

長距離ランニングにおける エネルギー供給系とスキル系の 連関モデルの検討

山崎 健(新潟大学)

Linkage between energy supply system and running skill during long distance running race

KEN Yamazaki

Niigata University, Faculty of Education

During long distance race running skill changes in progress. Generally this phenomena was concerned with fatigue progress. But in the other perspective this would be a kind of regulation by changing running skill according to reduce of energy supply system. In this study I try to examine hypothesis of Yamazaki's matrix model of long distance running performance and get biomechanical data of elite long distance runners in actual 10000m race.

Subjects were 4 healthy well-trained long distance runners of Niigata University team (representative members of all Japan inter University EKIDEN race).

Biomechanical data of four steps were measured at 2000m, 4800m and 8800m by motion analysis soft wear (Silicon Coach). Correlation function value of running speed and stride(S-S), running speed and cadence(S-C) were examined. At 2000m correlation function value of S-S were very high (3/4). At 4800m function value of S-S and S-C were individual. But at 8800m function value of S-C were very high (4/4) and value of S-S were not so high (3/4).

These results mean elite runners would change their running skill in race progress. In sprint-running theory speed is decided by upkeep adequate strides and high cadence. Probably good runners would use same strategy to keep their running speed. In this point of view correlation function value of running speed and cadence (S-C) were very high in final stage of 10000m race.

目的

- 長距離レース中におけるランニングフォームの変容はよく知られており、これは疲労の進行による現象と解釈されている
- しかし、この変容はまたエネルギー供給系の変容に対応したスキル系の対応と考えることもできる
- 本研究では、この現象に係る理論的モデル提示するとともに実際のレース中の動作変容について理論モデルとの対応から考察する

山崎 健:ランニングパフォーマンスを決定するマトリクスモデルの検討
(2011年3月:ランニング学会)

パフォーマンスのモデル化

競技成績を決めるもの・・・

$$P = C \times \int E(M)$$

P: パフォーマンス

C: サイバネティックス

E: 化学的エネルギー (physical resource)

M: 意欲 (エネルギー動員因子)

猪飼道夫: 身体運動の生理学 (1973年) pp.336

パフォーマンスの重回帰式モデル

$$Y = PCr \times Sk^1 + Gly \times Sk^2 + Mtc \times Sk^3 + ? + b$$

PCr: クレアチンリン酸系 (ハイパワー系)

Gly: 解糖系 (ミドルパワー系)

Mtc: 有酸素系 (ローパワー系)

Skⁿ: 各エネルギー生産系に対応したスキル

山崎(1986)を改変

前半と後半ではエネルギーレベルが異なる

(解糖系は減少し有酸素系はあまり変容しない)

→ 同スキルを用いては対応できない

[刺激] → [a] → [b] → [c] → [d] → [結果]

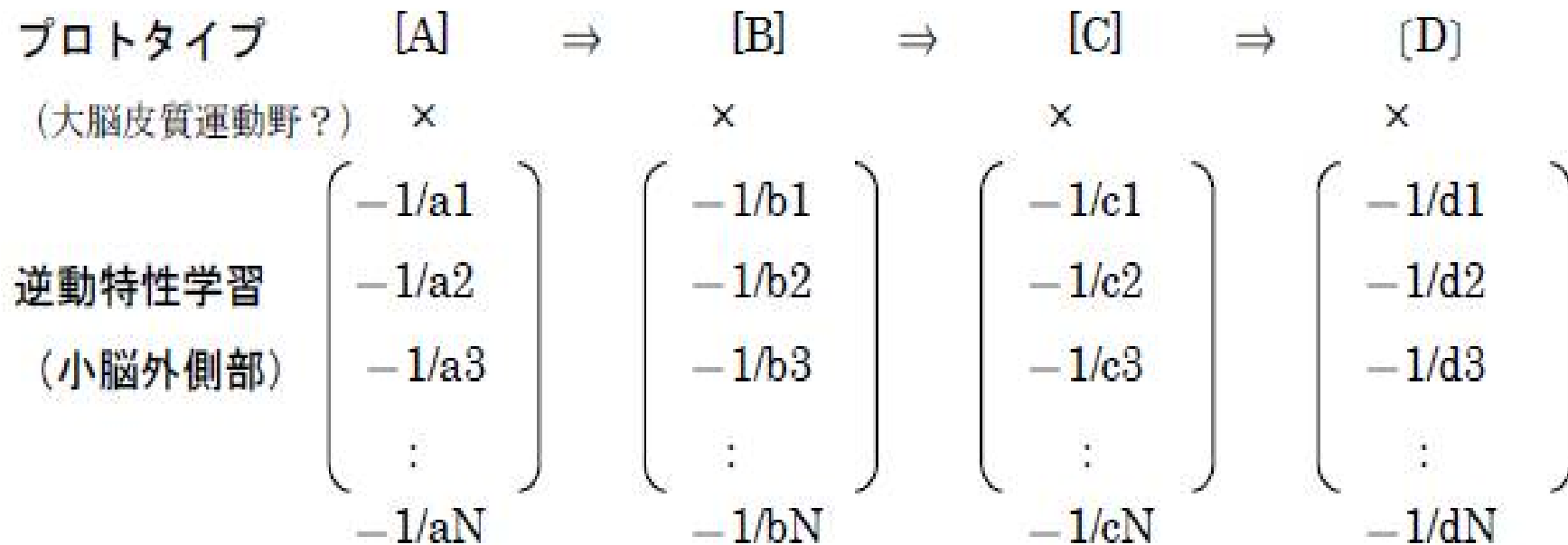
[刺激] → $\begin{bmatrix} a 1 \\ a 2 \\ a 3 \\ \vdots \\ a N \end{bmatrix}$ → $\begin{bmatrix} b 1 \\ b 2 \\ b 3 \\ \vdots \\ b N \end{bmatrix}$ → $\begin{bmatrix} c 1 \\ c 2 \\ c 3 \\ \vdots \\ c N \end{bmatrix}$ → $\begin{bmatrix} d 1 \\ d 2 \\ d 3 \\ \vdots \\ d N \end{bmatrix}$ → [結果]

ステレオタイプ(上)とダイナミックステレオタイプ(下)

ステレオタイプでは、条件変動に対する対応幅がないため外乱に対して適応できない
ダイナミックステレオタイプでは動作系の外乱に対して「サーボ制御」が可能である

山崎(1986)

運動習熟とダイナミック・ステレオタイプ



さらに「身体系マトリクス」(エネルギー生産レベルを含む:P1・P2・P3・・・PN)
と「環境系マトリクス」(E1・E2・E3・・・EN)が加わる?

山崎(2004)

トレーニングのプロセスでの重回帰モデル

$$P = [\text{PCrN}] \times [\text{SkN}] \\ + [\text{GlyN}] \times [\text{SkN}] \\ + [\text{MtcN}] \times [\text{SkN}] + b$$

(残差:その他の要因)

[N]はその時点でのエネルギーレベルの変数

スキルも個別적으로対応してトレーニングが行われる

現在考えているモデル

$$Y = \begin{bmatrix} \text{PCr0} \\ \text{PCr1} \\ \text{PCr2} \\ \vdots \\ \text{PCrN} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \text{Gly0} \\ \text{Gly1} \\ \text{Gly2} \\ \vdots \\ \text{GlyN} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \text{Mtc0} \\ \text{Mtc1} \\ \text{Mtc2} \\ \vdots \\ \text{MtcN} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \text{Sm } \alpha \\ \text{Sm } \beta \\ \text{Sm } \gamma \\ \vdots \\ \text{Sm } \omega \end{bmatrix} + b \text{ (残差: その他の要因)}$$

パフォーマンスのマトリクスモデル(山崎:2011)

長距離ランニング中の動作モデル



膝関節や足関節でエネルギーを吸収

膝関節伸展速度は“疾走速度”には
貢献しない



NHK放映、進化する義足(2008年)より

「骨格-筋モデル」として考えれば

単純にするため以下の筋群に限定

股関節:

- a.大腰筋 b.大腿四頭筋 (屈曲)
- c.ハムストリングス (伸展)

膝関節:

- c.ハムストリングス d.腓腹筋 (屈曲)
- b.大腿四頭筋(伸展)
- c.ハムストリングス & b.大腿四頭筋(固定)

足関節：

d.腓腹筋(伸展) e.前脛骨筋(屈曲)

d.腓腹筋 & e.前脛骨筋(固定)

膝関節 & 足関節の固定の程度 \equiv バネ係数

バネ係数(弾性効率)の変容

\Rightarrow “Stretch Shortening Cycle” による制御

ピッチとストライドのコントロールによる走法変容

実際の長距離レース中のランニング動作

- 男子10000mレース中の1/30秒で撮影されたビデオ画像より画像解析ソフトSilicon Coach Proを用いて以下の項目を検討した
- 対象者は全日本大学駅伝出場者4名(30' 12" ~ 31' 47")
- 2000m、4800m、8800m地点での
 1. ストライド
 2. ピッチ
 3. 疾走スピード
 4. それぞれの4歩分の相関分析
 5. 膝関節伸展速度(最大屈曲~離地)
と疾走スピードの相関分析



2000m (レース前半)

4歩区間: 秒速4.9~5.3mで推移

Sub.A Strd&Speed ($R^2=1.00$) Pitch&Speed ($R^2=0.12$)

KnEx&Speed ($R^2=0.03$)

Sub.B Strd&Speed ($R^2=0.80$) Pitch&Speed ($R^2=0.97$)

KnEx&Speed ($R^2=0.19$)

Sub.C Strd&Speed ($R^2=0.00$) Pitch&Speed ($R^2=0.77$)

KnEx&Speed ($R^2=0.95$)

Sub.D Strd&Speed ($R^2=1.00$) Pitch&Speed ($R^2=0.12$)

KnEx&Speed ($R^2=0.05$)

4800m (レース中半)

4歩区間: 秒速5.0~5.4mで推移

Sub.A Strd&Speed ($R^2=1.00$) Pitch&Speed ($R^2=0.16$)

KnEx&Speed ($R^2=0.78$)

Sub.B Strd&Speed ($R^2=1.00$) Pitch&Speed ($R^2=0.27$)

KnEx&Speed ($R^2=0.94$)

Sub.C Strd&Speed ($R^2=0.00$) Pitch&Speed ($R^2=0.56$)

KnEx&Speed ($R^2=0.04$)

Sub.D Strd&Speed ($R^2=0.42$) Pitch&Speed ($R^2=0.86$)

KnEx&Speed ($R^2=0.92$) *負相関 ($r=-0.96$)

8800m (レース後半)

4歩区間: 秒速5.1~5.4mで推移

Sub.A Strd&Speed ($R^2=0.04$) **Pitch&Speed ($R^2=0.92$)**

KnEx&Speed ($R^2=0.01$)

Sub.B Strd&Speed ($R^2=0.11$) **Pitch&Speed ($R^2=0.92$)**

KnEx&Speed ($R^2=0.48$)

Sub.C **Strd&Speed ($R^2=0.68$)** **Pitch&Speed ($R^2=0.94$)**

KnEx&Speed ($R^2=0.92$)

Sub.D Strd&Speed ($R^2=0.23$) **Pitch&Speed ($R^2=0.99$)**

KnEx&Speed ($R^2=0.64$) *負相関($r=-0.80$)

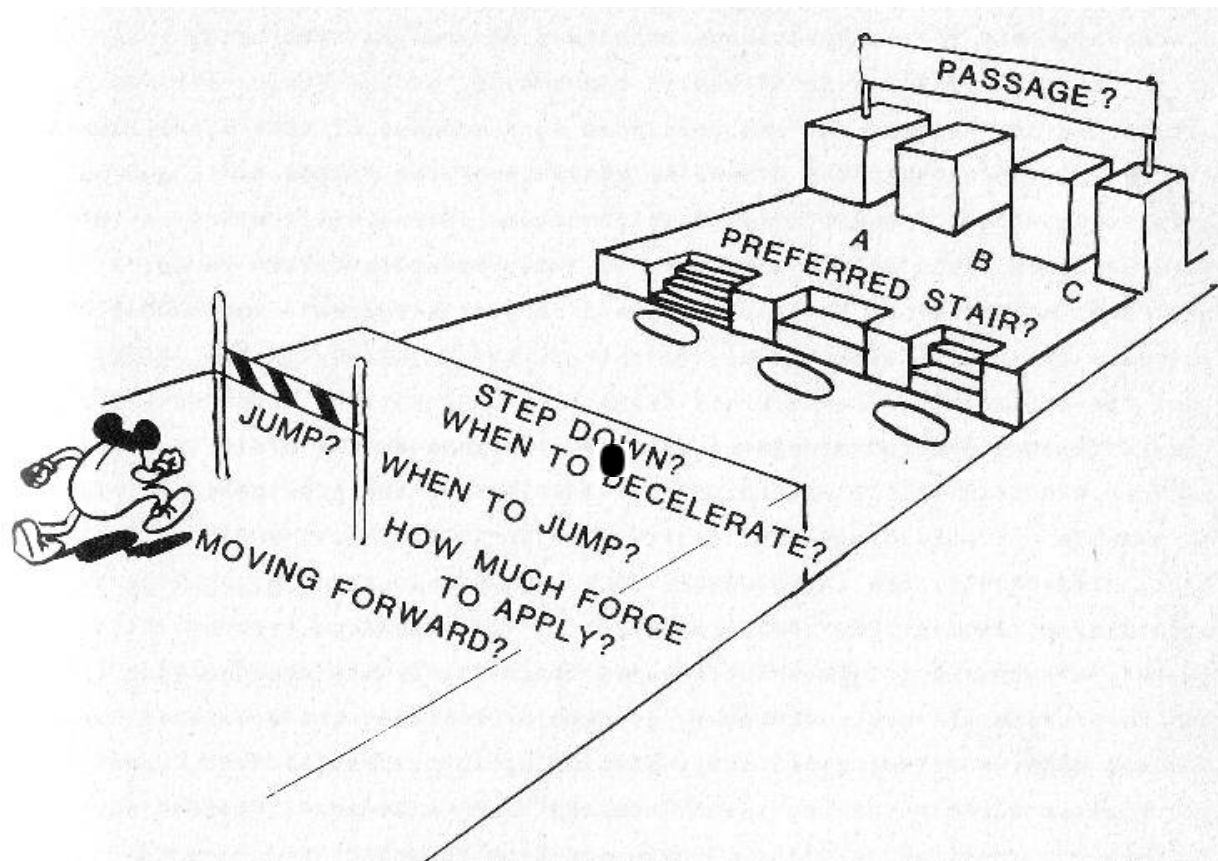
10000mレース中の各変数の推移

| | 2000 m | | | 4800 m | | | 8800 m | | |
|-------|-------------|--------------|-------------|-------------|--------------|-------------|-------------|--------------|-------------|
| | Strd& Speed | Pitch& Speed | KnEx& Speed | Strd& Speed | Pitch& Speed | KnEx& Speed | Strd& Speed | Pitch& Speed | KnEx& Speed |
| Aub.A | ◎ | × | × | ◎ | △ | ◎ | × | ◎ | × |
| Sub.B | ◎ | ◎ | △ | ◎ | ○ | ◎ | × | ◎ | ○ |
| Sub.C | × | ◎ | ◎ | × | ○ | × | ◎ | ◎ | ◎ |
| Sub.D | ◎ | × | × | ○ | ◎ | ◎* | △ | ◎ | ◎* |

決定係数(R^2)の範囲 (*は負相関)

0.64~(◎)、0.25~0.63(○)、0.16~0.24(△)、0.15以下(×)

以下の課題を20本繰り返すとすれば・・・



M.T.Turvey,P.N.Kugler(1984) : AN ECOROLOGICAL APPROACH TO PERCEPTION AND ACTION, (In "Human Motor Action: Bernstein Reassessed") pp.375

エネルギー供給モードの変容に対応してスキルモードを変えて対応している？

$$Y = \begin{bmatrix} \text{PCr0} \\ \text{PCr1} \\ \text{PCr2} \\ \vdots \\ \text{PCrN} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \text{Gly0} \\ \text{Gly1} \\ \text{Gly2} \\ \vdots \\ \text{GlyN} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \text{Mtc0} \\ \text{Mtc1} \\ \text{Mtc2} \\ \vdots \\ \text{MtcN} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \text{Sm } \alpha \\ \text{Sm } \beta \\ \text{Sm } \gamma \\ \vdots \\ \text{Sm } \omega \end{bmatrix}$$

+ b (残差: その他の要因)

パフォーマンスのマトリクスモデル(山崎:2011)

Special thanks for

your Endurance and

Attention

本研究は科学研究費助成事業(学術研究助成基金助成金:
課題番号24500732)の一部で行われた