



SEMINAR REPORT

ココロと脳を結ぶニューロテクノロジーの最前線



VIE 株式会社
 執行役員 最高脳科学責任者(CNTO)
 株式会社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
 茨木 拓也 氏

皆さん、会場にお越しいただいてありがとうございます。SCATでの講演は今回で3回目になります。若い頃はいろいろな論文や世界の情勢を話すシンクタンク的な仕事をしていましたが、僕が知っていることを人に伝えるだけでは偉そうで中身がないと感じて、この数年は僕自身も実際に脳科学を使った事業を手掛けています。

ニューロテクノロジーとは

初めにニューロテクノロジーの概要を説明します。皆さんの脳の表面には大脳皮質がありまして、この中でニューロン（神経細胞）が電気を流したり流さなかったり、つながったりつながらなかったりして、いろいろな情報表現を担っています。

ニューロテクノロジーは、140億個のニューロンやその他が集まった脳における情報処理を何かしらの方法でデジタル化していくことで、技術的には3つの柱で構成されています。一つ目は、“この脳の活動であれば、こういった状態だ”というものを読み取っていく、脳情報を読み取る（リードアウト）技術。二つ目は、脳に対して外部から介入し情報処理を変えていく、書き込む（ライトイン）技術。三つ目は、汎用人工知能をはじめとした脳の情報処理をまねることによって、より賢く省エネな人工の脳を作る、仮想化の技術になります。

端的にニューロテクノロジーは何かというと、情報処理をしている脳から情報を読み取ったり、脳に情報を書き込んだり、また、それらを仮想化していくことになります。

では、ニューロテクノロジーの応用例を紹介します。図1では脳情報を読み取る技術と脳情報に書き込む技術の2つについて、それぞれの臨床と一般領域の応用例を挙げています。

はじめに、脳情報を読み取る技術を紹介します。臨床領域で主なものは運動機能の代替で、脳機能は正常に動いているけれども体が動かない人たち、例えば脊髄損傷や神経難病によって手足が動かなくなった患者の意図、どこに行きたいのか、何をしたいのか、そういったものを脳から読み取って、車椅子やロボット、家電等を動かすことで生活の介助を行います。

次に、脳情報を読み取る技術の一般領域としては主にインターフェースが挙げられます。人間と機械をつなぐインターフェースでは、脳の状態を推定した上でアダプティブに情報を提示するといったものがあります。例えば、管制官がキャパオーバーになってきたら管制塔の情報表示が大きくなるとか、車の運転中であればナビの文字が大きくなるといった、脳の状態に応じて適切な情報を返していくようなインターフェースが想定されています。その他にはブレイン-ブレインインターフェースと言われている、脳から脳へ人の情報を伝えていくということもできるようになってきています。

インターフェース以外の読み取る技術の応用としては、状態推定・評価があります。例をあげると、人間の視聴覚体験や味覚体験、商品を使っているときの使用体験について、脳ではどのように感じているのか定量的に分析したものを製品開発や広告に応用する、いわゆるニューロマーケティングがあります。

続いて、脳情報に書き込む技術を紹介します。こちらの臨床領域で研究が進んでいるのは感覚代替（代償）で、その中でも一番世界で普及しているものは人工内耳です。主に後天的に耳が聞こえなくなってしまった人たちに、音を電気信号に変える装置を耳に埋め込みます。マイクで取った音を内耳の神経細胞に電極で電気を流すと、だんだん学習して音が聞き取れるようになっていきます。同じようなことは人工視覚でも行われていて、脳の視覚野に電極を埋め込み電気を流すと、光の明暗が見えるようになります。光をどこに出すかぐらいはできるので、ちょっとしたドット絵であれば見せられるようになってきています。ほかには人工感覚も研究が進んでいます。

脳情報に書き込む技術の臨床領域の二つ目は脳機能調整で、研究が進んでいる応用例3点を紹介します。

1点目は運動関連領域の調整になります。一番効果が出ているのがパーキンソン病患者への脳深部刺激です。パーキンソン病はドーパミンニューロンが減ってしまう病気です。進行すると体が動かせなくなります。神経難病は、どの病気でも薬を服用

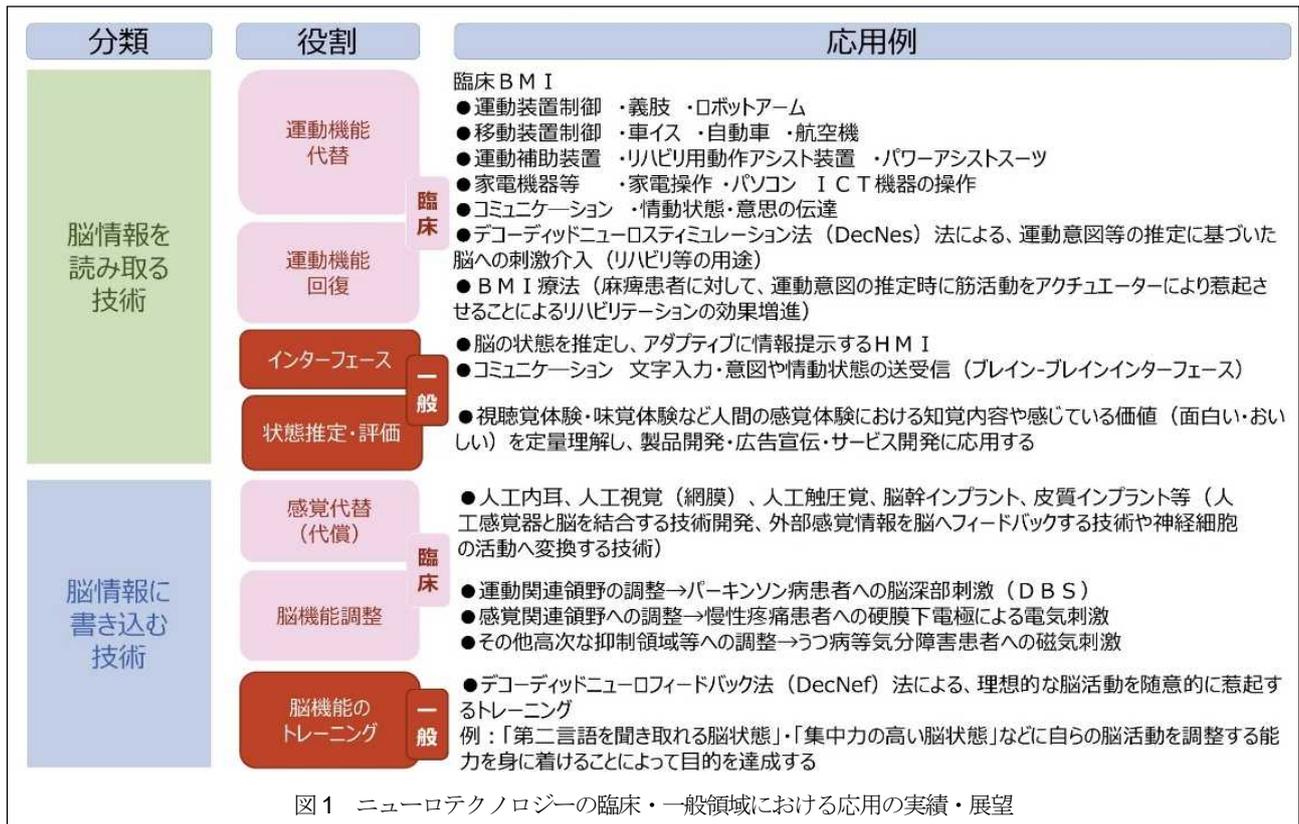


図1 ニューロテクノロジーの臨床・一般領域における応用の実績・展望

しているとだんだんと効かなくなり、症状を抑えることが難しくなっています。そこでパーキンソン病の原因となっている脳の視床下核に手術で電極を埋め込み、電気刺激を行います。ドーパミンニューロンが減ってしまう病気に、ドーパミンニューロンを活動させるような刺激を与えると体が動かせるようになるのです。ただし、副作用は大きくて、人格が変わってしまう、もしくは、もともとあったものがさらけ出されることがあり、物静かでおとなしかった患者が暴力的になってしまうといった事例もあります。

2点目の感覚関連領域への調整は、慢性疼痛へのアプローチになります。慢性疼痛とは痛みやだるさがあるけれども原因が分からず、鎮痛剤を服用しても症状が治まらないもので、いろいろな精神障害との関わりも指摘されています。そのような痛みを感じている脳の感覚野に電極を埋め込み、ノイズを流すと症状が緩和されるというものです。

3点目は、その他高次な抑制領域等への調整としていますが、患者の前頭葉に磁気刺激を当てることで、うつ病や双極性障害といった、いわゆる精神障害を緩和していきます。このような治療にも脳情報に書き込む技術が使われています。

次に、脳情報に書き込む技術の一般領域には脳機能のトレーニングがあります。後で説明するデコーデッドニューロフィードバックという方法では、脳活動を特定の状態にトレーニングしていくことができるようになってきています。

ニューロテクノロジーを取り巻く歴史

人類が初めて脳波を発見してから 100 年になります。今から 120 年ぐらい前に心電計はありましたが、1924 年にドイツの精神科医ハンス・ベルガーが心電計のお化けのようなものを作っ

て電極をおでこに貼ってみたところ、波形が取れたことで脳波が発見されました。

そこから神経科学は成長していき、いろいろとできることが増えてきているのですが、それを僕なりに歴史をまとめたものが図 2 です。現時点でニューロテクノロジーとして産業応用が期待されている領域を具体的に言うと、人工知能、心理学、神経科学、精神医学の融合領域になります。

そもそも脳は人間の心の座だと僕たち神経科学者は信じています。心理学が登場するまで心を扱うのは哲学者の仕事で、18 世紀ぐらいまではデータを使わない、実証しない、科学ではない領域でした。

そこから心を科学の領域にしたのが図 2 左上の実験心理学のところに示している精神物理学の始祖と呼ばれるドイツのグスタフ・フェヒナー、ヴィルヘルム・ヴント、そしてアメリカの心理学者でウィリアム・ジェームズです。この辺りの人たちは物理学者などで、人間の心の世界を物理の方程式のような形で表せることを示しました。いろいろなものが感覚器を通して頭に入ってきて、それに対して明るい、暗い、音が大きい、小さいと感じる。それらが一体どのような関数変化によって行われているのかを式にしていくのが精神物理学で、現代の心理学の始祖になります。

次に神経科学では、100 年前に脳波が発見され、1960 年代にはニューロフィードバックが生まれます。有名なところでは、1959 年に発表されたヒューベルとウィーゼルの研究で、生物は世界を見る最小単位が線分であると発見しました。実験では猫の視覚野に電極を入れて、視界に含まれている線分が、どのような傾きで、どこにどのぐらいあるかで視覚処理をしている仕組みを解明し、1981 年にノーベル賞を受賞しています。

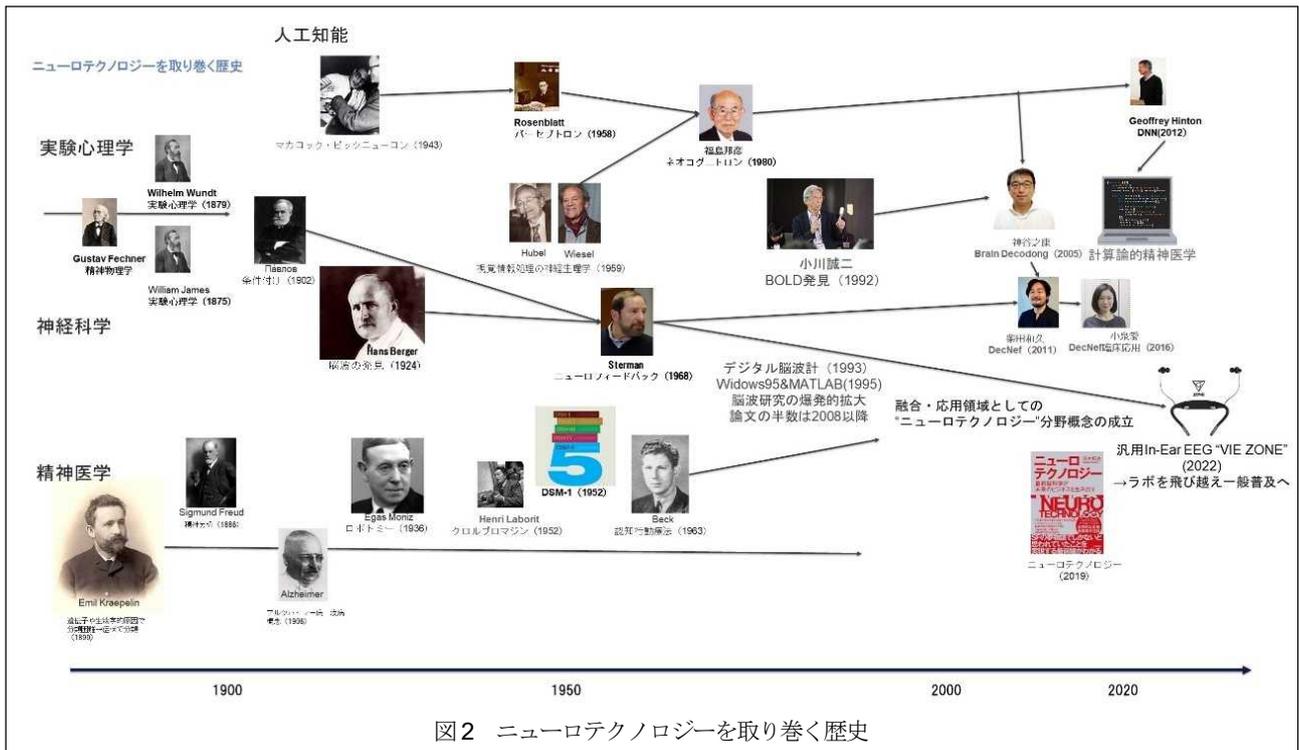


図2 ニューロテクノロジーを取り巻く歴史

図2上の人工知能の研究は第二次世界大戦あたりから始まっていて、1943年にマカロック・ピッツモデルという神経細胞の活動を式にしたものが発表されました。このモデルや先ほど述べたヒューベルとウィーゼルの視覚情報処理を基にしたものが、福島邦彦先生のネオコグニトロンや、さらに時を経てジェフリー・ヒントンのディープニューラルネットワーク、いわゆるディープラーニングに進んでいきます。これらは数式化した脳の神経情報処理を人工知能に応用することで生まれた成果になります。

一方で図2一番下の精神医学で言うと、実験心理学や神経科学より歴史はあるのですが、200年前には精神病という概念がありませんでした。従って、鬱病、総合失調症、発達障害もなかったわけです。

精神医学が生まれたきっかけは19世紀の産業革命だろうと言われています。それまで“あまり働かない変わった人”はいましたが、産業革命によって工業化が進む中で人が働かなければいけなくなったときに、それに対して適応できない人たちはどうやら障害だと考えられるようになりました。そのような近代社会になぜか溶け込めない人たちの、症状によって類型化したのがエミール・クレペリンです。おそらく入社テストなどでクレペリン検査というのを聞いたことがあると思います。彼は精神病を症状によって分類し、それは120年以上経った今でも受け継がれています。その後、フロイトが精神分析学を始め、20世紀初めにアルツハイマー博士がアルツハイマー病を見つけました。

精神医療では、ロボトミーといって眼球から針を入れて前頭葉をぐちゃぐちゃとやると精神病が治るという治療法がありました。この治療法で1949年にエガス・モニスがノーベル賞を受賞しています。

そんな野蛮なことを治療として行っていました。1952年にクロルプロマジンの服用で精神病の症状が改善されることが発

見されました。それから70年経った今でも精神医療は基本的に薬による治療が中心です。一方で、1963年にベックが提唱した認知行動療法というものがありまして、薬を使わずに心の病を治す方法も60年ぐらいの歴史があります。

近年はいろいろな人工知能の成果のおかげで、脳のデータが解析できるようになっています。さらに、精神医学と人工知能が合わさることで、人工知能で精神病をつくるできるようになり、それによって脳の神経活動や計算する臓器としての異常が精神疾患になっていることが分かってきました。その異常をきたしているところのデータをモニタリングしたり、書き換えたりすることによって治療を行うのが、ニューロテクノロジーという領域になります。

では、ニューロテクノロジーの具体例を紹介します。

はじめに脳の情報の読み取り技術（デコーディング）を説明します（図3）。例えば、fMRIという病院にある大きな機械で脳をスキャンすると、1秒おき程度で脳のどの辺でどのぐらい血流が変化するかを図3中央の脳活動のような形で捉えられます。

図3左側の外部物理世界で皆さんが女性を見ているときは脳のここが活動してここの活動が下がるとか、高層ビルからの眺めで怖いと思っているときはここが活動してここが下がるといったように、ダイナミックに活動パターンが変わっていきます。その脳活動のパターンと状態を機械に学習させることで、図3右側の脳活動の解説例のように、このパターンは多分女性を見ている、このパターンは空を見ている、このパターンは怖いと感じている、と解説することができるようになります。

とにかく脳の情報さえあれば、考えていること、見ているものをある程度の精度で、画像として再構成したり、文字として理解したり、感情の中身を推定したりということが出来ます。

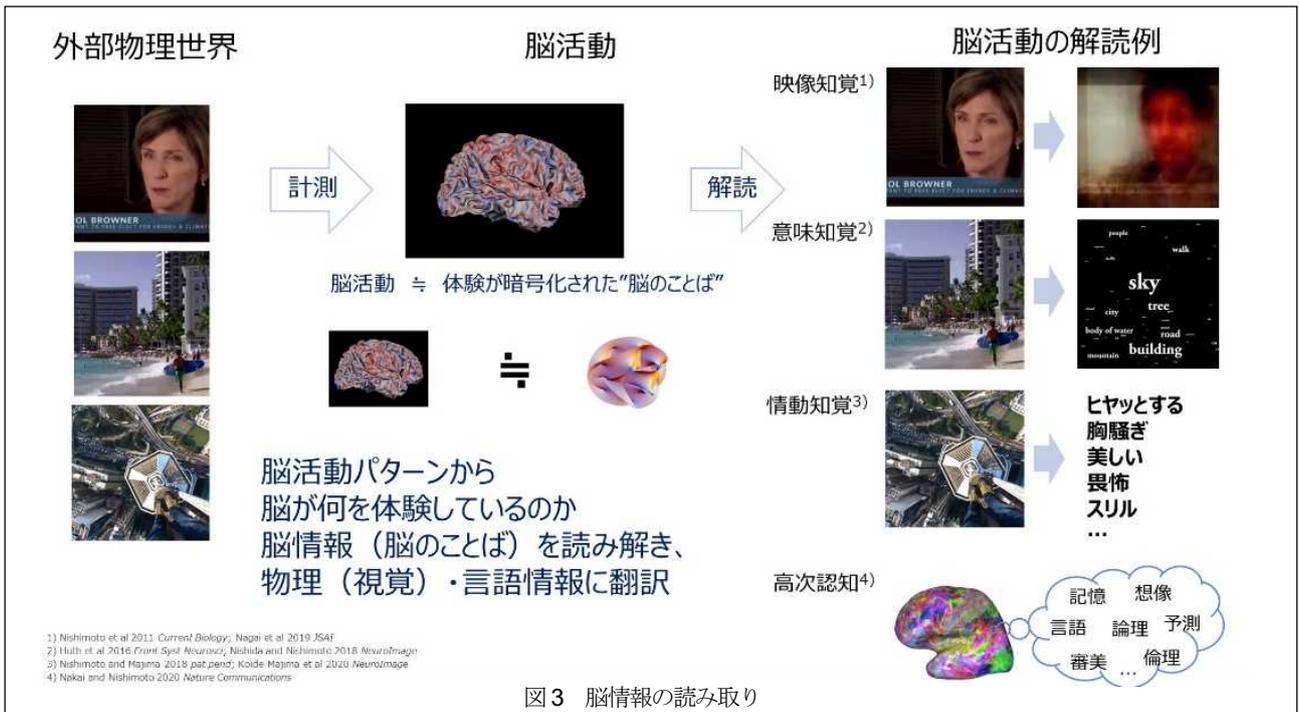


図3 脳情報の読み取り

次に書き込み技術を説明します。ニューロフィードバックはどのような技術かという、自分の今の脳活動をリアルタイムで返すことです。例えば、MRI というドーナツ型の装置に頭を入れて、脳の奥のほうにある中脳を測定します。中脳にはドーパミンを分泌するニューロンがたくさんあるのですが、このニューロンはご褒美やお金といった報酬を貰える状況でないとドーパミンを分泌しないので、自分でドーパミンを出すことは無理だとされていました。

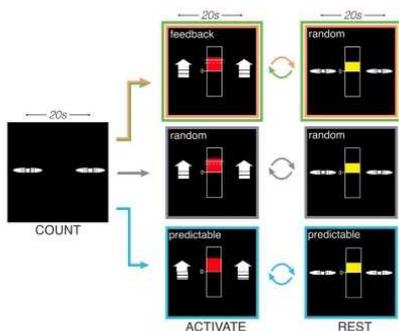
図4の研究では、脳をスキャンしながら本人のドーパミンニューロンの活動レベルをリアルタイムにバーが動く温度計のようなもの（図4左）で見せて、被験者にドーパミンニューロンの活動を上げるように指示をします。もちろん、ドーパミンニューロンの活動を上げるヒントはあげます。例えば、好きな人

のことを考える、マラソンでゴールする瞬間や溺れている人を助ける場面を考えるなどのコツがあり、どのようにすればドーパミンが活動するかは本人次第になります。被験者がバーを見ながらいろいろな妄想を繰り返していきうちに、このことを考えるとドーパミンが出るなど学習して、報酬をあげなくても自分でドーパミンが出せるようになっていきます。ドーパミンはやる気やモチベーションにも関わると言われていて、自分で自分のやる気を上げられる方法がこのニューロフィードバックになります。

このように自分では制御できなかったドーパミンニューロンの活動を自分で見ながら、いろいろな妄想を試行錯誤することによって自分の脳活動を変えていく、これはある意味、脳情報の書き込みになります。

～ニューロフィードバックを使えばモチベーション関連脳領域の活動をコントロールできることが最近分かった

実験 73人の被験者に、動機づけに深く関与する腹側被蓋野と側坐核の脳活動をリアルタイムでフィードバック。コントロールとして、視覚的に同じようなゲージがランダムに動いたりする条件を設定。



結果 トレーニングすれば、ゲージがなくても自分の動機付け関連脳活動を惹起できるようになった

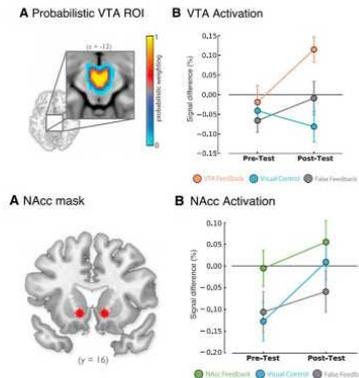


図4 脳情報の書き込み 1

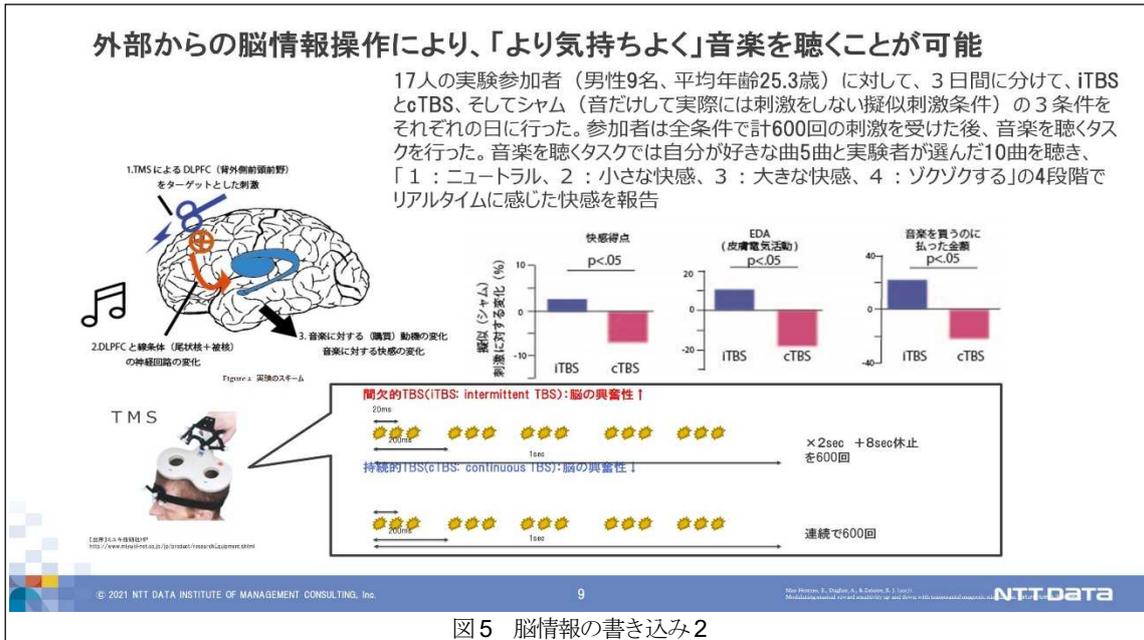


図5 脳情報の書き込み2

ニューロフィードバックのようにトレーニングをしなくても、TMS（Transcranial magnetic stimulation、経頭蓋磁気刺激）という頭蓋骨を経て磁気の刺激を当てる装置を使ってパチパチと磁気刺激を伝達すると、直下にある神経細胞とそこにつながっている神経細胞を活動させることができます。先ほどのドーパミンニューロンとつながっている背外側前頭前野というものがひたいの左側にありまして、ここをパチパチと刺激すると奥のほうにあるドーパミンニューロンも活動します。

その状態で音楽を聴かせる実験（図5）がありまして、ドーパミンニューロンを活動させる刺激、反対に活動を抑える刺激をしたときを比べると、なんと活動させる刺激をしたときの方が主観的にすごく気持ちよくなるそうです。感動して汗が出て、そのうえ、ドーパミンニューロンが活動した状態で聴いた音楽には実験が終わった後にお金を払っても良いと感じるような

りました。このように主観的、生理的にも変わるし、行動的にも価値を感じるようになります。要するに、外部から刺激をするだけで何か特定の音楽に対して気持ちよくて価値を感じる状態を脳に書き込むことができました。

将来的には Human Brain / Cloud Interface が構想されています。図6にあるようなマイクロロボットを血液に注射すれば、何百億あると言われているニューロンにこのロボットが入って、例えば、皆さんの脳とクラウドをつなげてインターネット上にあるいろいろな情報と交換し合えるようになる、いわゆる脳の電脳化技術が理論的には2045年頃に実現すると想定されています。

この分野で最近目立っているのはイーロン・マスクがつくった Neuralink 社で、頭蓋骨にちょっとした穴を開けて脳に電極を埋め込む、埋め込み型電極の開発を行っています。

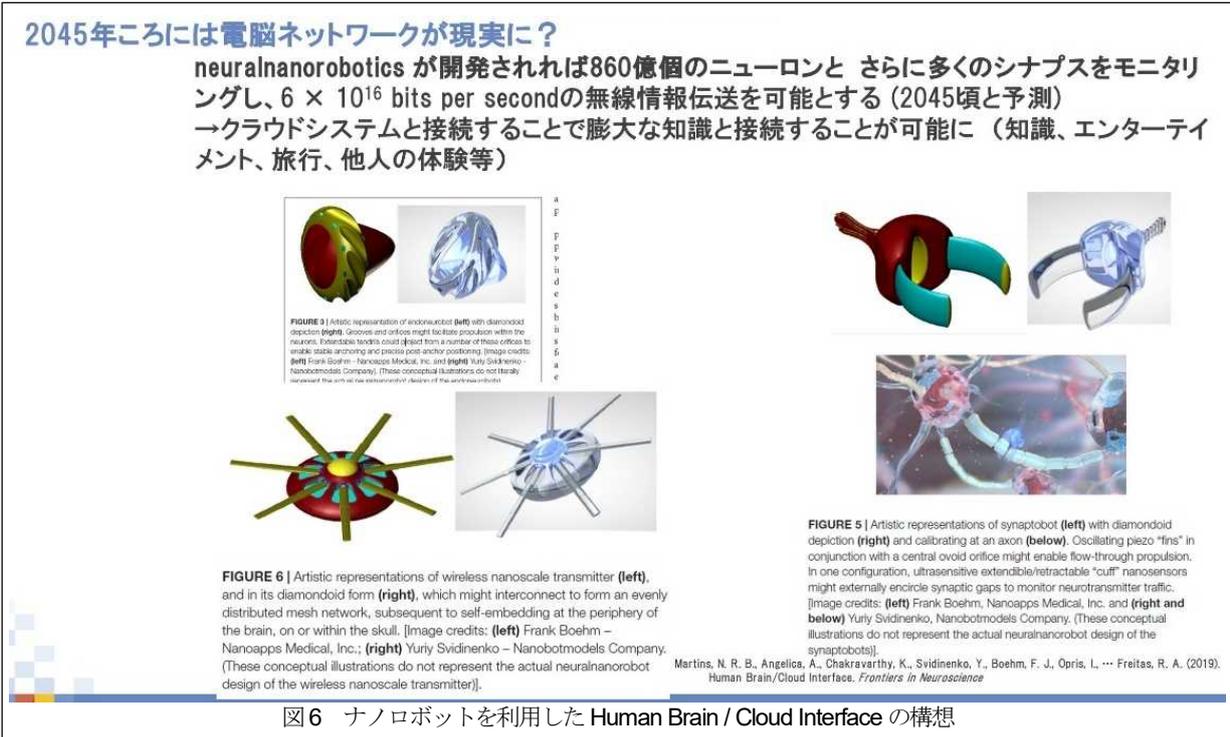


図6 ナノロボットを利用した Human Brain / Cloud Interface の構想

ニューロフィードバック

まず、皆さんにお伝えしたいのは、ニューロフィードバックという技術です。実はニューロフィードバックには長い歴史があります(図7)。

100年前に脳波計が発見された後、1968年にアメリカのスターマンが猫の脳に電極を埋め込み、猫が脳波を1秒間に13回上げたり下げたりすること(13Hz)ができれば、ミルクをあげる実験を行いました。すると、猫が自分で脳波を13Hzのリズムに変えるようになりました。次に人に脳波計をつけて実験を行い、1972年には脳活動を自分で変えられると分かってきました。それをてんかんという発作が起きてしまう病気の人たちに使うと発作が収まる事が分かってきて、その後50年ぐらい研究が進んでいます。

最近ではデコーディッドニューロフィードバックといって、脳波のリズムを計測するのではなく、AIに脳活動全部を計算させて、今の脳活動のパターンから人の複雑な感情まで読み取れるようになっていきます。

ニューロフィードバックは基本的に脳活動の自己調整技術なので、皆さんにとっては自分自身の脳を映す鏡と言えます。それを電氣的あるいは血流変化によって脳活動を捉え、リアルタイムで信号処理することにより、自分の今の脳活動の状態を視覚的、聴覚的、音響的あるいは電氣的にフィードバックしていきます。それによって、今の脳活動はこの状態で、妄想や深呼吸してみるとこういう状態になるから、理想的な脳状態に近づけるためにこうしようとか何回も訓練を行います。

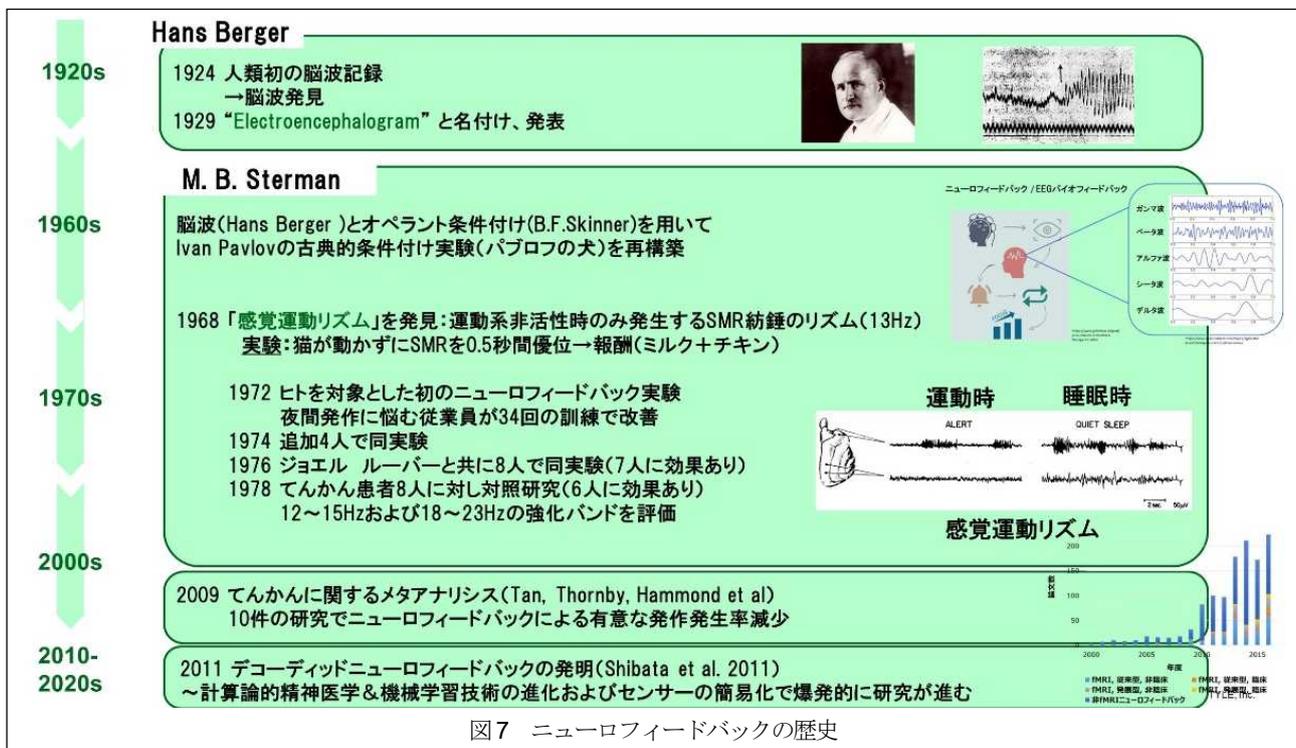
基本的には皆さんが勉強して何か新しい知識を学ぶことや自転車の乗り方を覚えるのと同じように、自分の脳活動を見なが

ら自分で脳活動をどのように変えるかを学ぶという意味で、ニューロフィードバックはスキル獲得だと言われています。

僕自身がすごく好きな研究の一つが、鬱病を対象にしたニューロフィードバック研究です。どのようなものかという図8中央の画像は人間の顔と風景が透けて見えるようになっています。被験者には予め顔の画像と風景の画像を別々に見せて、脳活動を取っておきます。

ここで皆さんに覚えておいてほしいのは、鬱病の人たちは“認知のゆがみ”といって、世界の見方にゆがみが生じることが分かっています。具体的に言うと、同じ事象を見ても、何でもネガティブに捉えてしまいます。特に4番の恐怖におのいた顔と風景の画像の組合せでは、健康な人であれば顔と風景の両方が見えますが、鬱になりかけていると顔ばかり見えてしまいます。ニュートラルな情報とネガティブな情報が50%ずつであっても、ネガティブな方しか頭に入れなくなる。この認知のゆがみが鬱病の主要な症状であり、原因の一つだと言われています。ネガティブなことしか頭に入れないから気分が落ち込むというループになるのです。

では、ニューロフィードバックで何をやるかという、被験者に画像を見せてリアルタイムに脳活動を解析しながら、その被験者の脳活動がネガティブ寄りなのかニュートラル寄りなのかを計算して、もしもネガティブ寄りであれば顔の画像がどんどん濃くなるようにします。被験者にはネガティブな顔の画像だけにならないように、頑張るニュートラルな風景の画像を見るように指示をします。そして、被験者がいろいろ試行錯誤していくと、だんだんニュートラルなものを見方ができるようになっていきます。この実験ではこのような訓練をMRIの中で何十分も行います。



訓練を行った結果が図9左下のグラフで、縦軸はネガティブなバイアスを示しています。赤のMDDは鬱病の人、グレーのHCは健康な人を表していて、実験開始時の鬱病の人は、やはりネガティブにバイアスがかかっています。

しかし、1か月間頑張ってニューロフィードバックの訓練を行うと、健康な人と同じぐらいに世界をニュートラルに捉えることが出来るようになりました。

この実験は簡単にいうと、脳活動を取って、ネガティブに寄ってれば頑張って自分でニュートラルにするという訓練です。優れた心理士やセラピストが施す心理療法に比べればドライで非人道的とも言えます。しかし、属人的でなく脳活動を変えることによってその人の世界の見方を変えていけば、結果的に臨床症状を改善することもできます。これがニューロフィードバックの一番革命的なところになります。

Confidential

ニューロフィードバックで世界の見方（認知のゆがみ）を修正 fMRI NFT でネガティブな注意バイアスを減らし、うつ症状を改善（1/2）

背景 うつ病患者は、否定的な価値観を持つ刺激や思考に対する注意の偏りを示す

概要 風景画像とネガティブな表情の顔画像を重ねた画面を使ってfMRIニューロフィードバックトレーニング（NFT）を行い、ネガティブな表情への注意のバイアスの修正を図ったところ、この介入を通して**否定的な注意バイアスを減らすことができ、かつ、うつ症状も改善された**

【実験方法】
 被験者：大うつ病患者15名、健康者12名
プロシージャー
 ● 1回目の訪問：プレスキャン、うつ症状評価
 ● 2-4回目の訪問：NFT 7~9セッション/1訪問
 ● 5回目の訪問：ポストスキャン
 ● フォローアップ：1ヶ月後の訪問、3ヶ月後の電話
NFTセッションの構成（8ブロック/セッション）
 ● 前半の4ブロック：モデルデータの取得
 中立的な表情の顔×風景
 ⇒顔or風景の指定された方へ注意を向ける
 ★ベースとなる脳データの取得
 ● 後半の4ブロック：実験データの取得 + NFT
 ネガティブな表情の顔×風景
 ⇒風景に注意を向け、ネガティブな顔を無視する
 ★ゴール：ネガティブな顔へ注意が向くバイアスをNFTで修正
アウトカム
 ● うつ病評価尺度
 - DSM-5 Disorders
 - Montgomery-Åsberg Depression Rating Scale

NFTセッションの構成

NFTの内容と流れ

NFT内容

- 被験者のタスク：風景画像が、屋内風景のときにボタンを押し（90%のGo試行）、屋外のときにボタンを押しをしないようにする（10%のNo-Go試行）
- FB内容：注意が顔へ向いていると判定されると、顔画像の透明度が低くなる（風景画像が見づらくなる）

Mennin AC, et al. 2020. Cloud-Based Functional Magnetic Resonance Imaging Neurofeedback to Reduce the Negative Attentional Bias in Depression: A Proof-of-Concept Study. Biological Psychiatry: Cognitive Neuroscience and Neuroimaging. © 2023 Vile-Si ILE, Inc.

図8 ニューロフィードバックで世界の見方（認知のゆがみ）を修正 1

Confidential

ニューロフィードバックで世界の見方（認知のゆがみ）を修正 fMRI NFT でネガティブな注意バイアスを減らし、うつ症状を改善（2/2）

【実験結果】

- 大うつ患者のうつ症状はトレーニングを終えて減少

実験期間のうつ症状スコアの推移

- 大うつ病患者はネガティブな注意バイアスが健康者よりも強かったが、実験を経て健康者との差がなくなった
- ニューロフィードバックトレーニングを経て、大うつ病患者はネガティブな顔画像へ注意を向ける確率が減った

ネガティブな表情への注意バイアス

■ MDD = 大うつ患者
■ HC = 健康者

- 大うつ患者のネガティブな注意バイアスの減少は、うつ症状スコアの減少と有意に関連していた ($r = 0.48, p = 0.083$)

ネガティブな注意バイアスに陥る確率とうつ症状スコアの変化

ネガティブな注意バイアスの減少×うつ症状の緩和

$r = 0.48$
 $p = 0.08$

fMRIニューロフィードバックトレーニングによってネガティブな表情の顔への注意をバイアスを減らし、うつ症状も改善

Mennin AC, et al. 2020. Cloud-Based Functional Magnetic Resonance Imaging Neurofeedback to Reduce the Negative Attentional Bias in Depression: A Proof-of-Concept Study. Biological Psychiatry: Cognitive Neuroscience and Neuroimaging. © 2023 Vile-Si ILE, Inc.

図9 ニューロフィードバックで世界の見方（認知のゆがみ）を修正 2

次に紹介するのは、小説を読ませて解釈の仕方を操作する実験です(図10)。アメリカの研究で、被験者にはJ・D・サリンジャー(1953)『ナインストーリーズ』の中にある『Pretty Mouth and Green My Eyes』を読んでもらいます。あらすじを簡単に言うと、主人公のアーサーという男性が友達に電話すると、友達の隣に女性がいるという話です。どのようにでも解釈できる短編小説で、ひょっとしたら自分の奥さんが友達と浮気している説と、友達の彼女のロゼと一緒にいる説の2グループに分けます。

ニューロフィードバックで自分が解釈した説と逆の解釈をしたときの脳活動に近づけることによって、このストーリーの解釈を変えられないかという実験を行うと、高精度で脳活動を解読できた被験者は逆の解釈ができるようになっていたことが分かりました(図11右グラフ)。

例えば、統合失調症の人や妄想を信じてしまう人、キレやすいお年寄りたちは、世界の解釈が事実と異なっているため、被害妄想を抱いたり、怒ったりするわけです。そのような偏った世界の捉え方もニューロフィードバックで変えられるかもしれません。

NFを用いて物語の解釈の仕方を操作する実験(1/2)

概要

被験者に二通りの解釈ができる物語を聞かせ、NFを用いて最終的な解釈を操作することを目標とした実験が行われた。平均的であればNFによる解釈の変化は認められなかったが、デコーディング精度と解釈の正解率に正の相関が認められた。

【実験方法】

被験者：プリンストン大学の学生とその地域の住人20名(女性12名、平均20.5歳)

被験者には参加報酬とNFの結果による追加報酬が与えられた。

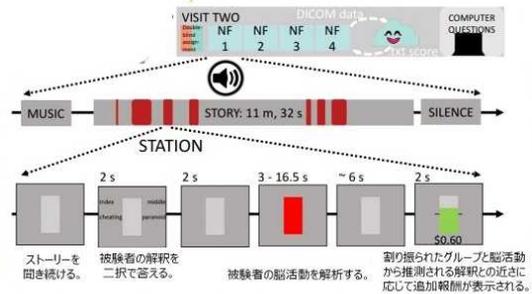
1. 実験当日、被験者は以下の“Pretty Mouth and Green My Eyes”の12分間脚色版を聞く前にダブルブラインド方式で2つの解釈(妻浮気説、被害妄想説)グループのどちらかにランダムに分類された。

“Pretty Mouth and Green My Eyes”(サリンジャー「ナインストーリーズ」)

あらすじ：
アーサーが仕事で夜遅くに家に帰ると、そこには妻ジョニーの姿がなかった。ジョニーの行方が心配なアーサーは友達のリーに電話する。するとリーは“ある女と一緒にベッドにしていることがわかる”



2. ランダムに被験者を二つのグループに分けた後、以下のNFトレーニングを4回行う。



3. 最後にストーリー理解度や最終的な解釈を知るために、被験者に39の質問に答えてもらう。

(例) “ある女”はアーサーがリーに電話をかけたとき、何をしていた？
あなたはジョニーが浮気をしていたと思いますか？

Mennen, A. C., Nastase, S. A., Yeshurun, Y., Hasson, U., & Norman, K. A. (2022). Real-time neurofeedback to alter interpretations of a naturalistic narrative. *Neuroimage: Reports*, 2(3), 100111.

© 2023 Vile S | VILE, Inc.

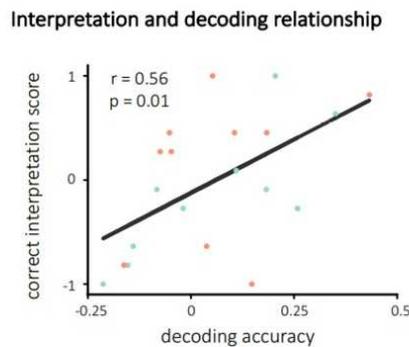
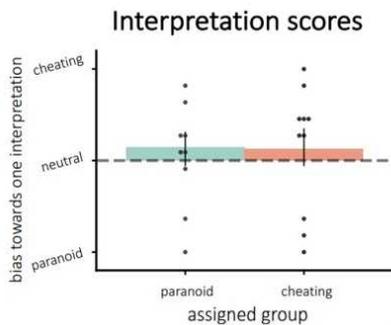
図10 NFを用いて物語の解釈の仕方を操作する実験1

NFを用いて物語の解釈の仕方を操作する実験(2/2)

【実験結果】

結果1：NFによってストーリー解釈が大きく変わることは平均的に見られなかった。

結果2：デコーディング精度が高かった被験者ほど最終的に指定された解釈にたどりつきやすかった。



実験者は手法の改善は必須であるが、デコーディング精度の向上すればNFで物事の解釈を操作することが可能であると結論付けた。

Mennen, A. C., Nastase, S. A., Yeshurun, Y., Hasson, U., & Norman, K. A. (2022). Real-time neurofeedback to alter interpretations of a naturalistic narrative. *Neuroimage: Reports*, 2(3), 100111.

© 2023 Vile S | VILE, Inc.

図11 NFを用いて物語の解釈の仕方を操作する実験2

これまで紹介したことは薬では治療ができません。優れた心理士がいれば別ですが、薬でできなかったことができるようになるのがニューロテクノロジーの面白いところで、世界のものの見方や人間関係の捉え方といった複雑な心の現象を、脳の情報処理に落とし込むことで治療に介入できるようになるのです。僕はこれをイノベティブだと感じています。

実際にユネスコや国連が AI の次はニューロテックに注目し始めて、この分野が爆発的な成長を遂げています。特に中国や韓国が強いです。脳神経科学関連の特許出願数は、アメリカ強のところに近年は中国と韓国が台頭している感じで、残念ながら日本は後塵を拝しています。

国連の分析では脳神経科学技術の分野融合が進んでいて、化学分野（バイオ・製薬）、電気分野（コンピューターサイエンス）、機器分野（光学、計測など）の3分野と成長を遂げています。また、最近の特許数だけで見るとコンピューターサイエンスとの融合が増えています。

このように研究あるいは特許出願が進む中で投資も非常に行われていて、この 10 年ぐらいでニューロテック、ニューロテクノロジーに関わる投資規模が 20 倍を超えています。それこそイーロン・マスクをはじめ皆がお金をかけるようになってきて、ニューロテックに関連した企業や団体が世界で 2,000 社ぐらいあると言われてます。残念ながら、日本はまだ少なく、ほぼアメリカにお金も会社も集まっています。

ニューロテックは脳波を取り、人体に電極を埋め込み、今まで扱えなかった人間の心に介入します。聞くだけでは怖いものと感じます。でも、それが誰かの役に立つかもしれないと、お金、会社や人が集まってきています。

なぜ、お金と人が集まっているのか。先ほど歴史のところの説明したとおり、いわゆる人間の心を扱う分野において、この 70 年は薬を使った治療でした。皆さんがメンタルクリニックに行って、「最近元気がなく眠れない。御飯を食べても段ボールの味しかない。それが 1 か月続いている。」と言えば、鬱病かもしれないと診断されて薬が処方されます。鬱病はセロトニンが少ないのではないかという仮説があるので、セロトニンを増

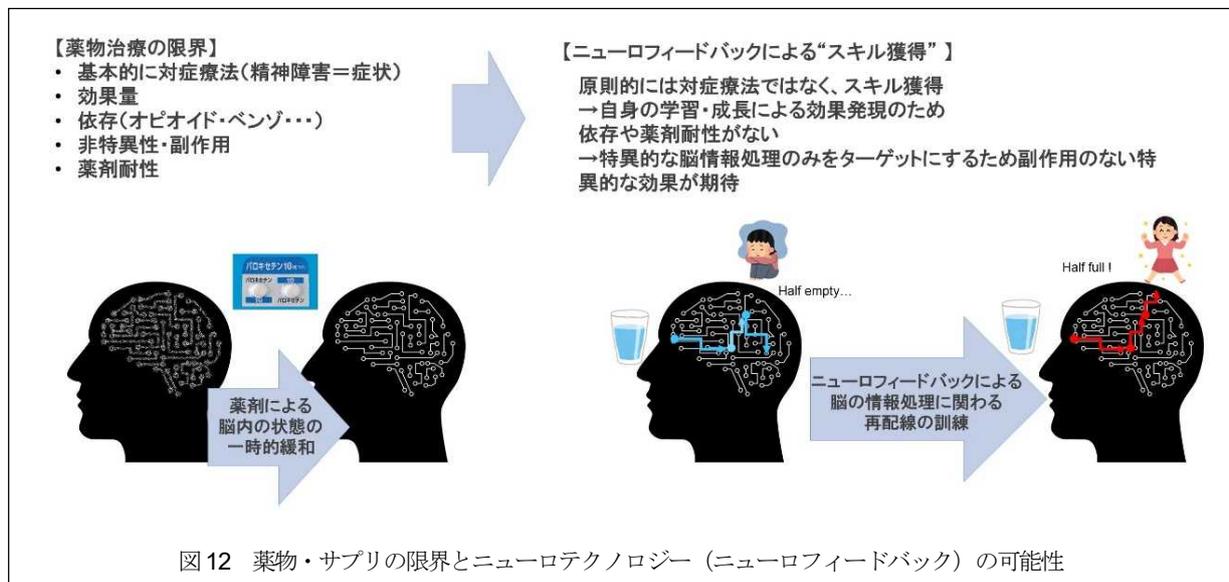
やす薬が処方され、服用すると一時的に鬱の症状が緩和されます。

精神医学とほかの医学との一番の違いは何かというと、精神医学は対症療法に過ぎません。例えば、肺炎になった場合にどのような治療をするかということ、まずは気管支拡張剤を服用します。気管支拡張剤は咳を止め、気管支を拡張します。これは炎症が起きている気道に対する対症療法ですが、それだけでは治りません。さらに原因菌を解明して、その菌に効く抗生物質を服用します。これが医学です。咳止めだけとか気管支拡張剤だけであれば、薬局で買うことができます。医学は、病気の原因になっている医学的現象に対して介入します。

ところが、精神医学は病気の原因になっている医学的現象に対して介入ができません。それができたら、病院の科としては精神科から神経内科に格上げされます。アルツハイマー病や認知症は原因物質がアミロイドβと分かっているので神経内科の病気とされています。ただし、統合失調症、鬱病、気分障害、双極性障害は全部精神科で扱うことになっています。なぜかというと原因が分からないからで、亡くなった患者の脳を分析しても全く分かりません。セロトニンを増やすと症状が改善されることは分かっていますが、それは病気の原因ではないかもしれないのです。

図 2 のクレペリン以降、精神疾患は脳の器質的あるいは科学的な原因がよく分からないので、症状で分類しています。気持ちが沈んでいると言っている人は鬱、すごく気持ちの上げ下げがある人は躁鬱、こんな症状があれば統合失調症といった感じです。このように症状主義で、治療と言っても症状に対しての対症療法を施すしかありません。対症療法によって症状を緩和できても、病気の原因にアプローチできていないので、本当の意味で完治させることはできないのです。

また、治療に使う薬にも問題があります。一つ目は効果量の問題です。エーザイ社が開発した認知症の薬は原因となっているアミロイドβを砕いて除去する作用があります。革命的な薬ですが、効果は認知機能が下がるのを少し抑えられるというもので、治すという視点からみると効果が弱いと感じます。



二つ目は依存の問題です。例えば、モルヒネはアメリカではすさまじい数の依存患者がいます。身近なところではベンゾジアゼピン（以下、睡眠薬）がありまして、これがないと眠れない若い人たちが僕の周りにはたくさんいます。患者が眠れないというだけで、メンタルクリニックの医師が安易に睡眠薬を処方するのは本当によくありません。睡眠薬は脳をシャットダウンする薬なので脳へのダメージもありますし、耐性がついて薬がないと眠れないという依存になってしまいます。

三つ目は副作用の問題です。薬を服用すると全身を回るので、脳のここだけに効かせたいという局所的な使い方が出来ませんし、副作用が出やすくなります。

四つ目は耐性の問題です。繰り返しになります。薬を長期間服用すると耐性がついて、たださえ効きにくい薬がより効きにくくなります。耐性とは脳の中が薬に対して慣れてしまうとも言えます。

これらがこの70年で進歩があった精神医学界の課題でした。図8の鬱病を対象にしたニューロフィードバック研究を思い出してほしいのですが、ニューロフィードバックは対症療法ではありません。鬱病の人がなぜ鬱病になるかという、世界の見方がゆがんでいるからです。図12右下の絵で説明しますと、コップに半分の水があれば普通の人は“半分入っている”と思うところを、鬱病の人は“半分しか入っていない”と思ってしまいます。“ある”ところを見ればいいのに、“ない”ところを見てしまう。それは世界の見方の違いです。コップに水が“半分しか入っていない”と不安を感じるのは、その人の脳の情報処理の特性で、セロトニンの多い少ないは関係ありません。

ニューロフィードバックで訓練を行うと、脳の情報処理、要するにネットワークが変わります。外部からの入力があったときに、コップの水に対して“半分入っている”と思えるようになっていきます。これが根治です。つまり病気の原因となっている脳の情報処理の特性に介入をすることになります。

ニューロフィードバックは対症療法ではないので、薬を飲む代わりに脳波を測りながら訓練する必要があり、実際の訓練は、いろいろなデバイスやデジタルサービスだけでなく、情報通信技術も総動員するので大掛かりで大変になります。とはいえ、スキルの獲得なので基本的には依存や耐性が少なく、特異的な脳の情報処理だけをターゲットにするので、薬が全身に回るようなアプローチに比べると副作用が少ないことも期待されています。

ちなみに精神医学は全人類にとっての課題で、子供の発達障害は増えていますし、20～30代の鬱病による自殺も増えています。また、認知症は世界的に増えています。今の社会には根本的な治療がないので、ニューロテクノロジーが期待されている側面があります。

僕たちも徹底的に調べたことがあって（『応用脳科学リサーチプロジェクト2021』）、図13左の様々な精神・神経障害や疾患、図13右のその他の疾患にもニューロテクノロジー、ニューロフィードバックといった刺激を使ったアプローチが使われるようになってきています。

精神・神経障害・疾患	その他
<ul style="list-style-type: none"> -神経発達障害関連(自閉症スペクトラム・ADHD 等) -統合失調症スペクトラム障害関連 -双極性障害関連 -抑うつ障害関連 -不安障害関連(恐怖症・パニック障害・社交不安障害等) -強迫性障害関連 -心的外傷・ストレス関連障害(PTSD・ストレス障害等強迫) -摂食障害 -睡眠・覚醒障害(不眠障害) -性機能不全・性ホルモン障害関連 -物質関連障害(嗜好・中毒)関連 -神経認知症関連(認知症・MCIなど) -パーソナリティ障害関連(反社会性パーソナリティなど) -てんかん（発作の検知・予知） -脳卒中 -パーキンソン病 -疼痛・頭痛 	<ul style="list-style-type: none"> -脳腫瘍 -脊髄の圧拍 -生活習慣病 -老眼 -耳鳴り -動揺病 -外傷性脳損傷 -脳震盪 -多発性硬化症 -肝性脳症 -麻酔鎮静モニタリング

『応用脳科学リサーチプロジェクト2021』
<https://www.can-neuro.org/consortium/research2021.html>

図13 ニューロテクノロジーによる診断・評価・治療・介入のエビデンスが出てきている領域
 （一部は臨床試験・FDA承認等も進行）

さて、ニューロテクノロジーが普及するのは大体 2040 年ぐらいという論文が出ています。図 14 は 2040 年までのロードマップで、色分けはグレーが何も無い、赤が実験室レベルで使える、緑が日常生活で使われることを表しています。なぜ、今はニューロテクノロジーが使われていないかということ、左側の TODAY では脳波 (EEG) やウェアラブルテクノロジー (Wearable NT) が出てきたばかりで、まだ実験室で使えるレベルだからです。

2040 年の予想では、脳波やウェアラブルテクノロジーのようなものが日常生活で使われるくらいに普及するとされています。逆にイーロン・マスクが進めているような侵襲型のもの (IRT & IST) は、実験室レベルか一部の患者が日常生活で使うぐらいと予想されています。このことから、普及のボトルネックは日常生活で使えるようなデバイスが開発されるかどうかだと考えられるわけです。

僕自身もこの考えには賛成で、例えば、今まで紹介したニューロフィードバックが fMRI を利用して脳波を計測していると想像してください。まず、fMRI を購入するのに 4 億円かかります。そして、fMRI を使用するにはヘリウムで冷却しなければいけなくて、ヘリウム代が年間数百万円ぐらい必要になります。そう考えると簡単には使えないですね。これまでたくさんの論文が出てきて世界中で投資が行われていますが、現状は計測機器が高額なうえに煩雑で、一部の人が一部の場所でしか使えないようなものなのです。図 14 にもあるように、ニューロテクノロジーを広く普及させていくには、いつでもどこでも誰でも使えるようなものが必要になります。

例えば、スマートフォンが普及して、いろいろなプラットフォームが利用できるようになったように、ニューロテクノロジー業界も誰でも使えるデバイスを普及させること、そのデバイスに誰もが簡単に作れるアプリケーションを搭載できることが必要ではないかと考えています。

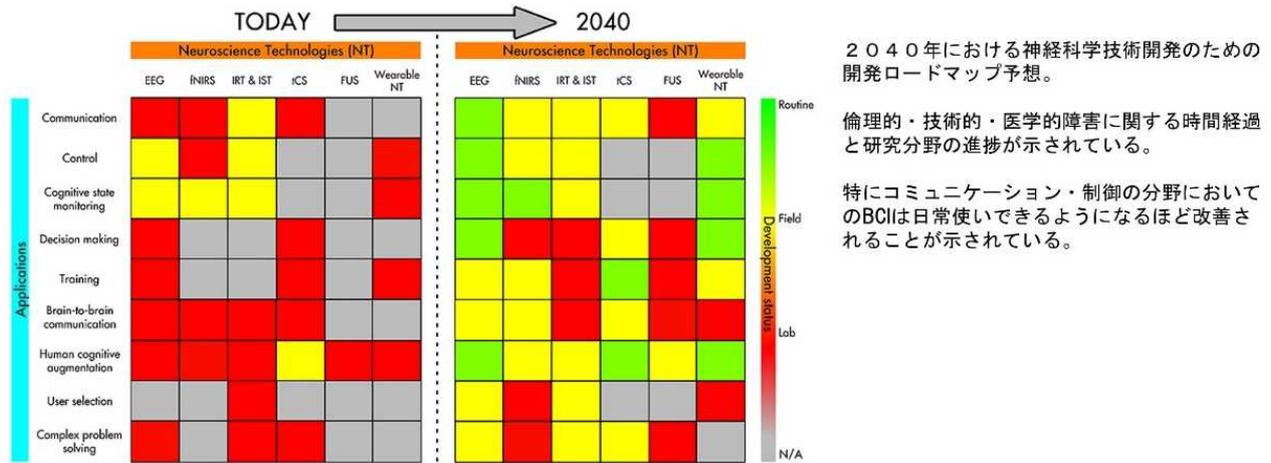
図 15 は弊社で作っている「VIE ZONE」という脳波計で、Wearable In-Ear EEG Device です。普通のイヤホンのような形をしていて、首のところに電極でリファレンスを取ります。この特殊な素材で出来ているイヤーチップから音も流せまじし、脳波を耳の穴の中から取ることができるデバイスを開発しました。



皆さんは耳の中から脳波が取れるのかと疑問に思われるかもしれませんが、脳波が生まれるのは脳の上部で、耳の穴は脳の下にありますから、少し距離が離れてしまいます。図 16 中央下 d の波形グラフは、計測した脳波を表しています。頭部で取る脳波は大きい波の黒いライン、耳から取る脳波はピンクやグレーのラインになります。少し位相がずれるのと、振幅は 3 分の 2 ぐらいに小さくなりますが、それでも脳波が取れることが示されています。

この研究を行ったイギリスのグループは、図 16 左上の耳栓のような電極を耳の穴の中に入れて計測をしていて、表面がザラザラしている素材を使用すると確実に脳波も取れることが示されています。それこそ最近では Apple 社も Air Pods で脳波計測の特許を取っていますので、意外と耳の穴は脳に近づくには良い場所だと注目されています。

・ 神経人間工学を利用したブレインコンピューターインターフェース (BCI) の使用。従来では医療に重点が充てられていた。



Cinell, C., Valeriani, D., & Poli, R. (2019). Neurotechnologies for human cognitive augmentation: current state of the art and future prospects. *Frontiers in human neuroscience*, 13, 13.

図 14 ニューロテクノロジー普及のボトルネック

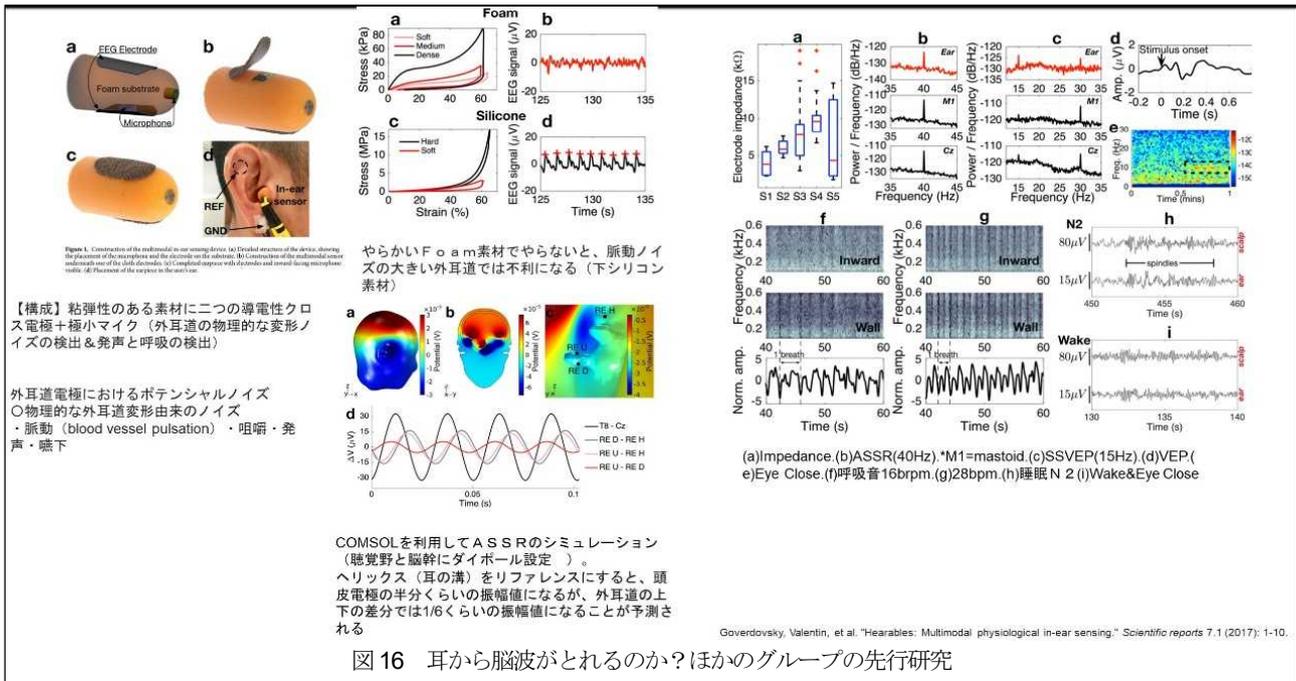


図 16 耳から脳波がとれるのか？ほかのグループの先行研究

弊社のグループでも耳から脳波が取れるのかを、東京大学工学部と一緒に計測を行っています。既存の病院で使うようなキャップで何十極と測るようなものと、弊社が開発したデバイスを一緒に計測して、信号が完璧に一致はしませんが、左耳から取る脳波は脳のこの辺で発生している脳波と似ている、右から取る脳波はこの辺、という論文を出しています。

そのほかに睡眠脳波の計測を九州大学の睡眠ラボと一緒にを行っています。今の睡眠脳波の計測は結構大変で、線だらけの計測器をつけなければいけないのですが、弊社のデバイスをつけて寝るだけで、意外と耳からでも睡眠に関わる脳波が取れることが分かってきています。

「VIE_ZONE」はハードウェアの観点では、完璧に従来の脳波計と同じようなデータが取れなくても、スタイリッシュで日常生活でも使えるようなデバイスという点を重視しています。

次にアプリケーションは、汎用脳情報解読器の「REC DEC BACK」(図 17)を作りました。こちらは誰でも試せるように汎用的な脳情報を解読して利用するプロセスに重点を置いて開発しています。

図 18 で汎用脳情報解読器の開発プロセスを説明します。STEP1 は REC (状態の定義と記録) で、弊社のデバイス (脳波計) をつけて、皆さんにはある状態になってもらいます。例えば、目を開けているときと寝ているときでもいいですし、あるいは何か動画などを見て興奮度合いが高い、低いといった状態が異なる脳波データを集めます。

続いて、STEP2 は DEC (デコーダーの学習) になります。STEP1 で集めた脳波のパターンを機械学習や AI を使って判別するモデルを作ります。

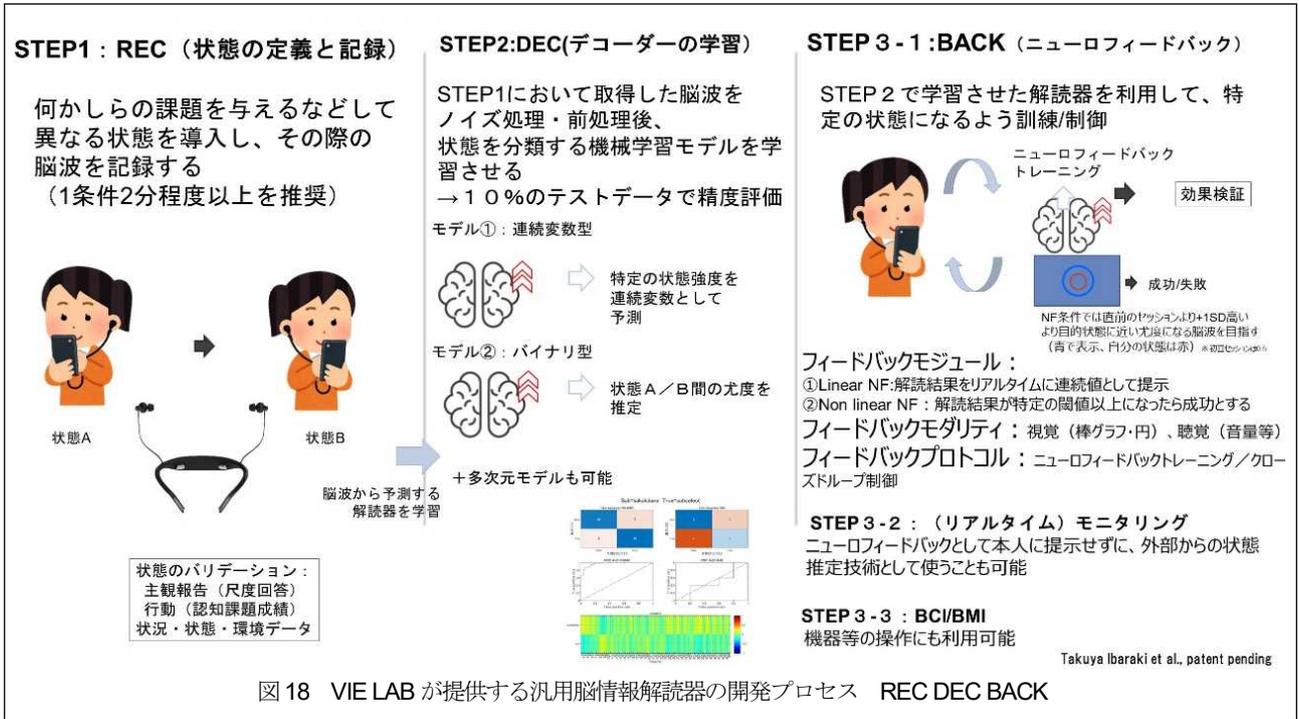
最後の STEP3 は 3 種類ありまして、まず、STEP3-1 の BACK は STEP2 で学習させたものを使って本人がニューロフィードバックで自分の理想の状態を目指します。鬱病で例えると、状態 A が鬱になっている状態、状態 B がニュートラルになっている状態とした場合、本人が自分のデータを見ながらニュートラルな脳波を起こすようにトレーニングします。トレーニング方法はいろいろとありまして、例えば画面に表示された図形の大きさを変えたり、音を大きくするなどがあります。

次の STEP3-2 はモニタリングで、今その人がどのような脳の状態なのかをリアルタイムで数字として見ることもできます。STEP3-3 の BCI/BMI は状態 A が右へ移動、状態 B が左へ移動と定義しておけば、解読した脳情報の結果から機械の操作をすることができます。

STEP1 から 3 を汎用的なプロセスのソフトウェアにしています。レコードして、解読器を作って、それを使ってリアルタイムに何かを使う。使い道を具体的に言うとニューロフィードバック、モニタリング、ブレイン・マシン・インターフェースといったところになります。



図 17 汎用脳情報解読器



「VIE ZONE」はイヤホン型の脳波計なので、クローズドループ（閉制御）ができることが強みです。例えば、ある人により好きな音楽を選んであげたいときに、その人の脳波からどのくらいその音楽が好きかを解読できるようにします。いろいろな音楽をかけていって、嫌いな曲であれば変えればいいし、好きな曲の脳波が出たらその曲に似た曲をどんどん選んでいく感じで、特定の脳波の状態になるように音で介入していくことができます。また、目が覚めるような音楽を選ぶなど、脳の状態に応じて耳から音響刺激で介入することによって、特定の脳の状態になるまで制御していくことが可能になります。

ニューロテクノロジー事業事例の紹介

ここからは弊社の事業を紹介します。一つ目は、国立がん研究センター東病院とともに行っている研究です。これは麻酔がかかっている状態か、または、起きている状態かを基に、麻酔のモニタリングと制御を行います。皆さんは内視鏡検査を受けたことがありますか？僕は麻酔をかけずに経口内視鏡を飲んだことがあります。もう二度とやりたくないと思うぐらいに辛かったです。内視鏡は非常に侵襲性が低いものですが、10%ぐらいの患者が苦痛を感じて、僕の

内視鏡処置下のモニタリングは簡単に行えるのか？ ～研究の動機

ちなみに、学会ガイドラインでは内視鏡処置における鎮静はASAの鎮静深度の分類での「中等度鎮静」が望ましいとされている¹⁾

【中等度鎮静範囲で制御したいが・・・モニタリングの課題】

- 簡易なモニタリングデバイスの不在：全身麻酔ではBIS[®]等により、脳波による鎮静深度のモニタリングが行われているが、内視鏡処置で使えるような簡易なデバイスが存在しない
- 中等度鎮静に対する信頼できるアルゴリズムの不在：BISは全身麻酔向けで内視鏡における中等度鎮静に使えるか不明。また使用する薬剤や年齢によって脳波は容易に変わりうるため、画一的なアルゴリズムだと精度が悪くなるリスク
- 鎮静深度制御：モニタリングしたところで鎮静の制御を手で行わなければならない

→簡易なウェアラブル脳波計を用いて、その場でその人の覚醒ー鎮静脳波パターンを学習して鎮静モニタリングし、イヤホン型脳波計の利点を活かして音による鎮静深度調整が可能かチャレンジ

	最小限鎮静	中等度鎮静	深い鎮静	全身麻酔
反応性	呼名で正常反応	言葉での刺激に対し意図のある動き	連続刺激や疼痛刺激で意図のある動き	疼痛刺激を受けても覚醒しない
気道	無影響	介入必要なし	介入が必要な可能性	しばしば介入必要
自発呼吸	無影響	十分である	不十分な可能性	しばしば不十分
循環	無影響	通常保持される	通常保持される	破壊する可能性あり

1) 内視鏡診療における鎮静に関するガイドライン (第2版) 消化器内視鏡学会 2020
2) ASA 全麻酔科医のための鎮静ガイドライン

図 19 内視鏡処置下のモニタリングは簡単に行えるのか？

ように二度とやりたくないと思うそうです。そのため、鎮静と
 いて眠った状態にすると患者は苦痛を感じる事がなく、満
 足度が上がりますし、患者が落ち着いていたほうが内視鏡医も
 楽に処置ができます。

ただし、鎮静や麻酔は危ないもので、呼吸が減り、サチュレ
 ーション（経皮的動脈血酸素飽和度）が下がって、最悪の場合
 は呼吸停止や心停止に至ります。内視鏡処置中の死亡例は本当
 にわずかですが、ただ、事故という意味では1%ぐらいの確率
 で発生しています。

外科手術の場合は、鎮静や麻酔がどのぐらい深く効いてい
 るかを常にモニターします。現状で使われているものは30年ぐ
 らい前にアメリカで開発されたBISモニターというもので、お
 こにチクチクしたシールを貼って脳波を測る機械です。この

機械で今その患者がどのぐらいの麻酔の深さなのかをモニタリ
 ングしながら、浅過ぎず深過ぎずの適切な投与を行うことで、
 患者の負担が減ることが分かっています。

外科手術では麻酔科医が立ち会いますが、ただでさえ人不足
 の日本の臨床では、内視鏡処置のときに麻酔科医の立ち合いは
 ほぼありません。内視鏡医は脳波を取ったこともなく、また、
 麻酔の知識もない状態で麻酔薬を扱うので事故が起きるのです。

もちろん処置の最中は心拍や呼吸数のモニタリングを行いま
 す。例えば、サチュレーションが90を切る、あるいは呼吸数
 が10を下回るといった危険な状態に陥ったときは脳波を測ら
 なければいけません。しかし、内視鏡医が使えるような簡易な
 脳波計はありません。

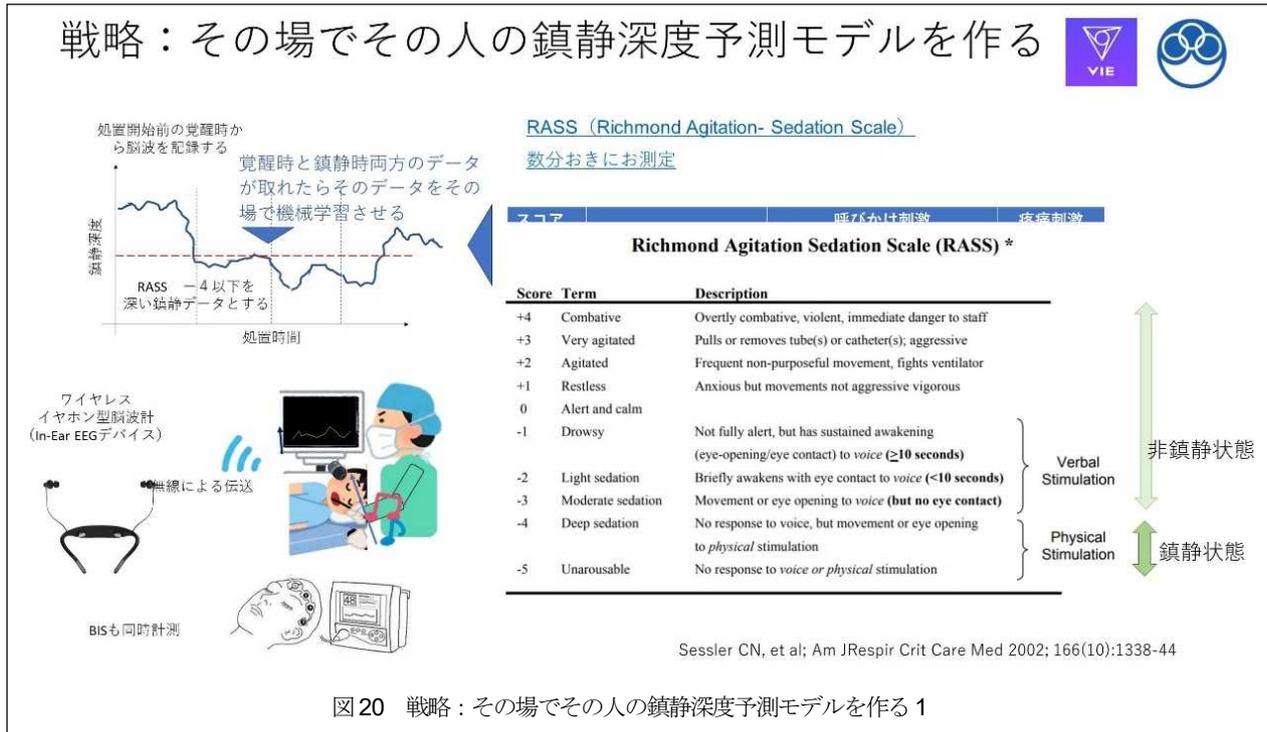


図20 戦略：その場でその人の鎮静深度予測モデルを作る 1

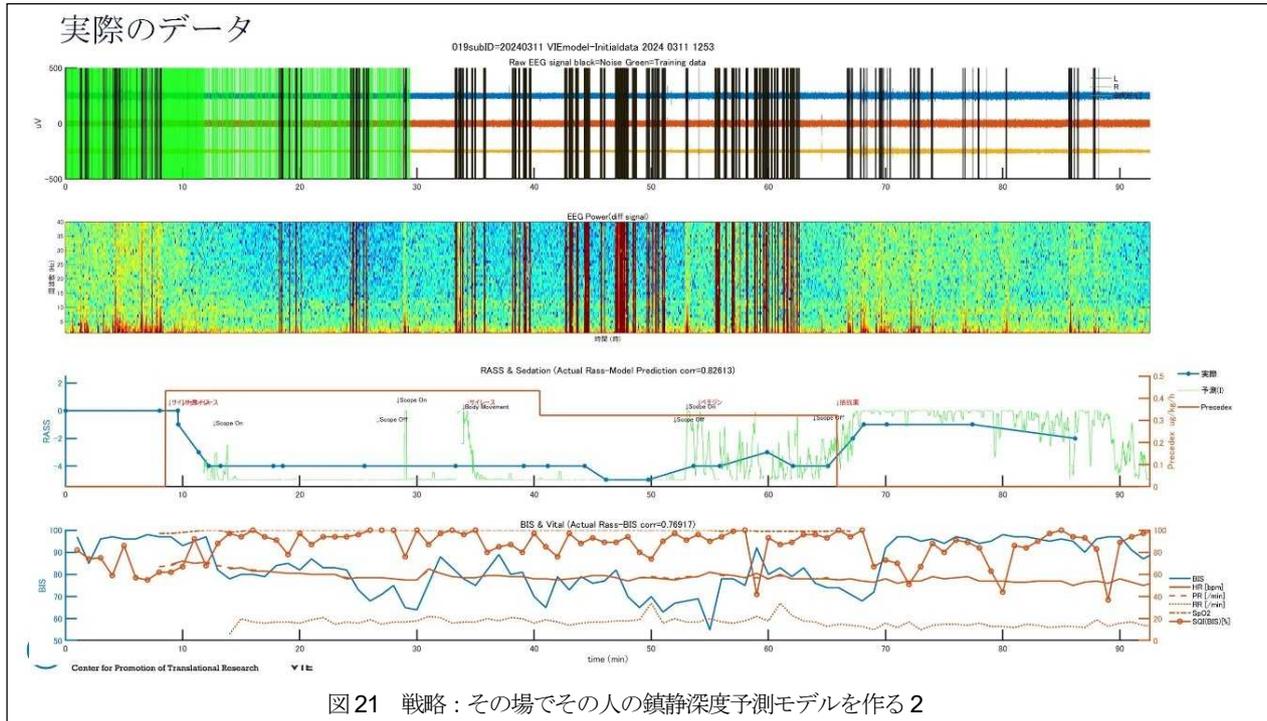


図21 戦略：その場でその人の鎮静深度予測モデルを作る 2

少しマニアックな話になりますが、外科手術のときの麻酔と内視鏡処置の数十分程度の鎮静では薬が全く違います。そのため、BISモニターを利用しても精度が悪いという話もあります。

さらに、内視鏡処置中は基本的にスコープ1台と画面しか見えておらず、忙しくて他のバイタルなどは見てられません。できれば鎮静は、患者が起きそうだったら眠らせる、深そうだったら起こすと勝手にやってほしいのです。

そこで、簡易に扱えることに重点を置いてアイデアを出しました(図19)。ウェアラブル脳波計をその場でつけるだけで患者の覚醒—鎮静パターンを「REC DEC BACK」で学習させてモニタリングを行います。さらに患者にイヤホンをつけるので、音による鎮静を目指しています。

STEP1は鎮静深度のモニタリングアルゴリズムの開発です。患者に協力してもらって、耳から脳波を取ります。起きているときと、その後に鎮静がかかったときの脳波を取っておいて、その2つの脳波から覚醒と鎮静の両方のパターンを学習します(図20)。

図21は実際の患者の例で、全部で90分ぐらいのデータです。この患者は食道癌でESDという内視鏡で癌を切り取る手術を行った際に脳波を計測しました。下から2番目のグラフは患者の意識レベルを表しています。青い線の起点が0になっているのは起きている状態を指していて、ここに麻酔薬が入ると一気に意識レベルが-4まで落ちて、処置が終わった後に患者を起こすと0に戻ります。

図21一番上のグラフで緑になっているところ、つまり患者が起きてるときと鎮静がかかってから10分後ぐらいのデータをその場でパソコンに学習させて、その後の鎮静深度を予測しました。皆さんは想像できないかもしれませんが、麻酔は意外とかからないもので、特に酒に強かったり、睡眠薬を飲んでいるお年寄り、麻酔をかけても苦しうだったり暴れたりもします。予測した鎮静深度を図21下から2番目のグラフの緑の線で示しています。実は鎮静中も鎮静が浅い深いと上下を繰り返します。

このように、実際の患者の意識レベルや鎮静深度と、脳波から予測した脳活動の一致性を相関係数で調べてみるといったことをやっていきます。

図22は実際に「VIE ZONE」で取ったデータです。赤のAwakeは患者が手術前に横になって目を閉じた状態で測定したもので、青のDeep Sedationは静脈に麻酔薬を入れて眠らせた状態で測定したもので、計測時間はそれぞれ10分です。

横軸は脳波の周波数で、1秒間にどのぐらい波があるかを示しています。皆さんは脳波を見慣れていないと思うので解説しますと、Awakeのときは8Hzから9Hzのアルファ波が高いのですが、麻酔がかかるとDeep Sedationは8Hzから9Hzところがぐっと減って、6Hz、7Hz、12Hzといったアルファ波の前後の周波数でなぜか二つの山ができています。ベータ波やガンマ波といった高周波は、起きてるときは高く、鎮静がかかると低くなります。僕はこのグラフの形をラジオペンチ型と呼んでいます。

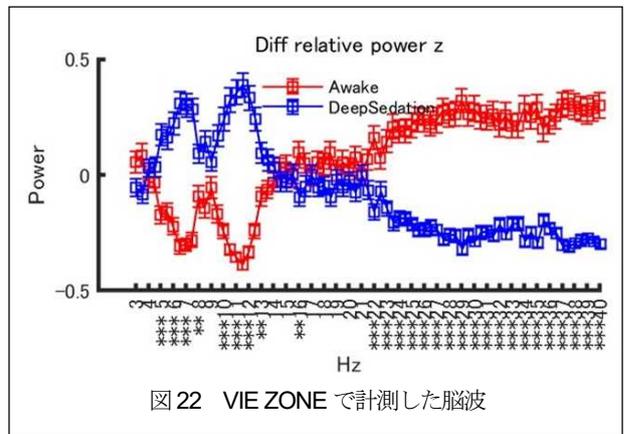


図22 VIE ZONEで計測した脳波

最終的に実現したいシステム

ワイヤレスイヤホン型脳波計 (In-Ear EEGデバイス)

脳波レベル: 85.5

無線による伝送

音声(音楽)刺激による鎮静制御支援

容易に装着可能(数10秒)なイヤホン型脳波計を用い、鎮静のモニタリングおよび制御ニーズはあるもの人手や専門知識がない(内視鏡)臨床鎮静現場で活用可能な、「①鎮静モニタリング機能」および「②モニタリングに基づく鎮静音提示機能(Digital sedation)」をもつシステムを完成させたい。

①に関しては開発の見通しがたったため、②のDigital sedation機能の開発実証に取り組む。

Digital sedationの開発内容

鎮静音のライブラリーから曲を再生し(イヤホン)に、イヤホン型脳波計から取得した信号を元にその曲の効果を判定。現状の鎮静深度と目標鎮静深度の情報に、速曲を更新もしくは維持し、船長的に目標鎮静範囲に維持できるように鎮静制御を支援する閉制御システム。

Step1. 脳波から鎮静深度を推定

Step2. 効果判定と選曲

現状の曲による鎮静効果の評価を行い、現在の鎮静深度から目標鎮静深度に至るまでの最適な音楽を選定(あるいは動的)

Step3. 選曲した音の提示

Sedative Sounds Library

NeuroMusic

本当にイヤホンから音を流すだけで鎮静なんてできるのか?

先行研究①音楽を用いた鎮静効果

音楽を利用した処置中の鎮静効果については20年ほど前から研究されており、患者自らが覚醒下で泌尿器系の処置中に鎮静を行う Patient-controlled sedationにおいて、ヘッドフォンで好きな音楽を聴くことで使用する propofol の量を劇的に減らせた (Median 90mg→0mg) (Koch et al., 1998) という報告がある。

Table 3. Patient's Hemodynamic and Anesthetic Variables and Response	Before	During	After
SpO2 (%)	95.2 ± 1.8	95.2 ± 1.8	95.2 ± 1.8
HR (b/min)	72.0 ± 10.0	72.0 ± 10.0	72.0 ± 10.0
MAP (mmHg)	85.0 ± 10.0	85.0 ± 10.0	85.0 ± 10.0
Propofol (mg)	90.0 ± 20.0	0.0 ± 0.0	90.0 ± 20.0

Koch, W. E., Kian, Z. N., Ayoub, C., & Sorenson, S. H. (1998). The sedative and analgesic effects of music: The dorsal area process. *Journal of Anesthesiology*, 9(2), 382-390.

先行研究②低周波音刺激による鎮静効果

「バイノーラルビーツ」と呼ばれる左右の耳から異なる周波数の音声刺激を入れることにより、差分の周波数帯域の脳波を増強する手法を利用することにより (2 Hz などの低周波)、仙骨麻酔下の患児 (n=23, 平均年齢 3 歳) に対する propofol の投与量 (4.2→3.0) を減らせたことも報告されている (Schmid, W. et al., 2020)。

Schmid, W. et al. (2020). Enhancement in hemodynamic stability during sedation in pediatric surgery: a randomized controlled trial. *PLoS Research Paper*, 15(1), 1-10.

先行研究③音による鎮痛機序

ヒトの音楽による鎮痛作用は以前から知られているがそのメカニズムが明らかになっていなかった。前後肢に炎症性疼痛を誘発したマウスにおいて環境騒音(Sdb)のホワイトノイズ下では聴覚皮質から視床後核間と聴覚皮質から腹側後核間の痛覚回路が抑制され、鎮痛作用を起こすことが示された。

Zhou, W., Ye, L., Wang, H., Mao, Y., Cheng, W., Liu, A., & Zhang, J. (2020). White noise analgesia through corticostriatal circuits. *Science*, 377(6602), 136-139.

図23 closed-loop sound sedation control

このラジオペンチ型の脳波の特徴は、脳の徐波化と言えます。患者に麻酔薬を投与して鎮静状態になると、右側にある高周波のパワーが減って低周波が増えると同時に、アルファ波が減ってアルファ波の前後が増えるという特徴が見られました。まだ1症例ですが、今後2年かけて30症例ぐらい計測して、耳から計測する脳波でも再現性を持って取れることを証明する予定です。

ここ3年間の成果では、「VIE ZONE」と既存の脳波計のどちらの精度が高いかを比べました。被験者は食道癌や胃癌の患者で、内視鏡での処置の際に「VIE ZONE」とこれまで30年間使われているBISモニターをつけてもらい、同時計測しました。

その結果、「VIE ZONE」がBISモニターの同等かそれ以上の精度で鎮静深度を測れることが分かりました。これでSTEP1のモニタリングができるようになりました。

先ほども言ったように、鎮静深度を自動制御して欲しいというのが内視鏡医の要望なので、次の技術として、患者が起きそうになったら寝かせて、呼吸停止まで深くなりそうだったら起こすことを、耳から音を入れて実現します。STEP1で鎮静深度の予測モデルを利用すれば患者の意識レベルが分かるようになったので、STEP2では患者の意識レベルによって起こしたいときは起きる曲、寝かしたいときは寝かす曲を選ばないかというのが、図23のclosed-loop sound sedation controlというアイデアになります。

音による鎮静効果については先行研究が3例あります。1例目は20年前前に発表された、処置中の患者に好きな音楽を聞かせると麻酔量を減らせたという研究です。2例目はバイノーラルビーツと呼ばれる左右の耳から異なる周波数の音を聞かせることで、音の差分の周波数の脳波を増幅させるという手法です。この研究では左右の差分が2Hzの音で、麻酔の量を減らせることができています。3例目はネズミの実験で、音響刺激を聞かせることで鎮痛作用があることが分かっています。

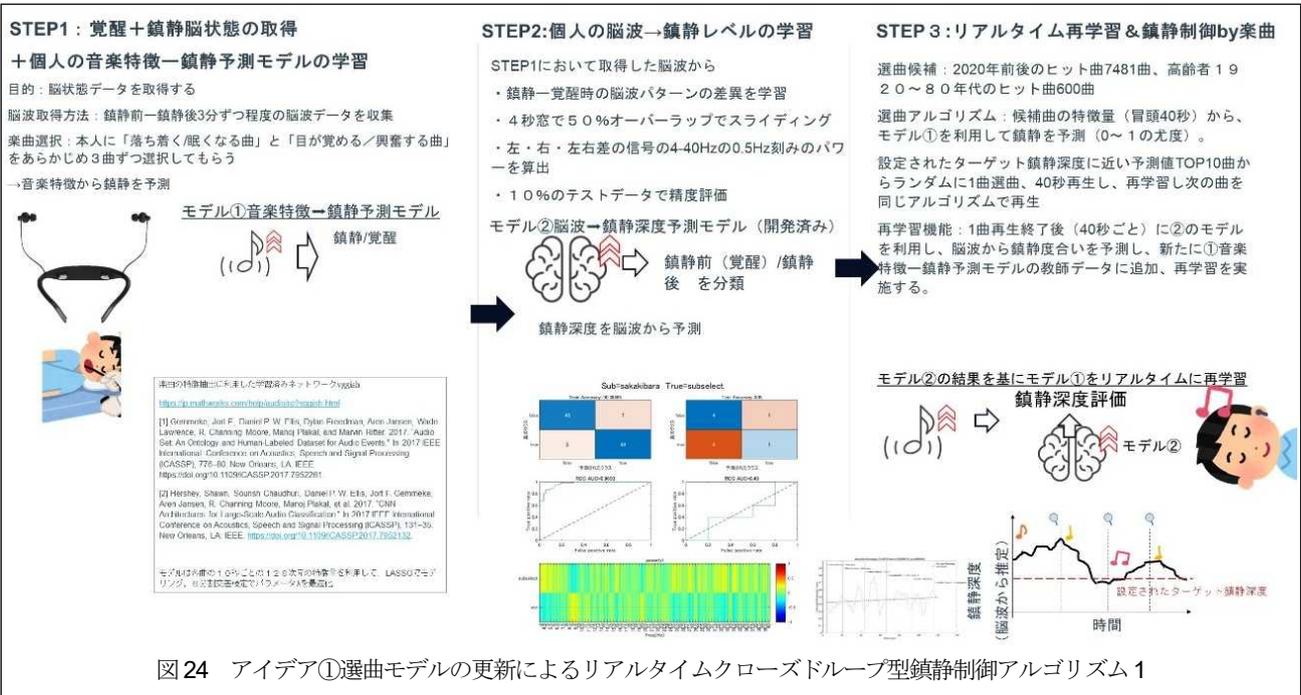


図24 アイデア①選曲モデルの更新によるリアルタイムクローズドループ型鎮静制御アルゴリズム1

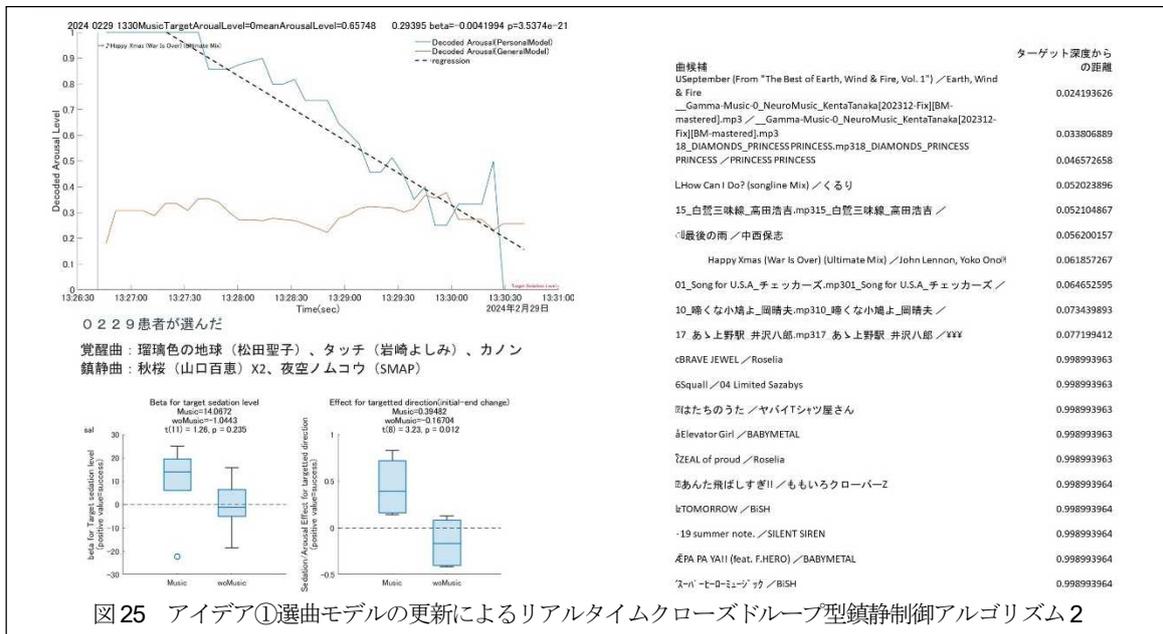


図25 アイデア①選曲モデルの更新によるリアルタイムクローズドループ型鎮静制御アルゴリズム2

以上の先行研究から、音によって麻酔の深度を深くしたり、痛みを和らげたりする効果が得られることが分かりました。

そこでアイデア①として、リアルタイムクローズドループで曲を選ぶアイデアを試してみました(図24)。具体的に言うと、先ほどの「REC DEC BACK」の中でフィードバックのところをモニタリングと選曲にしました。つまり鎮静深度を推計するだけでなく、患者に色々な音楽を聞かせて、より鎮静しそうなものを選曲していくということを行いました。

図25はうまくいった例で、4分間音楽を順番に選んで聞かせることで鎮静を深くすることが出来ました。しかし、鎮静する曲と覚醒する曲をそれぞれ選ぶためには患者へ事前に聞き取りを行う必要があります。患者にどんな曲が鎮静または覚醒すると思うかを聞いて、更にそれに近い曲を選ばないと効果が出ないので、該当する曲を探さなければいけないという難点があります。

図25の患者の選曲は、覚醒する曲は『瑠璃色の地球』、『タッチ』、『カノン』で、鎮静する曲は『秋桜』、『夜空ノムコウ』でした。そこから近い曲として図25右側の曲候補を当てはめていって、本当に鎮静しているかどうか、脳波のモニタリングを行いました。

この検証を6症例ほど試したところ、うまくいった人もいますが、想定よりも効果が安定していないようでした。なにより、事前の聞き取りで患者さんたちが“手術中に聞きたい音楽”を答えられなくて、曲を選んでもらうことが難しいという点が初めの挫折でした。

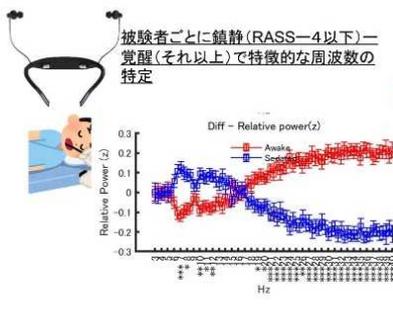
次に、アイデア②として Personalized Neuro Music Sedation (図26)を行いました。これは図22のラジオペンチ型の波形を利用しています。鎮静したいときと覚醒したいとき、それぞれの脳の周波数を増やす音楽を選曲して聞かせることで、目標の鎮静深度に近づけるということを試しています。

実は簡易に鎮静をしてモニタリングを行うことにはとてもニーズがあります。臨床でもウェアラブルデバイスのように誰でも使える簡易なものが、従来の医療機器よりも需要があると開発を進めています。臨床にも使えるという点で受けがよくて、国立がんセンターと行っている共同研究が、他の病院にも広がっています。

- 患者ごとに覚醒時・鎮静時の脳波周波数パターンが異なる
- そのパターンに基づき、目標とする鎮静深度に至る周波数を増やす音楽を流す
- リアルタイムに効果を判定し、適切な周波数および制御強度を持った音楽を選曲し続ける

STEP1: 覚醒+鎮静脳状態の取得(5分程度ずつ)
+ 覚醒時・鎮静時の特徴的な脳波周波数の特定

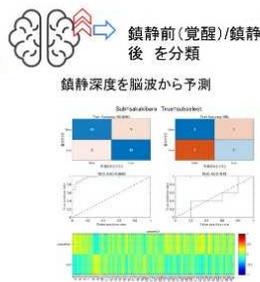
目的: 脳状態データを取得する
 脳波取得方法: 鎮静前-鎮静後5分ずつ程度の脳波データを収集
 →3-30Hzのあいだ、0.5Hz刻みでパワーを計算し、それぞれの状態でもっとも強くなる周波数帯を特定(最大効果量となる周波数)



STEP2: 個人の脳波→鎮静レベルの学習

STEP1において取得した脳波から
 ・鎮静-覚醒時の脳波パターンの差異を学習
 ・4秒窓で50%オーバーラップでスライディング
 ・左・右・左右差の信号の4-40Hzの0.5Hz刻みのパワーを算出
 ・10%のテストデータで精度評価

脳波⇒鎮静深度予測モデル(開発済み)

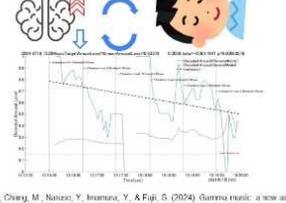


STEP3: Sound Sedation Control

※1周波数あたり4強度
 (0.25/0.5/0.75/1.00)



以上の鎮静推定結果と入力された目標鎮静深度に基づき、その目標深度に近づけるように聞かせる曲の周波数および強度が選択される。近づいた場合は弱め、効かなかったらより強いものを選ぶ。



Yokota, Y., Tanaka, K., Chiang, M., Nakano, Y., Inamura, Y., & Fujii, S. (2024). Gamma music: a new acoustic stimulus for gamma-frequency auditory steady state response. *Frontiers in Human Neuroscience*, 17, 1287018.
 Dolgin, E. (2021). Can flashing lights steal Alzheimer's? What the science shows. *Nature*, 631(8052), 22-24.

図26 アイデア②Personalized Neuro Music Sedation

二つ目に紹介する事業事例はリコー社とのもので、これは脳の状態をPLAYFULL またはPAINFULL のどちらかを解読して、PLAYFULL にしていきたいというものです。リコー社はもともと複合機などを作っていますが、DX の世界では需要が伸び悩んでいることから、オフィスの中でソリューションを開拓したいということで弊社に声をかけてくれました。リコー社は社是に「はたらく」に喜びを」と掲げていまして、彼らとしては仕事が楽しくなるというところで、何かテクノロジーが使えないかと相談がありました。

そもそも仕事ができる人とはどのような人なのかということがいろいろな研究で分かっています。一般的には、ポジティブでやる気があって何でもできますという人が優秀で、ネガティブで病んでいる人は仕事ができないイメージがあります。

実際に鬱病になるとパフォーマンスが下がってしまいますし、それで休職してしまうと本人だけでなく周りも大変になります。ただ、鬱病、不安症、強迫性障害、発達障害を持っている人はIQ がかなり高く、逆に言えば、IQ が高くないこのような病気にはならないことがいろいろな研究から分かっています(図 27)。

そのほかに、完璧主義の人でも非常に優秀ですが、鬱病になりやすい傾向にあります。総じて完璧主義の人たちは理想が高過ぎるのです。「こんなのでは駄目だ、自分はまだできるはずだ。」と勉強の場合は 100 点を取らなければならないと思うし、女性の場合は美容整形の依存症や摂食障害のリスクが高くなります。

さらに、完璧主義の人たちはインポスター*1 になりやすく、

それが鬱病のリスクを高めることも分かっています。

このように優秀な人は病みやすいというのは科学的事実です。だからといって、会社や仕事が向いていないとか、辛いからと辞めさせてしまえば企業力も国力も駄目になります。少子化で労働人口が減っていく中でメンタルが弱い人を切り捨てていったら何の未来もないわけです。

そこで弊社がリコー社で行ったのは、病みやすいけれども優秀な人がニューロテクノロジーを使ってセルフメンタルマネジメントすることで、世界の見方を変えていこうというものです。本当にブラック企業であれば絶対に辞めたほうが良いですが、思い込みや世界の見方のせいで辛くなっているところを、「はたらく」に喜びを」に変えられないかというアイデアを出しました。

今は人的資本経営が流行っていますが、図 28 上側の有形・金銭的投資といった給料を上げる、働き方改革をするという目に見えて成果が分かりやすいものに偏りがちです。僕の人生のスタンスは「本当に大事なものは目に見えない無形なもの」なので、人的資本投資に当てはめると、心理的資本の比重が大きいと考えています。心理的資本とは、要するに頑張りたいとか挑戦したいと思える心の能力です。それは給料が高いとか働き方がどうのではなく、「頑張れる」と思うこと自体が才能なのです。ひどい家庭環境で育ったり、ブラック企業に勤めたりしていると、そもそも頑張りたいと思えなくなります。そのような失われた心理的資本を訓練する機会に投資する媒体が現代社会にはないので、それをつくりたいと考えました。

知能 (IQ) の高い人のほうが疾患を患うリスクが高い

概要 知能の高いメンサ会員における疾患の平均罹患率と、国全体の平均罹患率を比較したところ、精神疾患に関しては、うつ病・不安症・OCD・アスペルガー症候群の平均罹患率がメンサ会員のほうが有意に高かった

【調査方法】

調査対象者: アメリカのメンサ会員 3715 名
 ※メンサ会員: 全人口の内上位 2% の IQ の持ち主によるグループ

【調査内容】

- 以下の疾患の診断・疑いについて自己申告
 - 気分障害
 - 不安症
 - ADHD
 - 自閉症
 - 身体的な疾患 (喘息やアレルギー等)
- 国勢調査による国全体の統計平均と比較

【調査結果】

- 国全体の平均罹患率と比較して、メンサ会員にはうつ病・不安症・OCD・アスペルガー症候群の罹患リスクが有意に高かった
 - **うつ病: RR = 3.85, p < 0.001**
メンサ会員はそうでない国民よりも 3.85 倍うつ病のリスクが高い
 - **不安症: RR = 5.74, p < 0.001**
 - **OCD: RR = 3.30, p < 0.001**
 - **アスペルガー症候群: RR = 42.31, p < 0.001**



図 27 知能 (IQ) の高い人のほうが疾患を患うリスクが高い

*1

インポスター症候群 (インポスターしょうこうぐん、英: Impostor syndrome、インポスター・シンドローム) は、自分の達成を内面的に肯定できず、自分は詐欺師であると感じる傾向であり、一般的には、社会的に成功した人たちの中に多く見られる。ペテン師症候群 (ペテンししょうこうぐん)、もしくはインポスター体験 (インポスターたいけん、impostor experience)、詐欺師症候群 (さぎししょうこうぐん、fraud syndrome) とも呼ばれる。

(出典: Wikipedia)

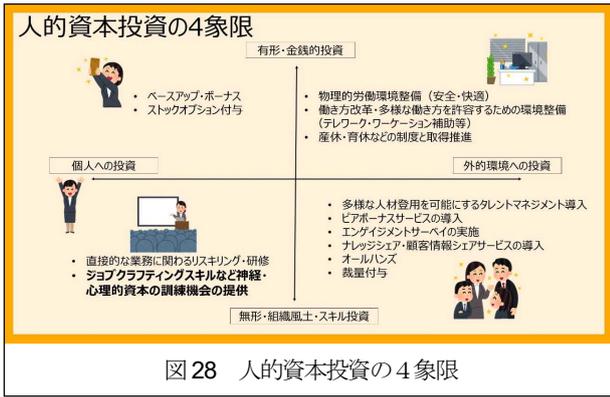


図 28 人的資本投資の 4 象限

そこで僕が注目したのは、ジョブ・クラフティングという経営科学における概念です（図 29）。これは仕事をするにおいて従業員や労働者自身が、仕事が楽しく、やりがいがあるものに変えていくことです。

有名なイメージとしては、オリエンタルランドに頑張って就職して掃除担当になったとします。せっかくディズニーランドで働けるようになったのに、なぜ掃除なのだと思います。そこでジョブ・クラフティングをすると、モップで掃除をすることが仕事だと思っていたのですが、モップで掃除をしながらミッキーの絵を描いて子供を楽しませることもできるわけです。そうすると掃除という仕事が、掃除だけではなく子供を喜ばせる仕事にもなって、本人にも周りにもメリットになります。

つまり掃除という仕事そのものは変わらないけれども、そのやり方や捉え方を変えることで仕事の質を変えることをジョブ

・クラフティングと言います。労働者が主体的に新たな仕事を求め、自分の好きなように仕事を創造していくことを指します。

ジョブ・クラフティングができるようになると、その人のスキルや仕事の資源が増えるだけでなく、やる気まで増えて仕事の満足度も上がります。また、燃え尽き症候群や鬱になるリスクも減り、仕事をしていて楽しいと思える Well-being の状態になります。ジョブ・クラフティングというものは、従業員の健康度と生産性を両立させるという意味では非常に良い活動です。

ジョブ・クラフティングの重要な要素の一つが世界の見方を変えることで、専門用語ではリフレーミングと言います。“仕事イコール苦行”、“仕事はつまらない”、“仕事は耐えるもの”といったネガティブな捉え方を変えていくわけです。

そこで出てくるのがニューロフィードバックです。前章で話しましたように、鬱病の人がニューロフィードバックでネガティブなバイアスを直すことができたという研究があります。仕事においてもネガティブな思い込みや考え方を変えることによって見方を変えられると、精神医学の世界ではいろいろと成果が出ています。

世界の働くことの幸せランキング*2 では日本人は最下位ですが、それは日本の企業がブラック企業ばかりというわけではなく、仕事に対する強いステレオタイプの影響もあると思います。どのようなステレオタイプかと言うと、“仕事は辛いもの”、“仕事は耐えるべきもの”といったことです。“辛くて我慢してこそ本物の仕事なのだ”というのが日本のカルチャーなので、仕事は楽しいものも捉える他国と比べると非常にネガティブな結果になってしまいます。

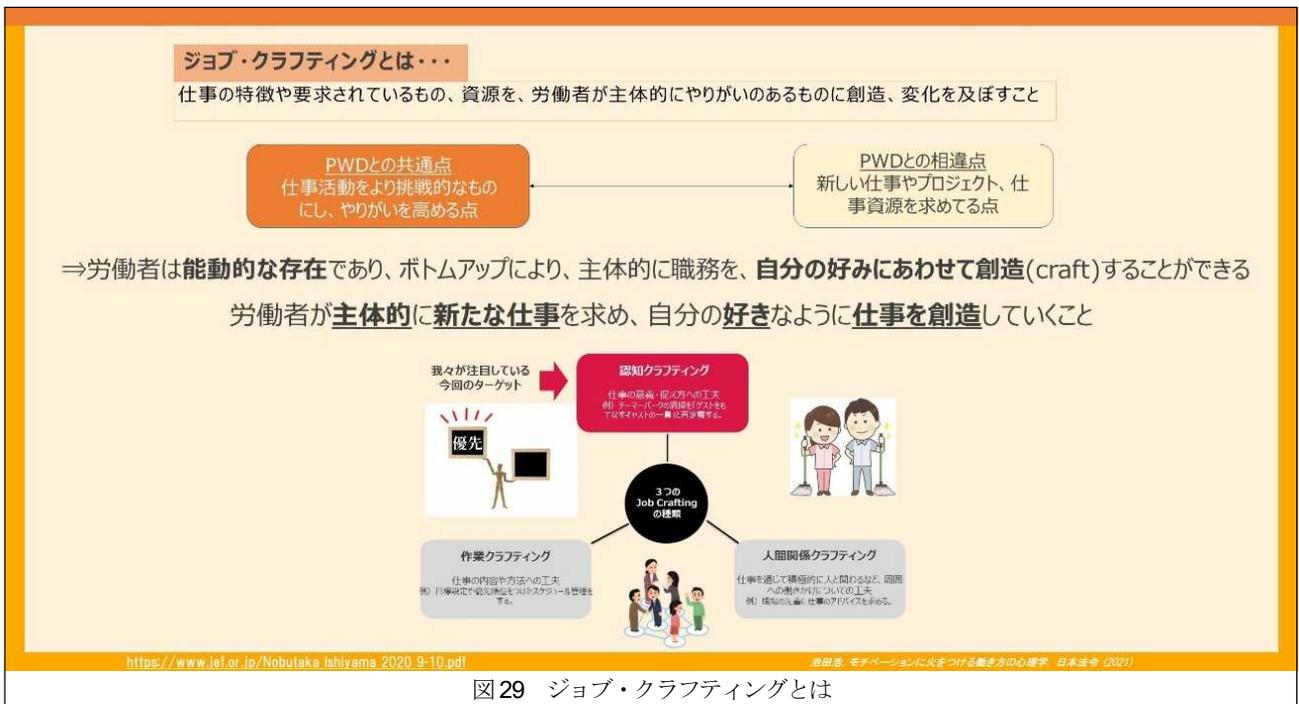


図 29 ジョブ・クラフティングとは

*2

パーソル総合研究所「グローバル就業実態・成長意識調査 ―はたらく Well-being の国際比較」

<https://rc.persol-group.co.jp/thinktank/data/global-well-being.html>

そこで、仕事に対してのマインドセットを自分で主体的に変えていくスキルを身につけることができれば、生産性と自分自身のWell-beingを両立することができるようになるのではないかと。生きづらい、働きづらいと思うマインドセットを自分で変えられるようなテクノロジーを作りたいと企画しました。それには先ほど話したジョブ・クラフティングと精神医学におけるリフレーミング（認知再構成法、認知行動療法）を取り入れています。

ただ問題があって、リフレーミングは誰もができることではないので、ニューロテクノロジーを使ってリフレーミングができていたときの脳波をレコーディングして、ニューロフィードバックで仕事を楽しく捉えられたときの脳活動を自分で再現する訓練ができれば、効果的でどこでも誰でも使いやすい新しいソリューションになると考えています（図30）。

実験で何をやるかという、初めに仕事でどのようなことが辛いかを評価して、その後にリフレーミングを僕と一緒にやってもらうのですが、そのときの脳波を取っておきます。つぎに、ニューロフィードバックでリフレーミングしたときの脳波を自分自身で出すトレーニングを行ってから、仕事の辛さを再評価してもらいます。

これまでにいろいろな会社でトライアルをやらせてもらっていますが、これをやることによって仕事の苦痛度を減らすことに成功しています（図31）。

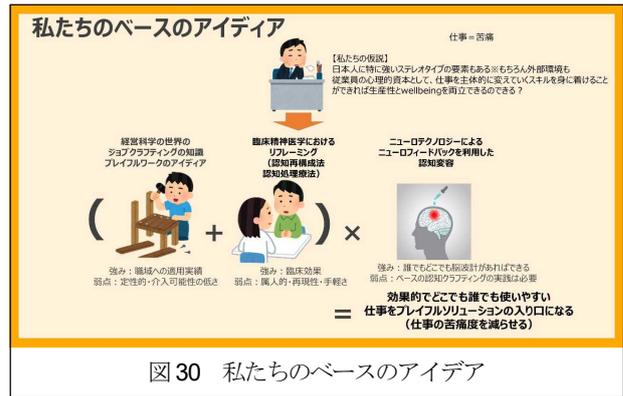


図30 私たちのベースのアイデア

実際にリコー社と一緒にやっている内容を説明します。まずリフレーミングをするにあたり、その人の世界の捉え方を引き出していきます。これは会話しながらできないのですが、仕事で辛いと思っていることが絶対にあるはずなので、それをまず出してもらいます。その仕事の辛さの中で、仕事に対する今の不満や考えを簡潔な言葉で表現してもらいます。

それを分かりやすく『モヤモヤ』と言っているのですが、『モヤモヤ』の典型的な例を図32下に挙げています。皆さんもこれらに近い悩みはありますか？

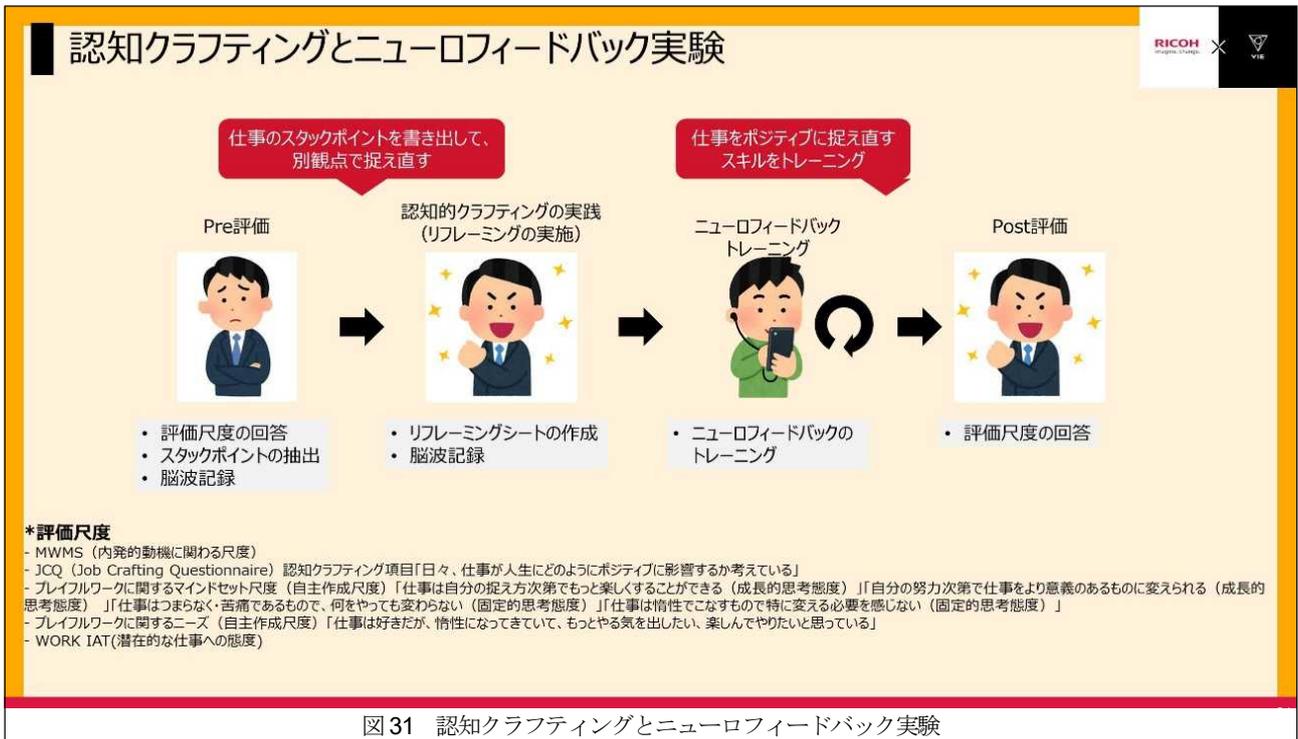


図31 認知クラフティングとニューロフィードバック実験

1. あなたの「モヤモヤ」を見つけよう

今回設定していただく「モヤモヤ」(ストックポイント)とは、仕事を楽しいものと捉え直す上で妨げとなっているあなたの

仕事に対する現状の**不満・信念・考え(思い込み)**です。

ジョブクラではこのモヤモヤを“端的な文章”で表現してもらいます。極端な言葉(絶対、誰も、～しか…など)や責任(～べき・自分が悪い・あいつのせいだ)で表現されることが多いです。モヤモヤはあなたが寝る前や移動中など、ふとした時に頭に自動的にわいてきて嫌な気分になり、なかなか頭から離れない 文字通りモヤモヤしている 具体的な仕事上の悩みであることが望ましいです。

※事実(例:締め切りが近い)・例:倫理(会社は従業員の安全に配慮すべきだ)・疑問(例:これから会社の体制が大きく変わるのあろうか?)はモヤモヤ(信念)ではないので注意しましょう。

典型的なモヤモヤの例

- 白黒思考: “誰も”仕事を手伝ってくれない。自分の仕事には意味が少しもない。誰もほめてくれない。(絶対、誰も、～しか…など)
- 過大/過少評価: 下請け業者的な仕事“しか”させられなくて苦痛。
- 過剰一般化: “一回”仕事を外された。上司も同僚も誰も信用できない。嫌われている。
- ネガティブフィルター: 自分や他人の良いところが見えなくなり、ネガティブな部分だけが強調されて自覚される
- 感情的決めつけ: “連携先の部署の人から連絡がこない”のは“嫌われている”からだ (事実と解釈の乖離)
- すべき思考: 仕事が降ってくるのはやるべき人がやらないせいだ。自分が全部やらなければいけない(自責化・他責化)
- ラベリング(レッテル貼り): こんな仕事もできていない自分は“無能”だ。昇進できない自分は“負け組”だ
- ニセ読心術: 上司が機嫌が悪いのは自分が期待に応えられないからだ(相手の気持ちはわからないのに自分のせいにする)
- 悲観的予測: 仕事はつまらない。未来も変わらない。(根拠のない悪い予想)

85

図 32 1. あなたの「モヤモヤ」を見つけよう

あなたの「モヤモヤ」は?

あなたのモヤモヤを詳しく書いてみよう。
仕事上の不満に関してのモヤモヤを、簡潔な文章で3つ書き出してみよう。
それぞれ右側の項目に関して10点満点で評価してみてください。

仕事上の不満に関してのモヤモヤ (仕事上で常にこの状況や感情に悩む具体的な文章)	感情の度合い (1を最高で ない-10まで も可)	頻度 (1を最高で ない-10まで も可)	未解決 (1を最高で ない-10まで も可)	解決でき ない (1を最高で ない-10まで も可)	合計点 (40 点満点)
①					
②					
③					

図 33 あなたの「モヤモヤ」は?

それでは、図 33 に皆さんの悩みを『モヤモヤ』的な言葉にして当てはめてみましょう。それに対して『苦痛の度合い』、『頻度』、『未解決』、『解決できないと思う度合い』の項目を 10 点満点で評価します。

その『モヤモヤ』に対してリフレーミングを行います(図 34)。リフレーミングとは、自分の信念に対して見方を変えるという心理的な技法です。一応、僕は心理学出身で認定心理士も取っていますので、どなたか一緒にこのセラピーを受けてもらいたいと思います。

2. モヤモヤをリフレーミングしてみよう

2. モヤモヤをリフレーミングしてみよう ～リフレーミングとは?

リフレーミングとは、出来事や状況、または自分の感じる感情や考えに対する見方や解釈を変える技法です。認知的再評価/再構成・リアプレイザルと呼んだりもします。

問題や困難な状況を新しい視点や枠組みで捉え直すことで、仕事で感じるストレスやネガティブな感情を軽減し(認知的なジョブクラフティング)、より建設的な考えや行動を促すことを目的としています。

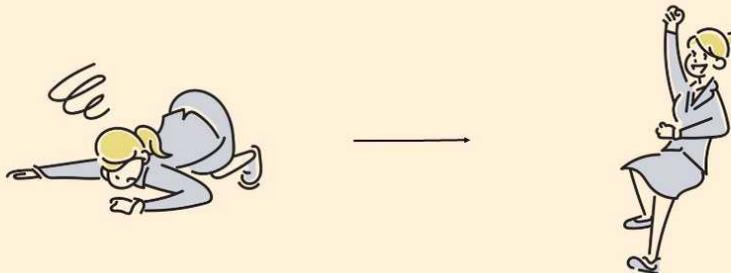


図 34 2. モヤモヤをリフレーミングしてみよう

では、Aさんに設定してもらった『モヤモヤ』は、「自分が集めてきた情報を社内で誰も聞いてくれない。」ということで、それに対して『苦痛の度合い』は8、『頻度』は10、『未解決』は10、『解決できないと思う度合い』は5で合計33点です。僕は今まで重症患者をたくさん見てきてまして、合計が40点中33点は中等度の悩みになります。

先に種明しをしておく、このような思い込みはカチカチに固まった紙粘土と言えます。これを変えるためには紙粘土を水でふやかすように、脳を柔らかくすれば良いのです。

脳を柔らかい状態へ変えていくために図35の再評価を行うのですが、そこで必要なのが脳内裁判です。頭の中で弁護士と検察をイメージします。

2. モヤモヤをリフレーミングしてみよう

リフレーミングの方法①-1

①再評価 → ②ポジティブリフレーミング → ③ジョブクラアプリ

①-1. あなたのモヤモヤについて、そう感じる理由、そうではないかもしれない反証、考えや立場が異なることを示す証拠や理由を挙げてみましょう。

検察 反証

自分で設定したモヤモヤ

検察

反証

図35 リフレーミングの方法①-1 ①再評価

Aさんの場合は、まず検察が根拠を出してきます。「私が集めた情報をいろいろな機会でも説明しても誰からもレスポンスがありません。」と主張しました。次に弁護士をイメージして、そんなことはないかと反証してみてください。実はあつとき誰かが

返信をくれたとか、興味を持ってくれた人がいたかもしれません。

A:「いろいろ社内に出した情報の一つは興味を持っていただいて、一応その部署でまだ完全ではないけれども少し進んだ事例はあります。」

先ほどの検察の主張は「誰もレスポンスをくれなかった」でしたが、弁護士からの反証は「一つの部署では進んでいる」と言っています。そうすると、検察は嘘をついていることとなりますね。

次に図36に振り返り観点①と②がありまして、それぞれ項目から一つ選んでもらいます。Aさんが言っていた「誰も自分が提供する情報を役立ててくれない」ことに関して、振り返り観点①は先ほどの話からすると、『全体の中の一部だけに注目していないか?』に当てはまります。応えてくれた部署がいたのに嘘をついていましたね。

A:「今はリモートが中心で、私が一方的に情報を出していてレスポンスがないので、皆興味がないのかと自分の中で解釈してしまっているところがあるかもしれません。」

では、次に振り返り観点②に移ります。Aさんの場合はレスポンスが無いのは相手が「つまらないことを言っている」とか「余計な事をしている」と考えていると思っています。しかし、実際に相手がそう考えていると聞いていないし、言われてもいません。これは相手が考えていることは分からないのに、事実ではないことを感情で処理している状態で、項目の2番目に当てはまります。

2. モヤモヤをリフレーミングしてみよう

リフレーミングの方法①-2

①再評価 → ②ポジティブリフレーミング → ③ジョブクラアプリ

①-2. 以下のどれらの観点で、本当にそうなのか2つの観点で振り返りを行きましょう。

①、②それぞれのボックスから一つずつトピックを選んで書き込んでください

モヤモヤ

振り返り観点① ※以下から一つ選択

振り返り観点② ※以下から一つ選択

□考慮されていない他の情報はないか?
 全体の中の一部だけに注目していないか?
 関係ないことを紐づけていないか?

□事実に基づいているか たゞ習慣的にそう考えているのか
 事実に基づいているのか 解釈で感情的に処理しているのか
 実態は「起こりうる」だけのことを「よくある」と混同していないか
 極端な白黒言葉が含まれていないか(いつも 全部 絶対 ずっと)
 そうなったきっかけ 自身の体験なのか情報源が別にあるのか、それは信頼できるのか

図36 リフレーミングの方法①-2 振り返り観点

次にリフレーミングを行います(図 37)。再評価では、事実ではないところ、感情のところも見えてきました。A さんはいろいろと情報収集をされて、社内での反応が薄くても諦めずにやっているわけでしょう。僕の話もきっと社内で広めてくれるはずです。でも、またレスポンスはないかもしれない。その経験によって、『あなたの人生への少しでもポジティブな影響』、『感謝できる点』、『その出来事で成長できた点』、『得られた強み』を一つずつ考えて挙げてもらいます。

2. モヤモヤをリフレーミングしてみよう

リフレーミングの方法②

①再評価 ②ポジティブリフレーミング ③ジョブクラアブリ

続いてあなたのモヤモヤが實際的に与えたポジティブな影響を考えてみましょう。

モヤモヤ

あなたの人生への少しでもポジティブな影響

感謝できる点

その出来事で成長できた点

得られた強み

図 37 リフレーミングの方法②ポジティブリフレーミング

A: 『ポジティブ』などところは、新しい情報や知識を得られたこと。今日も講演を聞いて、数年後にニューロネットワークのようなものが出たときに、あのとき話を聞いたぐらいに思えていいかなという。『感謝できる点』は、全くレスポンスはないけれども一応皆が話を聞いてくれているというところ。社内では少なくとも私はいろいろなところに行って情報を取ってきていると思われるので、『強み』については、自分の専門以外も情報収集しているので、何か案件が出てきたときは私に話が来ます。』

専門領域以外の多分野な知識や人脈を得ているなんてすごいですね。だから自分がすごく成長している。そして、周りのレスポンスはないかもしれないけれど、皆が話を聞いてくれているということ。これが苦痛だと言っていたけれど、意外と良いこともありました。

では、最後に図 33 と同じ質問をして、10 点満点で評価してもらいます。最初に出した『モヤモヤ』の合計は 33 点でした。リフレーミングをした後はどうなっているか、A さんに点数を出してもらいましょう。『苦痛の度合い』は 5、『頻度』は 8、『未解決』は 8、『解決できないと思う度合い』は 5 で合計 26 点、先ほどの 33 点から 7 点下がりました。

以上が認知行動療法で行うリフレーミングになります。本人はいたって辛いと思っているけれども詳しく聞いていくとそうでもないということが分かってきます。A さんは会社の人から感謝されていますよ。だからあまり決めつけたり、自己完結したりしないほうが良いと思います。

さて、紹介してきたリフレーミングが事業として成り立つのかは分かりませんが、リコー社にトライアルサービスで提供しているものが図 38 で、こちらは若い人向けに行っている研修になります。入社 3 年目ぐらいで合わないから会社を辞めたいという子たちに『モヤモヤ』を評価してもらおうと多くが 40 点近い点数になっています。その子たちにリフレーミングをやってもらい、『モヤモヤ』の評価を 20 点ぐらいにしていきます。その際に脳波を取って置いて、ニューロフィードバックを利用して 20 点になったときの脳波を自分で出す訓練をしていくと、2~3 時間の研修の中で意外と気持ちが楽になってきます。

この研修は、苦痛と思っていることに実は良いところがあるかもしれないというアプローチから苦痛を減らすことを目指しています。このようなことが多方面に展開できれば、きっと生きやすい人が増えるのではないかと考えています。

ジョブクラ

導入研修
リフレーミング+NF(初回, 3h)

仕事に楽しさを感じる上で妨げとなっている自身の仕事上の考え・悩み=モヤモヤを洗い出し、捉えなおしをする訓練

+

脳波を使いながら捉えなおした後の脳状態をつくれるようトレーニング(ニューロフィードバック)

ゲームアプリ
(2週間, 10min/day)

実際の業務の中でジョブクラフティングを使ったアクションを実践することで、自身の理想の状態=「王国の発展」に近づけていく


➤


強みを活かす
自分の強みを活かして、仕事を主体的に生産的なものにできていく能力

学びと成長
自分の能力や専門性を更に伸ばしていく学びの能力

仕事の捉え方
仕事の意義や重要性を自ら見出していく能力

挑戦志向
新しい分野への挑戦や、期待以上の成果を出すために自らやる気を出していく能力

助けを借りる
周りの助力を求めたり、人間関係を構築していく能力

妨害から防御
自分の仕事を妨害してきたり過剰な仕事を要求してくる人から自らを守る能力

図 38 ジョブクラ

三つ目に紹介する事業事例は、東和薬品社と行っているデジタルセラピューティクス (TX) といって、音楽で認知症の人たちの記憶力を回復させるというものです。

認知症の中でも特にアルツハイマー型の認知症になると、自伝的記憶といって自分が一体何者で、いつ、どこで、誰と、何をしてきたのかという記憶が失われていきます。そうするとアイデンティティーがなくなっていくので、本人も辛いし、人が変わったように周りも感じて非常に辛い思いをします。

先行研究で自伝的記憶を呼び起こすには音楽が良いという報告がありまして、10代後半から20代の頃の思い出の曲を聴かせると記憶がよみがえることが分かっています。とはいえ、曲を選ぶのがやはり難しいので、脳波からその人にとって一番ノスタルジーを感じさせる曲を選べないかという実験を行っています (図 39)。

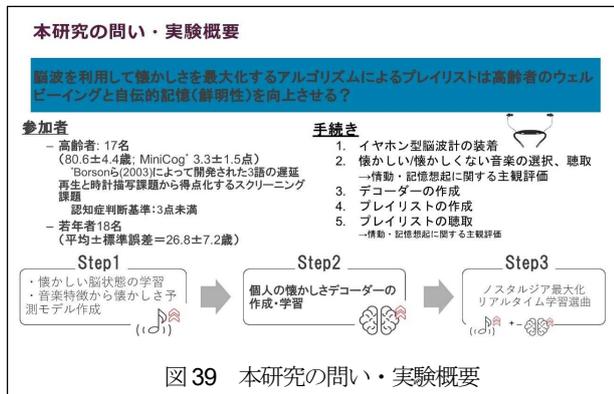


図 39 本研究の問い・実験概要

現在、デイサービスで長期の介入試験を行っています。対象はデイサービスの利用者なので、ある程度自立できている 70歳から 90歳ぐらいの方々です。

被験者に脳波計をつけて、いろいろと音楽を聴いていただいて、一番懐かしいと感じる脳波が出そうな音楽をディープラーニングで選ぶというアルゴリズムを開発しました。面白い例では、ある被験者にアルゴリズムが選曲したリストには泉谷しげると森田健作とあいみょんが並んでいました。多分あいみょんを知らないと思うのですが、この被験者はあいみょんの曲を聴いて懐かしいと言っています。このことから、その人が聴いた事がなくても何となく懐かしいと思える曲があって、それを聴かせると過去の記憶を引き出せることが分かりました。

この試験は本当に面白くて、曲を聴き終わると被験者が「あの頃が一番楽しかった」と思い出話を始めるのです。被験者それぞれに思い出の曲があって、それが当たった瞬間、一気に昔の記憶が蘇ってくるようです。そして実際に記憶の鮮明性を上げることができています。

認知症の予防として、あるいは認知症が発症してからでも、このような音楽を使って自伝的な記憶能力をトレーニングすることを行っていきまして、3年かけてやってきたものがようやく販売できる予定です。

四つ目の事業は、三井住友銀行および日本総合研究所と一緒に金融意思決定におけるニューロフィードバックというものを行っています。簡単に言うと、リスクを取らずに損してしまう人をニューロフィードバックでトレーニングできないかというものです。

具体的に説明しますと、脳波を測りながら、コイントスに参加する、または参加しないを行います。コイントスは表が出たらお金がもらえて、裏が出たらお金を失うことになっていて、失う金額の割合は高・中・低の3種類用意しています。例えば、失う金額が高い割合は、表が出たら 10円がもらえて、裏が出たらマイナス 10円になります。この場合、期待値が 0なので誰も参加しません。

実験デザイン (①コイントス課題for損失忌避)

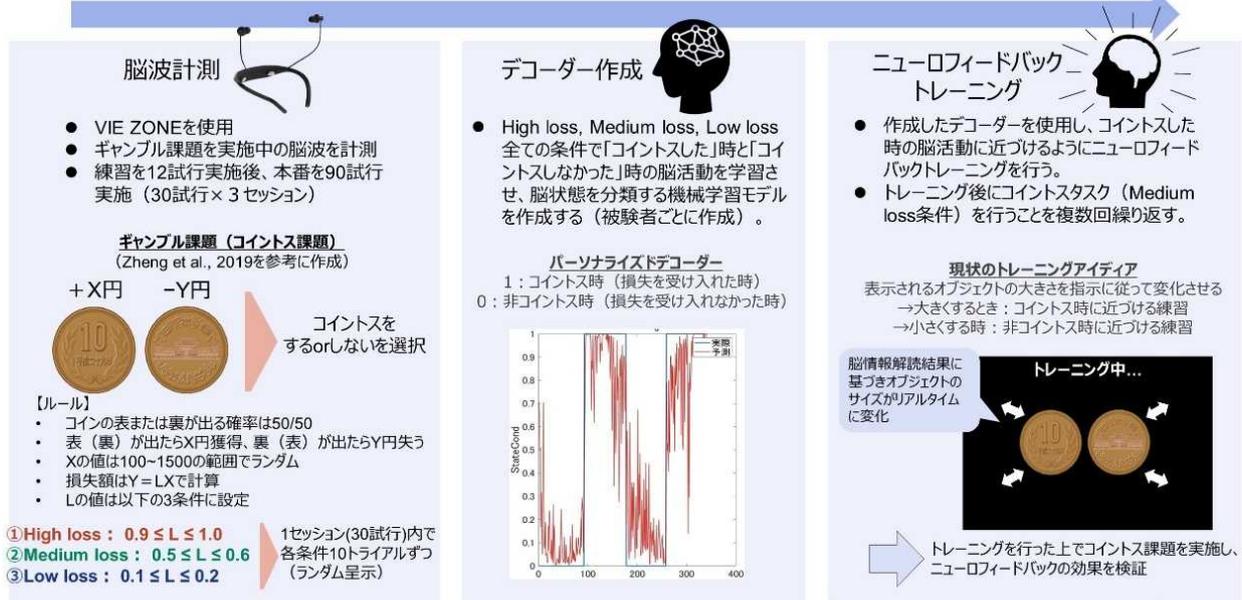


図 40 実験デザイン (①コイントス課題 for 損失忌避)

失う金額が低い割合は、表が出たら 10 円、裏が出たらマイナス 1 円で、こちらには皆が参加します。難しいのが失う金額が中くらいの割合で、表が出たら 10 円、裏が出たらマイナス 5 円では、半分ぐらいが参加しません。でも 10 円とマイナス 5 円ならば、どう考えても期待値はプラスです。僕は極端な合理主義なので絶対に参加します。中くらいの割合の時に普通の人が半分ぐらい参加しないのは、期待値計算に基づかれていない非合理的な意思決定なのです。

そこで、ニューロフィードバックで“期待値はプラスなのににもかかわらずコイントスに参加しないとき”に“リスクを取るときの脳波”を出すという訓練を行います。この訓練を行うことでより稼げるようになるのかという実験を行ったところ、被験者が本当に稼げるようになりました。要するに期待値がプラスのときに、恐怖や不安を感じるのではなく、自信をもって勝ちにいけるようになったのです (図 40)。

五つ目にロート社と開発を行っている事業を紹介します。

皆さんの後頭部にある視覚野には、入ってきたぼやけた像のぼやけを取る機能があり、それを中枢性視力と言います。この

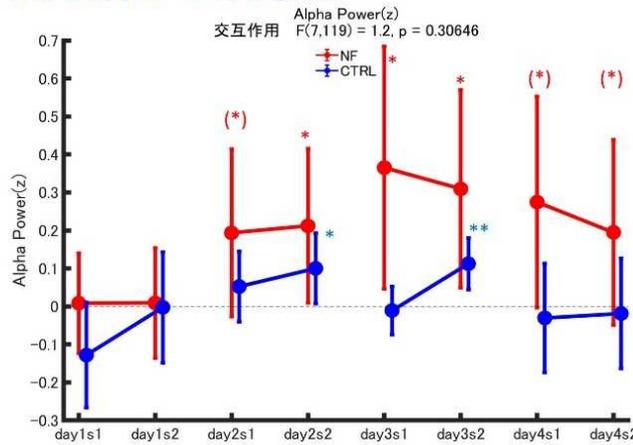
中枢性視力を上げることができるデジタル目薬を作ろうとしていて、大阪万博 2025 に出展する予定です。

中枢性視力を上げるにはニューロフィードバックで視力を鍛えるガボール・パッチというトレーニングがあります。内容は白と黒の縞模様のある図形を見てもらい、縞模様が見える、見えない、縞模様の傾いている方向といったものを答えてもらいます。このときにニューロフィードバックでアルファ波を増やした状態でトレーニングを行うと、学習効率上がり、視力が良くなるという先行研究が発表されています。

弊社の実験では被験者にニューロフィードバックでアルファ波を上げてから視力のトレーニングを 2 週間行ってもらいました。そうすると、図 41 のグラフでニューロフィードバックを行ったのが赤い群で、3~4 日目には高い視力向上効果が出ています。図 42 のグラフも赤い点がニューロフィードバックを行った群で、アルファ波をたくさん出せた (横軸) 被験者が視力の回復度合い (縦軸) も高い傾向があって、ニューロフィードバックの効果がそれなりに信頼できる結果になっています。

このようにメンタルだけでなく眼科領域でもニューロフィードバックが有効であることが分かってきました。

ニューロフィードバックのトレーニング結果



初回は無理だったが、NF群でday2以降はα上昇

→個人差が大きい、CTRLでもαが上がるひともいる

→個人差の分析

single tailed one sample ttest
 *:p<.05
 **:p<.01
 ***:p<.001
 uncorrected

scale	cond	day1s1	day1s2	day2s1	day2s2	day3s1	day3s2	day4s1	day4s2
Alpha Power(z)	NF MU	0.008601942	0.009792986	0.193576324	0.211947958	0.365147805	0.309214828	0.774514211	0.195023596
Alpha Power(z)	CTRL MU	-0.128077726	-0.002342491	0.052358674	0.100155314	-0.010662545	0.112444468	-0.030275756	-0.018517797
Alpha Power(z)	NF CI	0.131481766	0.14488616	0.200458669	0.202889963	0.318425252	0.260241056	0.779447982	0.743679983
Alpha Power(z)	CTRL CI	0.138092891	0.145716554	0.092872725	0.097691326	0.063242984	0.067527654	0.143277852	0.144484912
Alpha Power(z)	NF p	t(11) = 0.32, p = 0.354	t(11) = 0.32, p = 0.354	t(10) = 1.59, p = 0.071	t(10) = 1.89, p = 0.074	t(11) = 2.06, p = 0.032	t(11) = 2.13, p = 0.029	t(11) = 1.77, p = 0.052	t(11) = 1.44, p = 0.089
Alpha Power(z)	CTRL p	t(1) = 1.76, p = 0.039	t(1) = 0.03, p = 0.512	t(1) = 1.07, p = 0.16	t(1) = 2.05, p = 0.04	t(1) = 0.32, p = 0.621	t(1) = 3.15, p = 0.008	t(1) = 0.4, p = 0.65	t(1) = 0.24, p = 0.592
Alpha Power(z)	NF-CTRL p	t(18) = 1.27, p = 0.111	t(18) = 0.1, p = 0.461	t(17) = 0.95, p = 0.179	t(17) = 0.81, p = 0.216	t(18) = 1.7, p = 0.053	t(18) = 1.08, p = 0.146	t(18) = 1.52, p = 0.073	t(18) = 1.2, p = 0.124

図 41 ニューロフィードバックのトレーニング結果 1

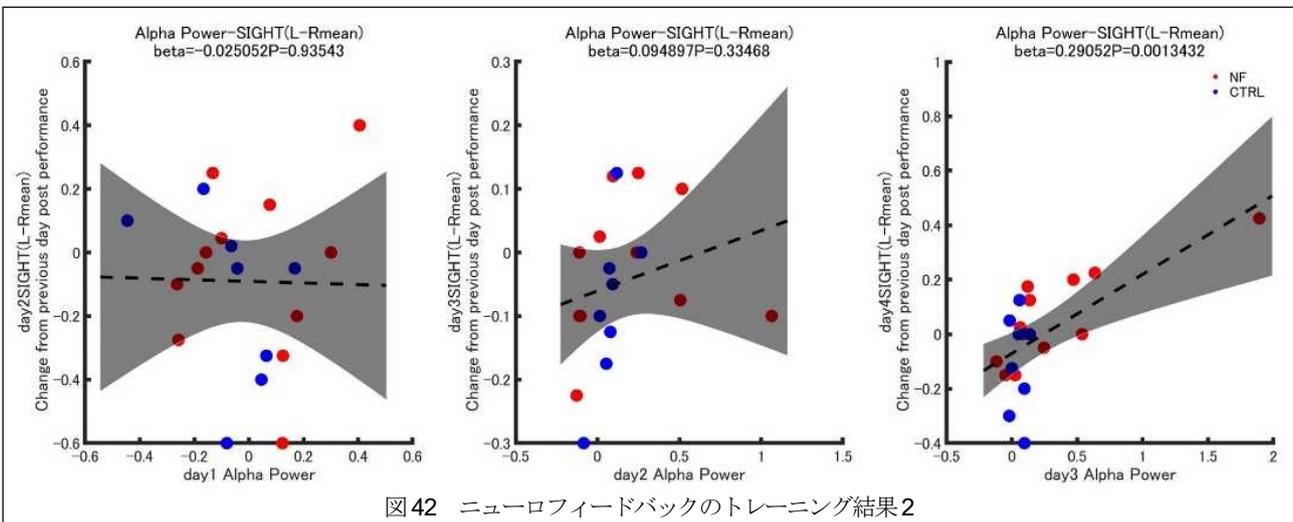


図 42 ニューロフィードバックのトレーニング結果 2

今後の展望

ニューロフィードバックにはポテンシャルがあって、僕はこれに人生をかけています。これまでニューロフィードバックはいろいろな研究がされてエビデンスがありますが、広まっていないことが問題なので、汎用的なデバイスとプラットフォーム、そして簡単なプロセスが必要と考えています。そこで開発したものの一つが「REC DEC BACK」です。「REC DEC BACK」を共通プロトコル化、そしてパッケージ化することによって、ニューロフィードバックが汎用的に使えるようになると考えています(図43)。今日紹介した視力がよくなる状態、投資で稼げるような状態、認知症がよくなっていく状態というものがある定義できれば、それに向けて本人が訓練したり音を聴いたりすることで、最適化できるようになるのです。

まだ僕の仕事は国内に留まっていますが、共同研究者からは事業化のアイデアが出ていますし、病院からは他の分野でも利用したいと要望が来ています。そういう人たちと共にニューロテクノロジーの民主化を世界中の人たちや研究者に広めていきたいと考えています。

将来的には、皆がプラットフォームを介して脳情報を使えるようになれば面白いのではないかと考えています。例えば、ある人がすごく上手に瞑想ができれば、それをアップロードして販売したり、特定の精神疾患に関わるバイオマーカーを見つけたら、デバイスにダウンロードして、ニューロフィードバックで訓練したりといったイメージです。

脳情報は人類がまだ手にしていない情報媒体なので、それを使って目に見なかったことが見えるようになったり、目に見えない定型化されていないことが訓練可能になったりすることが、僕が目指したい世界です。

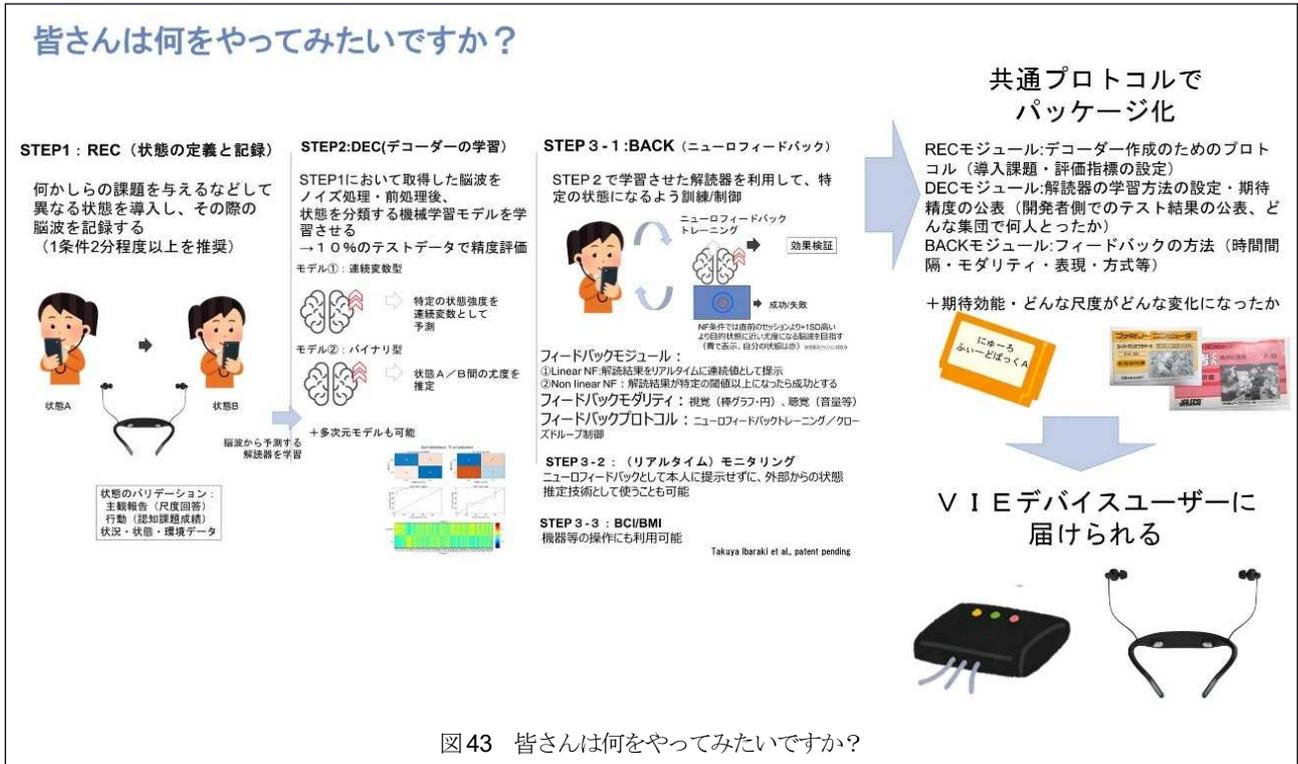


図43 皆さんは何をやりたいですか？

本講演録は、令和6年11月7日に開催された SCAT 主催「第120回テレコム技術情報セミナー」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。