

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 4 年 6 月 8 日現在

機関番号：17102

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2021

課題番号：17K17668

研究課題名（和文）リズム知覚に対するカテゴリー性の定量的検証と数理モデル構築，およびその工学的応用

研究課題名（英文）Quantitative examination and mathematical modeling of categoricity in rhythm perception and its engineering applications.

研究代表者

澤井 賢一（Sawai, Ken-ichi）

九州大学・芸術工学研究院・助教

研究者番号：10754715

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：色や音声の知覚では刺激を分類して知覚しているように観察されることがあり，その特性はカテゴリー知覚と呼ばれている．本研究では，リズムパターンの知覚がカテゴリー知覚であるかどうかを調べることを目的とした心理実験手法の開発を行った．この手法は，刺激がどのような大きさに見えているかなどを調べる際に広く使われていた恒常法という実験手法を拡張したもので，恒常法の一部の欠点を改善することに成功した．一方，カテゴリー性を調べる能力については，シミュレーションでは効果があることが確認されたが，現実的な実験参加者数で有意な結果を得るのは難しいことなども分かった．

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で開発した心理実験手法は，結果の再現性の高さなどの既存の恒常法の長所を活かしつつ，短所である予備実験に掛かる負担について軽減するなどの改良を実現している．そのため，この手法は長く使われてきた実験手法を代替し得るというインパクトがある．また，実験実施の負担の軽減のほかに，設定すべき実験パラメータが少ないという特徴もあるため，専門外の人々が人の主観量を調べることのハードルを下げるができる．

研究成果の概要（英文）：In color and sound perception, participants seem to perceive stimuli in categories, and this phenomenon is called categorical perception. In this study, we developed a psychometric method to investigate whether the perception of rhythm patterns is categorical perception. This method is an extension of the constant method of stimuli, which is widely used to examine the subjective magnitude of a stimulus. Our method succeeded in improving some of the shortcomings of the constant method of stimuli. On the other hand, while the ability to examine categoricity was confirmed to be effective in simulations, it was found to be difficult to obtain significant results with a realistic number of experimental participants.

研究分野：数理工学

キーワード：恒常法 心理物理学 カテゴリー知覚

1. 研究開始当初の背景

カテゴリー知覚は、もともと音声の子音の知覚に対する観察から名付けられた現象である (Liberman AM, et al., J Exp Psychol, 1957)。子音を例にとると、刺激の物理量を少しずつ変えて `ba` から `da` に変化させたときに、`ba` と `da` の混ざったような知覚はほとんど生じず、ある時点で知覚の結果が急に `ba` から `da` に変わる。そして、`ba` (`da`) と聞こえている間の刺激の変化には、ほとんど気づくことができない。このように、カテゴリー知覚では、刺激の物理的な違いなどを認識することより、当てはめるべきラベルを間違えないように知覚的なバイアスをかけて脳が情報を処理しているように観察される。そのためカテゴリー知覚は、脳が外界をどう抽象化し、その結果どのような認知処理が行われるのかを知る上で重要な現象である。

一方で、カテゴリー境界の刺激に対する知覚は、境界に接する 2 つのカテゴリーがトップダウン的に影響し合うことで、複雑な振る舞いをすると考えられる。具体的には、感覚末梢を測定器とみなし、抹消によって観測された値を用いてその後の知覚処理がなされる (Faisal AA, et al., Nat Rev Neurosci, 2008) と考えると、抹消における観測ノイズがカテゴリーバイアスによって拡大されることで、カテゴリー境界付近の刺激に対する知覚量の分布が二峰性となる可能性がある。この複雑な振る舞いを詳細に調べることができれば、脳内に形成されたカテゴリーが知覚に影響する仕組みを知る手掛かりとなる。

知覚量の分布を算出する際、実験参加者は知覚した量を正確な数字で答えることはできない。そのため、ある物理刺激に対する知覚量の分布を知るのに、それと異なる大きさの物理刺激との比較を実験参加者に何度も行わせて、その結果から分布を推定するということが行われてきた。知覚量の分布を調べる対象の物理刺激は標準刺激、比較対象の刺激は比較刺激と呼ばれる。実験方法は大きく 2 つに分けられ、実験中に提示する比較刺激の値を事前にすべて決めてから行う恒常法と、実験参加者の回答に応じて次に提示する比較刺激の値を決定する適応法がある。一般的な恒常法では、たとえば 10 段階程度の物理量の比較刺激を用意し、それぞれを 20 回ずつランダムな順序で提示し、得られたデータに累積正規分布関数等を当てはめて、知覚量の分布を推定する。一方の適応法で知覚量の分布を推定する際は、実験にかかる時間を恒常法よりも軽減するために、知覚量の分布として正規分布等をあらかじめ仮定して、その確率分布のパラメータを効率よく推定できるように逐次的に比較刺激を決定する。

しかし、既存の手法はいずれも単純な単峰性の分布を想定しており、二峰性などの複雑な分布には用いることができない。たとえば恒常法では、細かい形状を捉えるためには、用意する比較刺激をより細かい段階に分ける必要があるが、実験参加者への負担がさらに増えることから現実的でない。また、適応法では、知覚量の分布に複雑なモデルを仮定した場合、モデルのパラメータが増えることで計算時間が増大し、実験中に比較刺激を逐次的に選定できなくなるなどの問題が生じる。そのため、カテゴリー境界付近の物理刺激に対する知覚などの、分布形状が複雑になり得る場合には、適切な実験手法を新たに検討する必要がある。

2. 研究の目的

本研究ではまず、複雑な知覚量の分布を適切に推定するための実験手法を開発する。次に、実際にカテゴリー知覚現象を生じる物理刺激を用いて、そのカテゴリー境界付近の知覚の様子を調べる。さらに、いくつかのカテゴリー知覚現象の共通性をみることなどで、カテゴリー知覚が高次の知覚認知にどれくらい関わっているかを明らかにする。さらに可能であれば、カテゴリー知覚における特徴抽出の様子や、脳内にどのようなカテゴリーラベルがあるかなどを調べ、得られた知見をパターン認識や機械学習などへ応用することを検討する。

本研究では、工学的応用の観点からリズム知覚のカテゴリー性に注目するが、その過程で、その他のカテゴリー知覚にも応用可能な心理実験手法を開発する。そして、この手法の妥当性と有用性を検証するために、リズム知覚以外の音声知覚や色知覚など、幅広い現象を対象に実験を行う。この手法により、知覚量の分布の形状を調べて、カテゴリー知覚における知覚バイアスの掛かり方などを定量的に理解する。たとえば子音の知覚と色の知覚は、カテゴリー知覚という面からはこれまで同じように扱われてきたが、定量的な知見により、仕組みの上で共通する点と異なる点を明らかにし、それぞれの理解をさらに進めることができる。

3. 研究の方法

本研究ではまず、カテゴリー知覚における複雑な分布形状の知覚を扱うための心理実験手法を開発する。その際、分布の形状がどれくらい複雑か事前には分からないため、ノンパラメトリックベイズモデルを用いることで分布形状の複雑さ自体を適応的に推定することを考える。実験手法を開発したのちには、カテゴリー知覚現象を生じるリズムパターン刺激を用いて実際に実験を行う。そして、得られた知見をもとに、脳における低次から高次までの知覚認知処理を包括するモデルの提案や、機械学習などへの工学的応用を検討する。

4. 研究成果

● 2017 年度の成果

カテゴリー知覚を定量的に調べる心理実験手法の構築を行った。この提案手法は、心理物理学で広く使われてきた恒常法を拡張したものである。ここでは、カテゴリー知覚の際には同じ物理刺激に対する知覚のばらつきが 2 峰性の分布を示すことがあると予測し、その様子がこの手法で観察できるかをシミュレーションにより検証した。疑似実験データが単峰性と 2 峰性のどちらの分布から発生したかを判別する数値実験を行った結果、提案手法は既存の手法よりも、元のデータが 2 峰性であることをよりよく検出できることが分かった。また、この手法のほかの特徴として、既存の手法では実験参加者が刺激に対して高い感度を持つ場合に知覚のばらつきをうまく推定できなかったが、提案手法ではこのような場合でも既存手法よりも正確に知覚のばらつきを推定できることが分かった。この点については心理実験もを行い、シミュレーションと同様の結果が得られることを確認した。さらに、リズムパターンの知覚における視聴覚の情報統合メカニズムを調べる心理実験を計画し、そのための音と光の時間パターンを同時に提示する装置の作成を行った。この実験では、時間的な同一源性と、異なる感覚様相間の同一源性に関して、脳が行うそれぞれの判断がどのように関連するかを調べる。同一源性の判断はリズムパターンのカテゴリー知覚との関係も示唆されているため、その基礎となる知見を集めることが目的である。また、知覚情報の記号的な扱いに関する知見を得るために、大澤智恵氏（京都市立芸術大学）の行ったピアノ演奏実験データを用いて、知覚情報の遮断がピアノ演奏に与える影響の分析なども行った。

当初の計画では、適応法の枠組みで心理実験手法を開発し、その手法を用いて次年度は心理実験を行う予定であった。しかし、計算量等の観点から、目的に合った適応的な手法の構築は不可能であったため、計画を変更して恒常法の枠組みで構築することとなった。提案手法は、シミュレーション上は既存の手法よりもカテゴリー知覚を調べる性能があると言えることは確認できたが、実験で用いるには試行回数を非常に多くする必要があるため、実用的ではなかった。そのため、異なる感覚様相での時間パターンの知覚メカニズムを調べることで、時間的な同一源性の判断に関する数理モデルを構築し、カテゴリー知覚との関連を調べる方向で計画を変更した。

● 2018 年度

リズムパターンの知覚に対して以前に構築したモデル (Sawai et. al., 2012) の改良と、その改良モデルから予測される心理現象の検討を行った。改良前のモデルでは、時間的な順序によって生じる非対称性が再現できないという課題があった。具体的には、数 100 ms 程度の間隔で提示される 3 つの区切り音による時間パターンでは、1 つ目の時間間隔 (1 つ目と 2 つ目の区切り音を作る時間間隔) の長さを知覚する際に起こる錯覚は、2 つ目の時間間隔 (2 つ目と 3 つ目の区切り音を作る時間間隔) の場合にくらべ、その度合いが小さいことが先行研究で分かっている。錯覚は知覚におけるトップダウン的なバイアスによって起こるとすると、順序に対して生じるこの非対称性は、1 つのイベントの中では時間的に早いできごとの方がバイアスが弱いことを意味する。この点を再現するようにモデルを改良したところ、時間の知覚は、単純な条件では Weber-Fechner の法則に従うが、ある条件のもとでは Weber-Fechner の法則と逆の現象が起こることが示唆された。Weber-Fechner の法則は、知覚において広く観察されている心理現象で、たとえば時間知覚では、2 つの時間間隔の長さの差を知覚するのに必要な物理的な長さの差は、対象とする時間間隔の長さに比例するというものである。予測した現象についてシミュレーションを行ったところ、心理実験での定量的な観測が困難であることが示唆されたため、今年度は現象の予測にとどめて成果発表を行った。また、知覚情報の記号的な扱いに関する知見を得るために、大澤智恵氏（武庫川女子大学）の行ったピアノ演奏実験に関し、ピアノ演奏中の知覚情報の役割の分析等を行った。

今年度は、前年度に作成した装置を用いて心理実験を行う予定であったが、実験条件の検討が終わらず、実験の実施に至らなかった。一方理論の面では、モデルの改良と、それに伴って得られた新たな心理現象の予測という進捗があった。

● 2019 年度

以前に開発した聴覚時間知覚の数理モデルから予測される知覚現象を、昨年度に引き続き検討した。具体的には、この数理モデルでは、時間パターンの知覚において刺激系列の同一源性を脳が推定していることを仮定している。そこで、この仮定を検証するために、視覚と聴覚に同時に刺激を提示することで刺激系列の同一源性を操作し、心理学的に新しい現象が起こりうるかを数理モデルを用いて検討した。並行して、十分な時間精度で視覚と聴覚に時間パターンを提示するためのデバイスの作成も行い、刺激の観察を行った。視覚刺激と聴覚刺激を同時提示においては、パターン数が膨大になり、それぞれを十分な回数ずつ提示する実験は不可能である。そのため、刺激のパラメータを一部固定して、系統的にパターンを列挙し、知覚の傾向を観察するなどした。ただ、具体的に検証すべき現象を絞っておらず、引き続き数理モデルと合わせて心理現象の予測を行う必要がある。また、数理モデルでこの状況を記述するためには、刺激の系列的な同一源性と、異なる感覚間の同一源性の判断について、互いにどのような影響があるかについて仮定を置く必要がある。刺激の観察で得た情報を踏まえると、これには単純な仮定で十分そうな見込みが立った。

- 2020 年度

時間パターンを音と光で同時に提示した際に生じる知覚について、実験すべき刺激パターンの探索と、シミュレーションによる現象予測を行った。前年度に Arduino を用いて作成した刺激提示装置による刺激の観察を引き続き行った。過去に行った数理モデル研究や先行研究の知見から、人の知覚は時間的に近い複数の刺激を同一の発生源から発生したととらえるバイアスがあると推察される。それは、日常的に感覚器が受け取る刺激は同一源であることが統計的に多いことを神経系が学習した結果とみなすことができる。そのことを踏まえ、イレギュラーな知覚状況を作り出して錯覚的な現象が現れることを期待し、光と音の刺激のタイミングを一部大きくずらし、光と音が同一源ととらえがたい刺激を選んで観察した。また、観察内容とシミュレーションの結果との照合も行った。

- 2021 年度

前年度の観察を引き続き行った結果、光と音の同時提示による時間知覚について、無意識下での光と音の同一源性の判断が相互の感覚様相へ影響する傾向があることが確認できた。

また、リズムパターンに対する脳における同一源性の判断には、刺激の到来方向の情報も影響すると考えられる。そこで、刺激音の空間情報をコントロールして、時間的な同一源性をコントロールして実験を行うことも検討した。その過程で、多点観測した音圧情報から音の到来方向を推定する手法の開発を行った。

本研究では、リズムパターンの知覚がカテゴリー知覚であるかどうかに着目することで、新たな心理実験手法や、時間知覚における視聴覚情報統合に関する新たな知見など、多くの成果が得られた。これらは、研究代表者の専門である数理工学的アプローチにより、実験的アプローチとは異なる方向から切り開かれた視点であると言える。特に、当初の計画を変更して検討された視聴覚での時間パターンの同時提示による実験は、研究代表者の数理モデルと組み合わせることで発想されたものであり、数理モデルをベースにすることで柔軟に研究を発展させられることを示していると言える。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計7件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 3件）

1. 発表者名 澤井賢一, 佐藤好幸
2. 発表標題 時間間隔知覚のベイズモデルから予測されるWeber則逆転現象
3. 学会等名 日本時間学会 第10回大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 澤井賢一, 佐藤好幸
2. 発表標題 時間順序による時間知覚の非対称性を説明するベイズモデル
3. 学会等名 音学シンポジウム2018（第119回 音楽情報科学研究会, 第122回 音声言語情報処理研究会 共催研究会）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Ohsawa C, Sawai K, and Tsuzaki M
2. 発表標題 Contribution of visual and auditory information in pianists' performance of their repertoire: observation with positional and moving error analyses
3. 学会等名 15th International Conference on Music Perception and Cognition, 10th triennial conference of the European Society for the Cognitive Sciences of Music (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Ken-ichi Sawai, Yoshiyuki Sato, Kazuyuki Aihara, Yoshitaka Nakajima
2. 発表標題 A variation of the method of constant stimuli: A new psychophysical method and its numerical and experimental evaluation
3. 学会等名 Neuroscience 2017 (Society for Neuroscience's 47th annual meeting) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Chie Ohsawa, Ken-ichi Sawai, Minoru Tsuzaki
2. 発表標題 Visual, auditory, and haptic information in the performance of scale and arpeggio tasks in pianists
3. 学会等名 International Symposium on Performance Science 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 大澤智恵, 澤井賢一, 津崎実
2. 発表標題 ピアノ演奏中に得られる視覚・聴覚・触覚情報の打鍵位置決定における役割: スケール及びアルペジオ課題を用いて
3. 学会等名 音学シンポジウム2017 (第115回 音楽情報科学研究会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 岩見貴弘, 澤井賢一, 尾本章
2. 発表標題 2時刻のマイクアレイ信号に基づく広帯域音場の到来方向推定
3. 学会等名 電子情報通信学会 応用音響研究会
4. 発表年 2022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
---------	---------------------------	-----------------------	----

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