

VR 野球バッティング時の時間停止 および音刺激の提示幅が高次感性に及ぼす影響

山高 正烈^{1,a)} 加藤 奨^{1,†1}

概要：

スポーツに真剣に取り組む際、心理的および生理的要因によって「ゾーン体験」が引き起こされ、それに伴い時間感覚の伸縮が生じることが確認されている。この現象を逆に応用し、VR コンテンツ内で時間感覚の伸縮を疑似的に体験させた場合、高次感性知覚に何らかの影響を与える可能性はないだろうか。本研究では、VR 野球バッティング時に、ボールとバットの接触瞬間に VR 空間内の時間を任意に停止させることや、その際に音刺激を提示することが高次感性知覚にどのような影響を及ぼすかを検討した。その結果、日常生活では体験し得ない時間停止という現象において、音刺激を提示することで体験者の高次感性評価が向上すること、また、提示する音刺激の時間幅が 400 ms 以上の場合に高い高次感性評価が得られることが示唆された。

1. はじめに

人間は誰しも同じ時間の流れの中を生きているが、集中力が高まった場面や楽しく感じる状況では時間を短く感じられるなど、シチュエーションに応じて時間感覚が伸縮することがある [1]。例えば、野球のバッティング時にボールが止まって見える、いわゆる「運動準備時間延長錯覚」[2] という現象は「ゾーン体験」の一種と考えられる [3]。このような現象を逆に応用し、インタラクティブな VR コンテンツを体験するときに、時間感覚の伸縮を疑似的に体験させることで人の感情や感性に何らかの影響を与えられるだろうか。これが実現すれば、臨場感 [4]、[5] や迫真性 [6]、[7] といった VR コンテンツの演出効果をさらに向上させる手法の構築が可能になると考えられる。

本研究では、VR 体験時の臨場感や迫真性といった高次感性評価を向上させる手法の構築を目的に、VR 空間内で時間感覚の伸縮を疑似的に体験することが高次感性知覚にどのような影響を及ぼすかを調べた。また、打球音となる音刺激の有無や提示時間を制御した場合の時間感覚の伸縮様相、および、高次感性知覚への影響を検討した。具体的には、VR バッティングシミュレータを開発し、バッティング動作時のボールとバットの接触時間、および、接触時に付加する打球音の再生時間をパラメータに、これらが高次感性評価に及ぼす影響を比較・検討した。

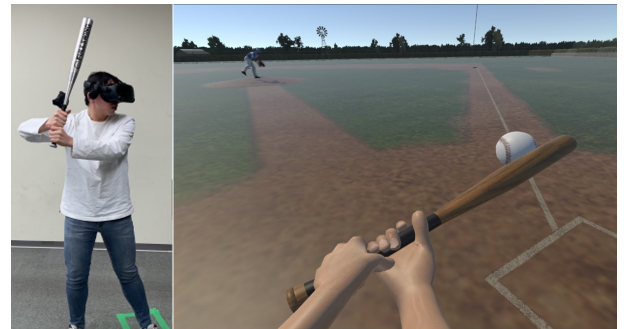


図 1 実験風景

2. 実験内容

2.1 実験環境の構築

実験風景を図 1 に示す。VR バッティングシミュレータの開発には Unity を使用し、ヘッドマウントディスプレイ (Valve Index: Valve Corporation) を通して、投手モデルと仮想のボール、バッドおよび野球場を提示した。また、実際のバッティング動作をトラッキングするために、本物の金属バットにトラッカー (HTC: VIVE Tracker 2018) を取り付け (図 2 参照)、VR バッティングの打者モデルにバッティング動作を反映させた。バットの重量は 540 g であり、トラッカーの重さは約 271 g であった。

シミュレータにおいては、実際の野球で行われるフリー打撃を参考に、Unity 上での座標 1 単位を現実の距離 1 m と設定し、球場や選手などのオブジェクトの寸法を現実 に即するものとした。特に打者モデルの寸法は、実験参加者

¹ 愛知工科大学

^{†1} 現在、名古屋市立大学

^{a)} yamataka-masahiro@aut.ac.jp

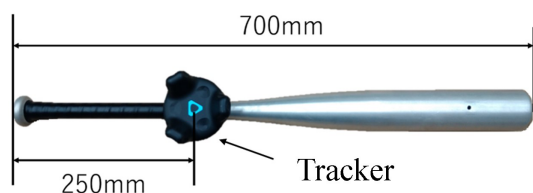


図 2 トラッカーの取り付け位置

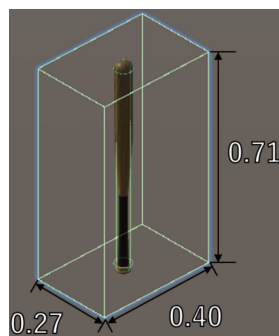


図 3 バットの当たり判定範囲 (Unity の座標単位)

の身長に合わせて変更させた。バットの当たり判定に関しては、実際の寸法通りに設定するとボールにミートすることが困難であったため、図 3 のように幅 0.40、高さ 0.71、奥行 0.27 (単位は Unity 内の座標単位) と実際より広く設定し、ボールがバットを通過しようとした場合にミートしやすくなるようにした。なお、打球はボールやバットの動作に関係なく、ボールがバットに接触した位置から一定の速度と軌道で飛び、ホームランするように設定した。

打球音は、バッティングセンターにおいて、バイノーラルマイク (Adphox Corporation: BME-200) とステレオ・オーディオレコーダー (TEAC Corporation: TASCAM DR-07X) を用いてバイノーラル録音 [8] して使用した。録音風景を図 4 に示す。録音はシミュレータと同様の 100 km/h 球速のバッターボックスを使用して行われ、バイノーラルマイクを打者の耳に挿入させ、バッティング時の一連の音空間を収録した。収録した音源は実験参加者の耳元で平均音圧レベルが 55 ± 2 dB となるように調整して提示した。シミュレータにおいては、ボールとバットが接触した際に指定した時間バットとボールのモデル動作を停止させ、同時に打球音となる音刺激を発生させた。即ち、音刺激は時間停止をせずに提示することとなる。また、現実のバッティングでは、ピッチャーから投球されたボールがバットに当たり、反対方向に飛んでいくまでにわずかな時間が生じるが、本実験ではこれを 0 s と見なし、時間操作をしないことと定義した。投球速度は 100 km/h に設定した。

2.2 実験手順

実験においては、ボールとバットが接触した際の停止時間および打球音の再生時間を実験条件として設定した。停

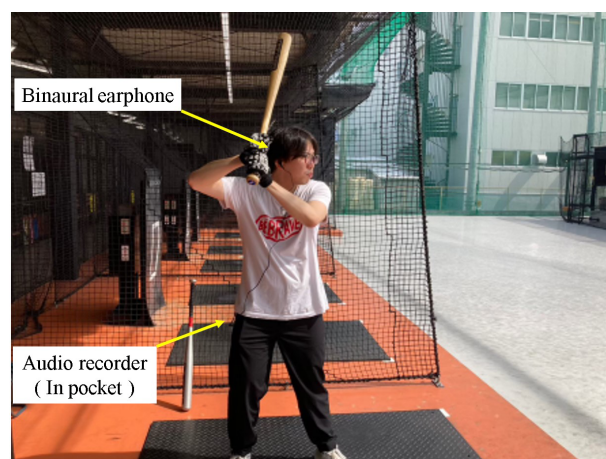


図 4 録音風景

止時間は 0 s, 0.05 s, 0.1 s, 0.2 s の 4 条件、打球音の再生時間は 0 s (音刺激なし), 0.1 s, 0.2 s, 0.4 s, 0.8 s の 5 条件であった。これら時間停止 4 条件×音刺激長 5 条件の 20 パターンを、3 回ずつ計 60 回ランダムな順に試行した。

実験参加者は、愛知工科大学の 21～25 歳の男子大学生および大学院生 10 名であった。実験参加者全員が右利きであり、そのうち 4 名が野球経験者であった。実験に先立ち、VR バッティング動作に慣れさせるため、停止時間 0 s、打球音 0 s 条件において 10 分程度の練習試行を行った。また、本実験においては 10 試行終了した時点で約 10 分間の休憩を設け、実験時間は 1 人当たり約 60 分程度であった。

実験参加者には、スイング動作ごとに臨場感と迫真性に対して、-3 (全く感じなかった) ～+3 (大きく感じた) までの 7 段階のリッカート尺度により評価を求めた。ここで臨場感とは、「あたかもその場にいるような感覚」[4], [5]、迫真性は「本物らしさ」[6], [7] と定義し、バッティングによりこれらの感覚が得られるほど評価値が高くなるように評価させた。時間の感じ方は、バットにボールが当たってから跳ね返るまでにどれぐらいの時間経過を感じたかを同じ 7 段階のリッカート尺度 (非常に短く感じた～非常に長く感じた) で評価させ、長く感じるほど評価値が高くなるように設定した。

3. 実験結果

高次感性の評価結果から各条件の平均評価値と標準誤差を算出し、図 5～図 7 に示す。図から、臨場感・迫真性ともに、ボールの停止時間に関係なく、音刺激を付加した場合の評価値が音刺激なし条件と比べて上昇していることが見て取れる。また、音刺激の長短に関係なく、全体的にボールの停止時間が 0.05 s と 0.1 s の場合に、臨場感・迫真性の評価が比較的高いことが見て取れる。この傾向は停止時間 0.05 s の場合に顕著に表れ、音刺激の提示時間が長いほど臨場感、および、迫真性評価が上昇する傾向が見られた。時間の感じ方については、ボールの停止時間に関係

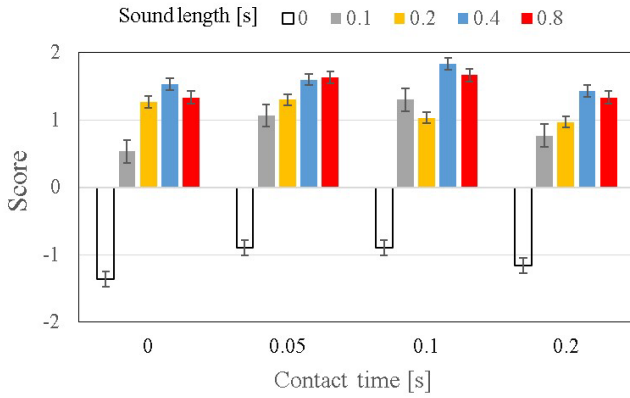


図 5 臨場感の評価結果

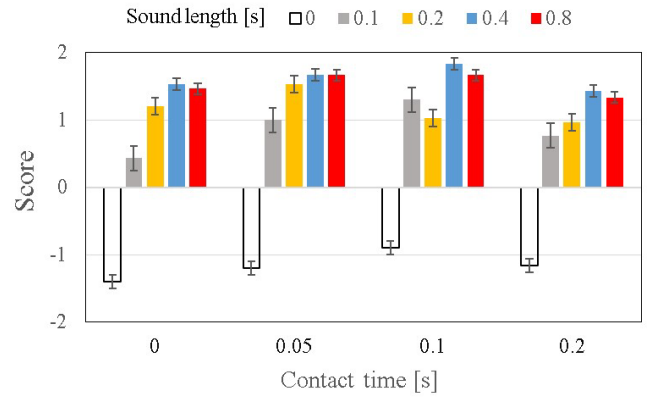


図 6 迫真性の評価結果

なく、音刺激の提示時間が長いほど時間を長く感じるが見て取れる。ただし、音刺激長が 0.4 s と 0.8 s の場合には時間の感じ方にほとんど差がなく、音刺激長 0.4 s 程度で飽和状態が見られた。

各条件の平均評価値について、時間停止条件と音刺激条件を要因とした 2 要因分散分析を実施した。その結果、臨場感評価の場合、音刺激条件の主効果 ($F(4, 199) = 50.472, p < .001$) に有意差が認められた。迫真性の場合においては、時間停止条件の主効果 ($F(3, 199) = 5.991, p < .001$) と音刺激条件の主効果 ($F(4, 199) = 51.696, p < .001$) の両方に有意差が認められた。時間の感じ方についても、時間停止条件の主効果 ($F(3, 199) = 12.989, p < .001$) と、音刺激条件の主効果 ($F(4, 199) = 4.657, p < .001$) の両条件の主効果に有意差が認められた。表 1 と表 2 に、有意差が認められた主効果について多重比較を行った結果を、時間停止条件と音刺激条件に分けて示す。

4. 考察

時間停止条件の主効果における多重比較の結果、臨場感・迫真性評価ともに各時間停止条件間に有意差が認められなかった (表 1)。このことは、ボールとバットの接触時間を 0.2 s 程度停止させても、高次感性評価が低下しないことを示唆している。この結果は、先行研究 [9], [10] において示された「ボールとバットの接触時間が 0.2 s 以上の場合に臨場感・迫真性評価が有意に低下する」との結果とは異なる。その理由として、本実験では音刺激の長さを最大 0.8 s と、先行研究よりも倍以上に長く設定したことが影響していると考えられる。音刺激が長い場合、音の持続に引きずられる形で、ボールとバットの接触時間が実際よりも短く知覚された可能性がある。一方、時間の感じ方についての多重比較の結果では、時間停止 0.2 s 条件が他のすべての条件と比較して時間を有意に長く感じるようになった。即ち、時間停止 0.2 s 条件において、時間を長く感じながらも高次感性評価は低下しないことが示された。

音刺激条件の主効果における多重比較の結果からは、音

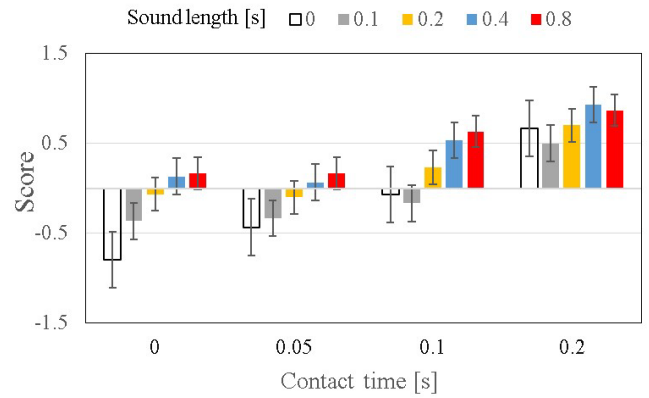


図 7 時間の感じ方

表 1 時間停止条件の多重比較の結果 (* $p < .05$)

時間停止条件 (s)	迫真性	時間の感じ方
0-0.05	—	—
0-0.1	—	—
0-0.2	—	*
0.05-0.1	—	—
0.05-0.2	—	*
0.1-0.2	—	*

表 2 音刺激条件の多重比較の結果 (* $p < .05$)

音刺激条件 (s)	臨場感	迫真性	時間の感じ方
0-0.1	*	*	—
0-0.2	*	*	—
0-0.4	*	*	*
0-0.8	*	*	*
0.1-0.2	—	*	—
0.1-0.4	*	*	—
0.1-0.8	—	*	*
0.2-0.4	—	—	—
0.2-0.8	—	—	—
0.4-0.8	—	—	—

刺激の有無による影響が明確に現れ、音刺激ありのすべての条件が、音刺激なし条件と比較して臨場感・迫真性評価

のいずれも有意に高い結果を示した（表 2）。音刺激の長さが 0.2 s 以上の場合、0.1 s 条件よりも高次感性評価が有意に高かった。このことから、提示する音刺激を 0.2 s 以上と長く設定することで、高い高次感性評価が得られる可能性が示唆される。また、音刺激の長さが 0.2 s から 0.8 s の範囲内では、条件間に有意差は認められなかったものの、0.4 s 条件では 0.2 s 条件よりも高次感性評価が若干高い傾向を示した。さらに、高次感性評価は 0.4 s 条件で最大となり、それ以上の長さでは飽和状態に達することが確認された（図 5、図 6 参照）。

一方、時間の感じ方に関する結果では、時間停止 0.4 s および 0.8 s 条件が、他のすべての時間停止条件と比較して有意に時間を長く感じた。この結果は、音刺激が単に臨場感や迫真性に影響を与えるだけでなく、体験者の時間知覚にも大きく影響することを示している。具体的には、音刺激が長く提示されることで、ボールとバットの接触時間が実際よりも長く知覚された可能性がある。特に、音刺激を 0.4 s 以上に設定することで、時間を長く感じるとともに、高い高次感性評価が得られると考えられる。この結果は、音刺激の適切な提示が、高臨場感体験の創出において重要であることを示唆している。

高い高次感性評価を得るための最適な音刺激の提示時間については、音刺激の提示長を VR 空間内の停止時間よりも長く設定することが鍵となると考えられる。例えば、図 5 および図 6 では、停止時間が 0.2 s であるにもかかわらず、音刺激を 0.4 s またはそれ以上に設定した条件で最も高い評価が得られている。この結果は、停止時間より短い音刺激では高次感性評価が十分に得られない可能性を示唆している。音刺激長が停止時間を超えることで効果が増大する理由として、音刺激が停止時間中の動作に対する知覚を補強する役割を果たしていることが考えられる。具体的には、音刺激が長く続くことで、バットとボールの接触時間や動作の持続性がよりリアルに感じられるとともに、体験者の注意や感情を引きつける効果が生じると推測される。特に、停止時間が短い場合（0.05 s や 0.1 s 条件）にはこの効果が顕著であり、音刺激が体験者の感性に与える影響の強さを示しているといえる。

5. まとめ

本研究の結果、音刺激の提示が臨場感および迫真性の向上に大きく寄与していることが明らかとなった。特に、音刺激長が 0.2 s 以上の場合に評価が顕著に向上しており、0.4 s 付近で最大値に達した。即ち、VR コンテンツにおいて高い臨場感や迫真性を得るためには、音刺激の提示長を停止時間よりも長く設定することが重要であり、提示長 0.4 s 以上が最適な設定である可能性が示された。しかしながら、音刺激が極端に長すぎる場合には、違和感や非現実感を引き起こすリスクも考えられ、停止時間に応じて提示

長を調整することが重要であると言えよう。

さらに、音刺激長が 0.4 s および 0.8 s の条件で時間を有意に長く感じる傾向が確認された。これらの結果は、音刺激が高次感性評価に影響を与えるだけでなく、時間知覚を「伸ばす」作用を持つことを示している。この「時間の伸縮」は、臨場感や迫真性の向上にも寄与している可能性が高く、今後更なる検討を進めていきたいと考えている。

参考文献

- [1] Dan Zakay and Richard A. Block: *Temporal Congnition*, Current Sirection in Phychological Science, Vol.6, No.1, pp.1216 (1997).
- [2] Nobuhiro Hagura, Ryota Kanai, Guido Orgs and Patrick Haggard: *Ready steady slow: action preparation slows the subjective passage of time*, Proceedings of the Royal Society B, No.279, pp.4399-4406 (2012).
- [3] 田山忠行：時間知覚のモデルと時間評価のモデル，心理学評論，Vol.30, No.4, pp.423-451 (1987).
- [4] Y. Suzuki, T. Okamoto, J. Trevino, Z. Cui, Y. Iwaya, S. Sakamoto and M. Otani: *3D spatial sound systems compatible with human's active listening to realize rich high-level kansei information*, Interdisciplinary Information Sciences Journal, Vol.18, No.2, pp.71-82 (2012).
- [5] Zhenglie Cui, Shuichi Sakamoto, Jiro Gyoba and Yoiti Suzuki: *Influence of visual depth and vibration on the high-level perception of reality in 3D contents*, Journal of Information Hiding and Multimedia Signal Processing, Vol.8, No.6, pp.1382-1391 (2017).
- [6] 寺本渉, 吉田和博, 浅井暢子, 日高聡太, 行場次朗, 鈴木陽一：「迫真性」を規定する時空間情報，日本バーチャルリアリティ学会論文誌，Vol.15, No.5, pp. 483486, 2010.
- [7] 崔正烈, 柳生寛幸, 坂本修一, 鈴木陽一, 行場次朗：多感覚コンテンツの音情報から生成した床振動の高次感性促進効果，情報処理学会論文誌，Vol.59, No.11, pp.1—9 (2018).
- [8] H. Mller: *Fundamentals of Binaural Tec.*, Applied Acoustics, No.36, pp.171-218 (1992).
- [9] 山高正烈：VR 野球スイング時の接触時間および聴覚刺激の提示が高次感性に及ぼす影響，映像情報メディア学会ヒューマンインフォメーション研究会，Vol.48, No.7, HI2024-2, pp.6-9 (2024).
- [10] 白井将太, 山高正烈：VR 野球スイング時の接触時間操作による臨場感・迫真性向上の試み，第 27 回一般社団法人情報処理学会シンポジウム INTERACTION2023, 1A-02 (2023).