

ゲームプレイ時のプレイヤーの運動主体感：プレイヤーの注意と運動主体感の関係

坂田 顕庸^{1,a)} 國上 真章¹ 吉川 厚¹ 山村 雅幸¹ 寺野 隆雄²

概要：本研究の目的は、運動主体感が動的に変化するビデオゲームをプレイする体験において、注意の変化と運動主体感の変化が同時に起きるといった仮説を検証することである。ビデオゲームのプレイヤーの運動主体感を計測することで、プレイ体験を改善できる可能性がある。現在、ビデオゲームのプレイ体験のような運動主体感が動的に変化し得る状況での運動主体感の計測手法は未だ存在しない。これまでのところ、注意を計測することで、運動主体感を把握できる可能性が指摘されている。これまで、運動主体感が動的に変化し得る状況における運動主体感と注意の関係を確かめた研究は十分に行われてこなかった。そこで本研究では、同期タッピング課題と、運動主体感が動的に変化し得る状況を用意する実験課題で構成された二重課題法を用いて、後者のタスクを遂行する際の注意と運動主体感の関係を確かめた。実験参加者の注意は、同期タッピング課題を遂行する際の予測的なタップの発生率で計測された。また、実験参加者の運動主体感は、各試行の最後に9点法を用いて計測された。従来研究における注意と運動主体感の関係を踏まえ、運動主体感の評価値が低下する現象に伴い、予測的なタッピングの発生率が低下する現象が起きるといった作業仮説を立てた。実験には、大学院生（男性13名、女性1名）14人が参加した。二元配置実験の説明変数には、キーボード入力に対する応答時間の長さ、参加者に音刺激の呈示間隔を設定した。分析の結果、運動主体感と注意の間に相関関係は確認できなかった。

キーワード：運動主体感、注意、二重課題法、同期タッピング課題

Sense of Agency during Playing Video Game - A Relationship between Attention and Sense of Agency

AKINOBU SAKATA^{1,a)} MASAOKI KUNIGAMI¹ ATSUSHI YOSHIKAWA¹
MASAYUKI YAMAMURA¹ TAKAO TERANO²

Abstract: The purpose of this study is confirming the hypothesis that the change of attention and the change of sense of agency occur simultaneously in a situation where the sense of agency changes dynamically. It is possible to improve the playing experience by measuring the player's sense of movement. At present, there is no method for measuring the sense of agency in a situation where the sense of agency can change dynamically, such as a video game playing experience. So far, it has been pointed out that by measuring attention, it is possible to grasp the sense of agency. To date, there are few studies that confirmed the relationship between the sense of agency and attention in situations where the sense of agency can change dynamically. Therefore, in this study, we used a dual task method consisting of a synchronization tapping task and Dot controlling task. Participants' attention was measured by predictive tapping rates when performing a synchronized tapping task. At the end of each trial, the participants' sense of agency was measured using the nine-point scale. Based on the relationship between attention and sense of agency in previous studies, we hypothesized that the phenomenon that the evaluation value of sense of agency decreases and the phenomenon that the occurrence rate of predictive tapping decreases would occur simultaneously. 14 graduate students participated in the experiment. The explanatory variables in the two-way experiment were response time to keyboard input and inter-stimulus onset interval. Trials were performed three times for each condition and performed in random order. As a result of the analysis, no correlation was found between the sense of independence and attention.

Keywords: Sense of Agency, Attention, Dual-task Method, Synchronized tapping task.

1. はじめに

本研究の目的は、運動主体感 (Sense of Agency, SoA) が動的に変化するビデオゲームをプレイする体験において、注意の変化と運動主体感の変化が同時に起きるという仮説を検証することである。注意とは、情報処理のための一定量の資源である[1]。SoA とは、観察された運動が自分自身によって引き起こされたものだという感覚を指す[2]。運動を直接実施する行為者だけでなく、運動を傍らで観察するだけの観察者も運動主体感を感じ得る可能性もある (例えば、自動車の助手席に座った非ドライバ (観察者) が、ドライバの運転の様子を観察する状況や、ビデオゲームのプレイヤをプレイする様子傍らで観戦する状況では、観察者の身体が勝手に動き出すことがある) が、本研究では範囲外とする。

SoA が動的に変化し得る状況における SoA を把握する技術の必要性が高まっている[3]。従来の SoA の計測手法には、SoA を明示的に計測する手法と、暗黙的に計測する手法とがある。前者は自己申告に基づいた方法 (e.g. [4][5]) で、後者は感覚減衰 (Sensory Attenuation, SA) (e.g. [6]) を指標とした方法や、意図的な統合 (Intentional Binding, IB) を指標とした方法 (e.g. [7]) である。

従来の SoA の計測手法では、SoA が動的に変化し得る状況における、作業主体の SoA を計測することは困難である[3]。タスクに取り組む作業者に現在の感覚について申告させることは、作業を中断させる可能性がある[3]。SA や IB を用いた SoA の計測手法は、いずれも知覚的なフィードバックが連続的に提供されない条件下で用いられるものであるため、自動車の運転やゲームのプレイのような、SoA が動的に変化し得る状況に適用することが難しい[3]。

我々は、SoA が動的に変化し得る状況において、注意を計測することで間接的に SoA を計測できる可能性があると考えた。その根拠は、注意が運動主体感の生成プロセスに干渉する可能性がある[5][8]ためである。Wen らも、同様の主張をしている[3]。

注意と SoA の関係を調べたこれまでの研究では、二重課題条件下において、単語記憶課題などを使ったセカンダリタスクの処理のために配分される精神負荷を、プライマリタスクの処理における SoA が変化する現象が起きることが確認されている (e.g. [5][8])。しかしながら、これらの研究では、作業主体が特定のタスクの作業に集中して取り掛かるという現実的な状況を扱っていない。以上を踏まえ、本研究では、SoA が動的に変化し得る状況を提供すると考えられる実験タスクを使用して、作業主体がタスクに取り組む際の SoA と注意の関係を分析する。

我々は「SoA が動的に変化し得るビデオゲームをプレイ

する体験において、注意の変化と運動主体感の変化が同時に起きる」という仮説を立てた。以下に、この仮説導出の過程を説明する。人間は自らの行動を監視する傾向を持つ[9]。行動の監視には注意容量を必要とする可能性がある[10]。視覚的なフィードバックの遅延は、SoA を低下させる効果を持つ[11]。以上を踏まえると、物体の動きを継続的に制御し続けることを作業主体に課した場合、物体の操作に伴う視覚的なフィードバックにかかる時間 (遅延時間) を長くすると、作業主体による一度の行動における物体の動きを監視する時間が長くなる。このとき、監視のための注意容量を必要とする時間が長くなると考えられる。SoA は、予測と観察の比較したときの差分の大きさに依存して決まる[14]。SoA の生成プロセスには注意が干渉する。以上をまとめると、遅延時間が長くなると、注意を必要とする時間が長くなり、併せて、SoA が低下すると予想される。

我々は、上述の仮説を検証するための実験をした。この実験では、Wen らが開発した The Dot controlling task [4][5]を用いて、視覚的なフィードバックの遅延が認知的な情報処理のための注意容量を変化させることと、注意容量と運動主体感の間に相関関係があるかを確かめた。残念ながら、実験では期待した現象を観察することはできなかった。

2. 関連研究

Hon らは、思考による精神負荷が SoA の生成プロセスに影響することを確認した[8]。彼らの実験では、実験参加者達は、意味のない単語を記憶する単語記憶課題に取り組むよう依頼された。また、この課題を処理するのと同時に、矢印付きの刻印されたボタンを押すと、PC モニタの画面上でボールが跳ねる光景を確認するというタスクにも取り組むよう依頼された。実験参加者の注意容量を操作するため、単語記憶課題で一度に記憶させられる単語の数が調整された。実験参加者の SoA を操作するため、ボタン押下からボールが跳び上がるまでの時間間隔を 3 種類 (100, 400, 700 ms) 設定した。実験の結果、Hon らは時間遅延が 100 ms で、かつ、精神負荷が高い条件において、SoA が弱くなることを発見した。Hon らは、限定的な条件ながら、注意が SoA に影響を与えることを示した。

Wen らは、実験参加者による動作とその結果の比較とパフォーマンスに基づく比較の推論の両方に対する注意分割の効果を確認しました[5]。実験参加者は、数字列を記憶しながら、PC 画面上を移動するオブジェクトの移動方向を制御するよう依頼された。実験参加者は 2 つのグループに分けられた。ある群では、一定時間の間、オブジェクトを思うまま移動させるよう実験参加者は依頼された。別の群では、PC 画面の中心に固定の枠で囲われた領域を設定され、オブ

1 東京工業大学
Tokyo Institute of Technology, Meguro, Tokyo 152-8550, Japan
2 千葉商科大学

Chiba University of Commerce, Ichikawa, Chiba 272-8512, Japan
a) sakata.a.aa@m.titech.ac.jp

ジェクトをできるだけ枠の内部に留めるよう実験参加者は依頼された。実験参加者達の注意容量を操作するため、実験参加者が記憶する数字の個数が調整された。実験の結果、移動の制限がなく、高負荷の条件において、SoAの感度が低下することを示した。

これらの研究では、研究者達は注意が SoA の生成機構に与える影響を確かめるため、別の実験課題を実験参加者に与えて精神負荷を高める実験環境をデザインした。換言すると、実験参加者が特定のタスクを処理する際に必要とする注意が SoA に与える影響を確かめていない。本研究では、運動主体感が動的に変化し得る状況において、実験参加者に継続的な注意制御を要求し、その際の実験参加者の注意と SoA の関係を確かめることを試みた。

3. 実験方法

3.1 同期タッピング課題を用いた注意計測手法

この節では、Miyake らが用いた注意計測の技法について説明する[12]。Miyake らは、注意資源を必要とする時間知覚システムの存在を確かめるために、2つの条件下での同期タッピング課題の遂行成績の違いを比較した。まず、N条件では、実験参加者に同期タッピング課題のみを取り組ませた。M条件では、二重課題法[1]を用いて、同期タッピング課題（一次タスク）と単語記憶課題（二次タスク）を実験参加者に同時並行で取り組ませた。二重課題法とは、対象とする課題（一次タスク）の遂行と同時に、他の課題（二次タスク）を課すことによって、一次タスク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[13s]。実験参加者は単語記憶課題に取り組む中で、意味のない文字で構成された単語を繰り返しリハーサルさせられた。彼らは、実験参加者によるリハーサルによって、ワーキングメモリの音韻ループに負荷をかけることを期待した。音韻ループへ負荷をかけることは、同期タッピング課題で音刺激のタイミングを予測する働きをする時間知覚システムに対する注意配分を妨げ、同期タッピング課題における同期のズレを悪化させる作用が起きることが期待された。

実験の結果、ISIが1800ms以上の範囲において、M条件における予測的なタッピングの発生率が、N条件における値よりも低くなった。Miyake らは、この現象が起きた理由を、注意資源を必要とする時間知覚システムの働きが、単語の記憶によって妨げられたためと解釈した。つまり、両条件間の予測的なタッピングの発生率の差分が、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。

本研究では、Miyake らの実験方法に基づき、実験参加者がターゲットのタスクを遂行するために配分される注意資源を、同時並行で遂行される同期タッピング課題の遂行成績の変化量をもとに計測した。

3.2 刺激とタスク

(1) Dot controlling task

Dot controlling task は、Wen らの研究[4][5]で用いられた実験課題である。この課題の目的は、モニタに表示される2次元平面上を一定速度で直進するドットの進行方向をキーボードで操作し、定位置の目標地点に移動させることである。実験参加者のキーを押した後にドットが反応するまで、3つの遅延モード（100, 400, 700ms）があった。これらの数値はWen の研究[4]に準拠して決定された。遅延時間の長さは各試行内で一貫していた。

(2) 同期タッピング課題

実験参加者に与えられた課題は、周期的に呈示される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。実験で使用した ISI は、450, 900, 1800, 3600ms の4種類であった。Miyake らは ISI の値が1800msより小さい範囲では同期タッピング課題の遂行のために注意が使われませんが、1800ms 付近およびそれより大きい範囲では注意が課題遂行に使用されると指摘した[12]。本研究ではこれに倣い、1800ms の前後1800ms の範囲で水準を用意した。ISI は各試行内で一貫していた。各音刺激の接続時間は100ms、周波数は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、すべての試行、実験参加者で共通とした。

3.3 特徴量

(1) Dot controlling task

実験を通して取得したデータは、試行を完了した直後に実験参加者に回答を要求する運動主体感のスコアであった。実験参加者は、進行方向の操作対象である画面上のドットに関して、自分の思った通りに動かすことができたかを、9段階で答えるよう依頼された。

(2) 同期タッピング課題

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。隣接するタッピングの時間的な関係を反映する指標として、タッピングと音刺激の開始時刻の時間差(Synchronization Error, SE)を解析の対象とした。

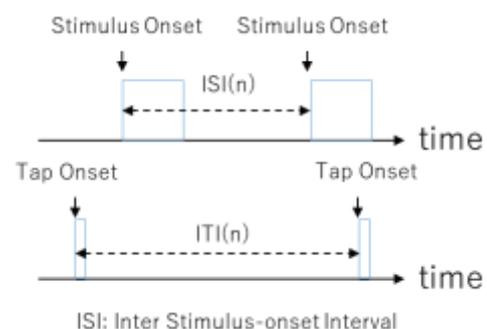


図 1 タッピングと音刺激の時間的な順序関係を表した図
 Figure 1 Illustration of temporal relationship between tapping and auditory stimulus.

3.4 実験参加者

視力に異常のない14名の大学院生が実験に参加した。彼らの平均年齢は25.7歳であった (SD=4.29, 22~37歳)。実験は、東京工業大学の倫理委員会の承認を得て実施され、全ての実験参加者から書面によるインフォームドコンセントを得た。

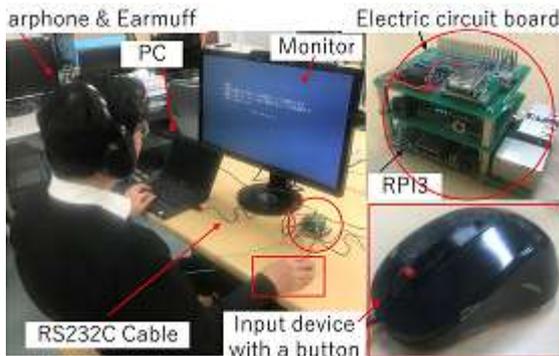


図2 実験参加者が同時に2つのタスクを遂行する様子を表した図。

Figure 2 Illustration of.

3.5 システム

本実験では、実験参加者に対して2つのタスクを並行して取り組むよう指示し、以下に説明する実験システムを構築した。実験システムは、Dot controlling taskを実施するためのコンポーネント1と、同期タッピング課題を実施するためのコンポーネント2で構成されている。コンポーネント1とコンポーネント2はシリアルケーブルで接続され、シリアル通信で相互にデータを送受信できるようにした。

コンポーネント1は、DELL-Latitude 7280 (OS: Windows10 Home Edition 64bit) をハードウェアとして採用した。実験参加者がDot controlling taskに取り組むことができるよう、Unity 2019.2.0f1を用いてGUIアプリを作成した。実験参加者はコンポーネント1を操作することで、コンポーネント2を間接的に操作することができた。

コンポーネント2は、汎用シングルボードコンピュータのRaspberry pi 3 Model B+ (OS: Raspbian GNU/Linux 9.9 Stretch, 以下RPI3と呼称)をハードウェアとして採用した。RPI3は音刺激の生成タイミングを制御する機能とボタン押しを検出する機能を持つ。Raspbian上で実行される、音刺激の生成タイミング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。RPI3は、音刺激を生成する発振回路とGPIOピンを経由して接続され、上記のプログラムによって発振回路の動作を制御した。

発振回路はTexas Instruments製のシングル高精度タイマNE555P[]を用いて設計された。また、実験参加者のボタン押しを検出するための入力装置を作製した。ボタンを押した際に電気信号が高速で振動する現象が起きて誤検出をしないよう、チャタリング対策を十分に施した。入力装置の出力

ラインはRPI3のGPIOピンと電気的に接続された。入力装置の出力ラインの電圧の状態 (High level or Low level) は、上記のプログラムによって判定された。

3.6 手続き

以下に、実験の手続きと計画について記述した。Dot controlling taskの手続きは、Wenらの研究[4]を参考にした。同期タッピング課題の手続きは、Miyakeらの研究[12]を参考にした。

まず、実験参加者は1,920×1,080ピクセルの解像度の27インチLCDモニターから50cm離れた椅子に座らされた。次に実験参加者は実験課題に関して説明を受けた。ここでは、実験参加者は同時に2つの課題を並行して遂行することと、各実験課題の遂行の方法について説明された。

次に、実験参加者はDot controlling taskの練習をした。実験参加者は遅延なしの条件と遅延時間が300msの条件でそれぞれ3回ずつ練習した[4]。後者の条件下の練習では、実験参加者は、ドットをゴール地点まで10秒以内で移動させられるまで、繰り返し練習した[4]。

練習の後、実験の本番フェーズに移行した。実験者は、遅延時間(100, 400, 700ms)とISI(450, 900, 1800, 3600ms)の全ての組合せ(12水準)を求めた。実験参加者は、水準ごとに3回ずつ試行を経験し、合計で36試行をランダムな順番で完了させた。各試行は、実験参加者がPCのスペースキーを押すことで開始した。開始直後に音刺激が周期的に呈示され、実験参加者は音刺激と同期してボタンを押した。試行開始から10秒後に画面上にドットが表示され、Dot controlling taskが開始した。画面遷移から30秒間経過するまで、ドットが目標地点に到達してもタスクは繰り返された。各試行の最後に、直前の作業における運動主体感のスコアを実験参加者は回答した。実験は平均40分間で完了した。

4. 結果

4.1 運動主体感の評価

各条件のSoAの評価値の平均値を図3に示した。反復測定二元配置分散分析の結果、SoAの評価値の平均値に対する時間遅延の主効果が認められた($F(1, 41)=1396, p<.01, \eta_p^2=1.86$)。事後比較の結果、時間遅延が100msの群と400msの群の間、400msの群と700msの群の間、100msの群と700msの群の間に有意な差が認められた(Tukey's HSD test: それぞれ、 $p<0.01$)。遅延の時間が長くなるほど、SoAの評価値の平均値が低下する傾向を示した。ISIの主効果は認められなかった($F(1, 41)=4.23, p=.121, \eta_p^2=.01$)。交互作用も認められなかった。

4.2 注意の計測

各条件のNAの平均値を図3に示した。反復測定二元配置分散分析の結果、NA発生率の平均値に対する時間遅延の主効果が認められた($F(1, 13)=4.85, p<.05, \eta_p^2=.27$)。しかし、事後比較により、時間遅延の3つの条件の間に差は認めら

れなかった (Tukey's HSD test: $p < .05$). 一方で, NA 発生率の平均値に対する ISI の主効果は認められた ($F(1, 13) = 38.5, p < .001, \eta_p^2 = .75$). 時間遅延と ISI の間の交互作用は認められなかった ($F(1, 13) = .392, \eta_p^2 = .03$). 事後比較で多重比較を実施した. 遅延条件が 100 ms のとき, ISI の条件が 450 ms と 3600 ms の間と, 900 ms と 3600 ms の間に, また同様に, 遅延条件が 400 ms のとき, ISI の条件が 450 ms と 3600 ms の間と, 900 ms と 3600 ms の間に, そして遅延条件が 700 ms のとき, ISI の条件が 450 ms と 3600 ms の間と, 900 ms と 3600 ms の間に有意な差が認められた (Tukey's HSD test: それぞれ, $p < .001, p < .01, p < .001, p < .001, p < .001, p < .01$). また, NA 発生率の平均値と SoA の平均値の間の相関関係は認められなかった.

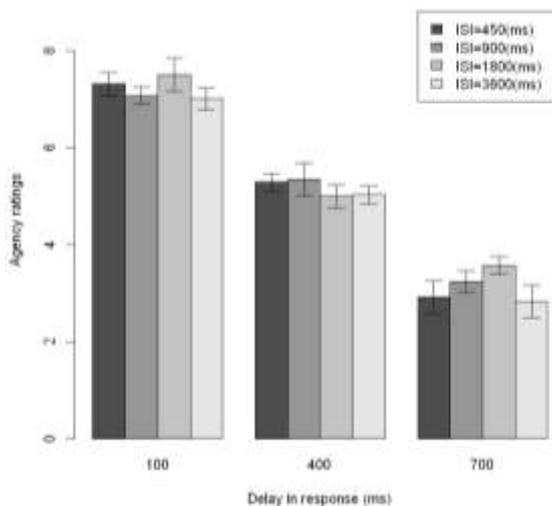


図 3 各群の SoA 評価値.

Figure 3 Illustration of comparison of SoA ratings.

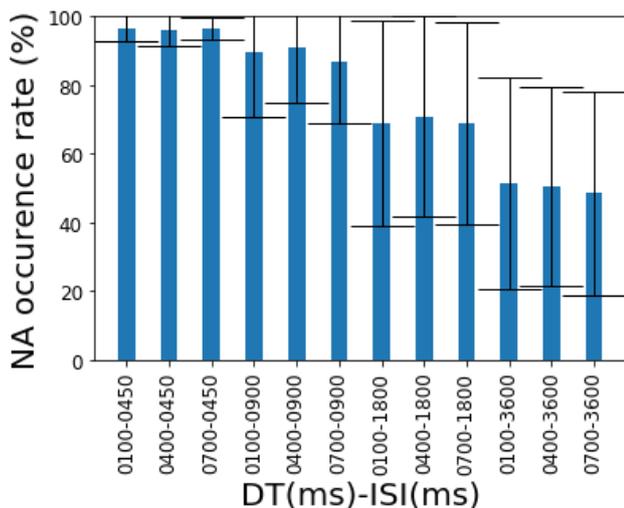


図 4 各群の NA 発生率.

Figure 4 Illustration of comparison of average NA occurrence rate.

5. 考察

実験の結果から, 時間遅延は注意の変化を引き起こさなかった. そのため, SoA が動的に変化する状況において, 注意の変化と運動主体感の変化が同時に起きるといった現象は起きなかった. この結果から, Dot controlling task を遂行するための注意資源配分が, 同時並行で処理される同期タッピング課題のための時間知覚処理にほとんど影響しなかった, 換言すると, Dot controlling task の遂行のための注意資源は無視できるほど小さかったと解釈できる. 実験参加者が Dot controlling task を遂行する際の処理プロセスは, 白点の動きを観察しながら次に目標とする進行方向を定めてキーを指先で押し, 白点の動きを観察しながら適切だと判断したタイミングでキーから指を離し, 最後に自らの行動の結果を評価するという流れを何度も繰り返したと考えられる. この一連のプロセスが, タッピングのための時間知覚システムの働きを阻害しなかった原因のひとつとして考えられることは, 実験参加者が試行中に白点を操作する頻度が低かった可能性である. 実験参加者によるキーボード操作は, 一度に何秒間もキーを押下する場合もあれば, 小刻みにキーを繰り返し押下して白点の進行方向を調整することもある. どちらの操作方法を採用するかは, 実験参加者の意思次第である. 後者の方法を主に採用した場合は, 前述のプロセスを短時間に何度も繰り返すことになるため, 白点の動きを操作するための注意が常に高いレベルで働き続けると考えられる. 一方で, 前者の方法を主に採用した場合は, その逆になる可能性がある. 実験後の実験参加者へのインタビューでも, キー操作に忙しいときとそうでないときでは, 音刺激提示のタイミングの予測精度に違いが出ている可能性があるとして述べた者がいた. 今後の実験の課題は, 実験参加者の行動のばらつきを抑制する工夫を施すことである.

6. 結論

本研究では, 運動主体感が動的に変化するビデオゲームをプレイする体験において, 注意の変化と SoA の変化が同時に起きるといった仮説を検証を試みた. 仮説を検証するにあたって, Dot controlling task と同期タッピング課題で構成された二重課題法を用いて, Dot controlling task の遂行のための注意容量を, 予測的なタッピングの発生率を指標に計測した. 実験の結果, Dot controlling task の処理における SoA の変化は観測されたものの, 注意の変化は観測されず, 相関関係は認められなかった. SoA の変化に対して注意が容易に追従する実験課題を作成するなど, 実験参加者の行動のばらつきを抑制する工夫を今後は講じる必要があると考えられる.

参考文献

- [1] D. Kahnemann, (1973) "Attention and efforts.", Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.

- [2] Gallagher, S. Philosophical Conceptions of the Self: Implications for cognitive science. *Trends in Cognitive Science*, 4, 14-21.
- [3] Wen, W., Kuroki, Y., & Asama, H. (2019). The Sense of Agency in Driving Automation. *Frontiers in Psychology*, 10.
- [4] Wen, W., Yamashita, A., & Asama, H. (2015). The sense of agency during continuous action: performance is more important than action-feedback association. *PLoS one*, 10(4), e0125226.
- [5] Wen, W., Yamashita, A., & Asama, H. (2016). Divided attention and processes underlying sense of agency. *Frontiers in psychology*, 7, 35.
- [6] Dewey, J. A., & Knoblich, G. (2014). Do implicit and explicit measures of the sense of agency measure the same thing?. *PLoS one*, 9(10).
- [7] Moore, J., & Haggard, P. (2008). Awareness of action: Inference and prediction. *Consciousness and cognition*, 17(1), 136-144.
- [8] Hon, N., Poh, J. H., & Soon, C. S. (2013). Preoccupied minds feel less control: Sense of agency is modulated by cognitive load. *Consciousness and cognition*, 22(2), 556-561.
- [9] Band, G. P., van Steenbergen, H., Ridderinkhof, K. R., Falkenstein, M., & Hommel, B. (2009). Action-effect negativity: irrelevant action effects are monitored like relevant feedback. *Biological Psychology*, 82(3), 211-218.
- [10] Kunde, W., Wirth, R., & Janczyk, M. (2018). The role of feedback delay in dual-task performance. *Psychological research*, 82(1), 157-166.
- [11] Farrer, C., Valentin, G., & Hupé, J. M. (2013). The time windows of the sense of agency. *Consciousness and cognition*, 22(4), 1431-1441.
- [12] Y. Miyake, Y. Onishi, & E. Poppel, (2004) "Two types of anticipation in synchronization tapping.", *Acta neurobiologiae experimentalis*, Vol. 64, No. 3, pp.415-426
- [13] Baddeley, A. Working Memory, Oxford psychology series, No.11., New York, NY, US.
- [14] Frith, C. D., Blakemore, S. J., & Wolpert, D. M. (2000). Explaining the symptoms of schizophrenia: abnormalities in the awareness of action. *Brain Research Reviews*, 31(2-3), 357-363.