

刺激と反応の間で生じる temporal binding

田中 拓海
高田 一真

東京大学大学院人文社会系研究科
沖縄科学技術大学院大学身体性認知科学ユニット

Temporal binding (TB) とは、行動と結果の時間間隔が主観的に圧縮される現象である。典型的には、行動（例：キー押し）がある刺激（例：音の提示）を引き起こした場合（オペラント条件）に、同じ行動や刺激提示が単独で生じる場合（ベースライン条件）と比べ、行動がより遅れて実行され、刺激がより早く生じたように知覚される。近年、この現象が行動と後続刺激の因果関係の知覚によって引き起こされるという仮説が注目されている。この考えに基づき、本研究では先行刺激とそれに対する反応（運動）の間でも、類似の時間的圧縮が生じると予測し、TB の代表的な測定手続きであるリベット時計課題と、恒常法による精神物理的測定を用いた2つの実験でこれを検証した。実験の結果、この効果は頑健かつ大きく、従来の TB と同等であることが示された。この知見は、因果知覚による時間圧縮の説明を支持し、「自分が結果を引き起こした」という主体感を反映するとされる TB の解釈の再考を迫るものである。

Keywords: action, time perception, temporal binding, stimulus-response association, sense of agency.

問題・目的

Temporal binding (TB) とは、行動と結果の時間間隔が主観的に圧縮される現象である (Haggard et al., 2002)。典型的な課題では、ある行動 (e.g., キー押し) によって刺激 (e.g., 音) が提示された場合 (オペラント条件)、同じ行動や刺激提示が単独で生じる場合 (ベースライン条件) と比べて、行動がより遅く、刺激提示がより早く生じたように知覚される。近年、この現象が行動と後続刺激の因果関係の知覚によって引き起こされるという仮説が支持されている (e.g., Tanaka, 2024)。この考えに基づき、本研究では先行刺激とそれに対する反応 (運動) の間でも、類似の時間的圧縮が生じると予測し、TB の代表的な測定手続きであるリベット時計課題と、恒常法による精神物理的測定を用いた2つの実験でこれを検証した。

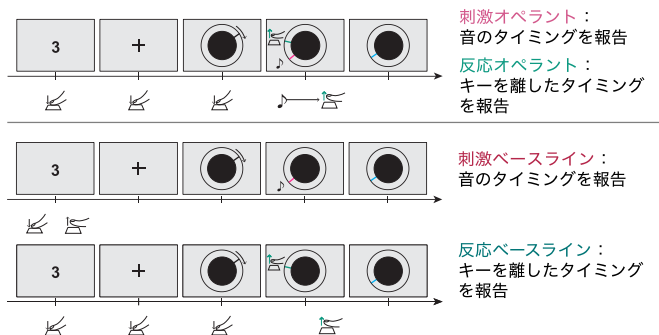
実験 1 リベット時計法

方法 50歳以下の成人40名が対面実験に参加した。2つの条件下 (ベースライン/オペラント) で、2つの対象イベントいずれか (刺激/反応) の時間推定を求める、4種類の課題を実施した (図1)。いずれの場合も、参加者が3秒間キーを押し続けることで試行が開始され、1周2560msで回転する針を持つ時計が画面中央に表示された。刺激ベースライン課題では、試行開始後ランダムなタイミングで100msの音が提示された。反応ベースライン課題では、参加者は任意のタイミングでキーを離した。刺激オペラント課題および反応オペラント課題では、ランダムなタイミングで音が提示され、参加者はその音を聞いた後、1秒以内にキーを離すことが求められた。

いずれの課題でも、対象イベント (刺激/反応) の後、1280~3840ms後に回転する針が消え、代わりに静止した針が表示された。参加者は、キー押しによ

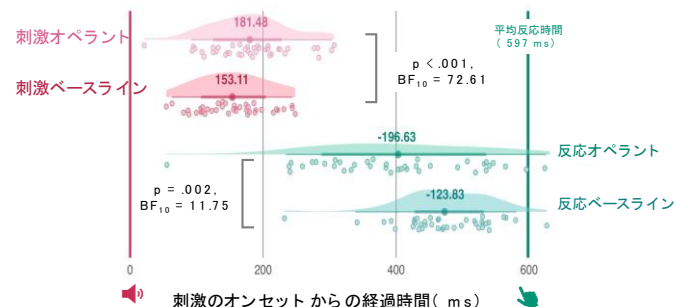
て、対象イベントの生起時点での位置まで針を動かした (時間推定の報告)。各課題について、25試行からなるセッションを2回ずつ実施した (4課題×25試行×2セッション=200試行)。

図1. 実験1の手続きの概略



結果 各課題における時間報告の結果を図2に示した。刺激提示後に行動の実行を求めたオペラント条件では、ベースライン条件に比べ、刺激提示の時間がより遅く ($T_{39} = 3.89, p < .001, d = 0.67$)、行動実行の時間がより早く知覚されており ($T_{39} = 3.17, p = .002, d = 0.45$)、時間圧縮が生じていた。

図2. 各条件における時間推定の分布



実験2 恒常法

方法 50歳以下の成人50名がブラウザ上で実験に取り組んだ。実験中、参加者はヘッドフォンまたはイヤホンを着装した。

実験では、参加者は2組のイベントのペア（ダイアド）を連続して観察した（図3）。ここで、第一ダイアド間の間隔を標準刺激とし、第二ダイアド間の間隔を比較刺激とした。参加者は標準刺激と比較刺激を比較し、どちらの間隔がより短かったかを判断した。

実験はオペラント課題とベースライン課題で構成され、参加者は必ずオペラント課題から開始し、両課題を交互に2ブロックずつ実施した。両課題とも、各試行は画面中央に数字の「1」が500 ms表示されて開始された。1000~2000 msのブランクの後、100 msの音（1000 Hzの純音）が提示された。オペラント課題とベースライン課題の唯一の違いは、第一ダイアドの二つのイベントにあった。オペラント課題では、参加者は最初の音提示後1000 ms以内にFキーを押すよう指示された。1000 ms以内にキーが押されなかった場合は、警告メッセージが表示され、次の試行に進んだ。一方、ベースライン課題では、キー押しは求められず、最初の音提示後、一定の間隔で同じ音が提示された。ベースライン課題の第N試行における第一ダイアドの間隔は、直前のオペラント課題の第N試行における、最初の音から参加者がキーを押すまでの間隔（反応時間）と同一に設定された。したがって、各試行における標準刺激の物理的な長さは、両課題で基本的に同一であった。ただし、対応するオペラント課題の試行において参加者が1秒以内にキーを押さなかった場合は、ベースライン課題の第一ダイアドの間隔は、その時点での参加者の平均反応時間に設定された。

第一ダイアドの終了から1秒後、画面中央に数字の「2」が500 ms表示され、1000~2000 msのブランクが挿入された。その後、第一ダイアドと同じ音のペアが提示された。この第二ダイアドにおける2つの音の間隔（すなわち、比較刺激）は、標準刺激の0.5倍、0.66倍、0.75倍、1倍、1.33倍、1.5倍、2倍のいずれかに設定された。音提示から1秒後、参加者は、標準刺激と比較刺激のどちらが短かったかを判断を求められた。参加者は、標準刺激が短いと判断した場合は左矢印キー、比較刺激が短いと判断した場合は右矢印キーを押して回答した。回答後1秒間のブランクを挟み、次の試行が開始された。

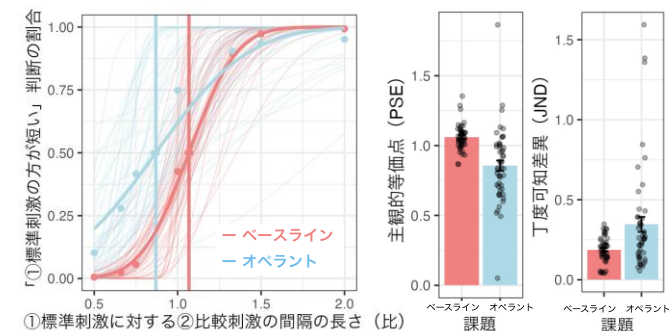
各課題セッションは49試行で構成された（標準刺激に対する比較刺激の長さの比率7水準をそれぞれ7回ずつランダムな順番で実施）。したがって、参加者は2課題×2セッション×49試行の196試行に取り組んだ。

図3. 実験2の手続きの概略



結果 課題ごとに各参加者の判断を累積正規分布関数でフィッティングした。オペラント課題における主観的等価点（PSE）の平均（0.86）は、ベースライン課題におけるPSE（1.06; $T_{49} = 5.52, p < .001, d = 0.96$ ）や物理的な等価点（1.0; $T_{49} = 3.85, p < .001, d = 0.54$ ）に比べて有意に小さかった。オペラント課題における丁度可知差異（JND）の平均（0.35）は、ベースライン課題におけるJND（0.19）と比べて有意に大きかった（ $T_{49} = 3.61, p < .001, d = 0.57$ ）。

図4. 各条件における心理物理関数とパラメータ（PSE・JND）



総合考察

本研究では因果知覚によるTBの説明に基づき、先行刺激とそれに対する反応の間でも、主観的な時間圧縮が生じると予測した。実験1では、TBの代表的な測定手続きであるリベット時計課題において、予測通り、先行刺激のタイミングが遅れて、反応のタイミングが早まって推定された。さらに、実験2では恒常法を用いて刺激と反応の時間間隔と外的な刺激同士の時間間隔を比べたところ、前者における時間圧縮が再現された。これらの効果は頑健かつ大きく、従来のTBと同等であった（Tanaka et al., 2019）。ここから、行動と結果間の因果関係（「行動したから刺激が生じた」）だけでなく、刺激と反応間の因果関係（「刺激が提示されたから行動した」）によっても主観的な時間感覚が圧縮されることが明らかになった。この知見は、因果知覚による時間圧縮の説明を支持し、自発的な運動に伴う主体感を反映するとされるTBの解釈（Haggard et al., 2002）の再考を迫るものである。

引用文献

- Haggard, P., Clark, S., & Kalogeras, J. (2002). Voluntary action and conscious awareness. *Nature Neuroscience*, 5(4), 382–385.
- Tanaka, T. (2024). Evaluating the Bayesian causal inference model of intentional binding through computational modeling. *Scientific Reports*, 14(1), 1–15.
- Tanaka, T., Matsumoto, T., Hayashi, S., Takagi, S., & Kawabata, H. (2019). What Makes Action and Outcome Temporally Close to Each Other: A Systematic Review and Meta-Analysis of Temporal Binding. *Timing & Time Perception*, 7(3), 189–21.