

平成 30 年 6 月 21 日現在

機関番号：13102

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15H02767

研究課題名(和文)短時間でも質の高い睡眠を実現するための環境刺激「引き込み制御」システムの実証

研究課題名(英文)A study on ambient feedback system featuring entrainment control toward improving sleep quality

研究代表者

野村 収作(NOMURA, SHUSAKU)

長岡技術科学大学・工学研究科・准教授

研究者番号：80362911

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、生理機能をモニターしつつ音楽・照明・香り・睡眠姿勢を適応的に調整するフィードバック系を構築し、その生理介入効果を検証するものである。例えば、心拍数に同期する音楽は、一定リズムの音楽に対し、心拍数変動の高周波成分を高めることが示された。また、呼吸に同期して仰臥姿勢を僅かに変化させるベッドにより、使用者を深呼吸状態に誘導することが可能であることが示された。

研究成果の概要(英文)：The aim of this study is to evaluate the efficacy of physiologically adaptive ambient control system. This system control the ambient stimuli, such as music, lighting, aroma, physical posture, etc., in accordance with human physiological state. As for the results of the experiment, the heart beat synchronized music made the subject's high frequency component of the heart rate variability higher than that in the exposure of a music with constant rhythm. Posture control system which makes subject's recumbent posture change slightly with synchronizing his/her own respiration made his/her breathing deeper and longer.

研究分野：アンビエント生体医工学

キーワード：感性情報学 アンビエント・フィードバック・システム 生体医工学

## 1. 研究開始当初の背景

生理心理学または生理人類学など、人間をとりまく環境刺激がもたらす生理的な効能を検証する諸学問により、人体の生理機能はそれを取り巻く環境に対して鋭敏に反応していることが明らかになっている。例えば、香りは人間の主観的な嗜好にかかわらず、生理的な覚醒効果または鎮静効果を有する。また、心地よい音楽は精神的安定をもたらすだけでなく、血圧低下・心拍数低下など自律神経系に対する生理的作用があり、さらには免疫を向上させるという報告もある。光は生体リズムに直接的に作用し、生理的な睡眠の質を左右する。つまり、人間生活をとりまく周囲の環境は人体に少なくない影響を及ぼしている。同時に、この単純な事実は、状況に応じて適切な環境刺激を選択すれば人体を生理的にポジティブな状態へと誘導する、という可能性に開いている。

このような背景に基づき、本研究は、非線形科学における引き込み理論のアナロジーを用いて、適応的に調整された環境刺激（音・光・香・物理的外力等）により生体の内的な生理機能への介入効果を科学的に検証したものである。

## 2. 研究の目的

前述したように、適切な環境刺激をもちいることで生理的にポジティブな効能を得ることが期待できる。しかしながら、元来、生体は外乱に対して極めて堅牢なシステムである。生理学的には「恒常性」と呼ばれるこのロバストな制御機構により、例えば、ほとんどの香の鎮静効果が一過性のものであるように、良い意味でも悪い意味においても周囲環境刺激により持続的な生理的効能を実現することは難しい。これに対し、本研究の目的は、この生体の強力な恒常性を超えて人間の生理機能を誘導するための、全く新しい適応的環境刺激の方法論を開拓することにある。

鍵となるアナロジーは「ブランコの引き込み制御」である。「恒常性」は、システム的には非線形力学におけるリミットサイクル振動子の運動に例えることができる。このシステムは自己回復力を備えた周期的運動を実現するものであり、これはつまり人間が操作するブランコの運動に例えられる。このようなシステムは、外乱（ブランコで例えれば、風や他者の介入）に対し極めて頑健で安定的なシステムである。しかしながら、このような堅牢な力学系にも唯一の弱点がある。それは、自己のシステムの固有周期に同調的な外乱（例えば、ブランコで言えば、他者がタイミングよく押す・引くこと）に弱いということである。

一方、人体は、心臓の鼓動をはじめ、ニュー

ロンクの周期パターン（脳波）、自律呼吸、また、ホルモンの概日分泌まで、短・長期の様々な固有リズムを有するシステムの集合体であり、これが全体として極めて強固で安定的なシステム（恒常性）を実現している。

これに対し、本研究の目的は、それらの固有リズムに対し同調的な環境刺激をデザインし、介入することで生体に引き起こされる生理的効果について科学的に研究するものである。具体的には、生理機能をモニターしつつ音楽・照明・香り・睡眠姿勢などの環境刺激を適応的に調整するフィードバック系を構築し、その有効性と限界、現象の背後にある生理メカニズムを明らかにすることである。

## 3. 研究の方法

本研究では、生体の固有リズムに適応的な環境刺激を付加し、その生理効果を検証するための独自の実験系を構築した。

本研究の実験系は、1) 環境刺激を制御するキー入力を得るため、及び、引き込み制御の生理的な影響を検証するための各種生理評価系（以降、「評価系」とする）および、2) 各種の生体情報に基づき環境刺激を適応的かつリアルタイムに調整する為の制御システム（以降、「制御系」とする）からなる。

評価系は文字通り人間の生理機能について経時的にモニターする系であるが、具体的には、呼吸・心拍数（脈波）・体表面温度・皮膚電気活動などの自律神経系の評価、唾液中のホルモン分泌などの内分泌系の評価、また、姿勢や動作などの物理的評価が含まれる。本研究ではこれらの生理指標・物理指標を経時的に定量するためのセンサ群と汎用の生体情報アンプもしくは AD コンバータや汎用インタフェースを使った自作システムにより評価系を実装した。

制御系は、評価系で取得した生理指標・物理指標に基づいて環境刺激を適応的に付与する機構を実現するものであるが、具体的には、評価系のインタフェースから得られるアナログもしくはデジタル信号を汎用の PC で受け、LabVIEW や C# 言語で作成した自作のソフトウェアによりデータ処理を行い、環境刺激の制御にフィードバックする機構を実装した。

これら評価系・制御系を組合せることで、経時的に計測した生体情報に同調的な環境刺激を付加するような、リアルタイム・フィードバック・システムを構築した。

例えば、心拍数と同調してリズムが変化する音楽演奏システムを構築した。このシステムでは、汎用生体アンプもしくは自作のインタフェースによって取得した心電図より、心拍数間隔（R-R 間隔による瞬時心拍数）を逐次的に導出する。人間の瞬時心拍数は安定した状態であれば毎拍ごとに ±10% ほどの揺らぎがあるが、このシステムでは、この大き

な揺らぎに同調させて音楽のリズムを変化させる。この際、単純に音楽の再生リズムを変調させてしまうとピッチ（音程）が変化してしまい不自然な音楽になってしまうため、同システムでは Midi を用いることで、いわば演奏リズムをリアルタイムで変化させている。

また別の例では、人間の仰臥姿勢を適応的にわずかに変化させることで自律呼吸に介入するシステムを実装した。このシステムでは、自作の呼吸センサ（フォースセンサ方式もしくはサーミスタ方式）によってユーザの1呼吸サイクル毎の呼気・吸気のタイミングを導出する。その後、導出した呼吸サイクルと同調させて背中に配置したエアチャンバーを膨張または収縮させる。エアチャンバーの膨張は制御系 PC からスイッチング回路を介してエアポンプを On/Off することで制御している。人間は背中を反らすことで吸気抵抗が減り、呼気抵抗が増す。反対に、背中を丸めることで吸気抵抗が増し、呼気抵抗が減る。これは人間の呼吸中枢が肺の空気圧に応じた力学的なフィードバック制御を行っているためであるが、このことは人間の姿勢を僅かに変化させることで自律呼吸に介入できる可能性を示している。本システムでは、エアチャンバーの膨張・収縮の位相（タイミング）を呼吸サイクルに対してわずかにずらすことで、外的に長く・深い呼吸、いわば深呼吸状態に誘導できるかを検証した。

この他、睡眠時における香および光の介入実験を実施した。香については香料を含む空気の流量を厳密に制御するシステムを用いて、終夜実験においても嗅覚疲労を起こさないよう適応的に調整された刺激を用いた。

検証実験は全て健常な成人を対象として実施し、事前に長岡技術科学大学の倫理委員会の承認を得た。

#### 4. 研究成果

図1の心拍 - 音楽フィードバック・システムについて、シングルブラインド・被験者内実験により生理的影響を検証した。具体的には、健常の成人男性 10 名を対象として、各被験者の心拍数をフィードバックした楽曲を 15 分間聴取させる条件に対し、あらかじめ計測しておいた各被験者の平均心拍数により同じ楽曲を 15 分間聴取させる条件（コントロール条件）を実施した。また、被験者には実験前にはフィードバックの仕様について知らせなかった。生理指標として脳波・心電図・呼吸・皮膚電気活動を計測した。

実験の結果、心拍数をフィードバックする条件では、コントロール条件に対して、瞬時心拍数が有意に低下し、また心臓副交感神経系の指標である心拍数変動の高周波成分（0.15-0.40Hz）が有意に高かった。一方で、

交感神経系の生理指標である皮膚電気活動では有意な差異を認めなかった。

このことから、同システムは副交感神経系を介して心臓の拍動リズムに影響を及ぼしていることが示唆された。現在、同研究については追試を行っている。

また、姿勢 呼吸フィードバック・システムについても、被験者内計画による検証実験を行った。具体的には、20 名の健常な成人男性に対して、1) 呼気に対しエアチャンバーを収縮させ、吸気に対して膨張させる条件（同位相介入）、2) これとは正反対に呼気に対し膨張・吸気に対し収縮させる条件（逆位相介入）、3) あらかじめ計測した各被験者の平均呼吸数に基づく一定のリズムでエアチャンバーを膨張させる条件（一定介入）により比較した。生理指標として心電図・皮膚電気活動・呼吸を計測した。

実験の結果、同位相介入条件において、呼吸深度および呼吸間隔が他の条件に対し有意に増加した。したがって、本システムにより外的に深呼吸状態を誘導することができた。一方、同位相条件において、心拍数の低周波成分（0.04-0.15Hz）が有意に増加した。これは、呼吸間隔の増大による呼吸性不整脈を反映した結果であると考えられる。また、皮膚電気活動についても同位相介入条件において低下した。ただし、低下の幅については一定介入条件が最も顕著であった。一方、逆位相介入条件については、介入期間終了後に心拍数が有意に高くなる現象が観察され、これは介入条件に対する生理的な負荷を反映しているものと考えられるが、主観的な評価においてもネガティブな評価はなされておらず、この具体的なメカニズムは不明である。

本テーマについては、現在、システムの改良および介入条件を変えて追試を行っている。以上の成果については、一部、論文および学会発表により公表した。

香介入による終夜実験を行った結果、同じ香り刺激でも、それが日中に与えられた場合と、就寝中に与えられた場合ではその生理的影響（自律神経系・内分泌系）が一致しない事、また多くの場合、正反対になることが示された。光介入においては、唾液中のホルモン等を終夜定量した結果、光介入による影響が中枢神経系指標において顕著に認められる一方、内分泌系には影響しないことが示唆された。

以上の成果については、一部、論文および学会発表により公表した。

この他、本課題で開発した適応的な環境刺激による中・長期的な影響を調べるための方法論として毛髪などの生体資料に含まれるストレス・ホルモンの定量技術について研究を行った。この成果については、一部、論文・学会発表により公表した。

5. 主な発表論文等  
(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計15件)

Shusaku Nomura, Kento Maeyama, Kanetoshi Ito, "Enhancement of the Autonomic Stress Response and a Decrease in Subjective Stress by Lavender Inhalation During a Short-term Calculation Task," *Advanced Biomedical Engineering*, **5**, pp.7-12, 2016.2.10. DOI: [10.14326/abe.5.7](https://doi.org/10.14326/abe.5.7)

野村収作, 「人間工学の視点から見た抗ストレス効果の評価法」, ストレスマネジメント研究, **12**(1), pp.29-37, 2016.3.31.

Sugeeswari Lekamge, Ashu Marasinghe, Pradeep Kalansooriya, Shusaku Nomura, "A Visual Interface for Emotion based Music Navigation using Subjective and Objective Measures of Emotion Perception," *International Journal of Affective Engineering*, **15**(2), pp.205-211, 2016.6.30. DOI: [10.5057/ijae.IJAE-D-15-00039](https://doi.org/10.5057/ijae.IJAE-D-15-00039)

Masako Hasegawa-Ohira, Kazumichi Suguri, Shusaku Nomura, "The dehydroepiandrosterone awakening response as a possible index of subjective sleep quality," *Advanced Biomedical Engineering*, **5**, pp.132-136, 2016.10.16. DOI: [10.14326/abe.5.132](https://doi.org/10.14326/abe.5.132)

Sugeeswari Lekamge, Masaki Nakachi, Shu Sato, Kanetoshi Ito, Shusaku Nomura, "Alleviation of the Acute Stress Response following Mild Orange Essential Oil Administration," *IEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering*, **12**(S1), pp.S158-S163, 2017.6.5. DOI: [10.1002/tee.22428](https://doi.org/10.1002/tee.22428)

大平雅子, 吉田怜楠, 山口歩, 井澤修平, 本多元, 野村収作, 「毛髪に含まれるストレスバイオマーカー抽出量に及ぼす抽出時間および粉碎手法の影響」, 日本生理人類学会誌, **22**(3), pp.153-159, 2017.8.1.

吉田怜楠, 野村収作, 「毛髪コルチゾールの抽出手法の検討 粉碎を必要としない方法について」, 生体医工学, **55**(5), pp.205-209, 2017.10.01. DOI: [10.11239/jsmbe.55.205](https://doi.org/10.11239/jsmbe.55.205)

[学会発表](計22件)

大平雅子, 仲地眞早, 前山賢人, 伊藤兼敏, 野村収作, 「オレンジ精油における生理的ストレス反応の抑制効果」, 第49回味と匂い学会資料, p.131, 2015.9.25, 岐阜.

Shusaku Nomura, Kento Maeyama, and Kanetoshi Ito, "Alleviation of Peripheral Acute Stress Response by Lavender Inhalation," 生体医工学シンポジウム 2015 資料, 1A-29, pp.1, 2015.9.25, 岡山.

大平雅子, 伊藤兼敏, 野村収作, 「就寝中の香り提示が自律神経系および内分泌系に及ぼす影響」, 計測自動制御学会 システム・情報部門 学術講演会 2015 資料, p.1-2, 2015.11.18, 函館.

小川博司, 野村収作, 「音楽を聴きながら脈波を計測するイヤホンの開発 Unobtrusive な生体計測系として」, 第11回日本感性工学学会春季大会資料, pp.1-3, 2016.3.27, 神戸.

Kanetoshi Ito, Kento Maeyama, Masaki Nakachi, Lekamalage Sugeeswari Lekamge, Masako Hasegawa-Ohira, Shusaku Nomura, "Suppression of Physiological Stress Response under a Short-term Calculation Task by Orange Essential Oil," *17th International Symposium on Olfaction and Taste*, p.93, 2016.6.7, Yokohama.

小林岳海, 市橋拓郎, 坂本卓磨, 堀井利起, 野村収作, 「昼寝の生理心理評価 - 心拍数および心拍数変動」, 第17回日本感性工学学会大会資料, E67, pp.1-2, 2016.9.11, 東京.

吉田怜楠, 大平雅子, 山口歩, 井澤修平, 野村収作, 「毛髪・爪に含まれるストレス・ホルモンの定量手法の検討」, 第32回日本ストレス学会学術総会資料, pp.1, 2016.10.30, 東京.

Samith S. Herath, Akira Kusumi, Yosuke Note, Etsuhisa Nakamura, Akio Nozawa, Shusaku Nomura, "An enhancement of cardiac parasympathetic nervous activity by posture respiration ambient biofeedback system a pilot study," *Proc. the Twenty-Second International Symposium on Artificial Life and Robotics 2017*, pp.516-519, 2017.1.21, Beppu (Japan).

出願状況(計1件)

名称: 心理、神経、内分泌、免疫指標を用いた香の生理心理効果の評価方法  
発明者: 野村収作, 伊藤兼敏  
権利者: 同上  
種類: 特許  
番号: 特許願 2017-075720 号  
出願年月日: 平成29年4月6日  
国内外の別: 国内

6. 研究組織  
(1)研究代表者

野村 収作 (NOMURA SHUSAKU)  
長岡技術科学・工学部・准教授  
研究者番号：80362911

(2)研究分担者

野澤 昭雄 (AKIO NOZAWA)  
青山学院大学・理工学部・教授  
研究者番号：70348465

大平 雅子 (MASAKO OHIRA)  
滋賀大学・教育学部・准教授  
研究者番号：40616190