

空間性ワーキングメモリのスパンテストにおける処理効率の影響 － 2次元刺激と3次元刺激の比較－

The Effects of Processing Efficiency on a Span Test of Spatial Working Memory: A Comparison between 2D and 3D Stimuli

(2020年3月31日受理)

小阪 芙由美 國田 祥子
Fuyumi Kosaka Shoko Kunita

Key words : ワーキングメモリ, 空間性ワーキングメモリ, スパンテスト, 処理効率

要 約

ワーキングメモリ容量を測定するスパンテストにおいて、処理効率はスパン得点に影響しないと言われている。しかしBaylissら(2003)や前原(2007)のデータを見ると、処理効率がスパン得点に及ぼす影響を明確に否定することはできない。処理効率がスパン得点に影響を及ぼすなら、ワーキングメモリ研究はこの点を考慮する必要があるのではないだろうか。本研究では、空間性スパンテストにおいて処理効率がスパン得点に及ぼす影響を検討する。

大学生44名を対象に、2次元図形もしくは3次元図形の心的回転課題を処理課題とする空間性スパンテストを行った。その結果、3次元図形を用いた場合のみ、処理課題得点とスパン得点の間に有意な正の相関が見られた。これは、処理速度の影響を除外した偏相関においても同様だった。

以上の結果から、処理課題の難易度によって、処理効率のスパン得点に対する影響は異なることが示唆された。ワーキングメモリ容量の影響について検討する際は、スパンテストで用いられる処理課題について慎重に吟味し、スパン得点への影響について確認しておくことが望ましいのではないだろうか。

問 題 と 目 的

1. 問題

近年、ワーキングメモリという言葉が教育現場でよく聞かれるようになった。ワーキングメモリとは、情報を一時的に保持しながら処理する記憶システムのことであり、たとえば文章を読む時、読んだ文の内容を保持しながら次の文を読む、といった際などに用いられると考えられている。ワーキングメモリについての理論を提唱したBaddeley(2007 井関・齊藤・河崎訳 2012)は、視空間情報の保持と処理を行う視空間スケッチパッド、聴覚情報の保持と処理を行う音韻ループ、これらの情報を統合的に処理するエピソード・バッファ、必要な処理資源をコントロールする中央実行系の4つのサブシステムを

想定している。この処理資源の量、すなわちワーキングメモリ容量には個人差があることが知られており、一般的に、スパンテストと呼ばれる記銘と処理を同時に行わせるテストによって測定される。

たとえば前原(2007)は、空間性の処理課題と記銘項目、言語性の処理課題と記銘項目を組み合わせたスパンテストを用い、ワーキングメモリの領域固有性について調べた研究である。彼は測定されたスパン得点、すなわち記銘項目の正再生数と高次認知課題得点の関係から、ワーキングメモリには領域固有性があること、つまり視空間性ワーキングメモリ容量と言語性ワーキングメモリ容量が独立したものであることを指摘している。

前述したように、スパンテストとは記銘と処理を同時に行わせる課題であり、その得点は一般的に、記銘項目

をどの程度記録できていたかによって算出される。では、スパン得点は同時課題として行われる処理課題の難易度や、そこで要求される処理過程によって影響されることはないのだろうか。

2. 処理効率とスパン得点の関係

Bayliss, Jarrold, Gunn, & Baddeley(2003)は、処理課題の影響を示す指標としてその反応時間を取り上げ、処理速度がスパン得点に与える影響について、視空間性の処理課題と記銘項目、言語性の処理課題と記銘項目を組み合わせたスパンテストを用いて検討した研究である。彼女らは、小学生と成人を対象に実験を行い、小学生では言語性処理課題を課した際に処理効率がスパン得点を有意に説明する変数となったものの、成人では明確な関係が見られなかったと報告している。しかし、Baylissら(2003)の示すデータを見たところ、成人においても、言語性処理課題を課した際、分析の手順によっては処理効率がスパン得点を有意に説明する変数となっており、その回数は4回中2回と決して少なくはなかった。分析の手順によっては見られなかったとはいえ、このデータに基づいて、スパン得点に及ぼす処理課題の影響を明確に否定することはできないのではないだろうか。

また、前述した前原(2007)もスパン得点と処理速度、処理課題得点の関係についてデータを示している。彼のデータを見てみると、言語性処理課題と言語性記銘項目を組み合わせたスパンテストにおいて、スパン得点と処理課題得点の間に有意な正の相関が見られていた。しかし、前原(2007)はワーキングメモリの領域固有性について検討したものであり、この点については言及されていない。

3. 本研究の目的

以上のことから、処理課題得点や処理速度といった処理効率がスパン得点に与える影響について、明確になっているとは言い難いだろう。しかし一方で、多くのワーキングメモリ研究ではスパン得点に及ぼす処理効率の影響は特に考慮されておらず、処理課題について検討することはおろか、処理効率の影響を除くような統計処理がなされることもほとんどない。

たとえば畠岡・中條(2013)は、手続き的説明文の読解

方略と言語性および空間性ワーキングメモリの関係について検討しているが、各スパンテストにおける処理課題得点や処理速度については言及されていない。また渡辺・湯澤・水口(2014)は、小学生を対象に算数の作問における言語性、視空間性ワーキングメモリの役割について調べた研究だが、こちらでも各スパンテストにおける処理課題得点や処理速度への言及は見られない。もしも処理効率がスパン得点に影響を及ぼす可能性があるなら、ワーキングメモリ容量の影響について検討する際、この点についても考慮する必要があるのではないだろうか。

Baylissら(2003)や前原(2007)においては、言語性処理課題を用いた際にスパン得点への影響が見られていた。では、空間性処理課題の処理効率はスパン得点に影響しないのだろうか。この点について検討するため、本研究では2次元の幾何学図形と3次元の幾何学図形を用い、同一の手続きによる心的回転課題を処理課題とする空間性スパンテストを行う。処理課題で用いる刺激を変えることで、空間性処理課題の処理効率がスパン得点に及ぼす影響が異なるか否かを検討する。

方 法

1. 実験参加者

大学生44名(平均年齢19.09±1.49歳)が実験に参加した。

2. 刺激

処理課題の刺激として、2次元図形と3次元図形の2種類を用意した。2次元図形としては、Maehara & Saito(2007)と同じものを用い、2つの図形をPC画面の左右に呈示した。一方の図形は、もう一方の図形から0度、90度、180度、または270度回転していた(図1)。3次元図形としては、Ganis & Kievit(2015)の作成したものを用い、2次元図形と同様、2つの図形をPC画面の左右に呈示した。一方の図形は、もう一方の図形から0度、50度、100度、または150度回転していた(図2)。

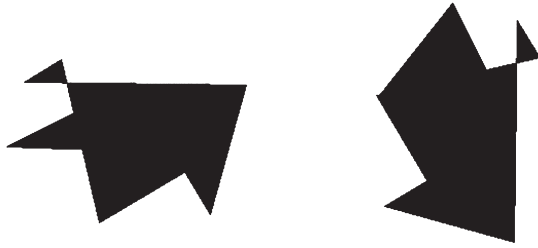


図 1. 処理課題で用いた 2 次元図形刺激 (例)
(Maehara & Saito, 2007)

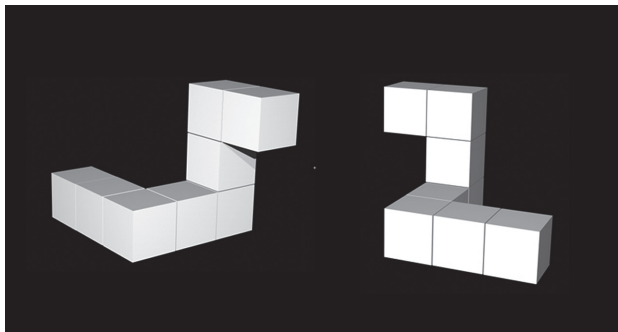


図 2. 処理課題で用いた 3 次元図形刺激 (例)
(Ganis & Kievit, 2015)

3. 空間性スパンテスト

2つの空間性スパンテストは、処理課題で用いた刺激が異なることを除けば、全く同じ手続きで行った。課題は畠岡・中條(2013)を参考に、処理課題として図形異同判断課題を、記銘項目として4×4のマトリックスの中に1つの黒丸が呈示されるドット・イン・マトリックスを用いた。図形異同判断課題は、PC画面の左右に同時に2つの図形を呈示し、それらが同じ図形であるか否かをできるだけ速かつ正確に判断し、口頭で解答すると同時にマウスをクリックするよう求めた。2つの図形が異なる図形の場合、一方の図形の1か所だけが変形した形状の類似した図形が呈示された。1つの図形異同判断課題に解答してから50ms後、1つの記銘項目が900ms呈示された。記銘項目は、ドット・イン・マトリックスのドット(黒丸)の位置を覚えるものであった。1つの図形異同判断課題と1つの空間性記銘項目を1ユニットとし、1リスト中のユニット数(セットサイズ)は2-5であった。1リストの呈示が終わった後、記銘項目として呈示された黒丸の位置を解答用紙に記入した。解答時間は、セットサイズ2で10秒、セットサイズ3で15秒、セットサイズ4で20秒、セットサイズ5で25秒とした。課題は各リスト3試行ずつ、

計12試行で構成されていた。空間性スパンテスト得点として、正しく解答できた記銘項目数の合計値を算出した。得点範囲は0-42点であった。

4. 手続き・器具

1人の実験参加者が、2つの空間性スパンテストの両方に参加した。課題の実施順はカウンターバランスを取った。

刺激の呈示にPCおよびMicrosoft PowerPointを、処理課題の反応時間(処理速度)の測定にストップウォッチを用いた。

結 果

途中辞退者および実験内容に不備があった者の計8名を除き、36名分を有効データとした。

1. スパン得点

2つの空間性スパンテストで測定されたスパン得点を比較し、 t 検定を行った(図3)。その結果、両者の間に有意な差は見られなかった($t(35) = -1.14, n.s.$)。

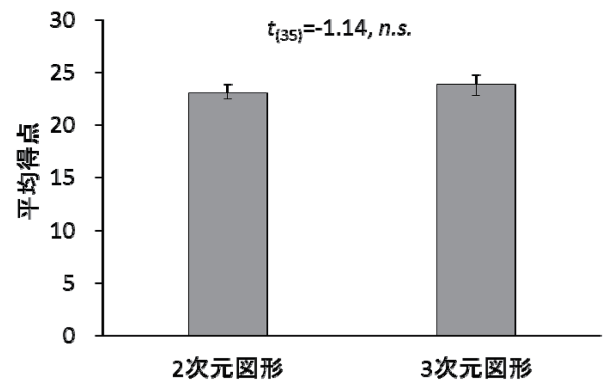


図 3. スパン得点

※エラーバーは標準誤差を示す。

2. 処理課題得点および処理速度

各スパンテストにおける処理課題得点を比較し、 t 検定を行った(図4)。その結果、2次元図形を刺激として用いた処理課題の得点が、3次元図形を刺激として用いた処理課題の得点よりも有意に高くなっていた($t(35) = 6.99, p < .001$)。

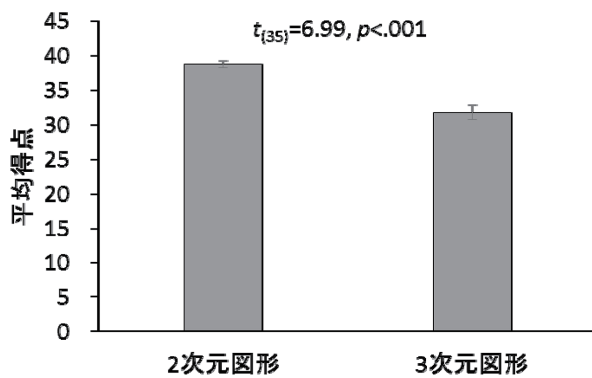


図4. 処理課題得点

※エラーバーは標準誤差を示す。

次に、各スパンテストにおける処理速度を比較し、 t 検定を行った(図5)。その結果、2次元図形を刺激として用いた処理課題の反応時間が、3次元図形を刺激として用いた処理課題の反応時間よりも有意に短くなっていた($t(35) = -4.86, p < .001$)。

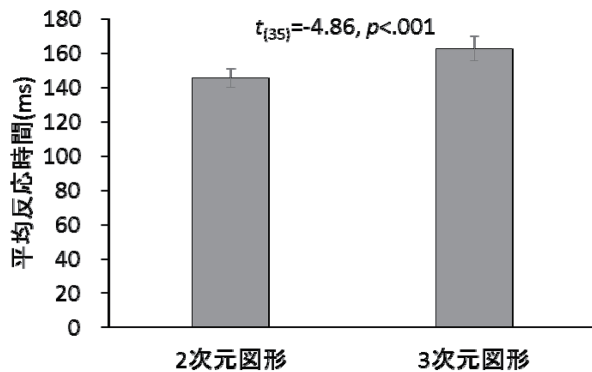


図5. 処理速度

※エラーバーは標準誤差を示す。

3. 各指標間の相関

2つの空間性スパンテストそれぞれにおける処理課題

得点、処理速度およびスパン得点について、相関係数を算出した(表1)。その結果、2つの空間性スパンテストにおけるスパン得点間($r = .62, p < .001$)、処理課題得点間($r = .41, p < .05$)、処理速度間($r = .88, p < .001$)で、いずれも有意な正の相関が見られた。また、いずれのスパンテストにおいても、処理課題得点と処理速度の間に有意な正の相関が見られた(2次元図形: $r = .41, p < .05$, 3次元図形: $r = .40, p < .05$)。さらに、3次元図形を処理課題の刺激として用いたスパンテストでのみ、処理課題得点とスパン得点の間に有意な正の相関が見られた($r = .45, p < .01$)。

次に、処理速度が処理課題得点およびスパン得点に与える影響を除外するため、処理速度の影響を除外した処理課題得点とスパン得点の偏相関係数を、スパンテストごとに算出した。その結果、2次元図形を刺激として用いたスパンテストでは $r = .141(n.s.)$ 、3次元図形を刺激として用いたスパンテストでは $r = .43(p < .01)$ となり、3次元図形を処理課題の刺激として用いたスパンテストでのみ、有意な正の相関が見られた。

考 察

1. スパン得点

処理課題の刺激として2次元図形、3次元図形のいずれを用いても、平均スパン得点に差はなかった。また、両者の間には有意な正の相関が見られた。本研究では、全ての実験参加者が両方のスパンテストに参加しており、2つのスパン得点は同一サンプルの空間性ワーキングメモリ容量を示すことになる。両者の間に差がなく、また有意な正の相関が見られたことは、本研究で用いた空間性スパンテストが、空間性ワーキングメモリ容量を測定

表1. 各指標間の相関係数 (n=36)

	1	2	3	4	5	6
1. スパン得点	-	0.18	0.13	0.62****	0.44**	0.19
2次元図形 2. 処理課題得点		-	0.41*	0.15	0.41*	0.41*
3. 処理速度			-	0.15	0.32	0.88****
4. スパン得点				-	0.45**	0.15
3次元図形 5. 処理課題得点					-	0.40*
6. 処理速度						-

* $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .005$, **** $p < .001$

するものとして適切であったことを示唆していると言えるだろう。

2. 処理課題得点と処理速度

処理課題の得点は、刺激として2次元図形を用いた場合の方が、3次元図形を用いた場合よりも高かった。本研究で処理課題として用いた図形異同判断課題は、実験参加者に心的回転を要求するものである。2次元図形の心的回転は2つの次元の情報を処理するだけで可能となるが、3次元図形の心的回転は3つの次元の情報を同時に処理する必要がある。回転角度は3次元図形の方が2次元図形よりも小さかったが、処理すべき次元の多さが難易度を高めたため、このような得点差が見られたのではないだろうか。処理速度においても、刺激として2次元図形を用いた場合の方が3次元図形を用いた場合よりも短くなっており、このことから、3次元図形の心的回転が2次元図形のそれよりも困難であることが示唆された。

また、いずれのスパンテストにおいても、処理課題得点と処理速度の間に有意な正の相関が見られた。すなわち、得点が高い実験参加者ほど処理速度が遅かった。得点が高い実験参加者は、より慎重に図形異同判断を行っていたのではないだろうか。

さらに、処理課題得点と処理速度のいずれにおいても、2次元図形を用いた課題と3次元図形を用いた課題の間に有意な正の相関が見られた。2つの処理課題は、刺激以外は同一の課題であり、遂行のために必要となる処理過程もまた同様と考えられる。そのため、両者の間に正の相関が見られたのだろう。

3. スパン得点と処理効率の関係

スパン得点と処理効率の関係については、3次元図形を処理課題の刺激として用いた場合のみ、スパン得点と処理課題得点の間に正の相関が見られた。またこれについては、処理速度の影響を除外しても変わらなかった。このことから、3次元図形の心的回転を処理課題とした場合、その処理効率がスパン得点に影響する可能性が示唆された。2次元図形を用いた場合にはこうした関係は見られなかったことから、処理課題の難易度によって、処理効率のスパン得点に対する影響が異なっていたのではないだろうか。

言語性処理課題を用いた場合だけでなく、空間性処理課題を用いた場合においても、処理効率がスパン得点に影響を及ぼしていた。処理効率がワーキングメモリ容量に影響しないことを前提として実験パラダイムを考えるならば、スパンテストで用いられる処理課題についても慎重に吟味し、本当にその課題の処理効率がスパン得点に影響していないか、確認しておくことが望ましいと考えられる。

なお、2次元図形を処理課題の刺激として用いた際のスパン得点と3次元図形を処理課題の刺激として用いた際の処理課題得点の間、2次元図形を処理課題の刺激として用いた際の処理課題得点と3次元図形を処理課題の刺激として用いた際の処理速度の間にも、有意な正の相関が見られた。これらの相関については、2つの空間性スパンテストにおけるスパン得点間、処理課題得点間、処理速度間で正の相関が見られたことによる、疑似相関と考えられる。

引用文献

- Baddeley, A. (2007). *Working memory, Thought, and Action*. 1st ed. Oxford University Press.
- (バドリー A. 井関龍太・齊藤 智・川崎恵里子 (訳) (2012). ワーキングメモリ —思考と行為の心理学的基盤— 誠信書房)
- Bayliss, D. M., Jarrold, C., Gunn, D. M., & Baddeley, A. D. (2003). The complexities of complex span: Explaining individual differences in working memory in children and adults. *Journal of Experimental Psychology: General*, 132, 71-92.
- Ganis, G. & Kievit, R. (2015). A new set of three-dimensional shapes for investigating mental rotation processes: Validation data and stimulus set. *Journal of Open Psychology Data*, 3: e3.
- 畠岡 優・中條和光 (2013). 手続き的説明文の読解方略の使用と作動記憶の関係 日本教育工学会論文誌, 36, 339-350.
- 前原由喜夫 (2007). 高次認知能力と作動記憶容量の個人差に関する検討 —言語性および視空間性認知課

題を用いて— 京都大学大学院教育学研究科紀要,
53, 366-378.

Maehara, Y. & Saito, S. (2007). The relationship
between processing and storage in working
memory span: Not two sides of the same coin.
Journal of Memory and Language, 56, 212-228.

渡辺大介・湯澤正通・水口啓吾 (2014) 小学生による算
数作問におけるワーキングメモリの役割 発達心理
学研究, 25, 87-94.