

タブレット端末における視覚情報と聴覚情報の 奥行き知覚増幅法

旭克也¹⁾

伊藤智也²⁾

伊藤弘樹³⁾

菊池司⁴⁾

¹⁾ 拓殖大学大学院工学研究科

²⁾ 八戸工業大学工学部

³⁾⁴⁾ 拓殖大学工学部

Amplification of Depth Perception of Visual and Audio Information in Tablets

Katsuya ASAHI¹⁾

Tomoya ITO²⁾

Kouki ITO³⁾

Tsukasa KIKUCHI⁴⁾

¹⁾ Graduate School of Engineering, Takushoku University

²⁾ Department of Engineering, Hachinohe Institute of Technology

³⁾⁴⁾ Department of Engineering, Takushoku University

¹⁾ z1m401@st.takushoku-u.ac.jp, ²⁾ tomoya@hi-tech.ac.jp, ³⁾ k-itoh, ⁴⁾ tkikuchi}@id.takushoku-u.ac.jp

アブストラクト

本論文では、iPad などのタブレット端末における 2 次元空間の平面的な表現において、操作者の奥行き知覚を増幅させるため、視覚情報と聴覚情報による奥行き効果を検証する実験を行い、それぞれの奥行き効果を増幅するための手法を明らかにする。視覚情報においては、運動奥行き効果、線遠近法、および空気遠近法の 3 種類を取り上げ、2 次元表現における奥行き表現の効果を検証した。聴覚情報の奥行き知覚の要素では、視覚情報と聴覚情報の時間差による奥行き効果、音強度による奥行き効果、および音の反射音による奥行き効果の 3 種類を取り上げ、それらの効果を用いてモノラルスピーカーであっても奥行き感を得られる音像に関して検証を行った。

その結果、視覚情報においては線遠近法が最も奥行き効果を与えることができ、聴覚情報では音強度による効果が最も奥行き感表現には有効であることが明らかになった。また、音には視覚にはない閾値があり、閾値を超えると奥行き感が減少することも明らかになった。

Keywords : 奥行き知覚, 視覚情報, 聴覚情報, タブレット端末

Abstract : In this paper, we conducted experiments to verify depth effects by audio and visual information in the representation of a planar view of a two-dimensional space in a tablet computer such as an iPad, and proposed some methods to amplify the operator's sense of depth perception. In the visual information, three types of amplifying methods were investigated in a two-dimensional space: kinetic depth effect, linear perspective, and air perspective. In the audio information, we also investigated three types of amplifying methods: depth effect with time difference between audio information and visual information, the effect of depth by differences in sound intensity, and the depth effect due to the reflected sound.

As a result, we could obtain an audio image with a sense of depth based on these effects even with a monaural speaker. We found that the most effective depth perception was obtained from the linear perspective for visual information, and with differences in sound intensity for audio information. In addition, audio information had a threshold value which did not occur in the visual information. When the level of audio information was over the threshold value, it was found that depth perception effects decreased.

Keywords : Depth Perception, Visual Information, Audio Information, Tablets

1. はじめに

近年盛んに用いられている両眼視差を用いた 3D 映像（立体視）では、前後方向の奥行き感の表現が可能となっている。これに伴い、音場（図 1 参照）・音像（図 2 参照）についても遠近感、および奥行き感が表現できれば、映像と音像・音場の立体感が相乗的に働き、極めて高い臨場感が得られると考えられる。実際、映画館などの大規模施設では、大型スピーカーやオーディオ装置を用い、音像・音場を表現、および制御しており、立体音響効果によって高い臨場感を再現している [1]。

一方、奥行き感のない平面的な 2 次元表現が主流の PC のアイコン表現や iPad などのタブレット端末では、アニメーション効果や仮想的な 3 次元形状の表現、ドロップシャドウ効果などにより、平面上での奥行き感の表現を実現している。しかしながら、これらの表現と共に音像・音場の立体感のある表現が用いられることはない。

その原因として挙げられるのは、デバイスの持つスピーカー性能が高くないことである。本体内蔵のスピーカー間の距離では、音の性質によっては音像は感じる事ができても、音場の再現性は低くなってしまう。

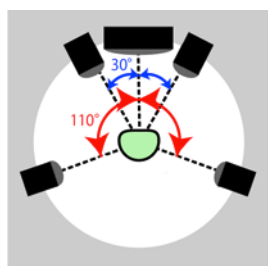


図1 音場の再現の例

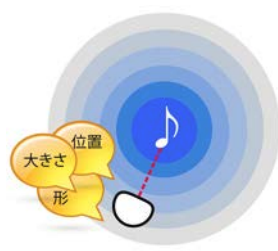


図2 音像

そこで本論文では、iPad などのタブレット端末における 2 次元空間の平面的な表現において、操作者の奥行き知覚を増幅させるため、視覚情報と聴覚情報による奥行き効果を検証する実験を行い、それぞれの奥行き効果を増幅するための手法を明らかにする。

具体的には、視覚情報においては、運動奥行き効果、線遠近法、および空気遠近法の 3 種類を取り上げ、2 次元表現における奥行き表現の効果を検証する。聴覚情報の奥行き知覚の要素では、視覚情報と聴覚情報の時間差による奥行き効果、音強度による奥行き効果、および音の反射音による奥行き効果の 3 種類を取り上げ、それらの効果を用いてモノラルスピーカーであっても奥行き感を得られる音像に関して検証を行う。すなわち、スピーカーの性能に左右されず、音像のみによって奥行き知覚を増幅できる効果に関して検証を行い、それぞれの奥行き効果を増幅するための手法を明らかにする。

2. 関連研究とアプリケーション事例

近年、“3D”という言葉を開かない日がないほど、立体映像が注目を浴びている。立体映像技術は古くから開発されており、

今日まで様々なものが発表されているが、一過性のブームで終わることが多かった。その原因として、映像のシンクロがずれる、メガネが煩わしい、長時間の立体視が眼精疲労をもたらす、風評（使い回しのメガネで病気がうつるなど）、および必要以上に「飛び出し感」を煽るような演出が逆に陳腐に感じられるなどの、ハードウェアとソフトウェアの両面における原因が挙げられている[2]。

近年では、このような課題点を踏まえた上で、有名メーカーから次々と家庭用 3D テレビが発売され、携帯型ゲーム機でも専用のメガネを必要としないものが発売されようとしている

（2011.2.8 現在）[4]。近年の 3D 映像技術は、飛び出してくる感覚よりも“奥行きを感じさせる映像”が印象深いという評価があり[3]、前述の携帯型ゲーム機の CM でも、そのようなコメントが述べられている[5]。しかしながら、そのような 3D 映像を楽しむためには、専用に設計されたハードウェアとソフトウェアが必要である状況に変わりはなく、誰もが気軽に 3D 映像を楽しめ、さらには 3D 映像の制作者となることはまだまだ難しいと言える。

そのような中で、本論文で明らかにする視覚情報と聴覚情報による奥行き効果は、近年急速に注目を集め、幅広い年齢層に支持され普及しているアップル社製の iPad 上で動作するアプリケーションに実装することが容易であり、例えば筆者らが先行研究 [7] で開発した「影絵制作アプリケーション “Shadow Picture”（図 3）」では、ユーザがタブレット端末によるタップによって影絵の部品であるオブジェクトの空気遠近感を制御し、さらには 2 本指でオブジェクトを拡大・縮小することで線遠近感を制御し、誰もが気軽に奥行き感を感じさせる影絵、および影絵のアニメーションを制作、および鑑賞することが可能となっている。

一方、前述の影絵制作アプリケーションに類似した iPad アプリケーションとして、自分で絵を描ける“手書きスケッチブック”や山水画を制作できる“sansui [6]”などがある。手描きスケッチブックは数多くの類似したアプリケーションが存在するが、それらは奥行き感を考慮したものとはなっていない。sansui においては、山水画を構成するために事前に用意されたパーツを、画面上を 3 層に区切った領域（それぞれの領域が、上から遠景、中景、および近景に該当する）に配置して奥行き感を表現しているが、領域が事前に 3 層に区切られているため、3 段階でしか奥行き感を表現できないものとなっている。

これに対し本論文で明らかにした視覚情報と聴覚情報における奥行き感、ユーザが自由に制御することが可能となっている。

一方、聴覚情報（音）に関する研究・開発例としては立体音響技術が挙げられる。これは、音声を再生する際に聴者の向きに対して前後左右上下にわたり 3 次元的に音声を再生する方式のことである。なお、この感覚上の音が鳴っている位置を音像位置という。

小野一穂氏らが行った「立体テレビのための音像・音場制御 [1]」では、映像の立体化の時代を見据え、立体的な映像にマッチングする様な音の立体化技術が述べられている。その中では、音像・音場をスピーカー等のハード面を開発して実現するアプローチを採用し、映画館やコンサートホールなどの大規模施設においてのスピーカーシステムの技術が開発されている。しか

しながら、これらの事例では大規模で高品質なスピーカースystemを用いる事が前提となっており、音源の選択においてもタブレット端末等の低品質なスピーカを考慮していないものとなっており、そのようなスピーカースystemでは効果が得られないのが現状となっている。

本論文では音源の選定および、音に関するプログラムをタブレット端末にマッチングさせ、奥行き効果を低品質のスピーカでも得られる視覚情報と聴覚情報の生成手法の検証、および提案を行う。

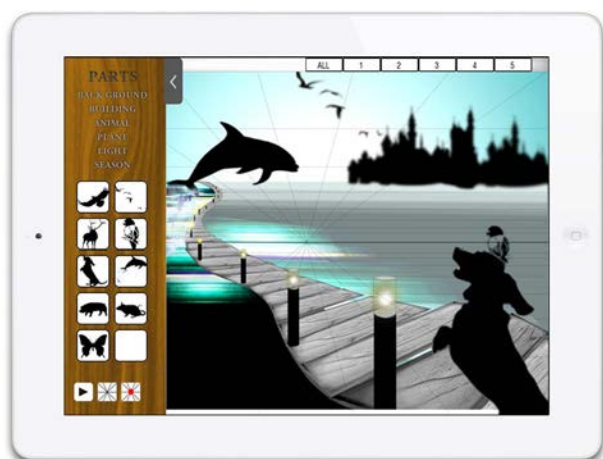


図3 Shadow Picture

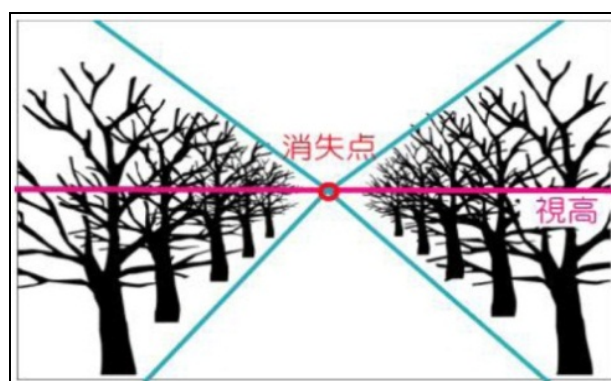


図4 線遠近法

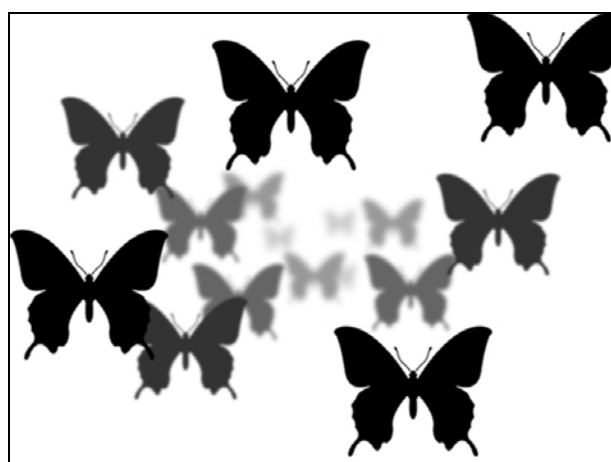


図5 空気遠近法

3. 視覚情報の奥行き知覚要素

本論文では、絵画などで古くから用いられている 2 種類の遠近法、空気遠近法と線遠近法に着目した。さらに、錯視を利用した運動奥行き効果によって、奥行き感と立体感の強調を実現する。

線遠近法とは、数ある遠近法の中でも最も科学的で体系化された空間表現法で、画面上の消失点（バニシング・ポイント）に向かって幾何学的に短縮され画面上に示されるというもののである（図4参照）。

空気遠近法とは、遠くのものほど霞んで見えるという現象を再現したもので、ルネサンス期の絵画や東洋の水墨画などによく見られる手法である（図5参照）。

運動奥行き効果とは、2次元上に布置した対象が動くのを見るとき、人間はその変化が2次元上の形状変化ではなく、3次元上の運動と知覚するという視覚反応のことである。方向と長さが同時に変化する輪郭線をもっていることが現象成立の必要条件であり、これによって図の形状変化ではなく物体の回転と認識するといった錯覚が起こる（図6参照）。

本論文で提案する影絵制作アプリケーションは、マルチタッチによる直感的操作によってオブジェクトの拡大・縮小による線遠近感と、タップを繰り返すことにより空気遠近感を制御することで奥行き感を表現した。

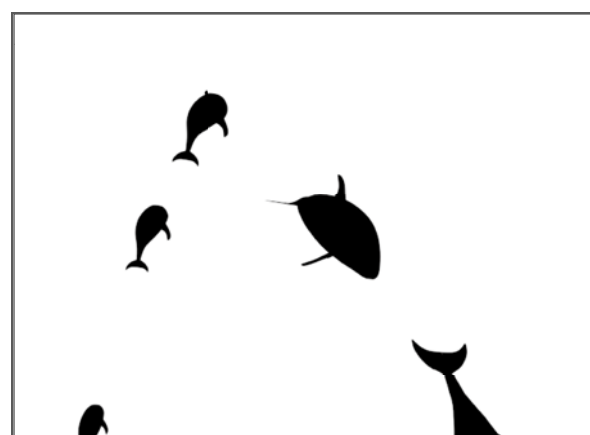


図6 運動奥行き効果

4. 聴覚情報の奥行き知覚要素

ヒトは聞こえた音と見えた映像を結合しており、実世界の出来事を認識している [8]。現実世界では、音の速度事象により生起する音と光の間には、物理的な到達時間差が存在する。こうした音の時間遅れに対して、我々の脳は、その事象まで距離を考慮して補正を行い、「同時に起きたできごと」と知覚している。具体的には、距離を1m 長くするたびに音を3ms だけ遅らせると、被験者は光と音が同時に提示されたと判断する [9]

[10] . これを視聴覚情報結合における (音伝達速度を考慮した) 距離の知覚的補正という.

この補正には, 対象までの奥行き距離の知覚が必要である. 近年の研究では, 残響音を用いて聴覚的な奥行き情報を操作した場合にのみ, 視聴覚情報の知覚補正が生じる事が報告されている [11] . したがって, 音の奥行き情報が知覚的補正に必要である.

対象までの距離の知覚には, 視覚的な情報が非常に重要であり, 視覚による奥行き知覚が知覚的補正にどのように寄与しているかについては明らかになっており, 視覚的に奥行き知覚印象が強いときには, 距離に応じた知覚的時間補正が生じることが示唆されている [11] .

上記のことを踏まえ, 本論文では聴覚情報の奥行き感を音像で表現するため, 音像に関する奥行き効果を以下の4要素に分類する.

(1)視覚情報と聴覚情報の時間差による奥行き効果

視覚情報と聴覚情報は密接な関係にあり, その情報を現実空間では光と音の速度の違いによって認識し, 音源と映像の時間差を表現する事によってリアリティのある奥行き感の表現になる.

(2)音強度による奥行き効果

人間は, 音の奥行き定位を動かす事で視覚的刺激の位置を認識している. 受聴者は音強度の増減により物体と距離を把握できる. また, 音による奥行き感の認識は物体が複数の時, 物体同士が発する音の差異によって認識している. 音強度の増減が重要ではあるが, 奥行き定位が音強度だけでは認識しづらい部分がある [12] .

(3) 音の反射音による奥行き効果

反射音が存在する環境においては, 直接音及び反射音から得られた情報を用いることにより奥行きが定位しやすくなる.

(4)ドップラー効果による奥行き効果

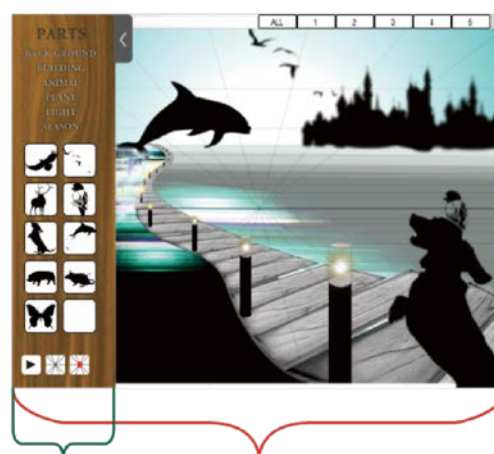
物体が移動する時に発生するドップラー効果を用いる. 音程が変化することにより, 受聴者は移動している物体との位置情報を認識する事ができる.

5. 視覚情報による奥行き効果のデバイス適用

第3章において述べた3種類の視覚情報における奥行き知覚要素の iPad 上での実装方法を, 以下に述べる.

本論文では, 視覚情報における奥行き知覚要素を「影絵制作アプリケーション “Shadow Picture” [7]」をベースとして実装した (図3, 図7) . Shadow Picture はそもそも, iPadの画面全体をキャンバス領域とし, 画面左に影絵を構成する各種オブジェクト (背景, 建物, 動物, および植物など) を選択するためのメニューが配置されている. これらのオブジェクトをキャンバス領域へドラッグすることにより配置し, 線遠近感と空気遠近感, 運動奥行き効果を制御しながら, 影絵を制作していくアプリケーションである.

このアプリケーションをベースとして, 3種類の視覚情報における奥行き知覚要素の検証実験を行うものとした.



オブジェクトメニュー キャンバス領域

図7 Shadow Picture の画面説明

5.1 線遠近法による奥行き感の強調

線遠近法による奥行き感の強調は, アプリケーションのキャンバス領域に配置されたオブジェクトを2本の指によるピンチ (パソコンにおけるマウスドラッグと同様の動作) によって拡大, および縮小を行うことによって実現する (図8-a 参照) .

オブジェクトの拡大・縮小は, 図8-b に示す「四角錐グリッド」によって制御される. すなわち, 消失点が1点のみでキャンバス中央に固定された状態での1点透視図を構成するためのガイドラインが四角錐グリッドであり, オブジェクトの画像枠が四角錐グリッドに吸着することで, 1点透視図が構成される. 図8における中央の赤い点が, 消失点である.

四角錐グリッドの生成法は, 以下の通りである.

- (1) キャンバスの中心に消失点を定める.
- (2) グリッドの分割数を任意に定める (図8-b の場合, グリッド分割数は5である) .
- (3) キャンバスの4辺をグリッド分割数に従って分割し, 消失点から分割点に向かって直線を定める. これにより, 放射状のグリッドが定められる.
- (4) 次に, 放射状に生成したグリッドを分割数に従って分割し, キャンバスの4角形を分割点に従って縮小し, 縦横のグリッドを生成する. このとき, 奥行き感を考慮して, キャンバスの4頂点から消失点に向う放射状のグリッドにおいて, 隣り合うグリッド長が3:2の割合になるように分割していくことで, 消失点に近づくにつれて縦横のグリッド間隔が狭くなるようにする.

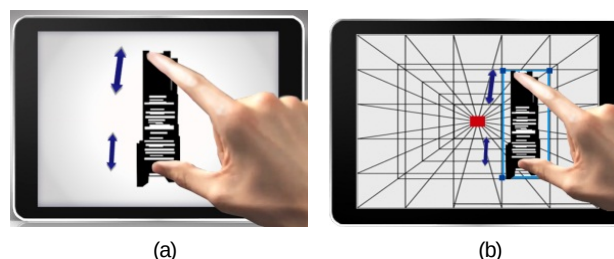


図8 四角錐グリッドとマルチタッチによる拡大・縮小の操作

5.2 空気遠近法による奥行き感の強調

空気遠近法による奥行き感の強調は、キャンバス内に配置されたオブジェクトをタップ（パソコンにおけるマウスクリックと同様の動作）することで、ぼかし加減などを変化させた画像に切り替えることで実現する（図 9 参照）。

現在は、各オブジェクトに5段階のぼかしと色相を変化させた画像を事前に用意し、ダブルタップで徐々にぼかし具合が強くなる画像に切り替え、トリプルタップで1段階前の状態に戻るよう実装している。事前に用意する5段階の画像は、市販の画像加工アプリケーションのガウス分布を用いたぼかし機能を利用して制作した。



図 9 空気遠近法による奥行き感の強調

5.3 運動奥行き効果による奥行き感の強調

運動奥行き効果による奥行き感の強調は、キャンバス領域に配置されたオブジェクト内で再生されるアニメーションによって、接近および後退したような奥行き感の強調を実現する。各オブジェクトのアニメーションは一定のパターンを繰り返し再生するものとし、キャンバス内に配置されたオブジェクトのサイズ変更によってアニメーションの再生範囲も変化する（図 10 参照）。

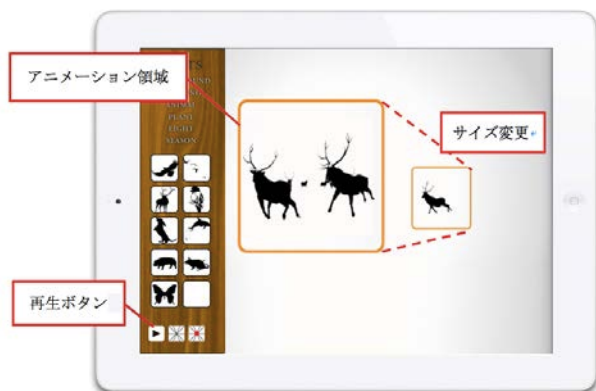


図 10 運動奥行き効果による奥行き感の強調

6. 聴覚情報による奥行き効果のデバイス適用

本論文では、タブレット端末のスピーカーにおいても複数人で効果音などを聞くことができる環境を想定して音像を実装する。iPad の内蔵スピーカーの特徴は、周波数特性はごく一般的でありステレオ再生が可能だが、両スピーカー同士が近すぎるため音場の再現性は低いことである。したがって、主に性能の低いスピーカーを想定し、実装を行う。

第 4 章において要素抽出を行った奥行き知覚の効果を、実際に扱う音表現と対応させる（表 1 参照）。ここでは、モノラルスピーカーを考慮した対応を行い、音の表現、および制御によって奥行き知覚効果を得ることを目的としている。

なお、ここまでは聴覚情報による奥行き知覚要素を 4 種類としているが、後述する主観評価実験では「ドップラー効果による効果」は実験対象からは除外した。なぜならば、ドップラー効果に関しては表 1 における「時間差効果」、「音強度による効果」、および「音の反射音による効果」を組み合わせることによって実現が可能であるため、実験を単純化するためにもこれらの検証実験を優先したためである。

表1 音の奥行き知覚効果とアプリケーションの制御ポイント

効果	制御ポイント
視覚情報と聴覚情報の時間差効果	オブジェクトに対応する音の発生するタイミングと速さ
音強度による効果	想定する距離感を音の強弱に変換
音の反射による効果	オブジェクトに対応する音のリバーブ、エコー、ディレイで制御
ドップラー効果による効果	仮想空間上の波長、振動数を決め、アニメーションの速さをもとにドップラー効果の式に代入、振動数をシミュレーションし、オブジェクトに対応する音を変化

7. DCR 法による奥行き効果の主観評価実験

実装したアプリケーションにおいて、奥行き感を強調するために使用している各遠近法の効果、および音による効果を検証するため、デザイン学を専攻している10代から20代の大学生、計25名を被験者として DCR 法による主観評価実験を行った。本章では、その詳細と結果、および考察に関して述べる。

DCR 法は、品質評価の基準となるリファレンス映像と評価映像を対にして評価者に提示し（共に 10 秒程度）、続く 10 秒程度の時間内に表 2 に示す 5 段階妨害尺度により評価を行う主観評価実験法である[13][14]。DCR 法では、品質評価の最初に必ずリファレンス映像を観視し、この映像品質を基準として続

く評価映像の品質を評価することから、ACR 法 (Absolute Category Rating) で見られる順序効果がある程度抑えられるという利点がある。評価結果は ACR 法と同様に平均オピニオン評点 (MOS: Mean Opinion Score) で表すが、ACR 法で導出した MOS と区別するため、本論文では DMOS (Degradation MOS) と記す。

表2 奥行き知覚効果とアプリケーションの制御ポイント

評点	評点語
5	(奥行き感の増幅を)非常に感じる
4	(奥行き感の増幅を)感じる
3	(奥行き感の増幅を)少し感じる
2	(奥行き感の増幅を)あまり感じない
1	(奥行き感の増幅を)まったく感じない

7.1 視覚情報における主観評価実験

聴覚情報による主観評価を比較対象とするために、無音の映像による視覚情報のみの奥行き効果の評価実験を行った。本論文では、2次元表現の奥行き表現に効果的である運動奥行き効果、線遠近法、空気遠近法を組み合わせた3つのパターンの主観評価実験を行った。すなわち、運動奥行き効果と線遠近法を組み合わせた場合、運動奥行き効果と空気遠近法を組み合わせた場合、および運動奥行き効果と線遠近法と空気遠近法を組み合わせた場合の3つのパターンである。今回の DCR 法による主観評価実験では、被験者に対して、4種類の図柄の画像に5段階の線遠近法、空気遠近法、および線遠近法と空気遠近法と運動奥行き効果を組み合わせた動画を提示し、5段階妨害尺度によって評価してもらった。つまり、動画60パターンを提示したことになる。なお、4種類の図柄において、空気遠近法は奥行きによる5段階の明度 (0%, 20%, 40%, 60%, 80%) とした (図11参照)。

7.2 視覚情報における主観評価実験の結果

本実験の評価結果をまとめたものを、図12、図13、および図14に示す。図12は運動奥行き効果と線遠近法を組み合わせた場合、図13は運動奥行き効果と空気遠近法を組み合わせた場合、および図14は運動奥行き効果と線遠近法と空気遠近法を組み合わせた場合の評価結果である。

図は箱ひげ図になっており、第3四分点・最大値・最小値・第1四分点・中央値によってグラフの歪みと分散度合いを表すものとする。各図の縦軸は DMOS の値、横軸は図12では縮尺率を、図13では明度を、図14では縮尺率と明度を表している。

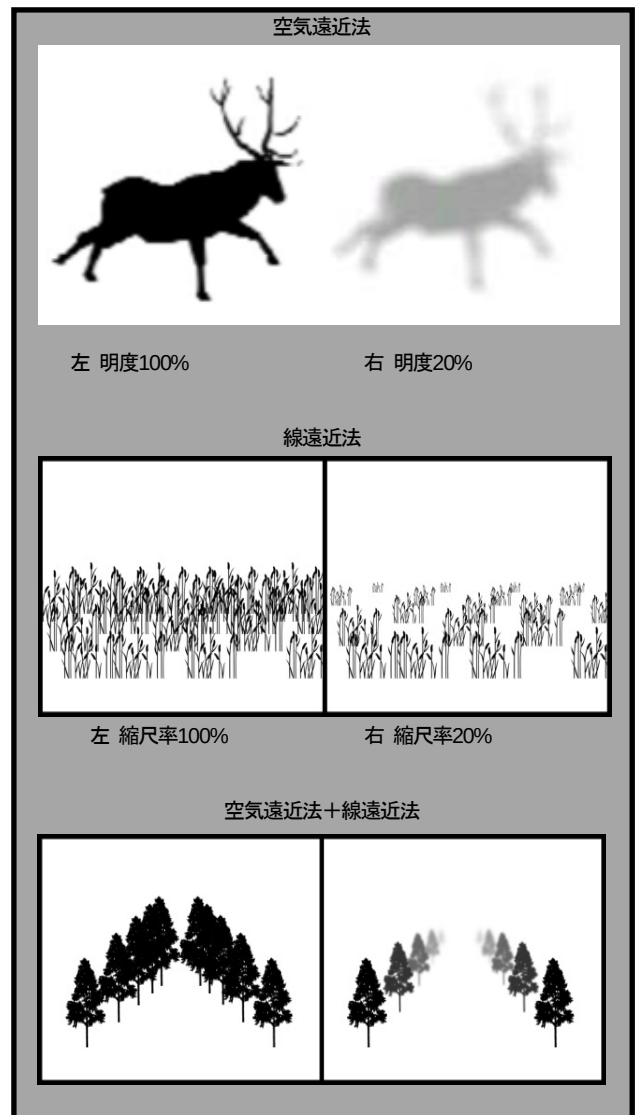


図11 主観評価実験に用いた動画の例

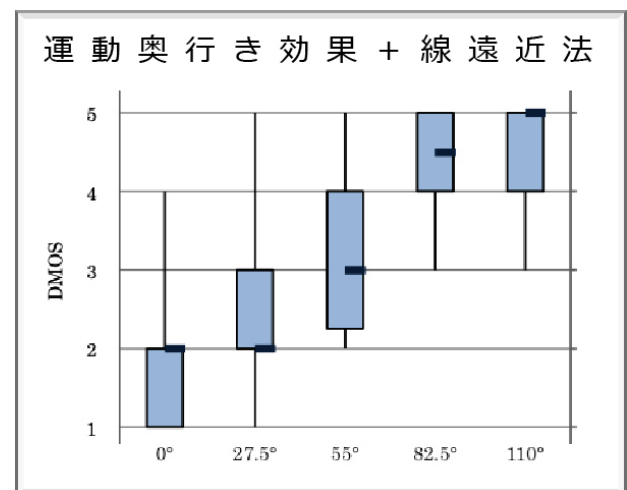


図12 運動奥行き効果と線遠近法のDMOSグラフ

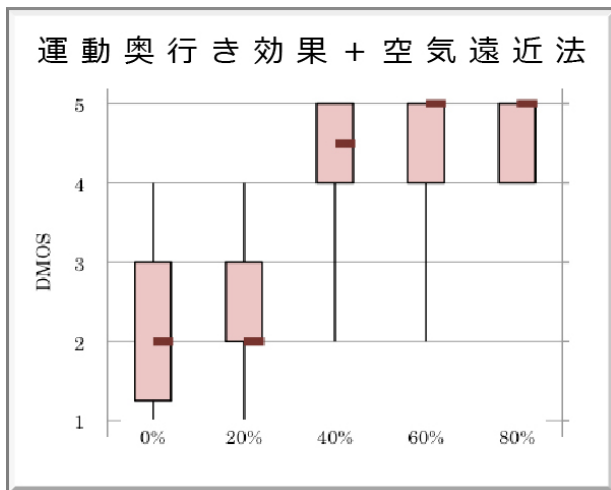


図13 運動奥行き効果と空気遠近法のDMOSグラフ

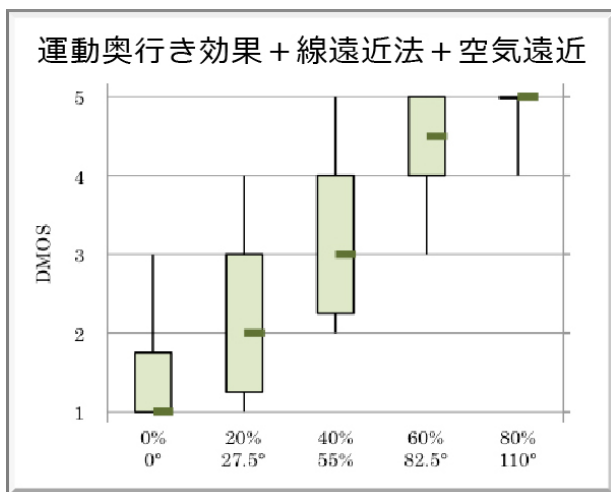


図14 運動奥行き効果と線遠近法と空気遠近法のDMOSグラフ

7.3 聴覚情報における主観評価実験

聴覚情報による奥行き効果の検証では、第4章で挙げた4種類の音による効果を加えた動画をそれぞれ5段階提示し、計20パターンによる評価実験を行った。それらを5段階尺度法によって評価してもらった。聴覚情報による奥行き効果の実験では、第4章の(1)、および(2)の効果は作成した動画に音による効果をつけて実験し、(3)の効果は音のみによる効果を2種類実験した。

なお前述のように、(4)のドップラー効果に関しては、(2)の音強度による効果と(3)の音の反射音による効果を組み合わせることによって実現が可能であるため、今回の実験対象からは除外した。すなわち、主観評価実験は3種類の聴覚情報における奥行き知覚要素に関して行った。

また、スピーカーとタブレット端末での聞こえ方の違いを探る為、この実験では外部スピーカーを繋いで行った実験とiPadのみで行った実験の2種類を行った。それぞれの内容は変えずに、出力するスピーカーのみを変えて実験を行った。

評価方法は、第6章で示した表1の制御ポイントのパラメータを、それぞれの効果に対応する部分を変化させて評価実験を行った。第4章の(1)の効果は、図15に示す動画中のオブジェクト個々に位置に応じた音を割り当てて、被験者による評価は動画中で最後に登場する救急車のみに対して行うものとした。すなわち、実験前の事前説明において「救急車の絵と音に対して、奥行き感の評価を行って下さい」と被験者に説明し、評価を行ってもらった。また、評価対象のオブジェクト（今回の場合は救急車）に与えた聴覚情報の時間差遅れは、予備実験により効果が現れると考えられた0.5[sec]を基準に遅れを発生させるものとした。第4章(2)の効果は、運動奥行き効果を評価実験する際に使用した動画を用いて、オブジェクトの音のデシベル数を変化させ、評価実験を行った。第4章(3)の効果では、リバーブとエコーを掛けた音を変化させ、その音のみを聞かせて評価実験を行った。

なお、本論文ではiPadなどのタブレット端末での表現方法を対象としているため、その操作状況を鑑みて、聴覚情報の評価実験においても無響室などの特別な環境では行わずに、日常生活の中で想定されるような生活雑音が溢れる環境内で行った（図16参照）。

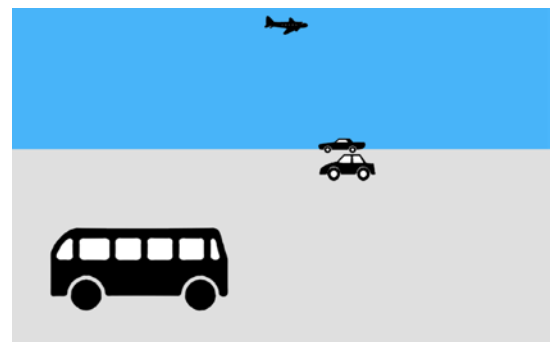


図15 評価実験に用いた動画（視覚情報と聴覚情報の差）の例



図16 主観評価実験の様子

7.4 聴覚情報における主観評価実験の結果

本実験において、外部スピーカーに繋げて行った実験の結果を図17、図18、および図19に示す。ここで、図17は視覚情報と聴覚情報の時間差効果に関するグラフであり、図18は

音強度による効果, および図 19 は音の反射による効果に関するグラフである。

また, iPad のみで行った実験の結果を図 20, 図 21, および図 22 に示す。ここで, 図 20 は視覚情報と聴覚情報の時間差効果に関するグラフであり, 図 21 は音強度による効果, および図 22 は音の反射による効果に関するグラフである。

各図の縦軸は DMOS の値, 横軸は図 17 と図 20 では基準動画と発生する音の時間差, 図 18と図 21 では基準の音の大きさから増加したデシベル数の数値, 図 19 と図 22 では音の反射音の効果の度合いを表す。

視覚情報と聴覚情報の時間差効果

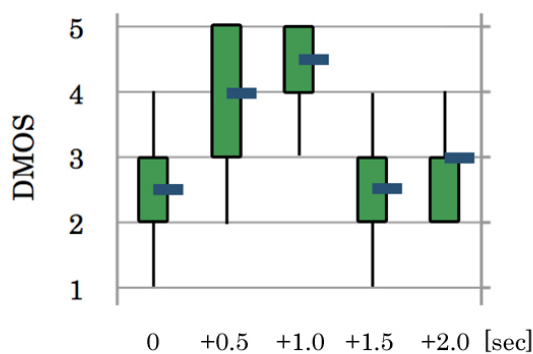


図17 視覚情報と聴覚情報の時間差効果のDMOSグラフ
(外部スピーカー)

音 強 度 に よ る 効 果

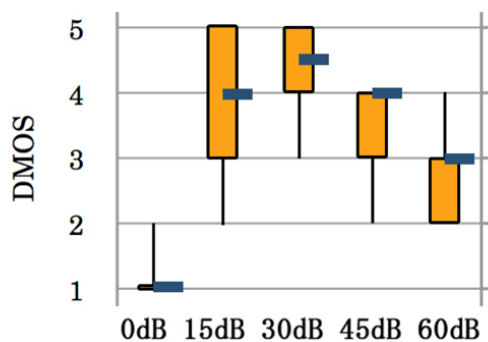


図18 音強度による効果のDMOSグラフ (外部スピーカー)

音 の 反 射 に よ る 効 果

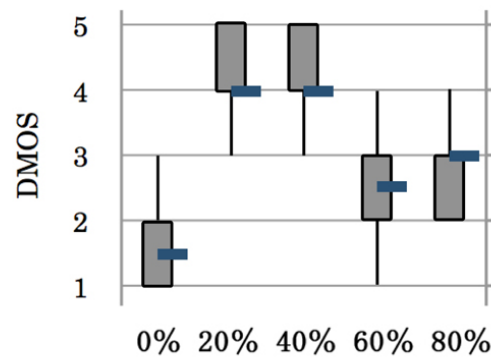


図19 音の反射による効果のDMOSグラフ (外部スピーカー)

視覚情報と聴覚情報の時間差効果

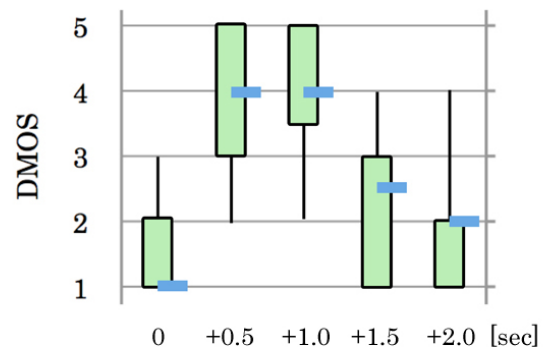


図20 視覚情報と聴覚情報の時間差効果のDMOSグラフ (iPad)

音 強 度 に よ る 効 果

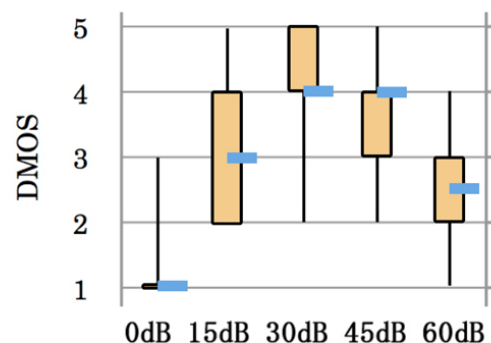


図21 音強度による効果のDMOSグラフ (iPad)

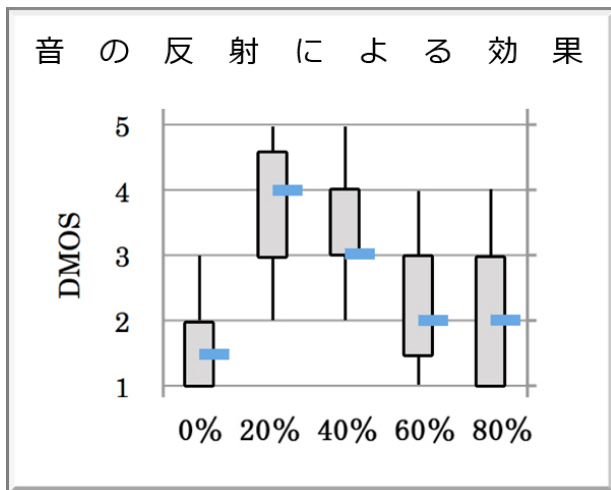


図22 音の反射による効果のDMOSグラフ (iPad)

7.5 主観評価実験結果の考察と実装

以下では、評価実験から得られた結果をもとに、視覚情報と聴覚情報における奥行き効果の考察を行う。

7.5.1 視覚情報における評価実験結果の考察

視覚情報における奥行き効果の評価実験では、図 12 から、線遠近法による奥行き感の変化は縮尺率が増すごとに被験者に奥行き感を強く感じさせていることがわかった。しかしながら、図 13 からは線遠近法に比べて空気遠近法は明度の増加にともなう DMOS の差が少ないことがわかる。すなわち、空気遠近法は線遠近法と比較すると、奥行き感の表現力は弱いということが言え、線遠近法による奥行き効果の方が効果的と言える。さらに、図 14 から線遠近法と空気遠近法を組み合わせることで全体的に DMOS の変化量は増え、図柄に影響されることなく均一的になっていることがグラフから読み取れるため、2つの遠近法を組み合わせることは有効であることが明らかになった。

運動奥行き効果による DMOS 値の変化は、前述の遠近法による DMOS 値の推移の特徴が表れており、動画においても各遠近法とその組み合わせによる奥行き効果がわずかではあるが増幅することが明らかになった。

7.5.2 聴覚情報における評価実験結果の考察

聴覚情報における奥行き効果の評価実験では、図 17 から考察すると、視覚情報と聴覚情報の時間差効果において音の奥行き効果を一番感じられたのは 1.0 秒分音を遅らせた時であり、それ以降は奥行き効果が落ちるということが明らかになった。音強度による効果 (図 18) では、時間差効果と比べ穏やかだが、同じ様にある一定のラインを超えると効果が弱まるということが明らかになった。音の反射による効果 (図 19) では、その傾向が最も顕著に表れていることがわかった。3種類の効果の全てで、ある一定のしきい値を超えると効果が薄れていくということが明らかになった。

また、主観評価実験後に、被験者にどの効果が奥行き効果を明確に感じ取りやすかったかアンケートを取った結果、被験者が奥行き感を一番効果的に感じ取ったのが音強度による効果で

あり、次に音の反射効果であるということが明らかになった。すなわち、一番効果が感じ取りにくかったのが、視覚情報と聴覚情報の時間差効果であることが明らかになった (表 3 参照)。

表3. 聴覚情報における奥行き効果のアンケート結果

視覚と聴覚の時間差	音強度	音の反射
1 人	17 人	7 人

7.5.3 主観評価実験結果のアプリケーションへの実装

上述のように、視覚効果の効果率推移に関しては、各パラメータの操作によって比較的明確に効果に変化することがわかった。聴覚情報による効果は、パラメータの操作によってあるしきい値を超えると効果が減少するという特徴がみられた。

本実験により明らかになった視覚情報と聴覚情報における奥行き効果を利用して、文献[15]の発表時には未完成だった影絵制作アプリケーション「Shadow Picture」の新しいバージョンを実装した (図 23, <http://youtu.be/wAw-XomTThw> 参照)。



図 23 視覚情報と聴覚情報の奥行き効果を実装した新しい Shadow Picture

8. まとめと今後の課題

本論文では、iPad などのタブレット端末における 2 次元空間の平面的な表現において、操作者の奥行き知覚を増幅させるため、視覚情報と聴覚情報による奥行き効果を検証する実験を行い、それぞれの奥行き効果を増幅するための手法を明らかにした。

具体的には、視覚情報においては、運動奥行き効果、線遠近法、および空気遠近法の 3 種類を取り上げ、2 次元表現における奥行き表現の効果を検証する。聴覚情報の奥行き知覚の要素では、視覚情報と聴覚情報の時間差による奥行き効果、音強度による奥行き効果、および音の反射音による奥行き効果の 3 種類を取り上げ、それらの効果を用いてモノラルスピーカーであっても奥行き感を得られる音像に関して検証を行った。

視覚情報においては、運動奥行き効果、線遠近法、および空気遠近法の 3 種類を取り上げ、2 次元表現における奥行き表現の効果を検証した結果、空気遠近法よりも線遠近法のほうが有効であるということが明らかになり、さらに運動奥行き効果と線

遠近法, および空気遠近法を組み合わせた手法が最も奥行き知覚の増幅には有効であることが明らかになった。

聴覚情報の奥行き知覚の要素では, (1) 視覚情報と聴覚情報の時間差による奥行き効果, (2) 音強度による奥行き効果, および (3) 音の反射音による奥行き効果の 3 種類を取り上げ, それらの効果を用いてモノラルスピーカーであっても奥行き感を得られる音像に関して検証を行った。その結果, 音強度による効果が最も奥行き感表現には有効であり, その次に音の反射効果による表現が有効であることが明らかになった。また, 音には視覚にはない閾値があることが明らかになり, 奥行き効果が表れやすいものとそうでないものがあることも明らかになった。

本実験により明らかになった奥行き知覚に有効な効果を, 影絵制作アプリケーション「Shadow Picture」の新しいバージョンとして実装を行った。

本手法によって, スピーカーの性能に付随した音場の再現性における奥行き表現を省き, 感覚的に音を捉える音像の表現によって, 音の奥行き知覚効果を各々のデバイスに当てはめ, 汎用性の高い音の奥行き表現ができることが可能となる。

今後の課題としては, OpenAL などのオーディオAPIを用いて, 聴覚情報の奥行き表現を視覚情報やアプリケーションの操作状況に合わせて自動で制御することなどが挙げられる。

参考文献

- [1]小野 一穂, 小宮山 撰, “立体テレビのための音像・音場制御”, オーディオビジュアル複合情報処理, 94(29), 81-86 (2006).
- [2]大口孝之, “立体映像のブームと失敗の研究—同じ過ちを繰り返さないために”, ビジュアルコンピューティングの最先端技術とその新展開, 画像電子学会第34回秋期セミナー予稿集, pp.04-01–04-12, 2010.
- [3]葭原弓子編, “cinefex”, number 16, April, 株式会社ボーンデジタル, 2010.
- [4]Nintendo 3DS, <http://www.nintendo.co.jp/3ds/index.html>, 2011.
- [5]Nintendo 3DS CM・ムービー, <http://www.nintendo.co.jp/3ds/movie/index.html>, 2011.
- [6]Naoko Tosa, “Sansui”, http://www.necrosoftgames.com/?page_id=88
- [7]伊藤智也, 松石加奈子, 武藤雅之, 伊藤弘樹, 菊池司, “マルチタッチインタフェースによる奥行き感を強調した影絵制作アプリケーションの開発”, 画像電子学会誌, Vol.41, No.1, pp.73-83, 2012年1月号.
- [8]Fujisaki, w. & Shimojo, S & Kashino, M. & Nishida, S, “Recalibration of audiovisual simultaneity”, Nature Neuroscience, 7, pp773-778 (2004).
- [9]SUGITA Y, “0Audiovisual perception : Implicit estimation of sound-arrival time”, Nature 421(6926), 91 (2003).
- [10]ALAIS D, “Synchronizing to real events : subjective audiovisual alignment scales with perceived auditory depth and speed of sound”, Proc. Natl. Acad. Sci. USA 102(6), 2244-2247 (2005).
- [11]小曳 尚, 繁樹博昭, 北崎充晃, “バーチャルリアリティ空間における視聴覚の同時知覚 : 両眼視差と運動視差の効果”, (複合現実感, 仮想都市, 及び一般), 電子情報通信学会技術研究報告, MVE, マルチメディア・仮想環境基礎 106(234), 73-77 (1994) .
- [12]黒瀬洋世, 田中利幸, 多氣昌生, “音源の奥行き定位に関する基礎的検討”, 電子情報通信学会総合大会講演論文集, 情報・システム(1), 65, 1995-03-27 (1995).

[13]情報流通基盤総合研究所 サービスインテグレーション基盤研究所, “情報流通トラヒックサービス品質プロジェクト”, <http://www.ntt.co.jp/qos/technology/visual/01.html>, 2011.

[14]INTERNATIONAL TELECOMMUNICATION UNION, “ITU-P.911 Subjective au-diovisual quality assessment methods for multimedia applications”

[15] 旭克也, 伊藤智也, 伊藤弘樹, 菊池司, “2 次元表現における奥行き知覚を増幅させる音の表現”, Proceedings of NICOGRAPH 2012, pp.56-61, 2012年11月.



旭 克也

2011 年 拓殖大学工学部工業デザイン学科卒業。2013年, 同大学院工学研究科工業デザイン学専攻博士前期課程修了。現在, 株式会社GENOVA 勤務。在学中は, インタラクティブコンテンツに関する研究に従事。



伊 藤 智 也

1996年, 岩手大学工学部情報工学科卒業。2003年, 岩手大学大学院工学研究科博士後期課程単位取得退学。2004年, 八戸工業大学工学部システム情報工学科助手。同年, 博士(工学)。2007年より八戸工業大学工学部システム情報工学科講師。専門は, コンピュータグラフィックス。芸術科学会, 情報処理学会, 可視化情報学会会員。



伊藤弘樹

1987 年専門学校桑沢デザイン研究所卒業。同年株式会社カール事務器入社。1992 年同社退社。1997 年株式会社ホロンクリエイト入社。2002 年同社退社後フリーデザイナーへ移行。2005 年拓殖大学大学院工学研究科工業デザイン学専攻博士前期課程入学。2007 年博士前期課程修了。同年拓殖大学工学部デザイン学科勤務(助手)。GUI デザイン及び 3DCG を使用したビジュアルシミュレーションを研究。芸術科学会，情報処理学会，日本デザイン学会，他会員。



菊池 司

1999年岩手大学大学院工学研究科電子情報工学専攻博士後期課程修了。博士（工学）。2000年拓殖大学工学部工業デザイン学科（現デザイン学科）助手。2004年同大学専任講師（現助教）。2007年から2008年まで韓国・高麗大学客員教授。2009年拓殖大学工学部工業デザイン学科（現デザイン学科）准教授，現在に至る。ACM，芸術科学会，情報処理学会，画像電子学会，他会員。