

## ヘッドセット型微小加速度記録計による運動負荷応答の計測 Evaluation of Physical Fatigue Response with a High-Sensitivity Head-Mounted Acceleration Recorder

松下 宗一郎†  
Soichiro Matsushita

### 1. はじめに

ヒューマンインタフェース機器の評価においては、その機器を利用した際の効率、例えば情報入力の手速や正確さの向上といったパラメータの評価と同時に、利用者へ与える身体的、あるいは心理的な負荷を正しく評価することが必要となる。例えば、大画面ディスプレイや、ヘッドマウントディスプレイといった、いわゆる没入的な視覚情報提示を行なう機器においては、身体的な負荷が高まる可能性が高いことに加え、場合によっては病理学的な異常の発現につながる等、機器の評価に際し慎重を期す必要性が高い。

ここで、身体的な負荷の評価においては、例えば脳波の測定や心拍数、血圧の測定といった医学的な手法を除けば、その多くは利用者へのアンケート調査を中心とする主観的な手法に依ることが多く、客観的に信頼に足る評価を行なうためにはアンケート項目の設定や調査結果の統計処理手法に体する精査を経た後、必要となる人数の被験者に対して評価を積み重ねることが一般的に行なわれている。しかしながら、例えばアンケート項目で「機器の使用前後で疲労感が増しましたか?」といった設問を設定した場合、被験者ごとにまちまちの回答が得られることが予想されることに加え、疲労感が増した程度を「かなり」「まあまあ」「少し」といった、多分にあいまいなカテゴリーに分けて質問する、あるいは、疲労感を10段階で表現してもらう、といった方法からは、やはり個人個人で大きなばらつきのある回答がもたらされる可能性が高い。

そこで本研究では、疲労感の客観的な定量化を行なう事を目指し、アンケートに依らない手法での疲労感の数値化を試みており、人は疲労すると、まっすぐにじっと立っていることが次第に困難になっていく(身体の揺れが大きくなっていく)という仮定に基づいて、頭部に装着した高感度加速度記録計による評価方法の研究・開発を進めてきた。[1] これまでの実験結果では、睡眠時間の不足や感冒への感染、長時間に渡るストレスの高い会議への出席やアルコールの摂取といった、客観的に疲労感を増すような原因事象に対し、高い相関において身体の揺れが増加することを見いだしている。また、加速度記録計による評価では、典型的には30秒間といった短い時間の間、ヘッドホン型の計測機器を頭部に装着して直立しているだけで計測が行なえる。さらには、計測そのものが被験者に与える負荷が極めて軽いことや、屋内であれば、ほとんど場所を選ばず実施できることから、ヒューマンインタフェース機器研究開発の初期段階において、気軽に利用することのできる疲労感評価手法として期待が持たれている。

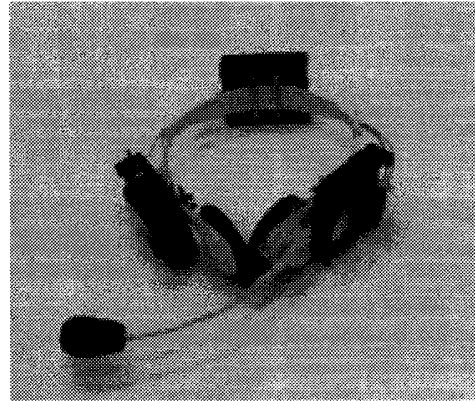


図1 ヘッドセット型加速度計測・記録デバイス

### 2. ヘッドセット型微小加速度記録計

図1にヘッドセット型微小加速度記録計を示す。ヘッドセットの頭頂部には、2軸加速度センサ(ADXL202E)が、測定軸が地面と平行になるような配置にて設置されており、装着者の前後方向及び左右方向への微小な加速度を計測する。加速度センサからの信号はアナログ増幅器等を経て小型マイクロプロセッサに内蔵されたA/D変換器により数値化された後、ヘッドセット上に設置されたフラッシュメモリチップ(1Mbit)に毎秒100サンプルの速度で記録される。また、図1の右側(装着者にとっては左耳部分)には、計測の開始と終了を音響にて知らせるスピーカーが装着されており、反対側(右耳部分)には重量バランスをとる意味でバッテリーが電源スイッチとともに装着されている。

ヘッドセットの総重量は195グラムであり、短時間の使用であれば、ほぼ利用者にとって気にならない重量となっている。また、測定におけるノイズは頭部装着時の典型的な加速度信号(約20ミリG程度以上)強度に対して十分小さい値であった。ここで、加速度信号には、頭頂部に設置された加速度センサの感度軸を含む平面が地面となす角度が頭頂部の運動(揺れ)によって変化することで、重力加速度に起因する成分が含まれることになるが、文献[1]にて報告したように、単位時間あたりの加速度変化量を2次元平面上にて時間積分することによる、加速度軌跡長なる量を導入することにより、利用者の身体状況に呼応した数値出力が可能であることが示されている。加速度軌跡長による評価では、装着者が30秒間、閉眼あるいは開眼の状態にて直立しているという条件にて計測を行っているが、様々な被験者に対し実験を行ったところ、(1)健康者については開眼時と閉眼時で、大きく測定値が変化することはない、(2)開眼にて計測を行った場合、周囲で物や人が移動することで、これにつられて頭部が動いてしまう場合が多々

†東洋大学工学部コンピュータショナル工学科  
Dept. of Computational Science & Engineering, Toyo University

見られ、安定した測定が難しくなる、といった結果が得られたことから、今回の実験では、閉眼時についてのみ加速度軌跡長の計測を行うこととした。尚、今回実験を実施した被験者については、疲労感のない状況での加速度軌跡長は約 40 (任意単位) であり、下限は 30、上限 (安静時) 約 60 といった数値が得られている。

### 3. 運動負荷応答実験

加速度軌跡長については、以前の実験により装着者の疲労状況を反映している可能性が示唆されているが、依然として本当は何が計測されているのかという根本的な疑問への確かな回答とはなっていない。すなわち、疲労感を作り出している原因とされているのは、睡眠不足や長時間の会議といった、やや定量化するには難がある事象となっていた。そこで、今回の実験では、人為的に定量性のある疲労状況を作り出し、心拍数といった生理学上のパラメータとともに観察することで、加速度記録計が疲労度を計測していることに対する確証を得ることを考えた。

ここで、実験は以下のような手順において実施した：

(1) 運動負荷を課す前に、それぞれ 30 秒程度の間隔を置きながら、心拍数 (30 秒間) 並びに、加速度軌跡長 (30 秒間・閉眼) の計測を 3 回繰り返し、その結果を安静時のデータとして記録する。

(2) 連続 5 分間に渡り、できる限り一定の運動強度にて被験者に運動負荷を与える。今回は、事前に何回か被験者に試してもらった上で、平地を 5 分間ジョギングする運動を選択している。

(3) 運動終了直後を時間起点として、1 分間毎に心拍数、加速度軌跡長の計測を繰り返す。ここで、計測中には被験者は立ったままの姿勢を維持してもらい、「座る一立つ」の運動を行うことによる新たな運動負荷や血流状況変化等の影響をできる限り排除した。尚、運動終了直後より起算して 15 分間に渡り、計測を実施した。

実験では、初期疲労量に対する変化を観測する意味合いで、同じ日のうちの午前中及び、その日の作業により疲労感がピークに達し始める夕方以降の 2 つの時間帯にて運動負荷応答実験を実施している。図 2 は、まだ疲労感が少ない午前中に計測を行った結果であり、図 3 は疲労感が高まる夕方以降に対する結果である。

### 4. 実験結果の考察とまとめ

図 2 及び図 3 では、運動終了直後より加速度軌跡長が時間と共に単調に減少しており、計測時における呼吸の乱れに伴うアーチファクトの介在についても、心拍数が安定した後も加速度軌跡長において時間と共に減衰していく様子が明確に観測されていることから、ほぼ考慮に入れなくとも良いレベルであったことが推察される。この結果、加速度軌跡長評価では、身体の疲労状況と強い相関関係にあるパラメータを計測している可能性が高いと思われる。また、夕方における疲労感が元々ある状況下での計測では、心拍数が落ち着いた後も安静時の軌跡長になかなか戻らない様子が見られ、心拍数の変化を観察するだけでは分からない何らかの生理学的な変化をヘッドセット型微小加速度記録計が観測している可能性が併せて示唆された。また、運動負荷応答実験を様々な被験者に対し適用したところ、運動終了直後より加速度軌跡長が時間とともに単調減少してい

く現象が同様に観測された他、日頃の運動履歴の違いによって異なる時間推移が見られることから、今後はより多くの被験者に対し本研究による手法を適用し、手軽に、かつ客観的に疲労度を評価する手法として確立させていくことを目指していきたい。

### 参考文献

[1] S.Matsushita et al.:"A Wearable Sense of Balance Monitoring System towards Daily Health Care Monitoring", Proc. of ISWC 2003, pp.176-183, 2003 (New York).

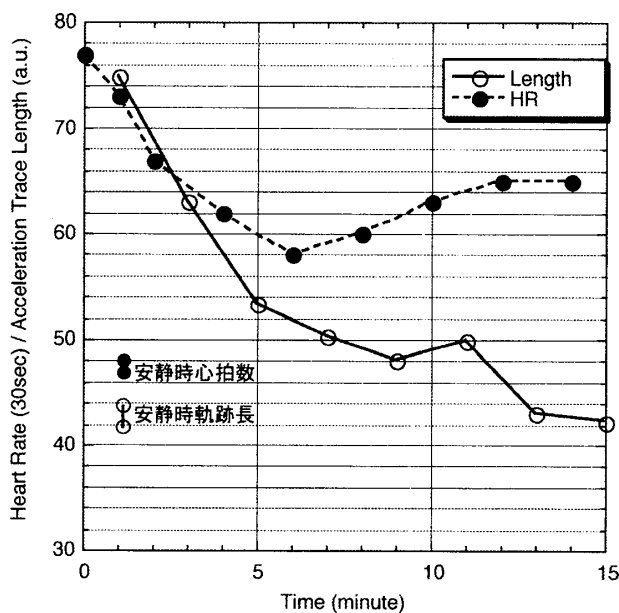


図 2 疲労感の少ない午前中における運動負荷応答

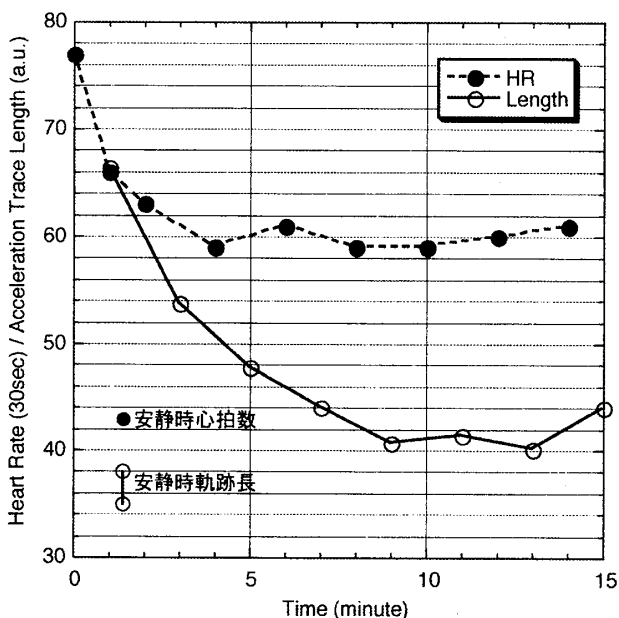


図 3 疲労感の高まる夕方以降における運動負荷応答