

シンポジウム：  
ランニングパフォーマンスを決めるもの

横澤 俊治(国立スポーツ科学センター)

天野 達郎(新潟大学)

三津家 貴也(筑波大学)

座長：山崎 健(新潟大学)

# パフォーマンスのモデル化

競技成績を決めるもの・・・

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

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）

# パフォーマンスの重回帰式モデル

単に「体力」や「技術」があれば競技成績が高いわけではない

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

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）

Sk<sub>n</sub>： 各エネルギー生産系に対応したスキル

しかし、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わらない）

スキルは？ → 同スキルを用いては対応できない

（山崎：1986年を改変）

# トレーニングのプロセスでは・・・

$$Y = [\text{PCrN}] \times [\text{SkN}] (\text{クレアチンリン酸系とスキル}) \\ + [\text{GlyN}] \times [\text{SkN}] (\text{解糖系とスキル}) \\ + [\text{MtcN}] \times [\text{SkN}] (\text{有酸素系とスキル}) \\ + b \\ (\text{残差: その他の要因})$$

[N] はその時点でのエネルギーレベルの変数  
スキルも個別的に対応してトレーニングが行われる

# パフォーマンスのモデル化

$$Y = \left[ \begin{array}{c} \text{PCr0} \\ \text{PCr1} \\ \text{PCr2} \\ \vdots \\ \text{PCrN} \end{array} \right] \left[ \begin{array}{c} \text{Gly0} \\ \text{Gly1} \\ \text{Gly2} \\ \vdots \\ \text{GlyN} \end{array} \right] \left[ \begin{array}{c} \text{Mtc0} \\ \text{Mtc1} \\ \text{Mtc2} \\ \vdots \\ \text{MtcN} \end{array} \right] \left[ \begin{array}{c} \text{Sm } \alpha \\ \text{Sm } \beta \\ \text{Sm } \gamma \\ \vdots \\ \text{Sm } \omega \end{array} \right]$$

10000mレース中には・・・

前半：[PCr1 Gly1 Mtc0][Sm β] (ストライド依存?)

後半：[PCr3 Gly3 Mtc1][Sm θ] (ピッチ依存?)

(山崎：2011年を改変)

# スポンサーシップ

**スポーツ科学からのサポート**  
動作解析の進歩  
運動生理学・生化学的指標の適用可能性拡大  
メンタルサポートの指針  
(遺伝子解析も?)

**トレーニング科学の発展**  
トレーニング方法の革新  
スポーツ栄養学からのサポート  
メディカルシステムの改善

# タレント発掘システム

**チームマネジメントシステム**  
監督・コーチ／練習パートナー／  
アナライザー／メディカルスタッ  
フ／トレーナー／管理栄養士 他



**選手自身のトレーニング**  
(意識・情熱・価値観を含む)

トレーニング環境のサポート  
(JIS & NTC)

褒賞システムの充実  
キャリアサポートシステム

# 家族・サポーター・国民的応援

# 本シンポジウムでの提案内容

エネルギー供給系と運動習熟の連関

山崎 健(新潟大学)

エネルギー供給系のダイナミクス

三津家 貴也(筑波大学)

ランニングエコノミーを探る

横澤 俊治(JISS)

制限因子としての発汗機能と体温調節

天野 達郎(新潟大学)

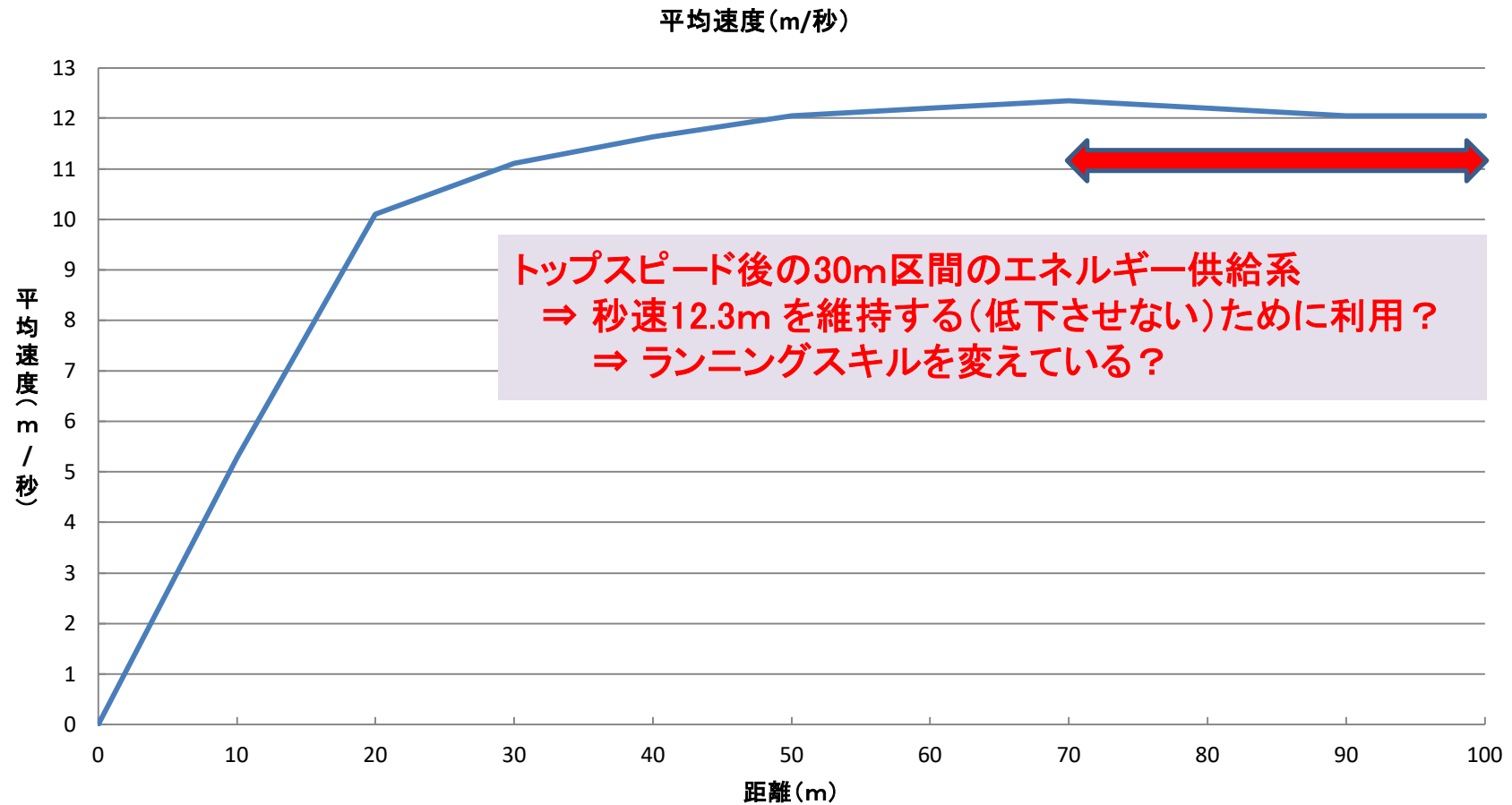
座長からの問題提起

# エネルギー供給系と運動習熟の連関

Linkage between Energy Supply  
System and Running Skills



# ウサイン・ボルトの世界記録(9"58)時の速度曲線



# 10000mレース中の各変数の推移

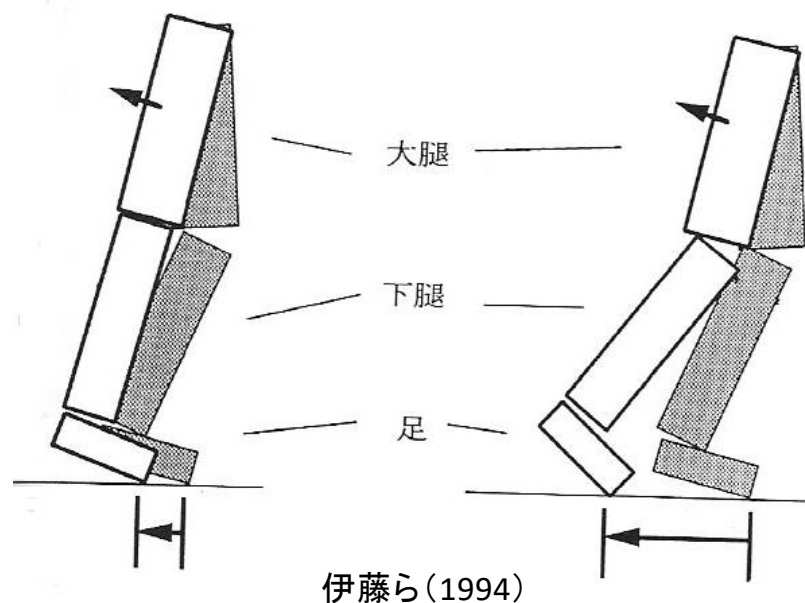
	2000 m			4800 m			8800 m		
	Strd& Speed	Pitch& Speed	KnEx& Speed	Strd& Speed	Pitch& Speed	KnEx& Speed	Strd& Speed	Pitch& Speed	KnEx& Speed
Sub.A	○*	◎	○	○*	◎	×	×	◎	×
Sub.B	◎	×	×	△	◎	◎	◎	◎	◎*
Sub.C	×	○	×	×	○	×	×	◎	○*
Sub.D	○*	○	○*	×	◎	×	×	◎	◎*
Sub.E	◎	△	◎*	△	◎	△	◎	×	○
Sub.F	△	◎	×	○	◎	×	○	◎	○
Sub.G	◎*	◎	○*	×	◎	◎	×	◎	◎*
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(×)

山崎、第26回ランニング学会大会(2014年)

# 膝関節伸展と股関節伸展の関連

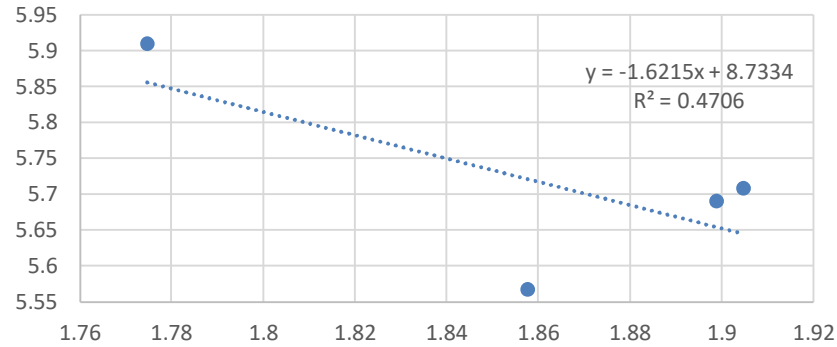


## 膝関節の屈曲-伸展動作

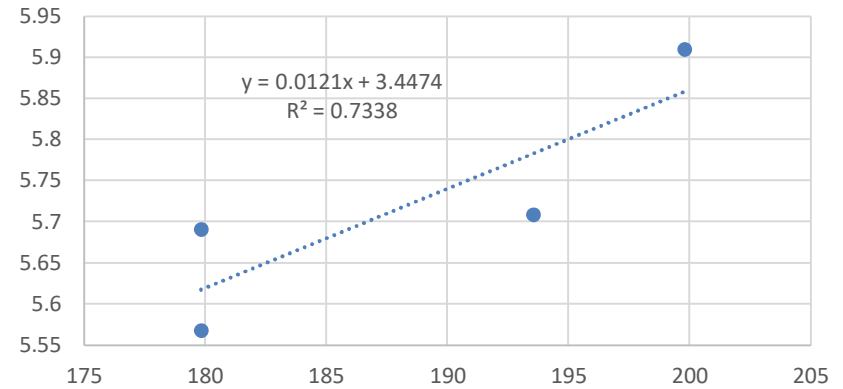
膝関節の伸展が股関節の伸展による脚全体の後方スイング速度を阻害する

世界一流スプリンターの疾走速度と膝関節伸展速度は負相関がみられる(伊藤:2005年)

スピードとストライドの関係 (Sub.A)

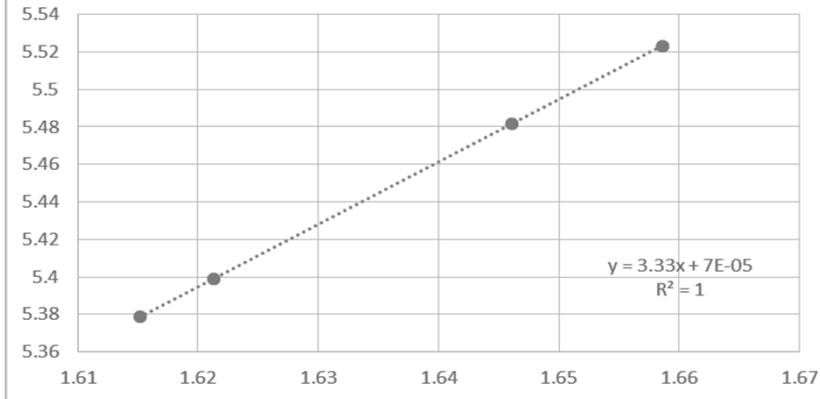


スピードとピッチの関係 (Sub.A)

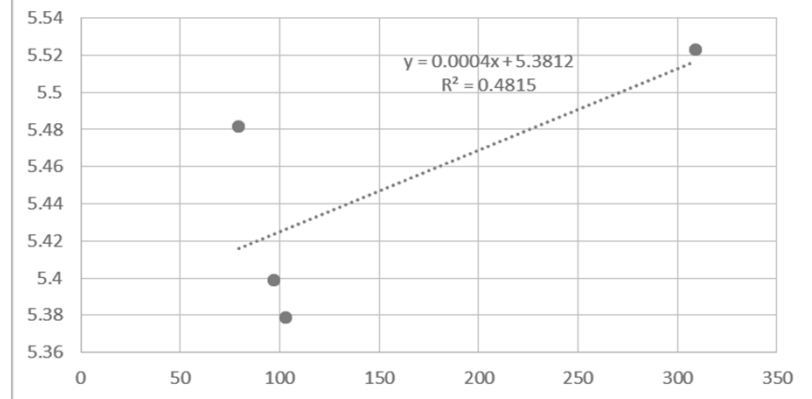


↑ ストライドは長いがピッチとの相関が強い

スピードとストライドの関係 (Sub.D)

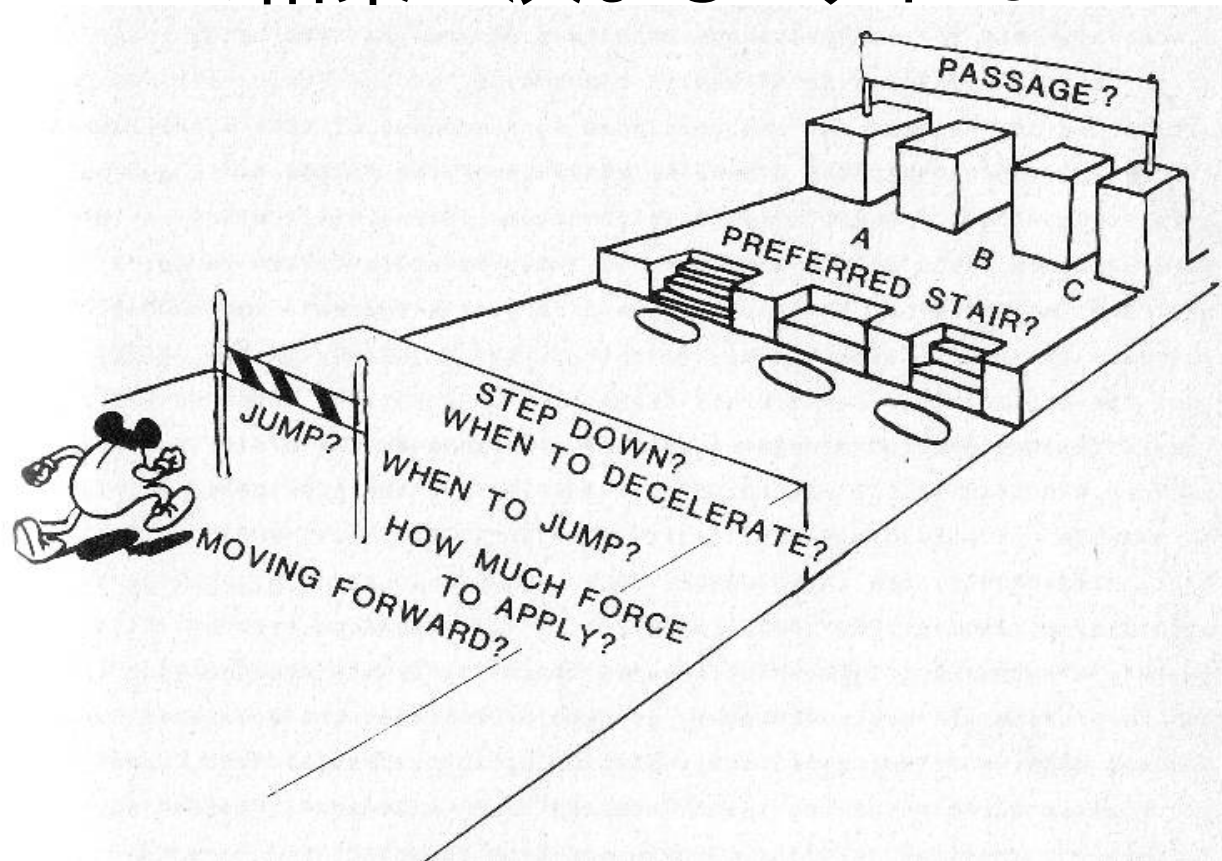


スピードと膝関節伸展速度の関係 (Sub.D)



↑ ストライドは短いが速度との相関が強い(膝関節伸展速度も同様)

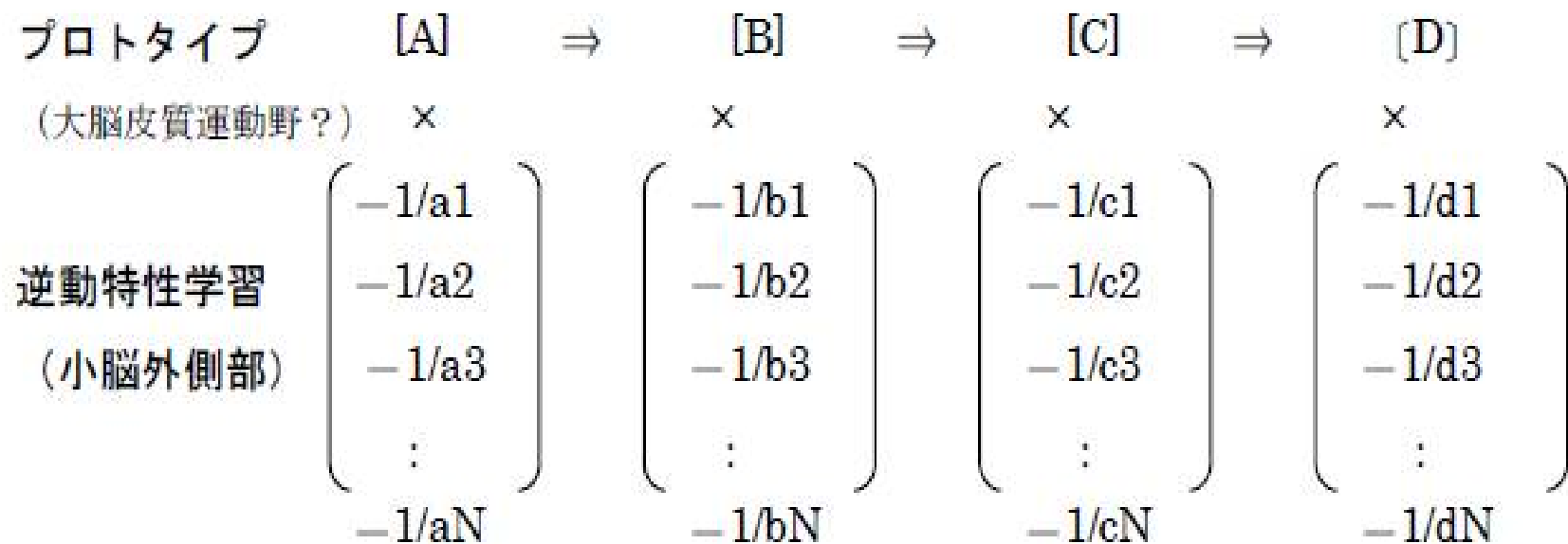
この課題を20回繰り返した“総計タイム”  
で結果が決まるとすれば・・



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

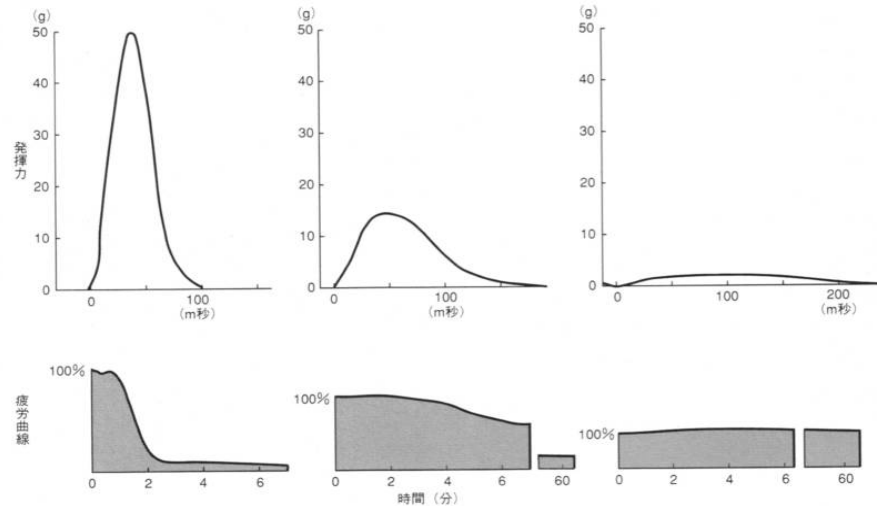
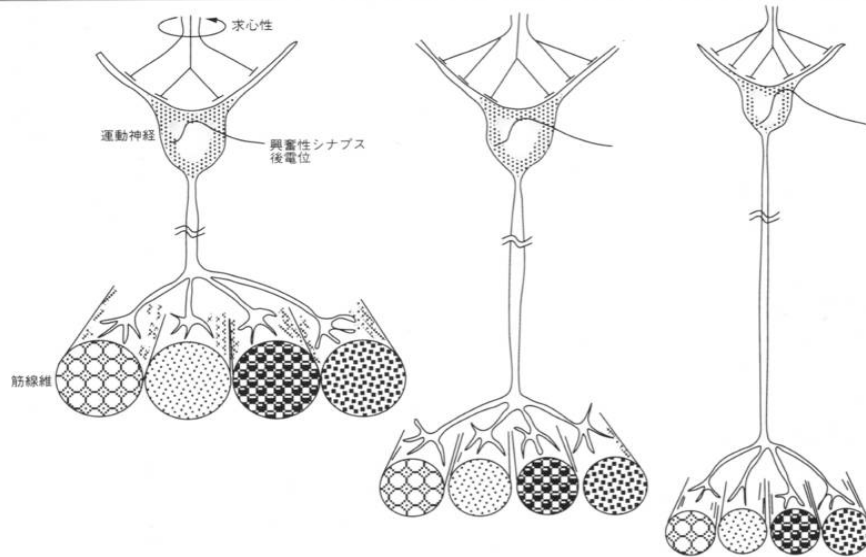
# 運動習熟とダイナミック・ステレオタイプ

(山崎:2004年)



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?

運動単位のタイプ	FF	FR	S
筋線維のタイプ	FG	FOG	SO



運動単位は、その短縮特性から以下の3タイプに分類できる。

- FF (速い短縮で疲労しやすい)
- FR (速い短縮で疲労しにくい)
- S (遅い短縮)

この短縮特性と各筋線維の組織化学的特性との間には対応関係がある。

- F → FG (速い短縮で解糖)
- FR → FOG (速い短縮で酸化と解糖)
- S → SO (遅い短縮で酸化)

図5-3 運動単位のタイプと活動特性 (パークとエジャートン, 1975年 一部改変)

# 三種類の筋線維

FG: さらにFG1、FG2・・・?

FOG: トレーニングでFGへ

SO: 長距離選手の腓腹筋では80%を占める

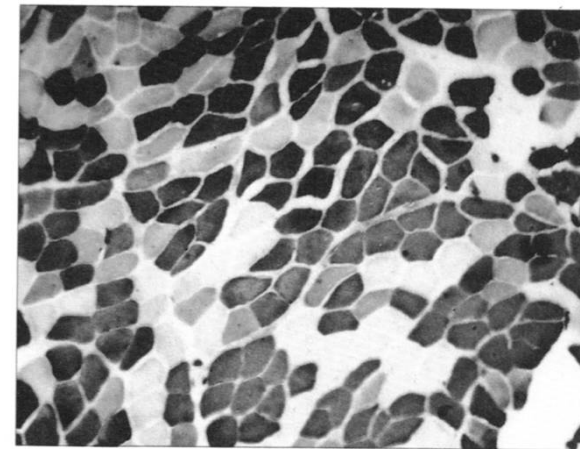
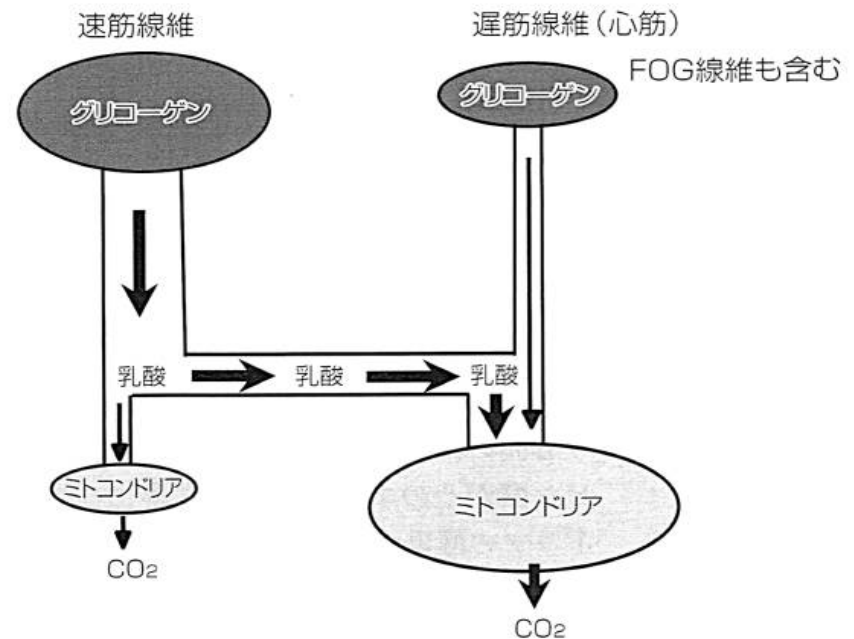


写真5-2 筋線維の分布 (武藤ら, 1983年)  
黒くみえるのは遅筋線維 (タイプI)、白っぽくみえるのは速筋線維 (タイプII a と II b)。

# 「乳酸シヤトル」の意味するもの・・・

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。





# 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 d/x
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

# 速筋系と遅筋系の役割分担

- 主要な張力と運動方向（スキル）決定に関与する速筋系（FG: Type II b、Type II d/x）
- 補完的張力を発揮しながら「乳酸シャトル」でミトコンドリア工場をフル稼働する遅筋系（Type I、FOG: Type II a、心筋も？ 八田）
- 問題は「**どうやって使うのか**」ということ  
自転車ペダリング運動（同一作業量）  
毎分40回転と80回転での筋線維動員の違い  
(11%) (17%) (森谷、2001年)

# 解剖学的ベクトルと運動学的ベクトル

- 股関節と膝関節をまたぐ「二関節性」の大腿直筋

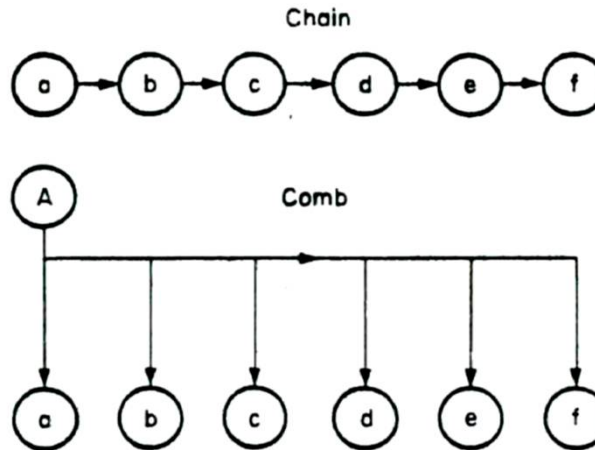
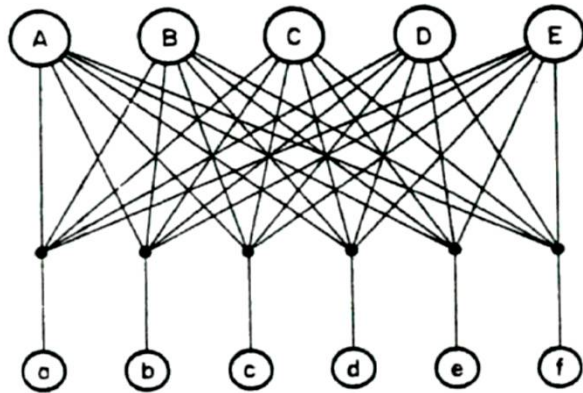
収縮方向を決定する至適方位 (preferred direction: PD) のベクトル

- 股関節や膝関節だけに関与する「単関節性」の大殿筋や内側・外側広筋

大腿直筋に連動して活動する際には、本来の固有の運動方向 (mechanical pulling direction: MD) とは異なる方向 (preferred direction: PD) のベクトル

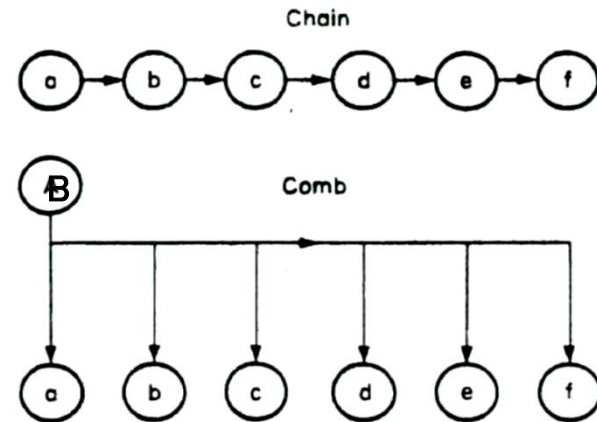
野崎 (2014)

# Chain & Comb の概念



6つの筋が5つの上位遠心中枢から神経支配を受けている(左)

「鎖」と「櫛」の概念(右)は「筋シナジー」の根拠とされる(Bernstein, 1967)



# マルチレイアシステム

## 動きをつくり出すシステム

		Type I	Type II a	Type II d/x
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	◎	○	△

上腕二頭筋(屈筋)  
F/T線維比 54:46

## 動きをつくり出すシステム

### 肘関節周りの拮抗筋

上腕三頭筋(伸筋)  
F/T線維比 68:32

エネルギー  
をつくり出す  
システム

		Type I	Type II a	Type II d/x
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	◎	○	△

# マルチレイアシステム

## 動きをつくり出すシステム

		Type I	Type II a	Type II d/x
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	◎	○	△

大腿二頭筋(伸筋)

F/T線維比 33:67

## 動きをつくり出すシステム

### 股関節周りの拮抗筋

大腿直筋(屈筋)

F/T線維比 62:38

エネルギー  
をつくり出す  
システム

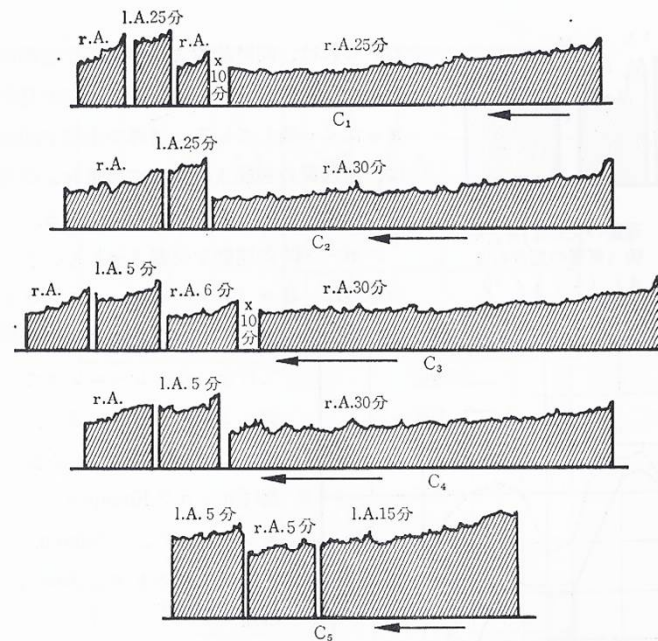
		Type I	Type II a	Type II d/x
エネルギー をつくり出す システム	ATP-PCr系	△	○	◎
	解糖系	○	◎	◎
	有酸素系	◎	○	△

## セーチェノフの“積極的休息”

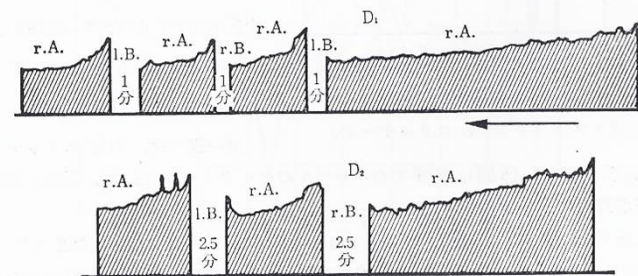
大脳皮質での興奮と抑制過程の同時的及び相互的誘導現象

“長い単調な運動は中枢神経系に疲労の増大をもたらし、運動感覚は失われる。運動を交替したり、諸運動の相互関係をよくみて、正しい一貫性のある運動を選択することにより、大脳皮質における運動能力の高い水準を確保することができる。”

クレストフニコフ、スポーツの生理学(ロシア語版1951年、邦訳1978年)



r.A.-右腕 x 10分-休息 l.A.-左腕  
 図 93 セーチェノフ, И.М. の筋労作曲線 (r.A.-右腕, X 10分-休息, l.A.-左腕)



r.A.-右腕 l.B.-左脚 r.B.-右脚  
 図 94 セーチェノフ, И.М. の筋労作曲線 (r.A.-右腕, l.B.-左脚, r.B.-右脚)

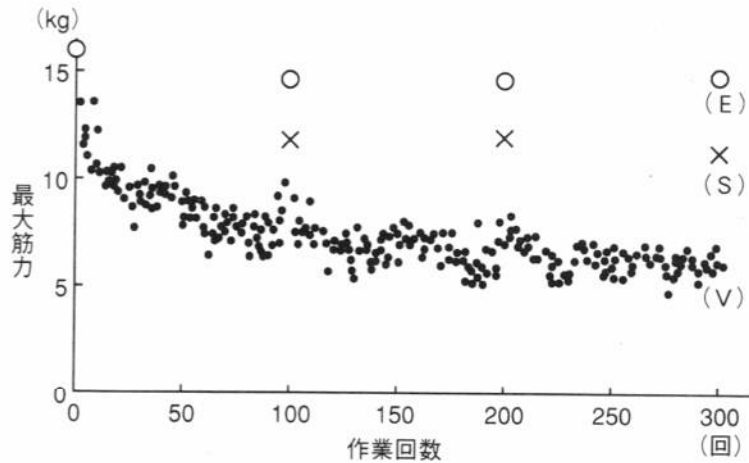


図4-7 筋活動中の心理的境界と生理的境界 (猪飼・矢部, 1971年)

- (E): 電気刺激による最大筋力
- × (S): 自発的なかけ声とともに発揮した意志による最大筋力
- (V): 意志による最大筋力

## 中枢性抑制の“脱抑制”効果

### 3×3システムの意味するもの

		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	◎	○	△
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	◎	○	△



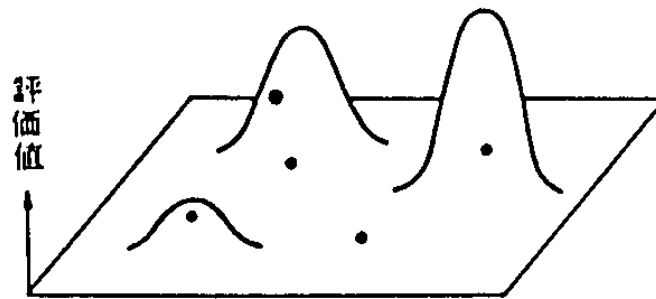
# 運動学習のモデルから

知能システム研究会(1987)

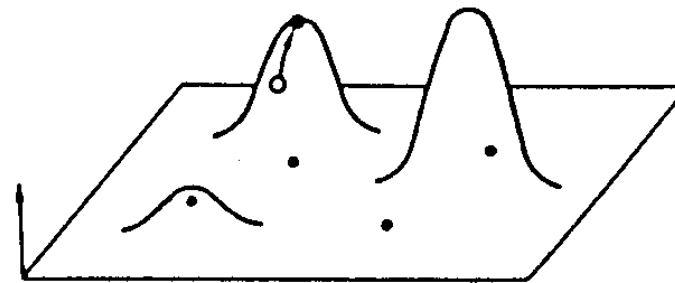
「大域的探索」

Vs

「山登り法」での極大値探索

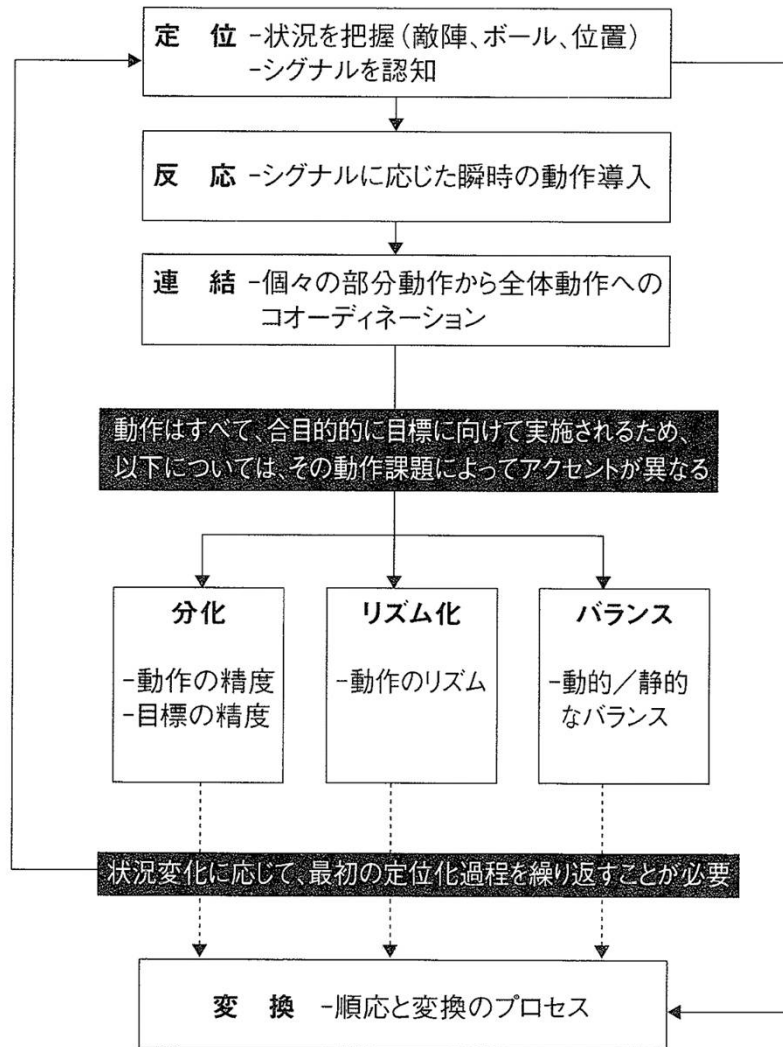


- ① パラメータをランダムに選ぶ  
大域的探索。



- ② 「山登り法」により極大値を  
探す局地的最適化。これによ  
り得られた評価値が必ずしも  
最大とはいえない。

# コーディネーションの7つの概念 C.ハルトマン(2009)



このシステムに「エネルギー供給系」は入っていない

⇒ 神経系の機能

※トレーニングは疲労感のない範囲で？

しかし「何故コーディネーションは生起するのか？」は説明できない

⇒ そのままでは「破綻」するので変えなくてははいけない？

# コーディネーションの再考

- エネルギー系の変容にあわせてスキル系を変容  
「変えなければ破たんする！」という強制力  
⇒ はじめてコーディネーションが必要とされる  
(構造ではなく「生起」の必要性)
- 「状況に応じて柔軟に対応できる」こと  
エネルギー供給系の変容 ⇒ スキル系の適応制御
- 「最適値制御」ということ  
エネルギー供給系とスキル系の運動効率  
「連関(Linkage)」と「調和(Harmony)」?