

生体反応センシングの協調的利用法による学習状況の推定

—e-learning への応用を目指して—

中村亮太*, 長島順平**, 井上亮文*, 市村哲**, 岡田謙一***, 松下温**

近年, 人の生体情報を計測する技術の発展と共に, 感覚機能や人間情報処理系をマルチメディアアプリケーションへ応用が期待される. このような背景の中で著書らは生体反応センシングをe-learningに応用することを目指している. 本稿では, まず, 人間情報処理系の見方について述べ, 人間の各生理機能とこれまで提案されてきた応用研究をサーベイする. 次に, 今回着目した脳波と眼球運動について, どのような心理状況を取り出すことが可能であるかその傾向を示し, 最後に2つの生体反応を協調的利用することで可能となる学習状況の推定法を提案する.

The Method for Grasping Learning Situation in e-Learning Environment Using Collaborative Biological Reaction

Ryota Nakamura, Junpei Nagashima, Satoshi Ichimura, Akifumi Inoue,
Ken-ichi Okada, Yutaka Matsushita

The improvement of operational bioinstrumentation system gives us a chance to apply the human information processing system to multi-media application. Based on this background, our study is working towards e-learning system using biological reaction. In this paper, the human information processing systems are described first. Secondly, relationship mental state between brain waves and eye movement are shown. Finally, we propose the method for grasping learning situation in e-learning environment using collaborative biological reaction.

1. はじめに

従来から人間情報処理系は研究されており, 徐々にではあるが, 人間の感覚機能や生理機能が明らかにされつつある. 最近ではMRI(Magnetic resonance imaging)に代表されるように, 様々な画像処理技術の支援によって脳の活動状況を直接・間接に観測することが可能になっており, 思考活動など高次の情報処理に関する脳の活動部位, 活動レベルが把握できるようになってきた. このような人間情報処理のメカニズムの解明は, 人間と機械との仲立ちをするヒューマンインタフェースを設計する上で重要であり, 人に優しい装置を作る不可欠な要素であると思われる.

さらに近年, マルチメディア環境が充実してきたことで, コンピュータ上の文字・静止画・動画・音声などを多様に処理できるようになった. 例えば, HDDレコーダーでは従来になかったユーザの好みに合わせて自動的に録画する機能が備わっている. また, 音楽再生プレーヤーにおいても単に複数の曲を連続的にまたランダムに再生するだけでなく, 曲のテンポやピッチから類似曲を自動選曲するものもある. このように, マルチメディアデータは自由度が大きく, 今後, 人間の生体反応とマルチメディアデータとを対応させることにより, 人の気持ちを理解し, 適切な処理を行うようなシステムの登場が期待される.

このような背景の中で, 著者らは脳波を利用し, 映像中の注目シーンを自動的にリプレイするシステムMindStudioの開発を行った[1]. 今回, 新たな生体反応のマルチメディアアプリケーション

*慶應義塾大学大学院 理工学研究科 開放環境科学専攻
School for Open and Environmental Systems,
Graduate School of Science and Technology, Keio University
**東京工科大学
Tokyo University of Technology
***慶應義塾大学 理工学部
Faculty of Science and Technology, Keio University

ンとしてe-learningへの適用を目指し、学習者の心理状況を脳波と眼球運動から推定することを試みた。

2. 生体反応利用の背景

2.1 人間情報処理系の見方

人間の神経情報処理系は外部からの感覚情報を視覚、聴覚系などの抹消部である感覚器で神経信号に変換し、感覚神経系を通じて大脳中枢入力部に伝送される。送られてきた情報を中枢部で分析・統合し、記録と照合するなどして対象を把握する。中枢出力部はその結果に基づいて筋肉系を制御する出力信号を送り出し、これが行動となる。

このような人間情報処理系を取り扱う立場を大きく分けると、人間やその生物を一つのブラックボックスとみなす心理学的な扱いと、ブラックボックスの内部構造や機能に立ち入って言及する(神経)生理学的な扱いがある。前者では、感覚刺激の受容に伴って生じる心理反応を直接外部から観測することはできないため、言語などの間接的な方法によって取り出す。一方、後者の神経生理学的な構造や機能を測定する場合、特別な場合は除いて直接人間を測定することはなく、他の実験動物が対象となり、微小な電極を、目的とする細胞あるいは神経に挿入し、それらの部位で生じているインパルスを観測する方法である。この方法により、部分的にはあるが神経細胞や神経ネットワークの構造と情報処理機能の関係が解明される。本研究では後述する他覚的評価法により生体反応をとらえるため、後者の生理的側面からのアプローチを行うことにした。

2.2 人間情報処理系の測定法 (生理的側面)

人間情報処理系を生理的側面で扱う場合、測定対象を人間とすることは難しく、他の動物で行うしか方法はないが、人間の生理機能をマクロにたとえる場合、対象によっては人間情報処理系に加わる刺激の性質と反応の関係がより具体的にわかる。生理機能をマクロにとらえるとは生体から発せられる各種信号、たとえば、筋電、脳波、脈拍、呼吸、血圧、眼球運動、重心移動などを指標にする場合であり、最近では、脳機能を各種画像処理によって直接観測する方法もある。

2.3 他覚的評価法

人間の心理的な反応は外部から直接観測することができないが、外界からの感覚刺激を受容することによって生じる生体反応は観測可能である。そこで、脳波や眼球運動などの生体反応を手がかりに心理反応を評価する方法を他覚的評価法と呼ぶ[3]。例えば、もの見易さは水晶体の焦点調節応答の緊張速度に対応し、また、眼球運動の停留時間や跳躍運動距離などとも相関が高い。このように刺激の条件と、刺激の受容時の生体信号から得られる指標との関係を求めることで主観評価では得られない側面が明らかになる場合がある。

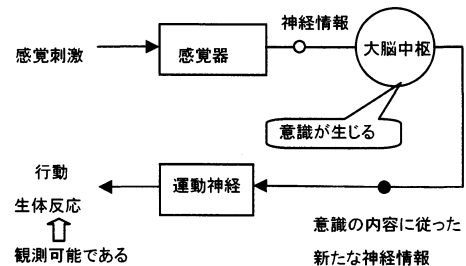


図1. 他覚的評価法

3 生体機能の視覚化 (脳波と眼球運動)

3.1 脳波 ; EEG (Electro-encephalographic)

約140億個の神経細胞は、脳の活動状態や様々な刺激に関連してあるリズムを持った微弱な電位変化を示す。この電気信号を数百万倍(約10~100[μV]の振幅)に増幅して記録する[4]。脳波は周波数によって区分され、約7~12[Hz]の周波数帯域をα波と呼び、心理学的に覚醒の度合いを表しているとされており、思考せずリラックスしているときにはα波が現れ、覚醒しているときにはα波が減衰する傾向にあることが知られている。この現象は、α波減衰とも呼ばれる[5]。また、約13~30以上[Hz]をβ波と呼び、意識レベルの高い状態や興奮した状態のときに現れることが報告されている[6]。これらの脳波の特徴に基づき参加者の思考状態を推定し、ミーティングの分析をおこなった研究がある[7]。また、ウェアラブルカメラで撮影した個人体験映像を要約するために脳波が利用されていたものもある[8]。

脳波には個人差があり、はっきり脳波と精神状態の関係を決めることは困難であるが、思考状態であるかないかを判断することは可能である。

3.2 眼球運動

視線方向は直接観測できるが、眼球運動を測定器によって計測することも容易であり、一般に「アイカメラ」と呼ばれている装置で計測される。光（赤外線）に対する白目と黒目の反射率の違いを利用した方法、生体電位を利用した方法（Electro-Oculo-Graphy;EOG）などがある[9][10]。

<視線>

視線は、まなざしともいわれ、生体と外界の環境の接点として重要な役割を果たしている。外界の情報を視野中心部で捉え、その詳細を中枢に伝える機能とともに、まなざしには人と人との会話における言葉では伝えられない微妙な感情的な側面を伝える機能もある[11]。視線インタラクションは、視線を通した人とコンピュータとの相互作用のことであり、視線を利用することで複雑な作業知識を必要とせず簡単にコンピュータを利用できたり、コンピュータが人の視線を理解することで利用者を支援したりする環境の実現を目指したものである[12]。また、視線インタフェースは2種類に大別される。1つはコマンド型インタフェースと呼ばれ、利用者は視線によってコマンドの選択を行い、作業を進めていく[13][12]。もう一つは非コマンド型インタフェースと呼ばれ、視線のパターンから利用者の意図を検知するものである[14]。

<瞬目>

まばたきは瞬目と呼ばれ、直接観測することが可能であるが、眼球運動の計測において大きな雑音信号として得られる。この場合、まばたきに相当する信号は眼球運動とは区別できるため計算機で容易に処理することが可能である。また、まばたき自身を直接検出することも可能である。また、瞬目を細かく分類すると、異物が目に入らないように防御するための音や光に対する反射的瞬目、意識的に目を閉じる随意性瞬目、心理的状态と関わりがある自発性瞬目がある[15]。

4 脳波反応による思考状態の推定

4.1 脳波反応パターン

著者らがこれまで行ってきた被験者実験（サンプル数：12名×20分間）の結果より4つに分類できた(a)平常時において約3~4[μ V]の電圧が7~20[Hz]の周波数帯で一様に現れる。(b)思考状態になると全体的に脳波は約2[μ V]まで減衰する。この状態が α 減衰であると考えられる。(c)人が興奮や緊張をした状態のときに、13~30[Hz]の β 波領域において、瞬時に約4[μ V]まで増減する。(d)筋電信号と呼ばれる生体反応があり0~40[Hz]まで同時に8[μ V]以上急激に増幅する。その他、瞬目発生時には0~6[Hz]辺りの周波数帯で瞬間的に波形が8[μ V]以上増幅する。また、左右・上下の眼球運動時にも同様の変化が現れる。以上の分類をもとにユーザの思考状態を推定することが出来るか実験をおこなった。

4.2 実験方法

被験者（9名）に同一のスポーツ映像（20分間）を視聴させ、脳波測定を実施した。ここで思考状態にさせるために、映像中に起こったもう一度みたいと思われるシーンをいくつかピックアップさせることにし、その注目シーンの発生時間を思考状態の発生時間とした。そして、被験者が注目したと申告したシーンと脳波計（図2）によって検出されたシーンを比較し、その共通性を検証した。

実験において外界からの刺激で筋電起り、脳波測定に影響を及ぼしてしまうと考えられるため、仕切りをして視界を遮り、ヘッドフォンの着用で、余分な音が耳に入らないよう考慮した。また、多少の顔の動作が予想されるため、カメラで撮影し、筋電による波形の変化でないかどうかの判断を行った。なお、視聴してもらった映像は比較的どのような人が見ても注目集めるような映像を用意した。表1に結果を示す。

<脳波測定器>

図2は、実験に用いた脳波測定装置「Mind Force」である。ヘッドバンド型をした簡易脳波測定器であり、非常に小型かつ軽量である。また、ワイヤレスでデータを送信可能であり、携帯性に優れている。着脱も数秒で行え、脳波測定者の自

由度は大きい。各研究機関や大学で、リラクゼーションやコミュニケーションなどの研究が行われている[16]。

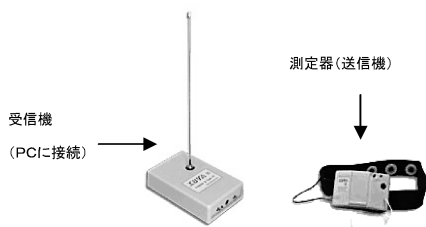


図 2. 脳波測定器 (Mind Force)

表 1. 脳波検証実験結果

被験者	A	B	C	D
申告数	8	10	7	5
脳波検出数	13	14	11	8
一致数	7	8	6	4
再現率(%)	86	80	86	80
適合率(%)	54	57	55	50

被験者	E	F	G	H	I
申告数	10	11	8	7	5
脳波検出数	11	14	13	13	10
一致数	9	9	7	6	4
再現率(%)	90	82	86	86	80
適合率(%)	82	64	54	46	40

	Bs	Sp	平均 再現率	平均 適合率
平均検出数	11.9	7.9		
平均一致数	—	6.7	84%	56%

$$\text{再現率} = \frac{\text{Bs, Sp 一致}}{\text{Bs 検出数}} \quad \text{適合率} = \frac{\text{Bs, Sp 一致}}{\text{Sp 検出数}}$$

Bs: 脳波の特徴量変化によって抽出されたシーン

Sp: 被験者が申告した注目シーン

4.3 実験結果

表 1 の結果により被験者全員について再現率が 80% を上回る結果が得られた。これは被験者が注目した (思考状態) シーンを脳波計によって 80% の精度で検出することが出来たことを表し

ている。このように高い再現率が得られた一方で適合率は 56% と高い結果が得られなかった。これは脳波形によってどのくらい無駄なく検出できたかを表すが、被験者の申告したシーン以外の箇所でも脳波形が反応したため適合率が低くなってしまった。被験者が注目シーンの申告漏れをしたということも考えられるが、被験者が映像に注目せず別のことを考え思考状態になったことが主な原因であると思われる。

以上の結果から脳波によって思考状態は推定できることは確認されたが、視対象を注目しているかどうかの判断は誤差が無視できないことがわかった。

5 眼球運動による注目度の推定

5.1 実験方法

被験者 5 名に眼球測定器を装着させ、注目度の違いによる眼球運動の比較を行った。まず、ディスプレイに表示した視対象に対して注目する場合と注目せずにぼんやりする場合をつくり、2 つの状況での瞬目の回数と感覚、視線の軌跡、移動範囲、注視時間を 1 分間×10 回、測定し比較をおこなった。

<眼球運動測定器>



図 3. 眼球運動測定器 EMR-8B

特殊光学系の採用により強力な外光補償を実現し、日中でも安定した視線計測が可能である。両眼計測時にパララクス誤差を補正し、どの距離に置いても注視点とアイマークを一致させることができ、ヘッドユニット部がキャップ型であるため長時間計測時の装着ができる。その他、キャリブレーションが短時間で簡単に行えるため計測作業が直ちに行える。また、データ計測時にパソコンを必要としないため、屋外や車載など幅広い用途で計測が可能である。人間工学から医学までさまざまな研究用途に利用されている[17]。

5.2 実験結果

表2のように注目度の違いにより、瞬目の回数と間隔にはっきりと差が現れた。視対象に注目しないときの平均瞬目回数は注目するときの約3倍であり、また、瞬目間隔についても約3倍の差があった。視線の軌跡と注視（視線移動の停止）時間についても図4のようにそれぞれに傾向が現れた。注目するときの傾向としては、視線の軌跡は狭い範囲で頻繁に移動するのに対して、注目しないときの傾向は視線の移動範囲が広く、また、極端に長く注視することが多いことがわかった。

以上の実験結果によりユーザが視対象に注目しているか否かを眼球運動測定することで推定できる可能性が高いことが確認できた。しかしながら、1サンプルずつデータを確認するとなかには上記の傾向に一致しないものも少なくなかった（全体の約20%）。

表2. 注目度の違いによる瞬目の比較

	平均瞬目回数(回)	平均瞬目間隔(sec)
注目する	4.4	11.8
注目しない	15.6	3.7

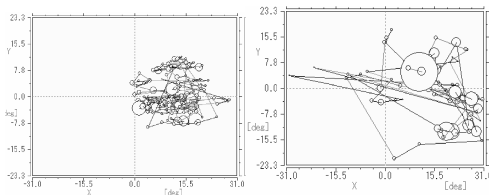


図4. 視線軌跡の比較（被験者A）

6 脳波と眼球運動の協調的利用

6.1 脳波・眼球反応の考察

4章および5章で脳波と眼球運動を測定することでユーザの状況（注目、思考）が推定可能であることを確認し、また同時に推定が困難な部分も明らかになった。具体的には、脳波によりユーザの思考状態の有無を推定することは可能であったが、提示した情報に対して思考しているかどうかの判断は難しいことがわかった。一方、眼球運動については、提示した情報に目を向けていることは確認できるが、ただぼんやりと眺めている状態であっても、注目しているときの眼球運動の傾

向が現れる場合があり、これを区別する必要があった。したがって、それぞれの欠点をお互いに補うように利用することでより正確な推定を行うことができるのではないかと考え、ユーザの状況（思考、注目）判別法を考案した。

6.2 ユーザの状況判別法の提案

脳波と眼球運動を協調的に用いた状況判別法を図5に示す。脳波と眼球運動の測定により、注目と思考で分岐し、4つの状態に分けることにした。

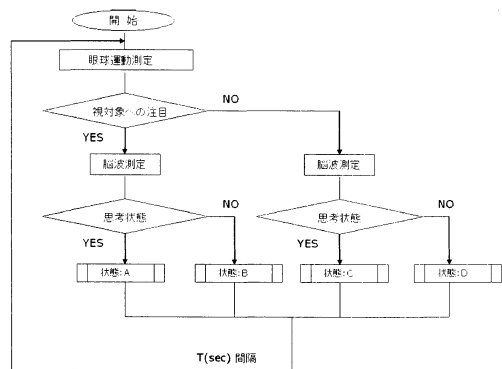


図5. 学習状況の推定法

状態A：提示した情報に対して思考している
 状態B：提示した情報をぼんやりと眺めている
 状態C：他の考え事をしている
 状態D：何も考えず何も注目しない

6.3 e-learning への応用

今回提案した脳波と眼球運動の利用したユーザの状況判別法をe-learningへ応用できないかと考えている。

e-learningに対する調査結果[2]によると、時間や場所にとらわれずに学習できるという大きなメリットはあるが、「モチベーションの維持が困難」「講師との双方向性が少なく淡白」というように、学習を持続するための強い動機付けがなければ、途中で挫折してしまう傾向がある。これはe-learningに限らず、自主的な学習での特徴であると思われる。

自主学習を継続することが困難である原因は、

学習ペースなどの自己管理を学習者本人で行うことが難しいからであると考えられる。そこで著者らは、学習者の状況に応じて、適切に学習ペースをコントロールするシステムを目指すことにした。そして、学習者の状況を推定する方法に今回提案した生体反応による状況判定法を用い、システムを構築することを考えていた。

7. まとめと今後の課題

本稿ではまず、人間情報処理系の見方を述べ、次に生理機能として脳波と眼球運動を示した。そして、生体反応センシングを e-learning に応用することを目指し、学習者の状況を判定する手法を提案した。本手法は脳波と眼球運動を協動的に用いることで従来まで判定が困難であった部分の状況判断が可能になることが期待される。

今後、実際に e-learning 受講時におけるユーザの脳波と眼球運動を測定し、今回

の傾向をまとめる予定である。本手法の有効性を確認するために、評価を行う必要がある。そのために、e-learning 受講時、波・眼球運動測定の対象を葉の脳波と眼球運動の測定は実際の e-learning 受講時において脳波と眼球運動を再測定し、その傾向をまとめる予定である。

参考文献

- [1] 中村亮太, 市村 哲, 松下 温 “Mind Studio : 撮影者の生体情報を用いたリプレイ自動生成システムの試作”インタラクシオン 2004 論文集, pp.25-26, February, 2004
- [2] 先進学習基盤協議会(ALIC)編著「e ラーニング白書」オーム社, 2003.
- [3] 福田忠彦, 「生体情報システム論」『知識・情報・メディア / シリーズ』, 産業図書 (2000).
- [4] 小杉幸夫, 武者利光 : 生体情報工学 電子情報通信工学シリーズ 森北出版
- [5] 宮田洋 八木昭宏 他: “現代心理学シリーズ 2.6” 脳と心 “知覚と認知 “倍風館, 1996
- [6] 機械システム振興協会: “生体反応利用機器制御システムの開発に関するフィージビリティスタディ報告書,” March, 2003.
- [7] 宮田章裕, 福井健太郎, 本田研作, 重野寛, 岡田謙一, 脳波情報を利用したミーティング分析, 第 113 回マルチメディア通信と分散処理研究会 2003-DPS-113, pp.63-68,

- June. 2003.
- [8] 相澤清晴, 石島健一郎, 椎名誠, “ウェアラブル映像の構造化と要約: 個人の主観を考慮した要約生成の試み,” 信学論 (D・II) Vol. J86-D-II No.6 pp807-815, June 2003.
 - [9] 大串健吾, 中山剛, 福田忠彦, 『画質と音質の評価技術』, 昭晃堂 (1991)
 - [10] 菅阪良二, 中溝幸夫, 古賀一雄, 『眼球運動の実験心理学』, 名古屋大学出版会 (1993).
 - [11] 福井康之, 『まなざしの心理学』, 創元社 (1991).
 - [12] Eye-Gaze Control of Multimedia Systems, J. P. Hansen, A. W. Anderson and P. Roed, Symbiosis of Human and Artifact: Future Computing and Design for Human-Computer Interaction, Elsevier Science, 20A, 37-42, 1995.
 - [13] 視線インタフェースにおける選択過程と取得過程の識別, インタラクティブシステムとソフトウェア V (WISS'97), 尾内理紀夫編, 近代科学社, 65-70, 1997.
 - [14] A Gaze-Responsive Self-Disclosing Display, I. Starker and R. A. Bolt, Proceedings of CHI'90, ACM Press, 3-9, 1990
 - [15] 多田英興, 山田登美雄, 福田恭介, 『まばたきの心理学』, 北大路書房 (1991).
 - [16] <http://www.random-grp.com/kuwatec/Products/MindForce/>
 - [17] <http://www.eyemark.jp/lineup/EMR-8/EMR-8b.html>
 - [18] 先進学習基盤協議会(ALIC)編著「e ラーニング白書」オーム社, 2003.