

平成 30 年 6 月 23 日現在

機関番号：37118

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2017

課題番号：15K12044

研究課題名(和文) ヒトの記憶システムにおける無意識的処理：生起機序と神経基盤の解明に向けた研究

研究課題名(英文) A study on mechanisms of offline processing in human memory system

研究代表者

分部 利紘(WAKEBE, Toshihiro)

福岡女学院大学・人間関係学部・講師

研究者番号：50747772

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、記憶システムにおける無意識的処理、特に記憶想起後に生じるオフライン処理および想起による記憶痕跡の変性について検討を行った。実験の結果、想起後にオフライン期間を挿入しても記憶の復元や想起の体制化は促進されないが、忘却の抑制には効果があることが明らかになった。また、記憶想起は記憶痕跡を再学習しやすい状態に変性させることが示された。これらの知見は、記憶システムにおける無意識的処理、特にそのダイナミクスを明らかにするものであり、更なる研究に値するものである。

研究成果の概要(英文)：The present research investigated subconscious memory processing, especially post-retrieval offline processing and effects of retrieval attempt on memory engram. Concerning post-retrieval offline processing, it was shown that post-retrieval offline period does not facilitate memory recovery and organization of retrieval but it prevents memory forgetting more than continuous tests do. Studies about effects on memory engram revealed that retrieval attempts induce change in memory engram to enhance re-learnability in an independent manner of conscious processing like retrieval strategy. These findings contribute to further understanding on what roles memory retrieval (and probably top-down signals from prefrontal cortex to medial temporal lobe) plays in subconscious memory processing.

研究分野：心理学

キーワード：エピソード記憶 オフライン処理 想起

1. 研究開始当初の背景

「昨夜は家でテレビを見ながらカレーを食べた」など、ヒトは自分の体験した出来事を内的に記録し、必要に応じて思い出す能力を有している。この種の能力は「エピソード記憶」と呼ばれるが、エピソード記憶はある重要な特徴を有している。それは、意識と無意識の接点である。例えば冒頭の例であれば、「昨夜の夕食は何であったか？」などの想起意図（即ち意識的処理）を契機に、それまで意識下に眠っていた夕食などの情報が思い出される、即ち意識に上ることになる（Tulving, 2002, *Annu. Rev. Psychol.*）。また、体験した出来事の記憶は、睡眠中（即ち当人の意識がない間）に再活性化され、それが記憶保持を促進させることも知られている（Carr et al., 2011, *Nat. Neurosci.*）。このようにエピソード記憶は、単なる記憶機能に留まらず、意識と無意識との関係を解明するための重要な手掛かりを提供するのである。以上を踏まえて本研究では、エピソード記憶における無意識的処理の更なる解明を目指し、心理行動実験および生理実験を行った。

2. 研究の目的

(1) 想起後の記憶痕跡の変性

記憶研究では、被験者が提示された情報をどれほど覚えられたかを調べるために、提示された情報を思い出すように指示する（想起を課す）ことになる。また、学校では児童・生徒・学生の理解状況を確認するために、テストが課されることになる。ここでは、対象者の記憶状況や理解状況を把握するための方法として想起が活用されている。だが、実は想起にはそれ自体に記憶の学習や保持を促す働きがある（Roediger & Karpicke, 2006, *Perspect. Psychol. Sci.*）。例えば覚えた単語について一度その想起を行った後で再び覚えた場合と、覚えた単語の再学習を行った後で三度覚えた場合では、最終的な記憶成績は前者の方が良くなる（Arnold & McDermott, 2013, *J. Exp. Psychol. Learn. Mem. Cogn.*）。

この現象についてはこれまで、「一度想起を行うことで自分が覚えられているか否か（理解しているか否か）を把握できるため、その後で提示された、まだ覚えられていない情報により注意を払って覚えるようになるため」といった自分の認知状況に関する認知（メタ認知）による説明（Yang et al., 2017, *J. Exp. Psychol. Appl.*）や、学習時の注意の割り当て量の変化といった学習方略による説明（Cohen et al., 2017, *J. Exp. Psychol. Learn. Mem. Cogn.*）が行われてきた。即ち、想起によって後続の意識的処理が変化するという説明が行われてきた。

しかし神経科学の研究からは、想起などを通じて活性化された記憶はタンパク合成阻害剤の投与といった外部刺激に対して脆弱になるなど、記憶痕跡は想起により変性することが広く知られている（Nader et al., 2000,

Nature）。この知見を考えると、想起することで後続の学習が促進される理由は、後続の意識的処理が変化するためではなく、記憶痕跡そのもの（即ち無意識的な要素）が変化するためという可能性が考えられる。

この可能性が正しければ、想起の学習促進効果に関する機序の解明に貢献するだけでなく、想起がもたらす意識下の処理について理解を促す。このような重要性を踏まえて本研究では、想起を行った場合と再学習を行った場合を設けた上で同じ刺激を提示（再学習）し、その際の反応を頭皮上脳波および記憶成績を通じて検討する実験を行った。

(2) 想起後のオフライン処理

何かを思い出す際、多くの人は「思い出そう」と意識的に努力するであろう。これは、人が「意識的処理を行うことで処理効率が高まる」と暗に想定しているためと考えられる。確かに、数多くの心理学的・神経科学的研究において「思い出そうという想起意図により想起意図に関わる前頭前野が賦活し、それがエピソード記憶を支える海馬の活動を強め、想起へと至る」と考えられている（Simons & Spiers, 2003, *Nat. Rev. Neurosci.*）。

一方で、日常生活に目を向けると別の可能性も浮かび上がる。誰もが一度は、「何かを思い出そうと試みたが思い出せずに諦めていたところ、後になってふと思い出した」といった現象を体験しているであろう。これは、意識上では想起をやめていても意識下では想起に関する処理が続いており、さらにその処理能力は意識的な処理を上回る（そのために思い出そうと意識しても思い出せなかった情報を思い出すことができる）という可能性を示唆している。

この可能性が正しければ、意識的な処理に続く無意識的な処理は、意識的処理の残存物（Peigneux et al., 2006, *PLoS Biol.*）ではなく、固有の機序を持った別種の処理ということになり、意識的処理の停止と無意識的処理の駆動の興味深い関係性が示される。またこれまでの研究から、睡眠という無意識的状态で記憶処理が行われうることが広く示されているが、上記の可能性は、睡眠時の無意識的処理と覚醒時の無意識的処理との異同についても新たな知見をもたらすことになりうる。さらに先行研究では、前頭前野から海馬への信号が想起に重視とされてきたが、先の可能性は、想起を一度やめる、即ち前頭前野からの信号を一度切るという新たな視点を与えうるものである。

そこで本研究では、ある情報の想起を行った後に無関係な別の課題を行う場合と、同じ想起を続ける場合とで想起成績を比較する心理行動実験を行い、同時にその際の海馬皮質脳波を計測した。

3. 研究の方法

(1) 想起後の記憶痕跡の変性

「想起を行うことでターゲットとなった記憶痕跡は再学習しやすい形に変性する」という仮説を検証するため、心理行動実験と生理実験を行った。実験ではまず、被験者に様々な事物の画像およびその名称（以下、刺激）を覚えてもらった。その後、計算課題を挟んだ後、(a) 覚えた刺激を想起した後で、同じ刺激が闕下で提示される（即ち何の刺激かが判別できないほど一瞬だけ提示される）場合と、(b) 覚えた刺激を再学習した後で、同じ刺激が闕下で提示される場合を設けて比較を行った。生理実験では、アクティブ電極を用いて頭皮上脳波を計測した。電極は、Fp1, Fp2, T3, Cz, T4, O1, O2 の7極であった。

(2) 想起後のオフライン処理

「意識的には想起を止めた後であっても、意識下では想起に関連する処理が持続しており、その処理効率は意識的処理を上回る」という仮説を検証するため、心理行動実験と生理実験を行った。実験では、担当領域を特定しやすい人物や場所の画像（Haxby et al., 2001, *Science*）とその名称を使用した。最初にこれらの刺激を被験者に覚えてもらった後、簡単な計算課題を行ってもらった。次に、提示された画像の名称を一度想起してもらった（事前テスト）。その後、再び計算課題を行う場合もしくは再び名称を思い出す場合を設けた上で、最後にもう一度名称を思い出してもらった（事後テスト）。生理実験では、脳深部電極を用いて海馬の皮質脳波を計測した。

4. 研究成果

(1) 想起後の記憶痕跡の変性

「想起を行うことで記憶痕跡は再学習しやすい形に変性する」という仮説が正しければ、同じように学習刺激を闕下で提示しても、その直前に当該の刺激を想起していたときの方が再学習していたときよりも、刺激を学習しやすくなると考えられた。特に、刺激を学習できたか否か（即ち後続のテストで想起できるか否か）は、学習時のシータ波の強さと相関することが知られている（Osipova et al., 2006 *J. Neurosci.*）。また、意識に関係するトップ領域での処理に比べ、ボトム領域での処理は潜時が短い（Tomita et al., 1999, *Nature*）。したがって刺激を想起していた条件では、闕下で提示された学習刺激に対して、速い潜時で強いシータ波が観察されると予想された。

実験の結果、想起を行った後に当該刺激を闕下提示された条件の方が、再学習を行った後に同じ刺激を闕下提示された条件よりも、想起できた刺激数は多かった。即ち心理行動実験によって、想起を行うことで刺激の再学習が促進されたことが示唆されたと言えるが、本実験での再学習の機会が、被験者が提示された刺激内容を同定できないような一瞬である。そのため、本実験から示唆された

促進効果は意識的な処理の産物ではないと言える。また、1~4Hz、4~8Hz、8~12Hz、14~25Hz、25~50Hzの各帯域でフィルタをかけた上でヒルベルト変換をもとに分析を行ったところ、想起後に同じ刺激が闕下提示された条件では、闕下提示の刺激に対し、潜時150ms程度にピークを持つシータ波（即ち4~8Hzの帯域での活動）が左後頭部（O1）の電極から観察され、その強さは刺激を再学習後に刺激が提示された条件よりも強いものであった。この潜時の速さを考えると、心理行動実験の結果と同様に、想起が記憶痕跡由来の変化を引き起こしていることを示唆する。

以上の成果は、想起による学習促進効果に関する理解を推し進めるだけでなく、「想起」という意識的な処理が「記憶痕跡」という意識の届かない部分にどのような影響をもたらすのかを知る手がかりになるなど、記憶システムを解き明かす上で重要な知見となる。この重要性を踏まえ、今後国際学術誌への投稿に向けて進めていく予定である。

(2) 想起後のオフライン処理

「意識的には想起を止めた後であっても、意識下では想起に関連する処理が持続しており、その処理効率は意識的処理を上回る」という仮説が正しければ、事後テストの想起成績は計算課題を行った方（即ち意識的処理を止めた方）が良いと予想された。特に想起に関連する処理であるため、「事前テストでは思い出せなかったが、事後テストでは思い出せるようになった」という項目（Gain項目）について差が見られると予想された。しかし実験の結果、想起成績およびGain項目の数に有意な差は観察されなかった。

同様に、前述した仮説が正しければ、計算課題を行っている最中に、海馬において想起を支える神経活動（特に4~8Hzのシータ波；Hasselmo, 2006, *Curr. Opin. Neurobiol.*）が想起を行っている最中以上の強さで観察されると予想された。しかし心理行動実験の結果と同様に、皮質脳波の計測からもそのような神経活動は観察されなかった。

以上のことから、予算申請時に立てていた仮説は支持されなかった。

その一方で興味深い成果も得られた。上述した実験では事前テストと事後テストを行うため、「事前テストでは想起できていたが事後テストでは想起できなくなった」という項目（Loss項目）が生まれる。これは記憶の忘却を反映した指標となるが、Loss項目は想起を続けた場合の方が多かった。即ち、想起すべき刺激（この例では人物や場所の画像と名称）を思い出す作業を止め、別の作業を行った方が忘却を減らすことができたわけである。現在の多くの研究において、「想起は忘却を防ぐためのリハーサルとして機能する」と想定されているが（Roediger & Butler, 2011, *Trends Cong. Sci.*）本結果はその考えと相反するもので極めて意義深い。

そこでこの結果を確認するために、刺激を様々な事物の画像とその名称に変え、同様の実験（追試実験）を行った。また、先行研究から、「リンゴ、ウサギ、タオル、ブドウ…」などの単語リストを想起すると、リンゴを思い出した後はブドウを思い出しやすくなるといった「想起の体制化」が観察されること、そして体制化が忘却に参与している可能性が示されている（Congleton & Rajaram, 2012, *Mem. Cogn.*）。この知見を踏まえ、単に追試実験を行うだけではなく、Loss 項目の増加と体制化との関係も検討した。

実験の結果、事前テストと事後テストの間で計算課題を行った方が想起を行い続けた場合よりも Loss 項目は少なくなり、「想起を止めることで忘却が減少する」という結果が確認された。一方で、想起を行い続けた場合と計算課題を挟んだ場合で、事後テストにおける体制化の度合いは変わらず、先の忘却防止効果が想起の体制化とは別の要因によって生じている可能性が示唆された。

以上の結果は研究費申請時に立てた仮説とは異なるものではあるが、想起と記憶保持（或いは忘却）との関係に関する理解をより深めるなど、高い学術的意義を有することから、近日中に国際学術誌への投稿を行う予定である（Wakebe & Watamura, in preparation）。

さらに、視覚心理学の研究から重要な示唆を得ることができた。2017年度は、シータ波などの律動的神経活動に関する分析手法等を活かし、視覚誘導性自己移動感覚に関する律動性の研究を行った（Seno, Sawai, Kanaya, Wakebe, ... & Palmisano, 2017, *i-Perception*）。と同時に、視覚誘導性自己移動感覚の研究からも、想起における「移動」の重要性について示唆を得た。古くは中国北宋時代より、良い考えが思い浮かぶ場面として三上（「馬上」「枕上」「厠上」）が指摘されている。このうち、枕上は睡眠に関するものであり、「睡眠中に記憶痕跡が再活性化される」という知見と整合している。一方、「馬上」、即ち移動の効果については実証研究が行われていないが、数学者のアンリ・ポアンカレが馬車に乗り込む直前に数学の解法を突如思い付いたという逸話や、生物が空間を移動する際には海馬でシータ波が観察されるという知見（Kahana et al., 1999, *Nature*）を考えると、「意図的な想起の後に駆動する無意識的な記憶処理には『移動』が重要な鍵となる」という可能性が示唆される。そこで、「覚えた刺激を思い出した後で計算課題を行う」という実験手続きは踏襲しつつ、計算課題の背後に自己移動感覚を誘導する視覚刺激を提示することにより、人工的に「移動」を引き起こして実験を行った。但し、発案時期の関係から一部の実験しか行えておらず、現時点では既定の被験者数に達していないため、本研究については引き続き進めていく予定である。

<引用文献>

- Arnold, K. M., & McDermott, K. B. (2013). Test-potentiated learning: Distinguishing between direct and indirect effects of tests. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 39(3), 940.
- Carr, M. F., Jadhav, S. P., & Frank, L. M. (2011). Hippocampal replay in the awake state: a potential substrate for memory consolidation and retrieval. *Nature Neuroscience*, 14(2), 147.
- Cohen, M. S., Rissman, J., Hovhannisyan, M., Castel, A. D., & Knowlton, B. J. (2017). Free recall test experience potentiates strategy-driven effects of value on memory. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 43(10), 1581.
- Congleton, A., & Rajaram, S. (2012). The origin of the interaction between learning method and delay in the testing effect: The roles of processing and conceptual retrieval organization. *Memory & Cognition*, 40(4), 528.
- Hasselmo, M. E. (2006). The role of acetylcholine in learning and memory. *Current opinion in neurobiology*, 16(6), 710-715.
- Haxby, J. V., Gobbini, M. I., Furey, M. L., Ishai, A., Schouten, J. L., & Pietrini, P. (2001). Distributed and overlapping representations of faces and objects in ventral temporal cortex. *Science*, 293(5539), 2425.
- Kahana, M. J., Sekuler, R., Caplan, J. B., Kirschen, M., & Madsen, J. R. (1999). Human theta oscillations exhibit task dependence during virtual maze navigation. *Nature*, 399(6738), 781.
- Nader, K., Schafe, G. E., & Le Doux, J. E. (2000). Fear memories require protein synthesis in the amygdala for reconsolidation after retrieval. *Nature*, 406(6797), 722.
- Osipova, D., Takashima, A., Oostenveld, R., Fernández, G., Maris, E., & Jensen, O. (2006). Theta and gamma oscillations predict encoding and retrieval of declarative memory. *Journal of neuroscience*, 26(28), 7523.
- Peigneux, P., Orban, P., Baetens, E., Degueldre, C., Luxen, A., Laureys, S., & Maquet, P. (2006). Offline persistence of memory-related cerebral activity during active wakefulness. *PLoS biology*, 4(4), e100.
- Roediger III, H. L., & Butler, A. C. (2011). The critical role of retrieval practice in long-term retention. *Trends in cognitive sciences*, 15(1), 20.
- Roediger III, H. L., & Karpicke, J. D. (2006). The power of testing memory: Basic research and implications for educational practice. *Perspectives on Psychological Science*, 1(3), 181.
- Simons, J. S., & Spiers, H. J. (2003). Prefrontal and medial temporal lobe interactions in long-term memory. *Nature Reviews*

- Neuroscience, 4(8), 637.
- Tomita, H., Ohbayashi, M., Nakahara, K., Hasegawa, I., & Miyashita, Y. (1999). Top-down signal from prefrontal cortex in executive control of memory retrieval. *Nature*, 401(6754), 699.
- Tulving, E. (2002). Episodic memory: From mind to brain. *Annual review of psychology*, 53(1), 1.
- Yang, C., Potts, R., & Shanks, D. R. (2017). The forward testing effect on self-regulated study time allocation and metamemory monitoring. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 23(3), 263.

5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計1件)

- Seno, T., Sawai, K. I., Kanaya, H., Wakebe, T., Ogawa, M., Fujii, Y., & Palmisano, S. (2017). The Oscillating Potential Model of Visually Induced Vection. *i-Perception*, 8(6), 2041669517742176. 査読あり

〔学会発表〕(計1件)

- 分部利紘 (2015). エピソード記憶の想起過程 意識下の情報を意識にあげる過程 . 九州大学 (福岡市南区)

〔図書〕(計2件)

- 分部利紘 (2018). 長期記憶と忘却 . 松尾太加志 (編) ライブラリ心理学を学ぶ 3 認知と思考の心理学 サイエンス社
- 分部利紘 (2018). 長期記憶と忘却 ~コラム~ . 松尾太加志 (編) ライブラリ心理学を学ぶ 3 認知と思考の心理学 サイエンス社

〔その他〕(計1件)

アウトリーチ活動

- 分部利紘 (2015). 無意識の力に迫る! ~知らぬ間に働くあなたの小人~ . 第32回サイエンスカフェ@ふくおか (福岡市中央区)

6 . 研究組織

(1) 研究代表者

- 分部 利紘 (WAKEBE, Toshihiro)
福岡女学院大学・人間関係学部・講師
研究者番号: 50747772