

令和 6 年 6 月 10 日現在

機関番号：84431

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2018～2023

課題番号：18K18706

研究課題名（和文）概日リズムを取り入れた生活環境下で聞こえるサイン音に対する新評価方法の開発

研究課題名（英文）Development of a New Evaluation Method for Auditory Signals in Living Environments Considering Circadian Rhythms

研究代表者

片桐 真子（Katagiri, Mako）

地方独立行政法人大阪産業技術研究所・和泉センター・研究員

研究者番号：50359379

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,800,000円

研究成果の概要（和文）：私たちの生活環境には、何らかの情報やメッセージを伝える役割を果たすサイン音と呼ばれる聴覚信号が存在する。本研究では、日常生活を模擬した環境で音刺激にさらされたときの心拍の定位反応（OR）に基づいて、予期せぬ音に対する人の反応の違いを客観的に評価する方法を提案した。周波数と音色の異なる16種類のテスト音を作成し、概日リズムを考慮した実験プロトコルに従って22名の成人男性を対象に聴取実験を行った。テスト音に対する気づきやすさは、テスト音の提示前後5拍の心拍のRRIから算出したOR値で評価した。この方法により、時間帯の影響を受けにくい音が明らかになり、聴覚信号として有効な音を抽出することができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ヒトの暮らしと関わりの深いサイン音は、どのような状況下においても正しく知覚されなければならない。しかし多くの場合サイン音の評価は、静かな実験室において提示された音のみに対する主観的調査が一般的である。これでは、日常生活の一般的な環境音から対象とするサイン音の評価結果と乖離する可能性もある。そこで、心拍の定位反応に着目し、予期せぬ刺激に対する人の反応の違いを客観的に評価する手法を検討した。

研究成果の概要（英文）：In our living environment, there are auditory signals called sign sounds that play a role in conveying some information or message. This study proposed a method to objectively evaluate differences in people's responses to unexpected sounds based on the Orienting Response (OR) of heart rate when exposed to sound stimuli in an environment that simulates daily life. Sixteen test sounds with different frequencies and timbres were created, and listening experiments were conducted with 22 adult males according to an experimental protocol with accommodation for circadian rhythms. The noticeability to the test sounds were evaluated by the OR value calculated from the RRI of the heartbeats for the five beats before and after the presentation of the test sound. This method revealed sounds that were less sensitive to the time of day, and also enabled us to extract sounds that were valid as auditory signals.

研究分野：聴覚心理、人間工学、音響心理

キーワード：サイン音 定位反応 心拍変動 気づきやすさ 客観的評価

## 様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

サイン音とは何らかのメッセージを伝える音の総称であり、日本サインデザイン協会において「製品や機械類の製造者によって意図的に付加された電子的な音」と定義されている。たとえば、電話の呼出音、家電製品などの終了音、危険を知らせる報知・警報音などである。このようなサイン音の心理的効果の測定は、無音空間でサイン音のみを聴取することが一般的であるが、これはあらかじめサイン音が鳴るということを想定できる条件であるため、日常生活における利用者の立場での検証とは言い難い。言い換えれば、サイン音の気づきやすさは、日常生活での無意識下の条件でこそ真価が問われるものである。そのため、背景音を含む日常生活環境における無意識な条件下における調査が重要である。また、ヒトの聴覚にも概日リズムが存在する可能性がある。すなわちヒトが感知する音は同じ音でも聴取する時間帯によってその印象が異なると推察される。しかし、従来のサイン音の開発においては、昼夜の影響を考慮した発想は皆無であり、実験の実施時刻についても考慮されてはこなかった。研究代表者は、これまでに広い周波数帯域にエネルギーを持つ和音は、気づきやすくサイン音に適していることを明らかにした。また、サイン音への気づきを検出する方法として心拍変動を用いた技術で特許を取得している。このような背景と経緯から、空間的にも時間的にも、より実際の生活を再現した条件でのサイン音の検証が重要であると考えた。

### 2. 研究の目的

生活環境に適したサイン音を開発するために日常生活を模擬した実験環境を設営し、サイン音に対する気づきやすさをヒトの生理的变化から客観的に評価する方法を明らかにする。そして、1日の時間帯で気づきやすさの差異について概日リズムの観点から解明し、サイン音にふさわしい音響特性の抽出を目的とする。

### 3. 研究の方法

#### (1) 無意識下でのサイン音に対する気づきの生理学的検出

生活環境を模擬可能な実験室において音響環境の実態に基づいたサイン音の作成

人間の可聴周波数帯域のうち、聴覚に敏感な帯域は 2kHz ~ 5kHz と考えられている<sup>(1)</sup>。日本工業規格には、高齢者が聞き取りにくい周波数帯域を考慮して警報音は 2.5kHz を超えないように定められている。これらをふまえて、実験に用いるテスト音は、不完全協和音程である C + E と C + G#<sup>(2)</sup> を選び、テスト音の周波数帯域は 130.8Hz (C3) ~ 1661.4Hz (G#6) とした。音色は、楽音 (Musical tone; 残響時間の短いピアノ音) と音程という音楽的概念を持たない複合音 (Complex tone; 正弦波) の 2 種類を用意した (Table 1)。テスト音のオン/オフパターンは、音響処理ソフトウェアを用いて作成し、0.5 秒の無音の前後に 0.5 秒の持続音の構成とした。作成した 16 個のテスト音は、1 時間に 1 回、225 ± 30 秒間隔でランダムに呈示するようにプログラムされた。なお、参加者には、テスト音の提示タイミングは知らされない単盲検であった。

Table 1. The property of test sounds

Musical tone No	Complex tone No	Musical interval frequency (Hz)	Pitch name
M01	C09	130.8 + 164.8	C3 + E3
M02	C10	130.8 + 207.7	C3 + G#3
M03	C11	261.6 + 329.7	C4 + E4
M04	C12	261.6 + 415.4	C4 + G#4
M05	C13	523.3 + 659.3	C5 + E5
M06	C14	523.3 + 830.7	C5 + G#5
M07	C15	1046.5 + 1318.6	C6 + E6
M08	C16	1046.5 + 1661.4	C6 + G#6

#### 音提供および生理信号装置の作製

作成したサイン音を出力する装置と、生理信号の測定機器を一体型にした音声刺激提示機能付き心拍変動計測システム (EXPRESSHRV-01; ATR-Promotions, Inc.) を構築した。これによって実験室内の被験者に与える拘束性を低減し、より自然な環境での測定を可能にする。同時に、煩雑なオペレーティングシステムを簡便化させ、タイムコードに基づいた計測機器の一元化が可能になった。

#### (2) サイン音に対する反応と概日リズムの関連性の検証

##### 実験手順

実験は、日常生活を想定した京都大学医学研究科人間健康科学系実験室において行った。参加者に、ディスプレイ電極を三点誘導で貼付し小型心電図アンプを携帯させ、実験中の心拍を測定した。心拍のデータは、Bio-Parameter Real Time Analysis System (MaP1058) を用いて PC に保存した。参加者は、事前アンケートにて極端な朝型/夜型、精神的障害、睡眠障害に関する除外基準をクリアした、聴覚に関する既往症のない健康な男性 22 人 (24.0 ± 1.7 歳) であった。実験参加の前に、本研究の目的とデザインに関する詳細な説明を受け、その後、書面によるインフォームド・コンセントを行った。なお、本研究はヘルシンキ宣言に基づき実施され京都大学大

学院医学研究科倫理委員会の承認 (No. C1306-1) を受けて行った。

実験プロトコルは、聴覚信号の知覚に日内変動があるかどうかを調べるために、2泊3日で行った (Fig 1)。実験室では、参加者の起床、睡眠、食事、入浴はすべてスケジュールに従って行われ、それ以外の時間は自由時間とした。実験室内へ個人 PC の持ち込みは許可されており、使用は就寝時間までとした。ただし、個人的な音源の使用は禁止した。室内に設置した2台のスピーカからピンクノイズを 56dB(A) で出力し、実験中の背景音を一定に保った。

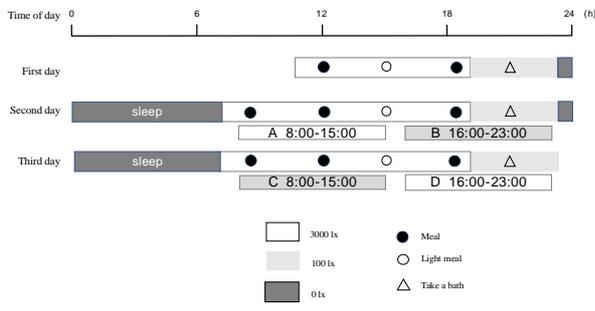


Fig 1. Experimental protocol

実験は、持ち越し効果と時期効果の影響を調べるため、クロスオーバー試験で行った。具体的には 8 時間の睡眠時間を除いた 2 日目と 3 日目の 16 時間を A から D の 4 セグメントに分け、参加者は Period 1 では「A と D」または「B と C」のいずれかに無作為に割り付けられ、少なくとも 1 週間のウォッシュアウト期間を経て、Period 2 でもう一方のセッションに参加した。テスト音に対する反応の再現性を確認し、有効な聴覚信号として期待できるテスト音を抽出した。このデザインの流れを Fig 2 (a) に示す。

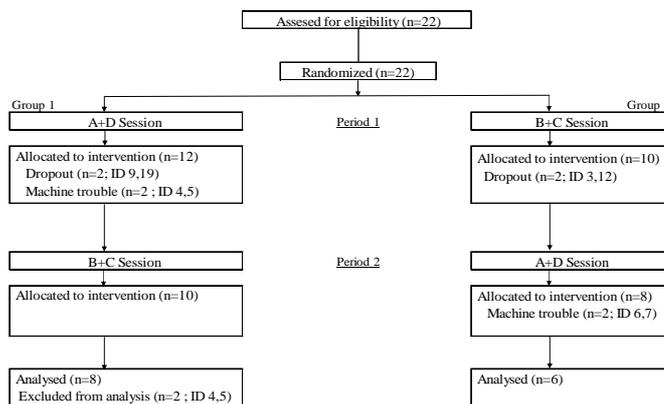


Fig 2 (a) Experimental participant's flowchart of crossover examination

次に、(a)において抽出された音のうちサイン音としての有効性を同定するために、ランダム化比較試験を行った。その流れを Fig 2 (b) に示す。

### 検証方法

予期せぬ音に対する評価は、生物が何らかの、あるいは意味のある外的刺激にさらされたときに起きる定位反応 (OR) と呼ばれる現象<sup>(3)</sup>を活用した。具体的には、参加者の心電図波形から読み取った RR 間隔 (RRI) を用いた。テスト音呈示前の 5 つの RRI の平均時間 (M1, ms) と標準偏差 (SD, ms) 呈示後の 5 つの RRI の平均時間 (M2, ms) を求め、M1 から M2 を引いた値を SD で割った値を OR 値とした。OR 値が 2 より大きい、または -2 より小さければ、参加者のテスト音に対する反応が大きい、すなわち音に気づきやすいと判断した<sup>(4)</sup>。

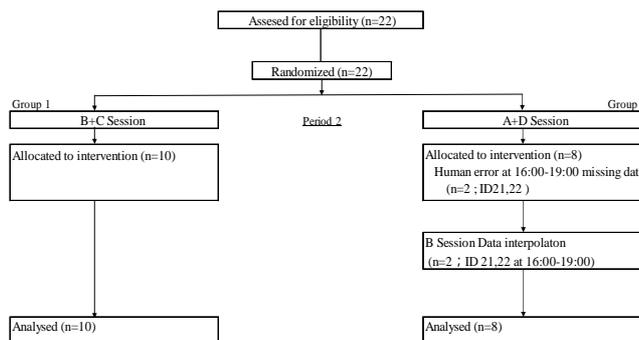


Fig 2 (b) Experimental participant's flowchart of Randomized controlled trial

### 統計方法

テスト音の気づきやすさの頻度 (%) に対する正規性は Shapiro-Wilk 検定で確認した。Period 間での持ち越し効果および時期効果は Wilcoxon 順位和検定で行った。次に、テスト音の違いを明確にするために Kruskal-Wallis 検定を行った。概日リズムに関しては、8:00 から 15:00 の時間帯 (MO) と 16:00 から 23:00 の時間帯 (AF) における気づきやすさの頻度 (%) を比較し Wilcoxon 順位和検定を行った。サンプルサイズが小さい場合は Wilcoxon の正確検定を用いた。すべての解析は、予測分析ソフトウェア JMP16.2 (SAS Institute Inc.) を用い、統計的有意性は  $p < 0.05$  とした。

#### 4. 研究成果

##### クロスオーバー実験によるテスト音に対する再現性

16種類のテスト音に対する気づきやすさの頻度(%)のperiod 1とperiod 2における再現性の結果をTable 2に示す。持ち越し効果ではM 05、C 09、C 11 ( $p=0.044$ 、 $p=0.046$ 、 $p=0.019$ )の3個のテスト音、時期効果では、C 10、C 15 ( $p=0.007$ 、 $p=0.044$ )のテスト音において有意差が認められ、これら5つの音は再現性の点で好ましくないことがわかった。また、聴覚信号は情報を伝達することが目的であるため、音への慣れによって反応が鈍くなることは好ましくない。Musical toneの再現率は88%(テスト音8個のうち7個)、complex toneの再現率は50%(テスト音8個のうち4個)であったことから、Musical toneの方が聴覚信号に向いている可能性がある。

Table 2. Comparison of two-period (Group 1 vs Group 2)

Test No.	Median-value		Carryover effect		Median-value		Period effect	
	Group 1	Group 2	S	p-value	Group 1	Group 2	S	p-value
M01	57.14	60.71	44.0	0.924	0	-1.79	42.5	0.801
M02	46.43	46.43	43.0	0.829	7.14	-1.79	32.0	0.093
M03	46.43	42.86	38.5	0.431	0	-3.57	38.0	0.384
M04	46.43	46.43	42.0	0.729	1.79	-3.57	32.5	0.095
M05	67.86	42.46	29.5	<b>0.044</b>	3.57	-1.79	-1.38	0.17
M06	71.43	50.00	36.5	0.290	3.57	3.57	0.00	1.00
M07	57.14	53.57	39.5	0.512	5.36	3.57	-0.86	0.39
M08	39.28	57.14	52.5	0.368	7.14	-1.79	-1.25	0.21
C09	67.86	35.71	29.5	<b>0.046</b>	3.57	-5.36	-0.98	0.330
C10	8.63	6.00	36.0	0.264	8.93	-5.36	-2.54	<b>0.007</b>
C11	60.71	39.29	27.0	<b>0.019</b>	0	-3.57	-0.87	0.417
C12	39.29	35.71	42.0	0.726	1.79	-7.14	-1.58	0.104
C13	50.00	50.00	40.0	0.567	0	-5.36	-1.18	0.240
C14	60.71	53.57	43.5	0.871	-1.79	-3.57	-0.26	0.745
C15	39.29	60.71	58.5	0.085	-3.57	-10.71	-1.95	<b>0.044</b>
C16	67.86	50.00	42.0	0.728	0	-5.36	-1.71	0.082

##### ランダム化比較試験(テスト音の比較)

Period 2に参加した18名のデータから、の5個のテスト音を除く11個のテスト音に対する気づきやすさを検証した結果、有意差は得られなかった( $\chi^2 = 8.00$ ,  $df = 10$ ,  $p = 0.63$ , Kruskal-Wallis検定)。また、11個のテスト音には、同じ音楽的音程を持つ異なる音色の3個のペアが含まれていたが、いずれのペア間にも有意差は認められなかった。(C4+G#4音程の[M04 vs C12]: $p=0.40$ 、C5+G#5音程の[M06 vs C14]: $p=0.34$ 、C6+G#6音程の[M08 vs C16]: $p=0.43$ )。これは、提示時間が1.5秒に2回と短かったことが一因と考えられ、さらなる詳細な研究が必要である。

##### テスト音と概日リズムの関連性

11個のテスト音について、MOとAFの時間帯における気づきやすさの違いを比較した(Fig 3)。

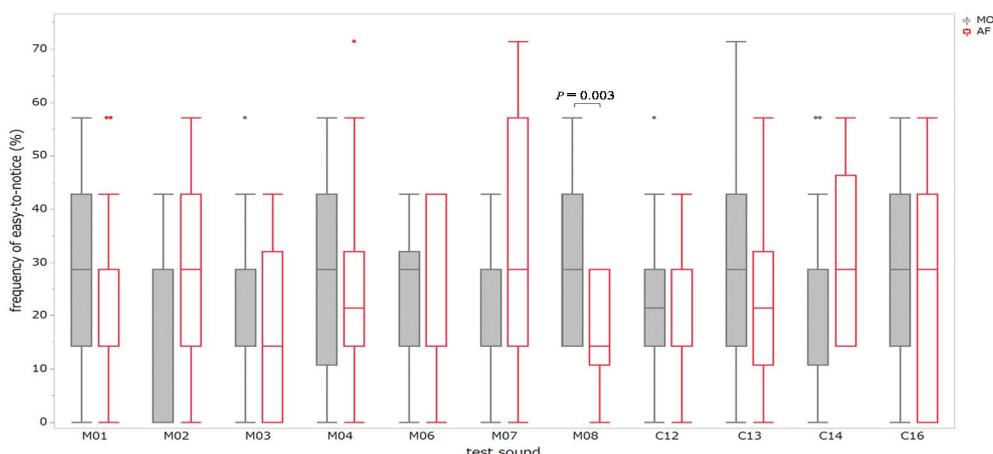


Fig 3. Box plots of frequency of easy-to-notice (%) between MO and AF for 11 test sounds

MOとAFの間に有意差が認められたテスト音M08( $p = 0.003$ )は、概日リズムの影響を受けている可能性が考えられ、終日使用するには不向きな音であることが推察された。すなわち、サイン音を設計する際に、このような音の存在に考慮すべきことを示唆している。MOとAFにおいて中央値が同じとなったM01、M02、M07、C14、C16の5個のテスト音は、気づきやすさが高く、かつ時間依存性が低いと考えられた。

### テスト音に対する印象評価

5個のテスト音のPeriod 2における18人の8時から23時までのOR値の散布図をFig 4に示す。心拍のOR反応は、刺激に対する反応の種類を識別できることが示唆されており、緊張、防衛や驚きをもたらす反応は、正のOR値（OR値>2）すなわち加速反応を示し(5)、緊張しない反応は負のOR値（OR値<-2）すなわち減速反応を示すことが報告されている(6)。

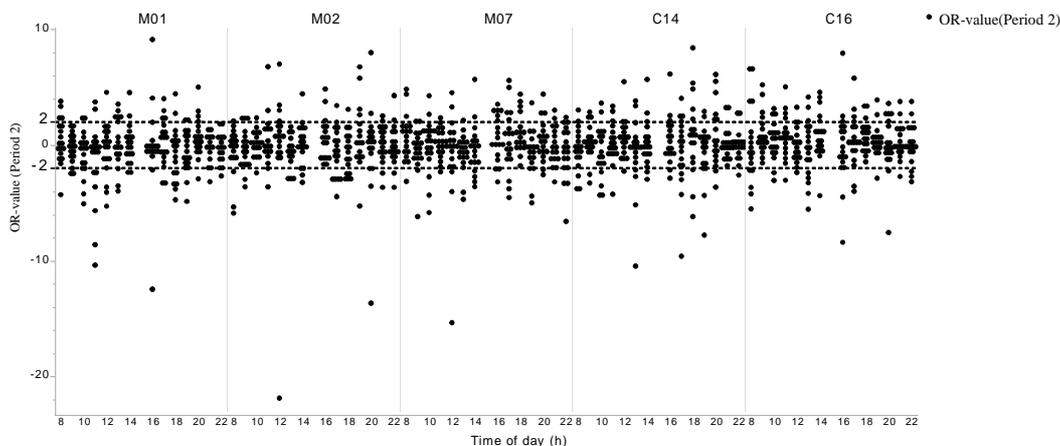


Fig 4. Scatterplot of OR values from 8:00 to 23:00 by Five test sounds

Fig 4の結果から、算出した加速反応（OR値>2）と減速反応（OR値<-2）の割合をTable 3に示した。5個のテスト音のうち、減速反応の割合が高いM01は緊張を与えないテスト音であり、加速反応の割合が高いC16は緊張や驚きを強く印象づけるテスト音であると考えられた。M01は、驚愕を伴わない気づきやすい音のためアナウンスの前置信号として、C16は緊張を伴うものの安全・安心をサポートする緊急警報としてのサイン音として、音の印象を使い分けることによって、状況に応じた効果の高いサイン音の提供が可能となる。

Table 3. The rate of the number of acceleration responses number and deceleration responses number to the total number of OR-values

	M01	M02	M07	C14	C16
acceleration response (%)	12.3	12.3	14.5	14.8	17.8
deceleration response (%)	16.8	13.6	13.7	13.6	11.3

実験室内で再現された日常空間において、予期せぬタイミングで心拍変動に影響を与える音を生理学的に抽出する本方法は、ヒトの「気づき」に対する客観的で定量的な評価を可能にし、加えて、概日リズムに影響を受ける音の存在も明らかにした。すなわち、聴覚信号に対するヒトの反応を抽出する試みとして、生活環境においてマスキングされにくいサイン音を開発する上でも意義がある。この方法を活用することによって、音の知覚だけでなく、大きさや時間、場所などに配慮した設計が可能になるため、生活環境の真の改善に大いに貢献すると考える。

### <引用文献>

- (1) Rossing T. Springer Handbook of Acoustics. 2007th Edition. 747-748. ISBN 978-0387304465.
- (2) 片桐真子、櫻井芳昭、評価方法および評価装置 特許第 6519049 号
- (3) Sokolov EN. Neuronal models and the orienting reflex, in The Central Nervous System and Behavior, Mary A.B. Brazier, ed. NY: Josiah Macy, Jr. Foundation. 1960;187-276
- (4) 片桐和雄、小池敏英、北島善夫、重症心身障碍児の認知発達とその援助、北大路書房 43-45
- (5) Graham FK, Clifton RK. Heart-rate change as a component of the orienting response. Psychological Bulletin. 1966;65(5):305- 320.
- (6) Lecanuet JP, Granier-Deferre C, Jacquet AY, Busnei MC. Decelerative cardiac responsiveness to acoustical stimulation in the term fetus. The Quarterly Journal of Experimental Psychology, Section B Comparative and Physiological Psychology. 1992;44(3-4):279-303

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Katagiri Mako	4. 巻 65
2. 論文標題 Research on auditory signal characteristics that support the safety and security of daily life From an age-related hearing change and impression evaluation experiment in healthy adult subjects	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 AUDIOLOGY JAPAN	6. 最初と最後の頁 35 ~ 43
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.4295/audiology.65.35	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1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 片桐真子、長島俊輔、若村智子
2. 発表標題 日常生活で気づくサイン音に対する健康成人の心拍変動を用いた定位反応による評価
3. 学会等名 日本生理人類学会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔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
研究分担者	若村 智子  (Wakamura Tomoko)  (40240452)	京都大学・医学研究科・教授   (14301)	
研究分担者	長島 俊輔  (Nagashima Shunsuke)  (80826503)	京都大学・医学研究科・助教   (14301)	分担者から除外

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