

二重課題法による課題解決時のひらめきの計測方法の提案

Proposal of Measurement Method of Insight in Problem Solving with Dual Task Technique

坂田 顕庸[†], 坂平 文博[‡], 國上 真章[†], 吉川 厚[†], 山村 雅幸[†], 寺野 隆雄^{*}
 Akinobu Sakata, Fumihiro Sakahira, Masaaki Kunigami,
 Atsushi Yoshikawa, Masayuki Yamamura, Takao Terano

[†]東京工業大学, [‡]株式会社構造計画研究所, ^{*}千葉商科大学

Tokyo Institute of Technology, KOZO KEIKAKU ENGINEERING Inc., Chiba University of Commerce
 sakata.a.aa@m.titech.ac.jp

Abstract

本研究では、同期タッピング課題を構成要素とした二重課題法による注意計測手法を新たな課題に応用するにあたり、ボタン押しが音刺激の呈示に直接反応して起きたのか、それとも音刺激の提示のタイミングを予測して起きたのかを考察する上での新たな視点を提供する。このため、本研究の目的は、同期タッピング課題における音刺激に対するボタン押しの同期のズレの発生の原因が、ボタン押しのタイミングを決める方策の切り替えであるということを確認することである。同期タッピング課題とは、周期的に繰り返される音や光などの刺激に、実験参加者の指などの運動を同期させ、その同期のズレの変化から、指などの運動と刺激の間の順序関係を検出する実験課題である。従来研究では、同期タッピング課題は、二重課題法の一次課題として用いられ、二次課題として設定された単語の記憶課題で使用される注意の定量的な計測を目的に使われていた。二重課題法とは、一次課題の遂行と同時に、二次課題を課すことによって、一次課題の遂行に必要な特定のシステムの情報処理能力を減少させる実験手続きである。同期タッピング課題を、単語の記憶課題以外の課題を用いた実験に応用するためには、同期タッピング課題におけるボタン押しのタイミングの変化が起きるメカニズムを知る必要がある。実験では、まず、実験参加者に対して特定の方策をとるよう指示すると、音刺激の周期の長さに関わらず、指示した方策に対応したタイミングでボタン押しが起きることを確かめた。次に、同期タッピング課題の遂行中に負の非同期が起きる頻度と、音刺激の呈示を予測したボタン押しが起きる頻度が、音刺激の周期の長さの値が大きくなるに従って低下することを確認した。実験結果および考察を学会発表の場にて報告する。これにより、二重課題法を使用した注意計測手法の適用対象となる課題の範囲拡大に貢献する。

Keywords — Dual-task method, Synchronized Tapping task, Attention capacity model.

1. はじめに

本研究では、従来研究の同期タッピング課題を構成要素とした二重課題法による注意計測手法を新たな課題に応用するにあたり、ボタン押しが音刺激の呈示に直接反応して起きたのか、それとも音刺激の提示のタイミングを予測して起きたのかを考察する上での新たな視点を提供する。

本研究の目的は、同期タッピング課題における音刺激に対するボタン押しの同期がずれる現象が起きる原因が、ボタン押しのタイミングを決める方策の切り替えであるということを確認することである。

課題を遂行する人間の認知のメカニズムを探索する上で、注意の計測は重要な役割を果たしてきた。注意とは、一部の刺激を取り入れ、それ以外の物事を排除する心的過程や能力を言う[1]。注意は感覚器官から情報を取り入れるときに働くだけでなく、行動、記憶、試行や情動を制御したり、覚醒状態や集中している状態を維持する働きをもつ[1]。Khaneman は、注意を情報処理のための一定量の資源ととらえた[2]。資源が十分であれば、高い成績で課題を遂行できる。逆に、資源が不足すると、課題の成績は低くなる。また、2つ以上の課題に同時に資源を配分し遂行する能力を分割的注意と呼ぶ[3]。

人間の認知のメカニズムを明らかにする上で、課題を遂行する際の注意の変化を検出するための計測技術の開発という領域の研究は重要である。

課題の遂行中に起きる注意の変化を誘発する心的な活動の中には、突然発生すると考えられているものがある。例えば、パズルを解く際に起きるとされるひらめきである。ひらめきは、洞察とも呼ばれ、問題解決の過程で突然発生する心的な現象である[4]。Neckara は、ひらめきはワーキングメモリの働きによるものと考えている[5]。ワーキングメモリが働くための資源として、注意が必要と考えられている[3]。

突然発生する心的活動に付随する注意の変化もまた、瞬間的に起きる現象である可能性がある。

課題の遂行中に、いつ起きるか予測できない注意の変化を検出するためには、継続的に注意を計測し監視することが可能な技術が必要である。

課題の遂行中の注意を定量的に計測するための実験手続きとしては、二重課題法[6]が一般的である。二重課題法とは、対象とする課題（一次課題）の遂行と同

時に、他の課題（二次課題）を課すことによって、一次課題の遂行に必要な特定のシステムの情報処理能力を減少させる実験手続きである。

二重課題法に形式的に則って、課題の遂行中の注意を計測する方法として、外部から呈示された刺激に対する反応時間を計測するプローブ反応時間課題[7]を利用する方法が有名である。しかし、プローブ反応時間課題を使った方法は、刺激の呈示のタイミングがランダムな上にサンプリングの間隔が数秒から数十秒と長く、突然発生する注意の変化の検出には使い難い。

我々は、同期タッピング課題と計測対象の課題で構成された二重課題法に則った実験方法を開発することによって、課題の遂行中に突然発生する注意の変化を検出することができるのではないかと考えている。同期タッピング課題とは、周期的に繰り返される音や光などの刺激に、実験参加者の指などの運動を同期させる実験課題である[8]。刺激に対する指などの運動の同期のズレの変化から、運動と刺激の間の順序関係を検出する。この同期のズレのうち、刺激に先行する運動が起きる現象を負の非同期(Negative Asynchrony, 以下 NA と略す)と呼ぶ[9]。

我々が上記のように考える理由は2つある。第1に、Miyake らの研究[8]が、同期タッピング課題と単語の記憶課題で構成された二重課題法に則った実験によって、単語の記憶によるワーキングメモリへの干渉状態が、同期タッピング課題の遂行成績に与える影響を定量的に計測できることを示しているためである。第2に、同期タッピング課題は、周期的に呈示される音刺激のタイミングに対して、実験参加者の指などの運動を同期させる作業を求める課題であるため、継続的な注意の計測に適しているためである。

Miyake らの注意計測の方法論を、単語の記憶課題以外の課題へ応用するには、同期タッピング課題において発生する NA が起きる原因を説明できる必要があると考える。なぜなら、計測対象の課題が異なれば、NA の発生頻度が異なる可能性がある。二重課題法による定量的な注意の計測では、Miyake らの研究でも行っているように、異なる条件間における NA の発生率の差分の意味を解釈する必要がある。もしも、基準となる二次課題なしの条件下での同期タッピング課題において発生する NA が起きるメカニズムを説明するための根拠を与えることができれば、実験結果の解釈に役立てることができる。そのような理論を構築することで、Miyake らの方法論をさらに発展させることに繋がる。

そこで、我々は Miyake らの実験結果のうち、音刺激とボタン押しのタイミングの同期のズレが起きるメカニズムを説明するため、「同期タッピング課題において、実験参加者は予測的タッピングと反応的タッピングを切り替えて使用している」という仮説を得た。Mates と Poppel らによれば、同期タッピング課題に取り組む実験参加者のタッピングは、音刺激の呈示のタイミングを予測してタッピングすることで NA が生じているタッピングと、音刺激の呈示を待った上でタッピングするという、音に反応的なタッピングの2種類がある[10]。本研究では、Miyake らの研究[8]に倣い、前者を予測的タッピング、後者を反応的タッピングと呼ぶ。

本研究では、上で立てた仮説を検証するにあたり、次の2つの課題を設定した。第1に、上記の同期タッピング課題で起きる2つの方策の内、片方の方策の使用を明示的に禁止したときに、NA の発生率が変わらなくなることを確かめた。第2に、同期タッピング課題において、予測的タッピング方策に特有の現象の発生率の変化が、NA の発生率の変化と同じ傾向を示すかを確かめた。

本研究の2章では、我々が開発を目標とする注意計測手法の基礎となる Miyake らの研究について説明する。3章では、Miyake らの実験結果を考察して立てた仮説の導出過程を説明する。4章では実験方法、5章では実験結果、6章では考察、7章では結論、8章では参考文献を扱う。

2. 関連研究

2.1. 同期タッピング課題を構成要素とした二重課題法によって注意を計測した研究

ここでは、先行研究として Miyake らの研究[8]を紹介し、本研究と彼らの研究との差を明確にする。

我々が参照した Miyake らは、同期タッピング課題と単語の記憶課題を、それぞれ一次課題と二次課題として配した二重課題法を採用した実験を行った。彼らは、実験参加者に単語を記憶させることで、彼らのワーキングメモリの音韻ループに負荷をかけた状態にした。その上で、ISI の値を振り、同期タッピング課題の遂行成績への影響を観察した。このような操作を施した理由は、人間の内部に2種類あると想定された時間知覚のシステムのうち、注意を必要とするシステムの働きを抑制し、注意に依存しない自動的なシステムの働きを観察するためであった。

この実験では、N 条件（同期タッピング課題のみの

条件)とM条件(単語の記憶課題を加えた二重課題条件)を設け、ボタン押しと音刺激の呈示開始の時刻の時間差を計測した。

実験の結果、両条件において、ISIの値が比較的小さい条件で安定して観察されたNAが、M条件の実験ではN条件の実験よりも数百ms小さい値の条件で低下し始めた。さらに、それ以上の大きさのISIの値においても、実験のNA率はM条件がN条件を下回った。

このような実験結果について、Miyakeらは、注意に依存する時間知覚のシステムの働きが、二次課題である単語の記憶課題の遂行によって妨げられたためであると説明した。つまり、両条件間のNAの発生率の差分が、単語の保持のために必要とされた注意であると説明した。

Miyakeらの実験では、NA曲線がISIの値が小さくなる方向に移動する現象(図1を参照)のメカニズムを明らかにすること目的としている。NA曲線とは、同期タッピング課題で起きたNAの発生率とISIの関係を表す曲線のことである(図1を参照)。

一方で、我々の研究では、Miyakeらの研究1は異なり、NA曲線が生成されるメカニズムを明らかにすることを目的とする。NA曲線が生成されるメカニズムを明らかにすることで、Miyakeらの方法論を単語の記憶課題以外の課題に適用したとき、新たに観測されたNA曲線が生成された理由を説明するための視点を提供することができる。

上で説明したMiyakeらの研究と、我々の研究の違いを踏まえた上で、3章では我々が立てた仮説について説明する。

3. 仮説

ここでは、Miyakeらの実験結果について考察を行い、NA曲線の成り立ちのメカニズムに関して立てた仮説が導かれた議論の過程を記述する。

図1のN条件のNA曲線を確認すると、NA率が450ms~1500msの時間領域では、NA率はほぼ100%である。一方、ISIの値が1800ms以降の時間領域では徐々に低下する。

上記のISIとNA発生率の関係は、前者の時間領域においては、音刺激が発生するタイミングを正確に予測してボタン押しをすることは容易いが、後者の時間領域では難しいと、直感的に解釈できる。これは、極端に短い時間間隔でリズムカルに呈示される音刺激には、感覚的な同期が容易であることと、何十秒間も後に呈示される音刺激の発生のタイミングを正確に予測する

ことは困難であるという、我々一般人の経験的な知識にも当てはまる。Miyakeらの実験結果においても、ISIの値が4800ms以上の時間領域では、音刺激のタイミングを正確に予測することは困難となっている。

また、上記の実験結果の解釈に加えて、Miyakeらの実験における同期タッピング課題において、実験参加者は事前に音刺激の発生と同時にボタンを押すよう指示されていることも考慮する必要がある。

以上から、同期タッピング課題において、実験参加者は予測的タッピング方策と反応的タッピング方策を切り替えて使用しているという仮説が導かれた。予測的タッピング方策とは、音刺激の呈示のタイミングを予測してタッピングする方策と定義する。反応的タッピング方策とは、音刺激の呈示を待った上でタッピングする方策と定義する。

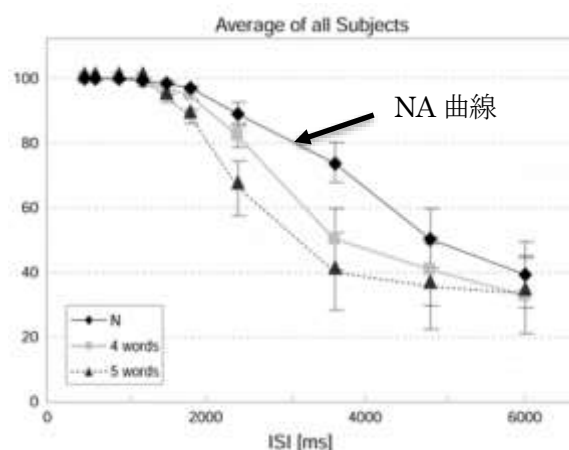


図1 Miyakeらの実験におけるNA発生率とISIの関係を示す図([8]から転載&加筆修正)。グラフの縦軸はNAの発生率(単位はパーセント)。

4. 実験方法

本研究における実験の方法は、Miyakeらの研究[8]の研究に準拠している。

4.1. タスク

被験者に与えられた課題は、周期的なパルス音刺激の開始時刻に同期させてボタンを押すこと(同期タッピング課題)である。ボタンを押すのに右手人差し指を用いた。用いたISIは、450, 900, 1350, 1800, 2250, 2700, 3150, 3600, 4050, 4500, 5400, 6000msの12種類である。各音刺激の持続時間は100ms, 周波数は約500Hz, 音圧は音刺激を明瞭に聞き取ることができる適切な大きさに設定し、全ての試行、被験者を通して共通とした。実験中の予期しない環境音によって集中が乱れるなどの影響を考慮し、全ての試行において実験参加者にホワイトノイズを聞かせた。

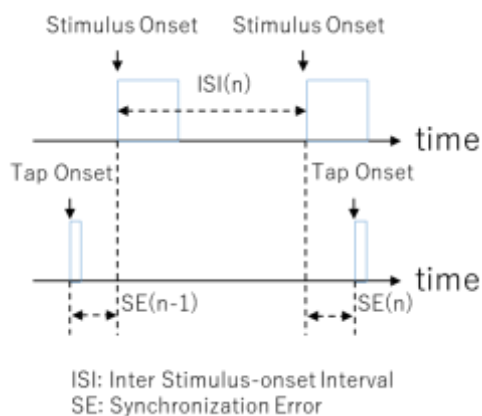


図2 音刺激とタッピングの関係の模式図
(Miyake らの研究(Miyake et al. 04)[8]に準拠)

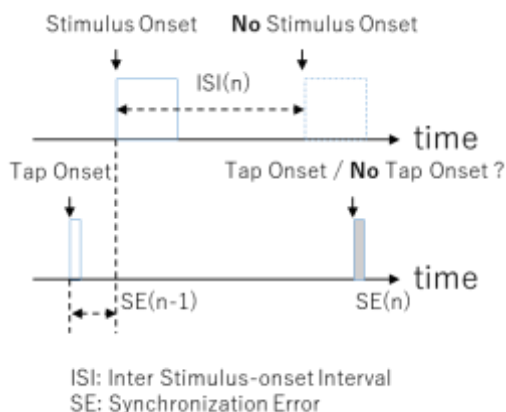


図3 実験者によって操作的に省かれた各試行の最後の音刺激に対するタッピングの有無の確認。

4.2. 特徴量の定義

実験を通して取得したデータは、音刺激の開始時刻(Stimulus Onset)、タッピングの開始時刻(Tap Onset)であった。音刺激とボタン押しの時間的な関係を反映する指標として、音刺激の開始時刻とタッピングの開始時刻の時間差(Synchronization Error, SE)を解析の対象とした(図2を参照)。また、ボタン押しのタイミングが音刺激の開始のタイミングを予測した結果のものなのか、それとも音刺激を知覚した後に反応してボタンを押したのかを判別するための指標として、各試行の最後に提示される音刺激に対応するボタン押しの有無を解析の対象とした(図3を参照)。

4.3. 被験者

20代~50代の男女N名に協力を依頼した。実験参加者の条件を、聴力に異常がなく、右利きで、同期タッピング課題に関する予備知識のないこととした。実験を始める前に、実験参加者が同期タッピング課題に慣れるためのトレーニングの時間を設けた。

4.4. システム

システムの外観の写真(図5を参照)と、システムの配



図4 スイッチボタン入力装置の外観



図5 システム全体の外観

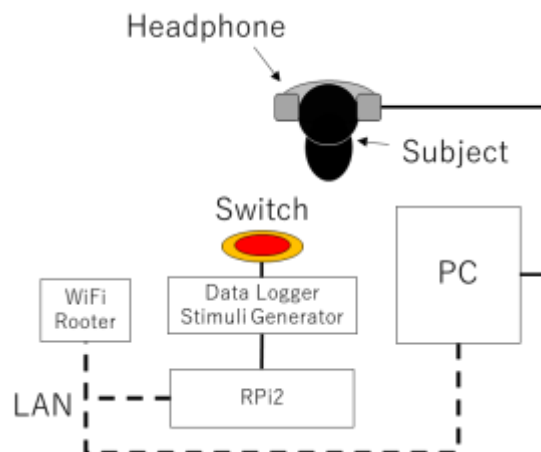


図6 実験システムの配置図

置図(図6を参照)を掲載した。本実験では、被験者に実験システムの操作とそのため指示を与える目的で、DELL-Latitude 7280(Windows10 Home Edition, 64bit, 16GB)を使用した。このPCには、Python3(Version 3.6.8)と心理学実験環境であるPsychoPy3(Version 3.1.2)[11][12]がインストールされた。PsychoPy3で構築されたGUIアプリを操作することで、被験者の意思で同期タッピング課題における一連の手続きが実行される仕様とした。

また、同期タッピング課題のために必要な機能であ

る音刺激の呈示とボタン押しの検出、及びこれらの時刻記録をできるだけ時間に正確に実行するために、それらのための機能を Windows 上に実装せず、汎用シングルボードコンピュータの Raspberry pi 2 Model B(OS: Raspbian GNU/Linux 9.9 Stretch, Kernel: 4.19.42-v7+, 以下 RPi2 と呼称)上に実装した。音刺激の出力とボタン押しの検出の時刻を記録するプログラムは、C++言語で作成された。RPi2 と PC が相互に通信できるよう、ローカル LAN に接続した。

音刺激の生成・出力の影響で、RPi2 の処理速度が不安定化することを回避するために、音刺激の生成を担う発振回路を、Texas Instruments 製のシングル高精度タイマ NE555P[13]を用いて製作した。発振回路は RPi2 の GPIO 経由で制御された。

実験参加者のタッピングによるボタン押し検出するためのスイッチボタン装置(図 4 を参照)を作製した。ボタン装置にはマイクロスイッチと RC シュミットトリガ回路を組み込み、チャタリング対策を十分に施した。ボタン押しによる電圧レベル変化を検出するために、RPi2 の GPIO にスイッチボタン入力装置の電圧出力ラインが接続された。

4.5. 手続き

実験条件として被験者に与えられた課題は、周期的なパルス音刺激の開始時刻に同期させてボタンを押すことであった。この課題を、プレテスト、ポストテストの順に実施した。

① プレテスト：統制条件。音刺激は各試行の標準で 20 秒の間、間欠的に呈示され続けた。各試行の ISI の値は一定であった。各試行の最後に呈示される無音のまま呈示される音刺激のタイミングを実験参加者に悟られないよう、音刺激の呈示数の総数を 0 から 3 の範囲で、各試行でランダムに増やした。各試行の音刺激の呈示回数は 12 種類の ISI に対応して、それぞれ 10 試行が行われた。試行の順序は、実験参加者ごとにランダムに決定した。試行の間、実験参加者はできるだけ正確に音刺激の開始と同時に手元のボタンを押すことを要求された。タッピング中に心の中で数を数えたり、身体の一部を使ってリズムを取ったりしてタイミングを計ることは禁止とした。各試行において被験者が最初にタップしてスイッチボタンを押してから 10 秒間経過するまでボタン押しの時刻を記録した。各試行の最後に呈示される音刺激は消音状態で呈示された。

② ポストテスト：実験条件。プレテストの手続きに加えて、被験者の半数の者に対して、音刺激の開始時刻を予測せずにタップするよう要求した。残りの半数の者に対しては、音刺激の呈示を待たずにタップするよう要求した。実験参加者の選別は、ランダムに決定された。前者を R 群、後者を P 群と命名した。

5. 結論

本研究の目的は、同期タッピング課題における NA が起きる原因が、ボタン押しのタイミングを決める方策の切り替えであるということを確認することである。本研究では仮説を確認するため、(1)実験参加者に対して特定の方策をとるよう指示すると、音刺激の周期の長さに関わらず、指示した方策に対応したタイミングでボタン押しが起きることと、(2)同期タッピング課題の遂行中に負の非同期が起きる頻度と、音刺激の呈示を予測したボタン押しが起きる頻度が、音刺激の周期の長さの値が大きくなるに従って低下するという類似性があることの、2 点について確かめる。実験結果およびその考察を、学会発表の場で報告する。

文献

- [1] 藤永保, 内田伸子, 繁樹算男, & 杉山憲司, (2013) “最新心理学事典”, 平凡社.
- [2] D. Kahnemann, (1973) “Attention and efforts.”, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- [3] A.D. Baddeley, (1996) “Exploring the central executive.”, *The Quarterly Journal of Experimental Psychology Section A*, Vol.49, No.1, pp.5-28.
- [4] J.E. Davidson, (1995) “The suddenness of insight”, *The nature of insight*, pp.125-156.
- [5] E. Necka, P. Żak, & A. Gruszka, (2016). “Insightful imagery is related to working memory updating.”, *Frontiers in psychology*, Vol. 7, 137.
- [6] A.D. Baddeley, (1974) “Working memory.”, *Psychology of Learning and Motivation*,
- [7] H. Pashler, (1994) “Dual-task interference in simple tasks: data and theory.”, *Psychological bulletin*, Vol.116, No.2, pp.220-244.
- [8] Y. Miyake, Y. Onishi, & E. Poppel, (2004) “Two types of anticipation in synchronization tapping.”, *Acta neurobiologiae experimentalis*, Vol. 64, No. 3, pp.415-426.
- [9] G. Aschersleben, W. Prinz, (1995) “Synchronizing actions with events: The role of sensory information”, *Perception & Psychophysics*, Vol.57, No.3, pp.305-317.
- [10] J. Mates, U. Müller, T. Radil, & E. Pöppel, (1994) “Temporal integration in sensorimotor synchronization.”, *Journal of cognitive neuroscience*, Vol.6, No.4, pp.332-340.
- [11] “PsychoPy Web Page”, <https://www.psychopy.org/>
- [12] J. W. Peirce, (2007) “PsychoPy—psychophysics software in Python.”, *Journal of neuroscience methods*, Vol.162, Issues 1-2, pp.8-13.
- [13] “日本テキサス・インスツルメンツ合同会社”, <http://www.tij.co.jp/>