

メタバースにおける HMD を通した 視覚的な擬似気配の提示手法の提案

舟橋健司¹⁾(正会員) 松野尾柚稀¹⁾(非会員)

1) 名古屋工業大学

A Visual Approach to Pseudo Unseen Presence in the Metaverse Through HMD

Kenji Funahashi¹⁾ Yuzuki Matsunoo¹⁾

1) Nagoya Institute of Technology

概要

誰かが後ろにいる時に、何も見えていない、聞こえていないにも関わらず、その誰かの「気配」を感じたことはないだろうか。本研究では、HMD 以外の特別な機器や環境を必要とせずに、標準的な HMD の視覚提示機能のみを利用して、気配のような不確実な情報提示手法を新たに提案して、またそのような不確実な情報提示が可能であるかどうか確認する。霊的な感覚を持って気配ということもあるが、ここでは対象とせずに、五感の明瞭な知覚を促すことではなく、何らかの形で無意識に知覚させて存在を認知させることを目的とする。具体的には、例えば左後方の視野外に人が現れた場合に、左側の周辺視野に薄い人型のシルエットを短い時間だけ重畳表示する。体験者による評価を行い、擬似気配提示手法の有効性と、擬似気配としてのシルエット表示の薄さや短さについて検討する。

Abstract

You may sometimes sense an unseen presence when someone is behind you. We propose a novel method to show pseudo presence through visual perception using only a standard HMD. This goal is not to promote a clear perception of the five senses, but rather to somehow subconsciously perceive a sense of presence. Specifically, a thin silhouette of a human figure is superimposed in the peripheral vision for a short period of time. The effectiveness of this pseudo presence method and the thinness and shortness of the silhouette display is examined.

1 はじめに

誰かが後ろにいる時に、何も見えていない、聞こえていないにも関わらず、その誰かの「気配」を感じたことはないだろうか。近年、メタバースが注目されている [1]。メタバースの体験、参加手段は主に HMD (Head Mounted Display) であり、また一時的に PC のモニターやスピーカを利用することもある。PC モニターの大きさや HMD の種類にもよるが、ユーザの視野は例えば 90 度程度に限られる。視野が狭いため、後方だけでなく、真横から他の参加者が近づいてきても目視できずに気付けない。もちろん、システム自体は体験者の前方だけでなく全方向のデータを持っており、画面の片隅に「レーダー」のように重畳表示することや、何らかの接近情報を音声で通知することも可能だろう。しかしそれでは提示情報が多すぎて、目の前のコミュニケーションやタスクに集中できない恐れがある。実環境では視野はもっと広いが、それでも後方を直接視認することはできない。その後方から誰かが近づいてきたときに、明確な足音を聞いたわけでもなく、床に落ちる影を見たわけでもなく、しかしなぜだか気配を感じることがある。この場合、常に確実に情報を得るわけではなく、目の前のタスクに集中している場合には全く気づかなかったり、余裕のあるときなどに何となく気づいたり、と不確実ではあるが、目の前のタスクを大きく阻害することはないだろう。そして程よく周辺情報も把握できるのではないか。気配とは一般的に、はっきりと見えないが周囲の様子から何となく漠然と感じられる様子のことを指す。物や人の影による視覚情報や足音等の微小な音による聴覚情報、風を含む空気の動きや準静電界 [2] 等による触覚情報などが主要要因と考えられている。ただし、これらを明確に知覚している場合には気配という表現はしない。メタバースであればシステムが把握している背後の情報から、ランプを点灯させる、ベルを鳴らすなどの通知も可能だが、これらのような直接的な合図の知覚も気配とは言わないだろう。脳で処理される情報の中には無意識に処理される情報も含まれており、我々が日常生活を送る上で取捨選択している情報の約 9 割が無意識に処理されていると考えられている [3]。ときには霊的な感覚を持って気配ということもあるが、ここでは対象としない。その上で、五感の明瞭な知覚を促すことではなく、何らかの形で無意

識に知覚させて存在を認知させることと考える。言い換えれば、感覚（例えば視覚）情報の提示や変化には意識の上では気づかない、そもそも感覚情報はなかったと意識しているにも関わらず、「何か」を感じる（感覚情報を無意識に知覚し、感覚以外の情報としての認知を意識する）ことである。

気配を人工的に再現しようと試みた研究がいくつかある。鈴木らはブラウン管テレビを用いて気配の認知を促す研究を行った [4]。具体的には、ブラウン管テレビから発せられる準静電界によって体毛を直接刺激し、気配の再現を行った。また、伊勢は気配の認知を促すシステムとして、没入型聴覚ディスプレイ音響樽を開発した [5]。この音響樽では、頭部の周囲に 3D 波面を生成することで、実空間と同じ条件で頭部を動かしながら空間を知ることができる。つまり、周囲の人間の息遣いや歩行音等を再現することが可能である。さらに、柄沢らはさりげない触覚提示を実現するための非接触型触覚提示技術を提案し、狭い密室で超低周波をスピーカから出すことによって触覚が得られることを示した [6]。気配の人工的な再現を試みる研究は他にも、例えば湿気や水蒸気を利用した研究 [7] などがあり、バーチャルリアリティ、メタバースへの導入も有効であり可能だろう。しかし、これらは特別な機器や環境が必要であり、HMD のみで家庭で利用できるタイプのシステムには適さない。一部の可聴音の強調や抑制による気配表現の試みも報告されている [8]。しかし、体験者が意識下において可聴音の変化に気づいていないことを前提としていない。一方で、HMD 利用時に実環境での周囲認知（ここでは周辺の人物や物体の存在に気づくこと）が疎かになることへの対処として、実環境での周囲の人や物の存在感の提示を目的にした研究が行われている [9] [10] [11] [12]。これらの研究では前述の「通知」のような視覚を通した明示的な提示だけでなく「準不可視」な提示による気配的な表現も考慮しているが、VR 環境への没入を妨げずに実環境での安全性や社会的な気づきを保てるようなバランスを探ることを目的としている。存在感や気配という言葉は科学的に定義できているわけではなく、また様々な意味合いで使われることもあるが、ここでは人物がいる、物体があることに対する感覚と捉えられるだろう。そして両者共に、五感を通した明確な情報やそこから類推できる状況の認知を指す場合と、五感による情報を得たとは

意識していない場合があるだろう。いずれにしてもこれらの研究では、意識下において視覚提示に気づかないことを目標にしてはいない。また、離れているパートナーの存在感や共在感を、環境光を通して間接的に伝える方法が提案されている [13]。たとえばパートナーが部屋に入ると、空間全体を包むような柔らかな光により「そっとそばにいる感覚」や「感情的なつながり」を表現している。意識下において視覚的に変化に気づいたかどうか述べられていないが、意識的な存在の認知ではなく無意識的なつながりの感覚を狙っており、明示は避けて雰囲気的に存在感を演出している。無意識的な知覚による「気配」に近いと考えられるが、光の変化（色や明滅）による感情の変化や注意喚起の表現は意識されるかもしれない。他者の左右や後方などの方向情報を提示することもできない。

そこで本研究では、HMD 以外の特別な機器や環境を必要とせず、標準的な HMD の視覚提示機能のみを利用して、気配のような不確実な、無意識な知覚を促すような情報提示手法を新たに提案して [14]、またそのような不確実な情報提示が可能であるかどうかを確認する。本稿では特に、評価結果について詳しく述べる。気配自体が科学的に定義できているわけではないが、本研究ではいわゆる気配そのものではなく、標準的な HMD の視覚提示のみで体験者が「気配のようだ」と感じる何かを提示できる可能性について確かめることを目的としている。具体的には、例えば左後方の視野外に人が現れた場合に、左側の周辺視野に薄い人型のシルエットを短い時間だけ重量表示する。すなわち、体験者の意識下においては見えたと知覚されないような薄さ、短さにする必要がある。その上で何かを感じ取れる必要もある。体験者による評価を行い、この擬似気配提示手法の有効性と、擬似気配としてのシルエット表示の薄さや短さについて検討する。気配（のような何か）が提示できれば、メタバースへの実用目的での利用だけでなく、新しいスタイルの VR コンテンツ、VR アート作品への応用も期待できるだろう。

2 人型シルエットによる擬似気配の提示手法

2.1 人間の視覚特性

周辺視野など人間の視覚特性を積極的に利用するため、まず視覚特性について整理する。人間の視野は視細胞の分布や眼球の構造上、中心ほど分解能が高く、また

注意を向けやすい。視野はいくつかの歪な同心円状に分類される（図 1）[15] [16] [17]。弁別視野はおよそ 5 度以内の視野角であり、網膜の黄斑部の中心に位置する中心窩は視野の中心 2 度程度に相当する。視力は、中心窩から周辺部へと広がるにつれ急激に低下する [18]。視野角全体は水平約 200 度、垂直約 125 度に達し、物の形や色を明瞭に認識できる中心視野と認識しにくい周辺視野の 2 つに分類することができる（図 2、図 3）[15] [16] [17]。注視点付近の左右 15 度までの視野範囲は中心視野と呼ばれ、人間の主な視覚認知はこの領域で行われる。この領域には、色を識別することができる錐体細胞が多く分布しているため、人間は色の違いを細かく識別することができる。また、中心視野では知覚解像度が高く対象を鮮明に捉えることができるが、運転時のような複雑な作業において集中する場面では視野が狭窄する [19]。一方で周辺視野は、中心視野よりも外側の視野領域である。この領域には微小な光に対しても鋭敏な桿体細胞が多く分布し、錐体細胞は少ない。さらに、周辺視野での視細胞の分布は中心視野の分布と比べ疎である。そのため、周辺視野では物体の認識はできるものの、中心視野に対して空間解像度は低下し、色相知覚は劣化する [20]。しかし、物体の動きについては中心視野よりも鋭敏に反応することができる。また、周辺視野では大まかに多量の情報を認識することで無意識に情報を処理できる [21] [22]。

2.2 HMD 装着時の視覚特性

続いて、HMD を適切に活用するために、その特徴について考察する。一般的な HMD を装着した状態での水

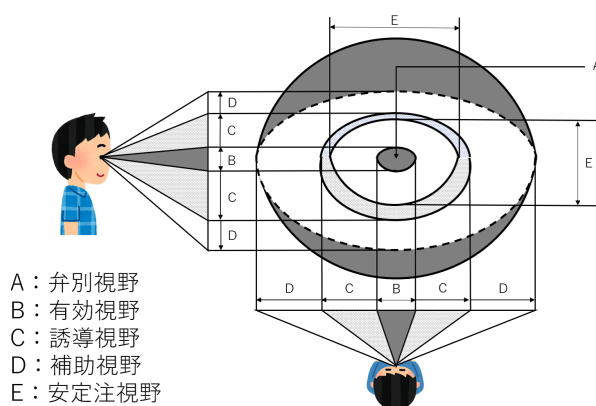


図 1 視野分布図

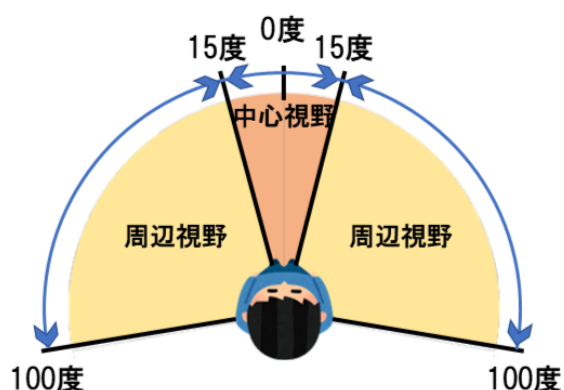


図2 現実空間における水平視野

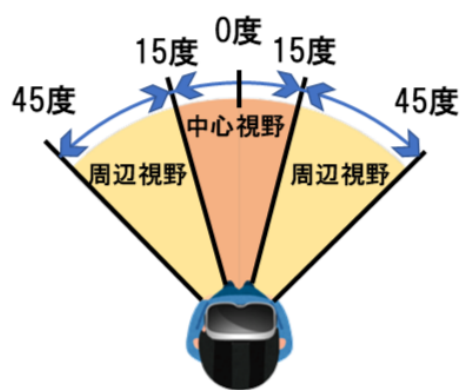


図4 HMD 装着下での水平視野

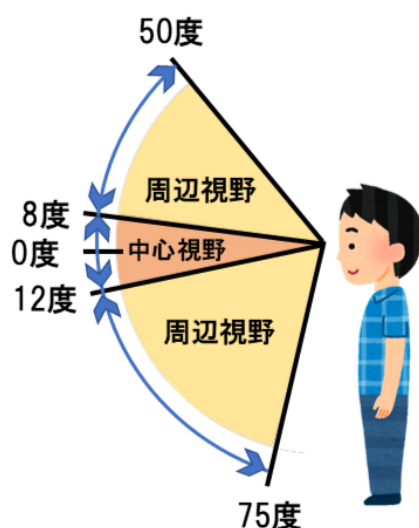


図3 現実空間における垂直視野

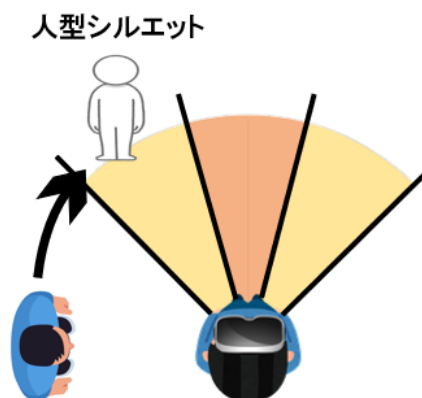


図5 左側に人物がいる場合

平視野を示す(図4)。次節で述べる Oculus Rift (CV1) の視野角は公式には 110 度であるが、実測値は約 90 度だそうである [23]。図2と図4を比較するとわかるように、本来の周辺視野の外側部分の一部は、HMD 装着時にはその構造により提示されない。体験者の周辺視野に提示された情報を体験者が無意識に処理することを期待したいが、HMD では比較的中心よりの周辺視野しか利用できない。さらに、中心窩からあまり離れていないと視力も比較的高いため [18]、HMD で提示された情報は意識下で知覚されやすい可能性がある。

2.3 提案手法

前述の特性を踏まえて、視覚を通した擬似的な気配を認知させたい。情報の処理が無意識で行われると考え

られている周辺視野に対する、表示する時間と濃淡を適切に調節した人型シルエットを視覚提示することで、擬似気配の提示を試みる。例えば、左後方の視野外に人が現れた場合に(図5)、左側の周辺視野に薄い人型のシルエット(図6)を重畳表示する(図7)。しかし、前述の通り、HMD の利用を前提とすると比較的中心よりの周辺視野しか利用できない。すなわち、提示された視覚情報が意識下で知覚されやすい可能性がある。そこで短い表示時間、薄い濃淡での人型シルエット提示により無意識な処理を促し、擬似的な気配の提示を試みる。

3 評価

3.1 評価方法

提案のシステムを実際に構築して、人型シルエットの濃淡(透明度)や表示時間を変化させながら提示することで、体験者に評価してもらった(図8)。体験評価を行

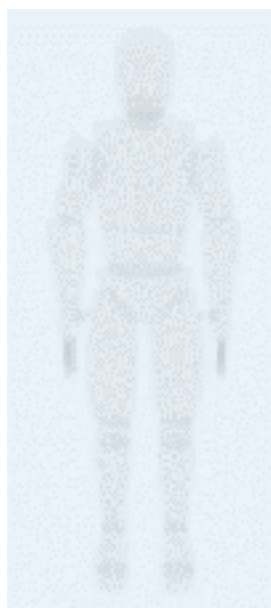


図6 人型シルエット

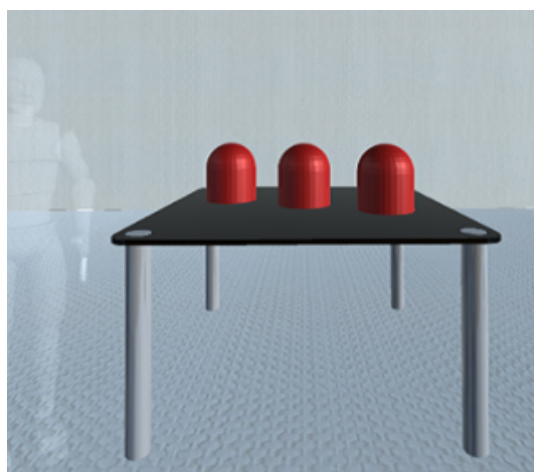


図7 擬似気配のための HMD でのシルエット表示

うにあたり，体験者に研究の主旨とともに，中止してもいかなる不利益も生じないことを説明した上で同意を得た．なお評価システムは Oculus Rift (CV1) (両眼で 2160×1200 , 90Hz) を利用して Unity により構築した．人型シルエットは前節で述べた HMD の特徴を考慮して，正面から右，あるいは左に 40 度の位置に提示した (図 7)．シルエットの透明度 α は 0.005 から 0.050 まで 10 通りの値を 0.005 間隔で設定し ($\alpha=0$ は完全に透明， $\alpha=1$ は完全に不透明，図 7 の表示は $\alpha=0.040$)，表示時間 t は 1 から 5 秒までの 5 通りの値を 1 秒間隔で設定し，合計 50 パターンを用意した．体験者 10 人それぞれ



図8 体験者による評価の様子

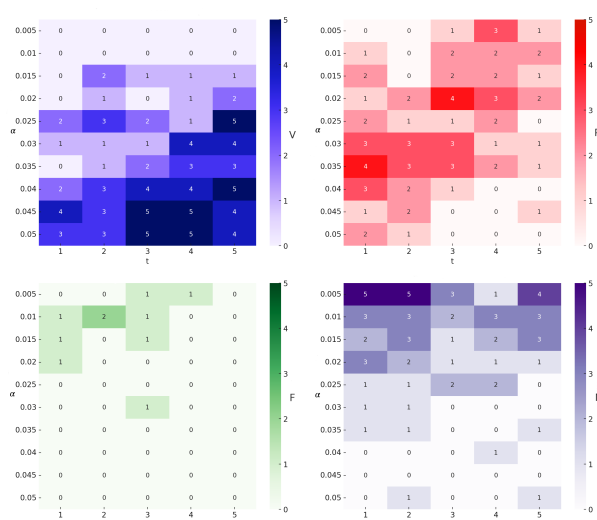
にいずれかの 25 パターンをランダムに割り当てた．すなわち各体験者は 50 パターン全てを体験したわけではない．各パターンは 5 回ずつ，いずれかの体験者に割り当てられ，全試行数は 250 回だった．シルエットの表示開始のタイミングを，試行開始後 3 秒から 8 秒の間でランダムに設定して，シルエット表示のタイミングが予測できないようにした．なお 1 試行が 10 秒で終了するように表示時間に応じて (表示時間が長い場合は表示タイミングがあまり遅くならないように) 設定した．表示方向も左右ランダムであった．なお，評価時には体験者の周囲に人は一切おらず，実際の気配が影響することはなかった．予備実験においてヘッドトラッキングを行わないと若干の頭の移動に対しても全く映像が変化せずに違和感を感じたためヘッドトラッキングは行ったが，体験者には基本的に頭を動かさないように指示した．また体験者には，視線方向だけでなく意識の上でもシルエットを探してしまうことのないように，ボールの入ったカップを見続ける，注視していないと見失う程度の難易度の「スリーシェルゲーム」をしてもらった．ゲームのカップは正面および ± 10 度程度のあたりに位置していた．結果を整理するために，体験者の反応を以下のパターンに分けたい．これらは互いに排反である．気配提示を主目的としておりその方向は重視していないが，憶測による回答を防ぐことも考えて方向の正誤も考慮する．

M : 提示の前に気配を感じた (miss)

V : シルエット自体が見えた (visible)

N : 気配は感じられなかった (シルエットも見えなかった) (not felt)

P : 気配の方向が正しかった (シルエットは見えず，

図9 各 α と t における V, N, P, F

気配を感じた) (presence)

F : 気配の方向が誤っていた (シルエットは見えず,
気配を感じたが, 方向は違った) (false)

各試行中, 体験者に気配 (のようなもの) を感じたら, その時点でその方向に応じたボタンを押してもらった. 各試行後, 体験者にシルエットが見えてしまったか否か, 見えなかった場合は気配 (のようなもの) を感じたかどうか, また感じた場合はその方向は左右どちらか報告してもらった. シルエット提示前にボタンを押した場合は M である. 試行後にシルエットが見えたと報告した場合は V である. シルエット表示後にボタンを押した場合は P または F (以下 $P + F$) である. 試行後にシルエットが見えなかったと報告して, ボタンを押していなかった場合は N , 押したボタン (感じた気配) の方向が正しかった場合は P , 誤っていた場合は F である (表 1).

3.2 結果と考察

結果を α と t の組み合わせごとの V, N, P, F の数として示す (図 9). なお, シルエット提示前にボタンを押した試行はなかった. また, スリーシェルゲームに関しては, 全ての体験者の全ての試行において正解であった.

感度 d' および反応バイアス c を信号検出理論に基づいて算出し, 個人差や傾向を評価した. シルエットを提示する前の (ランダムな) 時間をノイズ試行と想定した. そこで, Hit, Miss, False Alarm, Correct Rejection それぞれを, $P + F, N, M, V + N + P + F$ の数と

した. M の数は 0 であったため False Alarm Rate = $0.5 / \text{Correct Rejection}$ で補正した. 感度 d' の全体験者平均は 2.30 (SD = 0.56, min = 1.62, max = 3.34) であり, 提示されたシルエットに対する気配としての識別において全体として中程度から高い能力を示した. 反応バイアス c の平均は 0.91 (SD = 0.28, min = 0.39, max = 1.24) で, 全体としてやや慎重な反応であったと示唆された. 感度に基づき, 体験者を中央値で 2 群に分けたところ, 反応バイアスに有意な差が認められた ($t(8) = -5.44, p = .0018$). 分散分析 (ANOVA) においても, 感度グループの主効果は有意であり ($F(1, 8) = 29.58, p = .0006$), 感度の高い群では, 反応バイアスが低い傾向があることが明らかになった. 刺激の検出能力が高まることで, 体験者がより積極的に反応しやすくなる (あるいは慎重さが緩和される) 可能性を示唆しており, 個人の感度と反応バイアスとの関連が存在することを示している.

一般化線形混合モデル (GLMM, 被験者ランダム切片入り) を適用し, 説明変数 α, t は平均 0, 標準偏差 1 に標準化して解析を行った. 以下の係数やオッズ比は, 各変数が 1 標準偏差増加したときの効果である. まず, 多項ロジスティック GLMM により M を除く 4 分類を同時に分析したところ, α が 1SD 増加すると V のオッズは約 2.4 倍となり, また t が 1SD 長くなると V のオッズは約 1.9 倍となった. α の増加は P, F, N のいずれに対しても V を優勢にし, t の増加は N の減少をもたらした. 次に反応を階層的に分解して二値 GLMM を構築した. 「 V vs 非 V 」では, t と α の双方が有意に作用し, それぞれ 1SD の増加につき V のオッズがそれぞれ約 1.9 倍, 2.6 倍に上昇した. さらに交互作用も傾向的に有意であり, α が大きいほど t の効果が大きいことが示唆された. 「 N vs $P + F$ 」では, α の効果が顕著で, 1SD 増加につき P または F のオッズが約 1.5 倍となった一方, t の効果は有意ではなかった. 「 P vs F 」では, t が 1SD 増加することで P のオッズが約 1.3 倍に高まり, α の効果は限定的であった. 単純傾き解析の結果, V は t, α の双方とともに単調に増加し, とくに大きな α において t の効果が顕著であった. $P + F$ は主に α に対して増加し, t の影響はほとんど認められなかった. さらに $P + F$ における P は t 依存적であり, t が長いほど正方向判断の比率が高まった. V か否かの判断は t と α の交互作

表 1 概念と測定の対応関係

概念	測定指標	定義的特徴
間違って気配を認知	M	情報提示していないにも関わらず「気配」を感じた
意識下で知覚	V	情報提示を視覚（感覚）情報として明確に気づいた
知覚，認知なし	N	情報提示したにも関わらず視覚情報も，「気配」も感じなかった
気配を認知 (無意識な知覚)	P (方向正) F (方向誤)	情報提示に対して視覚情報はないと知覚しつつ「何か」を感じた

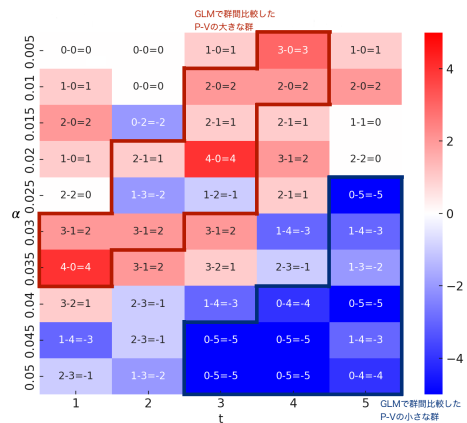


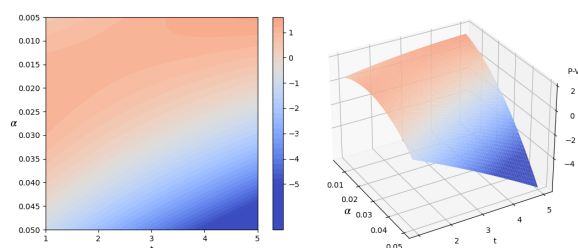
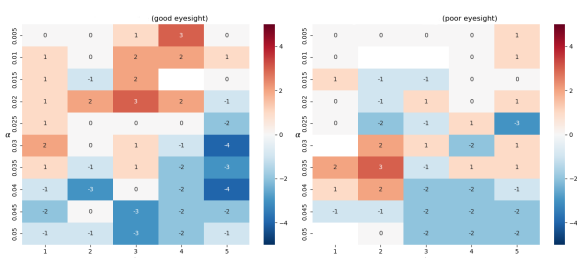
図 10 各 α と t における P と V の差 ($P - V$)

用に依存し、 N か $P+F$ かの判断は主として α に規定され、 P か F の判断は t に依存するという三層構造が明らかとなった。言い換えれば、それぞれ異なる心理過程に支配されていることが示唆される。

人型シルエットにより擬似気配を感じてもらうためには、まず、シルエットが見えてしまってはならない。その上で、感じた気配の方向が正しいことを期待したい。そこで V と P に注目する。一方で気配は常に感じられるとは限らず、また常に正しいとは限らないので、以下では N と F は注目しない。また V はできるだけ避けたい対象であり、 P はできるだけ期待したい対象である。そこで、 α と t の組み合わせに対する擬似気配提示の有効度合いとして P と V の数の差 (以下 $P - V$) を示す (図 10)。この P ができるだけ大きく、かつ V ができるだけ小さい、言い換えれば P から V を差し引いた値が十分に大きければ、その組み合わせは擬似気配を感じさせるのに有効であり、そのような組み合わせが見つければ本手法が有効であると考えられる。表示濃淡が $\alpha = 0.020$ 以下で表示時間が $t = 3 \sim 4$ 秒付近と、表示濃淡が $\alpha = 0.030 \sim 0.035$ 付近で表示時間が $t = 3$ 秒以下で、反応

数において P が V を上回り、 P は比較的大きくまた V はゼロに近くなることが分かる。比較的濃淡の濃い表示の場合、中心寄りの周辺視野では意識下において知覚されやすいが、表示時間を短くすることで提示前後による瞬間的な変化と捉えられ、反射的な知覚を促されたのだろう。また、比較的濃淡の薄い表示の場合、短い表示時間では意識下で知覚されにくい、表示時間を少しだけ長くすることで無意識下での知覚を促されたのだろう。今回の評価では、透明度と時間 (α, t) が (0.035, 1) ~ (0.020, 3) ~ (0.005, 4) のあたりで、半透明のシルエットを短時間表示することが擬似的な気配として有効であることが示唆された。

個別試行レベルで P と V を二値応答として GLMM 解析を行った。 P 応答の確率に対し α および t の主効果はいずれも有意に負であり、 α や t が増すと V が優勢になる傾向を示した (それぞれ, OR = 0.27, $p < 0.001$; OR = 0.44, $p = 0.001$)。交互作用は有意傾向に留まった (OR = 0.68, $p = 0.064$)。一般化線形モデル (GLM) で $P - V$ の値を解析した。説明変数 α, t は同様に標準化した。 α や t が増すと有意に (それぞれ $p < 0.001$; $p = 0.004$) 減少する傾向が見られた。また便宜的に、 $P - V$ の大きい領域の群として (α, t) = (0.035, 1), (0.03, 1), (0.03, 2), (0.025, 2), (0.02, 2), (0.025, 3), (0.02, 3), (0.015, 3), (0.01, 3), (0.01, 4), (0.005, 4) を、 $P - V$ の小さい (負の値) 領域の群として (α, t) = (0.05, 3), (0.045, 3), (0.05, 4), (0.045, 4), (0.04, 4), (0.05, 5), (0.045, 5), (0.04, 5), (0.035, 5), (0.03, 5), (0.025, 5) を選択し、GLM で $P - V$ を従属変数、 α, t , 群 (大, 小) を説明変数として群間比較した。有意に差が大きく ($\beta = -6.97$, $p = 0.006$)、一方で α および t 単独、ならびにその交互作用は有意な効果を示さなかった。反応の変化が特定の条件下で生じる非線形的な特性を持つ可能性

図 11 GAM による $P - V$ の予測値図 12 良い視力グループ (左) と悪い視力グループ (右) の P と V の差

を示唆している．そこで $P - V$ の値に対して一般化加法モデル (GAM) を適用した (図 11)． α および t の直線の主効果はいずれも非有意 (それぞれ $p = 0.48$; $p = 0.17$) であったものの，両者の交互作用は有意 (係数 = -36.61 , $p = 0.002$) であった． α に対する非線形効果の 1 次成分は $p = 0.080$ と有意傾向にあり，非線形成分の存在が示唆される傾向が見られた．

提案の手法では，周辺視野に薄いシルエットを短時間だけ表示するが，HMD の利用においては中心視野に近い領域にしか提示できない．すると，視力 (中心視野の見る能力) により擬似気配としての有効性に違いが出るかもしれない．そこで，視力が 0.7 以上の良いグループ，および 0.3 以上 0.7 未満 (矯正を含め 0.3 未満はいなかった) の悪いグループに分けて結果を比較する (図 12)．いずれも前述の結果と同様の透明度と時間において P が V を上回る傾向が見られたが，視力の良いグループでは薄く長い方が，視力の悪いグループでは濃く短い方が特に P と V の差が大きかった．

4 むすび

本論文では，HMD 以外の特別な機器や環境なしに，標準的な HMD の視覚提示機能のみを利用する，擬似的な気配による新たな情報提示手法を提案した．短い表示

時間と薄い濃淡での人型シルエット提示により無意識の処理を促し，擬似的な気配の提示を試みた．検証によりこの不確実な情報提示の可能性が示唆された．予備実験から設定した背景に限定しており，濃淡や表示時間の絶対的な値は特定の意味をなしていないが，状況に応じて適切な濃淡や表示時間を見いだせそうなことも示せた．今後は，検証データを増やし，また背景やその色による適切な濃淡や表示時間の変化や，人型シルエット以外を表示した場合の効果について検証したい．考察において除外した，気配が感じられなかった場合や，気配の方向が誤っていた場合についても，検討に含めることでより効果的な擬似気配提示につなげたい．また，レーダーのように全ての情報を確実に提示する場合と，何も提示しない場合，および提案した擬似気配による不確実な情報提示を比較して，目の前のコミュニケーションやタスクに対する集中度合いと周辺情報の把握具合とのバランスを調査することで，気配の有効性を示したい．実際に適用した VR コンテンツ，VR アート作品を広く一般に体験してもらうことも検討したい．

謝辞

本研究の一部は JSPS 科研費 JP23K11182 の助成を受けたものです．

参考文献

- [1] 黒川茂莉 (編集チームリーダー). 接近するバーチャルとリアル—メタバース・デジタルツインの現在と未来—(小特集). 電子情報通信学会誌, Vol. 106, No. 8, pp. 697 – 753, 2023.
- [2] 滝口清昭, 遠山茂樹. 犬は主人を電界で見分ける? —歩行による人体の電界発生とその伝搬—. 国際生命情報科学会誌, Vol. 21, No. 2, pp. 428 – 441, 2003.
- [3] ジェラルド・ザルトマン. 心脳マーケティング. ダイヤモンド社, 2005. ISBN : 978-4478502167.
- [4] K. Suzuki, K. Abe, and H. Sato. Proposal of perception method of existence of objects in 3d space using quasi-electrostatic field. *In Proceedings of International Conference on Human-Computer Interaction*, 2020.
- [5] 伊勢史郎. 聴覚的リアリティを実現する音のデザイン—ヒトとモノの動きがもたらすリアリティの本

- 質-. 日本音響学会誌, Vol. 74, No. 11, pp. 598 – 602, 2018.
- [6] M. Karasawa and H. Kajimoto. Presentation of a feeling of presence using an electrostatic field. *In Proceedings of CHI 2021 Extended Abstracts*, 2021.
- [7] K. Hokoyama, Y. Kuroda, K. Kiyokawa, and H. Takemura. Mugginess sensation: Exploring its principle and prototype design. *In Proceedings of IEEE World haptics*, pp. 563 – 568, 2017.
- [8] S. Zhao, A. Ishii, Y. Kuniyasu, T. Hachisu, M. Sato, S. Fukushima, and H. Kajimoto. Augmentation of acoustic shadow for presenting a sense of existence. *In Proceedings of International Workshop on Modern Science and Technology*, pp. 563 – 568, 2012.
- [9] Z. He, F. Zhu, K. Perlin, and Z. Ma. Manifest the invisible: Design for situational awareness of physical environments in virtual reality. *arxiv*, 2018.
- [10] Y. Kudo, A. Tang, K. Fujita, I. Endo, K. Takashima, and Y. Kitamura. Towards balancing vr immersion and bystander awareness. *In Proceedings of the ACM on Human-Computer Interaction*, Vol. 5(ISS), No. 484, pp. 1 – 22, 2021.
- [11] J. Li, H. Park, R. Welsch, S. Mayer, and A. Butz. Seatmatevr: Proxemic cues for close bystander-awareness in virtual reality. *In Proceedings of the ACM on Human-Computer Interaction*, Vol. 7(ISS), No. 438, pp. 266 – 285, 2023.
- [12] S. Mansour, P. Knierim, J. O’Hagan, F. Alt, and F. Mathis. Bans: Evaluation of bystander awareness notification systems for productivity in vr. *In Proceedings of Workshop on Usable Security and Privacy (USEC)*, 2023.
- [13] J. Hommes and M. Kipp. Light bridge: Improving social connectedness through ambient spatial interaction. *In Proceedings of the 2024 ACM Designing Interactive Systems Conference (DIS ’24)*, pp. 1658 – 1665, 2024.
- [14] K. Funahashi and Y. Matsunoo. A visual approach to pseudo unseen presence in the meta-verse using hmd. *In Proceedings of International Conference on Artificial Reality and Telexistence*, 2023.
- [15] T. Hatada, H. Sakata, and H. Kusaka. Psychophysical analysis of the ‘sensation of reality’ induced by a visual wide-field display. *SMPTE Journal*, Vol. 89, No. 8, pp. 560 – 569, 1980.
- [16] 増田千尋. 3次元ディスプレイ. 産業図書株式会社, 1992. ISBN : 978-4782857014.
- [17] 畑田豊彦. 3次元ディスプレイの技術動向. 光学, Vol. 21, No. 9, pp. 574 – 582, 1992.
- [18] V. Virsu and J. Rovamo. Visual resolution, contrast sensitivity, and the cortical magnification factor. *Experimental Brain Research*, Vol. 37, pp. 475 – 494, 1979.
- [19] 三浦利章. 視覚的注意と安全性. 照明学会誌, Vol. 82, No. 3, pp. 180 – 184, 1998.
- [20] T. Fukuda. The functional difference between central and peripheral vision in motion perception. *The Journal of the Institute of Television Engineers of Japan*, Vol. 33, No. 6, pp. 479 – 484, 1979.
- [21] 福田忠彦. 図形知覚における中心視と周辺視の機能差. テレビジョン学会誌, Vol. 32, No. 6, pp. 492 – 498, 1978.
- [22] 福田忠彦. 周辺視における文字列の認識と側干渉効果. テレビジョン学会誌, Vol. 33, No. 9, pp. 726 – 731, 1979.
- [23] iNFINITE Production. VR headset database and utility web ページ. <https://www.infinite.cz/projects/HMD-tester-virtual-reality-headset-database-utility>. 参照: 2025-5-9.

舟橋 健司



1993 年岐阜大学工学部卒業，1995 年名古屋大学大学院工学研究科博士前期課程修了，1998 年同博士後期課程修了．同年名古屋工業大学助手，講師，助教授を経て，現在，同大学情報基盤センター准教授．バーチャルリアリティ，コンピュータグラフィックス，ヒューマンインタフェースに関する研究に従事．日本バーチャルリアリティ学会，電子情報通信学会，芸術科学会，IEEE，ACM 各会員．博士（工学）．

松野尾 柚稀



2023 年名古屋工業大学情報工学科卒業，同年株式会社メイテック入社，現在に至る．在学中，バーチャルリアリティに関する研究に従事．