



VR 空間内における近接感覚の生成に関する研究

松村悠司¹⁾, 広田光一¹⁾, 櫻井翔¹⁾, 野嶋琢也¹⁾

Yuji MATSUMURA, Koichi HIROTA, Sho SAKURAI, and Takuya NOJIMA

1)電気通信大学 情報理工学研究所

(〒182-8585 東京都調布市調布ヶ丘 1-5-1, {yuji_matumura, hirota, sho}@vogue.is.ucc.ac.jp, tnojima@nojilab.org)

概要: 物体の接近時に得られる緊張感と衝突回避時の達成感が混ざった感覚を“近接感覚”と呼称し、どういった条件下でこの感覚が生成されるのかを調査した。関連研究として、身体近傍空間に関する研究があるが、本研究の近接感覚が発生する状況は身体を侵害する可能性を含んでおり異なる性質を持つ空間である可能性がある。本研究では近接感覚が生成される範囲について顔の左右の近傍に関して計測し、また、45km/h-180km/h の速度範囲において速度により近接感覚を生じる範囲に変化があるか検証した。その結果、速度による範囲の変化は観察されなかったものの、近接感覚を生じる距離の範囲は顔表面から 17~22cm のところまでであるということが示された。

キーワード: 空間知覚・身体近傍空間・身体図式

1. はじめに

人々の娯楽として、ジェットコースターやバンジージャンプ等、ユーザへ緊張感を与えるコンテンツが多く存在している。バーチャル空間内で楽しむゲーム、いわゆる VR ゲームでも、緊張感を与えることを狙ったコンテンツが多く提案されている。そして緊張感を与えるために有効な手法としては、“接近”という要素が利用されている。例えば、バイオハザード 7 は、迫りくるゾンビを銃で撃って倒すというゲームになっている。ゾンビに襲われるという緊張感をユーザに対し与えて、それを乗り越えさせることで達成感を演出している[1]。また Beat Saber という VR ゲームでは、曲のリズムに合わせて前方から接近してくるブロックをライトセイバーで斬ったり、前方から接近してくる壁を避けたりすることで、プレイヤーに物体の接近による緊張感と身体制御の成功による達成感を与えている[2]。このように、VR ゲームの中には、物体の接近を感じさせる仕組みを取り入れて、プレイヤーに緊張感を与えているものが存在する。

これらのコンテンツでは、物体が自分の近傍に接近したときの緊張感や、場合によっては身体を侵害されるという恐怖感、そして身体制御による達成感が混ざった感覚を与えることを演出の一手法として取り入れている。本論文では、これらの一連の感覚を“近接感覚”と呼称する。近接感覚発生のための要素として、本研究では 1. 接近体の軌道を予測し、2. 衝突して身体を侵害される可能性の有無を判断、3. 必要であれば回避を含む適切な行動の実行、4. 最後に衝突したかどうかの判断という 4 つの要素

が関連すると考え、本研究ではそれらの要素の近接感覚発生に対する貢献の度合い、ならびに発生要件について明らかにすることを目的とする。

現在、この近接感覚の提示のための設計指針はなく、手探りでの開発となっている。もし、バーチャル空間における近接感覚を生成する条件が明らかになれば、VR ゲームや体験型 VR コンテンツにおいてどの座標からどの座標に、どのような速度で、どのような大きさの物体を、どのような角度から移動させるともっとも効果的であるかがわかるようになり、設計を行う際の助けとなることが期待できる。

2. 関連研究

認知神経科学の分野において、身体近傍空間 (peripersonal space, PPS) という空間が定義されている。これは、身体表面から数 cm から数十 cm の範囲で身体を直接取り巻く空間で、この領域内における物体や事象は、人間やサルなどの生物にとって直接の相互作用の対象となる[3]。

身体近傍空間の範囲は、サルにおいては、視覚刺激と触覚刺激の両方に反応する多感覚ニューロンが視覚刺激や聴覚刺激に対して活性化される範囲として操作的に定義されており、通常身体表面から数 cm から数十 cm の範囲の空間のことを指す[4]。これらのニューロンの活動の強さは、呈示される視覚刺激が身体に近くなるほど強くなることが報告されており、人の脳にもそのようなニューロンが存在すると考えられている[5]。

身体近傍空間は固定された空間ではなく、行為や道具の使用などによって変化する。例えば、マカクザルに熊手を用いて訓練を行わせると、5分間の熊手使用訓練直後には、熊手の先に対しても多感覚ニューロンが反応するようになり、これは身体近傍空間が道具の先端まで拡張されたことを示している[6]。また、トレッドミル上を歩行しているときは身体近傍空間の境界が進行方向側に拡大する[7]。この身体近傍空間の拡大は能動的な自己運動だけではなく、足底振動刺激による歩行感覚や視覚ベクションによる自己運動知覚によっても生じることが報告されている[8][9]。また、サルを対象とした研究では、接近視覚刺激の速度が増加すると身体近傍空間が広がることがわかっている[10]。

近接感覚は身体近傍空間内で得られる感覚と似ており、同様の性質を持っている部分も存在することが予想される。一方で、近接感覚には、身体近傍空間で得られる感覚は対象にしていない、身体侵害の可能性も含んでいるという点で異なる。

3. 近接感覚を構成する要素の仮説

本論文では、バーチャル空間において近接感覚を構成する要素として、1. 接近体の軌道予測、2. 衝突可能性、3. 予測に基づく身体制御、4. 衝突判定の4つが存在しているという仮説を立てた。以下にそれぞれの要素についての説明を述べる。

3.1 接近体の軌道予測

近接感覚の生成のためには、身体の近傍を物体が通過する、もしくは身体に接触するという予測ができる必要がある。そのため、接近を認識してから身体の近傍を通過するまでの時間が短いほど予測が困難になり、近接感覚を生じる範囲の広さに影響を及ぼすと考えられる。さらに、この予測のしやすさには、接近体の速度、動き方、どの角度から飛んでくるかといった部分が影響していることが予想される。

3.2 衝突可能性

近接感覚の強度には、衝突可能性が関係している。衝突可能性というのは、予測に基づいてどのくらい身体侵害の可能性があるかを判断することである。接近体が自分より近い座標に接近するほど、この衝突可能性が増加する。前述したように、実際に多感覚ニューロンの活動の強さは、提示される視覚刺激が身体に近くなるほど強くなることもわかっている[5]ため、接近体との距離が近くなるほど大きな近接感覚を感じる事が期待される。

また、このことから接近体の大きさや形状も近接感覚の強度にかかわってくる事が考えられる。接近体の大きさが大きくなると、同じ位置を通過したとしても対象物との距離は近くなるためである。さらに、大きい物体ほど接近した時の圧迫感が増すことが想像できるため、心理的にも距離が近く感じられる。つまり、大きい物体ほど接近時の近接感覚は増大することが予想できる。同様に、接近体の形状が鋭利であったり、丸みを帯び

ていたりすると近接感覚の強度が変化することが予想される。

3.3 予測に基づく身体制御

近接感覚の強度には、身体制御も影響していることが考えられる。例えば、立っているときに急に野球ボールが自分の身体の近傍を通過した場合と、アクティブに行動して衝突を回避した場合とでは、その時に得られる達成感は大きく異なることが考えられる。このことから予測に基づいて身体制御を行うということは、近接感覚を発生させるうえで大きく影響する要素であることが考えられる。

3.4 衝突判定

シンプルだが重要な要素として衝突判定を挙げる。近接感覚を生成する上では、実際に衝突がないことを認識できることが必要であり、それを認識することによって避けたときやはじいたときの達成感を得ることが可能になっていると考えられる。

4. 実験

4.1 実験の目的

本実験の目的は、バーチャル空間において、近接感覚が生成される距離を明らかにすること、速度が近接感覚を生じる距離に与える影響を明らかにすることである。今回は、特に顔の目線上、左右の近傍について明らかにすることを目的とした。

4.2 実験の仮説

本実験における仮説として以下のようなことを考えた。

- I. 近接感覚を生じる範囲の境界は利き手側の方がより身体から離れた位置になる
- II. 球体の速度が増加するほど近接感覚を生じる範囲の境界がより身体から離れた位置になる

仮説Iに関しては、過去の身体近傍空間の研究により右利きの人は左手よりも右手の周囲に呈示された刺激の弁別が速いということが示されており[11]、飛来してくる物体に対して利き手側はより遠くの位置にある状態でも刺激として受け取るということであるので、空間的には利き手側の方が広くなるという仮説を立てた。

仮説IIに関しては、3.1節で考えた、接近する物体の速度が速いと近接感覚を生じる範囲が広くなるという予想をもとに立てた。

4.3 実験概要

野球のシチュエーションを参考に、ボールが水平に飛来してくるという環境を設定した。発射点は、被験者から見て左右方向に差をつけており、どこの距離まで近接感覚を生じるかを実験により求める。近接感覚を生じる距離の範囲の決定には恒常法を用いる。

4.3.1 実験アプリケーション

実験はUnity2019.3.9f1[1]作成したアプリケーションで行った。このアプリケーションでは、スペースキーを押下すると、野球のシチュエーションを参考に前方18.44m地点、左右方向に0.1mから5cm刻みで1mまで、計38点

の発射点の中からランダムに選ばれた 1 点から白色の球体が被験者の方に水平に飛来してくる。発射点の位置は緑色のキューブで表示されている。また、トラッキングはなく画面は固定されている。

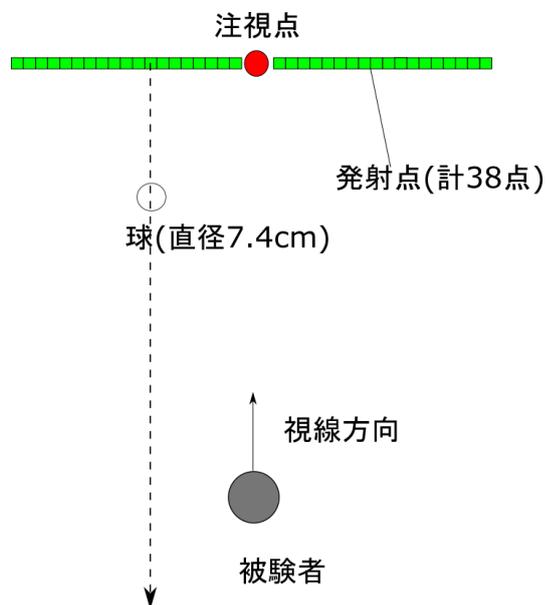


図1 実験環境の模式図

このとき、球の高さは被験者の目線の位置に来ようになっている。球体の速度は、時速45 km、時速90 km、時速180 kmの3通りであり、これもランダムに選ばれる。球体の大きさは野球ボールを参考にして直径7.4cmに設定した。本システムで実装している距離については、Unityマニュアルを参照し、Unity上の1単位を1mとしている。



図2 実験中に被験者が見る画面

4.3.2 実験方法

実験装置には、Oculus Quest 2 を使用し、PC と接続する Oculus Link を利用して実験を行った。

被験者は22歳から25歳までの右利きの男性8名であった。実験は以下の流れで行った。実験後には、質問用紙に実験に関して思ったことを回答してもらった。

- ① 被験者に対して、椅子に座るように指示し、実験アプリケーションについての説明を行った。
- ② 実験者が、スペースキーを押下することで球を発射し、

それに対してのけぞりそうになったかどうかを被験者にコントローラーのボタンを押下することにより回答してもらった。

- ③ 練習試行を10回程度行った後に、本番試行を200回×3セット行い、データを収集した。セット間の休憩は10分程度とった。
- ④ データを分析し、知覚確率曲線を求め、50%の知覚確率を与える刺激を求めた。

4.4 結果の分析

得られた実験データから、恒常法を用いた実験では一般的に用いられている、最尤法を用いたプロビット解析によってフィッティングを行い、各速度について、被験者から見て左側、右側の知覚確率曲線を求めた。その結果を図3～図5に示す（図の左側が被験者から見て左側の知覚確率曲線、右側が被験者から見て右側の知覚確率曲線となっている）。Distanceについては顔の中心を0として右手側を+、左手側を-としている。また、横の点線は50%の知覚確率を示しており、縦の点線は50%の知覚確率における距離を示している。

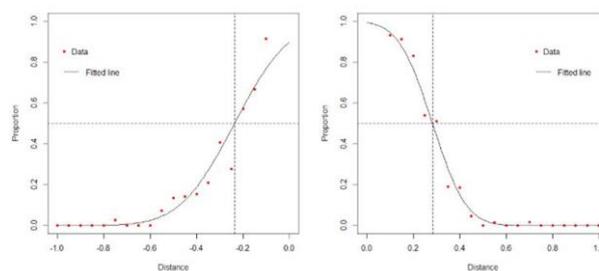


図3 時速45 kmの知覚確率曲線

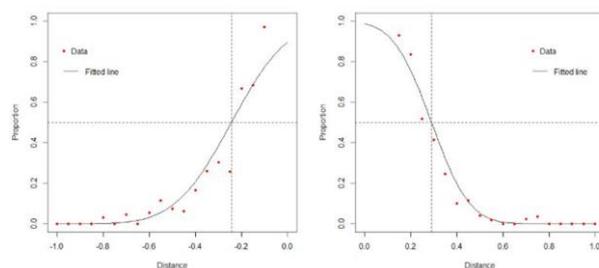


図4 時速90 kmの知覚確率曲線

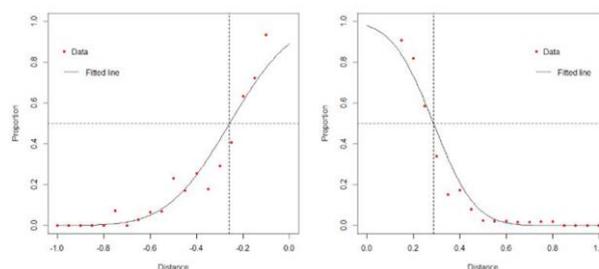


図5 時速180 kmの知覚確率曲線

次に、50%の知覚確率を与える刺激強度、つまり近接

感覚を生じる境界（閾値）を以下の表1に示す。負の値は中心より左側を意味する。

表1 各速度に対する近接感覚境界

| 速度[kmh ⁻¹] | 左側感覚境界[m] | 右側感覚境界[m] |
|------------------------|-----------|-----------|
| 45 | -0.236 | 0.283 |
| 90 | -0.243 | 0.291 |
| 180 | -0.258 | 0.287 |

5. 考察

今回の実験参加者は全員右利きであったことと表1より、顔の左右の近傍に関しての近接感覚を生じる境界は、顔の中心から利き手側に30cm程度、利き手と逆側に25cm程度のところに存在することがわかる。これは顔表面からだと22cm、17cmに相当する。この結果から、立てた仮説Ⅰの通り、利き手側の方が近接感覚を生じる範囲の境界は身体から離れた位置になっている可能性がある。

次に、仮説Ⅱについて得られた左右それぞれの境界値に対して、帰無仮説を「球体の速度に関わらず近接感覚を生じる範囲の境界の値は等しい」として、各速度における境界の値を、恒常法により推定された各閾値に対して、一元配置分散分析にて検定を行った[1]。得られたp値を以下の表2に示す。

表2 得られたp値

| 左側境界のp値 | 右側境界のp値 |
|---------|---------|
| 0.9992 | 0.9989 |

表2より、帰無仮説は有意水準5%で棄却されなかった。よって、時速45km、時速90km、時速180kmの間には有意な差がないと判定する。ただし今回の実験はVR空間で実施したこともあり、とくに奥行方向に移動する高速移動体の表現に問題があった可能性が考えられる。そこで今後は、より低速な条件での検証を行い、時速の差、すなわち球体到達時間と近接感覚との関係について改めて検証を実施する。

6. 結論と今後の展望

今回の実験結果から、近接感覚を生じる距離の範囲は顔表面から17~22cmのところまでであるということが示された。一方、今回の実験条件では、利き手による近接感覚を生じる範囲の境界に大きな差はみられず、時速45km~時速180kmの範囲において速度による近接感覚を生じ

る距離へ影響も見られなかった。そこで今後は、VR空間の視覚映像生成の特性を念頭に、より低速条件での検証を実施する。また本実験ではユーザの身体制御による影響を調査するまでは至らなかった。今後はこの点についてもさらに詳しく検証をしていく予定である。

参考文献

- [1] BIOHAZARD 7 resident evil, CAPCOM CO., 入手先 (<https://www.capcom.co.jp/biohazard7/pr/>) (参照 2021-02-03).
- [2] Beat Saber, Beat Games, 入手先 (<https://www.beatsaber.com/>) (参照 2021-02-03).
- [3] 榎本玲子, 山上精次: 空間認知の身体化過程とその機序をめぐって, 専修人間科学論集 心理学篇, Vol.1, No.1, pp.61-69 (2011).
- [4] Rizzolatti, G., Scandolaro, C., Matelli, M., et al.: Afferent properties of periarculate neurons in macaque monkeys. I. Somatosensory response, Behavioural Brain Research, 2, 125-146 (1981).
- [5] Duhamel, J.R., Colby, C.L., & Goldberg, M.E.: Ventral intraparietal area of the macaque: Congruent visual and somatic response properties. Journal of Neurophysiology, 79, 126—136 (1998).
- [6] Iriki, A., Tanaka, M., & Iwamura, Y.: Coding of modified body schema during tool use by macaque postcentral neurons, Neuroreport, 7, 2325—2330 (1996).
- [7] Noel, J.-P., Grivaz, P., Marmoroli, P., et al.: Full body action remapping of peripersonal space: The case of walking, Neuropsychologia, Vol.70, pp.375-384 (2015).
- [8] 黒田尚輝, 寺本 渉: 自己運動速度が身体近傍空間の範囲に及ぼす影響, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.24, No.3, pp.325-328 (2019).
- [9] 雨宮智浩, 池井 寧, 広田光一ほか: 歩行を模擬した足底振動刺激による身体近傍空間の拡張, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.21, No.4, pp.627-633 (2016).
- [10] Fogassi, L., Gallese, V., Fadiga, L., et al.: Coding of peripersonal space in inferior premotor cortex (area F4), Journal of neurophysiology, Vol.76, pp.141-157 (1996).
- [11] Lloyd, D.M., Azán´on, E., & Poliakoff, E.: Right hand presence modulates shifts of exogenous visuospatial attention in near perihand space, Brain & Cognition, 73, 102-109 (2010).
- [12] Unity, Unity Technologies (オンライン), 入手先 (<https://unity.com/>)
- [13] 永井岳大, 星野崇宏, 内川恵二: 恒常法により推定された閾値間の統計的有意差検定法, VISION, Vol.18, No. 3, pp113-123 (2006)