

ワーキングメモリの観点からみた児童の漢字のつまずきの分析

丹野 優*・干川 隆

Analysis of difficulties faced by students in learning *kanji*:

The working memory perspective

Yuu Tanno and Takashi Hoshikawa

(Received September 29, 2017)

The purpose of this study was to examine the background of the difficulties faced by students in learning Kanji by using tasks of episodic buffer added using a standardized working memory test battery (WMTB) to measure the capacity of binding memory. In the first study, the authors examined how accurately the development of working memory could be measured using the WMTB for students for first through sixth graders at elementary schools. In the second study, the authors compared the differences among students with learning disabilities (LD), students with typical development who had difficulties in learning Kanji (Difficulty), and students with typical development who had no difficulties in learning Kanji (Typical Development), using the WMTB that the authors reexamined. Subsequently, the authors guessed the backgrounds of children with difficulties in learning Kanji. As a result, students with Typical Development were shown to be affected by the central executive system. Conversely, the episodic buffer, as well as the central execution system, was shown to affect students with Difficulty and those with LD. These results lend themselves to the inference that implementing the reexamined WMTB makes it possible to measure working memory capacity in a short time. The validation of the influence of the central executive system and the episodic buffer makes it possible to identify students who are potentially at risk of developing difficulties in learning Kanji and to intervene at an early stage.

Key words : working memory, episodic buffer, student with learning disabilities, Kanji

I. 問題と目的

本研究は、ワーキングメモリの観点から漢字につまずく学習障害（以下「LD」と示す）の児童のつまずきの背景を検討することを目的とした。

1. ワーキングメモリと学習

1) LDとワーキングメモリ：LDの学習のつまずきとして多く報告されるものの一つに漢字がある(宇野・上林, 1998; 井潤・宇野・小林, 2001)。これまでの研究で、ワーキングメモリと学習のつまずきとの関連性が指摘されており (Gathercole & Alloway, 2008)、ワーキングメモリに基づく漢字指導の効果が検討されてきた(河村・中山・前川, 2004; 河村・新妻・益田・中山・前川, 2007; 藤河, 2012)。河村ら (2004, 2007)

は、Gathercole and Pickering (2000) の Working Memory Test Battery (以下「WMTB」と示す) を基に作成したテストを用いて学習上の困難との関連性について検討し、ワーキングメモリが学習の困難さと関連していることを報告した。藤河 (2012) は、漢字の書字に困難を示すLD児に対し、ワーキングメモリの観点から意味づけ方略を用いた漢字支援を行いその有効性について報告した。このようにワーキングメモリの観点からLDの学習のつまずきの背景を把握することの有効性が示唆されてきた。干川 (2006) は、LDの児童生徒の学習のつまずきを説明するには、従来の視覚優位や聴覚優位、短期記憶か長期記憶かといった視点だけでは限界があり、ワーキングメモリなどの上位の概念を用いる必要性を指摘した。

2) 認知スタイルに応じた学習支援：このようなワーキングメモリと学習の関連性から、ワーキングメモリ

*佐賀市立兵庫小学校

に基づく認知スタイルに応じた学習支援が提案されてきた。木原（2011）は、ワーキングメモリに基づいたアンケートを用いて、高校生の認知スタイルを把握し、その認知スタイルに応じた漢字習得における方略指導を行い、学習効果があったことを報告した。富永・千川（2014）は、浦田（2010）が作成したWMTBを基にしたテストを実施し、その結果から、視覚情報タイプ、聴覚情報タイプに加え、視覚-聴覚に有意差がない児童を混合型として3つのタイプを定義した。そして、その認知スタイルに応じた学習支援を通常の学級で一斉に実施した結果、富永ら（2014）ほとんどの児童の漢字の成績が向上したことを示した。これらの結果から、WMTBを用いて認知スタイルを把握し、そのスタイルに応じた支援を提供することで、効果的な学習を行うことができると考えられた。

しかし、筆者らは富永らの研究の中で、WMTBを用いて認知スタイルを把握した児童への方略指導の結果、成績が向上しなかった児童がいたことに着目した。富永らは、視覚情報と聴覚情報に絞って認知スタイルを決定しており、成績が向上しなかった児童に、より細かな認知スタイルから支援方法を検討することが必要であると記していた。また、用いた浦田（2010）のWMTBが13の課題で構成されており、富永らは全て実施すると90分程度の時間がかかってしまう点を指摘していた。小学校で実施することを考慮すると、授業時数との関係から1授業時間（45分程度）で実施できることが求められる。したがって、認知スタイルを把握するために、WMTBの項目を精選する必要がある。

3) ワーキングメモリのモデル改訂：より細かな認知スタイルを把握するためには、近年ワーキングメモリ内における働きが見直されてきたエピソードバッファの概念が役に立つ。Baddeley, Allen, and Hitch (2011) は、ワーキングメモリモデルをエピソードバッファが中心となるモデルに改訂した。エピソードバッファは、視空間スケッチパッド、音韻ループや長期記憶などの異なる感覚様式からの情報を組み合わせる働きを担っていると仮定されている。Baddeley et al. (2011) は、視覚情報のみや聴覚情報のみ記憶に比べ、視覚情報や聴覚情報などを組み合わせた記憶（以下バイディングメモリ）は、注意が阻害されても記憶の成績は影響を受けなかったという結果を受け、中央実行系の働きを細分化し、エピソードバッファと分離することに焦点を当てた。Allen, Baddeley, and Hitch (2006) は、色の記憶、形の記憶と、色-形のバイディングメモリの課題を実施し、中央実行系の注意の働きを妨害するために並列的課題として Back Counting 課題を行った。その結果、形や色のみ記憶

に比べバイディングメモリの成績は、並列的課題による妨害が少ないことを指摘した。また、Allen, Hitch, and Baddeley (2009) と Karlsen, Allen, and Hitch (2010) は、組み合わせる形や色の特徴の提示方法を空間的、時間的、感覚様式（視覚的-言語的）に切り離して実験を行ったが影響は見られなかったことを報告した。このことから Baddeley et al. (2011) は、視空間スケッチパッドや音韻ループを働かせるためにはエピソードバッファの機能が重要であると仮定し、これまで中央実行系が担っているとされてきた司令塔の役割をエピソードバッファが担っている可能性があることを示唆した。このことから筆者らは、エピソードバッファの能力を測定することで、より細かな認知スタイルの把握につながるだろうと考え、WMTBにエピソードバッファの能力を測定する課題を含めることにした。

2. エピソードバッファからみた漢字のつまずき

1) 漢字習得におけるエピソードバッファの働き：

最近のエピソードバッファの研究では、エピソードバッファの能力が学習のつまずきとも大きく関係していることが指摘されている。LDとエピソードバッファの関連性について、Bromert (2011) は、ディスレクシアはエピソードバッファの能力が低いことを示した。Bromert (2011) は、流暢な読みを行うためには文字と音韻の組み合わせを行う必要があるが、その組み合わせる能力の欠如がディスレクシアの中心的原因であると述べた。そこで、筆者らはLD児のエピソードバッファの働きが漢字のつまずきにも影響しているのではないかと考えた。Baddeley et al (2011) のモデルをもとに筆者らが考案した漢字学習のモデルを図1に示した。通常、漢字の形態、読み情報を組み合わせて一つの漢字を学習していると考えられる。LD児のつまずきには形態的な誤書字、音韻的な誤書字、

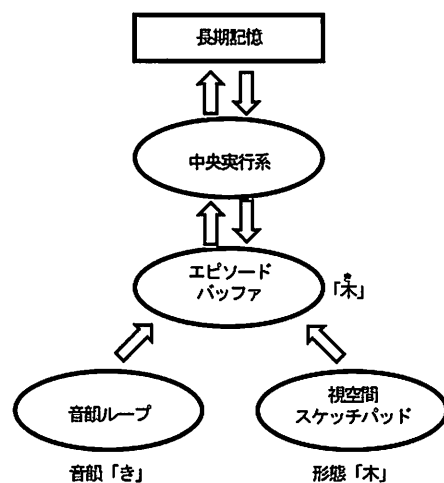


図1 漢字学習のモデル図 (例：木)

意味的な誤書字などがみられるが、その背景として形態と音韻とを組み合わせるエピソードバッファの能力が影響していると考えた。しかし、漢字のつまずきに対してエピソードバッファがどのように関連しているのかを調査した研究は見られず、漢字につまずく児童とつまずかない児童のエピソードバッファの働きにどのような違いがあるのかは明らかになっていない。LD 児を含めた漢字につまずく児童の背景としてエピソードバッファの関連性が明らかになれば、WMTB を実施することで漢字につまずく児童を予測でき、より有効な支援を早期に実施することが可能となるだろう。よって、本研究では、エピソードバッファを含めたワーキングメモリの能力と漢字の成績の関連性を調査し、漢字のつまずきの背景にワーキングメモリがどのように関連しているのかを明らかにすることを目的とした。

2) エピソードバッファの測定: エピソードバッファの測定については数多くの議論がなされてきた。湯澤・湯澤 (2014) は、WISC-IV やワーキングメモリを測定する AWMA (Alloway, Gathercole, & Pickering, 2006) においても、エピソードバッファのアセスメントを十分に行うことはできていないと述べている。エピソードバッファの測定は、主にバインディングメモリを測定することで行われる。近年では、エピソードバッファの能力は年齢に伴い発達する可能性が示されている (Cowan, Naveh - Benjamin, Kilb, & Saults, 2006; Brockmole & Logie, 2013; Wang, Allen, Lee, & Hsieh, 2015)。Wang et al. (2015) は、視覚-聴覚のバインディングを実施しエピソードバッファを測定した。その結果、小学校の3年生と4年生の間、4年生と大学生の間に有意な差があり、エピソードバッファ能力に発達的な特徴が見られたと報告した。Nobre, Rodrigues, Sbicigo, Piccolo, Zortea, Duarte, and Salles (2013) は、これまで行われてきたエピソードバッファの研究から、エピソードバッファを効果的に測定するためには、中央実行系を阻害する並列的課題を用いるべきであり、その刺激材料は主要課題と異なるものを使用すべきであると述べている。しかし、Wang et al. (2015) の課題には、並列的課題は設定されておらず、それが適切なエピソードバッファ測定課題であったか検討する必要があると筆者らは考えた。したがって、エピソードバッファを効果的に測定するために並列的課題を用いた上で課題を実施し、年齢に伴う得点の増加が見られるかを検証する必要があるだろう。これまでの研究で用いられてきた並列的課題は、Nバック課題、構音抑制課題、空間タッピング課題が多く用いられてきた (Owen, McMillan, Laird, & Bullmore, 2005; Nystrom, Braver, Sabb, Delgado, Noll,

& Cohen, 2000; Garden, Cornoldi, & Logie, 2002)。本研究では、Nobre et al. (2013) の条件から、Garden et al. (2002) が用いた空間タッピング課題を並列的に使用し、エピソードバッファの年齢に伴う発達的な変化を捉えることができるかどうかを検討することにした。以上のことから、以下の仮説を立てた。

1) WMTB の実施項目を再検討することで、より効率良く年齢に伴う発達を捉えることができるだろう (研究1)。

2) 定型発達の児童 (以下「定型発達児」と示す) と漢字につまずく定型発達の児童 (以下「困難児」と示す)・LD 児の WMTB 得点と漢字の成績を比較し、ワーキングメモリの構成要素と漢字の成績との関連性を明らかにすることで、漢字のつまずきの背景にあるワーキングメモリの影響を明らかにすることができるだろう (研究2)。

II. 研究1

1. 目的

研究1の目的は、通常の学級に在籍する児童に対して WMTB を実施することで、エピソードバッファを含めたワーキングメモリ能力の発達の変化を捉えることが可能であるかを検討することであった。

2. 方法

1) 被験者: 被験者は、通常の学級に在籍する児童425名 (1年生55名, 2年生101名, 3年生65名, 4年生55名, 5年生103名, 6年生46名) であった。

2) 期間: 調査は、X年10月~X+1年1月に実施された。実施時間は、45分であった。

3) WMTB: WMTB は以下の順番で実施し、それぞれの課題の内容を以下に示す。

①スタティック迷路 (視空間スケッチパッド課題): 児童は、画面上の迷路に2行間赤色の線で経路が提示された後、矢印をクリックして提示されたものと同じ経路で迷路を進むように求められた。迷路は何重かの壁で構成されており、1枚の壁には2つの出口が設けられていた。課題は、壁2枚条件から壁5枚条件で実施された。

②数唱 (音韻ループ課題): 児童は、いくつかの数字が音声として1つずつ提示された後、1から9の数字パッドをマウスでクリックして同じ順番で入力するように求められた。課題は、2桁条件から10桁条件で実施された。

③逆唱 (中央実行系課題): 児童は、いくつかの数字が音声として1つずつ提示された後、提示された順番と逆の順番で数字パッドから入力するように求めら

れた。課題は、2桁条件から10桁条件で実施された。

④リスニングコール（中央実行系課題）：児童は、2文節からなる質問文が音声として提示された後、その問題に対する答えを「はい」か「いいえ」で選択し、いくつかの質問文が全て提示された後、提示された質問文の最初の単語を同じ順番でひらがな表から入力するように求められた。課題は、2文条件から4文条件で実施された。

⑤CO バインディング（エピソードバッファ課題）：Allen et al. (2009) が使用した色と単純な形を使用したバインディング課題を参考にCO バインディングを作成した。刺激材料として、8つの色の名前（例：緑、赤）と8つの有意味な図形（例：丸、星）を使用した。スタディフェイズでは、色が付いていない図形と色の音声提示され、テストフェイズでは色が付いた図形が提示され、被験者はその図形があったかどうか判断するように求められた（資料を参照）。

⑥スタティックマトリックス（視空間スケッチパッド課題）：児童は、画面中央に2×n行列（n=2～8）の枠が表示され、そのうちn個の枠の中が2秒間黒くなり白に戻った後、提示されたものと同じように枠の中をクリックで黒くするように求められた。課題は、2×2行列条件から2×8行列条件で実施された。

⑦単語系列再認（音韻ループ課題）：児童は、いくつかの単語で構成された1つ目のリストと、同じ単語で構成された2つ目のリストが音声として提示された後、2つ目のリストの中の単語の順番が1つ目のリストの順番と同じか違うかを選択するように求められた。1つめのリストと2つめのリストの間に2秒の間隔を設けた。単語は2モーラで構成されていた。課題は、3語条件から5語条件で実施された。

1, 2年生のみ練習問題を実施した。実施は、各小学校のパソコン室を使用し、イヤホンを通して音声を提示し、児童はマウスを使用して答えを入力した。

4) 分析方法：WMTBが小学校段階におけるワーキングメモリ能力の発達的变化を明確に捉えることができるかどうかを検討するために、5つの項目（総合得

表1 各課題における学年別の平均, SD, 最大, 最小

		1年生	2年生	3年生	4年生	5年生	6年生
数唱	平均	9	12	13	14	15	16
	SD	3	2	3	2	3	2
	最大	16	16	19	18	22	21
	最小	1	7	2	9	8	12
単語系列再認	平均	2	8	8	10	9	10
	SD	3	2	3	2	2	1
	最大	8	12	14	12	12	12
LR	平均	2	3	5	5	6	8
	SD	2	2	2	2	2	2
	最大	5	6	9	10	9	11
逆唱	平均	7	8	10	12	13	15
	SD	3	2	4	4	2	3
	最大	12	12	20	19	18	20
Sマトリクス	平均	15	16	17	19	21	22
	SD	3	3	4	4	3	3
	最大	22	22	27	26	27	27
S迷路	平均	7	6	6	7	8	8
	SD	1	2	2	1	1	1
	最大	9	10	10	8	11	11
COバインディング	平均	2	3	4	4	4	6
	SD	3	3	3	3	4	4
	最大	9	11	13	10	12	13
	最小	0	0	0	0	0	0

* LR：リスニングリコール, S：スタティック

点、音韻ループ課題、中央実行系課題、視空間スケッチパッド課題、エピソードバッファ課題）ごとに6水準（学年）の1要因分散分析を行った。外れ値の影響をなくすため、WMTB得点が2標準偏差以上離れている児童79名（1年生5名、2年生10名、3年生21名、4年生8名、5年生21名、6年生14名）は除外された。

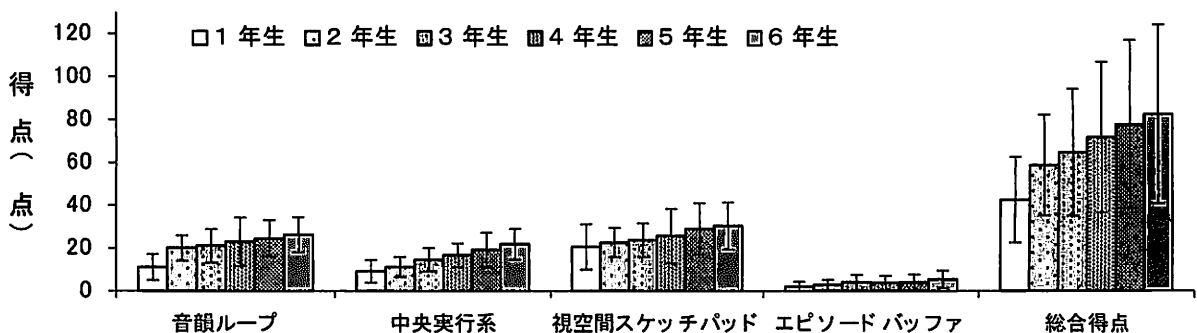


図2 WMTB各構成要素の平均点の推移

3. 結果

各課題の平均点, SD, 最大値, 最小値を表1に, 各構成要素の平均的推移を図2に示した. 分散分析の結果, 総合得点において有意な差が見られ($F(5,135) = 53.76, p < .001$), 多重比較による下位項目の検定の結果, 1~6年生全ての間において有意な差が見られた. 各構成要素において, 音韻ループ課題 ($F(5,288) = 67.64, p < .001$), 中央実行系課題 ($F(5,304) = 68.24, p < .001$), 視空間スケッチパッド課題 ($F(5,285) = 33.40, p < .001$), エピソードバッファ課題 ($F(5,242) = 4.40, p < .001$) の全てにおいて有意な差が見られた. 多重比較による下位項目の検定の結果, 音韻ループ課題においては, 1-2, 1-3, 1-4, 1-5, 1-6, 2-3, 2-4, 2-5, 2-6, 3-5, 3-6, 4-5, 4-6, 5-6年生の間, 中央実行系課題においては, 全学年の間, 視空間スケッチパッド課題においては, 1-2, 1-3, 1-4, 1-5, 1-6, 2-4, 2-5, 2-6, 3-4, 3-5, 3-6, 4-5, 4-6年生の間, エピソードバッファ課題においては, 1-5, 1-6, 2-6, 3-6, 4-6, 5-6年生の間に有意な差が見られた.

4. 考察

1) ワーキングメモリ能力の発達について: 分析の結果, 総合得点において1年生から6年生の全ての学年間において有意な差が見られたことから, 筆者らは再検討したWMTBを用いることで年齢に伴うワーキングメモリ能力の発達を捉えることができたと判断した. また, 各構成要素では, 音韻ループ課題は3, 4年生間には差は見られなかったものの, ほとんどの学年で有意差が見られ, 中央実行系課題は全ての学年で差が見られた. 視空間スケッチパッド課題では, 1, 2, 3年生と6年生, 5年生と6年生の間に有意な差が見られたことから低学年の間は差があまり見られないが, 高学年になるにつれて能力の差が顕著に現れてくると考えられた. エピソードバッファでは, 1年生と5, 6年生の間, 2, 3, 4, 5年生と6年生の間に有意な差が見られた. これらのことから, エピソードバッファは低学年と高学年の間で徐々に発達していく可能性があると考えられた. Alloway (2011) はワーキングメモリ能力の段階的な発達について述べており, 本研究の結果はその結果を支持するものである. よって, 内容を再検討したWMTBを使用することで, 各学年におけるワーキングメモリ能力の発達を的確に捉えることができると結論づけられた.

2) エピソードバッファ課題について: エピソードバッファ課題においては, 年齢に伴う発達を捉えることができた. 課題を実施する中で, 児童が記憶方略を用いている様子も見られた. 「黄色」という聴覚刺激と画面上の四角の図形を覚える際は, 「黄色の四角」「黄

四角」といった, 聞こえてくる音と画面の形を組み合わせて覚えるチャンクを減らす働きが高学年になるにつれ見られるようになった. エピソードバッファの能力の発達は, Brockmole et al. (2013) が8歳前後から成長が見られたと報告しており, Cowan et al. (2006) も3年生から6年生にかけて発達が見られると述べている. 本研究ではCOバインディングを実施した結果, 5年生と6年生の段階でエピソードバッファの能力の差が見られた. この結果は, 先行研究であるBrokmole et al. (2013), Cowan et al. (2006) の結果と同様の結果であった. したがって, 本研究ではCOバインディングを用いることでエピソードバッファ能力の年齢に伴う発達を捉えることができたと判断した.

III. 研究2

1. 目的

研究2は, 定型発達児, 困難児, LD児に対してWMTBを実施し, 漢字の成績と比較することで, 漢字のつまずきにワーキングメモリの各構成要素がどのように影響しているかを検討することを目的とした.

2. 方法

1) 被験者: 定型発達児407名(1年生55名, 2年生101名, 3年生60名, 4年生52名, 5年生96名, 6年生43名), 困難児18名(3年生5名, 4年生3名, 5年生7名, 6年生3名), LD児8名(4年生2名, 5年生2名, 6年生4名)であった. LD児は, 専門機関においてLDの診断を受けている児童である. 困難児は, LDの診断は受けていないが漢字テストの平均点から2標準偏差以上離れている児童であった.

2) 期間: 調査は, X年10月~X+1年1月に実施された. WMTBの実施時間は, 45分であった.

3) WMTB: WMTBは, 研究1で使用したものを使用した. 実施手順や操作は研究1と同様であった.

4) 漢字テスト: 漢字成績を測定するために, 光村図書の教科書を参考に1学期に学習する漢字をランダム抽出した30字を用いて漢字テストを作成した. 各学年の漢字テストの内容の内訳は表2に示した. 教科書に倣い, できるかぎり学年が上がるごとに熟語の数が増加するように設定した. テスト問題はA3の用紙に縦書きで提示し漢字のみを問い, 送り仮名は問わなかった. 内訳は, 熟語か単漢字か, 今までに習得した漢字の中で音韻的, 形態的, 意味的類似性がある漢字の割合を示した.

5) 実施手続き: WMTBは, 各クラス別に授業1時間を使用し, 各小学校のパソコン室で実施した. 漢字テストは, 各学級担任を通じて行った. WMTBの内容,

表2 漢字テストの内訳

	熟語	単漢字	音韻的類似	形態的類似	意味的類似
1年生	10.0%	90.0%	10.0%	26.7%	0.0%
2年生	23.3%	76.7%	6.7%	40.0%	3.3%
3年生	50.0%	50.0%	10.0%	40.0%	16.7%
4年生	76.7%	23.3%	16.7%	53.3%	10.0%
5年生	23.3%	76.7%	20.0%	46.7%	10.0%
6年生	66.7%	33.3%	20.0%	26.7%	26.7%

実施方法は本研究1と同様であった。検査者は、各クラスの人数に合わせて筆者と大学生合わせて2～8人が巡回するようにした。

6) 分析方法：①漢字成績とWMTBの結果の比較：

まず、漢字成績とWMTB得点において、定型発達児、困難児、LD児に差が見られるのかを検討した。漢字得点、WMTBの得点について、平均点、SD、最大値、最小値を求め、6つの項目（漢字得点、総合得点、音韻ループ課題、中央実行系課題、視空間スケッチパッド課題、エピソードバッファ課題）ごとに6水準（学年）の1要因分散分析を行った。

②ワーキングメモリ内の関係性の比較：定型発達児、困難児、LD児の漢字得点の差の背景に、ワーキングメモリ能力の要素間に違いが見られるのかを検討した。そのために、WMTBの得点をもとにパス解析を行いワーキングメモリの構成要素間のつながりの違いを、モデル図をもとに比較した。

③漢字につまずく背景の比較：児童がなぜ漢字につまずくのかを明らかにするために、困難児とLD児を合わせた漢字につまずく児童と定型発達児で漢字の誤書字について検討した。漢字の誤書字は、石井・雲井・小池（2003）を参考に、形態エラー、音韻エラー、意味エラー、空欄の4つに分類した。その漢字の誤書字とWMTBの結果について重回帰分析を実施した。

3. 結果

1) 漢字得点、WMTBの結果の比較：漢字得点、WMTBの平均点、SD、最大値、最小値を表3に示す。分散分析の結果、漢字得点において有意な差が見られ（ $F(2,275)=138.20, p<.001$ ）、多重比較による下位項目の検定の結果、定型発達児と困難児、定型発達児とLD児の間に有意な差が見られた。WMTBの総合得点においても有意な差が見られ（ $F(2,275)=28.19, p<.001$ ）、多重比較による下位項目の検定の結果、定型発達児と困難児、定型発達児とLD児の間に有意な差が見られた。各構成要素において、音韻ループ課題（ $F(2,275)=39.05, p<.001$ ）、中央実行系課題（ $F(2,275)=21.33, p<.001$ ）、視空間スケッチパッド課題（ $F(2,275)=10.47, p<.001$ ）において有意な差が見られ

表3 各項目における平均、SD、最大、最小

	定型発達児	困難児	LD児	
漢字得点	平均	23.1	4.4	5.6
	SD	5.5	3.4	4.4
	最大	30	13	13
	最小	5	0	0
総合得点	平均	70.4	60.7	57.6
	SD	16.8	11.3	8.4
	最大	116	79	69
	最小	25	39	40
音韻ループ	平均	22.3	20.8	18.4
	SD	6.1	5.6	4.4
	最大	36	28	26
	最小	4	8	12
中央実行系	平均	17.1	12.8	11.5
	SD	6.2	4.2	3.1
	最大	32	20	15
	最小	1	5	6
視空間スケッチパッド	平均	26.5	24.5	23.8
	SD	5.7	4.8	7.7
	最大	41	34	34
	最小	8	16	6
エピソードバッファ	平均	4.6	2.7	4.0
	SD	4.1	2.3	2.4
	最大	14	9	8
	最小	0	0	0

た。多重比較による下位項目の検定の結果、音韻ループ課題、中央実行系課題、視空間スケッチパッド課題全てにおいて、定型発達児と困難児、定型発達児とLD児の間に有意な差が見られた。しかし、エピソードバッファ課題においては有意な差がみられなかった。

2) ワーキングメモリの構成要素間の関連性：漢字のつまずきの背景となるワーキングメモリの構成要素間の関連性を調べるために、定型発達児、LD児、困難児のWMTBの結果における共分散構造分析を実施した。結果を図3に示す。モデルを作成するにあたり、Baddeley et al. (2011) で改訂されたワーキングメモリのモデルを参考に作成した。このモデル適合度は、 $GFI=0.991, AGFI=0.907, RMSEA=0.000$ でありモデルの適合度は高いといえる。各構成要素間の関係性において、定型発達児では、音韻ループに対して中央実行系のパス係数が.67、視空間スケッチパッドに対して中央実行系のパス係数が.52で高い正の影響を与えていた。中央実行系に対してはエピソードバッファの係数が.14でわずかに正の影響を与えていた。エピソードバッファに対しては視空間スケッチパッドの係数が.15、音韻ループの係数が.10で正の影響を与えて

いた。

LD児では、音韻ループに対して中央実行系の係数が.34で高い正の影響を与えていた。視空間スケッチパッドに対しては中央実行系の係数が-.20で負の影響を与えていた。中央実行系に対してはエピソードバッファの係数が-.57で高い負の影響を与えていた。エピソードバッファに対しては音韻ループの係数が.26で最も高い正の影響を与えており、視空間スケッチパッドはあまり影響していなかった。

困難児では、音韻ループに対して中央実行系の係数が.42で高い正の影響を与えていた。視空間スケッチパッドに対しても中央実行系の係数が.42で高い正の影響を与えていた。中央実行系に対してはエピソードバッファの係数が-.51高い負の影響を与えていた。エピソードバッファに対しては音韻ループの係数が.35で高い正の影響を、視空間スケッチパッドの係数が.04であまり影響を与えていなかった。

3) 定型発達児と漢字につまずく児童の背景：通常の学級において漢字につまずく背景を明らかにするために、定型発達児と困難児の漢字の誤書字とWMTBの結果における重回帰分析を実施した。LD児と困難児をあわせて漢字につまずく児童とした。結果を図4に示す。このモデル適合度は、GFI=0.991, AGFI=0.895, RMSEA=0.000で、AGFIは少し低めであったが適合度として問題はないと判断した。

定型発達児では、形態エラーには、中央実行系の係数が.14で正の影響を与えていた。音韻エラーには、視空間スケッチパッドの係数が.21で正の影響を、中央実行系の係数が-.21で負の影響を与えており、その次に音韻ループの係数が.14で正の影響を与えていた。意味エラーでは、エピソードバッファの係数が-.12で負の影響を与えていた。空欄においては、視空間スケッチパッドの係数が.16で正の影響を与えていた。また、ワーキングメモリの全ての構成要素間で正の相関がみられ、誤書字においては意味エラーと空欄の誤

差間以外の全ての誤差間で正の相関が見られた。

学習につまずく児童では、形態エラーには、中央実行系の係数が-.56、音韻ループの係数が-.33で負の影響を及ぼしていた。音韻エラーには、中央実行系の係数が-.48、エピソードバッファの係数が-.31で負の影響を与えており、音韻ループの係数が.21で正の影響を与えていた。意味エラーには、中央実行系の係数が-.42で負の影響を与えていた。空欄には、中央実行系の係数が.67、エピソードバッファの係数が.34で正の影響を与えていた。また、ワーキングメモリの構成要素間に相関は見られず、誤書字の誤差間においては音韻エラーと意味エラーの誤差間 ($r=.67$)、音韻エラーと空欄の誤差間 ($r=-.74$)、意味エラーと空欄の誤差間 ($r=-.55$) で相関が見られた。

4. 考察

1) 漢字得点、WMTB得点の比較：漢字得点、WMTB得点を定型発達児、困難児、LD児で比較した。その結果、エピソードバッファ課題以外の全ての課題において、定型発達児と困難児、定型発達児とLD児の間で有意な差が見られた。このことから、定型発達児に対し、困難児とLD児はワーキングメモリ能力が低く、音韻ループ、中央実行系、視空間スケッチパッドのそれぞれが漢字のつまずきに関係していることが考えられた。エピソードバッファ課題においてどの群にも差が見られなかったことは、エピソードバッファの発達が5年生前後から見られるという研究1の結果に起因している可能性がある。研究2の被験児は1年生から6年生まで含まれていることから、エピソードバッファ能力の差が現れにくかった可能性がある。今後、4年生以上の漢字につまずく児童やLD児を対象に母集団を増やし、各学年で分析を行うことで定型発達児と困難児やLD児の差が明らかとなるだろう。

2) ワーキングメモリの構成要素間の関連性：漢字のつまずきの背景となるワーキングメモリの各構成要素

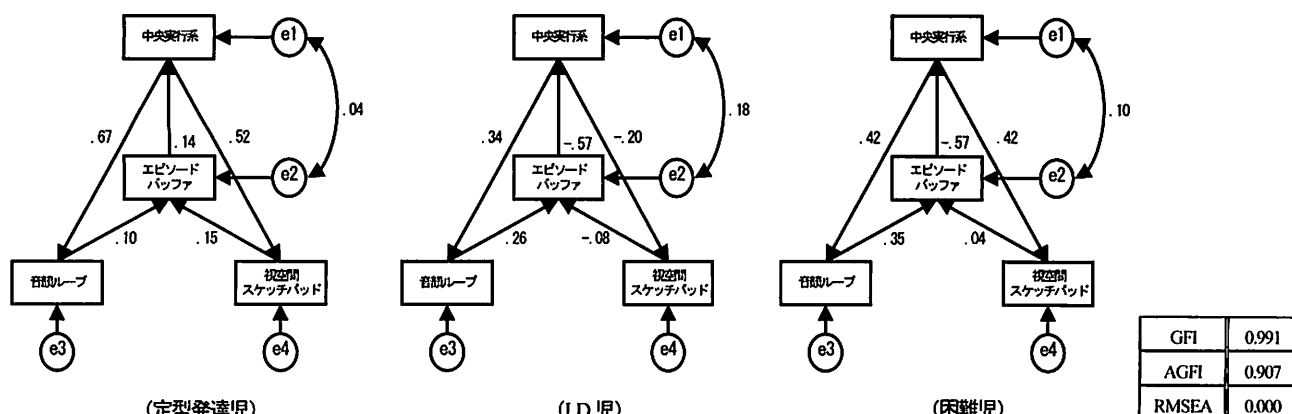


図3 ワーキングメモリモデルのパス図

素がどのように関連しているのかを調査した結果、定型発達児とLD児・困難児の間でワーキングメモリの構成要素間の関係性が異なることが示された。定型発達児はそれぞれの構成要素間で正の相関が見られた一方で、LD児と困難児はエピソードバッファが中央実行系に対して負の影響を与えており、エピソードバッファがうまく機能していない可能性が考えられた。LD児と困難児では、視空間スケッチパッド以外の構成要素に対するワーキングメモリの構成要素間の関係性には類似点が見られた。これらの結果から、漢字につまずきの背景にあるワーキングメモリ間の関係性により漢字のつまずきが生じている可能性が示唆された。しかし、LD児において視空間スケッチパッドに対して中央実行系が負の影響を与えていた。このことから、視覚情報に対してうまく注意を向けることが難しくより学習のつまずきが顕著に現れている可能性も考えられる。よって今後同学年のLD児と困難児を比較することで視空間スケッチパッドへの中央実行系の影響がどのように学習に関連しているのかを、より明らかにすることができるだろう。

3) 定型発達児と困難児における漢字エラーの分析:

困難児とLD児がなぜ漢字につまずくのかを明らかにするために、ワーキングメモリの各構成要素と漢字の誤書字の関連性の違いを定型発達児と比較した。その結果、定型発達児においては、形態エラーは中央実行系が正の影響を与えており、その次に視空間スケッチ

パッドが負の影響を与えていた。これは、形態に注意が向いており、おおまかな形は覚えているが、形態の記憶がうまくいかず形態エラーが生じていると考えられる。音韻エラーは視空間スケッチパッドが正の影響、中央実行系が負の影響を与えており、その次に音韻ループが正の影響を与えていた。これは、形態と読みは覚えているが注意集中の問題から同じ読みの漢字を書いてしまうために音韻エラーが生じていると思われる。意味エラーにはエピソードバッファが負の影響を与えており、漢字の読みなどと組み合わせることで覚えることができていないと思われる。空欄については視空間スケッチパッドが正の影響を、エピソードバッファが負の影響を与えているため、形だけの記憶でその他の読みや意味を組み合わせることができていない可能性がある。

一方、困難児では、形態エラーは音韻ループと中央実行系の負の影響が見られるため、言語処理や注意集中の低さにより形態的にも音韻的にも似ている漢字(作と昨など)を書いてしまう可能性が考えられる。音韻エラーは、音韻ループが正の影響を、中央実行系とエピソードバッファが負の影響を与えていることから、音韻的には覚えることができていたが、長期記憶からの検索の失敗や、読みと形態などの情報同士を組み合わせることで覚えることができないために生じていると考えられる。意味エラーは、中央実行系、エピソードバッファが負の影響を与えており、既知の知識と形、

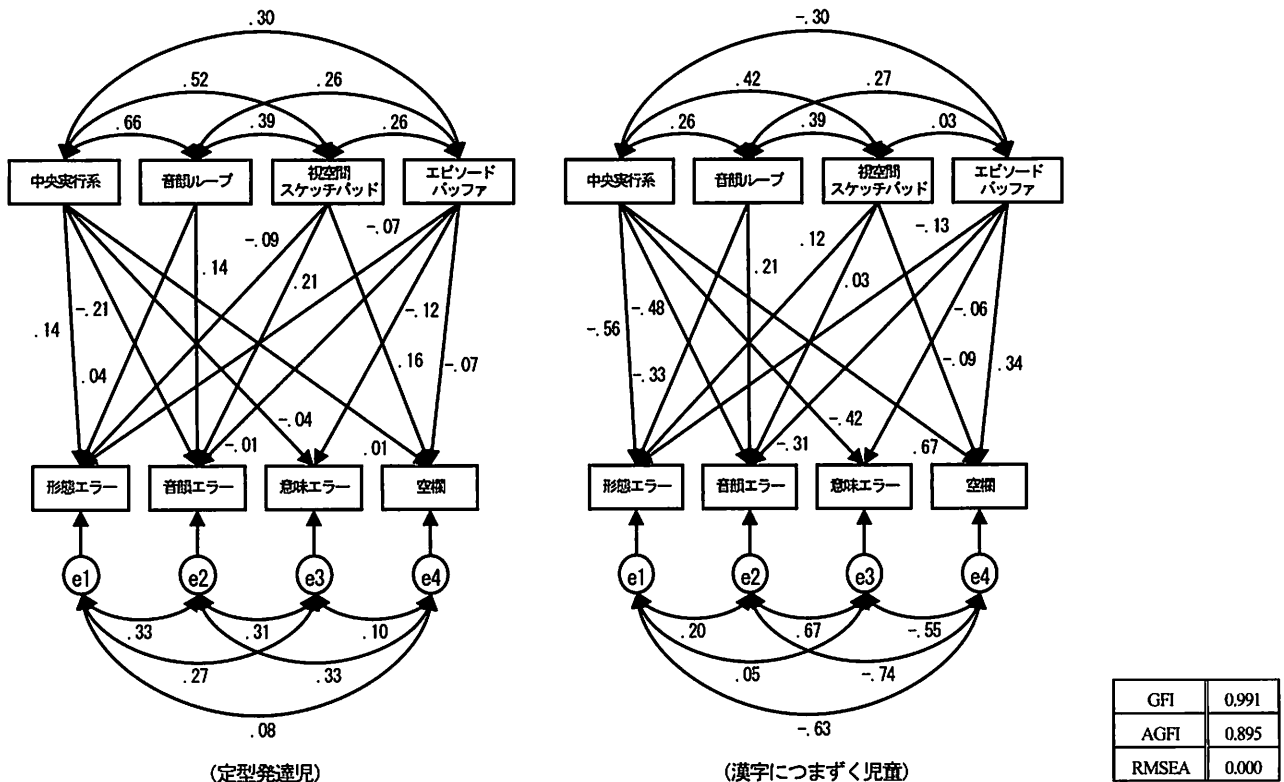


図4 書字エラーに対するワーキングメモリのパス図

読みの組み合わせや長期記憶からの検索によるものであると思われる。空欄は、中央実行系、エピソードバッファが正の影響を与えており注意も情報同士の組み合わせもできていると考えられるが、想起するための手がかりを持っていないことが関係している可能性がある。しかし、困難児における、空欄の平均割合は66%であり回答の半分以上が空欄であったため、空欄に対するワーキングメモリの影響があまり明確に現れなかった可能性があるだろう。

以上の結果から、定型発達児は主に中央実行系が誤書字に関連しており、主に注意集中の問題である可能性が考えられた。一方、困難児においては中央実行系に加えエピソードバッファが誤書字に関連しており、注意集中に加え視覚情報と聴覚情報を組みわせるバイディングの機能に問題があることが明らかとなった。また、定型発達児において誤書字の誤差間のほとんどに有意な差がみられたため、ワーキングメモリ以外に漢字への興味や方略の使用などが影響していることも考えられる。

IV. 総合考察

本研究の結果、困難児やLD児は、定型発達児に比べエピソードバッファを除くワーキングメモリ能力が低く、エピソードバッファの能力は低くないがうまく機能していない可能性が示された。この結果から、ワーキングメモリ間の関連性の違いにより漢字のつまずきが生じている可能性が示唆された。また漢字の誤書字が生じる背景として、漢字につまずく児童は中央実行系に加えエピソードバッファが主に影響を及ぼしていることが明らかとなった。この結果から、漢字の誤書字が生じる背景となるワーキングメモリのモデル図を図5に示す。漢字につまずきが見られない定型発達児は、形態エラー、音韻エラーは中央実行系による不注意や想起の困難さが影響していた。意味エラーは、中央実行系の働きに加え、エピソードバッファによる情報同士を結びつける働きが影響していた。一方、漢字につまずく児童の場合は、形態エラーに影響している構成要素は中央実行系と音韻ループであった。このことから、漢字につまずく児童では漢字の読みの記憶が

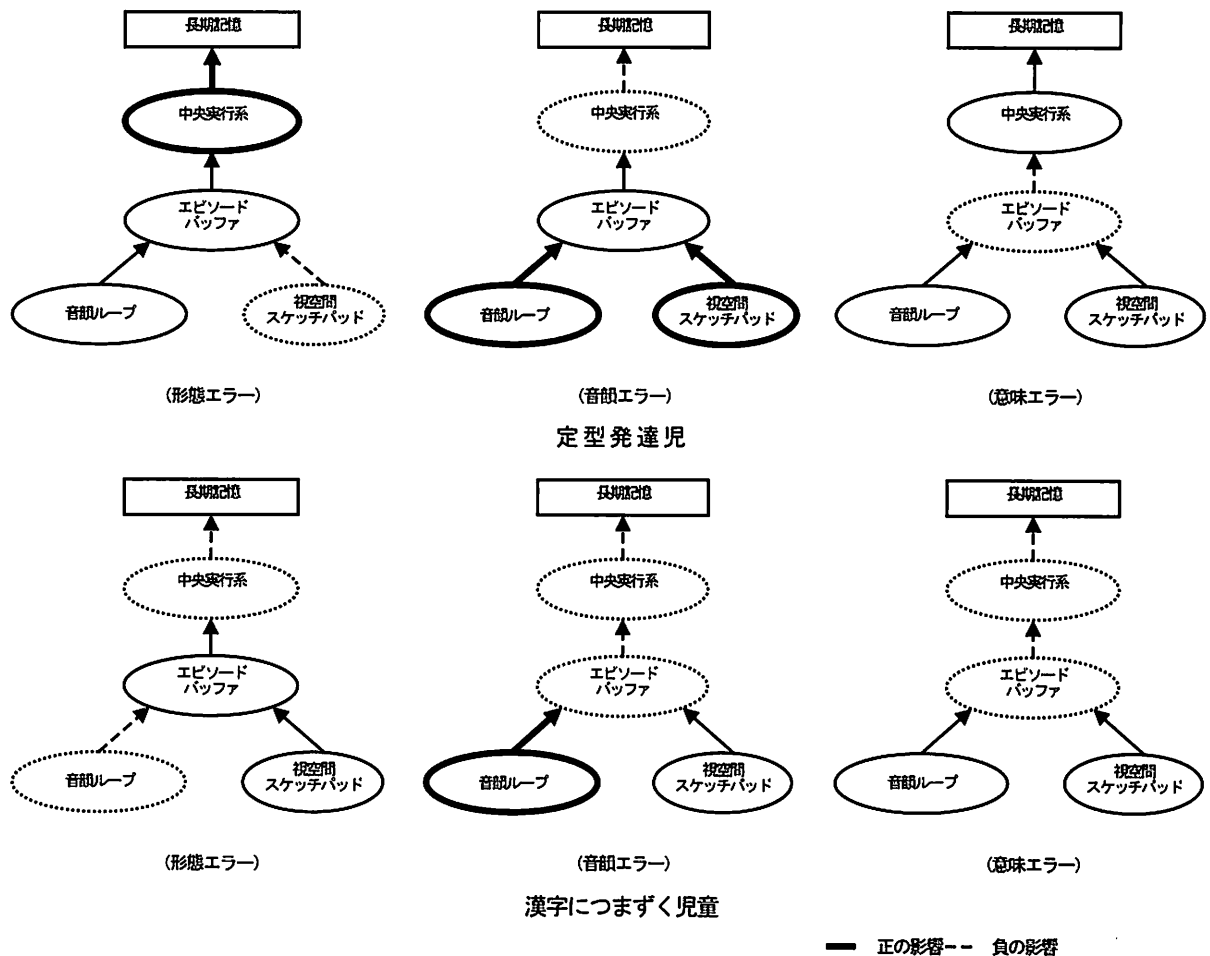


図5 誤書字が生じる背景

— 正の影響 -- 負の影響

難しく類似した漢字を想起してしまったり、長期記憶への貯蔵の困難さから、音韻的にも形態的にも類似性がある漢字を混同してしまったりする可能性が考えられる。音韻エラーには、音韻ループに加え、中央実行系、エピソードバッファが関与しており、音韻処理に加え、漢字の読みと形態情報などを組み合わせる働きがうまくいかず、同じ読みの別の漢字を書字してしまうと考えられる。意味エラーには、中央実行系のみが関わっており、注意集中や漢字の想起に問題があると考えられる。また、漢字につまずく児童はワーキングメモリの構成要素間の相関が低く結びつきが弱いため、漢字に対して下位システムである音韻ループ、視空間スケッチパッド、エピソードバッファの影響がより強くなっているのではないかと考えられた。これらのことから、LD児を含む漢字につまずく児童に対する支援として、エピソードバッファを効率良く機能させ、情報同士の組み合わせを向上させる支援が提案できる。既知の情報と組み合わせたり、部首の知識をもとに漢字の読みや形態の関連性を意識させたりすることで漢字の形態情報や読み情報などを組み合わせる働きを活性化させ、その結果漢字成績の向上につながると考えられる。この指摘について丹野・干川(2015)は、ワーキングメモリ容量が限られているLD児に対して、部首の知識をもとに漢字の読みや形態の関連性を意識させることで、漢字を習得できることを実証的に報告している。

本研究において、WMTBを実施することで児童の認知スタイルをより効率的に把握することが可能となった。今後、WMTBで把握したより細かな認知スタイルに基づく集団での指導を検討することで、漢字につまずく可能性がある児童に対して早期的な支援を提供できるであろう。

V. 引用文献

- Allen, R., Baddeley, A. D., & Hitch, G. J. (2006). Is the binding of visual features in working memory resource-demanding? *Journal of Experimental Psychology: General*, *135*, 298-313.
- Allen, R., Hitch, G. J., & Baddeley, A. D. (2009). Cross-modal binding and working memory. *Visual Cognition*, *17*(1/2), 83-102.
- Alloway, T. P., Gathercole, S. E., & Pickering, S. J. (2006). Verbal and visuo-spatial short-term and working memory in children: Are they separable? *Child Development*, *77*, 1698-1716.
- Baddeley, A. D., Allen, R. J., & Hitch, G. J. (2011). Binding in visual working memory: The role of the episodic buffer. *Neuropsychologia*, *49*, 1393-1400.
- Blomert, L. (2011). The neural signature of orthographic-phonological binding in successful and failing reading development. *NeuroImage*, *57*, 695-703.
- Brockmole, J. R., & Logie, R. H. (2013). Age-related change in visual working memory: A study of 55,753 participants aged 8 to 75. *Frontiers in Psychology*, *4* (12), 1-5.
- Cowan, N., Saults, J. S., & Morey, C. C. (2006). Development of working memory for verbal-spatial associations. *Journal of Memory and Language*, *55*, 274-289.
- 藤河如民 (2012). 学習障害のある児童の漢字学習における意味づけ方略の効果. 熊本大学大学院教育学研究科修士論文 (非公刊).
- Gathercole, S. E., & Alloway, T. P. (2008). *Working Memory and Learning*. Sage Publication. 湯澤正通・湯澤美紀 訳 (2009): ワーキングメモリと学習指導. 北大路書房.
- Gathercole, S. E., & Pickering, S. J. (2000). Assessment of working memory in six- and seven-year-old children. *Journal of Educational Psychology*, *92*, 377-390.
- Garden, S., Cornoldi, C., & Logie, R. H. (2002). Visuo-spatial working memory in navigation. *Applied Cognitive Psychology*, *16*, 35-50.
- 干川隆 (2006). 学習障害の児童への支援方法に関する展望-作動記憶の視点から-. 熊本大学教育学部紀要, 人文科学, *55*, 85-97.
- 石井麻衣・雲井未希・小池敏英 (2003). 学習障害児における漢字書字の特徴-誤書字と情報処理過程の偏りとの関係について-. *LD研究*, *12*(3), 335-343.
- 井濤知美・宇野彰・小林美緒 (2001). かなに比べ漢字に強い読み書き障害を示した1例. *小児の精神と神経*, *41*(2・3), 169-173.
- 河村暁・中山健・前川久男 (2004). 児童期のLD児におけるワーキングメモリ測定の試み. *LD研究*, *13*(1), 79-90.
- 河村暁・新妻由希枝・益田慎・中山健・前川久男 (2007). ワーキングメモリに困難のあるLD児の漢字の読み書き学習における単語の熟知度と漢字の画数・複雑性の影響. *LD研究*, *16*(1), 49-61.
- Karlsen, P. J., Allen, R. J., Baddeley, A. D., & Hitch, G. J. (2010). Binding across space and time in visual working memory. *Memory and Cognition*, *38*, 292-303.
- 木原美香 (2011). 高校生の漢字学習に及ぼす認知特性に合わせた集団指導の効果. 熊本大学大学院教育学研究科修士論文 (非公刊).
- Nobre, A., Rodrigues, J., Sbicigo, J., Piccolo, L., Zorzea, M., Duarte, S., & Salles, J. (2013). Tasks for assessment of the episodic buffer: a systematic review. *Psychology & Neuroscience*, *6*(3), 331-343.
- Nystrom, L. E., Braver, R. S., Sabb, F. W., Delgado, M. R., Noll, D. C., & Cohen, J. D. (2000). Working Memory for Letters, Shapes, and Locations: fMRI Evidence

against Stimulus-Based Regional Organization in Human Prefrontal Cortex. *NeuroImage*, 11, 424-446.

Owen, A. M., McMillan, K. M., Laird, A. R., & Bullmore, E. (2005). N-Back Working Memory Paradigm: A Meta-Analysis of Normative Functional Neuroimaging Studies. *Human Brain Mapping*, 25, 46-59.

丹野優・千川隆 (2015). ワーキングメモリ容量からみた発達障害児に対する部首を活用した漢字指導の効果. 熊本大学教育学部紀要, 64, 151-158.

富永真理・千川隆 (2014). 通常の学級における小学生の漢字学習に及ぼす認知スタイルに合わせた集団指導の効果. 熊本大学教育学部紀要 (自然科学), 63, 175-185.

宇野彰・上林靖子 (1998). ADHDを伴い書字障害を呈した学習障害児-書字障害に関する認知神経心理学的検討-. 小児の精神と神経, 38 (2), 117-123.

浦田ゆかり (2010). 作動記憶の観点からみた学習障害児の漢字書字に関する研究. 熊本大学大学院教育学研究科修士論文 (非公刊).

Wang, S., Allen, R., Lee, J., & Hsieh, C. (2015). Evaluating the developmental trajectory of the episodic buffer component of working memory and its relation to word recognition in children. *Journal of Experimental Child Psychology*, 133, 16-28.

湯澤正通・湯澤美紀 (2014). ワーキングメモリと教育. 北大路書房.

謝辞:本研究を実施するにあたり、貴重なデータを提供していただきました小学校の校長先生、児童の皆さんに心より感謝申し上げます。阿蘇市立波野小学校の中村泉先生には、WMTBの予備調査の段階からお世話になりました。記して感謝申し上げます。なお本研究は、JSPS 科研費 15K04564 の助成を受けました。

資料 CO バインディング課題

Allen et al. (2006) が使用した色と単純な形を使用したバインディング課題を参考に CO バインディングを作成した (図 6)。刺激材料として、8つの色と名前 (緑, 赤, 青, 黄色, 黒, 灰色, 紫, オレンジ) と 8つの有意義な図形 (丸, 十字, 菱形, 星, アーチ, V字, 旗, 三角) を使用した。刺激の提示は、A スタディフェイズでは、500 ミリ秒間画面の上部の中央に黒い十字を提示して課題を開始し、250 ミリ秒後にテスト刺激を提示した。刺激の配列は、1つにつき 2000 ミリ秒間提示され、その後 250 ミリ秒の間隔を経て次の刺激が提示される。すべての刺激が提示された後、1000 ミリ秒の間隔を経て B テストフェイズが始まる。スタディフェイズでは、色がついていない図形と色の音声提示され、テストフェイズでは色がついた図形が提示され、児童はその図形があったかどうか判断するように求められた。

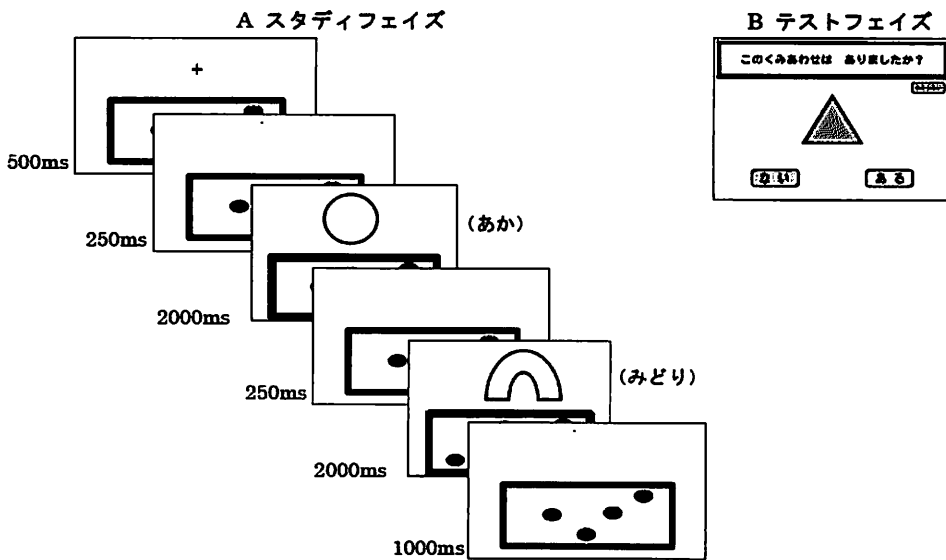


図 6 CO バインディング課題