JAIST Repository
https://dspace.jaist.ac.jp/

Title	注視から認知過程へ : ベイズ統計による次元選択・潜在集団の推定
Author(s)	日高, 昇平; Daniel, Yurovsky; Rachel, Wu
Citation	2012年度日本認知科学会第29回大会発表論文集: 146-148
Issue Date	2012
Type	Conference Paper
Text version	publisher
URL	http://hdl.handle.net/10119/10929
Rights	日高昇平, Yurovsky Daniel, Wu Rachel, 2012年度日本認知科学会第29回大会発表論文集, 2012, 146-148.
Description	

JAIST
JAPAN
ADVANCED INSTITUTE OF
SCIENCE AND TECHNOLOGY

Japan Advanced Institute of Science and Technology

注視から認知過程へ：ベイズ統計による次元選択・潜在集団の推定

Eye Movements to Cognitive Processes: Bayesian Dimension Selection and Latent Group Estimation

日高　昇平(Shohei Hidaka)
shhidaka@jaist.ac.jp
北陸先端科学技術大学院大学
知識科学研究科

Daniel Yurovsky
dyurovsk@indiana.edu
Department of Psychological and Brain Sciences
Indiana University

Rachel Wu
r.wu@bbk.ac.uk
Centre for Brain and Cognitive Development
Birkbeck, University of London

乳児の注視パタンから認知過程の推定

近年の乳児の認知研究の多くは、視線パタンの分析によって成り立っている (Aslin, 2007)。 Fantz(1964)の２ヶ月児の視覚記憶に関する画期的な注視行動研究以来、馴化法やその他の関連手法は認知発達を調べるための基本的な方法論である。しかし、視線の分析は他の多変量データ(e.g., fMRI や EEG などの脳機能計測)と同様に、適切な次元の選択、非線形性による解釈の困難性などの問題を抱えている(Yu, Yurovsky, & Xu, 2012; 日高・鈴木, 2011)。従って、観測した視線と、それを生成する潜在的な認知過程とをつなぐ仮説を適切に立てる必要がある (Aslin, 2007; Teller, 1984)。

本研究では、乳児発達研究における視線計測の抱える以下の 3 つの問題に対し、統計的モデルによる分析方法を提案する。第一に、眼球運動は極めて複雑であり、複数システムの連携によって制御されている(Aslin, 2007)。従って、モデルは複数の交絡因子を統合する必要がある。第二に、注視時間は学習と関連性が高いが、注視と学習は非線形な関係を持つ可能性がある。具体的には、学習の始めはすでに経験済みの対象へ(親近性選好)、その後、新奇な対象へ(新奇性選好)とより注視する傾向が知られている (Hunter & Ames, 1988)。従って、注視・学習の関係について柔軟なモデリングが求められる。第三に、視線計測の対象となる乳児は、発達的変化が大きな時期であり、同じ月齢群内でも発達的な個人差が大きい。もし異なる認知過程を持つ複数の潜在的な発達群に対して、１つの仮説・モデルを適合した場合、誤った結論を導く可能性がある(Siegler, 1987)。よって、モデルは潜在する複数の異なる発達群を、群数を事前に特定すること無くデータから検出する必要がある。

本研究では、以上のような問題に対する解決策として、ノンパラメトリックベイズ統計モデルに基づく分析法を提案する。このモデルを応用として、マルチモダル連想学習における社会的・非社会的な注意手がかりの効果を調べた一連の研究(Wu & Kirkham, 2010)の再分析を行った。

モデルの概要

典型的な選好注視パラダイムでは、特定の理論的な構造を反映した刺激を乳児に提示し、その乳児の行動(観測データ)は、潜在する認知メカニズムを反映すると想定する(Aslin, 2007)。この推論過程は、ベイズ統計において以下のように定式化できる。各乳児の各試行に関し、観測された視線パタン(D)から、それを最もよく説明するモデル(M)の決定(モデル事後確率P(M|D))が分析の目的となる。これは、あるモデルからデータが生成される確率(P(D|M))と、モデルに関する仮定(P(M))から、ベイズの定理により計算できる(式 1)。

$$P(M|D) \propto P(D|M)P(M) \quad (1)$$

図１に各確率変数の従属関係を示す。試行ごとに、ある乳児(i)はある実験刺激(e)を提示され、その視線パタン(d)が、特定関心領域(AOI)毎の注視時間の割合として符号化される。この注視時間(d)は、実験刺激(e)と潜在的な認知過程(s)の組み合わせにより生成される注視傾向(θ)から得られる。分析の目的は、認知過程モデルに関する仮定(σ)に表現される、より簡潔な潜在認知過程(s)を選択する事である。以上の１乳児に関するモデルは、乳児集団モデル(z)から階層的に生成される。乳児集団の数は、事前尤度(α, γ)に基づくディリクレ過程で決定される。

この統計モデルでは、前述の複雑な交絡因子の選択、親近性・新奇性選好の非線形性、発達的な個人差の３つの問題が、それぞれ、簡潔なモデル選択(σ)、モデルの非線形項(s)、乳児集団のノンパラメトリックな選択(z)により解決される。

シミュレーション

提案モデルの有効性を検討するために、まず真の認知過程が明らかである人工データの分析を行った。このシミュレーションでは、それぞれ、複数の特徴量をそれぞれ小さな誤差の範囲で推定可能であり(図 2)、また非線形な選好性(図 3)、そして複数の発達群(図 4)を高い確率で推定できることを示した。この結果から、前述の、多変量交絡因子、非線形性、複数の発達群の問題のそれぞれに対する有効性を確認した。

経験的な注視データの分析

視聴覚刺激の連想学習における社会的・非社会的な注意手がかりを調べた Wu & Kirkham (2010)の研究を事例として、提案モデルによる再分析を行った。この実験では、特定の視覚刺激と聴覚刺激を対として提示し、同時に提示される視聴覚刺激対の連想学習を、ターゲットとなる視覚刺激への注視時間を指標として検討された。特に、8 ヶ月児の視聴覚刺激の連想学習における社会的・非社会的な手がかりの学習促進効果の違いに焦点が当てられ、手がかりなし条件を含めた３条件における学習成功率が分析された(図 5)。

モデルでは、刺激の顕著性、場所バイアス、手がかりの効果、連想学習の効果のそれぞれを表すパラメタによって認知過程を定式化した。前述のベイズ推定の結果、条件ごとに複数の乳児集団とその手がかり効果・連想効果が特定された(図 6)。この結果から、Wu & Kirkham (2010)と同様に、連想効果は、全体として社会的(Face)>非社会的(Square)>手がかりなし(NoCue)条件の順に高かったことを確認した。一方、先行研究に加えて、複数の潜在的な乳児集団がある事が示された。いずれの条件でも少数の学習成功者がいる一方で、多数の学習失敗が見られ、この学習失敗群で条件間差が見られる事が明らかになった。以上のより深い分析結果は、本研究で提案する階層ベイズモデルを用いた一つの利点であると考えられる。

まとめ

これまでに、注視行動の分析は、乳児の認知発達の理解に多大な貢献をしてきた。しかし、先行研究での分析は定性的であり、想定された「効果の有無」のみが主に検討されてきた。一方、本研究の提案手法は、「なぜ」「どのように」視線データが生成されたのか、より定量的な理解を与える。従って、複雑な仮説を定式化し、定量的な予測を得て、さらに、複数の関連実験に関して、同一のフレームワークの中で仮説の検証が可能になった。本手法は、既に示した実験事例のみならず、他の一般的な実験にも応用可能であり、更なる発達研究への理論的な貢献が期待される。

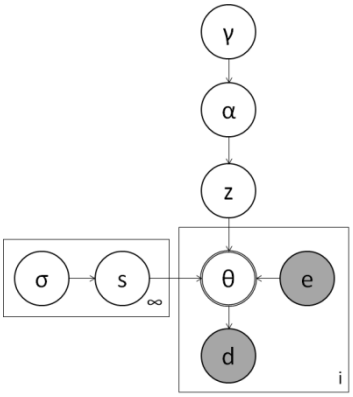

図 1: 生成された視線データ(d)，実験設定(e)，とそれをつなぐ認知過程パラメタ(s)の関係を表す統計的従属関係を表すグラフィカルモデル.

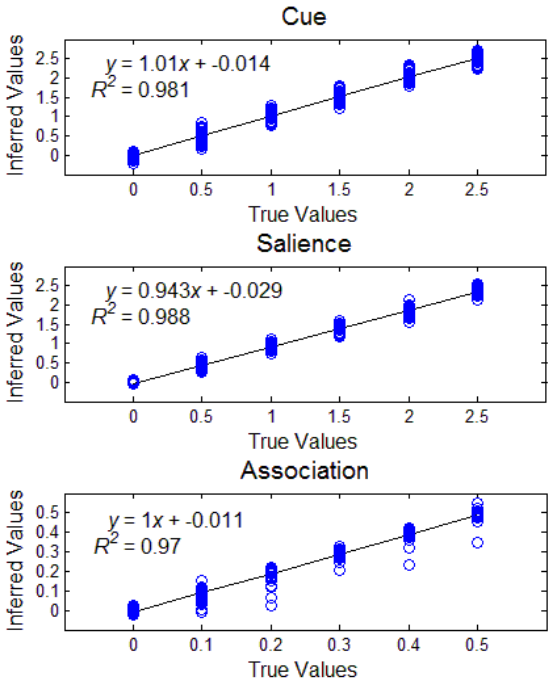

図 2: 推定されたパラメタとシミュレーションにおける真の値。複数の特徴量(cue, salience, association)に関し、小さな誤差で推定できた。

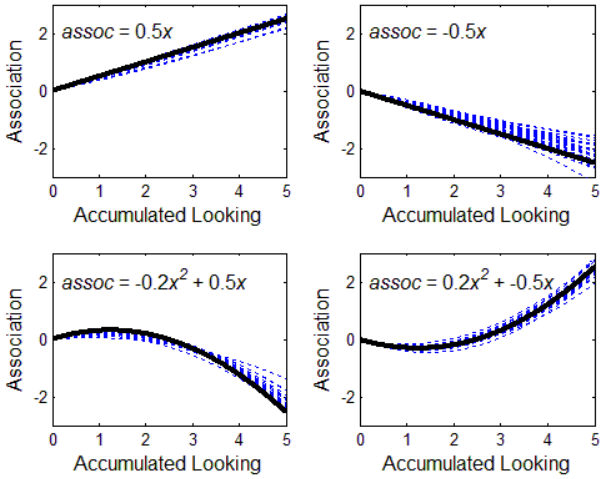

図 3: 特徴と累積注視時間の線形・非線形な関数に関して、 それぞれモデルは正しい多項式次数を選択した。

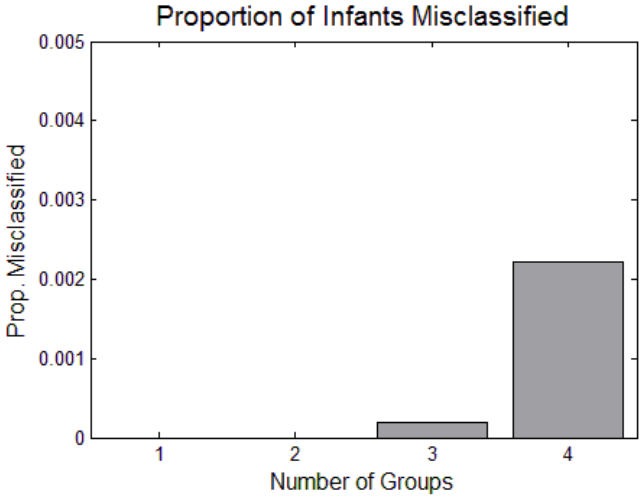

図 4: 1-4 の潜在的な発達群に対して、高い確率でモデルは正しく、性質の異なる乳児集団を推定した。

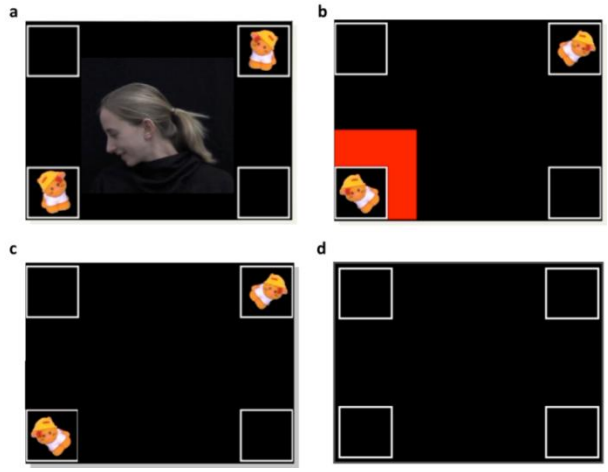

図 5: Wu & Kirkham (2010)の実験における訓練・テスト試行。音刺激とともに条件ごとに３つの視覚刺激が提示された。社会的手がかり条件(a)：顔の方向が連想関係にある１つの刺激を示す。非社会的手がかり条件(b)：刺激を囲む赤い四角により連想関係にある１つの刺激を示す。手がかりなし条件(c)：学習する刺激と音以外に手がかりは与えられなかった。テスト(d)：４つの空白とともに音刺激のみ提示された。

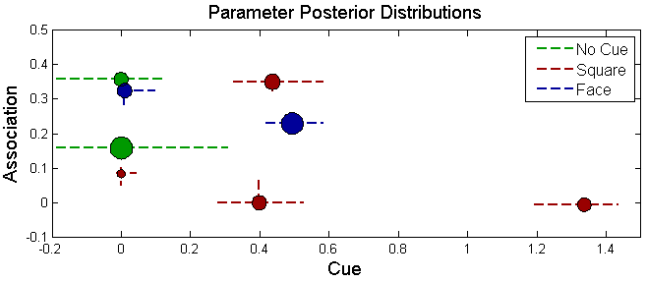

図 6: Wu & Kirkham (2010)の実験データに対し、推定された、手がかり、連想関係パラメータの事後分布。各円は乳児集団のパラメタ中央値を表し、円のサイズは集団の相対的な大きさを表す。点線は、集団内でのばらつき(68%区間)を表す。

Acknowledgments

This research was supported by a NSF Graduate Research Fellowship and NSF East Asia Pacific Summer Institute Fellowship to DY, two BPS Postgraduate Study Visits Award to RW, and Grant-in-Aid for Scientific Research B No. 23300099 to SH. The authors are grateful to Natasha Kirkham and the members of the Smith, Yu, and Shiffrin Labs for discussion

References

Aslin, R. N. (2007). What's in a look? *Developmental Science*, *10*, 48-53.

Fantz, R. L. (1964). Visual experience in infants: Decreased attention to familiar patterns relative to novel ones. *Science*, *146*, 668–670.

Hunter, M.A., & Ames, E.W. (1988). A multifactor model of infant preferences for novel and familiar stimuli. In L.P. Lipsitt (Ed)., *Advances in child development and behavior* (pp. 69-95). New York: Academic Press.

Jackson, I., & Sirois, S. (2009). Infant cognition: going full factorial with pupil dilation. *Developmental Science*, *12*, 670-679.

Shiffrin, R. M. (2010). Perspectives on modeling in cognitive science. *Topics in Cognitive Science*, *2*, 736-750.

Siegler, R. S. (1987). The perils of averaging over strategies: An example from children's addition. *Journal of Experimental Psychology: General*, *116*, 250-264.

Spelke, E. S. (1998). Nativism, empiricism, and the origins of knowledge. *Infant Behavior and Development*, *21*, 181-200.

Teller, D. Y. (1984). Linking propositions. *Vision Research*, *24*, 1233-1246.

Wu, R., & Kirkham, N. Z. (2010). No two cues are alike: Depth of learning during infancy is dependent on what orients attention. *Journal of Experimental Child Psychology*, *107*, 118-136.

Yu, C., & Smith, L. B. (2011). What you learn is what you see: Using eye movements to study infant cross-situational word learning. *Developmental Science*, *14*, 165-180.

Yu, C., Yurovsky, D., & Xu, T. (2012). Visual data mining: An exploratory approach to analyzing temporal patterns of eye movements. *Infancy*, *17*, 33-60.

日高昇平，鈴木義彦（2011）．目は口ほどに物言う：注視ダイナミクスと類似性判断の関係.，2011 年度日本認知科学会第 28 回大会 発表論文集(P2-34)