

# 子どもの学び支援プロジェクト：ウェブを通じたワーキングメモリ

## アセスメントと学習支援システムの構築

研究代表者 湯澤 正通 (心理学講座)  
研究分担者 宮谷 真人 (心理学講座)  
中條 和光 (心理学講座)  
杉村伸一郎 (幼年教育研究施設)  
森田 愛子 (心理学講座)  
水口 啓吾 (心理学講座)

### I 研究の背景と目的

#### 1. ワーキングメモリとは？

ワーキングメモリ (working memory) とは、短い時間に心の中で情報を保持し、同時に処理する能力のことである。齋藤・三宅 (2014) は、ワーキングメモリを「さまざまな課題の遂行中に一時的に必要となる記憶---特に、そうした記憶の働き (機能) や仕組み (メカニズム)、そしてそれらを支えている構造 (システム)」と定義し、課題目標とプランを課題遂行中に覚えておく働きがその中心的な役割であると指摘している。その点で、ワーキングメモリは、人間の知的活動において中心的な役割を果たしており、近年、新しい知性として注目されている (Alloway & Alloway, 2013)。

ワーキングメモリ研究の多くは、Baddeley & Hitch (1974) のモデルに基づいて、発展してきた (図1)。そのモデルでは、ワーキングメモリは、言語的短期記憶、視空間的短期記憶、中央実行系といった3つの構成要素が結びついたシステムとされている。言語的短期記憶は、数、単語、文章といった音声で表現される情報を保持し、視空間的短期記憶は、イメージ、絵、そして位置に関する情報を保持する。一方、中央実行系は、注意をコントロールし、高次の処理に関わっている。言語的短期記憶と中央実行系の働きを合わせて、言語性ワーキングメモリと呼ばれ、他方で、視空間的短期記憶と中央実行系の働きを合わせて、視空間性ワーキングメモリと呼ばれる。現在のワーキングメモリのモデルは、エピソードバッファが付け加えるなど、より精緻化されているが、ワーキングメモリのアセスメントは、図1のモデルに基づいている場合が多く、本研究で取り上げるアセスメントも、図1のモデルに基づいている。

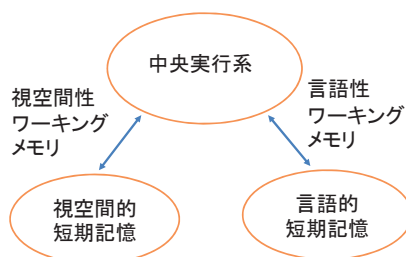


図1 ワーキングメモリのモデル (Gathercole & Alloway, 2008/2009)

## 2. ワーキングメモリと学習および発達障害との関連性

これまでの研究から、ワーキングメモリと、知能テストや学業成績との関連性が一貫して見いだされている (Alloway, Gathercole, Kirkwood, & Elliott, 2009; Gathercole & Alloway, 2008/2009)。例えば, Gathercole, Brown, & Pickering (2003)は, イギリスの小学生を対象に, 4歳時点のワーキングメモリ得点と, 2年半後の全国統一テストでの学習到達度との関連を検討した。その結果, 4歳時点においてワーキングメモリ得点の低かった児童において, ワーキングメモリ得点が平均的であった児童に比べて, 年齢相応の学習レベルに到達できていない者の割合ははるかに高いことが見いだされた。このような結果から, 国語や算数において学習上の困難を抱える子どもは, 一般的に, ワーキングメモリ容量がとても少ないこと, また, ワーキングメモリの得点は, 将来のその子どもの学習上の問題を予測できると考えられる。

一方, 近年, ワーキングメモリと発達障害との関連性に関する研究も多く行われている (湯澤, 2011; 湯澤・河村・湯澤, 2013)。例えば, Pickering & Gathercole (2004)は, 特別な教育的ニーズを抱えていると学校から認定されている子どもを4つのグループに分け, 言語性ワーキングメモリ, 言語的短期記憶, 視空間的短期記憶の3つの側面を調べた。その結果, 第1に, 読みと算数の両方に困難のある子どものグループは, 言語性ワーキングメモリ, 言語的短期記憶, 視空間的短期記憶すべての得点が低かった。第2に, 言語に関連した障害を持つ子どものグループは, 言語性ワーキングメモリと言語的短期記憶の得点が極端に低かったが, 視空間的短期記憶の得点は平均レベルであった。第3に, 読みに関連した困難のある子どものグループは, 言語性ワーキングメモリ, 言語的短期記憶, 視空間的短期記憶の3つの側面において, やや低めの平均レベルであった。第4に, 情動的, 行動面な問題を抱えるグループの子どものワーキングメモリは, 3つの側面において, 年齢相応であった。

Alloway (2009/2011)は, 読み書き障害 (Dyslexia), 算数障害 (Dyscalculia), 統合運動障害 (Dyspraxia), 注意欠陥多動性障害 (ADHD), 自閉症スペクトラム (Autistic spectrum disorder) について, ワーキングメモリの典型的なプロフィール (言語的短期記憶, 視空間的短期記憶, 言語性ワーキングメモリ, 視空間性ワーキングメモリの成績パターン) と行動特徴をまとめている。第1に, 読み書き障害の子どもは, 単語の音の学習や区別が難しいため, 綴りや読みに問題が見られる場合が多い。彼らの言語性ワーキングメモリは小さいものの, 視空間性ワーキングメモリは年齢平均的である。第2に, 算数障害の子どもは, 数のルールおよび数的事実を学習することの困難を伴う。彼らは, 視空間性ワーキングメモリに弱さがある。一方, 言語性ワーキングメモリは, 平均的である場合が多い。第3に, 統合運動障害の子どもは, 視覚的な問題とともに, 微細運動および粗大運動の困難によって特徴づけられる。彼らは, 視空間性ワーキングメモリに問題を有する割合が特に多い。第4に, ADHDの子どもは, 行動抑制に困難がみられ, 行動と感情をコントロールすることに難しさがある。彼らは, 言語性・視空間性ワーキングメモリが平均以下を示し, 特に視空間性ワーキングメモリの小ささが, ADHDの特徴とされる。最後に, 自閉症スペクトラムは, コミュニケーション, 想像力, 社会的スキルの障害である。高機能自閉症児のワーキングメモリプロフィールは全般に年齢相応であるが, 言語的短期記憶に問題があり, これが言語とコミュニケーションに大きな影響を及ぼす。

### 3. 本研究の目的

以上のように、ワーキングメモリは、学習および発達障害と密接な関連があり、子どものワーキングメモリプロフィールに応じて、その子どもが抱える学習上の困難が異なっていることが分かっている。したがって、何らかの学習上の問題を抱える子どものワーキングメモリのアセスメントを行うことで、その問題の原因を推測し、支援の方法を考えることができる。例えば、ある学習上の問題を示す子どものワーキングメモリプロフィールを明らかにすることで、その学習上の問題がワーキングメモリの特定の側面の弱さに起因するのか、それ以外の原因があるのかを推測することができる。また、ワーキングメモリの特定の側面の弱さに起因するとすれば、その子どもの問題に対する支援は、ワーキングメモリの弱い側面を補うものか、またはワーキングメモリの強い側面を生かすものかいずれかの方法となり、ワーキングメモリアセスメントは、子どもの支援を考える有益な手がかりとなる。

そこで、本研究では、ウェブを通して、発達障害児など、学習に問題を抱える児童生徒の支援を行う者に対してワーキングメモリのアセスメントツールを提供する。文部科学省の2003年調査によると、通常学級に在籍する小中学生の中で、「発達障害児」（知的な遅れはないが学習面や行動面で著しい困難を示す）として報告された児童生徒数は、約6%にのぼる。こうした児童生徒を学校で教える教師や、学校外で支援を実施する者にとって、ウェブを通して児童生徒が自分のペースで受けることのできるワーキングメモリアセスメントツールは、それらの「発達障害児」の特徴を理解し、支援の方法を考えるうえで、大変有用であると考えられる。

(湯澤正通\*・宮谷真人・中條和光・杉村伸一郎・森田愛子)

## II HUCRoW (Hiroshima University Rating of Working Memory) によるアセスメントの概要

### 1. HUCRoW のテストの内容

本研究では、我々が独自に作成したコンピュータベースのワーキングメモリ課題である、HUCRoW (Hiroshima University Computer-based Rating of Working memory) をウェブ上に公開した (<http://home.hiroshima-u.ac.jp/hama8/assessment.html>)。HUCRoW は、図1のワーキングメモリモデルに基づいたワーキングメモリの4つの構成要素、すなわち、言語的短期記憶 (SM)、視空間的短期記憶 (SM)、言語性ワーキングメモリ (WM)、視空間性ワーキングメモリ (WM) をそれぞれ測定する2課題、合計8課題から構成されている。言語的 SM、視空間的 SM の課題は、それぞれ音声情報、または視空間情報を単純に記憶する課題である。一方、言語性 WM、視空間性 WM は、それぞれ音声情報、または視空間情報を記憶することに加え、処理することを求める課題である。表1に8課題における概要を示した。

HUCRoW の課題は、コンピュータによってコントロールされる。実施者が上記のウェブサイトアクセスし、参加者 (アセスメントを受ける児童生徒) の名前 (本人を識別する記号)、性別、誕生日を入力した後、参加者は、画面を見ながら、マウスをクリックして、自分のペースで進める。課題の正誤は、ウェブのサーバー上に自動的に保存される。

表 1 HUCRoW の 8 課題の概要

言語的 SM	言語性 WM	視空間的 SM	視空間性 WM
<b>Digit Recall</b> 参加者は、音声提示された数字の系列を記憶し、その後、画面上に提示された 9 つの数字から、先程覚えた数字を順番通りにマウスでクリックする。提示される数字は順次多くなる。	<b>Backward Digit Recall</b> 参加者は、音声提示された数字の系列を記憶し、その後、画面上に提示された 9 つの数字から、先程覚えた数字を逆の順にマウスでクリックする。提示される数字は順次多くなる。	<b>Line Span</b> 参加者は、画面の 3×3 のマス目の線上（24 線上）に順次提示されるラインの位置を記憶し、その後提示されたマス目で、先程覚えたラインの位置を順番通りにマウスでクリックする。提示されるラインの数は順次多くなる。	<b>Figure Span</b> 参加者は、画面上に提示された図形の形を記憶し、その後、画面上に提示された 7 つの図形から、先程覚えた図形をマウスで順番通りにクリックする。提示される図形の数は順次多くなる。
<b>Word Recall</b> 参加者は、音声提示された言葉の系列を記憶し、その後、画面上に提示された 9 つの言葉から、先程覚えた言葉を順番通りにマウスでクリックする。提示される言葉は順次多くなる。	<b>Big or Small</b> 参加者は、動物に関する短文（ブタはミミズより大きい）を聞いて、その文の正誤判断を行いながら（○）、文頭のを記憶する（ブタ）。その後、画面上に提示された 9 つの言葉から、先程覚えた言葉を順番通りにマウスでクリックする。提示される短文の数は順次多くなる。	<b>Comparative Line Span</b> 参加者は、左右に提示された 2 つのラインのうち、左側のラインの長さ（3×3 のマス目の線上に提示）の長さが同じかどうか繰り返し判断し、右のラインの位置を記憶する。その後提示されたマス目で、先程覚えたラインの位置を順番通りにマウスでクリックする。提示されるラインの数は順次多くなった。	<b>Rotated Figure Span</b> 参加者は、左右に提示された 2 つの図形のうち、左側の図形を 180 度回転すると、右側の図形と同じになるかどうか繰り返し判断し、右側の図形の形を記憶する。その後、画面上に提示された 7 つの図形から、先程覚えた図形をマウスで順番通りにクリックする。提示される図形の数は順次多くなる。

## 2. HUCRoW への登録とアセスメントの実施

HUCRoW によってワーキングメモリのアセスメントを行うには、ウェブ上で登録を行う必要がある。HUCRoW は、「発達障害等の問題を抱える子ども個人の診断に利用し、支援の方法を示唆すること」を目的とすることを明記し、その利用を、①小学校、中学校、高等学校等の学校で勤務されている者、②病院や児童相談所等で発達障害児の療育・支援に当たっている者、に制限している。HUCRoW の利用登録した者は、2 月初旬まで、73 名である。①の学校関係者は 41 名、②およびその他は 32 名である。

HUCRoW の利用登録を行うと、ID とパスワードが発行され、それによって HUCRoW が利用できるようになる。また、HUCRoW の実施には、パソコンに特定のソフトウェアのインストールなどの設定が必要であり、それについては、上記のウェブサイトに記載している。HUCRoW の 8 課題すべてを実施するには、1 時間 30 分ほどかかるため、アセスメントの実施者は、参加者の状態を見て、適宜、分割して実施する必要がある。アセスメント実施後、実施者は、実施報告書を作成し、ウェブ管理者に報告する。実施報告書には、参加者の診断名（医療機関等で診断を受けている場合）や、参加者の特徴・問題、学習上のつまづきなどを記載することになっている。ウェブ管理者は、アセスメントのデータと実施報告書を検討し、図 2 のようなレポートを作成し、実施者に送付する。

（湯澤正通\*・水口啓吾）

### Ⅲ HUCRoWによるアセスメントと学習支援への示唆

#### 1. HUCRoWによるアセスメントのケース

2015年2月初旬まで、HUCRoWによるワーキングメモリアセスメントを受け、レポートが作成・送付された参加者の人数は、99名である。そのうち、医療機関等による診断のある参加者は、50名であり、その内訳を表2に示した。アスペルガー症候群および広汎性発達障害は、自閉症スペクトラム(ASD)に含めた。ASDと注意欠如多動性障害(ADHD)の診断を受けている参加者が多いが、両者の診断を同時に受けている参加者も8人いた。聴覚障害児は、音声刺激を実施者が手話で参加者に翻訳しながら、HUCRoWが実施された。

また、実施報告書に記載された参加者の問題・困難について分類し、集計したのが表3である。小学校低学年では、新しい言葉の学習(語彙の獲得)、ひらがな(特殊音)の習得、漢字の読み書きなどの問題・困難を挙げる参加者が多く、小学校高学年以降では、漢字の読み書きに加え、文章理解についての問題・困難を挙げる者が多い。算数の領域では、文章題についての問題・困難を挙げる者が多い。

表2 診断別人数

診断名	人数
学習障害(LD)	3
自閉症スペクトラム(ASD)	12
ADHD	7
ASD+ADHD	8
LD+ADHD	2
ASD+協調運動障害	2
脳性麻痺	2
聴覚障害	11
知的障害	3
診断なし	49

表3 それぞれの問題・困難が挙げられた人数

困難・問題の内容	人数	困難・問題の内容	人数
新しい言葉の学習	20	基礎的計算	11
聞き(言い)間違い	2	割り算	2
ひらが(特殊音)	14	筆算	2
漢字の読み	20	数量イメージ	6
漢字の書き	26	分数・小数	3
正確で流ちょうな読み	9	時計	2
飛ばし読み	9	図形	8
文章理解	44	文章題	31
作文	14	英語	10

#### 2. ワーキングメモリプロフィールに基づいた学習支援への示唆

ウェブ管理者は、実施報告書を受けとった後、参加者の年齢と課題の成績に基づいてワーキングメモリプロフィールを作成し、参加者の特徴・問題、学習上のつまずき解釈し、支援の方略についてレポートを作成した。レポートの事例(架空事例)を図2に示す。図2の事例の主訴は、「長文の読み取りが難しい」ことであり、「文章題、図形問題ができない」ことである。図2の事例のワーキングメモリプロフィールを見ると、言語的短期記憶に比べて、言語性ワーキングメモリが大きく落ち込んでいる。音声情報を記憶しながら、同時に処理することが苦手であり、このことは、文章読解や文章題の困難さを説明する。また、視空間領域では、図形に関する情報の記憶と処理が弱く、このことは、図形問題ができないことと一致する。そして、ワーキングメモリが弱い場合、処理付加を少なくするようなスモールステップで学習を進めていくことが基本的な学習支援の方略である。

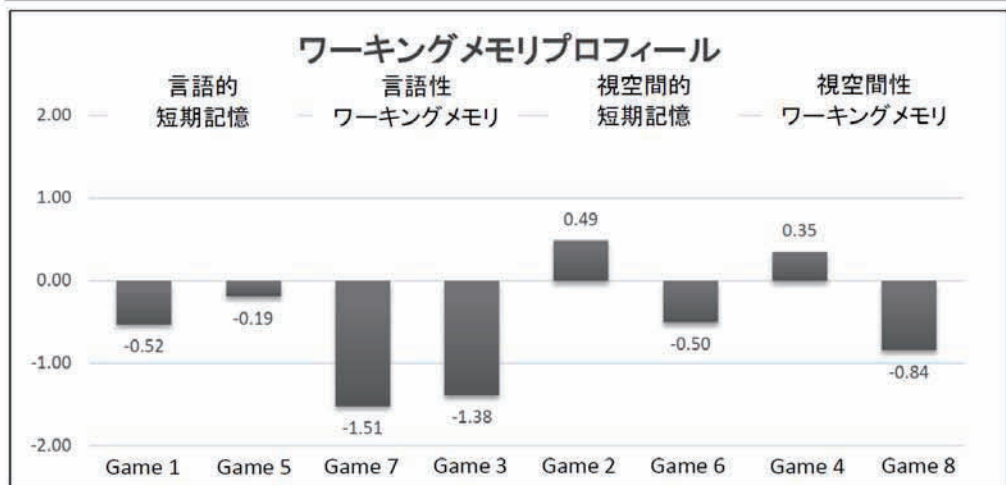
(湯澤正通\*)

# HUCRoW (フクロウ) アセスメントデータレポート

ID 【 H000000-01 】 月齢 【 146 】ヶ月

HUCRoW (フクロウ) ゲーム結果(標準スコアは、同年齢で平均0、標準偏差1)

Game	内容	スコア	標準スコア
1	数を覚えましょう。	28	-0.52
2	線の位置を覚えましょう。	22	0.49
3	動物の大きさ比べながら言葉を覚えましょう。	8	-1.38
4	線の位置を覚えながら、長さを比べましょう。	16	0.35
5	言葉を覚えましょう。	20	-0.19
6	図形を覚えましょう。	14	-0.50
7	逆の順番で数字を覚えましょう。	11	-1.51
8	図形を覚えながら、回転しましょう。	9	-0.84



ワーキングメモリ構成要素別合計得点

構成要素	Game	学習面での特徴	標準スコア
言語的短期記憶	1, 5	音(言葉)を聞く・しゃべる学習	-0.43
言語性WM	3, 7	音(言葉)を聞きながら、考える学習	-1.77
視空間的短期記憶	2, 6	物を見る・イメージする学習	-0.18
視空間性WM	4, 8	物を見たり、イメージしながら、考える学習	-0.55
総合得点：学ぶ力			-0.97

まず、言語的短期記憶の成績は、やや低いものの、年齢平均の範囲内です。それに対して、言語性ワーキングメモリの成績はとても低くなっています。本児は、単に音声情報を覚えることにあまり問題はないようですが、処理負荷がかかると、記憶成績が大きく低下します。このようなパターンは、「ひらがな文はだいたい読め」、「漢字の読みは小3~4年程度は読め」るが、処理負荷のかかる「長文の読み取りは難しい」ことをうまく説明します。一方、視空間領域については、位置に関する情報の記憶と処理はやや得意で、年齢平均の範囲内です。それに対して、形に関する情報の記憶と処理の成績は低くなっています。算数の基礎的な計算(に関する知識の獲得)には、言語的短期記憶と視空間的短期記憶が主に関わっていますが、本児の場合、実際、そこに問題はありません。一方、「文章題、図形問題ができない」ことは、言語性ワーキングメモリの弱さ、形に関する情報の記憶と処理の弱さが関与しているようです。ワーキングメモリの課題を遂行するには、一方で、累積し、変化する情報の記憶を更新しながら、他方で、別の課題に処理資源を配分する注意制御をうまく働かせる必要があります。そのため、ワーキングメモリが小さいと、過大な情報や処理負荷に対して注意制御ができなくなります。これは、ADHDの子どもが注意の制御が難しいこととは、関連していますが、異なっています。本児の場合、後者のような問題はないようですので、特に、音声情報や形に関する学習を行うときは、スモールステップで(過大な情報や処理負荷を与えないように)学習していくことが基本のように思います。

図2 HUCRoWのアセスメントレポートの例(架空事例)

#### IV 研究の成果と今後の課題

HUCRoW をウェブ上に公開して、約1年が経過したが、HUCRoW によるワーキングメモリアセスメントを受けた参加者は100人近くになった。これらの参加者は、様々な学習上の困難や問題を抱えており、アセスメントによって明らかになった参加者のワーキングメモリプロフィールによって、それらの困難や問題がうまく説明できることが多かった。その点で、HUCRoW によるワーキングメモリアセスメントは、参加者の支援を行う者にとって、参加者の困難や問題を理解し、支援の方法を考えるのに、有益な情報を提供できたと推測される。

今後の課題として、以下のことが挙げられる。第1に、参加者のワーキングメモリプロフィールと学習上の困難や問題との関連についてより詳細に検討する。第2に、参加者の問題・困難が系統的に記載できるように実施報告書を改善する。第3に、ワーキングメモリアセスメントのレポートを支援者がどのように利用し、どのような支援が役に立ったのかを調べ、参加者のワーキングメモリプロフィールに応じて最も有効な支援方略を明らかにしていく。

(湯澤正通\*)

#### 引用文献

- Alloway, T. P., & Alloway, R. G. (Eds.) (2013). *Working memory: The connected intelligence*. New York: Psychology Press.
- Alloway, T. P. (2010). *Improving working Memory : Supporting students' learning*. London : Sage Publications. 湯澤美紀・湯澤正通 (訳) 2011 ワーキングメモリと発達障害：教師のための実践ガイド2 京都：北大路書房
- Alloway, T. P., Gathercole, S. E., Kirkwood, H. J., & Elliott, J. E. (2009). The cognitive and behavioral characteristics of children with low working memory. *Child Development*, **80**, 606-621.
- Baddeley, A. D., & Hitch, G. J. (1974). Working memory. In G. A. Bower (Ed.), *Recent advances in learning and motivation Vol. 8* (pp.47-90). New York: Academic Press.
- Gathercole, S. E., Brown, L., & Pickering, S. J. (2003). Working memory assessments at school entry as longitudinal predictors of National Curriculum Attainment levels. *Educational and Child Psychology*, **20**, 109-122.
- Gathercole, S. E., & Alloway, T. P. (2008). *Working Memory and Learning : A Practical Guide for Teachers*. London : Sage Publications. 湯澤正通・湯澤美紀 (訳) 2009 ワーキングメモリと学習指導：教師のための実践ガイド 京都：北大路書房
- 齊藤智・三宅晶 (2014). ワーキングメモリ理論とその教育的応用 湯澤正通・湯澤美紀(編著) ワーキングメモリと教育 北大路書房 Pp.
- Pickering, S. J., & Gathercole, S. E. (2004). Distinctive working memory profiles in children with special educational needs. *Educational Psychology*, **24**, 393-408.
- 湯澤美紀 (2011). ワーキングメモリと発達障害 心理学評論, **54**, 76-94.
- 湯澤美紀・河村 暁・湯澤正通 (編著) (2013). ワーキングメモリと特別支援 京都：北大路書房