

幼児期・児童期の定型発達児における視空間性 ワーキングメモリの発達に関する基礎的研究

堂山 亜希*・橋本 創一**・林 安紀子***・根本 彩紀子****

I. はじめに

ワーキングメモリとは、思考と行動の制御に関わる実行機能の一つであり、認知活動の遂行において情報の一時的保持と処理といった「心の作業場」の役割を担う。Baddeleyらのモデル (Baddeley & Hitch, 1974; Baddeley, 1986) では、一つの中央実行系が2つのサブシステムを従える形になっている。サブシステムは音韻ループと視空間スケッチパッドであり、前者は主に言語性のワーキングメモリと関わり、後者は視空間性のワーキングメモリと関わりとされている (Logie, 1995)。このモデルには2000年に新たにエピソードバッファが加えられ、ワーキングメモリは長期記憶との情報のやりとりを通して目標とする課題遂行を可能にするとされている (Baddeley, 2000)。

また、本研究で取り上げる視空間性ワーキングメモリで扱われる情報は、物の色や形などの視覚情報と、方向や位置などの空間情報に大別できる。さらに、Mammarella et al. (2008) は、異なる要素をもった視空間性ワーキングメモリ課題の特性を整理するため、小学校3～4年生を対象に3種類の言語性ワーキングメモリ課題と10種類の視空間性ワーキングメモリ課題を実施した。その結果、ワーキングメモリを言語性の要素と

主に保持に係る3つの受動的な視空間の要素 (継時一空間, 同時一空間, 視覚), 主に処理に係る1つの能動的な視空間の要素からなるワーキングメモリのモデルを明らかにしている。

ワーキングメモリは、学習や日常生活上のあらゆる行動を支えている。特に、読み書き, 計算, 推論などの高度な認知活動において大きな役割を担っており、ワーキングメモリは小児期から発達とともに15歳まで漸次的に増大する (Gathercole et al., 2004)。

しかし、これまでのワーキングメモリ研究では、言語性ワーキングメモリの発達に関する研究は数多く行われてきた (Siegel, 1994; Gathercole et al., 2004) が、一方で、視空間性ワーキングメモリの研究は近年増加傾向にあるものの、十分であるとは言い難い (Alloway et al., 2006)。また、学校教育場面で学習や行動につまずきのある児童・生徒への支援では、視覚化などの方法が推奨されており (文部科学省, 2004; 2010), 視空間性ワーキングメモリの発達, 言語性ワーキングメモリと視空間性ワーキングメモリとの関連に関して検討していくことも重要であると考えられる。さらに、前述のような課題の特性からワーキングメモリの発達に関して言及している研究も少なく (Mammarella et al., 2008), 視空間性ワーキングメモリの発達に関して課題の特性という視点

* どうやま あき 東京学芸大学大学院連合学校教育学研究科

** はしもと そういち 東京学芸大学教育実践研究支援センター

*** はやし あきこ 東京学芸大学教育実践研究支援センター

**** ねもと さきこ どんぐり発達クリニック

キーワード：視空間性ワーキングメモリ／能動的視空間性ワーキングメモリ／受動的視空間性ワーキングメモリ
発達的变化

も踏まえて検討していく必要があると考えられる。

そこで本研究では、視覚化などの教育的な支援の有効性の検討のための基礎的研究として、視空間性ワーキングメモリの発達に関して、Mammarella et al. (2008) が用いたモデルを基に、能動的と受動的、同時的と継時的という課題特性を考慮して、幼児期から児童期初期の発達を検討する。また、WISC-IV (Wechsler Intelligence Scale for Children – Forth Edition, 2003) の下位検査の一つである数唱課題との比較によって、言語性ワーキングメモリと視空間性ワーキングメモリとの関連について検討する。

II. 方法

1. 対象児

対象児は生活年齢5歳から7歳の定型発達児64名である。男児32名、女児32名で、平均年齢は6.5歳であった。対象児は全て東京都在住であり、5歳児は幼稚園または保育所に、7歳児は小学校通常学級に在籍していた。下記の2. 実施期間の通り実験は3月から4月に実施したため、6歳児は小学校入学前である。保護者への聴取から、発達に顕著な遅れや偏りがないことを確認している。Table 1 に対象児の内訳を示した。

Table 1 対象児の内訳

	人数	平均年齢	標準偏差 (月齢)	月齢範囲
5歳群	19名	5.5歳	2.6	63-71
6歳群	23名	6.5歳	2.8	73-82
7歳群	22名	7.5歳	3.1	85-95

2. 実施時期

実験は、2013年3月から4月に実施した。

3. 手続き

東京学芸大学教育実践研究支援センタープレイルームにて課題を個別に実施した。以下の3課題を1), 2), 3)の順に行った。実施時間は30分程度であった。

4. 課題

課題1), 2), 3)の例をFigure 1に示した。

1) Jigsaw Puzzle task (以下、「Puzzle課題」と呼ぶ)

Vecchi & Richardson (2000) の方法に基づいて作成した。一般的な無生物が描かれた2ピースから9ピースの白黒の線画のパズルで、各ピースの端に1～9までの数字が書かれている。対象児には、最初に絵の名前とともに完成したときの絵を見本として2秒間見せ、次にばらばらに配置したピース(向きは正位置)とパズルの枠だけが書かれた紙、鉛筆を対象児の前に置き、ピースを動かさないで枠内の正しい位置に数字を書くように教示した。時間は実験者の手元の時計でカウントした。予備試行として、本試行に入る前に3ピースのパズルを使い、実験者が手本を見せた。続いて、2ピース・3ピースを各1回、4・6・8・9ピースを各2回の全10試行からなる本試行を行った。

2) Visual Pattern test (以下、「VPT課題」と呼ぶ)

Della Sala et al. (1997) の方法に基づいて作成した。4～18のマトリックスのうち、半数はランダムに黒く塗りつぶされており、その黒いマスの位置を記憶する課題である。先に半数が黒く塗りつぶされたマトリックスが描かれた紙を3秒間見せ、次に全て白いマスのマトリックスが描かれた紙を提示し、黒く塗りつぶされたマスを指差すように教示した。時間は実験者の手元の時計でカウントした。予備試行は行わず、4・6・8・10・12・14・16・18マス(黒く塗りつぶされたマスはうち、2・3・4・5・6・7・8・9マス)を各1回の8試行からなる本試行を行った。

3) The Corsi Blocks test (以下、「Blocks課題」と呼ぶ)

Corsi (1972) の方法に基づいて作成した。厚紙の上ランダムに固定して配置された9つの立方体のブロックが提示され、実験者が先に指差し、対象児はその位置と順序を記憶して正順序と逆順序で再生した。正順序・逆順序ともに、本試行前に予備試行を行った。予備試行では、実験者が2つのブロックを指差し、対象児は正順序・逆順序で再生した。本試行では、異なる組み合わせの2試行を1系列として、ブロックを指差す数を2つから始め、正順序では1系列どちらかの施行で成功するごとに、指差すブロックの数が1ずつ増加する次の系列に進んだ。逆順序でも1系列どちらかの施行で成功するごとに次の系列に進んだが、2つを指差す試行を2系列行った後、第3系列から指差すブロックが1ずつ増加し

た。両試行に失敗した場合はそこで中止とした。

5. 分析方法

1) Puzzle課題

全て正しいピースの位置の数字を書くことができれば通過とみなし、以下の2項目について評価した。(1) 課題全体で正答した試行の総数を得点とした。最高点は10である。(2) 正答した最大のピース数を最大ピース数とした。最高点は9である。

2) VPT課題

各試行で全て正しい位置を指差すことができれば通過とみなし、以下の2項目について評価した。(1) 課題全体で正答した試行の総数を得点とした。最高点は8である。(2) 正答した最大のマトリックスの黒いマス数を最大スパン数とした。最高点は9である。

3) Blocks課題

正しい順序で再生できれば通過とみなし、以下の2項目について評価した。(1) 課題全体で正答した試行の総数を得点とした。最高点は12である。(2) 通過した最大の系列の桁数を最大スパン数とした。最高点は7である。

さらに、WISC-IVの下位検査の一つである数唱課題のテスト得点を用いて、Blocks課題との比較検討を行った。Blocks課題のスパン(桁数)の構成は、数唱課題と同様にしているため、Blocks課題の得点から数唱課題と同様のテスト得点を算出した。

検定は、ピアソンの積率相関係数の算出、一元配置分散分析を行った。統計処理にはSPSS (IBM SPSS Statistics 20) を用いた。

Ⅲ. 結果

Table 2にPuzzle課題、VPT課題、Blocks課題の年齢ごとの得点の平均値と標準偏差(SD)を示した。どの課題も得点のばらつきがみられたが、いずれの得点も月齢との低い～中程度の正の相関がみられ(Puzzle課題 $r=.48$, $N=64$, $p<.001$; VPT課題 $r=.36$, $N=64$, $p<.01$; Blocks課題正順序 $r=.47$, $N=64$, $p<.001$; Blocks課題逆順序 $r=.42$, $N=64$, $p<.001$)、年齢が上がるにつれて得点はほぼ右上がりに上昇した。

分散分析により、課題の成績に対する年齢の効果を検討したところ、Puzzle課題の得点 ($F(2, 61) = 10.17$, $p<.001$)、VPT課題の得点 ($F(2, 61) = 6.10$, $p<.001$)、Blocks課題正順序の得点 ($F(2, 61) = 6.35$, $p<.01$)、Blocks課題逆順序の得点 ($F(2, 61) = 6.50$, $p<.01$) 全てにおいて年齢の主効果は有意であった。それぞれTukeyのHSD法による多重比較を行ったところ、Puzzle課題とVPT課題では5歳と7歳、6歳と7歳の間に5%水準で有意差が認められ、Blocks課題の全てにおいて5歳と7歳の間に1%水準で有意差が認められた。

Table 3にPuzzle課題、VPT課題、Blocks課題の年齢ごとの最大ピース数・最大スパン数の平均値と標準偏差(SD)を示した。いずれも月齢との低い～中程度の正の相関がみられた(Puzzle課題 $r=.43$, $N=64$, $p<.001$; VPT課題 $r=.54$, $N=64$, $p<.001$; Blocks課題正順序 $r=.38$, $N=64$, $p<.01$; Blocks課題逆順序 $r=.42$, $N=64$, $p<.001$)。分散分析により、課題の最大ピース数・最大スパン数に対する年齢の効果を検討したところ、Puzzle課題の得点 ($F(2, 61) = 9.47$, $p<.001$)、VPT課題の得点 ($F(2, 61) = 21.82$, $p<.001$)、Blocks課題正順序の得点 ($F(2, 61) = 3.25$, $p<.05$)、Blocks課題逆順序の得点 ($F(2, 61) = 6.24$, $p<.01$) 全てにおいて年齢の主効果は有意であった。それぞれTukeyのHSD法による多重比較を行ったところ、Puzzle課題とVPT課題では5歳と7歳、6歳と7歳の間に1%水準で有意差が認められ、Blocks課題の全てにおいて5歳と7歳の間に5%水準で有意差が認められた。

年齢ごとの標準的な最大ピース数、最大スパン数を算出するためTable 4に60%以上の対象児が通過した最大ピース数、最大スパン数を年齢ごとに示した。Puzzle課

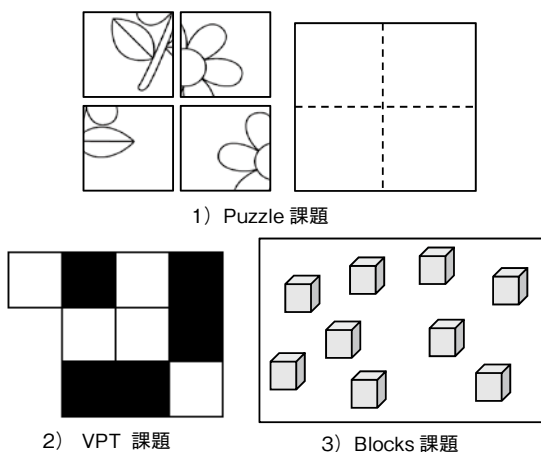


Figure 1 使用した視空間性ワーキングメモリ課題

題の最大ピース数は5・6・7歳全年齢とも6ピース、VPT課題の最大スパン数は5・6歳で4、7歳で5（8マス中4マス、10マス中5マスが黒く塗られている）、Blocks課題正順序の最大スパン数は5・6歳で4、7歳で5、Blocks課題逆順序の最大スパン数は5・6歳で3、7歳で5であった。

Blocks課題のスパン（桁数）の構成はWISC-IVの下位検査の一つである数唱課題と同様にしているため、数唱課題のテスト年齢ごとの粗点と本研究のBlocks課題の年齢ごとの得点を比較、検討した。WISC-IVの数唱課題のテスト年齢より、順唱の粗点は5歳で約5、6歳で約6、7歳で約7であり、逆唱の粗点は5歳で約4、6歳で約5、7歳で約6である（Wechsler, 2003）。これと、Table 2に示したBlocks課題の年齢ごとの得点を比較すると、数唱課題の順唱とBlocks課題の正順序はほぼ同様の得点推移を示していたが、一方、数唱課題の逆唱とBlocks課題の逆順序では、どの年齢でもBlocks課題の方がやや高い数値を示した。

課題間の関係を調べるため、年齢を制御変数にし、課題間の得点の偏相関を検討した。Puzzle課題とVPT課題の得点 ($r=.04$, $N=61$, n.s.), Blocks課題正順序の得点 ($r=-.06$, $N=61$, n.s.), 逆順序の得点 ($r=.15$, $N=61$, n.s.) には相関は殆どみられず、VPT課題とBlocks課題正順序の得点 ($r=.30$, $N=61$, $p<.05$), Blocks課題逆順序の得点 ($r=.36$, $N=61$, $p<.01$), Blocks課題の正順序と逆順序の得点 ($r=.36$, $p<.01$) には低い正の相関がみられた。

Table 2 各課題得点の平均値とSD

課題	5歳 (N=19)	6歳 (N=23)	7歳 (N=22)
	平均値	平均値	平均値
Puzzle課題 (0-10)	3.74	4.83	6.09
	1.59	1.83	1.57
VPT課題 (0-8)	2.68	2.96	3.68
	0.58	1.07	1.09
Blocks課題正 順序 (0-12)	5.32	6.39	7.09
	1.29	1.73	1.69
Blocks課題逆 順序 (0-12)	6.21	7.09	8.05
	1.32	1.78	1.70

Table 3 各課題の最大ピース数・最大スパン数の平均値とSD

課題	5歳 (N=19)	6歳 (N=23)	7歳 (N=22)
	平均値	平均値	平均値
Puzzle課題最大ピ ース数 (0-9)	5.21	5.43	7.00
	1.27	1.67	1.38
VPT課題最大スパ ン数 (0-9)	3.89	4.04	6.09
	0.46	1.26	1.57
Blocks課題正順序 最大スパン数 (0-7)	4.37	4.65	5.09
	0.90	0.98	0.87
Blocks課題逆順序 最大スパン数 (0-7)	3.42	4.04	4.55
	0.77	1.15	1.06

Table 4 各課題、年齢ごとの60%通過ピース数・スパン数

課題	5歳 (N=19)	6歳 (N=23)	7歳 (N=22)
Puzzle課題	6	6	6
VPT課題	4	4	5
Blocks課題正順序	4	4	5
Blocks課題逆順序	3	3	5

IV. 考察

幼児期から児童期の視空間性ワーキングメモリの発達の変化を検討するため、定型発達児を対象にPuzzle課題・VPT課題・Blocks課題の3種の個別課題を実施した。

3課題のそれぞれの得点と月齢、3課題それぞれの最大ピース数・最大スパン数と月齢に有意な相関がみられたことから、幼児期から児童期にかけて視空間性ワーキングメモリは明瞭な発達の変化がみられることが示唆された。また、いずれの課題においても7歳の得点は5歳の得点よりも有意に高かったことから、5歳から7歳の間で視空間性ワーキングメモリの発達に大きな変化が現れると考えられる。

ワーキングメモリの初期発達については、Gathercole et al. (2004)によれば、言語性ワーキングメモリも視空間性ワーキングメモリも4歳児ですでにある程度の課題を達成でき、その後年齢が長じるにつれてさらに得点の上昇がみられている。本研究でも、最低年齢である5歳の平均得点はPuzzle課題3.7、VPT課題2.7、Blocks課題正順序5.3、逆順序6.2であり (Table 2)、いずれの課題もある程度課題を達成できていると言える。従って、

本研究の結果は対象児の年齢の幅は異なるものの、本研究で対象とした5歳から7歳においては Gathercole et al. (2004) の研究と一致しており、これは5歳時点で視空間性ワーキングメモリの働きが存在することを示している。

WISC-IV 数唱課題と Blocks 課題の得点では、統計的検定はできないが、課題のスパン（桁数）の構成は WISC-IV 数唱課題と同様にテスト得点を算出することで比較を行った。数唱課題の順唱は、Gathercole et al. (2004) でも digit recall test として Blocks 課題正順序（この研究では block recall test）との得点の比較が行われている。数唱課題順唱と Blocks 課題正順序では差は殆どみられなかったが、数唱課題逆唱と Blocks 課題逆順序ではおよそ2点の差がみられた。従って、音声による提示と視覚による提示では心理的負荷が異なるものの幼児期から児童期のワーキングメモリは言語性ワーキングメモリよりも視空間性ワーキングメモリの方が若干優位であることが推測される。

Mammarella et al. (2008) が用いたモデルでは、Puzzle 課題は能動的な視空間性ワーキングメモリの課題であり、VPT 課題や Blocks 課題は受動的な視空間性ワーキングメモリ課題である。課題間の相関からも、この3課題の測定している要素が異なり、Puzzle 課題は VPT 課題・Blocks 課題と性質が異なっていることが推測される。Puzzle 課題と VPT 課題・Blocks 課題には殆ど相関がみられず、VPT 課題と Blocks 課題正順序・逆順序には低い正の相関がみられたことから、本研究が対象とした5歳から7歳の幼児期から児童期初期の視空間性ワーキングメモリは、能動的なワーキングメモリと受動的なワーキングメモリ、つまり主に処理に係るワーキングメモリと主に保持に係るワーキングメモリと要素が明確に分かれていると考えられる。一方、VPT 課題と Blocks 課題正順序・逆順序の相関の結果から、幼児期から児童期初期の視空間性ワーキングメモリは、同時—空間ワーキングメモリと継時—空間ワーキングメモリという要素に明確には分かれていないと考えられる。VPT 課題と Blocks 課題は、同時的と継時的で異なるが、どちらも受動的な空間性のワーキングメモリ課題であり、位置を記憶し指差して回答するという点で共通している。低年齢の場合には一度に記憶できる容量が少なく、同時と継時の時間的

な差が大きくないために、その明確な差が現れなかったのだろう。

総じて、幼児期・児童期の定型発達児の視空間性ワーキングメモリの発達に関して、本研究では Puzzle 課題、VPT 課題、Blocks 課題が5歳から7歳まで年齢の増加とともに得点が上昇し、明瞭な発達の変化を示すことが明らかとなった。特に就学前である5歳と就学後である7歳の間で視空間性ワーキングメモリの発達に大きな変化が現れることが示唆された。また、幼児期から児童期初期では言語性ワーキングメモリよりも視空間性ワーキングメモリの優位性の傾向があり、視空間性ワーキングメモリ内でも課題特性による差がみられた。幼児期から児童期初期の視空間性ワーキングメモリは、能動的なワーキングメモリと受動的なワーキングメモリとで要素が明確に分化しているが、同時—空間ワーキングメモリと継時—空間ワーキングメモリは明確には分かれていないことが示唆された。

引用文献

- Alloway, T. P., Gathercole, S. E. & Pickering, S. J. "Verbal and Visuospatial Short-Term and Working Memory in Children : Are They Separable?." *Child Development*, 77 (6), 2006, 1698-1716.
- Baddeley, A.D. *Working memory*. New York: Oxford University Press, 1986, 47-90.
- Baddeley, A.D. The episodic buffer: a new component of working memory? *Trends in Cognitive Sciences*, 4, 2000, 417-423.
- Baddeley, A.D. & Hitch, G. J. Working memory. In *The Psychology of Learning and Motivation*. (Bower, G.A., ed.), 1974, 47-89.
- Corsi, P. M. Human memory and the medial temporal region of the brain. *Dissertation Abstracts International*, 34, 1972, 891B. (University Microfilms No. AA105-77717).
- Della Sala, S., Gray, C., Baddeley, A. D., & Wilson, L. Visual pattern test. Bury St Edmunds: Thames Valley Test Company. 1997
- Gathercole, S. E., Pickering, S. J., Ambridge, B., & Wearing, H. The structure of working memory from 4 to 15 years of

- age. *Developmental Psychology*, 40 (2), 2004, 177.
- Logie, R. H. Visuo-spatial working memory. Hove: LEA. 1995
- Mammarella, I. C., Pazzaglia, F., & Cornoldi, C. Evidence for different components in children's visuospatial working memory. *British Journal of Developmental Psychology*, 26 (3), 2008, 337-355.
- 文部科学省 小・中学校におけるLD (学習障害), ADHD (注意欠陥/多動性障害), 高機能自閉症の児童生徒への教育支援体制の整備のためのガイドライン (試案). 2004.
- http://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/tokubetu/material/1298152.htm
- 文部科学省特別支援教育の在り方に関する特別委員会 (第3回) 配付資料3 合理的配慮について. 2010.
- Siegel, L. S. Working memory and reading: A life-span perspective. *International Journal of Behavioral Development*, 17 (1), 1994, 109-124.
- Vecchi, T., & Richardson, J. T. E. Active processing in visuo-spatial working memory. *Cahiers de Psychologie Cognitive*, 19, 2000, 3-32.
- Wechsler, D. Wechsler Intelligence Scale for Children-Forth Edition. NCS Pearson Inc., USA. 2003. (日本版WISC-IV刊行委員会 (2010). 日本版WISC-IV知能検査. 日本文化科学社).

Fundamental Study of Visuospatial Working Memory Development in Typically Developing Children in Infancy and Elementary-school Age

Aki DOYAMA* · Soichi HASHIMOTO** · Akiko HAYASHI** · Sakiko NEMOTO***

We investigated the development of visuospatial working memory using the Jigsaw Puzzle task (Puzzle), the Visual Pattern test (VPT), and the Corsi Blocks test (Blocks). Puzzle measures active visuospatial working memory, VPT measures passive simultaneous-spatial working memory, and Blocks measures passive sequential-spatial working memory. The present study examined 64 typically developing children (32 boys, 32 girls) who were 5–7 years old (avg. 6.5 years). For each task, the number of passed trials and the maximum span score were evaluated. Results reveal that visuospatial working memory shows marked developmental changes from 5–7 years of age. Furthermore, during 5–7 years of age, visuospatial working memory is divisible into active and passive factors, but it cannot be divided into simultaneous and sequential factors.

Key words

visuospatial working memory, active visuospatial working memory, passive visuospatial working memory, developmental changes

*Doctoral Course The United Graduate School of Education
Tokyo Gakugei University

**Center for the Research and Support of Educational Practice

***Donguri Clinic

幼児期・児童期の定型発達児における視空間性 ワーキングメモリの発達に関する基礎的研究

堂山 亜希*・橋本 創一**・林 安紀子**・根本 彩紀子***

私たちは、Jigsaw Puzzle task, Visual Pattern test, Corsi Blocks test を使用して、視空間性ワーキングメモリの発達の変化を調査した。Mammarella, et al. (2008) によると、the Jigsaw Puzzle task は、能動的な視空間性ワーキングメモリを、Visual Pattern test は受動的な同時一空間性ワーキングメモリを、Corsi Blocks test は受動的な継時一空間性ワーキングメモリを測定する。対象は、5～7歳の64名の定型発達児（男児32名、女児32名、平均年齢6.5歳）である。それぞれの課題で、課題全体で正答した試行の総数と最大スパン数を評価した。その結果、視空間性ワーキングメモリは5歳から7歳で明確な発達的な変化がみられた。また、5歳から7歳の視空間性ワーキングメモリは、能動的なワーキングメモリと受動的なワーキングメモリとで要素を分けることができる

が、同時と継時の要素には分けられないということが示唆された。

Key words

視空間性ワーキングメモリ, 能動的視空間性ワーキングメモリ, 受動的視空間性ワーキングメモリ, 発達的变化

*東京学芸大学大学院連合学校教育学研究科

**東京学芸大学教育実践研究支援センター

***どんぐり発達クリニック