

脳情報デコーディング — 脳から心を読む技術

京都大学／国際電気通信基礎技術研究所（ATR） 神谷 之康

デコーディングとは？

『サザエさん』で有名な長谷川町子にこんな4コマ漫画があります。若い人は知らないと思いますが、昔ドラマにもなった『いじわるばあさん』という雑誌連載の漫画で、昭和38年の作品です。

いじわるばあさんが車に追突されたということで医者には検査をしてもらいに行きます。

医者「ホウ、クルマに追突された。一度脳波を調べてあげよう」

いじわるばあさん「よろしくおねがいたします」

医者「気をらく～にして」

いじわるばあさん「ハイ」

すると脳波計から、

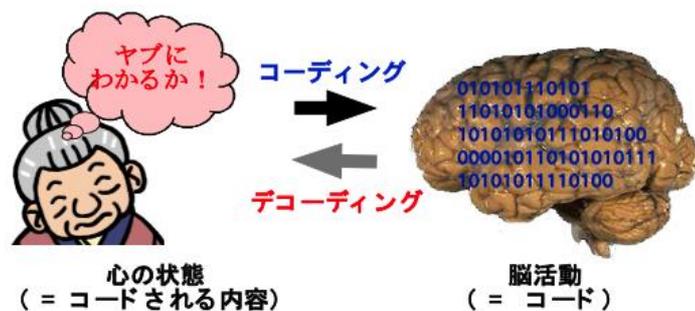
「ヤブにわかるか！」

という文字が出力されます。

これがまさに、私が研究している脳情報デコーディングです。最近「ブレイン・デコーディング」と呼ぶことも多いです。脳波に限らず、脳の信号は意味不明の波形だったりノイズのような画像だったりして、目で見てその人の心の状態を読み取れるものではありません。その一見意味不明な信号を人間が理解できる形に翻訳するのが脳情報デコーディングです。

なぜ「デコーディング」と呼ぶかというと、脳科学では、コンピュータで画像やテキストが0と1の列でコード化（符号化：後で元の情報を復元できるような方式で信号を変換すること）されているのと同じように、心や行動が脳の活動パターンによってコードされていると考えるからです。「コード」には「暗号」という意味もあります。脳情報デコーディングとは、脳活動という暗号を解読することなのです。

私のグループでは、主にfMRI（functional magnetic resonance imaging, 機能的磁気共鳴画像）で計測される脳画像を用いた研究をしています。病院でMRIスキャナに入って、頭や体の輪切り画像を撮ってもらった人がいるかもしれません。それは「MRI」で、体の構造（形）を可視化するものです。「fMRI」は、同じスキャナを使いますが、脳の機



能（活動）を可視化する技術です。その原理は日本人の小川誠二博士が発見しました。

人工知能で脳画像をデコードする

テレビで、脳の一部が赤く光っている図を使って「XXX をすると脳の前頭葉が活性化する」といった説明するのを聞いたことがあるかもしれません。このような脳画像の見方は、「脳機能マッピング」と呼ばれ、現在でも大部分の脳イメージング研究で用いられているアプローチです。脳機能マッピングは、われわれのデコーディングと2つの点で大きく異なります。

第一点は、脳機能マッピングでは、「心の状態→脳活動」という「エンコーディング」の矢印で見るという点です。実験するときには通常、画像を見せるとか暗算させるなど「課題」を与えて心の状態を操作するので、この矢印の向きは自然な方向だとも言えます。これに対して、デコーディングは、「脳活動→心の状態」の矢印で考えます。

第二点は、脳機能マッピングでは、脳のピンポン球程度の大きさの領域がどのようなタイプの心の機能に関係しているかをざっくりと同定するのに対して、デコーディングは、脳画像の画素の細かいパターンと具体的な心の内容を対応づけるものであるという点です。脳機能マッピングでは、たとえば、動いているものを見ている時に脳の大体どの場所がよく活動するかを同定するのに対し、デコーディングでは、どのような物体がどの方向に動いているかというレベルの詳細な内容を、脳画像の細かいパターンから解読します。

では、どのようにして脳画像のパターンから具体的な心の内容を解読しているのでしょうか？MRI スキャナから出てくる脳画像を見ても、人間が目で見ても分かるような明確なパターンはありません。われわれのアプローチは、人間が目で見てもわからないような細かく複雑なパターンを「コンピュータにパターン認識させる」、というものです。たとえば、じゃんけんでグー・チョキ・パーのどの手の動きをしているかを脳からデコードしたい場合、グー・チョキ・パーの動作をしてる時の脳画像を15分程度計測しておきます。脳画像データとグー・チョキ・パーを対応付けたものを、「機械学習アルゴリズム」と呼ばれるコンピュータのプログラムに入力します。すると、このプログラムが脳画像の複雑なパターンとグー・チョキ・パーの動作との対応関係を自動的に発見してくれます。実際のデータを例題としてコンピュータに入力すると、機械学習アルゴリズムが脳画像のパターンを認識・学習してくれるのです。

通常のコンピュータのプログラムでは、プログラマーがコンピュータの動作を逐一指示しますが、機械学習では、コンピュータのプログラムが、入力に対してどのように出力すべきかを自分で学習します。機械学習は、コンピュータ・サイエンスや人工知能の分野で現在活発に研究が進められていて、インターネットのさまざまなサービスでも活用されています。脳の情報処理を模した「ニューラルネットワーク」というモデルを用いることもあります。脳を解読するために人工知能や脳のモデルを利用するという点が面白いです。

視覚イメージを脳から解読する

私はもともと、脳科学の中でも、ものを見る仕組み（視覚）を中心に研究していました。脳研究者になる前は哲学を専攻していて、脳と心の問題、つまり、脳という物質からどのように心が生じるのか、という問題にずっと興味がありました。デコーディングという方法を考案してやりたかったのは、脳活動という客観的に計測できるものから、本来は本人にしか知ることができない主観的な意識や知覚を解読することです。

2005年に機械学習によるデコーディングという手法を提案し、見ているもの形や動きなどを解読できることを示しました。さらに一歩進んで、人間が実際に見ている外界の画像だけでなく、心の中で注目しているものや、あるいは想像しているイメージでも、同じように脳活動から読み出すことにも成功しました。

実際に画像を見ている時と想像している時で、視覚的な体験としては類似性があります。脳活動にも何らかの類似性があるだろうと仮定し、実際に画像を見た時の脳活動データで機械学習プログラムに学習させた後、そのプログラムで、想像している時の脳活動パターンを解析するという方法をとりました。その結果、解析する脳の場所によっては、想像している内容を正しく解読できることがわかりました。これは、本来その人にしか知ることができない心の状態を読み出すという意味で「読心術」といえるかもしれませんが。脳研究においては、脳のどの場所やどのような信号特徴がデコーディングに有効かを知ることが重要になります。

機械学習によるデコーディングには、プログラムの学習のためにあらかじめ脳活動を計測した対象しか出力にできないという制約がありました。2008年に発表した論文では、画像を要素に分解しそれぞれについてデコードした結果を組み合わせることで、この制約を克服しました。この方法を用いると約400枚の画像に対する脳活動を計測するだけで、何億通りもの任意の画像でそれを見た時の脳活動から再構成できます（下図の上が実際に見せた画像、下が脳活動パターンから解読した画像）。これにより、脳画像から解読できる情報量が飛躍的に向上しました。



夢の解読

夢は外界からの入力とは関係なく生じる心の状態で、脳と心の間を探る上で非常に興味深い現象です。しかし、夢は、見た本人にしかその内容が分からない、すぐに忘れてしまう、などの理由から、客観的な科学研究にそぐわない対象とされてきました。私のグループは2013年に、睡眠中の脳活動パターンから夢の内容を解読することに成功しました。実験では、MRI スキャナの中で被験者に寝てもらいます。脳波をモニターしながら夢を見ていそうなタイミングで被験者を起こして、直前に見ていた夢の内容を言

葉で報告させるという手続きを繰り返しました。案外、スキャナの中ではよく眠れます。

想像したイメージを解読する時と同じように、画像を実際に見ているときの脳活動データを使ってパターン認識プログラムを学習させ、そのプログラムを用いて睡眠中の脳活動パターンを解析すると、夢の報告に現れた物体を高い精度で予測することができました。この結果は、夢を見ているときにも画像を見ているときと共通する脳活動パターンが生じていることを示しています。夢の主観的内容が脳の物理的な活動パターンと対応することが、これにより初めて実証されました。



おわりに

『いじわるばあさん』に限らず、フィクションには脳から心を読む機械はたくさん登場します。われわれ人間は「心を読みたがる動物」なのでしょう。実際、他人の心の状態を正しく推定できると、職場での人間関係や夫婦関係、それから、恋愛にも有利になることは明らかです。商品開発やマーケティングにも利用できるかもしれません。また、司法の現場で活用することも可能で、米国ではうそ発見器として脳イメージングを利用することが議論されています。

病気やケガで手足を動かしたり声を出したりすることができない人々にとって福音ともなるでしょう。脳の信号を使ってロボットやコンピュータを操作する「ブレイン-マシン・インターフェース」によって、障害を克服できるようになるかもしれません。技術が成熟すれば、だれもが日常生活で使う新しい情報通信手段として利用される可能性もあるでしょう。

インターネットや携帯電話は情報通信に革命をもたらしましたが、超えられていない壁を一つ挙げるとすると、それは「身体」です。電話で話をする時もキーボードを打つときも身体（筋肉）を動かす必要があります。「ブレイン-マシン・インターフェース」は身体の制約から開放された、全く新しい脳と脳のコミュニケーション技術を生み出すかもしれません。

しかし、現在の技術はフィクションには遠くおよびません。実現可能であるとしても、技術の悪用をいかに防止するかなど、社会的な議論が必要でしょう。技術的課題や社会的問題も含めて、脳から心を読む技術がもたらす未来について思いをはせてみてはいかがでしょうか。

用語集（神谷之康氏）

機能的磁気共鳴画像（functional magnetic resonance imaging, fMRI）：

核磁気共鳴の原理を用いて生体の断層画像を撮影する MRI を拡張し、構造だけでなく生体の機能（活動）の可視化を実現する技術。小川誠二博士によって開発された BOLD (blood oxygenation level dependent) 法では、血中ヘモグロビンの酸化・脱酸化による磁化率の違いを磁気共鳴信号として捉えることで、脳活動を非侵襲的に可視化する。

機械学習：

コンピュータにデータからパターンや規則を自動的に学習させる技術。数理・統計的手法のほか、脳の情報処理を模したニューラルネットワークが用いられる。人工知能研究における重要課題で、画像認識、音声認識、スパムフィルタなどさまざまな分野で応用されている。

ブレイン-マシン・インターフェース（BMI）：

ロボットやコンピュータ等外部デバイスと脳を直接つなぐ技術。意図やイメージしたことを身体運動を介さず脳から直接外部デバイスに伝えることを可能にするもので、義手操作等の医療応用のほか、未来の情報通信技術として、現在さまざまなアプローチで開発が進められている。