

## 科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成25年6月1日現在

機関番号：13102

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2012

課題番号：24650103

研究課題名（和文）

「心拍－音楽」引き込み効果を利用した不随意的な入眠・起床誘導システムの検証

研究課題名（英文）

Induction of sleep and awakening by music-heartbeat entrainment system

研究代表者

野村 収作 (NOMURA SHUSAKU)

長岡技術科学大学・工学部・准教授

研究者番号：80362911

研究成果の概要（和文）：

本研究は、心拍数に基づき逐次的に音楽のリズムを変調することにより、「心拍－音楽」引き込み効果を利用したより良い入眠や起床を誘導する試みである。当初想定した通り、心拍制御の生理メカニズムに基づく独自の同調アルゴリズムにより、統計的に有意な「心拍－音楽」引き込みシステムを実現することが出来た。一方、入眠・起床誘導においては個人間における効果の差異を認めた。この要因については今後、継続して研究を行う。

研究成果の概要（英文）：

The aim of this study is to investigate the phenomena of music-heartbeat entrainment, and its use for the induction of the sleep and awakening smoothly and unconsciously. As we expected, by developing music-heartbeat real-time synchronization algorithm based on the physiology of cardiac beat, it was successfully demonstrated that the subjects' heart beat was entrained by this unique music in the degree of statistically significant. The induction of sleep and awakening was also observed but variety between subjects was found to be large. This remains as a future work.

交付決定額

(金額単位：円)

|       | 直接経費      | 間接経費    | 合計        |
|-------|-----------|---------|-----------|
| 交付決定額 | 3,000,000 | 900,000 | 3,900,000 |

研究分野：アンビエント生体医工学

科研費の分科・細目：感性情報学・ソフトコンピューティング

キーワード：引き込み現象、アンビエント・フィードバック・システム

## 1. 研究開始当初の背景

本研究は、心拍数に基づき逐次的に音楽のリズムを変調することにより、「心拍－音楽」引き込み効果を利用したより良い入眠や起床を誘導する試みである。

音楽のリズムを人間の心拍数に近づけると心拍数のリズム同調が起きることが知られている。これは、呼吸性の心拍数調整機構を介した一種の引き込み現象であると考えられている（図1）。しかしながらその一方で、これまでこの「心拍－音楽」引き込み現象自体、その効果を統計的に耐えうるレ

ベルで実証した研究は皆無であった。

更に、音楽の呈示方法においても、例えば心拍数に近いリズムで演奏させる、といった画一的な暴露刺激であり、実際には非常に大きな（±30%）変動を見せる1拍毎の心拍動を反映させたものではなかった。

## 2. 研究の目的

上記の背景により、本研究では心電図計測の為の生体アンプとMIDI音源システム（リズム制御が可能な音楽演奏システム）を組み合わせた心拍数－音楽フィードバックシス

テムを構築し(図2)、本年度当初は先ずは、(1)心臓の神経伝達機序に基づく新規のリズム同調アルゴリズムを開発し、その有効性を検証した。その後、本年度後半はこの独自に開発した(2)同調アルゴリズムを用いた入眠・起床誘導を検証する為の終夜実験を実施した。

### 3. 研究の方法

前述した研究目的(1)に対し、心臓の神経伝達機序に基づく新規のリズム同調アルゴリズムを開発した。

音楽リズムの変調アルゴリズムに関し、過去の同様のシステムでは心電図のピーク値に基づき演奏のタイミングを制御していたが、これは心臓の神経伝達メカニズムを考慮した場合100ms以上遅延したタイミングで制御を行っていたことになる(図3)。これに対し本研究では、より生理学的な見地から、心臓の歩調とり機構の神経基盤である洞房結節(ペースメーカー)の興奮のタイミングに基づく変調アルゴリズムを構築することで、より大きな引き込み効果が得られるか否か検証した。

実験は20人の被験者に対し、音楽の種類や呈示条件(例えば、音楽の心拍数に対するリズム制御:±0%、+10%、-10%、音楽のリアルタイム性の制御:1拍毎のフィードバック、3拍平均値のフィードバックなど)を様々に変更して実施した。

### 4. 研究の成果

実験の結果、各被験者の心拍数に対して常に+10%および-10%となるよう音楽を制御した条件において、統計学的に有意な心拍数の引き込み現象が観察された(図4)。更に、この「心拍-音楽」引き込み現象は、リズム同調アルゴリズムの“逐次性”が非常に重要であることが示された。例えば、心拍数と音楽を同調させる場合、呼吸性不整脈による心拍数の大きなリズム変動を平滑化するようなアルゴリズムを採用した場合は平滑化の期間が長いほど(例えば3~7拍)「心拍-音楽」引き込み効果が相対的に小さいことが示された。反対に、呼吸性不整脈による心拍数の大きなリズム変動を厳密にかつ逐次的に音楽の演奏リズムに反映させた場合は、統計的に有意であり、かつ相対的に大きな引き込み効果が観察された(図5)。

更に、本研究において当初想定されていなかったものの非常に興味深い現象として、被験者の音楽に対する内観と引き込み効果の程度に何らかの関連があることが示された。

第一に、本研究において全ての被験者は、実験の際に呈示された音楽が「心拍数により制御されている」こと、或いは「不自然なもの」であること、さらに言えば「リズムが変



図1: 本研究のスキーマ: 自励振動子(非線形振動子)の引き込みモデルを用い、音楽のリズムを心拍数に応じて自励振動子の様に制御して、心拍数の引き込みを実現する。

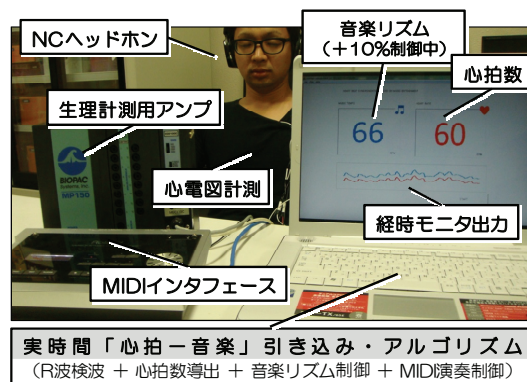


図2: 本研究のシステム構成: 高性能の生体アンプと逐次的に(音程を変更せずに)演奏リズム変更することができるMIDIシステムを採用。

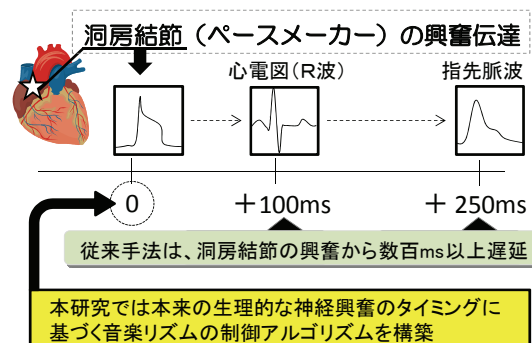


図3: 心拍動の生理機序に基づくリズム制御: ペースメーカー細胞の生理学的な寄与を仮定し、リズム制御において参照値とする。

化している」ことすら明確に感じた者は皆無であった。前述したとおり、人間の心拍数は実際には一拍毎に非常に大きく変動し、実際の実験時にも音楽のリズムは激しく変動している(図6)。このことは大変意外なことであったが、本研究で用いた音楽は全ての被験者にとって初めて聞くオリジナルのものであったため、激しいリズム変化も音楽のコンテキストの一部として自然に感じたという可能性が考えられる。

しかしながら、更に興味深いことには、音楽の演奏速度について内観的に+10%制御と-10%制御の差異についてさえも気付かない者が半数以上存在し、かつ、その様な者ほど有意に大きな引き込み効果を示していた点である(図7)。つまり、被験者内実験において(目をまたいで)呈示される音楽の条件の違いについて全く認知できなかった、いわば「漫然と音楽を聴いていた」者ほど、心拍数が不随意に制御されたということである。この点については、音楽が心拍数との間の神経的な関連づけに作用する認知的なバイアスの存在を示唆するものの、全く想定外の研究成果であり、今後更に検証を続ける。

以上の成果に基づき、本年度後半はこの大きな効果を生む逐次的なリズム同調アルゴリズムを用いた入眠・起床誘導を検証する為の終夜実験を実施した。具体的には、睡眠統制を行った被験者に、睡眠ポリグラフ装置および各種生理計測センサーを装着させ実験室で就寝させ、起床予定時刻30~10分前より心拍よりやや高め(+10%)にリズム同調させるような音楽に暴露して起床までの生理データを観測した。

実験の結果、図8に例示するように当初の想定通り入眠中の被験者の心拍数が徐々に上昇する現象が観察された。しかしながら、結論から述べれば、この入眠・起床誘導においては被験者全体において統計的に有意な効果とは認められず、したがって現時点ではエビデンスと呼べる成果とは言えない。ただしこれは、期待通り大きな引き込み効果を生む被験者が居た一方で、全く効果の認められない者が居たことによる。この要因については、今後、更に研究を継続する。

以上をまとめると、本研究により、第一義的には心拍制御の生理メカニズムに基づく独自の同調アルゴリズムにより、統計的に有意な「心拍-音楽」引き込み現象が実現され、この事は本研究の有意義な成果であると言える。一方、同アルゴリズムを用いた入眠・起床誘導においては被験者間による効果の有無が分かれ、今後この要因について更に研究が必要である。

本研究は単年度の研究計画であり特許申請のため積極的な公表を控えた。今後、上記の研究成果は順次発表する予定である。

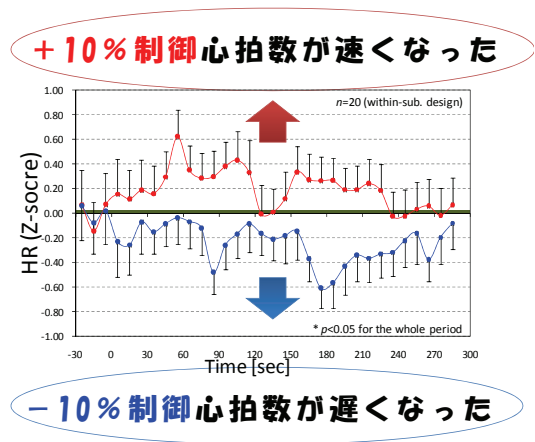


図4：本研究により実現された「心拍-音楽」引き込み現象。心拍数より常に+10%早いリズム制御により被験者の心拍数は統計的に有意に増加した。-10%制御においても同様であった。

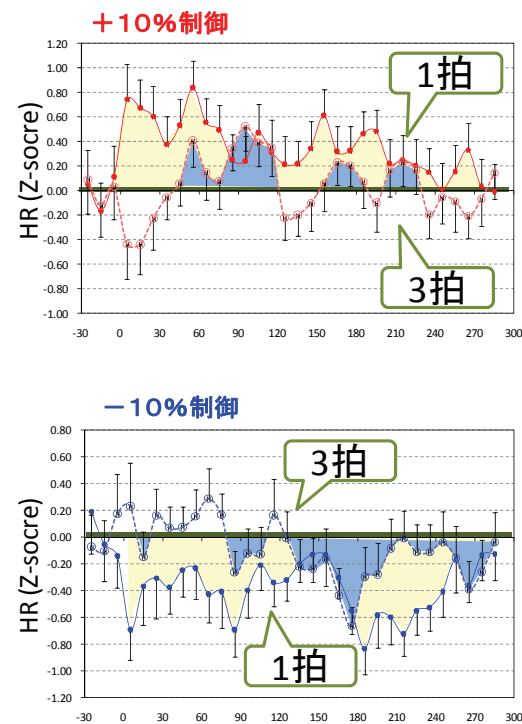


図5：心拍フィードバックの逐次性の違いに対する引き込み効果の差異。「+10%制御」(上)および「-10%制御」(下)の両条件において、音楽の演奏リズムを決定する際に参照する直前の心拍動の拍数が長いほど、引き込み効果は相対的に小さくなる(図は1拍と3拍の対比)。

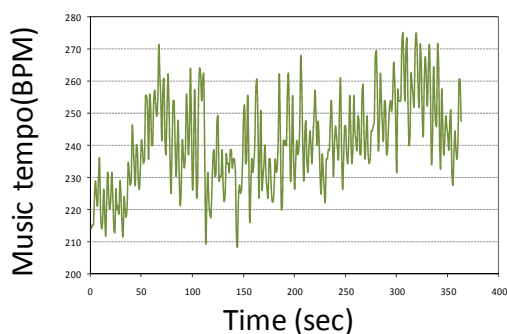


図6：心拍フィードバックにより実際の実験時に演奏された音楽のリズム変化の例（※楽曲の特性から心拍数の3倍をベースラインに変動させている）。

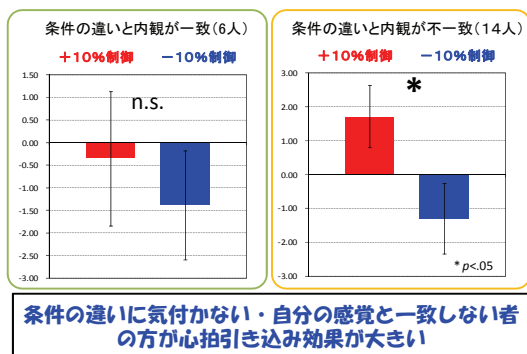


図7：心拍引き込み効果と内観の関連。呈示された音楽と内観が一致していない（あるいは条件の差異を感知していない）者ほど、大きな心拍引き込みの影響がある。

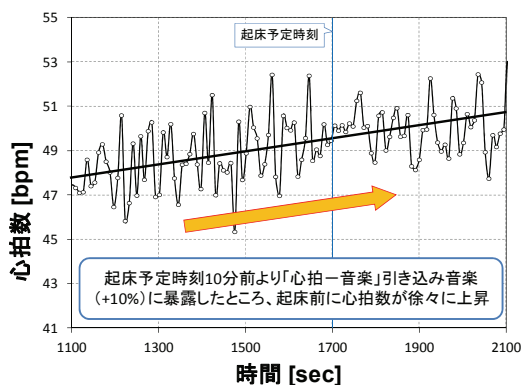


図8：起床前の被験者の心拍数の引き込み効果の例。起床予定時刻前より心拍フィードバックによりリズム制御した音楽を呈示。

## 5. 主な発表論文等

[学会発表] (計3件) (内：招待講演1件)

1. 野村収作, (招待講演) 「生体の不随意機能制御技術としてのアンビエント・フィードバック・システム」, 高砂香料工業株式会社, 2013.4.1, 湘南.
2. 野村収作, 「不随意機能の制御技術としての「心拍-音楽」引き込みシステム」, 行動科学学会第29回ウィンターカンファレンス2013, 2013.3.21, 大分.
3. 野村収作, 「アンビエント・マン・マシーン・インタフェースとしての「心拍-音楽」引き込みシステム」, 第16回精神神経内分泌免疫疫学研究集会, 2012.6.30, 新潟.

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者

野村 収作 (NOMURA SHUSAKU)

長岡技術科学大学・工学部・准教授

研究者番号：80362911