

# 自然画像統計量への暴露によって起こる知覚学習

柴田 和久

理化学研究所脳神経科学研究センター

Keywords: perceptual learning, natural scene statistics, unsupervised learning, attention.

## 問題・目的

ヒトは複雑な感覚刺激に絶えず晒されている。そのなかで、物体の輪郭や運動といった頻出の視覚的特徴は、多くの場合行動や意思決定にとって重要である。視覚システムは、教師なし学習にもとづいて、これらの頻出視覚特徴に対する感度を高めていると考えられてきた。教師なし学習は、教示や報酬、教師信号なしで起こる学習であり、さまざまな機械学習モデルに利用されるだけでなく、言語獲得 (Saffran et al., 1996) や統計学習 (Fiser & Aslin, 2001) を支えている。これらの知見は、教師なし学習はヒトの学習において中心的な役割を果たしていることを示唆している。

本研究は、教師なし学習が知覚学習の原理となるかを問う。知覚学習とは、視覚的な経験にもとづいて起こる、方位や運動といった基礎的な特徴に対する視覚能力の長期的な向上を指す。知覚学習の成立にはトップダウン処理やフィードバックが不可欠であるという先行研究があり (Gold et al., 2008; Zhang et al., 2010)、これは知覚学習が教師なし学習というヒトの一般的な学習様式に反する可能性を示唆している。一方、別の先行研究からは、メインの課題が行われている際に背景に提示される課題に無関係な視覚特徴への暴露によって、知覚学習が起こることが示されている (Seitz & Watanabe, 2003; Watanabe et al., 2001)。本稿ではこの特徴を、課題無関連特徴と呼ぶ。

重要な点として、この課題無関連特徴に対する知覚学習の成立は、文脈に依存する。課題無関連特徴がメイン課題と同時に提示され、かつ閾下または閾値周辺有的时候に、知覚学習が起こるのである (Chang et al., 2014; Seitz & Watanabe, 2003; Tsushima et al., 2008; Watanabe et al., 2001)。この文脈依存性は、重要な問いにつながる。教師なし学習は知覚学習の原理なのか、それとも知覚学習の一部を説明するに過ぎないのか、という問いである。

この問いを実験的に検証するため、われわれは人工画像と自然風景画像を用い、課題無関連特徴に対する知覚学習の有無を調べた。これまでほとんどの知覚学習研究では、ガボールパッチやランダムドットといった単純な構造の人工刺激が用いられてきた (Sasaki et al., 2010; Shibata et al., 2014)。一方、自然風景画像は人工画像が持つ局所的かつ単純な構造に加え、より大域的かつ複雑な構造を持つ。人工画像と自然風景画像の差異および課題無関連特徴の知覚学習は閾上の人工刺激では起こらないという知見をもとに、本研究では特に、閾上の自然風景画像に対して、課題無関連特徴の知覚学習が起こるかどうかが検証した。

## 結果

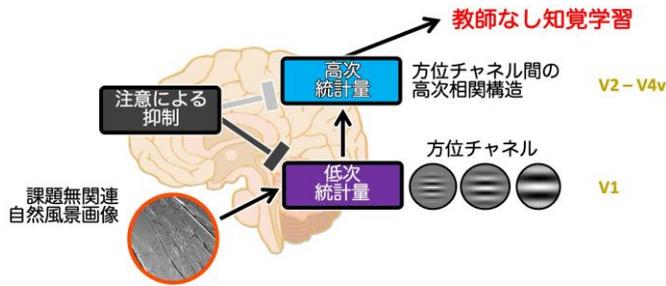
	自然風景画像	高次統計量画像	尖度・歪度一致画像	人工画像
方位	✓	✓	✓	✓
空間周波数	✓	✓	✓	✓
尖度・歪度	✓	✓	✓	
高次統計量	✓	✓		

図 1 本研究で用いられた画像と視覚特徴量

一連の行動実験から、以下が明らかになった。参加者がメインの課題を遂行しつつ、背景で閾上かつ課題無関連な自然風景画像 (図1) へ繰り返し暴露 (1日1時間、10日間) されると、方位や空間周波数といった単純な視覚特徴に対する知覚学習が見られた。一方、同じ手続きで人工画像 (図1) を用いた場合は、課題無関連特徴に対する知覚学習が起こらなかった。メインの課題なしで、画像を眺めることが許された条件では、自然風景画像と人工画像のいずれを用いた場合でも、知覚学習が起こった。

参加者にメイン課題を課した場合、自然風景画像を用いた場合にのみ視覚知覚学習が起こったのは、自然風景画像に対してのみ教師なし学習が適用されるということなのだろうか? この問いを検証するため、自然風景画像と人工画像のどのような違いが、課題無関連特徴に対する視覚知覚学習の有無を決定づけているのかを調べた。複数の実験の結果から、自然風景画像の持つ高次の統計量 (Portilla & Simoncelli, 2000) が、課題無関連特徴に対する視覚知覚学習を可能にしていることがわかった。また、この高次統計量から学習対象である低次の統計量が再構成可能なこと、高次統計量は注意による抑制を受けにくいことがわかった。

さらなる行動実験と機能的磁気共鳴画像法 (fMRI) 実験から、人工画像と自然風景画像に対する視覚知覚学習における脳メカニズムが示唆された (図2)。いずれの画像においても、頭頂-前頭注意ネットワークは課題無関連の画像に同様の抑制信号を送る。自然風景画像に含まれる高次統計量に対する情報処理は、視覚野内で比較的ゆっくり進むため、トップダウンの注意抑制がもっとも強い時間帯ではまだ情報が処理されておらず、それゆえに抑制をすり抜けてしまう。一方、人工画像が含む低次かつ単純な視覚特徴は視覚野において比較的素早く処理されるため、注意抑制の影響を強く受けてしまい、結果として人工画像が持つ課題無関連特徴に対する視覚知覚学習が阻害される。



## 考察

教師なし学習は、脳 (Fiser & Aslin, 2001; Saffran et al., 1996; Seitz & Watanabe, 2003; Watanabe et al., 2001) や計算モデル (Doya, 1999; von der Malsburg, 1973, 2021) における主要な学習原理のひとつである。一方、注意による抑制が原因で、閾上の課題無関連特徴からは知覚学習が起こらないと考えられてきた (Chang et al., 2014; Sasaki et al., 2010; Tsushima et al., 2008)。これらの知見は、脳の学習原理である教師なし学習は知覚学習には当てはまらないのではないかという論争につながった。

本研究では、暴露に用いられた画像が閾上でも、自然風景画像であれば知覚学習が起こることが示された。閾上の人工画像ではこのような学習は起こらない。特に重要なのは、自然風景画像に含まれる高次統計量である。この高次統計量は低次統計量の情報を含み、かつ注意の抑制を受けにくい。そのため課題無関連でも知覚学習をもたらすのである。このような結果の背後には、視覚野における高次統計量の処理に時間がかかり、それゆえに注意の抑制をすり抜けるというメカニズムがあると考えられる。

本研究から得られた知見は、教師なし学習は知覚学習の原理たりえること、しかし教師なし学習は注意抑制の影響を受けることを示す。

## 引用文献

- Chang, L.-H., Shibata, K., Andersen, G. J., Sasaki, Y., & Watanabe, T. (2014). Age-related declines of stability in visual perceptual learning. *Current Biology: CB*, *24*(24), 2926–2929.
- Doya, K. (1999). What are the computations of the cerebellum, the basal ganglia and the cerebral cortex? *PERGAMON Neural Networks*, *12*, 961–974.
- Fiser, J., & Aslin, R. N. (2001). Unsupervised statistical learning of higher-order spatial structures from visual scenes. *Psychological Science*, *12*(6), 499–504.
- Gold, J. I., Law, C.-T., Connolly, P., & Bennur, S. (2008). The relative influences of priors and sensory evidence on an oculomotor decision variable during perceptual learning. *Journal of Neurophysiology*, *100*(5), 2653–2668.
- Portilla, J., & Simoncelli, E. P. (2000). A Parametric Texture Model Based on Joint Statistics of Complex Wavelet Coefficients. *International Journal of Computer Vision*, *40*(1), 49–70.
- Saffran, J. R., Aslin, R. N., & Newport, E. L. (1996). Statistical learning by 8-month-old infants. *Science (New York, N.Y.)*, *274*(5294), 1926–1928.
- Sasaki, Y., Nanez, J. E., & Watanabe, T. (2010). Advances in visual perceptual learning and plasticity. *Nature Reviews. Neuroscience*, *11*(1), 53–60.
- Seitz, A. R., & Watanabe, T. (2003). Psychophysics: Is subliminal learning really passive? *Nature*, *422*(6927), 36.
- Shibata, K., Sagi, D., & Watanabe, T. (2014). Two-stage model in perceptual learning: toward a unified theory: Two-stage model in perceptual learning. *Annals of the New York Academy of Sciences*, *1316*(1), 18–28.
- Tsushima, Y., Seitz, A. R., & Watanabe, T. (2008). Task-irrelevant learning occurs only when the irrelevant feature is weak. *Current Biology: CB*, *18*(12), R516–7.
- von der Malsburg, C. (1973). Self-organization of orientation sensitive cells in the striate cortex. *Kybernetik*, *14*(2), 85–100.
- von der Malsburg, C. (2021). Toward understanding the neural code of the brain. *Biological Cybernetics*, *115*(5), 439–449.
- Watanabe, T., Náñez, J. E., & Sasaki, Y. (2001). Perceptual learning without perception. *Nature*, *413*(6858), 844–848.
- Zhang, J.-Y., Zhang, G.-L., Xiao, L.-Q., Klein, S. A., Levi, D. M., & Yu, C. (2010). Rule-based learning explains visual perceptual learning and its specificity and transfer. *The Journal of Neuroscience: The Official Journal of the Society for Neuroscience*, *30*(37), 12323–12328.