

令和元年6月12日現在

機関番号：13201

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2014～2018

課題番号：26705010

研究課題名(和文) 視覚とワーキングメモリの容量制約に関する認知神経科学的研究

研究課題名(英文) Capacity limits to representing objects still within view

研究代表者

坪見 博之 (Tsubomi, Hiroyuki)

富山大学・人文学部・准教授

研究者番号：70447986

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 17,800,000円

研究成果の概要(和文)：視覚において、「目の前に存在する物体」を表象するための顕在的な知覚と、「消え去った物体」を保持するためのワーキングメモリには、共通した容量制約が見られる(Tsubomi, et al., 2013, J. Neurosci)。本研究では、容量制約が引き起こされる心的・脳機序について、心理学実験と脳波実験を通じて検討した。その結果、(1)目の前に存在する物体に対しては、マスクに弱い心的表象と強い心的表象の二種類が存在し、マスクに強い表象がワーキングメモリと同様の容量制約を示すことを見出した。また、(2)ワーキングメモリの表象は、課題目標が達せられると1秒以内に自然と忘却されることを見出した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

私たちは視野の隅々まではっきり見えているという直感を抱くが、実際には、意識的に扱うことのできる対象や一時的に記憶(ワーキングメモリ)操作できる対象は空間的にも時間的にも極めて限られている。本研究では、この容量制約の心的・脳機序について検討した。このような認知機能の基礎メカニズムを検討することは、視覚意識の解明につながる手がかりとなることが期待される。

研究成果の概要(英文)：The capacity of visual working memory is limited to representing three simple objects that no longer exist in the external environment. Interestingly, we previously found that this severe capacity limit also applies to representing objects that remained visible (Tsubomi, Fukuda, Watanabe, & Vogel, 2013). Here, we further found that only a few object worth of visual information can be maintained robustly against the interference at a given moment regardless of whether the objects are present or not. Meanwhile, there is another type of large-capacity visual representations that are vulnerable to interference and decay over time after the objects disappear. In addition, we also found that the capacity-limited representations are completely removed within 1 second after its use without necessitating the encoding of new visual input when they are deemed no-longer necessary.

研究分野：認知神経科学

キーワード：ワーキングメモリ 意識 忘却 マスキング 脳波

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

### 1. 研究開始当初の背景

私たちは視野の隅々まではっきり見えていると感じる。しかしこの直感に反して、顕在的な視覚は、「知覚」と「記憶」の二つの段階で厳しい処理容量の制約を受けている。知覚については、膨大な感覚入力から一度に注意を向け顕在知覚できる数に制約があると言われる (Rensink, 2000, *Vis. Cogn*)。記憶については、対象が目の前から消えた後には、少数の物体しかワーキングメモリに記憶することはできないと報告されている (Luck & Vogel, 1997, *Nature*)。このような容量制約は、私たちの「はっきり見えている」という直感に反するばかりでなく、広範囲での認知遂行のボトルネックとなっているため、認知心理学・神経科学における主要トピックとして扱われてきた。しかし「注意選択による顕在知覚は、あくまで目の前に存在する物体に関する入力（エンコーディング）の問題」であり、「ワーキングメモリは消え去った情報を保持する記憶の問題」として別々に扱われており、二つの制約を包括的に説明するモデルは提案されてこなかった。

この問題を背景に、研究代表者（坪見）はこれまでの研究で、「顕在的な知覚」と「ワーキングメモリ」の容量は、心的にも、容量制約を引き起こす脳機序としても非常に類似していることを見出した (Tsubomi et al., 2013, *J. Neurosci*)。このことは、「注意選択による顕在知覚」と「ワーキングメモリ」における容量制約を包括的に説明するモデルが必要なことを強く示しており、国際的にも進展が期待されるテーマである (Luck & Vogel, 2013, *Trends Cogn Sci*; Schneider, 2013, *Proc. R. Soc. B*)。

### 2. 研究の目的

このような背景の下、本研究では、顕在知覚とワーキングメモリの容量制約を引き起こす心的・脳機序を明らかにすることを目的とした。具体的には下記の二つのテーマについて研究を進めた。

【研究1】顕在的な知覚やワーキングメモリの容量が三個程度の物体に限られるメカニズムを明らかにし、それにも関わらず、なぜ視野全体が見えている直感が生じるのかを解明する。

【研究2】顕在知覚やワーキングメモリに厳しい容量制約があるなら、目標行動に向け不必要となった情報は速やかに消去される必要があると考えられる。この観点から、知覚表象やワーキングメモリ表象がもはや不必要になったときに、どのように消去されるのか、特に脳活動の変化をトラックしながら過程を調べる。

### 3. 研究の方法

研究1と2の両方において、それぞれ20-30人程度の参加者を対象に、10程度の実験を行った。以下では主要な実験の方法と成果を示す。実験は研究代表者が富山大学で実施するとともに、カナダのトロント大学 (Keisuke Fukuda)、米国オレゴン大学 (Atsushi Kikumoto, Ulrich Mayr)、米国シカゴ大学 (Edward Vogel) と共同研究として進めた。

(研究1) 研究代表者が行ってきた予備実験から、目の前に存在する物体を観察する際には、マスクに弱い心的表象と強い心的表象の二種類が形成され、マスクに強い心的表象に容量制約が見られるという知見を得た。この仮説をさらに検討するため図1の実験を行った。参加者は Sample 画面で提示される色四角形を観察し、遅延後 (A) か直後 (B) に提示されるテストの二肢について、どちらの色がその場所にあったかをボタン押しによって報告した。C では、テストが現れる前に●の手がかりが提示され、D では色パッチ (マスク) が提示された。

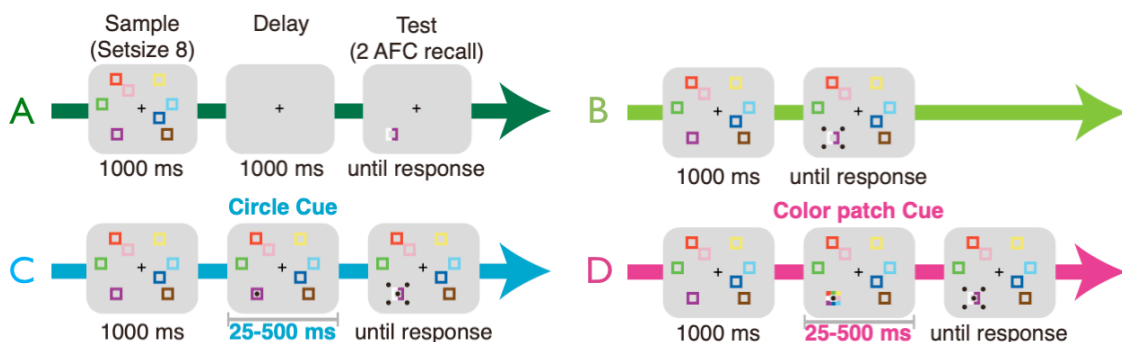


図1 研究1における主要実験の刺激提示図

(研究2) 図2の典型的なワーキングメモリ課題を用いた。参加者は手がかり方向 (左・右) の色四角形をできるだけ多く記憶し (A では1個、B・C では4個)、テストで提示される四角

形の色がサンプル四角形の色と「同じか・違うか」をボタン押しによって報告した（例では「違う」が正解）。このときの脳神経活動を脳波計によって測定した。

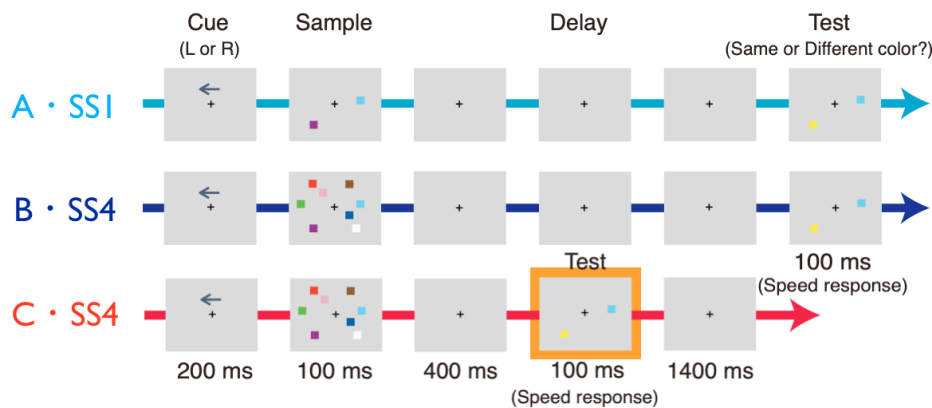


図 2・研究 2 における主要実験の刺激提示図

#### 4. 研究成果

(研究 1) 図 1 における A のような典型的なワーキングメモリ課題でも、遅延期間を取り扱った B の課題でも、右図 3 のように、報告可能な容量は 3 個程度に留まっており、同じ個人であれば類似した容量が観察された。さらに、図 1 C のようにテストが提示される前に手がかりが提示されれば容量は増大するが、D のように手がかりがマスク刺激である場合には容量は 2 個程度に留まっており、このときの容量の個人差は A 条件で測定したワーキングメモリ容量と相関が高かった。

このことから、目の前に存在する物体を観察・知覚する際には、マスクに弱い表象 (C) と強い表象 (D) の二種類が形成され、マスクに強い表象がワーキングメモリ容量と共通した容量制約を受けるという知見を得た。このことは、容量制約はワーキングメモリという「記憶」に特有な現象ではなく、視覚全般に渡って共通した性質であることを示しており、視覚研究における新たなモデルとして提案できると考えられる。

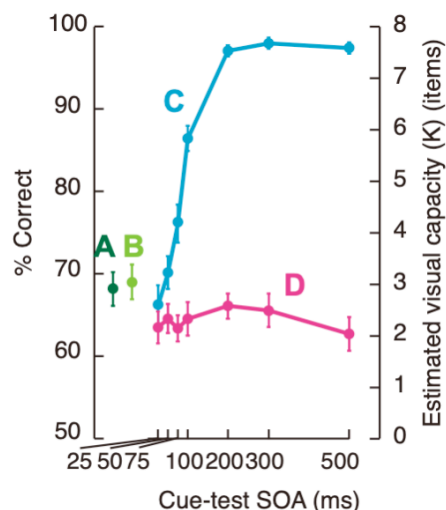


図 3・研究 1 における主要実験の結果

(研究 2) 下図 4 は、Sample 画面にタイムロックした脳波の変化を示す。脳波は後頭葉チャンネルの平均波形である。参加者が記憶する色四角形の数が増えると (A と比した B)、遅延期間中に観察される持続性の脳活動 (Contralateral delay activity, 以下 CDA, Vogel & Machizawa, 2004, *Nature*) の振幅強度が高くなった。さらに、参加者がテストに答えた後の CDA をトラックし続けると (C)、テストを終えて 500 ms が経過した辺りから、CDA の振幅が徐々に減少することを見出した。このことから、ワーキングメモリ表象は、課題のゴールが達成されると 1 秒以内に自然と消去されると考えられる。その後に行った心理学実験もこの知見を支持しており、テストの 1 秒後に、先程答えた色四角形について聞いた場合でも、ほとんど答えることはできなかった。これらの知見を組み合わせると、脳活動としても心理学的表象としても、ワーキングメモリはまさに目的志向の一時的な記憶であるという知見を得ることができた。

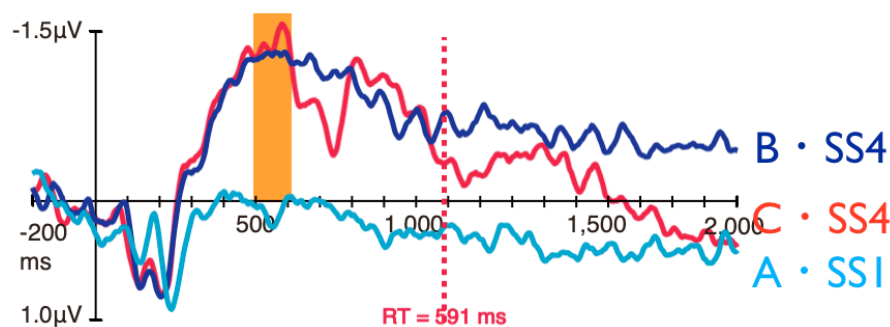


図 4 研究 2 における主要実験の結果

以上の二つのテーマについては、補足実験も含めてそれぞれ10程度の実験を行っており、説得力の高い心理学的・神経科学的説明モデルを構築することができたと考えられる。研究1では、「なぜ容量制約が生じるのか、またそれにも関わらず、視野内のすべてが見えていると感じるのはなぜか」という視覚研究の根本的なテーマに迫る知見が提案できたと考えられる。研究2では、ワーキングメモリ表象は、目標行動に向けて一時的に形成されると理論上は考えられてきたが、実際のデータによって確認されたことはなかった。本研究では、行動目的に沿ってワーキングメモリ表象が形成され、さらに目的が達せられると消去されるという一連の過程をはっきりと示すことができたため、ワーキングメモリ研究の根本的なテーマに関する知見を提案できたと考えられる。また、いずれの研究についても実験を重ね、繰り返し効果を観察することで再現性の確保にも努めた。

これらの成果に加え、ワーキングメモリトレーニングが可能であるかについても、国内外の議論をまとめ、現在考えられている方法では非常に可能性が低いことを見出し、論文発表や学会発表を行った。トレーニングについては当初の計画の想定外であったが、研究1・2を進めるうちに知見を集めることができたことと、社会的にも関心の高いテーマについて専門的な知見を紹介する必要があると考えられたことから進めた。このような成果は、ワーキングメモリや容量制約の特性について包括的に理解することにつながると考えられ、新たな研究テーマにつながる着想を得ることができた。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕（計 4 件）

- ① 坪見博之・齊藤智・苧阪満里子・苧阪直行（印刷中）ワーキングメモリトレーニングと流動性知能—展開と制約—。心理学研究, 90.（査読あり）
- ② 坪見博之（2017）ワーキングメモリと注意, *Clinical Neuroscience*, 35, 927-929.（査読なし）
- ③ Minamoto, T., Tsubomi, H., & Osaka, N. (2017) Neural mechanisms of individual differences in working memory capacity: Observations from functional neuroimaging studies. *Current Directions in Psychological Science*, 26, 335-345. doi: 10.1177/0963721417698800（査読あり）
- ④ Tsubomi, H., & Watanabe, K. (2017) Development of visual working memory and distractor resistance in relation to academic performance. *Journal of Experimental Child Psychology*, 154, 98-112. doi: 10.1016/j.jecp.2016.10.005.（査読あり）

〔学会発表〕（計 16 件）

- ① 坪見博之（2019）Forgetting no-longer necessary information from visual working memory after task completion. 日本認知心理学会（シンポジウム・Cognitive Control in Context）, 京都テルサ.
- ② 坪見博之（2018）ワーキングメモリトレーニングと流動性知能. 日本心理学会（シンポジウム・ワーキングメモリと実行機能の可塑性）, 仙台国際センター.
- ③ Tsubomi, H., Fukuda, K., Kikumoto, A., Mayr, U., & Vogel, E. K. (2018) Removal of no-longer necessary items from visual working memory after task accomplishment. 59th Annual Meeting of the Psychonomic Society, Louisiana, USA.
- ④ 坪見博之（2017）注意と視覚性ワーキングメモリの容量制約. 日本心理学会（シンポジウム・注意）, 久留米シティプラザ.
- ⑤ Tsubomi, H., Fukuda, K., & Vogel, E. K. (2017) Protection against interference limits visual capacity to three items independent of retention interval. Vision Science Society Annual meeting, St. Pete Beach, Florida, USA.
- ⑥ Tsubomi, H. (2016) Efficiency of selecting and excluding visual working memory representations depends on the stage of selection. 31st International Congress of Psychology (In Symposium "Current directions of working memory research based on individual differences"), Yokohama, Japan.
- ⑦ Tsubomi, H., Fukuda, K., Kikumoto, A., & Vogel, E. K. (2016) Electrophysiology reveals different mechanisms of attentional filtering during visual working memory encoding and retention. Vision Science Society Annual meeting, St. Pete Beach, Florida, USA.
- ⑧ 坪見博之（2015）感覚記憶の持続時間推定に手がかりの数が与える影響. 日本基礎心理学会, 大阪樟蔭女子大学.
- ⑨ Tsubomi, H., Fukuda, K., Kikumoto, A., & Vogel, E. K. (2015) Forgetting no-longer necessary items from visual working memory. 56th Annual Meeting of the Psychonomic Society, Chicago, USA.
- ⑩ 坪見博之・福田圭祐・菊本篤史・Edward Vogel (2015) 視覚性ワーキングメモリからの情報の忘却. 日本心理学会, 名古屋大学.
- ⑪ 坪見博之（2015）視覚とワーキングメモリの容量制約. 日本認知心理学会（シンポジウ

- ム・視覚性ワーキングメモリ研究の新展開), 東京大学.
- ⑫ 坪見博之 (2014) 視覚性ワーキングメモリの容量制約をめぐって. 日本ワーキングメモリ学会, 京都大学.
  - ⑬ 坪見博之 (2014) ワーキングメモリ研究の最近の動向. 消費者心理学セミナー, 立正大学.
  - ⑭ Tsubomi, H., Fukuda, K., Watanabe, K., & Vogel, E. K. (2014) Electrophysiological measures reveal similar capacity limits for both present and absent information. 17th World Congress of Psychophysiology, Hiroshima, Japan.
  - ⑮ 坪見博之・福田圭祐・渡邊克巳・Edward Vogel (2014) 目の前に提示され続ける物体に対する頭在視覚容量の制約. 日本心理学会, 同志社大学.
  - ⑯ 坪見博之 (2014) 視覚とワーキングメモリの容量制約. 認知科学セミナー, 名古屋大学.

〔図書〕(計 2 件)

- ① 坪見博之 (2018) 個人差の取り扱い, 基礎心理学実験法ハンドブック, 32-33, 日本基礎心理学会(監修), 朝倉書店.
- ② 坪見博之 (2018) 視覚性ワーキングメモリと脳, 生理心理学と精神生理学, 19-28, 室橋春光・荻阪満里子(編), 北大路書房.

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。