

文献紹介

自発的な行為と主観的時間に関する文献の紹介

山本 健太郎

行為とそれに伴う感覚事象の時間的關係性は、因果關係の理解や、行為の主体感の生起に重要な要素の一つである。例えば電球のスイッチを押した際、光の点灯が行為よりも先行して感じられれば、光の点灯は自身の行為とは無關係に生じたと判断されるだろう。日常ではこのような時間順序の錯誤はほとんど生じないが、一方で、感覚間には神経伝達速度の違いがあり、同時に入力が生じたとしても、各情報はそれぞれ異なる時間に脳に届き処理されている。また、蛍光灯のスイッチのように、使用する装置によっては感覚事象の生起までに僅かな遅延が生じる場合もある。我々はこうした異なるタイミングで処理される情報をどのように関連づけ、行為と結果の關係性を理解しているのだろうか。

近年、行為や感覚事象の知覚的なタイミングが、行為の自発性によって変化することが示され、注目を集めている。意図に関連した結合 (intentional binding, 以下 IB と略す) と呼ばれるこの現象は、我々が自身の行為とそれに伴う感覚事象の結び付きをどのように認識しているのかについて、重要な示唆を与えてくれる。本稿ではこの現象に焦点を当て、関連する二つの文献を紹介する。

一つ目に紹介する論文は、IB 現象が 2002 年に初めて報告されてから 10 年間の研究動向をまとめた総説論文である。特にこの論文では、IB の生起や程度にどのような情報が影響を及ぼすのか、IB が行為主体感のどのような側面と関連しているのかに着目して解説が行われている。二つ目に紹介する論文は、従来 IB 研究で関心の持たれてきた行為に伴う感覚事象ではなく、行為を引き起こす感覚事象に着目し、その知覚タイミングを検討した研究である。一連の実験から、行為を誘発する感覚事象のタイミングが実際よりも遅れて知覚されることが示され、行為とそれに先行する感覚事象の間でも時間的な結合が生じることが示唆されている。

これらの論文は、行為やその意図が前後の感覚事象と密接に関連づけられることを示している。このような関連づけは、我々の一貫した意識的世界の構築に寄与しているのかもしれない。一方で、それぞれの論文でも触れられているように、IB 現象と行為主体感の關係性については議論の余地があり、今後の更なる研究が待たれる。

第 1 論文

Moore, J. W., & Obhi, S. S. (2012). Intentional binding and the sense of agency: a review. *Consciousness and Cognition*, 21, 546-561.

人は行為の主体であり、外界に対して自身の行為により変化をもたらす能力を持っている。また人はその能力に伴って、行為の主体感 (sense of agency)

と呼ばれる感覚をしばしば経験する。この行為主体感を測る新しい指標として、Haggard et al. (2002) は自発的な行為と主観的時間の間の興味深い關係性を発表した。IB と呼ばれるこの指標は、高い関心を集め、多数の主体感の実験に用いられてきた。本論文では、この 10 年の間に報告された IB に関する研究が総説され、IB を行為主体感の指標として用いる妥当性について考察が行われている。

IB のオリジナル実験と基本的条件

始めに IB 現象を報告した Haggard et al. (2002) の実験では、以下の条件が設定されている。ベースライン条件では、参加者はモニタ上に表示された回転する時計の針を観察しながら自発的行為を行うか、行為無しで音刺激が呈示されるのを聞き、その瞬間の針の位置を報告した。オペラント条件では、参加者の行為の 250 ミリ秒後に音刺激が呈示され、行為の時点もしくは音刺激が呈示された時点での針の位置の判断が求められた。その結果、行為のタイミングはオペラント条件の方がベースライン条件よりも遅れて知覚され、音刺激のタイミングはオペラント条件の方が先行して知覚された。つまり、行為から音までの時間間隔がオペラント条件では圧縮される形となった。一方で、TMS で一次運動野を刺激し、不随意的に行為を引き起こした場合には、自発的行為の場合とは逆に時間間隔が拡張する方向に知覚タイミングが変化した。これらの結果は、自発的な行為をその効果と結合させる認知的機能の存在を示唆する。しかし、この現象が知覚の一貫性 (unity of perception; Yarrow et al., 2001) を反映したものであるという批判や、主体感ではなく因果性 (Stetson et al., 2006) と関連しているという批判もある。

予測と遡及的推論

行為主体感がどのように生起するのかについては、二つの理論的立場がある。一つは内的モデルに由来する「予測」を重視する立場で、運動指令の遠心性コピーを基に予測された結果と、実際の感覚結果との一致により行為主体感が生起すると考えられている。もう一つは「遡及的推論」の過程によって行為主体感が生じるとする立場で、行為の原因やその効果を明らかにするために感覚情報が用いられると考える。同様の議論は IB でも行われており、予測と遡及的推論のどちらが IB の生起に重要であるのかが実験的に検討されてきた。その結果、予測 (Engbert & Wohlshla.ger, 2007; Haggard & Clark, 2003) と、遡及的推論 (Moore & Haggard, 2008; Moore, Wegner et al., 2009) のそれぞれが IB に寄与することが示されている。また Moore, Wegner et al. (2009) は、遡及的推論による IB への影響が、予測的な運動処理の存在しない場合に最も強くなることを示唆している。これらの結果から筆者らは、行

为主体感がさまざまな主体性手がかりに基づいており、それらの相対的な影響が、手がかりの信頼性によって決定されるという考えを提案している。

因果性と IB

IB における因果性の関わりについても、これまでに多くの研究で検討が行われている。因果推論は、時間的近接性や随伴性などの行為と結果の関係性に基づいていると考えられる。時間的近接に関しては、遅延時間が長くなるに従って IB が弱くなるという結果 (Haggard et al., 2002) や、比較的長い時間 (4s) まで保持される (Buehner & Humphreys, 2009) という結果が報告されており、その関係性は明らかでない。一方で、行為と結果の随伴性の学習は IB の生起に重要であることが示されており (Buehner & Humphreys, 2009; Moore, Lagnado et al., 2009), 因果性が IB の生起に大きな役割を果たすことが示唆される。しかし、意図性と因果性を独立に操作した場合、意図性と因果性の両方が揃った場合にしか IB が生じないことから (Cravo et al., 2009), どちらも単独では十分でなく、両方の要因が IB の生起に必要であると考えられる。

IB へのトップダウン効果

行為結果に対する期待 (予期) は、経験によって得られたトップダウン知識と見なすことができる。そのため、トップダウン処理が IB に果たす一般的な役割を検討しようと、信念などが IB に及ぼす影響についても検討が行われている。例えば Desantis et al. (2011) は、実際は参加者自身の行為が結果を引き起こしていたとしても、参加者がその結果を他者によって引き起こされたものと信じた場合には IB が生じなくなることを示した。この結果は、自身の行為による感覚結果の期待に関わるメカニズムが、IB と関連していることを示唆する。また Haggard & Cole (2007) は、事前にどの事象が課題の対象であるかを教えずに、行為の意図、実際の行為、結果の三つの事象の時間の判断を行わせ、注意の集中が IB に及ぼす影響を検討し、注意が集中できない場合により強い IB が生じることが示している。さらに別の研究では、参加者がある行為を抑制した場合、その行為に関連した結果の時間が IB とは反対方向にずれることが示されている (Haggard et al., 2009)。

患者における IB

主体経験の障害は特定の精神・神経疾患の特徴であり、IB はこのような特異な経験の基となる認知神経処理の異常を探し出すための有益なパラダイムとなりうる。Haggard et al. (2003) は、IB の強さを統合失調症患者と健常者と比較し、統合失調症患者の IB が健常者よりも有意に強いことを示した。統合失調症患者は主体経験の障害があり、行為制御の感覚が乏しいと言われているため IB は弱まるものが予測されていたが、それに反する結果であった。この過剰効果は、ケタミンと呼ばれる統合失調症に似た症状を引き起こす薬を摂取した健常者でも確認されており (Moore et al., 2011)、行為主体感の指標と想定される IB と高次の主体経験との間の複雑な関係性を浮き彫りにする。また、パーキンソン病患者を対象とした研究では、IB におけるドーパミン神経伝達の重要性が明らかとなってきた。Moore, Schneider et al. (2010) は、ドーパミン作動薬治療を施したパーキンソン患者とそうでない患者で IB を測定し、治療を施さない患者の IB は健常者と同程度であり、治療を施した患者の IB はそれよりも有意に強いことを示した。このことは、ドーパミン作動薬治療が行為主体感を過剰にすることを示唆し、衝動制御障害が薬物副作用として生じる可能性を示す。またドーパミン投薬が IB を変化させることは、ドーパミン経路が IB に関連していることも示唆している。

IB の脳基盤

IB の神経基盤を探るため、Moore, Ruge et al. (2010) は TMS によるシータバースト刺激法を用い、前補足運動野と一次運動野の関与を検討している。前補足運動野は自己による行為の高次な認知的側面や、行為意図の意識的体験と関係があり、一次運動野は実際の運動指令に関わっていることから、どちらも行為主体感の神経基盤になりうると考えられた。実験の結果、前補足運動野に刺激を行い活動が抑制された場合にのみ、有意な IB の減少が生じた。またこの減少は、感覚結果の知覚タイミングの変化によって生じていた。このことから、前補足運動野は行為意図を感覚結果へと先んじて結びつける役割を果たしている可能性が示唆される。しかし、IB の神経基盤に関して直接的に検討を行った研究はまだ少なく、今後の検討が必要とされる。

自発的行為はどのように時間を変化させるか？

これまでに挙げた研究から、IB が自発的な行為に関わる頑健な現象であることは明らかだが、一方で、なぜ自発的行為が時間の知覚を変化させるのかという根本的な問題は残されたままである。これに関して、Wenke & Haggard (2009) は二つの仮説を挙げている。一つは内的クロックの進む速さが変化するという仮説で、行為後のクロック速度が一時的に遅くなる（つまり行為と結果の時間間隔が短く感じられる）ことで結果的に IB が生じると考えられる。もう一つは感覚事象の知覚的なオンセットが時間的に再較正されるという仮説で、例えば知覚的恒常性や因果関係、主体性を保持するため、感覚結果が時間的に手前側にずれると考えられる。Wenke & Haggard はどちらの仮説がより妥当かを調べるため、行為後の複数のタイミングで時間弁別閾を測定し、自発・随伴条件間で比較を行った。その結果、行為の直後で弁別閾に有意な差が見られ、内的クロック速度の一時的な変化が IB に関わることが示唆された。しかし、類似の課題環境で時間的再較正が起こりうることも既に示されており (Stetson et al., 2006)、時間的再較正が IB に寄与しないのかどうかの決定には更なる実験が望まれる。

顕在的な主体性と IB

これまで述べてきたように、IB は行為主体感の潜在的な基準を表すと考えられる。しかし、いくつかの研究では、顕在的な（内省的な）主体性や低次の（前内省的な）主体性といった言葉を用いて、行為主体感の階層的な性質について強調している。今のところ、IB と顕在的な主体性が共通のメカニズムで支えられているのか、また同様の神経基盤を持つのかについては不明であるが、最近ではこれらの関係性についても検討が始められている。例えば Ebert & Wegner (2010) は、自己報告された顕在的な主体感覚と IB との関係を検討するため、ジョイスティックを用いて行為と結果の運動方向の一貫性による影響を検討した。すると、行為と結果の動きの一貫性は IB と主体感覚の両方に影響を及ぼしたが、IB への影響は遅延時間が短いときに大きく生じたのに対し、主体感覚への影響は遅延時間に関係なく大きかった。このことから、IB と顕在的な主体感覚が少なくとも部分的に異なるメカニズムによって媒介された指標であることが示唆される。

社会的文脈における IB

IB 実験のほとんどは、参加者が単独で行為を行うという状況で検討が行われている。しかし日常場面では、社会的な文脈の中で他者と共同で行動を行うことが多い。このような共同行動場面における主体性の現象学的側面や IB の生起についてはあまりわかっていないが、社会的な文脈における行為主体感や IB に関する検討は行われ始めている。例えば Engbert et al. (2007) は、IB が行為の実行と感覚結果の経験のどちらにより大きく左右されるのかを調べるため、行為の主体者（自身/他者）と効果の対象（自身/他者）が IB に及ぼす影響を検討した。その結果、行為者が自身である場合の方が IB は強くなったが、効果の対象が自分か他者かによる IB の違いは見られなかった。また彼らはその後の研究で、自身と他者の自発的・非随意的行為が IB に及ぼす影響を検討し、行為者が自身の場合にのみ条件間で IB に有意な差が生じることを示している (Engbert et al., 2008)。これらの研究結果は、自身の意図的な行為が IB に重要であることを示唆する。一方で、自身と他者が同じ行為を共有し、片方の能動的行為に追従して他方が受動的に行為を行うような状況では、自身の行為が能動的であっても受動的であっても同様に IB が生じた (Strother et al., 2010)。このことは、他者との行為の共有が「私たち」という前内省的な主体性を引き起こし、互いの行為に対する IB を引き起こす可能性を示唆している。

結論と今後の方向性

この論文で示されているように、これまでの研究から結果の予測や因果的信念などのさまざまな情報源が IB に影響すること、またどの変数が影響するのかは課題の性質により異なることが明らかとなってきた。これらの知見は、行為主体感が複数の異なる主体性手がかりに基づいており、それらの影響が手がかりの信頼性によって決まるという著者らの考えにもつながっている (Moore, Wegner et al., 2009)。しかし、IB と行為主体感の具体的な関係性については不明な部分もあり、IB 効果の包括的理解にはまだ十分に至っていない。今後の課題としては、IB の原因メカニズムについての理解を深め、神経メカニズムを特定し、IB と潜在的（前内省的）主体感、顕在的（内省的）主体感の関係性を解明することが挙げられる。

第2論文

Yabe, Y., & Goodale, M. A. (2015). Time Flies When We Intend to Act: Temporal Distortion in a Go/No-Go Task. *The Journal of Neuroscience*, **35** (12), 5023–5029.

背景

感覚事象の知覚タイミングは、それを引き起こしたと思われる行為の方へ逆行的にシフトすることが多くの研究で示されてきた。この時間的な結合 (IB) は、行為主体感に依存することが示唆されている。これまでの研究では、自分のペースで行われた行為や、それに伴う刺激事象に対して着目がなされてきた。しかし、日常場面での我々の行為のほとんどは、行為に先行した外的な事象によって引き起こされる反応である。このような、行為を引き起こす刺激の知覚タイミングについては、これまでに検討が行われてこなかった。そうした背景を踏まえて、本論文では、眼球運動や手の反応を誘発する感覚事象の知覚タイミングが検討されている。

実験1

始めに、眼球運動を誘発する刺激の知覚タイミングについて検討が行われた。実験では、時計のような回転する針の付いた凝視点が画面左側に呈示され、その後ランダムなタイミングで画面右側にターゲットが出現した。実験参加者は、出現したターゲットに対して視線を素早く移動させるか（サッケード条件）、視線を移動させずに凝視点を観察し続けることが求められた（統制条件）。凝視点の色はターゲットが呈示されると同時に黒から緑へと変化した。参加者の課題は、色が変わった時点の時計の針の位置を答えることであった。また両条件でターゲットに対して注意を向けさせるため、ターゲット刺激の方位を答える課題も同時に行われた。

実験の結果、刺激方位の検出率には条件間で有意な差が見られなかったが、色変化のタイミングはサッケード条件の方が統制条件よりも有意に（平均して 59 ミリ秒）遅かった。この結果は、眼球運動を誘発する感覚事象の知覚タイミングが、眼球運動を誘発しない場合に比べて後ろにずれることを示唆している。しかし、この遅延が眼球運動自体によって生じたのか、それとも運動のプログラミングに

よって生じたのかはこの実験で明らかとなっていない。そこで次の実験では、Go/No-go 課題を用いることで、行為の実行が知覚タイミングの遅延に必要かどうかを検討された。

実験 2

実験 2 では、Go/No-go 条件と統制条件が行われ、各条件の 30%の試行で凝視点が緑色ではなく赤色に変化した。Go/No-go 条件では、凝視点の色が緑色に変化したときはターゲットに視線を素早く移動させ（Go 試行）、赤色に変化した場合には視線を凝視点から移動させない（No-go 試行）ことが求められた。その他の手続きや課題は実験 1 と同様であった。

実験の結果、刺激方位の検出率には条件間で有意な差は見られなかったが、色変化のタイミングは Go/No-go 条件の方が統制条件よりも有意に遅かった。一方で、Go 試行と No-go 試行間では遅延時間に有意な差は見られなかった（統制条件に比べて、Go 試行で 58 ミリ秒、No-go 試行で 78 ミリ秒の遅延）。眼球運動が行われた場合だけでなく、それがキャンセルされた場合にも知覚タイミングに遅延が生じたことは、この現象が行為そのものではなく、行為のプログラミングと関連していることを示唆する。またこの結果は、眼球運動に伴う視覚像のぼやけが時間の歪みの直接的な原因でないことも示している。

実験 3A

行為を誘発する事象の時間の歪みが、眼球運動の場合に限らないことを示すため、実験 3A ではキーの押し離し行動を用いて検討を行った。この実験では、参加者のキー押しによって画面の中心に時計型の凝視点が呈示され、その後もキーは押されたまま維持された。参加者は、凝視点の色が緑に変化した場合は素早くキーを離し、赤に変化した場合はそのまま押し続けることが求められた。参加者の課題は、実験 1・2 と同様に色が変わった時点の時計の針の位置を答えることであった。

実験の結果、色変化のタイミングは Go/No-go 条件の方が統制条件よりも有意に遅かった。また、Go 試行の方が No-go 試行よりも遅延時間がわずかに短かったが、その差は有意でなかった（統制条件に比べて、Go 試行で 25 ミリ秒、No-go 試行で 58 ミ

リ秒の遅延）。これらは実験 2 と同様の結果であり、行為を誘発する事象の時間の歪みが眼球運動だけでなく、手の反応の場合にも生じることが示唆された。

実験 3B

実験 3A で示された時間の歪みの程度は、実験 2 に比べると（特に Go 試行で）わずかに小さかった。この原因として、キーを離すという行動に付随して生じる触覚的・聴覚的感覚の変化が影響した可能性が考えられる。そこで実験 3B では、光学センサを用いて手の反応を誘発する刺激の知覚タイミングを再検討した。実験中、参加者は人差し指と親指でフェルト生地をつまみ持ち、それを上にずらすことで反応を行った。この生地は、光学デバイスの照射口とセンサの間に赤外ビームを遮断する形で位置しており、持ち上げられることでセンサが検出できるような状態となっていた。参加者は、凝視点の色が緑に変化した場合は素早くフェルト生地を持ち上げ、赤に変化した場合は反応しないことが求められた。

実験の結果、色変化のタイミングは Go/No-go 条件の方が統制条件よりも有意に遅かった。また遅延時間は Go 試行で 90 ミリ秒、No-go 試行で 57 ミリ秒で、Go 試行でも大きな遅延が見られた。Go 試行と No-go 試行間の遅延時間の差は有意でなかった。この結果から、行動に関連した感覚変化をできる限り抑えた場合には、手の反応でも眼球運動と同程度の時間の歪みが生じることが示唆された。

考 察

一連の実験の結果、行為を誘発する感覚事象のタイミングが、受動的に観察されるだけの感覚事象のタイミングよりも遅れて知覚されることが示された。また、この現象は No-go 試行で行為がキャンセルされた場合にも生じることがわかり、行為そのものではなく行為のプログラミングと密接に関連することが示唆された。これまでの研究では、自己の行為によって引き起こされた刺激事象について主に検討が行われ、行為とその効果の間で時間的な結合が生じることが示されてきた。この結合は、自身の行為が効果を引き起こしているという主観的な体験（行為主体感）によって生じると考えられていたが、本論文で示された結果はこの結論に異議を唱えるものであり、感覚事象とそれによって誘発された行為

の間でも時間的な結合が生じうることを示唆する。また今回時間的な結合が生じた状況下では、通常行為主体感は働かないと考えられるため、行為主体感を用いた時間的な結合の説明には慎重な見直しが必要であるかもしれない。

謝 辞

本研究は JSPS 科研費 JP15K17325 の助成を受けた。

関連する文献

- Buehner, M. J., & Humphreys, G. R. (2009). Causal binding of actions to their effects. *Psychological Science*, **20** (10), 1221–1228.
- Cravo, A. M., Claessens, P. M. E., & Baldo, M. V. C. (2009). Voluntary action and causality in temporal binding. *Experimental Brain Research*, **199** (1), 95–99.
- 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.
- Ebert, J. P., & Wegner, D. M. (2010). Time warp: Authorship shapes the perceived timing of actions and events. *Consciousness and cognition*, **19** (1), 481–489.
- Engbert, K., & Wohlschläger, A. (2007). Intentions and expectations in temporal binding. *Consciousness and Cognition*, **16** (2), 255–264.
- Engbert, K., Wohlschläger, A., & Haggard, P. (2008). Who is causing what? The sense of agency is relational and efferent-triggered. *Cognition*, **107** (2), 693–704.
- Engbert, K., Wohlschläger, A., Thomas, R., & Haggard, P. (2007). Agency, subjective time, and other minds. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, **33** (6), 1261.
- Haggard, P., & Clark, S. (2003). Intentional action: Conscious experience and neural prediction. *Consciousness and Cognition*, **12** (4), 695–707.
- Haggard, P., Clark, S., & Kalogeras, J. (2002). Voluntary action and conscious awareness. *Nature Neuroscience*, **5** (4), 382–385.
- Haggard, P., & Cole, J. (2007). Intention, attention and the temporal experience of action. *Consciousness and Cognition*, **16** (2), 211–220.
- Haggard, P., Martin, F., Taylor-Clarke, M., Jeannerod, M., & Franck, N. (2003). Awareness of action in schizophrenia. *Neuroreport*, **14** (7), 1081–1085.
- Haggard, P., Poonian, S., & Walsh, E. (2009). Representing the consequences of intentionally inhibited actions. *Brain Research*, **1286**, 106–113.
- Moore, J., & Haggard, P. (2008). Awareness of action: Inference and prediction. *Consciousness and Cognition*, **17** (1), 136–144.
- Moore, J. W., Lagnado, D., Deal, D. C., & Haggard, P. (2009). Feelings of control: Contingency determines experience of action. *Cognition*, **110** (2), 279–283.
- Moore, J. W., Ruge, D., Wenke, D., Rothwell, J., & Haggard, P. (2010). Disrupting the experience of control in the human brain: Pre-supplementary motor area contributes to the sense of agency. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, **277** (1693), 2503.
- Moore, J. W., Schneider, S. A., Schwingenschuh, P., Moretto, G., Bhatia, K. P., & Haggard, P. (2010). Dopaminergic medication boosts action-effect binding in Parkinson's disease. *Neuropsychologia*, **48** (4), 1125–1132.
- Moore, J. W., Turner, D. C., Corlett, P. R., Arana, F. S., Morgan, H. L., Absalom, A. R., ... & Pigott, J. S. (2011). Ketamine administration in healthy volunteers reproduces aberrant agency experiences associated with schizophrenia. *Cognitive Neuropsychiatry*, **16** (4), 364–381.
- Moore, J. W., Wegner, D. M., & Haggard, P. (2009). Modulating the sense of agency with external cues. *Consciousness and Cognition*, **18** (4), 1056–1064.
- Stetson, C., Cui, X., Montague, P. R., & Eagleman, D. M. (2006). Motor-sensory recalibration leads to an illusory reversal of action and sensation. *Neuron*, **51** (5), 651–659.
- Strother, L., House, K. A., & Obhi, S. S. (2010). Subjective agency and awareness of shared actions. *Consciousness and Cognition*, **19** (1), 12–20.
- Wenke, D., & Haggard, P. (2009). How voluntary actions modulate time perception. *Ex-*

perimental Brain Research, **196** (3), 311–318.
Yarrow, K., Haggard, P., Heal, R., Brown, P., &
Rothwell, J. C. (2001). Illusory perceptions

of space and time preserve cross-saccadic perceptual continuity. *Nature*, **414** (6861), 302–305.