

## 行為部位の運動を制限したときの Intentional binding

黒田尚輝・藤井芳孝・寺岡 諒・寺本 渉

### 背景

自己の行為の自発性は、その後生じるイベント（結果）との間の時間知覚を短縮させることが知られている。この現象は Intentional binding (IB) と呼ばれる (Haggard et al., 2002)。Haggard et al. (2002) は、実験参加者がボタンを押すと少し遅れて結果（音刺激）が呈示されるという状況で、両イベント間の時間間隔がどのように知覚されるのかを調べた。その結果、行為を自発的に行った場合の時間間隔は実際の時間間隔と比べて短く知覚される一方で、行為が自分の意図によるものではない場合には時間短縮はみられないことを報告した。

IB は、行為のタイミングを実際よりも遅いタイミングで知覚する Action binding と結果のタイミングを実際よりも早いタイミングで知覚する Effect binding という異なる 2 つの成分から構成されていると考えられている (Moore et al., 2010; Wolpe et al., 2013)。ヒトが自発的な運動を実行するとき、運動指令信号が生成され、運動が実行された後には体性感覚フィードバックが生じる。前者は中枢神経系由来の遠心性の信号で、後者は行為の結果として生じる身体部位（指など）からの求心性信号である。運動信号生成時には、体性感覚野に運動指令信号のコピー（遠心性コピー）が作られ、感覚フィードバックが予測されると考えられている（順モデル; e.g., Kawato, 1999; 森岡, 2016）。感覚フィードバック予測に深く関与する前補足運動野に経頭蓋磁気刺激を与えて活動を抑制すると、Effect binding のみが阻害されるという報告 (Moore et al., 2010) から、予測メカニズムは特に Effect binding に強く関与していると考えられている。一方で、Action binding には予測メカニズムと後付けでの知覚の決定（遡及効果）の両方が影響するとされている (Moore & Haggard, 2008)。Moore & Haggard (2008) は、75% または 50% の確率で行為の後に音を鳴らし、行為単独のときの Action binding が 75% 条件では 50% 条件と比べて上昇したことを報告した。この行為単独条件では実際には後続音は呈示していないため、その違いは純粹に予測によるものと考えられる。また、Moore & Haggard (2008) は、50% 条件で、行為単独よりも行為 + 後続音で Action binding が大きくなったのが遡及効果によるものであることを示している。50% では後続音が呈示されるかわからないため、行為 + 後続音の Action binding の増大は遡及効果によるものと考えられる。別のメカニズムの説明としては、行為と結果の因果の知覚が関与しているということが挙げられる。自発的な行為がなくとも IB が生起すること (Buehner, 2012; Lorimer et al., 2020; Suzuki et al., 2019) や自発的な行為生成時にその行為を自発的な行為ではないと信じた場合では IB が生じないこと (Desantis et al. 2011) などの報告からも、因果の知覚も IB 生起の重要な要素となっていることが示唆される。

近年の研究では、IB は加齢によって変化することが示されている (Cavazzana et al., 2017; 藤井他, 2022)。Cavazzana et al. (2017) は、若齢成人と比べて高齢者では IB が弱いと報告している。一方で、藤井他 (2022) では、高齢者の IB は若齢成人と同程度であるが、非自発的な行為でも自発的な

行為と同様に強い時間短縮が生じることを報告している。この差異に関して、藤井他（2022）は、Cavazzana et al. (2017) では認知負荷が高い課題を使用していた点（Lorimer et al., 2020）や因果知覚の加齢変化が関与している点を指摘している。このように2つの研究では高齢者のIBは、少なくとも若齢者と異なることを示唆している。IBが行為と知覚の両方が関連した現象であるため（Haggard et al., 2002）、前述のような、知覚・認知機能の他に身体機能の加齢変化がIBの加齢変化に影響している可能性も考えられる。例えば、高齢者では、身体機能の低下が著しく（e.g., Pijnappels et al., 2008）、その低下にも個人差がある（Thornbury & Mistretta, 1981）。身体機能の低下は身体の動かしにくさを生じさせるため、身体の動かしにくさにも個人差があることが考えられる。したがって、Cavazzana et al. (2017) と藤井他（2022）の結果の差には高齢者の身体機能の低下による身体の動かしにくさが影響している可能性が考えられる。しかし、このような高齢者の特徴の1つである身体の動かしにくさがIBとどのように関連しているのかは明らかではない。

そこで本研究では、若齢成人の身体の一部の運動を制限することで高齢者の身体特徴を模擬し、身体の動かしにくさがIBに与える影響を調べることを目的とした。IBに対する身体の動かしにくさの影響を評価するために、知覚・認知機能が加齢変化していない若齢成人を対象として、身体の動かしにくさのみを操作して検討する。これは、IBの加齢変化が身体機能の加齢変化によって生じているのかを検討するのに有用であると考えられる。本研究では、IBの研究で広く用いられているHaggard et al. (2002) の手法に従って作成した課題（藤井他, 2022）を用いた。運動指令信号生成時には感覚フィードバックが予測される（e.g., Kawato, 1999; 森岡, 2016）。さらに、感覚フィードバック予測に深く関与する前補足運動野の活動はIBに関与する（Moore et al., 2010）。IBは行為と知覚の両方が関連した現象であるため（Haggard et al., 2002）、もし運動指令信号生成時にIBに関連した予測が行われているとすると、身体の動かしにくさは脳からの身体への運動信号生成時から身体運動が生成されるまでにずれを生じさせるため、その結果IBが変容すると考えられる。高齢者の身体を模擬するために、ボタンを押す指を木の棒に固定することでボタン押し行為のしやすさを変化させた。本研究は身体運動プロセスの加齢変化の解明に寄与すると期待される。

## 方法

### 実験参加者

28名の熊本大学の大学生（男性11名、女性17名；平均年齢：19.8 ± 1.4 [標準偏差]歳）が実験に参加した。サンプルサイズは、事前に検出力分析によって決定された。検定力分析によると、中程度の効果量（ $f = 0.25$ ; Cohen, 1992）の場合は28人の実験参加者が必要であることが示された（有意水準：0.05, 検出力：0.80）。検定力分析にはG\*Power（バージョン：3.1.9.4, Faul et al., 2007; Faul et al., 2009）を用いた。すべての実験参加者は、正常な視力（矯正を含む）を有し、触覚においても異常は見られなかった。実験参加者は全員右利きであり、利き手はChapmanらの手法（Chapman & Chapman, 1987）で確認した。また、すべての実験参加者は本研究の目的を知らなかった。本研究は、ヘルシンキ宣言（1964）の原則に則っており、熊本大学大学院人文社会科学部倫理委員会の承認を得たうえで行われた（承認番号：2020-No.51）。また、実験開始前に各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。

## 装置と刺激

実験の概略図を Figure 1A に示す。実験の制御は、制御用コンピュータ (Dospa, GALLERIA GCR2070RGF-QC; Ubuntu Linux, バージョン: 1910, Canonical UK Ltd./Ubuntu Project) にインストールされた Octave (バージョン: 4.1.1, GNU Project) と Psychtoolbox-3 (Brainard, 1997; Kleiner et al., 2007; Pelli, 1997) によって行われた。視覚刺激呈示と実験参加者の反応を取得するために、液晶タッチディスプレイ (Bosstouch PM156, ディスプレイサイズ: 34.5 cm × 19.5 cm, 解像度: 1920 × 1080 pixel, リフレッシュレート: 60 Hz) を使用した。液晶タッチディスプレイは机の上に水平に置き、実験参加者は液晶タッチディスプレイを見下ろした。液晶タッチディスプレイの中心は実験参加者の前方約 30 cm の位置で、視距離は約 50 cm であった。

ボタンを押す動作のしやすさを制御するために、左手の人差し指に木製の棒 (15 cm × 1 cm × 1 cm) を取り付けた。指の動作を大きく妨げるように 1 本の木で固定する制限棒と、指の動作をあまり妨げないように指の関節に合わせて 4 つに分割された非制限棒の 2 種類を用いた。それぞれの棒は、マジックテープによって人差し指と手のひらに固定されていた (Figure 1B)。

ボタン押し装置は、非自発的なボタン押しをするためのサーボモータとボタン押しを検出するためのテンキーによって構成されていた。実験参加者はサーボモータとテンキーの間に左手の人差し指を入れる構造であった (Figure 1C)。サーボモータが動作すると、サーボモータに接続されたレバーが回転して指を押し下げることで、非自発的なボタン押しを行った。サーボモータは、マイクロコンピュータ (Arduino Holding, Arduino Uno) を介して制御用コンピュータで制御された。

液晶タッチディスプレイには Haggard et al. (2002) と同様の時計型刺激を呈示した。時計型刺激は、円枠、時計針、時計目盛り及び周囲の数字からなり、いずれも黒地に白で描かれたものであった。時計目盛りは一般的なアナログ時計と同様に、円の頂点から 30 度ごとに目盛りが振られていた。各目盛りには、頂点を 0 として 30 度ごとに 5 ずつ増えるように数字が書かれていた (すなわち、0, 5, 10, 15, ... 55)。時計の針は一定の速さで時計回りに回転しており、回転周期は 2560 ms であった。また、試行開始時の針の位置はランダムであった。

ボタン押しに遅れて呈示されるターゲット音は、1 kHz の純音 (サンプリング周波数: 44.1 kHz; 71 dB SPL; 時間長: 10 ms) であった。サーボモータの動作音や環境音をマスキングするため、ピンクノイズを呈示した。これらの音刺激はヘッドフォン (Sony, MDR-CD900ST) を介して呈示された。



Figure 1. 実験の概略図

- (A) 装置の配置。(B) ボタンの押しやすさを制御するための制限棒 (左) と非制限棒 (右)。  
(C) ボタン押し装置 (非制限棒装着時)

また、マスキングノイズの下で音刺激が聞き取れることを確認した。

### 実験条件

IBの強さを測定するために Haggard et al. (2002) と類似した手法 (藤井他, 2022) を用いた。実験条件は連続条件と単独条件の2つに大きく分かれていた。

連続条件は実験の主体となる条件で、ボタン押し行為の 250 ms 後にターゲット音が呈示されるものであった。ボタンの押し方によって3つの条件を行った。まず、Haggard らの実験と類似して、指の運動が制限されない状態での (1) 自発ボタン押し条件と、(2) 非自発ボタン押し条件を用いた。これらは、指の運動が制限されづらい非制限棒を取り付けて行った。そして、ボタンの押しやすさの影響を調べるために、制限棒によって指の動きを制限した (3) 固定自発ボタン押し条件を行った。制限棒装着時に非自発的なボタン押しは実施しなかった。これは、サーボモータのトルクが不十分で、指を固定した場合に安定してボタン押し動作ができなかったためである。しかし、IBは自発条件と非自発条件の差ではなく、単に自発条件時の時間短縮として定義されるため (e.g., Haggard et al., 2002; Fujii et al., 2022)、固定非自発条件がないことは重要ではない。指を固定しない非自発ボタン押し条件を設けたのは、先行研究と比較することで、実験方法の妥当性を確認するためであった。連続条件の各試行では、実験参加者はボタンを押したタイミングでの針の位置、もしくは、ターゲット音が聞こえたときの針の位置のいずれかを覚えて応答した。したがって、応答対象によって合計6つの連続条件を行った。

単独条件は、連続条件で用いられた3種類のボタン押しとターゲット音のいずれかのイベントが1つだけ生じる条件であった。単独条件は、各イベントが単独で行われたときの知覚的な時間のずれを測定するもので、ボタン押しとターゲット音が連続したことによって生じる効果とは関係なく生じる知覚的な時間のずれを補正するために行われた。実験参加者は各試行で唯一のイベントのタイミングでの時計の針の位置を記憶して応答した。単独条件は、4種類のイベントに対応して4条件あった。

したがって、連続条件と単独条件は合計して10条件であった。各条件はブロックとしてまとめて行った。各ブロックは5回の練習試行と20回の本試行で構成されていた。ブロックの順番は実験参加者ごとにランダムであった。

### 実験手続き

実験は、蛍光灯照明の実験室内で行われた。実験参加者は実験装置の前の椅子に座り、左手の人差し指でボタン押しを、右手で液晶タッチディスプレイを操作した。各ブロック開始前に、実験者が実験参加者の左手人差し指に、制限棒または非制限棒を取り付けた。その後、試行開始までの間、画面には試行で発生するイベントの種類と、応答対象となるイベントが表示されていた。実験参加者は任意のタイミングで画面上のスタートボタンをタッチすることで、試行を開始することができた。試行開始後は時計の針が回転するのを観察しながら、条件ごとに指定されたイベントが発生したときの針の位置を記憶した。自発ボタン押し条件では、スタート後の任意のタイミングで実験参加者はボタンを押した。非自発ボタン押し条件では、試行開始から 1000-2000 ms の間に、サーボモータが動作してボタン押しを行った。ターゲット音が自動で呈示される単独条件でも同様の範囲で呈示された。全てのイベントが終了して 1000-2000 ms 経過すると、時計型の視覚刺激は一度消失した。その直後、

応答用の時計型刺激が呈示された。応答用の時計型刺激は、試行開始時の時計型刺激とほとんど同じであったが、時計の針は停止しており、実験参加者が画面をタッチすることで任意の角度に針を動かすことができた。実験参加者はこの応答用時計型刺激を用いて、記憶していたイベント時の針の位置を応答した (Figure 2)。

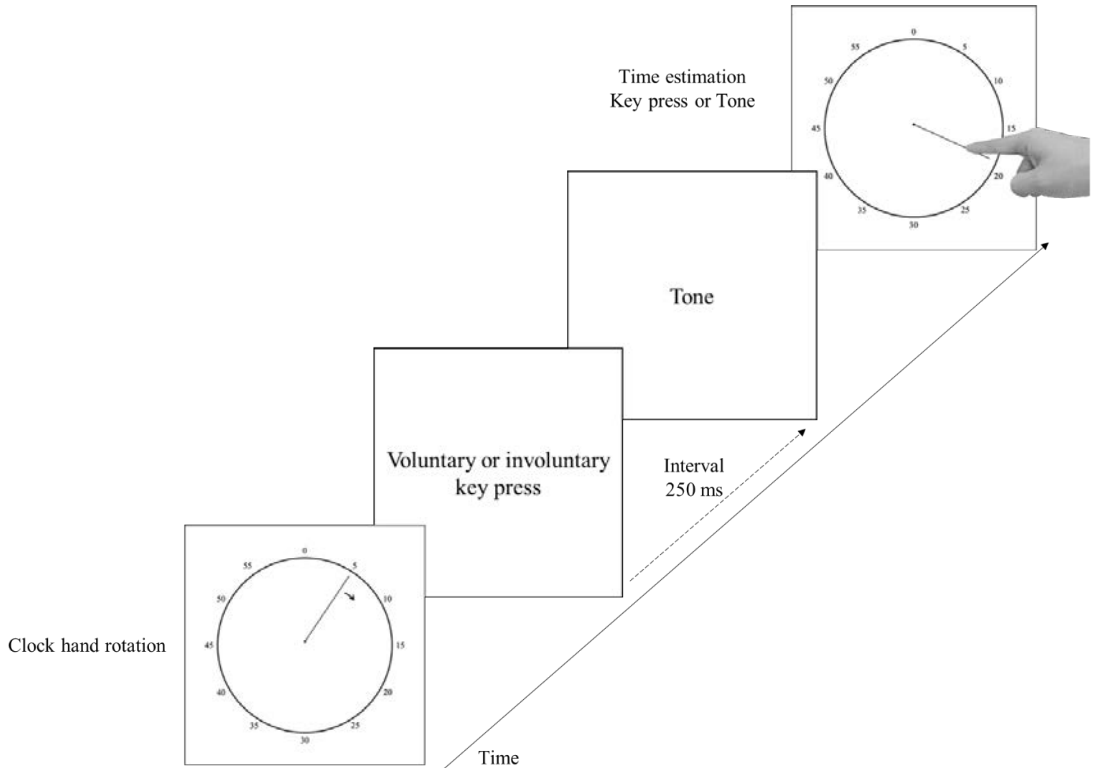


Figure 2. 各試行の流れ

実験参加者は、時計回りに回転する時計の針を見続け、各イベント（ボタン押し、音刺激）を知覚した。その後、そのイベントが生じたタイミングを時計の針の位置を右手で操作することで判断した。

### 統計分析

実験参加者が応答した時計の針の角度と実際にイベントが起こった時点の針の角度の差 ( $\Delta\theta$  (度)) から、知覚的な時間のずれ ( $\Delta T$ (ms)) を次式で以下のように算出した。 $\Delta T = T_0 / (360 \cdot \Delta\theta)$ 。ここで、 $T_0$  は回転周期 (2560 ms) である。 $\Delta T$  が正の値であれば知覚が実際のイベントより遅れていたことを示す。

各条件の代表値として、20 回の繰り返しの知覚的な時間のずれの中央値を算出した。そして、単一イベントのみに依存する影響を除去するため、連続条件の各知覚的な時間のずれから、対応する単独条件の知覚的な時間のずれを減算した。すなわち、ボタン押しの知覚的な時間のずれ (Action binding) は、連続条件の応答対象がボタン押しの結果から、対応する単独条件のボタン押しの知覚

的な時間のずれの減算として求めた。また、ターゲット音の知覚的な時間のずれ (Effect binding) は、連続条件の応答対象がターゲット音の結果から、単独条件のターゲット音の知覚的な時間のずれを減算して求めた。正の値は、連続条件のイベント知覚が単独条件に比べて遅れていることを示す。最後に、2つのイベントの時間間隔の知覚的な短縮量 (時間短縮量) は、(Action binding-Effect binding) として計算した。正の値は2つのイベントの時間間隔が短く知覚されたことを示す。

Shapiro-Wilk 検定によりすべての結果が正規分布であることが示されたため、本研究では以下のすべての分析においてパラメトリック検定を適用した。また、Mauchly の球面性の検定を行い、必要に応じて Greenhouse-Geisser 補正により球面性を補正した。まず、各 IB 条件において時間短縮が生じたのかを調べるために各 IB 条件の時間短縮量と 0 (時間短縮なし) を  $t$  検定した。次に、IB 条件間の IB の強さを評価するために、時間短縮の結果に対して 1 要因分散分析を行った。また、主効果が有意だった場合、各条件の比較を行うために Holm 法による多重比較検定を行った。Action binding と Effect binding が別メカニズムであることから (Moore et al., 2010; Wolpe et al., 2013)、時間短縮の原因が Action binding と Effect binding のいずれによって生じたものかを明らかにするために、Action binding と Effect binding のそれぞれの結果に対しても同様の分析を行った。有意水準はいずれの解析でも 0.05 とした。統計分析は JASP (バージョン: 0.10.2.0; <https://jasp-stats.org/>) を用いて行った。

また、多重比較の結果は調整済み  $p$  値 ( $p_{\text{holm}}$ ) として表記した。各解析において、効果量は Cohen's  $d$  または partial  $\eta^2$  ( $\eta_p^2$ ) を用いた。

## 結果

各ボタン押し条件での時間短縮量の実験参加者間の平均を Figure 3 に示す。 $t$  検定の結果、自発ボタン押し条件及び固定自発ボタン押し条件では有意な時間短縮が見られた一方で ( $t_s(27) > 5.06$ ,  $p_s < .001$ ;  $d_s > 0.95$ )、非自発ボタン押し条件では有意ではなかった ( $t(27) = 1.20$ ,  $p = .242$ ,  $d = 0.23$ )。1 要因分散分析の結果、主効果が有意であった ( $F(1.52, 41.06) = 7.85$ ,  $p = .003$ ,  $\eta_p^2 = 0.23$ )。多重比較検定の結果、自発ボタン押し条件と固定自発ボタン押し条件間では有意な差が認められず ( $p_{\text{holm}} = .227$ )、その他の組み合わせでは有意な差が見られた ( $p_{\text{holm}} < .022$ )。

各ボタン押し条件での、Action binding 及び Effect binding の大きさの実験参加者間の平均を Figure 4 に示す。Action binding に関して、 $t$  検定の結果、自発ボタン押し条件では有意な時間短縮が見られた一方で ( $t(27) = 2.66$ ,  $p = .013$ ,  $d = 0.50$ )、固定自発ボタン押し条件及び非自発ボタン押し条件では有意ではなかった ( $t_s(27) < 1.31$ ,  $p_s > .204$ ,  $d_s < 0.25$ )。さらに、1 要因分散分析の結果、Action binding の主効果は有意ではなかった ( $F(1.41, 37.93) = 0.47$ ,  $p = .564$ ,  $\eta_p^2 = 0.02$ )。Effect binding に関して、 $t$  検定の結果、自発ボタン押し条件及び固定自発ボタン押し条件では有意な時間短縮が見られた一方で ( $t_s(27) > 4.36$ ,  $p_s < .001$ ,  $d_s > 0.82$ )、非自発ボタン押し条件では有意ではなかった ( $t(27) = 0.35$ ,  $p = .727$ ,  $d = 0.07$ )。さらに、1 要因分散分析の結果、Effect binding の主効果は有意であった ( $F(1.62, 43.85) = 16.06$ ,  $p < .001$ ,  $\eta_p^2 = 0.37$ )。多重比較検定の結果、すべてのボタン押し条件間に有意な差が認められ ( $p_{\text{holm}} < .029$ )、固定自発ボタン押し条件、自発ボタン押し条件、非自発ボタン押し条件の順に時間短縮量が大きいたことが示された。

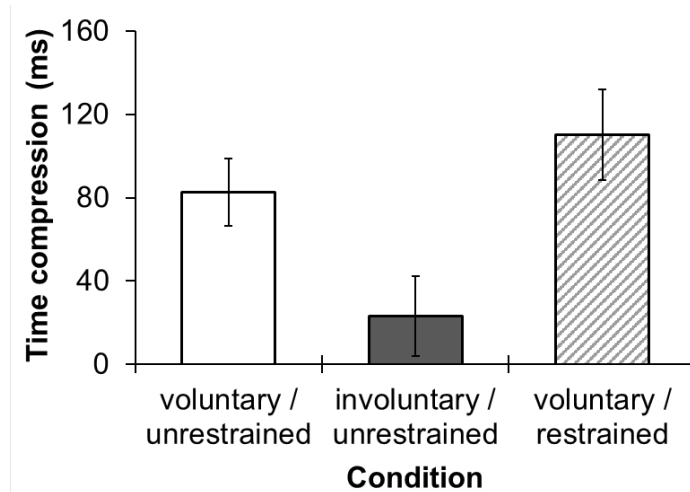


Figure 3. 時間短縮量の結果

各ボタン押し条件の時間短縮量を示す。正の値は時間がイベント間の時間が短く知覚されたことを示す。条件名の voluntary / unrestrained, involuntary / unrestrained, voluntary / restrained はそれぞれ、自発ボタン押し条件、非自発ボタン押し条件、固定自発ボタン押し条件を示す。誤差棒は標準偏差を示す。

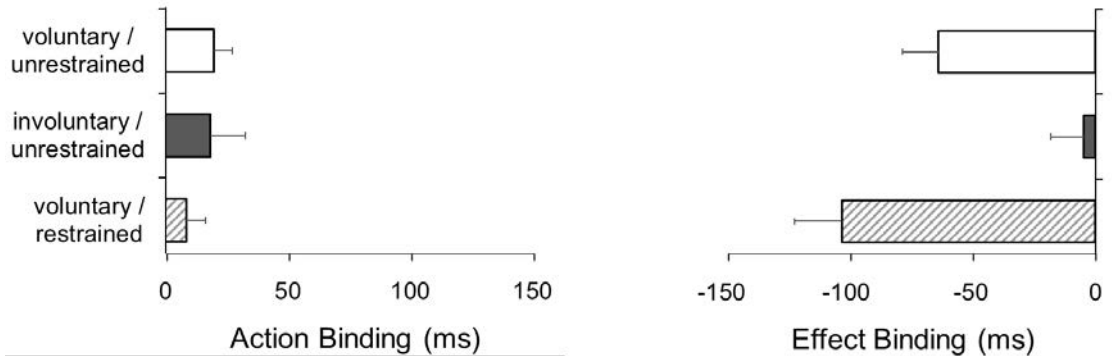


Figure 4. Action binding 及び Effect binding の結果

各ボタン押し条件の Action binding (左図) 及び Effect binding (右図) を示す。いずれも、正の値は、遅れて知覚されたことを示す。条件名の voluntary / unrestrained, involuntary / unrestrained, voluntary / restrained はそれぞれ、自発ボタン押し条件、非自発ボタン押し条件、固定自発ボタン押し条件を示す。誤差棒は標準偏差を示す。

## 考察

本研究ではボタン押しに用いる指の動かしにくさが IB に与える影響を調べた。その結果、指の動かしにくさの影響は時間短縮量と Action binding には見られなかった。一方で、Effect binding を有意に強めることがわかった。これは、指の動かしにくさは IB 現象を構成する成分の一部に影響することを示唆する。

Haggard et al. (2002) は自発的な手の行為が、行為—音刺激間の知覚的な時間短縮を生じさせる」と報告している。このことは他の数多くの先行研究でも再現されている (e.g., Cavazzana et al., 2017; 藤井他, 2022)。これらの先行研究と類似した状況である本研究の制限棒装着時の結果は、自発的な手の動作がある場合には非自発的な手の動作の場合と比べて有意な知覚的時間短縮が生じることを示していた。このことは、本研究の実験設定が IB を測定するのに適切であったことを示唆する。

高齢者では、身体機能の低下の著しさ (e.g., Pijnappels et al., 2008) のほか、身体機能低下の個人差が目立つ (Thornbury & Mistretta, 1981)。高齢者の IB は弱いという報告がある一方で (Cavazzana et al., 2017)、若齢成人と同程度であるという報告もある (藤井他, 2022)。このような差異には高齢者の身体機能低下の個人差が関わっているかもしれない (Thornbury & Mistretta, 1981)。本研究ではそのような高齢者の特徴の一つである身体の動かしにくさ (Osoba et al., 2019) に着目し、若齢成人を対象として身体の動かしにくさを操作することで高齢者の知覚様相の解明にアプローチした。藤井他 (2022) は高齢者では非自発的な行為時にも Effect binding が強まることを報告している。本研究で見られた制限棒装着時の Effect binding の強まりは高齢者の非自発的な行為時の Effect binding の特異性と類似しているように見えるが、自発的な行為時 (本研究) と非自発的な行為時 (藤井他, 2022) と異なる点もあるため同一メカニズムなのかは更なる検討が必要である。したがって、本研究の結果は、少なくとも身体の動かしにくさが Effect binding に寄与することを示唆するものである。

IB の要素である Action binding と Effect binding はそれぞれ別のメカニズムであることが示唆されている (Moore et al., 2010; Wolpe et al., 2013)。前者には予測メカニズムと適応効果が影響するのに対し、後者には予測メカニズムが強く関与する。本研究では制限棒装着時に Effect binding のみが強まったことから、身体の動かしにくさは予測メカニズムに強く影響を与えたことを示唆する。すなわち、ボタン押しを意図したタイミングと実際にボタンを押したタイミングが存在し、制限棒装着時では指が動かしにくいことにより、これら 2 つのタイミング間に開きが出た可能性がある。ボタン押しを意図したタイミングで結果の信号 (後続音) が予測されていたとすると、実際にボタンを押した後に生じる音刺激の呈示タイミングよりも早く音が呈示されると知覚されるはずである。このことが Effect binding のみを変容させるという効果をもたらした可能性がある。

身体の状態を反映した知覚が生じるといった報告は数多く存在する。例えば、重い荷物を持っている場合や疲れている場合では坂が急に見えることが報告されている (Bhalla & Proffitt, 1999)。Bhalla & Proffitt (1999) は、若齢者と比べて身体が衰えている高齢者においても同様に坂が急に見えることを報告した。また、高齢者や身体制御の困難さを特徴にもつパーキンソン病患者では、そうでない人と比べて歩行時に通過可能幅を広く見積もるとされている (Hackney & Chinelli, 2013; Sidaway et al., 2018)。このように身体の状態が知覚に影響を与えることを示した研究は数多く存在し、本研究で指の動かしにくさを操作した制限棒装着時でも知覚が変容したことは不思議なことではない。

本研究にはいくつかの限界がある。一つ目は、制限棒装着時と非制限棒装着時ではボタンを押す強さが変わってしまった可能性を排除できないことである。本研究では行為部位の運動制限を実現するために制限棒を装着して実験を行った。しかし、そのような運動制限自体が影響したのか運動制限によってボタンを押す強さが変わったことが影響したのかを切り分けることができなかった。したがっ



て、今後は圧力センサ等を用いることでボタン押しの強さの影響も検討する必要があるであろう。二つ目は、本研究は制限棒装着時の非自発ボタン押しを計測していないことである。制限棒装着時では、非自発ボタン押しを生成する装置（サーボモータ）による非自発的なボタン押しが物理的に不可能であったため実施しなかった。一方で、非制限棒装着時に関して自発ボタン押しでは非自発ボタン押しと比べてIBが強く生じており、これは本研究の実験設定ではIBを計測できたことを意味している。このような適切な設定下で制限棒装着時の検討を行ったため、制限棒によるボタン押し動作のしにくさの効果は十分検討できたと考えられる。今後は、制限棒装着時の非自発ボタン押しも含めた検討が必要となるであろう。3つ目は、制限棒による指の動かしにくさの強度設定の妥当性である。自発的ボタン押しに関して、制限棒装着時には非制限棒装着時と比べて有意なIBの変容を示さなかった一方で、Effect bindingは有意に強いという結果を示した。本研究では制限棒を用いることでボタン押しを行う指の運動制限を行った。このような状況でEffect bindingが有意に強まることが明らかになったことから、指の運動制限が本研究よりも強い状態を作れば、IBも有意に強まる形で表れたかもしれない。少なくともこの結果はIBを生じさせる成分（Action binding, Effect binding）のうち一部にボタン押し時の指の動かしにくさが影響することを示唆する。

本研究では、ボタン押しを行う指の運動に制限を設け、IBがどのように変容するかを検討した。結果として、制限棒装着時ではそうでない場合と比べてEffect bindingが強まることを示した。この結果は、指の動かしにくさがEffect bindingと関連することを示唆する。

## 引用文献

- Bhalla, M., & Proffitt, D. R. (1999). Visual-motor recalibration in geographical slant perception. *Journal of experimental psychology : Human perception and performance*, 25 (4), 1076.
- Brainard, D. H., & Vision, S. (1997). The psychophysics toolbox. *Spatial vision*, 10 (4), 433-436.
- Buehner, M. J. (2012). Understanding the past, predicting the future: Causation, not intentional action, is the root of temporal binding. *Psychological Science*, 23 (12), 1490-1497.
- Cavazzana, A., Begliomini, C., & Bisiacchi, P. S. (2017). Intentional binding as a marker of agency across the lifespan. *Consciousness and cognition*, 52, 104-114.
- Chapman, L. J., & Chapman, J. P. (1987). The measurement of handedness. *Brain and cognition*, 6 (2), 175-183.
- Cohen, J. (1992). Statistical power analysis. *Current directions in psychological science*, 1 (3), 98-101.
- Desantis, A., Roussel, C., & Waszak, F. (2011). On the influence of causal beliefs on the feeling of agency. *Consciousness and Cognition*, 20 (4), 1211-1220.
- Faul, F., Erdfelder, E., Buchner, A., & Lang, A. G. (2009). Statistical power analyses using G\*Power 3.1: Tests for correlation and regression analyses. *Behavior Research Methods*, 41 (4), 1149-1160.
- Faul, F., Erdfelder, E., Lang, A. G., & Buchner, A. (2007). G\*Power 3: A flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences. *Behavior Research Methods*, 39 (2), 175-191.
- 藤井芳孝・寺岡諒・黒田尚輝・原田新也・寺本渉 (2022). 手足の行為による intentional binding の

加齢変化 電子情報通信学会技術研究報告, 121 (381), 76-80.

- Fujii, Y., Teraoka, R., Kuroda, N., & Teramoto, W. (2022). Inhibition of intentional binding by an additional sound presentation. *Experimental Brain Research*, 241, 301-311.
- Hackney, A. L., & Cinelli, M. E. (2013). Older adults are guided by their dynamic perceptions during aperture crossing. *Gait & posture*, 37 (1), 93-97.
- Haggard, P., Clark, S., & Kalogeras, J. (2002). Voluntary action and conscious awareness. *Nature Neuroscience*, 5 (4), 382-385.
- Kawato, M. (1999). Internal models for motor control and trajectory planning. *Current Opinion in Neurobiology*, 44, 186-192.
- Kleiner, M., Brainard, D., Pelli, D., Ingling, A., Murray, R., & Broussard, C. (2007). Whats new in Psychtoolbox-3? *Perception*, 36 (14), 2007.
- Lorimer, S., McCormack, T., Blakey, E., Lagnado, D. A., Hoerl, C., Tecwyn, E. C., & Buehner, M. J. (2020). The developmental profile of temporal binding: From childhood to adulthood. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 73 (10), 1575-1586.
- Moore, J., & Haggard, P. (2008). Awareness of action: Inference and prediction. *Consciousness and Cognition*, 17 (1), 136-144.
- Moore, J. W., Ruge, D., Wenke, D., Rothwell, J. C., & Haggard, P. (2010). Disrupting the experience of control in the human brain: Pre-supplementary motor area contributes to the sense of agency. *Proceedings. Biological Sciences*, 277 (1693), 2503-2509.
- 森岡周 (2016). リハビリテーションのための脳・神経科学入門 改訂第2版 共同医書出版社
- Osoba, M. Y., Rao, A. K., Agrawal, S. K., & Lalwani, A. K. (2019). Balance and gait in the elderly: A contemporary review. *Laryngoscope investigative otolaryngology*, 4 (1), 143-153.
- Pelli, D. G. (1997). The VideoToolbox software for visual psychophysics: transforming numbers into movies. *Spatial vision*.
- Pijnappels, M., Van der Burg, P. J., Reeves, N. D., & van Dieën, J. H. (2008). Identification of elderly fallers by muscle strength measures. *European journal of applied physiology*, 102 (5), 585-592.
- Sidaway, B., Aaroe, A., Albert, M., LePage, K., Desrosiers, G., Keith, M., ... & Voicechovski, R. (2018). Visual detection of affordances for aperture negotiation in people with Parkinson disease. *Neuropsychologia*, 120, 59-64.
- Suzuki, K., Lush, P., Seth, A. K., & Roseboom, W. (2019). Intentional binding without intentional action. *Psychological Science*, 30 (6), 842-853.
- Thornbury, J. M., & Mistretta, C. M. (1981). Tactile sensitivity as a function of age. *Journal of Gerontology*, 36 (1), 34-39.
- Wolpe, N., Haggard, P., Siebner, H. R., & Rowe, J. B. (2013). Cue integration and the perception of action in intentional binding. *Experimental Brain Research*, 229 (3), 467-474.

## Intentional binding during restricted body movements

**KURODA, Naoki, FUJII, Yoshitaka, TERAOKA, Ryo  
and TERAMOTO, Wataru**

Intentional binding (IB) is the phenomenon wherein the perceived time between action and the following event reduces when the event follows voluntary action. IB comprises two components: the shift of the perceived timing of the action toward the event (action binding) and that of the event toward the action (effect binding). Previous studies have shown that older adults have specific IB. However, the underlying mechanisms are unknown. We investigated whether restricted body movements, a characteristic of older adults' bodies, affect IB. Young participants performed a button press action with a finger to which either a straight bar (restriction condition) or movable bars (no-restriction condition) were attached and heard the sound following the action. The results showed that the restricted finger movements did not significantly change the IB but expanded the effect binding, suggesting that the body's mobility can modulate the mechanism involved in the perceived time of the action's consequence.