

令和 5 年 6 月 6 日現在

機関番号：11601

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2022

課題番号：18K06446

研究課題名（和文）睡眠中に外界音が聞こえる過程を規定する要因の解明

研究課題名（英文）Investigation on the factors that regulate the process of hearing external sounds during sleep

研究代表者

高原 円（Takahara, Madoka）

福島大学・共生システム理工学類・准教授

研究者番号：20454150

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：睡眠中のヒトが環境の音を「聞く」しくみを、意識統合レベルとの対応関係から生理学的アプローチにより検討した。睡眠中にはさまざまな意識状態が混在しているが、現在では睡眠段階による大まかな分類による研究が中心となっている。しかし、睡眠中にほぼ一貫して報告される夢見体験という意識の統合状態と聴覚との対応関係は明らかではない。そこで、記録した脳波より得られる事象関連電位から外界音への脳の応答性を算出し、被験者自身の夢見報告との対応関係を示すことで、睡眠中に「聞こえた」という体験が生じるのに満たされるべき意識統合レベルと脳活動を明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

睡眠中にはさまざまな意識状態が混在しているが、現在では睡眠段階による大まかな分類による研究が中心となっている。本研究では、記録した脳波より得られる事象関連電位から外界音への脳の応答性を算出し、被験者自身の報告との対応関係を示すことで、睡眠中に「聞こえた」という体験が生じるのに満たされるべき意識統合レベルと脳活動の要件を示した。本研究の成果により、ヒトの意識の生物学的基盤の解明や、意識障害等の臨床的治療への応用、騒音対策や睡眠関連商品開発への貢献が期待される。

研究成果の概要（英文）：The mechanism by which humans "hear" environmental sounds during sleep was investigated from a physiological approach based on the correspondence between the level of integration of consciousness and the sound level. Although various states of consciousness coexist during sleep, most studies have focused on a rough classification by sleep stage. However, the correspondence between dreaming, an integrated state of consciousness that is almost consistently reported during sleep, and auditory perception is not clear. In this study, we calculated the response of the brain to external sounds from event-related potentials obtained from EEG recordings, and showed the correspondence with the subject's own dreaming reports, thereby clarifying the level of integration of consciousness and brain activity that must be satisfied to produce the experience of "hearing" during sleep.

研究分野：睡眠科学

キーワード：睡眠 脳波 聴覚

1. 研究開始当初の背景

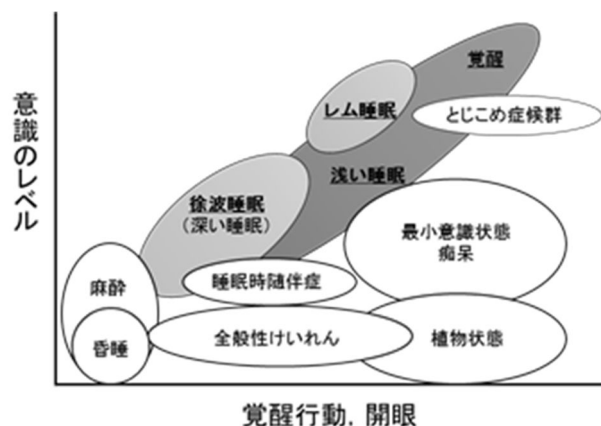
睡眠は、心身の健康と密接に関係しているため、睡眠中の脳機能の解明が望まれる。従来の心理学や脳科学の分野では、覚醒中のヒトの認知機能に重点を置いて研究されている。睡眠学習などはかつて否定されたものであるが、近年一部覆されるなど(Andrillon et al., Nature Communications, 2017)、睡眠はヒトの意識状態の一部であるにもかかわらず、その認知機能は殆ど解明されていない。

ヒトの意識がいつどのようにして規定されるのかという問いは現在解明されていない大いなる謎である。それに対し、非侵襲かつ時間的分解能の高い脳波の解析によるアプローチは有効である。ヒトは睡眠中も夢見によって、統合された意識的経験(conscious experience)の世界を作り出すことが可能であり(Nir & Tononi, Trends Cog Sci., 2010)、夢体験は、レム睡眠だけでなくあらゆる意識水準で報告される。本研究はこの世界的な流れに則り、特に聴覚情報処理と知覚体験との対応関係に焦点をあてた独創的な研究である。

睡眠は、環境から完全に切り離された状態ではなく、必要に応じて音刺激に応答することができる(赤子が泣いたら乳をやるなど)。その過程は自覚的に覚えていないことが多いが、睡眠中に音が聞こえることがあることは、これまでに申請者が関わってきた実験の中でも、しばしば報告される。特にレム睡眠では、外界音に対する反応性が高くなるが、レム睡眠では全身の筋脱力により運動出力が難しいので、ボタン押しなどによる行動指標はあてにならない。行動的に示すことは難しくとも、知覚としての入力はある程度行われていることは推測される。外界の音刺激が意識的に統合されて「聞こえた」という主観的体験になるかどうかは、心理生理学的にどのように規定されるのかというのが主な問いである。

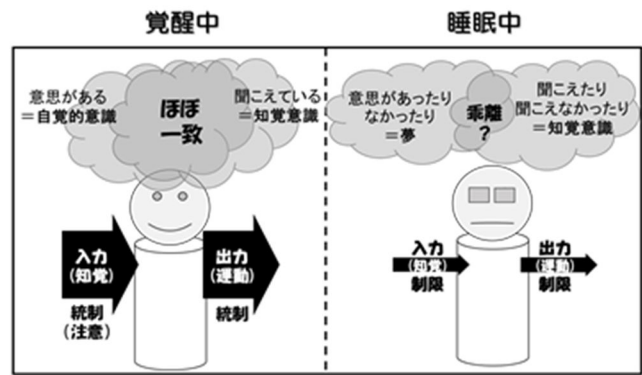
右図は、これまでに明らかにされているヒトのさまざまな意識状態を、行動レベルと意識水準により分類したものである。正常のヒトでも、睡眠によってさまざまな意識レベルを体験する。睡眠は脳波によって規定されることから、脳波解析によって、異なる意識体験の生じる過程を時間的に高い精度で検討することが可能である。

これまで睡眠や植物状態などの意識低下状態では「刺激に対する脳反応が得られない=意識がない」のように考えられてきた。しかし上述のように、反応性の不在のみでは意識体験のない証拠にはならない。つまり、知覚と意識統合は独立していると考えられるが、明確な証拠は示されていない。



「実験的に意識を探る」 Laureys et al. (2005) より改変

これまで申請者らは、睡眠段階の違いによって、睡眠中の外界刺激に対する脳反応に「ムラ」があることを実験により示した。本研究では新たに、睡眠段階による分類に基づいた覚醒水準の違いだけでなく、主観的体験報告という意識統合との関連からリフレーミングすることを試みた。覚醒中のヒト（右図の左）は、意識統合レベルと外的環境との接続レベルがほぼ一致しており、



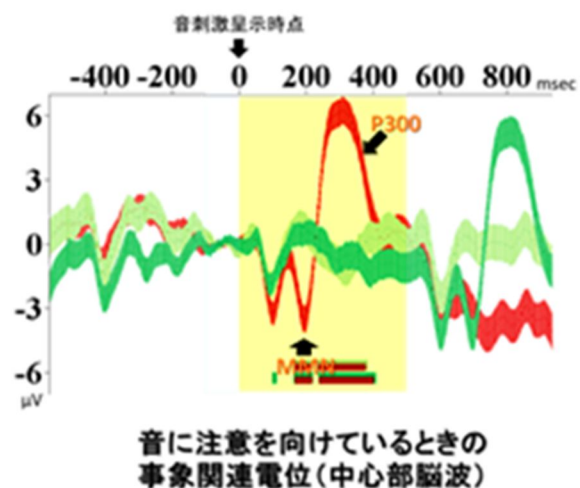
一方、睡眠中（右図の右）は、情報統合能力が低下しており（Tononi; 意識の統合情報理論）、時間的・空間的「ムラ」が大きい。したがって、睡眠中の意識統合レベル（夢見体験など）と外的環境の処理レベルは乖離しやすく、知覚入力も運動出力も非常に限定的であると考えた。

2. 研究の目的

本研究では、睡眠中に聞こえたという体験が生じるしくみを脳波から詳細に解明することを目的とし、一連の研究で実験的・体系的に実証することとした。睡眠中の聴覚体験と意識（夢）や意思の有無との関連、その背景となる生理的メカニズムを検討した。従来の睡眠研究では、20秒ごとの国際睡眠段階判定基準を用いた脳波分類によりヒトの意識状態を分類してきたが、本研究では刻々と変化する脳波要素と夢報告および知覚体験を対応づけるものである。これまで睡眠中に実際に被験者の意識体験として、「聞こえているかどうか」「夢見体験があるか」という報告と音に対する脳反応との対応関係は検討されてこなかった。主観報告が科学的データとして地位が低かったためである。主観的報告の欠点は近年見直されており、構造化された質問法によって解決する。また脳波測定は、fMRIよりも負担が少なく、繰り返し行う睡眠実験に適している。

3. 研究の方法

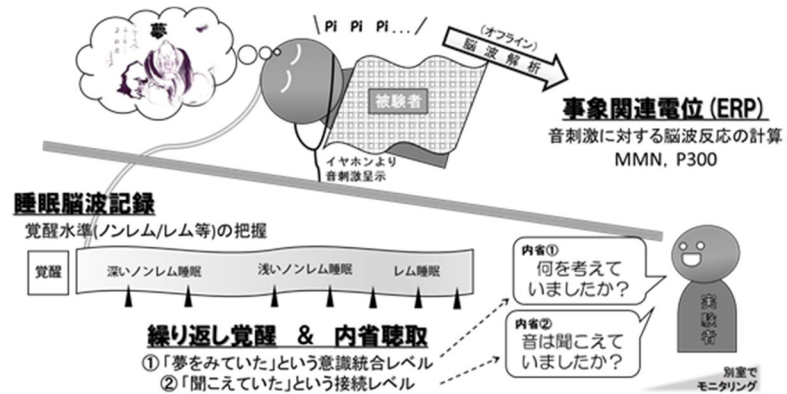
[研究1] 脳が外的環境刺激を処理している程度を客観的に測定する脳波指標として、音刺激に対する事象関連電位の Mismatch negativity (以下 MMN) と P300 成分を用いた(右図)。これらは、無視できる一般的な刺激と(注意が自然と喚起されるような)逸脱刺激に対する聴覚処理過程の違いを示す電位で、脳が覚醒時と同等の処理能力を示す証拠として用いられてきた。明示的な課題がなくとも得られることから、睡眠研究にも適用される。



下図は、実験の概略図である。被験者は、耳にイヤホンを挿入した状態で眠る。睡眠脳波をオンラインで確認しつつ、安定した睡眠に入ってから音呈示を開始した。覚醒水準の推移のない7分程度が経過した後、被験者を覚醒させる。刺激は、roving(さまよう)パラダイム

(Garrido et al., 2001)により、刺激の物理的特性の偏りを排除した新しい系列を使用した。覚醒させた被験者に対し、インターホンを通じて内省聴取を行った。その内容は、起こされる直前に夢を見ていたか、音がどの程度聞こえていたか、夢の内容はどんなものであったかを含む、構造化されたものであった。

1晩あたり10回程度、繰り返し覚醒させ、さまざまな意識水準のデータを取得する。十分なデータ数を確保するため、1人つき最低2晩行う。音環境変化の脳内処理過程を反映するP300, MMNの出現と、内省報告により示される夢報告の有無との対応関係を統計的に検討し、睡眠中に「聞こえた」という体験が生じるのに充たされるべき脳活動の要件を検討した。



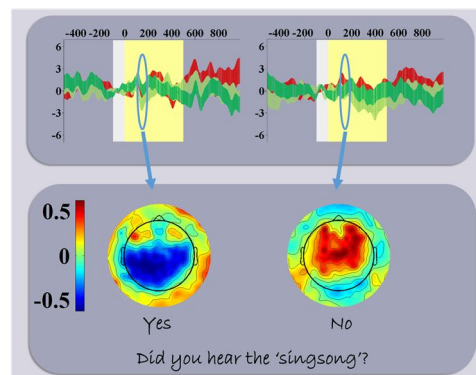
[研究 2]

睡眠が感情処理に重要な役割を果たしていることを示唆する文献は増えてきているが、外部から情動的な音刺激を聞かせたときの脳波反応についてはまだ報告がない。覚醒中の情動的な音刺激に対する脳波反応の研究(Hettich et al., 2016)では、快・中性・不快の3つのカテゴリーの音刺激を使用した時の事象関連電位が比較され、快・不快刺激に対して、中性刺激よりも大きな後期陽性電位が示された。そこで、睡眠中に情動的な音刺激を与えた場合、情動価によって異なった脳波反応を示すのか、睡眠段階によって異なる反応が得られるのかについて検討することとした。IADS-2(The International Affective Digitized Sounds; Bradley & Lang, 2007)の快30音、中性30音から選択した50音(各25音)を使用し、音声はパソコンからイヤホンにより呈示した。予備実験により、情動評価が適切に行われることを確認した。各音は6秒間、刺激間隔は6~14秒でランダムに呈示した。1人につき2回(快刺激条件、中性刺激条件)の実験を実施した。刺激呈示は、NREM2段階かREM睡眠が3分間継続したのを確認してから開始し、体動などで覚醒した場合は音刺激を停止した。音刺激の呈示が終了したらアラーム音で覚醒させ、構造化された質問を行った。質問が終わると同様の手続きを再開し、午前中の間可能な限り繰り返した。睡眠実験が終了してから、音刺激の感情評価を実施した。

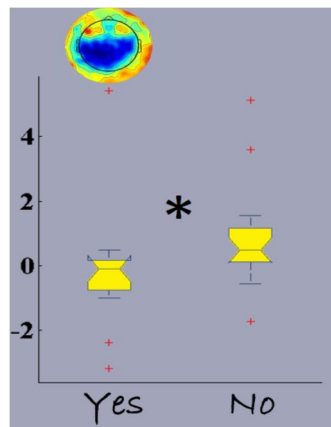
4. 研究成果

[研究 1]

覚醒中は、条件により参加者の内省報告による環境との接続性に違いが見られ、注意条件は他の3条件に比べて有意に高い反応性を示し、N1, MMN, P300も主幹報告に応じて調節されている様子が確認された。一方で、NREM睡眠段階2では、標準刺激と標的刺激間に差はなかった。(右図)従来の2音の単純な純音を使用した研



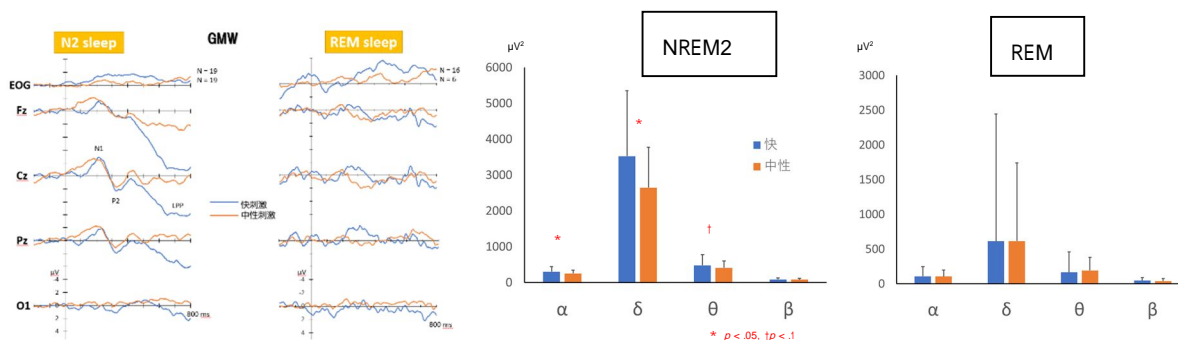
究とは異なり、複雑な刺激系列を使用したことで、ターゲットの検出が困難になった可能性がある。参加者が覚醒後に「聞こえた」と報告したときには、N1 が確認され($p = 0.0171$)、P50、P200 はより強調されていた(右図)。夢の有無との関連性はみいだせなかった。睡眠中の意識統合レベル(夢見体験など)と外的環境の処理レベルが乖離していることが示された。



本研究では、実験参加者の主観的な報告による環境との接続性(どの程度聞こえていたか)と脳波の反応性の対応関係の検討を初めて行った。睡眠中は、意識の統合レベル(夢見報告の有無)とは関わりなく、接続性が調整されている可能性が示唆された。同様の連続覚醒パラダイムを用いた TMS-EEG study では、夢の有無による違い(global mean field amplitude (GMFA), the phase locking factor (PLF), the event-related spectral perturbation (ERSP))が明確に示された(Nieminen et al., 2015)ことから、本研究は聴覚意識という、異なる意識の統合過程を観察することができた。

[研究 2]

音の感情評定の結果は覚醒度、情動価ともに快刺激の方が中性刺激よりも高かった。睡眠の N2 では、快刺激に対し後期陽性電位の出現を確認した(下左図)。また、FFT の結果、アルファ、デルタパワーも中性刺激に比べて高かった(下右図)。REM 段階における反応は N2 の反応よりも小さく、刺激による統計的な違いは見いだせなかった。以上のことから、睡眠中にも、聞いている過程が生理学的な測度により示され、快刺激に対しては、中性的な刺激よりも大きな反応を示すという反応性の違いが存在することが確認できた。REM 段階については、急速眼球運動の影響を考慮した解析を進める必要がある。



引用文献

- Andrillon T, Pressnitzer D, Léger D. & Kouider S. (2017). Formation and suppression of acoustic memories during human sleep. *Nat Commun* 8, 179.
- Bradley MM, & Lang PJ. (2007). The International Affective Digitized Sounds: Affective ratings of sounds and instruction manual (Technical Report No. B-3). Gainesville, FL: University of Florida, NIMH Center for the Study of Emotion and Attention.
- Garrido MI, Friston KJ, Kiebel SJ, Stephan KE, Baldeweg T & Kilner JM. (2008). The functional anatomy of the MMN: A DCM study of the roving paradigm, *NeuroImage*, 42(2): 936-44.
- Hettich DT, Bolinger E, Matuz T, Birbaumer N, Rosenstiel W, & Spüler M. (2016). EEG Responses to Auditory Stimuli for Automatic Affect Recognition. *Front. Neurosci.* 10: 1-10.
- Nir Y & Tononi G. (2010). Dreaming and the brain: from phenomenology to neurophysiology, *Trends in Cognitive Sciences*, 14(2): 88-100.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 高原円・長沼利歩・中村柊太	4. 巻 41
2. 論文標題 夢と問題解決能力の関連に関する予備的検討	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 生理心理学と精神生理学	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 高原円	4. 巻 86
2. 論文標題 自律訓練法導入時の心理生理的効果に影響する要因の探索	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 日本心理学会第86回大会発表論文集	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 吉村直仁・伊勢野明美・高原円・児玉栄一・野崎裕之	4. 巻 36
2. 論文標題 大規模震災における精神科病棟の災害時の実態と災害時感染症対策に関する研究報告	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 医療創生大学研究紀要	6. 最初と最後の頁 37-45
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 高原円	4. 巻 40
2. 論文標題 情動的な音刺激に対する睡眠中の脳波反応の検討	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 生理心理学と精神生理学	6. 最初と最後の頁 161
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.5674/jjppp.2216si	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 高原円	4. 巻 39
2. 論文標題 睡眠生理心理学の進歩	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 生理心理学と精神生理学	6. 最初と最後の頁 1-3
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5674/jjppp.2112si	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Madoka Takahara	4. 巻 27(S1)
2. 論文標題 Refraining from smartphone use for 30 min before bedtime prevents the extension of the following sleep latency	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Sleep Research	6. 最初と最後の頁 127
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/jsr.12751	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 高原円, 佐藤耕平	4. 巻 36(3)
2. 論文標題 音楽聴取によって生じる鳥肌感および涙感に関する研究	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 精神生理学と生理心理学	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5674/jjppp.1811ci	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計9件(うち招待講演 2件/うち国際学会 2件)

1. 発表者名 野崎裕之・吉村直仁・伊勢野明美・高原円
2. 発表標題 精神科長期入院患者における看護の現状の把握 わが国の過去5年間の看護系文献による検討
3. 学会等名 第29回日本精神科看護専門学術集会 in 島根
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 高原円
2. 発表標題 自律訓練法導入時の心理生理的效果に影響する要因の探索
3. 学会等名 日本心理学会第86回大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 高原円
2. 発表標題 情動的な音刺激に対する睡眠中の脳波反応の検討
3. 学会等名 第40回日本生理心理学会大会・日本感情心理学会第30回大会合同大会2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 高原円
2. 発表標題 睡眠心理学研究による意識へのアプローチ
3. 学会等名 第50回日本臨床神経生理学会（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Daiki Kobayashi, Madoka Takahara
2. 発表標題 Study on personalities related to the psychophysiological changes in the introduction of autogenic training
3. 学会等名 Psychosomatic Medicine 2019（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高原円
2. 発表標題 脳波から意識を探る
3. 学会等名 第49回臨床神経生理学学会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Madoka Takahara
2. 発表標題 Refraining from smartphone use for 30 minutes before bedtime prevents the extension of the following sleep latency
3. 学会等名 24th Congress of the European Sleep Research Society（国際学会）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高原円，堀越健太
2. 発表標題 純音を用いた睡眠徐波の誘導に関する研究
3. 学会等名 日本睡眠学会第43回定期学術集会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高原円，佐藤耕平
2. 発表標題 音楽聴取によって生じる鳥肌感および涙感に関する研究
3. 学会等名 第36回日本生理心理学会大会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計2件

1. 著者名 高原円	4. 発行年 2020年
2. 出版社 日本臨牀社	5. 総ページ数 770
3. 書名 最新臨床睡眠学(第2版)	

1. 著者名 高原円	4. 発行年 2023年
2. 出版社 丸善出版	5. 総ページ数 -
3. 書名 睡眠学の百科事典	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------