

平成 30 年 6 月 15 日現在

機関番号：82626

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2016～2017

課題番号：16K13511

研究課題名(和文) 学びの「楽しさ」は睡眠中の記憶定着を促進するか

研究課題名(英文) Facilitative effect of positive emotion on memory consolidation during sleep

研究代表者

甲斐田 幸佐 (Kaida, Kosuke)

国立研究開発法人産業技術総合研究所・情報・人間工学領域・主任研究員

研究者番号：80586264

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,600,000円

研究成果の概要(和文)：近年、睡眠は、記憶に必要な生理活動であることが明らかになっている。しかし、本研究の結果からは、視覚運動順応課題では睡眠の重要性は低いことが推測された。本研究で用いた仮眠(90分間)には、レム睡眠とノンレム睡眠の両方が含まれていたため、両睡眠とも視覚運動順応課題の学習には関与が薄いことが推測された。また、本研究の結果、視覚運動順応学習は、主観的な「楽しさ」とは無関係に生じることが明らかになった。潜在記憶に分類される記憶は、主観的な感情とは別に生じることを示唆する結果である。本研究の成果、睡眠と記憶に関する知識が深まり、さらなる研究への手がかりを得ることができた。

研究成果の概要(英文)：Sleep has been thought having an important function for memory consolidation. In the present study, however, we showed that memory consolidation related to visuomotor learning was not related to sleep, at least 90 minutes afternoon nap consisted of both the rapid eye movement (REM) sleep and non-REM sleep. The role of sleep might be different between 90 minutes afternoon nap and full of night sleep including 4-5 cycles of REM and non-REM sleeps. In addition to that, we found out that visuomotor learning occurred unrelated to subjective feeling of "fun." This indicates that implicit type of learning might occur unrelated to the emotion, at least positive emotion such as fun. Conducting the present research, we could get useful information and ideas for future researches.

研究分野：心理学

キーワード：記憶 睡眠 楽しさ

## 1. 研究開始当初の背景

「楽しさ」とは、ヒトが物事に打ち込んでいるときに生じる快の感情である。たとえばチクセントミハイによると、ヒトが自己の能力と釣合った課題を行っているときにフロー体験と呼ばれる快感情が生じ、自然と能力拡充(学習)が生じる(フロー理論, Csikszentmihalyi, 1990, *Flow: The Psychology of Optimal Experience*)。フロー理論は、ヒトの能力拡充には否定的な感情ではなく肯定的な感情が役に立つと考える点で、魅力的な理論である。しかし、その神経学のおよび行動学的なメカニズムについてはほとんど分かっていない。

先行研究によると、ヒトの能力拡充には睡眠が必須である。学習中には、新規の神経回路の構築が行われることが知られているが、その容量はやがて飽和する(それ以上学習できなくなる)。睡眠の役割は、神経回路を削減し、学習容量を回復させることである(Tononi and Cirelli, 2014, *Neuron*, 12-34)。このとき、睡眠後に残された神経回路の効率は、睡眠前よりも高まることが知られている。ここで生じる問題は、削減すべき回路と残すべき回路は、睡眠中にどのように「選別」されているのか、ということである(Diekemann and Born, 2010, *Nat Review Neurosci*, 114-26)。

記憶の「タグ付け仮説(tagging hypothesis)」(Fischer and Born, 2009, *J Exp Psychol*, 1586-93)によれば、学習中に生成された神経回路には、何らかの「タグ」もしくは「免罪符」が付けられる。この仮説では、そのタグが、睡眠中の神経回路の削減を免除する機能を果たす結果、残すべき回路の選別が生じると考えている。そのタグの正体は不明であるが、申請者は、それは感情だと考えている。なぜなら、「楽しさ」を伴う学習ほど早く進むことはよく知られた事実であるからである(Kahneman, 2011, *Thinking, Fast and Slow*, p175-84)。つまり、肯定的感情は、能力拡充と共に生じる感情であり、記憶の定着(忘却の抑制)に促進的に働くと考えられるが、科学的な検証はほとんど行われていない。本研究では、肯定的感情が、覚醒中だけでなく睡眠中の記憶定着も促進させることを示す「能力拡充スパイラルモデル」を考案し、その妥当性

を検証する。

## 2. 研究の目的

本研究は、学習促進のメカニズムを説明するための理論モデル(「能力拡充スパイラルモデル」)の検証を目的としている。本研究で検証する仮説は、次の2点である。(1) 学習は肯定的感情(「楽しさ」と共に生じる、(2) 学習時に肯定的感情が強く生じるほど、睡眠中の記憶定着が促進される。本研究により、肯定的感情が覚醒中の学習を促進するだけでなく、睡眠中の記憶定着にも促進的に作用することが初めて証明される。

## 3. 研究の方法

本研究では、能力拡充によって発生する「楽しさ」によって、覚醒中の学習効率が高まり、睡眠中の記憶の定着が促進されることを実証する。実験は、課題の難易度および睡眠の有無の異なる条件の被験者内比較によって実施する。本研究では、主観得点、課題成績、課題中および睡眠中の脳波スペクトルパワの条件間の比較を行う。加えて、各指標間の相関関係を明らかにする。

### パフォーマンス課題

本研究では、パフォーマンス課題に視覚運動順応課題を選定した。この課題では、繰り返しによって学習が生じることが確かめられている(Imamizu et al., 2000, *Nature*, 192-195)。さらに、視覚運動順応課題によって、覚醒中だけでなく、睡眠中の脳波が変化することが確認されている(Huber et al., 2004, *Nature*, 78-81)。学習による脳神経の変化を脳波で確認できる点において、視覚運動順応課題は優れており、能力拡充スパイラルモデルの実証に最適である。視覚運動順応課題では、被験者は、黒色の22インチ液晶ディスプレイ画面上を移動する5mmの白丸点を、マウス操作によって動く「矢印」を使って追う。白丸点は、速度120mm/秒で画面上に弧を描きながら動き回る。白丸点は同じ基線を繰り返し動くため、被験者は、数試行後には白丸点を矢印で追従できるようになる。ところが、被験者が動かす矢印の動きに角度(マウスの座標系の回転)を付与すると、被験者は白丸点を精度良く追うことができなくなる。再び追従できるようになるには、学習が必

要である。つまり、被験者は、課題を遂行するための従来の内部モデルを捨て（もしくは変更し）新規の内部モデルを形成する必要がある（Imamizu and Kawato, 2012, *Cerebellum*, 325-335）。内部モデルの形成（学習）には、特段の意識的努力を必要としない。被験者が形成した内部モデルと白丸点の基線が一致すると、白丸点と被験者が動かす矢印の間の距離の偏差が小さくなる。つまり、学習が進むにつれて偏差が小さくなる（Imamizu et al., 2000）。

本研究で用いる課題は 2 種類ある。課題 A では、通常のマウス操作で白丸点に追従する。課題 A では、課題を正確に行うために、学習はほとんど必要ない。ところが課題 B では、場合によって、マウス操作で動く矢印に回転角度が付与される（図 1）。

課題 B では、前試行の成績より改善したら課題の難易度を上げる（回転角度を 15°程度付与する）が、悪化した場合には課題の難易度は変化しない。したがって、課題 B では、課題の遂行に学習が必要である。申請者は、この学習時に、能力拡充スパイラルが生じ、「楽しさ」が生じると考えている。申請者がすでに行った予備検討では、学習が必要ない課題 A に比べて、課題 B は難しいが、「楽しさ」は課題 B のほうで強く生じることを確認している。課題成績として、200Hz で記録した 1 試行 100 秒間の位置データを 4.4 秒毎に切り出して平均し、20 点の白丸点と矢印の距離データから偏差を算出する。学習効果を効果的に検証するため、被験者は 60 分間程度の課題遂行を行う。

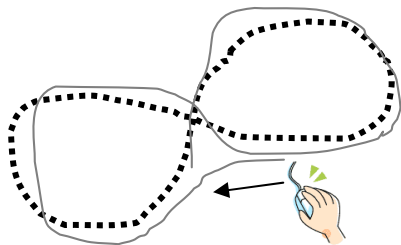


図 1 視覚運動順応課題のイメージ

画面上に描かれる基線（破線）の上を、被験者はマウスを使って追う（灰色線）。課題 B では、マウスに一定の制御がかかるため、基線をマウスで正確に追うためには学習

（内部モデルの更新）が必要である。被験者が課題 B を正確に行おうとすれば、能力拡充スパイラルが生じ、同時に「楽しさ」が生じると考えられる。

#### 実験手続き

被験者は、課題難易度の異なる課題 A および B を行った後に、90 分間の睡眠（仮眠）を行う。A および B 条件に参加する。睡眠による記憶定着効果を検証するため、睡眠をとらない C 条件（+課題 B）も設定する。実験は、被験者内比較計画で行い、被験者数は大学生男女 24 名程度を予定している。日中の 90 分の睡眠は、夜間睡眠と比べると短いようであるが、ノンレム睡眠とレム睡眠の両方を備え、記憶の定着には十分であることが確認されている（例: Hu et al., 2015, *Science*, 1013-1015）。睡眠は、産総研に設置された睡眠実験専用の防音室およびベッドを用いて行う。被験者は 9:00 に実験室に到着し、脳波、筋電図、眼電図計測用の電極を装着する。その後、防音室内で、練習の課題および技能テストを行う。技能テストによる学習効果を極力避けるために、課題は 4 試行（約 120 秒）だけ行う（ただし、1 試行目は分析からはずす）。視覚運動順応課題は、A 条件または B 条件のどちらかを、1 ブロック（30 セッション、120 試行）行う。A および B 条件では、課題を行ったあとに睡眠を行うが、C 条件では行わない（その代わりに新聞を読みながら安静に過ごす）。1 セッションは 4 試行から成り、1 セッションを終えるには約 2 分程度を要する。被験者は、3 セッション毎に質問紙に筆記で答える。質問紙は、本研究の目的である「楽しさ」の Visual Analogue Scale (VAS) 加えて、POMS (McNair et al., 1971, *Manual for the Profile of Mood States*) (不安、悲しみ、怒り、活気、疲労、混乱、眠気) の VAS 版、フロー体験尺度から構成されている。フロー体験尺度は、3 つの下位因子（能力への自信、目標への挑戦、肯定的感情と没入による意識経験）から構成されており、「楽しさ」の周辺感情を計測することができる（Kaida et al., 2014, *Neuropsychiatric Disease and Treatment*, 19-25）。質問紙への回答には 1 分程度を要する。条件間の覚醒水準が統制されていることを確認するため、記憶課

題や睡眠の前後には、ビジランス課題( PVT, psychomotor vigilance task, Dinges et al., 1997, Sleep, 267-277 ) および脳波を用いた覚醒水準計測テスト ( KDT, Karolinska drowsiness test, Kaida et al., 2006, Clinical Neurophysiol, 1574-1581 ) を行う。これは、被験者の覚醒水準が条件間で統制されていることを確認するためである。覚醒中および睡眠中の脳波スペクトルパワは、先行研究 ( Kaida, Niki, Born, 2015, Neurobiol Learning and Memory, 72-79 ) に従い、徐波 3 種類 ( 0.5-4.0 Hz, 1.0-4.0 Hz, 0.5-1.0 Hz ) 紡錘波 2 種類 ( 8.0-12.0 Hz, 12.0-16.0 Hz ) シータ波 ( 4.0-8.0 Hz ) の 6 帯域を算出する。また、視覚運動順応課題の成績 ( 軌道逸脱量の平均 ) や主観的指標の得点、脳波スペクトルパワとの相関係数を、覚醒中および睡眠中に分けて算出する。スペクトルパワ値は条件間で比較を行う。本研究では、視覚運動順応課題で実績のある ( Huber et al., 2004 ) 頭頂部 ( 頭頂連合野 ) および側頭部 ( 一次運動野 ) の脳波を用いる。本研究で予想される相関分析の結果は、学習量および「楽しさ」は、覚醒中および睡眠中の記憶関連脳波 ( 徐波および紡錘波 ) と正の相関を示すことである。

#### 4 . 研究成果

実験の結果、下記の 2 点が明らかになった。( 1 ) 視覚運動順応課題において学習が生じるが、「楽しさ」とは独立である、( 2 ) 視覚運動順応学習記憶の定着には、経過時間が関与しており、睡眠は有意な影響を及ぼさない。これらのことは、視覚運動順応学習課題といった潜在記憶に関する学習には睡眠ではなく、経過時間が重要な役割をしていることを示唆している。また、学習は「楽しさ」とは無関係に生じることが分かった。

近年、睡眠は、記憶に必要な生理活動であることが明らかになっている。しかし、本研究の結果からは、視覚運動順応課題では睡眠の重要性は低いことが推測された。本研究で用いた仮眠 ( 90 分間 ) には、レム睡眠とノンレム睡眠の両方が含まれていたため、両睡眠とも視覚運動順応課題の学習には関与が薄いことが推測された。ただし、レム睡眠とノンレム睡眠の周期を 4-5 回繰

り返す夜間睡眠では、学習が生じる可能性がある。また、本研究の結果、視覚運動順応学習は、主観的な「楽しさ」とは無関係に生じることが明らかになった。潜在記憶に分類される記憶は、主観的な感情とは別に生じることが示唆される結果である。本研究の成果、睡眠と記憶に関する知識が深まり、さらなる研究への手がかりを得ることができた。

#### 5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 2 件)

K. Kaida, Y. Itaguchi, S. Iwaki, 2017, Interactive effects of visuomotor perturbation and an afternoon nap on performance and the flow experience. PLoS One, 12, e0171907.

K. Kaida, T. Abe, 2018, Attentional lapses are reduced by repeated stimuli having own-name during a monotonous task. PLoS One, e 0194065.

〔学会発表〕(計 1 件)

K. Kaida, T. Abe, Self-relevance effects on attentional lapses and EEG arousal during a monotonous task, the 2018 American Psychological Association Annual Convention, San Francisco (9-12 August), online abstract, 2018 (August). Accepted.

〔図書〕(計 3 件)

甲斐田 幸佐, 改訂 新生理心理学 第 巻 ( 18 章 睡眠中の精神活動と情報処理, 2 睡眠と記憶 ) 編者: 片山純一, 鈴木直人), p.197-p.202, 2017 年, 北大路書房 .

甲斐田 幸佐, 睡眠学 ( 8 章 精神運動機能 ) ( 日本睡眠学会編 ), 印刷中, 2018 年, 朝倉書店 .

甲斐田 幸佐, 睡眠学 ( 10 章 睡眠不足の影響 ) ( 日本睡眠学会編 ), 印刷中, 2018 年, 朝倉書店 .

〔産業財産権〕

○出願状況 ( 計 1 件 )

名称: 睡眠充足度推定装置及び睡眠充足度推定方法

発明者：甲斐田 幸佐  
権利者：産業技術総合研究所  
種類：特願  
番号：2018-017491  
出願年月日：2018年2月2日  
国内外の別：国内

## 6．研究組織

### (1)研究代表者

甲斐田 幸佐 ( Kaida Kosuke )

国立研究開発法人産業技術総合研究所・人間情報研究部門・主任研究員

研究者番号：80586264

### (2)研究分担者

板口 典弘 ( Itaguchi Yoshihiro )

慶應義塾大学・理工学部・訪問研究員

研究者番号：50706637