

## 運動習熟とダイナミック・ステレオタイプの再考

新潟大学・山崎 健

## 1. はじめに

(旧) ソ連のスポーツ・トレーニング理論の中での「ダイナミック・ステレオタイプ」  
クレストフニコフ「スポーツの生理学」(1951年モスクワ版、日本訳1978年)：

第3章 運動習熟の形成および機能向上のためのトレーニング § 運動習熟の形成におけるドミナントの原理の意義 (A.A.ウフトムスキー)

ヤコブレフ他「ソ連スポーツ・トレーニングの理論と方法」(日本訳1960年)：

第3章 運動熟練の意義 条件反射の形成から熟練形成に至る原理 (パブロフ：興奮・制止の両部位からなる条件反射の体系)

プーニ「実践スポーツ心理」(日本訳1967年)：

第2章 スポーツ技術トレーニングの心理学的基礎 第5節 運動習熟の形成過程の一般的特徴

1. 基本的にはソビエトスポーツ生理学の流れの中で、I.M.セーチェノフ、I.P.パブロフの「条件反射学」の概念・・・スポーツ生理学としてはP.F.レスガフト、A.N.クレストフニコフが主流
2. 最近何故か話題のN.A.ベルンシュタインの「運動構築基準」「協応」の概念は「修正主義」「西欧主義」と排斥されている(クレストフニコフのロシア語版原著・・・東独版では削除！)

ベルンシュタイン教授は、生力学的研究に基づき、運動構造の学説の構成を試みた。彼はその著書で、概念論的および機械論的な認識の上に立って、パブロフの唯物論的学説を批判し、高く評価しなかった。ベルンシュタインの説によると、運動習熟の形成は複雑な条件反射によらないものとされていた。更に彼は、協応という概念により”高次の”内容を認めて、協応の概念と反射の概念とを対立させた。ベルンシュタインは協応に対しては特殊器官”大脳”の協応系(運動構築基準)”が存在するとしているが、これは基本的に正しくない。現代の生理学的考察によるとどんな反射も多かれ少なかれ複雑な協応にほかならない。

協応性とは、中枢神経系のあらゆる部分の基本的な機能である。

ベルンシュタインが取り上げた”運動構築基準”は中枢神経系を機械的に区分するものである。すなわち一定の基準を決め、これに対応するこの運動習熟の形成を図ることは、

全く思弁的なやり方である。この運動構造に関するベルンシュタインの学説は反動的なものである。この考えは有害であり、運動習熟に関する我々の理解を何十年も後退させるものである。彼が偉大なロシアの生理学者を軽視し、外国の学者の説の普及に力を入れたこと、また、観念論的な考えを用いたことはいささか許しがたい。したがってベルンシュタインの考えを原理的に厳しく批判することは、体育科学をいっそう発展させるためにまさに決定的な役割を持つのである。

協応及び筋の出力の度合いによって様々な難度を持つ運動の習熟は、すべての学習及びトレーニングの過程に関する正しい方法論的立場から、初めて正しく説明することができる。

運動習熟の形成およびその完成を図る場合には、主な教育学上の原理を守ることに大きな意義がある。この原理とは、1)意識性および積極性、2)系統性、3)明快性、4)直観性、5)緻密性である。

3. ベルンシュタインの「デクステリティ：巧みさとその発達」が書かれたのは1940年代の様、**「Bewegungsphysiologie」**は東独で1975年出版、ホワイティングの**「Human**

「Motor Action: Bernstein Reassessed」で引用された「The coordination and regulation of movement」は 1967 年に英国で出版された。

4. 東独 Harre 編集の「Trainingslehre」で引用される P.K.アノーヒンはベルンシュタインを高く評価している模様
5. トレーニング理論として集大成したのは、N.G.オゾーリン（全ソ科学研究会議議長・モスクワ体育大学）の「スポーツマン教科書」（日本訳 1966 年）？
6. 以降、ソ連東欧圏のトレーニング理論の主潮流？
7. 最近の邦訳書では「ボンパ：スポーツトレーニング」（日本訳 1988 年：魚住廣信訳）

## 2. 運動学習の三段階論と運動習熟の形成、ダイナミック・ステレオタイプ（1980 年前半）

“芝田は、認識過程(第一信号系による感性的認識)を高次神経活動としての条件反射の汎化と分化の段階から次の三段階に分類している<sup>(6)</sup>。

- ① 混沌性の段階現象あるいは状況の全体について混沌たる表象をもつ段階。
- ② 分析の段階現象あるいは状況を個々の部分にわけ、そのエレメントの性質を反映する段階。
- ③ 総合の段階-個々の部分の相互連関を反映し、そこから全体をつくりあげる段階。

また、K・マイネルは「運動系における学習の位相」という観点から三つの特徴的な位相、あるいは発展段階を経過するとして次の三段階を区分する<sup>(7)</sup>。

位相 A・粗形態における基礎経過の獲得/運動の粗協調。

位相 B・修正、洗練、分化/運動の精協調。

位相 C・定着と変化条件への適応/運動の安定化。

A・ツェ・プー二<sup>(8)</sup>は、A・N・クレストフニコフ<sup>(9)</sup>の定義に基づき、また N・G・オゾーリン<sup>(10)</sup>は「全習 - 分習 - 全習」という過程からそれぞれ三段階に分類している。

筆者は、実践の主体の意識の側面では、第一段階における特徴として「単位のキャラクター」の「前言語的」な特徴があると思われるが、この段階では感覚的記憶と対応した運動遂行が主要なものであり「個々の概念的説明」は困難である。しかし、既に第二段階以上の水準で獲得された類似した動作であれば「主観的（個人内）」にあるいは「客観的（他人に対して）」に説明することが可能となる。しかし、この「新た獲得対象」の問題は、「運動の基本的形態」が存在する以上はそれらの組み合わせかたとしての「単位としての配列」

が主要獲得対象として存在する面も考えられる。また、このことと同様の論理で「既得の類似した配列」が存在する場合には「若干の配列の変更」で処理できる可能性も考えられる（たとえば軟式テニスと硬式テニス、バドミントンなどの幾つかの部分）。

第二段階においては、認識の分化と意識化の進行に対応して「個々の修正」が可能となる。この「初期的融合による配列の結合」を保証してきたキャラクターユニットの崩壊は、一方ではマイネルの指摘するように該当する部分の「言語語的」意識化と伝達が可能となり運動系の学習が進展したことを意味するが、他方では獲得されるべき対象の「主要な単位」からの「個々の要素の遊離」による運動遂行の障害の発現を意味するものである。この「矛盾した性格」の存在は、一種の「主観的困惑（今迄できていたものができなくなる）」をたらずものであるが、その発現の程度は各個人の「運動経験の財産（マイネル）・単位としての配列の豊富な蓄積/要素の結合による処理経験の有無・によって異なってくるものと思われる。この個人差を形成する「幾つかの個別的な経験の蓄積」は、「要素の構造的把握」あるいは「運動系における質（マイネル）」の発生という概念に属するものと思われ、ゆえに「普遍的」に第三段階への移行可能性のモデルを示すものと思われる。

この三次元的配列の分離に伴う「主要キャラクターと個々の要素のズレ」の解決と第三段階への移行のモデルを考えた場合、配列のもつ「一連の流れを持つ完結した運動経過」に規定されている「単位の側面(現象)」をどう把握するのか、いいかえれば獲得対象の配列の性格を内在させた「シミュレーションモデル」をいかに設定するのかという問題に帰

着するものと思われる。

例えば「インパクト」という「主要局面」の修正を考えた場合、空間的構造化の尺度からは、それ以前の「準備局面」に何らかの問題点があり、さらに前動作の「終末局面」にも何らかの問題点が存在する可能性がある（「準備局面の不足か過大」や「終末局面からの復帰状態(とくにラケットスポーツで次の動作へ円滑に移行できるか否か)」など)。また時間的構造化の尺度からは、修正すべき局面をエフォート(実施の努力)を軽減した時間的な流れのなかに位置づける(ある動作を「いつやるべきかを考える」)モデルが課題となる(例えばハードルのインターバルを短縮し好ましい三步のリズムで「楽に」できる条件を設定し「抜き脚操作」のタイミング(ためておいて一気に胸にひきつける)を習得することなど)。強さの構造化では、運動の経過での筋活動の発現の水準を「内言的(ルリア<sup>(5)</sup>、ソコロフ<sup>(11)</sup>)」に処理するモデル(うなり声やハミングの強弱を手掛りとしての出力調節など)や「行動密着型内言("ウーンッといってトン・トン・パッ!")」によるタイミングと出力の同時調節モデルなどが考えられる。

マイネルは「運動系における質」というカテゴリーを次の三群に分けている。

① 図形的諸徴表・直接視覚的に把握できる

運動の外的な経過/空間・時間的構造や運動調和

- ② 力動的諸徴表・運動リズム、運動の流動、運動の弾性、運動の伝導。
- ③ 心理的諸徴表・意識的な制御、特に目的適合性の度合/運動の正確さと運動の先取り。

そして、これらが「運動全体のある本質的側面を表わす」ものであり、「すべての諸徴表がいっしょになって初めて運動協調の達成度を浮き彫りに示す<sup>(12)</sup>」ものと規定している。筆者は、これら八つのカテゴリーはいずれも運動の安定化の示標であるとともに運動の精協調の完成過程での「構造的把握の尺度」として最も重要な点であると考ええる。

<中略>

第三段階における運動習熟の特徴については、クレストフニコフ、プーニ、マイネルらにより詳細に述べられているので本稿では省略するが、東欧圏の心理学的ターミノロジーとしての「ダイナミックステレオタイプ」について、筆者の考えるマトリクスモデル(第1図)を提示し、その問題点を考えてみたい。

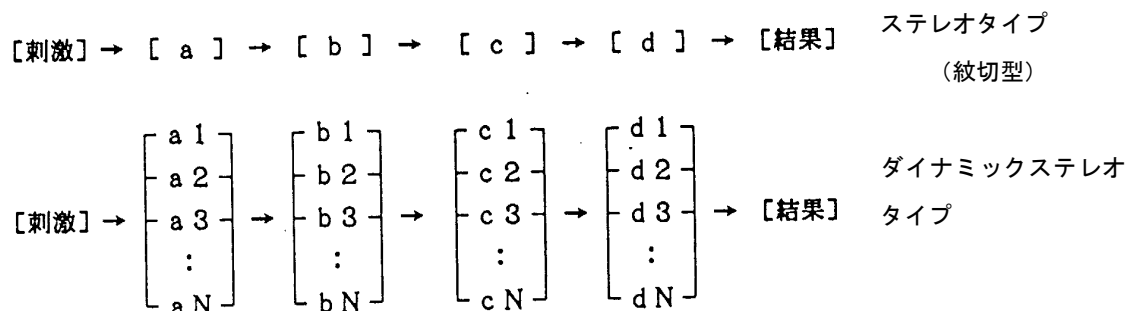


図1 ダイナミックステレオタイプとステレオタイプの比較

※ a1~aNは、aというプロトタイプの外的環境の変動に対応するサーボ制御の幅を示す。

ステレオタイプの場合は線型モデル(対応の幅がない)に近いが、ダイナミックステレオタイプの場合はマトリクスモデルとしての構造を持ち、外的環境の変動に対処する「サーボ制御の幅(意識の水準にまで達しない)」があり条件変動にたいする易動性・適応性が高い。ここで、各「マトリクス間」の移行は運動習熟の形成に伴い円滑化するとともに遂行の障害の発生により「意識的な確認・検索・修正」が可能である。これにたいして各「マ

トリクス内」での選択・発現の過程は「意識の水準」にまでのぼらないものと思われる。これは、マトリクス内での応答が主として環境条件の細部変動(トラックの材質、器具の規格、パートナーや相手の対応の変化など)に対応するものであり、それらの生体内信号としての「運動感覚(筋感覚)」による応答時間が圧倒的に速く、また選択内容が「近似的な動作要素」であるなどいわば「高速サブルーチン処理過程」となっており「意識的・言語的」

応答のオーダーでは追従することが困難なためと思われる。

そして「運動の自動化」ないしは「運動の習熟」の段階では、「マトリクス間」の連続的移行はコード化されて制御系に格納され「マトリクス内」のヴァリエーションは「プロトタイプ」としてサブコード化されて「下位制御系（おそらくは脳 - 小脳関連ループなどを含む）」に格納されるものと思われる。そして、これらのコードやサブコードの再帰的呼び出しは「個人内でのそれらの運動系に固有の引き金（トリガー）」や「サブルーチン回数」

の存在によってなされるものと考えられる。このことは「運動の転移」の問題についてのモデルとも考えられ「マトリクス内」のプロトタイプヴァリエーションの豊富なものあるいはプロトタイプの変成の容易なものは「マトリクス間」の「意識的な、あるいは前意識的な変更」により新たな動作遂行条件に対応できるものと思われる。

山崎健「スポーツの認識と習熟」（伊藤高弘・出原泰明・上野卓郎編「スポーツの自由と現代（下）」、青木書店（1986）、pp.299-313）

### 3. 運動習熟と小脳の役割、ニューモデルへのバージョンアップ（1990 年以降）

“身体運動の動作パターンの獲得や発現およびその協応や自動化に関する研究も、基礎的な研究段階にはあるものの急激な発展をみせている。吉田<sup>9)</sup>は、ネコを用いた実験の結果から運動の最終的なパターン（プログラム）は大脳皮質運動野にあると考えられるが、その企画や意図（プランニング）は連合皮質、小脳外側部、大脳基底核に関連しているとの考え方を示している。

運動熟練のメカニズムについて伊藤<sup>10)</sup>は、小脳の適応制御モデルを例示し、制御対象の動特性Gに対応して制御装置としての小脳が逆ダイナミクスモデルの動特性 1/G を完成させるのではないかとしている（図2）。川人<sup>11)</sup>は、小脳傍虫部では実際との誤差を計算しながら運動系の内部モデル（遅いフィードバック系制御）を完成させるのに対応して、小脳外側部では、フィードバック情報を受けずに運動系の逆システムの内部モデル（速いフィードフォワード系制御）を完成させるとの考えを示している。筆者<sup>12)</sup>は、これらの神経生理学的知見を「スキルの改善」という視点から検討し、様々な条件下での動作の反復が身体各部の動特性学習を前進させ、運動パターンを改善するとの仮説を示した。

山崎健「スポーツ技術の研究は何に貢献するのか」（中村敏雄編「スポーツのルール・技術・記録」）、創文企画（1993年）、pp. 165-190

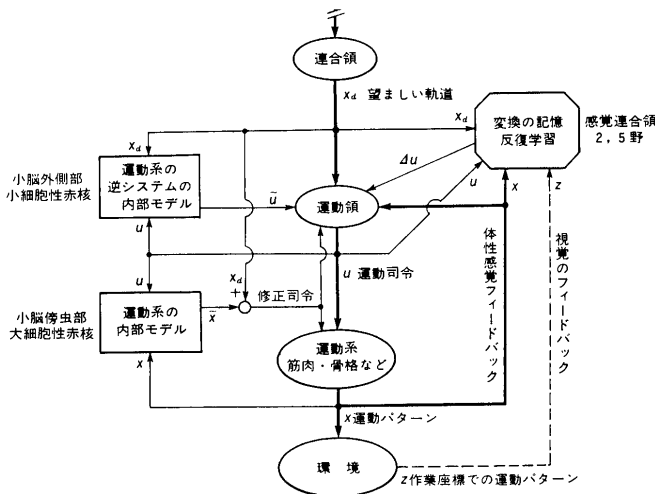


図 8-6 運動学習の階層制御モデル。大きく分けて、(1)フィードバックと太線の下降路、(2)小脳の内部モデル、(3)感覚連合領の反復学習から成る。

図2 小脳は動特性を学習する



図5. 前庭動眼反射系の回路図

制御対象としての眼球、眼筋、運動神経細胞（動特性 = G）

制御装置としての前庭器官、前庭核、小脳片葉（逆動特性 = -1/G）

※ 通常「負」のフィードバック

図 3 川人光男、運動軌道の形成、伊藤・佐伯編「認識し行動する脳」、東大出版会、1988 年、pp. 150-181

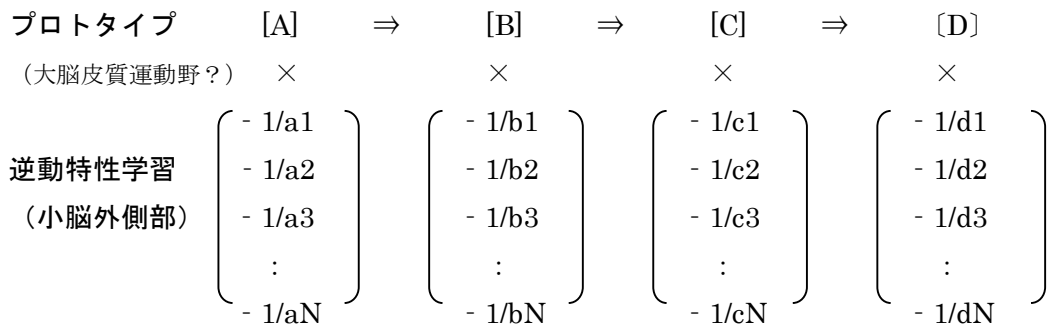


図 4 ダイナミック・ステレオタイプの新マトリクスモデル (山崎健 : 2004 年)

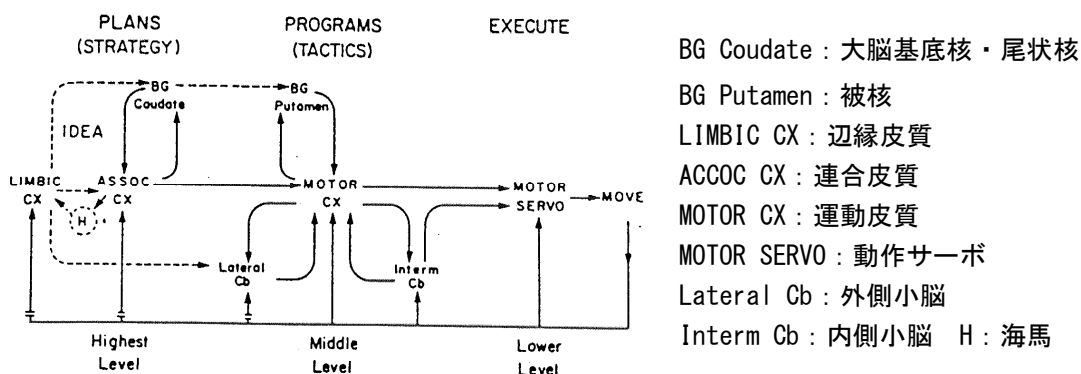
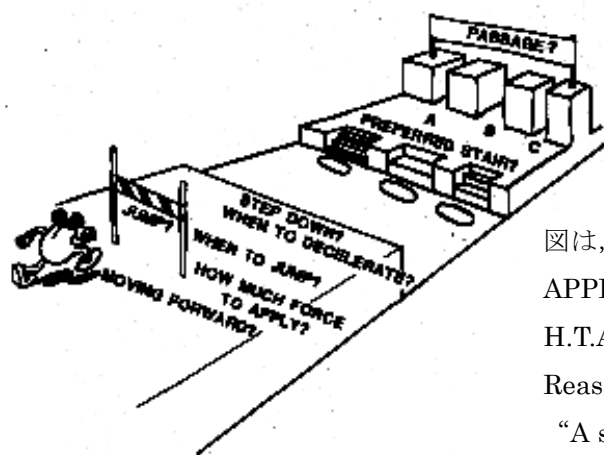


図 5 随意運動における情報の流れ (Brooks, V. B.、1986)

4. さらに新たな概念、運動の自動学習性と自己組織化 (2004 年頃から)



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

"A small sample of the meaningful problems that the surrounding layout of surface poses for locomoting animal."

図 6 知覚と行為のエコロジカル・アプローチのシェーマ

・ いわゆる「ベルンシュタイン問題」とは・・・

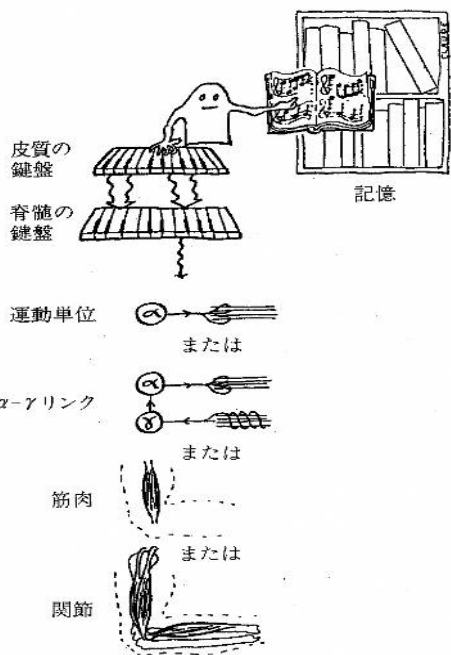


図 16 古典的運動制御モデル (M. T. Turvey et al.: in *The Bernstein Perspective I*, J. A. S. Kelso ed., LEA (1982) より)

共鳴・同調の原理

「古典的運動制御モデル」と「ベルンシュタイン問題 (膨大な自由度の制御と「文脈」)」

「このモデルは現在でも、運動の制御を考えるわれわれの常識の一部である。しかし、このモデルはやっかいな問題を抱えている。」

(佐々木正人「アフォーダンスー新しい認知の理論」、岩波書店 (1990)、pp.84)

※ ベルンシュタインは「膨大な自由度」の制御の問題に「デクステリティ：巧みさ」を示し「運動構築基準」という「非パブロフ学派的概念」で論を展開しているが、旧ソ連内であっても「知恵遅れの子の運動機能と脳」のワイズマンなどの評価は非常に高い。

・ 脳と身体と環境との強結合と自己組織化

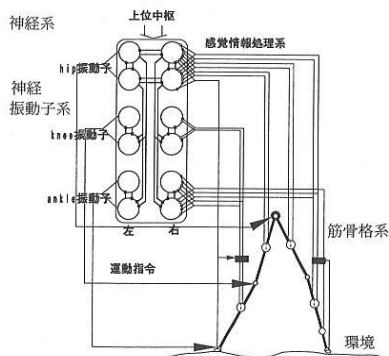


図 2-2 歩行の神経筋骨格系モデル (Taga et al. 1991 より)

※ 「スレイピング」と「シナジェティック」

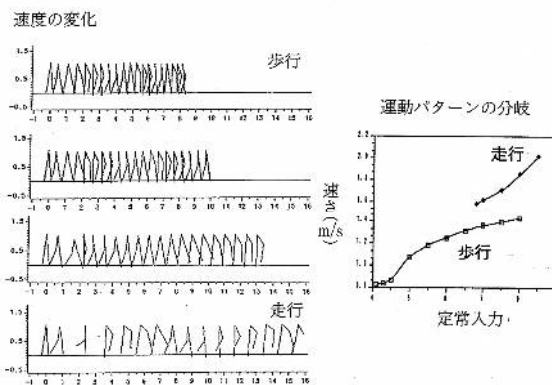


図 2-5 歩行パターンの生成 (Taga et al. 1991 より)

図 6・7 多賀徹太郎「運動・知覚の非線形力学と発達」、金子書房 (2002) より

※ おそらく図 4 の下位に、小脳での逆動特性学習のような身体のマトリクスと環境のマトリクスが加わり、運動が実現される

5. 今後の展望と検討すべきテーマ

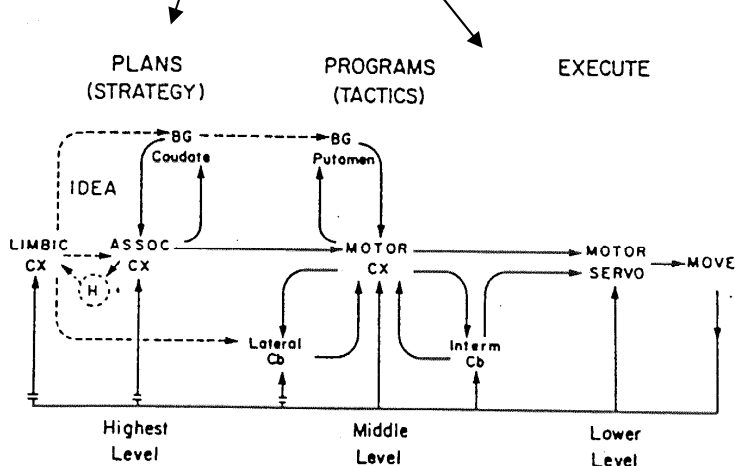
- ・ いわゆる「機械のような正確さ」はありえない？  
運動司令が「関節トルク」である以上「冗長さ」は消えない
- ・ 「運動学習」は「何処が」「何を」学習しているのか？  
運動の基本的形態とその「組み合わせ」とはいうが・・・  
「小脳での動特性学習」か「神経-身体-環境の折り合い」か・・・
- ・ では「運動習熟」とは何か？  
動作と意識との関連では「Voluntal-Volitional Loop 仮説」(1983 年)
- ・ 「最高のパフォーマンス」としてとらえられるのは「スキル」の側面だけなのか？  
非瞬間的運動の継続実施時の生理心理的状态は・・・  
先週のランニング学会のテーマ「マラソンは芸術か？」
- ・ エネルギー生産系からのアプローチは？

2003 年 3 月現スポ研報告「走運動の発生に関する若干の理論的考察」より

キーワード一覧

- ・ **弾性効率**：一定速度以上では歩行よりも走行の方がエネルギーの再利用効率が大きい現象で、筋の伸張反射という基本的性質により実現されると考えられる。同一の持続的能力を仮定した場合の「記録」の違いを説明する場合に用いられるが厳密にはもっと複雑。
- ・ **最適値制御**：運動課題達成のために、現在の身体的状況に対応した最もエネルギー消費の少ない運動軌道に収斂する（「トルク最小モデル」：「独習」性で小脳中枢説が有力）
- ・ **カップリング**：筋収縮による「ミルキングアクション（絞り出し）」の運動リズムが心拍出と対応して心拍数と同期する現象（例えばピッチ 180spm の際の心拍数が 180bpm の場合など）。森谷は、筋収縮が右心房の収縮期に起こると拍出量は低下し心室の拡張末期から心房収縮前期に同期すると拍出量が増加することを指摘した（1995）。
- ・ **運動リズムの予測**：必要とされる運動エネルギーのリズミカルな生産と発現のために、心拍数などが予測性の反応を示す（逆に対応できない場合には『不調』を引き起こす？）
- ・ Brooks の随意運動のシェーマから

「意思決定・意欲」の遅い時系列は PLANS (STRATEGY)  
 「筋電図反応時間」の速い時系列は PROGRAMS (TACTICS) - EXECUTE



随意運動における情報の流れ  
 (Brooks, V.B., 1986)  
 BG Caudate : 大脳基底核・尾状核  
 BG Putamen : 被核  
 LIMBIC CX : 辺縁皮質  
 ASSOC CX : 連合皮質  
 MOTOR CX : 運動皮質  
 MOTOR SERVO : 動作サーボ  
 Lateral Cb : 外側小脳  
 Interm Cb : 内側小脳  
 H : 海馬

参考：只今検討中なので紹介のみ・・・

ベルンシュタイン「デクステリティ：巧みさとその発達」（金子書房：2003 年）

#### 第V章 動作構築のレベル

- ・ 緊張のレベル — レベル A
- ・ 筋-関節リンクのレベル — レベル B
- ・ 空間のレベル — レベル C1/C2
- ・ 行為のレベル — レベル D
- ・ 巧みさの種類について
- ・ 行為のタイプ グループ 1~5

#### 第VI章 練習と運動スキル

- ・ 運動スキルの構築
- ・ 背景調整の割り当て
- ・ 動作の自動化
- ・ 背景調節の調和を奏でる
- ・ 標準化
- ・ 安定化

#### ワイズマン「ちえ遅れの子の運動機能と脳」のベルンシュタインの引用から

「例えば水準 A はきわめて早くピアノの鍵を叩く、すなわち一分間に 6 - 8 回の頻度でまったく同一の楽譜あるいは音階を繰り返して弾き、たびたび指先と前膊を小さな円状（あるいはだ円状）に動かす。

水準 B は体操や舞踊運動の遂行順序に従って、空中に手で円を描くことができる。

水準 C、人は、紙に描かれた円あるいは消去された円にそって、鉛筆でなぞることができる（水準 C の 1）、あるいは目の前にある円を模写することができる（水準 C の 2）。

水準 D、人は針で縫う、結び目をほどくなどの手の円運動をすることができる。

水準 E、人は幾何学の定理を証明するにさいして、黒板に証明のための図の一部分としての円を描くことができる。

これらすべては、あるいはより大きな、あるいはより小さな類似した円運動であるが、列挙した全ての例において・・・その構築の水準は本質的に相異なっている。」（「運動の構築」1947 年）

※ 「デクステリティ」には「水準 E」の説明はない