内メカニズムがあるのかは明らかではない。また、このような研究成果に基づき世界的に実行機能を訓練することで算数などの学力を高めようという実践がなされているが、その効果は非常に弱い。本研究では、両者の課題成績に相関があることを示したが、脳活動には関係がないことを示した。このことは、両者の認知・脳内基盤は重複しない可能性があり、実行機能の訓練が算数の向上に必ずしも結び付かない可能性を示唆している。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this study was to examine the developmental relationship between executive function and arithmetic for young children using developmental cognitive neuroscience methods. Specifically, we first aimed to elucidate the developmental relationship between executive function and arithmetic for young children using behavioral experiments. Next, we used near-infrared spectroscopy to examine the brain basis of these tasks. Behavioral experiments revealed moderate correlations between the arithmetic task, the working memory task, and the cognitive flexibility task. In addition, we found the prefrontal activations during the executive function task and the arithmetic task, but no relationship was found between the tasks. These results suggest that the brain bases of executive function and arithmetic for young children may be different in the tasks used in this study.

研究分野：発達心理学

キーワード：幼児期の算数 実行機能 前頭前野 発達認知神経科学

1. 研究開始当初の背景

子どもが健やかに発達し、実りのある人生を歩むために、現代の発達心理学では、実行機能(Executive Function)の重要性が示されている。実行機能は、目標到達のために行動を制御する能力であり、ワーキングメモリや行動を抑制する能力、認知的柔軟性などから構成される(Garon et al, 2008)。この能力は幼児期から児童期に急激に発達することが知られている(Zelazo & Muller, 2002)。

近年の研究から、実行機能が高い子どもは、そうではない子どもよりも、様々な社会的行動に優れており、友人関係も良好であることが報告されている(e.g., Block et al., 2009)。ただ、未だに十分に明らかではないのが、実行機能が子どもの初期の学力に与える影響である。過去の研究から、子どもの実行機能は、国語や算数などの初期の学力と強い相関関係があることが多数報告されている。特に、幼児期において、実行機能と算数の基盤となる能力(以下、幼児向け算数)の関連は強い(Blair & Razza, 2007; Friso-Van den Bos et al., 2013)。

このような研究成果に基づき世界的に実行機能を訓練することで算数などの学力を高めようという実践がなされているが、その効果は非常に弱い(Kassai, et al., 2019)。この理由は、実行機能課題の成績と幼児向け算数の成績には相関関係があるにすぎず、実行機能の発達が、幼児向け算数のどの側面に、いかなる寄与をするのか、その機序が明らかではないためである。本研究では、「実行機能と幼児向け算数の発達の関連はいかなるものか」という問いを立て、この問いを発達認知神経科学的手法によって検証することを目的とした。

2. 研究の目的

これまでの成人を対象にしたfMRIなどの脳機能イメージング研究から、実行機能と、計算や計数などの算数にかかわる能力の脳内基盤が類似していることが示されている。実行機能には、ワーキングメモリ、行動の抑制、認知的柔軟性などの下位機能があるが、共通して賦活する脳領域として外側前頭前野と後部頭頂皮質を含む前頭・頭頂ネットワークがあり、このネットワークが実行機能の主たる役割を担うことが示されている。具体的には、背外側前頭前野は課題の目標やルールの保持、腹外側前頭前野は複数の行動レパートリーから一つの行動を選択する過程、後部頭頂領域は課題への注意に関連すると考えられる。

一方、算数に関わる、計算や空間認識などには、頭頂葉、特に、頭頂間溝を中心とした神経ネットワークが関与することが報告されている。重要な点として、第1に、計算や空間認識などの課題において、しばしば外側前頭前野が賦活するという点である。外側前頭前野の活動は、計算や空間認識時の目標の保持や行動の選択などを反映していると考えられる。また、第2に、頭頂領域の活動は、実行機能と算数では重複しないことも示されている。以上のことから、外側前頭前野・頭頂領域の実行機能の働きと、頭頂間溝の数や空間の表象が算数の問題解決に必要ということになる(e.g., Matejko & Ansari, 2017)。

このことを考慮すると、実行機能と幼児向け算数の発達の関係は、実行機能が発達し、算数に関する情報を保持したり、適切な反応を選択したりすることが可能になることで、算数の問題解決に寄与していることになる。そして重要なこととして、単純に実行機能が発達するだけでなく、算数課題時に実行機能が連動して機能するように、前頭・頭頂ネットワークが発達する必要がある。

以上のことから、本研究では、以下の点を検証する。

まず、行動実験による実行機能と幼児向け算数の発達の関連の解明を目的とする。先行研究は、幼児向け算数の中の側面が実行機能とどのようにかわるのかについては十分に検討していない。国外の研究は標準化されたテストを用いているが、テストによって内容が異なるので整理が必要である。また、国内には幼児向け算数を測定する標準化されたテストがない。本研究では、数概念、計数、計算、空間の認識に焦点をあて、これらと実行機能の発達の関連を検討した。

また、成人と幼児を対象に、実行機能課題時および算数課題時における外側前頭前野と後部頭頂皮質の発達過程を近赤外分光法によって調べる。本研究では、行動実験によって実行機能との発達の関連が明らかになった幼児向け算数の内容に焦点をあて、その課題時に外側前頭前野と後部頭頂皮質が機能しているのか、また、いかに発達するのかを検証する。さらに、実行機能課題時の脳活動との関連も検討する。

3. 研究の方法

まず、研究1では、行動実験を用いて、実行機能の発達が幼児向け算数のどの側面に関連するかを検討した。研究では、4 - 6 歳児を対象に、計数および計算が実行機能と関連するかを行動実験によって検討した。実行機能課題として、ワーキングメモリ課題と認知的柔軟性課題を実施し、それらの成績と計数・計算課題の成績との相関を検討した。

具体的には、ワーキングメモリ課題としては逆唱課題、認知的柔軟性課題としてルール切り替え課題を実施した。逆唱課題では、幼児は、調査者が唱えたのと逆の順番でいくつかの数字を唱えることが求められた。ルール切り替え課題では、色と形のルールがある中で、色でカードを分類したり形で分類したりする Dimensional Change Card Sort 課題を用いた（図1）。計数・計算課題は、我々が独自に作成した課題を用いた。計算に関しては、足し算を中心に実施した。

次に、研究2では、成人を対象に、認知的柔軟性課題と計算課題時における脳活動を近赤外分光法を用いて計測し、その関係を検証した。この際に、前頭前野の活動と、頭頂葉の活動を計測することとした。認知的柔軟性課題としては、色と形などのルールを切り替えるルール切り替え課題を用いた。また、計算課題においては、足し算と引き算を用いることとした。

最後に、研究3では、5 - 6 歳の幼児を対象に、認知的柔軟性課題と計算課題時における脳活動を近赤外分光法を用いて計測し、その関係を検証した（図2）。具体的には、認知的柔軟性課題として、本領域で広く用いられている Dimensional Change Card Sort 課題を用いて、ルールを柔軟にスイッチできるかどうかを調べた。さらに、算数課題として、5 - 6 歳児でも可能と思われる、一桁の足し算を用いた。具体的には、合計値が5以下になる簡単な問題と、合計値が6以上9以下となる比較的難しい問題を含めて、その課題時における脳活動を計測した（図3）。



図1 Dimensional Change Card Sort 課題の課題例。色や形でカードを分類する課題

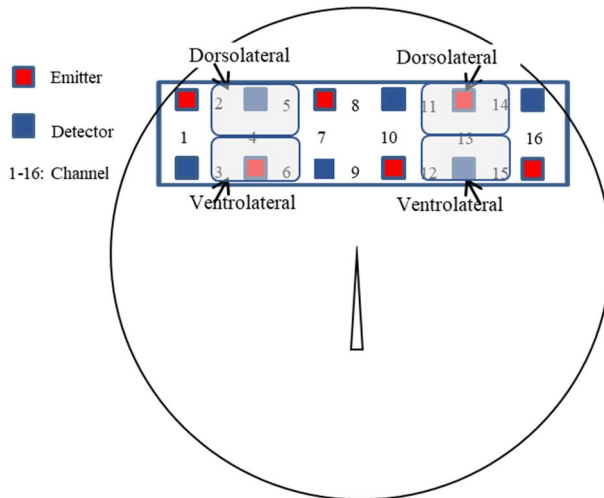


図2 近赤外分光法の配置。前頭前野の例

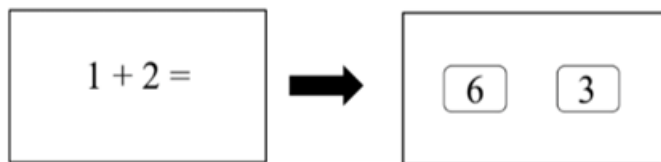


図3 計算課題

4. 研究成果

まず、研究1の結果を報告する。実験の結果、ワーキングメモリ課題および認知的柔軟性課題の成績と計算課題の成績の間に中程度の正の相関関係が認められた。これらの研究結果から、ワーキングメモリと認知的柔軟性が子どもの計算能力と関係することが示された。この中で、ワーキングメモリ課題は、言語的な発話が求められることから、脳活動の計測に適さないと判断し、脳機能計測実験では認知的柔軟性に焦点を当てることとした。

次に研究2について報告する。研究2の結果、成人において、認知的柔軟性課題においても、計算課題においても、ベースラインと比べて、課題時に外側前頭前野の活動がみられた。一方、頭頂葉の活動は見られなかった。

さらに、課題時の脳活動の関係を検討したところ、前頭前野において、両者の相関関係は弱い可能性が示された。これらの結果について、計算課題における外側前頭前野の活動の関与は、課題に習熟すると弱くなるためであるかもしれない。言い換えると、どちらの課題にも習熟していない幼児においては、両者の間に関係がみられる可能性がある。頭頂葉の活動が十分ではなかったことを考慮し、幼児を対象にした実験では主に前頭前野に焦点を当てることとした。

最後に、研究3の結果について報告する。研究3の結果、まず、行動レベルでは、どちらの課題も幼児は高いパフォーマンスを見せ、多くの子どもがほぼ間違いなく正答した。また、課題時の脳活動においては、どちらの課題についても、外側前頭前野の活動がみられた(図4, 5)。しかしながら、課題時の脳活動の関係を検討したところ、両者の脳活動には非常に弱い相関関係しか認められなかった。

これらの結果は、認知的柔軟性と計算の認知プロセスや脳内プロセスが、少なくとも本研究で用いた課題においては異なるものであることを示唆している。先行研究から、前頭前野の活動は、特に課題の認知的負荷が高い場合に活動しやすいことが知られているため、本研究の課題の成績が高かったことが一つの要因として考えられる。

これまでの研究から、幼児において実行機能と算数の間に関係があることが示されている。しかしながら、両者の関係は相関関係にすぎず、同じような認知・脳内メカニズムがあるのかは明らかではなかった。また、このような研究成果に基づき世界的に実行機能を訓練することで算数などの学力を高めようという実践がなされているが、その効果は非常に弱い。本研究では、両者の課題成績に相関があることを示したが、脳活動には関係がないことを示した。このことは、両者の認知・脳内基盤は重複しない可能性があり、実行機能の訓練が算数の向上に必ずしも結び付かない可能性を示唆している。

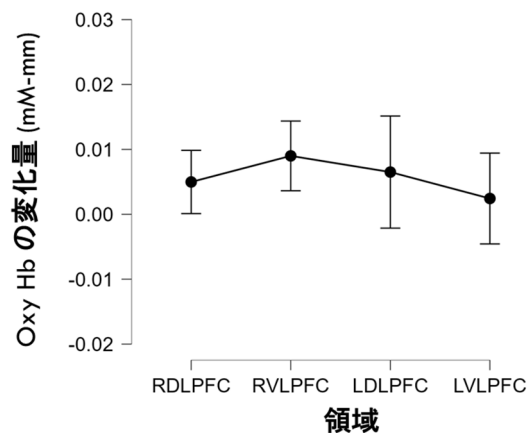


図4 認知的柔軟性課題時における外側前頭前野野活動。課題とベースラインの差分。RDLPFC = 右背外側前頭前野, VLPFC = 右腹外側前頭前野, LDLPFC = 左背外側前頭前野, LVL PFC = 左腹外側前頭前野

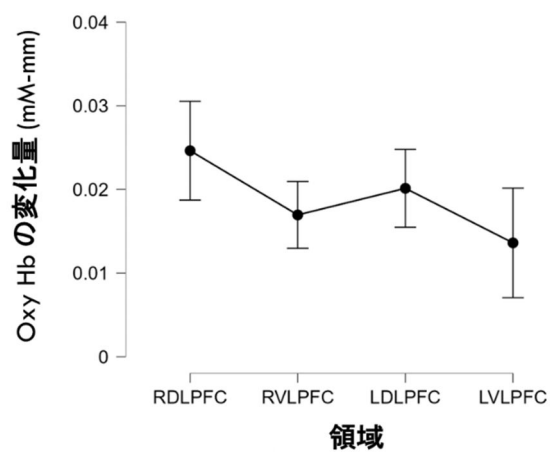


図5 計算課題時における外側前頭前野野活動。課題とベースラインの差分。RDLPFC = 右背外側前頭前野, VLPFC = 右腹外側前頭前野, LDLPFC = 左背外側前頭前野, LVL PFC = 左腹外側前頭前野

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 6件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Kanazawa Hoshinori, Yamada Yasunori, Tanaka Kazutoshi, Kawai Masahiko, Niwa Fusako, Iwanaga Kougoro, Kuniyoshi Yasuo	4. 巻 120
2. 論文標題 Open-ended movements structure sensorimotor information in early human development	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proceedings of the National Academy of Sciences	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1073/pnas.2209953120	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Suppalarkbunlue Warabud, Chutabhakdikul Nuanchan, Lertladaluck Kanda, Moriguchi Yusuke	4. 巻 0
2. 論文標題 Promoting Inhibitory Control in Preschool Children Through Music-Movement Activities in the Classroom	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Research in Childhood Education	6. 最初と最後の頁 1~17
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1080/02568543.2022.2111482	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Sakata Chifumi, Ueda Yoshiyuki, Moriguchi Yusuke	4. 巻 227
2. 論文標題 The contextual cueing effect disappears during joint search in preschool children	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Experimental Child Psychology	6. 最初と最後の頁 105592 ~ 105592
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.jecp.2022.105592	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Moriguchi Yusuke, Phillips Steven	4. 巻 13
2. 論文標題 Evaluating the Distinction between Cool and Hot Executive Function during Childhood	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Brain Sciences	6. 最初と最後の頁 313 ~ 313
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/brainsci13020313	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Moriguchi Yusuke	4. 巻 25
2. 論文標題 Relationship between cool and hot executive function in young children: A near infrared spectroscopy study	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Developmental Science	6. 最初と最後の頁 1-11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/desc.13165	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Wang Jue, Sakata Chifumi, Moriguchi Yusuke	4. 巻 63
2. 論文標題 The neurobehavioral relationship between executive function and creativity during early childhood	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Developmental Psychobiology	6. 最初と最後の頁 1-8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/dev.22191	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計11件 (うち招待講演 6件 / うち国際学会 2件)

1. 発表者名 Moriguchi Yusuke
2. 発表標題 Roles of culture and COMT gene on the development of executive function
3. 学会等名 International Congress of International Association for Cross-Cultural Psychology (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 森口佑介
2. 発表標題 幼児期の実行機能の発達、脳内機構 およびその支援
3. 学会等名 第11回発達神経科学学会 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 森口佑介
2. 発表標題 実行機能の初期発達とその脳内機構
3. 学会等名 日本健康行動科学会21回学術大会（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 森口佑介
2. 発表標題 「非認知」を通して 基礎研究と発達支援をつなぐ
3. 学会等名 日本発達心理学会 第34回大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Wang Jue, Sakata Chifumi, Moriguchi Yusuke
2. 発表標題 The neurobehavioral relationship between executive function and creativity during early childhood
3. 学会等名 Society for Research in Child Development 2023 Biennial Meeting（国際学会）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Wang Jue・坂田千文・森口佑介
2. 発表標題 幼児期における創造性と実行機能の関連.
3. 学会等名 日本赤ちゃん学会第21回学術集会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山本希・大東将・森口佑介
2. 発表標題 日本の子どもにおける敵意帰属バイアスと攻撃性の関連.
3. 学会等名 日本赤ちゃん学会第21回学術集会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 坂田千文・上田祥行・森口佑介
2. 発表標題 共同視覚探索における幼児の視空間情報の学習.
3. 学会等名 日本心理学会第85回大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 森口佑介
2. 発表標題 新型コロナウイルスが子どもの発達に及ぼす影響
3. 学会等名 第3回発達支援学会(招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kanazawa Hoshinori
2. 発表標題 Self-organization of Sensorimotor Information Structure in Early Infancy
3. 学会等名 HypAd2023 symposium (招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 森口佑介
2. 発表標題 実行機能の発達機構
3. 学会等名 第17回Motor Control研究会（招待講演）
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計4件

1. 著者名 森口 佑介	4. 発行年 2023年
2. 出版社 日本評論社	5. 総ページ数 240
3. 書名 子どもから大人が生まれるとき	

1. 著者名 森口 佑介	4. 発行年 2021年
2. 出版社 P H P 研究所	5. 総ページ数 240
3. 書名 子どもの発達格差	

1. 著者名 森口 佑介	4. 発行年 2023年
2. 出版社 筑摩書房	5. 総ページ数 208
3. 書名 10代の脳とうまくつきあう	

1. 著者名 浦上萌（分担執筆）	4. 発行年 2022年
2. 出版社 ナカニシヤ出版	5. 総ページ数 200
3. 書名 はじめての発達心理学：発達理解への第一歩 第2章思考と言語の発達	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	金沢 星慶 (Kanazawa Hoshinori) (60744993)	東京大学・大学院情報理工学系研究科・特任助教 (12601)	
研究分担者	石橋 美香子 (Ishibashi Mikako) (70962629)	江戸川大学・社会学部・講師 (32518)	
研究分担者	浦上 萌 (Uragami Moe) (70805762)	椋山学園大学・人間関係学部・講師 (33906)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------