

デスクトップ仮想環境のための視野の設計

志水 信哉[†], 中西 英之^{†, ††}, 石田 亨^{†, ††}

[†]京都大学大学院情報学研究科社会情報学専攻 ^{††}JST CREST デジタルシティプロジェクト

デスクトップ環境における社会的インタラクションを促進するために、我々は描画視野角を広げる新しい方式を提案する。一般的な狭い視野の透視投影では、空間的インタラクションに必要な情報を得ることができない。我々の設計したデスクトップ周辺視は、広い視野を実現するために、周辺視部分でのみ魚眼投影を用いる。この視野を、3D 仮想商店街の案内を受けるというタスクで評価した。その結果、歪みのある周辺視でも、深刻な違和感を生み出さず、社会的インタラクションに必要な視覚情報を十分に提供できることが分かった。

Designing Field of View for Desktop Virtual Environments

Shinya Shimizu[†], Hideyuki Nakanishi^{†, ††}, Toru Ishida^{†, ††}

[†]Department of Social Informatics, Kyoto University ^{††}JST CREST Digital City Project

To facilitate social interaction in desktop virtual environments, we propose a technique of expanding the field of view on a desktop monitor. Narrow perspective view can't provide the visual cues, which are vital for social interaction. We designed Desktop Peripheral View, which uses fisheye projection only on the peripheral view in order to expand the overall view. We applied our technique to a guidance application in a 3D virtual shopping street. As a result, we found that the distorted peripheral views don't cause a fatal strange feeling and, furthermore, they could provide visual cues enough to facilitate social interaction.

1. はじめに

一般的な仮想環境に対するデスクトップ仮想環境の特徴は、遠隔地にいる利用者同士の社会的インタラクションである。この社会的インタラクションは、オンラインコミュニティ、訓練、異文化コミュニケーション[10]、環境教育[15]、といった重要なアプリケーションの数々に必要不可欠である。これまで、視覚による探索、ナビゲーションといった典型的な仮想環境のタスクについては、視野角と効率の関係が盛んに研究されてきた[1,5,17]。それに比べ、視野の違いが社会的インタラクションに及ぼす影響については、ほとんど知られていない。我々は、社会的インタラクションを容易にする視野を設計し、その影響を調べる実験を行った。

デスクトップモニターに表示される仮想環境の狭い視野が、典型的なタスクの効率を低下させることを示した研究が数多くある[1,5]この問題を解決する代表的手段は、没入型ディスプレイ[4]や、通常より広視野のHMD[1]を用いて、物理的に利用者の視野を覆う方法である。社会的インタラクションにも広い視野が必要である。例えば、視野が狭いと、自分の真横のアバターが見えないので、他のアバターと一緒に歩いたり、輪になって話したりするのは困難である。しかし、デスクトップ

仮想環境にとっては、物理的に利用者の視野の多くを覆うアプローチは不適當である[8]。没入型ディスプレイを社会的インタラクションに用いている研究があるが[9]、よく知られているように、大きさと価格の問題がある。広視野のHMDはまだ研究段階である。このような状況から、我々は、一般的なデスクトップモニター上に周辺視を追加する手法である、デスクトップ周辺視を設計した。

通常、デスクトップ仮想環境に用いられる透視投影の視野角は60度前後であり、これはデスクトップモニターにおける透視投影に最適な値である[16]。この視野角では、利用者のアバターの真横にいる他のアバターは画面に映らない。しかし、視野角を広げると視野画像が歪み始め、180度以上の視野角で描画することは透視投影の原理上不可能である。さらに、真横だけでなく真下も映らないため、目の前に差し出す腕以外は、自分の体が全く見えないという問題もある。デスクトップ周辺視は、社会的インタラクションに必要な真横や真下の視野を与える。次章でこの真横や真下といった視野が、社会的インタラクションにおいてどれくらい重要な役割を果たすか述べる。

デスクトップ周辺視では、限られたモニターの領域内に、横方向や下方向の周辺視を圧縮して表示できる魚眼投影を用いる。また、目の前にいる話し相手の映像まで歪ませないために、中心領域

視覚情報	必要な映像	必要な周辺領域
利用者アバターの方向性を持った姿勢	利用者アバターの体のパーツ	横と下
正面に居る他のアバターとの距離	利用者アバターの足と相手の足との間の地面	下
真横に居る他のアバターの存在感	他のアバター	横

表 1. 視覚情報を得るのに必要な映像と周辺領域

には透視投影を用いる。今回の我々の方法では、水平方向は、真横が見えるように 225 度の視野を持ち、鉛直下方向は、真下が見えるように 90 度まで描かれ、鉛直上方向は社会的インタラクションにあまり重要でないため、周辺視の描画をしない。この詳細は 3 章で述べる。

我々は、デスクトップ周辺視を、3D デジタルシティ京都[11]の表示インタフェースとして実装した。3D デジタルシティ京都は、大勢の人が仮想京都を訪れ、訪問者同士で話ができるデスクトップ仮想環境である。そして、被験者がエージェントと並んで歩きながら街を案内される実験で、デスクトップ周辺視と透視投影を比較した。その結果、デスクトップ周辺視の有効性が示された。この詳細は 4 章で述べる。

2. 空間的インタラクションのための視覚情報

デスクトップ仮想環境における社会的インタラクションは、日常生活におけるインタラクションと同様に、その様式が空間的である。これが遠隔会議システムなど他のコミュニケーションメディアと最も異なる特徴である。このことに関する今までの研究は、アウェアネス制御や非言語コミュニケーションの利点に注目している[2,19]。この種の利点としては、例えば、話し掛けるために他者に近づくとというような行動を表現する能力が挙げられる。透視投影による表示では、この利点を十分に利用できないにもかかわらず、依然として標準的な仮想環境の表示インタフェースである。また、空間的インタラクションに特有な振る舞いとして、対象物を指差すとか、対象物の方向を向くといったような、方向を持ったものがある。しかし、透視投影は、このような動作に必要な周辺視を与えない。

空間的インタラクションには、自分のアバターの方向性を持った姿勢、自分のアバターの正面に居るアバターとの距離、自分のアバターの真横に居るアバターの存在、の把握が必要となる。これら 3 つの視覚情報について、それを得るのに必要

な映像と、その映像が映る周辺視の領域を表 1 にまとめた。以下では、これらの視覚情報について説明し、その情報を与えることのできるデスクトップ周辺視と、各情報が欠如する透視投影との違いについて述べる。この違いをより明解にするために、各情報が必要となる場面での、水平視野角が 90 度の透視投影による視野と、水平視野角が 225 度のデスクトップ周辺視による視野を示す。各場面では、数人の大学生のアバターが、仮想空間内で空間的インタラクションを行っている。

2.1 方向性を持った姿勢

空間的インタラクションでは、体と顔と腕の向きが常に同じとは限らない。向きを変える動作が、インタラクションの開始や回避の態度を示すために使われることが知られている[3]。例えば、歩いている最中にインタラクション開始の態度を示す場合、体は進行方向を、顔は相手の方向を向くので、体と顔の向きは別々に制御される。また、対象物を指し示しながら話す典型的な動作は、腕は対象物の方を指し、顔はその方向と話し相手の方向を交互に向き、その間、体の向きは変化しない、というものであろう。つまり、空間的インタラクションでは、体、顔、腕が、それぞれの役割に従って別々の方向を向く。

人型のアバターを用いる場合、表示される映像の向きと顔の向きが等しいという仮定のもとで、表示から体や腕の向きが把握できるべきである。現在のデスクトップ仮想環境における 1 人称視点では自分のアバターの姿勢が全く分からない。これでは円滑なインタラクションに支障をきたすと考えられる。

人間は自分の体や腕の向きを、首や肩の関節角度だけでなく、視野の下から伸びる手や足を知覚することによっても知る[6]。例えば、右を向けば、視野の右下に自分の右肩が現れ、腕を上げれば、視野の下から腕の像が伸びる。透視投影では、体は全く表示されないため、自分の体の方向に対する顔の方向が分からない。また、腕は顔の方向に



図 1. 方向性を持った姿勢

伸ばしたときのみ、先の部分だけが視野に入る。そのため、自分の右にある対象物を指し示しながら、自分の左にいる相手と話すときは、腕が視野に入らない。このような場合でも、デスクトップ周辺視では、視点の真下と真横が視野に入るので、自分の体と、その体の肩から伸びる腕が見える。

図 1 に、利用者の体の各部が様々な方向を向いた姿勢における、透視投影とデスクトップ周辺視の違いを示す。図 1(a)は鳥瞰視点の画面であり、アバターが交差点の方角を指している場面であることが分かる。図 1(b)は、この場面における透視投影による視野である。アバターの体の向きが分からず、アバターは単に正面を指しているように見える。図 1(c)は、同じ場面におけるデスクトップ周辺視による視野である。アバターは右前方を向きながら、右方向を指していることが分かる。

3次元モーショントラッキングシステムは、利用者がアバターの姿勢を制御するのを助ける[13]。このような装置は一般に普及しないかもしれないが、デスクトップ周辺視の特徴を補い、より高い没入感を与えることができる[20]。

2.2 正面にいる他者との距離

対人距離は、インタラクションのモードに対応するといわれる[7]。事務的な会話と、単なる雑談では、相手との距離が異なる。また、混雑した状況においても、距離感は重要である。多勢の人の中を衝突しないように移動したり、行列に並んだりするとき、自分の周囲にいる他者との微妙な距離の違いに敏感でなければならない。したがって、少なくとも目の前にいる他者との距離感は、空間的インタラクションに必要である。

デスクトップ仮想環境には、コミュニケーションの支援に焦点のあるものと[2]、集団行動のシミュレーションに焦点のあるものがある[18]。前者に

は、対人距離が重要であるし、後者には、群集内での距離感が重要である。また、目の前の他者との距離感は、デスクトップ仮想環境において、利用するアプリケーションに因らず必要である。

目の前の対象との距離は、画面に描かれる対象の大きさが、遠近法に従い、距離に反比例することから判断できる。しかし、この距離感は、透視投影の視野角の違いによって変化する[21]。そのため、信頼性が低い。たとえ、利用者とモニターとの距離と、モニターの大きさで決まる、実際の視野角を、描かれる視野の幾何的な視野角に完全に一致させても、正しい距離感は得られない[16]。

人間は、対象までの距離を対象の接地点から自分の足元までの地面の肌理の勾配からも知覚する[6]。つまり、相手からの距離は、相手の足元と自分の足元との間の地面から知ることが出来る。しかし、透視投影では、自分の足元は全く見えないし、更に、非常に近くにいる相手の足元も視野の下に消える。デスクトップ周辺視では、視点の真下まで視野に含まれるので、自分の足元が見え、同時に自分と向かい合っている相手の足元が見える。

図 2 に、2つの視野の違いを示す。図 2(a)は鳥瞰視点の画面であり、アバターが他の二人のアバターとすれ違おうとしている場面であることが分かる。図 2(b)は透視投影による視野である。手前にいるアバターと、すれ違うことができるのかどうか分からない。また、もう一人のアバターとの間の地面が見えず、距離が掴めない。図 2(c)はデスクトップ周辺視による視野である。手前のアバターとは足がぶつかっており、もう一人とは数メートル離れていることが分かる。

ステレオグラスを用いると両眼視差によって、正面にいる他のアバターとの大まかな距離感を得ることができるのだが、この種の装置はデスクト



図 2. 正面に居る他者との距離

ップ仮想環境においては、それほど利用されていない。しかし、両眼視差は利用者や正面に居るアバターの足を表示せずに、対象との距離の識別を可能にする、良い方法である。

2.3 隣にいる他者の存在

空間的インタラクションでは、話し相手が自分の正面にいるとは限らない。現実空間で人々が集まって会話をするときには円陣が形成される[12]。このとき、構成人数が増えるほど、自分の横に位置する人数が増える。同様に、並んで歩きながら話すとき、基本的に話し相手は自分の真横にいる。

デスクトップ仮想環境におけるコミュニケーションの議論では、視野の中心にいる他者が、自分が注目している相手であると、暗黙的にみなされてきた。しかし、視野の中心に注目している対象の居ない、円陣や一緒に歩くといった行動は、仮想環境内のインタラクションにも見られる[14]。したがって、仮想環境内でも、自分の真横にいる他者の存在を知ることは必要となる。

人間の水平方向の視野は 180 度以上あるので、真横にいる人は、形状がぼやけてしまうものの、周辺視の中に入る[1]。透視投影では、真横にいる他者の映像は全く表示されない。しかし、デスクトップ周辺視では、形状が歪んでしまうものの、真

横にいる他者を見ることができる。

図 3 に、2 つの視野の違いを示す。図 3(a) は鳥瞰視点の画面であり、利用者を含む 5 人が輪になって話している場面であることが分かる。図 3(b) は透視投影による視野である。前方にいる 2 人しか見えない。図(c) はデスクトップ周辺視による視野であり、自分以外の 4 人全員が映っている。

本論文の 4 章で述べる実験は、デスクトップ周辺視が、並んで歩くというインタラクションの迫真性を増すことを示している。

3. デスクトップ周辺視

デスクトップ周辺視は、限られたモニターの中に、中心領域を歪ませることなく、真下や真横を含む一人称視点の視野を描画する技術である。

3.1 椀型投影法

平面に投影する透視投影と異なり、魚眼投影では、180 度以上の視野角を描画するために球面へ投影を行う。デスクトップ周辺視は、真横と真下が含まれる水平視野角 225 度の魚眼投影と、歪みの目立たない視野角 90 度の透視投影を、組み合わせた投影法である。図 4 で示されるような球面と平面を組み合わせた投影面を用いることから、我々はこの投影法を椀型投影法と呼んでいる。

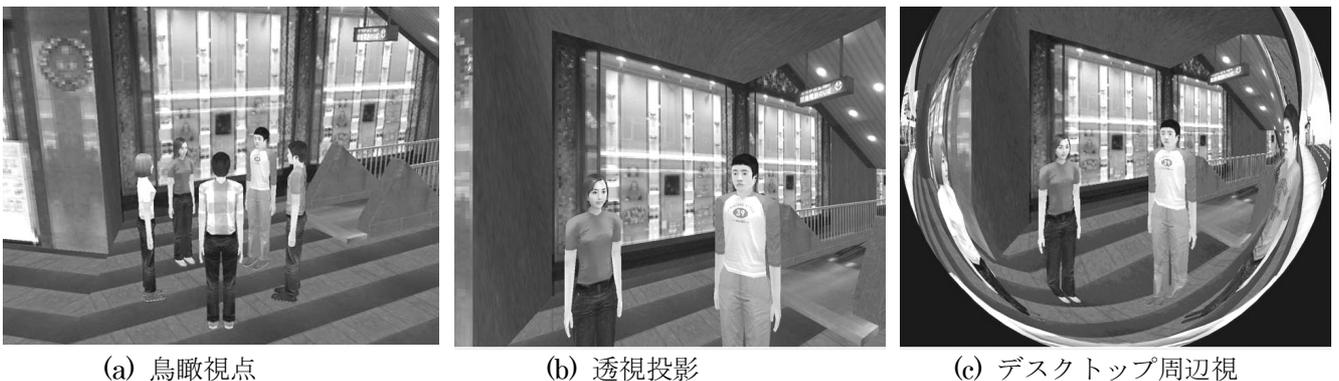


図 3. 隣接した他者の存在

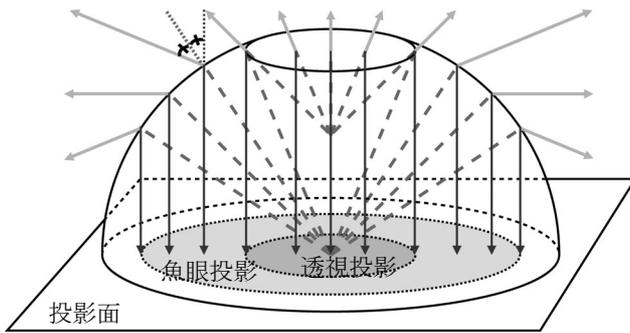


図 4. 椀型投影法

魚眼投影は、球面上に投影された画像をさらに平面へ投影する方法によって細かく分類される。代表的な方法は、焦点距離を F 、視線と光軸のなす角度を θ 、視野における中心からの距離を Y とした時、 $Y=F\theta$ で表される等距離射影型と、 $Y=F\sin\theta$ で表される正射影型の魚眼投影である。アバターが注目している視線方向にあたる中心部分を、周辺部分より大きく描画できる正射影型のほうが、デスクトップ周辺視の視野として望ましい。しかし、上式から分かるように、180 度を超える視野を描画することができない。この方法を 360 度まで描画できるように拡張を行ったものが、式 $Y=F\sin(\theta/2)$ で表される魚眼投影である。さらに、中心視部分の大きさを調節可能にするために、次式のように拡張を行った。 $Y=f\sin(\theta/2)$, $x^2+(y/A)^2=F^2$, $x=f\sin(\theta/2)$, $y=f\cos(\theta/2)$, $A>0$ 。この式における A の値を、大きくすると中心視部分を小さくでき、小さくすると中心視部分を大きくできる。今回の我々の実装では、周辺視において横に並んだアバターが誰なのか、どの方向を向いているのか分かる限界の値として A の値を 0.68 にした。

3.2 デスクトップモニターへの最適化

魚眼投影の視野が真円であるため、4:3 の長方形の標準的なモニターの中に全ての視野を表示する場合、41%の空白領域できる。そこで、我々は社会的インタラクションにあまり重要でないと思われる上方向の視野を犠牲にし、視野を拡大させることにした。デスクトップ周辺視を設計するにあたって、下方向の視野は 90 度まで入れつつ、視野の幅とモニターの幅を一致させ、上方向の視野を削った。この修正を図 5 に示す。これによって空白領域は 13%まで減少した。上方向の視野を削ったとはいえ、その視野角 38 度は、4:3 のモニターに水平視野角 90 度の透視投影で表示した場合の上方向の視野角 37 度よりも大きく保たれている。

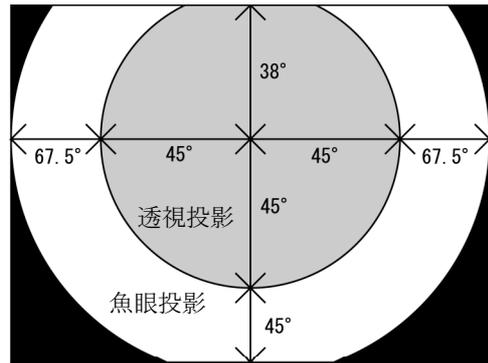


図 5. 4:3 モニターにおけるデスクトップ周辺視

3.3 広い視野を実現する別の方法

透視投影は視野角を広げると、視野の中心領域が急激に小さくなる。同時に、中心と周辺では同じ大きさの物体が何十倍も違う大きさに描かれる。図 6(a)は、水平視野角 150 度の透視投影による視野である。

パノラマ画像は円筒への投影によって生成される。そのため、物体の大きさは水平の位置に依存せず、透視投影の時のような問題は起こらない。しかし、この特徴は、画像から視線方向を直感的に推測することを困難にする。さらに、垂直方向に関しては、透視投影と全く同じ問題が生じる。図 6(b)は、水平視野角 225 度のパノラマ画像による視野である。

ビデオゲームでは、3 人称視点がよく用いられる。視点がアバターの後方にあるため、狭い視野角の透視投影でも自分のアバターの周囲を容易に把握できる。しかし、この手法では利用者の視点と利用者のアバターの視点が異なるために、社会的インタラクションを行うのに支障をきたす。例えば、アバターの顔の向きから利用者が注目している対象を推測できない。また、利用者のアバターと重なってしまう部分が見えなくなってしまう問題もある。図 6(c)は、3 人称視点による視野である。

魚眼投影は以上の問題を克服するが、視野全体が歪んでしまう。椀型投影法では、話し相手を見るための中心領域が歪まないよう、透視投影を用いる。図 6(d)は、椀型投影法を用いたデスクトップ周辺視による視野である。

さらに、モザイク式描画法という手法もある[8, 17]。これは通常の視野に、周辺視として別の透視投影の視野を追加する手法である。しかし、椀型投影法では全ての周辺視を表示可能であるのに対して、この手法では鉛直方向の周辺視が失われる。

さらに、それぞれの方向の透視投影画像が必要なので、非常に多くのジオメトリ計算を必要とする。魚眼投影をサポートするグラフィックチップであれば、椀型投影法におけるジオメトリ計算は透視投影の約2倍にしかない。

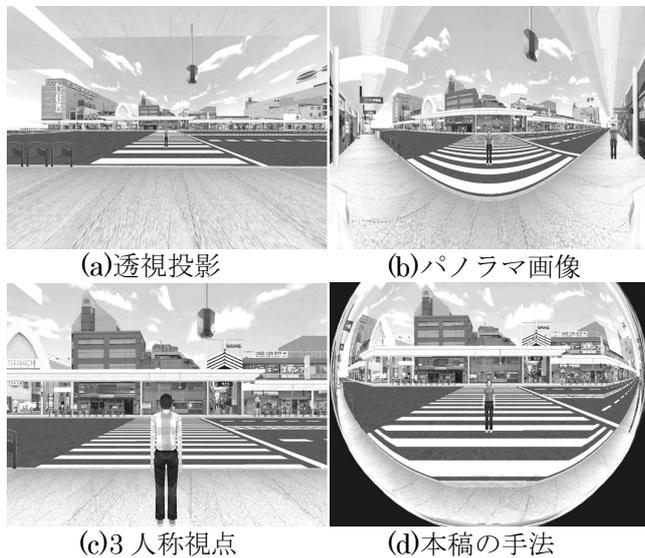


図 6. 視野を広げるための方法

4. 3D デジタルシティ京都での評価

評価の第一の目的は、透視投影では空間的インタラクションに困難を感じ、デスクトップ周辺視ではその困難が解消されることを示すことである。第二の目的は、デスクトップ周辺視の歪みが、それほど大きなマイナス要因ではないことを示すことである。我々の手法の「真横にいる他のアバターが見える」という利点は色々なアプリケーション

ンに関連がある。そのため、上記の目的のために、この利点をテストした。

4.1 タスク案内エージェントと並んで歩く

並んで歩くという行動パターンが主役となるアプリケーションである、街の案内を、実験の場面として選択した。案内する場所として、紹介する店が豊富で、京都で最も大きな商店街である四条通りを選んだ。デスクトップ周辺視を3D デジタルシティ京都に組み込み、仮想四条通りにある店を紹介する案内エージェントを配置した。これは実験用に準備したシステムであるが、被験者からは、実際にサービスを提供するシステムとして魅力的であるという感想を得た。

実験では、一人の被験者に2つの視野を体験してもらうため、紹介する店の異なる2つの案内コースを、仮想四条通りの歩道上に設定した。どちらも、15m 歩いて、エージェントが道の向かい側にある店を紹介し、その後40m 進んで2件目を紹介し、20m 歩いたところで終了する。エージェントが紹介するのは、飲食店や、携帯電話ショップである。図7に、並んで歩いている場面と店を紹介している場面、そして、それぞれの場合における2つの視野を示す。

被験者には自分のアバターを操作して、できるだけ案内エージェントの真横を並んで歩くように指示した。被験者のアバターの歩行速度を時速5kmに、案内エージェントはそれより遅い時速4kmにして、エージェントと並んで歩くためには、時々

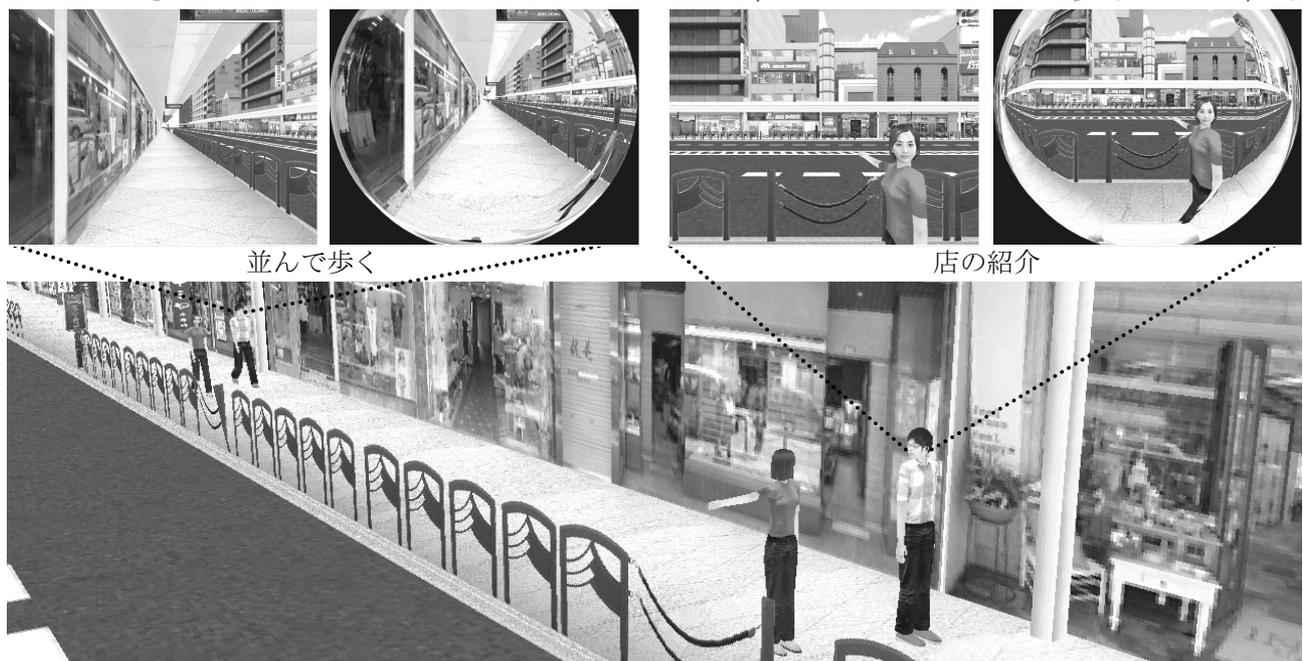


図 7. 3D デジタルシティ京都での四条通りの案内

立ち止まる操作をしなければならないようにした。エージェントには、並んで歩く行動を促すセリフを話させた。被験者のアバターが 1.5m 以上先に行き過ぎたときに「ちょっと待ってよ。」と音声合成で話させた。また、アバターが 1.5m 後方まで遅れると立ち止まり、「早く来てよ。」と話させた。エージェントを無視して先に進んでしまうことも可能であったが、被験者全員がエージェントと並んで歩こうとした。

設計したタスクが、直線のコースを案内エージェントと並んで歩くというものであり、案内に従って歩くかどうかは焦点ではなかったため、案内コースを外れてしまわないように、カーソルキーの上下で前後進、左右で顔だけが左右を振り返る、という単純な操作インタフェースを用いた。つまり、被験者は歩く方向を自由に変更できない。そのため、何人かの被験者からは、もっと自由に歩き回って楽しみたかったという感想を得た。

被験者は全員、京都市内の大学に通う学部生(男性 12 名、女性 12 名)である。事前アンケートの結果は、被験者は、仮想現実感への興味が中くらいあり、四条通りをよく訪れており、3次元ナビゲーションを行うビデオゲームはあまり遊んだことがない、というものである。これは、実験への参加動機は中くらいで、仮想四条通りの現実感を評価する基準を持っており、3次元インタフェースを評価するにあたって、各視野に対する印象にバイアスが少ないことを意味する。

各被験者は各視野で、操作に慣れるための仮想四条通りを歩く練習、エージェントと並んで歩くタスク、アンケートへの回答、の順にこなした。各性別ごとに、被験者の半分は視野角 90 度の透視投影、デスクトップ周辺視の順に、もう半分は逆順に体験した。2つの視野とも体験し終わるまで、我々は、デスクトップ周辺視と透視投影の違いについて全く何も説明しなかった。

4.2 結果—並んで歩いている感覚の強調

アンケートでは、実験そのもの、システムの操作性と現実感、案内エージェントとのインタラクション、店の紹介の分かり易さ、について尋ねた。そのデータを、視野の違いを要因とする対応あり、t検定にかけた結果、エージェントと並んで歩く行動に関する4つの質問にだけ、有意差が見られた。

そのうちの3項目は、それぞれ、デスクトップ

周辺視のほうが、エージェントの位置をより把握しやすく($t(23)=3.36, p<.005$)、より並んで歩き易く($t(23)=4.46, p<.001$)、より並んで歩いている感じがした($t(23)=2.55, p<.05$)ということを示していた。これらの反応についての平均値を図8にまとめる。

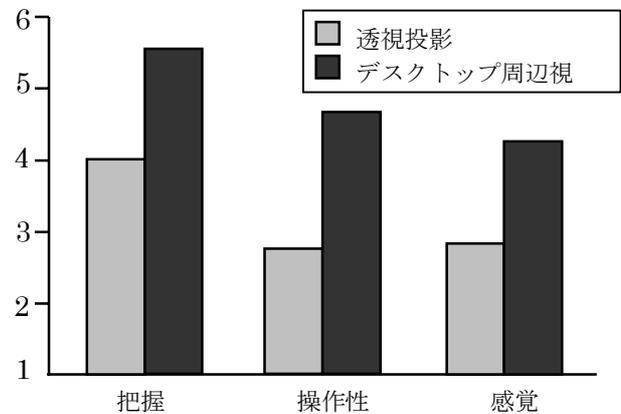


図8. 歩行動作に関する質問への反応 (9段階評価)
把握: エージェントの位置は把握しやすかったか?
操作性: 並んで歩くのは簡単だったか?
感覚: 並んで歩いている感じがしたか?

4つ目の反応は、透視投影のほうが、エージェントの歩行速度が遅い($t(23)=3.19, p<.005$)というものであった。しかし、実際にはどちらの視野でもエージェントの速度は同じであった。このことは、透視投影の視野では、エージェントは自分のアバターより 1m 以上前に居るときしか表示されず、並んで歩こうと操作をする場合には短時間しか視野内に現れないことが原因であると考えられる。また、タスク完了までの平均時間を調べた結果、デスクトップ周辺視で2分36秒、透視投影では3分15秒あった。これは、透視投影の視野で、エージェントと並んで歩き難かったことを示している。

9割以上の被験者がデスクトップ周辺視の歪みに気付いていたにも関わらず、景色の流れ方や現実感についての質問には有意差が現れず、上記のような結果が現れた。このことから、歪みのある視野であっても、その歪みは現実感などに大きな悪影響を与えず、十分に真横の視覚情報を与える周辺視として機能することが分かった。

さらに、被験者がタスクを行う間のコンピュータ画面を録画したものを分析した。その結果、2回目のタスクでは、1回目と同じようにアバターを操作しようとしているのだが、それぞれの視野の性質が異なるため、最初のうちは、ぎこちない操作になってしまっているのが観測された。しかし、

どちらの視野の場合でも、すぐに新たな操作のコツを学習できていた。これは、歪みのある視野でも、歪みのない視野でも、同じぐらい直感的に操作できることを表していると考える。

5. おわりに

我々は、デスクトップ仮想環境において、広い視野を与える表示方法として、デスクトップ周辺視を提案した。この方法では、一般的なデスクトップモニターの限られた領域内に、より広い周辺視を描画するために魚眼投影を使用して、モニターの中心領域には歪みのない中心視を描画するために透視投影を使用している。この手法によって、社会的インタラクションに必要であるが、馴染み深い透視投影では失われている、視覚情報を取り戻す。この情報には、1) 自分のアバターの方向性のある姿勢、2) 自分のアバターの目の前に居るアバターとの距離感、3) 自分のアバターの真横に居るアバターの存在、の3つが含まれる。

我々はこの3つ目の視覚情報を並んで歩くというタスクを与えた実験で評価した。その結果、デスクトップ周辺視による歪みのある視野でも、流れる風景の自然さや現実感に大きな悪影響を及ぼすことなく、この視覚情報をうまく提示し、社会的インタラクションを容易にすることが分かった。さらに、定量的ではないが、歪んだ視野におけるアバターの操作法を身につけるのは困難ではないことを確認した。

デスクトップ周辺視は、映像の忠実性を減少させる代わりに、インタラクションの忠実性を増加させる描画手法である。

謝辞 実験の運営に携わって下さった(株)インターグループの大原裕子氏に感謝致します。本研究は科学技術振興事業団 CREST「デジタルシティのユニバーサルデザイン」の研究として行われました。

参考文献

[1] Arthur, K.W., Effects of Field of View on Performance with Head-Mounted Displays, *PhD Dissertation, UNC Dept. of Computer Science*, 2000.
[2] Benford, S., Greenhalgh, C., Rodden, T. and Pycock, J., Collaborative Virtual Environments, *CACM*, 44(7), 79-85, 2001.
[3] Cranach, M.V., The Role of Orienting Behavior in Human Interaction, A.H. Esser, Ed., *Behavior and Environment: the Use of Space by Animals and Men*, 217-237, Plenum Press, 1971.

[4] Cruz-Neira, C., Sandin, D.J. and DeFanti, T.A., Surround-screen Projection-based Virtual Reality: the Design and Implementation of the CAVE, *SIGGRAPH-93*, 135-142, 1993.
[5] Czerwinski, M., Tan, D.S. and Robertson, G.G., Women Take a Wider View, *CHI-2002*, 195-202, 2002.
[6] Gibson, J.J., *The Ecological Approach to Visual Perception*, Houghton Mifflin, 1979.
[7] Hall, E.T., *The Hidden Dimension*, Doubleday, 1966.
[8] Hindmarsh, J., Fraser, M., Heath, C., Benford, S. and Greenhalgh, C., Object-Focused Interaction in Collaborative Virtual Environments, *ACM TOCHI*, 7(4), 477-509, 2000.
[9] Hirose, M., Ogi, T. and Yamada, T., Integrating Live Video for Immersive Environments, *IEEE MultiMedia*, 6(3), 14-22, 1999.
[10] Isbister, K., Nakanishi, H., Ishida, T. and Nass, C., Helper Agent: Designing an Assistant for Human-Human Interaction in a Virtual Meeting Space, *CHI-2000*, 57-64, 2000.
[11] Ishida, T., Digital City Kyoto, *Communications of the ACM*, 45(7), 76-81, 2002.
[12] Kendon, A., Spatial Organization in Social Encounters: the F-formation System, A. Kendon, Ed., *Conducting Interaction: Patterns of Behavior in Focused Encounters*, Cambridge University Press, 1990.
[13] Luciano, C., Banerjee, P. and Mehrotra, S., 3D Animation of Telecollaborative Anthropomorphic Avatars, *CACM*, 44(12), 64-67, 2001.
[14] Nakanishi, H., Yoshida, C., Nishimura, T. and Ishida, T., FreeWalk: A Three-Dimensional Meeting-Place for Communities, T. Ishida Ed., *Community Computing: Collaboration over Global Information Networks*, John Wiley and Sons, 55-89, 1998.
[15] Okada, M., Tarumi, H. and Yoshimura, T., Distributed Virtual Environment Realizing Collaborative Environment Education, *ACM SAC-20001*, 83-88, 2001.
[16] Psotka, J., Lewis, S.A. and King, D., Effects of Field of View on Judgments of Self-Location, *Presence*, 7(4), 352-369, 1998.
[17] Robertson, G., Czerwinski, M. and van Dantzich, M., Immersion in Desktop Virtual Reality, *UIST-97*, 11-19, 1997.
[18] Singhal, S. and Zyda, M., *Networked Virtual Environments: Design and Implementation*, Addison-Wesley, 1999.
[19] Smith, M.A., Farnham, S.D. and Drucker, S.M., The Social Life of Small Graphical Chat Spaces, *CHI-2000*, 462-469, 2000.
[20] Usoh, M., Arthur, K., Whitton, M.C., Bastos, R., Steed, A., Slater, M. and Brooks, F.P. Jr., Walking > Walking-in-Place > Flying, in *Virtual Environments, SIGGRAPH-99*, 359-364, 1999.
[21] Waller, D., Factors Affecting the Perception of Interobject Distances in Virtual Environments, *Presence*, 8(6), 657-670, 1999.