

平成 30 年 6 月 25 日現在

機関番号：31103

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15H02882

研究課題名(和文)音響アフォーダンス理論に基づいたサイン音設計法

研究課題名(英文)Sound design methodology based on an Acoustic Affordance theory

研究代表者

三浦 雅展 (Miura, Masanobu)

八戸工業大学・工学部・准教授

研究者番号：80368034

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,700,000円

研究成果の概要(和文)：アフォーダンスとは「周囲の環境が動物に意味を与える、または動物が周りの環境に意味を与えること」とされており、近年注目されており、家具やWebデザインなどの人工物のデザインに用いられる。一方、サイン音のアフォーダンス性によりデザインがなされている。人が音を聴取しただけでメッセージを伝える特徴を本研究で「音響アフォーダンス」と呼称し、作曲家や音デザイナーらの長年の勘と経験に委ねられて作成された音に対する直感の立証を目的とし、脳波計測を行なった。その結果、事象関連電位の出現時刻およびそのレベルに差異が見られたことから、音に対する潜在的意味の違いを聴取者は知覚し、脳内での処理が異なることが示唆された。

研究成果の概要(英文)：Recent artificial objects have been designed by taking Gibson's "Affordance" into consideration. Sign sounds are designed to send certain messages to people. Sound designers often produce them by relying on intuition and experience. However, sort of logical methodology to create the sign sound has not yet established. This project examines a possibility of existence the "Sound Affordance" by conducting listening experiments whose experimental stimuli are musical chords under ERP measurement. As a result of the appearance time of ERP in case of listening to sounds with potential meaning, the ERP appeared more slowly than the other that has no potential meaning. Moreover, the energy of ERP when listening positive stimulus elicits stronger ERP than the other condition. From them, the brain processing appears the complexity by the existence of potential meaning of sounds. Therefore, sound affordance is suggested to positively exist.

研究分野：音響情報処理

キーワード：アフォーダンス 脳波 MMN サイン音 デザイン

1. 研究開始当初の背景

スマートフォンや携帯電話などの情報機器だけでなく、炊飯器や自動湯沸器などの白物家電や電気自動車などの多くの人工物では、あらゆる目的で音を出すデザインがなされている。例えば携帯電話の着信や炊飯器や洗濯機などの作業終了などのなんらかのメッセージを伝えるべくして設計された音もあれば、プリンターやエアコンなどのやむを得ず発してしまう音など、様々である。マリーシェーファーによると、我々は音に囲まれた生活を営んでおり、その生活音から様々な音に囲まれた心理的な風景「音風景」を描いている。マリーシェーファーによる音風景では、音が人に対して有機的に様々なメッセージを与えているとされており、研究者達はそのような音風景を人工的に作成しようとし、それを担うのが「サイン音」である。サイン音とは、音がユーザに対してなんらかのメッセージを伝えるために意図的に設計されたものや、自然と発せられる自然音によるメッセージ伝達を含んだものであり、例えば人工音の場合は音の発音間隔や高さなどを制御することで設計される。サイン音デザインでは、特定の時間パターンや音高パターンによるデザインだけでなく、例えばベートーベンの第九のようなよく知られたクラシック音楽のメロディを再生するといった、音楽メロディそのままのデザインもある。一方、近年のエネルギー問題を発端とした電気自動車が普及し、従来のガソリンエンジンのような騒々しい音をたてることなく、大変静かに動作することが可能となった。この静寂性は新たな問題を惹き起こしており、視覚障害者だけでなく、健常者であっても当該車両が視界に入らない場合においては、車両の存在に気付きにくく、交通事故につながりかねない。そのために接近音というサイン音を設計するものの、新たな騒音問題になりかねないという問題もあり、その設計は容易ではないとされている。様々な接近音のデザイン手法が近年注目を浴びている。

以上のように、現代社会において音の重要性は高まっており、電気自動車用接近音や情報端末における音デザインにおいても、音のデザインが重要視されてきている。しかしながら、サイン音を含む多くの人工音に対する設計法はまだまだ発展途上と言えよう。なぜなら音デザインに対する指標が曖昧であり、結局のところ、例えばサウンドデザイナーや音楽家によるデザインに頼らざるを得ない状況があり、設計手法が理論化・体系化されているというよりもむしろ、経験的・主観的判断に基づかざるを得ないのが現状である。この問題を解消するには、例えば音がそもそも持つメッセージ性(例えば「この音は気付きやすい」「受け入れやすい」または「覚えにくい」といったように)を予め音響信号から予測できることが求められるが、そのような予測を行なう手法はこれまでに提案され

ていない。この考え方はユーザインタフェース(UI)分野における「アフォーダンス」の考え方に近い。UIのアフォーダンスとは例えば丸いつまみをみれば回転でき、レバーをみれば上下に倒せるといった、インタフェースが人間に対して暗に使い方を伝える(アフォードする)理論であるが、音響信号においてはそのような理論はこれまで確立されていない。もし音響信号が人に与えるメッセージを音響信号から予め予測することができれば、人工物の音デザインに活用できるだけでなく、我々にとって心地よい音風景の実現につながられ、我が国国民のQOL(Quality of Life)を向上できると言える。

2. 研究の目的

本研究ではサイン音の存在可能性(以降、アフォーダンス性)の調査を脳波測定に基づいて行なう。先行研究[1]では長三和音と短三和音の持つ潜在的意味[2]を知覚したことにより脳波の一種であるMMN(MisMatch Negativity)の振幅が音楽経験の差によって変化、つまり脳内の処理が変化したことが報告された。すなわち、音のアフォーダンスの存在可能性が示唆されている。しかし、MMNの出現時刻については考察されていない。音の潜在的意味を知覚して脳内の処理が異なるのであれば、MMNの出現時刻にも変化が表れると考えられる。このことから、ここではMMNの出現時刻に着目した音のアフォーダンス性についての調査を行なう。また、一般的に人が聞き慣れない音と考えられる協和音と不協和音のMMN課題を用いた脳波の測定実験を行なう。そして協和音と不協和音をMMN課題に用いた際のMMNの振幅及び出現時刻を各条件で比較することにより音のアフォーダンス性を調査する。具体的には和音を聴取した際に協和か不協和を理解できる聴取者に対し、協和音とされる完全5度と長3度、不協和音とされる短2度の和音で構成されたMMN課題を用いた脳波測定を行ない、音のアフォーダンス性についての調査を行なう。

3. 研究の方法

MMNとは連続する標準音刺激(以降、標準刺激)にその法則から逸脱する音刺激(以降、標的刺激)が呈示された際に、刺激の開始時刻を0msとした場合100ms以降に累積する陰性電位である[3]。MMNの具体例を図1に示す。MMNは標準刺激と標的刺激の物理的特徴差、あるいは潜在的意味の知覚をした際に発生すると言われている。MMNは標準刺激に一定の確率で標的刺激を混在させた実験刺激を呈示した際の脳波を測定し、それぞれの脳波を加算平均することで測定することが可能である。もし、MMN課題の標準刺激と標的刺激の物理的特徴差を可能な限り無にし、潜在的意味の差異のみを持たせるとすると、MMNから聴取者が潜在的意味の差異を知覚し

たかどうかを客観的視点から確認することができる。

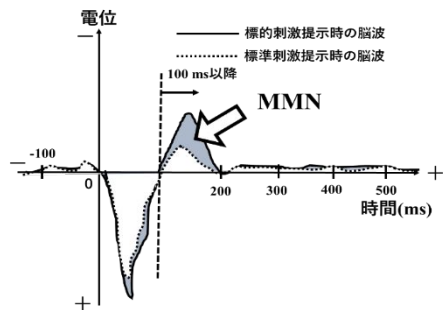


図1 MMNの具体例

協和音とは、同時に鳴った際に調和する音であり、調和しない音を不協和音と呼ぶ。一般的に人は協和音を聴取した際には心地よいと感じ、不協和音を聴取した際には不快に感じる。また、不協和音は聴取者に不快感を与えるため、一般的に聴取する音楽などではあまり用いられない。すなわち、一般的に人が聞き慣れない音であると考えられる。このことから、協和音と不協和音をMMN課題として用いることで、音の潜在的な意味の違いを顕在化できると考えられる。そのため、本報告では協和音と不協和音から構成されたMMN課題を用い、脳波測定実験を行なう。

先述したように、音響アフォーダンスに対する研究は多数行なわれているが、Cmaj及びFmajとFminの和音を用いた実験を行なっており、その他の和音については検討されていない。また、今回の調査では、Cmaj Fmajの和音進行が全13020通りの和音進行の中で出現確立が4位、Cmaj Fminの和音進行が161位と、いずれもポピュラー楽曲によく用いられる和音進行であることが確認されている。MMN課題はその性質上連続的に聴取させるが、それが聴取者には和音進行の様に聞こえてしまい、MMNが出現しづらい可能性が考えられる。この可能性を考慮すると、人間が普段あまり聴取しないような実験刺激が望ましいと考えられる。そのためここでは、普段あまり人間が聴取しない協和音と不協和音を用いたMMN課題を構成し、実験刺激として用いることで音響アフォーダンスに対する調査を行なう。

脳波測定実験に用いた刺激条件リストを表1に示す。実験刺激の作成方法は、例えば条件1の標準刺激には中心周波数が1000Hzとなる完全5度の816.5 Hzと1224.7 Hzで構成された協和音を用いたことを表す。条件1の標準刺激の構成音の算出式を式(1)に示す。

$$F_s = 2^{\{(\log_2 f_1 + \log_2 f_2 \cdot x)/2\}} \dots (1)$$

F_s は中心周波数、 f_1 と f_2 は構成音の周波数、 x は完全5度となる比率3/2を代入する。その結果、 $f_1 = 816.5 \text{ Hz}$ 、 $f_2 = 1224.7 \text{ Hz}$ が求まる。その後、Avid Technology社製のDAWソフトウェアProtools 12.3.1のDB-33(オ

ルガン)を使用し、平均律の音階から近い音階であるG#4(830.6 Hz)とD#5(1244.7 Hz)を引き延ばし、816.5 Hzと1224.7 Hzとし、MMN課題として用いた。なお、それ以外の実験刺激も純正律の比率と式(1)を用い、作成を行なった。

表1 脳波測定実験で用いた刺激条件リスト

条件	標準刺激 (中心周波数) (協和 or 不協和)	標的刺激 (中心周波数) (協和 or 不協和)
1	816.5:1224.7[Hz] (1000 Hz) (協和)	894.5:1118.1[Hz] (1000 Hz) (協和)
2	816.5:1224.7[Hz] (1000 Hz) (協和)	1341.7:1677.1[Hz] (1500 Hz) (協和)
3	816.5:1224.7[Hz] (1000 Hz) (協和)	968.3:1032.8[Hz] (1000 Hz) (不協和)
4	816.5:1224.7[Hz] (1000 Hz) (協和)	1452.3:1549.1[Hz] (1500 Hz) (不協和)

実験は八戸工業大学システム情報工学専門棟1401にて行なった。実験機材として、8ch多用途生体アンプシステムMaP7800(ニホンサンテック社製)を使用した。A/D変換ボックスMaP292(ニホンサンテック社製)でA/D変換を行ない、取り込み用PCであるVAIO VJZ13A1DFF5AS(Sony社製)に、インプット用ソフトウェアMaP2000(ニホンサンテック社製)を介して取り込んだ。スピーカーは8030A BI-AMPLIFIED(GENELEC社製)を用いた。電極はアクティブ電極を用い、国際10-20法に基づいてCzに配置した。なお、基準電極は両耳朶連結で求めた。また、眼球運動をアーティファクトとして記録するため、上下眼窩にも電極を配置した。国際10-20法の電極配置図を図2に示す。また、サンプリング速度は1000 Hzとした。実験システムの接続状態を図3に示す。なお、聴取者には椅子に座った状態で開眼させた状態で実験刺激を聴取させた。音刺激200 msec、刺激間時間1300 msecを組み合わせた合計1500 msecを実験刺激とし、標準刺激と標的刺激の合計が500回となるようにランダムに呈示した。また、標的刺激は全体2割とした。

脳波に対する波形処理は加算平均処理、アーティファクトの除去、ベースライン調整を行なうことでMMNの抽出を行なった。また、脳波測定データの数値解析を行なった結果、ハードウェアレベルでローパスフィルタ(遮

断周波数 30 Hz)を用いたにも拘わらず,30 Hz 以上の成分が含まれていたため,加算平均処理以前にデジタル処理によるローパスフィルタ(遮断周波数 30 Hz)を用いた.本報告の波形処理の流れを図4に示す.

聴取者は本学に在籍する1名(男性1名,年齢21.8)で行なった.

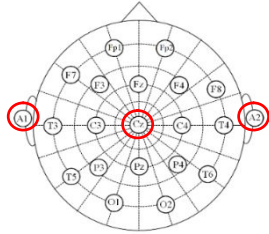


図2 国際10-20法に基づいた電極配置図

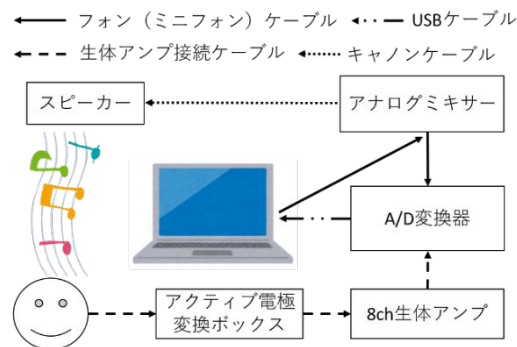


図3 測定機材の接続状態

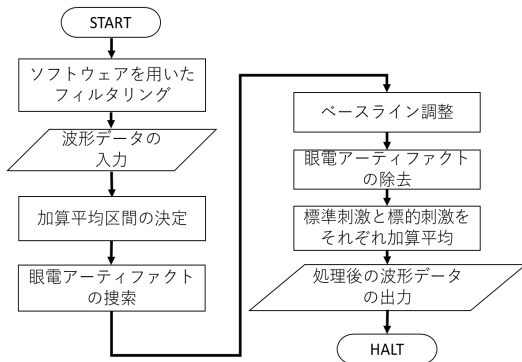


図4 波形処理の流れ

4. 研究成果

全聴取者からMMNを算出した結果,生体ノイズが混入し,顕著なMMNが確認できなかった.その中で最も顕著にMMNが確認された聴取者1名から得られたMMNを図5-8に示す.図5は条件1下でのMMNの算出結果であり,顕著なMMNを確認することはできなかった.図6は条件2下でのMMNの算出結果であり,実験刺激から300msあたりにMMNと見られる陰性電位が確認された.図7は条件3下でのMMNの算出結果であり,実験刺激から300msあたりにMMNと見られる陰性電位が確認された.図8は条件4下でのMMNの算出結果であり,実験刺激から300msあたりにMMNと見られる陰性電位が確認された.

図5-8より,全て条件下においてMMNが確認された.しかし,MMNの出現時刻に関しては異なる条件下において差は見られなかった.次に図5-8より,全ての条件下におけるMMNの振幅に着目すると,図5,6,7のMMNの振幅はほぼ同一であり,図8の振幅だけ他のMMNと比べて振幅が大きいことがわかる.これは,図8のMMNが潜在的意味の差異及び中心周波数の差異がどちらも存在する条件下であることが要因であると考えられる.すなわち,MMN課題に協和音及び不協和音を用いた場合,潜在的意味の差異及び中心周波数の差異など違いが複合して存在する場合,脳内では異なる処理が行なわれている可能性が考えられる.また,潜在的意味の差異がなく音高のみが異なる条件下においてはMMNを確認することはできなかった.これは聴取者が聞き慣れた和音を用いたことが要因とされている.しかし,潜在的意味の差異がなく音高のみが異なる条件下は本報告の実験における条件2に当たるが,顕著なMMNが確認できる.このことから,協和音と不協和音,および高さの差異をこの被験者は感じることができていることが確認された.

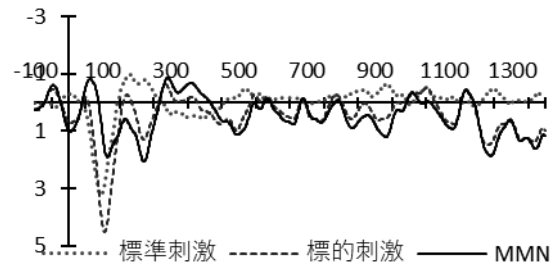


図5 条件1下でのCzから得られた脳波

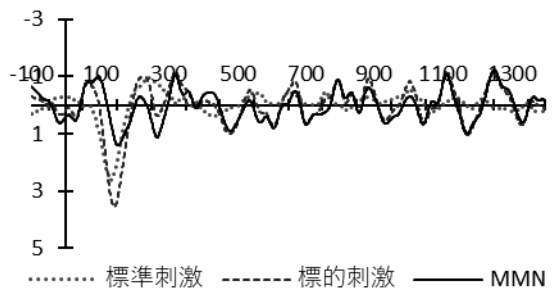


図6 条件2下でのCzから得られた脳波

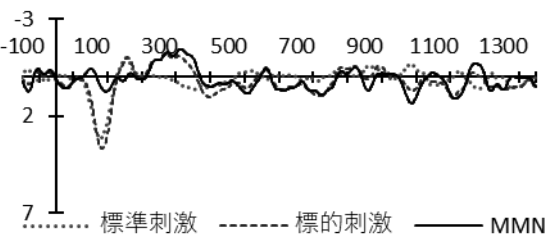


図7 条件3下でのCzから得られた脳波

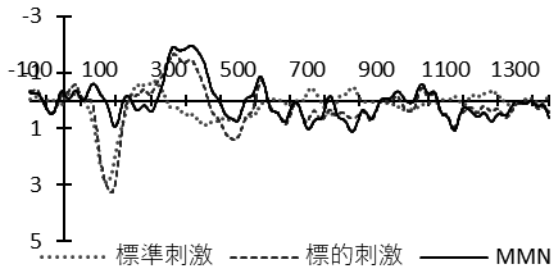


図8 条件4下でのCzから得られた脳波

<引用文献>

- [1] Komatsu S., Ohta N., "Priming effects in word fragment completion for short and long term retention intervals", Japanese Psychological Research, pp.941-956, (1984)
- [2] Näätänen R., Paavilainen P., Rinne T., Alho K., "The mismatch negativity (MMN) in basic research of central auditory processing: A review", Clinical Neurophysiology 108, pp.2544-2590 (2007)
- [3] Tervaniemi M., Sannemann C, Noyranen M, Salonen J, Pihko E. "Importance of the left auditory areas in chord discrimination in music experts as demonstrated by MEG", Eur.J.Neurosci.34, pp.517-523 (2011)
- [4] 松田彩紗,原 恵子,太田 克也,松浦 雅人,松島 英介,"MMNを用いた絶対音感保持者の聴覚情報処理に関する研究",臨床神経生理学,pp.527-534 (2012)
- [5] 岩宮眞一郎,"図鑑入門よくわかる最新音響と仕組み",秀和システム (2007)

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 0 件)

〔学会発表〕(計 7 件)

- [1] Nozomiko Yasui and Masanobu Miura, "Effect of amplitude envelope on detectability of warning sound for quiet vehicle", Proc. of Inter-noise 2016, pp.1698-1705, Hamburg, Germany, Aug. (2016) (invited) 2016.08
- [2] Nozomiko Yasui and Masanobu Miura, "Relationship between frequency characteristic of fluctuated sound and detectability of warning sounds for electrical vehicle", Acoustics'17, 3rd Joint Meeting of the Acoustical Society of America and the European Acoustics Association, 4pNSa6, Boston, USA, Jun.

2017 (Invited)

[3] Nozomiko Yasui and Masanobu Miura, "Relationship between fluctuation strength and detectability of alert sounds for hybrid and electric vehicle", Proc. of Inter-noise 2017, pp.1943-1950, Hong Kong, Aug. 2017 (Invited)

[4] 廣岡佑哉,夏原康,三浦雅展 "MMN の測定に基づいた音に対するアフォーダンス性の検証" 日本音響学会音楽音響研究会資料 (筑波大学) MA2016-40, pp.99-104 (2016.10)

[5] 福本颯太,黒田稔貴,三浦雅展,"音楽ビッグデータ解析に基づいた和音進行モデルの構築",日本音響学会 関西支部 若手研究者交流研究発表会,23 (2016) (2016.12)

[6] 岩館優妃,勝呂明央,三浦雅展,"事象関連電位に基づいたサイン音に対するアフォーダンス性の検証", 音楽音響研究会資料 MA2017-34, pp.99-104 (2017) 2017.10

[7] 勝呂明央,三浦雅展,"事象関連電位に基づいた音響アフォーダンスの計測 ~協和音程と不協和音程の場合~", 日本音響学会 2018 年春季研究発表会, 2-12-9, pp.1421-1424, (2018) 2018,03

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕
出願状況(計 0 件)
取得状況(計 0 件)

〔その他〕
特に無し

6. 研究組織

(1)研究代表者

三浦 雅展 (MIURA, Masanobu)
八戸工業大学・工学部・准教授
研究者番号: 8 0 3 6 8 0 3 4

(2)研究分担者

安井 希子 (YASUI, Nozomiko)
松江工業高等専門学校・情報工学科・講師
研究者番号: 8 0 6 0 7 8 9 6

(3)連携研究者

なし

(4)研究協力者

宮脇 聡史 (MIYAWAKI, Satoshi)
福本 一平 (FUKUMOTO, Ippei)
廣岡 佑哉 (HIROOKA, Yuya)

岡田 創太 (OKADA, Sota)
夏原 康 (NATSUHARA, Kou)
黒田 稔貴 (KURODA, Toshiki)
山口 翔也 (YAMAGUCHI, Shoya)
勝呂 明央 (SUGURO, Akio)
西森 佑実 (NISHIMORI, Yumi)
桶本 まどか (OKEMOTO, Madoka)
清水 眞紀子 (SHIMIZU, Makiko)
福本 颯太 (FUKUMOTO, Sota)
岩館 優妃 (IWADATE, Yuki)
古屋 海平^{*}レット (FURUYA, Kaihei-Brett)