

脳血液量の変化を利用した 意思伝達装置

東洋大学工業技術研究所 客員研究員

小澤邦昭 (おざわ くにあき)

Profile—小澤邦昭

1973年、東京工業大学理工学研究科制御工学専攻修士課程修了。同年に株式会社日立製作所システム開発研究所入社、2012年に退社。東京女子大学現代教養学部数理科学科研究員を経て、2014年より現職。専門は福祉情報工学（難病患者のコミュニケーション）。著書は『NIRS：基礎と臨床』（分担執筆、新興医学出版社）など。



はじめに

心理学と脳科学の幸せな相乗効果の一例は、2014年のノーベル医学生理学賞である。心理学で知られていた認知地図（自分の現在地を把握する脳内の地図）に関し、重要な働きをする脳細胞が脳科学により発見された。3人の受賞者は心理学かつ脳科学の専門家であった。

著者は心理学の専門家でもなく脳科学の専門家でもない。たまたま難病患者の意思伝達装置の研究開発に携わってきた。この研究開発のモチベーションになったのは心理学と脳科学における幸せであった。意思伝達装置の開発を「幸せ」をキーワードに振り返る。

幸せについて

若いときに人並みに幸福論を読んだ。例えばアラン「幸福論」。ヒルティやラッセルも読んだかもしれない。亀井勝一郎や武者小路実篤、トルストイの「人生論」も読んだ。あれから数十年、「幸せ」について著者の考えに最も大きな影響力を与えたのは、

幸せ=足

という方程式である。正確に言うと「足」は頭文字ASIである。記憶のために足とした。

A: Achievement 達成（職業的、生産的、創造的諸活動）

S: Self 自己（内心の満足）

I: Intimacy 親近関係（夫婦関係、親子関係、親友との関係）

このASIは、ニューヨークで精神科医として

活躍している日本人の精神科医師石塚幸雄氏が提唱した。ただし、英字の順番はISAであり、石塚氏の著者紹介に「ISA理論」と記されている。「人間の性格が、まず、両親との、またはそれにかわるものとの親近関係に始まり、それに基づいて自我が構成され、そして成功または自己実現に対する動機づけが形成される」と石塚氏は述べている（石塚, 1982）。

脳科学と幸せ

脳科学における幸せについて、正面から取り上げた事例にも影響を受けた（テイラー, 2009）。神経解剖学者のジル・ボルト・テイラーが脳卒中になり、出血で左脳が働かなくなった。言語、記憶、時間、身体感覚（自分と外界との境界の感覚）がすべて失われたとき、右脳が左脳の支配から自由になり涅槃（ニルヴァーナ）を経験した。

このまま右脳の幸福感に身を任せたら、命を失っていた。左脳がときどき明晰になり、はっきりと考えられる瞬間に、助けを求める方法をテイラーは必死で考えた。そして、名刺で職場の番号を見つけ、電話した。その言葉は不明瞭でうめき声に近かったが、職場の人間が声の特徴からテイラーと分かり、自宅に駆けつけた。紙一重の差で命は助かった。この体験でテイラーは次の洞察を得た。

「涅槃の体験は右脳の意識の中に存在し、どんな瞬間でも、脳のその部分の回路に『つなぐ』ことができるはずなのです。」

テイラーはこれを脳科学的に説明している。「神経解剖学的な見地からは、左脳の言語中枢および方向定位連合野が機能しなくなった」。ここで、方向定位連合野は、その人の肉体の境界の判別に役立つ。この領域の活動が減少すると、自分が固体から流体になったと認識し、宇宙と一つになったと感じる。

左脳の回復とともに左脳の支配が再び強まり、右脳の涅槃を諦めざるを得ないことをテイラーは望まなかった。「頭の中でほんの一步踏み出せば、そこには心の平和がある。そこに近づくためには、いつも人を支配している左脳を黙らせるだけでいい」。一步を踏み出す必要性は、多くを左脳で決断するからである。右脳へ一步進むには、左脳に黙ってくれるように固い決意で頼む。そして自分に問いかける。

「あなたは、正しくありたいですか、それとも幸せになりたいですか？」

多くの人は、自分の意思で右脳の「幸せの回路」につなげることに気づかないので、そうしないのだろうとテイラーは憶測している。

Intimacy を阻害する難病 ALS

親近関係が幸福に大きな影響を与えると若いころに学んだ著者にとり、筋萎縮性側索硬化症(ALS: Amyotrophic Lateral Sclerosis)は「許せない」病気である。この病気が患者と家族との意思疎通を困難にするからである。ALSは進行性の神経難病であり、運動系の神経が次第に侵され、言葉も不鮮明になり筆談もできなくなる。人工呼吸器をつけると話せなくなる。それでも身体の一部が動けば装置を利用して意思疎通ができる。

意思伝達装置「伝の心」の開発

ALS患者との最初の出会いは、1992年であった。その患者は、著者と同じ企業の研究所で働いたことがある先輩社員であった。たまたま同年4月に著者が研究所から事業部に異動し、身体が不自由であってもパソコンを使えるようにする取り組みを始めており、その中で仕事として装置の開発に取り組んだ。そして5年後の

1997年12月に「伝の心」を製品化することができたが、先輩社員は既に亡くなっていた。

「伝の心」の基本機能はひらがな選択である。五十音表を自動移動するカーソルが望みの位置に来たときに、スイッチを押してひらがなを選択する。漢字変換機能、メール送受信、インターネット閲覧等の機能も備わっている。今でもALS患者に広く使われている。

身体が全く動かない患者(完全閉じ込め状態)

ALSが進行すると、意思疎通ができなくなることがある。医学的な定義とは別であるが、ここでは「動かせる身体部位が見かけ上なくなり、意思疎通ができなくなった状態」を完全閉じ込め状態と呼ぶ。日本では300人程度と推定される(ALS患者は約9,000人いる)。

家族との意思疎通が遮断される状況は家族も本人も辛い。例えば、患者に意識があるのかどうか家族は不安になる。後述の「心語り」の試用で高い正答率が得られたとき、患者のご家族が嬉しそうに言われた。「やっぱり分かっていたんだ。そう信じて介護してきたけど、ときどき、分かっているのではないのでは……、と思った」。

一方、本人も辛い。著者も多少関わったノルウェーの実例であるが「完全閉じ込め状態になり、コミュニケーションが取れなくなったら、6ヵ月後に人工呼吸器を外してほしい」と主治医と契約したALSの青年がいた。6ヵ月は確認期間とのこと。不幸にも症状が進み、家族・友人が見守る中、彼の誕生日に主治医が呼吸器を外した。「意思疎通なくして生きる意味がない」との患者の意思の下に、医師が呼吸器を外す行為はノルウェーでは法的に許される(ちなみに、日本では認められていない)。

完全閉じ込め状態の患者との出会い

完全閉じ込め状態の患者に著者が最初に会ったのは、「伝の心」試用のときであった。身体の一部を動かせば反応するセンサーを持参した。五十音表の望みの文字にカーソルがきたときに身体部位を動かしていただくとしたが、センサーはピクリとも反応しなかった。「伝の

心」が使えない現実を目の当たりにして、さりとてそれに代わる装置も世の中にはなく（1997年当時）、無力感を覚えた。

その後、完全閉じ込め状態の患者が使える機能として、脳活動と肛門の括約筋があることが分かった。たまたま社内研究所で近赤外光を利用して脳活動を計測する研究を進めていたので（Maki et al., 1995 ; Koizumi et al., 2005）、脳活動による Yes/No 判定装置の試作を1999年に始めた。

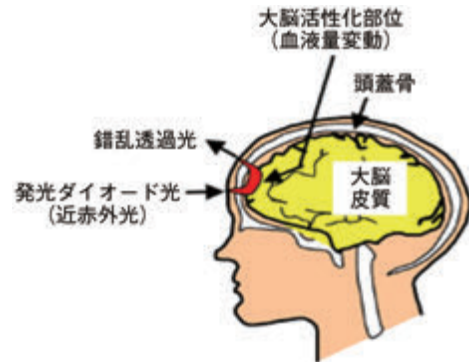


図1 脳血液量の測定原理

Yes / No 判定装置「心語り」の原理

研究所開発の試作装置を「心語り」と名づけた。「心語り」は、人体を透過しやすい近赤外光を使い大脳の血液量変化を測定する。光源を額に装着すると、光は頭蓋骨を通して大脳に達し、大脳の表面付近で散乱する。その一部が頭蓋骨を通して戻ってくる（図1参照）。

戻ってくる光量（受光量）の増減は、大脳の血液変化量の増減と反対になるので、受光量を測定すれば血液量変化が分かる。すなわち、大脳の活動により血液量が増加すれば、受光量は減少する。これは増加した血液に光が吸収されるからである。同様に、大脳の血液量が減少すれば、受光量は増加する（図2参照）。

血液量変化の波形は脳の働き（タスク）によって変わる。タスク実施期間は24秒であり、Yes/No回答に応じて患者は頭の働きを変える。Yes回答のときは前半12秒で大脳を「活性」にし（例えば暗算する）、No回答のときは「安静」にする（例えば美しい風景を思い浮かべる）。後半の12秒はどちらも安静にする。Yes回答の波形例は図2であり、No回答の波形例を図3に示す。なお準備区間に現れている細かい振動は脈波である。

このように患者が2種類のタスクを頭の中で実行して、2種類の波形群を作り出せれば、一方の波形群をYesの意思表示、他の波形群をNoの意思表示とすることができる。

2種類の波形については、テイラーのいう左脳の働きにより暗算タスクがYes波形を作り、右脳の働きにより映像タスクがNo波形を作る

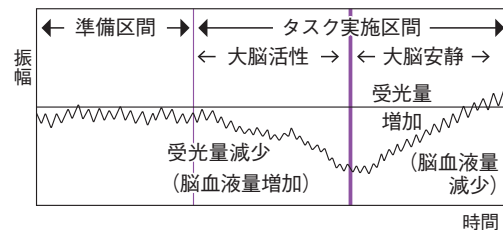


図2 受光量と脳血液量の増減（Yes 波形）

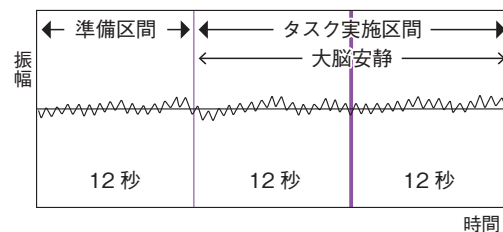


図3 No 波形

とも考えられる。実際には、思い通りの波形を作るのが難しい時があり、今後の課題である。

Yes / No 判定の基本的な考え

血液量変化の波形から「この波形はYes、これはNo波形」と目視で判定するのは現実には難しい。あいまいな形をしていることが多い。このため、波形を二つの生体信号の数値（特徴量）で表現する。この結果、波形は生体信号を横軸・縦軸とする平面上の点として表される。これらの点をYes/No領域に分けるために判定線を引く。具体的には判別分析法を用いる（Naito et al., 2007 ; 内藤, 2007）。その後の改良で、現在はサポートベクターマシンを利用し、正答率を高めている。

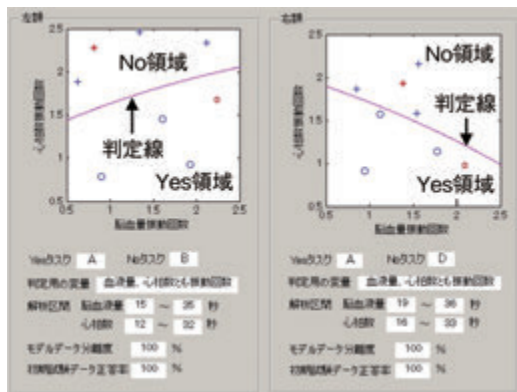


図4 波形の2次元表示と判定線

判定線の一例を図4に示す。判定線を引くために、A暗算、B安静、C暗算の断続、D映像の4タスクを実行し、最適な組み合わせを求めた。左額でYesは暗算、Noは安静（左脳を黙らせる）、右額でYesは暗算、Noは映像（右脳の働き）が自動的に選択された。特徴量は左右額とも「脳血量・心拍数の振動回数」であるが、判定線の傾きが異なっている。右脳左脳の活動の差と言えるかもしれない。判定線を引いた後に、試験データを測定する。測定した波形がYes/No領域のどちらに分類されるかに応じて、装置はYes/Noと回答する。答えが明確な質問をすれば、正答率が分かる。

「心語り」は2005年に製品化され、出荷台数は100台を超えた。「心語り」が実際に使われる様子が映像で見られる（Hitachi Theater, 2008）。2015年10月に、「新心語り」に改良し、正答率を約20パーセント向上させた（小澤他, 2015）。

思い出深き事例

「心語り」の研究を始めて15年以上が経過した。記憶に残った事例の幾つかを次に記す。

- 正答を出すようにご家族が応援する中で「頑張れ、お父さんがついているぞ」との言葉に、患者（娘さん）の目から涙がこぼれるのを見た。完全な閉じ込め状態でも患者さんはご家族の言葉を理解していることを確信させてくれた最初の事例であった。

- 正答率が低い開発の初期、試用に立ち合った医師が励ましてくれた。「心電図も開発初期はバケツに氷水

を入れて被検査者はその中に両足をいれて測定するという原始的なものだった。『心語り』も将来的にはきっとよくなるよ」。

- 入院を延ばして「心語り」試用を実施し、うまくいった。退院後に装置をお使いの予定だったが、入院中に突然に亡くなられた。ご家族から手紙を頂いた。「Yesの回答が私への最後の贈り物でした。『心語り』は小澤さんが思っただけの以上家族の支えです」。

おわりに

幸せにはIntimacyが重要であり、家族との意思疎通が大切との認識の下に、完全閉じ込め状態のALS患者が使えるYes/No判定装置について述べた。その装置では、脳血液量変化の測定が必要であり、脳科学の恩恵を受けた。言葉や動作を観察できない人の心を、脳科学の応用で理解する一つの試みと解釈できよう。

今後は、テイラー博士の左脳と右脳の働きの差異を有効に使い、石塚医師のIntimacyを深めるために、「新心語り」で文字選択に挑戦する予定である。脳科学と心理学の幸せな相乗作用は、今後、様々な分野で効果をもたらすだろうと期待している。

文献

石塚幸雄 (1982) 『自己実現の方法』 講談社現代新書
 ジル・ホルト・テイラー (2009) 『奇跡の脳』 新潮社
 Maki, A. et al. (1995) Spatial and temporal analysis of human motor activity using noninvasive NIR topography. *Med Phys*, 22, 1997-2005.
 Koizumi, H. et al. (2005) Non-invasive brain-function imaging by optical topography. *Trends in Analytical Chemistry*, 24, 147-156.
 Naito, M. et al. (2007) A communication means for totally locked-in ALS patients based on changes in cerebral blood volume measured with near-infrared light. *IEICE Trans. Inf. & Syst.*, E90-D, 1028-1037.
 内藤正美 (2007) 筋萎縮性側索硬化症患者の意思伝達技術. 『光学』36, 707-711.
 Hitachi Theater (2008) 難病患者の心をつなぐテクノロジー、「心語り」開発物語. <http://www.film.hitachi.jp/movie/movie754.html>
 小澤邦昭・内藤正美・田中尚樹・他 (2015) ALS患者のYes/No意思伝達装置における正答率向上の分析. 『信学技法』WIT2015-48 (20115-10), 1-6.