

大きさの印象を共有するための等倍表示システム

小林 稔[†] 志和 新一[†] 北川 愛子[†]
島田 義弘[†] 一之瀬 進[†]

従来の写真やビデオでは伝えることのできなかった「大きさの印象」を伝えることを目標に、「リアルスケールビデオ」のコンセプトを提案した。等倍表示の有効性や背景色、個人差の効果を調べる実験を行い、結果をもとに2次元の静止画像を等倍表示するシステムを構築した。システムは、撮影と同時に対象までの距離を測定し、それをもとに対象物の大きさ情報を計算する撮影装置と、大きさ情報付き画像情報を表示する可変倍率ビデオプロジェクタから構成される。また、大きさの感じ方の個人差を反映させる手法も取り入れた。実際に画像を記録し再生することで、大きさの印象をおおむね正しく伝えることができることを確認した。また、巨大な対象物の表示や、手などの身体部位の融合表示など、今後検討を進めてゆく課題や手法についても概要を示した。

Real Scale Video: A System to Share Impression of Size

MINORU KOBAYASHI,[†] SHINICHI SHIWA,[†] AIKO KITAGAWA,[†]
YOSHIHIRO SHIMADA[†] and SUSUMU ICHINOSE[†]

This paper presents the basic idea of "Real Scale Video", a video system that conveys the size of objects to allow the sender and the receiver share the same impression of size. We carried out a series of experiments to test the effectiveness of a full-scale image display built to convey the impression of size. Based on the results of the experiments, we built a prototype system that displays full scale 2-dimensional still images, and introduced an adjustment mechanism. Along with capturing the image, the system measures the distance to the main object, and computes the scale adequate to display the main object at full scale based on the distance and the viewing angle of the lens. The prototype uses a computer-controllable high zoom-ratio video projector to display the object at full scale based on the computed scale. An adjustment mechanism allows individual scale perception to be taken into account. This paper also presents future issues such as the use of 3-dimensional display to handle huge objects, or the use of video overlay to effectively display users' body parts to enhance the sensation of size.

1. はじめに

通信や記録のデジタル化にともない、画像や音声をはじめさまざまな情報を複合し、その総体として情報を定義するマルチメディアが可能となった。たとえば、画像に合わせて音声情報や日付、撮影場所、メモなどの文字情報を記録または通信するデジタルビデオ・デジタル写真や、画像情報や文字情報など複数種類の情報の間の関係を記述したハイパーメディアなどの利用が、今日では一般的なものとなっている。

本論文では、そのようなデジタルメディアを利用し、これまでの写真やビデオでは伝えることのできなかった「印象」を伝えることを試みる。最初に例として、

旅先で撮る記念写真やビデオを考える。我々は、物や風景を見て驚きや感動を覚え、それを自らが後で思い出すためや、自分がどのような驚きや感動を覚えたのかを他の人に示すために、写真に撮ったりビデオで撮影したりして記録する。しかしながら、そのような写真やビデオを後で見返すと、印象が継ぎつて感じられることがしばしばある。おそらくそれは、その場の温度や、匂い、湿度、光の強さ、そして風といった視覚ではとらえられないさまざまな情報が欠落しているからであろうし、また、現在の写真やビデオでは撮影機や処理系の制約から物体の大きさや空間の広さを十分に伝えられないからであろう。デジタルメディアは、情報を複合して送ることにより、このような従来の写真やビデオが伝えることのできなかった印象を再現するための手がかりを伝えることができる可能性を持っている。

[†] NTT ヒューマンインタフェース研究所
NTT Human Interface Laboratories

視覚以外のさまざまな刺激の伝達に向けた試みは、仮想現実感などの分野で研究例がある。たとえば、廣瀬ら¹⁾の研究では、鼻に提示される匂い分子の密度を制御することで、匂いを発生する物体までの距離をも再現する「匂いの場」の実現を目指している。また、風の提示については、ユーザが手で握るグリップに取り付けたファンにより風を発生し、手で風を感じることができるシステムがOgiら²⁾によって実現されている。また、ネットワークの混み具合などの異種の情報を風に変換して提示するシステムがIshiiら³⁾によって実現されている。音場の再現に関する研究は古くから行われている。ダミーヘッドを用いて録音した音声をヘッドホンで聞くことで、音源の3次元空間中の位置を感じることができるバイノーラル録音技術が確立している。また、コンピュータ内に定義された仮想空間中の位置に、音源を定位させる仮想3次元音場生成技術の研究⁴⁾も進み、安価なものはコンピュータゲームなどに利用されている。

視覚情報については、高臨場感テレビ会議システムなどの構築を目的に、高精細で大画面の画像通信技術の研究開発が進められている⁵⁾。また、放送用のHDTVなどでは、高精細の画像により被写体の肌理を緻密に再現し、実物の印象をリアルに再現することが可能になってきている。しかしながら、これまでの画像の通信や放送、写真は、対象物の大きさを再現しようとするものではなかった。実物大の写真は、図鑑や広告などでときどき見受けられるが、あまり一般的ではない。これは、大きな対象でも小さな対象でも有限な画面サイズの中に表示可能であることが、カメラを使う効用の1つでもあるからだと考えられる。また、従来のアナログメディアでは、対象の大きさに関する情報を付加して伝達するように通信や記録のフォーマットを変更することが困難であったことや、対象物の大きさを入力する撮影装置や大きさを再現する表示装置がなかったことなどにもよると考えられる。本論文では、複数種類の情報を複合することが容易なデジタルメディアの特質を利用して、視覚情報の中の「大きさに関する印象」を送り手と受け手で共有する方法に焦点をあて、その実現方法を検討する。

2. リアルスケールビデオ

本論文では、撮影と同時に対象の大きさを記録し、その情報をもとに実物大表示することで、大きさに関する印象を送り手と受け手で共有する方式を提案する。この方式を「リアルスケールビデオ」と名付け、その目的と概要を説明する。

2.1 リアルスケールビデオの目的

我々は写真を見て、写っている対象物の大きさをおおむね把握することができる。たとえば、サービスサイズの写真に写っている家を見て、それが3cmの高さの家だと感じることはなく、10m程度の高さのものとして理解することができる。また、高さ100mの巨木の写真を見る場合も、たとえば巨木の横に写っている自動車の大きさから、その木の高さを判断できる。大きさを正確に記録する目的で定規などを一緒に写すこともある。このように、大きさが再現されなくても、画像に写っているさまざまな手がかりから対象物の大きさを判断することは可能である。

本論文で提案するリアルスケールビデオは、このように「大きさが分かる」ことを目的とするのではなく、より直感的に人きさを感じさせることを目的とする。たとえば巨木の例では、巨木の高さが100mであることを伝えるのではなく、高さ100mの木とは、どれほど高く感じられるのかを伝えることを目的とする。

具体的な利用例のシナリオを示して説明する。

【シナリオ1 旅行の記念写真】

ハロウィンの季節にアメリカに旅行したとする。この季節、食料品店には大きな南瓜がならぶ。その大きさに驚き、それを帰って友人に伝えようと思い、自分が南瓜を抱えた姿を写真に撮る。その写真を見た友人は、驚きを共有しようとして人物の大きさから南瓜の大きさを想像する。従来の写真では、頭の中で大きさを判断し、自分が持ったらどの程度の大きさだろうと想像することしかできないが、リアルスケールビデオでは、目の前に実物大で表示されるので、どの程度の大きさであったのかを、見たままに直感的に感じることができる。

【シナリオ2 子供の成長記録】

子供が大きくなってゆく様子を、遠方に住む両親(子供の祖父母)に伝えたいとする。たとえば身長が何cmであるかと伝えても、それがどの程度の大きさであるのか理解するのは難しい。いつも同じ敷物の上で撮影するなどして、大きさを判断する手がかりを与えることはできるが、実感として大きくなったことを感じるのは難しい。スナップショットのように、簡単に大きさ情報を含んだ写真を撮って、それを実物大表示できれば、子供の成長の様子を、直感的に理解させられるし、また親にとっては記録としても貴重である。

リアルスケールビデオの利用例を2つを示した。リアルスケールビデオは、このように大きさ情報を付加して記録し実物大で再生することで、これまでの写真では客観的に判断することしかできなかった対象物の

大きさを、直感的に1人称的に納得できるようにすることを目的とする。

2.2 関連研究

大きさの知覚に関する研究は心理学の分野で多く行われている。異なる距離にある対象物は、網膜上では異なる大きさに投影され誤った大きさを受容しているが、我々は正しく大きさを判断することができる。たとえば、近くにある電信柱も遠くにある電信柱も同じ大きさであると感じている。このような視覚の特性は大きさの恒常性とよばれ、その仕組みについては諸説がある^{6),7)}。また、立体視ディスプレイやフライトシミュレータでの自然な表示を目的として、対象のサイズの知覚に対する視力調節や輻輳角調節の効果に関する研究⁸⁾や、表示画面までの距離と知覚されるサイズに関する研究⁹⁾なども行われている。

CSCW (Computer Supported Cooperative Work) の領域でも、臨場感テレビ会議システムの相手の映像を表示する自然な大きさに関する議論がなされ、ほぼ等倍に表示するのが自然であるとする報告がある¹⁰⁾。

さらに、最近の仮想現実感の分野では、ヘッドマウントディスプレイや大画面に表示される立体画像を用いた没入型の仮想現実空間システムで、現実空間と同様に大きさの恒常性を成立させるために提示するべき手がかりの種類に関する研究¹¹⁾や、仮想空間の物体をよりデータに近い位置に知覚させるための補正手法に関する研究¹²⁾などが行われている。

2.3 リアルスケールビデオの構成

図1にリアルスケールビデオの構成の概要を示す。システムは、(1) 大きさ情報付き画像入力手段と、(2) 等倍表示手段の2つの構成要素からなる。

(1) 大きさ情報付き画像入力手段

対象の大きさ情報を得るために対象物までの距離(図1中の d)を計測する。実際にはさまざまな奥行きを持つ物体が画像に写るが、撮影者が選択した主たる対象物までの距離を測る。距離を計測する方法としては、カメラの自動焦点調節などで利用されている各種の方法が利用可能で、光学的方法や超音波パルスの往復時間を計測する方法などがある。対象物までの距離とカメラの画角をもとに、対象物を含む面における撮影範囲の大きさ(図1中の w)を計算によって求めることができる。

(2) 等倍表示手段

撮影された画像を、撮影時に求めた対象物を含む面における撮影範囲の大きさ w で表示すれば、対象物を表示面上で等倍表示することができる。画像の表示手段には、ビデオプロジェクタ、CRT、ヘッドマウン

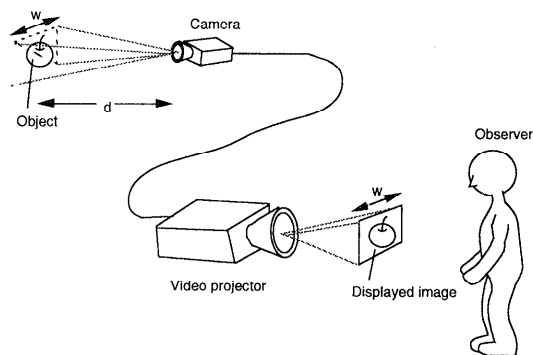


図1 リアルスケールビデオの概要

Fig. 1 Basic mechanism of Real Scale Video.

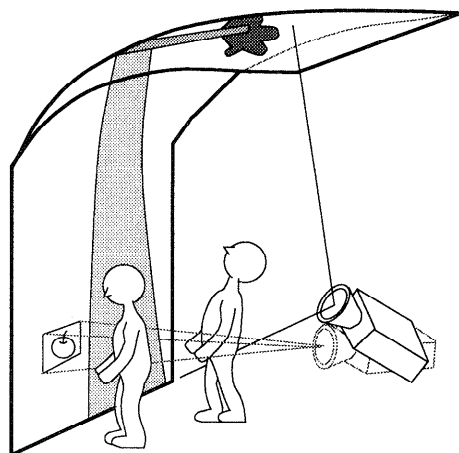


図2 ズームプロジェクタによる等倍投影装置の動作イメージ図

Fig. 2 Imaginary picture of a full scale display system using a zoom projector.

トディスプレイなどの各種の表示デバイスが利用できる。CRTは輝度や画質の点で有利であるが、表示画面サイズが固定なので多様な大きさの物体の表示には向かない。多様な大きさの物体の等倍表示には、表示画像サイズを変更できるズームレンズ付きのビデオプロジェクタが有利である。ビデオプロジェクタは、投影方向を変更することで垂直面のスクリーンだけでなく天井などにも投影でき、対象物の位置や大きさに応じて多様な表示ができる装置を実現できる可能性もある(図2)。

このように、対象物までの距離をもとに、撮影画像を等倍表示するための表示サイズを求め表示することを基本動作原理とする。

3. 等倍表示の評価

リアルスケールビデオシステムを実現するにあたり、まず手で持つことができる程度の小さな対象を撮影・

表示するシステムから製作を始めることとした。これは、巨木のような大きなものの表示には、広範囲に表示する特殊な光学系の開発が必要であるためと、実際には遠方に存在するものを部屋の中の有限な空間に表示することによる距離感の不整合の解決が難しいと考えたからである。

等倍に表示されたものが必ずしも等倍に感じられないことが日常生活の中で経験されていたので、実際にシステムを構築する前に、「等倍に表示すれば等倍に感じることができるのか」を調べるために簡単な実験を行った。

3.1 実験方法

実験は、複数種類の被写体を大きさを変えて投影し、正しい大きさに投影されていると感じられるものを選択することで行った。被験者は同じ職場に勤務する20～30代の男女12人である。被験者に提示する画像の例を図3に示す。被写体は被験者が日常的に接している食品の箱(図3の1と2)と穴開け機(図3の3)で、食品の箱は正面(図3の1)と斜め(図3の2)から撮影した。被写体の背景は、黒色、青色、白色の3色を用いた。投影スクリーン上で等倍となる大きさを100%とし、10%刻みで40%まで拡大縮小した写真を用意した。観察距離は机上にある物体を観察する場合の距離に近くなるように約50cmに設定した。被験者には実験直前に物体を手にとって確認する機会を与えた。実験は、被験者に「大きく」「小さく」と指示させ、投影画像を切り替えて行った。正しい大きさに感じられるものがない場合には、2枚の画像の中間程度という回答をさせた。また、3人の被験者に関しては、2日おいて同様の実験を2回(合計3回)行い経時変化を観察した。

平面の写真に加え、立体写真によっても同様の実験を行った。使用した立体写真は、実験時の観察状態にあわせて、観察距離50cmで両眼間隔65mmで観察した場合に正しく見えるように、カメラの間隔と輻輳角を設定した。設定が複雑であったので、条件を減らして、80～120%の範囲で大きさを変化させ、背景色

は黒色と青色を用いた。立体画像は2台のカメラによって撮影し、2台のスライドプロジェクタにより重畳投影し、プロジェクタレンズ部と被験者が装着する眼鏡の円偏光フィルタにより、左右両眼それぞれに対応する画像が観察されるようにした。

3.2 実験結果と考察

図4、図5に2次元表示の場合の回答の分布を示す。縦軸は、被験者が正しい大きさであると回答した画像と、等倍表示された画像との大きさの比をパーセントで表示したものである。100%は等倍表示を等倍と感じたことを示し、値が小さい場合は小さく表示されたものを等倍と感じた、すなわち表示された画像を大きく感じたことを示す。図4は背景色により分類したもので、図5は被写体によって分類したものである。今回の実験に先立ち行った予備実験で、実物大に感じるように表示倍率を調節させたところ、10%程度小さく表示したときに等倍と感じられ、少し縮小された画像を等倍として選択する傾向が期待された。今回の回答の平均値を見ると、図4では2～3%、図5においては被写体1の条件を除いて4～5%程度小さい画像を

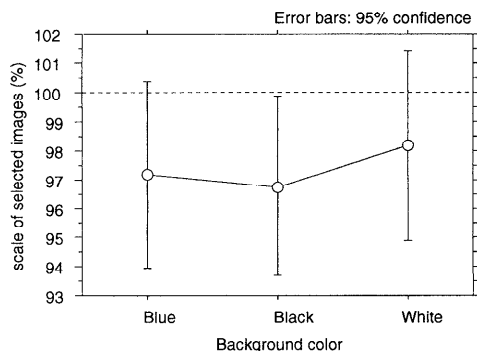


図4 背景による影響

Fig. 4 Effect of background color.

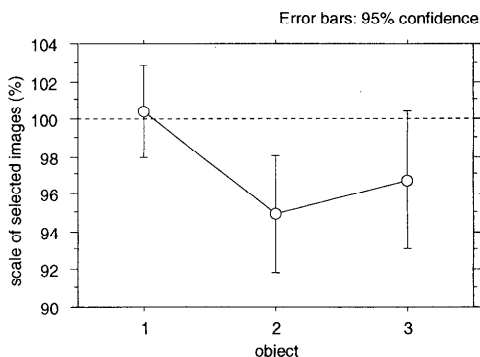


図5 対象物による影響

Fig. 5 Effect of object.

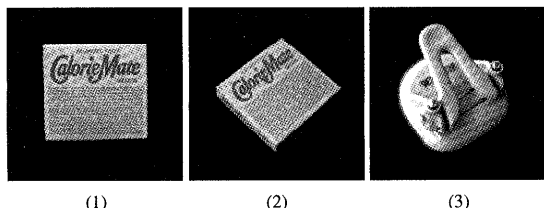


図3 提示画像の例

Fig. 3 Images used in the experiments.

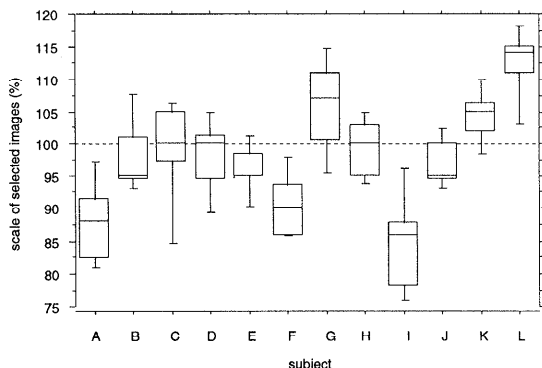


図6 被験者による差異

Fig. 6 Difference in selected image size between subjects.

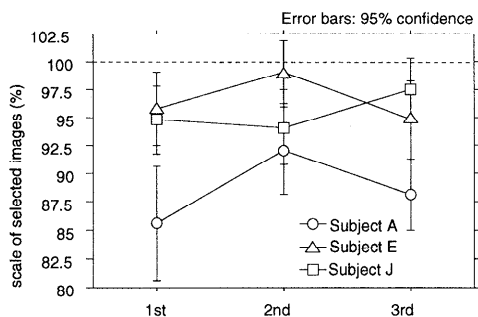


図7 経時変化

Fig. 7 Change over time.

等倍だと選択し、全体として小さい画像を選択する傾向があった。しかし、今回の実験では10%刻みで大きさを変化させた画像を提示し5%刻みで回答させたので、平均値の数%の差を根拠に、「少し小さく表示すると等倍に感じられる」と結論することはできなかった。むしろ1割程度の範囲に多くの回答が集まったことから、等倍に表示すればおおむね等倍に感じられると判断の方が、今回の実験結果では妥当だと考えた。

また、背景色による影響も期待された。しかし、図4に示されるように、今回の実験結果からは明確な差異は認められなかった。一般に、色相や明度などの色彩が見かけの大きさの判断に及ぼす影響に関しては、諸説があり必ずしも一致した結論が導かれているわけではない^{13),14)}。しかし、大きさや距離、重さの判断に何らかの影響を及ぼすと考えられるので、背景色の効果に関しては、さらに注意深い実験が必要である。これについては5章でも検討する。

今回の実験結果では、小さいものが選択されるというような全体的な傾向性よりも、個人間の差が目立った。図6は回答の分布を被験者によって分類した箱ヒゲ図である。この図に示されるように、被験者によ

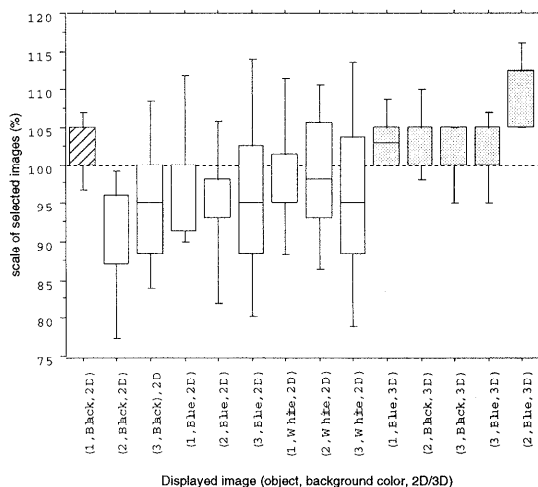


図8 被写体、背景、表示状態(2D/3D)による、回答の分布
Fig. 8 Effect of the displayed image (object, background color, 2D or 3D).

て小さい画像を選択する傾向のある者(A, I)や、大きい画像を選択する傾向のある者(L)などがある。そこで、個人差を吸収するような仕組みの実現を検討するために、継続して実験に参加可能であった3人の被験者について数日間隔において同様の実験を行い、個人内での経時変化と個人間での差異を比較した。図7は、3人の被験者(A, E, J)について、回答の平均の変化を示したものである。多少の上下はあるが、小さいものを選択するなどの傾向は保たれることが分かり、このような個人差によるバイアス成分を取り除くことは有用であると考えられた。

図8は、両眼視差画像による3次元表示の場合を含めたすべての場合について、回答の分布を被写体と背景色と表示状態(2D/3D)を組み合わせた条件で分類した箱ヒゲ図である。分布が上下に長いものは、その条件の画像について被験者間の差が大きかったことを示す。図8の右側の5条件(灰色で塗られたもの)は3次元表示によるものである。右端の条件では誤差が大きい、その他の3次元表示の条件では正解付近に回答が集中した。これは、被験者によって対象の位置に関してさまざまな解釈が可能な2次元表示に対して、3次元表示では像の位置が明確に定義され(本実験の場合はスクリーン面)異なる位置に存在すると感じる余地がなかったためであると考えられる。また図8左端の条件(被写体1、背景黒、2次元表示)では、他の2次元表示の条件に比べて分布の幅が狭かった。これについては5章で検討する。

等倍表示に関するこれらの実験の結果をまとめる。

- 多少の誤差はあるものの、おおむね実物大に表示

されている画像を実物大であると選択できた。

- 全体的な傾向としては、わずかではあるが、小さいものを等倍と感じる傾向があった。
- 被写体の種類や向きによる影響が大きかった。
- 被験者間の個人差が大きかった。
- 立体表示の場合は平面表示に比較して正確に大きさを判断できた。また被験者間の差も少なかった。

背景色や画面のサイズの影響については、今回の実験では明確な結果は得られなかった。これらの影響を調べるためには、さらに注意深い実験が必要である。

今回の限られた実験の結果から、一般化された結論を導くことは難しい。そこで本論文では、これらの結果をもとに大まかなシステム設計方針を決め、実際にシステムを構成しそれを評価することで、方針の妥当性や問題点を検討するアプローチをとった。今回の実験では、多少の誤差はあるもののおおむね実物大の画像を実物大であると選択できたので、基本的には実物大表示を行い、それに対象物の状態や個人差に応じた調整パラメータをかけ合わせることで実物大の印象を伝える等倍表示システムを構築することを試みた。構築したシステムについて次に説明する。

4. 等倍表示システムの構築

4.1 等倍表示システムの構成と動作

実際に製作した「等倍表示システム」について説明する。システムの構築にあたって本論文では、最初の試みとして2次元表示での実現から始めることとした。これは、

- 3次元表示では装置の構成が複雑になること、
- 2次元表示ならば普通のカメラでも撮影可能で、カメラ内蔵の距離計を流用すれば実用化が容易であること、
- 3次元表示は自然な設定での近接撮影が難しいなど、撮影可能範囲が限定されること、
- 2次元表示でも実物大に表示すればおおむね実物大感を与えることができたこと、

などの理由による。3次元表示による方法は今後の課題とする。

また今回は、対象のイメージを静止画として保存し再生表示する機能に限定して実現した。これは主に技術的な制約によるもので、今後、動画の記録再生やリアルタイムでの画像通信も扱えるようにシステムを拡張してゆく。動画に対しても、今回の静止画を用いたシステムの動作原理は、同様に有効であると考えられる。ただし、対象物の動きが大きさの印象に与える影響などは、加えて検討する必要がある。

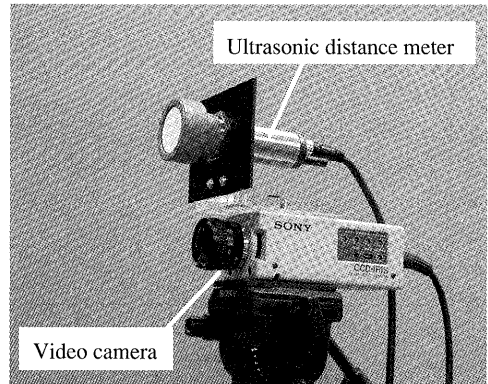


図9 超音波センサ付き画像入力部

Fig. 9 Video camera with ultrasonic distance meter.

システムは大きく分けて、(1) 画像入力部、(2) 画像表示装置、(3) コンピュータによって構成される。3章の初めにも述べたように、今回構築するシステムは手で持つことができる程度の小さな被写体を対象とする。

画像入力部は、ビデオカメラと超音波距離センサによって構成される。図9にその外観を示す。使用したカメラは固定焦点距離の標準レンズを備え、ピントと絞りは手動で設定するものである。超音波距離センサは400~3000 mmの範囲で物体までの距離を測定する。測定範囲は正面方向から若干の広がりを持っており、その範囲の中の最も近い物体までの距離を計測する。

画像表示装置として用いたビデオプロジェクタは本システムのために製作したもので、市販のものよりも高いズーム倍率(約5.6倍: 投影距離2mの場合、画面の横幅168~945 mmに対応)を持つ。ズームレンズにはモータが取り付けられ、コンピュータにより投影倍率を制御可能である。最大投影画角から最小画角まで約0.5秒で変更可能である。今回のシステムでは、倍率指定は画面の横幅を指定することで行った。これは投影距離を2mに固定することを前提としているが、投影画面サイズは投影距離に比例するので、投影距離が変わった場合でも単純な比例計算で補正することができる。図10に製作したビデオプロジェクタの外観を示す。

図11、図12に構築したシステム全体の構成を示す。画像の入出力とシステム全体の制御を行うコンピュータはシリコングラフィクス社製のOnyx2コンピュータを使用した。ビデオカメラの出力画像はビデオデジタイザによってデジタル化されコンピュータに入力される。また、超音波距離センサの出力する距離情報もコンピュータに入力される。コンピュータは被写体まで

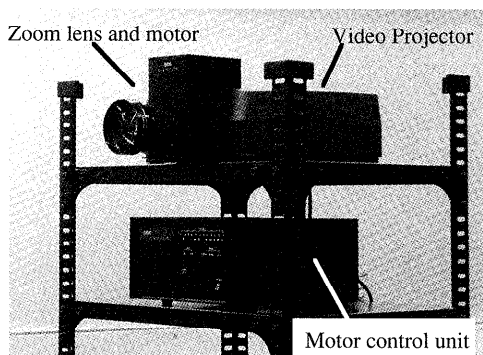


図 10 可変倍率ビデオプロジェクタ

Fig. 10 High zoom-ratio video projector.

の距離情報をもとに、対象物がスクリーン上に等倍表示されるための投影サイズを計算し、ビデオプロジェクタのズーム倍率を調整して画像を出力する。同時に、デジタル化された画像と等倍表示のための投影サイズは、記録装置に記録される。

等倍表示するための投影サイズは、距離センサにより計測した被写体までの距離をもとに計算される。焦点距離 12 mm のレンズを用いた今回のシステムでは、被写体から 70 cm 離れて撮影した画像を横幅が 36 cm になるように投影することで等倍表示となることが分かっていたので、これを基準として距離に反比例させて投影サイズを調整することで対象を等倍表示した。

しかし、距離センサの計測値には、被写体以外の物体が計測領域に存在するなどの影響で誤差が含まれ、必ずしも実物大で表示されない。そこで、送り手ユーザによる調整機構を付加することとした。調整機構の設計にあたっては、センサの誤差だけでなく、3 章の実験で示唆されたユーザ間の個人差や被写体の形状や配置による効果なども吸収し、送り手ユーザが「感じた大きさ」を受け手ユーザに伝達することを目標とした。調整機構について、動作の順を追って説明する。

【準備段階】 個人差補正用パラメータを測定する。これは、本システムを使用するすべてのユーザが使用前に行う。画面上で正確に等倍になる表示画面サイズ W_t が分かっている標準画像を提示し、等倍に感じる大きさになるように表示画面サイズを調整させ、調整後の画面サイズ W_s と等倍表示の画面サイズ W_t の比 W_s/W_t を求め、それを個人固有パラメータ $P(\text{user})$ とした。 $P(\text{user})$ は式 (1) により表される。

$$P(\text{user}) = W_s/W_t. \quad (1)$$

【撮影段階】 画像を撮影し、調整を行う。距離センサにより計測された被写体までの距離に基づき仮に等倍表示する。このときの表示画面サイズを W_a と

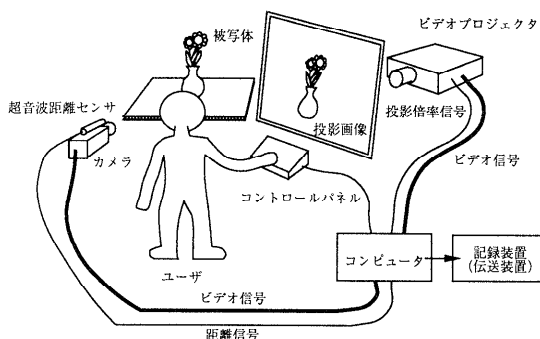


図 11 装置構成図 (準備段階, 撮影段階)

Fig. 11 Overall architecture of the system (calibration and image capture stage).

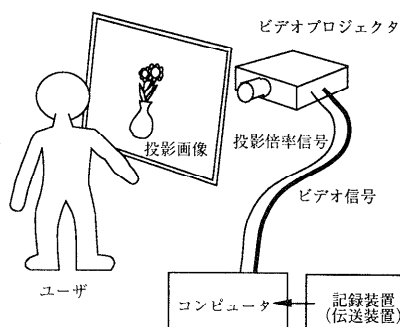


図 12 装置構成図 (表示段階)

Fig. 12 Overall architecture of the system (playback stage).

する。仮に等倍表示した後で、送り手ユーザにコントロールパネルを操作して等倍と感じられるように表示画面サイズを調節させ、調節後の表示画面サイズを $W(\text{pict}, \text{sender})$ とする。送り手ユーザが等倍と感じる画面サイズとシステムが計算した等倍表示画面サイズの比 $W(\text{sender}, \text{pict})/W_a$ には、(a) 距離系の誤差などによるサイズの誤差を補正する成分、(b) 被写体の種類などの影響による成分、(c) ユーザ固有の大きさの感じ方による成分が含まれていると考えられる。(a) 距離系の誤差補正成分と (b) 被写体などの影響の成分は受け手と送り手で共有することとし、(c) ユーザ固有の感じ方による成分に関して補正を行う。そのために、 $W(\text{sender}, \text{pict})$ を送り手ユーザの個人固有パラメータ $P(\text{sender})$ で割った値を $W(\text{pict})$ として画像に添付する。 $P(\text{sender})$ で割ることで、送り手ユーザ固有の大きさの感じ方の成分が補正され、 $W(\text{pict})$ は、(a) 距離系の誤差と (b) 被写体などの影響の補正成分のみを含む標準化された表示サイズとなると考えられる。 $W(\text{pict})$ は式 (2) によって表される。

$$W(\text{pict}) = W(\text{pict}, \text{sender}) / P(\text{sender}). \quad (2)$$

以上の準備段階と撮影段階では図 11 の構成を用い



図 13 装置使用図 (撮影)

Fig. 13 The camera system in use.

る。次の表示段階では撮影装置は不要なので図 12 の構成を用いる。

【表示段階】 $W(\text{pict})$ に受け手の個人固有パラメータ $P(\text{receiver})$ を乗じ、表示画面サイズを決定し表示する。受け手に適応させた表示画面サイズ $W(\text{pict}, \text{receiver})$ は式 (3) によって表される。

$$W(\text{pict}, \text{receiver}) = W(\text{pict}) * P(\text{receiver}).$$

(3)

図 13 に撮影の様子を、図 14 に図 13 で撮影した画像を表示している様子を示す。

4.2 等倍表示システムの評価実験

このように構成した等倍表示システムの効果を評価するために、実際に物体を撮影し等倍表示する実験を行った。実験では被写体として、ほぼ同じ形状で大きさだけ異なるものを揃えることができるという理由で、運動靴を用いた (図 15)。実験は、送り手の被験者 3 人が本システムを用いて記録した「大きさ情報付き画像」を、受け手被験者 5 人が観察し、表示された物体に最も近い大きさの物体を選択することで行った。具体的には、22.5, 25.5, 28.0 cm の各サイズの運動靴を表示し、22.5, 24.5, 25.5, 26.5, 28.0 cm の 5 種類の靴から、表示された靴と同じ大きさの靴を選択させた。また、ユーザ固有パラメータは、8 人の全被験者に対して 22.5, 25.5, 28.0 cm の各サイズの靴の画像を標準画像として用いて測定し、実際には、すべての画像に対して 25.5 cm の場合のユーザ固有パラメータを使用した。

図 16 にその結果を示す。全体的には大中小の序列は正しく再現され、おおむね大きさの印象は共有でき

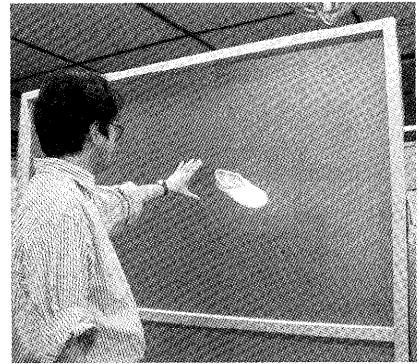


図 14 装置使用図 (表示)

Fig. 14 The display.

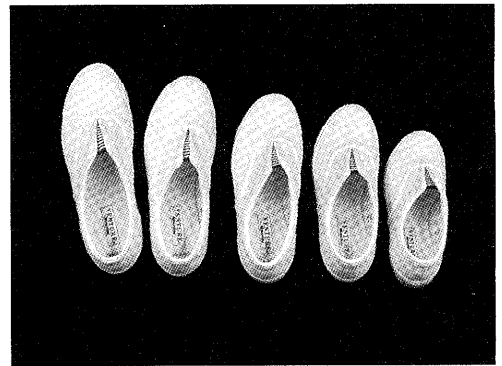


図 15 評価実験に用いた被写体

Fig. 15 Objects used in the evaluation of the system.

ていると考えられる。しかし細かく見ると、回答の平均と正解の間には 28.0 cm の場合で 0.7 cm, 25.5 cm の場合で 0.3 cm, 22.5 cm の場合で 1.2 cm 程度の誤差があり、また 22.5 cm の場合は回答されたサイズのばらつきも大きかった。受け手ユーザの選択肢として用意された靴のサイズが 1~2 cm 間隔であったことから、25.5 cm の 0.3 cm の誤差は十分に小さいといえるが、22.5 cm の 1.2 cm の誤差は小さくない。これらは、25.5 cm の靴がユーザ固有パラメータを計測した靴と同サイズであったことや、28.0 cm より大きいか 22.5 cm よりも小さい選択肢がなかったので平均はその内側になったことなどが原因だと考えられる。標準画像の選択による効果やユーザパラメータによる補正の効果がどれほどあったかに関しては、さらに詳しい実験が必要である。

4.3 等倍表示システムの応用例

等倍表示システムによって、対象を大きさ情報とあわせて記録し、実物大で表示することが可能となった。本システムでは、対象物から離れて撮影した場合には画面サイズが大きくなり全体が表示され、対象物に近

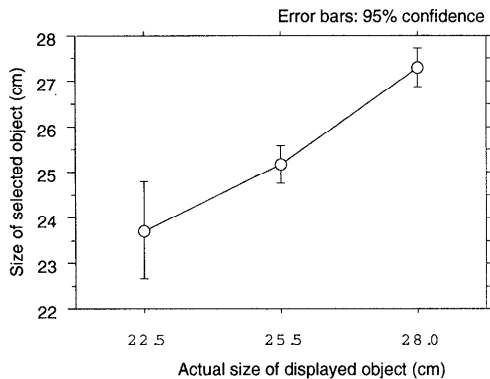


図 16 評価実験の結果

Fig. 16 Result of the evaluation.

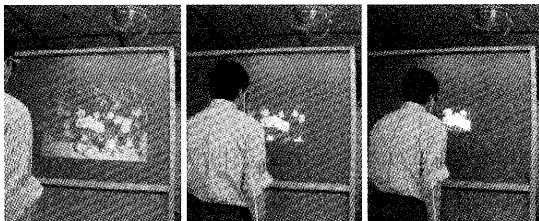


図 17 観察距離応答型表示の例

Fig. 17 Viewing distance responsive display in use: an image of suitable size appears that matches the viewing distance.

づいて撮影した場合には画面サイズが小さくなり部分を細かく表示するので、大きさの感覚を保ったまま画面の表示画素数を有効に利用することができる。

この特性を用いた応用例を示す。対象物を撮影する際に、単一の被写体に対して撮影距離を変えて複数の画像を撮影する。画像表示時に、ユーザに磁気位置センサを取り付けた眼鏡を装着させ画像表示面までの観察距離を測定し、観察距離と撮影距離に近いものを選択して等倍表示する。図 17 にその表示例を示す。この例では屋外で撮影するために本システムの画像入力部は用いずに物差しにより距離を測った。図 17 に示されるように、表示画面から離れば全体を粗く、表示画面に近づけば部分を細かく観察することができる。

本システムは対象までの距離だけを測って記録するので、中心となる物体に近づくか離れることしかできないが、画像入力時にカメラの位置や方向に関する情報を記録し対応する位置に表示する方法¹⁵⁾や、ユーザの視線に反応して投影位置を制御する方法¹⁶⁾を組み合わせれば、全体の中での位置を保ったまま、いろいろな部分を詳しく見ることができるシステムも構築可能となる。

5. 考察と今後の展開

構築した等倍表示システムを使用した結果に基づき、

改善すべき点や新たな方式の可能性についてまとめ、今後の進め方を検討する。

5.1 操作の簡便化

今回構築したシステムでは、被写体を撮影し距離情報に基づいて等倍表示した後に、送り手ユーザが自分の見た目の印象に近くなるように微調整を行った。これは、計測誤差による表示サイズの誤差の修正や、ユーザ固有の感じ方の違いを反映させることが目的であった。しかし、実際には調整の幅は表示画面の横幅を 1~2 cm 程度増減させるものであり、多くの場合は調整は必要ないと感じられた。個人パラメータの利用による効果に関しては今後さらに詳しい実験が必要であるが、センサを改良し正確に大きさを再現できるようになれば、この微調整操作を省略することで使用時の手順を減らして簡便化することができる。本システムは、日常生活の中で使用するスナップショットの道具を目指しているので、操作の簡便化は重要である。

5.2 大きな対象物の表示方法の検討

今回の実験では、手に持てる程度の大きさの対象物を用いた。巨木のような大きな対象物の表示には技術的な困難があるが、今後解決しなければならない重要な課題である。その解決方法としては、ヘッドマウントディスプレイ (HMD) による立体表示や、CAVE¹⁷⁾などの大型の表示装置の利用を検討している。

HMD は、頭部に装着した表示装置にユーザの頭部の向きに応じた視野画像を表示するので、小型の装置で巨大な対象物を表示することが可能である。しかし、現在一般に入手可能な HMD では、実際に画像が表示される表示面までの距離と、輻輳角によって知覚される対象までの距離との間に矛盾があり、本論文のリアルスケールビデオのように距離感や大きさ感覚が重要であるシステムでは、大きさの知覚の誤差の原因となる可能性がある。ユーザの注視点に応じて光学系を動的に調整し、これらの距離の矛盾を解消する手法¹⁸⁾と組み合わせることで、HMD の利用は効果的なものになると考えられる。

CAVE などのユーザの周囲を取り囲む大型の表示画面に立体像を表示する方式では、ユーザを取り囲むような巨大な対象物の表示も可能である。しかしながら、固定位置のスクリーンに画像を表示するので、HMD の場合と同様に表示面までの距離と輻輳角によって知覚される対象までの距離との間に矛盾があり、距離感や大きさの知覚に影響を与える可能性がある。また、高い樹木のような上下方向に大きい対象物の表示にはユーザの上部を覆う表示面が必要であるが、一般的な CAVE システムでは床面と周囲 3 面の 4 面を表示し

天井面の表示はできない。CABIN¹⁹⁾のような床面と天井面を含む5面の表示装置を用いるか、それに代わる方法を検討する必要がある。今回構築した可変倍率プロジェクタでは、対象物の大きさに応じて画面サイズを変更できるので、限られた表示画素数を有効に使うことができる。このような可変倍率装置と、CAVEのような立体表示方式の組合せも、今後検討してゆく。

5.3 大きさと距離の知覚について

大きさの知覚と距離の知覚は密接な関係を持つ。網膜上の大きさが異なっても、人間はさまざまな手がかりから空間の奥行きを感じ、距離情報をあわせて判断することで、大きさを正しく知覚することができる。これは大きさの恒常性とよばれる効果である。また身近な例では、コンピュータ画面の描画プログラムのウィンドウ内の直径10 cmの円は、表示面に存在する10 cmの円として理解されるが、別のウィンドウに表示される写真の中の山脈は、はるか遠方に位置する大きな物体として理解される。このように、対象物が表示画面上に存在すると理解されるか、あるいは表示画面に設けられた「窓」を通して見る奥行きのある空間の中に存在すると理解されるかによって、大きさは異なって感じられるとも考えられる。

本論文のシステムを構築する前に、日常的な物体を実物大で表示する予備実験を行った。具体的には、身長60 cm程度の乳児を上方から撮影した画像を、スクリーンに投影し実物大表示した。実物大画像を実物大であると感じることを期待したが、実際には実物より大きく感じられ、1割程度縮小することで自らの持つ印象に近づいた。これは「窓」の向こうに乳児が存在すると知覚したからではないかと思われた。

そこで3章の実験では、このような窓の効果が起こりやすそうな背景色や被写体の組合せと、起こりにくそうな組合せを比較した。窓の効果が起こりやすそうな背景色として、画像の「ふち」が明確になり、枠の中に物体が表示されているように見える白や青を選んだ。また、窓の効果が起こりにくそうな背景色としては、「ふち」が不明確になり、物体だけが表示画面上に浮かんでいるように見える黒を用いた。しかし、今回の実験結果では背景色による影響は明確ではなかった(図4)。今回の実験では、画像の「ふち」の有無をコントロールすることに注目して背景色を変化させたが、背景色そのものも物体の大きさの知覚に影響する可能性がある。今回の実験では、色による効果や窓の有無による効果などの複数の要因が絡み合い、いずれの効果に関しても明確な結果を得ることができなかったと考えられる。たとえば、白い背景の画像では、窓

の向こう側にあると理解された結果として大きく感じられる効果と、明るい背景色に対して相対的に暗い色となったために小さく感じられる効果が相殺して、結果が不明瞭になった、というような可能性が考えられる。各要因の効果を独立に調べるためには、より注意深い実験を行う必要がある。

今回の実験結果に限って考えれば、窓の存在が意識されることによる効果というよりは、むしろ被写体の形状や向きによって、距離感を判断し画像を選択しているようである(図5)。図8に示される回答の分布では、左端の条件と3次元表示以外では平均は100%未満で、小さく表示されたものを等倍と感じる傾向がわずかながら存在する。これは、これらの条件では画像に奥行きが感じられ、表示面よりも奥に物体があるように感じられるために、表示面上で少し小さく表示されたものを、実物大であると選択したと考えることができる。それに対して、図8の左端の条件(黒い背景に平板な被写体を表示する場合)では、2次元表示の他の条件に比べて正解付近に回答が集中し、距離感をとまって表示される3次元表示の場合と同程度である。これは、奥行き知覚の手がかりが少なかったので、表示物体がスクリーン上に位置していると知覚されやすくなり、表示された大きさがそのまま伝わったのだと考えることもできる。このような奥行きの知覚に関しても、さらに注意深い実験が必要である。

4章のシステムの評価実験では黒い背景を用い、スクリーン上に物体だけが浮かぶように表示した。3章の実験では、日常的に見ている物体との大きさの違いを検出するのは容易であったが、4章の評価実験のように日常的に見ていない物体の微妙なサイズの違いに関して問われると判断に迷う被験者もいた。これは、4章の実験ではスクリーン上に物体が位置すると知覚させるために、意図的に黒い背景を用い、奥行きに関する手がかりを少なくして表示したことも影響していると考えられる。今後は、今回のような奥行き知覚の手がかりを除去するアプローチとは反対に、枠などの奥行きの手がかりを積極的に与えて大きさを知覚させる方法もあわせて検討してゆく予定である。

相手と自分の間に位置するガラス板のメタファーを用いて協同描画空間と対面対話空間をシームレスに融合したClearBoard²⁰⁾では、ユーザが触れることのできるガラス面は、描画プログラムのウィンドウのように描いたオブジェクトが存在する面であり、その背後に映る相手ユーザ像は、ガラス面の向こう側に広がる奥行きのある空間に属するものと理解された。ClearBoardでは、ガラス面とガラス面の向こう側の空間は

連続した空間として定義されていたので、ユーザはガラス面を基準とした遠近法により相手ユーザまでの距離を直感的に把握することができ、相手の大きさを自然に感じることができた。このように、等倍であると知覚されるガラス面を定義し、その面と連続した空間の中に被写体を写すことで、直感的に大きさを伝えるインタフェースが実現できると考えられる。このようなインタフェース方式を検討してゆく。

5.4 身体の融合表示

空間の知覚は、視覚情報のみによる処理ではなく、視覚情報と自分の身体との関連付けによって成立することが知られている²¹⁾。本論文の等倍表示システムは物体をスクリーン上に等倍で再現するので、表示された像に手を当てるなどして大きさを確かめることができる。しかし、実物の手が視界に入ると、実物と映像の間の質感の差から違和感が生じてしまう。このような違和感を取り除くために、自分の手元を撮影した画像と送られてきた画像とを重畳合成し表示する手法²²⁾などを利用し、自分の身体との相対関係から大きさを実感できる仕組みを組み込んでゆく予定である。

6. ま と め

本論文では従来の記念写真やビデオでは伝えることができなかった「印象」を伝えることを目標に、大きさの印象を共有するメディア「リアルスケールビデオ」のコンセプトを提案した。コンセプトを実現するために、実際に等倍表示することで等倍に感じることができるか、等倍表示の有効性について実験を通して調べた。その結果に基づき、2次元の静止画像を等倍表示するシステムを構築した。具体的には、距離情報をもとに対象物の大きさを計算する手法を用いて、撮影と同時に大きさ情報を取得する撮影装置を製作し、撮影された大きさ情報付き画像を表示する可変倍率ビデオプロジェクタを製作した。また、個人差や被写体の条件による差異を吸収する調整機構を付加した。構築したシステムを用いて、実際に画像を記録し再生することで、大きさの印象を正しく伝えることができることを確認した。また、本システムを使用した結果に基づき、今後、進めてゆくアプローチについても示した。具体的には、HMDを利用した3次元表示の利用や、手などの身体部位の融合表示などである。今後はこれらのアプローチを中心に、より直感的に大きさの印象を伝えることができるシステムの実現を目指してゆく。

謝辞 本研究を行う機会を与えて下さったNTTヒューマンインタフェース研究所岡田和比古所長に感謝いたします。

参 考 文 献

- 1) 廣瀬通孝, 谷川智洋, 石田健亮: 嗅覚ディスプレイに関する研究, 日本バーチャルリアリティ学会第2回大会論文集, 名古屋, pp.155-158, バーチャルリアリティ学会 (1997).
- 2) Ogi, T. and Hirose, M.: Multisensory Data Sensualization Based on Human Perception, *Proc. VRAIS 96*, pp.66-70, IEEE (1996).
- 3) Ishii, H. and Ullmer, B.: Tangible Bits: Towards Seamless Interfaces between People, Bits, and Atoms, *Proc. CHI'97*, Atlanta, Georgia, pp.234-241, ACM, Addison-Wesley (1997).
- 4) Wenzel, E.M., Wightman, F.L. and Foster, S.H.: A Virtual Display System for Conveying Three-Dimensional Acoustic Information, *Procs. The Human Factors Society*, 32, pp.86-90, Human Factors Society (1988).
- 5) Takahashi, Y., Nakazawa, K., Nomura, T., Okimura, T. and Sakai, S.: A 6-Mpixel LCD Projector using interleaved pixels, *Journal of the SID*, Vol.3, No.2, pp.89-93 (1995).
- 6) 野澤 晨: 恒常性, 認知心理学 1 知覚と運動, 乾 敏郎 (編), pp.49-70, 東京大学出版会, 東京 (1995).
- 7) ギブソン, J.J.: 生態学的視覚論, サイエンス社 (1985).
- 8) Meehan, J.W. and Day, R.H.: Visual Accommodation as a cue for size, *Ergonomics*, Vol.38, No.6, pp.1239-1249 (1995).
- 9) Wetzel, P.A., Pierce, B.J. and Geri, G.A.: Viewing distance and the perceived size of simulator imagery, *Journal of the SID*, Vol.4, No.4, pp.247-253 (1996).
- 10) 黒須正明, 山寺 仁, 本宮志江, 三村 到: 臨場感通信における画面上の人体サイズ, 情報処理学会研究報告, Vol.95, No.67 (GW-13), pp.43-48 (1995).
- 11) 下条信輔, 毛利伊吹, 北崎充晃, 神谷之康, 石村源生, 渡辺克巳: 人工現実感の解明に関する研究, 空間概念形成とその脳内表現過程に関する研究, 人工現実感に関する基礎的研究, 平成8年度仮想空間の生成と人間との相互作用に関する研究, 文部省 (1997).
- 12) 星野俊仁, 大関 徹, 吉田俊介, 宮崎慎也, 長谷川純一, 福村晃夫: 仮想空間における視覚の知覚誤差を軽減する手法, 日本バーチャルリアリティ学会第2回大会論文集, 名古屋, pp.304-307, バーチャルリアリティ学会 (1997).
- 13) 富家 直: 色彩の感覚属性間効果, 色彩科学ハンドブック, 日本色彩学会 (編), pp.403-406, 東京大学出版会, 東京 (1980).
- 14) 柳瀬徹夫, 近江源太郎: 色の心理的効果, 色彩の事典, 川本元郎, 児玉 晃, 富家 直, 大田 登

- (編), pp.272-283, 朝倉出版, 東京 (1987).
- 15) 鈴木 元, 岡田敦嗣, 河野隆志: Scopehand を用いた走査型空間撮像方式, 電子情報通信学会研究報告, Vol.92, No.25 (HC-92-5), pp.31-38 (1992).
 - 16) 山口博幸, 伴野 明, 岸野文郎: 視線検出を利用する広視野高精細表示法方の検討, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J73-C-II, No.11, pp.712-732 (1990).
 - 17) Cruz-Neira, C., Sandin, D.J. and DeFanti, T.A.: Surround-screen projection-based virtual reality: the design and implementation of the CAVE, *Proc. SIGGRAPH '93*, Anaheim, California, pp.135-142, ACM, Addison-Wesley (1993).
 - 18) Shiwa, S., Omura, K. and Kishino, F.: Proposal for a 3-D display with accommodative compensation: 3DDAC, *Journal of SID*, Vol.4, No.4, pp.255-261 (1996).
 - 19) 廣瀬通孝, 小木哲朗, 石綿昌平, 山田俊郎: 没入型多面ディスプレイ (CABIN) の開発, 日本バーチャルリアリティ学会第2回大会論文集, 名古屋, pp.137-140, バーチャルリアリティ学会 (1997).
 - 20) Kobayashi, M. and Ishii, H.: ClearBoard: A Novel Shared Drawing Medium that Supports Gaze Awareness in Remote Collaboration, *IE-ICE Transaction on Communication*, Vol.E76-B, No.6, pp.609-617 (1993).
 - 21) 積山 薫: 空間視とその発達・障, 認知心理学1 知覚と運動, 乾 敏郎 (編), pp.193-216, 東京大学出版会, 東京 (1995).
 - 22) Ishii, H., Kobayashi, M. and Arita, K.: Iterative Design of Seamless Collaboration Media, *Comm. ACM*, Vol.37, No.8, pp.83-97 (1994).

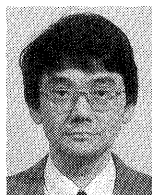
(平成 10 年 6 月 5 日受付)

(平成 10 年 10 月 2 日採録)



小林 稔 (正会員)

1988 年慶応義塾大学計測工学科卒業, 1990 年同大学院修士課程修了. 1996 年マサチューセッツ工科大学修士課程修了. 1990 年日本電信電話株式会社入社. NTT ヒューマンインタフェース研究所にて, 映像通信とコンピュータによる協同描画システムを中心とした CSCW の研究, コミュニケーションシステムのための空間的ヒューマンインタフェースの研究に従事. 電子情報通信学会, ACM, IEEE Computer Society 各会員.



志和 新一

1977 年北海道大学理学部高分子学科卒業. 1979 年, 同大学院高分子学専攻修士課程修了. 同年, 日本電信電話公社 (現 NTT) 茨城電気通信研究所入社. NTT ヒューマンインタフェース研究所に移り, 主として通信用表示方式, 臨場感表示の研究に従事. 工学博士. 映像情報メディア学会, 日本化学会, 応用物理学会各会員.



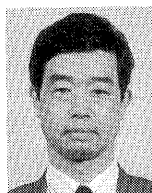
北川 愛子 (正会員)

1973 年青山学院大学理工学部電気電子工学科卒業. 同年日本電信電話公社 (現 NTT) 入社. 以来, マイクロプロセッサ用クロスソフトウェア, 図形処理応用システム, 仮想空間におけるヒューマンインタフェースの研究に従事. 現在, NTT ヒューマンインタフェース研究所画像通信研究部主任研究員.



島田 義弘

1995 年早稲田大学応用物理学科卒業. 1997 年同大学院修士課程修了. 同年日本電信電話株式会社入社. NTT ヒューマンインタフェース研究所にて, 仮想空間と実空間の融合方式に関する研究, 仮想空間コミュニケーションのための画像を用いた実空間情報提示方式の研究に従事. 映像情報メディア学会会員.



一之瀬 進 (正会員)

1974 年横浜国立大学工学部電気工学科卒業. 1976 年同大学院電気工学専攻修士課程修了. 同年, 日本電信電話公社 (現 NTT) 入社. 現在, NTT ヒューマンインタフェース研究所画像通信研究部長. 主に, 画像入出力処理方式, 画像通信方式の研究開発に従事. 工学博士. 映像情報メディア学会, 電子情報通信学会, 画像電子学会各会員.