

平成30年6月15日現在

機関番号：82626

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15H02718

研究課題名(和文) 多感覚情報の統合・分離とその神経基盤

研究課題名(英文) Integrating and segregating multisensory information in the brain

研究代表者

山本 慎也 (Yamamoto, Shinya)

国立研究開発法人産業技術総合研究所・情報・人間工学領域・主任研究員

研究者番号：90371088

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,500,000円

研究成果の概要(和文)：我々は、複数の感覚入力を、脳内で統合あるいは分離することによって、外界を理解している。このような情報統合・分離によって、時間順序の知覚が変化することが知られており、統合と関連する知覚変化はラグアダプテーション、分離と関連する知覚変化はベイズ較正と呼ばれている。本研究課題では、(1)オンセットのみ、あるいはオフセットのみの視聴覚刺激に対しても、ラグアダプテーションが生じること、(2)ベイズ較正において、脳内でposterior meanと呼ばれるアルゴリズムが採用されている可能性があること、を明らかにした。

研究成果の概要(英文)：We understand the world by integrating and segregating multiple sensory inputs. Such integration and segregation change our perception of temporal order. The former is known as lag adaptation and the latter is known as Bayesian calibration. In this study, we attempted to elucidate the algorithms of these perceptual changes. We found that lag adaptation occurs even when the audiovisual stimuli have only their onsets or offsets. We also found that calibration occurs when the stimulation intervals are sampled from biased square distribution, suggesting that the brain adopts the posterior mean algorithm in Bayesian estimation of the temporal order. These findings will contribute to a better understanding of the temporal aspects of integration and segregation of multiple sensory inputs.

研究分野：認知科学

キーワード：情報統合 情報分離 多感覚 時間知覚 ベイズ推定 順応

1. 研究開始当初の背景

我々ヒトを含む動物は、さまざまな種類の感覚入力を受けることによって、外界で生じたイベントを把握している。外界を正しく反映した知覚を形成するためには、多数の入力情報の中から関連するもの同士を「統合」し、別のイベントから生じた情報は「分離」する必要がある。しかし、情報の統合や分離を、脳はどのようなアルゴリズムによって実現しているのかは、必ずしも明らかではなかった。本研究課題では、時間知覚における順応・学習の観点から、この問題に取り組んだ。

2つの感覚刺激AとBが提示され、被験者は、どちらが時間的に先行しているかの判断(時間順序判断)する状況を考える。2つの感覚刺激の時間差の分布に偏りがある場合(例えば、刺激Aが先行する試行が多い場合)情報統合・分離に対応する2種類の知覚変化が知られている。前者は、頻繁に経験する時間差を無視するタイプの知覚変化で、ラグアダプテーションと呼ばれている(Fujisaki et al., 2004)。一方、後者は、頻繁に経験する時間差を強調するタイプの知覚変化で、ベイズ較正と呼ばれている(Miyazaki et al., 2006)。これらの時間順序判断における順応・学習を紐解くことにより、脳における情報統合・分離のアルゴリズムを解明することが期待できる。

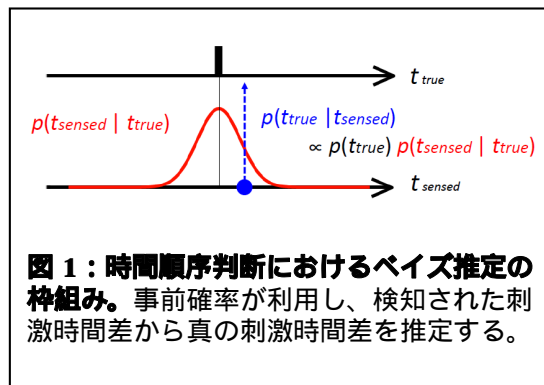
2. 研究の目的

本研究課題では、脳における情報統合・分離のアルゴリズムを明らかにするために、時間知覚の観点から、下記の2つの問題を解決することを目的とした。

(1) 脳が感覚信号間の情報統合を行う際に、各刺激に何を手掛かりとしているのだろうか? タイミングの観点から、少なくとも、刺激のオンセットとオフセットが、その候補となりうる。時間知覚の観点からは、ラグアダプテーションが、刺激のオンセットとオフセットの、どちらを(あるいは両方を)手掛かりにしているのかという問いが考えられる。本研究課題では、ラグアダプテーションが生じることが知られている視聴覚の時間順序判断を用いて、2刺激がそれぞれ、オンセットのみの場合と、オフセットのみ場合において、ラグアダプテーションが生じるかどうかを検討した。

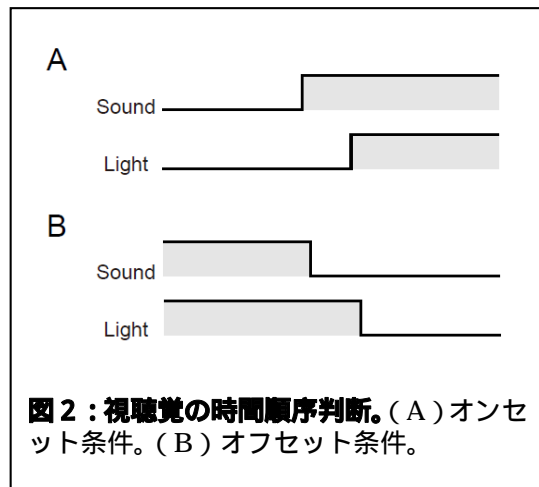
(2) 感覚信号間の情報分離の脳内メカニズム解明のため、時間順序判断のベイズ較正のアルゴリズムを検討が重要である。脳内の情報処理・情報伝達にはノイズがあり確定的ではないため、実際の(物理的な)刺激時間差が t_{true} であったとしても、脳が検知する刺激時間差 t_{sensed} は確率的であると考えられる(図1赤線、 $p(t_{sensed} | t_{true})$)。検知した刺激時間差 t_{sensed} から、真の刺激時間差 t_{true} を推定するというのが、時間順序判断において脳が解くべき問題である。検知した刺激時間

差 t_{sensed} から推定される真の時間差の分布(事後確率) $p(t_{true} | t_{sensed})$ は、ベイズの定理から $p(t_{sensed} | t_{true})$ と、真の時間差の分布である事前確率 $p(t_{true})$ の積に比例することから、脳が事前分布 $p(t_{true})$ を学習することによって、理論上、推定可能となる。ここで、 $p(t_{true} | t_{sensed})$ から真の時間差を推定する代表的なアルゴリズムとして、事後確率が最大になる時間差を推定値とする方法と(MAP推定)、事後確率の分布に基づく時間差の平均を推定値とする方法と(Posterior mean法)が考えられる。本研究課題では、時間順序判断のベイズ較正において、これら2つのアルゴリズムのうち、どちらのアルゴリズムが脳内で用いられているのかを、検討した。



3. 研究の方法

(1) 被験者(N = 16)は、提示されたオンセットのみの視聴覚刺激(オンセット条件; 図2A)または、オフセットのみの視聴覚刺激(オフセット条件; 図2B)の、時間順序の判断を行った。刺激の時間差は、光先行分布(図4A赤)または音先行分布(図4A青)からサンプルされた。1ブロックは51試行から構成され、1日12ブロックの実験を行った。各被験者はオンセット条件とオフセット条件の両方に1日ずつ(計2日間)参加した。また、同一被験者内では、刺激時間差は光先行分布か音先行分布のどちらか一方のみを採用した(各8名)。



(2) 被験者 (N = 16) は、両手に与えられた触覚刺激の時間順序判断を行った。刺激の時間差は、光先行 (図 6 A 赤) または音先行 (図 6 A 青) に偏った矩形上の分布からサンプルされた。1 ブロックは 92 試行から構成され、1 日 10 ブロックの実験を行った。また、刺激時間差は、光先行分布と音先行分布を、各 1 日ずつ (計 2 日間) 採用した。

事前確率の分布が正規分布の場合、真の時間差 t_{true} の推定のアルゴリズムが、MAP 推定でも Posterior mean 法でも、理論上、ともに判断曲線のシフトが生じる (図 3 A)。しかし、事前確率の分布が矩形分布の場合、Posterior mean 法は判断曲線のシフトを生じさせるが、MAP 推定はシフトを生じさせないことが、理論上予想される (図 3 B)。すなわち、もし、判断曲線のシフトが生じるとすると、少なくとも MAP 推定のみが行われているのではないことが示唆されることになる。

4. 研究成果

(1) 視聴覚刺激がオンセットのみの場合も (オンセット条件) オフセットのみの場合も (オフセット条件) とともにラグアダプテーションが観察された (図 4 B-C)。また、ブロックごとのシグモイドの中心 (主観的同時点) をプロットすると、オンセット条件もオフセット条件も、類似な挙動を示した (図 5

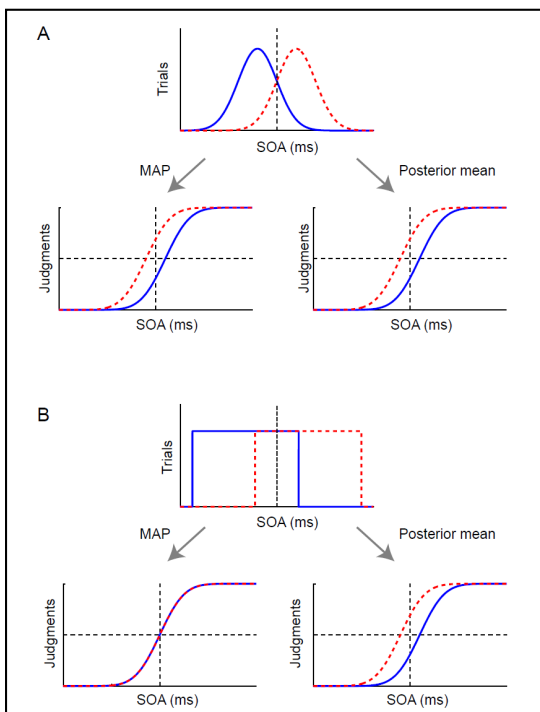


図 3 : ベイズ推定理論で予想される時間順序判断のシフト。 事前確率が正規分布の場合には、MAP 推定でも Posterior mean 法でも、ともにシフトが生じることが予想される (A)。しかし、事前確率が矩形分布の場合には、Posterior mean 法は判断曲線のシフトを生じさせるが、MAP 推定はシフトを生じさせないことが、理論上予想される (B)。

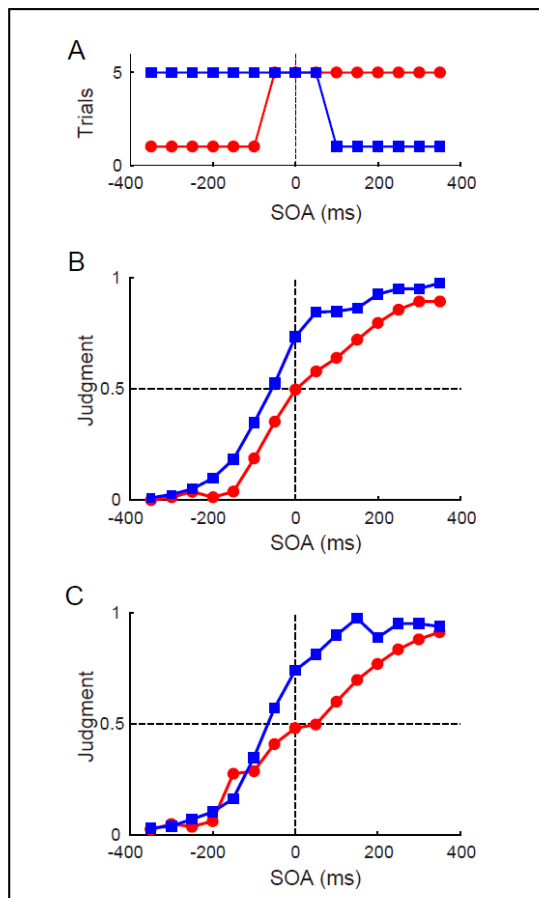


図 4 : 視聴覚の時間順序判断。 (A) 刺激時間差の分布。光先行分布 (赤) および音先行分布 (青)。オンセット条件 (B) およびオフセット条件 (C) の両方でラグアダプテーションが観察された。

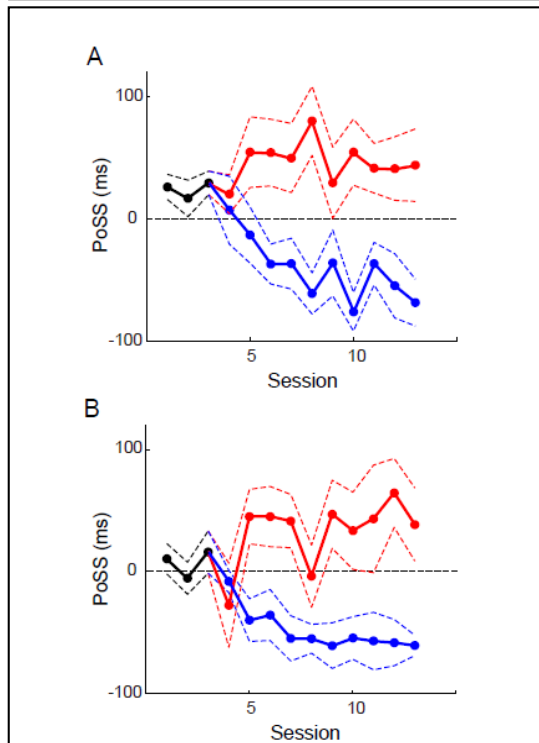


図 5 : 主観的同時点の順応過程。 (A) オンセット条件。 (B) オフセット条件。

A-B)。この結果は、ラグアダプテーションに用いられる刺激の手がかりとして、オンセットもオフセットも、ともに脳が利用可能であることを示唆している。

(2) 事前分布として偏りのある矩形分布(図6A)を用いた場合、時間順序の判断曲線は、事前分布が正規分布であった場合(Miyazaki et al., 2006)と同じ方向のシフトを観察することが出来た(図6B)。個々の被験者ごとの解析においても、ほとんどの被験者において、同様のシフトが観察された(図6C: $P < 0.005$)。この結果から、真の時間差を推定する脳内アルゴリズムが、少なくともMAP推定のみではない(Posterior mean法に近い推定法が用いられている)ことを示唆された。

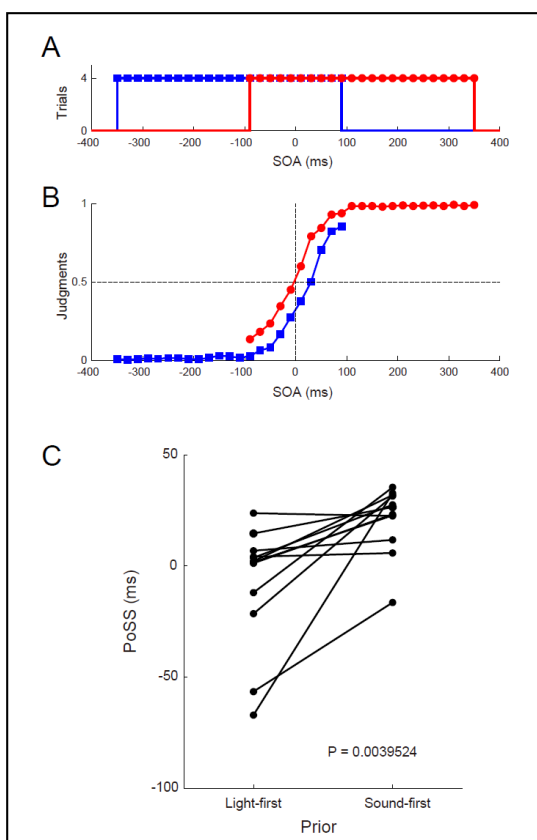


図6：両手に与えた触覚の時間順序判断。
(A) 刺激時間差を偏りのある矩形分布からサンプリングした。右手先行条件(赤)および左手先行条件(青)。(B) 各条件における時間順序判断。事前確率が矩形分布の場合も、ベイズ較正型の知覚変化が観察された。(C) 各被験者の主観的同時点。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計1件)

Mariko Nakata, Kazuaki Nagasaka, Masayuki Shimoda, Ichiro Takashima, Shinya Yamamoto (2018) "Focal brain

lesions induced with ultraviolet irradiation", *Scientific Reports*, 8(1), 7968, 査読有
DOI:10.1038/s41598-018-26117-w

[学会発表](計7件)

仲田真理子、長坂和明、下田将之、高島一郎、山本慎也 (2018) 「紫外光による局所的脳損傷作製技術の開発」、*SATテクノロジー・ショーケース 2018*

後藤みずほ、長坂和明、高島一郎、山本慎也 (2018) 「脳の加熱・冷却による神経活動の制御」、*SATテクノロジー・ショーケース 2018*

Shinya Yamamoto (2017) "Uncertainty of subjective temporal order without subjective simultaneity", *Neuroscience 2017*

Mariko Nakata, Kazuaki Nagasaka, Masayuki Shimoda, Ichiro Takashima, Shinya Yamamoto (2017) "Focal brain lesions induced by ultraviolet irradiation", *Neuroscience 2017*

Mizuho Gotoh, Ichiro Takashima, Shinya Yamamoto (2017) "Non-monotonic effect of temperature on cortical-evoked potentials", *Neuroscience 2017*

山本慎也 (2017) 「脳における情報の統合と分離 - 何が情報処理の単位なのか? - 」 *日本認知心理学会第15回大会*

山本慎也 (2015) "Multiple mechanisms of temporal recalibration" *日本視覚学会 2015年夏季大会*

[図書](計1件)

Shinya Yamamoto, Shigeru Kitazawa (2016) "Tactile temporal order", In: *Scholarpedia of Touch*, Atlantis Press, 279-292,
DOI:10.2991/978-94-6239-133-8_23

[産業財産権]

出願状況(計3件)

名称：神経伝達物質イメージング方法
発明者：山本慎也、鈴木祥夫、長坂和明、高島一郎
権利者：国立研究開発法人産業技術総合研究所
種類：特許
番号：特開 2017-101957

出願年月日：2015年11月30日
国内外の別：国内

名称：ドーパミン検出用蛍光物質
発明者：鈴木祥夫、山本慎也、長坂和明、高島一郎
権利者：国立研究開発法人産業技術総合研究所
種類：特許
番号：特開 2017-101118
出願年月日：2015年11月30日
国内外の別：国内

名称：脳表を局所的に損傷させる方法
発明者：仲田真理子、長坂和明、高島一郎、山本慎也
権利者：国立研究開発法人産業技術総合研究所
種類：特許
番号：特願 2017-212091
出願年月日：2017年11月1日
国内外の別：国内

取得状況（計1件）

名称：摂水行動計測装置
発明者：山本慎也、山根茂、兎田幸司
権利者：国立研究開発法人産業技術総合研究所
種類：特許
番号：特許 6032671
取得年月日：2016年11月4日
国内外の別：国内

6. 研究組織

(1) 研究代表者

山本 慎也 (YAMAMOTO, Shinya)
国立研究開発法人産業技術総合研究所・情報・人間工学領域・主任研究員
研究者番号：90371088

(2) 連携研究者

吉江 路子 (YOSHIE, Michiko)
国立研究開発法人産業技術総合研究所・情報・人間工学領域・研究員
研究者番号：00722175