

令和 4 年 6 月 1 日現在

機関番号：12601

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2019～2021

課題番号：19K24362

研究課題名（和文）マルチモーダル刺激の繰り返し提示に対する感受性変化の定量的解明

研究課題名（英文）Quantitative elucidation of sensory adaptation to repeated multimodal stimuli

研究代表者

蜂須賀 知理（Hachisuka, Satori）

東京大学・大学院新領域創成科学研究科・特任講師

研究者番号：50849221

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、注意喚起や居眠り防止を目的とした場合に刺激強度が大きいと考えられているマルチモーダル刺激について、繰り返し提示による感受性変化の基本的知見を明らかにすることを目的とした。本研究の取組結果として、個人差を排除した指標の確立には至っていないが、各個人における感覚的強度の大きいマルチモーダル刺激を用いることが、記憶定着率の向上に有効である可能性を見出した。また、各個人において感覚的強度の大きいマルチモーダル刺激は、他の刺激と比較して記憶定着率に関する感受性変化が小さく、繰り返し提示を実施した場合においても記憶定着率が維持される傾向があることが明らかになった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

刺激への慣れや飽きといった人の特性は、刺激の持つ情報提示および注意喚起効果を低減させる要因となるため、車両や機械の操作など人を含むシステムの安全面や有用性を検討する上で課題となっている。本研究では、繰り返し提示による刺激への感受性変化について基本的知見の解明を目的とした。取組み結果より、汎用性のある人の基本特性解明には至っていないが、記憶定着率の向上と刺激の感覚的強度の関係性が明らかになった。本結果は人と機械のインタフェース改善の他、教育場面など人同士のコミュニケーションにおいても高い有用性が期待される。

研究成果の概要（英文）：This study aimed to clarify the basic knowledge of the sensitivity change by repeated presentation of multimodal stimuli, which are considered to have high stimulus intensity to alert and prevent drowsiness. As a result of the efforts of this study, we have not established an index that excludes individual differences. However, we found that the use of multimodal stimuli with high sensory intensity in each individual may be effective in improving the memory retention rate. In addition, multimodal stimuli with high sensory intensity in each individual have a minor change in sensitivity regarding memory retention rate than other stimuli. The memory retention rate tends to be maintained even when repeated presentations are performed.

研究分野：ヒューマンインタフェース

キーワード：マルチモーダル刺激 感覚的強度 繰り返し提示 記憶定着率 感受性変化

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

自動車ドライバの居眠り防止や居住空間の快適性向上などを目的として、光や音に代表される感覚刺激を人間に提示(提供)する方法が提案されている。中でも自動車ドライバの居眠り防止に関しては、ドライバの居眠りが昨今の重大な自動車事故の要因となっていることから、早急な対応が求められている。

従来研究として、視覚・聴覚・嗅覚・味覚・触覚の感覚刺激から成る 14 種類の刺激を選定し、その居眠り防止効果の比較からドライバに能動的な脳活動や動作を促す刺激に高い居眠り防止効果があることを明らかにされている。また、会話のように能動的な脳活動および発話動作、聴き取り動作を同時に実施する刺激については、居眠り防止効果を長時間(ドライビングシミュレータ環境において 40 分間以上)維持できる可能性があることが示されている。

一方で、同一刺激を繰り返し提示した場合の人間の感受性変化(慣れ・飽き)については刺激の効果を低減させる要因となることより、課題とされている。

### 2. 研究の目的

人間への情報提示に用いられる感覚刺激の効果を低減させる要因の一つである人間の感受性変化(慣れ・飽き)について、基本的特性を解明することを目的とする。本研究では「マルチモーダル刺激を繰り返し提示した場合に人間の感受性はどのように変化するか」という問いと「マルチモーダル刺激には刺激量増大に有効な組み合わせがあるか」という 2 つの学術的問いに対して、人間が単一刺激とマルチモーダル刺激に感じる強度の違い、またマルチモーダル刺激の組み合わせ(視覚と聴覚、聴覚と触覚など)による強度の違いを明らかにし、さらに複数回繰り返し提示した場合の感受性変化の基本的知見を明らかにする。これらの知見は、感覚刺激を用いた情報提示や注意喚起だけでなく、快適性向上のための空間デザイン等に広く一般に活用することが期待できる。

### 3. 研究の方法

#### (1) 単一刺激とマルチモーダル刺激の感覚的強度の比較

##### [研究開始当初の計画と変更点]

研究開始当初は、単一刺激に対する感覚的強度の順位付け実験として、主観評価手法に加え生体信号計測(脳波・心電・呼吸・筋電・発汗等)による客観評価手法を用いることを計画していた。しかし、新型コロナウイルス感染症拡大防止を目的として、対面での実験実施および接触型センサを用いた客観評価手法の活用が困難となった。従って、本取り組みにおいてはオンライン上での主観評価手法を主として用いる方法に変更をした。また、マルチモーダル刺激についても非接触かつオンラインでの提示が可能であることより、視覚刺激と聴覚刺激の複合刺激とした。

感染症拡大の状況を鑑みながら、非接触での客観的評価手法として据置型の注視点計測装置による注視点計測、また頭部への簡易的な接触のみを要する、前頭の脳血流計測を実施した。

なお、本研究における人を対象としたすべての実験は、東京大学倫理審査専門委員会の承認(承認番号: 19 - 141)を得るとともに、実験参加者の自由意思に基づいて実施した。

#### 単一刺激の感覚的強度比較

##### [手順]

視覚および聴覚の各刺激において、感覚的強度の比較を実施した。各感覚刺激について、以下に示す 3 種類の異なる刺激を用い、視覚刺激内、聴覚刺激内での比較実験を行った。

##### ● 視覚刺激

視覚刺激はいずれも直径 110 ピクセルの円の形状とし、以下に示す 3 種類の色で塗りつぶした形式とした。描画は Microsoft 社の PowerPoint 上で行った。

- ・ 赤色: カラーコード #FF0000、RGB 値 [255, 0, 0]
- ・ 緑色: カラーコード #00FF00、RGB 値 [0, 255, 0]
- ・ 青色: カラーコード #0000FF、RGB 値 [0, 0, 255]

##### ● 聴覚刺激

聴覚刺激はいずれも 0.25 秒間の純音とし、以下に示す 3 種類の周波数を設定した。純音の作成は MATLAB 上で行った。

- ・ 500 Hz
- ・ 1000 Hz
- ・ 2000 Hz

比較に際しては一対比較法を採用し、左右の配置を考慮したうえで異なる 2 種類の刺激を一組とした刺激を数直線の左右に設置する形式で刺激提示を行った。刺激の配置および出現順

序については被験者間でランダムイズし、実験参加者の主観に基づいて感覚的に強度が強いと感じる刺激を5段階のリッカート尺度上で回答させた。実験参加者への提示画面の例を図1に示す。

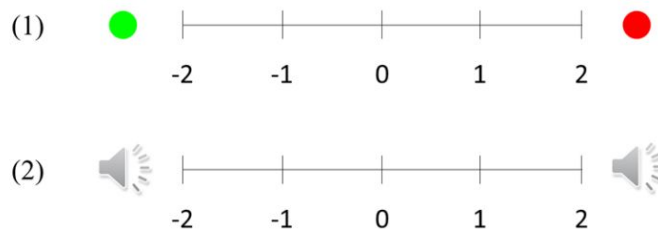
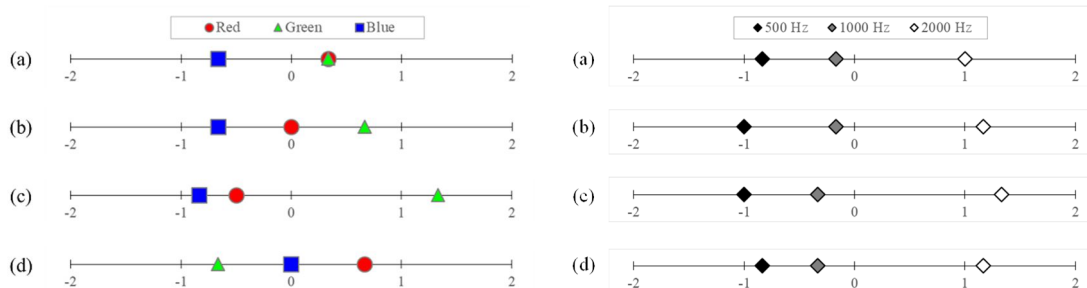


図1 画面上の刺激提示例(1)視覚刺激(2)聴覚刺激

[結果と考察]

実験参加者(a)~(d)ごとに各刺激に対する強度の順位を示すため、ヤードスティック法により、一対比較結果をまとめた。視覚刺激、聴覚刺激別の結果を図2に示す。実験参加者ごとに感覚的強度の大きさや順位について個人差は認められるが、個人内においては感覚的に強度の違いを認識していることが分かる。特に聴覚刺激については、すべての実験参加者の結果において同様の傾向が見られることも明らかになった。この結果は、個人向けや一般向けなど人に対する刺激の提示目的に応じて、各刺激を用途別にデザインすることの有用性を示唆している。



視覚刺激に対する感覚的強度の結果

聴覚刺激に対する感覚的強度の結果

図2 実験参加者ごとの視覚刺激・聴覚刺激に対する感覚的強度の順位付け結果  
(横軸は刺激の感覚的強度の尺度。右端は強度が大きく左端は強度が小さいことを示す。)

複合刺激の感覚的強度比較

[手順]

視覚と聴覚の複合刺激として、で実施した各単一刺激の最大の感覚的強度と最小の感覚的強度の刺激、計4つの刺激を抽出して組み合わせた4種類の刺激を用いた。4種類の刺激の詳細を以下に示す。

- ・刺激 Vs-As：視覚の最大感覚的強度刺激と聴覚の最大感覚的強度刺激の複合刺激
- ・刺激 Vs-Aw：視覚の最大感覚的強度刺激と聴覚の最小感覚的強度刺激の複合刺激
- ・刺激 Vw-As：視覚の最小感覚的強度刺激と聴覚の最大感覚的強度刺激の複合刺激
- ・刺激 Vw-Aw：視覚の最小感覚的強度刺激と聴覚の最小感覚的強度刺激の複合刺激

実験参加者は実験 と同一の健常な男女4名(30歳代~40歳代)とし、オンライン・コミュニケーション・ツールを用いて刺激の提示および回答を求める実験を実施した。回答は5段階のリッカート尺度を用い、感覚的強度に最も近い目盛りを口頭で回答する形式とした。

[結果と考察]

実験参加者(a)~(d)ごとに各刺激に対する強度の順位を、実験 と同様にヤードスティック法を用いてまとめた結果を図3に示す。結果より、視覚および聴覚の刺激に対する感覚的強度の大きさが、複合刺激の感覚的強度にも大きく影響していることが確認できる。また、視覚の最小感覚的強度刺激と聴覚の最大感覚的強度刺激の複合刺激(刺激 Vw-As)と視覚の最大感覚的強度刺激と聴覚の最小感覚的強度刺激の複合刺激(刺激 Vs-Aw)の結果から、今回設定した複合刺激における感覚的強度に聴覚優位性が認められる。一般的知見として、刺激反応時間の聴覚優位性が知られているが、感覚的強度についても同様に聴覚刺激への感度が高い可能性が考えられる。しかし、この考察の検証には、異なる感覚器に対する刺激の基準化が別途必要になるため、本結果は可能性を示すにとどまるものとする。

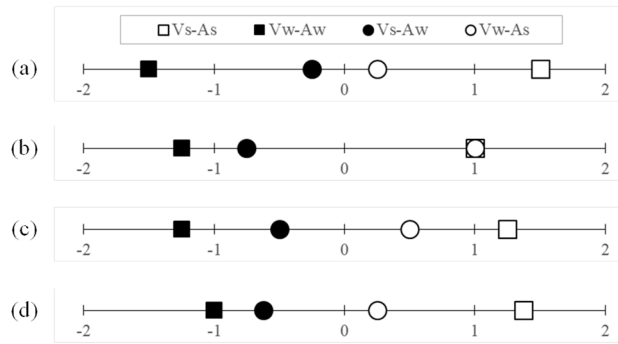


図3 実験参加者ごとの視覚・聴覚複合刺激に対する感覚的強度の順位付け結果  
(横軸は刺激の感覚的強度の尺度。右端は強度が大きく左端は強度が小さいことを示す。)

### 単一刺激と複合刺激の感覚的強度比較

#### [手順]

単一刺激と複合刺激の感覚的強度を比較するため、 で抽出した各単一刺激の最大の感覚的強度の刺激と で抽出した複合刺激の最大感覚的強度刺激の計3つの刺激について、感覚的強度の比較を行った。3種類の刺激の詳細を以下に示す。

- ・刺激 Vs：視覚の最大感覚的強度刺激
- ・刺激 As：聴覚の最大感覚的強度刺激
- ・刺激 Vs-As：視覚の最大感覚的強度刺激と聴覚の最大感覚的強度刺激の複合刺激

実験参加者は実験 および と同一の健常な男女4名(30歳代~40歳代)とし、オンライン・コミュニケーション・ツールを用いて刺激の提示および回答を行った。回答は5段階のリッカート尺度を用い、感覚的強度に最も近い目盛りを口頭で回答する形式とした。

#### [結果と考察]

実験参加者(a)~(d)ごとに各刺激に対する強度の順位を、実験 と同様にヤードスティック法を用いてまとめた結果を図4に示す。結果より、単一刺激と比較して複合刺激の方が、感覚的強度が大きいことが示された。さらに、実験 の結果と同様、刺激に対する感覚的強度に聴覚優位性の傾向が見られることも分かった。

本結果より、視聴覚の複合刺激においては、感覚的強度が大きい刺激を組み合わせることで、感覚的な強度を最大化することができる可能性が示された。この結果は、直感的にも解釈がしやすく、個人ごとに単一刺激に対する感覚的強度が取得できれば、さらに強度を増大できるという点において有用性があると言える。

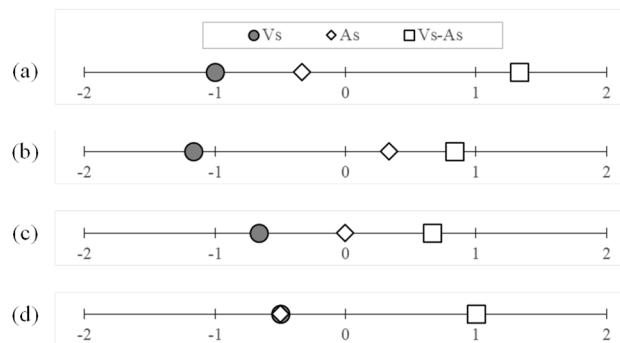


図4 実験参加者ごとの視覚・聴覚を用いた刺激に対する感覚的強度の順位付け結果  
(横軸は刺激の感覚的強度の尺度。右端は強度が大きく左端は強度が小さいことを示す。)

### 感覚的強度の客観的評価

#### [手順]

上記実験 ~ と同一設定内容において、各刺激に対する客観的評価指標として、注視点計測を実施した。注視点計測においては、非接触型の注視点計測装置(EMR-ACTUS、nac社製)を用い、刺激提示時の注視点停留位置および視線停留時間の計測を行った。また、各刺激を一つずつ提示した際の前頭左右2チャンネルの脳血流計測を行った。脳血流計測には携帯型脳活動計測装置(HOT-2000、NeU社製)を用いた。

### [ 結果と考察 ]

注視点計測、脳血流計測の結果においては、予備的検討の段階で個人差が大きく影響し、一般性のある指標または傾向を抽出するに至らなかった。特に個人内においても結果の再現性が低く、感覚的強度との関連性について対応付けることが困難であることが分かった。感覚的強度の客観的指標化においては、実験参加者に内在するノイズ（他のことに意識が向く、他のことを思い浮かべるなど）の排除や統制に、より確実な工夫が必要である。

### ( 2 ) マルチモーダル刺激の繰り返し提示による人の感受性変化の検討

#### [ 研究開始当初の計画と変更点 ]

研究開始当初は、感覚的強度の異なる刺激を繰り返し提示し、感受性変化（慣れ・飽き）が発生するまでの時間を計測することにより、感覚の基本的な感受性変化特性を明確にすることを目的としていた。この実験の実施においては、複数回にわたる実験参加者の時間的拘束が必要であり、その点において新型コロナウイルス感染症拡大の状況下において計画の見直しが必要となった。そこで、感受性変化特性の代替指標として短期記憶定着率を設定し、感受性変化による影響を間接的にはあるが、比較的短時間で計測する計画に変更した。

#### [ 手順 ]

健常な男女延べ 6 名の参加者（40 歳代）を対象に、視覚的に示される 2 桁の数字の短期記憶テストを実施した。2 桁の数字は 1 回の実験において 20 個とし、それぞれ 2 秒間ずつ提示された。実験参加者は、すべての数字提示後に記憶しているすべての数字を回答するよう求められた。短期記憶タスクは、20 個の数字の提示（40 秒間）を 1 セットとして最大 5 セット繰り返し実施された。刺激の提示は、実験（ 1 ）の手順に従って取得した実験参加者に固有の感覚的強度に基づき、以下に示す 4 種類の方法を用いた。

- ・ 刺激 1：黒色で表記された数字
- ・ 刺激 2：黒色で表記された数字と、聴覚の最大感覚的強度の純音の同時提示
- ・ 刺激 3：視覚の最大感覚的強度の色で表記された数字
- ・ 刺激 4：視覚の最大感覚的強度の色で表記された数字と、聴覚の最大感覚的強度の純音の同時提示

なお、上記刺激の提示順序および 2 桁の数字は、各短期記憶テストにおいてランダムとした。

### [ 結果と考察 ]

各実験参加者の刺激への感覚的強度特性に対応させた記憶対象（2 桁の数字）を提示し、短期記憶テストを実施した結果、正答数は全 20 個の数字提示において平均 4.2 個であった。正答であった記憶対象（2 桁の数字）の提示方法は、視覚聴覚の複合刺激および視覚単一刺激の 2 種類であった。さらに、両刺激の記憶定着数を比較すると、視覚聴覚の複合刺激が有意 ( $p < 0.01$ ) に視覚単一刺激よりも正答数が多いことが明らかになった。この結果より、個人ごとに感覚的強度の最も強い刺激を提示方法として用いることで、記憶定着率が高くなる傾向が見られた。また、この傾向は繰り返し回数によらず継続して確認されたことより、個人において感覚的強度の大きい刺激に対しては慣れや飽きの発生が小さい可能性が示唆される。しかし、今回の取り組みにおいては短期記憶量を指標としており直接的に慣れや飽きの発生タイミングや発生量については取得していないため、短期記憶タスク以外においても汎用性のある結果であるか否かを明言することはできない。

## 4 . 研究成果

本研究を通じて、当初の 2 つの問いのうち、「マルチモーダル刺激には刺激量増大に有効な組み合わせがあるか」という問いについては、視覚と聴覚を対象とした場合の結果を示すことができた。結果から、単一で最大強度の視覚刺激と聴覚刺激を組み合わせることで、より感覚的強度の大きい複合刺激が提示できる可能性が示唆された。この結果は直感的にも理解しやすく、複合刺激の構築において、基本的な個人特性を事前に取得しておくという容易な方法によって様々なアプリケーションへの応用が期待されるものである。またさらに本取り組み結果から、刺激への感覚的強度における聴覚優位性の可能性が示された。この知見は、今後感覚刺激を活用した多様な場面や用途に応じて、刺激の強度調整や人の感覚制御のために展開できる可能性がある。

また、「マルチモーダル刺激を繰り返し提示した場合に人間の感受性はどのように変化するか」というもう一つの問いについては、新型コロナウイルス感染症拡大防止の観点から、当初の計画を大幅に変更して実施した。刺激の繰り返し提示に伴う、純粋な感受性変化を明らかにすることには至らなかったが、各個人に特有な刺激への感覚的強度が記憶定着に影響する可能性を見出した。今回の結果からは、感覚的強度が単一刺激よりも大きい視聴覚の複合刺激を用いることによって、提示対象の記憶定着率を向上できる可能性が示された。さらに、この効果は同一方法を繰り返し実施した場合においても同様に維持される傾向が認められた。

以上 2 つの問いに対する取り組みから、人を対象とした研究および実験の遂行において、オンラインを有効に活用する新たな実験デザインについても経験的事例の積み上げができた。この知見については、人を対象とした研究領域において広く共有することで、今後時事的要因に左右されない研究遂行策の構築に貢献するものであると考える。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計0件

〔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
--	---------------------------	-----------------------	----

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