

5-4 臨場感の知覚認知メカニズムと評価技術

5-4 Perceptual and Cognitive Mechanisms of Presence and its Evaluation Technology

安藤広志 カラン明子 Norberto Eiji Nawa 西野由利恵 Juan Liu
和田充史 坂野雄一

ANDO Hiroshi, Akiko Callan, Norberto Eiji Nawa, NISHINO Yurie, Juan Liu,
WADA Atsushi, and SAKANO Yuichi

要旨

本稿では、まず人が感じる臨場感の評価指標(構成要素と要因)、および臨場感の測定・評価手法について述べる。次に、臨場感の評価技術の1つとして、広視野3D映像を観察した時の脳活動を測定する評価技術の開発について概説する。また、質感、特に光沢感の定量的な評価手法と心理物理実験の結果について述べる。最後に、臨場感の知覚認知メカニズムと評価技術に関わる今後の課題について議論する。

This paper first describes the evaluation indexes of presence, i.e., the components and factors of presence, and the measurement and evaluation methods of presence. Second, as a presence-evaluation technique, we describe the development of evaluation technology which can measure human brain activities when large-field 3D images are shown. We also describe the quantitative evaluation methods of human sense of surface quality, especially glossiness, and the results of psychophysical experiments. Finally, future issues of perceptual and cognitive mechanisms of presence and its evaluation techniques are discussed.

[キーワード]

臨場感, 評価手法, 脳活動計測, 心理物理, 光沢感

Presence, Evaluation methods, Brain activity imaging, Psychophysics, Glossiness

再現することなく、効率的かつ効果的に人に臨場感を感じさせることができる可能性がある。超臨場感システムの「超」には、物理情報の忠実な再生を超えて、人の知覚認知の仕組みを利用した新しい臨場感システムの構築を目指すという意味が込められていると考えて良いだろう。

本稿では、まず**2**で人が感じる臨場感の評価指標および評価手法について述べる。次に、**3**で、臨場感の評価技術の1つとして、広視野3D映像を観察した時の脳活動を測定する評価技術の開発について述べる。また、**4**で質感の定量的な評価手法の開発と心理物理実験結果について概説する。さらに、**5**で臨場感の知覚認知メカニズムの解明と評価技術に関する今後の課題について議論する。最後に、**6**で本稿をまとめる。

2 臨場感の評価指標と評価手法

2.1 臨場感の構成要素と要因

人が感じる臨場感は、「あたかも自分がその場にいるかのような感覚」と言えるが、臨場感の概念をより深く分析してみると、臨場感は単一の感覚というより、複数の感覚要素から成り立っていることが分かる。そこで図1が示すように、臨場感を分析する際の評価指標として、空間要素、時間要素、身体要素の3つの要素に分解してみる^[1]。

まず、臨場感の空間要素として、立体感、質感、包囲感を挙げることができる。立体感とは、空間に存在する物体の奥行き(観察者からの距離)や立体形状に関する感覚である。質感とは、物体表面のざらつき(テクスチャ)、硬さ・柔らかさ(弾性)、光沢(表面反射率)、透明度、温冷(熱伝達率)等に関する感覚であり、これらの情報から人は物の材質(金属・木材・樹脂等)を推定している。包囲感とは、自己の周りに空間的な広がりを感じる感覚であり、その空間に埋没する没入感、あるいはその場の雰囲気を感じる空気感も包囲感の一種と考えられる。

次に、臨場感の時間要素として、動感、因果感、同時感を挙げることができる。動感とは、環境の時間的変化を捉える感覚であり、人は外界の物の動き(速さ・方向)を素早く推定している。因果感とは、ある事象が他の事象が原因となって、

その結果生じていると感じる感覚である。同時感とは、異なる事象が同期して生じていると感じる感覚である。例えば、物と物が接触した映像と衝突音が同期して得られると、人はこれらが同一の物理要因で生じていると感じる。

さらに、臨場感の身体要素として、自己存在感、インタラクティブ感、情感を挙げることができる。人は、環境を空間的・時間的に正確に捉えたとしても、そこに自分自身を感じるとは限らない。環境とともに自己の身体を感じる時、人は臨場感をより高く感じる。自己存在感とは、自己の身体全体あるいは身体各部(手・足・頭部等)の状態(位置・方向・動き)を感じる感覚である。インタラクティブ感とは、環境に存在する物や他者に働きかけたときに特定の反応が得られる相互作用の感覚である。情感とは、対象物に対して身体が感じる快不快の状態であり、このような感情が生じると人は高い臨場感を感じる。

以上のように、人は様々な感覚要素を統合して臨場感を感じ取っている。しかも、これらの感覚要素は必ずしも互いに独立ではなく、相互に関連し合っており、臨場感の感覚要素が複合的に与えられた場合、相乗的な効果が生じると考えられる。これに対し、これらの感覚要素の幾つかが欠けていたり、互いに矛盾したりしている場合に特異な臨場感を生じさせる場合もある。例えば、手で触れても感触が得られないバーチャルな立体映像を観察・体験すると、驚きの感覚が生じる。これは、「ないはずのものがある」というリアルとバーチャルの二重性が人にある種の臨場感を与えていると考えられる。

次に、臨場感がどこから生じるのか、その要因を考察する。臨場感の感覚要素が生じる要因としては、外的要因と内的要因の2つを考える必要がある(図1)。外的要因による臨場感とは、視覚・聴覚・体性感覚(触覚)・嗅覚・味覚などの感覚器官で感知される外界の物理情報に基づく臨場感である。一方、内的要因による臨場感とは、過去の経験・学習により脳内に蓄積された感覚の記憶に基づき脳内で生成される臨場感である。例えば、波の音を聞くと海の風景がリアルに目に浮かぶが、これは過去の経験から想起される視覚イメージが臨場感を創り出しているためと考えられる。また、小説や詩を読むときのように、人は文字情報だけ

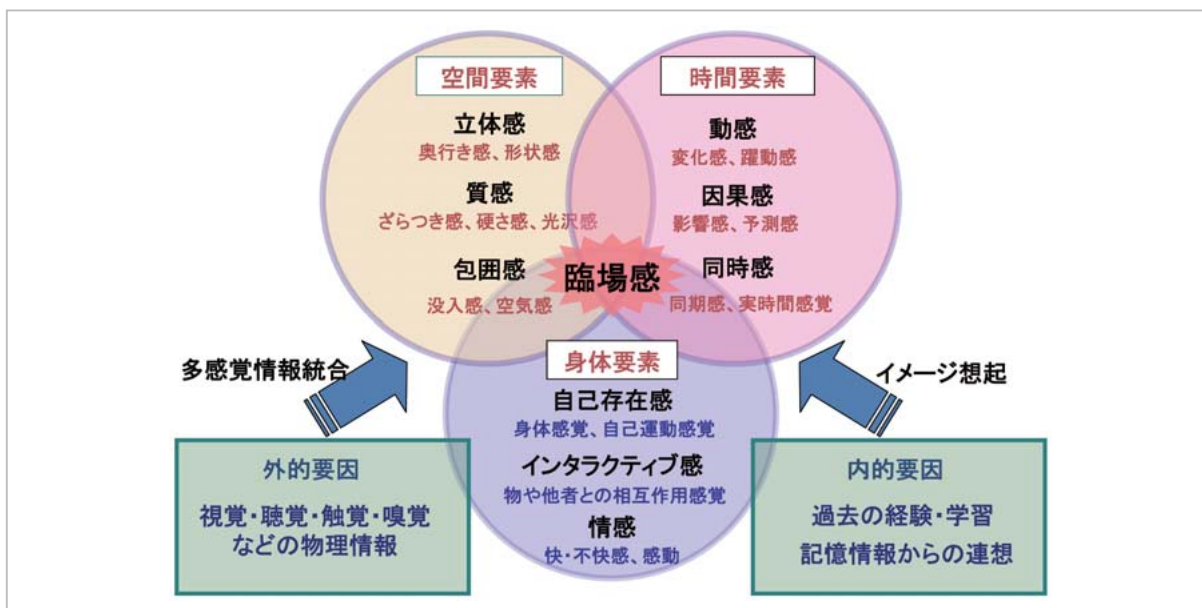


図1 臨場感指標(構成要素と要因)

から豊かなイメージを思い浮かべることができる。

このように、人は外界からの物理情報を分析して、それをそのまま脳内で再現しているわけではなく、学習・経験で蓄積された情報を用いて外界からの情報を解釈・補完し、その実在感を生じさせていると考えられる。このことは、超臨場感システムを構築する際に、いかにして脳内に蓄積された情報を引き出して臨場感を高めるかということを考慮して設計することの重要性を示している。

2.2 臨場感の評価手法

様々な感覚要素から構成される臨場感をどのようにすれば正確に測定・評価することができるのであろうか。人が感じる臨場感を測定する手法には、1) 主観評価(印象評定)、2) 心理物理評価、3) 脳活動計測、4) 生体信号計測、5) 行動計測の5つの手法が考えられる。これらの測定手法の特徴とメリット・デメリットをまとめたものを表1に示す。

主観評価は通常、提示された言葉(形容詞対など)に対応する印象を被験者自ら評定する手法である。印象評定は特殊な測定装置がなくても質問紙で手軽に行なえる。しかしながら、自分が感じている印象を正確に内観(意識化)することは必ずしも容易ではない。また、提示される言葉の受け取り方にも個人差がある。よって、提示する言葉

を予備実験等において厳選するとともに、データの統計的分析を行ない、出来る限り信頼性の高い結果を導く必要がある。また、厳密な官能評価を行なう場合は、被験者が特定の刺激に対して一定の反応を示すように、練習・訓練を行なうことも重要になる。

一方、心理物理評価は、物理刺激に対する人の応答特性を定量的に測定する手法である。例えば、心理物理実験を行なうことで異なる提示条件で同じ感覚が生じる「主観的等価点」や異なる感覚が生じ始める「丁度可知差異」を物理的数値として求めることができる。心理物理評価を用いると、意識下のプロセスを探ることも可能であり、物理次元と対応づけることでより定量的かつ信頼性の高い結果が導ける。ただし、物理的対応が取りづらい高次の認知的感覚を心理物理手法で捉えるのは困難である。

これに対し、臨場感のより直接的な測定手法として脳活動計測に基づく手法が考えられる。近年、非侵襲で脳活動を計測する技術が急速に発展してきた。非侵襲の脳活動計測としては、脳の血流変化(代謝)を捉えるfMRI(機能的磁気共鳴撮像法)・NIRS(近赤外分光法)や神経活動の電磁変化を捉えるEEG(脳電場計測法)・MEG(脳磁場計測法)がある。さらに、人の身体に現れる無意識的な変化を捉えるために、生体信号(心拍・皮

表 1 臨場感の測定・評価手法

| | 特徴・種類 | メリット | デメリット |
|---------------------------|--|--|---|
| 印象評定 (主観評価) | ・統計的分析手法 SD法、一対比較法、 因子分析など | ・特殊な測定装置を必要とせず、 質問紙で手軽に行なえる ・感性的評価に適する | ・内観(意識化)の信頼性・再現性・ 個人差の問題がある ・多人数のデータを統計分析し、 信頼性を高める必要がある |
| 心理物理実験 (Psychophysics) | ・物理刺激に対する人間の 応答特性を明らかにする 丁度可知差異(JND)、 主観的等価点(PSE)等 | ・感覚・知覚のより客観的・定量的な 測定が可能 ・生理データとの対応が取りやすく、 知覚機構の検証に適する | ・物理情報の制御が困難な刺激 に対しては適用しにくい ・応答は最終出力であるため、脳 内過程の直接測定は困難 |
| 脳活動計測 | ・fMRI(機能的磁気共鳴撮像法) ・MEG(脳磁計測法) ・EEG(脳波計測法) ・NIRS(近赤外分光法) | ・脳内の活動(血流・電磁場)を 直接的に測定可能 ・動物実験では分からない人間の 高次機能の解明に寄与 | ・空間・時間解像度には限界 ・脳活動の解釈には、刺激・課題 の厳密な制御が必要 ・データ分析手法は開発途上 |
| 生体信号計測 | ・心拍(脈波)・呼吸 ・瞳孔・瞬目 ・皮膚電位(GSR) | ・意識ではコントロールできない 情動的反応や覚醒レベルを捉え やすい | ・生体信号が生じる神経プロセス が必ずしも解明されているわけ ではない |
| 行動計測 | ・身体(眼球・手・頭部・体軀 等)の運動計測 ・重心動揺 | ・無意識的な行動反応を捉える ことが可能 ・社会的インタラクション分析等 に適する | ・行動を引き起こす要因は一般に 複雑であり、要因を特定するの が困難な場合がある |

膚電位・呼吸・瞳孔径など)や行動(眼球運動・調節・重心動揺・身体動作など)の計測手法も有用である。

表 1 にまとめたように、臨場感の各種評価手法には、それぞれ特有の利点や限界があり、現時点で万能の測定手法があるわけではない。よって、評価の対象や目的に応じてこれらの手法を適切に選択したり、幾つかの手法を統合することにより、測定・評価の信頼性を高めていく必要がある。

3 広視野 3D 映像の脳活動評価技術

3D 映像(両眼視差映像)が人にどのような影響を与えるのか、客観的・定量的な評価技術の開発が望まれている。筆者らは、広視野の 3D 映像が人に与える影響を fMRI 脳活動計測で評価するための技術を開発してきている。一般に、映像が広い視野で提示されると臨場感が格段に向上し、包囲感、没入感といった感覚が生じる。一方、広視野で動きの激しい映像を見せられると、映像酔いと呼ばれる不快感が増加する場合もある。

このような広視野の立体映像が与える好影響や悪影響を脳活動で評価するためには、被験者に広視野立体映像を提示するための装置が必要となる。しかしながら、従来の一般的な MRI 装置では

水平視野角が 20° 程度の狭い視野の映像しか提示できなかった。これは被験者の頭の周りの空間が非常に狭く、ここに広視野の立体映像を生成する技術がなかったからである。一般に、ハイビジョン(HDTV)の映像を標準距離(画面の高さの 3 倍)から視聴すると、その水平視野角は 33° となる。従って、標準的なテレビ視聴環境を MRI 装置内で再現することはこれまでできなかった。また、迫力ある映像が楽しめる大画面シアター(IMAX®)の場合、中央座席から見た映像の水平視野角は約 70° となる。さらに、NHK 放送技術研究所が開発中のスーパーハイビジョン(縦横の解像度がハイビジョンの 4 倍)の映像を効果的に視聴する場合、水平視野角 100° が推奨されている。このような広視野の映像を被験者に提示して、fMRI 脳活動計測を行うことは従来、不可能であった。

それに対し、筆者らは特殊な超広角接眼レンズを開発することにより、MRI 装置内で水平視野角 100° に至る広視野 3D 映像を提示する技術を開発した(図 2) [2]。一般に、MRI は高磁場を発生するため、液晶パネル等の磁性体を装置内に持ちこむことはできない。ただし、頭の周りが高磁場(地磁気の 7 万倍に当たる 3 テスラ)であっても、部屋の隅になると磁場は(0.0005 テスラ程度まで)低下する。そこで、部屋の隅に右眼・左眼用の 2 台

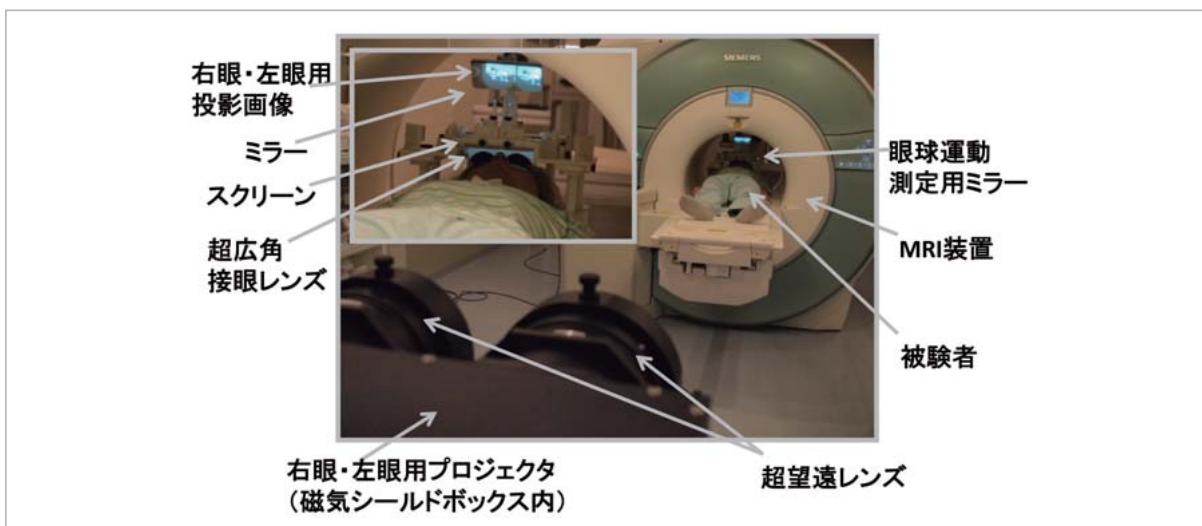


図2 広視野 3D 映像評価装置

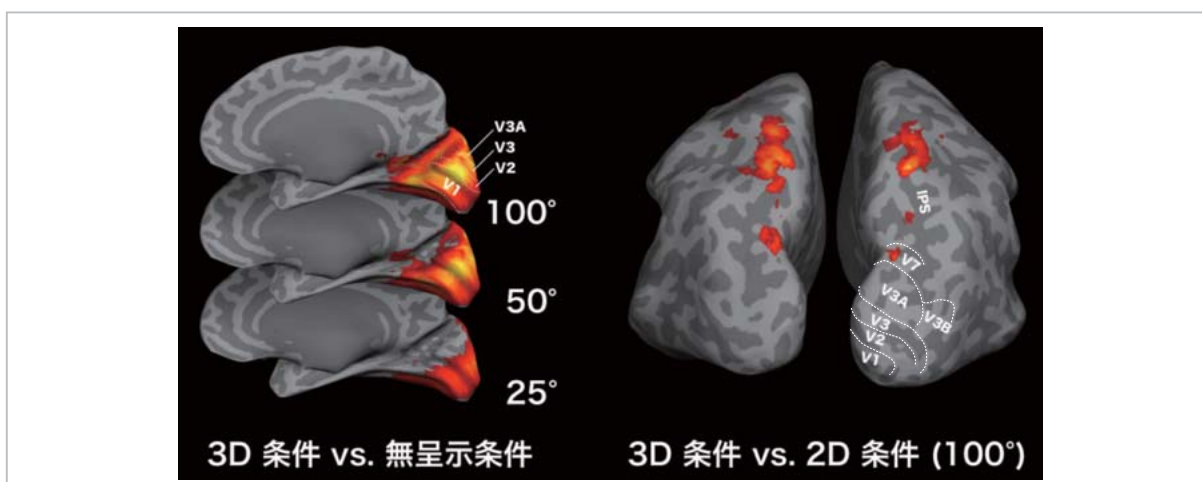


図3 広視野 3D 映像により賦活する脳領野

のプロジェクターを磁気シールドボックスに入れて設置し、右眼・左眼用の映像を超望遠レンズにより MRI 装置内の小型スクリーン(幅 13 cm)に向けて投影する。被験者は、このスクリーン上の映像を超広角接眼レンズを通して見ることで、水平視野角 100° の立体映像を観視できる。接眼レンズは、脳撮像画像にノイズを与えないように、レンズ系の素材を厳選した。また、本装置では、被験者の眼球運動を両眼で捉えることが可能である。眼球運動の測定は、被験者の眼球を小型のミラーを幾つか介して、被験者の頭の後方に設置した 2 台の CCD カメラで撮像し、それを実時間で解析することにより達成している。

この広視野 3D 映像評価装置を用いて、水平視

野角 100° の映像が脳に与える影響を fMRI 脳活動計測により測定した結果を図 3 に示す。この実験では、ランダムに配置した多数のドットが前後方向に移動する動画を視覚刺激として用いた。図 3 の左には、映像を提示しない条件(無呈示条件)に対して、3D で提示した条件(3D 条件)でより賦活する脳の領野を示している。3D 映像の水平視野角が 25°、50°、100° と増加するにつれ、後頭野の視覚皮質(V1、V2、V3、V3A の各領野)が広範囲に賦活する様子を捉えている。これは、視覚皮質の神経細胞が網膜位置に対応した受容野を有しているためである。図 3 の右には、2D 映像と比較して 3D 映像を提示した時(水平視野角は何れも 100°)により賦活する脳領野を示している。こ

の結果から、広視野の3D映像を観察する時は、後頭野から頭頂野にかけての脳領域が強く賦活することが分かる。この実験結果は、今回開発した装置により、広視野の3D映像による脳の賦活領域をfMRI脳活動計測により確実に捉えられることを示している。

今後は、広視野3D映像を観察時の脳活動と心理反応の対応関係を調べることにより、広視野3D映像が脳に与える好影響(立体感・没入感等)や悪影響(違和感・映像酔い等)を詳細に解明していく予定である。

4 臨場感の定量的・客観的評価

我々はこれまで多感覚情報から臨場感が生み出される知覚認知メカニズムを多様な定量的・客観的な評価手法を用いて探ってきた。例えば、人が感じる質感(光沢感)の心理物理実験[3]、および脳活動計測[4]、環境音による視覚イメージ生成に関する脳活動計測[5]、動的な立体音に関する脳活動計測[6]、映像の自然さ・不自然さに関する脳活動計測[7]、映像と触覚の統合に関する心理物理実験[8]および脳活動計測[9]、接触音や香りが触覚に与える効果を検証する心理物理実験[10][11]等であ

る。

以下に、臨場感評価の例として、光沢感の心理物理実験について概説する。

一般に、3D映像を観察した場合、平面映像と比較して、空間の奥行き感や形状の立体感だけではなく、物の質感がよりリアルに感じられる。これは、右眼と左眼に与えられる映像が微妙に異なり、それが表面のきらめきやざらつきの感覚を高めているためと考えられる。また、同じ3D映像でも、多眼方式(視差のある画像を多数表示することにより裸眼で3D映像が観察可能な方式)と2眼方式(3D専用の眼鏡を要する方式)では、人が物体の映像から感じる質感は異なる。これは、2眼方式の場合、視点を移動させてどの位置から3D映像を見ても、1つの視点からの映像情報しか得られないのに対し、多眼方式の場合、頭を動かして3D映像を見ると、異なる視点からの映像(例えば、物体の右から見た映像や左から見た映像)が得られるからである。実際、頭部を動かして物体表面を観察すると、表面の反射光が変化し、光沢が増して感じられる場合がある。

筆者らは、物体の映像が動的に変化する場合や両眼視差情報が与えられる場合に、どの程度、物体表面の光沢が変化して感じられるか、心理物理

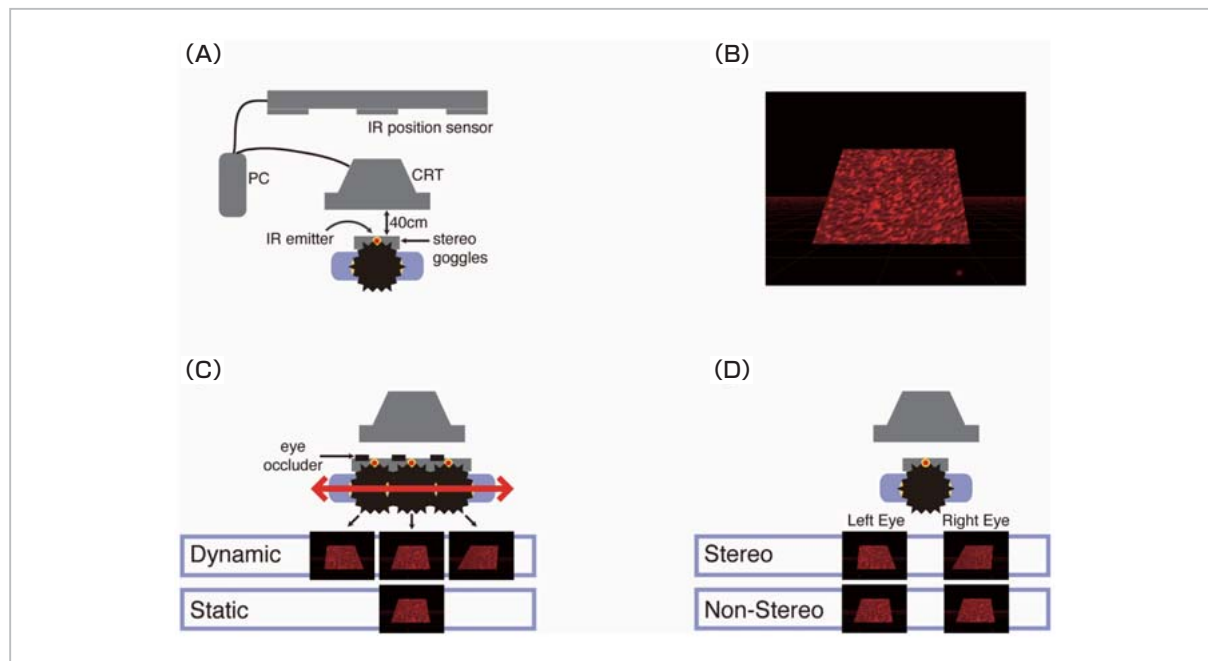


図4 光沢感の心理物理実験：(A) 実験装置、(B) 実験刺激、(C) 動的効果を調べる実験(実験1)、(D) 立体効果を調べる実験(実験2)(文献[3]より引用)

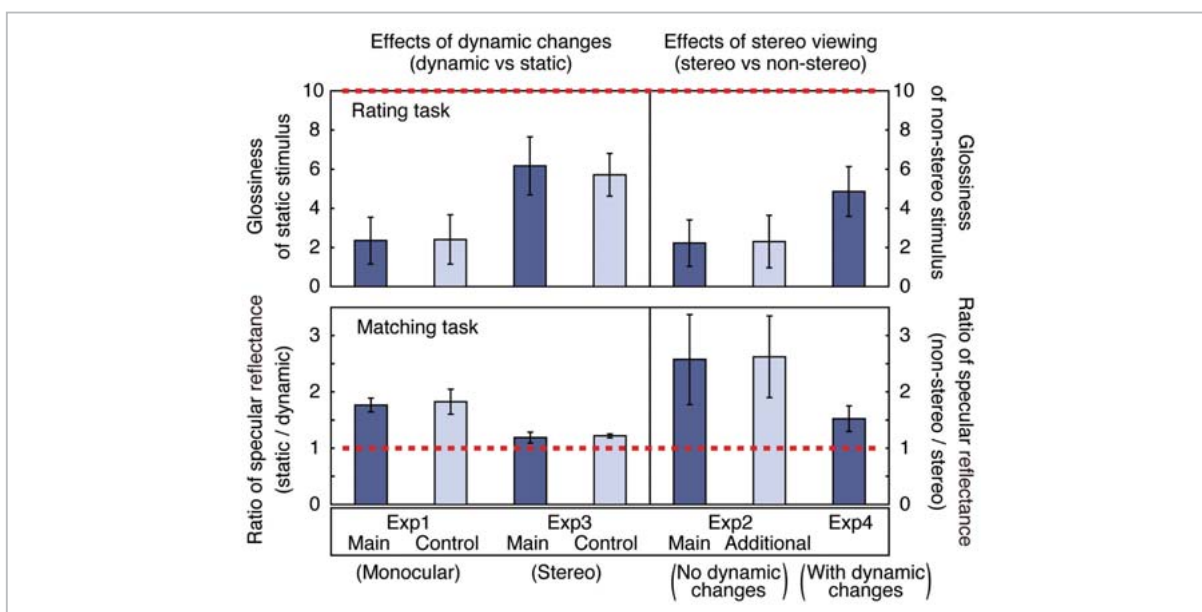


図5 光沢感の心理物理実験結果(文献[3]より引用)

実験により定量的に評価した[3]。この実験では、2眼の立体ディスプレイ(シャッター眼鏡による時分割方式)を用い、被験者の頭部運動を赤外線位置センサにより実時間でトラッキングすることで多眼状態を模擬した(図4(A))。視覚刺激には、図4(B)に示すように、表面に凹凸のある板状の物体のCG画像を用いた。実験1では、視点が動いたときに観察される映像変化を模擬した動的条件と物体映像が変化しない静的条件で光沢感の違いを単眼視で比較した(図4(C))。実験2では、両眼視差が与えられる条件(ステレオ条件)と両眼に同じ映像が与えられる条件(平面条件)で光沢感の違いを比較した。実験3では、実験1の単眼視と異なり、両眼視の状況で動的条件と静的条件を比較した。(実験4および他の対照条件の説明は省略する。)

被験者が感じる光沢感は、マグニチュード推定法および調節法の2種類の心理物理学的手法で測定した。マグニチュード推定法では、参照条件の光沢感を10としたときの実験条件の光沢感を評定してもらった。調節法では、参照条件の光沢感と実験条件の光沢感が同じになるよう実験条件の光沢パラメータ(鏡面反射率)を調節してもらった。

心理物理実験の結果を図5に示す。上段はマグニチュード推定法(評定課題)、下段は調節法

(照合課題)の実験結果をそれぞれ示している。実験1の結果からは、静的映像を見る条件では動的映像を見る条件と比較して、光沢感の評定が低くなり、鏡面反射率を上げないと同じ光沢感が得られないことを示している。実験2の結果からは、平面映像を見る条件では両眼視差映像を見る条件と比較して、光沢感の評定が低くなり、鏡面反射率を上げないと同じ光沢感が得られないことを示している。実験3の結果から、両眼視差が与えられた状況でも、静的映像を見る条件では動的映像を見る条件と比較して、光沢感の評定が低くなり、鏡面反射率を上げないと同じ光沢感が得られないことを示している。

これらの結果をまとめると、物体の動きにより物体表面の光沢感は増加し(実験1)、両眼視差によっても物体表面の光沢感は増加すること(実験2)、また両眼視差のある物体表面が動くことさらに光沢感は増加すること(実験3)を示している。このことは、平面ディスプレイを見るときより、2眼の立体ディスプレイを見る方がそこに表示される物体表面の光沢感が増加し、さらに、多眼の立体ディスプレイを視点を変えて見る方が物体表面の光沢感が増加して感じられることを意味している。以上のように、異なる提示方式により人が感じる質感の差を心理物理実験により定量的に捉えることができたと言える。

5 今後の課題

臨場感の知覚認知メカニズムと評価技術に関わる今後の課題として、次の3つを挙げることができる。第1に、ある感覚情報が与えられたときの脳活動と心理・行動反応を測定し、その対応関係を分析することで、脳活動の意味付けをより明確にしていくことである。これにより、臨場感の向上や違和感の増加等を脳活動により評価できる手法が確立されていくものと考えられる。第2に、心理物理実験等による臨場感の定量的評価により、臨場感を向上させるための要件を見出していくことである。このような定量化された技術要件は、今後の超臨場感システムの開発にとって重要な意味を持つと考えられる。最後に、人が感じる臨場感の知覚認知メカニズムを活用することにより、物理情報から得られる臨場感を超える臨場感を人に与えられる可能性を追求することである。これは、知識・記憶に基づく感覚情報の生成・連想・予測といった機能をうまく活用することと考えられる。今後は、以上のような3つの観点から研究を継続していきたい。

参考文献

- 1 安藤広志, 「バーチャルリアリティ学」(日本バーチャルリアリティ学会編)内6.2.2節「臨場感の構成要素」工業調査会, 2010.
- 2 報道発表: 脳活動計測による3D映像評価装置の開発～広視野3D映像が脳に与える臨場感・安全性の定量的評価に向けて～, <http://www2.nict.go.jp/pub/whatsnew/press/h22/101101-02/101101-02.html> (2010.11.1).
- 3 Y. Sakano and H. Ando, "Effects of head motion and stereo viewing on perceived glossiness," *Journal of Vision*, 10 (9): 15, 1-14, 2010.
- 4 A. Wada, Y. Sakano, and H. Ando, "Identifying human brain areas activated by attention to glossiness," 17th Annual Cognitive Neuroscience Society Meeting (CNS 2010), I106, Apr. 2010.
- 5 A. Callan and H. Ando, "Neural correlates of imagery induced by the ambient sound," *Proceedings of 10th Annual Int. Workshop on Presence*, pp. 73-77, Nov. 2007.
- 6 A. Callan and H. Ando, "Neural correlates of realistic auditory motion perception," *Exciting Biologies 2008: Biology of Cognition*, No. 8, Oct. 2008.
- 7 N. E. Nawa and H. Ando, "Distinguishing activity elicited by intrinsic salience in the frontoparietal network using fMRI," *Cognitive Neuroscience Society*, p. 231, Apr. 2010.
- 8 J. Liu and H. Ando, "Effects of visible contact point on visual-haptic integration in 3D shape perception," 33rd European Conference on Visual Perception (ECVP2010), Aug. 2010.

6 むすび

本稿では、まず人が感じる臨場感の評価指標(構成要素と要因)、および評価手法について述べた。次に、臨場感の評価技術の1つとして、広視野3D映像を観察した時の脳活動を測定する評価技術の開発について概説した。また、質感、特に光沢感の定量的な評価手法とその実験結果について述べた。今後は、人が感じる臨場感の知覚認知メカニズムの解明をさらに進め、より客観的・定量的な評価技術の開発を行なうとともに、これらの成果の超臨場感システム開発への活用を目指していきたい。

謝辞

広視野3D映像評価装置の開発は、2009年度に総務省から受託した「眼鏡の要らない3次元映像技術の研究開発」の一環として実施した。

- 9 Y. Nishino and H. Ando, "Crossmodal interactions between visual and haptic information in 3D object learning and top-down processing: an fMRI study," 30th European Conference on Visual Perception (ECVP2007), Perception, Vol. 36, supplement, pp. 209–210, Aug. 2007.
- 10 J. Liu and H. Ando, "Contact sound can influence haptic stiffness perception," International Multisensory Research Forum 2010 (IMRF 2010), Jun. 2010.
- 11 西野由利恵, D. W. Kim, J. Liu, 安藤広志, "嗅覚と体性感覚の相互作用: 香りは硬さ知覚に影響するか?," 日本味と匂学会第44回大会, Sep. 2010.



安藤広志

ユニバーサルメディア研究センター
超臨場感システムグループグループ
リーダー 博士(計算神経科学)
認知脳科学、多感覚認知メカニズム、
多感覚インタフェース



カラン明子

ユニバーサルメディア研究センター
超臨場感システムグループ専攻研究員
認知脳科学、聴覚認知メカニズム



Norberto Eiji Nawa

ユニバーサルメディア研究センター
超臨場感システムグループ専攻研究員
博士(情報学)
認知脳科学、生理心理学



西野由利恵

ユニバーサルメディア研究センター
超臨場感システムグループ専攻研究員
博士(心理学)
認知心理学、認知脳科学



Juan Liu

ユニバーサルメディア研究センター
超臨場感システムグループ専攻研究員
博士(工学)
多感覚認知メカニズム、多感覚イン
タフェース



和田充史

ユニバーサルメディア研究センター
超臨場感システムグループ専攻研究員
博士(情報学)
認知脳科学、脳機能イメージング、
機械学習



坂野雄一

ユニバーサルメディア研究センター
超臨場感システムグループ専攻研究員
博士(工学)
視覚心理物理学、認知脳科学