

3次元バーチャル空間におけるインフォーマルな会話の開始を促すためのゲイズキューの可視化手法

井出将弘^{†1†2} 市野順子^{†1} 芳木武仁^{†2} 横山ひとみ^{†3} 浅野裕俊^{†4}
宮地英生^{†1} 岡部大介^{†1}

概要：インフォーマルな会話が始まる前の人々のインタラクションでは、ソーシャルキューの中でも特にゲイズキューが重要な役割を果たすとされる。本研究は、3次元バーチャル空間で、ゲイズキューの可視化がインフォーマルな会話の開始を促すかを調べるために、3つの可視化手法を設計、実装した。96人の参加者に、4つのゲイズキュー（矢印・流れるシャボン玉・ミニチュアのアバタでそれぞれ可視化されたゲイズキューとコントロール条件としての可視化されていないゲイズキュー）のいずれかを、2つのゲイズタイプ（一方がもう一方を見つめる一方向型と、2人が同じ対象を見つめる共同型）で使用してもらった。その結果、可視化された3つのゲイズキューは、可視化されないゲイズキューと比べて、一方向型と共同型いずれの場合も、インフォーマルな会話の開始を促すことに成功した。3つの可視化手法の中では、一方向型では、シャボン玉が最も有効で、ゲイズキューの受け手は、言語や非言語で送り手により反応した。本研究は、バーチャルタウン、バーチャル展示会などの多人数VRアプリケーションに応用できる。

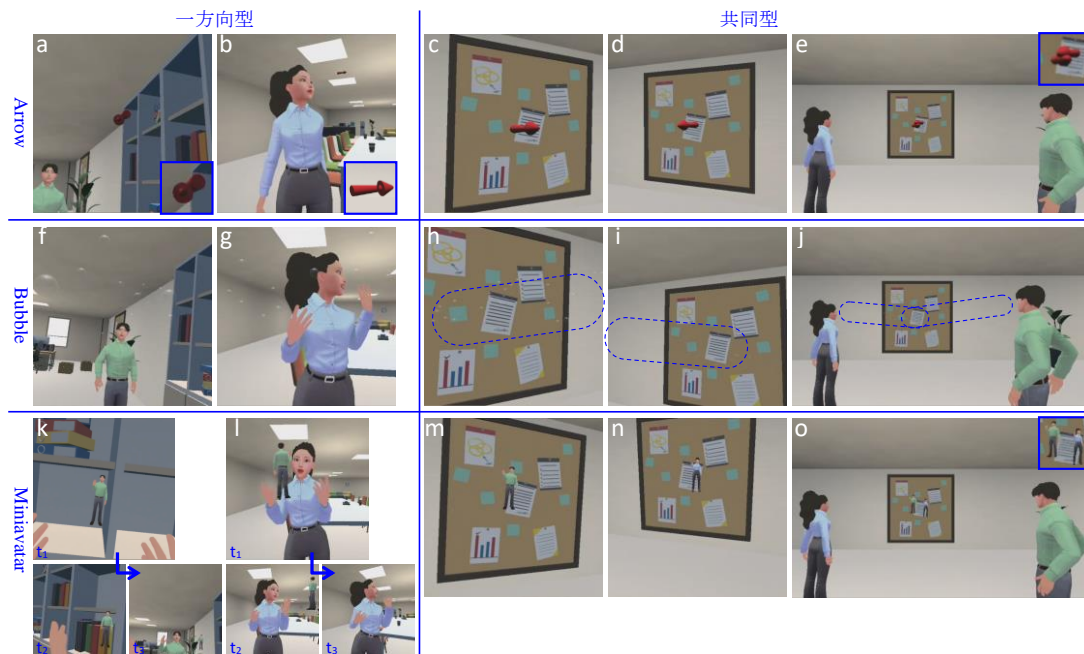


図1 3つのゲイズキュー：視線の送り手のいる方向を指す矢印 **Arrow** (a-e)、送り手のいる方から流れてくシャボン玉 **Bubble** (f-j)、送り手のミニチュアのアバタ **Miniavatar** (k-o)。インフォーマルな会話の開始の契機となる2つのタイプの視線行動：一方がもう一方を見つめる**一方向型** (a,b,f,g,k,l)、2人が同じ対象を見つめる**共同型** (c-e,h-j,m-o)。a,f,kは視線の受け手（女性）のPOV、b,g,lは受け手を正面から捉えたショット。c,h,mは女性のPOV、d,i,nは男性のPOV、e,j,oは2人を側面から見た図（両方のゲイズキューを見られる実験管理者用）。青色の破線で囲まれた辺りにシャボン玉が流れている（h-j）。受け手がミニアバタを見ると、ミニアバタはオリジナルのアバタのいる場所へ移動する（k-l）。

1. 序論

インフォーマルコミュニケーションとは、日程、参加者、議題、目標などが決められていない、偶発的に発生する知人あるいは見知らぬ人との何気ない交流を指す[1]。課題解決のヒントの発見やイノベーションの創出に不可欠

とされるセレンディピティ[2]は、しばしば、インフォーマルなコミュニケーション（会話）から生じる[3]。オンライン空間におけるセレンディピティの欠如の問題は以前から問題視されていた[2][4]が、COVID-19パンデミックによってオンライン空間でのコミュニケーションが急増した結果、この問題は深刻さを増した[5][6]。この問題が解決されなければ、我々のコミュニケーション力やイノベーション力が低下し、社会不安や文化的衰退につながる恐れもある。これからのオンライン空間におけるコミュニケー

†1 東京都市大学
†2 TIS株式会社
†3 岡山理科大学
†4 工学院大学

ションメディアには、インフォーマルな会話を誘発する、換言すると、インフォーマルな会話の開始のきっかけをユーザに提供する仕組みが必要である。

実空間での会話が始まる前の人々のインタラクションは、社会学的知見によれば、ソーシャルキュー（外見、視線、顔の表情、ジェスチャ、姿勢等）の中でも特に視線に関するキュー（ゲイズキュー）が重要な役割を果たす[7][8]。テキストチャット、音声通話、ビデオ会議といった従来のオンライン空間におけるコミュニケーションメディアは、メディアリッチネス理論[9]によれば、メディアを介して交換されるソーシャルキューが少ないため、実空間での対面対話に劣る[10]。これに対し、3次元バーチャル空間でのアバタを介した対話は、交換されるソーシャルキューが多い上に、リアルタイムに環境を操作したり再構成したりできる[11]ため、新たなオンライン空間におけるコミュニケーションメディアとして将来性がある。このことから、バーチャル空間でソーシャルキューの情報をユーザにどのように提示するかという疑問が生じるが、この疑問に関連する研究は十分に進んでおらず[12][13]、ゲイズキューを扱った研究になるとさらに限られる。例えば、アイコンタクトや共同注意を可視化すると、バーチャル博物館を閲覧しているグループメンバの社会的存在感を高めたり、アイコンタクト時間を増やしたりする[14]、異なるスタイルのゲイズキューの可視化は、バーチャル空間で作業を行うチームメンバの作業効率や社会的存在感に影響を及ぼす[15]といった証拠はある。しかし、インフォーマルな会話の開始を促すために、ゲイズキューの情報をどのように拡張するかを検討した研究は見当たらない。バーチャルタウン、バーチャル展示会、バーチャルオフィスなど多くの場面での応用が見込まれることから、そのような研究の進展が望まれる。

本稿では、3次元バーチャル空間で、ユーザ間のインフォーマルな会話の開始を促すためのゲイズキューの可視化手法を検討する。本研究課題は以下である。

RQ1：ゲイズキューの可視化はインフォーマルな会話の開始を促すか？

RQ2：異なるスタイルの可視化はユーザの行動や体験に影響を及ぼすか？

これらの研究課題に答えるために、3つのゲイズキューの可視化手法を設計、実装、評価した。96人の参加者に、バーチャル空間でサクラとゲイズキューを体験してもらった被験者間実験を実施した。各参加者は、4つのゲイズキュー（矢印・流れるシャボン玉・ミニチュアのアバタでそれぞれ可視化されたゲイズキューとコントロール条件としての可視化されていないゲイズキュー）のいずれかを、2つのゲイズタイプ（一方がもう一方を見つめる一方向型と、2人が同じ対象を見つめる共同型）それぞれで使用した。本研究の貢献を以下に示す。

貢献 1（3節）：インフォーマルな会話の開始を促すための、一方向型および共同型ゲイズキューの可視化手法についての概念、設計、実装

貢献 2（4.5節）：提案した3つの可視化手法がインフォーマルな会話の開始を促すこと（**RQ1**）と、3つの中では、一方向型においてはシャボン玉が最も有効で、ゲイズキューに遭遇した際の知覚・認知・感情に関するユーザの体験を高めた結果として、会話を開始するための言語・非言語行動を増やせること（**RQ2**）、の定量的な証拠

貢献 3（6.3節）：将来の多人数 VR アプリケーションの設計に対する示唆についての考察

2. 関連研究

2.1 インフォーマルな会話の開始の支援

自分とは全く異なる考えを持った人々との会話は、情報やアイデアの交換に非常に有益である[2]が、会話を友好的に開始することは必ずしも容易ではない[16]。それゆえ、実空間やオンライン空間において、インフォーマルな会話の開始を支援する研究が多数行われている。

実空間におけるインフォーマルな会話の開始の支援に関する研究は、基本的に同床の人々を対象として、アドホックなペアやグループの形成を支援している。主流のアプローチは、携帯端末の利用を前提として、特定の共通点（例えば、職業や住所等の基本情報[17]）に基づいて、システムがペアとなる相手の候補をユーザに推薦する。このアプローチは、ユーザが検索エンジンによって好みの情報に囲い込まれてしまうフィルターバブル[4]現象と同様に、逆効果になるとの指摘もある[16]。他のアプローチとしては、共通点に基づかずに、公共の空間にある物理的なモノからの働きかけ（例えば、人同士を近づけるべく変形する椅子[16]、通行人に泡を吹きかけるロボット[18]）がある。

オンライン空間におけるインフォーマルな会話の開始の支援に関する研究は、実空間における研究よりも古くから行われている。分散環境で作業している同僚を対象にしたシステムは、インフォーマルな会話を発生させるために、ユーザに、同僚の顔[19]や全身[20]の、リアルタイム映像を提示する。最近のビデオ会議サービス（例えば Spatical Chat[21]）は、アイコンやアバタを操作して複数の部屋間を結ぶ2次元のバーチャルな通路を動き回ることができ、インフォーマルな会話を開始できる機能を提供している。

このように、実空間、オンライン空間におけるインフォーマルな会話の開始の支援に関連した研究は進歩を遂げてきたが、新たなオンライン空間として将来性のある3次元バーチャル空間は未開拓である。

2.2 バーチャル空間におけるコミュニケーション・コラボレーションとゲイズキュー

ゲイズキューは、バーチャル空間におけるコミュニケーションやコラボレーションを検討する際に特に重要なソ

ーシャルキューの一つである[13]。ゲイズキューとコミュニケーションやコラボレーションの関係を探究した研究も進みつつある。

これら先行研究では、ゲイズキューの入力情報として、眼球の動き[22][23][15]、頭部方向[23][24][14]などが用いられている。これらをユーザがインタラクションする対象（相手）という観点で分類すると、対象がゲーム上のバーチャルキャラクターである研究[22][23][24]と、対象が他ユーザのアバタである研究[14][15]がある。本研究も、後者の2つの研究[14][15]と同様に、ユーザは他ユーザのアバタとインタラクションする。Rothら[14]は、バーチャル博物館を観覧するグループに対して、ユーザ同士のアイコンタクトを浮遊する気泡を用いて可視化したり、共同注意をオブジェクト上の粒子のハイライトで可視化したりすると、アイコンタクト時間を増やし、グループの社会的存在感を高め、ユーザの思考力を刺激することを示した。Freiwaldら[15]は、バーチャル倉庫で、補助者の視覚的な合図に従ってオブジェクトを移動するタスクを用いて、3つの視点伝達手法（補助者の視野の境界を3Dコーンで可視化、補助者が見ているオブジェクトをハイライト、補助者の視界映像をミラー表示）を比較した。その結果、ミラー表示が作業効率を高め、3Dコーンが社会的存在感を高めることを示した。

このように、バーチャル空間でのゲイズキューの可視化手法はいくつかの研究があるものの、バーチャル空間において同床の複数ユーザ間のインフォーマルな会話の開始を支援するために、ゲイズキューの情報をユーザにどのように提示するかを探究した研究は見当たらない。

3. 設計と実装

本節では、まず、インフォーマルな会話が始まるまでのプロセスを整理する(3.1節)。次に、インフォーマルな会話の開始を促すためのゲイズキューの可視化手法の設計要件を検討し(3.2節)、それら要件を満たすゲイズキューを設計・実装する(3.3節)。

3.1 インフォーマルな会話が始まるまでのプロセス

インフォーマルな会話が始まるまでのプロセスは、会話の開始に関する社会学的知見[7][25][8]を要約すると、概ね以下の通りである：(1) まず一方（視線の送り手）はもう一方（視線の受け手）の様子を観察した後、視線や身体を向けて注意を引こうとする（attention）；(2) 受け手はこれに気付く、視線や身体を向けて、応答可能であることを示す（reaction）；(3) 両者は小さく頷いたり手を振ったりして互いを認識し合いながら、相手に近づく（pre-interaction）；(4) 両者の距離が縮まったら視線を合わせ、会話を開始する（interaction）。以上は、一方が他方を見つめることが会話の契機となる場合のプロセスモデルである（一方向型、図2左）。

また、二者がほぼ同時に同じ参照物を見つめることが会話の契機となる場合もある[26]（共同型、図2右）。一方向型に習って、共同型のプロセスを記述すると以下ようになる：(1) 2人が偶然同時に同じ参照物を見つめる、あるいは、一方が先に参照物を見つめておりそれに気付いたもう一方が追従して同じ参照物を見つめる（attention）；(2) 両者はこれに気付く、互いに視線や身体を向けて、応答可能であることを示す（reaction）；(3)と(4)は一方向型と同じである。

以上より、本研究は、インフォーマルな会話開始の契機となる視線行動（つまり、図2のattentionフェーズの視線行動）を、可視化の対象とし、一方向型と共同型の2つに分けて検討する。



図2 インフォーマルな会話開始プロセスにおけるattentionフェーズ（プロセス全体は付録A参照）

3.2 インフォーマルな会話の開始を促すためのゲイズキューの可視化手法の設計要件

バーチャル空間でのユーザ同士のインフォーマルな会話の開始を促すためのゲイズキューを設計するための要件を、人間の情報処理における知覚、認知、感情の観点からそれぞれ検討した。表1に要件の概要を示す。

表1 インフォーマルな会話の開始を促すためのゲイズキューの可視化手法の設計要件

R1	知覚	キューの受け手は、送り手からのキューを見逃すことなく容易に知覚できる。キューには動きがある。
R2	認知	キューは、キューの送り手がいる場所から離れて可視化され、かつ、受け手が送り手がいる場所を容易に特定（認知）できる。
R3	感情	キューは、キューの受け手の興味・関心を引ける。

3.2.1 知覚に関する要件（R1）

共同作業支援を目的としたVRシステムとは異なり、本システムが対象にする「ユーザ」は、予め他者と会話を開始する意図を持っているとは限らない。つまり、本システムは、バーチャル空間にある他の様々な刺激と、ユーザの注意を奪い合う状況に置かれている。ユーザがゲイズキューを知覚できなければ、本システムのユーザにはなり得ない。Rotheら[27]は、シネマティックVR環境におけるユーザの注意を調査し、動きのない視覚的キューは、ユーザの注意を引かないことを明らかにした。

上述の問題は、3次元バーチャル空間の場合、深刻である。何故なら、HMDの視野が人間の視野よりも狭いことと、実空間における感覚モダリティの情報が完全に再現されていないことから、ユーザは視野外の空間の状況を把握することがより困難になるからである。VRゲーム[28]や

シネマティック VR[27]では早くからこの問題が認識されている[29]が、アバタのコミュニケーションにおいても同様の問題が生じる[30].

要約すると、会話の意図のないゲイズキューの受け手が、視野外の他者(送り手)から見られたとしても、見逃すことなく容易に知覚できる必要がある。そのためにはゲイズキューは動きを伴っている必要がある。

3.2.2 認知に関する要件 (R2)

3.1 節で述べたように、会話が開始する前、送り手からの注目(図 2)に気付いた受け手は、送り手に対して応答可能であることを示す。そのためには、受け手は送り手がどこにいるかを特定できている必要がある。

視覚的なアウェアネスキューの配置の次元は、*situated* (情報が発生する場所で可視化される)と *separate* (情報が発生する場所とは異なる場所で可視化される)に分類される[31]。この次元に沿って検討すると、ゲイズキューを *situated* に提示すれば(例えば、アバタの眼球を光らせる)ば、ユーザは視線の送り手の場所を特定できることになる。この手法は、送り手が受け手の視野内にいる場合は有効かもしれない。しかし、3.2.1 節で述べたように、本研究が想定する状況では、送り手が受け手の視野内にいるとは限らないため適用できない。

要約すると、ゲイズキューは、*separate* (情報が発生する場所とは異なる場所)に提示し、その上で、ゲイズキューの受け手が送り手のいる場所(情報の発生する場所)を容易に特定(認知)できる必要がある。

3.2.3 感情に関する要件 (R3)

3.2.1 節で述べたように、本システムの「ユーザ」は、他者と会話する意図を持っているとは限らず、何らかのタスクに取り組んでいる可能性が高い。「ユーザ」に、進行中のタスクを中断してもらうには、彼らの知覚や認知を変えるだけでなく、興味・関心を引く必要がある。これは、パブリックディスプレイユーザの行動モデル(例えば[32])の考え方(通行人をパブリックディスプレイのユーザにするためには、注意を引くだけでなくインタラクションを動機付ける)と共通する。ユーザの興味・関心を引くためには、楽しさや親近感といったポジティブな感情を喚起すると同時に、緊張感やプレッシャーといったネガティブな感情を喚起しないようにする必要がある。

要約すると、ゲイズキューは、他の主タスクに取り組んでいるかもしれないゲイズキューの受け手の興味・関心を引ける必要がある。

3.3 設計と実装

前節で検討した 3 つの設計要件のうち、知覚 (R1) と認知 (R2) の 2 つの要件が最低限の要件と考えられるため、この 2 つの要件を満たしたミニマルな手法と、3 つの要件すべてを満たした手法の両方を、関連研究を踏まえつつ、検討した。設計・実装・インフォーマルな予備実験・

考察を繰り返して実施した。ユーザの内省報告に基づき、計 10 個の手法のうち、最終的に 3 つの手法 (Arrow, Bubble, Miniavatar) ユーザに最も受け入れられた。Arrow がミニマルな手法である。

【Arrow】 この手法(図 1 a-e)では、ゲイズキューが、視線の送り手のいる方向を指す (R2) 矢印で表現される。矢印は、矢印の向きと平行に 1 秒間に 1 回振動する (R1)。一方向型(図 1 a-b)では、送り手が受け手を注視すると、送り手のいる方向を指す矢印が (R2)、受け手の視界中心付近に現れる (R1)。共同型(図 1 c-e)では、2 人の送り手が参照物を注視すると、各送り手のいる方を指す 2 つの矢印が (R2)、2 人の注視先(参照物上)に現れる (R1)。但し、各送り手が見えるのは相手を指す矢印のみである(図 1 c-d)。矢印をモデルにした表現は、先行研究[33][34]でも、ユーザの注意を導くために用いられている。

【Bubble】 この手法(図 1 f-j)では、ゲイズキューが、視線の送り手のいる方から (R2) 流れるほぼ透明のシャボン玉 (R3) で表現される。一方向型(図 1 f,g)では、送り手が受け手を注視すると、シャボン玉が、送り手のいる方から (R2)、受け手の顔がある辺りに向かって流れる (R1)。共同型(図 1 h,i,j)では、2 人の送り手が参照物を注視すると、2 群のシャボン玉が、2 人の送り手のいる方から (R2)、2 人の注視先に向かって流れる (R1)。但し、各送り手が見えるのは相手から流れるシャボン玉のみである(図 1 h-i)。シャボン玉をモデルにした表現は、Roth ら[14]の浮遊する気泡に類似する。

【Miniavatar】 この手法(図 1 k-o)では、ゲイズキューが、視線の送り手のミニチュアのアバタ(以降、ミニアバタと呼ぶ)で表現される。一方向型(図 1 k,l)では、送り手が受け手を注視すると、ミニアバタが受け手の視界中心付近に現れ (R1)、受け手の顔を見て笑顔で手を振る (R3)。その後受け手がミニアバタを見返したら、ミニアバタはオリジナルのアバタのいる場所へ移動する (R2)。共同型(図 1 m-o)では、2 人の送り手が参照物を注視すると、2 つのミニアバタが、2 人の注視先に現れ (R1)、相手の顔を見て笑顔で手を振る (R3)。その後送り手が相手のミニアバタを見返したら、ミニアバタはオリジナルのアバタのいる場所へ移動する (R2)。但し、各送り手が見えるのは相手のミニアバタのみである(図 1 m-n)。ミニチュアのアバタを用いた表現は、Piumsomboon らの研究[35]で、指差し方向等を提示するために用いられている。

上述したいずれの手法においても、一方向型の場合、送り手と受け手の位置関係が、以下の(s1)(s2)いずれかに該当する場合は、ゲイズキューは可視化されない。(s1)二者が会話するのに十分なほど近く(二者間の距離が 2.1m 未満)、かつ、二者が顔を向き合せている(二者の顔表面の法線ベクトルのなす角が 160 度より大きい)、(s2)受け手が見つめられていることを知覚できないないほ

ど二者が離れている（二者間の距離が 5.7m 以上）。これらの値は、Hall の近接性理論における社会距離の近接相（知らない人同士が会話をする距離）の距離[36]と、8 人の参加者による予備実験の結果に基づき決定した。共同型の場合は、一方向型のような制約はないが、共同型ゲイズキューは、送り手が対象から視線を外さない限りは連続して発動されない。システムがユーザの視線を入力として利用する際に誤入力が生じるミダスタッチ問題については回避するための実装を行った（付録 B）。

4. 実験

4.1 実験計画

実験は、ゲイズキューの可視化のスタイルを要因とする、1×4 の 1 要因計画であった。4 つの条件は、3 つの可視化条件（Arrow, Bubble, Miniavatar）とゲイズキューの可視化なし条件（Control）であった（図 1）。各参加者が 4 条件のいずれか一つを使用する被験者間計画を採用した。実験の始めから終わりまで、参加者 1 人とサクラ 3 人の計 4 人のメンバで同じバーチャルな部屋にいた。Control 条件では各メンバの注視の判定（付録 B）を行うが、可視化はされない。参加者は実験の目的を知らされなかった。

4.2 参加者

実験の参加者は、一般から募集した計 96 人（男性 48 人、女性 48 人、20～49 歳）である。潜在的な交絡因子を最小限に抑えるために、各性別・年代のサンプルが実験条件間で均等になるように、96 人が 4 つのグループに分けられた（付録 C）。実験全体の所要時間は約 90 分間で、参加者には報酬として 6000 円が支払われた。実験は、東京都市大学研究倫理審査委員会の承認（承認番号 2020-h01）を得て実施された。

4.3 セッションシナリオ

実験は、3 つのセッションで構成された。1 つ目のウォーミングアップセッションは、展示会の休憩ホールやオフィス休憩室等で、明確なタスクを持たない人が他者からアプローチされるコンテキストを想定して設計された。2 つ目のタスクセッションは、展示会のメインホールやオープンオフィス等で、明確なタスクを持った人が他者からアプローチされるコンテキストを想定して設計された。

【ウォーミングアップセッション】参加者のできるだけ自然な行動を観察するために、実験管理者はメンバに、この時間はバーチャル空間に慣れるためのウォーミングアップの時間だと説明した。メンバは、各自、自由に、胸元のビューアーに表示されているカジュアルな読み物を閲覧したり、部屋の中を歩き回って壁の掲示物を見たりした（付録 D 図 1）。その間に、3 人のサクラは、参加者へのアプローチ任務（4.4 節）を 1 回ずつ遂行した。

【タスクセッション】メンバは、各自、指定された場所で、3 つのタスクを順に行った。1・3 番目は視覚探索タス

クで、多数の絵の中からお手本と同じ絵を探してハンドコントローラで選択するタスクであった（付録 D 図 2 左）。2 番目はクイズ解答タスクで、壁に掲示された 3 枚のポスターの中から 1 枚を選んでクイズに回答するタスクであった（付録 D 図 2 右）。参加者が 3 つのタスクを行っている最中に、3 人のサクラは、参加者へのアプローチ任務（4.4 節）を 1 回ずつ遂行した。

【フリーセッション】本セッションでは、サクラによるアプローチ任務は設けられず、メンバは自由に過ごした。

4.4 サクラのアプローチ任務

インフォーマルな会話が開始する状況を擬似的に作り出すために、3 人のサクラが雇用された（サクラのプロフィールは付録 E の表 2 を参照）。サクラの行動が全実験間でできるだけ一貫性があるようにするために、サクラは全実験で同じ人物であった。3 人のサクラは、各々 2 回ずつ、合計 6 回（一方向型が 4 回、共同型が 2 回）の「アプローチ任務」を遂行した。この任務は Control 条件でも全く同様に行われた。

1 回のアプローチ任務で、サクラは最大 3 回のゲイズキューを参加者に送った。サクラは、表 2 に示す行動指針に従って行動した。サクラと参加者間で構築される関係性の差をできるだけ小さくするために、サクラは参加者との会話を自然かつ手短かに切り上げた。6 回のアプローチ任務の、ゲイズタイプ（一方向型・共同型）・参加者に対する相対的な位置・任務開始の凡そのタイミング・話しかける際の台詞等は、予め決められていた（付録 E の表 3）。

表 2 3 回のゲイズキュー送信後のサクラの行動指針

1 回目	サクラが送ったゲイズキューに対して、参加者が何らかの反応をしたら（表 3 のレベル 1 以上の反応）、サクラは参加者と短い会話をし、そこで任務を終える（以降のゲイズキューは送らない）。参加者がゲイズキューに何も反応をしなれば（表 3 のレベル 0 の反応）、サクラは次のゲイズキューを送る。
2 回目	1 回目と同様
3 回目	サクラが送ったゲイズキューに対する参加者の反応に関わらず、サクラは参加者と短い会話をしてから任務を終える。

4.5 実験環境

すべての実験は同じ物理的環境で行われた。参加者及び 3 人のサクラは各々の部屋で回転椅子に座り、ヘッドマウントディスプレイ（HTC VIVE Pro Eye）、ハンドコントローラ（VALVE INDEX Controller V003665-20）、顔表情追跡装置（HTC VIVE フェイシャルトラッカ）、腰位置追跡装置（HTV VIVE トラッカ 2018）を装着した。

VR アプリケーションは、ソーシャル VR プラットフォームである TIS の VirtualCollaboBase [37] をベースとして Unity 上で実装された。アバタは、Ready Player Me [38] を用いてメンバの写真から生成された。アバタの頭部・上半身・腕・手指・腰の動きは、メンバの動きと連動した。アバタの顔面（目、頬、口元）の動きも、メンバの動きと連動した。参加者のアバタを正面・頭上・側面から捉えた映

像と、各メンバのPOV (Point of View) 映像が、バーチャルカメラを用いて記録された。注視を含むメンバの各種行動も、ログとして記録された。

実験中、メンバは、18m×18m×2.8mのサイズのバーチャルな部屋にいた。アバタの身長(4人とも165cm)、服装、シャツの色(参加者は白、3人のサクラは紫・緑・青)は、全実験で同じであった。メンバは、ハンドコントローラで部屋の中を移動し、ハンドコントローラまたは腰の回転で身体の向きを変えた。ゲイズキューの可視化の効果を適切に調べるために、ゲイズキューを補う可能性のあるアバタの足音と影は提示されなかった。3つの可視化条件では、メンバが注視して注視が有効になったら、可視化されたゲイズキューが提示された。サクラのアプローチ任務(4.4節)を適切に遂行するための補助情報(付録Eの表4)がサクラに提供された。

4.6 実験手順

参加者は、実験場所に到着後、実験概要の説明を受けた後、同意書への署名を行った。続けて、各種デバイスを装着し、一般的な操作方法の説明を受けた後5分程度練習した。続けて、参加者は自身のアバタを確認するために、バーチャルな鏡の前で、数分間自由にアバタを動かした(以上手順1)。次に、参加者は、バーチャルな部屋で他のメンバ(参加者以外のサクラ)と対面し、実験管理者から実験の流れ等について説明を受けた(手順2)。続けて、メンバは2つのゲイズタイプ(一方向型と共同型)について一通り説明を受けた後、ペアを組んでこれらを試用した(手順3)。その後、ウォーミングアップセッション(手順4)、タスクセッション(手順5)、フリーセッション(手順6)を行った。各セッションの開始時に、ゲイズキューの使用に関する実験管理者からの教示は一切なかった。すべてのセッション後、参加者はアンケートに回答した。

4.7 評価指標

RQ1およびRQ2に答えるために、参加者の行動(4.7.1節)と体験(4.7.2節)を以下の評価指標で検討した。

4.7.1 行動に関する客観的指標

サクラによるアプローチ任務中の参加者の行動について検討するために、4つの指標(アプローチ任務成功率、言語反応率、非言語反応率、一瞥反応率)を設けた。

これらの指標を求めるために、アプローチ任務中にサクラ(送り手)からゲイズキューを受けた際の、参加者(受け手)の反応のレベル(表3)を、映像を用いて判定した。レベルの設定は、受け手の反応を得た送り手が、会話を開始し易いかどうかを基準にした。レベルの判定は、雇用された2人の評定者が独立して行い、両方で判定が異なるものについては、合意に達するまで2人で討議した。

- **アプローチ任務成功率**: 全実験でサクラがアプローチ任務を遂行した総数(n)のうち、任務中のサクラが1回目または2回目のゲイズキューを送った後、参加者

がサクラに表3のレベル1以上の反応を示した(つまり、サクラが3回目のゲイズキューを送る前に会話が開始した、4.4節参照)総数の割合

- **言語反応率**: 全実験でアプローチ任務中にサクラが参加者に送ったゲイズキューの総数(m)のうち、参加者がサクラに言語反応(表3のレベル3)を示した総数の割合
- **非言語反応率**: m のうち、参加者がサクラに非言語反応(同レベル2)を示した総数の割合
- **一瞥反応率**: m のうち、参加者がサクラに一瞥反応(同レベル1)を示した総数の割合

$n=24*x$, 24: 1条件あたりの参加者数, x : 1人の参加者が実験中に体験するサクラのアプローチ任務の回数(一方向型: $x=4$, 共同型: $x=2$, 計: $x=6$)

$1n \leq m \leq 3n$. 参加者が1回のアプローチ任務中に受けるゲイズキューの回数は1,2,3回のいずれかである(表2)。

4.7.2 体験に関する主観的指標

参加者の体験を、アンケートのリッカート尺度(量的指標)と自由記述(質的指標)を用いて検討した。

リッカート尺度を用いて、他者からのゲイズキューに遭遇したときの体験を調べた。尺度は、ゲイズキューの設計要件(3.2節)に基づき、4つの下位尺度(知覚、認知、ポジティブ感情、ネガティブ感情)で構成し、一方向型と共同型それぞれに対してこの下位尺度を用いた(計14質問項目、7件法)。但し、Control条件の参加者が、共同型ゲイズキューを送る可能性は低いため、共同型に関しては3つの可視化条件の参加者に対してのみ尋ねた。各下位尺度の質問項目は、関連研究および既存の尺度(知覚[39]、認知[39][40]、ポジティブ感情[41]、ネガティブ感情[41])を参考にして設定した。質問項目とリッカート尺度の回答選択肢は付録Fを参照。

自由記述は、一方向型と共同型のゲイズキュー、VRアプリケーション、他メンバに関する質問で構成した。

表3 ゲイズキューに対する受け手の反応のレベル

レベル	定義
0 (反応なし)	ゲイズキューに気付かなかった、あるいは、無視した。
1 (一瞥反応)	送り手の方に顔を向けた。
2 (非言語反応)	送り手に以下の1つ以上の反応を示した。 - 送り手に笑顔を向けた(笑い声を伴わない)。 - 送り手に会釈した。 - 送り手に手を振った。
3 (言語反応)	送り手に以下の1つ以上の反応を示した。 - 送り手に笑いかけた(笑い声を伴う)。 - 半分独り言・半分送り手を意識した様子で発言した。 - 明らかに送り手に対して発言した。

5. 結果

各評価指標の分析結果を図3~図7に示す。図中の記号*は有意水準(*: $p<.05$, **: $p<.01$, ***: $p<.001$)を表す。図6と図7の箱ひげ図のひげの上下端は $1.5 \times IQR$ を表す。読み易さを考慮して、Control, Arrow, Bubble,

Miniavatar 条件をそれぞれ C, A, B, M と表記する。

5.1 行動に関する客観的結果

サクラのアプローチ任務の総数 576 回（一方向型: 4 回 × 参加者 96 人 = 384 回, 共同型: 2 回 × 96 人 = 192 回）のうち, 任務が失敗に終わった 88 回を除いた, 488 回（一方向型: 338 回; 共同型: 150 回）を分析対象とした。88 回の内訳は, 参加者由来の理由（参加者がずっと移動しておりサクラが任務を開始できなかった, 任務中のゲイズキュー送信後ではないタイミングで参加者がサクラに話しかけてきた, 等）が 51 回, サクラ由来の理由（サクラが表 2 の行動指針と異なる行動をとった）が 37 回である。本節の評価指標は, まず, Fisher の正確検定（両側）を用いて分析した。主効果が有意であれば, 下位検定として, Ryan 法を用いて多重比較検定を行った。

5.1.1 一方向型

アプローチ任務成功率（図 3 左）について Fisher の正確検定の結果, 有意であった ($p < .0001$, Cramer's $V = .33$ 効果量中)。下位検定の結果, Control 条件よりも 3 つの可視化条件は割合が有意に高かった (A: $\alpha < .05$, B: $\alpha < .01$, M: $\alpha < .05$)。要約すると, 参加者は Bubble で可視化された一方向型ゲイズキューを受けたときに最も反応した。言語反応率（図 4 左）について Fisher の正確検定の結果, 有意であった ($p < .0001$, Cramer's $V = .22$ 効果量小)。下位検定の結果, Control 条件よりも 3 つの可視化条件は割合が有意に高かった (A: $\alpha < .05$, B: $\alpha < .01$, M: $\alpha < .05$)。さらに, Arrow よりも Bubble は割合が有意に高かった ($\alpha < .05$)。要約すると, 参加者は Bubble 条件の一方向型ゲイズキューを受けたときに言語的に最も反応した。

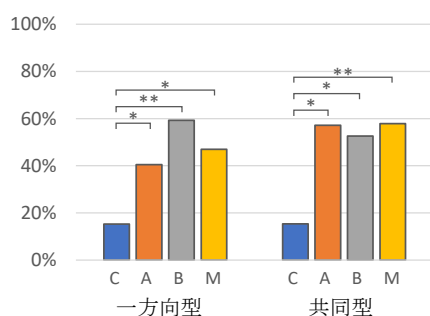


図 3 アプローチ任務成功率

非言語反応率（図 4 中央）について Fisher の正確検定の結果, 有意であった ($p < .001$, Cramer's $V = .13$ 効果量小)。下位検定の結果, Control よりも Miniavatar ($\alpha < .01$) と Bubble ($\alpha < .05$) は割合が有意に高かった。要約すると, 参加者は Miniavatar または Bubble 条件の一方向型ゲイズキューを受けたときに非言語的に最も反応した。

一瞥反応率（図 4 右）について Fisher の正確検定の結果, 有意でなかった ($p = .15$, Cramer's $V = .08$ 効果量小)。

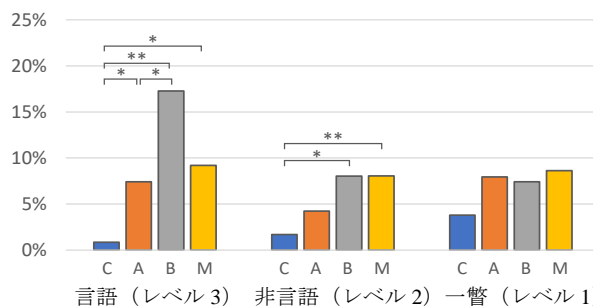


図 4 一方向型ゲイズキューに対する参加者の言語・非言語・一瞥反応率

5.1.2 共同型

アプローチ任務成功率（図 3 右）について Fisher の正確検定の結果, 有意であった ($p < .0001$, Cramer's $V = .36$ 効果量中)。下位検定の結果, Control 条件よりも 3 つの可視化条件は割合が有意に高かった (A: $\alpha < .05$, B: $\alpha < .05$, M: $\alpha < .01$)。要約すると, 参加者は可視化された共同型ゲイズキューを受けると, 可視化がない場合と大差をつけて反応した。

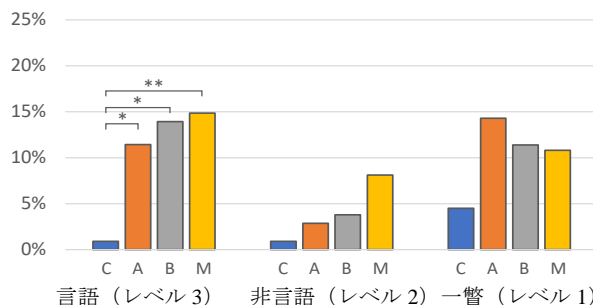


図 5 共同型ゲイズキューに対する参加者の言語・非言語・一瞥反応率

言語反応率（図 5 左）について Fisher の正確検定の結果, 有意であった ($p < .0001$, Cramer's $V = .21$ 効果量小)。下位検定の結果, Control 条件よりも 3 つの可視化条件は割合が有意に高かった (A: $\alpha < .05$, B: $\alpha < .05$, M: $\alpha < .01$)。要約すると, 参加者は可視化された共同型ゲイズキューを受けると, 可視化がない場合と大差をつけて, 言語的に反応した。

非言語反応率（図 5 中央）について Fisher の正確検定の結果, 有意でなかった ($p = .07$, Cramer's $V = .14$ 効果量小)。有意差はないものの, 参加者は Miniavatar で可視化された共同型ゲイズキューを受けた際に非言語的に最も反応した。

一瞥反応率（図 5 右）について Fisher の正確検定の結果, 有意でなかった ($p = .11$, Cramer's $V = .12$ 効果量小)。

上述した評価指標に加え, 参加者のゲイズキューの送り手としての利用頻度を, アプローチ任務のない時間帯（4.6 節の手順 2 と 6）のアプリケーションログを用いて確認した。その結果, 参加者の 1 分間当たりの送信頻度は, 一方向型 (C: 0.68 回, A: 0.90 回, B: 1.38 回, M: 1.11 回), 共同型 (C: 3.34 回, A: 3.44 回, B: 3.69 回, M: 3.40 回) いずれのタイプも Bubble が最も高かった (付録 G)。

5.2 体験に関する主観的結果

リッカート尺度に関して、以下の手順で分析を行った。まず、反転項目の評定値を反転させた後、各下位尺度の信頼性を、Cronbach の α 係数により検討した。その結果、すべての下位尺度の信頼性係数は 0.7 以上あり、許容できる信頼性があることを確認した（付録 F 参照）。次に、各下位尺度に対して、ゲイズキューの可視化のスタイルを独立変数、下位尺度得点（下位尺度に属する質問項目の評定の平均値）を従属変数とする Kruskal-Wallis 検定を行った。主効果が有意であった場合には、下位検定として、Scheffe 法を用いて多重比較検定を行った。

5.2.1 一方向型

【リッカート尺度】リッカート尺度（図 6）について Kruskal-Wallis 検定を行った結果、4 つの下位尺度（知覚、認知、ポジティブ感情、ネガティブ感情）のうち、知覚 ($\chi^2(3)=27.33, p<.001$) と認知 ($\chi^2(3)=22.18, p<.001$) の 2 つの下位尺度で有意であった。下位検定の結果、いずれの下位尺度も、参加者は、Control 条件よりも可視化条件を有意に高く評価した（知覚 A: $p<.05$, B: $p<.001$, M: $p<.001$; 認知 A: $p<.05$, B: $p<.001$, M: $p<.001$ ）。要約すると、可視化のスタイルに関わらず、参加者は、可視化された一方向型ゲイズキューを、知覚し易く（設計要件 R1）、認知し易い（同 R2）と評価した。感情（同 R3）に関しては、有意差はなかったものの、参加者は他条件よりも Bubble をポジティブに、Miniavatar をネガティブに評価した。

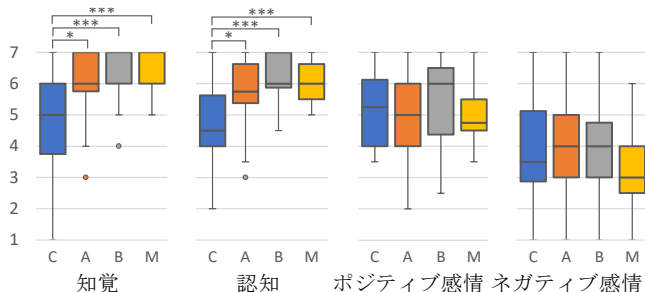


図 6 一方向型ゲイズキューに対する参加者のリッカート尺度（いずれも値が高い方が良い）

【自由記述】一方向型ゲイズキューを受けたときの印象に関する自由記述を分析したところ、最頻出の形容詞は、Bubble は「嬉しい」（24 人中 6 人）で、Arrow と Miniavatar はどちらも「良い」（同 4 人）だった。Miniavatar は、「面白い」等のポジティブな表現を使った参加者と、「緊張する」等のネガティブな表現を使った参加者の両方がいた（付録 H）。

5.2.2 共同型

【リッカート尺度】リッカート尺度（図 7）について Kruskal-Wallis 検定を行った結果、4 つの下位尺度いずれも有意でなかった。図 7 からわかる通り、参加者は、可視化された共同型ゲイズキューを概ね知覚し易く（設計要件 R1）、認知し易い（同 R2）と評価したが、3 つの可視

化条件間に違いはなかった。感情（同 R3）に関しては、有意差はなかったものの、参加者は他条件よりも Bubble をポジティブに、Miniavatar をネガティブに評価した。

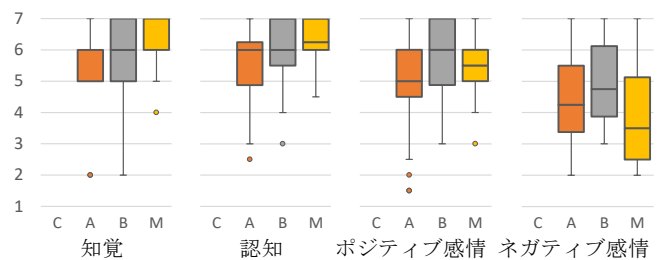


図 7 共同型ゲイズキューに対する参加者のリッカート尺度（いずれも値が高い方が良い）

【自由記述】共同型ゲイズキューを受けたときの印象に関する自由記述を分析したところ、いずれの可視化条件においても多くの参加者が肯定的にコメントした（A: 14/24 人, B: 18/24 人, M: 17/24 人）。肯定的なコメントの具体的な記述に関して、Bubble は「共感」「仲間」等相手との一体感を示唆する表現を用いた参加者が多かった（付録 H）。

6. 考察

6.1 一方向型

RQ1（一方向型）に関して、アプローチ任務成功率に関する結果（図 3 左）から、可視化されたゲイズキュー（Bubble, Miniavatar, Arrow）は、可視化されないゲイズキュー（Control）と比べて、インフォーマルな会話の開始を促すことがわかった。この結果は、前提条件が異なるため直接的な比較は難しいものの、グループメンバー間のアイコンタクトを可視化すると、しない場合と比べてポジティブな影響をもたらすという Roth ら[14]の結果と一致する。

RQ2（一方向型）に関して、参加者の行動（図 3 左、図 4）および体験（図 6）に関する結果から、異なるスタイルの可視化は、ユーザ（ゲイズキューの受け手）の行動や体験に影響を及ぼし、総合的に見て、インフォーマルな会話の開始を最も促すのは、ゲイズキューがシャボン玉で可視化された場合であることがわかった。以降で、可視化のスタイルごとに考察する。

Bubble では、最高レベルの反応である言語による反応（表 3）が他の条件よりも多く観察された。非言語による反応も多く観察された。体験に関する参加者の回答（5.2.1 節）から、Bubble は、ゲイズキューの可視化手法についての 3 つの設計要件（3.2 節）を概ね満たしていると判断できる。以上より、Bubble に対する総合的な評価は次のようになる：「Bubble（送り手から受け手に向かって流れるシャボン玉）で可視化された一方向型ゲイズキューの受け手は、キューを容易に知覚でき、その送り手がどこにいるかを容易に特定（認知）でき、キューに興味・関

心を持たた結果、言語や非言語で送り手に反応した。」

Miniavatar では、Bubble と同程度に、非言語による反応が多く観察されたものの、言語による反応は Bubble 条件の半分程度であった。ゲイズキューが人型で、笑う・手を振るという非言語行動を伴っているため、非言語による反応率が高かったのは、自然な結果かもしれない。体験に関する参加者の回答 (5.2.1 節) から、Miniavatar は、知覚と認知に関する要件を満たしていると判断できるが、感情に関する要件を満たしているとは言えない。ネガティブ感情のリッカート尺度の評定の低さと自由記述から、一定の割合の参加者は、ミニアバタに拒否感を抱いているようである。以上より、Miniavatar に対する総合的な評価は次のようになる：「Miniavatar (受け手の方を向いて手を振っている送り手のミニチュアのアバタ) で可視化された一方向型ゲイズキューの受け手は、キューを容易に知覚でき、その送り手がどこにいるかを容易に特定できたものの、すべての受け手がキューに興味・関心を持つには至らなかった。その結果、非言語で送り手に反応するに留まった。」

Arrow では、言語による反応も、非言語による反応も、Bubble や Miniavatar ほどは観察されなかった。体験に関する参加者の回答から、Arrow は、知覚と認知に関する要件を満たしているが、感情に関する要件を満たしていないと判断できる。これは 3.3 節で知覚と認知の要件を満たすミニマルな手法として Arrow を設計しているため、妥当な結果である。以上より、Arrow に対する総合的な評価は次のようになる：「Arrow (送り手のいる方を指す矢印) で可視化された一方向型ゲイズキューの受け手は、キューを容易に知覚でき、その送り手がどこにいるかを容易に特定できたものの、キューに興味・関心を持つには至らなかった。その結果、一瞥で送り手に反応するに留まった。」

6.2 共同型

RQ1 (共同型) に関して、アプローチ任務成功率に関する結果 (図 3 右) は、可視化されたゲイズキューは、可視化されないゲイズキューと比べて、インフォーマルな会話の開始を促すことを示した。この結果は、前提条件が異なるため直接的な比較は難しいものの、グループメンバー間の共同注意を可視化すると、しない場合と比べてグループメンバーにポジティブな影響をもたらした Roth ら[14]の結果と一致する。3 つの可視化条件のアプローチ任務成功率はいずれも、一方向型での最高のアプローチ任務成功率に匹敵するという結果を踏まえると、共同型ゲイズキューは、可視化手法に関わらず、相手と自分が同じ対象に興味を持っていることがわかることによって、相手と会話することを動機づけるのかもしれない。また、送り手としての利用頻度も、3 つの可視化条件とも、共同型は一方向型の 3 倍以上であった (5.1 節末尾)。以上より、全体的に見て、可視化されたゲイズキューは、一方向型よりも共同型の方が、利用可能性が高いかもしれない。

RQ2 (共同型) に関して、参加者の行動 (図 3 右, 図 5) および体験 (図 7) に関する結果から、異なるスタイルの可視化は、ユーザの行動や体験に影響を及ぼさないことがわかった。

6.3 デザインへの示唆

本研究結果は、インフォーマルな会話を促したい多人数 VR アプリケーションの開発者が、一方向型ゲイズキューを、Bubble または類似の表現を用いて、視覚的に拡張することを考慮すべきであることを示唆する。また、Bubble は、一方向型だけでなく共同型の場合のユーザの評価も高かったことと、ゲイズキューの送信頻度も高かった (5.1 節末尾) ことから、ゲイズキュー可視化の手法として、総合的に有効な手法であるかもしれない。

また、本研究結果は一方向型・共同型いずれの場合も、Arrow のようなシンプルな表現にすると、ゲイズキューの受け手は、キューを容易に知覚でき (表 1 の R1)、その送り手がどこにいるかを容易に特定 (認知) できる (同 R2) が、キューに興味・関心を持つ (同 R3) には至らず、最終的に受け手の言語や非言語の反応を得ることは困難であることを示唆する。換言すると、本研究結果はインフォーマルな会話の開始を促すためのゲイズキューの可視化手法は、表 1 に示した知覚・認知・感情 3 つの要件をすべて満たすように設計すべきであることを示唆する。

6.4 限界と今後の課題

本研究にはいくつかの限界がある。第 1 に、可視化されたゲイズキューを送る際の利用可能性についての検討が不十分である。本研究は、主に他者からのゲイズキューに遭遇した際の利用可能性に焦点を合わせたため、本実験では参加者の送り手としてのゲイズキューの利用頻度は、一方向型、共同型いずれの場合も Bubble が最も高かった (5.1 節末尾) が、異なるスタイルのゲイズキューを送り手としてどのように利用しているかを理解できていない。これを実験室実験によって検討することは困難であるため、フィールドで検討したい。

第 2 に、本研究は、ユーザが顔見知り同士である場合を扱っていない。本研究は、より困難と思われる初対面同士を対象にし、可視化されたゲイズキューが彼らのインフォーマルな会話の開始を促すかを検討した。しかし、展示会やオフィスにいる人々は、顔見知りである可能性も高い。そのような場合に提案したゲイズキューがどう利用されるかを検討したい。

7. 結論

本研究は、3 次元バーチャル空間に多人数ユーザが存在する状況で、ゲイズキューの可視化がインフォーマルな会話の開始を促すかを調べるために、3 つの可視化手法を設計・実装した。96 人の参加者を用いて、サクラとゲイズキューを体験する実験を実施した。その結果、可視化され

た3つのゲイズキューは、可視化されないゲイズキューと比べて、一方向型と共同型いずれの場合も、インフォーマルな会話の開始を促すことに成功した。3つの可視化手法の中では、一方向型では、視線の送り手から受け手に向かって流れるシャボン玉が最も有効であり、受け手は、言語や非言語で送り手により反応した。

謝辞 本研究の一部は、東京都市大学総合研究所「2022年度重点推進研究」、電気通信普及財団「2021年度研究調査助成」、大川情報通信基金「2022年度研究助成」の助成により行われた。ここに謝意を表す。

参考文献

- [1] Kraut, R. E. et al.. Informal Communication in Organizations: Form, Function, and Technology. Human Reactions to Technology: The Claremont Symposium on Applied Social Psychology. Sage Publications, 1990, 145–199.
- [2] Desperately Seeking Serendipity. Keynote presented at CHI 2011. <https://ethanzuckerman.com/2011/05/12/chi-keynote-desperately-seeking-serendipity/>, (参照 2022-09-01).
- [3] Egido, C.. Video Conferencing as a Technology to Support Group Work: A Review of Its Failures. Proc. CSCW '88. 1988, 13–24.
- [4] Pariser, E.. The Filter Bubble: What the Internet Is Hiding from You. Penguin Press, New York, NY, USA, 2011
- [5] Safeguarding Serendipitous Creativity During the COVID-19 Pandemic. <https://cmr.berkeley.edu/2020/11/safeguarding-serendipitous-creativity/>, (参照 2022-09-01).
- [6] Standaerta, W. et al.. Business meetings in a postpandemic world: When and how to meet virtually. Business Horizons. 2022, 65, 3, 267–275.
- [7] Kendon, A.. Some functions of gaze direction in social interaction. Acta Psychologica. 1967, 26, 1–47.
- [8] Salvadori, F. A.. Open Office Interaction: Initiating Talk at Work (Doctoral dissertation). King's College London. 2016.
- [9] Daft, R. L. and Lengel, R. H.. Information richness. A new approach to managerial behavior and organization design. Technical Report. Texas A and M Univ College Station Coll of Business Administration. 1983.
- [10] Lea, M. and Spears, R.. Paralanguage and social perception in computer-mediated communication. Journal of Organizational Computing and Electronic Commerce. 1992, 2, 3–4, 321–341.
- [11] Williamson, J. R. et al.. Digital Proxemics: Designing Social and Collaborative Interaction in Virtual Environments. Proc. CHI '22. ACM, 2022, 423, 1–12.
- [12] Oh, C. S. et al.. A Systematic Review of Social Presence: Definition, Antecedents, and Implications. Frontiers in Robotics and AI. 2018, 5, 114.
- [13] Yassien, A. et al.. A Design Space for Social Presence in VR. Proc. NordiCHI '20, 2020, 8, 1–12.
- [14] Roth, D. et al.. Beyond Replication: Augmenting Social Behaviors in Multi-User Virtual Realities. Proc. IEEE VR '18. IEEE. 2018, 215–222.
- [15] Freiwald, J. P. et al.. Conveying perspective in multi-user virtual reality collaborations. Proc. MuC '20. ACM, 2020, 137–144.
- [16] Mitchell, R. and Olsson, T.. Barriers for Bridging Interpersonal Gaps: Three Inspirational Design Patterns for Increasing Collocated Social Interaction. Proc. C&T '17. ACM, 2017, 2–11.
- [17] Persson, P. et al.. DigiDress: A Field Trial of an Expressive Social Proximity Application. Proc. UbiComp '05. LNCS 3660, 2005, 195–212.
- [18] Lee, W. et al.. Design for serendipitous interaction: BubbleBot - bringing people together with bubbles. Proc. HRI '19. 2019, 759–760.
- [19] Fish, R. S. et al.. Evaluating video as a technology for informal communication. Proc. CHI '92. ACM, 1992, 37–48.
- [20] Fish, R. S. et al.. The VideoWindow system in informal communication. Proc. CSCW '90. ACM, 1990, 1–11.
- [21] Spatical Chat. <https://www.spatial.chat/>, (参照 2022-09-01).
- [22] Steptoe, W. et al.. Lie tracking: social presence, truth and deception in avatar-mediated telecommunication. Proc. CHI '10. ACM, 2010, 1039–1048.
- [23] Andrist, S. et al.. Looking Coordinated: Bidirectional Gaze Mechanisms for Collaborative Interaction with Virtual Characters. Proc. CHI '17. ACM, 2017, 2571–2582.
- [24] Krum, D. M. et al.. Head mounted projection for enhanced gaze in social interactions. Proc. IEEE VR '16. IEEE. 2016, 209–210.
- [25] Mondada, L.. Emergent focused interactions in public places: A systematic analysis of the multimodal achievement of a common interactional space. Journal of Pragmatics. 2009, 41, 1977–1997.
- [26] Pillet-Shore, D.. When to Make the Sensory Social: Registering in Face-to-Face Openings. Symbolic Interaction. 2021, 44: 10–39.
- [27] Rothe, S. et al.. Guidance in Cinematic Virtual Reality-Taxonomy, Research Status and Challenges. Multimodal Technologies and Interaction. 2019, 3, 1.
- [28] Gruenefeld, U. et al.. Comparing Techniques for Visualizing Moving Out-of-View Objects in Head-mounted Virtual Reality. Proc. IEEE VR '19. IEEE. 2019, 742–746.
- [29] The Storyteller's Guide to the Virtual Reality Audience. <https://medium.com/stanford-d-school/the-storytellers-guide-to-the-virtual-reality-audience-19e92da57497>, (参照 2022-09-01).
- [30] Brown, C. et al.. Coordinating attention and cooperation in multi-user virtual reality narratives. Proc. IEEE VR '17. 2017, 377–378.
- [31] Gutwin, C. and Greenberg S.. A descriptive framework of workspace awareness for real-time groupware. Proc. CSCW '02. ACM, 2002, 11, 3: 411–446.
- [32] Müller, J. et al.. Requirements and design space for interactive public displays. Proc. MM '10. ACM, 2010, 1285–1294.
- [33] Burigat, S. and Chittaro, L.. Navigation in 3D virtual environments: Effects of user experience and location-pointing navigation aids. International Journal of Human-Computer Studies. 2007, 65, 11, 945–958.
- [34] Lin, Y. et al.. Tell Me Where to Look: Investigating Ways for Assisting Focus in 360°Video. Proc. CHI '17. 2017, 2535–2545.
- [35] Piumsomboon, T. et al.. Mini-Me: An Adaptive Avatar for Mixed Reality Remote Collaboration. Proc. CHI '18. 2018, 46, 1–13.
- [36] Hall, E.. The Hidden Dimension : man's use of space in public and in private. Anchor Books, Hamburg, Germany. 1969.
- [37] VirtualCollaboBase. <https://github.com/tech-sketch/VirtualCollaboBase>, (参照 2022-09-01).
- [38] Ready Player Me. <https://readyplayer.me>, (参照 2022-09-01).
- [39] Kudo, Y. et al.. Towards Balancing VR Immersion and Bystander Awareness. PACMHCI. ACM, 2021, 5, ISS, 484, 1–22.
- [40] Sousa M. et al.. Remote Proxemics. In: Anslow, C., Campos, P., Jorge, J. (eds), Collaboration Meets Interactive Spaces, 47–73. Springer International Publishing, Cham, Switzerland. 2017.
- [41] Intrinsic Motivation Inventory (IMI). <https://selfdeterminationtheory.org/intrinsic-motivation-inventory/>, (参照 2022-09-01).

付録

付録 A-I は Open Science Framework: https://osf.io/cvkhj/?view_only=c70a42053f8447f89caeffea338d167f で提供する。