

特集 ■ VRの源流としての錯視・錯覚

ユビキタス・イリュージョン



北崎充晃

豊橋技術科学大学

KITAZAKI MICHITERU

1. はじめに

錯視(視覚に限らず聴覚など様々な感覚の錯覚や複合感覚の錯覚も含めて)は、決して珍しいものではなく、私たちの日常生活にあふれている。しかし、あまりに自然なためにときにはただそれに気づかない。本稿では、主に知覚心理学の専門家以外を対象に、錯視の偏在性を中心に、古典的な錯視研究の紹介、錯視に含まれる様々な興味深い現象の紹介、錯視研究の科学的側面、そしてアミューズメントとしての錯視利用についての言及を行い、最後にバーチャルリアリティ研究における錯視の役割とユビキタス・イリュージョン構想について触れておきたいと思う。

一般的な錯視の定義は、「観察対象の物理特性と、知覚されたもの(知覚表象)が異なる現象、あるいはそれをもたらす刺激」とされる。しかし、観察対象の真の物理特性を知ることができるのか、そもそも観察対象が外界に存在することはどう証明されるのか、私たちに与えられているのは感覚情報のみであり、そこから全てが始まるのであるから対象物それ自体を知ることが不可能ではないか、等々と考えていくと、うんざりとする(でもちょっと楽しい)議論がぐるぐるめぐりだす。知覚心理学において主流なのは、外界からの情報(刺激)が、感覚器官を通して入力され、脳の処理によって、知覚表象が作り上げられるという考え方[1-2]である。「知覚は全て錯覚である。」というもっともラジカルな、一見身も蓋もない考え方は、ここから来ている。知覚として意識に上るものは、すべて脳が処理し、創造した表象であるから、外界の物自体との同一性は保証できないので、錯覚であると言うのだ。

しかし、ほとんどの心理学者は、物自体の存在やその

真の特性について深くは考えずに、操作的に定義した刺激(ものさしで測って画いた図形やコンピュータでプログラミングして提示したディスプレイ)を入力と考え、知覚的判断から得られたデータと比較する。この両者、操作的に定義した物理刺激と知覚判断の結果が大きく異なるとき、それを錯視・錯覚と考えるのが一般的である。あるいは、その特性そのものを操作していないのにその周囲部分や違う特性を変化させることにより知覚が大きく変化することをもって錯視現象と考える方がわかりやすいだろう(図1)。錯視は目の間違いではない。錯視は、そこで起きているのではなく、脳の中で起きている。

本論文では、「錯視、錯覚」を少し広い意味でとらえ(cf 北岡, 2005 [3]), 視覚そのものとの密接な関係について紹介していく。そして、「知覚はすべて錯覚である。」という言説に対して、「錯視・錯覚は、正しい知覚処理の現れである。」ことを示していくのがまた一つの目的である。

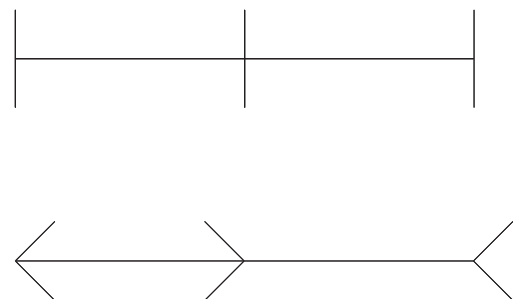


図1 ミュラー・リヤー錯視

上図では水平線が中央で等分割されて見えるが、下図では水平線とは関係ない縦線を傾けただけで分割された水平線の長さが異なって知覚される。

2. 古典的錯視

「月の錯視 (The moon illusion)」と言う言葉を聞いたことがあるだろうか。実に神秘的な名前だが、晴れている日にはいつでも体験できる(ただし、満月に近い方が印象は強い)。夜空に輝く月は、頭上高く天頂付近にあるときよりも、地上の近く、低い位置にある時の方がはるかに大きく知覚されるという現象である。知覚研究では、実際の月ではなく人工的な画像を自然風景に重ねた場合も錯視が観察されることが示され、水平方向と垂直方向での光路の違いによる光の屈折率の違いの可能性が排除された。また、鏡を用いて、地上に近い月の映像を上を見上げながら観察し、逆に天頂の月を水平方向に観察すると、錯視は逆転し、上を見上げて観察する地上に近い月の方が大きく知覚されることが示されている。したがって、月の周囲に地面や建物があることが、距離の知覚を増強し、この現象をもたらしているのではないかと考えられている。つまり、天頂にある場合よりも地上に近い月は遠くに知覚され、網膜像でのサイズが同じなら実世界での大きさは距離に比例することから、大きく知覚されてしまうと考えられている [4]。つまり、ここでの「脳の処理」は、「網膜像サイズと対象までの距離を考慮して、大きさが知覚される」というものであり、距離の情報の違いによって錯視が生じていると知覚心理学者は考える。類似した現象に「飛行機の錯視」とでも呼べるものがある。空港の近くで空を飛ぶ飛行機はあまりにゆっくり飛んで見える。時として、止まっているようにさえ見える。これは、飛行機が想像以上に大きく、実際よりも小さく知覚されることから、飛行機までの距離が過小評価され、その移動速度も過小に知覚されると考えられる。これらの錯視は、大きさの知覚という基本的な知覚機能が、距離を考慮した計算という処理の結果であり(大きさの恒常性)、また逆に大きさの知覚が距離の知覚にも影響を与えることを教えてくれる。

「凹んだ顔の錯視 (The hollow mask)」は、お面を内側(裏側)から観察するとき生じる。お面を内側から観察すると、本来は凹んでいるはずなのに、普通の顔のように凸に見える(特に片目を閉じてみるとよい)。その状態でお面を回すか自分の頭を左右にゆっくり動かすと、顔が自分を見つめてついてくるように知覚される。実は、スペイン・バルセロナのサグラダファミリアでもこの顔が迎えてくれる(図2)。入り口を見上げながら歩くと、罪深い我々を見つめ続ける顔にびっくりする。この現象は、物体、特に顔は、凹んでいても凸に知覚されやすいという特性

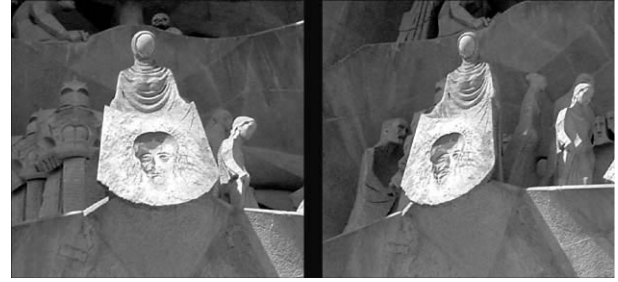


図2 サグラダ・ファミリアの凹んだ顔

があることと運動視差というメカニズムに関係している。運動視差は、頭部運動にともない生じる奥行き異なる点の網膜像速度差である。近くの対象は、遠くの対象に比べて、頭部運動に対してより反対方向に網膜像で運動する。脳は、このような網膜像の運動速度差を、通常、対象それ自体の運動としてではなく、奥行きとして解釈し、奥行きを知覚させる [5]。しかし、凹んだ顔が凸に知覚されているとき、この運動視差と奥行き知覚に矛盾が生じる。そこで、この場合には、運動速度差が実際の顔の運動として知覚されることが錯視の正体である。

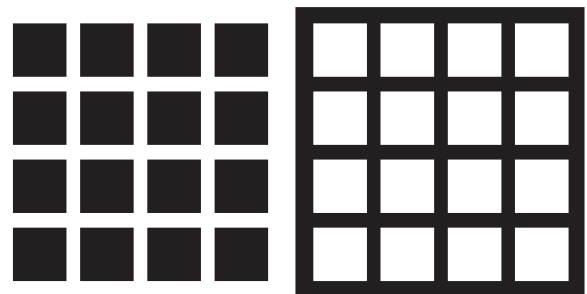


図3 ヘルマン・グリッド

「ヘルマン・グリッド (Hermann grid, あるいはタイルの目地錯視)」もまた日常よく遭遇する現象である。お風呂掃除を命じられて、タイルをゴシゴシと磨いても、どうしても汚れが取れない。一カ所を磨くとききれいになる、しかしすぐ隣が汚れている。そしてそこを磨いていると先ほどきれいにしたはずの目地がまた黒ずんでいる。ヘルマン・グリッドは、図3左のように白地背景に黒い四角形が間隔を空けて並んでいるときに、交差点が黒ずんで見える現象である。図3右のように黒地背景に白四角形を配置すると、逆に交差点が明るく知覚される。ただし、見つめている交差点のみは明るさが変わらず、その周囲の交差点で錯視が生じる。この

錯視は、オンセンター・オフサラウンドの受容野特性を仮定することで説明できる [6]. 実際、非常に簡単なオンセンター・オフサラウンドの画像フィルターを図3にかけると、交差点の明るさが、水平あるいは垂直の目地部分とは異なる明るさになる。

ヘルマン・グリッドのような明るさの錯視は、たいへんシンプルだが、非常に強い効果をもたらす。明るさの対比は、もっともシンプルに同様の処理の結果を表していると考えられている(図4). 対比-差を強調する作用は、普段の知覚においても、物体を背景から分離する場合などに有効に働くと考えられ得る。



図4 明るさの対比

ここでは、古典的錯視と称して、日常生活で比較的遭遇しやすいいくつかの現象を取り上げた。同時に、視覚心理学においてどうとらえられているのか、知覚を脳の処理による表象の創造と考えたときに、どのような処理に関連しているかについて簡単に触れた。月の錯視における「距離を考慮した大きさの知覚」、凹んだ顔錯視における「運動視差からの奥行きと運動の知覚」、明るさの錯視における「空間的対比効果」は、日常の知覚においては、いずれも正しく働き、私たちの妥当な知覚を成立させるのに必要不可欠なものであることに注意してほしい。もちろん、錯視をもたらす刺激を前にしたときも、脳の処理は変わらず正しいことをしている。ただし、その出力結果のみが、妥当ではないようだ。

3. 錯視研究の正当化あるいはいいわけ

あなたが、「月の錯視」を研究しているとすると、そのとき、研究の目的は何か？ 月の錯視そのものが、どういう条件下でどれくらい生じるかを知りたいのか、それとも月の錯視をもたらす脳の処理メカニズムを知りたいのか。このように書くとまるで誘導尋問のように後者が望ましいように取られやすいが、後者にしても、突き詰めていくと距離による大きさの知覚処理だけではなく、

様々な処理が複雑に絡んでおり、前者とそれほど大きくは違わないように思える。そこで、多くの知覚心理学者は、研究の正当化あるいはいいわけをするのだ。その錯視現象を扱うことで、本当に知りたいのはその基盤となる正常な知覚処理、そのメカニズムであると。このとき、錯視現象それ自体は、研究の主対象から研究のための道具、手段(ツール)となる。

もちろん、正直に錯視そのものを解明することが研究の目的だと言明する潔く優秀な研究者もいるが、少数の卓越した感覚の持ち主に限られる。しかし、私たちのほとんどは、間違いなく「錯視が大好き」である。日々、人を説得できる錯視あるいは現象を探して躍起になっている。そして、ほとんどの知覚・認知の研究は、錯視あるいは現象と切り離せない。

「ランダムドットステレオグラム(Random-dot stereogram)」は、錯視だろうか。ランダムな白黒の点の画像2枚、同じものを用意し、片方の部分領域を少しだけ左あるいは右にずらす。この2枚は、どうみても全く見分けがつかないが、左右眼に分離提示すれば、ずらした領域が飛び出て、あるいは凹んで知覚される(図5). 見えない形が浮かび上がるこの「不思議な現象」は、多くの人の心をとらえ、様々な図形を集めた一般書が数多く出版されている。しかし、知覚心理学においては、報告当初こそ議論があったものの、今では、両眼視差からの奥行き知覚が単眼情報からの形の抽出・知覚とは独立に生じ(あるいは先立ち)、その処理が独立したモジュールとして機能しうることを示す現象として、ヒトの奥行き知覚の基本的な知見をサポートするものとされている [7-8].

「影からの奥行き知覚(Depth from cast shadow)」は、絵画やCGでいつのまにか利用されている技法でもある(図6). 物体が光を遮り、地面など他の物体に落とす影のことをキャスト・シャドウという。このキャスト・シャドウの位置や運動は、物体とその影が落ちる物体との

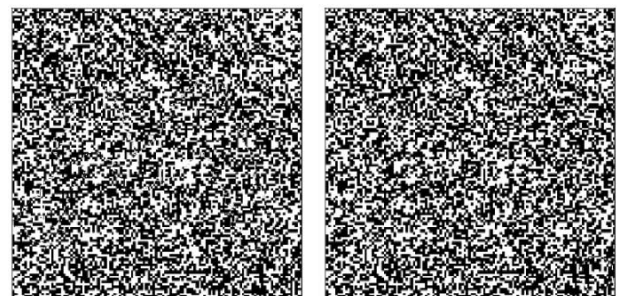


図5 ランダムドット・ステレオグラム

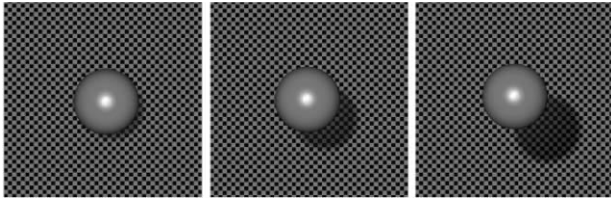


図6 キャスト・シャドウからの奥行き知覚

相対的奥行き位置・距離を知覚させる [9]. 図6にある三つのボールの絵は、その下にある黒い円の位置以外は同じである。黒い円が影(キャスト・シャドウ)として知覚され、ボールとの相対位置が異なることで、ボールの高さが違って知覚される。網膜像において影の位置が異なるとき、対応しうる実世界には複数の可能性がある。その一つは、ボールのある奥行きが異なるという解釈であり、これが知覚されやすい。しかし、光源の位置が異なるという解釈や、影が落ちている背景の奥行きが異なるという解釈などがあり得る。しかし、脳は「一般的に光源は静止している」という仮定を持ち、特にこの画像では「背景よりも物体の方が移動しやすい」という確率が考慮されて、ボールの奥行きのみが異なって知覚されると考えられている。アーティストやデザイナーにとって、影を付け加えたり、その位置を変えることで奥行きの見え方を変えられることは、当たり前だろう。しかし、知覚心理学者は、影を含む網膜像から実世界の復元・推定には無限の可能性・曖昧性があるにも関わらず、どうしてある一つの知覚のみが生じるかを問題とする。それを導く脳の処理を解明するために、この現象を刺激として用いて何十時間もかかる心理実験を行うのである。

「フラッシュラグ効果(Flash-lag effect)」は、比較的最近報告された動的な錯視である [10]. 運動している対象に、位置を描いて一瞬フラッシュする対象を提示すると、フラッシュ(瞬間)提示した対象の位置が運動している対象の位置よりも遅れて知覚される(図7). 近年精力的にこの現象の解明が行われ、その原因となり得るヒトの時空間処理について多くの考察がなされている [11]. 現在、フラッシュラグ効果は、ヒトの時空間処理を調べるための新しいツールとなりつつある。なお、動的な錯視としては、他にも窓問題、運動残効、誘導運動、運動捕捉、二次運動など実に印象の強い、生き生きとした(まさにリアルな)現象が数多くあり、いずれもヒトの知覚処理・脳内メカニズムの解明に貢献し

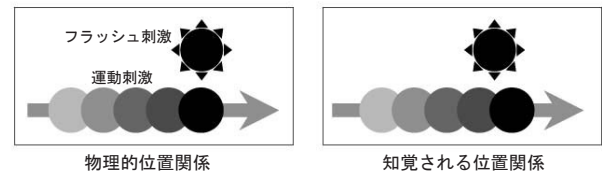


図7 フラッシュラグ効果

ているが、雑誌媒体では体験できないのが残念である。

「ベクション(Vection)」は、視覚誘導性自己運動知覚(Visually-induced self-motion perception)とも呼ばれる [12]. 車や列車に乗っていて、自分が動いたと感じたのに、実は窓から見える隣の車や列車が動いただけだったという体験はないだろうか。この現象もリアルであり、自分が動いているのか対象が動いているのかほとんど区別がつかない。たいていのテーマパークや遊園地には、この現象を利用した乗り物がある。乗り物といっても、実際にはとても狭い範囲しか動かないのだが、同時に大きなスクリーンに運動映像を提示することで、街中や地下、空中を走り回る体験をすることができる。しかも、それは頭で考える体験ではなく、リアルに身体で感じる体験である。ここでも、網膜像から考えてみよう。網膜に、ある運動が提示される。しかし、それは外界の対象が動いているのかもしれないし、自分自身(の視点)が動いているのかもしれない。脳は、この網膜像運動が、外界の運動に起因するのか、自己運動に起因するかを決めなくてはならず、実際には外界対象の運動であるにも関わらず自己運動に帰属されたとき、ベクションが知覚される。これまでの研究から、運動領域の大きさ、奥行き、注意の配分がこの知覚処理に関係していることが報告されている。ベクションを研究することで、視覚情報処理が外界にある対象の形や動きの知覚のみではなく、自己身体の傾きや運動の知覚にも貢献していること、それがどのようなメカニズムで行われるかを解明することが可能となる。

このように、様々な錯視は、正常な視覚機能から生じる「現象」として、科学的研究の対象となってきた。そして、同時に、現象それ自体の解明が進むと、それを道具・ツールとした視覚機能解明のための研究が行われている。研究者の多くは、錯視それ自体のおもしろさ、研究対象としての錯視現象およびその仕組み、そして普遍的視覚メカニズムに斬り込むための道具としての錯視・

現象という少しアンビバレントな三つの立場のはざままで
苦しみ、楽しみながら日々の生活を行っている。

4. バーチャルリアリティにおける錯視

フランスのルーブル美術館を初めて訪ねたときに、特に有名でもない絵画にただただ圧倒された。それは、とてつもなく大きな絵であり、数メートル離れたところから眺めていると、人と動物と景色が圧倒的リアリティをもって目の前に広がり、美術館の壁の向こうに世界が広がっているように感じられた。そのとき、バーチャルリアリティの源はこんなところにもあるのだなと思った。ひたすら大きな絵画は何のために描かれたのだろうか。物理的に壁のあるところに、自然や宗教の世界を生き生きと知覚させるためではなかったのだろうか。一方、興味深いことに、日本には自然の風景を取り入れる「借景」という庭園技法がある。部屋から庭を眺めると、庭の遠く向こうにある山や自然が庭の一部として知覚され、庭全体の見えが完成する。庭という人工的な景色に、自然な景色を一旦バーチャルにして取り込む、しかし、知覚される庭は、バーチャルリアリティとしての本質的な(リアルな)風景なのである。

絵画作品には、多くの錯視がちりばめられている。今や古典的技法である遠近法や陰影、ある一点から見ると見事な立体感とリアリティが感じられる細密画、スーラ(Georges Seurat, 1959-1991)に代表される点描画法、エッシャー(Maurits Cornelis Escher, 1898-1972)の不可能図形や多義図形、ダリ(Salvador Dali, 1904-1989)のダブル・イメージ、現代美術におけるオプ・アートなど。それぞれに視覚心理学は、その脳内メカニズムを仮定し説明することができるが([8][13]などを参照のこと)、視覚心理から芸術への貢献は直接的ではない。アーティストは、これまでの技法や、大学・専門学校で習った基本的な視覚心理の知見(主に幾何学的錯視の集合)、試行錯誤で見つけた錯視・錯覚を作品に取り込んでいくが、最新の視覚心理・認知科学の知見が活用されることは少ない。現在、そのような試みがようやく行われようとしているところである[14]。

また、狭義の芸術ではないが、アミューズメントとしても錯視、立体視、運動知覚などは、古くから利用されてきた[15]。19世紀から20世紀初頭、小さな穴を覗き込むと奥行き感のある風景が見える箱やアニメーションや映画の起源といえるキネマトスコープなど様々な錯視装置が興行の道具として使われていた。錯視は、人々に驚きを与え、普段体験することのない世

界をリアルに感じることで、日常生活につかの間の幸せを与えてきた。

バーチャルリアリティは、その正統な後継者でもある。人工的な方法で感覚情報を生成し、本質的にリアルな知覚と体験をもたらす技術「バーチャルリアリティ(VR)」は、新しいアートとして、よりインパクトの強いアミューズメントとして、すでに私たちのまわりに現れてきている。

本論文では錯視に絞って話をしてきたが、聴覚、体性感覚、運動感覚などの錯覚も研究され、その現象から人の認知機構を解明する試みが行われている。VR技術は、このような研究を躍進させる可能性がある[16]。様々な感覚を同時に刺激できるVRは、新しい錯視・現象を生じさせることができる。また、これまでには生成することができなかったような感覚情報の提示も可能となる。例えば、視覚・運動の協応と順応について、従来は光学的な視野反転眼鏡が用いられてきたが、ヘッドマウントディスプレイと位置方位センサ、コンピュータを用いたVRによって、両眼視差のみの反転や頭部運動と網膜像運動の速度関係の定量的操作、陰影情報のみの反転など、自由度の高い刺激を作成することが可能となる。つまり、VRをツールとして用いることで、人間の正常な知覚・認知のメカニズムについてより深く調べることが可能となる。

錯視・錯覚の研究、知覚研究は、どのようにVRに貢献できるのか。例えば、一般的なコンピュータグラフィックスは、三次元モデルを二次元座標系に正確に変換(順光学)するものである。VRも、様々な感覚情報を、様々な提示ディスプレイ、メディアに変換(順変換)することを必要とする。ただし、VRの本質は、リアルな感覚・知覚をユーザに体験させることであるから、逆変換としての知覚(網膜像、感覚入力から知覚表象への変換・復元・解釈)が考慮されなければいけない。順変換がどれだけ正確であっても、その結果から人間が逆変換して知覚するものは、必ずしも最初に想定された世界ではない。したがって、難しい言葉で言えば、人間の視覚特性を考慮した順変換を行うことが必要となるということであり、やさしい言葉で言えば、よりよい錯視・錯覚をVRに取り込むべきだということである。

5. ユビキタス・イリュージョン

表題の「ユビキタス・イリュージョン」は、どこもかしこも錯視・錯覚であふれる楽しい、便利な世界を目指そうという気持ちを反映させたものである。私たちの視

覚は錯視そのものとも言えるし、知覚は錯覚そのものとも言えることを最初に説明した。その意味では、私たちの知覚世界は錯視であふれている。そして、いわゆる錯視図形、錯視を利用したアート、錯視・錯覚を利用したアミューズメント、科学博物館における展示等は、私たちの生活にうるおいをもたらし、同時に視覚・知覚・認知の不思議とその仕組みについて思いを巡らせる機会を与えてくれる。それは、科学の原動力ともなる。同時に、錯視・錯覚が芸術を拡張し、新しいアートを導くだろう。VRやインタフェース技術は、錯視・錯覚を意識的に創り出すことで、楽しい体験をもたらす、自然で効率的な、リアリティの高いものになる。もっと錯視を！

参考文献

- [1] デビッド・マー, 乾敏郎・安藤広志訳: ビジョン-視覚の計算理論と脳内表現-, 産業図書 (Marr, D.: Vision, Freeman (1982)) (1987)
- [2] リチャード・L・グレゴリー, 近藤倫明・中溝幸夫・三浦佳世訳: 脳と視覚-グレゴリーの視覚心理学-, ブレーン出版 (Gregory, R. L.: Eye and Brain, 5th edition, Oxford University Press (1998)) (2001)
- [3] 北岡明佳: 幾何学的錯視のリアリティ, 日本バーチャルリアリティ学会誌, Vol.10, No.1, pp.8-12 (2005)
- [4] Rock, I.: Perception, pp26-30, Scientific American Books (1984)
- [5] Rogers, B. and Graham, M.: Motion parallax as an independent cue for depth perception, Perception, 8(2), pp.125-134 (1979)
- [6] Sekuler, R. and Blake, R.: Perception, pp74-76, Alfred A. Knopf (1985)
- [7] Julesz, B.: Foundations of cyclopean perception. University of Chicago Press (1971)
- [8] 下條信輔: 視覚の冒険-イリュージョンから認知科学へ-, 産業図書 (1995)
- [9] Mamassian, P., Knill, D. C. and Kersten, D.: The perception of cast shadows, Trends in Cognitive Science, 2, pp.288-295 (1998)
- [10] Nijhawan, R.: Motion extrapolation in catching, Nature, 370, pp.256-257 (1994)
- [11] Murakami, I.: The flash-lag effect as a spatiotemporal correlation structure, Journal of Vision, 1(2), pp.126-36 (2001)
- [12] Dichgans, J. and Brandt, T.: Visual-vestibular interactions: Effects of self-motion perception and postural control, In R. Held, H. W. Leibowitz, and H. L. Teuber (Eds.), Handbook of sensory physiology (Vol. 8, pp. 755-804). (1978), Springer
- [13] Zanker, J. M. and Walker, R.: A new look at Op art: towards a simple explanation of illusory motion, Naturwissenschaften, 91(4), pp.149-156 (2004)
- [14] デジタルメディア作品の制作を支援する基盤技術 (科学技術振興機構戦略的創造研究推進事業), 研究総括 原島博, <http://www.media.jst.go.jp/>
- [15] Mannoni, L., Nekes, W. and Warner, M.: Eyes, Lies, and Illusions, Hayward Gallery: London. (2004)
- [16] 特集「心理学とVR」, 日本バーチャルリアリティ学会誌, Vol.8, No.3, pp.6-32 (2003)

【略歴】

北崎充晃 (KITAZAKI Michiteru)

国立大学法人 豊橋技術科学大学
工学部知識情報工学系 助教授

1992年東京大学文学部心理学専修課程卒業, 1994年東京大学大学院人文科学研究科心理学専攻修士課程修了, 1997年東京大学大学院総合文化研究科広域科学専攻博士課程修了. 1997年東京大学大学院人文社会系研究科助手, 2000年豊橋技術科学大学工学部知識情報工学系講師, 2003年より現職. 専門は知覚心理学・認知工学. 著書『認知心理学-知のアーキテクチャを探る-(共著)』.