

10000mレース中のランニング 動作変容に関するモデルの検討

山崎 健(新潟大学)

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を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)

山崎 健:長距離ランニング中のエネルギー供給系とスキル系の連関モデルの検討
(2013年8月:日本運動生理学会)

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年) 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

運動習熟とダイナミック・ステレオタイプ

[刺激] → [a] → [b] → [c] → [d] → [結果]

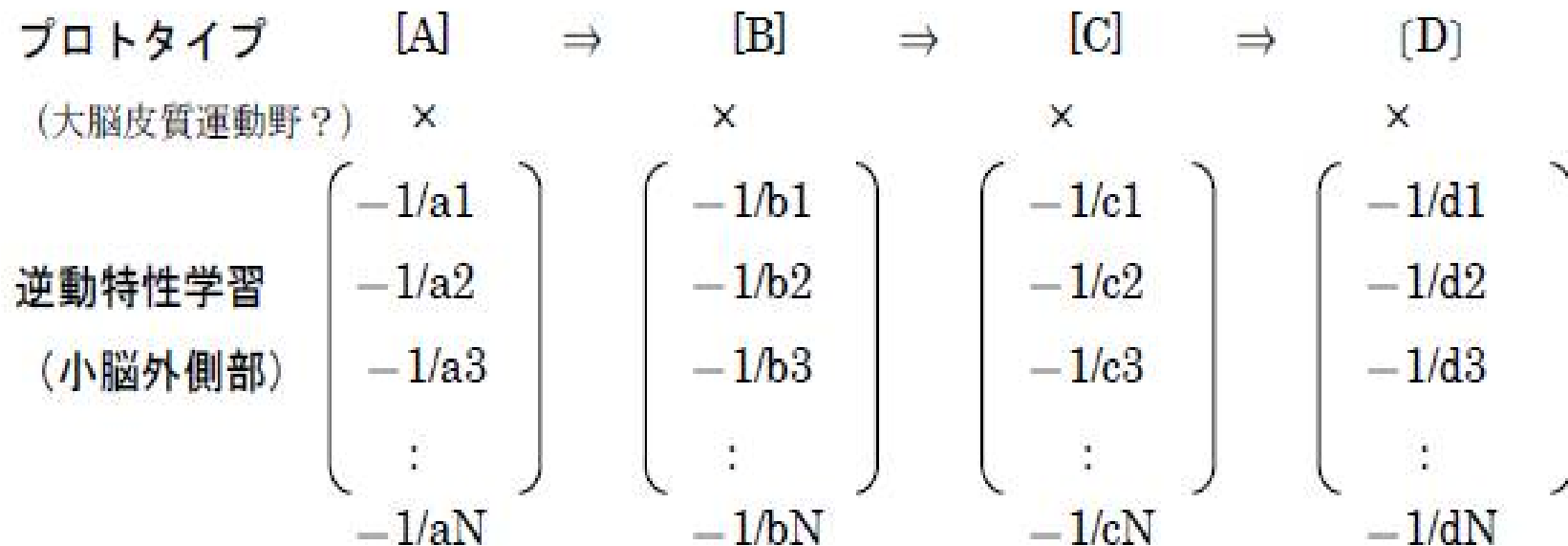
[刺激] → $\begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ \vdots \\ a_N \end{bmatrix}$ → $\begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \\ \vdots \\ b_N \end{bmatrix}$ → $\begin{bmatrix} c_1 \\ c_2 \\ c_3 \\ \vdots \\ c_N \end{bmatrix}$ → $\begin{bmatrix} d_1 \\ d_2 \\ d_3 \\ \vdots \\ d_N \end{bmatrix}$ → [結果]

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年)

小脳の逆動特性学習モデルと 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年)

3 × 3システムによる動作の発現

動きをつくり出すシステム

		Type I	Type II a	Type II b
エネルギーをつくり出すシステム	ATP-PCr系	○	◎	◎
	解糖系	△	◎	●
	有酸素系	◎	○	△

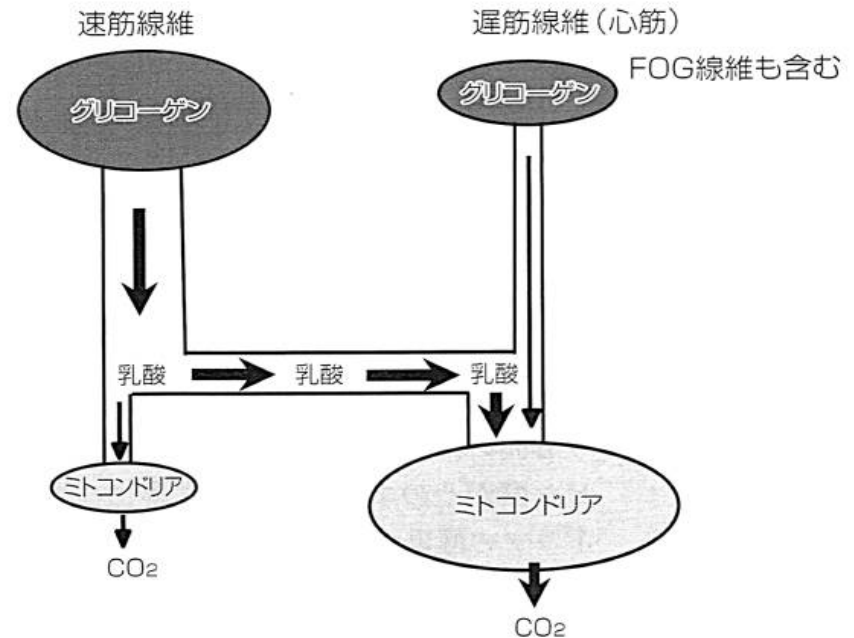
定本ら(1987年)の図を山崎が改変

「乳酸シャトル」の意味するもの・・・

並列で「同時進行」している3×3システム

筋線維タイプ	遅筋線維	速筋線維	
	タイプI(SO)	タイプIIa(FOG)	タイプIIb(FG)
ミオシンATPアーゼ活性	●		●
代謝酵素			
解糖系酵素	●	●	●
酸化系酵素	●	●	●
代謝基質			
グリコーゲン	●	●	●
中性脂肪	●	●	●
毛細血管密度	●	●	●

図6-1 筋線維の代謝 (定本ら, 1987)
 ○内の色合いが濃いほど、各項目の活性や濃度が高いことを示す。



八田秀雄、乳酸と運動生理・生化学、2009年

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

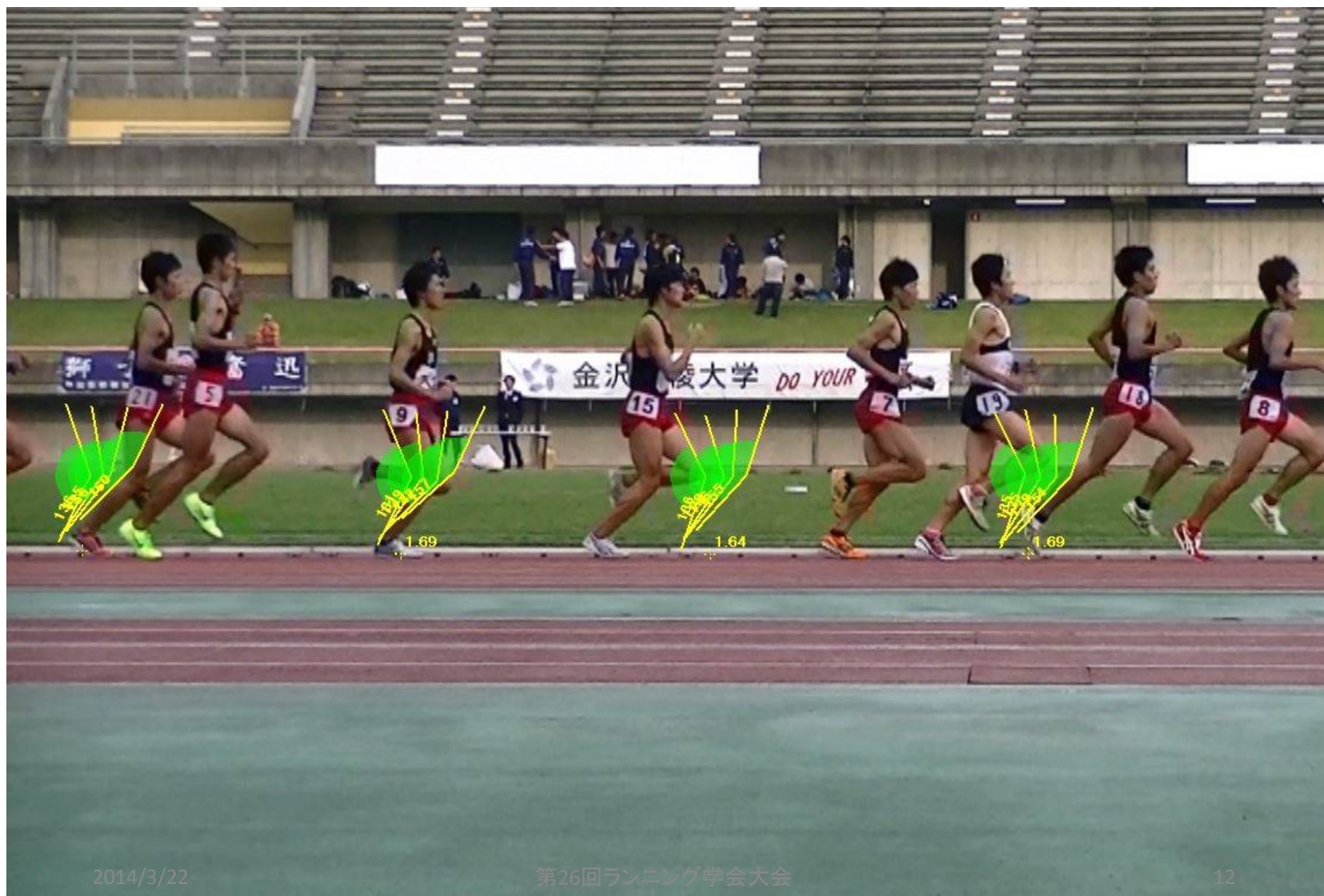
現在考えているモデル

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

パフォーマンスのマトリクスモデル(山崎:2011年)

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8名(30' 12" ~ 32' 21")
- 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4.9~5.8mで推移

Sub.A Strd&Speed ($R^2=0.43$) Pitch&Speed ($R^2=0.91$)

KnEx&Speed ($R^2=0.28$)

Sub.B Strd&Speed ($R^2=1.00$) Pitch&Speed ($R^2=0.00$)

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

Sub.C Strd&Speed ($R^2=0.05$) Pitch&Speed ($R^2=0.60$)

KnEx&Speed ($R^2=0.11$)

Sub.D Strd&Speed ($R^2=0.36$) Pitch&Speed ($R^2=0.34$)

KnEx&Speed ($R^2=0.85$)

4歩区間: 秒速4.9~5.8mで推移

Sub.E Strd&Speed ($R^2=1.00$) Pitch&Speed ($R^2=0.23$)

KnEx&Speed ($R^2=0.66$)

Sub.F Strd&Speed ($R^2=0.22$) Pitch&Speed ($R^2=0.86$)

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

Sub.G Strd&Speed ($R^2=0.86$) Pitch&Speed ($R^2=0.96$)

KnEx&Speed ($R^2=0.64$)

Sub.H Strd&Speed ($R^2=0.44$) Pitch&Speed ($R^2=0.04$)

KnEx&Speed ($R^2=0.08$)

4800m (レース中半)

4歩区間: 秒速5.1~5.9mで推移

Sub.A Strd&Speed ($R^2=0.47$) Pitch&Speed ($R^2=0.80$)

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

Sub.B Strd&Speed ($R^2=0.25$) Pitch&Speed ($R^2=1.00$)

KnEx&Speed ($R^2=0.66$)

Sub.C Strd&Speed ($R^2=0.03$) Pitch&Speed ($R^2=0.56$)

KnEx&Speed ($R^2=0.00$)

Sub.D Strd&Speed ($R^2=0.00$) Pitch&Speed ($R^2=0.99$)

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

4歩区間: 秒速5.1~5.9mで推移

Sub.E Strd&Speed ($R^2=0.24$) Pitch&Speed ($R^2=0.99$)

KnEx&Speed ($R^2=0.36$)

Sub.F Strd&Speed ($R^2=0.44$) Pitch&Speed ($R^2=0.93$)

KnEx&Speed ($R^2=0.06$)

Sub.G Strd&Speed ($R^2=0.00$) Pitch&Speed ($R^2=0.97$)

KnEx&Speed ($R^2=0.93$)

Sub.H Strd&Speed ($R^2=0.09$) Pitch&Speed ($R^2=0.21$)

KnEx&Speed ($R^2=0.16$)

8800m (レース後半)

4歩区間: 秒速5.1~5.9mで推移

Sub.A Strd&Speed ($R^2=0.03$) Pitch&Speed ($R^2=0.81$)
KnEx&Speed ($R^2=0.02$)

Sub.B Strd&Speed ($R^2=0.65$) Pitch&Speed ($R^2=0.88$)
KnEx&Speed ($R^2=0.76$) *負相関

Sub.C Strd&Speed ($R^2=0.09$) Pitch&Speed ($R^2=0.69$)
KnEx&Speed ($R^2=0.53$) *負相関

Sub.D Strd&Speed ($R^2=0.08$) Pitch&Speed ($R^2=0.87$)
KnEx&Speed ($R^2=0.56$) *負相関

4歩区間: 秒速5.1~5.9mで推移

Sub.E Strd&Speed ($R^2=1.00$) Pitch&Speed ($R^2=0.00$)

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

Sub.F Strd&Speed ($R^2=0.56$) Pitch&Speed ($R^2=0.90$)

KnEx&Speed ($R^2=0.57$)

Sub.G Strd&Speed ($R^2=0.01$) Pitch&Speed ($R^2=0.81$)

KnEx&Speed ($R^2=0.73$) *負相関

Sub.H Strd&Speed ($R^2=0.55$) Pitch&Speed ($R^2=0.80$)

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

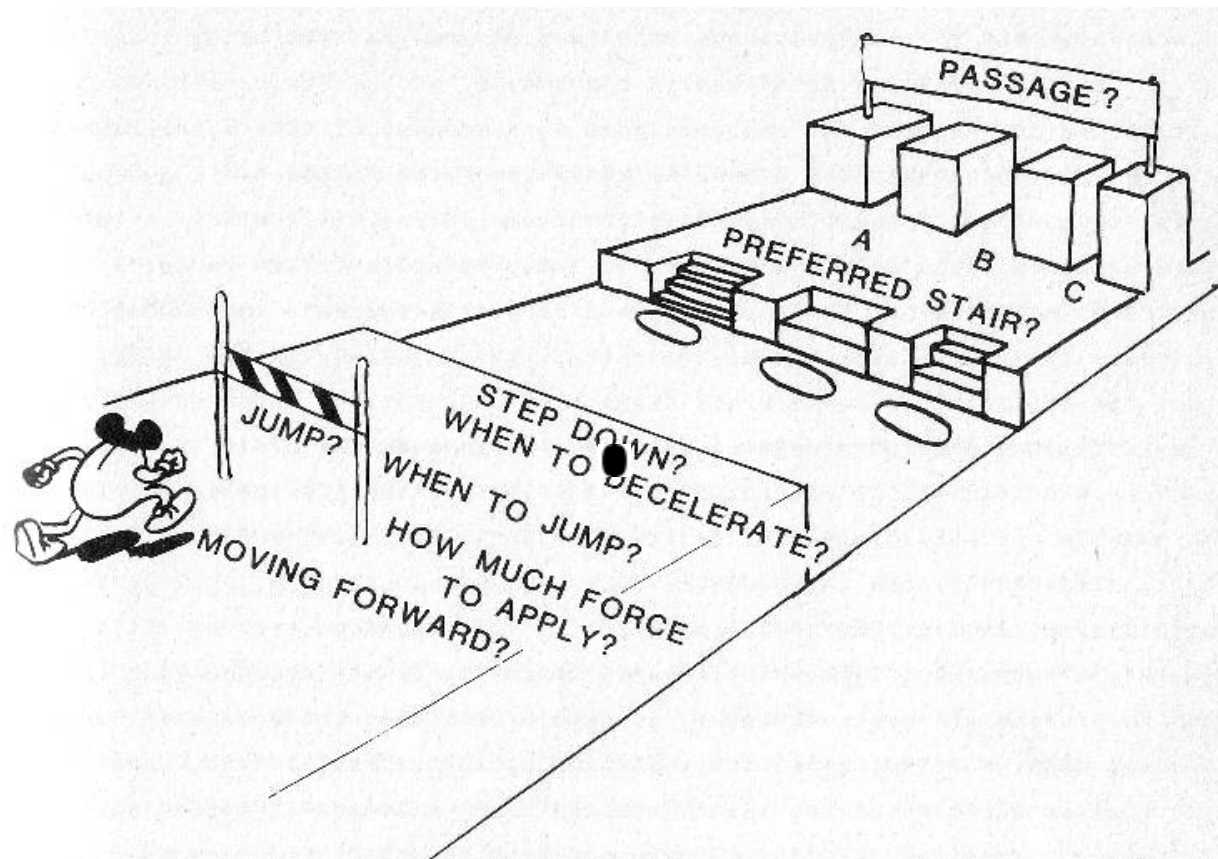
10000mレース中の各変数の推移

	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	○	○	×	×	◎	×	×	◎	○*
Sub.E	◎	△	◎	△	◎	○	◎	×	○
Sub.F	△	◎	×	○	◎	×	○	◎	◎
Sub.G	◎	◎	○	×	◎	◎	×	◎	◎*
Sub.H	○	×	×	×	△	△	○	◎	×

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年)

*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

「骨格-筋モデル」として考えれば

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 \asymp バネ係数

バネ係数(弾性効率)の変容

⇒ “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

単純化した各関節筋群の活動の様相(山崎:2011)

(上:前半ストライド型, 下:後半ピッチアップ型)

	股関節		膝関節			足関節		
	伸展	屈曲	伸展	屈曲	固定	伸展	屈曲	固定
大腰筋		◎						
大腿四頭筋		○	○		○			
ハムストリングス	◎			○	○			
腓腹筋						○		○
前脛骨筋							○	○

	股関節		膝関節			足関節		
	伸展	屈曲	伸展	屈曲	固定	伸展	屈曲	固定
大腰筋		◎						
大腿四頭筋		○	○		◎			
ハムストリングス	◎			○	◎			
腓腹筋						○		◎
前脛骨筋							○	◎