仮想空間における非言語情報の可視化が対話に与える影響

The Impact of Visualizing Nonverbal Information in Virtual Spaces on Interaction

中野大地　角薫

DAICHI Nakano, KAORU Sumi

公立はこだて未来大学
Future University Hakodate

Abstract: This study investigates the impact of visualizing nonverbal information in virtual environments on dialogue experiences. In avatar-mediated communication, the limited availability of nonverbal cues such as facial expressions and physiological reactions can hinder mutual understanding. To address this issue, we developed a system that captures users' facial expressions and physiological signals, including heart rate and perspiration, and visualizes them through avatar representations in real time. A user study with ten university students compared four conditions: visual avatar with accurate information, visual avatar with false information, numerical display, and no display. The results showed that visualizing nonverbal information significantly improved participants' ability to understand their partner's emotions and intentions compared to the no-display condition. No significant differences were found between accurate and false information conditions, suggesting that users tended to accept displayed reactions as cues to their partner's state regardless of authenticity. Furthermore, despite limited quantitative differences between numerical and visual presentations, 70% of participants preferred visual representations, indicating that intuitive, nonverbal displays reduce cognitive load and enhance perceived ease of communication. These findings suggest that, in virtual environments, the presence and interpretability of nonverbal feedback may be more important than physiological accuracy. This study provides design implications for avatar-based communication systems that support intuitive and human-like interaction in virtual spaces.

1. はじめに

近年，VR（Virtual Reality）技術は急速に発展し，ゲームやエンターテインメントの枠を超えて，教育，ビジネス，医療，社会生活など多様な分野において活用が進んでいる．ソーシャル VR プラットフォーム「VRChat」において，2025 年大晦日から 2026 年元旦にかけての年越し時の同時接続者数が 14.8 万人を超えたことは，仮想空間が新たな社会的交流の場として定着しつつあることを示す一例である．このように，仮想空間におけるコミュニケーションの機会は飛躍的に増大しており，物理的距離を超えた対話が可能となる一方で，現実世界とは異なる制約も顕在化している．

対面環境におけるコミュニケーションでは，言語情報に加え，表情，視線，ジェスチャー，声のトーン，顔色といった多様な非言語情報が豊富に伝達される．これらの非言語的手がかりは，相手の感情や意図を推測する上で重要な役割を果たし，相互理解や信頼関係の形成に深く関与すると考えられている．しかしながら，仮想空間におけるアバターを介した対話では，身体動作や音声は再現可能である一方，心拍数や発汗といった内的状態に関わる生体情報は通常共有されない．このような非言語情報の欠落は，相手の心理状態に対する不確実性を高め，対話の円滑性や共感形成を阻害する要因となり得る．

近年のアバター技術の進展により，表情や身体動作のリアルタイム再現は可能になりつつあるが，本来不可視である生体情報を可視化し，アバター表現として対話相手に提示することの効果については，十分な検証が行われていない．もし，心拍や発汗といった内的状態が視覚的に共有されれば，相手の緊張や興奮といった感情の変化を直感的に理解できるようになり，対話の質や相互理解のプロセスが改善される可能性がある．

本研究の目的は，仮想空間における対話において，表情，心拍数，発汗といった非言語情報を可視化することが，コミュニケーションの質および対話プロセスに与える影響を検証することである．具体的には，VR 技術と生体センサーを用いてユーザーの表情および生体情報をリアルタイムに取得し，それらをアバターの視覚的変化として提示するシステムを

構築する．このシステムを用いて，非言語情報を提示しない条件と提示する条件を比較し，対話における信頼感や共感の形成，および発話行動の変化を明らかにする．さらに，本研究では意図的に誤った非言語情報を提示する条件を設け，情報の真正性がユーザーの心理および行動に与える影響についても検討する．

以上の検証を通じて，本研究は，仮想空間特有の制約を補完し，円滑な対話を実現するための新たなコミュニケーションモデルおよび対話支援システムの設計指針の提示に貢献することを目的とする．

2. 関連研究

本章では，本研究の理論的背景および関連研究について整理し，仮想空間における非言語情報の可視化が対話に与える影響に関する研究動向を概観する．特に，仮想空間におけるアバター表現，非言語コミュニケーション，生体情報の可視化，および情報の真正性がユーザーの心理や行動に与える影響に焦点を当て，本研究の位置づけを明確化する．

2.1 仮想空間とプロテウス効果

仮想空間とは，コンピュータグラフィックス等によって構築された 3 次元的なデジタル空間を指す．VR 技術の進展により，ユーザーはヘッドマウントディスプレイなどのデバイスを装着することで，あたかもその空間内に実在しているかのような没入感を得ることができる．本研究においては，特にネットワークを介して複数のユーザーが同時にアクセスし，アバター（自身の分身となる 3D キャラクター）を用いて対話や交流を行うことができる「ソーシャル VR」環境を対象としている．具体的なプラットフォームとしては VRChat などが挙げられ，物理的制約を受けない新たなコミュニケーションの場として機能している．一方で，表情や視線，微細な身体動作といった非言語情報は，使用するデバイスやトラッキング技術の精度に依存するため，現実世界に比べて情報量が制限される傾向にある．

プロテウス効果とは，仮想空間においてユーザーが操作するアバターの容姿，服装，身長などの外見的特徴が，ユーザー自身の行動や態度，心理状態に影響を与える現象である．ユーザーは自分のアバターが持つ社会的ステレオタイプや特性に合わせて，無意識のうちに自己の振る舞いを変化させる．Ratan ら（2020）は 30 以上の研究を対象としたメタ分析を行い，アバターの特徴がユーザーの行動的同調を引き起こす効果が小から中程度の効果量で存在することを報告している[1]．この知見は，アバター表現がユーザーの心理や行動に与える影響の普遍性を示している．本研究では，アバターを通じて心拍数や発汗といった生体情報を可視化するシステムを扱うため，アバターの状態変化がユーザーの発話行動や心理的安全性に及ぼす影響を理解する上で，プロテウス効果は重要な理論的背景となる．

2.2 仮想空間における非言語コミュニケーション

対面コミュニケーションにおいて，言語情報は伝達される情報の一部に過ぎず，表情，視線，ジェスチャー，姿勢といった非言語情報が感情や意図の伝達，ならびに信頼関係の構築において重要な役割を果たしている．仮想空間においても，これらの情報をいかに再現するかは重要な研究課題となっている．

Smith と Neff（2018）は，頭部および手のトラッキングに基づく身体を持つアバターを用いることで，対面対話と類似した会話パターンや行動が生じることを示した．身体が表示される条件では社会的プレゼンスが向上し，自然なターン交代が促進されることが報告されている[2]．この結果は，身体動作の可視化が対話の円滑化に寄与することを示唆している．

Guldner ら（2024）は，アバターの顔の特徴と信頼性の知覚に関する実験を行い，肯定的な表情など信頼できると判断される顔特徴を持つアバターに対して，ユーザーの警戒心が低下し，対話が円滑になることを示した[3]．この知見は，表情情報が信頼関係の形成において重要な役割を果たすことを示している．

Maloney ら（2020）は VRChat ユーザーを対象とした観察とインタビューを通じて，ユーザーが対人距離や身振りを用いて非言語情報を補完しようとしている実態を報告している[4]．一方で，現行技術では現実世界のような繊細な非言語的ニュアンスの伝達は依然として困難であることが指摘されている．

以上の研究から，仮想空間において身体動作などの非言語情報は再現されつつあるものの，表情や微細な感情変化といった信頼や共感の形成に不可欠な情報の伝達は依然として不十分であることが分かる．したがって，これらの欠落した情報を補完する新たなアプローチが求められている．

2.3 生体情報の可視化による対話への影響

仮想空間では表情などの非言語情報が欠落しやすい．この課題に対し，本来は目に見えない生体情報を可視化して提示することで，相手の状態を伝えるアプローチが提案されている．これは仮想空間に限らず，

音声通話やテキストチャットなど情報が制限された遠隔コミュニケーション全般において検討されてきた．

狩野と松田（2018）は，通話中の相手の心拍数をリアルタイムに取得し，アニメーション，LED の点光，振動の 3 つの方法で可視化するシステムを提案した[5]．女子大生 20 名を対象とした実験では，100%の参加者がコミュニケーションの違いを感じ，約 67%が体験を肯定的に評価した．特に，心拍情報が会話のきっかけとなり，相手の興奮や関心を把握できたという報告が得られている．

Hassib ら（2017）は，モバイルメッセンジャーに心拍数表示機能を組み込んだ「HeartChat」を開発し，テキストのみでは伝わりにくい感情や緊急性が伝達されやすくなることを示した[6]．ユーザーは心拍数の上昇を興奮や誠実さの指標として解釈する傾向があり，生体情報が感情的文脈の補完に寄与することが明らかとなっている．

Slovák ら（2012）は，遠隔地のパートナーの心拍を触覚的に共有するシステムを用いた実験により，言語的対話がなくとも心理的距離の縮小や安心感の向上が生じることを示した[7]．これは，生体情報の共有が言語を超えた共感の形成に寄与する可能性を示している．

これらの知見は，生体情報の提示が相手の感情状態の推測を支援し，対話の活性化や心理的つながりの維持に寄与することを示している．仮想空間において心拍や発汗を視覚的に提示することは，共感の補完や対話のきっかけ創出に有効であると考えられる．

2.4 アバター表現と情報の真正性が及ぼす心理的影響

仮想空間におけるコミュニケーションでは，ユーザーはアバターという仮の身体を介して対話を行う．この際，アバターの外見や提示される情報は，必ずしもユーザーの実際の状態と一致するとは限らない．このような変容した自己表現は，他者だけでなく操作しているユーザー自身の心理や行動にも影響を与える．

Hu ら（2023）は，アバターの外見的差異がユーザーの行動に与える影響を検証し，外見から連想される社会的役割が行動変容を促す可能性を示した[8]．この結果は，仮想空間において何を表示するかがユーザーの自己認識や行動に影響を及ぼす重要な要因であることを示している．

岸本ら（2024）は，遠隔会議システムにおいて自己映像にぼかしや遅延を加えた場合，身体所有感や操作主体感が変化することを示した[9]．適切な加工は心理的抵抗を低減しコミュニケーションを円滑にする一方，過度な加工は自己認識を損なう可能性がある．

Costa ら（2016）は，実際よりも遅い偽の心拍音を提示することで不安感が低減することを報告しており，提示された生体情報がユーザーの感情調整に影響を与える可能性を示している[10]．これは，ユーザーが偽の情報であっても自身の状態として受容し，心理的反応を調整することを示唆している．

以上の先行研究は，アバター表現や生体情報の提示がユーザーの心理や行動に影響を与えることを示している．しかしながら，複数の非言語情報を統合的に可視化し，その真正性を操作した場合に対話体験へどのような影響が生じるかについては，十分な検証が行われていない．本研究は，この研究的空白を埋めることを目的とする．

3. 仮想空間における対話実験システムの設計

第 3 章では，本研究で構築した仮想空間における対話システムについて述べる．第 2 章で示した研究課題を踏まえ，非言語情報の可視化が対話体験に与える影響を検証するため，表情情報および生体情報をリアルタイムに取得し，アバター表現として提示する実験環境を設計・実装した．本章では，システム全体の構成，アバターの表示仕様，生体情報の処理および通信方式，ならびに対話実験を行う仮想空間の設計について詳細に説明する．

3.1 システム構成

本研究では，2 名の参加者がヘッドマウントディスプレイ（HMD）を装着し，同一の仮想空間内で提示されたお題について対話を行う実験環境を構築した．本システムは，(1) 表情・視線に代表される外的な非言語情報と，(2) 心拍・発汗に代表される内的な生体情報を取得し，実験条件に応じてアバターへ反映することで，非言語情報の提示形式および真正性が対話体験に与える影響を検証することを目的とする．

表情情報の取得には，フェイストラッキングおよびアイトラッキング機能を標準搭載した HTC VIVE Focus Vision を用いた．これにより，口角や瞼の微細な変化，視線方向といった手がかりをアバターへ反映し，対面に近い非言語的手がかりを提示できる環境を整備した．

生体情報の取得には，生体信号計測ツールキットである BITalino (r)evolution を用いた．本デバイスは

心電図（ECG）および皮膚電気活動（EDA）センサーを接続可能であり，ECG から心拍数を，EDA から発汗の指標を推定する．取得したアナログデータは Bluetooth により PC へリアルタイム送信されるため，対話課題の遂行を阻害しにくい計測構成となる．

対話の舞台となる仮想空間は Unity により制作し，ソーシャル VR プラットフォームである VRChat 上で運用した．また，生体情報の送信には OSC（Open Sound Control）通信を用い，バックエンド（Python）から VRChat クライアントへリアルタイムに値を送信した．

3.2 アバターの設計

実験で使用したアバターは VRoid Studio により作成したモデルをベースとし，Unity 上で表情変化および生体情報提示を実装した．本研究では，(1) 表情・生体情報を提示しない非表示アバター，(2) 生体情報を数値・文字で明示する数値文字アバター，(3) 生体情報を顔色変化や汗の記号として統合提示する視覚表現アバターの 3 種類を用意した．さらに，男性型・女性型をそれぞれ用意し，合計 6 体のアバターを制作した．

3.2.1 非表示アバター

非表示アバターは，実験におけるベースライン条件として用いるアバターである．図 1 に女性の非表示アバター，図 2 に男性の非表示アバターを示す．本条件では，参加者の表情および生体情報を一切反映しない．アバターは中立的な無表情を維持し，視線も固定された状態とすることで，仮想空間において非言語情報が欠落した状況を再現する．

3.2.2 数値文字アバター

図 3 に女性の数値文字アバター，図 4 に男性の数値文字アバターを示す．本アバターでは，フェイストラッキングによる表情変化に加え，頭上のビルボードに心拍数と発汗状態を数値およびテキストで表示する．例えば，心拍数は「心拍数：100」のように数値で提示し，発汗は閾値を超えた場合のみ「発汗中」を表示する．これにより，参加者は表情変化と生体情報を同時に参照できる．

表情制御の実装には Unity 拡張ツールである VRCFury を用いた．フェイストラッキングの実装は，アバターのアニメーションコントローラやパラメータの改変が必要となるが，VRCFury によりテンプレート設定を既存データを破壊せず統合できるため，実装ミスの低減と制作効率の向上が期待できる．また，VRCFT-Jerry's Templates を用い，眼球運動，瞼の開閉，口角，舌などのフェイストラッキングデータを各部位へマッピングした．さらに，HMD から送信される表情データを OSC に変換し，Unity 側へ橋渡しするソフトウェアとして VRCFaceTracking を使用した．

心拍数の数値表示には Unity のカスタムシェーダを用いた．0〜9 を横一列に配置したテクスチャを入力として用い，OSC で受信した心拍数に基づいて各桁を算出し，参照座標を水平方向にオフセットすることで任意の数値を描画する．また，視認性を確保するため背景は透過処理とし，多様な背景環境下でも読み取りやすい表示となるよう調整した．発汗は，EDA が閾値以上である間のみ「発汗中」を表示し，閾値未満では非表示とする．

3.2.3 視覚表現アバター

視覚表現アバターは，本研究が提案する「直感的理解」を促す提示形式である．図 5 に女性の視覚表現アバター，図 6 に男性の視覚表現アバターを示す．本アバターでは，フェイストラッキングによる表情変化に加え，生体情報をアバター外見の変化として統合的に提示する．具体的には，心拍数の上昇を頬の赤らみとして表現し，発汗を汗の記号（汗滴）として提示する．これにより，日常対話に近い文脈で相手状態を推測できる環境を構築する．表情制御の実装は数値文字アバターと同様の手法を採用した．

心拍数の表示は，心拍数に応じて頬の赤みが段階的に強くなる方式とした．頬部に赤面表現用テクスチャを適用した透明メッシュを配置し，OSC で受信した心拍数に基づいて描画テクスチャを切り替える．本研究では心拍数が 80 以上で赤面を開始し，10 上昇するごとに赤みの強い画像へ切り替える三段階表現とした（図 7〜図 9）．開始閾値を 80 としたのは，成人の安静時心拍数（おおむね 60〜100）を踏まえ，平常状態と緊張・興奮に伴う上昇を区別するためである．また，段階切替を採用したのは，仮想空間における変化の視認性を確保し，対話相手が「状態変化」を直感的に捉えやすくするためである．

発汗の表示には Unity のアニメーション機構と OSC を組み合わせた．顔面に汗滴を模したメッシュをあらかじめ配置し，通常時は非表示とする．

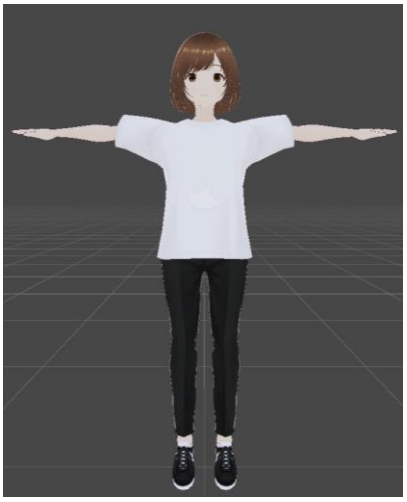

図 1　非表示アバター（女性型）

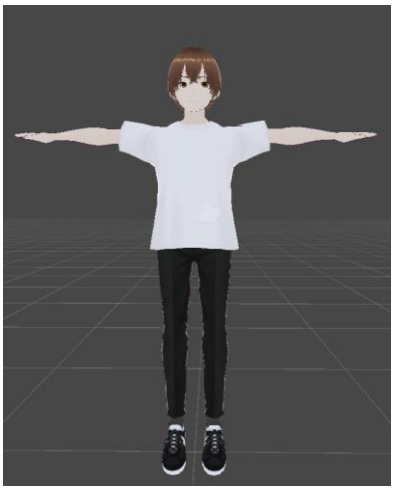

図 2　非表示アバター（男性型）

図 3　数値文字アバター（女性型）

図 4　数値文字アバター（男性型）

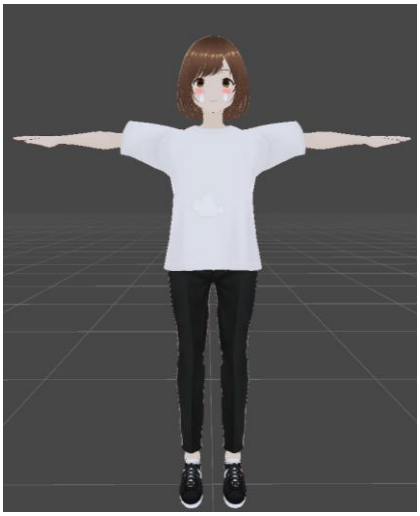

図 5　視覚表現アバター（女性型）

図 6　視覚表現アバター（男性型）

図 7　視覚表現アバターにおける頬の赤らみ表現
（心拍数 80-89）

図 8　視覚表現アバターにおける頬の赤らみ表現
（心拍数 90-99）

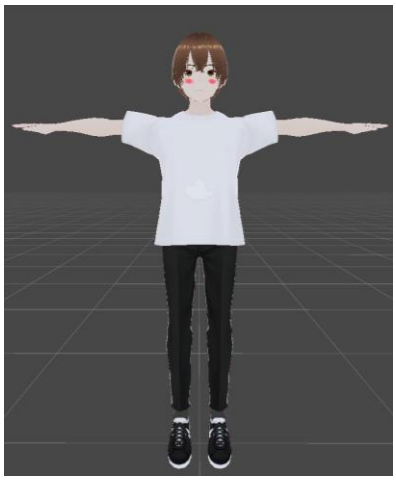

図 9　視覚表現アバターにおける頬の赤らみ表現
（心拍数 100 以上）

EDA が閾値以上である間，汗滴オブジェクトをレンダリングして表示することで，発汗状態を提示する．

3.3 生体情報処理および通信機構

生体情報の取得および信号処理は Python により実装した．BITalino との通信には公式ライブラリ bitalino を，VRChat へのデータ送信には pythonosc を用いた．

3.3.1 心電図信号の解析処理

BITalino の ECG センサー仕様に基づき，ADC 値を物理的電圧値（mV）へ変換した．サンプリングレートは R 波検出の安定性を考慮して 1000 Hz に設定し，1 回の処理ループで 100 サンプルを読み込む．また，平均値を減算することで DC 成分を除去し，Bitalino のデータシートで定義される式に基づき V_ecg を算出した．

$$V_{ecg}(mV) = \left(\frac{\left(\frac{ADC}{1024} - 0.5\right) \times 3.3}{1100}\right) \times 1000 - \overline{V_{ecg}}$$

心拍の R 波検出には閾値法を採用した．単純な閾値判定ではチャタリングが生じうるため，不応期に相当するロック機構を導入した．具体的には，(1) 信号が閾値を超え，かつ lock が 0 の場合に拍動としてカウントし lock を 1 に設定する．(2) 信号が閾値未満に戻った時点で lock を 0 へ戻す．これにより，単一ピークの多重カウントを抑制した．
心拍数は，6 秒間の拍動数を 10 倍して 1 分間の心拍数（BPM）を求める方式とした．この方式は瞬時推定に比べ変動が平滑化され，対話中のアバター表現における視覚的安定性を高める利点がある．算出した心拍数は，VRChat の制御入力に用いるため 0.0〜1.0 の範囲へ正規化し，最大値を 200 BPM としてクランプ処理を行った．

3.3.2 皮膚電気活動の解析処理

EDA は発汗の検知指標として用いた．EDA は個人差や装着状態の影響を受けやすいため，相対閾値判定法を採用した．実験開始時に参加者がリラックスした状態の EDA 値を確認し，ベースラインとして設定した．次に，ADC 値をデータシートの式により皮膚コンダクタンスへ変換した．

$$EDA(\mu s) = \frac{\frac{ADC}{1024} \times 3.3}{0.132}$$

発汗判定は，EDA（μS）がベースラインにオフセットを加えた値を上回るか否かで決定する．本実験では微小な精神性発汗を検知しつつノイズを抑えるため，オフセットを 2.0 μS に設定した．

3.3.3 情報操作と OSC 通信

本研究では，提示情報の真正性を検証するため，送信直前の処理層で実験条件に応じた値の書き換えを行う．

- 真正条件：算出した心拍数および発汗判定をそのまま送信する．
- 偽情報条件：心拍数は実測値に+10 を加えた値を出力する．発汗は皮膚の湿度変化と無関係に断続的イベントを生成する．連続表示による不自然さを抑えるため，3.0 秒を 1 サイクルとし，各サイクルの更新時に 1/3 の確率で発汗あり，それ以外で発汗なしを選択する確率的処理とした．

最終的なデータは pythonosc により UDP パケットとしてローカルホスト上の VRChat クライアントへ送信される．

3.4 実験用仮想環境の設計

対話実験用ワールドは Unity で制作し，実験進行に必要な情報を提示する UI を実装した．本研究の主眼はアバターの表情変化および生体情報提示が対話に与える影響であるため，空間デザインは視覚ノイズを抑え，提示情報の視認性を最大化する方針とした．具体的には，壁・床・天井に低彩度グレーのマテリアルを適用し，環境光を用いた均一照度環境を構築した．これにより，顔面の陰影による誤認（顔色が異なって見えるなど）を抑制した．

空間中央には参加者同士が対面で対話できるよう位置を固定し，対人距離は会話における個体距離に相当する水準を確保した．この距離設定により，参加者は首を大きく動かさずに相手アバターの表情変化と提示情報を同一視野内で参照できる．

対話のお題は空間配置型テキストとして提示し，視界左下に白抜きテキストでフローティング表示した（例：「相手の印象を話してください」）．これにより，対話の流れを中断せず，自然な視線移動で話題を確認できる．

図 7　対話実験に用いた仮想空間

さらに，参加者が自身の表情・生体情報の表示状態を随時確認できるよう，視界右端にモニタリングウィンドウを配置した．このウィンドウは Unity の Render Texture を用いて別カメラ映像をリアルタイム投影するものであり，上下 2 つの表示領域から構成される．上部には自身と相手のアバターを側面から捉えた映像を表示し，位置・姿勢を確認できる．下部には自身アバターの顔映像を表示し，表情変化や生体情報の提示状態を確認できる．

図 7 に対話実験で用いたワールドを示す．

4. 実験

第 4 章では，第 3 章で構築した仮想空間対話システムを用いて実施した対話実験の方法について述べる．本実験の目的は，非言語情報の可視化形式および提示情報の真正性が，対話者の心理状態，印象形成，およびコミュニケーション体験に与える影響を検証することである．本章では，実験デザイン，仮説，参加者，実験手順，および評価方法について詳細に説明する．

4.1 実験概要

本実験では，構築した仮想空間対話システムを用い，非言語情報の可視化形式および提示情報の真正性が対話体験に与える影響を検証した．実験は，2 名の参加者がヘッドマウントディスプレイを装着し，同一の仮想空間に入室してアバターを介した対面対話を行う形式で実施した．

実験デザインには，以下の 2 要因を組み合わせた被験者内計画を採用した．

第一の要因はアバター表示条件であり，以下の 4 水準を設定した．

(1) 非表示条件：非言語情報を提示しない条件
(2) 数値表示条件 : 心拍数および発汗状態を数値・テキストとして表示する条件
(3) 視覚表現・真正条件 : 顔色変化や発汗エフェクトにより計測された非言語情報を視覚的に提示する条件
(4) 視覚表現・偽情報条件 : 視覚表現を用いるが，システムにより生成された非言語情報を提示する条件

第二の要因は対話タスクである．情動喚起の程度が異なる話題を設定した 4 種類のワールドを用意し，各ワールドに 2 つの対話テーマを配置した．日常的な話題に加え，自己開示や感情想起を伴う話題を含めることで，緊張や興奮を誘発し，心拍数や発汗の変化を引き出すよう設計した．使用した対話テーマは以下の通りである．

・ワールド 1 :「自分の趣味を話してください」,「自分の黒歴史を話してください」
・ワールド 2 :「海外への旅行計画を話し合ってください」,「人生で最も怒りを感じた瞬間を話してください」
・ワールド 3 :「十年後の自分を紹介してください」,「最も感謝している人を紹介してください」
・ワールド 4 :「過去に戻れるならいつに戻りたいか話してください」,「相手の印象を話してください」

参加者は，アバター条件とタスク条件を組み合わせた計 4 セッションを実施した．順序効果を抑制するため，条件提示順序はペアごとにランダム化し，均等なデータ収集を行った．

4.2 仮説

先行研究および本システムの設計意図に基づき，本実験において以下の仮説を立てた．

4.2.1 非言語情報を可視化すると，コミュニケーションが円滑になる

対面環境における人間のコミュニケーションは，言語情報のみならず，表情，視線，声のトーン，そして顔色の変化や発汗といった不随意的な生理反応を含む, 多様な非言語情報によって支えられている．対話者はこれらの手がかりを無意識のうちに収集し，相手の心理状態を推測することで，適切な発話タイミングの決定や話題の調整を行っていると考える．しかしながら，現状の仮想空間におけるアバターを介したコミュニケーションでは，ユーザーの身体動作や音声は反映されるものの，微細な生理反応情報は捨象されてしまう傾向にある．こうした非言語情報の欠落は，対話相手の感情状態に対する不確実性を増大させ，相手の存在を希薄に感じさせる要因となる．相手がいま緊張しているのか，あるいはリラックスしているのかが判別できない状況は，対話者間に不要な心理的距離を生み出し，相互理解を阻害する可能性がある．

そこで本研究では，表情，生体センサーより取得した生体情報をアバター上に可視化して提示することで，この欠落した非言語的手がかりが補完され，対話の質が改善されると予測する．具体的には，相手の感情や意図の推測が容易になると考える．相手の心理状態が明示的になることで，対話者は相手の感情，意図を推測し寄り添った柔軟な対応をとることができるようになると考えられる．以上の背景に基づき，本実験における第一の仮説として非言語情報を可視化する条件においては，これらを提示しない非表示条件と比較して，コミュニケーション全体がより円滑に進行するものと推測する．

4.2.2 偽情報の提示は対話の自然さと整合性を損なう

本システムでは，右下のウィンドウを通じて，被験者自身も自分のアバターに表示されている非言語情報を視認できる設計となっている．この環境下においてシステムが意図的に誤った生体情報を提示することは，表示された情報に対して違和感を覚え，自然な会話を行えないと予測する．

まず，話し手自身の心理面への影響について考察する．実際には平穏な状態であるにも関わらず，アバターが高い心拍数や発汗反応を示している場合，話し手は「相手に緊張していると誤解される」という懸念を抱くことになる．自身の内面状態と外部への表示内容との間に生じるこの不一致は，情報の掲示に対する不安を高め，心理的なストレス要因として作用する．その結果，偽情報の表示を見たことによって焦りが生じ，二次的な反応として話し手の実際の心拍数が上昇してしまう現象が発生すると考えられる．

次に，対話の質に対する影響について考察する．偽情報条件においては，話し手が冷静に話しているにも関わらず，アバターは激しい動揺を示しているといった情報の矛盾が生じる．聞き手にとって，このような矛盾した手がかりは解釈の混乱を招くノイズとなり，相手の真意を測りかねる要因となる．その結果, 会話のリズムや自然なやり取りが阻害され,

沈黙が増加したり，相手に対する信頼感や対話の自然さの評価を低下させると予測される．

以上のことから，本実験における第二の仮説として，偽情報を提示する条件は，正確な情報を提示する条件や非表示条件と比較して，対話相手からの信頼性評価および会話の円滑性評価を低下させるものと仮定する．

4.3 実験計画

本実験は，被験者内計画を採用し，全ての参加者が全ての条件を体験する形式で実施した．本節では，参加者の属性，実験手順，およびデータ収集に用いたアンケートについて述べる．

4.3.1 実験参加者

本実験には公立はこだて未来大学の大学生および大学院生 10 名（男性 9 名，女性 1 名）が参加した．参加者の年齢は 20 歳から 25 歳であった．参加者は 2 名 1 組のペアを形成し，計 5 組のペアに対して実験を実施した．

ペアの組み合わせには，初対面同士および友人同士の双方が含まれる．対話における相互関係が結果に与える影響を考慮し，分析時にはペアの関係性を補助的な要因として扱う．

実験への参加にあたり，実験の目的，手順，および生体情報の計測内容について説明を行い，書面による同意を得た．また，取得したデータは匿名化し，研究目的以外には使用しないことを説明した．

4.3.2 実験手順

実験は 1 組あたり約 1 時間で実施した．全体の手順は，事前準備，対話タスク，事後アンケートの 3 段階で構成される．

実験室に到着した参加者に対して実験概要の説明を行った後, Bitalino の EDA センサーおよび ECG センサーを装着した．安静状態で基準計測を行い，この間の平均心拍数を各参加者のベースライン値として取得した．

その後，参加者はヘッドマウントディスプレイを装着し，実験用ワールドに入室した．対話実験の開始前には，自身のアバターの表情変化および生体情報の反映を確認する時間を設け，システムへの理解と操作への慣れを促した．

本試行では，設定したアバター条件とタスク条件を組み合わせた対話を実施した．各試行では，ワールド内の空間 UI に対話テーマが提示され, 開始の合図とともに指定されたテーマについて 90 秒間の自由対話を行った．続いて別のテーマが提示され，同様に 90 秒間の対話を行った．

対話終了後，ヘッドマウントディスプレイを外し，Google Forms によるアンケートに回答させ，直前の対話に関する主観評価を収集した．この一連の手順を条件を変えながら 4 回繰り返した．

条件提示順序による学習効果および疲労の影響を軽減するため，提示順序はペアごとにカウンターバランスを用いてランダム化した．

4.3.3 アンケート

提案システムがユーザーの心理的体験に与える影響を定量的に評価するため，各条件での対話終了後にアンケート調査を実施した．回答には Web ブラウザ上の Google Forms を使用し，評価には 7 段階リッカート尺度を用いた．

評価項目は，以下の観点から構成した．

- 対話における信頼関係および心理的距離
- 感情伝達のしやすさおよび情報の有用性
- 実在感および共在感
- 阻害要因およびシステム受容性

さらに，全 4 条件終了後には総合評価として，最も話しやすかった条件を 1 つ選択させ，その理由を自由記述で回答させた．

5. 実験結果

本章では，仮想空間における非言語情報の可視化形式，および提示情報の真正性が対話体験に与える影響を，質問紙調査および自由記述の結果から報告する．各条件の主観評価は 7 段階リッカート尺度により収集し, 条件間の差の検討には対応のある t 検定を用いた．なお，本研究の目的に照らし，結果は「信頼関係と心理的距離」,「感情理解と情報の有用性」,「実在感と共在感」,「阻害要因と受容性」の観点から整理して示す．数値の詳細は表 5.2〜表 5.5 にまとめ，本文では主要な傾向と条件間比較の要点に焦点を当てて記述する．さらに，実験終了後に収集した自由記述および会話形式の選好結果を加え，定量結果の解釈を補完する．

本研究で用いたリッカート尺度は，設問内容に応じて評価の方向が異なる．信頼感，心理的距離の近さ，会話の自然さ，感情理解のしやすさ，存在感な

どの項目では，値が小さいほど肯定的評価（良好な状態） を示す．一方で，ストレス，不安，混乱，違和感，不快感などの項目では，値が小さいほど否定的評価が低い（問題が少ない状態） ことを示す．以下では，各設問の意味に基づき，数値の大小関係を解釈する．

5.1 非言語情報の可視化が相互理解に与える影響

本節では，非言語情報の可視化形式および提示情報の真正性が，対話における信頼感，心理的距離，会話の自然さに与える影響について報告する．

5.1.1 感情理解

相手の感情理解のしやすさについては，条件間で一部の比較において有意な差が確認された．

感情理解（Q5）の平均値は，非表示アバター（M=5.1, SD=0.9），数値文字アバター（M=4.3，SD=1.8），視覚表現アバター（真）（M=3.3，SD=1.8），視覚表現アバター（偽）（M=2.7，SD=1.5）であった．代表比較として，非表示アバターと視覚表現アバター（真）の間で有意差が認められた（p=0.01）．一方で，数値文字アバターと視覚表現アバター（真），および視覚表現アバター（真）と視覚表現アバター（偽）の比較では有意差は認められなかった（p=0.20，p=0.40）．

これらの結果は，非言語情報を可視化することにより，対話中に相手の感情状態を把握する手がかりが増加し，感情理解が促進される可能性を示唆する．また，提示情報が真であるか偽であるかにかかわらず，可視化された非言語情報そのものが感情理解に寄与している可能性がある．

5.1.2 意図理解

相手の考えや意図の理解のしやすさについても，一部の比較において有意な差が確認された．

意図理解（Q6）の平均値は，非表示アバター（M=5.1, SD=0.7），数値文字アバター（M=2.8，SD=1.2），視覚表現アバター（真）（M=2.9，SD=1.8），視覚表現アバター（偽）（M=2.8，SD=1.4）であった．代表比較として，非表示アバターと視覚表現アバター（真）の間で有意差が認められた（p=0.003）．一方で，数値文字アバターと視覚表現アバター（真），および視覚表現アバター（真）と視覚表現アバター（偽）の比較では有意差は認められなかった（p=0.20，p=0.81）．

この結果は，表情や生体情報といった非言語的手がかりが提示されることで，相手の発話内容の背後にある意図や心理状態を推測しやすくなる可能性を示している．また，感情理解と同様に，提示情報の真正性よりも，非言語情報が可視化されていること自体が意図理解を支援する要因となっている可能性が示唆される．

5.1.3 生体情報の有用性

心拍数や発汗といった生体情報が，相手の状態を理解する手がかりとして有用であると感じられたかについては，条件間で顕著な差は確認されなかった．

生体情報の有用性（Q8）の平均値は，数値文字アバター（M=4.1，SD=1.9），視覚表現アバター（真）（M=5.1, SD=1.4），視覚表現アバター（偽）（M=4.4, SD=1.4）であった．数値文字アバターと視覚表現アバター（真），および視覚表現アバター（真）と視覚表現アバター（偽）の比較において有意差は認められなかった（p=0.14，p=0.19）．

これらの結果は，生体情報の提示形式にかかわらず，心拍や発汗といった情報が対話相手の状態を推測する補助的な手がかりとして認識されていた可能性を示す．一方で，提示形式の違いによる有用性の知覚の差は，本実験の範囲では限定的であった．

5.1.4 表情・視線の有用性

表情や視線といった非言語情報が対話に役立ったと感じられたかについては，条件間で顕著な差は確認されなかった．なお，本設問は非表示アバター条件では表情および視線が反映されないため回答を取得していない．

表情・視線の有用性（Q7）の平均値は，数値文字アバター（M=4.4，SD=1.9），視覚表現アバター（真）（M=3.3, SD=2.0），視覚表現アバター（偽）（M=3.9, SD=1.9）であった．数値文字アバターと視覚表現アバター（真），および視覚表現アバター（真）と視覚表現アバター（偽）の比較において有意差は認められなかった（p=0.16，p=0.55）．

この結果は，表情や視線の提示が対話における補助的な手がかりとして一定の役割を果たしていた可能性を示す一方で，提示形式の違いによる有用性の知覚の差は限定的であったことを示唆する．

5.2 真正性（真 vs 偽）が対話評価に与える影響

本節では，提示された非言語情報の真正性（真情報と偽情報）が，対話中の違和感，不快感，会話の自然さ，および認知的負荷に与える影響について報告する．

5.2.1 偽情報による違和感・不快感

提示された情報に対する違和感については，一部の比較において有意な差が確認された．

違和感（Q16）の平均値は，非表示アバター（M=6.0, SD=1.3），数値文字アバター（M=4.2，SD=1.9），視覚表現アバター（真）（M=4.2，SD=2.2），視覚表現アバター（偽）（M=4.8，SD=2.0）であった．代表比較として，非表示アバターと視覚表現アバター（真）の間で有意差が認められた（p=0.01）．一方で，数値文字アバターと視覚表現アバター（真），および視覚表現アバター（真）と視覚表現アバター（偽）の比較では有意差は認められなかった（p=1.00，p=0.49）．

また，情報表示による不快感（Q17）については，非表示アバター（M=6.2，SD=1.4），数値文字アバター（M=5.7, SD=1.3），視覚表現アバター（真）（M=6.2, SD=1.2），視覚表現アバター（偽）（M=6.0，SD=1.2）であり，いずれの条件間においても有意差は認められなかった（p=0.39‑1.00）．

これらの結果は，非言語情報を可視化すること自体が違和感や不快感を著しく増加させるものではなく，提示された情報が偽である場合においても，対話体験に重大な悪影響を及ぼさなかった可能性を示している．

5.2.2 会話の自然さ・信頼感

会話の自然さおよび信頼感については，提示情報の真正性による顕著な差は確認されなかった．

会話の自然さ（Q3）および信頼感（Q1）において，視覚表現アバター（真）と視覚表現アバター（偽）の比較ではいずれも有意差は認められなかった（p=0.82，p=1.00）．

この結果は，提示された非言語情報が実際の生体情報に基づくものであるか否かにかかわらず，可視化された情報が存在すること自体が対話の自然さや相手への信頼感を大きく損なうことはなかった可能性を示唆する．

5.2.3 ストレス・混乱

対話中のストレス・不安（Q14）および情報量による混乱（Q15）についても，提示情報の真正性による顕著な差は確認されなかった．

ストレス・不安の平均値は，非表示アバター（M=5.3, SD=1.3），数値文字アバター（M=4.9，SD=1.9），視覚表現アバター（真）（M=5.2，SD=1.9），視覚表現アバター（偽）（M=5.0，SD=1.8）であり，条件間に有意差は認められなかった（p=0.73‑0.83）．

また，混乱の平均値は，非表示アバター（M=6.5, SD=0.8），数値文字アバター（M=5.7，SD=0.9），視覚表現アバター（真）（M=6.0，SD=1.4），視覚表現アバター（偽）（M=6.2，SD=1.4）であり，いずれの比較においても有意差は確認されなかった（p=0.21‑0.52）．

これらの結果は，非言語情報の提示およびその真正性が，対話中の認知的負荷や心理的ストレスを著しく増加させるものではなかったことを示唆する．

5.3 可視化形式（数値表示 vs 視覚表現）の違い

本節では，非言語情報の提示形式（数値表示と視覚表現）が，情報の理解しやすさ，利用しやすさ，および認知的負荷の知覚に与える影響について報告する．

5.3.1 情報量と見やすさ

情報量の多さによる混乱（Q15）については，条件間で顕著な差は確認されなかった．

混乱の平均値は，数値文字アバター（M=5.7, SD=0.9），視覚表現アバター（真）（M=6.0, SD=1.4），視覚表現アバター（偽）（M=6.2，SD=1.4）であり，数値表示と視覚表現（真）の比較，および視覚表現（真）と視覚表現（偽）の比較において有意差は認められなかった（p=0.21，p=0.34）．

一方で自由記述では，数値文字アバターに対して「画面に情報が多く表示されていて見にくかった」といった意見がみられたのに対し，視覚表現アバターでは「数字として表示される場合よりも顔の表情として示される方が混乱しにくい」といった記述が確認された．

これらの結果は，定量的には提示形式による認知的負荷の差は限定的であるものの，視覚表現は数値

表示に比べて直感的に理解しやすい形式として認識されていた可能性を示唆する.

5.3.2　手がかりとしての利用しやすさ

非言語情報が対話の手がかりとしてどの程度役立ったかについては，提示形式による顕著な差は確認されなかった.

生体情報の有用性（Q8）の平均値は，数値文字アバター（M=4.1，SD=1.9），視覚表現アバター（真）（M=5.1, SD=1.4), 視覚表現アバター（偽）(M=4.4, SD=1.4）であり，条件間で有意差は認められなかった（p=0.14, p=0.19）. また, 表情・視線の有用性（Q7）においても，数値表示と視覚表現（真），および視覚表現（真）と視覚表現（偽）の比較において有意差は確認されなかった（p=0.16，p=0.55）.

しかし自由記述では,「発汗と心拍の表示が役に立った」,「表情の情報が役に立った」といった記述が多く見られ，非言語情報が対話の手がかりとして活用されていたことが示唆された. 一方で,「普段心拍数を見ないため活用方法が分からなかった」といった意見もあり，提示された情報の解釈には個人差が存在する可能性が示された.

これらの結果は，数値表示と視覚表現のいずれも対話の手がかりとして一定の有用性を有する一方で, 視覚表現は直感的理解を促し，数値表示は解釈に学習や慣れを要する可能性があることを示唆する.

5.4 社会的存在感・共在感への影響影響

本節では，非言語情報の可視化形式および提示情報の真正性が，対話における社会的存在感および共在感の知覚に与える影響について報告する.

5.4.1　近接感

相手が実際に近くにいるように感じた程度については，条件間で顕著な差は確認されなかった.

近接感（Q10）の平均値は, 非表示アバター（M=3.0, SD=1.6），数値文字アバター（M=2.9，SD=1.6），視覚表現アバター（真）（M=2.7，SD=1.6），視覚表現アバター（偽）（M=2.8，SD=1.7）であった. 代表比較として，非表示アバターと視覚表現アバター（真）の間で有意差は認められず（p=0.69），その他の比較においても有意差は確認されなかった（p=0.67-0.78）.

この結果は，非言語情報の可視化やその真正性が，短時間の対話における空間的な近接感の知覚に与える影響は限定的であったことを示唆する.

5.4.2　人らしさ

会話中にアバターを「人」であると感じた程度についても，条件間で顕著な差は確認されなかった.
人らしさの知覚（Q11）の平均値は，非表示アバター（M=3.4，SD=2.1），数値文字アバター（M=2.5，SD=1.9），視覚表現アバター（真）（M=2.2, SD=1.8），視覚表現アバター（偽）（M=3.1, SD=1.6）であった. 視覚表現アバター（真）と他条件との比較，および視覚表現アバター（真）と視覚表現アバター（偽）の比較において，有意差は認められなかった（p=0.20-0.76）.

この結果は，非言語情報の可視化がアバターの人らしさの知覚に与える影響は限定的であり，短時間の対話では外見的特徴や非言語情報の提示のみでは人らしさの評価を大きく変化させない可能性を示唆する.

5.4.3　時間共有感

相手と時間を共有している感覚についても，条件間で顕著な差は確認されなかった.
時間共有感（Q12）の平均値は，非表示アバター（M=2.6，SD=1.7），数値文字アバター（M=1.9，SD=1.4），視覚表現アバター（真）（M=1.8, SD=1.2），視覚表現アバター（偽）（M=2.1, SD=1.0）であった. いずれの比較においても有意差は認められなかった（p=0.19-0.89）.

この結果は，非言語情報の可視化やその真正性が，共在感の知覚に与える影響は本実験条件では限定的であったことを示唆する.

5.5 定性的結果と選好

本節では，実験後に収集した自由記述および会話形式の選好結果を分析し, 定量結果の解釈を補完する.

5.5.1　自由記述の傾向

信頼感や親密さに関する自由記述では，すべての条件において「試行回数が増えるにつれて慣れてきた」といった，実験の進行に伴う慣れの影響を示す記述が見られた. このことは，対話評価が条件の違いだけでなく，参加者の経験の蓄積によっても変化する可能性を示唆している.

非言語情報が提示された条件では,「話しているときの心拍数が上昇していて，恥ずかしさを感じ取る

ことができた」,「相手が発汗していることが分かると，同じ人間なのだと感じて親密感が高まった」といった記述が見られ，生体情報が相手の内面状態を推測する手がかりとして機能していたことが示唆された．

どの非言語情報が対話に役立ったかに関する記述では,「発汗と心拍の表示が役に立った」,「表情の情報が役に立った」など，複数の非言語情報を活用した記述が多く見られた．一方で,「普段心拍数を見る機会がないため活用方法が分からなかった」といった意見もあり，提示された情報の解釈には個人差が存在する可能性が示された．

存在感や一体感に関する記述では，非表示アバターに対して「ただのアバターが目の前にいるだけのように感じた」といった否定的な意見が見られたのに対し，非言語情報が提示された条件では「生体情報の変化により存在感を感じた」,「会話内容に応じて心拍数が変化していたため，人としての存在感があった」といった記述が見られた．これらは，定量結果では顕著な差が見られなかった存在感の評価について，主観的には一定の影響が知覚されていた可能性を示唆する．

表示情報による混乱やストレスに関する記述では，数値文字アバターに対して「画面に情報が多く表示されていて見にくかった」といった意見が見られたのに対し，視覚表現アバターでは「数字として表示される場合よりも顔の表情として示される方が混乱しにくい」といった記述が確認された．これらは，視覚表現が直感的理解を促進する可能性を示唆している．

5.5.2　最も話しやすい条件

全実験終了後，被験者に対し「どの会話形式が最も話しやすかったか」を質問し，その理由を自由記述形式で回答させた．被験者 10 名による選択の内訳は以下の通りである．

- 非表示アバター : 1 名（10%）
- 数値文字アバター : 2 名（20%）
- 視覚表現アバター（真）: 4 名（40%）
- 視覚表現アバター（偽）: 3 名（30%）

視覚表現アバター（真）と視覚表現アバター（偽）を合わせると，全体の 70% が視覚的に非言語情報を提示する形式を選好したことになる．この結果は，提示情報の真正性にかかわらず，視覚的に表現された非言語情報が対話のしやすさに寄与している可能性を示している．

最も多く選好されたのは視覚表現アバター（真）であり,「表情が反映されていて話している雰囲気を感じやすかった」,「互いの生体情報が話題のきっかけになった」といった理由が挙げられた．また，視覚表現アバター（偽）を選択した参加者からも,「情報量が簡潔で会話に集中しやすかった」,「表情が感じられれば人と話している感覚があった」といった意見が得られた．

数値文字アバターを選択した参加者からは,「心拍数が見えることで相手の感じ方を推測できた」といった意見が見られた一方で，非表示アバターを選択した参加者からは,「生体情報をどのように活用すればよいか分からず，情報量が少ない方が会話に集中できた」といった意見が得られた．

これらの結果は，視覚表現による非言語情報の提示が対話の雰囲気や相互理解を促進する可能性を示すとともに，提示される情報量や形式の違いが参加者の選好に影響を与えることを示唆している．

6　考察

本章では，非言語情報の可視化が仮想空間における対話体験に与える影響について，実験結果を踏まえて考察する．本研究では，同一の情報内容であっても，数値として提示する場合と視覚的な非言語表現として提示する場合とで，ユーザーの主観評価や選好に差が生じる傾向が確認された．特に，定量的評価において大きな差が認められない項目であっても，選好調査では参加者の多くが非言語情報の可視化を含む形式を支持しており，情報の提示形式が対話体験に与える影響の重要性が示唆された．

対話のようにリアルタイムで進行する状況においては，数値情報は論理的に解釈する必要があり，瞬時の理解を妨げる要因となる可能性がある．一方で，表情や発汗といった視覚的な非言語表現は直感的に把握することができ，会話の流れを阻害することなく相手の状態を推測する手がかりとして機能する．このことから，人間は遠隔環境においても，数値的な指標よりも，対面コミュニケーションに近い形で直感的に理解できる非言語的手がかりを求めている可能性がある．

また，提示情報の真正性に関する結果からは，遠隔対話において受け手が相手の内面状態を直接確認することが難しいため，提示された情報が真であるか偽であるかにかかわらず，相手の反応として受容されやすい可能性が示唆された．すなわち，仮想空間におけるコミュニケーションでは，情報の正確性そのものよりも，反応の存在や変化の知覚しやすさも

重要な要因となる可能性が示唆される．

以上を踏まえ，まず本節では，非言語情報の可視化が対話における相互理解にどのような影響を与えるかについて検討する．

6.1 非言語情報の可視化が相互理解に与える影響

本節では，非言語情報の可視化が，対話相手の感情や意図の理解，および関係性の知覚に与える影響について考察する．実験結果から，視覚表現アバター条件は非表示条件と比較して，「相手の感情がどの程度伝わったか」および「相手がどう考えているかを理解しやすかったか」において有意に高い評価を示した．この結果は，音声や言語情報のみでは把握しにくい内面的状態が，表情や生理反応の可視化によって直感的に知覚可能となり，相互理解を支援したことを示唆している．

一方で，信頼感や心理的距離に関する指標では有意な差は認められなかった．自由記述では「試行回数が増えたことによる慣れ」に関する言及が多く見られ，短時間の対話においては，非言語情報の提示よりも対話経験の蓄積が関係性の形成に強く影響した可能性がある．このことから，非言語情報の可視化は即時的に信頼関係を構築する要因というよりも，相手の状態を推測しやすくする補助的手がかりとして機能すると考えられる．

また，定量的な差が限定的であった項目においても，参加者の多くが非言語情報を含む形式を好んだという結果は，ユーザーが対話の円滑さや理解のしやすさという観点から，非言語的手がかりの存在を価値あるものとして認識していることを示唆している．すなわち，非言語情報の可視化は関係性そのものを直接変化させるというよりも，誤解の低減や意図理解の支援を通じて，対話の質を間接的に向上させる役割を担っていると考えられる．

6.2 情報の真正性よりも「反応の存在」と「変化」が重要

視覚表現アバター（真）と視覚表現アバター（偽）の比較において，多くの評価項目で有意な差は認められなかった．この結果は，提示された非言語情報が正確か否かにかかわらず，受け手はそれを相手の状態を表す手がかりとして受容している可能性を示唆している．すなわち，仮想空間における対話では，情報の正確性そのものよりも，アバターが反応を示しているという事実が，相手の存在や状態推論の根拠として機能していると考えられる．

さらに，偽情報条件では断続的な変化を伴う表示が，対話の文脈に対するリアクションとして知覚されやすかった可能性がある．人間は静的な状態よりも変化する振る舞いから意図や感情を読み取る傾向があり，生理的に正確な反応よりも，変化が知覚しやすい表現の方が自然なコミュニケーション体験を支える場合があることが示唆される．

6.3 表示形式と認知負荷・ユーザー選好

本節では，非言語情報の可視化および提示形式が，仮想空間における相手の実在感や共在感，ならびにユーザーの選好に与える影響について考察する．実在感および共在感に関する設問では，条件間で有意な差は認められなかった．この結果は，仮想空間における「そこにいる感覚」は，非言語情報の有無よりも，ヘッドマウントディスプレイによる没入環境や，アバターの視覚的存在そのものによって大きく規定される可能性を示唆している．すなわち，非言語情報を追加提示したとしても，空間的な実在感が劇的に向上するわけではないことが定量的に示された．

しかし，自由記述では条件間で明確な差異が報告された．非表示アバター条件では，「ただのアバターが目の前にいるだけのように感じた」といった，相手をデジタルなオブジェクトとして捉える記述が多く見られたのに対し，非言語情報を表示した条件では，「心拍数の変化から人としての存在感を感じた」，「生体情報の変化により人間らしさを感じた」といった，相手の人間性を知覚したとする記述が多く挙げられた．これらの結果は，定量的な指標としての実在感には大きな差が現れなくとも，主観的体験としては，非言語情報の可視化がアバターに「生きている感覚」を付与している可能性を示唆している．

さらに，提示情報の真正性に着目すると，「相手を人だと感じたか」という設問において，視覚表現アバター（真）が視覚表現アバター（偽）よりも良好な傾向を示した．感情伝達においては偽情報でも効果が見られた一方，人間らしさの知覚においては，文脈と整合した自然な反応の提示が影響している可能性が示唆される．

また，定量評価では数値文字アバターと視覚表現アバターの差は限定的であったが，選好調査では参加者の 70% が真偽を含む視覚表現アバターを最も

話しやすい形式として選択した．自由記述では，数値表示に対して「情報量が多く見にくい」といった認知負荷の指摘が見られた一方，視覚表現については「直感的に理解しやすい」「会話に集中しやすい」といった意見が得られた．これらの結果から，対話のようなリアルタイム性が求められる状況では，論理的な解釈を必要とする数値情報よりも，瞬時に把握可能な視覚的手がかりの方が認知的負担を軽減し，主観的な対話のしやすさを高める可能性が示唆される．

以上より，非言語情報の可視化は，空間的な実在感を直接的に向上させるわけではないものの，アバターの人間らしさの知覚や対話体験の質を向上させる要因として機能していると考えられる．

6.4 設計示唆

本研究の結果は，仮想空間における対話支援インタフェースの設計に対し，いくつかの重要な示唆を与える．

第一に，非言語情報の可視化は，相互理解を支援する補助的手がかりとして有効である．本研究では，感情や意図の理解に関する評価が向上した一方で，信頼感や心理的距離には有意な差が認められなかった．このことは，非言語情報の可視化が関係性そのものを直接変化させるというよりも，誤解の低減や意図理解の支援を通じて対話の質を間接的に向上させる役割を担うことを示唆している．

第二に，情報の正確性よりも，反応の存在や変化の知覚しやすさが，コミュニケーション体験に大きく影響する可能性がある．真情報と偽情報の間に有意差が認められなかったことは，遠隔対話において受け手が提示された情報を相手の反応として受容しやすいことを示している．このことから，対話支援システムの設計においては，生理的精度の追求のみを目標とするのではなく，ユーザーが相手の反応を知覚できるフィードバックの存在や，時間的な変化を伴う表現を重視する必要がある．

第三に，数値情報よりも直感的な視覚表現の方が，認知負荷を低減し，ユーザーに好まれる傾向がある．定量評価では差が限定的であったものの，選好調査では参加者の 70% が視覚表現アバターを支持した．対話のようにリアルタイム性が求められる状況では，論理的解釈を必要とする数値情報よりも，瞬時に把握可能な視覚的手がかりを用いることが，認知的負担の軽減と対話体験の向上につながると考えられる．

以上の知見は，仮想空間における対話設計において，「正確なデータの提示」から「解釈しやすい表現の設計」へと重心を移す必要性を示唆している．

6.5 仮説の検証

本研究では，非言語情報の可視化およびその真正性が対話体験に与える影響を検証するため，二つの仮説を設定した．本節では，実験結果および考察を踏まえ，各仮説の妥当性について検討する．

6.5.1 仮説 1：非言語情報を可視化するとコミュニケーションが円滑になる

本仮説は概ね支持されたと考えられる．実験結果において，視覚表現アバター条件は非表示条件と比較して，「相手の感情がどの程度伝わったか」および「相手がどう考えているかを理解しやすかったか」において有意に高い評価を示した．これらの結果は，非言語情報の可視化が感情および意図の推測を容易にし，相互理解を支援したことを示している．

また，実験後の選好調査では参加者の 90% が非言語情報の可視化を含む形式を話しやすいと回答しており，主観的な対話の円滑さにおいても可視化が肯定的に受容されたことが確認された．ただし，信頼感や心理的距離に関する指標では有意差は認められず，短時間の対話においては関係性の形成に単純接触効果の影響が大きい可能性が示唆された．

以上より，非言語情報の可視化は信頼関係を即時に構築する要因というよりも，感情理解や意図理解を支援することによって，対話の円滑さを間接的に向上させると考えられる．

6.5.2 仮説 2：偽情報の提示は対話の自然さと整合性を損なう

本仮説は支持されなかった．視覚表現アバター（真）と視覚表現アバター（偽）の比較において，多くの評価項目で有意な差は認められず，提示された情報が偽であっても，受け手はそれを相手の反応として受容している可能性が示された．

この結果は，仮想空間における対話では，情報の正確性そのものよりも，反応の存在や変化の知覚しやすさがコミュニケーション体験に影響することを示唆している．すなわち，生理的に正確な情報の提示が必ずしも自然な対話体験につながるとは限らず，解釈しやすい反応の提示が対話の自然さを支える要因となる可能性がある．

7　結論

本章では，本研究で得られた知見を総括し，仮想空間における非言語情報の可視化が対話体験に及ぼす意義を整理する．あわせて，本研究の限界を踏まえ，将来的な研究展開と設計指針への示唆を提示する．

7.1 研究の総括

本研究は，仮想空間における対話体験の質の向上を目的として，従来のアバターコミュニケーションでは欠落しやすい非言語情報に着目し，生体情報および表情変化を可視化するアバター表現システムを設計・開発した．さらに，視覚表現アバター（真），視覚表現アバター（偽），数値文字アバター，非表示アバターの 4 条件を比較する対話実験を通じて，非言語情報の可視化および情報の真正性が対話体験に与える影響を検証した．

本研究から，以下の三点の知見が得られた．

第一に，非言語情報の可視化は，対話相手の感情および意図の理解を支援し，コミュニケーションの円滑化に寄与することが示された．視覚表現アバター条件では，感情の伝わりやすさおよび相手の思考の理解しやすさが有意に向上し，選好調査においても参加者の 90%が可視化ありの条件を支持した．この結果は，仮想空間における非言語情報の欠落という課題に対し，本システムが有効な補完手段となり得ることを示している．

第二に，対話における情報の有用性は，必ずしも情報の正確性に依存しないことが示唆された．真情報と偽情報の間に有意差が認められなかった結果は，遠隔対話において受け手が提示された反応を相手の状態として受容する傾向を示している．この知見は，対話支援システムの設計において，生理的精度の追求だけでなく，反応の存在や変化の知覚しやすさといった表現設計の重要性を示唆するものである．

第三に，情報の提示形式はユーザーの受容性に大きく影響し，数値情報よりも直感的な視覚表現が好まれる傾向が確認された．機能面での有意差は限定的であったものの，参加者の 70%が視覚表現アバターを最も話しやすい形式として選択した．この結果は，対話のようにリアルタイム性が求められる状況においては，論理的解釈を必要とする数値情報よりも，瞬時に理解可能な視覚的手がかりが認知負荷を低減し，対話体験の向上に寄与することを示唆している．

以上の知見は，仮想空間における対話支援の設計において，「正確なデータの提示」から「直感的に解釈可能な表現の設計」へと重心を移す必要性を示すものである．

7.2 限界と今後の展望

本研究にはいくつかの限界が存在する．第一に，実験参加者数が限定的であり，結果の一般化にはさらなる検証が必要である．第二に，本研究では非言語情報の提示を一定のルールに基づいて行ったが，実際のコミュニケーションでは文脈や意図に応じて感情表出を調整する行動が見られる．第三に，短時間の対話タスクを対象としているため，長期的な関係形成への影響については検証できていない．

今後は，対話の文脈や音声特徴を解析し，非言語情報の提示強度やタイミングを適応的に制御する対話支援システムの開発が期待される．また，長期的な利用環境において，信頼関係の形成や社会的関係性の変化に与える影響を検証することで，仮想空間における人間らしいコミュニケーションの設計指針をより体系的に明らかにできると考える．

本研究は，非言語情報の可視化を通じて仮想空間における対話の質と話しやすさを向上させる可能性を示した．本知見は，物理的距離を超えて人々が相互理解を深められる，人間中心の仮想コミュニケーション技術の発展に寄与するものである．

謝辞

本研究の遂行にあたり，日頃の議論を通じて多大なご助言およびご協力をいただきました，同研究室の皆様に厚く御礼申し上げます．最後に，ご多忙の中，本実験に快くご協力いただいた参加者の皆様に，心より感謝の意を表します．

参考文献

[1] Ratan, R., Beyea, D., Li, B. J., & Graciano, L. (2020). *Avatar characteristics induce users' behavioral conformity with small-to-medium effect sizes: A meta-analysis of the proteus effect.* Media Psychology, 23(5), 651–675. https://doi.org/10.1080/15213269.2019.1623698

[2] Smith, H. J., & Neff, M. (2018). *Communication behavior in embodied virtual reality*. Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, 1–12. https://doi.org/10.1145/3173574.3173863

[3] Siehl, S., Kammler-Sücker, K., Guldner, S., Janvier, Y., Zohair, R., & Nees, F. (2024). *To trust or not to trust? Face and voice modulation of virtual avatars.* Frontiers in Virtual Reality, 5, 1301322. https://doi.org/10.3389/frvir.2024.1301322

[4] Maloney, D., Freeman, G., & Wohn, D. Y. (2020). *"Talking*

without a voice": Understanding non-verbal communication in social virtual reality. Proceedings of the ACM on Human-Computer Interaction, 4(CSCW2), Article 175. https://doi.org/10.1145/3415246

[5] 狩野 麗良, 松田 晃一. 心拍の可視化システムの試作とコミュニケーションに与える影響の評価―図形, 光, 振動を用いて. 情報処理学会第 80 回全国大会講演論文集. 2018, no. 2X-01.

[6] Hassib, M., Buschek, D., Woźniak, P. W., & Alt, F. (2017). *HeartChat: Heart rate augmented mobile chat to support empathy and awareness*. Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, 2239–2251. https://doi.org/10.1145/3025453.3025758

[7] Slovák, P., Janssen, J., & Fitzpatrick, G. (2012). *Understanding heart rate sharing: Towards unpacking physiosocial space.* Proceedings of the 2012 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, 859–868. https://doi.org/10.1145/2207676.2208526

[8] Hu Yong-Hao, 畑田 裕二, 鳴海 拓志. 自己と他者アバタの外見的差異がプロテウス効果に与える影響. 第 28 回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集. 2023, 1B1-11.

[9] 岸本 諒大, 土田 修平, 寺田 努, 塚本 昌彦. 遠隔会議の自己表示映像に対する身体所有感や操作主体感を変更するコミュニケーション支援システム. 情報処理学会インタラクション 2024 論文集. 2024, p. 1216-1219.

[10] Costa, J., Adams, A. T., Jung, M. F., Guimbretière, F., & Choudhury, T. K. (2016). *EmotionCheck: Leveraging bodily signals and false feedback to regulate our emotions*. Proceedings of the 2016 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing, 758–769. https://doi.org/10.1145/2971648.2971752