

# 加速度センサーを利用した集中度合い推定システムの提案

## Development of Estimation System for Concentrate Situation by Using Acceleration Sensor

大久保 雅史 藤村 安耶\*

**Summary.** Recently, to discipline to increase powers of concentration is popular. One of the reason, it is difficult to concentrate something in these days because of a flood of information. However we discipline our concentration by using the how-to books and the portable games, we cannot evaluate the training effect on the practical life. In this paper, we propose an evaluation system for user's powers of concentration in which the method for the estimate user's sitting situation is utilized. This system is constructed by two kinds of method, one is the method which estimates the sitting situation and the other is the evaluation method for user's powers of concentration situation. These methods use user's motion that is obtained from the acceleration sensor that is fixed on the chair. And we prepare the three kinds of Graphical User Interface (GUI) which presents the concentration situation to the user. The sensory evaluation by questionnaire and human behavioral analysis were performed for system evaluation. As a result, the interface using the line graph that presents the powers of concentration in the long term and the level meter that presents the momentary powers of concentration are preferred to the interface showed only graphic avatar which present the user's sitting situation.

### 1 はじめに

情報化社会と言われている現代では、雑多な情報が氾濫している。新聞やテレビなどのメディアに加え Web やメールなどから得られるこれらの情報を十分吟味して処理することは容易ではなく、じっくりと思考することや集中することが困難な生活環境になっている。一方、2006年に脳の活性化を図るゲームソフト、通称「脳トレ」が発売されて以来、脳を鍛えるゲームや集中力を養う各種のトレーニング、ハウツー本が幅広い年齢層で流行している [1]。これらは高齢化社会を迎え、中高年層に脳の衰えを防止したいという要求があることや、大量の情報を短い時間で処理する能力を得たいという欲求が幅広い世代にあることが一つの要因として考えられる。また、トレーニングは音読や単純な計算で行うことが多く、ゲーム感覚で簡単に鍛えることができ、さらに「脳年齢」という分かりやすい形でトレーニングの結果を表示することも多くの世代に受け入れられている理由の一つと考えられる。しかし、このようなゲームやトレーニングで思考力や集中力を鍛えることができたとしても実生活において、その効果を評価することは難しい。現在、人がどれくらい集中しているかを測定するには呼吸や心拍 [2, p54-61]、脳波などの生体信号を用いる方法が提案されている。例えば、問題を解いたり抽象的な思考に精神を集中させ

ている時などに、前頭葉から Fm シータ波という脳波が出現することが確認されている [3]。また、学習者の皮膚電位水準の変化が、講義への興味や関心と対応することも研究されている [4]。しかし、このような方法はコストや時間がかかる上に測定される側に多大な負担をかける。そこで本研究では、ユーザが椅子に座ってコンピュータ作業や勉強、オフィスワークなどを行っている状況を想定し、椅子に取り付けたモーションセンサから得られた情報を加工することによって集中の程度を推定して本人に提示するシステムを提案している [5]。さらに、実際にシステムを開発するとともに、3種類の GUI を作成し、それらを用いて提案システムとインタフェースの官能評価実験を行っている。

### 2 集中状態推定システムの概要

提案システムのハードウェア構成を図 1 に示す。

モーションセンサは椅子の動きを計測し、Bluetooth 通信で PC に加速度データを送信する。PC では受信したデータからユーザの着席・離席状況や集中の度合いを推定し、それらをユーザに提示する。提案システムでは図 2 に示すような家庭やオフィスで一般的に利用されている回転椅子に着席しているユーザの状態を推定する。回転椅子はユーザの様々な動きを反映するので、その動きや振動の加速度をモーションセンサを用いて計測し、ユーザの動作を推定することが可能であると考えられる。モーションセンサには任天堂ゲーム機 Wii のコントローラである Wii リモコンを用いている。Wii リモコンは

Copyright is held by the author(s).

\* Masashi Okubo, 同志社大学 理工学部 情報システムデザイン学科, Aya Fujimura, 同志社大学大学院 工学研究科 情報工学専攻

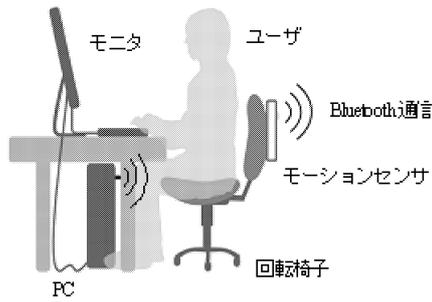


図 1. システムの概要

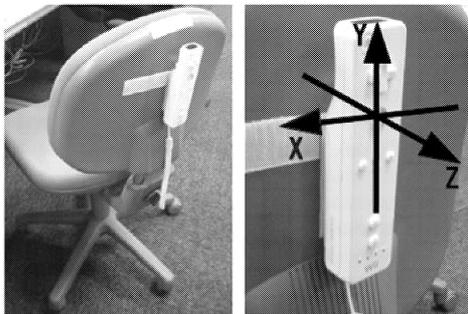


図 2. モーションセンサの取り付け位置と座標軸

本体との通信に Bluetooth を使用しており、PC との通信も容易である。また比較的安価で手に入り、既に多くの家庭に普及している。Wii リモコンは図 2 に示すように、背もたれの傾きと座面の回転が最も顕著に現れ、なおかつ着席者の邪魔にならない場所である背もたれの背面上部にマジックテープを用いて取り付けられている。3次元のモーションセンサは Wii リモコン表面中央付近にある A ボタン付近に搭載されており、座標軸は図 2 のように Wii リモコンを立てた状態で、左右方向が X 軸、縦方向が Y 軸、奥行き方向が Z 軸である。

### 3 着座状態推定

#### 3.1 着席・離席の推定

提案システムは、ユーザの着席・離席を推定し、ユーザが着席している間は集中の度合いの推定を行う。最初に、ユーザが着席中か退席中かを推定するための方法を提案する。着席中か退席中かを推定するためには着席した時と離席した時を瞬間的な加速度の変化から推定する方法と、時間経過に伴う加速度の変化から推定する方法の 2 種類が考えられる。提案システムでは信頼性確保のためにこれら 2 つの方法を併用する。

#### 3.1.1 瞬間的な加速度の変化を用いる推定

加速度は Wii リモコンから Bluetooth を介して約 100Hz でサンプリングする。数名の被験者に Wii リモコンを取り付けた椅子に着席、作業、離席させ、その間の加速度を計測する予備実験を行っている。予備実験の結果から、着席と離席の瞬間に 3 軸方向とも加速度が大きく変化していることが分かった。しかし、X 軸方向と Z 軸方向に関しては、着席中にも比較的大きな加速度が計測されている。そこで、着席中に加速度の変化が少ない Y 軸方向の加速度を着席離席の推定に用いる。つぎに、着席・離席時のそれぞれの瞬間的な加速度の変化に着目する。着席・離席時の、Y 軸方向加速度の時間変化の例を図 3 と図 4 に示す。着席時は、正方向に加速度が大きく変化した後、負方向に変化している。これは、椅子に座る瞬間に、一度座面が沈んだ後、反動で上がることによって起こる。一方、離席時は、負方向に大きく変化した後、正方向に変化している。これは立つ時に座面が上がった後、反動で下がることによって起こる。つまり、着席時に Y 軸方向加速度は正の値から負の値となり、離席時には負の値から正の値となる。また、これらの着席・離席時に起こる正から負、負から正への加速度の変化はおよそ 50ms 以内で起こっている。この加速度の変化のパターンの違いを利用して着席、離席を推定する。

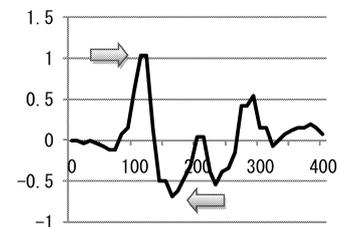


図 3. 着席時の Y 軸方向加速度の変化

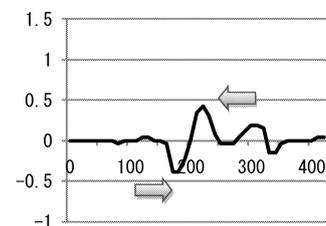


図 4. 離席時の Y 軸方向加速度の変化

ここで、被験者 9 人に対して予備実験を行い、着席・離席と着席中の動きを区別するため、加速度に対して閾値を設定している。その結果、まず、退席中に 0.3G 以上の加速度が計測され、50ms 以内に

0.3G 以下の加速度が測定された場合、着席したと推定する。また、着席中に-0.3G 以下の加速度が計測され、50ms 以内に 0.3G 以上の加速度が測定された場合、離席したと推定する。

### 3.1.2 時間経過に伴う加速度の変化を用いる推定

着席・離席時に計測される加速度には個人差があり、着席・離席時に生じた加速度なのか着席中の動きによる加速度なのかの推定が難しい場合がある。予備実験における着席、離席時に測定される Y 軸方向加速度の最大値と最小値より、着席、離席時の加速度で、変化が少なかったのは 0.11G と -0.19G である。つまり瞬間的な加速度だけを用いる推定だけでは、着席・離席時の加速度が 0.1G 以上 0.3G 未満と、-0.1G 以下で -0.3G を超える場合、着席・離席を誤推定してしまう。そこで、加速度を一定時間サンプリングして、そのパワースペクトルを逐次推定に利用する方法を併用する。

まず予備実験で得た、退席中と着席中の 3 軸方向加速度の約 2.5s 間 (256 個) のサンプリングデータを、フーリエ変換し、パワースペクトルを求める。退席中は全ての周波数領域において、パワースペクトルはほとんど計測されないが、着席中には多くの周波数領域においてパワースペクトルが計測される。そこで、ノイズと見られる、0.01Hz 以外の周波数のパワースペクトルの値を加算した、パワースペクトルの和を求めて、着席中と退席中の判断に用いることにする。

予備実験の加速度データを用いて退席中、着席、着席中、離席時の 3 軸方向加速度のパワースペクトルの和の時間変化を求めた結果を図 5 に示す。退席中と着席中を比べると、Y 軸方向加速度のパワースペクトルの和は他の軸方向に比べてあまり変化していないことが分かる。一方、X 軸 Z 軸方向加速度のパワースペクトルの和はユーザの状態によって、大きな変化がある。例えば、座面を回転させる動きにより X 軸方向加速度のパワースペクトルの和が増大し、背もたれを傾けさせる動きにより Z 軸方向加速度のパワースペクトルの和が増大している。

そこで、退席中、着席時、着席中、離席時の X 軸 Z 軸方向加速度のパワースペクトルの和を足したものの時間推移を着席・離席の推定に用いる。すなわち、前述の判定法で明確に着席離席が判断できなかったとき、X 軸 Z 軸方向加速度のパワースペクトルの和が 50 以上だと着席中と推定し、それ以下だと退席中だと推定する。パワースペクトルを用いる着席離席の推定法をまとめる。退席中に-0.3G 以上-0.1G 以下か、0.1G 以上 0.3G 未満の加速度が計測され、その後パワースペクトルの和が 50 を超えていた場合、着席したと推定し、それ以外の場合は退席したままとする。一方、着席中に-0.3G 以上-0.1G 以内か、0.1G 以上 0.3G 未満の加速度が計測され、その

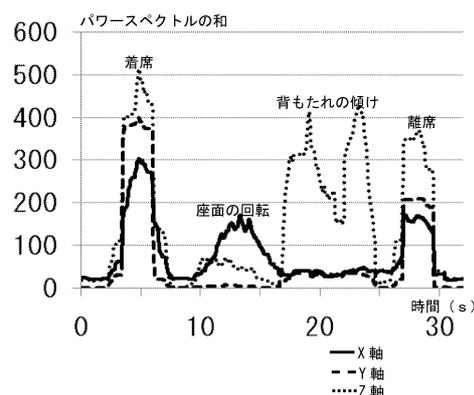


図 5. 3 軸ごとのパワースペクトルの和の時間推移

後パワースペクトルの和が 5s 間 10 以下の場合、離席したと推定し、それ以外の場合は着席したままとする。

## 3.2 集中度合いと動きのパワースペクトルの和の関係

### 3.2.1 実験目的

一般的に、人は集中すると動きが少なくなる傾向が強くなると考えられる。つまり、集中すると椅子に取り付けたモーションセンサから得られる X 軸と Z 軸方向加速度のパワースペクトルの和（以降加速度のパワースペクトルの和とする）が小さくなる可能性が高い。この仮定を検証するため、予備実験を行っている。実験では集中しているということを定量的に評価するため、被験者に PC でのタイピング作業を行わせている。

### 3.2.2 実験・評価方法

実験では被験者 3 人に 30 分間タイピング作業をさせ、その間の加速度のパワースペクトルの和と単位時間当たりのキーボードの打鍵数の関係について検討している。実験中は被験者を 30 分間椅子に座らせ、タイピング作業を行うか、休憩するかのどちらかだけを行わせている。実験によって得られた 30 分間のデータの最初と最後の 1 分間を除き、残りの 28 分間のデータを 1 分間ごとに分け、それぞれの時間における相互相関関数を求めている。

### 3.2.3 評価結果

図 6 にパワースペクトルの和と打鍵数の推移、図 7 にその相互相関関数の例を示す。図 6 で打鍵数が 0 になる、つまり休憩している時にパワースペクトルの和が増加していることが分かる。また、図 7 を見ると、このことによって -0.7 ほどの強い負の相関が得られていることが分かる。

さらに被験者 3 人の相互相関関数の最小値の平均

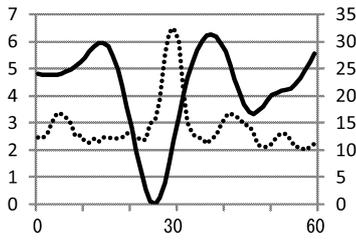


図 6. パワースペクトルと打鍵数

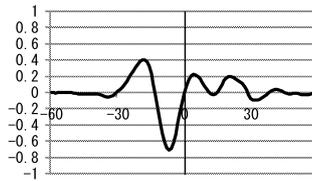


図 7. 図 5 の相互相関関数

と標準偏差を図 8 に示す. この図より平均でも  $-0.4$  強の負の相関が見られる. これらの結果からパワースペクトルの和と単位時間当たりの打鍵数には強い負の相関が存在することが分かり, パワースペクトルの和が小さくなると集中していると推定することの妥当性が明らかとなった.

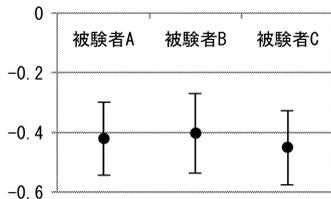


図 8. 相互相関関数の最小値の平均と標準偏差

### 3.3 グラフィックインタフェース

最近, 瞬間燃費計が備わっている車が多く販売されている. また, 瞬間燃費計があることで, ドライバーはアクセルを緩めることが多いと言われている. ここでは自分の今の状態を知ることにより, 自分の行動を見直すことが行われている. 提案システムの狙いもここにあり, 利用者が本人の状態を客観的に観察できるように, 着席者の状態を図 9 に示すようにアバターで表示する. アバターは「NOTAVAILABLE (退席中)」, 「AVAILABLE (着席中)」, 「WORKING (集中している)」, 「PLAYING (集中していない)」の 4 種類であり, 男性 (上) と女性 (下) の 2 パターンを作成した.

自己管理ツールとして利用する場合は, 集中しているか, していないかという着席者の状況を示すだ



図 9. グラフィックユーザインタフェース

けでなく, どの程度集中しているかを示すことが重要であると考えられることから, アバターの表示とともに, 集中の度合いの時間経過を表す折れ線グラフと瞬間的な集中の度合いを表すレベルメータを提示する 3 つのパターンの GUI を作成している. 図 10 はアバターのみのシンプルな GUI である. 図 11 の GUI ではアバターに加え, 集中の度合いの時間変化を示す折れ線グラフを追加した. パワースペクトルの和が少なければ少ないほど集中の度合いは高くなると仮定しているの, グラフ化するパワースペクトルの和の上限を 500 と定め, 500 からパワースペクトルの和を減算し, 集中の度合いが高いと折れ線がグラフの上方へ上がるように示している. GUI 右下のグラフは直近約 30s の集中の度合いをグラフ化している. また GUI 上部のグラフは過去の履歴も見れるように数分間の集中の度合いをグラフ化している. 図 12 の GUI では, 集中の度合いの瞬間的な変化を非線形に表示するレベルメータを追加した. 集中していて, パワースペクトルの和が少ない場合は 1 目盛にあたるパワースペクトルの和を少なくし, 変化が少なくても目盛が動くようにした. また, ユーザが自分の集中の度合いが分かりやすいように, レベルメータは, 集中している時は白色, 集中していない場合は黒に近い色になるようにグラデーションを付けている.



図 10. GUI (アバターのみの)

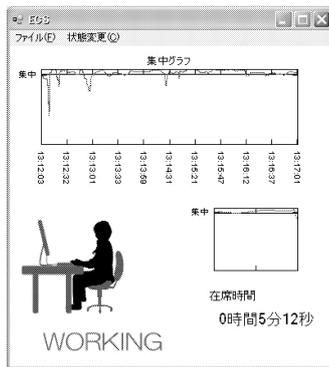


図 11. GUI (アバターと折れ線グラフ)



図 12. GUI (アバターとレベルメータ)

## 4 システム評価実験

### 4.1 実験目的

ここでは開発したシステムの実用性、有用性の評価と、3通りのGUIの集中の度合いの分かりやすさを検証している。具体的には、集中の度合いを推定するシステムの動作確認と、前章で述べた3種類のGUIについての官能評価実験を行っている。

### 4.2 実験方法

実験は被験者10名(20代男性5名, 女性5名)に対し, Wiiリモコンを取り付けた椅子に座らせ, 提案システムを起動させているコンピュータに向かってタイピング作業させている(図13)。作業は, 紙に印刷した文章をワープロソフトで5分間打ち込ませるものである。作業の邪魔にならないように, また作業をしながらも提案システムのインターフェースが目に入るように, 画面左上に提案システムのGUIを表示させている。実験は提案システムなし, アバターのみのGUI, アバターと折れ線グラフのGUI, アバターとレベルメータのGUIの4種類の条件下で行っている。また, 順序効果を考慮して実験条件の順番は被験者ごとに変化させている。さらに各実験終了後に5段階評価のアンケートを行っている。

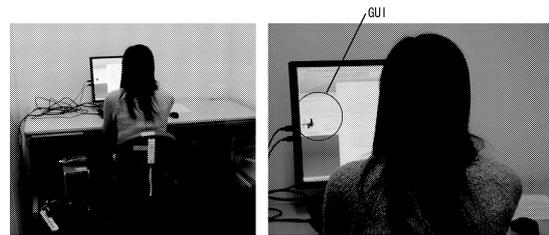


図 13. 実験風景

### 4.3 実験結果および考察

集中の度合いの分かり易さやインターフェースの分かり易さに関してアンケートの回答を点数化し, 平均と標準偏差を求めたものを図14に示す。これらの結果より, システムがない場合や, アバターのみの場合よりも, グラフやレベルメータがあるインターフェースの方が, より自分の集中度が分かりやすいという結果を得た。また, 全てのアンケートの全組み合わせに対して符号検定を行ったところ[6, p.44-47], 集中度の分かりやすさに関して, システムなしと折れ線グラフ, システムなしとレベルメータの組み合わせの間に有意水準5%で有意差が認められた。この結果からも, 提案システムがない状態よりも, 折れ線グラフやレベルメータのGUIがあると集中度が分かりやすいという結果を得た。グラフを好む被験者は集中の度合いの履歴が分かる点を, また, レベルメータを好む被験者は, 現在の集中の度合いが一目で分かる点を評価している。しかし, システムがあることによって, 逆に気を取られて集中できないといった意見もあった。したがってユーザの好みのGUIが選択でき, かつ履歴を保存してユーザがその日の振り返りを行えることが可能なシステムが望ましい。

## 5 まとめ

本研究では, システムを利用するユーザの状態をユーザ自身に提示して, 自己管理をさせることを目的とし, ユーザの着席離席状況や集中の度合いを推定し, GUIを用いてユーザに集中の度合いを提示するシステムを開発している。さらに提案システムを用いてシステムの有効性とGUIを評価するため官能評価実験を行っている。その結果, 長期的な集中の度合いの変化を表す折れ線グラフのインターフェースと, 瞬間的な集中の度合いの変化を表すレベルメータのインターフェースが同程度好まれた。提案システムは, 自分の今の状態を知ることにより, 自分の行動を見直すためのシステムとして開発されている。提案システムを用いることで, 集中を促すことが可能になると考えるが, 逆に長い時間の集中はストレスとなり, 精神的, 身体的に悪影響を及ぼす。そこで, 長い集中時に適度な休息を自ら取るように勧めるシス

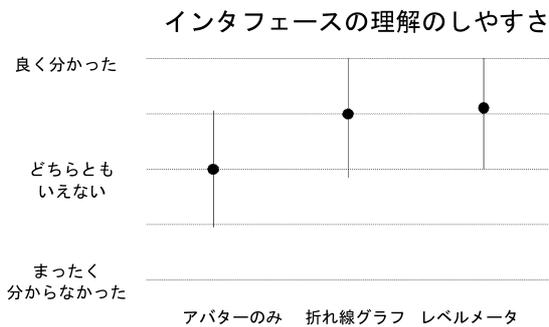
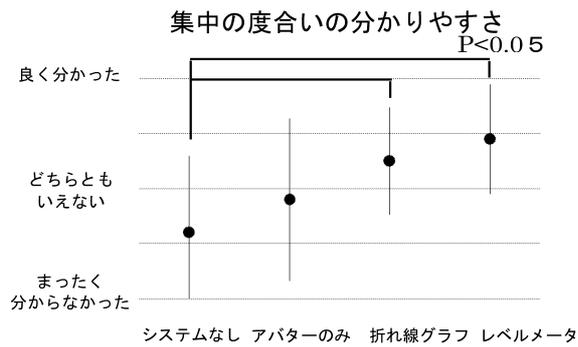


図 14. アンケート結果

テムの構築も考えられる。今後システム、GUIの改良とともに、長期間の実験を通して有効性の検証を行なっていく予定である。

## 参考文献

- [1] 藤本 徹, シリアスゲーム, 東京電機大学出版局, 2007.
- [2] 田村博編, ヒューマンインタフェース, オーム社, 1998.
- [3] 栗城, 脳をみる, オーム社, 1995.
- [4] 宮田監修, 新生理心理学 3 巻, 北大路書房, 1998.
- [5] 藤村, 大久保, モーションセンサを用いた着座状態推定システムの研究開発, ヒューマンインタフェース学会シンポジウム, 2008.
- [6] 篠原, 講堂科学の BASIC ノンパラメトリック法, ナカニシヤ出版, 1989.