

巻頭言

心を伝える VR

—あなたのカラダの中にある不思議な波—



吉澤 誠

東北大学

1. 意志を取り出すには

Web マガジン WIRED VISION の「バイオニクス」(<http://wiredvision.jp/news/theme/bionics/>) の記事に見られるように、最近 Brain computer interface (BCI) あるいは brain machine interface (BMI) の研究が盛んに行われています。考えるだけで外部世界に影響を与えることができれば、これは究極的なヒューマン・インタフェースであることは間違いありません。昔、このような研究は SF 的な夢物語でしたし、脳波研究の垂流として冷たい視線を浴びていました。

しかし、これが現実になれば、四肢麻痺患者のための非常に役に立つツールとなるばかりでなく、軍事的な応用可能性としては多大なものがあります。実際、昔から米軍は攻撃用ヘリコプターにおけるパイロットの意志を読み取って自動的に照準設定を行うためのシステム開発を行ってきました。このような BCI 研究とともにコックピットのヒューマン・インタフェースとして HMD が開発されたのは有名な話です。

現在では、脳波を使ったゲームのコントローラー (<http://wiredvision.jp/news/200709/2007091123.html>) や脳波マウス (http://www.watch.impress.co.jp/akiba/hotline/20080802/etc_brain.html) などがすでに市販されつつあります。

2. 心を反映するには

BCI や BMI は人間の意志を外部に取り出そうとするものです。しかし、取り出すべきものとしては、人間の意志や意思以外にも広い意味での意識あるいは心が考え

られます。fMRI や光トポグラフィーなどの手段により、最近では、脳神経学的研究などでも意識あるいは心について盛んに研究がなされています。しかし、簡単な方法で意識や心の振舞いを定量化できるようになるまでには、まだだいぶ時間がかかるでしょう。

意志・意思あるいは意識は自覚できるものであり、大脳を中心とする活動と考えられています。しかし、我々の身体および意識自体も、意識には上らない脳活動によって支配されています。すなわち、自律神経系による支配です。

「自律」神経系は文字通り自動的に内臓機能を調整するための制御系です。血液循環、消化、呼吸、発汗、および代謝のような不随意な機能を制御しています。

特に自律神経系は心と密接に関係しており、自律神経系の振舞いを通して人間の心を捉えようとする多くの研究がなされてきました。その方法としては、神経に直接電極を刺すのではヒューマン・インタフェースとして役に立ちませんので、できるだけ非侵襲的で簡便な方法が理想的です。

3. 不思議な波を使う

これまでよく用いられてきたのは心臓の振舞いです。

心臓の主な役割は血液を体内に循環させるポンプの働きですが、昔から「心は心臓に宿る」という見方がなされてきました。「心臓」とは文字通り「心」の「臓器」であるという解釈です。このような見方がなされてきた理由は、人の心を表す喜怒哀楽や精神的緊張を反映して心拍数や血圧などが大幅に変動するところにあると思わ

れます。このような心臓血管系に現れる反応を「情動反応」と言います。

心拍数や血圧などのような循環系パラメータは比較的簡単に計測できるため、これらによって人間の感情や精神的ストレスを推定しようという試みがなされてきました。しかし、循環系から得られる信号は複雑で、再現性が低く、個人差が大きいなどの問題があるため、決定的な方法はまだ十分に得られていません。

私たちの研究室では、心拍数や血圧などに含まれるいわゆる Mayer 波を使う方法を提案しています。Mayer 波とは約 10 秒周期 (約 0.1Hz) のゆらぎ成分のことを言います。意識に登ることはありませんが、自律神経系の働きで、心拍数や血圧は約 10 秒に 1 回の割合で微妙に高くなったり低くなったりしています。そこで私たちは、心拍数と血圧の Mayer 波成分同士の関係性の強さを表す ρ_{max} と呼ぶ指標を時々刻々記録しました。すると、何もせず静かに座っているときには ρ_{max} が大きいのですが、何らかの生理的・精神的ストレスを与えると、これが小さくなることを見出しました。

4. なぜ揺らぐのか？

安静時には、循環系は心拍数を操作して血圧を調整するようなフィードバック制御をしています。一方、出力結果を用いずに操作量を定めるフィードフォワード制御を行う場合もあります。これは、循環系の応答は遅いという弱点を補うときに有効となります。

例えば、突然外敵が出現したときに取る行動は「戦うか逃げるか」です。そのための準備行動として、脳は「血管を広げ、心拍数を高めて、筋肉に流す血流を多くしておけ」という指令を出します。これは予測を伴うフィー

ドフォワード制御とみなされます。このような場合「血圧が低くなったら心拍数を高めよ」というような、結果に基づいて行うフィードバック制御では間に合いません。また、暖かい部屋から急に寒いトイレに入ったときに血圧が上がったり、急に立ち上がっても血圧が下がらないのは、反射的に血管が縮まるからであって、心拍数が急激に上がったからではありません。

言い換えれば循環系には、血圧 → 心拍数 → 血圧 → 心拍数 → …… という閉じたループを作っている状態と、血圧変動に関係しない心拍数変動や心拍数変動に関係しない血圧変動が生じる、ループが開いた状態があるということです。 ρ_{max} はこの状態変化を示す一つの指標です。興奮したりびっくりしたりしても心拍数に変化が現れますが、心拍数だけを見たのでは、この制御ループの強さの度合いはわかりません。

この性質に着目し、これまで私たちは、手振れの多い映像を見続けたりしたときに生じる映像酔いの影響や、好感を抱く映像や不快感を催す映像を見たときの反応、あるいは、年齢や健康との関連性などが、Mayer 波に関連する指標である ρ_{max} に反映されることを明らかにしてきました。この指標は、「心を伝える VR」をはじめ、いろいろな場面で応用できることが期待されています。

それではなぜ、Mayer 波のような約 10 秒周期のゆらぎが発生するのでしょうか？これまでいろいろな説が唱えられてきました。血管運動を支配する交感神経系に関係することは確かですが、現在のところ決定的な理由はまだ見出されていません。心拍数などの生体信号に含まれるカオス・フラクタル的な成分である有名な $1/f$ ゆらぎと同様に、発生原因が謎のままです。

【略歴】

吉澤 誠 (YOSHIZAWA Makoto)

東北大学 サイバーサイエンスセンター 先端情報技術研究部 教授

1983 年 3 月 東北大学大学院工学研究科博士後期課程修了 (工学博士)。同年 東北大学工学部助手, 1991 年 豊橋技術科学大学工学部助教授, 1994 年 東北大学大学院情報科学研究科助教授, 2001 年 東北大学情報シナジーセンター教授, 2008 年より現職。人工心臓の知的制御・監視, バーチャルリアリティの医療応用, 映像の生体影響評価, 遠隔医療に関する研究などに従事。専門は生体制御工学。著書『Medical applications of virtual reality in Japan, Metin Akay and Andy Marsh (Eds.) Information Technologies in Medicine, John Wiley & Sons(2001)』, 『システム制御工学, 朝倉書店 (2006)』。