HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	時間情報処理における刺激規則性と知覚および運動タイミングの関係とその脳内基盤の検討［全文の要約］
Author(s)	新井田, 光希
Description	この博士論文全文の閲覧方法については、以下のサイトをご参照ください。 https://www.lib.hokudai.ac.jp/dissertations/copy-guides/
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(文学)
Dissertation Number	甲第15996号
Issue Date	2024-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/92393
Type	doctoral thesis
File Information	Mitsuki_Niida_summary.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

学位論文内容の要約

博士の専攻分野の名称：博士（文学）　　氏名：　新　井　田　光　希

学位論文題名
時間情報処理における刺激規則性と知覚および運動タイミングの関係と
その脳内基盤の検討

第 1 章 序論

外部からの感覚のインプットを参照し、それに対して自分自身の行動のアウトプットのタイミングを合わせること、とりわけ、周期的な外部刺激にタイミングを合わせることを感覚運動同期という（Repp, 2005; Repp & Su, 2013)。感覚運動同期について調べるために使用される同期タッピング課題では、メトロノームのような等時間隔刺激にタイミングを合わせてタップをするが、タイミングを合わせる対象である刺激よりもタップの方が早く発生する、負の非同期という現象がしばしば起こる。Paillard-Fraisse 仮説（Fraisse, 1980; Paillard, 1946）や感覚蓄積モデル(Aschersleben, 2002）では、タップと刺激の同期は中枢神経レベルで知覚されるという考えに基づいて、聴覚刺激とタップの際の触覚あるいは運動感覚の間の信号の神経伝達速度の違いや、処理時間の違いが負の非同期の原因となると仮定されている。一方で、インターバル過小評価説では、負の非同期の原因を、刺激のインターバルを実際よりも短く知覚し、それに基づいてタップをタイミングすることと仮定する（Wohlschläger & Koch, 2000)。この仮説は、充実時程錯覚という時間の錯覚に関連するものである。充実時程錯覚は、主に単一のインターバルを対象として調べられてきた現象であり、インターバルの始まりから終わりまで刺激が呈示され続ける充実時程と、インターバルの始まりと終わりだけが刺激で示される空虚時程では、物理的に同じ長さでも後者の方が短く感じられるという時間の錯覚である（Hasuo et al., 2014; Wearden et al., 2007; Wearden & Ogden, 2021)。インターバル過小評価説が正しければ、規則的な刺激での運動のタイミング合わせと、規則性のない刺激での知覚的な時間判断に、共通するメカニズムがあるということになる。

時間的規則性の有無により、時間処理の神経基盤が異なることが明らかになっており（Teki et al., 2011)、不規則状況である持続時間ベースタイミングでは小脳（Grube, Cooper, et al., 2010; Grube, Lee, et al., 2010)、規則的状況であるビートベースタイミングでは大脳基底核（Grahn & Brett, 2007, 2009; Grahn & Rowe, 2009, 2013）がそれぞれ重要である。また、運動タイミングと知覚タイミングには、共通する神経基盤と共通しない神経基盤があり、共通する神経基盤には、小脳と大脳基底核が含まれることが示唆されている（Coull et al., 2011; Wiener et al., 2010)。

本研究では、タイミングの条件を規則的・不規則および運動・知覚タイミングの 2×2 で分類し、それらを比較することで、規則的・運動タイミングに当たる感覚運動同期を中心に、タイミングのメカニズムや神経基盤を明らかにすることを目的とした。とりわけ、インターバル過小評価説から、規則的・運動タイミングと不規則・知覚タイミングの関係に着目した。この目的のために、行動実験にてインターバル過小評価説を検証し、また、fMRI（functional magnetic resonance imaging）実験にて各分類の神経基盤を比較検討した。

第 2 章 負の非同期のインターバル過小評価説の検証

インターバル過小評価説の検証を目的とし、3 つの行動実験を行った。実験 1 では、充実時程錯覚を利用し、空虚時程刺激（より短く知覚される刺激）と充実時程刺激（より長く知覚される刺激）での同期タッピングを比較した。その結果、インターバル過小評価説と一致して、充実条件よりも空虚条件で、すなわちより短く知覚される刺激でのタッピングでより早くタップが起こった。実験 2 は実験 1 と同様の実験であったが、タップに対して聴覚フィードバックを呈示した点が異なっていた。しかしながら、結果は実験 1 と同様であり、フィードバックによりタップのタイミングをよ

り正確に知覚できる場合でも、刺激の知覚される長さがより強く影響した。実験 3 では、充実時程錯覚を起こすと考えられるインターバルの分割の同期タッピングへの影響を検討した。その結果、インターバル過小評価説と一致して、分割をする条件ではしない条件に比べて、すなわちより長く知覚される場合のタッピングでより遅くタップが起こることが示された。

第 3 章 持続時間ベースおよびビートベースの知覚タイミングと同期タッピングの関係

2 つの行動実験でさらにインターバル過小評価説を検証した。第 2 章では実際の知覚時間を測定しなかったため、実験 4 では、単一インターバルの持続時間の知覚を空虚条件と充実条件で比較し、持続時間ベースの知覚タイミングで充実時程錯覚が起こることを確認した。また、規則的刺激のテンポ知覚を空虚条件と充実条件で比較し、ビートベースの知覚タイミングで充実時程錯覚が起こらないことを確認した。実験 5 では、同期タッピングを空虚条件と充実条件で比較し、第 2 章と同様、空虚条件でより早くタップが起こることが示された。持続時間ベースの知覚タイミングと同期タッピングで充実時程の影響が同様に現れ、ビートベースの知覚タイミングでは充実時程の影響がなかったことから、同期タッピングでは、テンポ知覚と関係なく、インターバルの知覚される長さに基づいてタップがタイミングされることが示唆された。

第 4 章 知覚的タイミングの脳内基盤と刺激規則性

ボトムアップ処理の違いである、持続時間ベース対ビートベースの知覚タイミングでの小脳対大脳基底核という神経基盤の分離が、トップダウン処理でも見られるかどうかを、fMRI 実験で検討した。トップダウン処理のみを分離させるために、単一インターバルとビート刺激両方を含む聴覚シーケンスを聴取し、単一インターバルで持続時間ベースタイミングを行う条件と、ビート刺激でビートベースタイミングを行う条件で、脳活動を比較した。その結果、両条件で差は見られず、持続時間ベースの知覚タイミングとビートベースの知覚タイミングは、ボトムアップ処理においては、小脳と大脳基底核で分離しているものの、トップダウン処理の神経基盤は共通していることが示唆された。

第 5 章 持続時間ベースおよびビートベースタイミングと知覚および運動タイミングの脳内基盤

持続時間ベース・ビートベースタイミングと、知覚・運動タイミングの分類に関連する脳活動を比較するために fMRI 実験を行った。不規則あるいは規則的な聴覚シーケンスを刺激とし、刺激の持続時間を判断する知覚タイミング課題と、刺激にタイミングを合わせて持続時間を再生する運動タイミング課題で 2×2 の比較を行った。その結果、知覚タイミングで左運動野を中心とした強い活動が見られた。しかしながら、知覚課題と運動課題でボタン押しの指運動が異なっていたため、タイミングよりも運動量の差が反映されたと考えられた。持続時間ベース・知覚タイミング条件とビートベース・知覚タイミング条件を比較したところ、先行研究を再現せず、小脳あるいは大脳基底核の選択的な活動は見られなかった。ビートベース・運動タイミング条件で、持続時間ベース・運動タイミング条件よりも大脳基底核が活動することが確認され、運動タイミングでも、先行研究と一致したビートベースと大脳基底核の対応が見られることが示唆された。

第 6 章 総合考察

第 2 章から第 5 章までの実験結果を整理しながら、持続時間ベース・ビートベースタイミングと知覚・運動タイミングの 2×2 の分類に沿って、タイミングのメカニズムと神経基盤について考察した。第 3 章において、持続時間ベースの知覚タイミングで充実時程錯覚が起こる一方、ビートベースの知覚タイミングで充実時程錯覚が起こらないことが明らかになった。また、第 4 章より、持続時間ベースの知覚タイミングとビートベースの知覚タイミングのボトムアップ処理が小脳と大脳基底核にそれぞれ対応し、トップダウン処理の神経基盤は共通していることが示された。これらのことから、充実時程錯覚は小脳によって起こることが示唆される。第 2 章および第 3 章より、持続時間ベースの知覚タイミングと同期タッピングは充実時程錯覚の影響を受け、ビートベースの知覚タイミングには充実時程の影響がないことから、持続時間ベースの知覚タイミングとビートベースの運動タイミングには共通のメカニズムがあることが示唆された。充実時程錯覚が小脳によって起こると示唆されたことを踏まえると、持続時間ベースの知覚タイミングとビートベースの運動タイミングの両方で、小脳がタイミングに重要な役割を持つと考えられる。第 5 章では、ビートベー

スの運動タイミングで、持続時間ベースの運動タイミングよりも大脳基底核が活動したが、知覚タイミングと異なり、持続時間ベースの運動タイミングでビートベースの運動タイミングよりも小脳が強く活動するという結果は得られなかった。ビートベースの運動タイミングで小脳が重要であると考えられることを考慮すると、この結果は、小脳が持続時間ベースとビートベースの両方で同程度活動したことによると考えられる。すなわち、運動タイミングでは規則性に関わらず小脳がタイミングに重要な役割を持つと考えられる。ビートベースの運動タイミングにおいて大脳基底核がどのようにタイミングに寄与するかは、本研究からは明らかにできなかった。今後は、本研究で取り扱った分類について、別のモダリティなど他の時間的状況への適用や、音楽経験の影響、運動の利用の程度の影響などが検討されることが望まれる。

引用文献

Aschersleben, G. (2002). Temporal control of movements in sensorimotor synchronization. *Brain and Cognition*, *48*(1), 66–79.

Coull, J. T., Cheng, R.-K., & Meck, W. H. (2011). Neuroanatomical and neurochemical substrates of timing. *Neuropsychopharmacology: Official Publication of the American College of Neuropsychopharmacology*, *36*(1), 3–25.

Fraisse, P. (1980). Les synchronisations sensori-motrices aux rythmes [The sensorimotor synchronization of rhythms]. In J. Requin (Ed.), *Anticipation et comportement* (pp. 233–257). Centre National.

Grahn, J. A., & Brett, M. (2007). Rhythm and beat perception in motor areas of the brain. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *19*(5), 893–906.

Grahn, J. A., & Brett, M. (2009). Impairment of beat-based rhythm discrimination in Parkinson's disease. *Cortex; a Journal Devoted to the Study of the Nervous System and Behavior*, *45*(1), 54–61.

Grahn, J. A., & Rowe, J. B. (2009). Feeling the beat: premotor and striatal interactions in musicians and nonmusicians during beat perception. *The Journal of Neuroscience: The Official Journal of the Society for Neuroscience*, *29*(23), 7540–7548.

Grahn, J. A., & Rowe, J. B. (2013). Finding and feeling the musical beat: striatal dissociations between detection and prediction of regularity. *Cerebral Cortex* , *23*(4), 913–921.

Grube, M., Cooper, F. E., Chinnery, P. F., & Griffiths, T. D. (2010). Dissociation of duration-based and beat-based auditory timing in cerebellar degeneration. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *107*(25), 11597–11601.

Grube, M., Lee, K.-H., Griffiths, T. D., Barker, A. T., & Woodruff, P. W. (2010). Transcranial magnetic theta-burst stimulation of the human cerebellum distinguishes absolute, duration-based from relative, beat-based perception of subsecond time intervals. *Frontiers in Psychology*, *1*(OCT), 171.

Hasuo, E., Nakajima, Y., Tomimatsu, E., Grondin, S., & Ueda, K. (2014). The occurrence of the filled duration illusion: a comparison of the method of adjustment with the method of magnitude estimation. *Acta Psychologica*, *147*, 111–121.

Paillard, J. (1946). III. - Quelques données psychophysiologiques relatives au déclenchement de la commande motrice. *L'annee psychologique*, *47*(1), 28–47.

Repp, B. H. (2005). Sensorimotor synchronization: a review of the tapping literature. *Psychonomic Bulletin & Review*, *12*(6), 969–992.

Repp, B. H., & Su, Y.-H. (2013). Sensorimotor synchronization: a review of recent research (2006-2012). *Psychonomic Bulletin & Review*, *20*(3), 403–452.

Teki, S., Grube, M., Kumar, S., & Griffiths, T. D. (2011). Distinct neural substrates of duration-based and beat-based auditory timing. *The Journal of Neuroscience: The Official Journal of the Society for Neuroscience*, *31*(10), 3805–3812.

Wearden, J. H., Norton, R., Martin, S., & Montford-Bebb, O. (2007). Internal clock processes and

the filled-duration illusion. *Journal of Experimental Psychology. Human Perception and Performance*, *33*(3), 716–729.

Wearden, J. H., & Ogden, R. S. (2021). Filled-Duration Illusions. *Timing & Time Perception*, *10*(2), 97–121.

Wiener, M., Turkeltaub, P., & Coslett, H. B. (2010). The image of time: a voxel-wise meta-analysis. *NeuroImage*, *49*(2), 1728–1740.

Wohlschläger, A., & Koch, R. (2000). Synchronization error: An error in time perception. In *Rhythm perception and production* (pp. 115–127). Swets.