

体感型マラソン中継システムにおける 運動負荷再現のための一手法

A new approach to personalize work load for realistic sports casting

野間 春生 磯野 真介 宮里 勉

Haruo Noma Shinsuke Isono Tsutomu Miyasato

A T R 知能映像通信研究所所属

ATR Media Integration & Communications Research Labs.

〒619-0288 京都府相楽郡精華町、noma@mic.atr.co.jp

Abstract: Recent sportscasting on TV has become the most popular program. We have been studying new method for realistic sportscast based on player position that means all what sports player is feeling. As our concept, the goal system could allow views to feel as if they are replaying as their favorite professional players on TV. We focused on the marathon on the prototype and, in this paper, we introduced the method to broadcast how pro-player get tired. Using pulse rate of player and viewer (replayer), our method adjust running speed of the viewer and give them same amount of work load as a pro-player who is replayed.

Key Words: Multimodal display, Motion tracking, Sportscast, Locomotion Interface

1. はじめに

スポーツを楽しむアプローチとして「自分で競技する」方法と「他人の行う競技を観戦する」方法がある。後者のスポーツを見て応援するアプローチでは、視聴者の立場は選手に対して完全に第三者的な立場になってしまうため、視聴者には選手自身の運動の感覚や競技の楽しさが十分に伝わり難いのではないかと我々は考えた。そこで、我々は見ただけでは伝わり難い「するスポーツの楽しさ」を伝える放送方式として体感型スポーツ中継を提案してきた。究極的には、選手の見聞きしているものあるいは運動の感覚といった、選手の感じている全ての感覚情報を競技場から家庭に中継し、VR技術によって視聴者に選手の感覚を「追体験」させ、選手の立場での運動の感覚や競技の楽しさを伝える新しい観戦方法となることを期待している。

もちろん、選手の受ける感覚情報はスポーツによって様々であり、あらゆる競技に応用可能な再現系を実装することは現状では困難である。そこで競技を運動の種類が少なく、比較的動作が安定しているマラソンを対象に、試作体感型マラソン中継システムによって提案手法の可能性を研究してきた。^[1] 図1に示す試作環境では、選手の視点から見た映像を撮影するカメラを選手の頭部に装着し、その映像と選手の走行位置や走行速度などの情報を付加して家庭に放送する中継側の環境と、さらに、家庭側として移動感覚生成装置 ATLAS^[2]と大型スクリーンからなる再生側の環境を実現した。これまでにこの試作環境での実験で、被験者が従来の中継に比してより積極的にレースを体感した印象を得ていたことが分かった^[3]。

ここでは、視聴者に中継を体感させるため、選手の走行速度に同期してATLASのベルトを動かし、視聴者はその上を受動的に走行していた。しかし、選手と視聴者の運動能力が異なれば各々が感じる苦しさや辛さも異なるであろう。そこで、本研究では選手の走行速度に一致して視聴者も走るのではなく、選手の競技中における疲労感や苦

しさ、辛さ、つまり疲労感を一致させるべきであると考え、運動負荷の制御によって実現する手法を提案する。

なお以降では、選手は自分の意思で自由に競技を行う観点から "Player" と、視聴者は再現される選手の感覚情報を追体験するので "Replayer" とそれぞれ呼称する。

2. 走行運動における運動負荷

本論文での目的は、運動の際にPlayerとReplayerの感じる疲労感を一致させるすることにある。一言で"疲労"といっても生理的・精神的に定義は多岐に渡り、そのものを直接に計測・制御することは一般に困難である。そこで、ここではその要因である運動負荷を介して制御する方式を提案する。運動負荷とはある人の運動の最大作業能力に対して、その人がどの程度の負荷の作業を行っているかを表す指標である。そして疲労感はある運動負荷で運動を継続することにより負荷が蓄積され強まると考える。つまりPlayerとReplayerの運動負荷を計測しそれを二者間で一致するよう運動量を制御すれば、結果的に疲労感の一致にもつながるのではないかと期待した。

2.1 運動負荷の定義と計測手段

体感型マラソン中継システムにおいて、Playerの感じた

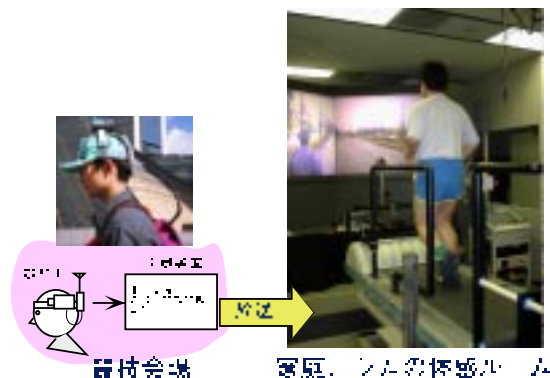


Fig.1 体感スポーツ中継のコンセプト

走行による運動負荷をReplayerに伝えるためには、主観的な感覚評価による運動負荷を一致させることが最も効果的と考えられる。運動を行っている者が認識する辛さを主観的に評価する方法として、BorgはRating of Perceived Exertion (RPE)の有効性を提唱した。^[6] RPEは、運動中に主観的に感じた6～20の段階の辛さ評価(表1)であり、今回の目的のような自動での測定には不向きであるが、生理学的な手法である酸素摂取量や心拍の変動と高い相関がある。^[4,5]

一方で、生理学的には酸素摂取量、血中乳酸濃度、心拍数などの指標によって自動的に運動負荷を計る方法もある。酸素摂取量は運動負荷の変動に対して鋭敏であり運動負荷を計測する適切な評価として用いられてきた。しかし酸素摂取量の計測は装置が大掛かりであり被験者に多大な負担を課すことになる。また、血中乳酸濃度も運動負荷を評価する大きな意味を持つが、運動終了後に最大値に達するなど運動に対する生理応答としては積算のような反応を示し、また血液採取を要するなど簡便性にかける。^[6] また、心拍数は酸素摂取量と相関が高く、比較的簡便に測れる。しかしながら心拍による運動の強度の判定は、緊張などのメンタルな影響^[7]や生体ゆらぎ、計測誤差等の運動負荷以外の要因により、必ずしも運動負荷とは一致しない側面もある。

2.2 脈拍による運動負荷の計測

これらの従来の運動負荷計測方法の優劣を考慮し、脈拍による運動負荷計測手段を実装したところ、良好な結果が得られた。脈拍は心拍動が末梢に至るまでのタイムラグや血管血路内部の伸縮等により若干の影響は受けるが、心拍との相関はかなり高く、また、計測は耳朵装着式の光学式センサーで簡易に行える。一方で、メンタルな要因の影響や揺らぎの問題は同様に残されているが、3.2章に提案する運動負荷一致手法では、体験中は速度要因のみで負荷を推定・再生する手法を用いており、厳密なりアルタイム性の必要ない本目的には採用可能であると判断した。

運動負荷(WL: Work Load)は、個人の最大運動負荷に対する現在の運動の負荷を表す指標であり、ここで導入した脈拍によるWL計算は心拍によるWL計算式^[5]を参考に、運動中の脈拍数、安静時の脈拍数、最高脈拍数をそれぞれ、PR(Pulse Rate)、PRrest、PRmaxとして、(1)式とした。

$$WL = \frac{PR - PR_{rest}}{PR_{max} - PR_{rest}} \times 100 \quad (1)$$

なお最高脈拍数を測定するには被験者に最大能力を発揮してもらう必要があるが、計測が危険を伴うことになる。

したがって一般に広く用いられる(220 - 年齢)の予測最高脈拍数を用いた。^[5]

2.3 主観的運動負荷との比較

脈拍から算出される運動負荷が主観的な辛さの指標であるRPEと相関が高いことを検証する実験を行った。被験者は22-35歳までの成人5名で、各被験者の運動能力によって3段階の速度で、6分間のトレッドミル走行を行ってもらい、走行終了前1分間に脈拍計測を行うとともに、RPEレーティング表(表1)に従って辛さの程度を数字で回答してもらった。運動負荷は脈拍の平均値から算出した。

図2に全被験者の運動負荷と主観的運動負荷の評価を示す。マーカーは被験者を示す。相関係数は0.869となり、トレッドミル走行では脈拍による運動負荷計測値は主観的な評価と比例関係が存在し、脈拍による運動負荷計算によって主観的な辛さを推定可能であることが分かった。

3. 運動負荷を一致させる速度負荷の制御手法

3.1 運動能力係数の定義と測定

個人ごとに運動能力は異なるために、同一の速度で走行しても安定時の脈拍は異なる。また、(1)式の運動負荷の定義からわかるように、同じ脈拍でも年齢に依存する最高脈拍数と安静時脈拍数によって運動負荷は変わる。そこで、まず運動負荷制御のために各個人の運動能力に依存する運動の強度と運動負荷の関係を調べた。

ここでは、被験者に8,10,12km/hの3段階の定速度でのトレッドミル運動を、各6分間一定速度で走行をさせ、脈拍の変動が安定する最後の一分間について脈拍数を計測し運動負荷を(1)式から算出した。また、同一被験者内での安定性確認のため、測定日を変えて同じ試験を3回行った。被験者は22-35歳までの健康な成人4名である。

図3は横軸を設定走行速度、縦軸を運動負荷として結果をプロットしたもので、紙面の都合上、4名の被験者のうち同一速度での運動負荷に最も誤差を生じた被験者Aの結果のみを示す。これより、最も誤差の多い被験者Aでも、計測日が異なっても走行速度が同じなら運動負荷はほぼ一意に定まることがわかる。なお2月14日の結果が2回目、3回目に測定した結果より同速度においてWLが10%以上高く測定されたが、被験者のコメントによれば当日の体調不良による影響と考えられる。また、運動負荷が100%を越えている結果については、被験者が日常的にランニングを行っており、実際の最高脈拍数がここで採用した年齢から算出する推定値より低いためと思われる。

2章の実験結果より、脈拍から算出される運動負荷と主観的な辛さの感覚が一致することが分かったため、さら

Table1 RPEの日本語レーティング表^[4]

レベル	RPE 数値	日本語説明
Very, very light	9-10	非常に軽い
Very light	11-12	軽い
Light	13-14	やや軽い
Somewhat hard	15-16	やや重い
Hard	17-18	重い
Very hard	19-20	非常に重い
Very, very hard	21-22	非常に非常に重い

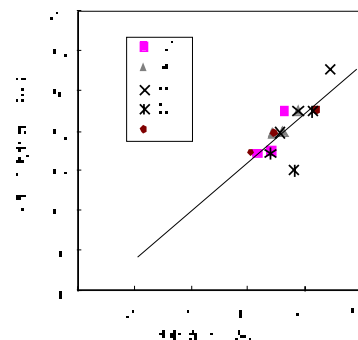


Fig. 2 脈拍による運動負荷とRPEの対応評価

に与える運動量の制御によって脈拍が制御できれば、意図的に辛さの感覚を一致させることができることになる。

Conconiテストなどの結果によれば、走行速度(RS)と心拍数(PR)には、我々が対象としているような軽いランニングのような中程度の負荷から激しく走る重度の負荷に至る間、走行速度と心拍数がほぼ比例して増加する区間があることが認められている。^[4,9] 従って運動中の脈拍と定数(最高脈拍数、安静脈拍数)から求められる(1)式のWLとRSの関係式にも線形な区間が現れる。この傾向は図3に示すように今回の実験結果でも認められた。よって、(2)式のようにRSとWLを一次回帰によって対応付けできる特性直線が定義できる。

$$WL = aRS + b \quad (2)$$

ここでa, bはRSからWLを求める係数で個人毎の特徴を表す定数と見なせ、これらを事前に計測できれば、(2)式を用いて逆に任意の運動負荷を実現する走行速度を算出可能となる。この直線を被検者の運動能力の特性直線とし、a, bの係数を運動能力係数と呼称する。

まとめると、レッドミル上での一定速度での走行運動においては、主観的な辛さの感覚がここで提案した脈拍から算出される運動負荷と比例関係にあり、その関係を特性直線として個人化できることが分かった。

3.2 運動負荷の一致手法の提案

ここで特性直線を利用して、ReplayerとPlayerと運動負荷が一致するように、二者の運動能力の格差に応じてPlayerが走行した速度を変換する手法を提案する。以降では、Playerの速度を「仮想速度」、Replayerが実際に走行する変換された速度を「実速度」と呼ぶ。

二者間での運動負荷を一致させるような走行速度変換手法は二つ考えられる。一つはReplayerの追体験走行中にPlayerの運動負荷を制御目標として、Replayerの運動負荷を脈拍によってリアルタイム計測し、この運動負荷によるフィードバックで実速度を制御する方法である。二つ目はPlayerの走行速度と、事前計測しておいた運動能力係数から、(2)式により運動負荷を推定しPlayerの走行速度から、同じ運動負荷をかけるReplayerの実速度を逆算する方法である。こ

前者のフィードバック方式ではPlayerの運動負荷とReplayerの運動負荷の差分によって実速度を得るが、脈拍の変化を連続的に見ると脈拍センサーの計測誤差等の運動負荷以外の要因による変動が大きく、系が不安定となりやすい。後者の手法ならば、あらかじめ安定して特性を

計測しておけば、競技中の揺らぎや精神的な要因に伴う変動の影響は受けない。そこでここでは後者の走行速度による速度設定法を用いることとした。その方法を以下に示す。

まず、PlayerとReplayerの走行速度と運動負荷の関係を示す式を(3)式とする。なお添え字P,RはPlayer、および、Replayerの変数であることを示す。この関係を図4に図示する。

$$\left. \begin{aligned} WL_P &= a_P RS_P + b_P \\ WL_R &= a_R RS_R + b_R \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

ここで、運動負荷の一致が条件なので

$$WL_P = WL_R \quad (4)$$

となる。よって(3)式を(4)に代入し変形すると

$$RS_R = \frac{a_P RS_P + b_P - b_R}{a_R} \quad (5)$$

が得られる。

あらかじめPlayerとReplayerの運動能力係数を得れば、競技中のPlayerの走行速度RS_Pと(5)式よりReplayerとPlayerの運動負荷と一致するReplayerの走行速度RS_Rを算出することができる。

3.3 有効性評価実験

提案した速度変換による運動負荷一致手法の有効性を確認した。ここでは運動能力の異なる被験者間で、速度変換による運動負荷の変化から提案手法の有効性を判断する。

まず、3.1節での実験方法によって被験者5名の運動能力係数を測定し、被験者を12km/hで走行した時の運動負荷が低い順から3名(D,U,H)のグループ1と、運動負荷が高かった2名(M,A)のグループ2に分けた。

ここで、実験1として運動負荷の低かったグループ1に、運動負荷の最も高かった被験者AをPlayerに見たててReplayerとして走行させる。つまり被験者D,U,Hは試験者Aの仮想速度よりもより速い実速度で走行することになる。実験2として運動負荷の高かったグループ2に、運動負荷の最も低かった被験者DをPlayerに見たて、実験1と同様に走行させる。つまり被験者M,Aは被験者Dの仮想速度よりも遅い実速度で走行することになる。

走行速度の変換は3.2節で提案した(5)式による。実験1

*被験者Aについては、2/18の計測時に走行速度を変更した。

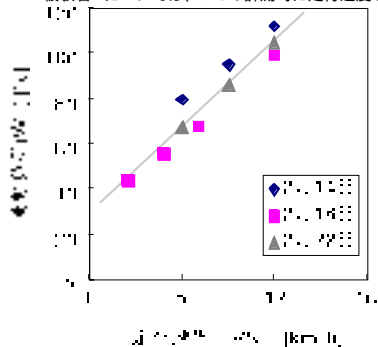


Fig.3 走行速度と運動負荷の関係

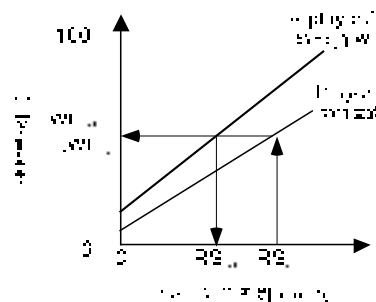


Fig. 4 運動負荷一致化手法

Table2 運動負荷一致のための速度変換結果

実験1			
Player	仮想速度 [km/h]	Replayer	実速度 [km/h]
Player	8.0	9.0	10.0
D	10.2	12.2	14.1
U	9.1	10.7	12.3
H	8.9	10.4	11.8
実験2			
Player	仮想速度 [km/h]	Replayer	実速度 [km/h]
Player	8.0	10.0	12.0
M	7.5	8.5	9.5
A	6.8	7.8	8.9

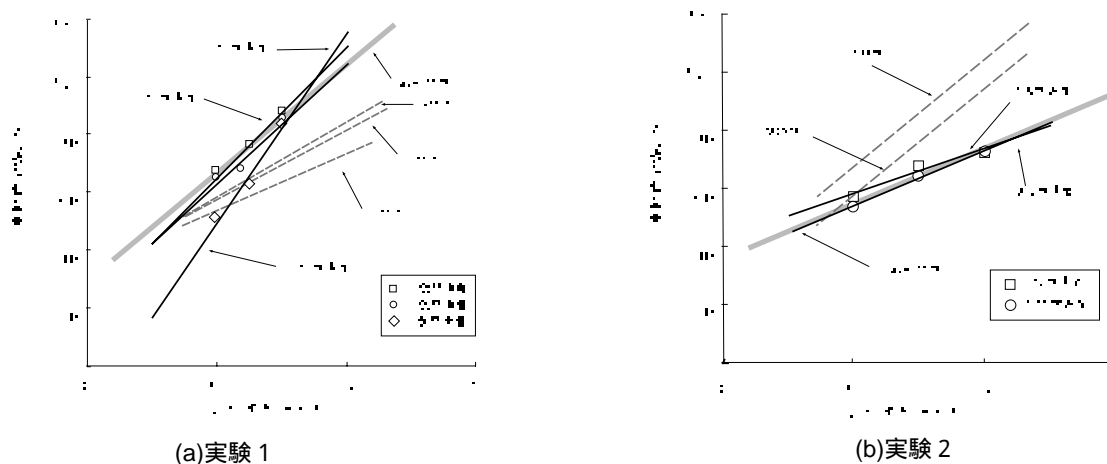


Fig.5 走行速度変換による運動負荷一致実験結果

ではPlayerが8,9,10km/hの仮想速度で走った状況を想定してReplayerの実速度を算出し、実験2ではPlayerの8,10,12km/hの仮想速度で走った状況でのReplayerの実速度を算出する(表2)。これらの速度について、3.1節での実験と同様に、水平なトレッドミル上で6分間の一定速度走行を行わせ、各試行の最後の一分間での脈拍の測定を行い、(1)式に従って運動負荷を算出する。

実験1の結果を図5-aに、実験2の結果を図5-bに示す。マーカーは各被験者の提案手法による運動負荷の結果を示す。なお、これらは対象playerの仮想速度を横軸として表示している。直線はそれぞれの結果を一次回帰した特性直線を表し、実線は提案手法によって変換された実速度で走った時の結果を、灰太線と灰破線は事前に計測したPlayerと各被験者の固有の運動能力を示す。

この結果より、グループ1の被験者(U)を除く(D,H)及びグループ2の2名(A,M)は速度変換を行うことで実線で表される各々の運動負荷がPlayerの運動負荷(灰太線)に近づいたことが確認できる。一方で、被験者(U)だけは運動負荷がPlayerに比べ仮想速度8km/hと9km/hの時に15%程度低くなるという結果を示し、実質的にはPlayerよりも軽度の運動になってしまった。被験者(U)のコメントによれば、事前に行った運動負荷特性の測定時よりも本実験の実施日の体調が優良であったようで、そのために運動負荷が低い値を示したと推察できる。

このように事前に測定した運動能力係数は被験者の体調などによる体調変動等の理由により、目標とした運動負荷に完全には一致しなかった。しかし、5名中4名がPlayerの運動負荷とほぼ一致したことから、事前にReplayerの運動能力係数を正確に計測できるならば、本手法は運動負荷を一致させる手法として効果があるといえる。従って、2章で確認した主観的な辛さの評価と運動負荷の良好な一致性から考慮するならば、われわれの目的である体感スポーツに中継において、ここで提案した個人の運動能力を特性直線で同定し、それによって走行速度を変換して運動負荷を一致させる手法で競技時の選手が感じている辛さの感覚を視聴者に伝達する提案手法が有効であると考えられる。

4. まとめと展開

体感型マラソン中継における選手(Player)と視聴者(Replayer)の運動の辛さ感覚を一致させる事を目指し、脈拍計測による運動負荷推定結果を用いてReplayerとPlayer

の運動負荷が一致するようにReplayerの走行速度を変換する手法を提案した。実験結果から、トレッドミル上での一定速度での走行運動においては、主観的な辛さの感覚がここで採用した脈拍から算出される運動負荷と比例関係にある点、および、提案した走行速度変換法によりReplayerの運動負荷をPlayerの運動負荷に近づけられる点を確認した。これらより提案手法によって走行速度を調整し両者の運動負荷を一致させれば、PlayerとReplayerの主観的な辛さの感覚も一致させる事が可能であることが期待される。今後、この手法を実際のレース中継データに適用し、辛さ疲労の感覚が選手と視聴者で一致することを確認する。

なお、実験の結果では目標とした運動負荷に完全には一致せず、大きく外れる被験者が1名存在した。したがって今後、運動能力係数の測定を簡略化し、その日の体調に合わせたインスタントな測定方法を実現する。

また、今回は運動負荷を求めるために必要な最高脈拍数を(220-年齢)という単純計算により代用したが、3.1節の実験結果にあるように実際の能力との誤差の影響も認められた。運動負荷と主観的運動負荷の相関性をより高めるために、最高脈拍数を正確かつ簡易的に計測する手法についても検討する。

参考文献

- [1]小菅拓、野間春生、宮里勉：選手の視野に着目した体感型スポーツ中継の検討，第2回ヒューマンインタフェース学会研究会「人工現実感」，1999
- [2]野間、宮里、中津，“能動的歩行動作に対応した歩行感覚提示装置の開発”，日本VR学会論文誌，Vol.4，No.2，pp.407-416，1999
- [3]杉原、野間、宮里、川合，“競技者の印象を用いた仮想マラソンの評価”，ヒューマンインタフェースシンポジウム2000予稿集，2000
- [4]小野寺孝一，宮下充正：全身持久性運動における主観的強度と客観的強度の対応性，体育学研究21巻4号，pp.191-203，1976
- [5]山地啓司：Perceived HRのトレーニング前後に見られるECG HRとPerceived HRとの比較に関する研究，富山大学教育学部紀要B，No.40，pp.49-61，1991
- [6]Peter Sch_rch：スポーツ能力診断 - 理論と実際 - pp.5-32，オーム社，1991
- [7]大須賀美恵子：精神緊張度モニタの開発，計測自動学会論文集，Vol.28，No.8，pp.910-915，1992
- [8]Borg G.，A.V.：Psychophysical bases of perceived exertion. Med. Sci. Sports Exerc. 14：pp.377-381，1982
- [9]山地啓司，田中佐和子，北川鉄人：Conconiテストにおける心拍作業閾値(HRT)，Deflection Velocity(Vd)，HRmaxとランニング持続時間の意義，JJBSE，Vol.1，No.3，pp.228-236，1997