

卒 業 研 究 論 文

2022 年度

題 目

陸上競技の長距離種目における
最適な練習組合せ

英文題目

指導教員 池辺 淑子准教授, 西田 優樹助教

氏 名 照永 詩恩

学籍番号 4619060

東京理科大学 工学部 情報工学科

卒業論文要旨

今日、学生や一般市民が多くのスポーツ競技に参加している。その中で経験豊富な指導者の指導が受けられる人は少ない。経験豊富な指導者の指導が受けられない場合は、本人自らが練習メニューを決めなければならない一方で試合で良い結果を出すためには、適切な量と質の練習を行う必要がある。一般的に強度が高い練習を継続していくほど疲労は蓄積し、試合で満足のいく結果が出せなくなってしまう。逆に、強度の低い練習ばかり実施したり全く練習をしなかったりすると競技力の不足によって同じく試合で満足のいく結果が出せなくなる。このように試合で良い結果を出すためのトレーニングメニューの調整をするのが容易ではない。トレーニングに関する理論として1970年から1990年代にかけてBanistaerを中心とした研究グループによってフィットネス、疲労、パフォーマンスを数理モデル化したフィットネス疲労理論というものが存在する[1]。フィットネス疲労理論[1]はトレーニングをすると身体にプラスなフィットネスと身体にマイナスな疲労の2要素が引き起こされ両者の和をとるとパフォーマンスが算出されるという考え方に基づく理論である。本研究では、陸上競技の長距離種目を例にフィットネス疲労理論[1]を用いて走力を向上させるためにパフォーマンスを低下させずにフィットネスを向上させると事を目的に最適なトレーニングメニューの作成を定式化し、出力された練習メニューを実施して実際に行われた試合にどのような影響が出たのかを検証した。

Abstract

Translate your abstract into English

目次

第1章	はじめに	1
第2章	問題設定	2
2.1	フィットネス, 疲労, パフォーマンス	2
2.2	トレーニング負荷	2
第3章	定式化	5
3.1	フィットネス, 疲労, パフォーマンス	5
3.2	記号の定義	6
3.3	陸上競技の長距離種目における最適なトレーニングメニューを求める定式化	6
第4章	数値実験	8
4.1	設定	8
4.2	定式化	9
4.3	実行環境及び計算計測時間	10
4.4	結果	11
第5章	考察	12
第6章	まとめと今後の課題	13

表 目 次

2.1	1km あたりのペースとランニング係数	3
2.2	路面係数	3
2.3	天候係数	4
3.1	各時刻におけるフィットネス関数	5
4.1	実施するトレーニングメニュー	8
4.2	出力されたメニュー	11

第1章 はじめに

今日，学生や一般市民が多くスポーツ競技に参加している．その中で経験豊富な指導者の指導が受けられる人は少ない．経験豊富な指導者の指導が受けられない場合は，本人自らが練習メニューを決めなければならない一方で試合で良い結果を出すためには，適切な量と質の練習を行う必要がある．一般的には，強度が高い練習を継続していくほど疲労は蓄積し，試合で満足いく結果が出せなくなってしまう．逆に，強度の低い練習ばかり実施したり全く練習をしなかったりすると競技力の不足により同じく試合で満足いく結果が出せなくなる．このようにトレーニングメニューの調整をするのが容易ではない．トレーニングに関する理論として1970年から1990年代にかけてBanisterを中心とした研究グループによってフィットネス，疲労，パフォーマンスを数理モデル化したフィットネス疲労理論というものが存在する[1]．フィットネス疲労理論[1]は，トレーニングをすると身体にプラスなフィットネスと身体にマイナスな疲労の2要素が引き起こされ両者の和をとるとパフォーマンスが算出されるという考え方に基づく理論である．本研究では，陸上競技の長距離種目を例にフィットネス疲労理論[1]を用いて最適なトレーニングメニューの作成を定式化する．

第2章 問題設定

本研究ではフィットネス疲労理論 [1] を用いて陸上競技長距離種目を例にパフォーマンスを低下させずにフィットネスを向上させて走力を向上させる目的とする.

2.1 フィットネス, 疲労, パフォーマンス

フィットネス疲労理論 [1] は, 数式で表すと時刻 t において投与されたインプット $w(t)$ のトレーニング負荷は, 正の効果をもたらすフィットネス $g(t)$ と, 負の効果をもたらす疲労 $h(t)$ が拮抗して生体応答を引き起こし, 両者の和としてパフォーマンス $p(t)$ がアウトプットされるというものである. 時刻 t におけるトレーニング負荷関数 $w(t)$ は競技によって異なるが, フィットネスと疲労を表す関数 $g(t), h(t), p(t)$ は以下のとおりである.

$$g(t) = w(t) + g(t-i)e^{-\frac{1}{\tau_1}} \quad (2.1)$$

$$h(t) = w(t) + h(t-i)e^{-\frac{1}{\tau_2}} \quad (2.2)$$

$$p(t) = k_1g(t) - k_2h(t) \quad (2.3)$$

ここで, τ_1, τ_2 はそれぞれフィットネスと疲労の時定数であり Banister が 1991 年に $\tau_1 = 45$, $\tau_2 = 15$ に設定すべきと提唱している [2]. 添字 i は t までのトレーニング期間であり通常は 1 日なので $i = 1$ である. 関数 $p(t)$ に現れる k_1, k_2 はそれぞれの重みづけ任意係数でありこちらも時定数同様 Banister がそれぞれ $k_1 = 1.0, k_2 = 2.0$ に設定することを提唱している [2].

2.2 トレーニング負荷

また, トレーニング負荷 $w(t)$ の算出方法はいくつかあるが本研究では, 対象とする陸上競技長距離種目とし以下のものとする.

$$w(t) = \text{ランニング強度 (au)} \times \text{距離 (km)} \times \text{路面係数} \times \text{天候係数} \quad (2.4)$$

それぞれの各係数については以下のとおりである。

ランニング強度係数

1kmあたりのペースによって値が定まり，速ければ速いほど値は大きくなる

路面係数

走る路面によってそれぞれ値が定められている．走る路面の種類にはトラック，ロード，グラウンドがある

天候係数

晴か雨なのか，また暑いのか涼しいのかによって値が定まるものである

これらの係数以下の表に示す．

表 2.1: 1kmあたりのペースとランニング係数

ペース (1km)	強度	ペース (1km)	強度
～5'00"	1.0	3'05～3'01"	8.5
4'59"～4'00"	1.5	3'00"～2'56"	10.0
3'59"～3'41"	3.0	2'55～2'51"	11.0
3'40"～3'33"	3.5	2'50"～2'46"	12.0
3'32"～3'29"	4.0	2'45～2'41"	16.0
3'28"～3'21"	4.5	2'40～2'36"	20.0
3'20"～5'00"	1.0	2'35"～	24.0
3'10"～3'06"	8.0		

表 2.2: 路面係数

路面	路面係数
トラック	1.00
ロード	1.10
グラウンド	1.25

表 2.3: 天候係数

天候	天候係数
晴れ・暑い	1.30
晴れ・涼しい	1.00
雨・暑い	1.35
雨・涼しい	1.10

これらの値については文献 [2] に記載されていたものを利用している.

第3章 定式化

陸上競技の長距離種目における，トレーニングメニュー作成問題定式化の最適化問題として定式化する．

3.1 フィットネス，疲労，パフォーマンス

トレーニング日を t 日としてフィットネス，疲労，パフォーマンスを表す関数 $g(t)$ ， $h(t)$ ， $p(t)$ を具体的に記述する．

まず，トレーニング開始時刻を1として t 日目のフィットネスの関数 $g(t)$ を求めていく．1日目から順に(2.1)式についてを整理し展開していったものの以下の表に示す．

表 3.1: 各時刻におけるフィットネス関数

時刻	フィットネス
1	$w(1)$
2	$w(2) + w(1)e^{-\frac{1}{45}}$
3	$w(3) + w(2)e^{-\frac{1}{45}} + w(1)e^{-\frac{2}{45}}$
\vdots	\vdots
t	$w(t) + w(t-1)e^{-\frac{1}{45}} + \cdots + w(1)e^{-\frac{t-1}{45}}$

表 3.1 より時刻 t におけるフィットネスの関数 $g(t)$ を整理すると，

$$g(t) = \sum_{i=1}^t w(i)e^{-\frac{t-i}{45}} \quad (3.1)$$

次に疲労であるがフィットネスと同じやり方で求められる．よって時刻 t における疲労の関数 $h(t)$ は以下のようになる．

$$h(t) = \sum_{i=1}^t w(i)e^{-\frac{t-i}{15}} \quad (3.2)$$

最後にパフォーマンスであるが (2.3) 式に $k_1 = 1$, $k_2 = 2$ を代入するだけである。よって時刻 t におけるパフォーマンスの関数 $p(t)$ は以下ようになる。

$$p(t) = g(t) - 2h(t) \quad (3.3)$$

3.2 記号の定義

定式化においては i 日目の第 j メニューについて、

A_{ij} : i 日目における第 j メニューのランニング強度

R_{ij} : i 日目における第 j メニューの路面係数

W_{ij} : i 日目における第 j メニューの天候係数

を定数にする。そして変数を、

x_{ij} : i 日目における第 j メニューを実施するか否か (バイナリ変数)

D_{ij} : i 日目のにおける第 j メニューの距離 (整数値)

と設定する。

3.3 陸上競技の長距離種目における最適なトレーニングメニューを求める定式化

トレーニング期間を全体で T 日とし、あらかじめ定める k 種類のメニューの中から各日 1 つを選択するものとする。設定した定数、変数を用いて定式化すると次のようになる。

$$\text{maximize} \quad \sum_{i=1}^T \left(\sum_{j=1}^k A_{ij} D_{ij} R_{ij} W_{ij} x_{ij} \right) e^{-\frac{T-i}{45}} \quad (3.4)$$

$$\text{subject to} \quad \sum_{j=1}^k x_{ij} \leq 1 \quad (i = 1, \dots, T) \quad (3.5)$$

$$p(i) \geq P \quad (i = i_1, \dots, i_s) \quad (3.6)$$

- (3.4) 式は目的関数である．フィットネスを最大化する
- (3.5) 式は各トレーニング日に高々1つのメニューに実施することを示している
- (3.6) 式は特定の i_k 日目にパフォーマンスがあらかじめ定める定義 P より下がらないことを示している

第4章 数値実験

4.1 設定

2022年12月5日に開催された試合に向けた11月21日から12月4日のトレーニングメニューの作成を定式化し、実際にPythonとGurobiを用いて解き、出力された解を実施して12月5日の試合にどのような影響を及ぼしたのかを検証する。トレーニングメニューについては、自身が実施したことのあるトレーニングメニューをまず準備し、シミュレーション等を通して検討した結果、4つに絞った。メニューの詳細は表4.1のとおりである。

表 4.1: 実施するトレーニングメニュー

メニュー	トレーニング強度 (A)	路面係数 (R)
速いジョグ	1.0	1.1
遅いジョグ	1.5	1.1
10000m ペース走 (ポイント練習)	3.5	1.0
1000m×5 (ポイント練習)	8.0	1.0

天候係数については季節は冬なので全て1とする。また、トレーニングメニューにおけるポイント練習は走力の向上に直結する高強度の練習であり、ジョグはジョギングの略称であり長距離の基礎の部分を作るトレーニングである。表4.1, (2.4) 式を基に $w(t)$ は次のようになる。

$$w(i) = (1.1x_{i1} + 16.5x_{i2})D_i + 35x_{i3} + 36x_{i4} \quad (4.1)$$

各項ランニング強度、距離、路面係数、天候係数とそのメニューを実施するか否かの変数の積になるが、10000m ペース走、1000m×5の距離は $D_{i3} = 10$, $D_{i4} = 5$

で固定し，速いジョグ D_{i1} と遅いジョグの距離 D_{i2} の距離は1種類のメニューのみとしたため $D_{i1} = D_{i2} = D_i$ と設定した．また，それぞれのポイント練習実施の回数，日付をあらかじめ指定した．具体的には10000m ペース走を11月23日，11月27日に，1000m×5は11月30日に行うことにしたので， $x_{3,3} = x_{7,3} = x_{10,4} = 1$ とした．

4.2 定式化

定式化 (3.4) 式～ (3.6) 式を以下のように変更した．

$$\text{MAXIMIZE} \quad \sum_{i=1}^t \{(1.1x_{i1} + 16.5x_{i2})D_i + 35x_{i3} + 40x_{i4}\}e^{\frac{-(t-i)}{45}} \quad (4.2)$$

$$\text{subject to} \quad \sum_{j=1}^4 x_{ij} \leq 1 \quad (4.3)$$

$$8 \leq D_i \leq 12 \quad (4.4)$$

$$p(t) \geq -100 \quad (i = 6, 8, 13) \quad (4.5)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{i1} + x_{i2} \geq 5 \quad (4.6)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{i1} \geq 1 \quad (4.7)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{i4} = 2 \quad (4.8)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{i7} = 1 \quad (4.9)$$

$$x_{i4} = 1 \quad (i = 2, 6) \quad (4.10)$$

$$x_{i5} = 1 \quad (i = 9) \quad (4.11)$$

- (4.5) 式は (3.6) 式をポイント練習の前日, もしくは当日に -100 を下回らないようにするように設定した
- (4.4) 式はジョグの距離の範囲を $8\text{km}\sim 12\text{km}$ に定めた
- (4.6) 式はジョグの実施回数を 5 回以上に定めた
- (4.7) 式は速いジョグの実施回数を 1 回以上に定めた
- (4.8) 式, (4.9) 式はそれぞれのポイント練習の回数の設定であり 10000m ペース走は 2 回, $1000\text{m}\times 5$ は 1 回と定めた
- (4.10) 式, (4.11) 式はポイント練習の時刻設定であり上記設定のように定めた

(3.6) 式の定数 P は, 2022 年 11 月中に実施したポイント練習で走り切ることができたものと走り切ることができなかったものをそれぞれ起点とし 2 週間前からのシミュレーションを行ったところ, 走り切れたところの前日, もしくは当日のパフォーマンスは -100 を下回っておらず, 逆に走り切ることができなかった日の前日, もしくは当日に -100 を下回っているというものが分かったので -100 と定めている.

4.3 実行環境及び計算計測時間

まず, 計算環境とプログラム計算計測時間を以下に示す.

OS... Windows 11

言語... python 3.8.5

CPU... Intel Core i7 (1.8GHz)

ソルバー... Gurobi 9.5.2

メモリ... 8.0GB

実行時間 (5 回の平均)... 0.354s

4.4 結果

出力された結果を以下の表に示す.

表 4.2: 出力されたメニュー

日付	メニュー	日付	メニュー
11月21日	12km 速いジョグ	11月28日	9km 速いジョグ
11月22日	12km 速いジョグ	11月29日	8km(9km) 遅いジョグ
11月23日	10000m ペース走	11月30日	1000m×5
11月24日	12km 速いジョグ	12月1日	10km 遅い (9km 速い) ジョグ
11月25日	11km 遅いジョグ	12月2日	10km(9km) 遅いジョグ
11月26日	休養	12月3日	休養
11月27日	10000m ペース走	12月4日	試合

実施したメニューは定式化のミスがあり最終的に出力されたメニューとは若干違うものになってしまった. その差異を表 2 のカッコ内で示している. 試合に出場した結果, 現在の自分の持っている力すべてを出し切ることができた. よってピーキングはあったとみなすことができる. 一方では, 走力があがったという感覚はあまりないと感じた.

第5章 考察

出力された結果はピーキングには非常に適したものだということが考えられる。定式化するうえでいろいろと試してみたが、ジョギングの距離やポイント練習の内容、日にち、その期間に実施する回数を指定しなければ、納得のいくメニュー構成を出力することができなかった。そのため、定式化においては経験に基づくある程度の事前の決定は必要である。スポーツにおいて短期間で成長するものではないので $T = 30$ などといった大きな数字で実施するべきであり、それに応じて自分のレベルをシミュレーションなどといったことを通して知り、設定していくべきだと考えた。

第6章 まとめと今後の課題

本研究では、パフォーマンスを低下させすぎずにフィットネスを向上させていくことを目標にしてきた。納得のいく解を得るは自分のレベルをシミュレーションを通じて知り、練習メニューの種類を絞り、内容をより細かく設定したうえで定式化することが大事である。また、結果とは若干違うメニュー構成の練習実施になったがピーキングにはあっていた。今後の課題としては走力を向上させる定式化を作成することであり、期間の増加、ジョグの距離の増加をする必要がありそれに応じて納得のいくメニュー構成が立てられるように制約式を考えていく必要がある。

謝辞

本研究を進めるにあたり、多大なご指導、ご助言をいただいた池辺淑子准教授、西田優樹助教には大変お世話になりました。心より感謝と御礼申し上げます。

参考文献

- [1] Morton R.H.,Fitz-Clarke J.R. , and Banister E.W. (1990) Modeling human performance in running. J Appl Physiol. 69(3): 1171-1177.
- [2] Banister E.W. (1991) Modeling elite athletic performance. In: Green H.J., McDugal J.D., and Wenger H. (ed). Physiological testing of elite athletes. Human Kinetics, Campaign IL. pp 403-424.
- [3] 「フィットネスイ疲労モデル」を用いたトレーニング刺激と生体応答のモニタリングとパフォーマンス予測, URL(<https://system5-site-one.ssl-link.jp/sandcplanning/uploads/solution/20/5b14a2d1f169020.pdf>), 閲覧日 2023 年 1 月 4 日