

平成 21 年 5 月 19 日現在

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2006～2008

課題番号：18700491

研究課題名（和文） ヒトのタイミング制御におけるベイズ統合に関わる脳部位の特定

研究課題名（英文） Identification of neural correlates for Bayesian integration in human timing

研究代表者

宮崎 真（MIYAZAKI, Makoto）

早稲田大学・高等研究所・助教

研究者番号：30392202

研究成果の概要：

我々は、外的・内的変動に満ちた環境にありながら、精緻で安定した認識・運動行為を生成している。近年、ヒトの脳がベイズ統合と呼ばれる推定法を用いることによりそれを実現していることが提案されてきた。本研究では、運動タイミング制御においてベイズ統合が作用していることを示した報告者自身の先行成果に引き続き、時間順序判断でもベイズ統合が作用していることを観測した。これにより、ヒトの脳の時間情報処理にあたっては、知覚処理段階でベイズ統合が作用していることが明らかとなった。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2006 年度	2,700,000	0	2,700,000
2007 年度	500,000	0	500,000
2008 年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	3,700,000	150,000	3,850,000

研究分野：

科研費の分科・細目：身体教育・脳高次機能学

キーワード：感覚運動制御 時間情報処理 中枢神経系 ベイズモデル

1. 研究開始当初の背景

我々の外的・内的環境は変動（ノイズ）に満ちている。ヒトの中枢神経系がその外的・内的変動をどの様に克服し、精緻で安定した知覚や動作を実現しているかは、身体運動科学、認知脳科学における中心課題の一つである。

理論上、ベイズ統合と呼ばれる推定法を脳が用いることにより、それら変動の影響を最小とすることができる。近年、報告者自身の成果を含めた心理物理学的研究により、ヒトの感覚運動系にそのベイズ統合が作用して

いることが示されてきた。

2. 研究の目的

報告者は、この研究に先立ち、一致タイミング課題においてベイズ統合モデルの予測と一致する被験者の運動応答を観測した（Miyazaki et al. *J Neurophysiol*, 2005）。これにより、空間的課題（Körding & Wolpert. *Nature*, 2004）、力量調整課題（Körding et al. *J Neurophysiol*, 2004）、そして時間的課題といったヒトのスキルの基本要素（大築. 「たくみ」

の科学, 1988) の全てにベイズ統合の作用が及ぶことが明らかとなった。しかし、それがヒトの脳によってどのように実現されているかは現在不明である。本研究は、心理物理学的手法と脳機能測定を用いて、このその解明を進めていくことを目的とした。

3. 研究の方法

ベイズ統合モデルは、以下の式のように表される。

$$X_{\text{estimated}} = \frac{\sigma_{\text{sensed}}^2}{\sigma_{\text{prior}}^2 + \sigma_{\text{sensed}}^2} \mu_{\text{prior}} + \frac{\sigma_{\text{prior}}^2}{\sigma_{\text{prior}}^2 + \sigma_{\text{sensed}}^2} X_{\text{sensed}}$$

最適推定
事前知識
感覚情報

$X_{\text{estimated}}$: 標的変数の最適推定, σ_{prior}^2 : 標的変数の代表値 (e.g. 平均), σ_{prior}^2 : 標的変数の試行間変動の分散, X_{sensed} : 初期感覚処理段階での標的変数値, σ_{sensed}^2 : X_{sensed} の分散 (= 感覚ノイズ) の大きさ。

この式に示される様に、認識/制御対象となる標的の最適推定は、事前に経験した確率分布(事前分布)の代表値と最新の感覚情報との統合により生成される。そして、その統合の法則は次の通りである：分散の大きな事前分布を経験している場合には、最新の感覚情報により大きく依存した推定がなされ、分散の小さい分布を経験している場合には、事前に経験した分布の代表値により大きく依存した推定がなされる。この理論モデルに基づき、次のような実験を行った。

(1) 時間順序判断でのベイズ統合の作用の有無の検証

これまで運動制御に関わる課題を用いてベイズ統合の作用が観測されてきた。この実験では、脳における知覚情報処理段階でベイズ統合が作用しているかどうかを検証することを狙いとした。具体的方法は以下のとおりである。

左手先/右手先となる場合が多くなるようなガウス分布 (図 1A; SD=80 ms, 平均=±80ms, 正值が右手先) から刺激時間差をサンプルし、被験者に提示した。そして、被験者の知覚変化を観測し、ベイズ統合モデルによる予測と一致するかを検証した。

(2) fMRI による運動タイミング課題におけるベイズ統合に關与する脳部位の特定

モデル式に表されるように、ベイズ統合による最適推定は、感覚情報と事前分布の統合により成立する。この実験では fMRI を用いて、感覚情報と事前分布の処理のそれぞれに關与する脳部位を特定することをねらいとする。

この実験では一致タイミング課題 (Miyazaki et al. *J Neurophysiol*, 2005) を用いた。刺激時間差の分散を大きくとったガウス分

布から提示する条件 (W 条件) と小さくとった分布から提示する条件 (N 条件) の 2 条件を設定した。ベイズ統合モデルに基づけば、この 2 条件で脳活動を比較したとき、W 条件でより大きな活動を示した脳部位は感覚情報の処理に關与し、N 条件でより大きな活動を示した脳部位は事前分布の処理に關与しているものと解釈される。

4. 研究成果

(1) 時間順序判断でのベイズ統合の作用の有無の検証

実験の結果、時間順序判断にベイズ統合理論の予見と一致する知覚現象が確認された (図 1 参照)。これによりベイズ統合が脳における知覚情報処理の段階で作用していることが示された。

この成果は、心理物理現象としての新しさと同時にベイズ統合モデルを独自に時間順序判断に当てはめることに成功したものであり、*Nature Neuroscience* 誌に掲載されるに至った (Miyazaki et al. *Nature Neurosci* 9: 875-877, 2006)。この成果は国内外で注目を集め、その電子版の刊行時には、日本経済新聞等 3 紙にて報道された。また、*Nature Neuroscience* 誌のHPでも 2 週にわたってハイライトで紹介された。

(2) fMRI による運動タイミング課題におけるベイズ統合に關与する脳部位の特定

測定の結果、感覚情報に強く依存して課題を行っている場合 (W 条件) では、右側の前頭前野、運動前野、後頭頂領域に活動増大が観測された。一方、事前に経験した確率分布に強く依存して課題を行っている場合 (N 条件) では、大脳皮質以外の部位を含めた幾つかの領域に活動が増大する傾向がみられている。今後、データの充足や分析法の工夫により更なる特定作業を進めていく。

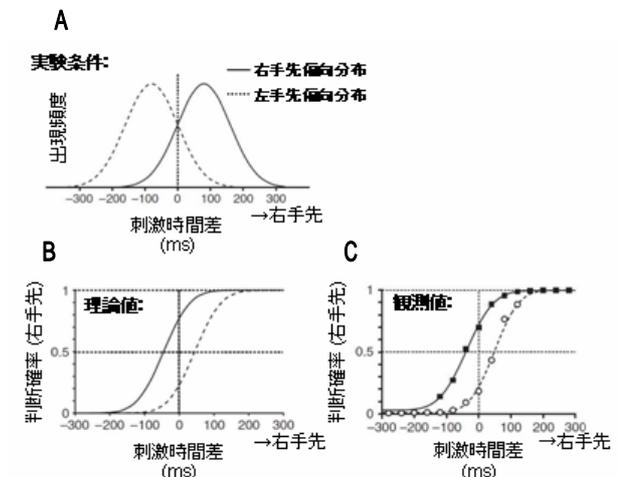


図1 A: 被験者に提示した刺激時間差の事前分布。B: ベイズ統合モデルによる知覚変化の予測。C: 被験者の応答の観測値。(Miyazaki M et al. *Nature Neurosci* 9: 875-877, 2006. より改変)

5 . 主な発表論文等
(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 3 件)

- 1) Kadota H, Nakajima Y, Miyazaki M, Sekiguchi H, Kohno Y, Kansaku K. Anterior prefrontal cortex activities during the inhibition of stereo-typed responses in a neuropsychological rock-paper-scissors task. *Neuroscience letters* 453: 1-5, 2009. (査読有)
- 2) 宮崎真. 運動制御・学習理論への力学的アプローチ: 力学系理論における変動の問題. *体育の科学* 57(4): 307-312, 2007. (査読無)
- 3) Miyazaki M, Yamamoto S, Uchida S, Kitazawa S. Bayesian calibration of simultaneity in tactile temporal order judgment. *Nature Neuroscience* 9: 875-877, 2006. (査読有)

〔学会発表〕(計 10 件)

- 1) Yamamoto S , Miyazaki M, Iwano T, & Kitazawa K. Bayesian calibration of simultaneity in audiovisual temporal order judgment. The 9th Annual Meeting of the International Multisensory Research Forum. Hamburg, Germany, July 16-19, 2008.
- 2) Nagai Y, Suzuki M, Miyazaki M, & Kitazawa K. Effects of visual cues on acquisition of multiple prior distributions in tactile temporal order judgments. The 9th Annual Meeting of the International Multisensory Research Forum. Hamburg, Germany, July 16-19, 2008.
- 3) Iida Y, Miyazaki M, Ueda Y, Shioda K, Teramoto K, Uchida S. Developmental changes in cognitive reaction time. The 13th Annual Congress of the European College of Sport Science. Estoril., Portugal, July 9-12, 2008.
- 4) 飯田悠佳子, 宮崎真, 内田直. Go/Nogo課題に基づく神経認知機能の発達. 第6回日本発育・発達学会. 福岡. 2008年3月15-16日.
- 5) Nagai Y, Suzuki M, Miyazaki M, & Kitazawa K. Eye-position dependent acquisition of multiple priors in tactile temporal order

judgment. ESF-EMBO Symposium on Three Dimensional Sensory and Motor Space. Sant Feliu de Guixols, Spain, 6-11 October 2007.

- 6) Miyazaki M, Yamamoto S, Uchida S, Kitazawa S. Bayesian calibration of simultaneity in temporal order judgment. The 36th Annual Meeting of Society for Neuroscience, Atlanta, Georgia, October 14-18, 2006.
- 7) 宮崎真. 知覚運動制御・学習のベイズモデリング: バッティング型タイミング一致課題を例に. 第33回日本スポーツ心理学会大会, ラウンドテーブルディスカッション「運動/制御学習の数理モデル」, 那覇, 2006年12月7日.
- 8) 宮崎真, 山本慎也, 内田直, 北澤茂. 体性感覚刺激の時間順序判断における同時性のベイズ調整. 第29回日本神経科学学会大会, 京都, 2006年7月21日.
- 9) 門田宏, 関口浩文, 中島八十一, 河野豊, 宮崎真. 習慣的な行動の抑制に関連する脳活動. 第29回日本神経科学学会大会, 京都, 2006年7月21日.
- 10) Fukuda M, Miyazaki M, Watanabe J, Uchida S. The effect of goal setting on maximal voluntary contraction and activation of the prefrontal cortex. National Conference and Exhibition 2006 of National Strength and Conditioning Association, Washington D.C., USA, 12-15 July 2006.

〔その他〕

招待講演

- 1) 事前の経験による時間順序の同時性の変調. 第42回日本認知科学会 学習と対話分科会「時間の関わる認知現象の科学」, 京都工芸繊維大学, 京都 2008年9月8日.
- 2) ヒトの時間順序判断におけるベイズ較正. 「認識と運動における主体性の数理脳科学」, 国際高等研究所, 京都, 2008年3月27日.
- 3) Bayesian calibration of simultaneity in temporal order judgments. Mini-workshop on temporal order judgments and multisensory integration. Juntendo University, Tokyo, March 24,

2007.

- 4) Bayesian estimation in human timing and time perception. ATR (国際電気通信基礎技術研究所), 京都, 2006年9月15日.

研究報告書

- 5) 宮崎真．知覚-運動制御のベイズモデリング．運動学習研究会報告集 Vol. 18: 89-90. 2008年11月.

- 6) 宮崎真．触覚刺激の時間順序判断における同時性のベイズ較正．運動学習研究会報告集 Vol. 16: 53-55. 2006年11月.

6．研究組織

(1)研究代表者

宮崎 真 (MIYAZAKI MAKOTO)
早稲田大学・高等研究所・助教
研究者番号：30392202