

令和 5 年 6 月 22 日現在

機関番号：24405

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2020～2022

課題番号：20K10581

研究課題名(和文) 看護師と患者との生体リズムの同期現象に着目した看護環境システムの構築

研究課題名(英文) Construction of a nursing environment system focusing on the synchronization of biological rhythm between nurses and patients

研究代表者

石亀 篤司 (Ishigame, Atsushi)

大阪公立大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：60212867

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、患者のQOL向上および看護する側の負担軽減のために、患者と看護師の身体的あるいは感情的な生体リズムの同期を利用した看護環境システムの構築を目指したものである。

これまで脳波や心拍の同期を誘発するために照明・映像や空調機器を用いた検討を行い、同期現象とストレスや不安の緩和の関係について基礎データを収集して解析し、数理モデルの適用などから現象解明の検証を行った。さらに得られた知見をもとに、快適な環境システム構築についての第1歩を踏み出す成果を得た。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ウェルビーイングな社会の実現のために、人が快適に過ごせる環境を構築し、看護や介護の施術効率の向上、ストレスを軽減する要因について、脳波と心の同期という観点からのアプローチにより、同期誘発とその効果の検証と応用を目指した本研究は、難しいが意義のある内容であり、その成果は社会的意義も大きいと考えられる。

研究成果の概要(英文)：This research aims to construct a nursing environment system that utilizes the synchronization of the physical and emotional biorhythms of patients and nurses in order to improve the QOL of patients and reduce the burden on nurses.

So far, we have studied using lighting, video media, and air conditioning equipment to induce synchronization of brain waves and heartbeats, collected and analyzed basic data on the relationship between synchronization phenomena and the relaxation of stress and anxiety, and applied mathematical models. Furthermore, based on the knowledge obtained, we obtained the result of taking the first step toward building a comfortable environmental system.

研究分野：システム工学

キーワード：生体リズム 同期現象 知的照明システム 看護環境システム 脳波・心拍変動

## 1. 研究開始当初の背景

本研究は、人と人の中で現れる生体リズムの同期現象(身体的同調と心理的同調)の発現に着目し、看護師と患者の心が通い合う看護・医療行為を可能にする看護実践知の伝承に応用できる看護環境システム(看護施術環境場)の構築を目的とした。

具体的には、心の中核をなすと考えられる心臓と脳波の同期現象に着目し、患者と看護師の心拍、心電図、脳波、脳血流、呼吸などを2人同時に測定し、自身と相互の生体リズムの同期現象を定量化する。そのデータをもとに同期現象の数値モデルを考案し、そのモデルを解析して同期現象の誘発要因を探索することにより、両者にとって最適な看護の仕方を解明し、心の通う看護環境システムを創発することである。

同期現象は古くから取り扱われている重要な研究テーマである。電力システムやレーザーなどにおける人工的同期効果は、実社会へ応用されている。その一方で、動物・昆虫にみられる協調行動、呼吸運動に対する心拍の調整などの生体的同期現象は、我々の周りでも多く確認することが出来るが、その研究の歴史は浅い。

また、社会的な要請として、高齢化による医師・看護師不足を補うため、注射技術などの看護における言葉にならない技術、いわゆる暗黙知の共有・伝達の効率化や、リハビリテーションや老人介護、小児看護などの現場における、比較的簡易な看護行為を在宅で初学者が行えるような基礎技術の普及が期待されているが、これらの技術の伝承・習得を効率的に行える場の創発に関する研究の歴史は浅く、有効な手法は発見されていない。医療が高度化する中、看護では、患者やそれを支える家族の多様性に柔軟に対応できる能力の育成が求められている。そのためには、技術の熟達の側面だけでなく、患者や家族の意向など、情動的側面を十分に考慮できる看護観を併せ持つ「看護実践知」を醸成することが重要である。しかし、看護技術を代表とする看護実践知は暗黙性が高く、言語化が難しい。また、臨床現場の看護実践は閉じた環境で行われており、情報共有する場がなく精練されていく機会が少ない。

本研究においては、この看護実践知により実現される「最適な看護」が行える心が通う看護施術環境を作り出せる要因は何か、また無意識下で行える熟練者の暗黙知とは一体どのようなものであるか、が本研究課題の核心をなす「問い」である。それらを学術的に明らかにし、看護技術の一つのシステムとして具現化することができれば、看護技術の向上とともに、心が通う看護の実現、さらには新人の看護師の育成にも役立つものと考えてきた。

## 2. 研究の目的

本研究は、患者のQOLの向上、および看護する側の負担の軽減を達成するために、患者の身体的生体リズム、あるいは感情的生体リズムの同期を利用する熟練看護の「技(わざ)」や「コツ」などの「看護実践知」を実験的に定量化し、患者との絆を創発する看護環境システム(看護施術環境場)の構築を目的とする。

この研究の斬新なアイディアは、生体リズム同期現象を用いて、看護技術の向上に活かす看護施術環境場の開発を試みる点にある。本研究では、生体パラメータの中でも、特に心拍と脳波における同期現象に重点を置いて、数値モデルを構築して現象を解析し、得られた知見をフィードバックして看護技術に生かすなど、工学の視点から看護技術の問題に取り組む。さらに客観的かつ多面的に実験計測データを分析することによって、「心」の通う看護施術環境場を創発し、「暗黙知」を「暗黙知」のまま伝承・習得することを支援できる看護環境システムの開発を試みる点で、大きなチャレンジ性を有している。また看護熟練者のもつそのような経験と技能を、看護の初学者に容易に伝達する方法論を開発することは意義深いと考えられる。

## 3. 研究の方法

本研究では、看護熟練者は無意識下で患者と「同調」あるいは「協調」を行っているのではないかといった仮説を立て、これまでそれを説明する脳波の同期に関する一部のデータを取得しているが、まだ確証が得られるものではなく、多くの実験と検証が必要であると考えている。同期とは、2人の生体信号において、いずれかの信号の変化にもう一方の信号の変化が類似して追従することを言う。ここでは、心の働きに大きく関係しているとされる心臓の電磁波に新たに着目し、心臓と脳の同期とその同期現象の数値モデルを考案し、血圧、呼吸のリズムが心臓や脳波のリズムに与える影響などを、モデル解析からの理論的な観点と生体計測で収集したデータ解析からの実験的観点から解析を進めた。

本研究では、次の3点について取り組んだ。

1) データの収集: 看護師と患者役を担当する2名の心拍、脳波を二人同時に測定し、自身や両者の時間変化に同期が見られるかどうかを検証する。得られた二人一組のデータより自信と両者間の生体リズム同期現象と、個々のリラックス状態の発現について脳波中の波や波の含

有率をもとに評価を行う。それぞれの生体リズムの同期現象を定量化することによって、患者に対するどのような接し方に対して心電図と脳波、その他の生体情報量に同期が起こるのかを明らかにする。

## 2) 同期現象の解明

数理モデルの考案：取得されたデータをもとに、同期現象に関する数理モデルについて、物理系の同期現象を起こす微分方程式モデルなどからのアプローチを行う。

数理モデルを利用した解析： の数理モデルから得られたデータをモデルに適用し、数値解析により、人と人の同期現象とは何か、同期を引き起こす要因などについて検討する。

フィードバック状態量の検討：音楽、映像などの同期現象を誘発する信号について、同期の強さや継続性から、その有効性について検討する。

## 3) 最適環境システムの構築

照明技術、遠隔コミュニケーション会話などの状況を設定して、プロジェクタマッピング、VRなどの機器の導入も視野に入れて環境システムの構築を試みた。

脳波は心拍や呼吸よりも、ヒトの感情や精神状態とより密接に関係した生体パラメータである。覚醒状態にあるヒトの脳波はその周波数により、波(4~7Hz)、波(8~13Hz)、波(14~25Hz)に大別され、中でも波はリラックス状態や良い集中状態において多く検出される。本研究では、フーリエ変換によって脳波を各周波数成分に分解して波含有率を算出し、その推移に対して2次のバターワースフィルタ(カットオフ周波数0.1Hz)による平滑化を施した後に、2組の時系列脳波データ間の相関係数を同期の評価指標とした。なお、平滑化を行う目的は、人動や筋電によるノイズを除去し、より大域的な脳波の推移をみるためである。

### 3.1 脳波を用いたダイポールイメージングによる快適性評価

ヒトが快適で健康な生活を送るためには、日常多くの時間を過ごす環境を整えることが非常に重要である。環境快適性を向上することができれば、生活の質(QOL)向上に大きな役割を果たし、さらに学習効率や作業生産性の向上などを図ることができる。人は同じ環境でも違う感情を抱く場合があるため、皆が快適に過ごすことができるよう各個人に適切な環境を与える必要がある。このような背景から、「ダイポールイメージングを用い、快適時と不快時の扁桃体周辺の違いから快適性評価ができる」という仮説を立てた。この検証を行うために中温・低温・高温の3条件に室温を設定し、その時計測した脳波をダイポールイメージングによって分析した。

頭皮電位から脳内信号強度分布を推定するため頭部モデルを設定する。本研究では頭部モデルを球体モデルとした。この頭部モデルの脳内に、仮想的にダイポール層を設置し、この層上に放射方向のダイポール信号源を複数個等間隔に設置した。脳内に発生する信号源は、その数や方向に関わらず、この層上のダイポールによって、等価的に表現できる。このダイポール層から頭皮表面までの伝達行列  $L$  を用いて、頭皮表面の電位  $\Phi$  が観測される過程を式(1)よりモデル化した。

$$\Phi = L \cdot J + n \quad \dots (1)$$

$J$ はダイポール信号強度分布を、 $n$ は計測雑音を表す。伝達行列 $L$ は、頭部モデルの形状、導電率並びに電極配置により決定され、頭蓋骨の低電導特性による劣化を表す。この式がダイポールイメージングの順問題となっている。この逆問題を解く。本研究では、式(2)のように最小ノルム推定法によって逆問題を解くこととした。

$$\min \| \Phi - L \cdot J \|^2 \quad \dots (2)$$

この式を解くことで、ダイポール層の信号強度分布を算出し、快適時と不快時の違いを検証することとした。

ダイポールイメージングによるシミュレーション結果を Fig.1 に示す。それぞれ低温、中温、高温条件下での結果である。この図は頭頂部から見た図であり、上が前頭部となっている。Fig.1(b),(d)を見ると(c)と比べ、右中央部、扁桃体周辺に強い反応が出ている。中温と比較すると低温・高温時に、つまり不快時のみ扁桃体周辺に信号源があることが考えられる。そこで、ダイポールイメージング結果の右中央部を用いた快適性の判別を行った。

ダイポール層はダイポール層上に配置された点にて推定されている。そこで、Fig.2の破線部に含まれる点の特定を行った。それぞれの点での信号強度の分布は、正規分布となっていることが分かった。

続いて、特定した点を用いて快適性の判別を行った。判別を行うためには、快適条件と不快条件の信号強度平均の閾値を決定しなければならない。信号強度は正規分布に従うことから、本研究では閾値  $T$  を式(3)のように設定した。

$$T = \mu + x\sigma \quad \dots (3)$$

ただし、 $\mu$ は平均値、 $\sigma$ は標準偏差、 $x$ を変数とした。

25 条件は快適、20・30 条件では不快を正解として、 $x$ を変化させたときの快適性判別正答率を Fig.3 に示す。 $x$ を大きくすると、快適条件(25)での正答率が向上するのに対し、不快条件(20・30)の正答率が低くなっている。快適・不快の両方を判別するため、3条件(20・25・30)の平均をとった結果を Fig.4 に示す。

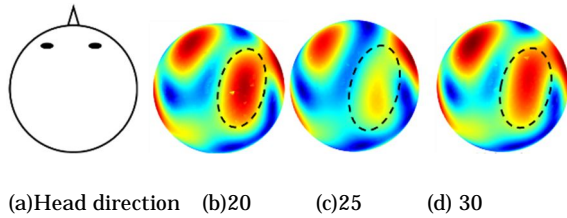


Fig. 1 The results of the dipole imaging.

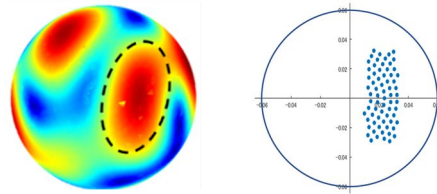


Fig. 2 The result of adopted points.

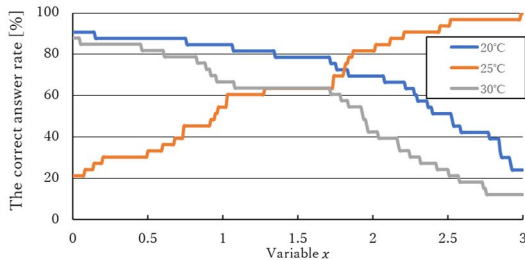


Fig. 3. Relationship between x and correct answer rate

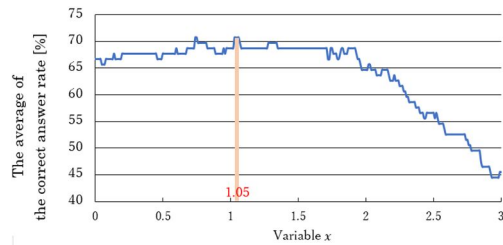


Fig. 4. Relationship between x and the average of correct answer rate.

Table 1 The correct answer rate ( $x=1.05$ ).

	20	25	30	Average
Correct answer rate [%]	84.85	60.60	66.67	70.71

この図より、 $x=1.05$  のとき 3 条件での正答率平均が最大となることが分かった。 $x=1.05$  のときの 3 条件の正答率結果を Table.1 に示す。この表から、25・30 ではそれぞれ 70 % を切る低い正答率となってしまったが、20 条件では 84.85 % と高い正答率となった。以上のシミュレーション結果から提案手法は本研究目的の達成において効果が期待できると言える。本研究では EEG を用いたダイポールイメージングによって、空調環境における快適時・不快時の扁桃体周辺の違いから快適性評価を行った。シミュレーション結果を用いた快適性の判別から、ダイポールイメージングは低温による不快を高い確率で判別することが可能であり、低温に対する個人の好みを考慮した空調制御が期待できる。ダイポールイメージングを用いた快適性評価手法の有効性を示すことができた。

### 3.2 脳波に基づく照明とコミュニケーションの関係

人の集中状態は周囲の環境に依存し、最適な環境は個人ごとに異なる。したがって、作業効率を上げるためには、集中に適した環境を個人ごとに用意する必要がある。しかし、オフィスや学校といった建物内の照明環境は全体的に画一的なものとなっており、個人ごとに最適な照明環境を提供することは難しい。近年では、LED 電球の普及など照明の省エネ化が進行しており、オフィス内での節電や、あらかじめ設定された照度を提供するような制御システムが存在する。一方で過度な照度の変化は、逆に人の快適性や集中力を減少させ不快感や疲労感を増加させる可能性がある。

そこで本研究では、EEG を用いて相互作用を解析することのできる蔵本モデルを用いる。具体的には、被験者に対して様々や照明環境の下でコミュニケーションに関する実験を行う。その実験にて計測した EEG 情報をもとに蔵本モデルを解き、相互作用が発生しているのか、またそうである場合、相互作用が強いのか、弱いのか判定し、その際の照明環境との関係性を調べた。

#### 使用器具

- (1) フロア照明 Floor Light Sofia
- (2) LED 電球 TLG-B001 E26 昼白色
- (3) 照度計 HIOKI FT3424

#### 実験概要

2 人の被験者が交互に発話する課題と、同時に発話する課題の 2 種類を用意した。どちらの課題においても、まずオペレーターが対象となる被験者「3 から 4 ずつ足してください」というコミュニケーション内容に関する指示を与える。交互発話課題の場合、上記の指示に加え、発話する順番も指示する。被験者はもう一方の被験者の発話内容を基に、指示内容に適した数字を発話する。一方、同時発話課題の場合は被験者同士がオペレーターの指示に適した数値を同時に発話する。また、発話するタイミングを、言葉や数字などの言語情報を介して合わせる行為はしないようオペレーターは指示する。

本研究では、範囲の照度の光環境を対象とするため、照明条件として 200, 600, 1000, 1400,

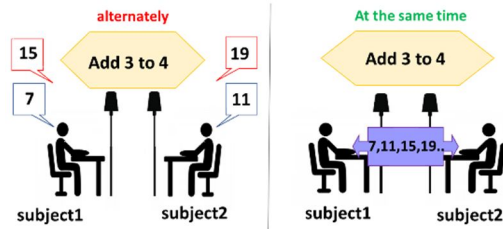


Fig.5 Experimental task

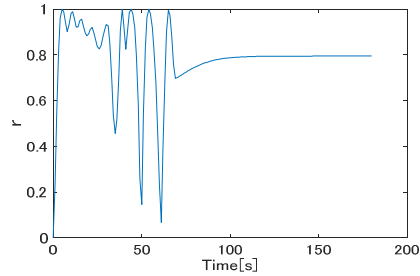


Fig.6 Time variation of order parameter

1800lx の計 5 つを設置した。したがって、すべての実験環境は 10 個となる。本実験の様子は Fig.5 のようになる。

本研究では、同期現象の評価に式 (4) の蔵本モデルを利用し、同期の時間変化については、式 (5) による秩序変数  $r$  で評価する。式 (4) の  $\theta$  と  $\omega$  は、被験者の脳波の固有周波数と位相であり、 $K$  は結合の強さを示すパラメータである。また、 $N$  は同期に関わる要素数で本研究の場合  $N = 2$  である。

$$\frac{d\theta_i}{dt} = \omega_i + \frac{K}{N} \sum_{j=1}^N \sin(\theta_j - \theta_i) \quad (4)$$

$$r = \left| \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N e^{i\theta_j} \right| \quad (5)$$

$r$  は 0 から 1 の値を示し、値の大きさが同期の強さである。1 条件における秩序変数の時間変化を Fig.6 に示す。 $r$  の時間変化は  $K$  の影響を受け、相互作用の効果が十分な Fig.6 の 100s 以降のように秩序変数が一定値に安定した場合、この実験条件では同期状態であると定義する。

各実験条件に対して同期と定義された実験の回数、秩序変数の値を調べた。照度で比較すると 1000 lx のとき、同期回数が最も多くなり、そこから照度が離れるにつれて、同期回数が減少した。また Fig.6 の秩序変数の値は、200 lx と 1800 lx のときに低下した。また、Fig.5 の発話課題で  $t$  検定を用いて比較すると同時発話課題の方が、交互発話課題より、Fig.6 の安定した秩序変数の値が有意に高いため ( $P < 0.05$ )、非言語による相互作用が強くなる。したがって、照明環境やコミュニケーション内容が、視覚からの非言語情報による相互作用に与える影響や各発話課題の最適条件が示された。実験結果より、広い範囲での調光は集中の妨げになり、知的作業を行う際の照明環境には適さないといえる。

#### 4. 研究成果

看護熟練者は無意識下で、患者と「同調」あるいは「協調」を行っているという仮説を検証するために、脳波の同期に関する一連のデータを取得し、より確証性を高めるための様々な角度からのデータ計測を継続して実施した。具体的には、脳波 EEG 計測データの周波数解析・電磁界解析から、同期現象の発現を同定する作業を繰り返し実施した。

そこで同期現象に関する数理モデルの構築に向けて 2 種類の実験的アプローチを実施し以下の成果が得られた。まず脳波を用いたダイポールイメージングによる快適性評価における検討では、快適・不快感情を与える刺激として画像や空調環境に対する実験から、右扁桃体周辺において、不快時に強い信号が見られるという結果を得た。

次に、照度変化を伴う照明環境とコミュニケーションに関する実験では、同時より交互に発話する課題の方が、同期の発生回数が多い一方、同期の強さは同時発話課題の方が強いことが分かった。したがって、照明環境やコミュニケーション内容が視覚からの非言語情報による相互作用に与える影響が確認された。またモデル解析結果より、非言語情報が同期に与える影響はコミュニケーションによって異なるが、照度を最適にすると同期が進むことは異なるコミュニケーション内容でも一致することが明らかになった。以上より、及び脳波を用いた蔵本モデルから、適切な明るさを設定することで、表情や目線といった、非言語情報の取得が進むため、円滑なコミュニケーションが実現するという結果を得た。

今後の課題としては、暗黙知の定量化や、その看護実践知により実現される「最適な看護」が行える心が通う看護施術環境を作り出せる要因のさらなる分析などがある。これまでの研究をさらに発展させて、知的な照明・音響・空調機器を利用した看護施術のための快適環境最適システムの提案に繋がっていきたいと考えている。



5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計6件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 森光隼平, 石亀篤司, 中田悠斗, 植地勇太, 片桐真子
2. 発表標題 ストレス・不安を和らげる照明環境についての検討
3. 学会等名 電気設備学会 全国大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 中田悠斗, 石亀篤司, 森光隼平, 片桐真子
2. 発表標題 生体リズムの同期現象と快適な生活環境構築に関する研究
3. 学会等名 電気関係学会 関西連合大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 植地勇太, 石亀篤司, 森光隼平, 中田悠斗, 片桐真子
2. 発表標題 脳波による照明とコミュニケーションの関係
3. 学会等名 電気学会 全国大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yuna Shigematsu, Yuta Ueji, Atsushi Ishigame
2. 発表標題 Comfort Evaluation from EEG Dipole Imaging
3. 学会等名 14th International Conference on Health Informatics (HEALTHINF 2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 植地勇太, 重松佑奈, 石亀篤司
2. 発表標題 照度変化を伴う照明環境と知的作業における集中の関係
3. 学会等名 日本人間工学会 関西支部大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 重松佑奈, 石亀篤司
2. 発表標題 脳波を用いたダイポールイメージングによる快適性評価についての検討
3. 学会等名 日本人間工学会 関西支部大会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

大阪府立大学 電力システム研究グループ <a href="http://www2.eis.osakafu-u.ac.jp/~power/">http://www2.eis.osakafu-u.ac.jp/~power/</a>
--

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
---------	---------