

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 6 日現在

機関番号：34315

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2010～2012

課題番号：22500193

研究課題名（和文） 心の健康維持のための Emotional Fitness の実践と検証

研究課題名（英文） Practice and Verification of Emotional Fitness for Mental Health Maintenance

研究代表者

亀井 且有 (KAMEI KATSUARI)

立命館大学・情報理工学部・教授

研究者番号：20161234

研究成果の概要（和文）：

本研究では、心の健康維持のための運動である Emotional Fitness における走者個々の最適な運動強度を決定するため、心拍数から無酸素性作業閾値（AT）を推定するニューラルネットワークモデルを構築し、AT を用いた最適運動強度の概数を示した。また、走者の音楽聴取による心拍数の上昇・下降変化モデルを構築し、ファジィ制御により運動中に聴取する音楽を切り替えることにより走者の心拍数をリアルタイムで制御するシステムを開発した。

研究成果の概要（英文）：

In order to determine the most appropriate exercise intensity for each runner in Emotional Fitness (EF), a neural network model was proposed to estimate the anaerobic threshold (AT) based on heart rates of him/her and showed an approximate exercise intensity for EF using AT. Furthermore, a heart rate change model of runners listening music was proposed and a real time heart rate control system was developed using the above model and fuzzy control by switching the music listening during running.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	1,500,000	450,000	1,950,000
2011 年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2012 年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学、感性情報学・ソフトコンピューティング

キーワード：感性情報・ソフトコンピューティング・ストレス・コルチゾール濃度・心拍数・無酸素性作業閾値・ファジィ制御

1. 研究開始当初の背景

(1) 近年職場環境や人間関係などの影響で慢性的ストレスに晒され精神的な問題を抱えている人が多いと言われており手軽な自己療法でストレスを緩和する方法が望まれている。

(2) メタボリックシンドロームを代表とする生活習慣病の予防のために日常的な運動が望まれる。しかしながら運動が辛い・単調・面白くないなどの理由にその継続が容易でないと指摘される中気持ちよく楽しい運動方法が望まれている。

(3) 野外運動の場合心拍の制御は意識的に
行われるがこれはストレスの原因ともなる。
楽しく自然で無理のない心拍の制御システ
ムが望まれている。

2. 研究の目的

体力増強や減量など身体健康維持のため
の運動である Physical Fitness あるいはエ
クササイズは一般的に運動の気持ちよさ・喜
びといった人の感性を無視し運動強度ある
いは消費カロリーに焦点を当てて行われる
ため運動が継続されないという問題が指摘
されている。本研究では Physical Fitness
に対して運動後の気持ちよさやストレスの
緩和といった心や精神の健康維持のため
に行う運動である Emotional Fitness を提唱し
その実践を通して有効性を検証した。

3. 研究の方法

(1) 無酸素性作業閾値 (AT) 算出アルゴ
リズム

図1のような漸増運動より得られた心拍数
データより AT を算出するモデルを構築した。
図1より v と HR^2 の関係は式(1)で示される
シグモイド関数で近似できると考えられる。
心拍数が急に上昇する前後2つの回帰直線の
交点から AT を求める。

$$HR^2(v) = \frac{b}{1 + e^{a(v-c)}} + d \quad (1)$$

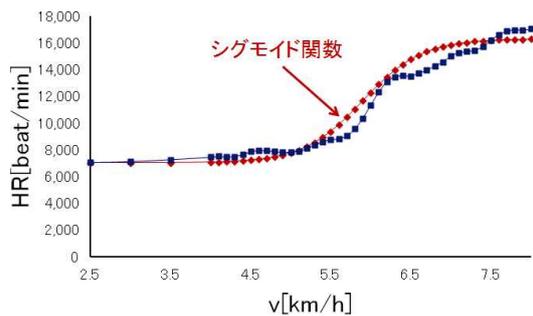


図1 漸増運動時の心拍数

HR^2 の傾きが最大傾斜となる v^* を求め、式(1)
において $c=v^*$ とする。また、式(1)における
 d を安静時心拍数とする。図2に v と HR^2 の
変化の一例を示す。

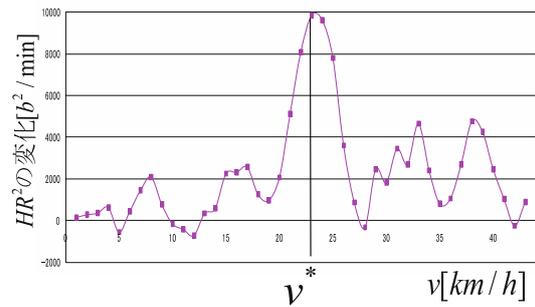


図2 v と HR^2 の変化の一例

式(1)より b を求めるためには定数 a が必要
であるために、 v^* を含む前後2点 v_1 および v_2
を式(2)に代入し、 $error=b_2-b_1$ を計算する。
式(3)より誤差 $error$ が最小となる a を数値解
析的に求める。さらに式(4)より b を求める。

$$b = HR^2(v)(1 + e^{a(v-c)}) \quad (2)$$

$$error = HR^2(v_2)(1 + e^{a(v_2-c)}) - HR^2(v_1)(1 + e^{a(v_1-c)}) \quad (3)$$

$$b = (HR^2(v^*) - d)(1 + e^{a(v^*-c)}) \quad (4)$$

式(1)より v^* におけるシグモイド関数の傾き
 g は式(5)で与えられる。

$$g = \frac{ab}{4} \quad (5)$$

点 $(v^*, HR^2(v^*))$ を通る傾き g の直線 L_1 を計
算する。図3に直線 L_1 を示す。また、図3にお
ける誤差 E_1+E_2 が最小となる直線 L_2 を数値解
析的に求め、直線 L_1 との交点における HR^2
を AT^2 とする。

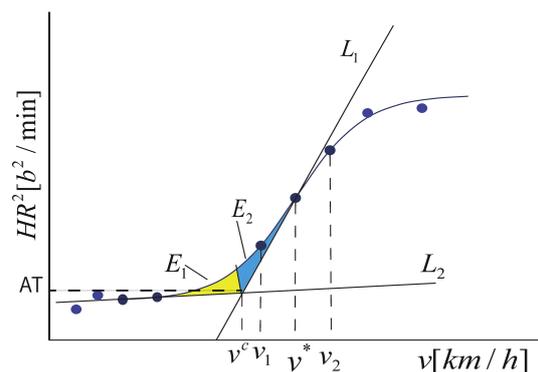


図3 AT 推定法

(2) ニューラルネットワーク (NN) による AT
推定モデルの構築

走行実験で得られた95個のデータを用いて、
学習データとテストデータに分け、NN構築を
行った。学習率は0.05、中間層の関数にシグ

モイド関数を用いて構築を行った。入力は安静時心拍数、時速 4[km/h]時の心拍数、時速 8[km/h]時の心拍数、運動が好きかどうか、とした。また、出力は AT とした。NN は SPICE-NEURO Version2.0(2010)を用いた。図 4 に Spice-Neuro の実行画面を示す。

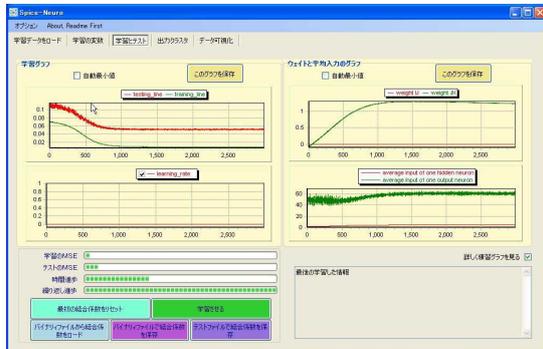


図 4 Spice-Neuro の実行画面

ニューラルネットワークにより推定された AT と実験により得られた AT の関係を図 5 に示す。図 5 より AT が正しく推定されていることがわかる。

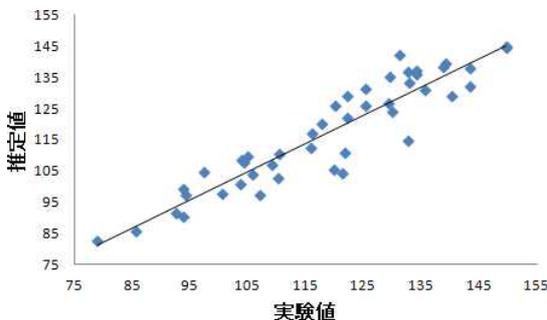


図 5 実験値と推定値の AT の相関

(3) AT を用いた最適運動強度

走者の運動後のストレスが最小となる最適運動強度を AT にもとづいて推定した。トレッドミルを用いて 8名の被験者に各個人の AT の 80%、100%、120%の目標運動強度で計 3 回の走行実験を行った。まず、閉眼座位安静を 5 分間した後、ウォームアップを 5 分間行った。次に、4[km/h] から 1 分ごとに速度を 1.0[km/h]ずつ上げ、目標運動強度の誤差 5% の範囲に入ってから 30 分間走行した。走行中目標運動強度から外れた場合、走行速度を 0.5[km/h]ずつ加減速することにより、被験者の心拍数を目標運動強度誤差範囲に保つ

た。その後クールダウンを行い、閉眼座位安静をしながら、0, 10, 20, 30, 40, 50, 60 分のときにストレス計測を行った。計測項目は心拍数、唾液中コルチゾール濃度、快適度のための二次元気分尺度とした。唾液中コルチゾール濃度については分析中であるが、その他の指標から AT の 80%が 3 指標の中では最もストレスが低いことが明らかとなった。

(4) 聴取楽曲切り替えによる運動中心拍数のリアルタイムファジィ制御

被験者ごとに、楽曲に合わせて運動した際の心拍数をもとに、心拍変化モデルを 2 種類作成した。一つは、楽曲を Slow から Medium (式(6))、Slow から Fast (式(7))、Medium から Fast (式(8)) に切り替えたときの心拍数の上昇変化を表したものである。一方のモデルは、楽曲を Medium から Slow (式(9))、Fast から Slow (式(10))、Fast から Medium (式(11)) に切り替えたときの心拍数の下降変化を表したものがあ

$$h_t = \begin{cases} -6t^3 \times 10^{-11} + 4t^4 \times 10^{-8} - 4t^3 \times 10^{-7} - 0.0029t^2 + 0.5292t + h_s & (t < 165) \\ 5.7177 \log et + h_s & (t \geq 165) \end{cases} \quad (6)$$

$$h_t = \begin{cases} t^4 \times 10^{-8} - t^3 \times 10^{-5} + 0.0027t^2 - 0.31t + h_s & (t < 210) \\ -4.079 \log et + h_s & (t \geq 210) \end{cases} \quad (7)$$

$$h_t = \begin{cases} 2t^5 \times 10^{-10} - 2t^4 \times 10^{-7} + 6t^3 \times 10^{-5} - 0.0088t^2 - 0.6286t + h_s & (t < 210) \\ 3.2009 \log et + h_s & (t \geq 210) \end{cases} \quad (8)$$

$$h_t = \begin{cases} -t^4 \times 10^{-8} + t^3 \times 10^{-5} - 0.0046t^2 - 0.7489t + h_s & (t < 210) \\ 9.8525 \log et + h_s & (t \geq 210) \end{cases} \quad (9)$$

$$h_t = \begin{cases} -5t^3 \times 10^{-6} - 0.0028t^2 - 0.549t + h_s & (t < 200) \\ -9.775 \log et + h_s & (t \geq 200) \end{cases} \quad (10)$$

$$h_t = \begin{cases} 7t^4 \times 10^{-9} - 5t^3 \times 10^{-6} - 0.0016t^2 - 0.2441t + h_s & (t < 180) \\ -4.135 \log et + h_s & (t \geq 180) \end{cases} \quad (11)$$

楽曲切替のファジィルールを表 1 に示す。ただし、E は目標心拍数との誤差、 ΔE は誤差変化を表す。

表 1 心拍制御のためのファジィルール

E \ ΔE	NB	NS	ZO	PS	PB
NB	+2	+2	+2	+1	0
NS	+2	+2	+1	0	-1
ZO	+2	+1	0	-1	-2
PS	+1	0	-1	-2	-2
PB	0	-1	-2	-2	-2

心拍変化モデルを用いたシミュレーション結果を図 6 に示す。

心拍数のリアルタイムファジィ制御のための楽曲選択システムは、心拍計、数字認識ソフト、楽曲選択再生ソフトの 3 つで構成され

ている。この心拍計と Web カメラを図 7 に示すように治具で固定し、Web カメラで撮影した画像から、心拍数を数字認識ソフトで認識し、PC に取り込む。PC に取り込んだ心拍数にもとづいて楽曲が選択・再生される。

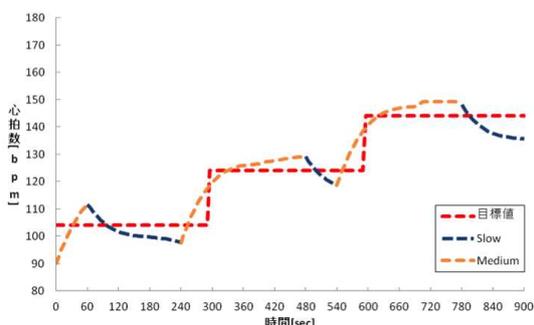


図 6 心拍制御のシミュレーション結果



図 7 心拍計と Web カメラの固定風景

心拍数のリアルタイムファジィ制御実験の結果の一例を図 8 に示す。

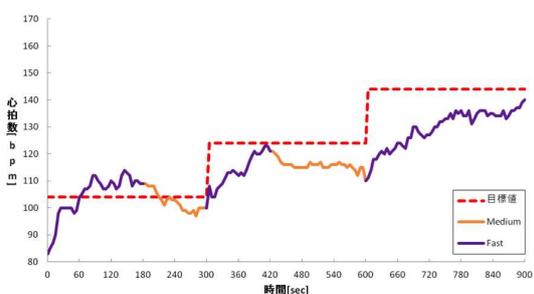


図 8 リアルタイムファジィ制御実験の結果の一例

4. 研究成果

(1) ニューラルネットワークによる心拍数からの AT 推定は図 5 に示したとおり、高い精度で推定が可能であることを確認することができた。

(2) EF のための最適運動強度については、概数ではあるが $AT \times 80\%$ を得ることができた。今後、多くの走行実験を通してこの概数を検証する必要がある。

(3) 音楽聴取による心拍のリアルタイムファジィ制御は図 8 に示すとおりである。心拍数が低い範囲では目標心拍数に対して制御できたものの、心拍数が中・高範囲では実際の心拍数を十分上げることができなかった。今後、実際の走行時の心拍数変化と心拍数変化モデルの誤差について詳細に検討する必要がある。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表] (計 5 件)

① 藤村佳史、クーパー・エリック、亀井且有

Emotional Fitness のための無酸素性作業閾値(AT)を用いた最適運動強度推定
ファジィシステムシンポジウム 2013
2013. 9. 9-11 (予定)
大阪国際大学 (大阪府)

② 原隆幸・亀井且有

音楽聴取による走者心拍数のファジィ制御
日本ファジィ学会第 22 回ソフトサイエンスワークショップ
2012. 3. 10
専修大学 (東京都)

③ 山添守史・平塚聡・串田淳一・亀井且有

Emotional Fitness のための心拍数を用いた無酸素性作業閾値(AT)のニューラルネットワークモデルの提案
ファジィシステムシンポジウム 2011
2011. 9. 12
福井大学 (福井県)

④ 山添守史・串田淳一・亀井且有

Emotional Fitness のための加速度脈波を用いた運動後爽快感指標の提案
ファジィシステムシンポジウム 2010
2010. 9. 13
広島大学 (広島県)

⑤ 原隆幸・串田淳一・亀井且有

Emotional Fitness のための音楽聴取による運動強度制御
ファジィシステムシンポジウム 2010
2010. 9. 13
広島大学 (広島県)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

亀井 且有 (KAMEI KATSUARI)
立命館大学・情報理工学部・教授
研究者番号：20161234