

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 9 日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2011～2013

課題番号：23680028

研究課題名(和文) 間隔時間知覚の脳神経機構の解明：知覚学習によるアプローチ

研究課題名(英文) Investigation of neural mechanisms for interval-timing perception with application of the perceptual learning paradigm

研究代表者

四本 裕子 (Yotsumoto, Yuko)

東京大学・総合文化研究科・准教授

研究者番号：80580927

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 8,500,000円、(間接経費) 2,550,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、知覚学習課題を用いて、人間の視覚情報処理の時間特性を検証することを目的とした。具体的には、視覚情報が運動制御に与える効果、運動する視覚刺激の運動軌跡のわずかな差が見えに及ぼす効果、形状知覚と運動知覚の時間的特性の差、時間的変調を持つ視覚刺激や聴覚刺激の間隔時間の知覚、老化が脳の可塑性に及ぼす効果について、行動実験や脳機能計測を用いて明らかにした。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study was to investigate temporal characteristics of visual processing in human, using perceptual learning paradigm. I conducted several experiments to examine visual-motor interaction, the effect of motion trajectory in motion perception, differences in temporal property between shape perception and motion perception, interval-timing perception with flickering visual stimuli and with fluttering auditory stimuli, and effects of aging in neural plasticity.

研究分野：心理学

科研費の分科・細目：心理学・実験心理学

キーワード：視覚 機能的MRI 知覚学習 運動情報処理

### 1. 研究開始当初の背景

時間の知覚には、処理される視覚や聴覚の情報処理の時間的特性が反映される。たとえば、視覚情報の提示時間が物理的には同じであっても、観察者の心的状態や並列処理される他の情報処理との相互作用によって、知覚される時間が変化する。

たとえば、網視覚情報は脳内で段階的に処理されて視知覚となるがその処理は縦列的ではなく、形・色・運動などが並列的に処理され、その結果が統合される。処理 A が処理 B と並列に成立するとして、処理 A と処理 B の統合の時間的特性を検証するとともに、処理 A が抑制された場合に処理 B の処理が変化するかどうか、また処理 A が抑制された場合に処理 B の時間的特性およびその後の知覚に変化が生じるかどうかを検証することにより、人間の時間の知覚に関する脳内機構の解明が進むと考えられた。

さらに、運動情報処理のように比較的自動的な知覚ではなく、「3秒」などのように間隔の時間については、その知覚のための特定の感覚器が存在しないため、そのメカニズムには未解明の部分が多い。この研究を開始するにあたり、比較的自動的な視覚運動情報の処理に関する検証と、比較的意識的な間隔時間知覚のメカニズムの検証を並列に進めることで、タイミングや間隔時間の知覚といった時間特性のよりよい理解が実現すると考えた。

### 2. 研究の目的

本研究では、視覚や聴覚の情報処理の時間的特性やそれらの相互作用に注目し検証することを目的とした。

対象とする時間として、視覚的に提示された運動刺激の検出やずれの検出など、数十～数百ミリ秒単位の時間特性と、1～3秒程度のより長い間隔時間の特性に着目した。

これまでの研究で、1秒以下の時間と1秒以上の時間情報の処理は、脳内の異なるネットワークが関係している可能性が示唆されている。本研究では、それぞれの時間特性における人間の視知覚や時間知覚を、脳波や脳機能イメージングを利用して測定し、その機構のより深い理解を得ることを目的とした。

### 3. 研究の方法

[実験 1A] 視覚情報処理における形と運動の処理の独立性の検討：行動実験 視知覚における形の情報処理と運動の情報処理の独立性とその相互作用を行動実験で検証した。形が運動で定義される刺激(運動からの形状復元刺激)を用い、同一の刺激で形を回答させる条件と運動を回答させる条件の閾値の違いを測定する。形状知覚に必要な情報量と運動知覚に必要な情報量に差があるならば、両者の処理が単一の機構に基づかないことを意味する。

[実験 1B] 視覚情報処理における形と運動の

処理の独立性の検討:TMS実験 実験 1Aの結果をふまえ、経頭蓋磁気刺激(TMS)を用いて形状知覚と運動知覚の独立性、相互作用、時間特性について検証した。具体的には運動知覚に関わる MT 野を TMS による刺激で運動の知覚を抑制し、運動知覚抑制のタイミングおよび運動知覚が抑制されるタイミングにおける形状知覚の特性を調べた。運動知覚が抑制されると同時に形状知覚も抑制されるのかもしれないが運動知覚が抑制されると形状知覚は促進されるのか等の相互作用の有無と、その相互作用の時間特性を検討した。

[実験 2] 視覚と聴覚の情報処理の時間的特性の検討 視覚と聴覚という異なるモダリティー間の処理の時間特性の相互作用を検証する。同一の視覚情報が知覚される時間(タイミング)が、同時に提示される聴覚情報の有無やその特性によっていかに変容するか、脳内の情報処理において聴覚情報処理が負荷となる場合、その負荷が視覚情報処理の時間的特性に何らかの影響を及ぼすのか、また聴覚情報と視覚情報の提示のタイミングが物理的に同一でも両者の知覚にずれが生じる条件があるのかを検討した。

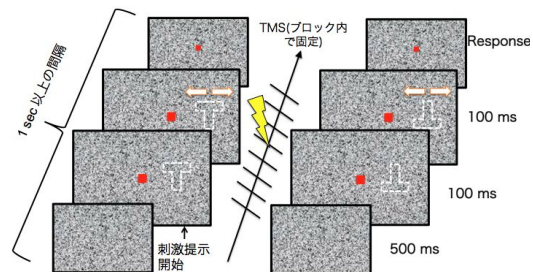


図1：数十ミリ～数百ミリ秒単位のタイミングが運動からの形状復元の知覚に及ぼす効果を調べた実験の模式図。形は運動で定義されており、被験者は刺激の運動方向もしくは形状を答える。さまざまなタイミングで TMS 刺激を与えて脳内の運動情報処理を阻害することで、運動情報処理と形状情報処理のタイミングについて検証した。

[実験 3] 知覚の情報処理の時間特性に注意が及ぼす効果の検証。実験 1 と 2 の結果をふまえ、視覚や聴覚における情報処理の時間特性に注意が及ぼす効果を検証した。形状や運動知覚の時間特性が注意の状態によって変容するかどうか、視覚と聴覚の時間知覚のずれが注意によっていかに変容するかを測定することにより、人間の知覚における時間特性の総合的な理解を目指した。

[実験 4] 時間知覚は周波数特異的な神経活動によって実現されており、明滅刺激による時間知覚の延長はその神経活動が乱される結果であるという仮説を立て、特に認知機能との関わりが指摘されている、帯域に着目した。仮説の検証のため、様々な時間周波

数特性を持つフリッカ刺激を見ている時の主観的 3 秒を 2AFC と恒常法を用いて測定した。また、実験の結果をもとに間隔時間知覚の神経メカニズムに関するモデルを構築し、ニューラルシミュレーションによってそのモデルの妥当性を検証した。

[実験 5] 実験 4 の結果を発展させ、聴覚情報と視覚情報の提示のタイミングが物理的に同一でも、両者の知覚にずれが生じる条件があることを見出した。

[実験 6] 運動刺激の軌道をさまざまに変化させ、軌道の性質が知覚に及ぼす効果を測定した。

#### 4. 研究成果

##### [実験 1~3]

運動により定義した T 字型 / 逆 T 字型刺激に対する運動方向弁別もしくは形状弁別を課題とし、刺激提示中の様々なタイミングで MT 野に単発 TMS を与えることで、運動からの形状復元知覚と神経活動との関係について検討した結果、運動方向の知覚に重要とされる刺激提示の 80ms 後に TMS を与えると、運動方向弁別の成績は低下したが、形状弁別の成績は低下せず、両者の間には有意な差が生じた。このことは、運動処理が十分に行えず、方向の判断が困難であっても運動からの形状復元知覚が成立することを示しており、さらに、刺激提示から 80ms というタイミングが、形状の知覚に貢献することが明らかになった。

また、この実験では、日本人の MT 野の位置を fMRI で同定した上で後頭隆起から頭皮上の距離を計算し、後頭隆起を基準とした MT 野の位置を推定し、先行研究で報告されている値と比較した。その結果、日本人の MT 野の中心は、後頭隆起から背側に 3 cm、外側に 6.5 cm の距離に位置し、もっとも頭皮に近接している MT 野内の部位も MT 野の中心と一致していることを見いだした。この結果は、日本人を被験者とする TMS 実験で MT 野を刺激する際には、国外で報告の報告よりも外側にずれた位置を用いる必要があることを示唆している。

##### [実験 4~5]

時間知覚は周波数特異的な神経活動によって実現されており、明滅刺激による時間知覚の延長はその神経活動が乱される結果であるという仮説を検証するため、画面上に 3 秒の静止刺激と明滅するフリッカ刺激を経時的に提示し、被験者はどちらをより長く感じたか回答させた結果、10.9 Hz, 30 Hz, 8-12 Hz では時間知覚の延長が見られたが、4-30 Hz, 12-16 Hz では時間知覚の延長が見られなかった。この結果は、時間知覚の延長には周波数特異的な神経活動の関係があるという仮説

を支持し、特に 帯域の関与を示唆している。

さらに、この結果をもとに、視覚刺激と聴覚刺激にそれぞれことなる時間変調を与えた場合の間隔時間知覚を測定した結果、視覚刺激の時間知覚と聴覚刺激の時間知覚はそれぞれ独立の機構に基づいていることを示唆する結果が得られた。視覚に誘発される脳波と聴覚に誘発される脳波の成分を比較した結果、視覚誘発の脳波成分が刺激の時間変調に同調することが、時間の知覚に強い影響を与えることを見出した。

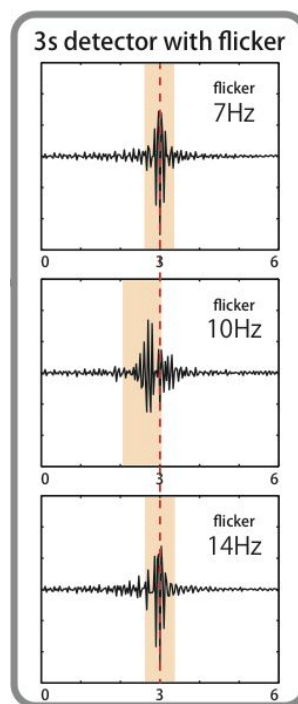


図 2 : 実験 4 の結果から構築された間隔時間知覚の神経メカニズムに関するモデルに基づいた、ニューラルシミュレーションの結果。10Hz の時間変調でのみ、仮想細胞の反応時間が変わっており、実験 4 の行動実験の結果と合致する結果が得られた。

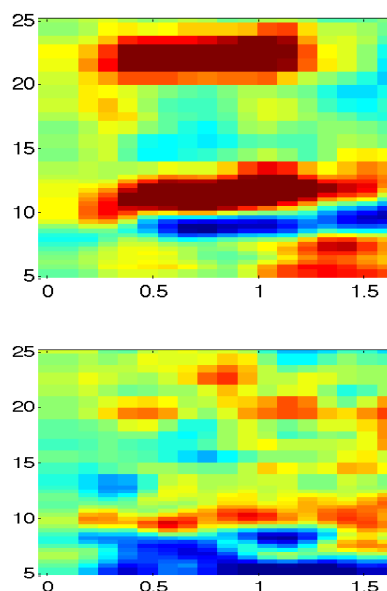


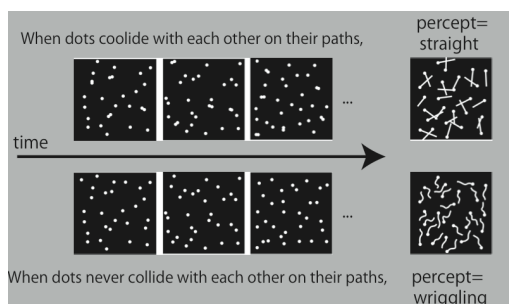
図 3 : 実験 5 で、視覚刺激を 10Hz で変調した時の脳波 (上) と、聴覚刺激を 10Hz で変調させた時の脳波 (下)。視覚刺激を変調さ

せた条件のほうが、刺激の時間変調に対応する 10Hz 付近の脳波成分が多く観察された。

#### [実験 6]

数百のドットがそれぞれランダムな方向に直進運動する際、ドットが互いに衝突しない条件において、直進するドットの運動軌跡が強く歪んで知覚される錯視現象 (The Wiggling Motion Trajectory Illusion) を発見し、報告した。

図 4 : 実験 6 で報告した錯視現象の模式図。



全てのドットが直進していても、ドットが衝突しないように軌跡を制限した条件では、ドットが wriggle しているように見える。

#### 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 5 件)

Yotsumoto, Y., Watanabe T., Chang LH., & Sasaki (2013) "Consolidated learning can be susceptible to gradually-developing interference in prolonged motor learning." *Front Comput Neurosci*, 7, 69、査読有り

Kuwahara M., Sato T., & Yotsumoto Y. (2012) "Wriggling motion trajectory illusion." *Journal of Vision* 12(12)4、査読有り

Yotsumoto Y. (2012) "Why we should integrate behavioral and neuroimaging studies to examine neural plasticity in perceptual learning." *Cortex* 48(4), 517-518、査読有り

Tamaki, M., Huang, T.R., Yotsumoto, Y., Hamalainen, M., Lin, F.H., Nanez, J.E., Sr., Watanabe, T., & Sasaki, Y. (2013). "Enhanced spontaneous oscillations in the supplementary motor area are associated with sleep-dependent offline learning of finger-tapping motor-sequence task." *J Neurosci*, 33 (34), 13894-13902. 、査読有り

Yotsumoto Y., Seitz A., Shimojo S., Sakagami M., Watanabe T. & Sasaki Y.

(2011) "Performance dip in motor response induced by task-irrelevant weaker coherent visual motion signals." *Cerebral Cortex* 22(8):1887-93、査読有り

[学会発表](計 13 件)

橋本侑樹・四本裕子「フリッカ刺激の時間周波数成分が時間知覚延長に及ぼす効果」日本視覚学会冬季大会 2014 年 1 月 22 日  
四本裕子・渡邊武郎・Li-Hung Chang・佐々木由香「長期の運動学習における逆行性干渉」日本基礎心理学会 2013 年 12 月 8 日

Yotsumoto Y. The role of awareness on visual perceptual learning of inhibition: a fMRI study. *Vision Sciences*, Naples Florida, May 2013

Yotsumoto Y., Kuwahara M., and Sato T. Wriggling Motion Trajectory Illusion. *Vision Sciences*, Naples Florida, May 2012

Nakajima Y., Sato T., Hara K., and Yotsumoto Y. Shape-from-Motion is intact even when motion perception is impaired: a TMS study. *Vision Sciences*, Naples Florida, May 2012

四本裕子・中嶋豊・佐藤隆夫 後頭隆起を基準とした MT 野の位置に見られる人種差, 日本視覚学会 夏期大会 2012 年 8 月

四本裕子・桑原明栄子・佐藤 隆夫, Wriggling Motion Trajectory Illusion, 日本視覚学会冬季大会, 工学院大学, 2012 年 1 月.

中嶋豊・佐藤 隆夫・四本裕子, 運動からの形状復元は運動方向の知覚に依存しない, 日本視覚学会冬季 大会, 工学院大学, 2012 年 1 月.

Nakajima Y., Sato T., Hara K., and Yotsumoto Y. Shape-from-Motion is intact even when motion perception is impaired: a TMS study. *Vision Sciences*, Naples Florida, May 2012

[図書](計 1 件)

繁樹算男・四本裕子 [監訳]「APA 心理学大辞典」培風館、全 1040 頁、2013 年 9 月

[その他]

佐藤弘美・四本裕子 脳科学辞典 wiki「ソースモニタリング」2012 年 11 月、査読有り

中山遼平・四本裕子 脳科学辞典 wiki「メタ認知」2012 年 11 月、査読有り

#### 6 . 研究組織

(1)研究代表者

四本裕子 (YOTSUMOTO, Yuko)

東京大学大学院総合文化研究科・准教授  
研究者番号 : 80580927