

ノンパラメトリックベイズモデルに基づく複雑な知覚応答の 定量化：リズム知覚のカテゴリー性分析に向けて

澤井 賢一^{1,a)} 佐藤 好幸² 合原 一幸³ 中島 祥好¹

概要：カテゴリー知覚は、連続的な物理量に対して離散的なカテゴリーを脳が当てはめることで生じる現象と考えられる。そのためカテゴリー知覚は、脳がどのように外界を記号化しているかを示唆するものと考えられ、脳における情報処理を考える上で重要な現象である。代表的なカテゴリー知覚として色や音声の知覚が挙げられるが、リズムの知覚に対してもカテゴリー性があるとされている。リズム知覚においては、カテゴリーに明確なラベルを見出すことが難しいため、知覚の様子を定量的に調べることが、処理の仕組みを理解する重要な手掛かりとなり得る。しかし、一般にカテゴリー知覚が生じる場合は知覚のばらつき方が複雑で、同一の刺激に対する知覚量のばらつきの分布が複数のピークを持つことも示唆されている。そして、知覚のばらつき方を調べる既存の心理実験手法は、基本的に知覚のばらつきの分布形状が単峰であることを仮定しているため、カテゴリー知覚が生じる場合に用いるのは適当でない。そこで本研究は、知覚のばらつきが多峰性の分布かどうかも含めて、その分布形状を同定する心理実験手法を考案し、リズム知覚実験へ適用することを目指す。ここでは、被験者の負担を減らすために、被験者の応答から逐次的に分布形状の情報を取り出し、その情報をもとに適応的に次の提示刺激を決めることを考える。その際、分布のピークの数も推定の対象とすることで実験の効率が上がると考えられるため、それを実現する枠組みとしてノンパラメトリックベイズモデルを導入する。一方で、心理実験で用いるには、この逐次的な計算を毎回数秒以内に行う必要がある。我々は現在、この目的に合ったノンパラメトリックベイズモデルの定式化を検討しているところである。

1. カテゴリー知覚における心理物理測定の問題点

カテゴリー知覚とは、刺激の物理量を少しずつ変化させた時に、ある範囲ではその物理的な変化に対して知覚内容の変化が小さく、またある範囲では劇的に知覚内容が変化する現象のことである。この現象は、脳が連続的な物理量を離散的なカテゴリーに当てはめることで生じると考えられる。具体的には、音声の子音や色、表情の知覚などで観察されている [1-3]。

カテゴリー知覚が生じる知覚現象に対しては、同一のカテゴリーに属する 2 つの物理刺激の弁別能は低く、異なるカテゴリーに属する場合は弁別能が高くなる [1,4]。この弁別能の違いは、カテゴリーの中心に向かう知覚的なバイア

スが存在すると仮定する [5] ことで理解することができる。この仮定に従うと、ある 2 つのカテゴリーの境界付近に相当する物理刺激を何度も提示された場合、その知覚される量は二峰性の分布に従ってばらつくと予想される。なぜならば、まず、感覚末梢の観測精度の限界などの影響で、同じ物理刺激を与えられたとしても、脳には毎回異なる情報が入力される。この毎回のばらつきにより、カテゴリー境界上の物理刺激は、境界の両側のいずれかのカテゴリーにランダムに属することになる。異なるカテゴリーの刺激には、それぞれ別の方向に知覚バイアスが働くため、結果として分布は 2 通りのピークを持ち、すなわち二峰性を示すと考えられる。

リズムの知覚においても、カテゴリー性が観察されている [6-8]。一方で、提示刺激の速さによって知覚されるリズムのカテゴリーが変わったり [9]、経験がリズム知覚に影響する [10] など、リズムに対する知覚カテゴリーは、他のカテゴリー知覚に比べて不安定であると言える。そのため、リズムの知覚に対しては、提示する刺激に対してどのような知覚上のカテゴリーが存在するか不明である。

そのため、リズムの知覚について考える際は、カテゴリー

¹ 九州大学 大学院芸術工学研究院

Faculty of Design, Kyushu University

² 電気通信大学 大学院情報システム学研究所

Graduate School of Information Systems, University of Electro-Communications

³ 東京大学 生産技術研究所

Institute of Industrial Science, University of Tokyo

a) 301ken1@gmail.com

の有無に左右されない実験手法を用いて知覚特性を調べる必要がある。しかしながら、これまでの心理実験手法は、同一の物理刺激に対して知覚される主観量のばらつきが単峰性であることを仮定してきた。そのため、カテゴリー境界上の刺激のように、二峰性の知覚応答を示す可能性のある条件で用いるのは不適切と考えられる。これまで、ある物理刺激に対する知覚量の分布を知るためには、それと異なる大きさの物理刺激との比較を繰り返して、その結果から推定するということが行われてきた。ここで、知覚量の分布を調べる対象としている物理刺激を標準刺激、比較対象とする物理刺激を比較刺激と呼ぶ。たとえば一般的な恒常法では、まず5から9段階の比較刺激をあらかじめ用意し、それぞれの比較刺激に関して10回から20回ずつランダムな順序で標準刺激との比較を行う。そして、たとえば比較刺激の各段階ごとに、「標準刺激よりも比較刺激の方が大きい」と回答した割合を算出し、得られた値に正規分布等の単峰性分布を基にした心理測定関数を当てはめる。これにより、標準刺激に対する知覚量の分布を正規分布と見なした時の、分布の形状を求めることができる。他にも、被験者の回答に応じて次の比較刺激を適応的に決め、効率的に知覚量の分布の形状を求める手法 [11] もあるが、これも知覚のばらつきが単純な分布形状であることを想定した手法である。

2. カテゴリー知覚における複雑な知覚応答を捉えるためのノンパラメトリックベイズモデルに基づく心理物理手法

上記を踏まえると、リズム知覚の様子を定量的に捉えるには、知覚量の分布形状の複雑さを実験前に想定しない実験手法が必要である。実験を通して分布形状の複雑さを調べるには、既存の実験手法を用いてデータを集め、想定される数種類の複雑さの分布をそのデータに当てはめ、AIC [12] などを用いてモデル選択を行う方法がある。しかしこの方法は、比較対象のモデル間に、用いる情報量基準による有利不利が生じる可能性がある。

そこで本発表では、1回の試行ごとに、モデルの複雑さも含めた知覚の分布形状の情報を被験者の応答から取り出し、効率よく次の比較刺激を決定していく実験手法を検討する。枠組みとしては、分布形状のパラメータに関する不確かさがなるべく小さくなるように提示刺激を決定する Ψ 法 [11] を参考にする。具体的には、この Ψ 法の中で知覚のばらつきとして想定する分布を、正規分布からディリクレ混合正規分布に変えることを検討している。ディリクレ過程を用いたノンパラメトリックベイズモデルは、近年機械学習においても有用性が注目されている統計モデルで [13]、人の表情認識に関するデータの説明に際しても有効であることが示されている [14]。本研究の当面の課題は、被験者が応答してから次の試行が提示されるまでの高々10秒程

度の間に、直前に得られた応答から知覚の分布のパラメータを更新し、次に提示すべき最適な刺激を決定するアルゴリズムを構築することなどである。

参考文献

- [1] Liberman, A. M., Safford Harris, K., Hoffman, H. S. and Griffith, B. C.: The discrimination of speech sounds within and across phoneme boundaries, *Journal of Experimental Psychology*, Vol. 54, No. 5, pp. 358–368 (1957).
- [2] Davidoff, J., Davies, I. and Roberson, D.: Colour categories in a stone-age tribe, *Nature*, Vol. 398, No. 6724, pp. 203–204 (1999).
- [3] Jack, R. E., Garrod, O. G. B. and Schyns, P. G.: Dynamic facial expressions of emotion transmit an evolving hierarchy of signals over time, *Current Biology*, Vol. 24, No. 2, pp. 187–192 (2014).
- [4] Goldstone, R.: Influences of categorization on perceptual discrimination, *Journal of Experimental Psychology: General*, Vol. 123, No. 2, pp. 178–200 (1994).
- [5] Feldman, N. H., Griffiths, T. L. and Morgan, J. L.: The influence of categories on perception: Explaining the perceptual magnet effect as optimal statistical inference, *Psychological Review*, Vol. 116, No. 4, pp. 752–782 (2009).
- [6] Desain, P. and Honing, H.: The formation of rhythmic categories and metric priming, *Perception*, Vol. 32, No. 3, pp. 341–365 (2003).
- [7] ten Hoopen, G., Sasaki, T., Nakajima, Y., Remijn, G., Massier, B., Rhebergen, K. S. and Holleman, W.: Time-shrinking and categorical temporal ratio perception: Evidence for a 1:1 temporal category, *Music Perception*, Vol. 24, No. 1, pp. 1–22 (2006).
- [8] Miyauchi, R. and Nakajima, Y.: The category of 1:1 ratio caused by assimilation of two neighboring empty time intervals, *Human Movement Science*, Vol. 26, No. 5, pp. 717–727 (2007).
- [9] Repp, B. H., Windsor, W. L. and Desain, P.: Effects of Tempo on the Timing of Simple Musical Rhythms, *Music Perception*, Vol. 19, No. 4, pp. 565–593 (2002).
- [10] Cicchini, G. M., Arrighi, R., Cecchetti, L., Giusti, M. and Burr, D. C.: Optimal Encoding of Interval Timing in Expert Percussionists, *Journal of Neuroscience*, Vol. 32, No. 3, pp. 1056–1060 (2012).
- [11] Kontsevich, L. L. and Tyler, C. W.: Bayesian adaptive estimation of psychometric slope and threshold, *Vision Research*, Vol. 39, No. 16, pp. 2729–2737 (1999).
- [12] Akaike, H.: A New Look at the Statistical Model Identification, *IEEE Transactions on Automatic Control*, Vol. 19, No. 6, pp. 716–723 (1974).
- [13] Mochihashi, D., Yamada, T. and Ueda, N.: Bayesian Unsupervised Word Segmentation with Nested Pitman-Yor Language Modeling, *Proceedings of the 47th Annual Meeting of the ACL and the 4th International Joint Conference on Natural Language Processing of the AFNLP*, pp. 100–108 (2009).
- [14] Miyazaki, K. and Hoshino, T.: A Bayesian Semiparametric Item Response Model With, *Psychometrika*, Vol. 74, No. 3, pp. 375–393 (2009).