

令和 6 年 6 月 3 日現在

機関番号：14301

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2020～2023

課題番号：20K20861

研究課題名（和文）ワーキングメモリ・トレーニングの「負の効果」を越えて

研究課題名（英文）Beyond the negative effect of working memory training

研究代表者

齊藤 智（Saito, Satoru）

京都大学・教育学研究科・教授

研究者番号：70253242

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,900,000円

研究成果の概要（和文）：ワーキングメモリとは、様々な心的活動において一時的に必要な情報を保持する記憶の働きを指す。この記憶機能は、多くの認知課題や社会的文脈において重要な役割を担っており、この機能を直接的にトレーニングすることで、さまざまな心的活動が促進されるであろうと期待されていた。しかし、そうしたトレーニングの効果は極めて限定的であることが報告され、また、理論的には、トレーニングの実施により、ある課題の成績が向上するが、一方で、別の課題の成績が低下することが予測されていた。本研究では、このワーキングメモリ・トレーニングの「負の効果」の存在を示し、心的機能に対する新たなトレーニングの考え方を検証した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、ワーキングメモリという心的機能を向上させると期待されていたトレーニングが、トレーニング課題の成績を向上させつつも、一方で別の課題の成績を低下させるという「負の効果」を持つことを証明した。トレーニングによるワーキングメモリ課題の成績の向上は、ワーキングメモリ機能の「強化」によるのではない。トレーニングは、何らかの認知的変化を引き起こすが、そのことは、良くも悪くも「変化」でしかない。本研究の成果は、心的機能のトレーニングが、スキル獲得と熟達化を促すものであるという理論的な視点を導くとともに、安易な認知トレーニングに対する警鐘を鳴らすという社会的意義を持つ。

研究成果の概要（英文）：Working memory (WM) is a set of memory functions that hold necessary information in a service of a variety of cognitive activities. It was expected that WM training would facilitate such cognitive activities. However, the effects of WM training have been reported to be very limited in its transfer to other cognitive activities and tasks. Furthermore, while it was shown that performance on the trained tasks improved stably, in some cases such training reduced performance on another task. The current study examined the existence of this negative effect of working memory training and proposed a new approach to training for cognitive functioning.

研究分野：実験心理学

キーワード：ワーキングメモリ ワーキングメモリ・トレーニング 認知トレーニング 認知ルーティン

1. 研究開始当初の背景

(1) ワーキングメモリ・トレーニング研究の課題

人間の認知能力を向上させることを目的とした認知トレーニングのプログラムが、研究用、商業用を含め、多数存在している。中でも、理論的基盤が頑健で、重厚な実証的検討に基づいていると考えられているのが、ワーキングメモリのトレーニングである。ワーキングメモリとは、様々な課題の遂行中に一時的に必要となる記憶の機能を指す (Baddeley, 2012)。具体的には、言語処理や、計算、問題解決、プランニングなどの多くの認知活動において重要な役割を担っている。そのため、ワーキングメモリ機能を強化することで、この機能によって支えられているこれらの活動が促進されるであろうという期待が高まっている。実際に、記憶課題を用いたワーキングメモリ・トレーニングが、記憶以外の課題 (知能検査など) の成績を向上させたという報告もある (Jaeggi et al., 2008)。

しかし、最近の研究からは、こうしたワーキングメモリ・トレーニングの効果は極めて限定的で、適切に評価した場合、期待されるような効果は存在しないということが報告されている (坪見ら, 2019)。約 20 年前の初期の研究が (Jaeggi et al., 2008; Klingberg et al., 2002)、ワーキングメモリ・トレーニング研究の爆発的増加を引き起こしたが、現在では、初期の研究の方法論的な問題も指摘されており、初期の研究で報告された転移効果を再現できていないケースもある (e.g., Chooi & Thompson, 2012; Harrison et al., 2013; Redick et al.)。メタ分析やシステムティックな文献展望からは、ワーキングメモリ・トレーニングによってもたらされる効果は狭い範囲に限られていることが示されている。具体的には、多くのワーキングメモリ課題の成績は、トレーニングによって向上させることができ、その結果、類似のワーキングメモリ課題の成績も向上することが多いが、トレーニングの効果は、知能検査や、読解課題や暗算のような広範な認知能力や、ワーキングメモリが必要となる他の活動に転移することはほとんどないのである (Melby-Lervåg et al., 2016; Melby-Lervåg & Hulme, 2013; Redick, 2019; Rodas & Greene, 2022; Rowe et al., 2019; Sala & Gobet, 2017, 2019; Smid et al., 2020; Soveri et al., 2017; Tsubomi et al., 2019; Watrin et al., 2022)。近年のワーキングメモリ・トレーニング研究は、さらに、ワーキングメモリ課題間で見られる転移 (近転移) もまた、トレーニングされた課題と共通の特徴を共有する課題に限定されることも示唆している (Gathercole et al., 2019; Soveri et al., 2017)。

より深刻な問題として、ワーキングメモリ・トレーニング研究には、トレーニング効果とその転移効果の背後にあるメカニズムを説明する理論が欠如していると批判されることが多い (Redick, 2019)。これまでのワーキングメモリ・トレーニング研究の理論では、トレーニング効果の仕組みを説明することも、転移が起こるはずの条件や起こるはずのない条件を予測することもできないとの指摘もある (Gathercole et al., 2019)。

(2) 理論的な背景

このような学術的な状況において、Gathercole et al. (2019) は、ワーキングメモリ・トレーニングの詳細なメカニズムを検討するために、認知ルーティン (cognitive routine) 理論を提唱した。この理論では、トレーニングによるワーキングメモリ機能の変化を、新しい認知ルーティンの獲得によるものとして捉えている。ほとんどのワーキングメモリ・トレーニング研究では、参加者は、既存の知識では対応できない複雑な課題に従事する。そのような事態では、参加者は、新しい認知的な手順で課題に臨むことになる。この手順はトレーニングによって、より効率的で自動的なものとなり、トレーニングされた課題での成績の向上を導く。このような効率化、自動化こそが新しい認知ルーティンの獲得を意味する。この過程は、新しい認知スキルの学習と類似しており (Taategen, 2013)、トレーニングは記憶能力を拡張するのではなく、主に記憶の運用方法の開発とその洗練を導くものと考えられる。新しく獲得された認知ルーティンが、課題要求を共有する課題にうまく適応できた場合のみ、トレーニング効果の正の転移が生じると想定される。また、ワーキングメモリ・トレーニング中の方略開発に関する最近の見解も、ワーキングメモリ・トレーニングは認知スキルの習得であるという認知ルーティン理論による考え方を支持している。つまり、ワーキングメモリ・トレーニングの結果、ワーキングメモリそのものは変化せず、ワーキングメモリを運用する際の効率性が向上するということになる (Dunning & Holmes, 2014; Fellman et al., 2020; Forsberg et al., 2020; Laine et al., 2018; Malinovitch et al., 2021)。

ここで重要なことは、認知ルーティン理論が、トレーニングの実施により、その後に行う別の課題の成績低下 (「負の転移」) も予想している点である (Gathercole & Norris, 2019)。異なる課題でトレーニングを受けると、課題間で異なる認知ルーティンが獲得される。これらの異なる認知ルーティンは、次に行われる課題に対して、異なる影響を与える可能性がある。これまでのワーキングメモリ・トレーニング研究では、近転移が存在することを示しながらも、トレーニングによって負の効果が生じることは想定していなかった。しかし、異なる認知ルーティンが、その後の課題遂行に異なる影響を与えるという考え方を受け入れるのであれば、転移効果は、正のものから負のものまで、連続的に存在すると想定せざるを得ない。

2. 研究の目的

ワーキングメモリ・トレーニングの「負の効果」は、理論的価値が高い。しかし、トレーニングの実用という観点からは有用ではないとみなされるため、この現象は、これまでほとんど注目されてこなかった。この「負の効果」を扱うことの重要性は、「認知機能は、筋肉を鍛えるように強化できる」という誤った考えを払拭することにある。確かに、人間の認知機能は柔軟であり、経験によって変化する。しかし、それはあくまでも適応的な「変化」であって「強化」ではないと仮定するのである。これまで顧みられることがなかったワーキングメモリ・トレーニングの「負の効果」は、トレーニングによって認知機能の何がどのように変化したのかを知るための重要な鍵となる。そこで本研究では、この「負の効果」にあえて焦点を当て、その存在を検証し、これを克服する新たなトレーニング方法を提案するとともに、これまで提唱されてきた認知機能に対するトレーニングの考え方を変える新しい理論の検証に挑戦した。

さらに、子どもを対象にした研究では、ワーキングメモリや実行機能が学力や問題行動などと関係することから、どのようにして支援するのが国際的に最も重要なテーマになっている。従来の研究は、ワーキングメモリ課題や実行機能課題そのものをトレーニングし、課題の成績が向上するかどうかを検討されてきた。しかしながら、先に述べた通り、これらの方法では、トレーニングした課題の成績は向上するものの、トレーニングしていない課題に般化しないことや、学力等の実世界での指標にも変化がないことが報告されている。Blair(2016)は、これらの課題そのもののトレーニングを直接的トレーニングと呼び、このタイプのトレーニングよりも、音楽や教育プログラムなどを通じた間接的トレーニングの方がワーキングメモリや実行機能を育てるには有効ではないかと示唆している。そこで、本研究では、2つのタイプの間接的トレーニングの効果も含め検討することとした。具体的には、2つのタイプの間接的トレーニングを通じて、子どもの実行機能を向上させることを目的とした。1つは教育プログラムの中に音楽活動と劇あそびを加えた訓練であり、もう1つは実行機能そのものではなく、実行機能をどのような状況で使うかというメタ認知的トレーニングであった。これらのトレーニングを通じて実行機能が向上するかを検討した。

3. 研究の方法

(1) ワーキングメモリ・トレーニングの「負の効果」の検証

主たる実験では、2段階トレーニング法を用いた。第1段階では、実験群ごとに異なるワーキングメモリ課題(以下、記憶課題)によるトレーニングを実施した。第2段階では、別の記憶課題によるトレーニングを実施し、第1段階における課題の違いが、第2段階のトレーニング効果に与える影響を検討した。第1段階、第2段階それぞれに3日間のトレーニングを行う2つの実験を実施した。いずれの実験においても、参加者は、第1段階では3つのトレーニング条件にランダムに割り振られた。実験1においては、3つの条件は、数字逆順再生(backward digit span)、円図形逆順再生(backward circle span)、色変化検出(Color Change Detection)であり、色変化検出は能動的統制群(active control)として扱われた。数字逆順再生はランダムな順序で呈示される数字系列を、円図形逆順再生はランダムな順序で提示される円形図形の空間位置を、それぞれ呈示とは逆の順序で再生する課題である。色変化検出では、複数の正方形がそれぞれ異なる色で画面に一度に呈示され、その位置を覚え、次に呈示される同様の画面上に、色の変化があるかどうかを検出する課題である。どの課題においても、呈示される刺激(数字、円形図形、正方形)の数を個人が正答できる最大の数とし、トレーニング期間にこの数を成績に応じて変化させる。第2段階においては、すべての参加者が文字逆順再生(backward letter span)のトレーニングを受けた。実験2では、第1段階において、3つの条件は、文字逆順再生(backward letter span)、正方形逆順再生(backward square span)、色変化検出(Color Change Detection)であり、色変化検出は能動的統制群(active control)として扱われた。第2段階においては、すべての参加者が円図形逆順再生(backward circle span)のトレーニングを受けた。

(2) 理論に基づいた新しいトレーニングの提案と検証

教育プログラムの研究では、3-5歳の子ども218名を対象に、劇遊びプログラムと音楽遊びプログラムを用い、通常保育を実施した対照群と比較した。子どもたちは30分のレッスンを6週間にわたって受けた(合計30レッスン)。レッスン前後に実行機能(ワーキングメモリ、抑制制御、認知的柔軟性)の成績を測定し、レッスンの効果を検証した(Kosokabe et al., 2021)。

メタ認知的訓練では、134名の小学校低学年の子どもを対象に、メタ認知および課題ベースの実行機能訓練が、対照群と比べて、実行機能(ワーキングメモリ、抑制制御、認知的柔軟性)および学力(読解、推論、算数)に及ぼす影響を調べた。彼らは2ヵ月間にわたって16回のトレーニングを受けた(Kubota et al., 2023)。

4. 研究成果

(1) ワーキングメモリ・トレーニングの「負の効果」の検証と理論化(詳細は Ni et al., 2023)

実験1において、第1段階、第2段階それぞれに3日間(24ブロック)のトレーニングを行う実験を実施したところ、第1段階における言語性の材料を用いた課題(数字逆順再生)でのトレーニングが、統制群と比べ、第2段階における言語性の材料を用いた課題(文字逆順再生)の成績を向上させることが明らかとなった(Figure 1)。つまり、トレーニングの正の転移効果が確認された。同じ実験1において、第1段階における空間性の材料を用いた課題(円図形逆順再

生)でのトレーニングが、統制群と比べ、第2段階における言語性の材料を用いた課題(文字逆順再生)の成績を低下させることが明らかとなった。つまり、認知ルーティン理論からの予測の通り、トレーニングの負の転移効果が見出されたことになる(Figure 1)。

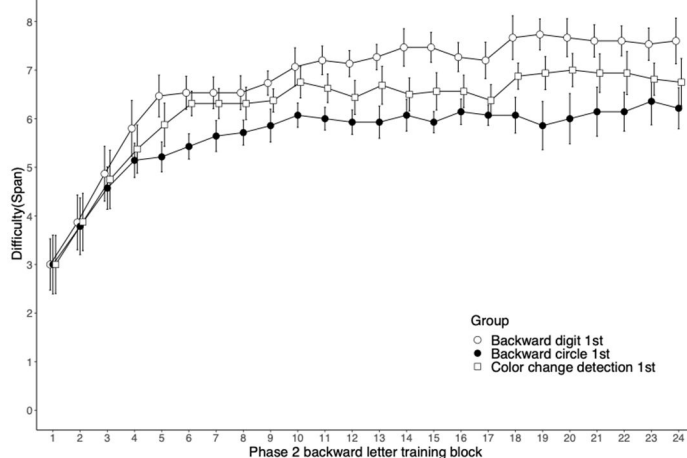


Figure 1

第1段階のトレーニング群別(数字逆順再生、円図形逆順再生、色変化検出)の第2段階における文字逆順再生課題の成績(Span:再生可能な最大の文字数)の24ブロックを通じての変化 (Ni et al., 2023)

実験2においては、第1段階における空間性の材料を用いた課題(正方形逆順再生)でのトレーニングは、統制群と比べ、第2段階における空間性の材料を用いた課題(円図形逆順再生)の成績を向上させた(Figure 2)。第1段階における言語性の材料を用いた課題(文字逆順再生)でのトレーニングは、第2段階における空間性の材料を用いた課題(円図形逆順再生)の成績を低下させなかった。つまりこの実験においては、負の転移効果は見られなかった(Figure 2)。実験1と実験2を通じて、トレーニングの負の効果が見られる事態と見られない事態の境界の一部が明らかとなり、トレーニングの結果引き起こされる認知的変化のメカニズムに関する検討が可能となった。

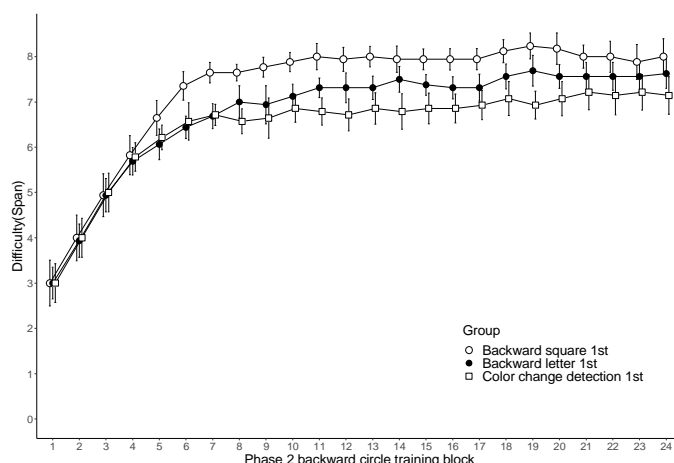


Figure 2

第1段階のトレーニング群別(四角形逆順再生、文字逆順再生、色変化検出)の第2段階における円図形逆順再生課題の成績(Span:再生可能な最大の文字数)の24ブロックを通じての変化 (Ni et al., 2023)

(2) 理論に基づいた新しいトレーニングの提案と検証

教育プログラム研究では、劇遊びと音楽遊びのプログラムを受けた子どもたちは、対照群の子どもたちに比べて、ワーキングメモリと抑制制御の成績を有意に向上させた。メタ認知的トレーニングでは、メタ認知および課題ベースの実行機能後トレーニングの学力に対する効果は認められなかった。しかし、メタ認知と課題ベースの訓練の両方が、ワーキングメモリに関して、対照群よりも大きな向上を示したことから、訓練がより成熟した実行機能の関与方法の発達を促進することが示唆された。どちらのトレーニングでも負の効果は認められなかったが、間接的訓練であっても効果は限定的であることが示唆された。

< 主要引用文献 >

- Ni, N., Gathercole, S. E, Norris, D., & Saito, S. (2023). Asymmetric negative transfer effects of working memory training. *Memory & Cognition*, 51, 1654-1669.
- Kosokabe, T., Mizusaki, M., Nagaoka, W., Honda, M., Suzuki, N., Naoi, R., & Moriguchi, Y. (2021). Self-directed dramatic and music play programs enhance executive function in Japanese children. *Trends in Neuroscience and Education*, 24, 100158.
- Kubota, M., Hadley, L. V., Schaeffner, S., Könen, T., Meaney, J.-A., Morey, C. C., Auyeung, B., Moriguchi, Y., Karbach, J., & Chevalier, N. (2023). The effect of metacognitive executive function training on children's executive function, proactive control, and academic skills. *Developmental Psychology*, 59 (11), 2002-2020.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 3件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Kubota, M., Hadley, L. V., Schaeffner, S., Konen, T., Meaney, J.-A., Morey, C. C., Auyeung, B., Moriguchi, Y., Karbach, J., & Chevalier, N.	4. 巻 59
2. 論文標題 The effect of metacognitive executive function training on children's executive function, proactive control, and academic skills	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Developmental Psychology	6. 最初と最後の頁 2002-2020
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1037/dev0001626	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 Ni, N., Gathercole, S. E, Norris, D., & Saito, S.	4. 巻 in press
2. 論文標題 Asymmetric negative transfer effects of working memory training	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Memory & Cognition	6. 最初と最後の頁 1-16
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3758/s13421-023-01412-8	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 該当する
1. 著者名 Suppalarkbunlue, W., Chutabhakdikul, N., Lertladaluck, K., & Moriguchi, Y.	4. 巻 37
2. 論文標題 Promoting Inhibitory Control in Preschool Children Through Music-Movement Activities in the Classroom	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Research in Childhood Education	6. 最初と最後の頁 275-291
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 Kosokabe Taku, Mizusaki Makoto, Nagaoka Wakako, Honda Miwa, Suzuki Noriyuki, Naoi Reiko, Moriguchi Yusuke	4. 巻 24
2. 論文標題 Self-directed dramatic and music play programs enhance executive function in Japanese children	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Trends in Neuroscience and Education	6. 最初と最後の頁 100158 ~ 100158
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.tine.2021.100158	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12件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 6件）

1. 発表者名 坪見博之
2. 発表標題 ワーキングメモリの測定と概念
3. 学会等名 日本ワーキングメモリ学会 第20回大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 坪見博之
2. 発表標題 ワーキングメモリ過負荷時の記録方略の有効性
3. 学会等名 日本心理学会第87回大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 齊藤 智
2. 発表標題 認知トレーニングと本質主義：負の転移効果の理論的価値
3. 学会等名 日本心理学会公募シンポジウム「認知トレーニングの負の転移効果」 日本心理学会第87回大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Ni, N., & Saito, S.
2. 発表標題 The use of cognitive strategies in two-phase working memory training
3. 学会等名 The 23rd Conference of the European Society for Cognitive Psychology (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 坪見博之
2. 発表標題 ワーキングメモリ過負荷時の記銘方略の有効性
3. 学会等名 日本心理学会第87回大会（神戸国際会議場・神戸国際展示場、神戸市）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 齊藤 智
2. 発表標題 認知トレーニングと本質主義：負の転移効果の理論的価値
3. 学会等名 日本心理学会第87回大会（神戸国際会議場・神戸国際展示場、神戸市）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Ni, N., & Saito, S.
2. 発表標題 The use of cognitive strategies in two-phase working memory training.
3. 学会等名 Poster presented at the 23rd Conference of the European Society for Cognitive Psychology, Porto, Portugal, Abstract p.263 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 坪見博之
2. 発表標題 ワーキングメモリの測定と概念
3. 学会等名 日本ワーキングメモリ学会第20回大会（京都大学、京都市）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Ni., N., & Saito, S.
2. 発表標題 Domain differences in the performance of serial recall tasks
3. 学会等名 The 63rd Annual Meeting of the Psychonomic Society (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Ni, N., Gathercole, S. E., Norris, D., & Saito, S.
2. 発表標題 The asymmetry of negative transfer effect in working memory training
3. 学会等名 The 2021 Virtual Convention of Association for Psychological Science (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yanaoka, K., van't Wout, F., Saito, S., & Jarrold, C.
2. 発表標題 Learning task knowledge concerning cognitive control processes in adults and 9 to 10 year olds
3. 学会等名 The April Meeting of the Experimental Psychology Society (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Ni, N., Gathercole, S. E., Norris, D., & Saito, S.
2. 発表標題 Potential negative effects of working memory training: A replication
3. 学会等名 Online January Meeting of the Experimental Psychology Society (国際学会)
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 坪見博之	4. 発行年 2022年
2. 出版社 桂書房	5. 総ページ数 123
3. 書名 富山大学人文学部叢書V 人文知のカレイドスコープ 「ワーキングメモリ -知性の基盤-」 (pp.54-63)	

〔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	坪見 博之 (Tsubomi Hiroyuki) (70447986)	富山大学・学術研究部人文科学系・准教授 (13201)	
研究分担者	森口 佑介 (Moriguchi Yusuke) (80546581)	京都大学・文学研究科・准教授 (14301)	
研究分担者	前原 由喜夫 (Maehara Yukio) (60737279)	長崎大学・教育学部・准教授 (17301)	

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			
タイ	Univ. of the Thai Chamber of Commerce	Mahidol University	King Mongkut's University of Technology	
英国	University of Cambridge	University of Bristol	University of Exeter	