

## 映像と官能評価 －ヒトの感じに基づく動画像－

梶谷 哲也

(文化学園大学)

### Sensory evaluation of moving images － A method for making moving images based on human sensations －

Tetsuya KAJITANI

*Bunka Gakuen University*

#### 1. はじめに

実空間で会議をしていて、手前のヒトとそのすぐ後ろのヒトの大きさが違って見えることはない。さらに、比較的奥の方にいるヒトの大きさも、やや小さく見えてはいるものの、その縮小率は幾何光学に従う写真のように極端に小さくならないはずである。このような現象は“大きさの恒常性”と呼ばれ、ヒトに共通した特性とされている<sup>1-6)</sup>。同様な現象として、自分の人差し指を目のすぐそばにもってくると網膜上には象の足ほどの大きさに映るはずなのに、指の大きさが変化したと感ずることはない。このような現象を説明する仮説の一つに、指を見ている本人が網膜上の大きな指の像が、目のすぐ近くにある指であることが分かっているからだとする、“大きさ距離不変仮説”がある<sup>1)</sup>。この仮説に従えば、対象の見えの大きさ (apparent size) は、網膜上の対象の大きさと、その対象までの距離の二要因から決まることになる。

ところが、現在の光学カメラで対象を撮影していると、撮影対象がカメラに対して近づくと、対象本来の大きさよりも極端に大きく映り、一方で、遠ざかれば本来の大きさよりも極端に小さく映ってしまう。これをヒトが違和感を感じない程度の大きさで対象を描画するためには、対象の撮影時に対象までの距離とその距離での物理的な大きさを把握し、それらの情報に基づ

いて対象の大きさをヒトの知覚特性に従って再生 (提示) しなくては、観察者は再生映像上の対象の大きさと、自分が知覚した対象の大きさととの差異に違和感を持つことになる。そこで、少なくとも対象の見えの大きさに関しては精度の高い官能評価に基づいて映像を作成する必要がある。

映像の臨場感を高める試みとして、映像の描画速度を向上させ、表示できる色数を増やすなど、従来の機能を向上させる試みがなされているが、それだけでは十分な臨場感を得ることは期待できない。それよりも映像装置上に再生された対象の大きさと奥行きが、観察者の感じる大きさと奥行きと一致する程度を増やすことが、臨場感の強さを高め、違和感を減少させるものとする。(なお、以下では、観察者の感じる大きさと奥行きに一致する程度を狭義の“臨場感 (reality)”とする。)

映像装置上に再生された対象の大きさと奥行きが、観察者の感じる大きさと奥行きとが一致しない原因の一つとして、これまでの再生映像では観察者へ提供される情報 (Cue)、特に対象までの奥行き情報が十分でないために、実空間でヒトが感じる対象の大きさを表示された映像からは十分に知覚できないことがある

そこで、対象の大きさと奥行きを観察者の感じる大きさと奥行きに一致させることで映像の臨場感を向上させることを目的として、新たに映像装置上に再生される映像に加えるべき対象の奥行き手掛かり等を明ら

かにするために、映像の生成法とその背景について概観する。

まず、現在も CG (Computer Graphics) の基礎となっている単眼視を前提とした一点透視投影法（パース技法）から初めて、両眼視によるヒトの知覚に基づいた二次元映像、次に三次元映像（：立体視映像）について述べる。最後に、視覚以外の感覚と対象の見えの大きさの関係について概説した後に、拡張現実感（AR: Augmented Reality）に関する応用事例を紹介する。

## 2. 遠近法の歴史

### 2.1 宗教を背景とした壁画の文化

心理学の分野で検証されている絵画の手掛かりには、きめの勾配（こうばい）、相対的な大きさ、親しみのある大きさ、重なり、陰影（いんえい）および大気遠近法などがある<sup>1)</sup>。以上の手掛かりは、いずれも観察者に対して相応の“遠近感”を生じ（誘起）させる要因となっている。ただし、15 世紀以前には、これらの手掛かりを総合的に適用する方法は提案されていなかったとされている。その理由として、この時代は描画する対象がもともと抽象的（多くは神）である上に、それらが主に宗教的な教育教材であったことから、描画される絵画の臨場感にはあまり関心がなかった、とする説がある<sup>3)</sup>。

### 2.2 単眼視を基にした一点透視投影法（パース技法）の確立

15 世紀初頭に、ブルネッレスキによって観察対象と描画面面との一般的な関係が発明され<sup>4)</sup>、後にデューラーによって教科書として出版された（図 1）。この発明により、始めて鼻の高い人物の顔を正面から描画することが可能となった。ただし残念なことに、この描画法にはヒトの知覚特性、例えば視覚における大きさの恒常性が十分考慮されてはいなかった。その後、広く普及したこの描画方法は、数学者によって幾何光学的な変換処理（透視投影変換）として、具体的な描画法とともに体系化された。これ以後、この一点透視投影法が CG の基礎理論のひとつとなっている。

現在、15 世紀のように視点を固定した単眼視の状態でメッシュ（網の目）の一部に注目して対象を観察すると、大きさの恒常性がほぼ無くなることが知られている。このようなヒトの恒常性がほとんど反映されていない映像（机の上のメッシュに写し取られた対象の大きさ）には、対象に関する正しい大きさの情報は

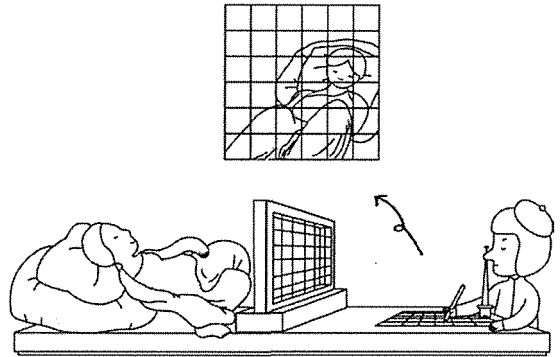


図 1 一点透視投影法の作図法の例<sup>3)</sup>

（当時の教科書に掲載された 4 枚の挿絵の一枚を参考に作成したイラスト）

この挿絵にある方法は、単眼でグリッド越しに対象を観察し、その結果を部分的に卓上のグリッドへ書き写す方法である。このとき、視覚における大きさの恒常性は失われ、対象の大きさはほぼ幾何光学的な大きさとして転写される。

ほとんど無い。ところが、この歪んだ対象の大きさで描画された映像全体からは、これまでにない遠近感が得られ、その生成方法が簡便な数学的方法論として整理されていることから、現在でも一般的な透視投影図の描画法の一つとして広く採用されている。つまり、三次元対象を二次元平面へ写し取る技術は、ヒトの主観的な評価に基づいて確立したとも考えることができる。

### 2.3 両眼視を基にした平面画像

16 世紀になって一点透視投影法が一般化する一方で、視覚における様々な知覚特性を考慮した試みが、主に画家を中心としてなされてきた。その中には、ヒトが感じる大きさを考慮した絵画も発表されている。その様な絵画の描画法として、“対象を知覚する眼球の網膜が球面であること”を理由として、一点透視投影法によって得られる画像を曲面にそって歪める手法（曲面透視投影法）が一時的に根強く支持された。ただし、この方法とその根拠は現在採用されることはない<sup>3)</sup>。その後、ヒトの視知覚および認知の仕組みが明らかにされ<sup>5-7)</sup>、その過程における視距離に対する奥行き感度も明らかになってきている（図 2）<sup>8)</sup>。

1975 年にレジニによってザウレスが定式化した（見えの大きさに関する）恒常性を透視投影図の生成パラメータの一つとした一点透視投影法が提案された。この方法はコンピュータによる高速演算が初めて可能にしたヒトの知覚特性を考慮した映像生成法である<sup>9)</sup>。

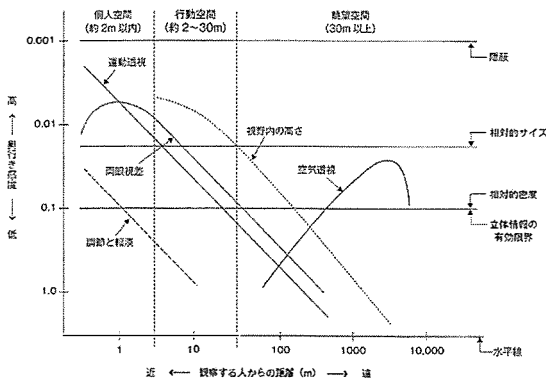


図2 視距離と奥行き感度との関係<sup>8,14)</sup>

図の横軸は観察者から対象までの距離（視距離）を、縦軸は奥行き感度の程度を表す。この感度が高ければ、対象の奥行きが少しでも変化すればそれを即座に知覚できることから、対象の見えの大きさに関する感度も高いことを表す。ここで、図中の“両眼視差”、“空気透視”などの項目は、観察者が対象までの奥行きを推定するために用いる事が可能な手がかりを表している。

同時期に、印東らによって、ヒトが脳内に主観的に構築する視空間は非ユークリッド空間であるとして、その知覚特性を空間のゆがみとして定量化したモデルも提案された<sup>10-12)</sup>。このモデルは、両眼視から得られるヒトの視知覚特性を、リーマン幾何学を利用した視空間の数理モデルとして整理したもので、中長距離における一般的なヒトの視知覚の傾向を説明できるばかりでなく、これまでの画像生成法では表現できなかった後述する“並木問題”を説明（描画）しうるものであった。ただし考案された当時、それらのモデルは映像再生法としては十分な実用性が確保できなかった。近年になってコンピュータの性能が著しく進歩した結果、映像の作成に必要な膨大なデータやそれらをもとにした計算に必要なコストはほぼ無視できるようになり、一般に用いる事が可能となった。

また一方で、ヒトの視知覚特性を上述のような視空間の歪みとしてではなく、観察者の視空間にあるオブジェクトの相互作用として捉えて映像を生成する試みもなされている。このモデルは、中長距離に比べて対象に関する奥行き手がかりの多い近距離（個人空間）で、ヒトの知覚特性に近い画像を再生（生成）することができる。特に、印東らのモデルでは生成できなかった近接した複数の単純立体（球）の映像も生成することが可能となった<sup>13)</sup>。

### 3. 両眼視を基にした三次元映像：立体視映像

コンピュータの高い情報処理能力を駆使して、安価に映像が生成できるようになると、単眼視で得られる映像が幾何光学に従った対象の大きさを持つと仮定して、右目と左目に提示する映像に、主に横方向の両眼視差をつけて生成することで三次元空間を提示する映像（立体視映像または両眼融合式立体画像）が一般的になった<sup>14)</sup>。現在、左右の単眼に個別に提供される映像は一点透視投影法によって生成され、それらの映像生成のための描画速度、描画範囲（大きさ）、描画精度および視点（視軸）の移動に対する反応速度の向上など、映像の再生に必要な様々な要素技術が研究されている。一方で、その映像の提示する環境（観察距離、網膜像差の有無や背景の有りなし等）と対象の見かけの大きさとの関係も検討されている<sup>15)</sup>。

ただし、立体視映像では、対象の像の大きさと両眼視差に矛盾の生じない条件で映像を作成しても輻輳運動によって両眼視差が一致なくなるために、立体像の大きさは異なって知覚されることが指摘されている<sup>16)</sup>。これは、立体視映像の方式限界の一つを示唆していると思われる。その一例として、厳密な実験結果ではないものの閉鎖型のHMD（Head Mounted Display）で視点に対して並列に付置された対象の両眼視差情報を持つ映像を被験者に提示すると、前述の印東のモデルでも説明されていた“並木問題”が生じないことが挙げられる。これは、提示した映像には伝達すべき本来の空間に関する情報が不自然または不十分である可能性を示唆していると思われる。

ここで、“並木問題”とは、以下のような（並木）実験からヒトが脳内に実空間とは別に構築する視空間が、ユークリッド空間（図5（b））であるという前提が間違えている事を示したものである。なお、並木実験には、距離並木（distance alley）と平行並木（parallel alley）の2つのタイプの実験があり、前者は、被験者から見て、向かい合う2つの光点の距離が等しく見えるようにして作った場合の並木で、後者は、被験者から見て、2本の並木が平行に見えるように調節した並木である。仮に視空間がユークリッド空間であるならば、距離を調節する方式で調節しても（距離並木でも）、平行並木と同じ結果になるはずであるが、実際の結果は異なり、距離並木も平行並木も物理的には平行にならなかった<sup>17)</sup>。

一方で、以上のような様々な検討課題を持つ提示方式や提示装置であっても、多くの分野での実用的な応

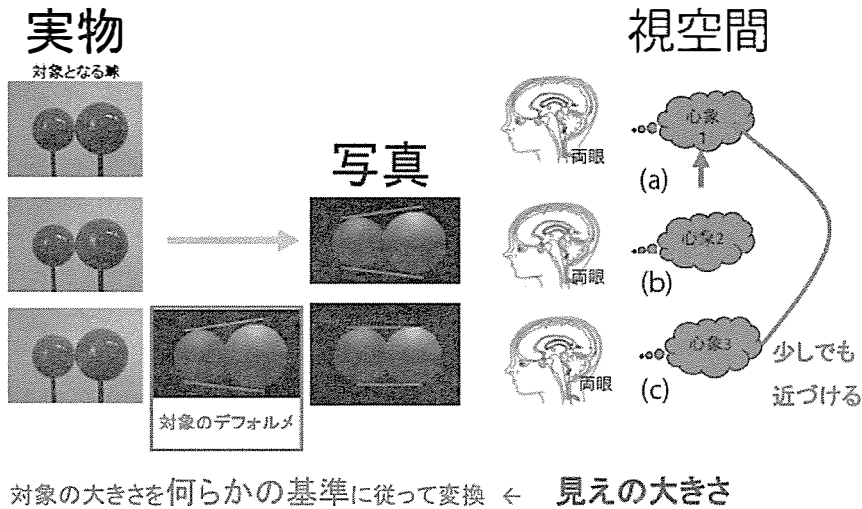


図3 画像の臨場感の考え方：映像のリアリティの基準の差

- (a) 両眼自然視によって視空間内に再構築される心象の大きさ
- (b) 写真像から誘起され視空間内に再構築される心象の大きさ
- (c) 何らかの前処理をした写真像から誘起され視空間内に再構築される心象の大きさ

用がなされている<sup>18)</sup>。また、それらの問題を回避しながら新たな応用を模索する研究もなされている<sup>19)</sup>。

そこで、両眼に提示される映像にあらかじめ視空間に生じる知覚特性を反映させてから、左右の両眼に提示することで、立体視映像の不十分な空間情報に起因するリアリティの不足を補い、実空間に対して少なくとも現状の三次元映像よりも、より違和感の少ないと評価される三次元映像を提供することで、視空間において従来手法よりも高いリアリティを具現化しようとする。これまでに、このような映像の生成に関する考察は、まだ十分になされているとは言いがたい<sup>20)</sup>。

そのような映像の“臨場感”を向上させる方法の一つとして、その臨場感を評価する基準をヒトの網膜上での物理的な再現性(図3(b))から、提示される映像から誘起されるヒトの心象(図3(a)：ヒトの視空間)との類似性(図3(c))と定義しなおして、映像生成の撮影・記録・再生・表示手法を再構築することで、本来あるべき自然な映像(高い臨場感を観察者の視空間へ誘起しうる映像)に近づけることも可能であると思われる(図4)。

ただし、上述のような問題はフルカラー・ホログラムディスプレイが一般的に利用できる時代になれば解決するものと考えられるが、その完成までにはある程度の時間がかかるとと思われる<sup>21,22)</sup>。

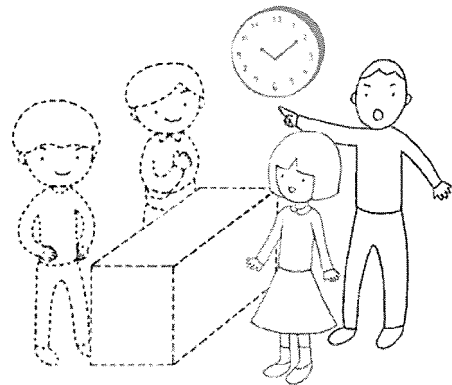


図4 2D, 3D 画像提示装置の概念

左右の眼球に何らかの手段で異なる画像を提示して、結果として三次元空間を誘起させる画像投影法。それらの多くは、左右の目に視差を与えた画像を個別に提示する。

#### 4. 運動視差情報を用いた映像：静止画像から動画像へ

単眼に時間軸に沿って一連の画像(動画像：映像)を提示しても、対象の奥行きを含めた運動に関わる情報を知覚することができる(例えば仮現運動)ことが分かっている<sup>1)</sup>。現在でも、この技術はテレビ番組やアニメーションを含めた映像の作成、伝達、記録、再生技術として利用されている。さらに、両眼にそれぞ

れ奥行き情報を含んだ異なる画像を提示することで、対象の運動を再現しようとした場合でも、ヒトの両眼の網膜は二次元であるために、三次元空間（実空間）を知覚するためには、網膜像から三次元空間の知覚や認知に必要となる手掛かりを見つけて利用する必要がある。

両眼を用いて外界から得られる情報は、いくつかの奥行き知覚のための複数のモジュールで並行して分析され、それらの分析結果からロバスト（外乱があっても安定的な評価をする）に判断されているとする、“奥行き知覚のモジュール構造仮説”がある<sup>23)</sup>。この仮説に従えば、映像の提示目的別に、立体視、運動視差、運動・奥行き効果、テクスチャーおよび陰影など、いずれかを強調することでも良好な臨場感を得ることができると思われる。ただし、運動視差でも身体運動が伴う場合と、そうでない場合との奥行き知覚の感度に差があること。さらに独立だと考えられているモジュールが、両眼立体視と運動立体視とでかなりの部分共用されている可能性も指摘されている<sup>24)</sup>。

以上のように、三次元動画画像の生成・提示方法およびそれらの評価や人体への影響には、まだ未知の部分が多く、観察者としてのヒトの特性を中心とした総合的な映像の評価は始まったばかりである<sup>25)</sup>。

## 5. さらに高度な課題

さらに高度な試みとして、現実世界と仮想世界を融合した複合環境を構築する技術がある。この技術によって、現実世界のもつ情報の豊かさと、電子的に生成した仮想空間のもつ柔軟性のそれぞれの長所を生か

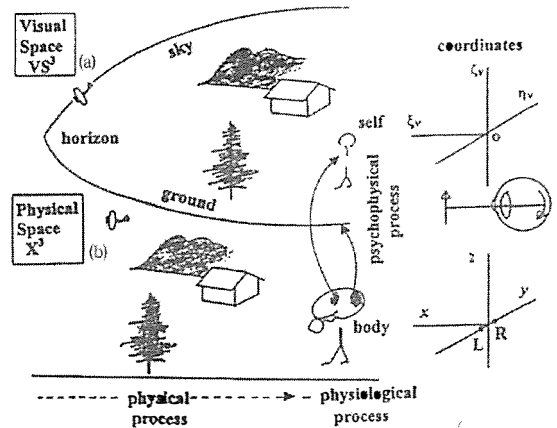


図5 (a) 視空間 (Visual Space: VS3) と (b) 実空間 (Physical Space:  $X^3$ ) における空間の構成の差異 (印東<sup>12)</sup> より引用)

例1: 実空間では鉄道の線路は平行に敷設されているが、視空間内では消点で一つになる。

例2: 実空間では飛行機はまっすぐ飛行しているが、視空間内では、消点に対してやや下向きに飛行している。

ただし、決して墜落する事はない。

すことが考えられる。このような融合技術によって、従来のバーチャルリアリティ技術の限界を質的に打破することが期待されている。

現在、真にリアルで、人間に優しく、心を豊かにするコミュニケーション技術の実現に向け、三次元映像技術や音響技術等の超臨場感コミュニケーションに関する要素技術の研究も行われている。そのような目的を持った試みの中で、仮想空間と実空間とが複合した

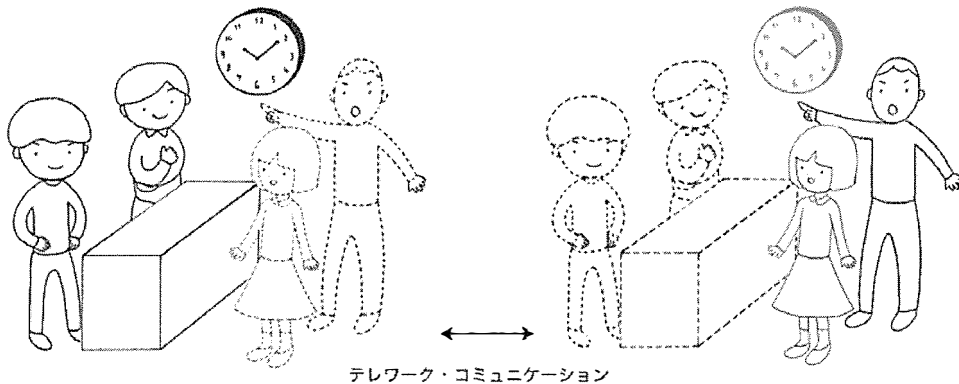


図6 複合現実感画像提示システムの概念

観察者がいるそれぞれの実空間に、仮想空間を重ね合わせることで、あたかもそれぞれの実空間上に4人が存在し、それぞれの観察者にとって、(時間遅れも含めた) 矛盾のない空間を相互に構築する。

空間（Augmented Reality：拡張現実感）における三次元映像を、観察者の知覚特性を十分に考慮しながら仮想空間と実空間を違和感なく融合させる試みがなされている（図5、6）<sup>26)</sup>。

そのためには、図5にあるように、実際の物理空間ではなく、人間が個別に構築する視空間の特性を考慮した情報の提示が必要となる。そのような情報提示が可能となれば、観察者ごとに異なる知覚特性を考慮した、これまでとは質的に異なる高い臨場感を持つ情報の提示も可能になる。

ここで、図6は、実空間上にはない机なども含め、遠隔地にある会議室と主観的に同等な環境を相互に仮想的に構築してコミュニケーションを行う（複合現実感画像提示）システムの概念図である。

## 6. おわりに

本報告で取り上げている視覚は、感覚モダリティ（感覚の種類とそれにそくした体験内容）として他のモダリティと独立ではなく、聴覚など複数の異なるモダリティと相互作用があることが分かってきている<sup>27-29)</sup>。今後、映像を厳密に生成・提示しようとしたとき、人間の複数の感覚モダリティに対する刺激を統合的に制御しなくてはならないと考えられる（図7）。従って、今後は映像情報の生成・提示システムの設計を前提とした、複数の知覚にわたる精度の高い官能評価を中心とした測定・評価を駆使する必要がある。

その先駆的研究の一つに、視覚触覚間相互作用を利用した触力感提示装置に関する研究がある（図8）<sup>30)</sup>。

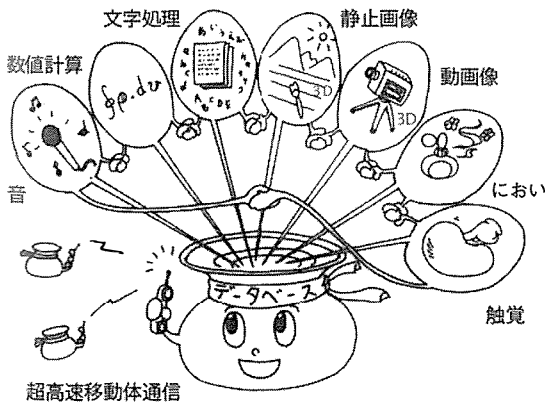


図7 超臨場感システムの対象となる情報とその処理（左から、音声、数値、文字、二次元・三次元画像、二次元・三次元動画、におい、触覚の各情報の統合的な処理）

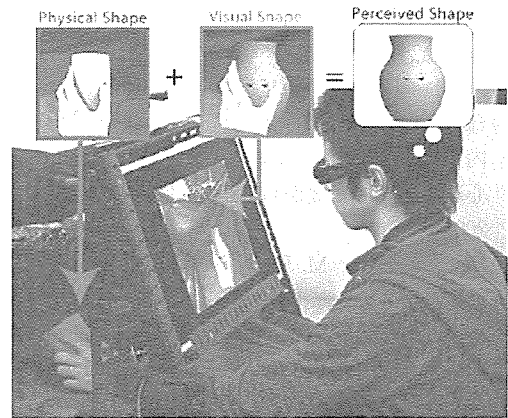


図8 Magic Pod：錯覚を利用してメカニカルな機構なしに多様な形状に触れたときの触体験を提示可能なシステム、（東京大学大学院情報理工学系研究科 廣瀬・谷川研究室）

[https://www.ceatec.com/2012/ja/exhibition/detail.html?exh\\_id=E120304](https://www.ceatec.com/2012/ja/exhibition/detail.html?exh_id=E120304) より引用（2013/12/27 現在）

この研究は、本来、触力感提示には大規模なメカトロニクスを駆使した装置を用いなければならないところを、視覚と触覚間の相互作用（ある種の錯覚）を利用して簡便なシステムで提示可能としている点に価値がある。

感性の時代と言われる現代、機械化された測定器による多種多様な精度の高い測定値と、ヒトをモノサシにしてはかった測定値（分析型官能評価）およびユーザー（消費者）の主観的な判断（嗜好型官能評価）の3つの異なる視点からの客観的な手掛かりを基にした、新たな提案がなされることを期待している。

## 引用、参考文献

- 1) 大山, 今井, 和気, “新編 感覚・知覚心理学ハンドブック”, 誠信書房, 1994
- 2) A. H. Holway, E. G. Boring, “Determinants of apparent visual size with distance variant,” *The American journal of psychology*, 54 (1), pp. 21-37, 1941
- 3) 黒田正巳, “空間を描く遠近法”, 彰国社, 1992.
- 4) 青山愛重香, “アルブレヒト・デューラーとレオナルドダビンチー<メレンコリア I> (1514年) を巡る考察－”, [http://www2.dokkyo.ac.jp/~doky0011/download/assets/67\\_1-52.pdf](http://www2.dokkyo.ac.jp/~doky0011/download/assets/67_1-52.pdf) (2014.02.10 現在)

- 5) 内田, 篠森, “視覚 I 視覚系の構造と初期機能 (講座感覚・知覚の科学 1)”, 朝倉書房, 2007
- 6) 内川, 塩入, “視覚 II 視覚系の中期・高次機能 (講座感覚・知覚の科学 2)”, 朝倉書房, 2007
- 7) 内川恵二監修, 日本映像メディア学会編, “視覚心理学入門－基礎から応用視覚まで－”, オーム社, 2009
- 8) Vishton, Peter M. Epstein, William (Ed), “Perceiving layout and knowing distances: the integration, relative potency, and contextual use of different information about depth,” *US: Academic Press*, pp. 69-83, 1995
- 9) Reggini, H. C. “Using Curved Projection Rays and its Computer Application”, *Leonardo: International journal of the contemporary artist* 8, pp. 307-312, 1975
- 10) Luneburg, R. K., “Mathematical Analysis of binocular vision,” *Princeton Univ. Press*, Princeton, 1947
- 11) Indow, T., “Psychologia,” 17, p. 50, 1974
- 12) Indow, T., “The global structure of visual, space-advanced series on mathematical psychology, Vol. 1,” *World Scientific*, 2004
- 13) T. kajitani, “An Image Reproduction Method Based on Sight Distance and Angular Distance,” *Psychology and cognition* No. 2, Keeper 2013, 2013
- 14) 河合, 盛川, 太田, 阿部, “3D 立体映像表現の基礎－基礎原理から制作技術まで－”, オーム社, 2010.
- 15) MacADAM D. L., “Stereoscopic perception of size, shape, distance and direction,” *Journal of the SMPTE*, Vol. 62, pp. 271-293, 1954
- 16) 下野, 矢野, W. J. Tam, “立体視的に提示した対象の見かけの大きさについて”, 電情報通信学会, 信学技法, HIP2001-50, pp. 61-66, 2001
- 17) 松島, “講座心理学 15 心理心理学, 第 3 章 視覚に関する諸モデル, Ⅲ. 両眼視空間の幾何学”, 東京大学出版会, pp. 86-116, 1969
- 18) <http://www.oculusvr.com> (2013.12.27 現在)
- 19) 堀田, 佐々木, 奥村, “動的奥行き手掛かりを用いた単眼ヘッドアップディスプレイの奥行き知覚効果”, 映像情報メディア学会誌, Vol. 66, No. 10, pp. J331-J338, 2012
- 20) 梶谷, “単眼視と両眼視の差が見えの大きさに与える影響－立体視映像の生成法に関する基礎的な検討－”, 日本 VR 学会, 第 18 回 VR 学会大会論文集, pp. 422-423, 2013
- 21) [http://www.scato.or.jp/scatline/scatline88/pdf/scat88\\_report01.pdf](http://www.scato.or.jp/scatline/scatline88/pdf/scat88_report01.pdf) (2014.01.06 現在)
- 22) 栗原, 横内, 高木, “ホログラフィックディスプレイにおける視域の最大化”, 映像情報メディア学会, 映像情報メディア学会技術報告 34 (43), 1-4, 2010.
- 23) M. S. Landy, L. T. Maloney, E. B. Johnston, M. Young, “Measurement and modeling of depth cue combination in defense of weak fusion,” *Vision res.* Vol. 35, No. 3, pp. 389-412, 1995
- 24) 一川誠, “運動視差からの奥行き知覚研究の動向”, *Vision*, Vol. 9, pp. 125-130, 1997
- 25) URCF, “3D テレビ視聴時の疲労に関する評価実験報告書\_改訂版\_”, 超臨場感コミュニケーション産学官フォーラム, 超体験デザイン・評価部会 3D 映像評価 WG, 2013. (<https://nict-urcf.sakura.ne.jp/SSL/urcf/precondition.htm>) [http://www2.nict.go.jp/collabo/commission/keikaku/h21/143\\_keikaku\\_g.pdf](http://www2.nict.go.jp/collabo/commission/keikaku/h21/143_keikaku_g.pdf) (2014.02.10 現在)
- 26) 超臨場感コミュニケーション産学官フォーラム, “超臨場感システム”, 映像メディア学会, 2010
- 27) Kitagawa, N., Ichihara, S., “Hearing visual motion in depth,” *Nature*, 416, pp. 172-174, 2002
- 28) 北川智利 (2005) 多感覚からみる身体のリアリティ, 日本バーチャルリアリティ学会誌 10, 1, 26-31.
- 29) 北川智利, 和田有史, 市原茂, 加藤正晴 (2007) 感覚間相互作用, 『新編 感覚・知覚心理学ハンドブック Part 2』, 大山正・今井省吾・和氣典二・菊地正 (編), 誠信書房, 東京, pp. 3-20.
- 30) 判, 鳴海, 谷川, 廣瀬, “手の動きの空間変調による形状知覚操作”, 日本バーチャルリアリティ学会, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌 17 (4), 457-468, 2012