

振動によるゲーム体験向上の仕組みの調査

伊原 泰孝^{1,†1} 水口 充¹

概要: 振動は簡便な力覚呈示手法として広く普及している。ビデオゲームにおいても振動機能を有するコントローラが一般的となり多くのゲームで活用されている。しかしながら振動がどのように有効であるかを調査した研究は見当たらない。本研究は、映像内で表現される刺激とは異なっていても振動が有効である理由として表象に着目し、振動呈示がゲーム体験を向上させる仕組みについて調査した。その結果、プレイヤーは振動から広い範囲の事象を表象可能であり、視聴覚的な表現やゲーム状況から意味づけして解釈し、手応え、達成感、爽快感といった感覚を強化していることが分かった。この結果は振動機能の利用においては必ずしも写実的である必要はないことを示している。

1. はじめに

様々なエンタテインメントコンテンツが発展をしながら日々生み出され続けている。これらは鮮やかな映像や現実さながらの音響表現などに支えられ、ユーザを楽しませている。ビデオゲームにおいても映像の高解像度化に加えマシンスペックの向上により、草木や雲、煙、水のようなものも現実に近い表現が可能となった。音に関しても PlayStation 5 の Tempest 3D オーディオ [1] をはじめとした立体的な音響表現が可能となった。

映像・音響以外の表現方法としてコントローラ^{*1}による振動があり、触覚フィードバックとして多様なゲーム作品やバーチャルリアリティコンテンツなどで利用されている。

コントローラにおける初期の振動機能は単純な振動を呈示するものであった。それでも振動による体験は新しさを感じさせ、ゲームにおける振動の利用も色々と模索された。現行機では Nintendo Switch の HD 振動 [2] や PlayStation 5 のハプティックフィードバック [1] のようにきめ細かな振動を表現できるようになっている。振動機能は登場以来継続的に使用されており、目新しいだけの時期を過ぎた今も進化しつつ受け入れられている。

しかし、振動機能がどのように楽しいと感じられているかについて調査した研究は見当たらない。そこで本研究では振動機能がゲームにおけるエンタテインメント性の向上

に寄与する仕組みについて分析し考察する。振動とエンタテインメント性の関係性を考える上で、表象が重要な役割を持つものとして着目した。表象とは、心理学においては論者により解釈が様々あるが、ある事物や事象に対する心的内容、あるいは意識内容のことである。振動においても表象によってエンタテインメント性が向上するのではないかとこの仮説のもと検証を行った。

2. 振動呈示の背景

2.1 ビデオゲームでの振動機構

現在、安価な互換品を除いて多くの PC、コンソール機、VR ヘッドセット向けのコントローラには振動機能が搭載されている。

ビデオゲームにおける振動機能はアーケードゲームへの採用から始まった。振動そのものではないが、セガによるスペースハリアー (1985 年)、アウトラン (1986 年)、アフターバーナー (1989 年) は筐体全体が動く機構を採用しており、プレイヤーは揺れ動きを感じることができた [3]。タイトーにより 1986 年に発表され 1987 年から稼働開始したダライアスの振動機能はボディソニックの一種であり、BGM に合わせたボディソニック用の信号に応じてシートが振動する仕組みであった [4]。

コンソール機 (家庭用ゲーム専用機) では 1997 年に、Nintendo 64 向けにはコントローラのアタッチメントである「振動パック」、PlayStation 向けには大小 2 種類のバイブレータを搭載したコントローラ DUALSHOCK がそれぞれ発売された。以降、携帯機を含む多くのコンソール機に振動機能が搭載されていった。当時の振動機能では、モータに半月状の錘を装着して回転させる偏心モータを

¹ 京都産業大学大学院先端情報学研究所

^{†1} 現在、株式会社エイジェックスデジタルストラテジーズ
本論文において、第一著者は研究全般の遂行および論文の原案の執筆を担当し、第二著者は研究計画に対する助言、実験結果の分析と考察の整理、論文の再構成を担当した。

^{*1} 最近ではパッドと呼ばれるようになってきたが、振動機能を有する操作デバイスを総称して本稿ではコントローラと表記する。

使用していた。この仕組みは安価で強い振動を発生できるが、応答速度が遅く多様な強度の振動呈示を行うことが難しい [5]。人間の触覚における空間分解能は 1.5mm 程であるのに対し、時間分解能は振幅 $1\mu\text{m}$ 以下の刺激を 10ms 程度まで知覚することができる [6]。一方、偏心モータは応答時間が 80ms 程度であるためラグを感じやすい。

現行機では、電磁石で錘を動かし板バネで振動を増幅するリニア共振アクチュエータを使って、高速かつ多様な強度の振動呈示を実現している。市販品にはまだ使用されていない技術としては、圧電素子に電圧を印加すると微小振動が生じることを利用したピエゾアクチュエータや、圧電セラミックスを極薄化することで反応速度や振動強度を維持しながら柔軟性を持たせたフィルム状振動デバイス [7] などが、さらに振動機能は高精細化することが期待される。

2.2 ビデオゲームにおける振動の利用方法

現在では多くのゲームで振動呈示が利用されているが、振動を利用する目的で整理すると実利的刺激と装飾的刺激的の 2 種類に分類できると考えた。

実利的刺激はゲームプレイの状況を伝えプレイヤーの意志決定に影響する利用方法である。例えばゲーム内で射撃を行うゲームにおいて銃が弾詰まりを起こした場合、トリガーを引いた際に振動を与えてロックされたように感じさせることで、プレイヤーは振動を通じて異常状態が発生していることを認識することができる。他には、目標地点やアイテムに近づいたときに振動するようなナビゲーションなどが挙げられる。

装飾的刺激はゲーム内の世界の理解を支援したり没入感を強化する利用方法である。例えばプレイヤーキャラクターが歩いた際に床から受ける振動、建物が揺れている際の振動、砂嵐を感じさせる振動などである。あるいはゲーム内の物体を押した時に受ける反力を振動で感じさせるようなハプティックフィードバックも装飾的刺激的の一種と言える。

これら以外にも、例えば振動を動力源とするなどの用途もあるが、本稿の議論の範囲外であるため考慮しないことにする。

振動刺激はこれら 2 種類のどちらか一方に属するというわけではなく、両方の役割を同時に異なる程度で担っていることも多い。実利的刺激であっても装飾的に違和感の無い方が好ましいし、装飾的的刺激であってもプレイにおいて何らかの有益な情報となり得る。例えばプレイヤーキャラクターが銃撃を受けたときに呈示する振動は、受けた衝撃を装飾的に表現していると同時に、ダメージを受けて不利な状況になったことをプレイヤーに認識させる役割も持っている。

2.3 振動による触覚インタラクション

振動を利用した触覚に関する研究は多数存在するが、こ

こでは本研究に関連の深いものとして、誇張表現に基づいた触覚インタラクションを扱った蜂須の研究 [8] に触れたい。

蜂須は、幅広い表現や明瞭さが重要であるエンタテインメント等での触覚インタラクションの応用において、漫画やアニメーションで用いられる誇張表現の概念を触覚インタラクションの設計・開発に適用することを考えた。誇張表現に基づいた触覚インタラクションの実感性を向上させるための要件を明らかにし、8つの事例を代替モデル、変調モデル、重畳モデルの3つの論理モデルに分類した。代替モデルは本来受けるはずの感覚を別のものに置き換えるものである。変調モデルは刺激を加えて受け取る感覚を増幅させるものである。重畳モデルは現実にはない感覚を組み合わせるものである。それぞれのモデルにおいて実感性を向上する尺度として、代替モデルでは本来の感覚に取って代わるような安定した刺激呈示を行う信頼性、変調モデルでは遅延の無さなしいは遅延の利用と断続的な刺激呈示により対象の性状を把握する時間設計性、重畳モデルでは本来組み合わせられない感覚の乖離度である非類似性であるとした。

蜂須の研究では触覚インタラクションがエンタテインメント性を向上する仕組みは扱っていないが、触覚刺激の効果の分類は振動刺激の利用方法を分析する上で参考になる。

3. 情動と表象

コントローラによる振動呈示がどのようにエンタテインメント性を向上させるか、つまり、どのような仕組みで情動に寄与するかを考察するに当たって、哲学・心理学分野における諸説を整理しておく。

3.1 ジェームズ＝ランゲ説とソマティックマーカ仮説

デカルトによると、情動とは「外感」「内感」「情念」という3要素からなる短期的に生じる感情のことである。外感とは外的物体についての知覚、内感とは身体についての知覚、情念とは自身の身体保持のためにどのような促しを受けているかという状態を示す [9]。

現代情動論の出発点として挙げられるのはジェームズ＝ランゲ説である。ジェームズ＝ランゲ説において、情動とは身体に生じる変化の知覚のことであるとし、この主観的経験を「感じ」と定義している。悲しいから泣くのではなく、泣くから悲しいという理論である。なお、「泣くから悲しい」のジェームズ＝ランゲ説とは反対に、「悲しいから泣く」という立場をとるキャノン＝バード説がある。また、これらを仲裁する立場として、吊り橋実験で知られるシャクター＝シンガーが提唱した二要因説がある。二要因説では身体的反応をもとに情動が生じる一方で、身体的反応が起きた理由を無意識的に推測するプロセスが存在している。ジェームズ＝ランゲ説を支持する実験として、表

情フィードバック仮説に基づいた研究がある [10]. これはペンを特定の向きで咥えさせ、口の形を「ウ」や「イ」といった形に変えることで、強制的に表情を作らせて漫画の面白さを評価させる実験であった。被験者に笑顔に近い表情をさせるようにペンを咥えさせると漫画を面白く感じるという結果となった。

ジェームズ＝ランゲ説では、情動と身体における「感じ」を同一視するものであったが、脳科学者であるダマシオは身体における「感じ」を重視しつつも同一視まではしない理論を提唱している。脳の前頭前野に損傷を受けた患者に情動の低下と意思決定障害が認められたことからソマティックマーカ仮説を立てた。何らかの身体的 (ソマティック) 反応が対象に対して正負の評価を印づける (マーカー) ことからソマティックマーカと呼ぶ。ダマシオによると、情動とはソマティックマーカの「感じ」であるとしている。ソマティックマーカは意識的に「感じ」を伴い情動として表出するものもあれば、非意識的で「感じ」を伴わない情動もあり得るとしている。ダマシオのソマティックマーカ仮説は、身体的反応は身体における「感じ」に加え反応を起こした外的対象を価値付ける信号としての役割もあると主張する点でジェームズ＝ランゲ説を補強している。デカルト的に言えば、ジェームズ＝ランゲ説は内感だけであったが、ソマティックマーカ仮説はそれに加えて情念を加えたものに相当する。

3.2 プリンツの身体性評価説

プリンツの理論はダマシオの説を継承し発展させたモデルである [11]. プリンツによると、情動は身体性の評価と感情価マーカーという 2 つの要素で構成された知覚の一種であり、情動は心的表象であるとしている。まずは身体性の評価について述べる。これまで紹介した説を情動の知覚説とすると、一方で情動の認知説というものがある。文字通り情動に認知が必要か否かという議論において、ザイアンスとラザルスはそれぞれ非認知説とそれに対する反論を行った。認知説においては 3 つの仮説が存在する。1 つ目は、情動には概念が必要であるという概念化仮説である。2 つ目は、情動に含まれる認知的要素は身体から切り離され独立しているという非身体性仮説である。3 つ目は、情動には有機体の福利に関わる、有機体と環境との関係の表象が含まれる評価仮説というものである。

プリンツはザイアンスの主張に基本的には従い、概念化仮説と非身体性仮説を否定したが、評価仮説については支持の立場を示した。この評価仮説とダマシオの理論を併せ持ったのがプリンツの身体性の評価であると言える。ここでプリンツは情動が表象するのは何かという点について、ダマシオの理論における曖昧さを取り除いた。情動が表象するのは (身体的反応を記録してはいるものの) 身体的状態ではなく、外的対象が自身に対して有する価値的性質で

あるとした。プリンツは外敵対象の価値的性質のことを、情動の認知説に立つラザルスの用語の「中核的關係主題」であると述べ、情動は中核的關係主題を表象すると提唱した。

また、表象をする対象として個別的对象と形式的対象に分類した。個別的对象とは情動を誘発した事物そのものを指し、形式的対象とは情動を誘発するに至る性質のことである。例えば戦争のゲームにおいて眼前に戦車が鎮座していると、これは個別的对象となる。次に自身が歩兵であれば「危機的な状態」であるし、さらに対戦車兵器を有していれば「敵を撃破できる状態」となるが、これを形式的対象という。中核的關係主題は形式的対象に対応する。また、情動は中核的關係主題に対応するための身体変化を記録することで、中核的關係主題を明確に記述することなく対象を表象することができるとしている。これは、例えば我々が犬を認識する状況を仮定すると、犬ゲノムのような実質的な特徴で認識しているのではなく、外見的特徴をもって認識する。このように、我々は特定の知覚によって特定の身体的反応を生じる仕組みを持っており、この身体的反応は知覚した事物と自身の関係に関する情報を持っていることになる。故に情動は身体的反応を記録し、中核的關係主題を表象するのである。

プリンツは情動を構成するには身体性の評価に加え、感情価も含まれるとしている。感情価とは情動を正か負かに分ける概念である。感情価の理論としては 4 つの説で構成されているが、プリンツが特に有力であると支持している説としてグレイによる学習理論に基づく説がある。学習理論における強化子は、有機体が示す反応の確率を向上させる正の強化子と下げる負の強化子というものを指しているが、情動は強化子と結びついており、行動接近系と行動抑制系で構成されるとしている。グレイはこの理論の例として正の情動は接近行動を促し、負の情動は抑制行動を促すとしているが、それに対しプリンツは負の情動に相当する怒りは時に接近行動を示すことを例に反論している。そこでプリンツは感情価を強化子と同一視することを提案している。学習理論において強化子は報酬と罰として働く外的刺激が想定されているが、生得的に決定される以外に古典的条件づけでも学習することができる。つまり、何でも正あるいは負の強化子となり得るのである。このことから、多様な形態を取り得る強化子を追跡し、どの外的刺激が報酬でどれが罰であるかをラベリングするものが感情価であるとしている。情動の感情価による正負は、正の内的強化子による「これを増やせ」という指令と、負の内的強化子による「これを減らせ」という指令によって、将来の対象となる事物に対して反応する確率に影響するマーカーとして役割を果たす。またプリンツは、感情価そのものは「感じ」を持たないとしている。

3.3 エンタテインメントにおける表象

エンタテインメントは情動を引き起こす、つまり感情を揺さぶることによって鑑賞者・体験者に快をもたらすものである。しかしそのための仕掛けは多種多様である。我々が様々なものを楽しめる仕組みにおいて表象、つまり心の中のイメージの役割が重要である。

戸田山は、犬を見て怖いと感じる現象をプリンツの身体性評価説を元に、外的対象の知覚（犬を見る）により、心拍の上昇や発汗といった身体状態を知覚し、自身に迫る脅威を感じて逃げるといった行動を促す、過程で説明している [12]。また、人は多様なものから恐怖を表象することができるとしている。ホラーを楽しめる理由としては、恐怖における身体的反応とその時の「感じ」が常に不快を伴うものではなく快感をもたらすこともあるからであるとしているが、説明としては不完全である。

感情の動きそのものが快であることに関しては、デカルトは、「もっとも、一般的に見て、魂というものは、自分が主人公であるという条件のもとでは、たとえどのような本性のものであれ、自分の内部で情念 (passions) が激しく揺り動かされるのを感じることを、楽しむものなのです」と述べている [13]。プリンツはスカイダイビングを例に「情動の相反過程」を使って説明している。情動の相反過程とは、特定の情動が表出した場合、その反動で反対の情動が表出されるというものである [14]。さらに、人の表象能力の高さからすると、恐怖を感じている状態であっても、その先の助かったというような平穏な状態を想像することができるので、安心して恐怖を楽しむことができるとも考えられる。

このように、エンタテインメントにおいて、楽しませるための手法が多様にあり、ネガティブな感情までも対象とできることには表象の役割が大きい。

表象においては経験が重要と考えられる。まったく未知の対象物に対して何かを想像することは難しい。人は過去に見たものや体験したことから表象する。ホラー映画やゲームの描写において、派手なスプラッタよりも爪が剥がれるシーンのような身近なシーンを怖がるのが例として挙げられる。

3.4 振動と表象

ビデオゲームにおいて振動機能が登場した初期の頃は、プレイヤーは振動すること自体が新しい体験として純粋に楽しむことができたかもしれない。しかし振動に慣れてくると、振動そのものだけではエンタテインメント性を持たない。また装飾的刺激においても、現状のコントローラによる振動機能はゲーム内で感じられるであろう振動を再現するほどの表現力を持たない。それでも振動機能が使われエンタテインメント性の向上に寄与しているのは、人は表象することができるからである。

例えばFPS(First-Person Shooter)のような銃で撃ち合うゲームを考えてみよう。プレイヤーが銃を撃っているときに振動することは、実際に振動を感じるのは手先に限定されるとは言え、リアリティは高い。一方で敵の銃撃を脚に受けたときに手先が振動することはリアルとは言い難い。それでも多くのプレイヤーが振動を楽しめる理由として二つの表象の効果が考えられる。

一つは、画面上で起きていることは現実とは乖離していると分かった上で拡大解釈できるからである。あくまでゲームはリアリティとしては不完全であると認識している、さらには現状のゲーム機では手先にしか振動を感じさせられないことを理解しているので、感じた振動は本来は身体全体で感じるべきものだと納得している。

もう一つは、手先への振動刺激を手がかりに様々な刺激を想起できるからである。映像や音で身体全体への衝撃を理解した状態で手先に振動を感じれば、身体全体に受けた衝撃の代表として手先への振動を感じたと解釈できる。さらには痛みや熱さといった振動とは異なる刺激すら想起することもできる。

実利的刺激においても、プレイヤーはゲーム経験に基づき、振動が何らかのプレイ上有益な情報を伝えようとしていると感じ取ることができる。さらに、多くのゲームではゲーム内の表現に合わせて装飾的刺激としても使用されることが多い。例えば、鍵を解除した、宝箱を開いた、敵を撃破した、といったシーンにおいて使われる振動が挙げられる。ギミックを解いて速くの扉が開いたり、撃破した敵が離れた場所にいるような場合、本来振動を感じるのはプレイヤーキャラクタ自身ではないはずなのに特に気にせず楽しんでいるのは、これまでのゲームプレイを通じて「そういうものだ」と解釈できるからであろう。

一方で、未経験ないしは経験の少ない振動に対しては効果的に表象することができないと予想できる。我々が行った、自動車運転時のシフトの操作感を聴覚刺激で拡張する実験では、自動車の運転経験が無く、自動車に興味が無い実験協力者では効果が薄かった [15]。同様に、コントローラでのビデオゲーム体験の無いプレイヤーにとっては、ゲーム内シーンとの乖離の大きい振動は表現の意図を認識しにくいだろう。

4. 実験

4.1 実験の目的

振動呈示によるエンタテインメント性と表象の関係を分析する実験を行った。

実験では操作が簡単なものとして、固定砲台型の自機から目標となる敵戦車を狙って砲撃するゲームを作成して使用した。図1はゲーム画面である。手前側左下から画面中央に伸びている砲身は自機、矢印を付した3台の戦車が目標である。

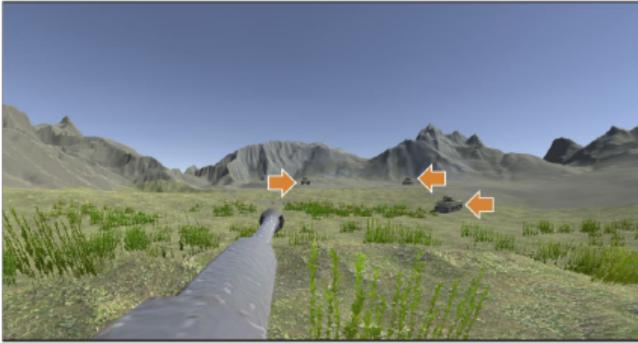


図 1 ゲーム画面. 橙色の矢印は説明のために付したもので、実際のゲーム画面では表示されない。

このゲームでの振動の利用として、発射時、着弾時、撃破時を想定した。目標が十分に離れているならば、リアリティの高い振動のタイミングは発射時であり、着弾時および撃破時は現実的ではないはずである。しかし着弾時および撃破時であっても振動が何を表現しているかを表象可能と予想できる。また、撃破時の振動は実利的刺激の要素が高く、達成感を強調すると予想できる。

この実験で調査したい項目 (Research Question) は次のようになる。

RQ1 振動とエンタテインメント性の関係。つまり、振動はどのように楽しめるのか？

RQ2 振動と表象の関係。振動に対する理由付けは必要か？振動は写実性を必要とするか？

このために、2つの条件を比較する5種類の実験を実施した。表1は実験毎の条件をまとめたものである。表中、発射時振動は自機が発射したタイミングでの振動、着弾時振動は発射した弾が目標に命中、あるいは外れて地面等に落下(失中)したタイミングでの振動、失中表示は弾が外れたときの爆発表示であり(図2右)、○は有り、－は無しを表している。なお、いずれの条件でも命中時は目標が撃破されたことを表す表示を行った(図2左)。

表 1 実験条件.

実験番号	発射時振動	着弾時振動		失中表示
		命中時	失中時	
実験 1	－	○	－	－
	－	－	－	－
実験 2	－	○	○	－
	－	○	○	○
実験 3	－	○	○	○
	－	－	－	○
実験 4	－	○	－	○
	－	○	○	○
実験 5	○	－	－	○
	－	○	○	○

4.1.1 実験 1

この実験では命中時の振動の有無を比較し、振動による達成感の強調によってエンタテインメント性を向上させる



図 2 着弾時エフェクト. 橙色の線より左: 目標命中時, 右: 失中時アニメーション.

か、振動の有無による違和感の違いがあるか、を調べた。多くのゲームで攻撃が効果的であったときに振動を呈示している。命中時の振動はプレイヤーに当たったことを強調して伝える、実利的刺激の意味合いの強い使用方法と考えられる。一方で、目標が受けた衝撃は本来は自機が感じる振動ではないので違和感が生じる可能性もある。

4.1.2 実験 2

この実験では失中時の爆発表示の有無を比較し、振動を感じる理由付けの必要性を調べた。

この実験では命中時・失中時共に振動するので、実験1と比べると実利的刺激よりも装飾的刺激の意味合いが強くなる。このため、振動からゲーム内で起きていることを表象するには失中したことを理解する手がかりが必要であると予想した。

4.1.3 実験 3

この実験では着弾時の振動の有無を比較した。また、失中時の爆発表示は共に有りとした。

実験3は振動の有無を比較するので実験1の補足的な位置づけとなるが、失中時にも振動することで、実利的刺激と装飾的刺激の両方の効果を総合して評価した。

4.1.4 実験 4

この実験では両方の条件で命中時に振動する一方で失中時の振動の有無を比較し、実利的刺激と装飾的刺激のどちらの効果が優勢であるかを調べた。

4.1.5 実験 5

この実験では振動を呈示するタイミングを、発射時と着弾時とで比較した。プレイヤーが自機に乗っていると認識していれば発射時に振動する方がリアリティが高いが実利的刺激としての効果は弱くなる。実験4と同様に実利的刺激と装飾的刺激のどちらの効果が優勢であるかを調べた実験である。

4.2 実験方法

図1に示したゲームをUnityとC#で実装した。操作はXboxコントローラを使用した。

1つのステージで敵戦車は3台出現する。出現位置は固定で、左右及び距離がそれぞれ異なる。攻撃は自機のみが可能で、敵は攻撃してこない。自機は固定砲台とし、移動はできないが砲の向きと仰俯角を左スティックで調整可能

とした。右トリガーボタンで砲弾を発射し、敵戦車に命中すると、命中部位に関わらず撃破できる。目標に当たらなかった場合(失中)は、砲弾が地面と接触した地点を着弾位置とした。なお、実験協力者にある程度失中してもらうために、多くのFPSやTPS(Third-Person Shooter)で着弾位置の目安として表示されているレティクル(照準)は表示しなかった。また、当たるまで連射することを防ぐため、一度砲撃すると3秒間は次の砲撃が行えないようにした。

振動呈示にはUnityのInputSystemsライブラリを通じてXboxコントローラの振動機能を用いた。Xboxコントローラの振動機能は偏心モータを使用したものである。様々なゲームの振動を参考に、振動の強度はSetMotorSpeedメソッドの引数で0.5(コントローラの最大強度のおおよそ半分)とし、呈示時間は0.2secとした。

命中および失中時の画面内の表現は図2に示したとおりで、実験の条件に応じて表示・非表示を設定した。また、効果音としては砲撃音、命中音、失中音、装填音(弾薬を入れる音と砲閉鎖機を閉める音)を使用した。装填音は砲撃が可能になったことを実験協力者に伝える合図の役割を持つ。

このゲームを使用して、実験協力者には各実験の各条件ごとに3ステージずつ連続でプレイしてもらった。実験毎に、両条件でプレイした後、アンケートに回答してもらった。アンケート項目を表2に示す。条件間を比較する質問では7件法、それ以外では5件法とした(表中の段階の項目)。

実験1と実験5において、振動は何を表していると感じたかを選択式で回答してもらった。選択肢は、何らかの爆発、車体の爆発、砲弾の爆発、爆風、誘爆、砲弾が鉄板に衝突した衝撃、砲弾が排出された感覚、火薬の爆発、撃鉄の衝撃、その他、とし、その他を選択した場合は具体的に記述してもらった。実験3の振動の有無はどちらが好みかという質問については理由を記述してもらった。さらに、各実験ごとにアンケートの回答の補足を自由記述で記入してもらった。

4.3 実験手順

実験協力者にはゲーム内容および操作方法を説明し、同意書に署名してもらった。

前述の5種類の実験を順に実施した。各実験における条件ごとに3ステージずつプレイしてもらった。1つめの条件でのプレイ終了後は実験協力者が満足するまで休憩を入れた。2つめの条件でのプレイが終わった後、アンケートに回答してもらい、休憩を入れた。

実験2では先に土煙(失中時の表示)を見せると事前知識となってしまうため、また実験3では振動に慣れた状態で振動呈示を無くした際の影響を調べたいため、条件の順序を固定とした。実験1, 4, 5では実験協力者ごとに条件

の順序をランダムとした。

実験協力者は20代の学生10名であった。

4.4 結果

各実験ごとのアンケート結果は表2のとおりである。実験協力者ごとの回答は7件法の質問項目では-3~3, 5件法の質問項目では-2~2の整数値で記載している(いずれも0は「どちらともいえない/分からない」を表す回答である)。1標本両側t検定を行い有意水準0.01および0.05で有意差が認められる項目にそれぞれ**および*を右端のカラムに付している。実験1の経験を問う質問については検定の対象外として-を付している。

表3, 表4, 表5は、実験1と実験5において振動が何を表しているか、という質問に対する回答である。表6は実験3において振動の好みの理由に対する回答である。なお、実験3では実験協力者の全員が振動ありを楽しく好みであると回答したため、これらの理由はすべて振動を好む理由となっている。

5. 考察

5.1 RQ1:振動とエンタテインメント性について

振動ありとなしの条件で比較している実験は1と3である。いずれの実験のアンケートにおいても、振動あり条件の方が楽しまれ好まれていることがわかる。振動を好む理由としては、当たった際の手応え、達成感、爽快感が挙げられている(表6)。

一方で、実験4では失中時の振動呈示の有無を比較したが、命中時の達成感とリアリティのどちらも有意差は認められなかった。さらに、実験協力者2と3以外は「違いが分からなかった」と回答していた。連続して実験を行ったため馴れてしまったという可能性もあるが、実体験としても振動に馴れてしまうどのような状況で振動しているのか気にならなくなる。一方で、振動がまったく無いと物足りないと感じることはアンケート結果からも読み取れる。

また実験3においては有意差は認められなかったものの、振動呈示が無い時は砲弾を軽く感じたという回答した実験協力者は半数以上いた。実験1で実験協力者1は振動呈示ありの条件で「音も大きくなった」と口頭で回答した。つまり、振動呈示は、装飾的・刺激的刺激において何かを具体的に表現、あるいは実利的刺激においてゲーム内の状況を直接的に表現するものでなくても、プレイヤーは視聴覚による表現や自身が理解しているゲーム状況に合わせて振動刺激を意味づけして解釈し、結果として手応え、達成感、爽快感といった感覚を強化する可能性がある。

5.2 RQ2:振動と表象の関係について

実験2では失中時のアニメーション表現(土煙)の有無を比較して、失中時の振動呈示の理由の必要性を調査した。

表 2 アンケート項目および結果.

	質問項目	段階	評価値 正-負	実験協力者番号										
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
実験 1	命中時の手応え (条件間で比較)	7	振動あり-振動なし	3	3	3	3	3	3	2	3	3	3	**
	命中時の違和感 (条件間で比較)	7	振動あり-振動なし	0	0	0	-1	-3	0	-1	0	-1	-2	*
	振動によって当たった喜びは強くなったか	5	強い-全くない	1	2	1	1	1	2	1	2	2	1	**
	振動非呈示の違和感	5	あり-全くない	-1	-1	2	-1	2	0	0	-2	1	1	
	振動によって臨場感は得られたか	5	得た-全くない	0	1	2	1	2	2	1	2	2	2	**
	射撃や砲撃に類するゲーム経験	5	あり-全くない	2	-2	-1	-2	1	2	2	1	1	2	-
	射撃や砲撃の実実での経験 (見学等を含む)	5	あり-全くない	1	-2	-2	-1	-2	2	0	-2	-2	-2	-
実験 2	振動をいつ感じたか (射撃時から着弾時まで)	7	射撃時-着弾時	-1	-3	-2	-3	-3	-3	-2	-3	2	-3	**
	振動により失中時の残念な感じは強調されたか	5	された-全くない	0	-1	0	-2	-2	1	-2	1	-2	1	*
	振動によって臨場感は得られたか	5	得た-全くない	2	1	1	-1	1	2	1	-1	1	2	
	土煙が発生していない時に違和感を感じたか	5	感じた-全くない	1	2	2	-2	-1	0	-2	1	0	2	
実験 3	どちらが楽しいと感じたか (条件間で比較)	7	振動あり-振動なし	2	3	3	3	3	3	2	3	3	3	**
	どちらが好みか (条件間で比較)	7	振動あり-振動なし	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	**
	振動が無い時、砲弾を軽く感じたか	5	感じた-感じなかった	1	-1	1	-1	1	2	-2	2	1	2	
実験 4	命中時の達成感 (条件間で比較)	7	失中時振動あり-なし	0	2	2	0	0	0	0	0	0	-1	
	どちらがリアルと感じたか (条件間で比較)	7	失中時振動あり-なし	0	-2	-1	0	0	0	0	0	0	-1	
実験 5	どちらが楽しいと感じたか (条件間で比較)	7	発射時振動-着弾時振動	-2	1	-2	0	-3	-3	1	0	2	2	
	どちらがリアルと感じたか (条件間で比較)	7	発射時振動-着弾時振動	-2	2	1	0	-1	3	0	0	2	2	

表 3 実験 1 において振動は何を表しているか、に対する各実験協力者の回答.

1	車体の爆発・砲弾の爆発
2	何らかの爆発・砲弾が鉄板に衝突した衝撃・命中した演出
3	車体の爆発・砲弾が鉄板に衝突した衝撃
4	車体の爆発
5	車体の爆発・砲弾が鉄板に衝突した衝撃
6	車体の爆発
7	車体の爆発・砲弾の爆発
8	車体の爆発・砲弾が鉄板に衝突した衝撃・爆風
9	車体の爆発・砲弾が鉄板に衝突した衝撃・何らかの爆発
10	車体の爆発

表 5 実験 5 において着弾時の振動は何を表しているか、に対する各実験協力者の回答.

1	車体の爆発・砲弾が排出された感覚・砲弾の爆発
2	何らかの爆発・砲弾の爆発・火薬の爆発・撃鉄の衝撃
3	車体の爆発・砲弾が鉄板に衝突した衝撃 砲弾が排出された感覚・火薬の爆発
4	何らかの爆発
5	砲弾が排出された感覚
6	車体の爆発
7	車体の爆発・砲弾の爆発
8	車体の爆発
9	車体の爆発・砲弾が鉄板に衝突した衝撃・何らかの爆発
10	車体の爆発・何らかの爆発

表 4 実験 5 において発射時の振動は何を表しているか、に対する各実験協力者の回答.

1	撃鉄の衝撃・砲弾が排出された感覚
2	砲弾が排出された感覚
3	火薬の爆発・砲弾が排出された感覚
4	何らかの爆発
5	砲弾の爆発
6	撃鉄の衝撃・砲弾が排出された感覚
7	火薬の爆発・撃鉄の衝撃
8	何らかの爆発
9	何らかの爆発・砲弾が排出された感覚・ 車体の爆発・砲弾が鉄板に衝突した衝撃
10	火薬の爆発・砲弾の爆発

実験 5 では振動呈示のタイミングを発射時と着弾時とで比較した。プレイヤーが自機に乗っている設定であれば射撃時に振動を感じるのが妥当であるにも関わらず、リアルさにおいては差が認められない結果となった。振動のタイミングという細かな違いまではリアリティに影響しないと考えられる。実際の射撃や砲撃を見た体験の有無とどちらをリアルと感じたかの回答には関連が見いだせなかったことも、厳密な理由付けまでは必要がないことを示唆している。実験 4 において失中時の振動の有無でリアリティに差が認められなかったことも同様である。

振動が着弾を表現していることはほぼ全員が理解しており、振動によって臨場感が得られたという結果となった。一方で、有意差は認められなかったが、土煙が発生していない時に違和感を感じた実験協力者が半数いた。

以上をまとめると、プレイヤーに振動が何を表しているか理解させる (表象させる) には妥当な理由付けが望ましいが、プレイヤーは広く表象する能力を有しているので細かな写実性までは必要がない。

表 6 実験 3 における振動の好みの理由に対する回答.

1	爽快感があったため、実際に質量を持った物を撃っている感覚だった。
2	振動が無いゲームの方が薄っぺらいような感じがした。振動がある方が達成感があった。
3	当たった！という喜びを多く感じることができたため。また、着弾したという確かな感覚も得られるのも良い。
4	当たったのが明確に分かった。
5	当たった感覚が手に伝わることで、当たったという実感が湧くため。
6	当たった感がある方が楽しいし、判別が楽。相手の状態を見なくても次にいきやすい。
7	当たったという手応えがあり、気分が良かったため。
8	当たった感じがあって楽しかった。
9	当たったことを実感しやすいから。
10	振動ありの方が当たった時の臨場感があったため。

5.3 個人差について

射撃や砲撃に類するゲーム経験のあまりない実験協力者 (2, 3, 4) とある実験協力者とで回答の傾向に違いは見いだせなかった。実際の射撃や砲撃を見た経験についても同様に、経験のある実験協力者 (1, 4, 6, 7) とない実験協力者とで違いは見いだせなかった。この結果は振動の効果は経験に依らないことを示しているが、他の種類のゲームで体験した振動機能、あるいは類似の体験からの類推によって効果をもたらした可能性もある。このことは、実験協力者 2, 3, 4 は振動が何を表しているかという質問に対する回答において (表 3, 表 4, 表 5)、絞りきれずに複数の項目を選択したり「何らかの爆発」を選択していることから伺える。現在では振動機能を体験したことのない実験協力者を採ることは難しいが、新規の感覚呈示機能での調査が期待される。

実験 2 の質問「振動をいつ感じたか」については、実験協力者 9 のみが実際とは異なる「射撃時」を回答した。発射してから着弾するまでの時間は目標の距離に応じて約 0.2~0.8 秒であり、トリガーボタンを押したタイミングからは十分遅れて振動を呈示していた。この実験までは発射時の振動を体験していないため、またコントローラをしっかりと握っていなかったため、この程度の遅延を誤差と認識した可能性もある。しかし、振動が何を表しているかという質問に対する回答ではいずれも「何らかの爆発」を含めた複数の項目を選択しているため、振動の理由を特定できていなかったと考えるのが妥当であろう。それでも多くの質問項目で他の実験協力者との回答傾向に差異が見いだせないことは、プレイヤーは広く表象できるので細かな写実性は必要としないという主張を支持している。

5.4 振動の弊害について

今回の実験では振動機能によるゲーム体験の向上に関する質問を行った。振動機能を嫌う実験協力者がいなかったため全般的にポジティブな結果となった可能性もある。

一方で振動機能を嫌うユーザも一定数存在する。振動機能を嫌う理由としては振動に過敏な体質である、バッテリーの消耗を避けたい、振動音が気になる、といった生理的・物

理的理由が挙げられる。また、振動により集中できないとかエイムがぶれるといったゲームプレイの阻害要因としての理由もある。生理的・物理的理由に関してはデバイスの進化により改善が期待できる上、プレイヤーは広く表象可能であるならば弱い振動でも有効に利用可能と予想できる。また、ゲームプレイに関する理由は、ゲームに求める対象がゲーム体験よりも競技性であるので、本研究で議論している振動呈示の役割の対象外とするのが妥当と考える。

5.5 実験順序の影響について

本研究では実験の順序を固定とし、さらに実験 2 と 3 では条件の順序も固定とした。しかし実験協力者は全員何らかのゲームでの振動呈示を十分に経験しているため、実験間および条件間の順序効果の影響は問題ないと考えている。

6. まとめ

本研究では、振動機能がゲームにおけるエンタテインメント性の向上に寄与する仕組みについて調査した。コントローラによる振動呈示は手先に限られているのにも関わらず広く受け入れられて楽しまれている理由として表象について考察した。プレイヤーは実体験や過去のゲーム経験から、振動が表現することを広く表象できると予想した。

この予想に基づき、振動はどのように楽しめるか、また、振動に対する理由付けは必要か、という疑問を明らかにするために実験を行った。実験では砲撃を行うゲームを実装して使用し、振動の有無、振動のタイミング、振動の理由付け表示の有無を条件として比較した。その結果、プレイヤーは振動から広い範囲の事象を表象可能であり、視聴覚的な表現やゲーム状況から意味づけして解釈し、手応え、達成感、爽快感といった感覚を強化していることが分かった。この結果は振動機能の利用においては必ずしも写実的である必要はないことを示している。

本研究の限界としては、振動機能は既に普及しており、実験協力者を含め多くの人が十分に慣れ親しんでいることが挙げられる。つまり、慣れによって広く表象できる能力を既に身につけていたということである。このため、プレイ経験の少ないプレイヤーや、振動とは別の新規の感覚呈示

においては、今回の結論は同等には適用できない可能性がある。

謝辞 本研究の一部は JSPS 科研費 23K11385 の助成を受けたものです。

参考文献

- [1] Sony Interactive Entertainment Inc., PlayStation. Blog. PlayStation®5 の注目の機能をゲームでレビュー!. <https://blog.ja.playstation.com/2021/04/06/20210406-ps5/>, 2021. (2023 年 6 月 30 日確認)
- [2] Nintendo. 学研さんと「HD 振動」のヒミツについて調べてみました. <https://topics.nintendo.co.jp/article/73d9531a-6bbe-11e7-8cda-063b7ac45a6d>, 2017. (2023 年 6 月 30 日確認)
- [3] SEGA. HISTORY TOPICS 1985 年～1989 年 体感ゲームブームの到来. <https://www.sega.jp/history/arcade/topics/6483/index.html>, 2016. (2023 年 6 月 30 日確認)
- [4] Gigazine. タイトーの名作 STG「ダライアス」のアーケード筐体はどれだけ画期的だったのか? <https://gigazine.net/news/20181026-taito-darius-arcade-beep/>, 2018. (2023 年 6 月 30 日確認)
- [5] Texas Instruments. ハプティクス技術. <https://www.tij.co.jp/jp/lit/ml/jajt203/jajt203.pdf>, 2013. (2023 年 6 月 30 日確認)
- [6] 納谷太, 篠沢一彦, 小暮潔. 知能ロボットの技術: 人工知能からのアプローチ (後編): 3. 人とロボットとの触覚インタラクション. 情報処理, No. 44, Vol. 12, pp. 1227–1232, 2003.
- [7] Takeshita, T., Yamashita, T., et. al. Development of Flexible Haptic Device Based on Ultra-Thin PZT/Silicon Vibrator Array. IEEE MEMS2021, 2021. DOI=10.1109/MEMS51782.2021.9375280
- [8] 蜂須拓. 誇張表現に基づいた触覚インタラクションの設計・開発. 電気通信大学大学院工学研究科博士 (工学) 学位申請論文, 2015.
- [9] 松田克進. <特別寄稿><情動の知覚説>の限界 –それは人間の複雑な同道を扱えるか-. 哲学論叢, Vol. 45, pp. 1–15, 2018.
- [10] Strack, F., Martin, L., Stepper, S. Inhibiting and Facilitating Conditions of the Human Smile: A Nonobtrusive Test of the Facial Feedback Hypothesis. Journal of Personality and Social Psychology. No. 54, Vol. 5, pp. 768–777, 1988.
- [11] Prinz, J. / 源河亨 (訳). はらわたが煮えくりかえる –情動の身体知覚説. 勁草書房, 2016.
- [12] 戸田山和久. 恐怖の哲学 ホラーで人間を読む. NHK 出版新書, 2016.
- [13] 西村清和. フィクションの美学. 勁草書房 (1993).
- [14] 源河亨. ホラー鑑賞の恐怖と楽しみは複雑な気持ちとして説明した方がよかったのではないか. 日本科学哲学会第 49 回大会, 2016.
- [15] 伊原泰孝, 水口充. 自動車変速操作時の聴覚刺激呈示によるエンタテインメント性拡張の検討. エンタテインメントコンピューティングシンポジウム 2021 論文集, pp. 230-235, 2021.