高度インタラクティブ教育コンテンツにおける生理指標による集中状態の分析

The Analysis of Concentration by Physiological Indexes for Highly Interactive Educational Contents

植野　雅之[†1]，和田　慎二郎[†2]，高見　友幸[†1]
UENO Masayuki[†1], WADA Shinjiro[†2], TAKAMI Tomoyuki[†1]

[*1] 大阪電気通信大学 総合情報学部
[*1]Osaka Electro Communication University, Faculty of Informatics
[*2] プール学院大学 短期大学部
[*2]Poole Gakuin Collage
Email: ueno.masayuki@gmail.com

あらまし： シリアスゲームなど，多様な演出手段を応用した高度インタラクティブ教育コンテンツを評価・分析するためには，システム側が投げかける情報や応答に対して，学習者がどのように応答するか，など，時系列で変化するインタラクションを評価し，分析することが必要となる．このような分析をおこなうために，学習者側の生理指標である心拍，体温，呼吸といった生理指標を元にシステムへの没入度・集中度を求めて，分析を進めることが考えられる．このような分析をおこなうために幾つかの認知操作状況を作り，計測をおこなった結果を比較・分析する．

キーワード：高度インタラクティブ教育コンテンツ，ゲーム，生理指標，集中状態

1. 序

教育システム研究において，構築した教育システム・コンテンツの評価をどのようにおこなうかは，一つの課題となってきた．従来の教育システム研究においては，評価はもっぱら被験学習者に対するアンケートや，事前テスト・事後テストの比較によっておこなわれることが多い. しかし, アンケートは, 学習中の学習者よりリアルタイムに得られる情報でないため，結果が正確でなく，アンケート実施時の雰囲気や気分などにその結果が左右されるという問題がある．事前テスト・事後テストによる方法においても，オーバーオールに見た場合での教育効果の測定には有用であるが，学習者のリアルタイムの反応やその過程を観察することはできないため，自ずとその分析能力や精度には限界がある．特に近年のシリアスゲームなどの高度にインタラクティブな教育システムを対象とする場合，これらの評価方法では改善のための情報を得ることが難しく，開発にはほとんど役立たない．また，その情報を元にフィードバックを与えるといったこともできない．

一方で, 近年の様々なセンサの高度化と低価格化, 情報処理能力の向上により，人間の様々な生理指標を収録･利用することができるようになりつつある．このようなヒューマンデータは，うまく収集することができれば，これまでのアンケート等の評価方法とは比べものにならない精度で学習者の行動，応答の時間的な変動を得ることができ，かつ，学習過程に関わる情報を収集することができるので，その分析方法・評価方法が明らかとなれば，教育システム研究や教育コンテンツ開発にとって，大きな進歩となりうる．評価方法を確立するところまで行かなくても，リアルタイムに没入度・集中度などを得ることができれば, 様々な目的に役立てることができる．

2. 没入度・集中度のモデル

没入度，集中度に関しては，古典的であるが，興味深い研究として Mihaly Csikszentmihalyi が 1975 年に提唱した「Flow」の概念がある(2).「Flow」は，人間がスポーツ，登山，チェスといった活動に高度に集中した状態と定義される．また，この状態は図 1 のように自分の能力と与えられる課題が高いレベルでバランスしたときに生じるとされる．これはいわゆるシリアスゲームやトレーニングゲームを研究・開発する観点からは非常に興味深い．

一方で，Csikszentmihalyi が実施した「Flow」研究は 1970 年代から始まった比較的古い研究であり, アプローチとしても生理指標は用いられず，インタビューやアンケートなどに頼った調査方法に依存しているため，現時点の技術水準においては信頼性が疑わしい部分もある．その後の研究でも，手法についての革新はあまり見られない(3).

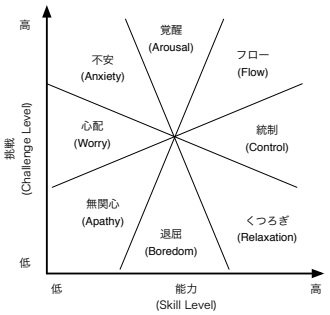

図 1．Flow の領域

我々は，Csikszentmihalyi の「Flow」を被験者の集中度・没入度を示す高次の指標として捉えて，これと体温，心拍・呼吸といった生理指標やその変動の関係を科学的な実験を通して解明したい．この解明によって，ゲームなどの要素を含む高度なトレーニングシステムなどの教育システムの評価が初めて可能になると考えられる．

3. 情動モデル構築へのアプローチ

高度インタラクティブ教育コンテンツでの学習者の集中度モデル構築に向けて，以下のように段階的に考える必要がある．

(1)複数の生理指標と集中状態に関連すると思われる内部状態の関係の解明
(2)集中状態の情動モデルの構築と実験的証明
(3)高度対話型コンテンツへの評価などの応用

現在の研究段階は，(1)(2)の段階であり，生理指標データから，精神的ストレスなど，集中状態につながると考えられる物理量とその意味を分析する手法を構築した上で，操作履歴と生理指標データの突き合わせをおこなう．

ある学習者がシリアスゲームなどの特定の認知操作環境においておこなった操作履歴は，その詳細情報およびシステム的な状況情報を時間情報とともに記録しておくことにより，その学習者がおかれたコンテクストの時系列変化を分析することができる可能性がある．最終的にはこのコンテクスト情報と生理指標により推定される学習者の精神的状況を重ね合わせることにより，時系列変化の因果関係を推定できる可能性がある．

4. 様々な生理指標

現時点で集中状態につながる生理指標として有望な指標としては,「心拍」がある．心拍の単位時間あたりの心拍数もしくは，心臓の鼓動間隔(RR 間隔)は，心臓が血液を人体に送り出す量に直結した量であるので，大きくは人体における酸素供給量と酸素消費量のバランスで決まるが，同時に血圧，呼吸数などによって変動する．心拍変動は，特に運動時に大きく変動する一方，精神的ストレスによっても変化することが知られている．リラックス時の心拍は常に変動していることが知られており，パワースペクトラム解析により, 0～0.05Hz の低周波(LF)数成分, 0.05～0.20Hz の中間周波数(MF)成分，0.20～0.35Hz の高周波数(HF)成分の３つに分けることができる．これらは，循環・呼吸・体温調節などの不随意な機能を制御する自律神経系の交感神経，副交感神経の活動に対応することが知られている．既に知られているように人体の活動は交感神経系と副交感神経のバランスにより成り立つものとされ,「闘争」,「逃走」といったストレスが加わる際には，交感神経系が亢進することによって，心拍数が増加，血圧を上昇させ，筋肉への血液供給量を増加するメカニズムがある．逆に副交感神経系が亢進する場合には，血圧を下げ，心拍数を下げ，身体を平常時の状態に戻すことになる．

このような自律神経系の働きにおいて，心拍変動の LF 成分,HF 成分は, それぞれ, 交感神経系の活動, 副交感神経系の活動により影響を受けることがよく知られている．リラックス状態では HF 成分が見られるが, 精神的ストレスの加わる状況では, HF 成分は減少し，LF 成分が増大することから，この LF 成分と HF 成分の比(LF/HF)によって，ストレスを評価することができるとされる．

また，入手可能な生理指標としては，心拍の他にも顔の表面温度，脳波などがありうる．このうち，脳波は人間の覚醒状態に直結する情報が得られることが知られており，より有用な情報が得られると考えられる．

5. 実験と分析への計画

ゲームなどを応用した高度インタラクティブ教育コンテンツでは，その操作履歴を分析することにより，コンテンツ内における粒度の細かい課題の難易度や成功・不成功を追跡することが可能となる．

この分析をおこなうことにより，生理指標により得られた覚醒度/集中度と課題のバランスの時間的な変動が捉えることが可能となると考えられる．これにより Csikszentmihalyi の提示した「Flow」の発生要因を詳しく分析できると考えている．

謝辞

本研究は JSPS 科研費（26350293）の助成を受けたものです.

参考文献

(1) Evaluation and Analysis of Spatial Training Game for molding arts, Masayuki Ueno, Shinjiro Wada, Yutaka Kida, Noboru Ashida and Kazuhiro Ueda, Proc. of The 2nd 2013 IEEE Global Conference on Consumer Electronics (IEEE GCCE 2013),p.385-386,2013
(2) Csikszentmihaly M.(1975) Beyond Boredom and Anxiety. Jossy-Bass Publishers, San Francisco,CA
(3) 今井浩明，浅川希洋志「フロー理論の展開」世界思想社,2003
(4) 林博史編「心拍変動の臨床応用」医学書院,1999
(5) プレイテスト･ユーザビリティテストのためのユーザー行動モニタリング環境，植野雅之,和田慎二郎,ゲーム学会全国大会論文集,59-60,(2010)
(6) ゲームプレイ時における心拍変動の分析，植野雅之，和田慎二郎，高見友幸，ゲーム学会合同研究会研究報告，Vol.12,No.1,(2014)
(7) 高度インタラクティブ教育コンテンツ分析のための生理指標モニタリングシステムの構築，植野，和田，高見，教育システム情報学会全国大会論文集(2014)