



SEMINAR REPORT

人類の最後のフロンティア～ニューロテクノロジーの最前線



(株) NTT データ経営研究所 ニューロイノベーションユニット アソシエイトパートナー 兼
VIE STYLE (株) 執行役員 最高脳科学責任者
茨木 拓也 氏

僕は、NTT データ経営研究所というコンサルティングファームで脳科学や神経科学といった分野の技術がどのように社会やビジネスにつながるかということに携わっています。いろいろな研究者や論文を集めながらシーズを発掘して企画にし、いろいろな事業会社とマッチさせて、どんどん新しい脳科学を使った事業をつくっていかう、研究に使っていかう、産学連携の体制を築こう、自分でも事業をやっていかうという形で仕事をしています。

これまではコンサルタントとしての活動が主体でしたが、去年から VIE STYLE というスタートアップ企業でウェアラブルの脳波計を使った事業にも常任をして、多忙な生活を送っています。

脳科学・ニューロテクノロジーってなんなのか

僕が扱う脳というのは「ココロ」の実態だと思っていますが、では「ココロ」とは何でしょう。

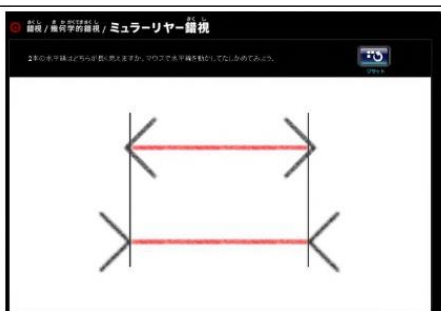


図1 ミュラーリヤー錯視

自分が見ている世界、自分が信じている世界というのは、必ずしも客観的ではないですよね。その人だけの見え方がありますが、それはなかなか自分では気づけません。

例えば、視覚の世界では錯覚というものがあります。図1はミュラーリヤー錯視というもので、物理的な世界では全く同じ長さの線ですが、矢羽根の向きが違って皆さんの心は歪めて知覚して、下の線が長く見えてしまう。これを錯覚やバイアスと言います。

客観的な世界の情報を僕らは脳に取り込むと客観的ではない歪め方をしてしまいます。それは視覚以外にも、思想や偏見のようないろいろなバイアスが世の中にはあります。

物理世界のモノとココロの世界はどうも食い違うようだと提唱したのがデカルトという哲学者で、皆さん御存じのとおり「我思う、ゆえに我あり」という心身二元論です。ココロというのは特別であって、物質世界とは交わらない。彼は「脳の松果体」というところで、物理世界と精神世界とが混ざり合っている」と今から考えるととても面白い仮説を唱えました。

では、モノとココロは完全に別物なのかという問題になります。その両者の関係を解き明かしていこうと原始的な脳科学や心理学を始めたのが、グスタフ・テオドル・フェヒナーというドイツ人です。

彼は物理学者だったので、人間のモノとココロの関係をデカルトのような哲学として思索するのではなく、実験的に明らかにして、ココロの情報処理を数式にできないかと考えました。彼の同僚でエルンスト・ヴェーバーが行った実験では、被験者に1グラムと5グラムのおもりを持たせると5グラムが重いというのは分かるけれども、それに100グラム足して101グラムと105グラムにすると、どちらが重いかわからなくなりました。物理世界では4グラムという絶対誤差にも関わらず、ココロはそれを知覚できません。

ココロが感じる重さと物理世界の重さの関係はどのような式で表せるのか。フェヒナーは、人間の感覚力というもの是对数関数で表すと上に凸の関数になると19世紀に説いています(図2)。非常にゼロに近い1グラムや5グラムのようなところはとても感度は良いけれども、大きくなってくると絶対誤差を感じられる差が小さくなっていくのでどちらが重いかわからなくなっていくといった人間の感覚というココロの処理を彼はエレガントに式に表しました。

人間の知覚は大体、**対数関数**で説明できる！ 重さ、音圧、(星の)明るさ・・・

心理物理関数

$$E = C \log R$$

E: 知覚量 C: 定数 R: 物理量
フェヒナーの法則 Fechner law

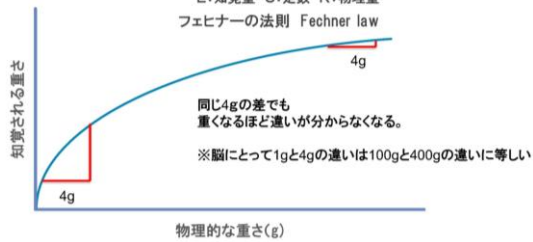


図2 フェヒナーの法則

これをお金の面に当てはめたとはいわゆる行動経済学という分野で、お金に関しても上に凸の関数になります。買い物などで付与される 10 や 20 の少ないポイントでも非常に嬉しくて、そのたびにポイントカードを出してしまうのは、ゼロに近いところで報酬の感覚が高いからです。これは 2002 年にダニエル・カーネマンがノーベル経済学賞を受賞した理由の 1 つです。

なぜこのような話をしたかというと、僕も含めて現代の脳科学をやっている人たちは、ココロとは情報処理をする臓器である脳が、僕らの周りのモノの世界をいろいろと情報処理したものと考えています。最近のモノの世界というのはとても複雑で、いろいろな製品やサービスが現実世界にモノとして存在しています。それらが消費者にどのように処理をされて、どのように価値を感じるかということを知ることができれば、人類にとって役に立つビジネスにつながると考えています。

僕は脳が行っている情報処理が一体どのようなメカニズムなのかを理解したい。それが理解できれば、病気の脳を治療することやより良い商品をつくって不満な脳を満足させることができます。脳の情報に迫るためのインタフェースや情報媒体を作っていくことが、僕の今のところのライフワークです。

僕が「ニューロテクノロジー」と言っているのはいろいろな言い方がありまして、それこそ「応用脳科学」や「ブレインテック」という言葉を使う人もいれば、「ニューロテック」と訳す人もいます。総務省の仕事をするときは「脳情報通信技術」と言いますし、いろいろな言い方をしますが、世界的に使われているのはニューロテクノロジーという言葉で、情報処理をする臓器＝脳の情報に迫る技術です。

皆さんがこうやって話を聞いてくれているような感覚体験や筋肉を動かしたいという運動の意図を結ぶもの、例えばかわいい子には好意をもって近づいて、嫌いな上司からは逃げるという行為も、これらすべて感覚と運動を結びつけた結果です。皆さんのインとアウトの情報処理は 140 億個ある神経細胞が表現しているわけです。

「このような脳の活動のときは、この人は満足している」といった脳の情報からその人が表現している情報処理の中身をのぞいていく技術が、ニューロテクノロジーの第 1 の柱です。僕は読み取り技術やリードアウトテックと呼んでいます。

脳の情報表現というものが分かれば、健康な人と病気の人を比較して異なる箇所を見つけ、健康な人の脳に近くなるように脳を刺激することや、ニューロフィードバックという技術を使って脳を変えていくことができます。さらに、脳には可塑性があつて、その軟らかい脳の特徴を生かして脳の情報を外部から、あるいは自分自身で書き込んでいくということができます。これが第 2 の柱で書き込みの技術です。

第 3 の柱は、僕らの脳は客観的な計算は苦手ですが、ざっくりと知能らしいことを実現していると考えられていて、そのようなヒトの脳の情報処理をうまくコンピューター上に再現できれば、より効果的な AI などがつくれるのではないかという仮想化と呼ばれる再現する技術です。

人によって言うことは違いますが、あくまでも僕はニューロテクノロジーの 3 本柱として、読み取り、書き込み、仮想化を定義しています。

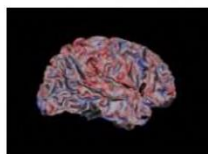
外部物理世界

脳活動

脳活動の解釈例

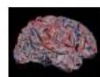


計測



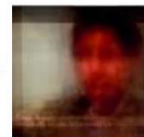
解釈

脳活動 ⇔ 体験が暗号化された“脳のことば”



脳活動パターンから
脳が何を体験しているのか
脳情報（脳のことば）を読み解き、
物理（視覚）・言語情報に翻訳

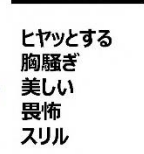
映像知覚¹⁾



意味知覚²⁾



情動知覚³⁾



ヒヤッとする
胸騒ぎ
美しい
畏怖
スリル
...

高次認知⁴⁾



記憶 想像
言語 論理 予測
審美 ... 倫理

1) Nishimoto et al. 2011 Current Biology; Nagai et al. 2019 JSAI
2) Huth et al. 2016 Front Syst Neurosci; Nishida and Nishimoto 2018 NeuroImage
3) Nishimoto and Majima 2018 (in press); Koda-Matsumoto et al. 2020 NeuroImage
4) Nakai and Nishimoto 2020 Nature Communications

図3 脳情報の読み取り～脳情報から知覚内容を再構成

具体的に紹介していきます。まずは読み取り技術です(図3)。被験者にfMRI(磁気共鳴機能画像法)スキャナーに入ってもらって画像を見せると、脳のいろいろなところが活動しているのが観測できます。赤くなっているところは血流が増えているところ、青いところは血流が減っているところです。例えば、「女性の画像を見ているときはここが赤くなる」、「ビーチを見ているときはここが青くなる」というように、140億個のニューロンが総合的に脳全体で情報表現をしています。それで皆さんは何かを感じることや理解することができるわけです。

脳はしわくちやになっているので、あちこちに点在する血流の違いをパターン化したものを機械に学習させて、この活動だったらこういうものを見ているだろうと映像で表現したり(図3右、映像知覚)、空を見ていると解釈できたり(図3右、意味知覚)、この人はたぶん怖がっている(図3右、情動知覚)といった内的な表現を解釈できたりします。

神経の情報処理は僕らにとっては見えないインクで書かれた情報なので、機械学習とAIを使うことで、この暗号化された脳の言葉というものを画像や言葉にしたり、感情を抽出しようとしています。

もう1つの脳の大事な機能に、外に向かって働きかけることがあります。例えば、のどが乾いたら飲み物を飲み、食事のときは箸を使って食べ物を取るなどの脳の運動意図を読み

取るのは、ブレインマシンインタフェース(以下、BMI)と言います。何か動きたいという意図を脳から読み取って、機械を動かす技術です。

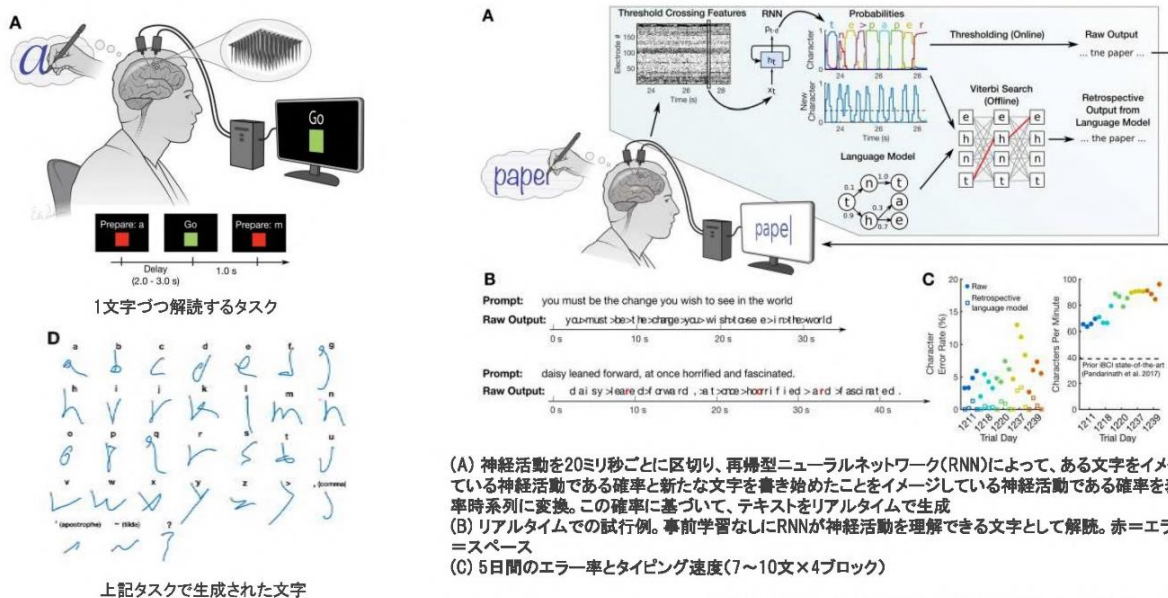
BMIに関しては2021年にかなりブレイクスルーがありました(図4)。これは手術が必要になりますが、100本ぐらいの電極を脳の運動野や頭頂葉のところに埋め込んで、そこからニューロンの発火を測定します。被験者には言葉を手書き文字として書くことを想像する課題をやってもらいます。

例えば、paperという字を書きたいと思うと、pやaに応じた脳活動が出るので、それをAIに読み取らせることによって、「この人はpaperと書きたいと思っている」と解釈します。

この単語出力型BMIは1分間に90文字出力できて、しかも精度は99%です。従来のBMIでは、せいぜい1分間で20文字、速くても60文字ぐらいでした。皆さんが頑張ってスマホで1分間に入力できる文字が120文字ぐらいと言われているので、このBMIは健康者がスマホを打つのとほぼ変わらないぐらいの速さと言えます。

世の中にはロックドイン症候群(閉じ込め症候群)といって、神経の病気や事故などで手が動かない人、話したくても話せない人がいて、現状では目の動きを使って「ありがとう」などと打つのに何分もかけています。そういった患者にこのようなBMIが普及していくことが期待されます。

脊椎損傷で首から下が麻痺している患者(65歳)の手の動きを司る脳部位(中心前回)に2つの電極を埋め込み、手で文字を書くイメージを描いた時の神経活動を記録。このデータをリアルタイムで文字に変換することに成功。その速度はこれまでのBCIを上回る1分間に90文字で、精度は>99%。また、空間的に複雑な動きを伴うイメージの方が解読が容易であることが判明。



Willeit et al. (2021) High-performance brain-to-text communication via handwriting. *Nature*

図4 99%の精度で手書きの意図を解読し、リアルタイムで文字を生成するBCI

図5は「サイエンス」という雑誌に今年出たもので、ロボットアームを念じて動かすと、ロボットアームについたセンサーから「こういうものを触りました」という情報が、触覚を処理する脳の領域に埋め込んだ電極へ伝わります。

これまでの BMI は情報が一方向で、先ほどの単語出力型も paper と念じたらそれを出力するだけです。ロボット系のものは物を掴むと念じてロボットを動かしても、何を触ったかという情報は機械から入ってきません。新しい双方向型では、運動意図でアームを動かして、アームのセンサーからきた情報をまた脳に戻すことができます。それで何が起きるかという、非常にコントロールがうまくなって、物をつかむために必要なトレーニング時間が半減しました。なぜかという、皆さんの手は何かを触ったらフィードバックがあるので脳が学習しやすくなっています。それを BMI で再現することで、より自然な学習を実現できるようになりました。

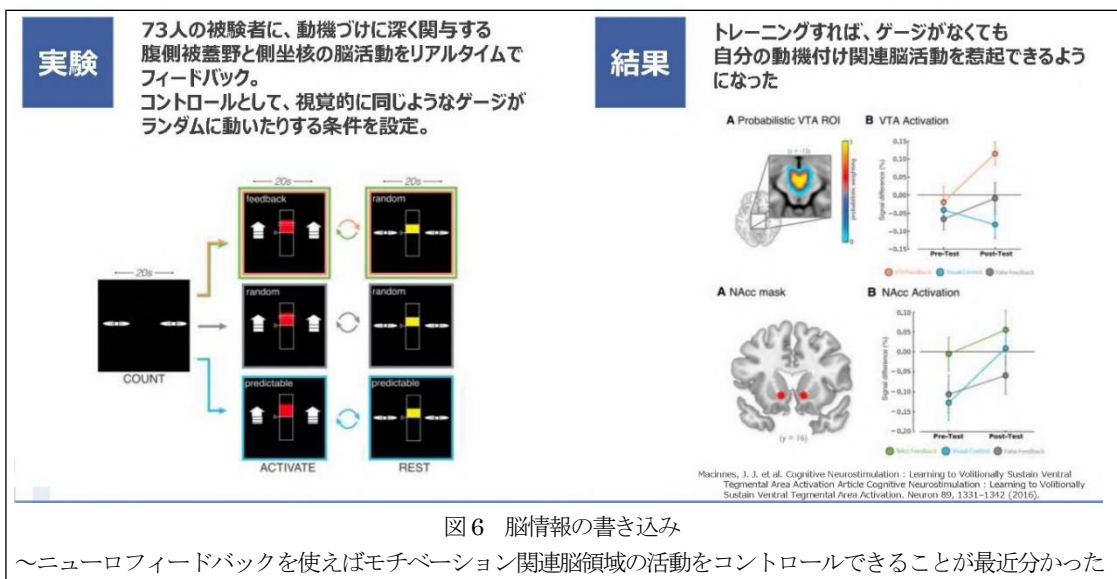
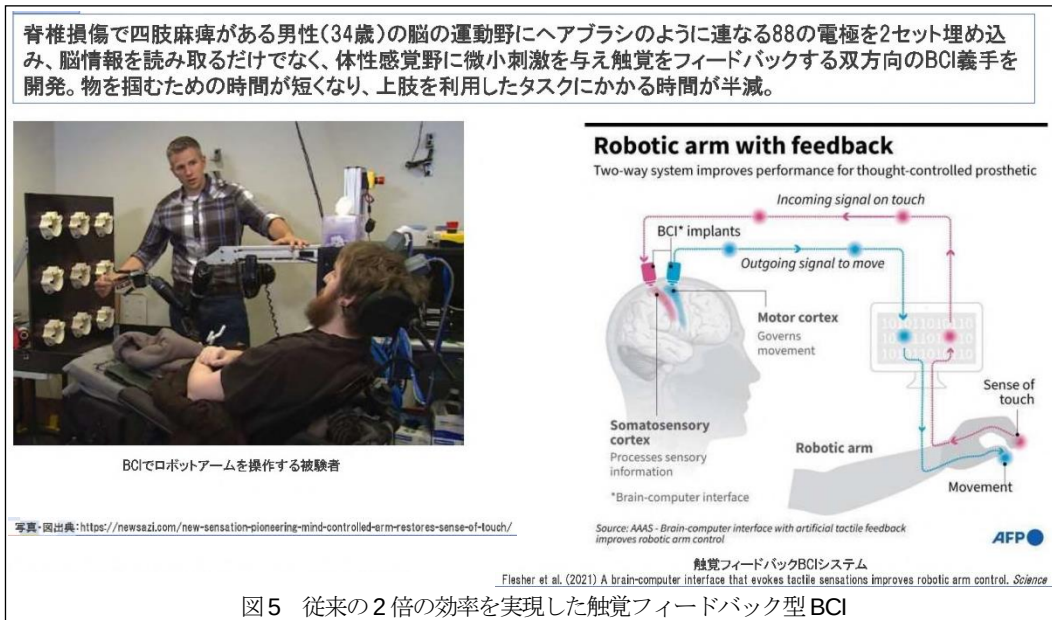
次のテーマは脳情報の書き込みです。脳の情報処理を変えていくにはいろいろな技術がありまして、1つ目に紹介するのがニューロフィードバックという技術です。

図6の実験では被験者に fMRI スキャナーに入ってもらい、中脳の VTA（腹側被蓋野）領域にあるドーパミンニューロンの活動をリアルタイムに計測して、「あなたのドーパミンニューロンの活動はこのぐらいですよ」とフィードバックするものです。

被験者への課題はこのドーパミンニューロンの活動を上げてくださいという簡単なものですが、VTA 領域のドーパミンニューロンは報酬に関連した情報を伝達する役割のため、普通は実際に現金を貰ったり、美味しいものを食べたりしないと活動しません。

この課題は自分の想像だけでやる気を出したり、嬉しくなるものなので、脳活動を見せながら都度ヒント（「マラソンのゴール直前を走っている時を想像してください」などの架空の報酬的な情報）をあげます。被験者はヒントをもらいながら学習すると、ドーパミンニューロンの活動を自分でコントロールできるようになります。

つまりニューロフィードバックとは、自分の脳活動を可視化してリアルタイムに見ながら訓練することで、思い通りに脳活動を起こせるようになるものです。それは実験が終わった後も継続します。



もう1つ、脳の情報を書き込む技術に刺激があります。ニューロフィードバックは安全ですが、トレーニングに日数がかかるので面倒です。その点、刺激というのは手っ取り早く効果が出ます。

脳の奥の深いところの線条体にあるドーパミンニューロンは、音楽を聴いて気持ち良いときに活動することが10年ぐらい前から分かっています。

この脳の領域にTMS（トランスクリニアル・マグネティック・スティミュレーション）というコイルで瞬間的に電圧をかけて渦電流を直下の神経細胞に流し、無理やり神経細胞を発火させて脳活動を上げます。その状態で被験者に好きでも嫌いでもない音楽を聴かせると、快感が上がって感動して汗が出て、気持ちよく脳刺激された状態になり、その音楽に高い価値を感じるようになりました(図7)。

これまで人類が音楽を気持ちよく聴くために、コーヒーや酒などを飲んだりしていましたが、直接脳を刺激することで同じような快感を得るようになるかもしれません。

僕が情報通信研究機構（以下、NICT）の成瀬康さんと共同で行っている実験(図8)を紹介します。日本人が聞き分けられない英語の発音（Light と Right）を聞いたときの脳の差分を被験者に図形の大きさとしてフィードバックして、聞き分けられるときの脳活動が大きくなるように訓練しました。そうすると、何十年も聞き分けられなかったLight と Right の発音が9割方聞き取れるようになりました。このように何か聞き取るといった語学能力を向上させるところにもニューロフィードバックの技術が活用できます。

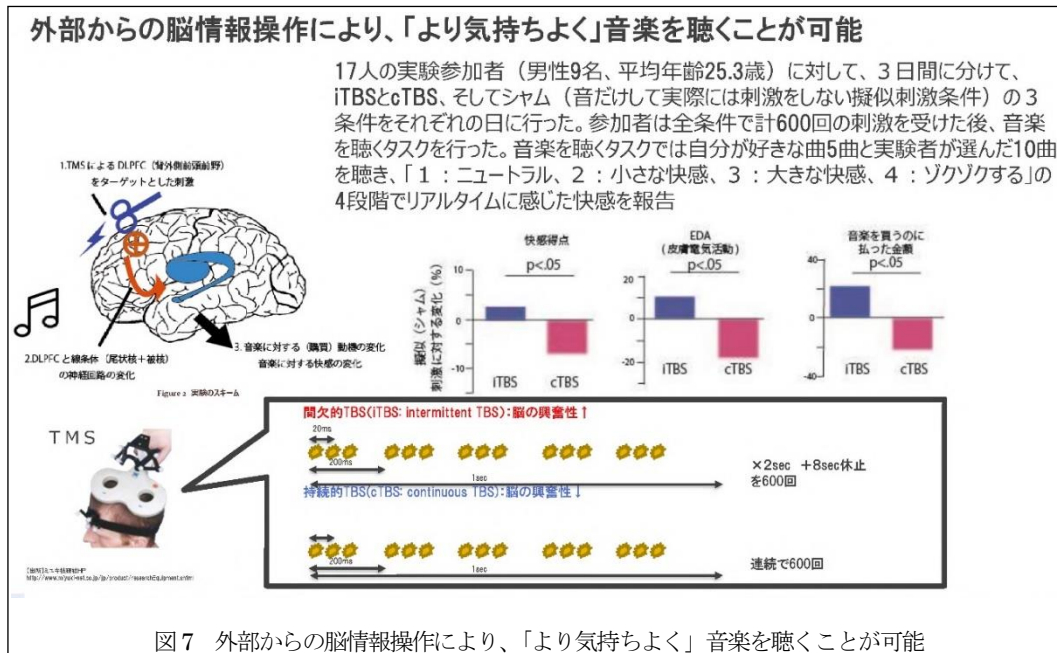
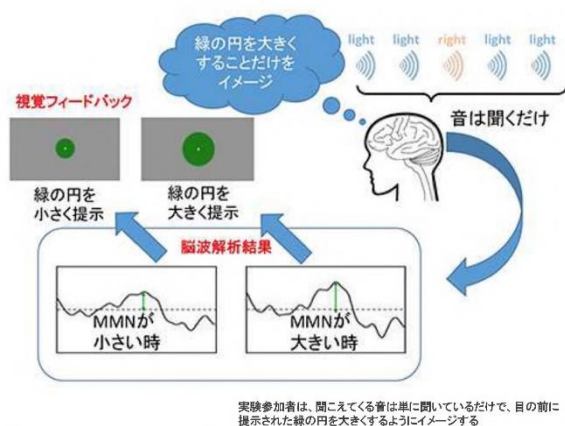


図7 外部からの脳情報操作により、「より気持ちよく」音楽を聴くことが可能

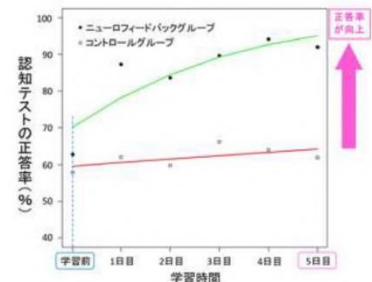
NICT・CiNetの成瀬Gが持つ、ニューロフィードバック技術

実験では、実験参加者は音の聞き分けの学習をしているつもりがなくても、無意識のうちに(ニューロフィードバックの効果で)『Right』と『Light』の音の聞き分けが5日間程度で出来るようになった。

このような研究が実用化できれば効率よくリスニング能力を向上できる教育手法となることが期待できる



学習前はニューロフィードバックグループ、コントロールグループ共に正答率が60%前後で、コントロールグループの正答率は向上しなかったのに対して、5日間の学習後には、ニューロフィードバックグループの正答率は約90%に向上した



(出所)<https://www.isol.co.jp/release/2017/171017.html>

図8 ニューロフィードバックによる無意識的な能力拡張～英語リスニング能力の向上

未来の話を少ししますと、ヒューマンブレイン・クラウドインタフェースという構想がありまして、人間の脳をクラウドとつなげようと考えている人たちがいます。あと 20 年もすればセンサーや刺激装置が非常に小型化されて、神経細胞に接合するぐらいの超マイクロロボットのようなものが開発されると言われています。そのマイクロロボットが脳の中に入ってクラウドとつながるようになれば、欲しい知識やスキルを瞬時にダウンロードできる世界がくるかもしれません。

3つ目の柱が脳の仮想化です。AI を代表する人工知能の世界とニューロサイエンスといった生身の脳を扱う学問は兄弟のようなものといえます。脳がこうに情報処理をしているというモデルに着想を得て、いろいろな強化学習やディープラーニングが出てきました。ディープラーニングは人間や哺乳類の視覚情報処理に非常によく似ています。また、最近ではワーキングメモリや牽引学習なども AI の世界に影響を与えています。逆に AI がどんどん進化することで、人間の脳の情報処理を解析する技術としても使われるようになり、かなり共進化のループが回っています。

僕は特に人間の脳の情報処理をコンピューターに実装できないかと考えていて、その点で注目しているのはアルファベット社傘下の Alpha Go を開発したディープマインドという会社です。

人が空間の中で自分の位置を推計する情報処理の回路が脳の側頭葉の内部にありまして、彼らはその神経回路をまねたものをコンピューター上につくったところ、非常に効率よく迷路が解けるようになりました。あとは強化学習として左か右を選択してどちらが儲かるかを学習していく課題も、脳の情報処理と似たような回路をつくったところ、人間よりも高いパフォーマンスで課題を解くようになったそうです。人間の脳の情報処理のアーキテクチャをコンピューターに実装することで高性能なものが出ています。

僕は人間の脳の情報処理のアーキテクチャをまねるだけではなく、本当に人間の生きた脳のデータをそのまま使ってしまうという事業をやっています。

これは NICT の西本伸志さん、西田知史さんと一緒に行った研究で、被験者にいろいろな動画を見せたときの脳活動のデータをひたすら集めます。先ほど解説する技術のところで紹介したように、「この動画を見ているときは、このような脳活動が起きる」ということを AI に学習させます。そうすると動画を入力するだけで脳活動が予測できるモデル、つまり仮想の脳がつくれるわけです。コンピューター上であって、この動画を見てどのような脳活動するかと聞くと、このような脳活動をしますと答えが出てきます。

普通のディープラーニングでは脳の情報には使わず、画像の特徴だけで犬か猫かというのを判別していきますが、人間の脳の情報量はもっと多いものとなります。皆さんの心は、コンピューターやディープラーニングにはない、今までの経験に基づいたいろいろな連想や想像をするでしょうし、それこそ感情や印象も含まれていると思います。

仮想の脳には人間の脳の情報が含まれているので、この研究で行った広告に対するクリック率や印象の良し悪しの課題では、

過去のディープラーニングのトップレベルのものと比べても精度が高くなっています。

続いて、ニューロテクノロジーのビジネスとしての市場はどうかというところで、主に技術の概観をお話しします。

初めに紹介した読み取る技術に関するところでは、臨床—いわゆる病気の人向けが進んでいます。1つ目は動かなくなったものや無いものを代わってあげる代替の役割をする BMI で、事故や病気で体が動かなくなってしまった人たちが念じるだけでロボットや車椅子、家電を動かすものです。2つ目は運動回復の BMI で、脳卒中で腕に少し麻痺が残ってしまった人たちが、「動け」と念じるとロボットが腕を動かそうとすることを支援します。

読み取る技術で一般向けの話挙げると、人間の感じている感覚体験などを計量化して、その人にとって最適な脳の状態を把握していくことです。例えば、広告の世界であれば、広告の良し悪しを判断している基準を脳の情報から「これだ」というものを情報として最適化する。面白い広告やおいしい食べ物といった感覚的なことは理由を聞かれても明確に答えられないものですよね。よく分からないけれどもこっちが良いではなくて、脳の情報処理を見ることで、その人にとってより価値のあるものを提供できるようになります。

ほかには、航空機の管制官、パイロットやドライバーなど認知機能を使う人たちの脳の状態をリアルタイムに解説・推定して、「今は余裕がないから、あまり情報を出さないでおう」といった、人の脳の状態に応じて表示する情報を変えるようなヒューマンマシンインタフェースがあります。あとコミュニケーションという意味ではブレイン・ブレインインタフェースなど、脳の情報を送り合う技術もいろいろ出てきています。

書き込む技術に関しては臨床が多くて、例えば人工内耳、人工網膜、人工触覚、脳幹インプラントのような、感覚器が失われてしまった人たちにそれを代替するサイボーグ技術や刺激技術がありますし、脳機能調整というところでも非常に注目されて伸びています。

日本大学医学部付属板橋病院脳神経外科が行ったパーキンソン病患者へのディープ・ブレイン・スティミュレーション（脳深部刺激）では、手術で脳に電極を埋め込んで電気刺激を施すことで、薬剤耐性のある患者にも治療の効果が出ています。また、慢性疼痛といってずっと痛みがあるという患者に、その痛みがあるところを電気刺激して痛みを抑えてあげる治療があります。

あと、鬱病も脳の情報処理の障害なので、その情報処理を変えるような脳刺激を施す治療が行われていて、これは日本で去年から保険適用になりました。ほかにも高次ニューロフィードバックによって疾病の治療もいろいろできるようになってきています。この辺はまた最後にお話しします。

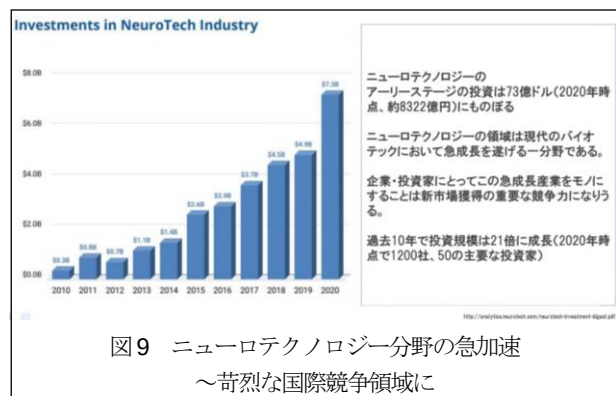
あと、ヒューマンオーグメンテーションというのを聞いたことがありますか。人間拡張技術といって、脳の情報を変えていくものとして注目されています。先ほどのニューロフィードバックのトレーニングに似ていて、理想的な脳の状態に自分で近づけたり刺激をすることで、言葉を覚えたり集中力が高い状態をつくったり、自ら脳の状態を調節しようとするものです。

ニューロテクノロジーを取り巻く市場環境

図9はアメリカのニューロテックドットコムが出した資料です。このグラフは過去10年のニューロテクノロジー産業に対する投資額で、市場規模ではありません。ニューロテクノロジーは黎明期の技術なので市場はまだ出てきていません。

どのぐらい投資が集まっているかというと、2020年の段階で7.3億ドル、なかなかの額ですね。これは2010年に比べると21倍と急激なカーブを描いて投資が増えています。このニューロテクノロジー領域はバイオテックの中でもかなり急成長している分野で、企業や投資家の間では急成長産業をものにしようと競争がし烈になってきています。

2020年時点での世界のニューロテクノロジーに関わる会社は1,200、投資家は650、Tech Hubは60もあります。



では、なぜ日本ではこのような話を聞かないのかというと、この分野の規模が小さいからです。図10はニューロテクノロジー分野のトップ10の国のグラフで、左側は資金規模、右側は企業数です。両方ともアメリカ1強ですね。資金規模はアメリカ、UK、イスラエル、カナダと続いて、日本は9位。企業数のグラフでは日本はトップ10にも入らないことから、グローバルで活躍できているニューロテック企業が少ないのが分かります。

ニューロテックに投資をする企業の分布ではアメリカが72%ぐらいです。日本にもニューロテック系に投資し始めているところが出てきてはいますが、圧倒的に少ないです。投資をする人がいなかったらテック企業も出てこないし、テック企業が出てこなかったら投資する人もいないという悪循環があるのではないかと思います。

ニューロテクノロジー企業のトップ20を見ますとアメリカの西海岸に多く分布していて、有名なところではイーロン・マスクがつくったNeuralinkがあります。彼らは侵襲型といって、手術で埋め込むタイプの電極を開発しています。

イスラエルは国家としてブレインテクノロジーを支える仕組みができていて、かなりいろいろなスタートアップができています。

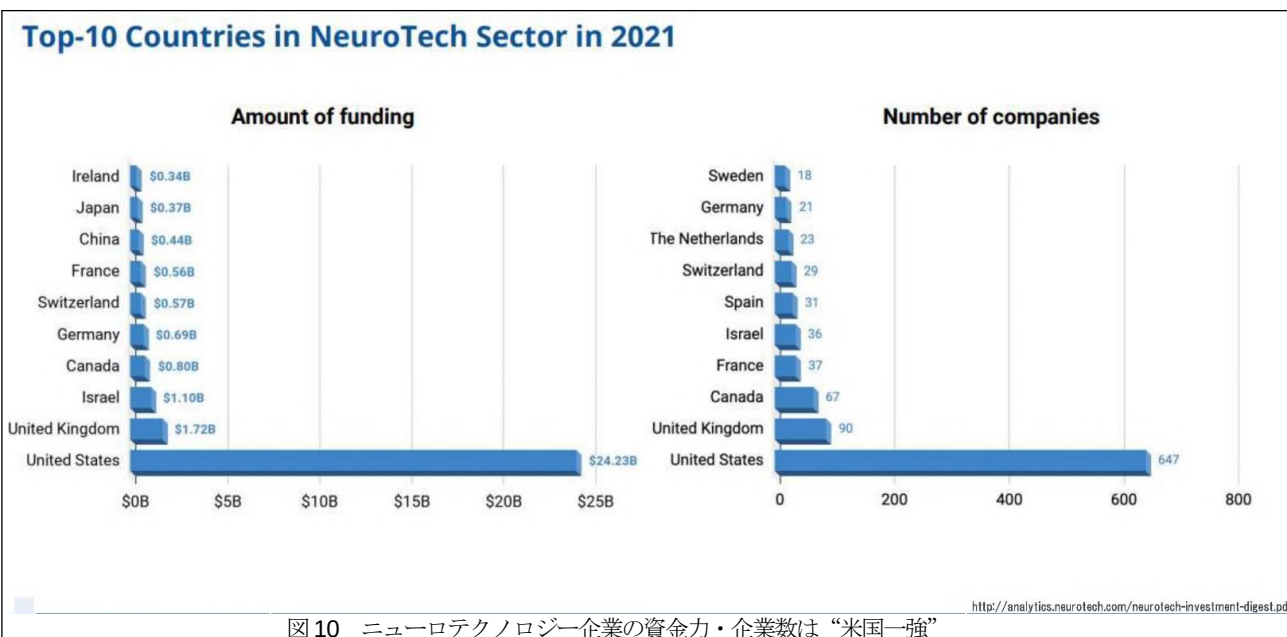
ニューロテクノロジーによるビジネスの現状と変化の展望

僕自身が考えているニューロテクノロジーの事業としての意義をご説明します。

僕たちは五感を通して認識して、筋肉で何か働きかけられる世界に生きています。太陽が沈むのを見れば地球が動いているとは思えないので、天動説的な世界だと認識します。原始人のころは目で見たまの世界、筋肉で動かせるだけの世界でした。

そこから人類はテクノロジーや言語と呼ばれるもので世界を拡張してきました。筋肉だけでは行けないところへ飛行機で移動することや、肉眼だけでは見えないものを望遠鏡や顕微鏡で見ることが出来るようになりました。僕たちの頭の中に地磁気センサーはありませんが、コンパスを使えば北がどちらか分かるし、計算能力がなくてもパソコンを使って計算するといったように能力というものを拡張してきたわけです。道具と言語、概念表象がこれらを支えてきたと思います。

脳の情報処理というのは僕たちには見えないインクで記述されている存在で、ニューロテクノロジーが実現化してそれらを使えるようになれば、人類の次の進化につながると考えています。



人間はヒトの考え方の中身(状態)を見ることができません。ですが、他人の状態といった理解できないものを脳の情報媒体をきっかけに理解し合えるようになれば、人間同士の「思いやり」の拡張ができるのではないのでしょうか。

あるいは金持ちしか教育を受けられず、特殊なスキルや知識が取得できなかった世界が、脳の情報処理が流通すれば、スキルの交換のような形でいろいろなチャンスが生まれるかもしれません。

あとは技術様式という情報媒体の観点から言うと、昔は狩りなどで「あちらにマンモスがいたぞ」と言語でやり取りしていたのが、文字が流通するようになり、論理や方程式ができることで表現できる媒体が増えて、そして空間と時空間を超えた情報の伝送(電話、ラジオ、テレビ)ができるようになりました。僕が所属する NTT はこのような声をつなぐという事業を 100 年間やってきました。

スマホが普及した現在ですが、空間を超えた情報の伝送からはそれほど進化していませんね。通信の量や速度は上がっていますが、根本的な情報の質というところではまだ人類は進化してなくて、僕は次に革命を起こすのが脳情報だと考えています。

脳の情報を送り合えるようになれば、もっと言語化できていない、テレビや電話では送れないような情報が送り合えて、それで問題を解決し合えれば、新しい人類の集団としての創発媒体になると考えています。

ここからは身近な例で、具体的にどのようなことができるようになっていくかという話をしていきます。

最初の事例がマーケティングです。マーケティングにおいての課題の一つとして、売れる CM や広告を作りたいがため、広告会社に高額な費用を払うということが慣習となっています。

解決方法の1つとして、ユーザーの脳の情報処理が分かれば、より購入につながる広告が作れるのではないかというのが僕のアイデアです。先ほど説明した仮想脳化を利用します。

人間の脳が広告や動画を見たときにどのような脳活動や行動をするかというデータを集めて、人間の脳の情報処理をコンピュータ上で仮想化します。普通の広告の検討ではA案B案のように2個比較するぐらいですが、仮想化することでたくさんの案を検証できることになり、多くの候補の中から最適解を選ぶことができます。

僕がツイッタージャパンとブシロードというゲーム会社の協力を得て検証した事例を紹介します。Craft Egg という会社がつくったアプリの広告で、7秒ぐらいの動画をツイッター上に流しました。そのときのツイッター上でのアクション、具体的に言うと、どのぐらい“いいね”されたか、リツイートされたか、そこからクリックしてページに飛んでアプリをインストールしたかというデータをもらいます。

そして先ほどの仮想脳にツイッター上で流れた広告を見たときの人間の脳活動を予測させます。それと合わせて先のツイッターのそれぞれのレスポンスを学習させると、人間がツイッター上で広告を見てレスポンスするに近い仮想脳ができるので、これに大量の広告案を見せます。

何百という案を見せると、その中から「これにクリックするよ」という候補が絞られてきます。それらを実際にツイッター上に流したところ、再生率といって広告を飛ばさずに見てくれる回数やエンゲージメントといってリツイートや“いいね”される確率、アプリのインストール率をそれぞれ上げることができました。

例をあげますと(図 11)、元の広告動画は左図のごちゃごちゃしたシーンから始めていましたが、僕らの仮想脳は右図にある初めに女の子を1人出したほうが再生率は伸びると判断しました。実際に右図のケースで何万人かに流したところ、再生率を 23% 上げることができました。

既存の方法では難しいことも、外からは見えない脳の情報処理に行動を紐づけることで、広告効果を増大することができる、そんな一例です。

2つ目がエンターテインメントです。僕たちがつくっている仮想脳は動画だけでなく、音楽にも利用できます。皆さんの脳の中で聴覚野は上側頭回あたりにありまして、この音楽を聴いたらこういう脳の活動をするというデータを fMRI スキャナーで集めて、仮想脳を作ります。それを使うと、例えば YOASOBI の「夜に駆ける」という曲であれば「このような脳活動が起きますよ」というデータが1秒単位で出てきます。

音楽はテンポや音色やキーなど、いろいろ特徴があるので定量化が難しく、音楽の定量指標というのは意外とありません。そこで音楽を聴くとどのような脳活動になるかというのが、その音楽の特徴量になるのではないかと考えました。

従来の冒頭部分 (ベンチマーク素材)



©BangG Dream! Project, Craft Egg Inc.

NeuroAIにより最適化 (NeuroAI素材①-2)



ベンチマークと比べ

©BangG Dream! Project, Craft Egg Inc.

再生率が **23.6%** 上昇

図 11 広告最適化例

そうすると結構おもしろくて、流行した瑛人の「香水」という曲は石川さゆりの「天城越え」に似ているという結果が出て、それが話題になり、NHKにも紹介されました。

ビルボードと組んだ研究では、ビルボードが持っているチャートポイントのデータから、ある週はこのような脳活動を起こす曲がはやっているが、だんだんそれが廃れてきて、ある週から別の脳活動を起こす曲がヒットしているといった、そのトレンドのようなものを学習できるかをLSTMという時系列を予測する機械学習技術を使って、2020年4月までのデータを基に2020年8月のチャートを予測してみました。結果としては実際のビルボードのチャートポイントと僕が出した予測の相関が0.70なので高いわけではないのですが、ざっくりとはできそうともいえる感じになりました。

実用化には正直苦しんでいますが、例えば天気予報だって昔はおまじないでやっていたものが、衛星写真や気圧計からデータが取れるようになって予報の精度が高くなりました。そうして皆さんも雨だから外出をやめようといった計画が立てられるようになったわけです。

エンターテインメントやアートの世界も予測ができる媒体があるのなら、それをうまく利用すればよいのではないかと考えてこの研究を発表しました。今は大手音楽事務所と実用化に向けて、道のりは険しいですが頑張っています。

次は少し堅い話になりますが、脳関連で僕が大事だと思っているのは、やはり医療やヘルスケアの世界です。皆さん、聞いたことがあると思いますが、認知症や鬱病などは薬で一気に治るものではありません。

薬物治療は近代の西洋医学がこの半世紀ぐらいで発展してきた非常に重大な成果ですが、それが完璧かという効果が少ないか、長期間使っていると体に耐性が出来たり、また鎮痛剤には依存の問題があります。

僕が薬は野蛮だと思うのは、錠剤を飲んだらその成分が患部だけでなく体中に回りますよね。そういうのを非特異性といまして、治療の効果だけでなく、副反応や副作用が出てしまうことがあります。

例えば鬱病であれば「セロトニンが足りないのが原因だからセロトニンを増やそう」というのが西洋医学的な考えですけども、心の病気というのはそういう一因分子で説明できるものではないから治療がうまくいかないと考えています。脳の情報処理の異常であれば、脳の情報処理そのものに介入していく治療法があるのではないかと考えて、今、ニューロテクノロジーを使った治療が生まれてきています。皆さんはたぶん聞いたことがないと思いますが、“コンピューティショナル・ニューロサイキアトリー”とか“ニューロテクノロジーのデジタルセラピューティクス”とか“デジタルサプリメント”と言われていて、僕はこの10年でとても伸びると考えている領域です。

先ほど説明したようなニューロフィードバックを使えば、時間はかかりますが薬のように飲んで一定の効能を働かせて終わりではなくて、それをスキルにすることができるので依存や耐性の心配はありません。また、薬のように飲んで体全体に行き渡らせるのではなくて、問題が起きてしまっている脳の情報処理だけを狙って、それを変えていくトレーニングをするというのが基本的な概念なので、変えたいものだけを変える、要は副

作用が少なくできるというのが圧倒的な強みです。ただ難点は技術がいることと本人がトレーニングしなければいけないことです。

“コンピューティショナル・ニューロサイキアトリー”について少し紹介します。僕は医者ではありませんが大学で医学系に所属していたので、病院実習などでいろいろな科を回りました。大抵の診療科は毎朝のカンファレンスで患者の血圧やバイオマーカーの値などを報告しますが、精神科はフロイトのような丸眼鏡をかけた人たちが、「新しく入院した〇〇さん、35歳。幼少期に父親から暴力を受け」といった、患者のストーリーを読み上げていました。

最近、精神医療で注目されているのが計算論的精神医学という研究領域で、精神疾患を脳の情報処理の異常と捉えて治療をしようというものです。脳の情報処理というのは何かしらの計算で、どの計算がどのようにおかしくなっているのかが分かれば、その計算に特異的な処置ができるだろうという考え方です。

例えば、鬱病の人は報酬計算の中で期待値の処理がおかしいのではないかと仮説があります。期待値というのは、人間は良いことも悪いこともあるので、それに伴って学習をして、人生はこのぐらい良いことがあるという期待値を皆さん一人一人が持っていて、多くの人はポジティブラーニングレートとネガティブラーニングレートが同じになります。なぜかという、良いことがあると「やはり人生は良いな」、悪いことがあると「人生はそんなに良くないな」といって、常に皆さんは良いことと悪いことの中で期待値がニュートラルになるようになっていきます。

鬱病の人はネガティブラーニングレートだけが異常に低いということが分かっています。良いことがあると期待値は上がりますが、嫌なことがあっても期待値を下げられません。人間の脳は絶対的な感覚がないというのは初めに話したとおりで、楽しさも期待値を超えるか超えないかでしか感じる事が出来ません。

期待値だけが高くなると何が起きるかという、世の中の普通に起こる楽しい出来事では全然楽しくなくなってしまうので「何が起きててもつまらない」から「死のう」となってしまいます。

つまり、鬱病とはネガティブなことがあったときに、それを学習して期待値を下げるという計算に異常があるのではということが分かれば、新しい処置ができるのではないかと。これが計算論的精神医学の考え方です。

さらにそこから快癒につなげられたら最高ですよ。ここでソニーの小泉愛さんの研究を紹介します。小泉さんはずっとトラウマ（精神的外傷）の研究をしている人で、図12は彼女が5年ぐらい前に発表したニューロフィードバックを使ったトラウマの実験です。

彼女は実験室の中で、被験者に赤色の図形を見せて電気刺激をします。そうすると、被験者は赤を見るだけでドキドキして怖くて汗が出てくるようになり、一時的な赤トラウマになります。その後、ニューロフィードバックで治療を試みます。

そもそもPTSDやトラウマのメカニズムというのは、パブロフの犬のような古典的条件づけによって脳の中のシナプスが非常に強くつながっていることなので、この実験では赤を見るだ

けで恐怖反応の神経細胞は働いてしまいます。

小泉さんはその治療に、赤いコル恐怖という反応、言い換えると赤ニューロンと恐怖ニューロンの神経のつながりを消すのではなく、赤ニューロンとのつながりを嬉しいニューロンに配置換えできないかという斬新なアイデアを試しています。

まず、図形を見せたときのリアルな脳活動を計測するために被験者に fMRI スキャナーに入ってもらいます。ここでポイントなのが赤を見てしまうと被験者は恐怖を感じるので、灰色の図形で脳活動をリアルタイムで解読していきます。灰色しか見えていないのですが、被験者は無自覚で赤を見たときに近い脳活動を起こすことがあり、それが起きたときにお金をあげるということをします。そうすると被験者は赤を見たときの脳活動と報酬とが結びついて恐怖反応がなくなります。赤ニューロンと恐怖ニューロンのつながりを、見事に嬉しいニューロンに変えることができました。

このように PTSD やトラウマのようなもの、神経の情報処理という観点からその経緯を見つめ直し、そこからニューロフィードバックを使って変えることができるようになったという良い事例だと思います。

最近僕が携わっている仕事の1つに脳ダイエットというものがあります。肥満は脳に問題があると言われていて、「サイエンス」に掲載された、痩せられる人と痩せられない人がいるのが分かったという研究では、fMRI スキャナーの中で被験者にサラダなど体に良いものとお菓子やハンバーガーなどを見せたとき、痩せられる人というのは脳のブレーキ役である DLPFC (Dorsolateral prefrontal cortex : 背外側前頭前野) 領域がきちんと働いて、「ダイエット中だから、お菓子やハンバーガーの価値を下げる」という脳活動が起きていたのですが、やせられない人はブレーキ役が全く働いていませんでした。

肥満の原因にもいろいろありますが、食べなくてもよいのに食べてしまうという抑制が効いていないことから、アメリカでは肥満はフードアレクション(食べ物中毒)という概念が広がっています。

2019 年に発表された実験では、被験者に fMRI スキャナーの中でドーナツを見せながら DLPFC 領域の脳活動を上げなさいというトレーニングを3回6施行ぐらいうると、若干ですが、ドーナツはおいしくないと感じるようになり、また、高カロリー食品と低カロリー食品を選択する実験では、高カロリーのものを選ばなくなる傾向になりました。

また似たような研究で、食べたい高カロリー食品を抑制するニューロフィードバックがあります。空腹状態の被験者に高カロリー食品の画像を見せた状態でそれを我慢できたら、だんだんとその画像が小さくなっていくトレーニングを行ったところ、空腹感を抑えられるようになりました。

あと、DLPFC 領域に電極をはって電気を流すことで、摂取カロリーを減らして体重を減らすという刺激装置を使った研究も出てきています。ニューロフィードバックの場合はトレーニングを何回とか何日も行う必要がありますが、刺激装置を使った場合は手っ取り早いので、時間を掛けてまでそういうスキルとして身につけたくない人には良いかもしれません。ただ、リバウンドする可能性があるのも、僕はニューロフィードバックのほうが優れていると思っています。

ほかには、感情の調整のようなどころも非常におもしろい分野だと思っています。例えば MCI (軽度認知障害) や認知症になると、健忘や記憶力だけではなく感情制御能力も下がってくるのが分かっています。感情制御も脳で行われているので、その能力向上にニューロフィードバックを使おうとしています。

2年ぐらい前に出たおもしろい研究では、被験者の脳情報を解読して、被験者がどんな気分(happy または sad)なのかを推定し、その気分に応じた音楽を流します。例えば sad であれば、マイナー調のとても暗い曲が流れてきて、「今は脳が鬱だ」と被験者が気づける。これをクローズドループ型と言って、被験者が自分の脳の状態をリアルタイムに知って、それで自分で気づいて何か直そうと思える閉鎖系の回路です。

脳の情報処理への介入(ニューロフィードバック)による疾患治療の可能性

背景

心的外傷 (PTSD) の治療では、患者が恐怖と感じる対象を繰り返し提示し、実際には怖いものではないことを学習させる暴露療法がよく行われる。一方、この方法は患者に過度の負担をかけることから治療を断念するケースも多い。

本研究では、恐怖反応を引き起こす刺激を直接提示することなく、被験者が無意識に恐怖反応を和らげられる方法を開発した。

手法

① デコーダー作成: 赤or緑の図形を提示した際の脳活動パターンを fMRI で計測する。この活動データをデコードできるように機械学習を行うことで、視覚野の活動パターンから赤い図形を表している尤度と、緑の図形を表している尤度を推定するデコーダーが作成される。

② 恐怖記憶形成: 赤/緑の図形を被験者に提示し、同時に手首に電気刺激を与えることで恐怖記憶を形成した。

③ DecNeF訓練: 灰色の模様を見た際に、うまく脳活動を操作して、後に示される円(報酬量を表す)を大きくするように教示する。実際には赤または緑を見たときの脳活動と類似した脳活動であるほど報酬量が大きくなる。

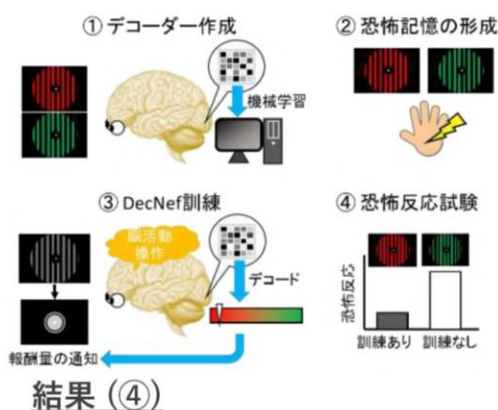


図 12 脳の情報処理への介入(ニューロフィードバック)による疾患治療の可能性

被験者が「少し鬱っばいから、頑張って楽しいこと考えよう」と思って、だんだん脳活動が **happy** になってくると、それにつられて聞こえてくる音も明るい曲になり、被験者自身も「ハッピーになってきた」と認識します。これはまだ予備実験で被験者の数も少ないですが、しっかりと学習の効果が出て、**sad** から **happy** にもっていけるというのが分かってきています。

僕はこれを基に、怒りという感情を自分でニューロフィードバックを介してクローズドループで制御する感情制御、いわゆるアンガーマネジメントの事業を行っています。

ところで、感覚能力には今までいろいろな補綴技術がありました。聴覚には補聴器、視覚には眼鏡や老眼鏡といったものです。感覚器の障害は末梢のものと思われがちですが、実は視力や聴力というのは皆さんの脳の中にもあります。

聴力について説明しますと、聴力には2種類ありまして、ピーツという音が聞こえたらボタンを押す聴力検査で調べるものが末梢性聴力です。

そして、もう1種類が脳の中にある中枢性の聴力で、例えば雑踏の中で僕が話していたら、いろいろな音から僕の声をつまみ出さなければいけませんよね。それは皆さんの耳ではなく脳がやっています。

聴力は末梢でも中枢でも加齢に伴って減ってしまうことが分かっています、その何が恐ろしいかというと、耳が聞こえないがために人と会話をしなくなり社会性が失われてしまうことや、刺激がなくなることによって認知能力が激減することです。加齢性の聴覚障害の中で、認知能力の激減に大きく作用しているのが中枢性難聴となっています。

最近ニューロフィードバックで中枢性の聴力を上げる実験がありました。被験者にアップ・ダウン・ノイズの三種類の音を同時に聞かせ、ニューロフィードバックでアップだけを聞いている脳活動に近づけるトレーニングをします。トレーニングのあとに複数話者の音声からターゲット音声を聞き取るテストを行ったところ、明らかにパフォーマンスが上がったという結果が出ました。このように中枢性の聴力も鍛えることができます。

電気刺激に関しても、中枢性の聴力を上げることができるというエビデンスが上がっています。

次は目の話です。視力も脳に関係します。

ガボールパッチというのをご存知でしょうか。白と黒の縞模様のようなもので、縞模様の周波数を変えることができます。白と黒が見えている間はちゃんと縞になっていますけれども、ぼやけるとただのグレーになってしまいます。この縞模様が見えるか見えないか、どの方向の傾きなのかを検査する課題をガボールパッチタスクと言います。

このガボールパッチタスクを老眼の人を対象に1回30分、週2回を3カ月間、いろいろな周波数や傾きでトレーニングをしてもらいます。

このトレーニングをするだけで、実に8.6歳分ぐらい視力が上がると結果が出ました。これは僕らの専門用語ではパーセプチュアルラーニング（知覚学習）といって、感覚器から入った情報を脳の中でどれだけきれいに処理するかという能力を鍛えるものです。皆さんの網膜に映っているものは同じですが、これを何回もトレーニングして脳の中の視覚野が鍛え直されることで、入力が同じでも見え方や感じ方が変わります。

同じことがニューロフィードバックでもできるようになっています。理化学研究所の柴田和久さんが、世界で初めてデューディッド・ニューロフィードバックというニューロフィードバック技術を「サイエンス」に発表しました。この研究で使っていたのがガボールパッチの課題でした。

傾きが異なるガボールパッチ（10度、70度、130度）を用意し、被験者がこれらを見たときの脳活動を **fMRI** スキャナーで測定しておきます。次に緑の円を見せてその円をできるだけ大きくするトレーニングをしてもらいます。その際に被験者には内緒で70度の傾きのガボールパッチを見たときに近い脳活動を起こしたとき、緑の円が大きくなるようにしておくと、被験者は無自覚に70度の傾きのガボールパッチをひたすら脳の中で再現するようになります。これは筋トレのようなもので、2週間ぐらいトレーニングするとガボールパッチがどの傾きかを当てる精度が上がったとあります。

これまで紹介した皆さんが諦めかけていた視力、聴力、感情制御やダイエットのようなところは僕は試しています。実際にうまくいっているところも出ていて、今後2～3年かけて事業にしたいと考えています。デジタルの目薬や耳薬のようなものができたら、皆さんも試してみたくないですか。

僕はチームメンバーと半年ぐらい、ヘルスケアや医療の分野でこのようなニューロテクノロジーがどのぐらい使えるのかということ調査して、300ページぐらいのレポートをつくりました。皆さんにご紹介したニューロフィードバックや刺激などを使って、新しい診断技術や治療技術になるという領域がこれだけ出てきました。

発達障害、統合失調症、双極性障害（躁うつ病）、抑うつ、不安障害、強迫性障害、PTSD、摂食障害（拒食症、過食症等）、睡眠障害、性機能不全、薬物依存、認知症、パーソナリティ障害、てんかん、脳卒中、パーキンソン病、疼痛・頭痛、脳腫瘍、脊髄圧迫、生活習慣病、老眼、耳鳴り、動揺病（乗り物酔い）、外傷性脳損傷、脳震盪、多発性硬化症、肝性脳症、あとは麻酔科におけるモニタリングということで、今までできなかったような、今までの薬では問題があったような領域をニューロテクノロジーによって結構ブレイクスルーが起こせそうな状況になっています。

多分、何年かかかるとは思いますが、この辺りは巨大市場になるでしょう。

では、なぜニューロテクノロジーの話題が身近にないのかというと、もちろん発展途上ということもありますが、理由の1つとして **fMRI** スキャナーがラボレベルでも1台4億円ぐらいするのでとても買えないこと、また脳波計（図13左）の装着に1時間かかるので実用向きではない、といったことが挙げられます。

日常生活に溶け込めるようなデバイスができないとラボレベルでできた技術を世界中の人たちが使うきっかけにはならないのではないかと考えて、僕は **VIE STYLE** で日常に溶け込めるウェアラブルな脳波計を作る仕事をしています。その1つがイヤホン型の脳波計（**In-Ear EEG**、図13右）です。

イヤピースが特殊な導電性素材の電極になっていて、耳の穴にこれを刺せば、頭の表面より脳に近いところで脳活動を取ることができるようになっています。

定着しているウェアラブル端末の多くは腕時計型や眼鏡型のように既存の文明の利器の延長のもので、結局はある程度人類が今まで文化として築いてきたようなものでないとセンサーとしてウェアラブルにならないのではないかと考えています。その点、イヤホン型は皆さん普段つけているものなので受け入れやすいと思っています。

もう1つ利点があって、イヤホンにすることで耳の穴の中から脳活動をとるだけでなく、音を流すことができます。音というのは脳活動をダイナミックに変えられるので、先ほど感情制御のところに出てきたクローズドループな BMI にも使えることが強みです。

ニューロテクノロジーは、時間はかかるけれども成長するという話をしましたが、ではどのような業界が市場になるかとよく聞かれます。僕も知りたいです。なので僕の戦略は、よく分からないから色々な分野でやってみて、生き残ったところで勝負しようと考えています。今は先ほど紹介したようなヘルスケア

アやメディカル領域を製薬会社と組んで研究しているところです。

例えば次世代インタフェースの分野でいえば、クロスリアリティ (VR・AR・MR・SR) というのはなかなか操作が難しくて使いづらいですね。そこで耳に入れて、念じた (脳波) だけで操作ができれば、新しいインタフェースになると考えていて、家の中で手や足が動かない人たちがスマート家電を動かしたり、個人が集中力を上げたい、記憶力を上げたい、スキルを身につけたいというようなところにも使えます。あとはエンターテインメント分野で、ユーザーの脳の状態に応じて気分が良くなる音楽を出したり、疲労検知などができたら役に立てるかもしれません。

さらに言えば、脳波計で取得した脳情報を使って指紋のように個別の生体認証データとしてセキュリティ面で使うとか、倫理的に難しいところもありますが、以上に挙げた様々な分野への応用も注目されています。

日常生活で使えるレベルではない



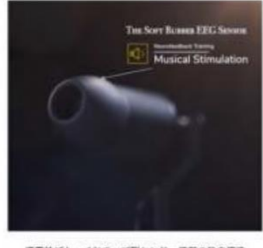


脳波イヤホン

(特許申請中)



高品質Bluetoothイヤホンに脳波・心拍・呼吸計を搭載



導電性ゴム・イヤチップ型センサー搭載の独自構造

脳波イヤホンのメリット:

- ・「日常生活に溶け込める」(スマートウォッチ的)
- ・脳波一聴覚刺激のダイナミックなインタラクションが可能

図 13 これまでの脳波計事業のネック

これまでの内視鏡処置の課題

少人数かつ非専門医による鎮静



過鎮静による呼吸抑制リスク



脳波モニタリングにも煩雑性等の課題





ワイヤレス
イヤホン型脳波計
(In-Ear EEGデバイス)



鎮静度の
モニタリング

無線による伝送

音声(音楽)刺激
による鎮静制御
支援

図 14 これまでの内視鏡処置の課題

VIE STYLE が公開しているもので、国立がん研究センター東病院内視鏡科の経口内視鏡を担当している先生と組んだ共同研究があります。胃カメラなどで検査を行う時に鎮静といって、局所麻酔などで患者の意識レベルを下げるのですが、打ち過ぎると過鎮静といって呼吸抑制になってしまい、下手したら死ぬこともあります。内視鏡の先生たちは麻酔に詳しくないので、毎回ひやひやしているらしいです。彼らのニーズは簡単に患者の麻酔のかかり具合を推計できて、パルスオキシメータのように指につけるだけで脈波が分かるレベルのものでした。

関係するエビデンスを調べてみると、全身麻酔に使う麻酔薬を使用した例ですが、鎮静状態に応じて脳波が変わるので、かなり精度が高くその状態を推定できるというものがありました。そこで、僕もそのアルゴリズムの作成を試みています。

ほかには 20 年ぐらい前の論文になりますが、どのぐらい痛いかなということを調べる方法にセルフインジェクションというものがありまして、麻酔薬を用意しておいて、痛かったら患者自身で麻酔薬の量を増やしていくものです。泌尿器系の処置中に音楽を聴きながらの場合と音楽を聴かない場合とでセルフインジェクションを行った比較で、音楽聞きながらの処置の方が明らかに麻酔薬の量が少なく済みました。

また最近出てきた論文では、子供の実験ですけども、耳にバイノーラルビートという特殊な音を入れて脳波を少し偏重させる技術を使用すると、麻酔薬が減らせたというものもありました。

音を入れるだけでも鎮静を制御できることが分かったので、耳にピッと入れるだけの脳波計で鎮静度のモニタリングができて、かつ患者が少し覚醒しようになったら音楽をその機器から流すことで鎮静を制御できるようになれば便利だということで、現在研究を進めています。(図 14)

今後の目標は、10 年後ぐらいには皆が気軽に自分の脳の情報をアップロードし、自分のスキルをクラウドに上げて、「このスキルが欲しい」、「こういう感情制御能力が欲しい」、「ダイエットができる脳が欲しい」といえば、それをインストールして、または、装着しているデバイスでのニューロフィードバックを通して、どんどん手軽にスキルが身につくような世界がフェアで良いなと思っていて、このようなプラットフォームをつくれればと考えています。

神経科学の発展が投げかける現代社会の倫理・法・社会的な課題

最後は倫理などの問題をお話しします。僕自身も内閣府のプロジェクトで脳情報を使った事業の社会実装のために法的、倫理的な課題をまとめようという検討会に参加しています。センシティブな領域なので正しく使うべきものですが、この技術を悪用しようと思えば幾らでもできてしまいます。この辺りをきちんと押さえながら、皆さんと一緒に事業を進めたいと考えています。

多くの神経学者が思っていることですが、そもそも脳というのは難しい。デカルトの話になりますが、もしも僕たちに自由意思というものがあるとしたら、脳の活動という物理現象の前によく分からない自由意思という現象が皆さんの脳活動を変えることが起きなければいけない。脳活動が起きて、物理現象の後に自由意思を感じるのであれば、それは因果関係が逆になってしまいます。

実は、これまでいろいろな実験がされていて、僕たちは脳を刺激されることで自由意思を感じることが分かっています。また、「好きなことをやっていいよ」と言われた場合、「これがしたい」と思った時間よりも 0.5 秒ぐらい前に既に皆さんの脳活動は起きているので、自由意思というのは幻想なのかもしれません。

図 15 はアメリカで 2000 年に起きた事例です。教育学でマスターを取って学校の先生をしていた男性が、急に再婚相手の娘に性的ないたづらをして逮捕されました。アメリカではすぐに刑務所へ行かずにセラピーを受けるそうで、薬物去勢のようなこともしたけれども全然ペドフィリア(小児性愛)が治らない。そして刑務所に行く前日ぐらいに急な頭痛で病院に運ばれ、MRI で見ると前頭葉に巨大な腫瘍(図 15 左下)が見つかり、これを取り除いたらペドフィリア傾向がなくなった。どうやら、この腫瘍が原因でペドフィリアになっていたらしいということで、7 カ月後に自宅に戻ることが許されました。

これは罪を負うべきか、負わないべきか。腫瘍のせいだと因果関係は分かっています。では、腫瘍ができたのは本人のせいですか。本事例の整理は非常に難しいと思います。

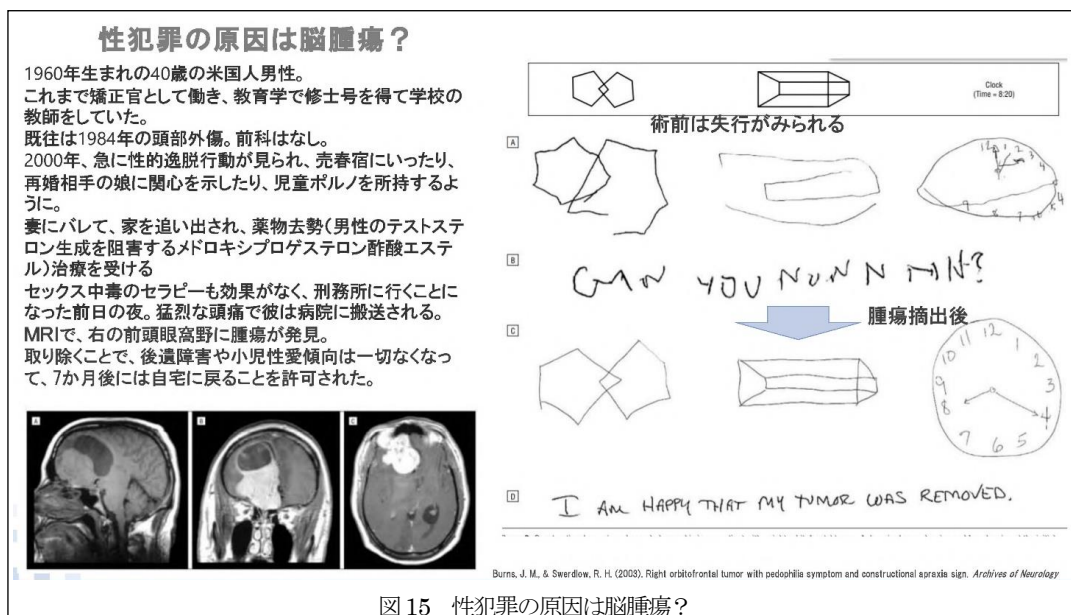


図 15 性犯罪の原因は脳腫瘍?

ようやく現代社会においてもセクシャルマイノリティの人たちの性的な多様性が認められるようになってきました。ただ、ペドフィリアのようなものは被害者が出てしまうので、まだ世界では受入れられず、基本的に犯罪者扱いです。

これは海外の研究ですが、ペドフィリアの人に成人女性のポルノの写真を見せてみると、ヘテロセクシャルの人と比べて全然脳活動が起きていないという結果があります。つまり成人女性に興味を持ってない脳ということです。同性愛は異性に対して興味を持ってません。それなのにペドフィリアだけを犯罪者扱いにしてもよいのかとなりますよね。

セクシャルマイノリティは過去には病気とされ、現代では個性の扱いに変わりました。どこまでが個人の自由意思や個性の範疇で、どこからが病気なのかは極めて曖昧です。

あと、このような研究もあります。うそをつく人間に電極をつけて電気を流すと本当にうそをつかなくなるというものです。犯罪捜査に使えるそうですが、このような技術をはたして司法機関が使ってよいのでしょうか。

電気刺激に関しては、半世紀前から議論があります。1960年代にイエール大学のホセ・デルガードという学者が、牛の脳の尾状核に電極を埋めて、無線で電気刺激して牛を止めるという闘牛ショーをやっていました。

この技術は注目され、右派などが黒人や犯罪者全員にその電極を埋め込んでやればいいと言い出しましたが、アメリカの連邦議会は非人道的だと判断し、脳を外部から刺激することはタブーになりました。そのときにちょうど向精神薬が出てきて、その後50年間、精神病は薬で治そうという時代になりました。しかし、だんだんと薬での治癒が限界にきて、今はニューロテクノロジーが注目されてきています。

AIの分野でEUが非常に規制をしていることをご存知ですか。いわゆるブリュッセル効果と言われていますが、かなり厳しめの保守的な規制です。アメリカなどで生まれたイノベーションをEUがその規制で介入するような形になっています。

ちなみにそのガイドラインでは、AIを使って犯罪者となる目安、すなわちその人の犯罪者係数などを出すことは絶対に禁止とされています。

今年4月に世界で初めてチリが憲法を変えて、「脳内の人権（ニューロライツ）」を憲法で初めて規定しました。自分の脳は自分のものであり、人に読み取られることから守られなければいけないというものです。裏では、アメリカのコロンビア大学の倫理学者たちが提唱していて、OECD（経済協力開発機構）などでは国際条約をつくる流れになっています。

自分自身の脳を知る権利、自分自身で成長したいと思う権利と脳の情報やプライバシーを守ることとをどのように両立させるのか。今、このことが国としても僕たちとしてもホットトピックになっています。

あとは、介入比率というところで、犯罪者予備軍のようなところに介入が許されるのか。先ほどのペドフィリアのような人々を治してよいのか。そもそもそれは個性なのか病気なのか。ニューロフィードバックや電気刺激で能力拡張をどこまでしてよいのかというのは非常に議論のあるところです。

今後、ニューロテクノロジーはどのように進んでいくのか。例えば、能力拡張の技術が非常に高額になった場合、金持ちだけが能力を上げられ、格差が拡大してしまうのは非常に恐れられることですし、あるいは未検証なものが多く出てきてしまうことで、信じるに足りない世界になりかねないというのも非常に懸念されています。この辺りは規制をつくるのが好きなOECDが旗を振って、ニューロテクノロジーの統制、官民の利害関係者へのガイドラインづくり、民間企業の主体的な参加を求めて進めてきているところです。

倫理的に怖いというのはありますけれども、僕は間違いなく人類に役に立つと思っているので、いろいろな倫理学者の先生たちとも話しながら、どうすれば市民に受け入れられ、世界を良くすることができるかという方向で技術開発をしていきたいと考えています。

ぜひ興味があれば皆さんとも仕事がしたいです。ただし、よくありがちなのが「我が社の従業員の生産性を上げたい。脳波を監視して、さぼっていたらやる気が出るような電気刺激をしてくれないか」といった話で、こういうことは倫理的問題が関係してくるので一緒に考えていきたいところです。

現時点、日本として岐路にあるものと思っています。このような新しい指数関数的に伸びている技術分野でテクノロジーをうまく使って発展させる側に立つのか、あるいは中国やアメリカがつくったものを一方的に享受して、日本としては何も頑張らない世界とするのか。正に今、日本企業が試されていると思っています。