SEMINAR REPORT

五感のＶＲと人間拡張

東京大学大学院
情報理工学系研究科
知能機械情報学専攻
講師　鳴海　拓志　氏

東大の鳴海と申します。谷川先生からけっこう幅広くＶＲ／ＡＲの可能性をご紹介いただいたので、私はもう少し最近のトピックというか、五感であるとか身体というところにフォーカスを置いてお話しさせていただきたいと思います。

谷川先生と同じ研究室で、主に五感インタフェースとか人間の能力をどう伸ばすかというような研究をしています。

感覚の拡張

まずＶＲというのは、ある意味では感覚を扱う技術です。よく思い浮かべるのはHMDですが、HMDは基本的には視覚と聴覚をメインに扱っています。我々が感じているリアリティをどう再現するかということを考えていくと、においとか味とか、もっといろいろな感覚を使って我々は現実を感じているわけで、そのあたりをどうやって再現するか、もしくは我々の感受性のほうを変えていくか、新しい感覚を身につけていくかというところが最近の研究のトピックとしては一つおもしろいところかなと思っています。

図１Meta Cookie:拡張現実感によって味が変化するクッキー(動画)

最近といっても、感覚の研究は古いものだと思います。例えば我々の研究でやっている例として味を変えるディスプレイについて紹介したいのですが、これはHMDをつけて普通のクッキーを食べようとしています。見た目と香りが変わって、食べると味がチョコレートになってしまいます。実際に味はつくっていないのですが、見た目と香りが変わると味が変わってしまうという仕組みになっています。(図１)

図２

なぜこのようなことが起こるかということをちょっとずつ考えていきたいのですが、これはそれほど特殊なことではなくて食品業界では当たり前に利用されていて、例えばこれを言うとショックを受ける方もいらっしゃるかもしれませんが、実はかき氷のシロップは全部同じ味なのです。着色料と香料だけで味をつくっています。もちろん、一部の高級なものにはちゃんとイチゴなどが入っているものもありますが、縁日などで食べるものは全部同じ甘味料で味は変わりないのです。色と香りだけで味をつくっているということです。そういうふうに考えると、実は我々の味の認識では香りが大きな部分を占め、またイメージが大きな部分を占めているということになります。

ここにイチゴとメロンの絵が出ていますが、メロンのかき氷はそもそも何の味なのかというのが長年の疑問です。そもそも本物のメロンとは似ても似つかないし、味もあまり似ていないと思うのですが、我々はこれをメロンだと思って楽しく食べているわけです。そもそもそれは、我々は食べるときに情報を楽

しんでいるとかイメージを楽しんでいるという面が強いのではないかと思っていて、そのイメージを再現できれば味を再現することになるのではないかというところが、ＶＲのおもしろいところではないかと思っています。

つまり、我々が現実から何を得ているかというエッセンスを再現する。それは現実をそのままレプリカすることではなく、現実について感じている要素の中から大事なものだけを再現するということにつながってきて、それがいかに省略された形でもっとリアルな表現ができるかというところにアプローチできるというおもしろい点かなと思っています。(図 2)

図 3　拡張満腹感　　(動画)

同じく食べ物の研究ですが、これはメガネをかけると食べ物が大きく見えて、この状態で食べるとすぐにお腹がいっぱいになってしまうという研究です。逆に、例えばビタミンが足りていない人には、フルーツを小さく見せると、いくら食べてもなかなかお腹いっぱいにならないのでいっぱい食べると。

例えばお子さんと回転寿司に行ったときにあまり食べられては困ると思ったら、これをかぶせて大きく見せるというようなことができるという研究です(図 3)。

図 4 ユーザテスト

学生さんにおやつ食べ放題の実験をやりますと言うと、けっこうみんな喜んで来てくれます。日によって見える像を変えて食べさせて、何枚食べられるかということを見ています。もちろん、お昼には同じものを食べて来てくださいという形でコンディションを整えていて、人によって順番も変えていますが、この人の場合は小さい像にすると 13 枚食べて、普通の大きさでは 11 枚食べて、大きいときには 7 枚で済むという形でけっこう変わります。(図 4)

図 5 実験結果(食べた量の変化)

このときには 12 人くらいで実験して、小さくすると 15%くらい食べる量が増えて大きくすると 1 割くらい食べる量を減らせるということで、けっこうな影響があります。１日 2,000 キロカロリーくらい取っていると 200 キロカロリーくらいは減らせるわけです。本人に食べる量を変えましたかと聞くと、同じくらい満足するまで食べてくださいとお願いしているので、そう言われて食べているのだから同じ量食べているに決まっているじゃないですかと本人は言います。無意識にこういうふうに視覚の影響を受けているわけです。

原理を考えてみると確かにそうかもしれないと思えてくるもので、例えば我々は何グラム食べたかあまりわからないわけです。どのくらいお腹がいっぱいになったかというのは血糖値も確かに重要な情報ではあるのですが、いつもの茶碗で 1 杯食べるとお腹がいっぱいになるとか、そういうことから事前にどのくらい盛るかといったことを決めているわけです。また、一緒に食べる人がどのくらいお腹がいっぱいに見えているかとか、そういう食の周辺の情報を使って、自分がどのくらいお腹がいっぱいなのかということを推定している。ですから、その推定に使っているような情報、例えばお皿の大きさや食べ物の盛り方、見た目を変えると、このくらい食べる量に無意識に影響してしまうということがわかっています。

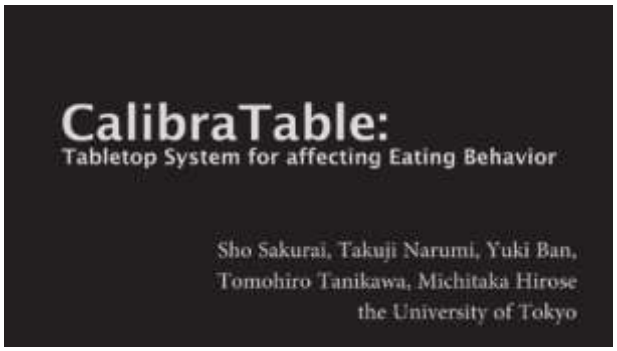
ある意味では無意識にダイエットできるということですが、身体の中のように扱うのが難しい情報を見た目という扱いやすい情報で扱えるというところがＶＲを使うおもしろいところになると思っています。 こういう研究をしていると、ご飯を食べるときにＶＲのメガネをかける人はいないでしょうと意地悪を言われたりするのですが、(図 5)

図 6

いろいろ探してみたら『バック・トゥ・ザ・フューチャー』という未来に行く映画の中で、未来の人がHMDをかけてご飯を食べているシーンが出てきます。この映画で行く未来は 2015 年です。我々は 2019 年に生きているので、我々のほうが４年もフューチャーに生きているのですが、こういう未来は来なかったなと思っています。(図 6)

図 7

どういう未来が来たかというと、プロジェクションマッピングがかなりはやりましたし、一般的に使われる技術になってきています。レストランでもプロジェクションマッピングを使うのが当たり前になってきています。(図 7)



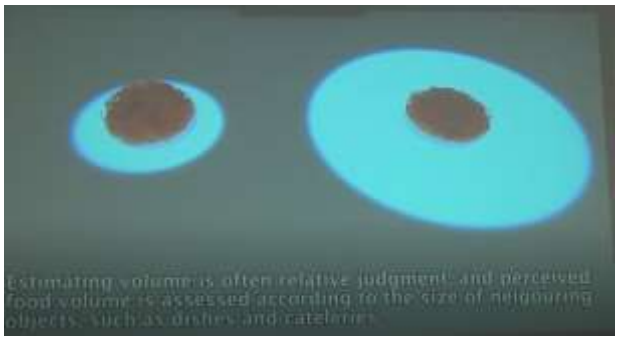


図 8 テーブルトップ型拡張満腹感　動画

これを使えばいいんだということで、少し研究しました。ＶＲというのはHMDをかぶることではなくて、目に入ってくる情報を置き換えるというふうに考えればこういうタイプでもいいのかなと。

これは食卓にプロジェクションマッピングできるようなシステムです。食べ物の周りに映像を出すと食べる量が変わるかもしれないというもので、テーブルトップディスプレイと呼ばれる技術を使っています。これは、食べ物をテーブルの上に置くと、置かれたということを認識して、中身を教えると適切なお皿のサイズに変えてくれるというものです。左右でまったく同じ物を置いているのですが、周りが大きいときと小さいときとでは見え方がけっこう違うのではないかと思います。

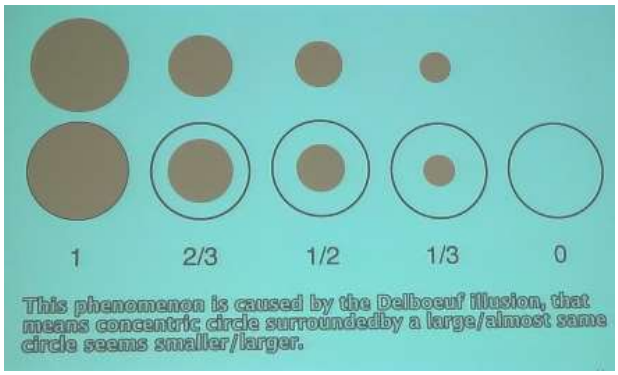


図 9 テーブルトップ型拡張満足感

これは Delboeuf 錯視という錯視現象に基づいていて、我々の量の推定にけっこう影響します。(図 9)

図 10　動画

こういう現象はリアルなお皿でも起こるので、リアルなお皿を使ってもダイエットできるという話がありますが、実はそう簡単ではなくて、リアルなお皿は食べていくことで比率が変わってしまうのでけっこうすぐに慣れてしまいます。情報技術が入ってくるといいのは、インタラクティブになるということです。ずるいということでもあるのですが、食べていくとお皿が小さくなって比率を一定に保つことができます。(図 10)

図 11　動画

そうすると、いくら食べても減らない状態ができるということです。ラーメン屋で大盛りを頼むと、食べる量より速く麺が伸びるので麺が減らないみたいな状態になってとても苦しいと

いうことがあるかもしれませんが、そういう感じです。テレビやスマホを見ながらご飯を食べる人もけっこういると思いますが、(図 12) アイトラッカーを入れておいて、テレビを見ているなと思うと皿が縮むというふうにしておけば皿が縮んだことに気づかなくて、「もっと食べた気がする」という状態がずっと続いてすごくお腹いっぱいになるというようなことになります。

こういうものをつくる裏側にどういう思想的な背景というか人間の知覚のバックグラウンドがあるかということを少し紹介します。(図 11)

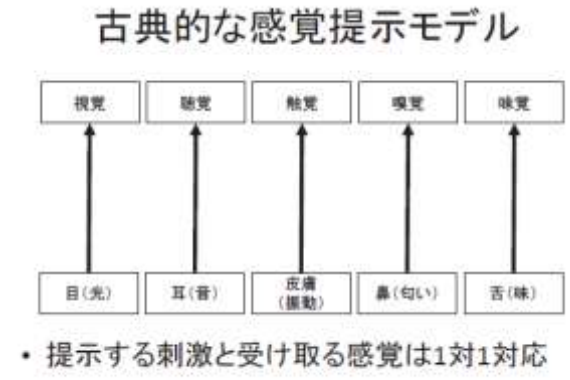


図 12　古典的な感覚提示モデル

普通ディスプレイをつくろうとすると、例えば４Ｋとか８Ｋのような非常に解像度の高いディスプレイをつくるのは、視覚を出すために光のことだけ考えればよいというモデルに従っています。我々の感覚は独立していて、１つの感覚は他の感覚に影響しないということが教科書的には言われています。(図 12)

ただ、五感はセパレートしていて、目に入った光はほかにはあまり影響しないというふうに考えていると、なかなか行き詰まってしまう。

図 13 五感情報技術の現状

例えば視聴覚についてはかなり高精度の３Ｄ映像や高精細な映像、立体音響提示などができるようになってきています。触覚はどうかというと、押すと押し返してくるようなロボットアームのようなディスプレイがつくられていて市販もされていますが、こういうものを一般に使うことはなかなか難しい。どうしても壊れやすかったり、普通の人が使うには使いにくい。

ただ、一方で振動などはよく使われています。例えば iPhone でも、ボタンはないけれど押した時にクリック感を出すような、振動を使って触覚の一部を再現するようなことができるようになってきています。

視聴覚と触覚というのは、基本的には波を合成すればあらゆる感覚を再現できるはずだという理屈に基づいています。光でいえばＲＧＢという３色を混ぜればどんな色でも再現できる。触覚は振動であったり力であったりということで基本的には波、物理現象なので、物理を合成すればあらゆる表現ができるはずです。

一方で嗅覚や味覚を考えると、これらは化学的な物質に基づいているので混ぜてつくるということはかなり難しい。その場で混ぜて好きなものを自在につくりだすことはかなり難しいので、例えばにおいを出そうとすると、あらかじめチョコレートのにおいを用意しておいてそれを出すことはできるのですが、目の前で種類の違うチョコレートのにおいにするとか、チョコレートのにおいとはちみつのにおいを混ぜて出すというようなことはかなり難しいわけです。

味というのはかなり難しいものの一つで、料理してつくるとか、あらかじめ用意しておいて出すくらいしか方法はないという現状になっています。では、触覚のもっとよいディスプレイをつくるとか、嗅覚や味覚のよいディスプレイをつくりたいと思ったときに、それぞれのことを考えていては行き詰まるのではないかということで、違う方法を考えようと思っています。(図 13)

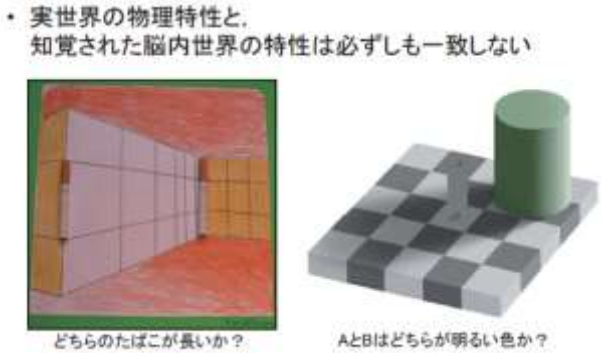


図 14 物理世界と知覚世界は異なる

そのときに参考になるのが錯覚だと私は思っています。例えば有名な錯覚の現象として、矢印が内向きのときと外向きのときで長さが違って見えるというミュラー・リヤー錯視があります。ここに２本のタバコがありますが、左に転がっていくとすごく短く見えて、右にあると長く見えると思います。(図 14)

これがなぜ起こるかというと、１つの理由は、人間は２次元の画像から３次元の奥行きを推定しているからと言われています。つまり、内向きの矢印では奥のほうに壁があって３次元的には奥側に折れ曲がっているような壁に見えて、内向きの矢印は出っ張った壁に見えるわけです。なので、網膜上では同じ大きさでも、近いところにあるものは小さいはずで、遠くにあるものは大きいはずだという推定を働かせているわけです。

人は、２次元の画像から３次元を推定できたほうが、例えば外敵が出てきたときにどのくらいの距離があるかということがわかったほうが便利なので、２次元から３次元を推定する能力を身につけたのです。でも、この条件だけを取り出してしまうと、なぜ同じ長さのものが同じに見えないのか、人間の目はあまり知的な処理ができていないと思う人もいるかもしれません。

錯覚を知覚のシステムの誤りだと言う人もいますが、そうではなくて、我々が知的な処理をした結果として何かをショートカットしている。そのショートカットが、たまたま条件によってはエラーになってしまいますが、それは人間が能力を持っているからそうなっているということです。では、人間の能力をもっと引き出すシステムをつくれないかというふうに考えられます。

もう１つの例を出します。ここにＡと書いてあって、ここにＢと書いてありますが、ＡとＢはどちらが明るい色に見えますか。Ａと思われる方は挙手をお願いします。Ｂと思われる方、お願いします。ほとんどの方はＢですね。これは意地悪な質問で、実は同じ色なのです。つなげると同じ色で、カラーピッカーなどで取ってくるとまったく同じ色だということがわかります。こちらは明るいところにあって周りが明るい色なので相対的に暗く見える。逆にこちらは物の影にある相対的に暗いものに囲まれているので明るく見えている。そういうふうに人の目は、周りの状況に応じて同じ見え方をしていても補正しているわけです。

例えば、青・黒のドレスなのか白・金のドレスなのか、同じ画像なのに違う色に見える人がいるということが話題になりました。それも、明るいところにあると推定するか、暗いところにあると推定するかによって、人によって見え方の補正パターンが違うと言われています。

なぜこういう能力を人が持っているかというと、例えば紺と白のチェックのシャツを着ていて、明るいところから暗いところに入った瞬間に表面の色は変わります。しかし、服の色が変わったと思う人は誰もいないのです。つまり、見え方が変わったとしても同一のものであるということを保持するほうが、我々のリアリティにとっては大事なのです。自分の子供が明るいところから暗いところに入った瞬間に「うちの子ではない」と思う人はいないですよね。そういう補正ができないと人間として生きていけないので、それができるように見え方を補正しているというわけです。そういう周りに合わせた補正というのは、人間の知覚システムで大事なものを占めています。(図 14)

図 15

もう１つ試してみます。スクリーンではやりにくいので、お手元の資料を見てください。まず右目を閉じて左目だけ使ってください。左目の視野の中心に十字を持ってきて、資料に目を近づけたり遠ざけたりしてみると、ちょうどいい距離のところで黒い点が消えると思います。距離の調整次第なのですが、印刷物であれば 20～30 センチくらいのところだと思います。

これは盲点という現象です。人の網膜は、丸い殻の中に光を受けるセンサーがたくさん並んでいて、そこで受けた光が電気信号になり、脳に伝わって視覚に変換されます。光センサーが並んでいてそこからケーブルで脳に情報を送るわけですが、ケーブルをつなぐためには殻に穴がないといけないのです。ケーブル穴が目の１カ所に空いていて、そこから全部のケーブルを外に出して信号を処理しています。そのケーブル穴の上には光センサーを置けないという問題があります。それが盲点です。黒い丸が盲点に入ると、そこには光のセンサーがなくて情報が入ってこないので見えなくなってしまうわけです。

では、同じ距離で下の図形を見るとどうなるかということを試していただきます。この場合、切れている線がつながって見えます。先ほどは「情報が入ってこないから見えません」と言ったのに、この場合は情報が入っていないのに見えているわけです。これはなぜかというと、情報が入っていなかったわけではなく、白いという情報が見えていたわけです。下では、線はつながっているだろうというふうに、視覚で足りない情報を埋め合わせています。これは「補完」という能力です。

我々は薄暗いところでよく見えないとか、手探りでは部分的な触覚の情報しか得られないわけですが、そういうときにも、「きっとこういう形だろう」ということをはっきり知るために周りから得た情報で足りないものを埋め合わせるということをやっています。ですから、普段の生活の中で盲点を意識することはないのです。盲点のところの情報は足りないのですが、周りから埋められているということです。

そういう補完は我々の視覚の中で強く働いています。盲点の補完は視覚だけの話ですが、同じことが五感の間でも起こっているというのがおもしろいところです。(図 15)

図 16

これはＮＨＫのバーチャルリアリティの特集の映像です。女子高生に家庭教師をするというＶＲゲームを体験しています。これを体験した歌舞伎町のホストの人が、ＶＲで女子高生が近づいてきたときに息づかいを感じてすごい、という感想を言うのですが、開発者はそんな機能は入れていないと言います。

実はＮＨＫは意地悪で、ホストに体験させる前に東大ゲーム研究会の学生に同じものを体験させています。その学生は「女の子が近づいてきたときには､本当にそこにいるみたいでした」と言うのですが、においを感じるとか、熱や吐息、鼓動を感じたりということはなかったのです。それは、埋め合わせるべき

経験をどのくらい持っているかの違いだと番組で解説しています。つまり、女性経験が豊かな人では、女性が近づいてくると体温を感じたり、吐息を感じるという経験を持っている。なので、そういう感覚を埋めることができる。経験がないと、なかなか埋めることはできない。つまり、その人の経験によって変わってしまう現象ではあるのですが、出していないものを感じられるとしたらとてもおもしろい現象です。(図 16)

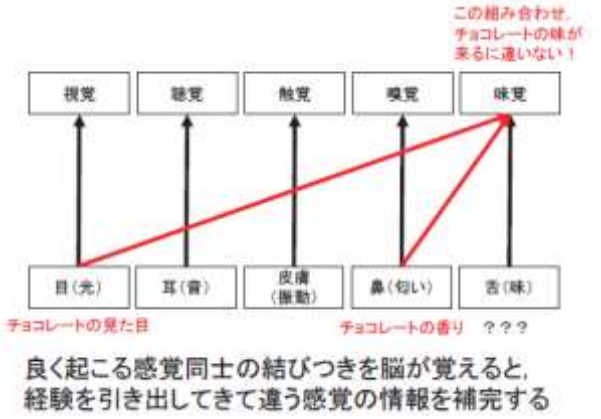


図 17 クロスモーダルな感覚提示

それが女性経験のような人によってかなり違うものではなくて、誰もが日常的に経験するようなものであれば、誰にでも出せるわけです。ユニバーサルな経験に基づくようなものであれば、けっこういろいろなものに使えるというのが、このクロスモーダル知覚という現象です。

例えば最初に紹介した例では、見た目がチョコレートで香りもチョコレート、味はまだわからないというときに、「これはチョコレートだ」と予想するわけです。予想した状態で舌に味が入ってくると、「やっぱりチョコレートの味でした」という確認になってしまう。そういうふうに人の脳は感覚の感じ方を補正する力を持っていて、実際に入ってきた情報に大きな齟齬がなければ「これはチョコレートだ」と受け取ってしまうということが起こります。よく起こる経験に合わせて感覚が変わるというのがクロスモーダル知覚という現象です。

これを使うと、いろいろな五感が簡単に出せます。味覚や嗅覚などの出しにくいものも出せるし、触覚も簡単に出すことができるかもしれない。(図 17)

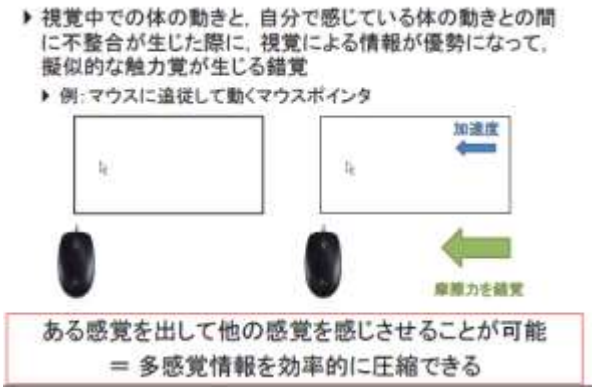


図 18 感覚間相互作用の例: Pseudo-Haptics

触覚の例を１つ紹介します。Pseudo-haptics（シュードハプティクス）という現象があります。マウスを動かすと、ポインタが動きます。それが、処理が遅くなって、ポインタがカクカクと動いたりするとマウスが重くなったり手に力がかかったような感じがします。こういう錯覚を Pseudo-haptics と呼んでいます。

ここでおもしろいのは、マウスには触覚を出す機能はまったくないのに、我々は力を感じ取るわけです。なぜそういうふうに錯覚するかというと、マウスをこう動かせばポインタがこう動くという組み合わせを脳が覚えていて、ポインタが違う動き方をするのを見て、手がこう動いたと推定します。でも、手にそういうふうに動けと
いう指令を自分は出していないですから、外力が加わって手がそのように運動させられたと錯覚します。それが外力や振動として知覚されるということです。

つまりビジュアルな工夫で触覚が出せるので、例えばウェブのインタフェースでマウスを触ってもらっていても触覚を表現できるということで、けっこういろいろなところで使えることがわかっています。(図 18)

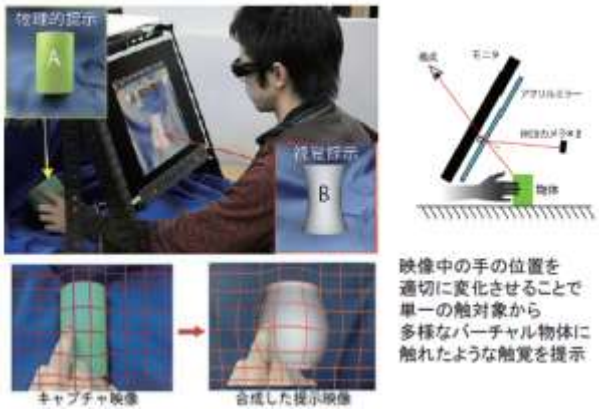


図 19 Perception-based Display

１つの例として、我々は形を出すディスプレイをつくっています。例えばこれは、よくバラエティ番組で、箱の中に手を入れて物の形を当てるようなものがありますが、そういうしつらえで、中にある物を触ってもらいます。ただ、ディスプレイがついていて、この裏にカメラがついていてその絵が映っているので、中は見えているのです。でも、目で見ているものと実際に触っているものをちょっと変えています。絵のほうはＣＧで表示されていて、手だけをキャプチャーして表示しています。

そのときに空間をゆがめます。手のほうはまっすぐなものを触っているのに、絵のほうではへこんだものを触っているように空間の表示をゆがめて指の位置をずらします。そうすると、へこんだ物を触っているような映像を生成することができます。(図 19)

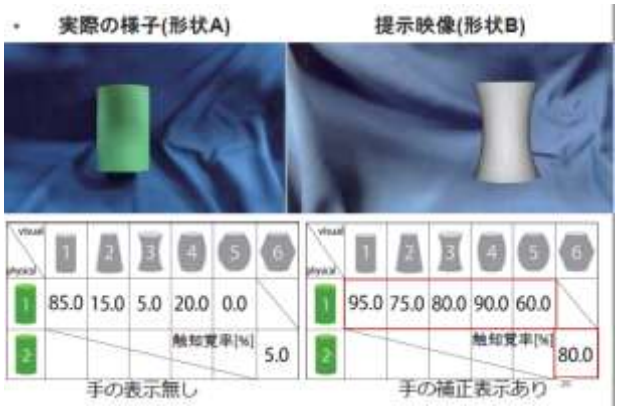


図 20 三次元のなぞりに対する効果の検証

これを見せられると、85～90%の人は「へこんでいますね」と。空間のゆがみというのはＣＧなら簡単に計算で変えられるので、同じものを触っているのにふくらんだ絵を見せると、「あ、ふくらんだ」と言うわけです。でも、メカニカルな工夫は何もしていないということで、見た目だけで物のふくらみやへこみを実際に感じさせることができます。ただ、エッジみたいなところでは指から得られる触覚の効果が強くなるので、何もない平面にエッジを出すことはできないという制約があります。(図20)

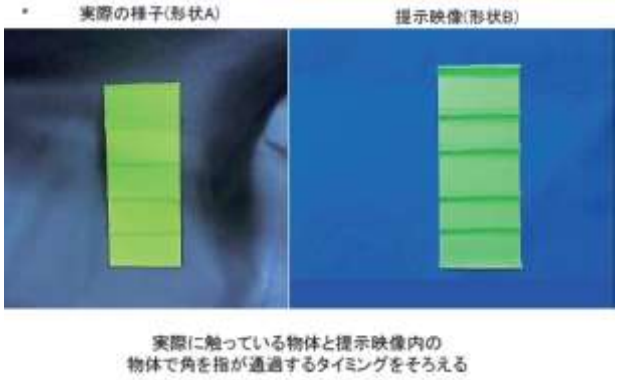


図 21　空間配置(位置)に対する効果の検証

ただ、エッジの位置は簡単に変えられます。等間隔のエッジでも、広かったり狭かったりというふうにエッジの間隔をそろえると、「ここは広いです」というふうに勘違いしてくれます。(図 21)

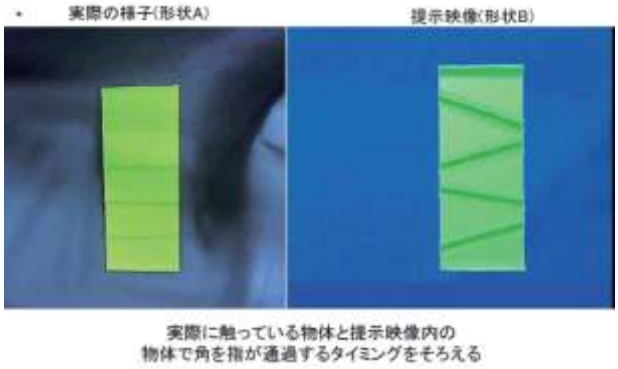


図 22 空間配置(角度)に対する効果の検証

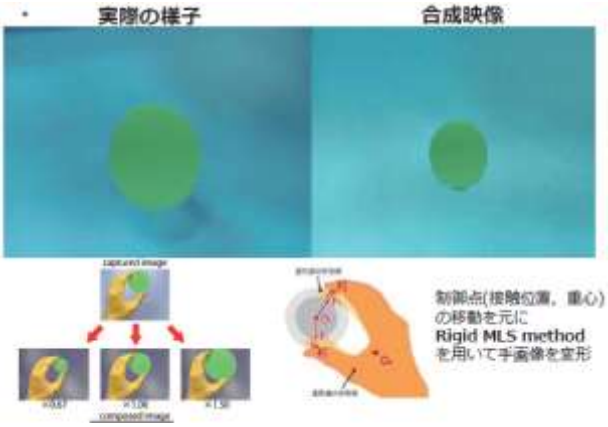


図 23 握った時の物体の大きさ知覚に対する影響

さらに、エッジにこんなふうに角度をつけてみました。私自身は、「こんなに曲げたらわかるでしょう」と思っていたのですが、40 度くらい曲げてもわからないということがわかりました。こういう配置や配置された角度というのは相対的な情報なので、かなり視覚によって補正できることがわかっています。(図 22)

ここまでは指で触れるような物体だったのですが、コンピューターグラフィックスのアルゴリズムで指の開きを変えて見せるようなものを導入しました。そうすると、こちらで接触している点と反対側で接触している点の整合性をとることができるので、つかんだものの大きさが変わったように感じます。だいたい±４割くらいは物の大きさが変わったように感じられることがわかりました。

こういうふうに触った物の形状や凹凸の位置、角度、配置のされ方、また全体の大きさを変えることができて、そういうものをインタラクティブに組み合わせていくと、プロトタイピングしたものを実際に触って確認してから３Ｄプリンタで出すといったことができるようになります。(図 23)

図 24 バーチャルな文化財に手を触れて操作する感覚の提示

これは東京国立博物館と一緒に研究させていただいていて、実際に触れない文化財にバーチャルに触る体験をしてもらうという例です。自在置物という江戸時代の鎧職人が鎧の技術を使ってつくった動くフィギュアです。これは動かさないと意味がないのですが、動かすと壊れてしまうのでどのくらい重いかとか、動かしたときの抵抗感などを展示として出したいと。ただ、グローブをつけて体験できるということにすると、１人５～10 分かかってしまってとても博物館ではペイしないので、先ほどのような箱に手を入れて、箱の表面に自分の手が表示されて、中にある棒をつかんで動かすというモデルになっています。

実際にはそんなに動かないのですが、画面に表示する位置を変えることによって、「ここは大きく動くけれど、ここはあまり動かない」といった抵抗感を表現することができて、実際に触った感覚に近いような触感の体験を与えられるというものです。(図 24)

行動の拡張

五感の入力を変えると行動が変わるということがわかってきています。谷川先生の研究の紹介でも行動の例がいくつか出てきましたが、我々もそういうところにフォーカスして、ＶＲで五感を変えたときの影響を調べています。

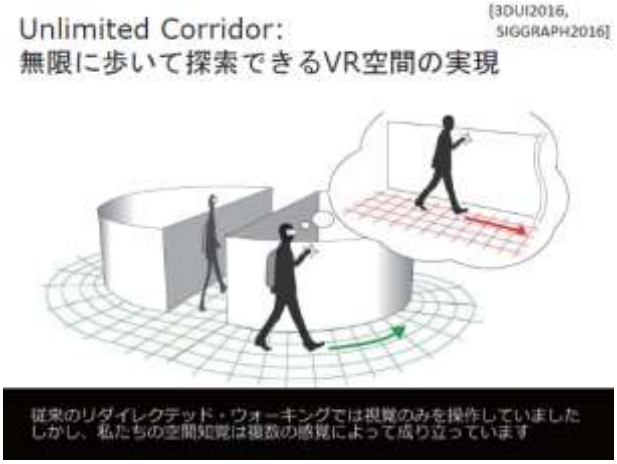


図 25 Unlimited Corridor:無限に歩いて探索できる VR 空間の実現(動画)

これは、先ほどの手のひらサイズのものを等身大にしたらどうなるかという研究です。丸い壁があるのですが、HMDをかけるとまっすぐな壁に見えて、触るとそこに壁がある。「壁に沿って歩いてください」と言われると、円柱の周りをぐるぐる回っているだけなのですが歩いている人にはＶＲでまっすぐ歩いているように見えていて、その人はまっすぐ歩いていると信じてしまう。同じところをぐるぐる回っているのですが、ＶＲの世界では無限にまっすぐに歩いて感じるということです。(図 25)

図 26 Redirected Walking (動画)

こういう研究をリダイレクテッド･ウォーキングといいます。なぜこういう研究が必要になるかというと、歩いて体験できるＶＲというのは酔いが少なかったりと利点も多いのですが、この部屋全部をトラッキングできてどこをどう歩いても大丈夫ですといったところで、新宿の町全体をＶＲで再現しようとしたら部屋の壁にぶつかってしまいます。それを解決するために、まっすぐ歩いている人のHMDに表示される絵を少しずつ回転させると、人は無意識に「曲がって歩いている」と感じて、補正するように逆に歩きます。そうすると、まっすぐ歩いているつもりでもぐるっと回って同じところに戻ってくる。そうすれば狭い空間で広いＶＲ空間を体験できるのではないかと考えた人がいます。

最初はこれも視覚だけで研究されてきて、海外で盛んに研究されたのですが、ぐるっと回って戻ってくるのに直径が 44 メートル必要だということがわかりました。44 メートルというのは大きな体育館のサイズですから日本ではとてもできないという感じなのですが、彼らは視覚しか使っていない。我々はそれに触覚を加えます。そうすると、見て信じるだけでなく、触ってもそこにあるという信念が加わることによって、半径 22 メートル必要だったところから３メートルくらいまで縮められることがわかりました。

ですから、いろいろな感覚を合わせて使うことで空間の利用効率を上げられるし、人の空間の知覚を変えるというときに大きく貢献することが明らかになったわけです。(図 26)

図 27

これを非常に高く評価していただき、文化庁のメディア芸術祭で賞をいただきました。その年に話題になったエンタメ作品がどっと出てくる場なのですが、１位が「シン・ゴジラ」、２位がポケモンＧＯと我々ということで、とても光栄な賞をいただくことができました。(図 27)

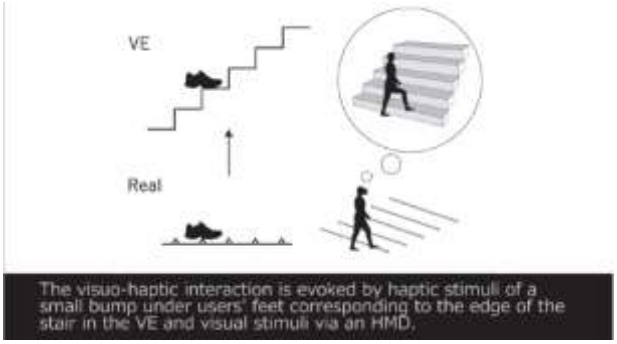


図 28 視触覚相互作用による無限階段

この研究で無限にまっすぐ歩くことができたので、次は無限に上下に歩いてみようということで階段をつくってみました。階段をＶＲで再現する際のエッセンスは何かというと、階段を

感じる感覚はエッジだけなのではないかということで、ＶＲで見せている階段のへりの位置に高さ１センチの棒を置きました。これだけで「あ、階段がありますね」となって、大きく足を上げて歩いてくれます。たったこれだけの触覚の提示で、かなりリアリティを高められることがわかりました。

実際に階段を上るように足を大きく動かすところがとてもおもしろいところで、実際にはこけにくい安全な装置ですが、高齢者に足を大きく上げてゆっくり動いてもらうようなリハビリなどにも使えるかもしれないと思っています。(図 28)

図 29 「Pokémon GO AR 庭園」w/NIANTIC 毛利庭園ジムに登ってみよう

これはシンプルですがおもしろい装置なので、僕もポケモンが大好きなことからナイアンティックの方と知り合い、おもしろいので展示に使わせてほしいということでナイアティックさんが六本木ヒルズでポケモンＧＯのイベントをやったときに使っていただきました。ＶＲの中には高い塔があるのですが、塔を登っていくと途中でいろいろなポケモンが出てきて、一番上に行くと伝説のポケモンがいるというコンテンツです。ファンにとっては自分が歩きながらいろいろなポケモンに出合えるのはうれしいことで、大行列ができるコンテンツになりました。

このくらいシンプルなシステムなので、来週の展示に使えますかというようなことをいきなり言われても、三角形の棒をホームセンターで買ってきてもらえばできると思いますよという感じです。ですから、けっこう普及しやすいシステムかなと思っています。(図 29)

図 30

もう少し行動を変えるという話をしたいのですが、例えばこれは物の色を変えて見せる装置で、ただ物の色を白く見せるだけなのですが、これだけで我々が疲れずに働くことができるという装置です。なぜこういうことに着目したかというと、引っ越し屋さんは白い段ボールを使っています。それは、白いほうが疲れずに働ける。わざわざ色を塗ってまでやる価値があるからやっているわけです。(図 30)

図 31

実際にＡＲで色が変わったらどのくらい影響があるかということをやってみました。同じダンベルなのですが、同じ人が日を変えて決まったペースで何回できるかということをやって、こちらの人には白く見えて、こちらの人には黒く見えています。黒く見えているほうでは少しずつフォームが崩れてきて 20 回くらいなのですが、白いほうではもっとできる。(図 31)

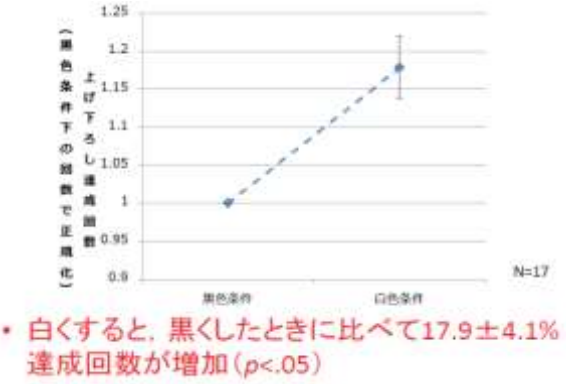


図 32 実験結果: 上げ下ろし回数の変化率

白いほうが 18%もたくさん働けるのです。(図 32)

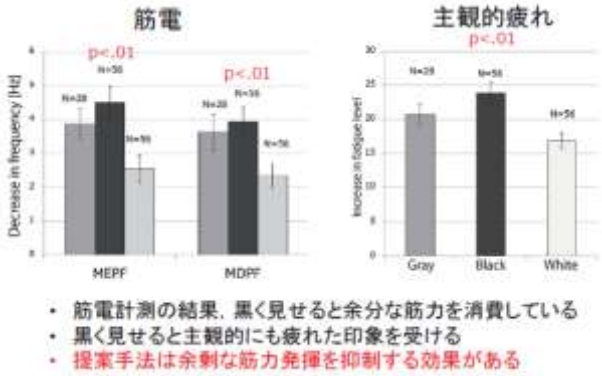


図 33 筋電と主観的疲れ

我々は、これがなぜかということを研究してみました。筋肉の活動量を測るセンサーをつけて、どのくらい筋肉が活動しているかというデータをあわせて取っています。黒いときのほうが筋活動量が増えていて、無駄な力を使っているということです。白いときには活動量は抑えられていることがわかりました。

これはなぜかというと、フィード・フォワード制御という予測に基づいて身体を制御するという人間の特性の一つで、重そうに見えるものを持つときに「これはきっと重いから、このくらいの力を出さなければならないだろう」と予測して最初から力を入れて持つのです。持った瞬間には「思ったより軽いな」と思うのですが、実際に物を持ち上げるのに必要な力より過剰に使っているので、すぐ疲れてしまう。物が軽そうに見えると、逆に無駄な力は抜けているので、減らせた筋力の分いっぱい働けるということで、それが２割弱くらいになったということがわかりました。

ですから、デザインとして白がいいとか黒がいいとかいうのは好みの問題と思われがちですが、実はそういうところが働くときの能率などに影響している可能性があって、白いか黒いかというのはおしゃれかどうかということではなく、作業の効率を２割変えているわけです。ですから、実際に持ってみたときに軽く感じるかとか、そういうところはもっと大事にしてもいいのかなということがこういうところからもわかってきます。

こういうふうに身体の振る舞い方をインタラクションする物の見た目とか空間の感じ方を変えることで変えられることがわかってきたのですが、最近取り組んでいるのは、環境を変えるというより自分自身を変えるという話です。(図 33)

身体と自己の拡張

自分自身を変えるといってもなかなかイメージがつきにくいと思いますが、例えばこういう研究があります。

図 34　動画

これは有名なラバーハンド錯覚と呼ばれる実験で、ここにゴムの手袋が置いてあります。衝立があってその向こうに自分の手があります。この人はゴムの手袋を見ていて、自分の手は衝立で見えません。この状態で、ゴムの手袋を筆でなぞります。そしてまったく同じタイミングでその人の手もなぞります。

これをすると、見ている場所に触覚が入るわけですから、ゴムの手袋が自分の手だと錯覚するわけです。そこで、ゴムの手袋にナイフを刺すのです。そうすると「痛い」と言います。３秒くらいたつと、自分の手ではなかったということに気づいて笑い出します。

なぜこういうことが起こるのかというと、いろいろな感覚が同期して入ってくると自分の身体だと思い込んでしまう。これは、例えば筆やペンなどを使って何かするときにも、その道具を自分の身体の一部だとして更新しているわけです。例えばペンを使って我々は上手に字を書くことができますが、そのときにペンの先をツンツンとやると脳の指先の部分が反応することが知られています。

そのように自分の身体の形を、成長に合わせて、また道具を入れた形に書き換えていくことによって我々は新しい身体能力を獲得していきます。そのような能力が人に備わっていることはわかっているのですが、ではどのくらいまで拡張できるのかということが問題になってきます。(図 34)

図 35 えくす手

我々はこういうものをつくってみました。ピアノを弾くのですが、ＶＲで指が伸びていく。そうすると、届かない鍵盤にも指が届いたりします。では、この指の長さをどのくらいまで伸ばせるかということが問題になってきます。また、指がただ長くなるだけでなく、指の数を増やしてみたらどうか。指が 10 本になると弾けなくなりますが、色が変わったらどうなるかとか、右手が左手になったらどうなるかとか、そういういろいろなパターンを試すことができます。(図 35)

図 36 身体拡張可能な範囲を探る

そこでわかってきたのは、見た目がどうかというより動きが一致していることが大事であると。なので、左手と右手が入れ替わったり、動きのパターンが変わるとかなり適応するのに時間がかかってしまいます。２倍くらいまで伸ばしてもけっこう

弾けるのですが、４倍になると弾けなくなるということがわかっていて、サイズや比率が変えられる範囲には何か制約がありそうだというところまでわかってきています。

あとは、見てフィードバックするだけでなく、鍵盤のところに実際の鍵盤の形の物を置いておくと触覚的なフィードバックが得られて、触覚を同期して出すことによって先ほどのラバーハンド錯覚のように自分の手だと思い込みやすくなって、操作しやすくなるということがわかってきています。

こういうふうに身体をどのくらい変形できるかということを調べると、例えば原発の中に行くロボットを操作するときには自分の身体とは形が違うので操作の体系も違うのですが、それでもうまく使えるためにはどのくらいの違いでなければならないかとか、そういうことがわかってくるということです。(図36)

図37

こういうかなり変わった変形だけでなく、最近ではこのバットマンのようにカジュアルな変身が一般的になっています。バットマンは、「悪者があらわれたので出動してくれ」と言われると、普通の人間の状態からグローブをつけて、その後にお面をかぶります。そうするとミラーが上から降りてきて、「あなたはバットマンになりました」と示すバットマンの絵が出てくるのですが、バットマンを見た瞬間に皆さんの背筋が伸びるのです。ヒーローになった瞬間、ヒーローらしくなってしまうというわけです。(図37)

図38　自分は何者だと思うかでパフォーマンスが変わる

このことはけっこうサイエンティフィックに調べられてきています。これは太鼓のたたき方を習うＶＲのシステムですが、自分の隣に先生が座っています。ＶＲの世界には鏡があって、先生の動きを鏡越しに見ながら同じようにたたいてくださいといいます。自分の身体が透明人間のようになって手だけ出てくるものとか、スーツにネクタイのような姿のときにはなかなかうまくならないのですが、アフロヘアーの黒人のアバターを使うと手の振りが大きくなってうまくなりやすいということがわかっています。

「あなたはこのキャラとして振る舞ってください」と言われているわけではありません。ただ自分の姿がそういうふうに表示されただけでのりがよくなってしまう。そういうことが我々の能力の中にはあるということです。つまり、社長になると社長らしくなるということがあると思いますが、与えられた役割のようなものを無意識に自分で感じ取って、それに合わせてパフォーマンスを変えているわけです。ですから、何かうまくいかないことがあったときに、それがうまくいくようなアバターを自分に与えれば能力が変わっていくかもしれない。(図38)

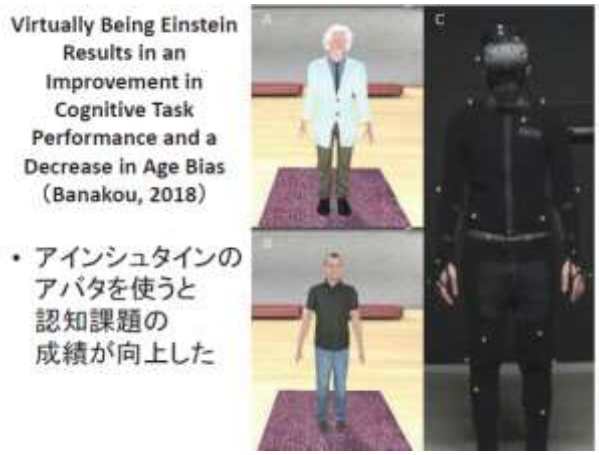


図39

もっとセンセーショナルな研究が去年出ていて、ＶＲで認知テストをやらせるときに、自分の姿を使うよりもアインシュタインになって考えると成績が上がるという研究が出ています。つまり、「アインシュタインだったらこう考えるのではないか」ということが、自分の中に新しい回路としてできあがる。それによって成績が上がると言われています。

これは、「アインシュタインは賢い」という強いトップダウンのイメージがあって、それが自分のイメージに転写されたときに「自分は賢いのだからこのくらいできる」と思うわけです。つまり、我々は生きている中で、「自分の役割はこうだ」という形で無意識にいろいろなリミットをかけているわけです。そのリミットをＶＲを使えば取り外すことができて能力が伸びると言われています。(図39)

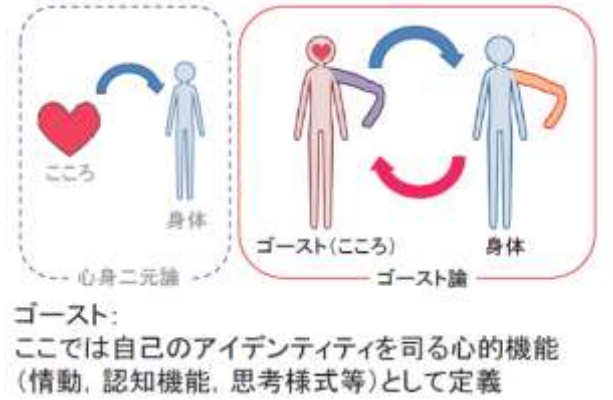


図 40 身体とゴースト(こころ)の関係

なぜこういうことが起きるかというと、長らく心身二元論というか、心が身体を操っているという考え方があったと思いますが、最近はそうでもないということがわかっています。谷川先生は「笑顔だと楽しくなる」というような話をされていましたが、我々は身体が先にあって、身体の状態が変わることで心が変わっていく。つまり、身体の影のような存在として心があって、身体に応じて心が変わるし、心に応じて身体の状態も変わるというふうに心と身体はインタラクティブな存在であると言われています。なので、心は身体のゴーストのようなものと言われることがあります。

例えば３本目の腕を足しましょうという話があります。腕が３本になると、必然的に身体が変わって心も変わります。その心の機能の変化を理解しないで使うと怖いことになるかもしれないし、理解して使えればもっとポジティブになったりクリエイティブになるために身体のほうをちょっといじってみるということができるかもしれない。(図 40)

図 41 ゴーストサイエンス

例えばスーパーマンになると人を助ける行動が増えるとか、白人が黒人になったＶＲを体験すると終わった後のアンケートで差別意識が減っているとか、ＶＲで身体的な体験をすると我々の考え方や思考が変わっていくことが少しずつサイエンスの分野で明らかになってきています。(図 41)

図 42 扇情的な鏡: 表情変形(視覚)による情動の操作

サイエンスで明らかになってきていることをもっとポジティブに使えるのではないかと思っていて、先ほど谷川先生に紹介していただいた表情をポジティブに変形させて見せるとどんどん楽しくなって、悲しい表情を見せるとどんどん悲しくなるというような研究をしたりしていますが、これがコミュニケーションの状況になると非常に大きな効果を発揮します。(図 42)

図 43 ゴーストの変化による創造性の向上

最近ではスカイプなどを使って遠隔でのミーティングをする人も多いと思いますが、遠隔でブレインストーミングをさせてアイディアがいくつ出るか見てみます。例えば「５分間でレンガの新しい使い方をたくさん考えて」みたいなテーマを与えると、普通は８個くらいのアイディアが出てくるのですが、お互いに笑顔が見えている状態でやらせると 12 個になります。事前に勉強させるというようなことではなく、ただお互いに笑顔を見えるというよい環境をつくるだけで我々の能力が 1.5 倍になるわけです。

こういうふうに我々の感情がクリエイティビティや人とのつき合い方に大きく影響するので、身体の影響を使って心のほうを変えることは社会の中ですごく大きな意味を持つ可能性があります。(図 43)

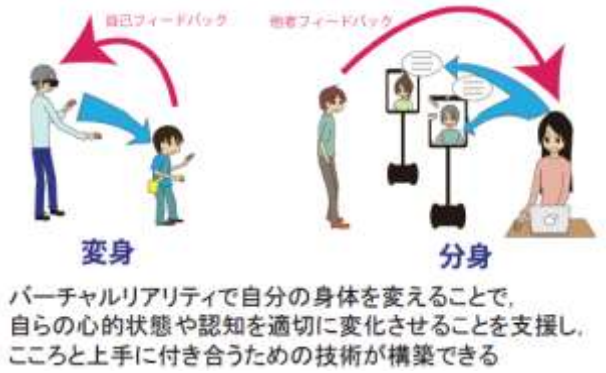


図 44 ゴーストエンジニアリング:
身体の再デザインによる心と認知のデザイン

そういうことをエンジニアリングとしてやろうということで、私はいまＪＳＴのさきがけというグラントでゴーストエンジニアリングという、ゴーストを工学的に自分でいじる技術を確立するプロジェクトをやっています。

例えば､変身して子供になると子供の気持ちがわかるかとか、分身すると効率的に働けるかとか、ＶＲによって初めて可能になるいろいろな新しい身体の形というのがあるので、それがどういうふうに心を変えうるか、そしてそれをどう活用しうるかということを研究しています。(図 44)

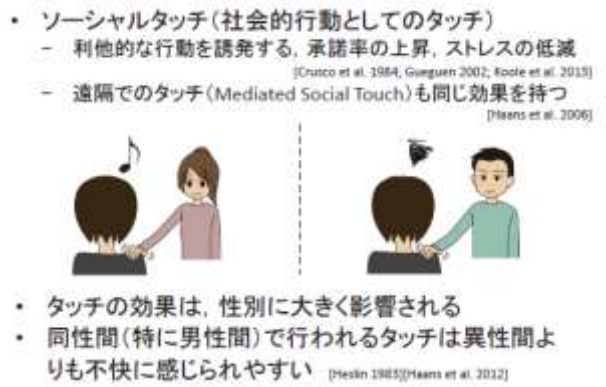


図 45 コミュニケーションにおけるタッチ

変身に関する研究を紹介します。例えば、人と話しているときに身体に触るというのはけっこう重要な役割があります｡｢鳴海さん、講演をお願いします」と言われたときに、肩をたたかれるかたたかれないかで３割くらい決断が変わることが知られています。例えば「この仕事をやっておいてね」と言ったときにやってくれる量が増えるとか､「募金してください」と言いながら触られると募金してくれるとか。医者が患者さんをなでるとストレスが減るとか。

ソーシャルタッチといわれるコミュニケーションの中でのタッチはすごくよい効果がたくさんあることが知られているのですが、残念なことにこの効果は異性間でしか起こらないと言われています。つまり、男性が女性に触れるとか、女性が男性に触れるとポジティブなのですが、同性間では起きにくい。特に男性間では、触られると嫌な感じになって逆効果になりやすいということが知られています。(図 45)

図 46 ソーシャルタッチアバタ

これは非常にいい効果なので使わないともったいないなと思ってつくったのが、こちらのシステムです。スマホに腕がついたような装置です。「仕事をしてね」と言うときに、腕が動いてなでてくれます。しかしこの例では、男性が男性に頼んでいるので、よい効果は起きないのです。(図 46)

図 47 性別変換によるソーシャルタッチ効果増強

そこで、ボイスチェンジャーを使って女性の声にします。そしてなでる。そうしたら、仕事をやってくれる量が１割増えました。つまらない仕事をたくさんやらせるので仕事はつまらないはずなのですが､「それなりに楽しかったです」と言ってくれます。これが声を変えただけではうさんくささを感じてしまいます。事前に「男性が頼んできます」と教えてあるので、女性の声がすると「なんかおかしいな」と感じていったん信頼度が下がってしまうのですが、それがなでた瞬間に回復することもわかっています｡この実験は男性だけでしかできていないので、人間全体ではどうなのかということはありますが、こういうふうにジェンダー・インプレッションみたいなものをうまく変えられると、こういう効果をいつでも引き出すことができるようになります。

人間がジェンダーによってこういう影響を受けることがよいことか悪いことかというのはさておいて、そういう能力を持っているのだとすれば、それを積極的に活用することもできると考えてこういう研究をしています。(図 47)

図 48 分身による同調圧力低減

もう１つ、分身の研究を紹介します。例えば砂漠に飛行機が落ちたとします。このとき砂漠でのサバイバルを想定して「ヘルメットとサングラスとマスクのどれかを持っていきます。どれを持っていきますか」というときに、２人がサングラスと言ってしまうと、ヘルメットと思っていた人が言いにくい。なぜみんながサングラスと言っているのに、ヘルメットと言うのかという圧力をかけられてしまう。これを同調圧力といって、日本では起こりやすいと言われています。

でも、ヘルメットがいいかもしれないので、冷静に話し合ったうえでサングラスにするか、ヘルメットにするか考えてほしいので、冷静に話し合ってもらうために何をするかということで、２対１になるからいけないのだろうと。１の主張をしている人に分身を使ってもらう。忍術というのは現実的ではないので、情報の力で何とかしようということでこういうものをつくりました。(図 48)

図 49 試作した疑似同調効果生成システム

自動的に話の切れ目を検出して、２人の姿に割り当てると。ボイスチェンジャーも使って同じ人がしゃべっているとは思わないという状況をつくります。(図 49)

これを２対１になって弱い立場の人に使ってもらうと、１のほうの人は自分と違う意見の人が２人いると思って頑張ってしゃべる。２のほうは、自分と同じ意見の人が１人いて違う意見の人が１人なので、２対１と思って手を抜いてしゃべるのですが、これを使うと２対２に見えるので、ちゃんとしゃべらないと説得できないと思ってまじめにしゃべってくれる。これをやると、結果として意見が落ち着いたときに全員の納得度が上がるということがわかりました。

話している人数などは些細な情報であって、合理的に話すことにあまり影響しないと思われるかもしれませんが、けっこうこういうところに影響が出ていて、それを補正するためにこういう身体の映像を使うことができるのではなかと思っています。つまり、人間はもっと賢くなれるということです。(図 50)

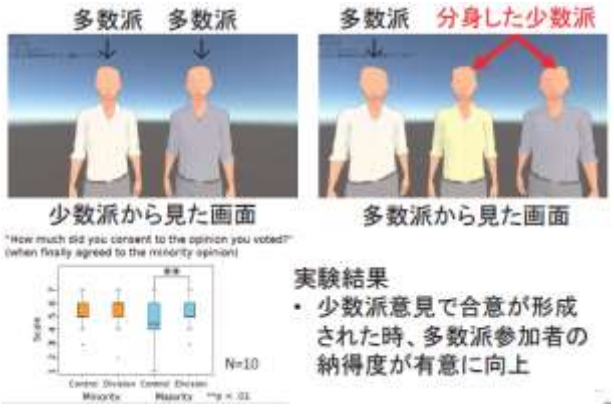


図 50 同調圧力調整効果の検証

図 51 ルーティン: 身体動作による心の補正

もう一つ考えてみたのはちょっと違うパターンで、身体運動の結果が成功するということです。例えばルーティンというものがありますね。ラグビーの五郎丸選手はキックの名手なのですが、謎の動きをしてから蹴るのです。これをやると 95%くらい入る。その前は８割台の後半だったのが 95%くらいまでこのルーティンをやることによって伸びたと。

スポーツ心理学では、ある動きをするとあるマインドセットを呼び起こすことができて、そのメンタルの状態によってパフォーマンスが安定するということが知られています。ただ、これは本人が「これをやるとうまくいく」と信じていないとマインドセットにならないので、五郎丸さんはこのルーティンをつくるのに２年かかったそうです。何回かやって成功すると「いける」と思うのですが、１回でもミスして「やっぱりこれではないんじゃないか」と思ってしまうと、一からつくり直さないといけないということです。(図 51)

図 52 誰でも神プレイできるジャンプゲーム

その話を聞いたときに、我々にできることがあると思ったのです。その前に、誰でも神プレイできるジャンプゲームというのをつくっていました。これはマリオのようにジャンプしてこっちから飛んでくるアイテムを拾います。ジャンプの高さをスペースキーを押す長さで変えるのですが、これが非常に難しい。放っておくと難しすぎてできないので、すぐに飽きられてしまう。逆に、アイテムを拾いやすくするための補正が強すぎると、自分で「あ、失敗した」と思っても取れるので「このゲームはいいかげんだな」と思われてしまう。

自分の能力の３～４割くらいで補正すると、自分が取れると思ったときには気持ちよく全部取れて、失敗したなと思うときには取れないというパラメータをつくることができます。そうすると、「私はこのゲームに向いている」と思って、のめり込んでずっと遊んでくれるという研究をしていました。しかも、自分でやっていると本人は思い込んでいるので、補助輪を外した後にも教育効果が残ります。実際にうまくなっているわけです。これが、支援されていることがわかっているとなかなかそうはならないのですが、自分でやっていると思っている限り、ちゃんと能力が伸びていくことがわかりました。(図 52)

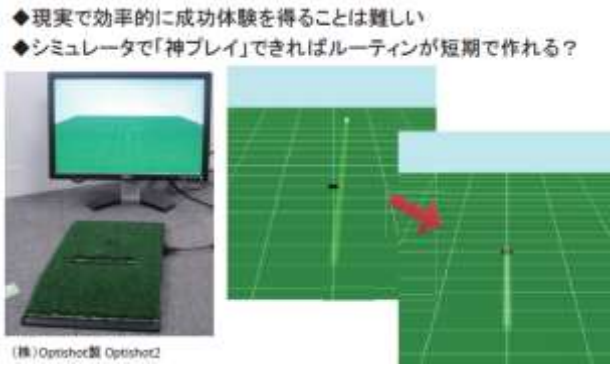


図 53 成功体験を与えるゴルフシュミレータを用いた短期でのルーティン構築

これを応用して、誰でも神プレイできるゴルフシミュレータをつくりました。パターを打って、ちょっとずれていても入ったことにしちゃうというものです。このパラメータが大事なところで、すごくずれているのに入ってしまうと「おかしいな」ということになるのですが、「いまのは入ったかもしれない」と思える範囲をあらかじめ調べておいてシミュレータをつくっています。(図 53)

図 54 検証実験の手順概要

これを使って、ゴルフをまったくやったことのなかった人がルーティンをつくってうまくなるかということを調べてみました。練習は１日しかしません。「ルーティンを自分で考えてもらうのが大事です」と言う人と言わない人がいて、さらに成功しやすいシミュレータと普通の結果が返ってくるシミュレータがありますので、２×２で４グループに分かれます。

それで１日 30 分くらい練習してもらって、１週間後くらいにもう一度来てもらって 30 球打ってもらって、どのくらい入るか調べました。(図 54)

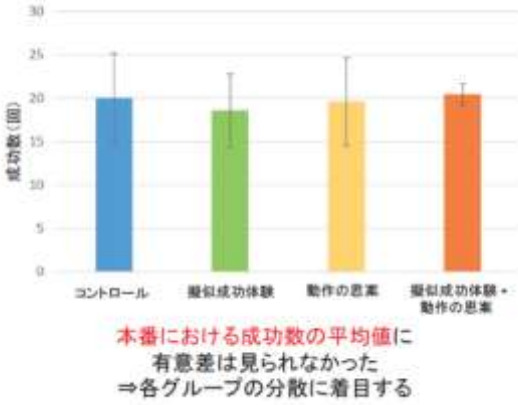


図 55 検証実験: 実験結果

これが結果ですが、４グループで平均はほとんど変わりません。ただ分布を見ると、ルーティンをつくって成功するシミュレータを使った群では全員がほぼ 20 回成功しています。(図 55)

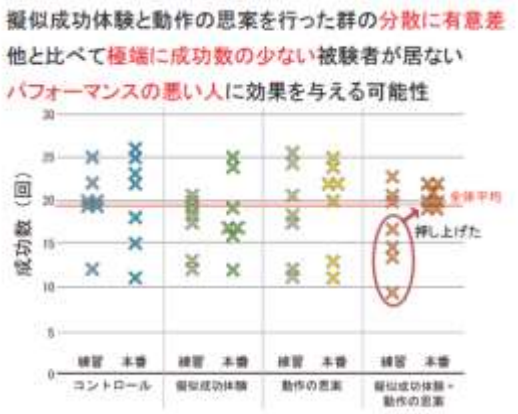


図 56 検証実験の考察: 分散の差

つまり、ルーティンというのはそもそも気持ちが落ち着くので、常に実力が出せるようになります。素人は大当たりもありますが大外れもあるのですが、いっぱいやると平均値が実力ということになります。平均は 20 回でどのグループも変わらないのですが、４つ目のグループの人たちはいつも実力通りの力が出せているということです。

ですから、五郎丸選手のようなうまい人の場合には上振れすることはないので下に振れるしかないのですが、メンタルがちょうどいい状態になると、下振れがなくて成績が安定すると。ただ、これを下手にやってしまうと大成功もなくなるのですが、常に実力通りの結果が出せるようになるということで、ねらったルーティンをつくるというところはできているということを確認しました。

これはルーティンという身体要素を介していますが、ＶＲで直接的に成功体験を与えることで、その後の実技も成功させることができるというパターンもやっています。(図 56)

図 57 疑似成功体験を与える VR トレーニング

ここでは実際には的に当たっていないのに当たっているように見せます。できないことを練習するときには、これはネガティブに働きます。つまり、「このくらい誤差があったからもう少し強く投げよう」ということを普通はやるわけですが、３メートル先にこのくらいの的があったら７割くらいは入るわけです。

そういうときに成功と不成功を分けているのはかなりの部分がメンタルで、「自分はできる」と確信を持っていることです。「自分はいける」という感覚を自己効力感といいますが、自己効力感が高いと習熟したときのパフォーマンスが上がります。逆に自己効力感が低い人は、習熟しても技能のパフォーマンスを上げられないことがわかっています。なので、ＶＲでうそでもいいから成功を体験させてあげて、自己効力感を高めてあげます。(図 57)

では、ＶＲを外してリアルで同じタスクをやってもらったら成績は伸びるかということを調べてみました。(図 58) どういう結果だったかというと、ＶＲで練習してたくさん成功すると、「今日はいける」と思って次の本番での成績は２割くらい伸びます。しかし、ＶＲをやった後に外してリアルで練習してもらうと、「あれ、あまり入らないな」ということで心の状態が戻ってしまうので、次の本番では元の成績に戻ってしまいます。

先に普通に練習している人たちも成績は伸びないのですが、その後にＶＲで練習してもらうと、ＶＲをやった直後は成績が伸びるということで、ＶＲをやった直後はいい感じになると。でも、リアルを体験するとその効果はだんだん消えてしまうということで、どのくらい持続できるかということはまだわかっていないところですが、うまく我々自身をほめてあげるような体験をするとパフォーマンスは伸びるということがわかってきました。(図 59)

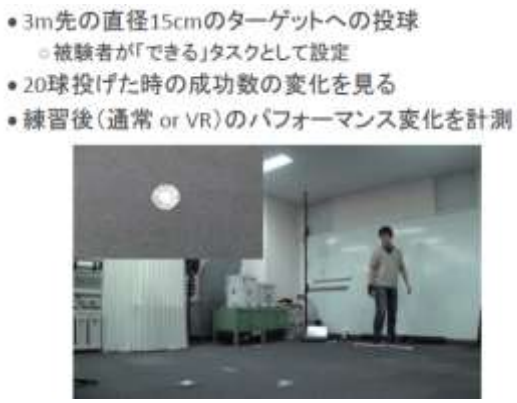


図 58　検証実験: システム利用による
パフォーマンス向上

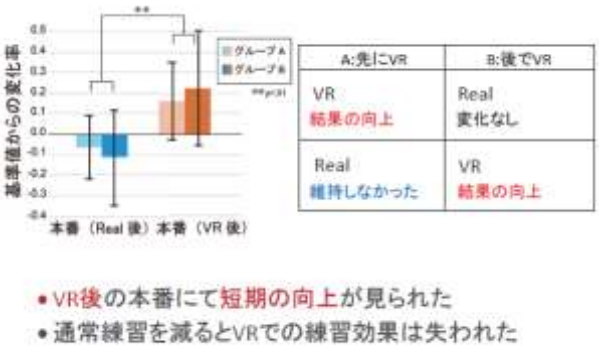


図 59 結果: 練習(通常 or VR)前後の本番における成績

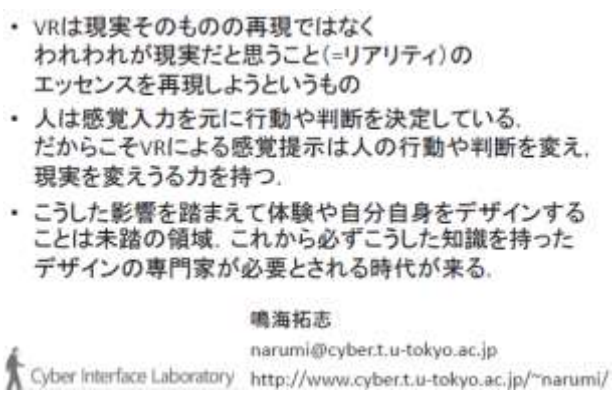


図 60 五感を通じて変わる自己と現実

後半は、五感というより五感を統合した身体の話をしましたが、五感の体験を通じていろいろな五感を表現するだけでなく、自分であるとか、そもそも自分のパフォーマンスを通じて会社の業績が変わるとか、現実自体が変わっていくということは起こりうるわけです。そのときに、それが本当だと信じられることが大事なので、僕らの研究がすごく役に立ってくると。

Unlimited Corridor のところで、見るだけでなく触ることがリアリティを高めてすごく効果が高まったという話をしましたが、そういうふうに我々がそれを現実と変わらないと思えるような

五感の情報があるからこそ、我々自身を変える力がＶＲにはあると思っています。

ただ、もちろんよい影響もあれば悪い影響もあります。ＶＲで人を助けたら現実に人を助けるという話があれば、ＶＲで人を殺したら現実にも人を殺すのではないかと言われるところです。もちろん、それが時間的にどのくらい持続するかはまだよくわかっていないところです。やくざ映画を見た後には、誰もが映画館を出るときにやくざのような歩き方をしていると言われますが、１時間もたたないうちに元に戻っていると思います。

それがＶＲを使うともう少し持続するかもしれませんが、たぶんそれほどは残らない。でもＶＲのおもしろいところは、「仕事をするときにはこの身体、家族と会うときにはこの身体」というふうに身体を切り替えるとその効果がその身体なりに出るので、そういうインタラクティブな状況をつくれるかもしれない。そのときに、どういうシチュエーションでどういう身体を使うかというところをデザインするのが大事だし、「こういう使い方はだめ」というレギュレーションをつくることも大事です。(図 60) そういうことの新しい専門家が必要だと思いますし、ＳＣＡＴのような団体でうまく皆さんの意見を集約して、やってよいことといけないことなどを集約するのが大事かなと思っています。以上で私の話を終わらせていただきます。

（了）

本講演録は、令和元年 6 月 14 日に開催された SCAT 主催「第 109 回テレコム技術情報セミナー」のテーマ、「人の VR/AR の可能性」の講演内容です。

＊掲載の記事・写真・イラストなど、すべてのコンテンツの無断複写・転載・公衆送信等を禁じます。