

知覚的リアリティの科学

北崎 充晃

2016年7月22日発行 (Ver. 1.0) ●発行元: ちとせプレス

私たちは、世の中をありありとリアルに感じて日々を過ごしていますが、そのリアリティはどのように認識されているのでしょうか。ふとした拍子に、リアリティが「ゆらぐ」ことはあるのでしょうか。豊橋技術科学大学の北崎充晃准教授が、リアリティに迫ります。

Section 1

リアリティ事始め

「知覚的リアリティの科学」というタイトルで、リアリティとは何か、それをどうやって調べることができるのか、心理学とどういう関係にあるのか、最先端のバーチャルリアリティはどうなっているのか、リアリティが変わることで私たちの生活や社会は変わるのかなどについてお話ししていきたいと思います。第1回は「リアリティ事始め」として、普段何気なく使っている「リアル」や「リアリティ」「現実感」について考えてみましょう。

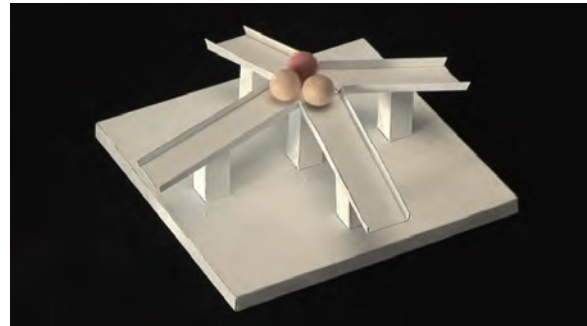
錯 視

図 1-1 の写真は、オーストラリアのメルボルンで私が撮ったものです。空港からバスでメルボルン駅に向かって途中でこのビルが見えて目を疑いました。

駅に着いて、大きなスーツケースを引きずってこの橋のふもとまで戻り、写真に収めました。各階の床が傾いて見えますよね。もちろん、傾いた床のオフィスでは仕事できませんから、実際には傾いていません。「リアルに傾いて見える」、しかし「現実には床は傾いていない」。ここに、リアルや現実の曖昧さがあります。リアルな感じ、リアリティ、そして現実感というときには、「(物理的現実ではそうではなくても)まるでそのように感じる」という意味が含まれていま



図 1-1 現実のカフェウォール錯視 (2008年6月19日に撮影)



動画1-1 Impossible motion: magnet-like slopes (the Best Visual Illusion of the Year Contest 2010)^{(2)*}

す。ちなみに、これは「カフェウォール錯視」をビルの壁にあしらったデザインです。カフェウォール錯視自体もイギリスのブリストルにあるカフェの煉瓦の壁(wall)で発見されたというのも面白いですよ。

次の動画 1-1 は、杉原厚吉教授(元東京大学、現在明治大学)が2010年の世界錯視コンテスト⁽¹⁾で最優秀賞を受賞されたものです。

ボールが坂を登っているように見えます。床にへばりついて、がしがし登って見えるので、ボールに意志があり、お互いに寄り添うように集まっているように

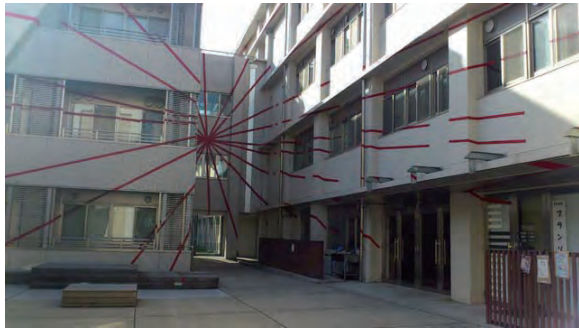


図 1-2 Twenty Points for Ten Straight Crossings, 名古屋大学, Felice Varini (2008) (2012 年 4 月 28 日に撮影)

も感じます。途中で答え（現実）が出てきますが、実際にはボールは坂を下っています。しかし、これらの坂がある特別な視点からだけまるで登っている坂のように見えるのです。そこからほんのちょっと視点をずらすともう坂は登って見えません。私たちはこういう特殊な視点を仮定することができないのです。それゆえ、ある一点から坂が登って見ると「どこから見ても登っている坂だろう」と知覚してしまうのです。

また、特殊な視点をを用いることで有名なアーティストがフェリーチェ・ヴァリーニ⁽³⁾です。図 1-2 は、彼が名古屋大学につくった作品を私が撮影したものです。ある視点のみから放射状の線が空間上に浮いて見えますが、実際は壁に不連続な線が描かれています。私はこれらの現象や錯視がとても好きです。見ていて楽しいというのがありますが、「人は特殊な視点ではなく一般的な視点を仮定して世界を知覚する」というのが私の博士論文のテーマだったからです（もうほぼ 20 年前のことなのですが）。

つまり、脳がいくつかの仮説をもっていて、それに基づき世界の見え方が決まっているのです。そして、物理世界の答えを知っても、もう一度この錯視を見えると、やっぱり登って見えたり、浮いた線が見えたりしてしまいます。

このように「リアルに見えること」の効果はとても強いのです。そして、それは知識によって修正することはできず、即座に生じ、自動的に強制的だといえるで

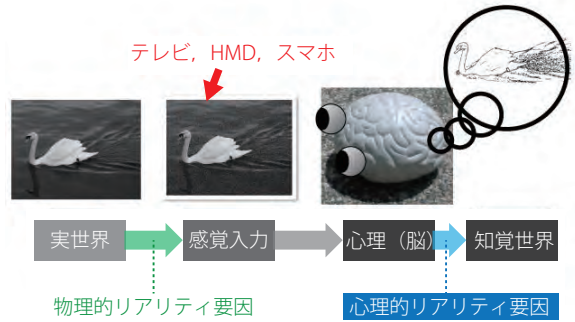


図 1-3 2つのリアリティ要因

しょう。

リアリティを決める 2つの鍵

どうもリアリティは知覚され、感じられるもののようなので。そこで以下のような知覚の処理に基づいてリアリティを考えてみましょう。

外界・実世界 → (感覚入力) → 脳 → (出力) → 知覚世界

知覚は、外界の情報が、「感覚情報」として、目や耳、鼻などの感覚器官に入力され、それが脳で処理され、知覚世界がつくられることで生じるとされています。私たちが、リアルかそうでないかを議論するのは、ゲームや映画やバーチャルリアリティなどの人工的な情報や装置に関することが多いと思います。ですから、感覚入力を実世界からそのまま網膜や耳などに到達するか、眼鏡や補聴器を介して到達するか、テレビやヘッドマウント・ディスプレイ (head-mounted display: HMD) に提示されるか、実写映像かコンピュータグラフィクスかなどが、リアリティを決める要因の 1つになります。つまり、感覚入力の正確さです (物理的リアリティ要因)。しかし、この知覚されている世界は脳がつくり出すわけですから、リアリティを決めるもう 1つの問題として脳や知覚処理を考えなければなりません (心理的リアリティ要因)。もちろんこの 2つは厳密に分けられないこともありますが、まずは 2つに分けて考えてみましょう。

入力の正しさ

デジタル化前のテレビを覚えているでしょうか。昔のテレビは近くに寄って画面を見ると赤青緑のたくさんの点が見えました。遠くから見るとそれらが組み合わせさってさまざまな色が知覚されました。また、視野の端でテレビを見るとチラチラと点滅して見えました。

昔はそれで十分満足していましたし、はじめてテレビ放送を見た人は白黒でもっと粗い画面であったにもかかわらず箱の中に人が入っているのではないかとテレビを覗き込んだという話があります。ちなみに、昔のテレビは板のような形状ではなく、奥行きのある箱だったのです（人が入るには小さすぎましたが）。最新のテレビは空間解像度（画面の細かさ）で2~4倍、時間周波数（運動の滑らかさ）でも2~4倍になっています。

最近のテレビ（ハイビジョンや4Kテレビ）やretinaディスプレイのiPhoneをはじめ見たときには美しさにびっくりしました。これまでのテレビのリアリティが下がって感じ、これまで満足していたのが不思議なくらいでした。また、解像度を増すだけで、立体感も増すとよくいわれています。それが、両眼立体視（左右の目に映る映像のずれ）を用いた3Dテレビが一般的にならない理由の1つではないかともいわれています。このように時空間解像度はリアリティにとっても強い影響をもっています。時空間解像度が高ければ高いほど、実世界にある情報がより正しく人の目に届くといえるでしょう。ここまで視覚の例を挙げましたが、聴覚や触覚など他の感覚でも同様の解像度の効果があります。

もう1つの入力（聴覚）の正しさは、人工的に映像や音を作成するときのモデリングの精度です。コンピュータグラフィックス（CG）がわかりやすい例です。CGは滑らかな実空間を、どうやってデジタル情報で表現するか、また光が物体にあたったときにどのように反射が生じて、人の目に投影される画像となるかを計算して再現します。一般的な方法では、滑らかな表面をいくつもの平面（ポリゴン）の組み合わせとして近似します。次に、光源と物体表面の反射（拡散反射、鏡面反射）を仮定し、表面の明るさを計算します。この光線追跡・反射の計算手法はどんどん発展しており、最近では物体表面下（内部）での拡散も仮定することで半透明の物体のCG表現もかなり高いリアリティで実現できています。最新の映画やゲームの画面はもはやCGなのか実写なのかほとんど区別がつかないところまで来ています。

心がつくるリアリティ

少し工学的な話が続きましたが、次は、心理的なリアリティ要因の面白さを紹介します。図1-4に示す図形は錯視というよりは多義図形あるいは曖昧図形とよばれるものです。

本当は、斜めに配置した2つの点（右上と左下、右下と左上）が入れ替わっているだけです。まず、点がつ

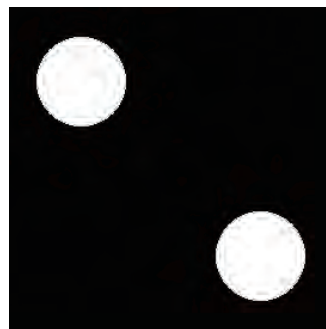


図 1-4 縦にも横にも見える運動*

いたり消えたりするだけで運動が知覚されるのが不思議です。ついたり消えたりする点の間には何もありませんが、そこを点が連続的に動いているように見えます。これは仮現運動といわれる現象です。教科書の隅にちょっとずつずらしてマンガを描いて、ページをばらばらめくって連続して見るとアニメーションのように見えます。テレビもアニメも映画もこの現象を利用しています。リアルな運動が心（脳）でつくられているといえます。

人によって、横に動いて見えたり、縦に動いて見えたりすることも不思議です。その運動方向もしばらく見ていると変わります。人によっては、くるくるまわって見える人もいます。つまり、目に入っている刺激が何も変わらなくても、人によって時によってリアルに知覚される内容が変わってしまうのです。したがって、心がリアリティをつくっているといえます。

心がつくるリアリティといえば、*THE MATRIX* という映画が思い出されます⁽⁴⁾。この映画では、たくさんの人が水槽の中に入れられて管でつながれ、全員の脳活動が創り出している世界 *MATRIX* が主題となっています。脳が知覚を創り出すのですから、脳だけでも知覚世界をつくれ、多くの脳を接続することで社会もつくれるという世界観が見て取れます。

もう1つ、少し悲しいお話ですが、ドラえもん最終回の都市伝説（嘘）を紹介します。最近流行った嘘は、将来のび太が科学者になりドラえもんを開発するという心温まる話ですが、私が子どもの頃の嘘は、「すべては交通事故にあって意識不明になっているのび太の夢だった」というものです。最後のシーンは、ベッドに横たわるのび太をご両親やジャイアン、スネ夫、しずかちゃんが心配そうに見守っているものです。ドラえもんはのび太の脳の中にしか存在しません。もちろんこれはまったくの嘘ですが、夢の中では夢と現実を区別できないことに基づいています。小説や映画で「夢落ち」が存在するのも、夢のリアリティが現実と変わらないからでしょう。

実際、夢を見ているときのリアリティはすごいものがあります。夢を見ている瞬間は現実ではないと疑いませんし、夢ではないかと疑うときも、知覚的なリアリティの低さから疑うということはありません。夢を見ているときには、実世界からの感覚入力はありませんから、脳の活動だけで知覚世界がつけられているといえます。それゆえ、脳を刺激することだけでリアルな知覚世界や感覚をつくり出せるのではないかと思います。現在の科学技術（2016年3月時点）ではそこまでのものはまだできていません。ただし、知覚内容を変えることやとても粗い映像を知覚させることには成功しています。これらはまた後の回で紹介したいと思います。

知覚・感覚の心理学は、知覚的リアリティがつけられる仕組みを解明しているともいえそうです。また、バーチャルリアリティ研究においても、人の心の仕組みや脳の機能を利用して、知覚的リアリティを制御したり、つくり出したりしようとしています。次回からはこれらについて紹介したいと思います。

■ おわりに

今回は、いくつかの例を示しながら、つらつらと「リアル」や「リアリティ」「現実感」についてお話をしました。何となくこれらの言葉の意味が伝わったでしょうか。また、感覚入力の正しさ（物理的リアリティ要因）と心のつくるリアリティ（心理的リアリティ要因）の2つを考えることで、体系的に知覚的リアリティの解明や操作に挑むことができそうだと思っただけでしょうか。次回は、バーチャルリアリティ研究の実際についてご紹介したいと考えています。

■ 文献・注

- (1) 世界錯視コンテストのサイト
<http://illusioncontest.neuralcorrelate.com/>
 - (2) Impossible motion: magnet-like slopes (YouTube)
<https://www.youtube.com/watch?v=hAXm0dIuyug>
 - (3) ヴァリーニ (Felice Varini: 1952-) のサイト
<http://www.varini.org/>
 - (4) THE MATRIX. ラリー・ウォシャウスキー, アンディ・ウォシャウスキー監督, 1999年。
- * 動画は Web を参照。

Section 2

バーチャルリアリティ —— リアリティをつくり、変える技術

前回は「リアリティ事始め」として、「リアル」や「リアリティ」、「現実感」とは何かを考えました。正しい感覚入力と心の作用が知覚的リアリティに必要なことがわかりました。今回は、それらを用いてリアリティを創り出し、操作する技術「バーチャルリアリティ」(Virtual Reality, VR) について、比較的古典的な研究を中心に、最新の技術までを紹介します。

■ VR の誕生

バーチャルリアリティの誕生年をどう定義するかは難しいのですが、1989年という説があります。この年は、ジャロン・ラニアー⁽¹⁾が、VPL Research社を率いて、データグローブとヘッドマウント・ディスプレイからなるシステムを「バーチャルリアリティ・システム」として紹介した年です。それによってバーチャルリアリティ (VR) という言葉や概念が普及したと言われていています⁽²⁾。彼らが発表したのは単体の要素技術や新装置ではなく、いくつかの装置を組み合わせ、それらを統合して機能するソフトウェアを含む「システム」であることに注目するべきだと思います。

この VPL Research 社による Reality built for two (RB2) は、新開発のヘッドマウント・ディスプレイ EyePhone と手の動きをリアルタイムに計測するデータグローブ Data Glove 2 に加えて、他社の磁気式三次元位置方位計測装置 Isotrak, Mackintosh のコンピュータ, Silicon Graphics のワークステーションなどを組み合わせたものでした⁽³⁾。それによって、ユーザがさまざまな VR の開発ができるシステム (開発プラットフォーム) として提案されました。この EyePhone という名前は、イヤホン (Earphone) から連想されてつけられたらしく、目に直接情報を提示するという意味で秀逸な命名だと思います。そして何よりその名前 (for two) の示す通り、2人のユーザがサイバースペースでリアルタイムにインタクレーションできることを核としていることも、これを VR の誕生と考えてもよいと私が思う理由です。VR は、要素技術ではなくシステム技術であり、サイバースペースに没入し、そこで環境および他者とのインタクレーションを行うもの、という最初のコンセプトが明確に示されています。



動画 2-1 Ivan Sutherland - Head Mounted Display ⁽¹¹⁾ *

VR の前史

心理学の誕生は、1879年にドイツのヴント⁽⁴⁾がライプティヒ大学に心理学実験室を開設したことと言われています。しかし、同時に心理学史では、ギリシア哲学におけるプラトン⁽⁵⁾やアリストテレス⁽⁶⁾による心とは何かという問題やデカルト⁽⁷⁾の心身二元論、その他多くの哲学者の心に関する論考が実験心理学・基礎心理学誕生の前史として存在したことが大切であると説明されます。VRにおいてもやはり同じことが言えます。VRがシステムとしてその概念が広まる前に、最初のヘッドマウント・ディスプレイや多感覚提示装置が発表されています。

最初のヘッドマウント・ディスプレイとされているのは、サザランド⁽⁸⁾が1968年に発表したとされる通称The Sward of Damocles (ダモクレスの剣)です⁽⁹⁾。このシステムは両眼の前に小さなCRTディスプレイを光学系を通して配し、頭部(視線)方向に対して適切なコンピュータグラフィックスが両眼立体視(3-D)で提示されるものでした。しかも、透けて見えるシースルー型になっており外界の情報が遮られずに見え、その中にコンピュータグラフィックスが重ねて提示されました。いまでいう複合現実感ディスプレイです。その重さを支え、頭部運動を計測するために天井からぶら下げられていたのがダモクレスの剣の故事⁽¹⁰⁾を連想させます。

ハイリグ⁽¹²⁾は1960年頃にSensoramaとよばれる多感覚情報提示装置をつくっています。その名はSensory Panoramaの造語でさまざまな感覚を刺激するという意味でしょう。この装置はまるで昔のゲームセンターの機械のようです。そのアーケードゲームのような筐体に座り、ディスプレイの前に頭を入れると、広視野角の映像に加え、三次元音響、振動、風や匂いが同時に提示されたといえます。さまざまなモダリティ(五感感覚)を同時に用いて、リアルな体験をさせようとしたものです。



動画 2-2 Morton Heilig's Sensorama (Interview) ⁽¹³⁾ *

見渡すとその世界の中に没入して感じられる体験を生み出すヘッドマウント・ディスプレイと視覚、聴覚、体性感覚、嗅覚などさまざまな感覚を同時に刺激する多感覚提示装置がすでに1960年頃につくられていたのは驚くべきことです。この2つはVRの中核要素といえるでしょう。これらに加え、コンピュータの計算速度の向上、コンピュータグラフィックスの進歩、磁気やジャイロなどの位置・方位センサの開発などがその後のVRの発展をもたらしました。

ヘッドマウント・ディスプレイ

VRを特徴づけるものは、何と言ってもヘッドマウント・ディスプレイ(以降、HMD)でしょう。眼のすぐ近くにディスプレイを配置するので視野を覆いやすく、広視野角の映像を提示することで没入感(VRの世界に入り込んでいる感じ)が生じやすくなります。左右の眼に異なる映像を提示することも容易なために、両眼立体視での三次元表示に向いています。これまでも1995年には任天堂からバーチャルボーイという覗き込むタイプのHMD風ゲームが発売され、1990年には100万円から1000万円を超えるレンジで多くのHMDが販売されました。2000年代には液晶ディスプレイが廉価になり、視野角は狭いが10万円程度の安価なものも出てきました。

ただし、HMDはそれほど一般的にはなりません。やはり重い装置を頭部に被るという不便さがあります。また、安価なものは視野角が狭い(広くするためには高価な光学系を搭載しないとイケない)という問題がありました。そして何よりHMDは頭部(視線方向)を動かしたときに、それに連動した映像の変化が適切に提示されないと意味がないという問題があります。この頭部運動との連動は、多くの場合別売りのセンサを購入し、自分で連携するプログラムを書くか、非常に高価なVR用の統合開発ソフトウェアを導入する必要がありました。筆者も1990年代半ばから

これら両方の方法で VR 環境をつくって実験をしてきましたが、満足のいくようなものにはなかなかありませんでした。どうしても頭部運動と映像の動きがずれて（遅延して）しまうのです。VR 分野で一般的な磁気センサは 1 秒間に 60 回（せいぜい 240 回）の計測しかできず、最低でも 17 ミリ秒遅れ、複雑な処理をするとその何倍も遅れます。そうするとどうしても世界は静止して見えず、頭を動かすたびに少し揺らいている映像世界（実世界ではなく）を見ている印象になります。

頭部運動をすると、そのときそのときの目の前の景色がちゃんと見える、ということが没入感にはとても大切です。それが視覚世界のリアリティを生みます。その正反対は、知覚心理学で使われる逆さメガネ（視野反転眼鏡）です。歴史のある心理学研究室には必ずありますので、興味のある人は先生に聞いてみてください。逆さメガネは、プリズムを用いて左右あるいは上下に視野を反転させます。光学系だけです。時間の遅れはありませんが、頭を右に向けると視野がいつもと逆の右に動くので世界が急激に動いて見えます。ほとんどの人は頭を数回振るだけで酔って気持ち悪くなってしまいます。知覚的なリアリティを壊すと、現実感がなくなるだけではなく、気持ち悪くなってしまおうと考えることもできます。

2016 年は HMD 革命の年と言われています。第二次 VR ブームと言えるかもしれません。2014 年にオキュラス社から Oculus Rift DK2 (Development Kit 2) が開発者向けに発売されました。日本からの購入でも 350 アメリカドルに送料 75 アメリカドルで当時 5 万円以下で入手できました。本研究室にも 4 台導入しました。このシステムが人気を博した最大の理由は、頭部運動を計測するジャイロセンサが内蔵されており、Unity という開発環境の無料版で簡単にプログラムすることができたことでしょう。その頭部運動計測は 1000Hz (1 秒間に 1000 回) とされており、体験的にもこれまでにない頭部運動との連動性の正確さ、素早さがあります。そのおかげで、VR の世界がぴたっと止まって見えます。そして、解像度はそれほど高くないものの（単眼で横 960 × 縦 540 pixel 相当）、非常に広い視野角（横 90 × 縦 110 pixel）とコントラストの高い有機 EL ディスプレイを有しています。HMD としては質的な変化ではなく、あくまでも量的改善といえますが、体感としてのリアリティの高さは多くの人に強いインパクトを与えました。2016 年には製品版が出荷されており⁽¹⁴⁾、値段は価格の上昇と為替変動のせいで 10 万円弱となっています（残念ながら筆者の手元に来るのは 7 月半ば以降の予定ですので、使用感はお伝えできません）。同様の



図 2-1 HMD (Oculus Rift DK2)

HMD はそのほかにも、HTC 社の Vive⁽¹⁵⁾ がすでに発売され、ソニー社も Play Station VR⁽¹⁶⁾ の発売を予定しています。スマートフォンを眼前に設置して見まわせるようにする装置（紙製、プラスチック製など）も身近になっており、さまざまな方法で簡単に VR が体験できるようになっています。

三次元音響

視覚の次によく研究されているのは聴覚・音響ディスプレイです。音がどこから聞こえているかわかることを音源定位といい、聴覚心理学や音響工学でも研究されています。その中でも VR で注目されるのは、頭部伝達関数を用いた三次元音響です。頭部伝達関数というのはとても難しい言葉ですが、外界に音の発生源があるときに、ヒトの耳にある鼓膜まで音がどのように変化して伝わるかを記述するものです。じつは、音はそのまま鼓膜に届くのではなく、顔の表面や耳たぶ、外耳道などで複雑に変化を受けています。私たちの脳は、自分の頭、顔、耳の材質や形の情報を使って、鼓膜に届いた音から、それがどこから伝わったのかを推定しているともいえるでしょう。

これを簡単に実現するのは、バイノーラル録音です。実際に耳の中にマイクを入れて録音する方法や、ダミーヘッドとよばれるヒトの頭部を模擬した装置にマイクをつけて録音するものです。いまは、ローランド社から専用のマイクロホンが 1 万円程度で販売されていますし⁽¹⁷⁾、自作すれば数百円でできます。この方法で録音した音は、特に後ろから話しかけられると高いリアリティでそこに他者の存在感を感じます。これを利用したのが、アミューズメントパークにある三次元音響のアトラクションです。よく見かけるのは、テーブルに何人かで座り、ヘッドホンをつけると部屋が真っ暗に成り、恐怖体験をするものです。機会があれば、ぜひ体験していただければと思います。

一方、バイノーラル録音ですと録音した音の再生しかできませんので、頭部伝達関数を記述し、それをさまざまな音にコンピュータの処理でかけ合わせることで、自由に立体音響をつくり出すことができます。ただし、人それぞれで頭部や耳の硬さや形が違うこと、関数の精度の問題などもあり、実際のリアリティはそれほどでもないものもあります。

■ 身体が動いている感覚

先に三次元音響の話で触れましたが、VRはディズニースタジオやユニバーサル・スタジオなどアミューズメントパークや遊園地でよく利用されています。その中でも人気が高いのは、自分の身体が動いて感じられるものです。古くは「びっくりハウス」というアトラクションがあり、部屋の中にあるブランコに乗っていると、本当は少ししか揺れていないのにぐるぐる回転して感じられます。実際には、外側の部屋が回転しているのですが、自分の乗ったブランコと自分自身が回転して感じられます。スター・ツアーズ（ディズニースタジオ）やバック・トゥ・ザ・フューチャー・ザ・ライド（ユニバーサル・スタジオ）、アメーzing・アドベンチャー・オブ・スパイダーマン・ザ・ライド（ユニバーサル・スタジオ）なども同様に、椅子が振動すると同時に、映像が大きく動くことで、自分自身が動いて感じられます。これらは、ベクション（視覚誘導性自己運動知覚）という現象を利用したもので、VRでも自己運動を体験させるのによく使われるものです。そして何より人がびっくりする体験として非常に強いものです。

私たちは、自己身体の移動感覚を前庭感覚や視覚を用いて行っています。前庭感覚は耳の奥にある三半規管や耳石による感覚（平衡感覚）で、速度が変わるときによく生じます。一方、速度が変わらないときには前庭感覚は機能せず、視覚情報が優位になりますので、視覚を使って大きな自己移動を体験させられるのです。それゆえ、動き始めや方向転換などをリアルに体験させるために椅子を動かして前庭感覚を刺激し、その後うまく視覚情報につなげることで全体的にリアルな移動体験をもたらすことができます。

■ おわりに

今回は、バーチャルリアリティの歴史、装置などの基本要素技術、特に視覚、聴覚、自己運動感覚に関するリアルな体験の生成法についてお話をしました。

VRの歴史はまだ30年に満たないくらいです。日本バーチャルリアリティ学会⁽¹⁸⁾が昨年20周年でした。心理学の歴史は130年を超えます。それでも物理学や建築学に比べればはるかに新しい学問と言われている。つまり、VRには歴史と言えるほどのものはまだありません。いまずぐ飛び込む勇気があれば、まだまだVRの基礎の基礎、その本質をつくることができます。

■ 文献・注

- (1) ラニア（Jaron Zepel Lanier, 1960- ）。
 - (2) 館暲(2002).『バーチャルリアリティ入門』ちくま新書
 - (3) Blanchard, C., Burgess, S., Harvill, Y., Lanier, J., Lasko, A., Oberman, M., & Teitel, M. (1990). Reality built for two: A virtual reality tool. *ACM Proceedings of the 1990 symposium on Interactive 3D graphics*, 35-36.
 - (4) ヴント（Wilhelm Max Wundt: 1832-1920）。
 - (5) プラトン（Platon: BC 427-BC 347）。
 - (6) アリストテレス（Aristotélès: BC 384-BC 322）。
 - (7) デカルト（René Descartes: 1596-1650）。
 - (8) サザランド（Ivan Edward Sutherland: 1938- ）。
 - (9) Sutherland, I. E. (1968). A head-mounted three dimensional display. *Proceedings of AFIPS 1968*, 757-764.
 - (10) 「ダモクレスの剣（The Sword of Damocles）」（Wikipedia）
<https://is.gd/FUMry1>
 - (11) Ivan Sutherland - Head Mounted Display（YouTube）
<https://www.youtube.com/watch?v=NtwZXGprxag>
 - (12) ハイリグ（Morton Leonard Heilig: 1926-1997）。
 - (13) Morton Heilig's Sensorama (Interview)（YouTube）
<https://www.youtube.com/watch?v=vSINEBZNCKs>
 - (14) オキュラス社 Oculus Rift のサイト
<https://www.oculus.com/ja/rift/>
 - (15) HTC 社 Vive のサイト
<http://www.htcvive.com/jp/>
 - (16) ソニー社 Play Station VR のサイト
<http://www.jp.playstation.com/psvr/>
 - (17) ローランド社 バイノーラル マイクロホン
 - (18) 日本バーチャルリアリティ学会のサイト
<http://www.vrsj.org/>
- * 動画は Web を参照。

Section 3

リアリティを超えていく

初回はリアリティについての素朴な疑問やその理論的考察を行い、今回はリアリティを創り出し操作するバーチャルリアリティ（Virtual Reality, VR）技術を紹介しました。今回は、リアリティについてもう少し考えてみたいと思います。そして、最近 VR ではやっているリアルではないリアリティの創出技術について紹介しようと思います。それらは知覚心理学と VR が手を

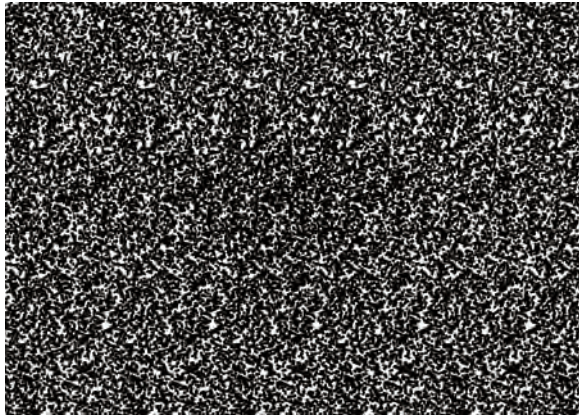


図 3-1 オートステレオグラム——凸あるいは凹

取り合って発展している研究テーマです。

奥行きのリアリティ

図 3-1 はオートステレオグラムと呼ばれるものです。裸眼で平行法（両眼を遠くを見るときのように視線を平行気味にして、ピントを画像に合わせる）あるいは交差法（寄り目にして、ピントを画像に合わせる）にすると奥行きのある形状が知覚されます。私たちは右目と左目とで少しだけ異なった映像を見ており、そのことにより奥行きのある知覚を得ています。これは右目用・左目用とで異なる画像を 1 枚の画像の中に繰り返すように埋め込んだものです。平行法だと中央にでっぱりが、交差法だと中央にへこみが見えると思います。

この種の画像が 20 年くらい前にはやりました。薄くて大きな本が何冊も売られ、ベストセラーになりました。人気が出た理由は 2 つだと思います。1 つは平面なのに奥行きが見えること。もう 1 つは平面だと見えない形が見えることです。後者はまさにユレシュ（Béla Julesz）がランダムドットステレオグラムを用いて発見した形の検出に先立つ両眼対応問題の解決に関することです。両眼対応問題とは、左右の目の画像のどれとどれが対応しているのかという問題です。これが解けないと左右画像の差が抽出できず奥行きを導くことができません。ランダムドットステレオグラムでは左右のそれぞれの画像には形が見えず、白黒の点が並んでいるだけなので簡単には対応がとれないのに、奥行きが見えるのです（詳細は、教科書⁽¹⁾や専門書⁽²⁾をご覧ください）。

平面なのに奥行きが見えることも不思議ですが、人によっては、「奥行きが見えること」自体を不思議と感じたようです。ある著名な科学者が本の前書きで、「人間の脳にこのような機能があることが不思議だ」と書いており、対応問題の解決のことととらえられな

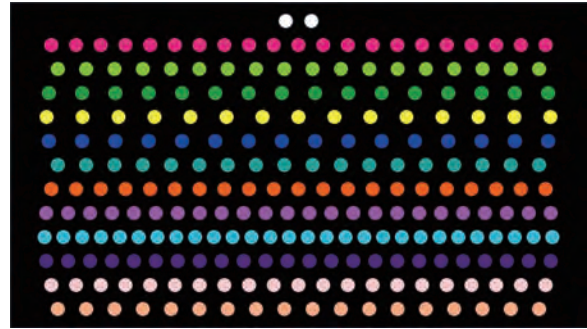


図 3-2 オートステレオグラム——横の波

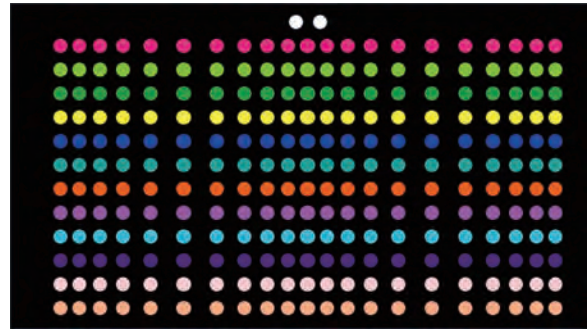


図 3-3 オートステレオグラム——縦の波

くありませんが、両眼で見ることで立体視が生じることそのものを不思議と言っていると誤解されかねない表現もありました。

一般的には「飛び出して見える」本やテレビや映画はびっくりするものです。一方で、日常生活で見る景色はすべて飛び出している、まさに 3D ですが、これに対して「飛び出しているなあ」とか「まさにリアルな 3D」と思うことはありません。本当にリアルなことには案外リアリティを感じません。平面なのに飛び出している、とか形が見えないのに形が現れるというギャップ（あるいはコントラスト、対比）に知覚的リアリティの本質があるのかもしれませんが。完全にリアルな世界を創り出してしまったら、映画 *MATRIX* の世界のように誰も気づかなくなり驚きもなくなってしまいます。

オートステレオグラムをあと 2 つ掲載します。最初のもは奥行きが縦方向に変化しており、次のものは奥行きが横方向に変化しています。2 つ目の、奥行き変化が横方向のものの方が知覚しにくい傾向にあります。ということは現実世界での奥行き（奥行きのリアリティ）も縦方向の変化の方が横方向の変化よりも効果が強いといえるのでしょうか。

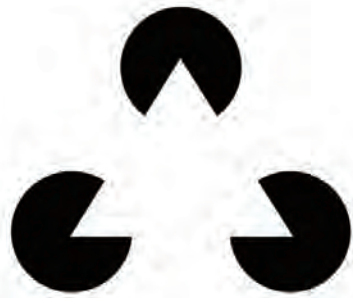


図 3-3 主観的輪郭——カニツツアの三角形

感じるリアリティと感じられないリアリティ

日常の奥行き知覚に気づかないように、普段の現実にはあまりに自然すぎてリアリティを感じることはありません。一方、ちょっと違うリアリティ、ないはずのところにある何かに強いリアリティを感じます。知覚心理学では、主観的輪郭という現象があります。図 3-3 はカニツツアの三角形とも呼ばれる有名な主観的輪郭図形です。この中央にないはずの三角形が見えます。ないはずの輪郭が見え、三角形の領域は手前に、やや明るく知覚されます。この三角形の存在もずいぶんリアルに感じます。

ここでも、感じるリアリティは実際にはそこにはないはずの事象だといえます。日常で触れている本当の現実についてリアルだと気づくことはあまりないのに。実際、毎日毎時リアルであることに気づいていたら疲れてしまうし、注意を向けるべき特別な事象を検出するのが難しくなってしまいます。つまり、私たちのデフォルト、標準としての現実にはあまり意識には上りません。意識に上る、注意されるリアリティは、そこから少し外れた何かなのです。

バーチャルリアリティの研究は、究極のインタフェースを目指して始まりました。普段の人の身体や行為がそのまま機械や外界、サイバースペースとのインタクシオンにつながり、装置や操作・方法について何も意識することなく、まさに気づかないリアリティを実現するインタフェースを目指したのです。その一方で、自然なリアリティを超えて、ありえないびびっと感じるリアリティやあざといリアリティを追求するバーチャルリアリティが最新のトレンドとして登場しています。

視覚が創り出す触覚

知覚心理学に多感覚統合あるいは複合感覚統合とい

う研究領域があります。有名なものは、腹話術効果です。腹話術師は、人形の顔を操作しながら自分の口でしゃべっているのですが、観客は人形がしゃべっているように感じます。つまり、腹話術師は口をなるべく動かさず、人形の口や顔を動かすことで、見ている・聞いている人は声が物理的な発生源である腹話術師の口ではなく、人形の口から発せられていると知覚するのです（音源定位が視覚に影響されて捕捉される）。このように視覚、聴覚、触覚、味覚、嗅覚などの異なる感覚は、お互いに影響し合い、また複数が組み合わせられることで新しい感覚がつけられます。それを多感覚・複合感覚の統合といいます。これが、いま VR で最も注目を浴びている領域の 1 つです。最近話題になっている、多くの安価なかき氷のシロップや飲料が実は色しか違わない（匂いも違うものもあります）が、異なる味を感じるという現象も視覚と味覚の複合感覚現象です。

疑似触覚 (Pseudo Haptics) は、そのような VR における複合感覚のトレンドをつくった先駆けともいえるものです。ユーザがマウスなど操作デバイスを動かしたときに、画面に提示される視覚的なカーソルの速度を操作することで、疑似な触覚を感じさせることができます。例えば、マウスを動かしたときにカーソルの速度が遅くなったり、止まったりすると、出っ張りや抵抗、粘性を感じます。フランスの国立研究所 INRIA (Institut National de Recherche en Informatique et en Automatique) のレクイエ氏 (Anatole Lécuyer) による動画がよい説明になっています⁽³⁾。

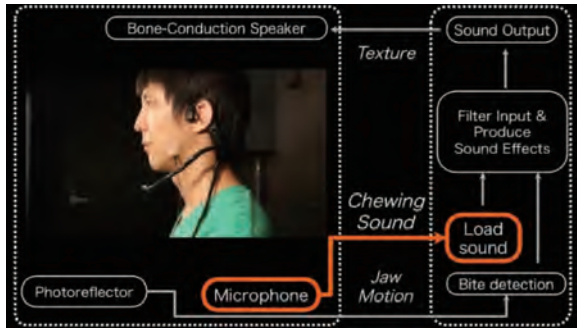
また、これにカーソルの大きさの変化や音を組み合わせるとよりバラエティのある疑似触覚を体験できるサイトもありますのでぜひ体験してみてください⁽⁴⁾。

疑似触覚はとても簡単な装置で触覚を生じさせることができ、まさにそこにはないリアリティを創り出すものといえるでしょう。

聴覚が創り出す触覚

ポテトチップスを食べたときにパリッと良い音がすると、クリスピーな食感を感じるという知覚心理学の研究があります⁽⁵⁾。逆に鈍い音を聞かせると湿気ているように感じるのです。これを VR に応用したのが東京大学・稲見昌彦氏らによる Chewing Jockey というシステムです。

人がものを咀嚼する瞬間をセンサで検知し、適切なタイミングで操作した音を骨伝導で提示します。それによってクリスピー感や柔らかさなどを変化させるこ



動画 3-1 稲見昌彦氏らによる Chewing Jockey ⁽⁶⁾ *

とができます。ビデオの後半では、ミミズのようなグミを咀嚼するとき動物の鳴き声のような音を提示するアプリケーションを紹介しています。そのような体験は日常生活ではありませんが、面白い食感を感じます。ポテトチップスやせんべいの堅さを聴覚で変化させるのはリアリティの操作ですが、ミミズが食べられている感覚を提示するのは新しいリアリティの創出といえるでしょう。そのありえなさがエンターテインメントとして秀逸でもあり、食を拡張するものといえるでしょう。

未知の感覚リアリティ

他にもリアリティを超えた VR は次々続々と登場しています。例えば、食べ物がお腹を通して消化されていく感覚を体験させようとするシステムを電気通信大学の梶本裕之氏らは提案しています。

胃や腸などの内臓については普段はほとんど感覚がありません。それらがどこにあるか、どういう動きをしているかも意識することがほとんどできません。内臓感覚で明確に意識できるのはせいぜい痛みくらいです。それを逆にとり、ないはずの内臓感覚を触覚や聴覚で創り出し体験させるのがこのシステムです。まさに未知の感覚リアリティを創出しています。

また、刀で身体をぱさぱさ切られる感覚や身体を貫かれる触覚を体験させるシステムを NTT コミュニケーション科学基礎研究所の渡邊淳司氏らが開発しています。

他にも多数のシステムやコンテンツがありますが、特に触覚に関係したものが多く、面白い気がします。これは触覚がまさに身体に直結したものであり、リアリティを身近なものとして直感的に感じやすいからではないでしょうか。他の情報への案内として渡邊淳司氏が主宰するサイト「触感コンテンツ 100 選」を紹介しておきます。ここでは多くの未知のリアリティを体験することができます⁽⁹⁾。



梶本裕之氏らによる ViVi-Eat ⁽⁷⁾ *



渡邊淳司氏らによる身体貫通感 ⁽⁸⁾ *

おわりに

今回は、感じるリアリティと感じないリアリティについて再考し、バーチャルリアリティ (VR) の比較的新しい研究として注目されているリアリティを変え、リアリティを超える技術について紹介しました。VR は、現実をそっくりまねる研究からリアリティを創り出す研究へと進化したことで、無限の可能性・将来性を得たといえるでしょう。

文献・注

- (1) 道又爾・北崎充晃・大久保街亜・今井久登・山川恵子・黒沢学 (2011). 『認知心理学 — 知のアーキテクチャを探る (新版)』有斐閣
- (2) 下條信輔 (1995). 『視覚の冒険 — イリュージョンから認知科学へ』産業図書
- (3) INRIA・Anatole Lécuyer による疑似触覚のサイト <http://www.irisa.fr/tactiles/index.html>
INRIA・Anatole Lécuyer による動画 http://www.irisa.fr/tactiles/WEB2/IMAGES_TACTILES/video.html
- (4) 明治大学・渡邊恵太氏による疑似触覚のサイト <http://www.persistent.org/visualhaptics.html>
- (5) Zampini, M., & Spence, C. (2004). The role of auditory cues in modulating the perceived crispness and staleness of potato chips. *Journal of Sensory Studies*, 19, 347-363.
- (6) 稲見昌彦氏らによる Chewing Jockey (YouTube) <https://www.youtube.com/watch?v=4Vq-6-ng-44>
- (7) 梶本裕之氏らによる ViVi-Eat (YouTube) <https://www.youtube.com/watch?v=Oggo8aTLFBc>

- (8) 渡邊淳司氏らによる身体貫通感 (YouTube)
<https://www.youtube.com/watch?v=O7VZ7TMWmPs>
- (9) 渡邊淳司氏らによる触覚コンテンツの紹介サイト
<http://www.touch100.org/>
- * 動画は Web を参照。

Section 4

社会に生きるリアリティ

前回、「リアルを意識するのはリアルではないときやリアルを超えているとき」というお話をしました。そんなリアリティあるいはバーチャルリアリティ (VR) が私たちの現実社会とどう関わっていくのかについて、最終回では取り上げたいと思います。

VR 元年

産業界は、今年を「VR 元年」として一般消費者向けに VR を普及させようと考えています。新聞、テレビ、雑誌などのメディアも VR 元年という言葉を用い、さまざまな特集やイベントを行っています。まず、電話、テレビやゲームの拡張としてお茶の間に入ることが想定されています。VR が私たちの生活や社会をどう変えるのでしょうか。

新しい体験

VR は私たちが普段体験できない世界や新しい世界をリアルに体験することを可能にします。例えば、病気や障害、高齢などが理由で遠くに移動できない人がテレビでしか見たことのない場所をあたかもそこにいるかのように体験することができます。ヒトにとって移動は本質的欲求の 1 つとも考えられますし、新しい世界を知ることは知的欲求の最大のものの 1 つです。動画 4-1 は、旅行代理店 Expedia が社会貢献として行っている小児病院の子どもたちへの旅行体験の提供です。子どもが手を伸ばして動物や人に触ろうとしているところが高いリアリティを表しています。

私の研究室でも、首都大学東京の池井寧教授、電気通信大学の広田光一教授と共同で四肢を動かさない人でも自分で歩いているような感覚を体験できる装置を開発しています⁽²⁾。人が歩くときには、左右の足を交互に繰り出し、地面に接地しながら前に進みます。同時に、頭部が上下左右に少し揺れ、視野には拡大しながら揺れる映像が流れます。地面への足の接地と視覚映像の揺れはリズムカルで、ある程度一致していま



動画 4-1 Expedia による VR 旅行体験^{(1)*}



動画 4-2 テレプレゼンス歩行体験 (豊橋技術科学大学北崎研究室)^{(4)*}

す。この視野の揺れと足裏の接地に対応する振動を人工的につくり、ヘッドマウントディスプレイ (HMD) に映像を提示すると足も上半身も動かしていないのに、「歩いている」感覚が生じます。視野いっぱいには流れる映像は自分の身体が移動している感覚「ベクション」を生じます (第 2 回記事参照)⁽³⁾。これらによって、体験者は映像の中、映像が撮影された場所にいるような感覚「テレプレゼンス」(tele-presence) を感じるのです。ただし、まだ実際に足を交互に繰り出している感覚をつくり出すには至っていません。リズムカルな足裏振動は歩行中枢を刺激することが示唆されますので、歩行のリハビリや寝たきりの老人の認知症予防に貢献する可能性も今後追求していきたいと思っています。

VR コミュニケーション

家庭に VR が導入される場合に容易に想定できるのは、リアルなテレビ電話のようなものです。子どもが遠くに住む祖父母と一緒に部屋で遊んだり、単身赴任している親と家族が食卓を囲んで一家団欒を過ごしたりすることができます。むしろ、わざわざ会社に行ってしまう仕事や赴任して行く仕事が VR を介して在宅でも可能となり、私的生活は現実の空間で、仕事は VR でというふうになるかもしれません。

しかし、テレビ電話や遠隔会議システムはすでに技

術的に可能ですがあまり使われていません。むしろ音声通話すら衰退しており、e-mailやチャットといった情報量の少ないコミュニケーションが主流となっているのに、本当にVRはコミュニケーションに使われるのでしょうか。1つの可能性として、現状のテレビ電話や遠隔会議システムのリアリティの中途半端さが利用の障害となっていると考えられます。まわりを見渡しても常に目の前の「そこ」に相手がいるというVRのシステムは相手の存在感を圧倒的なものにします。相手の気配を感じる、相手と自分が同じ空間に同時に存在していると感じることがVRではじめて可能となります。視覚的なリアリティが高まると実際に触れるような気がしますし、触りたくなります。触覚を伝える技術開発も進んでいます。それらによって会話が弾み、共同作業が効率的になることが期待されます。

VRの社会実装

現在、最も注目されているのは、ゲームや映画、アミューズメントパークなどのエンターテインメント分野です。大規模VRではすでに実績のある領域であり、ディズニーランドやユニバーサル・スタジオではすでに多くのVR技術が利用されています。ユニバーサル・スタジオはVRの新しい技術の導入に貪欲で、さまざまなアトラクションにVRが応用されています。ディズニーは、みずからの研究所で最先端のVR関連研究を行っています⁶⁾。HMDを用いることでVR空間への没入感が高くなり、また家庭でも楽しむことができるようになり裾野が広がることから、産業界はその経済効果に注目しています。

VRはその誕生当初から空間の体験、シミュレーションに用いられてきました。松下電工はシステムキッチンの注文前にそれをVRで体験できるシステムをすでに1990年に導入していました。自動車のモックアップの代わりや、建物、室内デザインの体験など企業や企業研究所を中心に大型のシステムがあります。フライトシミュレータもVRの一種といえるでしょう。実際の飛行機を飛ばして訓練するのは非常にコストが高く、かつ危険ですので、ここにはVRの優位性があります。また、避難訓練や災害の体験にも使われています。地震や火災などは実際に起こすことはできませんから、リアリティの高いVRが訓練や体験の質を高めるために有効です。

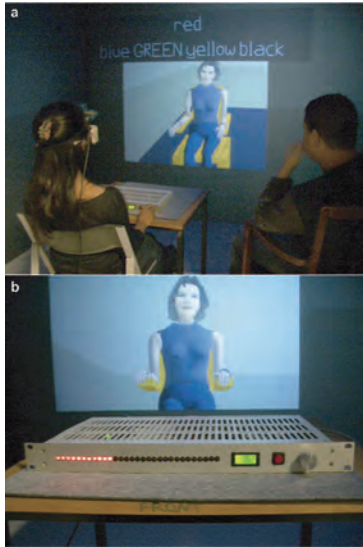
ちょっと変わったところでは、恐怖症やPTSD(心的外傷後ストレス障害)の治療にVRが使われています。恐怖症はある特定の対象に異常な恐怖を感じるも

のです。対人恐怖症、高所恐怖症、飛行機恐怖症、クモ恐怖症などさまざまあります。これに対する治療法の1つは暴露療法で、専門家の指導のもと恐怖を感じる対象への経験を積むことで克服するものです。しかし、恐怖対象ですから、そうそう近づいたり触れたりすることはできません。かなりの努力や覚悟が必要です。そこで、VRを用いた暴露療法が行われています。VRではリアリティを操作することができます。クモ恐怖症であれば、ただの黒い箱から、だんだんとクモの形に近いものへと変化させること、動きを追加していくことなどで、徐々にクモとしてのリアリティを上げていくことができます。患者は少しずつクモらしいものに暴露していくことができ、心的負荷が軽くなります。災害や戦争の体験によるPTSDの治療においても、実際の出来事をもう一度体験することはできませんが、VRであれば近い状況を、リアリティを操作しながら体験することができます。911のワールドトレードセンターでの被害者のPTSD治療に適用した例などが報告されています⁶⁾。

VRの中の向社会性

心理学に興味のある人には有名なミルグラム実験「アイヒマン実験、権威への服従実験」⁷⁾がVRで追試されています⁸⁾。もとの実験は、被験者が教師役となり、英単語の対を学習する生徒(サクラ)に対して、間違えると電気ショックを与え、間違いが増えると徐々に電気ショックの電圧が上がる(実際には電気ショックは与えていない)というものでした。生徒役のサクラは間違えて電気ショックを受けて痛がる、嫌がる演技をしました。教師役の被験者はそれを見て実験に疑問を感じ、やめたいと言う場合もありますが、白衣を着た権威のある実験者が実験の続行を命ずるだけで多くの被験者が最大の電圧までショックを与えてしまうという結果でした。現在では、実験の倫理性が疑問視され行うことは困難です。これをVRを用いて、明らかに本物の人には見えないアバターに対して行ったのがVRミルグラム実験です。

結果は基本的にもとの実験と同じで、多くの人が電気ショックを与え続けたのですが、相手が人ではないアバターですので当たり前ともいえます。ただし、文字だけのチャット相手に対して行う場合よりも人の形をしたアバターに対して電気ショックを与える場合の方が、被験者は躊躇し、強い生理的反応を示しました。つまり、VRの中のそれほどリアリティのない対象に対しても私たちは同情や罪悪感を感じるといえるでし



VR ミルグラム実験の様子⁽⁹⁾

よう。

私たちのもつ向社会性（反社会性の対語。他者への共感、同情、公平性など）はかなり本質的であり、10カ月齢の言葉を学ぶ前の赤ちゃんがコンピュータ画面の中で動く幾何学図形に対しても同情を示すこと⁽¹⁰⁾から先天的ではないかという説もあります。私と京都大学の板倉昭二教授らとの共同研究では、ナイフを刺されているような痛そうな状況にあるロボットに対しても、人に対するのと似た共感を反映する脳波が計測されました⁽¹¹⁾。VRのアバターに関しても同様の結果が得られています。つまり、バーチャルな対象に対しても私たちは同情や共感を感じます。VRと現実社会が融合するときに、人がもつ向社会性は考慮しなければいけない問題です。

VRが現実社会に及ぼす危険性

VRについて危険性が指摘されることがあります。VRが普及すると人は現実とバーチャルの区別がつかなくなってしまうのではないかと、人の命もバーチャルなものと感じるようになってしまっているのではないかと、VRのアバターに恋をして現実世界での婚姻が減ってさらに少子化が進んでしまうのではないかと、現実世界でのコミュニケーションが減り人と人が協力することがなくなってしまうのではないかと、VRの中の空間や物に課税をすべきではないかと、アバターの人権を考えるべきではないかと、などなど。

これまでも類似の議論がテレビ番組やゲーム、インターネットなどについて行われてきました。最近では、ロボットや人工知能⁽¹²⁾について盛んに議論されてい

ます。VRは安全ですよ、何の問題もないですよというのは考慮がなさすぎですし、一方で過度に恐れることは人間社会の発展や科学技術の発展、産業の振興を妨げます。すべての技術は多くの議論と経験を経て社会に受け入れられていきます。知覚的リアリティの制御であるVRが社会に普及するためには避けて通れない議論であり、それを考えることがさらにVRを進展させることになると思います。

おわりに

この連載では、知覚的リアリティの科学として、知覚心理学とVR、そしてその融合領域について話をしてきました。リアリティは基本的に個の問題です。自分が感じるリアリティであり、それをそのまま他者が知ることはできません。しかし、私たちは社会に生きており、個のリアリティにはこれまでの社会的生活も影響しています。そして、VRは個人の新しい体験をつくと同時に、人と人とのコミュニケーションに有効なツールであり、必然的に新しい社会をつくっていくツールになります。今後は、ますます社会に生きるVR、社会とVRの関係の研究が大切になっていくと思います。

人のリアリティ知覚やVRにはまだまだわかっていないこと、実現できていないことがたくさんあります。私たち心理学者やVR研究者はさらに基礎的な研究を進め、同時にリアリティを創造し操作する応用的で実践的な研究を同時に進めていく必要があると思います。

文献・注

- (1) Dream Adventures | The Making Of | Expedia + St. Jude Children's Research Hospital (YouTube)
<https://www.youtube.com/watch?v=TfvOoAlrmiQ>
- (2) 上田祥平・池井寧・広田光一・北崎充晃 (2016). 「実映像オプティックフローと足裏振動による歩行感覚記録・体験手法の基礎検討」『日本バーチャルリアリティ学会論文誌』21(1), 15-22.
Hamada, T., Yoshiho, K., Kondo, R., Ikei, Y., Hirota, K., & Kitazaki, M. (2016). Virtual walking generator by rhythmical modulation of omnidirectional images and foot sensations. Eurohaptics 2016, London, UK.
- (3) 北崎充晃・佐藤隆夫 (2008). 「視覚からの自己運動知覚と姿勢制御」『心理学評論』51(2), 287-300.
- (4) walking generator (YouTube)
<https://www.youtube.com/watch?v=a3A2-xlbDL0>
- (5) Disney Research のサイト
<https://www.disneyresearch.com/>
- (6) Difede, J., & Hoffman, H. G. (2002). Virtual reality exposure therapy for World Trade Center Post-traumatic Stress Disorder: A

- case report. *CyberPsychology & Behavior*, 5(6), 529-535.
- (7) Milgram, S. (1963). Behavioral study of obedience. *Journal of Abnormal and Social Psychology*, 67, 371-378.
- (8) Slater, M., Antley, A., Davison, A., Swapp, D., Guger, C., Barker, C., Pistrang, N., & Sanchez-Vives, M. V. (2006). A virtual reprise of the Stanley Milgram obedience experiments. *PLoS ONE*, 1(1), e39.
- (9) (8) Figure 1 より。以下の URL には動画もあります。
<http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0000039>
- (10) Kanakogi, Y., Okumura, Y., Inoue, Y., Kitazaki, M., & Itakura, S. (2013). Rudimentary sympathy in preverbal infants: Preference for others in distress. *PLoS ONE*, 8(6), e65292.
- (11) Suzuki, Y., Galli, L., Ikeda, A., Itakura, S., & Kitazaki, M. (2015). Measuring empathy for human and robot hand pain using electroencephalography. *Scientific Reports*, 5, 15924.
- (12) 内閣府総合科学技術・イノベーション会議「人工知能と人間社会に関する懇談会」のサイト
<http://www8.cao.go.jp/cstp/tyousakai/ai/index.html>
- * 動画は Web を参照。

■ 著者紹介

北崎 充晃 (きたざき・みちてる) :

豊橋技術科学大学情報・知能工学系准教授。主要著作・論文に、『ロボットを通して探る子どもの心 — ディベロップメンタル・サイバネティクスの挑戦』(ミネルヴァ書房, 2013年, 共編), Measuring empathy for human and robot hand pain using electroencephalography (*Scientific Reports*, 5, 15924, 2015年, 共著) など。



* サイナビ! (URL 参照) に連載された記事をもとに作成しています。

<http://chitosepress.com/category/psychology-navigation/>

* 記載された内容の著作権等の知的財産権は、著者または著者に権利を許諾した者に帰属します。

* 購入者・利用者は印刷・配布して使用することができます。

* CC BY-ND ライセンスによって許諾されています。ライセンスの内容を知りたい方は <https://creativecommons.org/licenses/by-nd/4.0/deed.ja> でご確認ください。

