

スポーツ運動・動作の練習過程に関する 実験研究への覚え書き

佐藤善治

もくじ

序

I．運動制御・学習研究の概観

- (1) 運動制御・学習とは
- (2) 学際的性質
- (3) 運動制御・学習研究の素材はスポーツ実践の場に
- (4) 認知心理学とサイバネティクス

II．運動制御・学習と情報処理論的接近

- (1) 閉回路理論：Adams, J. A. (1971)
- (2) Adams の理論への批判
- (3) 開回路理論：Schmidt, R. A. (1975) 他
 - 1) スキーマの情報源
 - 2) 不変特性と可変特性
 - 3) 効果的な練習の設計
 - 4) 保持と転移
 - 5) 再構成理論
 - 6) 文脈干渉
 - 7) 長期の練習
 - 8) 多様練習仮説

III．運動制御の抹消説およびダイナミック・システムズ・アプローチ

- (1) マスースプリング仮説
- (2) 協応構造とダイナミック・システムズ・アプローチ
 - 1) 協応構造
 - 2) 両肢のカップリング
 - 3) 自己組織系としての運動行為システム

IV．スポーツ運動・動作の練習（学習）過程研究に欠かせない2つのアプローチ

- (1) 運動プログラム理論
- (2) ダイナミック・システムズ理論
- (3) 2つの見解（理論）の比較対照
- (4) さらに求められる練習（学習）過程研究；そのための実験デザイン・操作の必要
 - 1) 非身体的な練習方法
 - 2) 習得から保持への逆転現象
 - 3) 意図的な動作ストラテジー

おわりに

序

スポーツにおける身体運動・動作は、巨視的には次のような特徴をもっている。1つは、それらがある時間的・空間的特徴をもった小筋・大筋群の運動の系列から成り立っていることである。2つは、それらの運動系列がある目的・目標に向かってか、あるいは前もった実行計画にしたがって発現されていることである。3つは、周囲との相互作用の過程をとおして、目的・目標群自体の変化とともに運動系列自身も姿・形を変容させていくことである。そして4つは、通常、練習あるいは訓練という手続きをとおしてこれらが身につけられることである。人間の運動行動研究がこれらの特徴のそれぞれや相互の関係に向けられてきたといっても良いだろう¹⁾。

標題は第4番目の特徴に焦点を当て、しかも実際場面のフィールドワークを強く意識したものである。にもかかわらず、身体運動・動作は目標に向かっていかにコントロールされるか、つまりシステムの要素とその働き方に対する見方・考え方によって、そのシステムがいかに構築されていくかあるいはその過程に貢献する外的要因は何か、に対する接近方法が強い影響を受けることも事実である。「運動制御・学習」(Motor Control and Learning)という表記や研究分野の仮設定が行われている所以であろう。

したがって、「理論から実際の適用へ」あるいは「フィールドから理論的実証研究へ」といわれる、橋渡しの応用領域の課題を深めるためには、いわゆる運動制御理論と運動学習理論がどのような実践的検証課題を提出しているのか、逆にフィールドにある諸々の問題はいかなる理論研究の進展を求めているのか、という思考や思索の手順を今一度考えてみる必要があるといえるだろう。本稿はこのことを直接的な作業課題にするものである。

I . 運動制御・学習研究の概観

(1) 運動制御・学習とは

運動制御・学習とは、一般にあまり耳慣れない用語であるが、人間の運動行為に結びついてくる諸過程が発達することならびに運動の実行過程そのものについての理解を深めることに関係する研究部門を指す。前者と後者では異なった側面に焦点を当てるが、下位領域では諸要因が密接に組み合わさっており完全に分割しても実り多いとはいえないので、現在このように表記されている。

実際の現場つまり体育授業であれスポーツのクラブ活動であれ、練習・訓練過程においては、個々人の運動・動作が「できる・わかる・習熟する」ことや、それらを促進あるいは抑制する「指導、環境諸条件の整備」などがすべて対象となる。また現在では、体育やスポーツだけでなく、人間因子（特に運動行為）の理解が必要となるさまざまな領域（例えば人間の身体運動の発達支援プログラム開発、あるいは人間因子を考慮した製品・装置の開発など）で研究され、学際的な結びつきがすでに現れはじめている。

(2) 学際的性質

この領域が浮上するのに対して少なくとも4つの学問領域、すなわち生理学、心理学、工学、教育学が祖父母の役割を果たしたといつてよいだろう。これらはともに長い歴史をもち、現在では細分化して数多くの下位領域をもっている。生理学ではその一領域として発展した神経生理学がもっとも密接な結びつきをもつ。心理学では、生理心理学、感覚・知覚および認知心理学が緊密な領域である。工学では、とりわけマン・マシン・システムにおける人間オペレータを能動的な情報処理体(限界容量ももつ)であるとみなし、心理学やその他の訓練/学習の専門家たちとの共同研究の成果を複雑な機械や装置の設計に生かす分野が関連領域である。教育学は、学習活動の場を成立させるカリキュラムとそれを実現する学校および文化的組織(典型例はスポーツ競技組織)を社会的・制度的に確立することで関連が深い。

このような運動制御・学習の分野では、どのようなことが研究されてきたか、あるいは現在どのようなことが話題や論争点になっているか、さらには実証的・実験的研究や理論化は現実場面のどのようなことがらに結びついているのか、等々について考えることが上記にのべたねらいの中身である。

(3) 運動制御・学習研究の素材はスポーツ実践の場に

野球チームで指導する人たちは、自らの経験と先人たちの教えから、多くの知識と方法をすでに身につけている。野球ゲームは、何を目標に、個々人のどのような運動動作やそれらの関係を成立させているか。野球ゲームに参加(適応)するには、個々人はどのような能力を身につけねばならないか。はじめ下手くそだった子供が、練習や訓練という手続きを通して段々とうまくなっていく(望ましい方向に変化していく)とき何が変化するのか。初心者から熟練者までいろいろな誤り(エラー)をおかすが、それぞれに対して修正する働きかけをコーチ達は準備している。

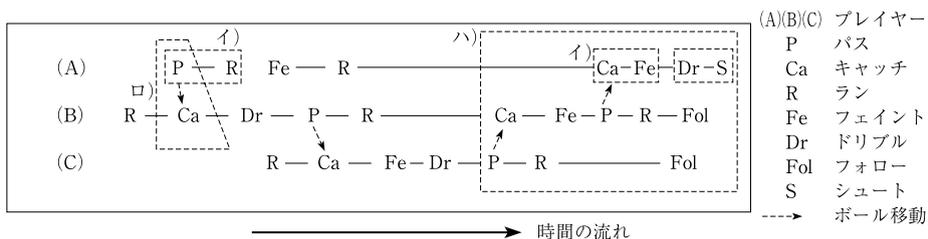
このような人間の運動に関して野球関係者がかわす話題の中には、すでに運動の学習や制御についての内容と研究史を豊富に含んでいる。これらは言い方をかえれば、野球の中の運動・動作を観察する観点と方法(手法)ということになる。

① 目に見える行動の過程と結果

- 動作過程の運動力学・運動学的記述(用具・身体運動の物理法則, 運動フォーム)
- 反応時間と運動時間, 反応エラー(打撃, 守備, 走塁時の個々の運動課題と成否)
- チーム・個人行動の概念的記述(スコアブック)

② 目に見えない行動の過程と結果

- 生理学的指標, 神経生理学的指標(筋電図, 脳波, 心拍数など)



図(A) ボール移動に対する個々の動作系列の一例(佐藤(1991))

野球だけでなく全般的な人間の運動についても、それを物体の運動と同じレベルで解析する運動力学・運動学的な記述・分析は早くから行われている。身体各部の位置変化の軌跡や関節角度変化ならびに力量発揮の度合いなどが初心者と熟練者との間でいかに異なるか等の研究結果は、望ましい結果と学習者の現在水準との違いを明らかにし、現在、スポーツにおける運動動作の指導・学習にはなくてはならない情報源となっている。

また、バスケットボールやサッカーなどの、ゴールをもつ集団のボールゲームにおいては、ゲームのなかで生起することがら（個々のプレイヤーの運動・動作、およびチームのパフォーマンス）を時系列にしたがって観察・記述・分析することが、指導者だけでなく学習者にとっても有益な情報を生み出すことは、もはや自明のこととなっている。図(A)に示すように、現実起こっているゲームになるべく手を加えないで、「誰が、どこで、何を、なぜ、いかに行ったか、その結果は」という流れを記述（動作・時間分析法）すれば、個々のプレイヤーの単一動作や系列動作といった「小さなまとまり」から複数プレイヤーの関与がある相対的に「大きなまとまり」までが認められる。個々人はその動作を習得しなおかつより大きなまとまりのなかに自らを適応させることが課題である。²⁾

ゲームの組み立てや展開を考える指導者（コーチ）は、当然そのことに向けた準備の過程として個々人の運動・動作の学習過程を組織化する。このような意図的な取り組みとしてのスポーツの練習過程は、課題やそのバリエーション（運動・動作の目的・目標群）、運動主体のシステムの働き、学習（適応）過程、学習補助・支援の諸条件といった要因がからみあう、複雑なシステムとしての性格をもつことになる。

(4) 認知心理学とサイバネティクス

運動・動作を観察する観点や手法の多くは、運動実施あるいは表出過程・結果に関する物理的、生理的指標の利用とデータ収集のための手法開発に焦点があったといえる。運動行為を起こす際のメカニズム、習熟に際して何がどの方向に変化するか、それを促進あるいは抑制する内的、外的条件は何か等、が明らかにされる価値があるとの共通の認識がたとえ研究者間にあったとしても、理論化や実証作業は時として方向、範囲が限定的である。運動の学習に関して、先の観察手法開発とその成果とは並行的に中枢部分に焦点が当てられることとなる。

運動学習や制御の研究が進展した発端は、サイバネティクスの範疇で仕事を進める工学分野と認知心理学の接近だったであろう。サイバネティクスは、入力、出力、サーボ機構、比較器、フィードバック、制御装置、これらのシステム、といった概念枠に則って、システムの設計や評価そして精緻化の手続きをとる。人工知能や電子計算機の開発がまさにその中枢部分としての位置を占めていたことは、今日明白であろう。

認知心理学では、特定刺激と特定反応の連合を唱える行動主義のSR理論や条件反射理論に対して、刺激反応を媒介するオペレータの認識が行動を支えていると考えており、計算機とのアナロジーで中枢にいくつかの認知作用を仮定してそれを実証する実験研究が旺盛に進められた。とくに、言語・視覚情報を材料とした、作業・短期・長期記憶の働きと容量限界、情報の「処理の深さ、符号化・復号化、保持、検索、忘却」等に関する研究が進展した。Kerr, R. (1982³⁾)は運動学習に関する情報処理論的アプローチの枠組みを図(B)のように描き、伝統的なこの接近方法の

るいくつかの痕跡を表象していると考えられている。結果の知識は運動を目標（ターゲット）へと近づけるように働くので、結果の知識が示されない場合よりも結果の知識が提供された時に貯蔵された痕跡群の方が、正しい反応に一層近似したものを表象するであろう。

さらにまた、不正確な運動を結果として生じさせるどんな要因も学習の妨げになるであろう。すなわち、エラーは学習にとって好ましくないものと見做されるし、運動を正しく導くどんな要因も学習にとって有益なものであろう。加えて、アダムスは、十分に発達した知覚痕跡は、結果の知識が取りのぞかれた後も、適切なパフォーマンスを維持することができるだろうと提起した。

一方、記憶痕跡は運動を正しい方向に開始することに関与する比較的小さな運動プログラムだと言われている。この理論では学習にとって本質的役割を果たすフィードバックの機能にはかなりの考察が加えられたが、他の一つ記憶痕跡については練習の結果として発達することが指摘されておらず、それゆえに運動のコントロールと学習のプロセスにおいてはささいな役割しか与えられていない。

(2) Adams の理論への批判

Adams の理論は、次の3つの主要な点で広く疑問がもたれた。第1は、運動のコントロールを引き受ける知覚痕跡が各々の運動毎に発達すると、この理論が提起していることである。ほんの少しでも運動が違えば、異なる知覚痕跡が必要とされるはずである。日常生活についても受け入れられるためには、必要とされるであろう膨大な量の知覚痕跡を貯蔵し検索しなければならないという点で、いくつかの問題がある。

第2に、初めて試みられる運動がどのようにコントロールされるのかについて、この理論は提起していないということである。知覚痕跡なしでは、運動コントロールのしようがなくなる。最後に、この理論においては、フィードバックを知覚痕跡と関連させて処理し役立てようとするれば、十分な時間が必要となることである。このフィードバック処理に必要な時間見積もりは多様に変化するが、フィードバックが運動コントロールに主要な役割を果たさないほど素早く、人々の熟練運動が実施されていることは明らかである。

Adams がこの理論を提起した当時は、運動学習研究の多くはゆっくりとした直線位置決め反応を運動課題として採用していた。確固とした実験的証拠とそこから導かれる法則に理論化の基礎をおくために、むしろそれに限定されていたともいえる。しかし、直線位置決め反応に適用されるパフォーマンスと学習の諸原理が広範な運動の学習にも当てはまるであろうと彼が考えていたことは、彼の著作からあきらかである。⁵⁾

(3) 開回路理論：Schmidt, R. A. (1975) 他

最も有名なのが Schmidt, R. A. (1975)⁶⁾ の唱えた「離散的運動スキルに関するスキーマ理論」である。スキーマとは、一組のルールからなる既存の知識や活動の枠組み（図式）をさし、人々の認知や行動の能力を規定する仮説構成概念である。そしてスキーマの改良や進歩がパフォーマンスの向上をもたらすのだと考えるのである。運動反応スキーマは二つの記憶状態、すなわち動作開始と制御を可能にする特定の運動プログラムを組織化することに関与する再生スキーマと、動作完了後に動作結果を評価し、エラー検出があれば再生スキーマを更新することに関与する再

認スキーマから成り立っている。

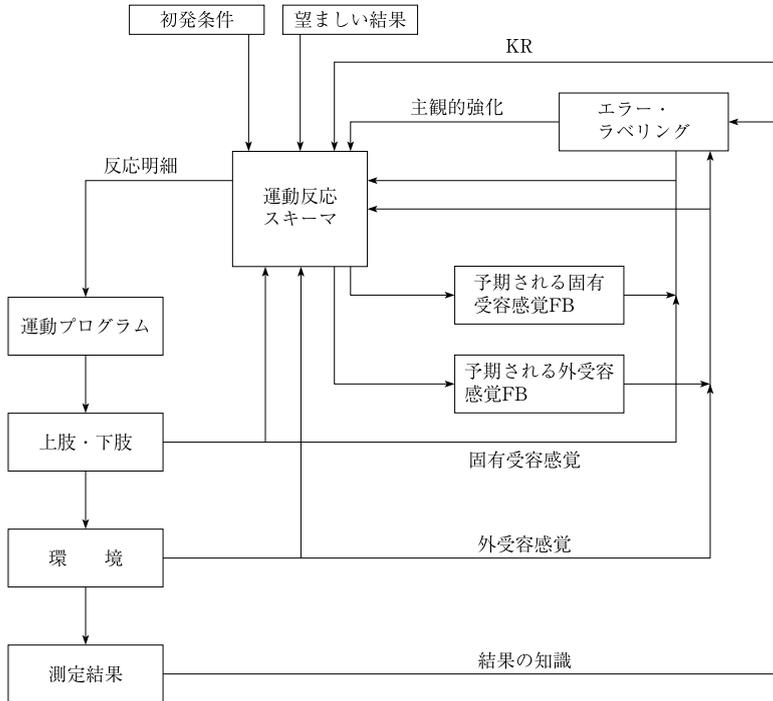
1) スキーマの情報源

Schmidt が提起したスキーマ理論は、運動が一般運動プログラムによってコントロールされると提案しているので、運動プログラム理論とも呼ばれる。

運動反応スキーマの基礎を形成するには、4つの情報源が抽出される。前2型の情報は、運動が産出される前に決定される。そして後の2つは、運動が進行した後に抽出される。第1は、初発条件と呼ばれ、有機体の現在状態に関係するものである。そこには、現在の姿勢、四肢・身体位置を安定させたり動揺させたりするように働く外力(重力、風、相手選手など)が含まれる。これらは、運動を効果的に計画する前に考慮されなければならない。

第2に、特定の遂行反応についての固有の要求は反応明細から与えられる。それぞれの課題においては、特定の筋群を使い、力量および速度を注意深く調整して運動を特定の方向に向けて行うことが求められる。同じ一般運動プログラムによってコントロールされるその他の潜在的な反応から現在の反応を区別するような様式を、反応明細(ある特有の反応を生み出させている諸要求)が決定している。

第3に、運動の感覚結果が抽出される。それは、反応産出の間に様々な感覚システムから伝達される情報から成り立っている。第4に、反応結果によって、運動の最終結果を詳細に示す情報が提供される。この情報源に、結果の知識(KR)を含めることができる。図(C)には、ある試行の間に生起している事象のつながりが描き出している。



図(C) スキーマ理論における情報の流れ (Schmidt, R. A. (1975))

2) 不変特性と可変特性

反応明細が与えられる場合に、ある固有の反応を産出しているものは、一般運動プログラムである。このプログラムは、運動プログラムの一般的特性を規定する不変特性から成り立っている。これらの特性には、運動の階層的特質（Schmidt, R. A. (1975) は要素秩序と呼んだ）、相対力量、相対タイミングが含まれると考えられている。

不変特性は運動の相対的な特質からのみ成り立っているため、特定の運動を産出するためには、プログラムは尺度化あるいはパラメーター化されなければならない。特定の諸要求に基づいて、特定化されなければならないプログラムの可変特性には、使用すべき特定の筋群、運動に関する実際の力量とタイミングが含まれると考えられる。

運動の時間的、空間的要求を操作した実験は数多くあるが、運動速度をあげても相対的に遅い運動のコピーのようであったり、運動の大きさを変えても身体各部の加速パターンは類似していたりということが、多く報告されている。これらは、スキーマという考え方に一致する証拠だと示されている。つまり、被験者は同じ一般運動プログラムを使っており、力のパラメーターとおそ⁷⁾く使用する特定の筋を選択しているに過ぎないように思われる、というのである。

3) 効果的な練習の設計

ここで問題を分かり易くするため、「バスケットボールのワンハンド・ジャンプ・ショット」の練習を効果的に設計するというを、1つの例にして考えてみよう。クラブ活動などでショットの仕方は一応飲み込んだ、ゲームの成り立ちも少しは分かってきた、ゲームで活躍できる性能を高めたい、もっと基本を繰り返し練習させる必要があると、先生もしくはコーチは考え、この学期は毎日100本のショット練習を行うよう指示した。練習の量は明らかだが、「やる中身とやり方」については極めて多数の方法が存在する。それは、練習に含まれる相互関連的な2つの特性、すなわち練習スケジュールと練習構成を彼らが検討し操作を加えるからである。

練習スケジュールは、それによって特定の課題が変化する、あるいは文脈の原因となっている操作に関係するものである。課題の学習順序や運動試技 / 休憩のインターバルを操作することは、練習スケジュールの例である。練習構成は、練習期間中に混ざり合っている課題や課題のバリエーションの数を変えたり、課題が練習される方法（身体的な、心理的な、観察的な、あるいは模擬的な練習）を変えたりする操作のことである。

さらに問題を簡素にして、ショットが行われる方向（左右0度、左右45度、正面の5つ）および距離（近、中、遠の3つ）の組み合わせで15のショット地点を仮定すれば、先の100本のショット練習はどのように構成されるのだろうか。方向、距離を変えずに（一定練習）100本打つのか、それとも30、30、40本に分けて（ブロック練習）それぞれのブロックのなかは一定にするのか。あるいは、方向、距離の可能な組み合わせやショットに至る1つ前の動作との結合（捕球、ピボット・ターン、かわす動作等）などを考慮して（多様性練習）、しかも毎回それらを決定してやらなければならない方法（ランダム練習）で行うのか。このように考えれば、ショット動作が定着、精緻化しゲームのなかに生きる練習（学習）は、いったいどのようにして設計され、効果はいかに評価されているのだろうか。

4) 保持と転移

運動学習研究の主要な目的の一つは、運動スキルが最も良く学習される習得条件を決定することである。学習とは「経験による比較的永続的な行動変化」と規定されているが、それは、習得期間中のパフォーマンス、練習期間後の保持（把持）テスト、および課題のバリエーションや習得期間中に経験されない他の課題についての練習経験を調べる転移テスト、すなわち通常、転移パラダイムと呼ばれるものの中で評価される。

5) 再構成理論

先にバスケットのショット練習で例証した練習のスケジュールや構成について、室内の運動学習実験では、大枠で「ブロック・一定練習」と「ランダム・多様練習」という条件の比較が多く行われている。概して、後者は習得期間中には前者よりもパフォーマンスが劣るが、保持テストや転移テストにおいては逆転し高成績なパフォーマンスを示す、とされている。なぜそうなるのかの説明は再構成理論として知られている。

ランダム・多様条件下の各試行においては、異なった反応が挿入されることで特定の反応に対する短期記憶が妨害されるので、学習者は記憶から反応を再構成する傾向にある。次の反応要求に対する準備のために、学習者は多様な検索チャンネル/ストラテジーを貯えている（記憶にコード化している）ので、そこからの検索学習が促進されるのである。

だがブロック・一定条件下においては、現行反応のもとである記憶表象は忘れられておらず、次の反応を完成するために利用可能である。このような条件下では、永続的な記憶貯蔵が最新のものになったり、アクセスされたりすることが相対的に数少なくなる。忘却と再構成の諸過程を通じて、より良い反応の質的および量的分析が一層助長され、また長期記憶貯蔵との多様な相互作用がより促進されると考えられる。したがってランダム・多様条件で保持が促進するとされるのである。

6) 文脈干渉

もう1つの理論的背景は文脈干渉である。これは、数個の課題の学習が必要でしかも一緒に練習するような場合に、練習期間中に課題間で起こる機能的妨害のことである。主に言語リストの認知記憶の研究では、各項目は、他項目との関わりという文脈や処理方策によって生み出される干渉の程度にかなりの違いをみせ、しかもこの干渉を十分克服した項目ほどそうでないものよりもよく想起される、ということが明らかになっている。⁸⁾

運動スキルに関しても同じことが言えるのであろうか。これについては、異なる運動プログラムによってコントロールされる課題のバリエーションがランダムな順序で呈示されるときには高レベルの文脈干渉が生み出され、同じ運動プログラムの場合には相対的に低レベルの干渉しか生み出さない、と仮定されている。⁹⁾

簡単なショット練習の例でいえば、同じランダムな順序で行ったとしても、同じ方向から距離だけを違える場合と、方向と距離の組み合わせ、さらに前動作との選択・結合を付加する場合とでは、文脈干渉の程度に大きな違いがあるだろう。

7) 長期の練習

スポーツにおける運動スキルの習得は、長期間の練習をとおして達成される。概して、学習者に競技会あるいはゲームに対する準備をさせる教師およびコーチは、そのゲームやテスト条件に対して可能な限り特定のとなる経験を与えようとしているようにみえる。小学5年生あたりから高校生までのおよそ8年間の見取り図は、一体どうなっているのだろうか。先に、ランダム・多様練習は習得期間中にはブロック・一定練習よりもパフォーマンスが劣るが保持・転移の条件では逆転する傾向があると述べたが、これを実用場面に移して考えると幾分逆説的である。

明らかに、反応ストラテジーが益々固定化し柔軟でなくなるにつれて、ブロック練習の利益は練習のごく初期に生じる。一方、ランダム練習の利益は、おそらく、より柔軟な反応/コントロール・ストラテジーの結果として、初期の練習の後に表面化するのであろう。

確かに初心者の練習や新奇課題練習のごく初期には、ランダム条件に直面したとき、学習者が適当なストラテジーを決定するのが困難なことがある。とくに学習の認知段階あるいは言語運動段階と呼ばれる期間はそうである。だが、1日100本、3ヶ月、1年、3年と長期にわたる練習では、先の見取り図と基準課題の取り上げ方、そしてその基準課題のバリエーション、さらにその練習スケジュールと構成が問題になる。

「練習のための練習では?」、「もっと工夫して取り組み」、「練習が試合に生きる」等々、これらのよく使われる言い方の中には、運動学習研究の難しさとおもしろさが混在しているといえる。

8) 多様練習仮説

歴史的にみれば練習構成の問題は、学習原理を特殊化するという見地から論議されてきた。特殊因子仮説は、運動スキルは特殊化されたもので他の類似の運動スキルと表面上よく似ているだけであり、運動課題をわずかでも変えれば新プログラムの開発を必要とする新課題が生み出される、と考えた。これに対して多様練習仮説は、多様だが関連性をもついくつか課題の練習経験が運動コントロールのもととなる記憶状態を高める、と主張する。

多様練習がなぜ保持を促進し、新奇な課題バリエーションへの転移能力を高めるのか。この問題は、特定の運動課題の保持よりもむしろ課題の新奇なバリエーションへの転移という観点から論議されている。第1は、既述の一般運動プログラムの基礎をなす記憶状態に対して、多様性練習の方が特定練習に比べてより大きな利益をもたらすことである。すなわち、学習者は各々の運動の特定のな特徴を記憶に留めるのではなく、むしろその運動クラスに対する運動コントロールを支配することが可能なルール、もしくはスキーマを形成するために結果の知識に伴う情報を抽象化するのだ、と提案されている。¹⁰⁾

第2には、多様性練習条件によって、ある型の文脈干渉が作り出されているのであろうということである。だがこの条件の下で、フォーム形成・変化や指先までのコントロールが長期にわたっていかに精緻化するのは、様々な特定運動領域でこれから詳しく検討を要するところであろう。

第3には、多様練習によって、ある型の分類もしくは遅延練習が生み出されることである。2つの項目が時間的に非常に接近してあらわれる場合には、学習者は、後の反復試行の保持や転移で要求されるはずの反復処理の多くを飛び越えて進む傾向がある。直前の反復試行で使われたい

かなる処理もしくは問題解決の操作も、想起または再使用することが不可能な条件下へ早く導入することによって、より完全な処理が要求されるので、その事象に対して重要な記憶表象の強さを高める結果につながるのだと考えられている。

Ⅲ．運動制御の抹消説およびダイナミック・システムズ・アプローチ

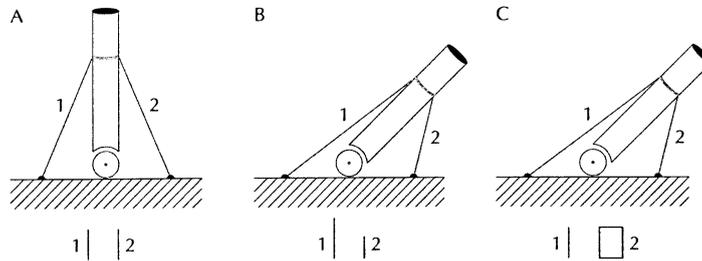
運動制御・学習に関する閉回路理論も開回路理論も、認知心理学での情報処理論的接近の枠組みを利用し、中枢での情報処理（感覚・知覚、貯蔵、変換）を仮定した構成概念を仲介過程として、運動の学習や制御に関する説明理論を提出する動きであった。最も有名なのが、Schmidt が唱えた離散的運動スキルに関するスキーマ理論であった。

このような中枢での表象作用（運動プログラムと情報フィードバック、エラー検出、再生スキーマ更新）を仮定し、それがエラー修正や動作の精緻化につながるという理論には、現在批判が集中している。1つは、サイバネティクスの工学分野では明らかに目標との比較・検出・制御器の構造と機能が直接に研究されているが、行動システムではそのようなものに直接アクセスすることはない、とくに変換器システムがいかにか働くのかが不明である、というものである。他の1つは、表象作用の適否は別として、構成概念は行動レベルから類推されるものであり、運動表出過程のデータから再吟味する必要性を唱えるものである。¹¹⁾

(1) マスースプリング仮説

Feldman, A. G. (1966a)¹²⁾ 及び後の Polit, A. & Bizzi, E. (1979)¹³⁾ は、複合的なスプリング（あるいはゴムバンド）がレバーに作用するのと同じように働筋と拮抗筋が4肢（骨）に作用している、という見解を示した。所与の神経支配下にある筋 腱グループは、筋長が増加するにつれてより大きな張力を産み出す傾向がある。同じように、スプリングはフックの法則に従った振る舞いを示す。フックの法則では、ある所与のスプリングは長さが増加するのに比例して張力が増す、と述べられている。Rosenbaum, D. A. (1990)¹⁴⁾ から引用した図(D)に描かれた例では、マス - スプリング仮説を図解するのにスプリングよりもゴムバンドが採用されている。ゴムバンドは一般にスプリングのように作用するが、長さが増すと非線形的な張力の増大を産み出す傾向がある。このことが、筋の張力、休息時の長さ、賦活レベル間の非線形的な関係と同じだからよく例証に用いられる。休息時の長さとしてゴムバンドの緊張具合が等しい場合、レバーは基底と90度の角度をなす。しかし、ゴムバンドが一層強く張られるか、あるいは休息時よりも短いゴムバンドが右側に取り付けられたならば、結果的にレバーは右側に傾くことになる。

ゴムバンドによって発揮された力がレバーの動きによって均衡化されることに注目すべきである。相対的に張りが強いあるいはより短いゴムバンドは、自らの方向にレバーを引っ張り、発揮する張力がそれによって減少することになる。このようなことが生じている間、もう一方のゴムバンドは、その張力が相対的に強いあるいはより短いゴムバンドの張力と釣り合う地点まで引き伸ばされる。このようにレバーは両側の張力が等しくなることで定められる均衡点まで動くのである。均衡点（関節角度）はレバーに作用している力の比率によって定義される、ことに注



図D) マススプリング仮説の原理 (Rosenbaum, D. A. (1990))

意してもらいたい。

さて、賦活レベルと休息時の筋長がその都度の長さ 張力関係を規定しているという条件で、筋肉が変動的な張力をもったスプリングないしはゴムバンドとして働いている、と見做してみよう。このように考えれば、単一の筋群は、スプリングないしはゴムバンドの母集団として振る舞う。例えば、肘関節で作用する屈筋群と伸筋群を考えてみよう。上腕に対する前腕の位置は、2つの筋群が発揮する張力によって定義される。伸筋に対する屈筋への賦活が増せば、屈筋側により大きな張力を生じさせる。均衡点に達するために、2つの張力が完全に釣り合いをとれるまで、屈筋は収縮によってその長さを縮減し伸筋は引っ張られることでその長さを増す。

運動コントロールのこのような見解について、理論家たちにとってもっとも興味深いことは、働筋と拮抗筋の賦活に関する単一の比率関係が、4肢の位置を特定するために利用されうることである。したがって、記憶に対する要求はより少なくてすむだろう。というのも、たとえ新規な位置に向うものだとしても正確な運動をなしうるまでに、神経支配の配分と4肢の位置との関係だけが学習されればよいからである。

実際に、動物研究 (Polit, A. & Bizzi, E. (1979)), 眼球運動研究 (Mays, L. E. & Sparks, D. L. (1980)), ならびに健常者の4肢運動研究 (Schmidt, R. A. & McGown, C. M. (1980)) からの結果によれば、マス-スプリング原理が単純運動のコントロールに貢献することを合理的に支持できることが示唆される。

(2) 協応構造とダイナミック・システムズ・アプローチ

1) 協応構造

人間や高等な動物の運動行為による適応過程をみれば、環境のもつ変動性に対して行為の柔軟性を存分に発揮している。卑近なボールゲームズのパス動作を例にとれば、受け手との距離や方向あるいは受け手との間にいる防禦者の位置などはゲームの場面ごとに時々刻々変化していく(環境の変動性)。それに対してバウンズ、ループ、手渡しなど、数々表現されるパス動作が多彩にくり出される。つまりボールが渡るという同じ課題の達成に異なる手段を用いることが可能であり、方法でなく効果の方が重視されるという特徴がしばしばみられる。このように課題特定の機能的であるところが、柔軟な行為を形成しているといえよう。

しかしどのような動作でもってボールにエネルギーを与えパスをくり出すかが決定されても、実行過程が生起するには解決されなければならない大きな課題がある。Bernstein (1967¹⁷⁾) はかつて

次のことがらを指摘した。システムを制御するために決定しなければならない変数の数のことを自由度と呼ぶが、人間の運動は多関節、多筋肉で行われかつ多方向、全身運動として実施されるので、本質的に自由度増大の傾向をもつ。

さらに環境の変動性と行為の柔軟性の相互作用という文脈からは、身体システムの制御には解剖学的、生理学的、力学的という3つの多義性が付加される。これら1つひとつに運動プログラムを割り当てていたら不経済であり、容量をもつ情報処理体は容易に制御不能に陥ることとなる。これらの問題に対し人間を含む動物はいかに運動制御を行っているのだろうか。Bernsteinは、ある行為を達成しようとするときに身体各部が連携して運動の自由度を減少させるような機能的構造が存在する考えを提出し、これをシナジー (Synergy) と呼んだ。

協応構造という考え方 (Bernstein, 1967; Easton, 1972¹⁸; Kugler, Kelso, & Turvey, 1982¹⁹) によれば、コントロール・システムには、多くの自由度を単一のユニットとして働かせるように時間的に拘束する能力がある、と提起されている。これは、運動プログラムないしはその他のコントロール過程によって個々の筋が直接的にコントロールされている、という伝統的な見解とまったく異なった考え方である。協応構造と呼ばれるいくつかの筋肉がグルーピングされたものが機能的単位としてコントロールされている、とBernsteinは論じた。このコントロール過程によって指令や決定の数が最小限に減少し、熟練運動を達成するのに必要な演算要求が減少することに、彼は注目した。

協応構造という見解は、コントロール・システムへの要求を潜在的には減少させるが、いくつかの条件下ではその考え方に難点が見られるかもしれない。われわれの両手/両腕が機能的単位として働くように拘束する場合を考えてみよう。例えば、右手こぶしで机を叩き左掌で前後にさする、右手で四角左手で三角を描く、右手でお腹を擦りながら左手で頭を軽く叩く等々、子どもの遊びでよく使われているように、要するに左右で異なった動作を同時に行わせることである。これらは練習をしなければ難しい。

特に2番目の例は、頂点の数が異なり、運動方向が違い、加えて周囲長を同じにすれば動作速度が異なることを二重に行わなければならないからである。というのもそれが長期に渡って確立されてきた両肢間の協応構造を取り消すことを求めているからである。また、苦勞してこの課題を練習し、ゆっくりなら何とか達成できるようになったとしても、速くやるように求められたら安定した動作にならなくなる。さらになりに速くて安定した後でさえ、左右の動作をスイッチするよう求められたら遂行者はそれこそ混乱状態になるであろう。

このように機能的単位を構築することと解除すること、あるいは他の単位に転換させることなど、複雑な運動の制御と学習課題について多くの問題をBernsteinは提出した。このような複雑な運動の制御が、認知的側面だけでない運動システムの解明に多くの実験を向かわせる契機となったことは事実であろう。

2) 両肢のカップリング

Kelso, J. A. S., Southard, D. L. & Goodman, D. (1979²⁰) は、被験者に右手、左手、そして両手で標的運動を行うように要求した。速度・正確性の諸関係によれば、標的がより接近しているか、より大きい場合に被験者の運動時間は減少するはずであった。片手/片腕の運動の場合にはその

とおりであったし、また同じことを要求した両手運動の場合もそのような結果になった。しかしながら、一方の手の運動に他方とは異なる距離を動かすように要求した場合や、異なるサイズの標的に接触するように要求した場合には、両手/両腕はひとつのユニットとして働くよう拘束されているように思われた。このことが結果的には、上肢が単独で働いていたときの運動時間よりも、相対的に短い距離かもしくは相対的に大きな標的（条件7と8）に対する運動時間の方が長くなるという実験結果をもたらした。

関連実験において被験者は、ホーム・ポジションから隣りの標的に両手を動かすように求められた（Kelso, J. A. S., Putman, C. A. & Goodman, D. (1983)²¹⁾）。距離ならびに標的サイズは両手とも同じであった。だが一方の手に対してはホーム・ポジションと標的との間にボール紙の障壁が設けられ、他方の手に対してはそうされなかった。もしも両肢が単独にコントロールされているなら、障壁のない方の手は標的に向って直接的なルートを取り、他方の手よりも早く到達するはずであった。結果はそうではなかった。両肢は本質的には同じルートを取り、実際に同じ時間で到達した。

練習期間を引き伸ばしたとしてもこの両肢間のカップリングを取りのぞくことは非常に困難であるように思われる。Konzem, Y. M. (1987)²²⁾は被験者に、一方の手で“V”を他方の手でギリシャ語小文字のガンマ（“γ”）を速く書くように求めた。被験者は各々の文字を225回練習し、それからその2つの課題を同時に実施するよう求められた。結果はかなりの困難を示した。Schmidt, R. A. (1985)の報告によれば、一般的に被験者はこのような二重課題が非常に困難である様相を呈し、そして1000回の練習試行を積み重ねた後でさえ両手のカップリングが取りのぞかれるようになるとは思われないのである。

3) 自己組織系としての運動行為システム

先に述べた両手のカップリングは、われわれの両肢が同時的にある動作を行うとき、運動の速度や方向、循環するサイクルなどについて強い共通の神経支配を受けているを感じさせる。逆に、両肢で異なった複雑な動きを同時にしかも外部変化に対応して正確かつスムーズに行うドラマーやダンサーたちは、このカップリングを取り除き新たな段階での協応を習得していることになる。もちろん練習や訓練という手続きをとおしてそのことが可能となっている。

このような両肢間の協応あるいは協調を運動課題にした Schöner, G., & Kelso, J. A. S. (1988)²³⁾ および Schöner, G., Zanone, P. G. & Kelso, J. A. S. (1992)²⁴⁾ は、複雑な運動を遂行するシステムを扱うダイナミック・システムズ・アプローチの典型的な実験例のうちの1つとしてあげることができる。彼らは被験者に両手の人差し指を左右にリズムカルかつ周期的に動かせる課題を行わせた。両手の人差し指を前方に差し向けた位置から両指ともに左方向へスタートさせ、メトロノームの指示するテンポで左右の往復運動をくり返せば、両指はちょうど逆位相の運動をしていることになる。出だしの比較的ゆるやかなテンポのときは安定しているが、メトロノームの周波数が段々と上げられるにしたがって位相差に乱れが生じ、突然両指の動きが同位相すなわち同じ動きに揃ってしまう。

周期的往復運動は正弦波として記述することができ、同じ動きの場合は位相差0度、逆の場合は180度と定義される。これを使えば、位相差180度でスタートした運動は、運動速度を段々とあ

げるように外部から強制されその速度がある程度にまで達したとき、ごく短時間の動揺(位相差の乱れ)を示した後、位相差0度の協調に転移することによってシステムはその事態に対処したといえる。彼らはこのような現象を自己組織系が示す典型的な振る舞いだと説明・考察している。

自己組織系 (self-organization system) とは、ある特定条件のもとで自律的なパターンを形成するシステムをさす。システムのマクロな振る舞いをあらわすのに「秩序パラメーター」(上の場合は位相差)という語が割り当てられ、秩序パラメーターに影響を与える変数は「制御パラメーター」(上の場合は運動速度あるいは周期テンポ)と呼ばれている。自己組織系は一般に次のような主要な特徴をもつ。すなわち、①マクロな秩序は自律的に生じる、②マクロなパターンは「ゆらぎ」(下位要素の相対的に自由な挙動による動揺)を内包する、③ゆらぎ、すなわち秩序の混乱をきっかけにあらたな秩序つまりパターンの異なるステージを生み出す、その意味では安定→不安定→安定が秩序パラメーターの基本的動きである、④マクロとミクロのパターンは循環する、つまり現在観察される秩序パラメーターは、より大きなパターン(マクロ)の下位要素(ミクロ)として動く場合は制御パラメーターとなるし、ミクロの挙動・ゆらぎがマクロのあらたな秩序を創り出す。

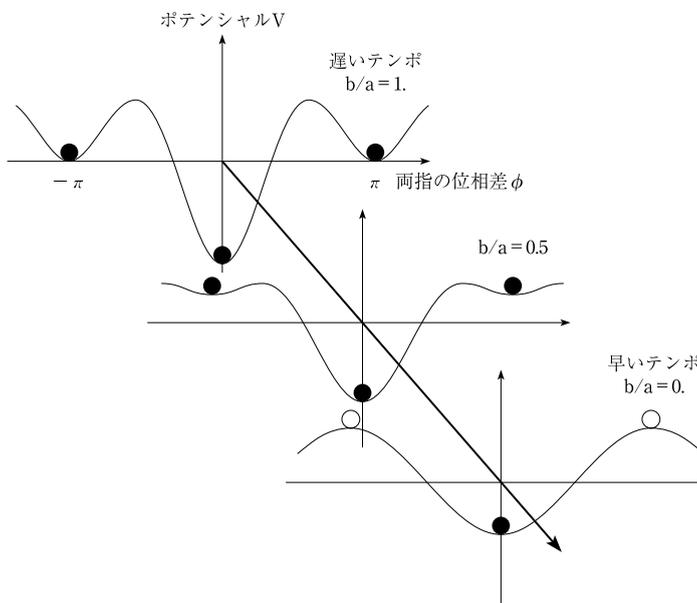
このような自己組織現象の特徴から運動制御システムの記述と説明を行う接近方法は、生命・生物の活動や化学反応、物体運動、それに社会現象までに広く観察される「協調構造」の生成をあつかう領域「シナジェティックス」および周囲に比して不釣合いな程までに抱え込んだエネルギーを外へ散逸させる過程で構造的な秩序を生じさせるような「散逸構造」をとりあつかう理論との交流やそこからの影響が大きいと思われる。とくにシステムのとりうる状態を数学的に表記できる方法、理論の開発に依拠するところが大きいと思われる。²⁵⁾²⁶⁾

Haken, H., Kelso, J. A. S. & Bunz, H. (1985)²⁷⁾ は、両指間の協調に関して自己組織化の流れ「安定→不安定→安定」を、位相差を変数とする数式「 $V(\phi) = -a \cos(\phi) - b \cos(2\phi)$ 」でモデル化することを提案した。そしてシステムの振る舞いが示す安定的な状態はあくまで動的平衡状態であり、それを「アトラクター」と呼び、状態空間のなかに動きを図示する方法を示した。

三嶋博之²⁸⁾ (2000) が分かりやすく紹介しているのでそれを図(E)に援用すれば、「エネルギーランドスケープ」と呼ばれる図の谷底領域は安定、山の頂上付近は不安定となる。図中の山はエネルギーの高いところ谷底は低いところを表す。エネルギーが高い状態にあるものは低い状態へ変化しようとする原理にもとづき、黒丸で示されるアトラクターの動きすなわち動的平衡状態の動揺や消失が状態空間の中でいかに起こるかという様子がわかる。運動が遅いテンポのときは谷底が深く、0度と180度の位相差のところアトラクターが存在する。だが、180度の谷のほうが0度のものよりも浅い。テンポが速くなるにつれて180度付近にあった谷底が隆起するようになり不安定となって、ついにはより安定する谷底(より大きなアトラクター)に滑り落ちるように両指間協調の相転換、つまり非同期(anti-phase)から同期(in-phase)になるのである。

Kelso 等の実験は次のような点で大きな影響を与えたと思われる。すなわち、

- ① 自己組織化現象をとりあつかう分野の理論をもとに、複雑な運動を行うシステム全体の挙動(秩序パラメーター)の記述を可能にするアイデアを提出したことである。両指間協調は同じ周波数で同じ運動を周期的に繰り返すことであった。だが現実の人間の目的的動作は、両肢間でリズムや速度あるいは空間方向の異なる同時的遂行が多くみられる。そのような協応動作レベルの秩序パラメーターを定義する研究を触発している。²⁹⁾



図(E) HKB 方程式の描くエネルギーランドスケープ（三嶋（2000））

- ② 他の生物および物理システムと共通の言語，あるいは表現形式でもってその記述が可能になると提案したことである。物理システムと共通であるがゆえに，知覚や行為にかんする生態学的アプローチ（コンピュータ・アナロジーとしての表象作用つまり記号処理システムを介在させないで，直接知覚，アフォーダンス，知覚 行為循環という概念に含まれるような，システムと環境との相互作用を解明しようとする方法論）と密接に結びついている。³⁰⁾
- ③ 従来行われてきた，現実場面にある複雑な運動（例えばスポーツ動作）にかんする運動学的，運動力学的データを秩序パラメータとして記述する，あるいはモデル化することによって，室内研究とフィールドの課題がより一層緊密に取りあつかうことができるかもしれない，という従来の学習研究への批判的挑戦を示したことである。³¹⁾

IV . スポーツ運動・動作の練習（学習）過程研究に欠かせない2つのアプローチ

この20年間のダイナミック・システムズ・アプローチの台頭によって，複雑な運動行動への窓口として両手あるいは4肢の協調動作を用い，主として周期的運動のなかでの自己組織化現象を取り扱う実験事態と数学的記述・形式操作の手法はかなり進展したと見受けられる。強く支持する人たちは，運動制御と学習に関して運動プログラム理論から記述されることの多くは，協調ダイナミクス（coordination dynamics）の形式的，数学的構造の中に組み込まれることが可能だと主張する。

だが，現時点でのダイナミック・システムズ理論の採用にはもっと注意が必要だとする人たちもあり，彼らはこの理論と伝統的な「認知的」立場とを何らかり組み合わせたものがもっと豊かな

発展方向となるであろうと提案している。再度、以下にまとめてみよう。

(1) 運動プログラム理論

この立場の特徴は、つぎのように仮定していることである。運動が運動プログラムおよび運動スキーマという形態の記憶表象とともに中枢に貯蔵されている。そして一般運動プログラムが特別な不変特性（運動要素を系列化することや相対タイミング、相対的力量的なもの）によって特徴づけられる一組の諸行為を支配する。特定の環境要求にあわせるためには、最終的な運動継続時間や力量のような運動パラメータが運動（再生）スキーマを介して割り当てられる。

この理論の立場を強化しようと試みる実験努力が多く積み重ねられてきたが、初期には運動スキーマというものの特性（とりわけ再生・再認）とそれの学習に焦点があった。それらは、①多様練習の重要性、②新規運動を起こすための収容力、③緩慢な運動や急速な運動にともなうエラーを正確に評価する能力、④KRを高頻度に与えることの影響を決定すること、などである。

最近では、運動スキーマだけでなく、一般運動プログラム（GMP）を発達させることに焦点を置くいくつかの研究がみられる。例えば、GMPおよび運動スキーマの学習に多様な要因が別々に影響をあたえており、それらにはKR頻度減の効果、平均KRならびに文脈干渉などが考えられることである。

学習を促進する外的諸条件についてはかなりの知見を提出してきたが、認知心理学とりわけ記憶機能やその表象作用を仮定する構成概念を運動素材の学習について深める課題を多く残しているといえる。室内実験が運動課題としていたのは、多くがキー・プレスなどの小筋群作業であったことは否めない。また認知的表象作用、情報処理に重点があったために、反応結果としてのエラー（絶対・恒常・変動エラー）や反応時間の評価に多く偏りがあった。

だが、運動システムの振る舞いを記述する方法を導入した新たな実験デザインが採用されない、「認知的課題としては複雑」だが「複雑な運動課題は与えていない」という批判に対応しえなくなっているのが難点である。

(2) ダイナミック・システムズ理論

運動プログラム理論に対する批判の中心は、①運動プログラム理論が小人のようなコントロール機構（プログラム）に依存しコンピュータ・アナロジーであること、②運動の制御は、筋肉の協調や課題の制限を単に寄せ集めて記述可能と考えられているものを遙かに越えて複雑である、ということであった。

たとえ練習の恩恵にあずからなかったとしても、有機体は課題空間が要求するものにほぼ近似する運動を起こす、必要かつ適当な運動単位を組み立てるであろう（自発運動の出現）。協調運動に介在する制御パラメータの変調の結果として別の協調モードに自発的な局面位相を起こすだろう（自己組織化現象）。

この現象を説明するため、マズスプリングと振り子システムにしたがって多くの両肢運動のモデル化が試みられた。この活動は、注意の配分や認知処理資源という条件でというよりもシステムのエネルギー論という条件で記述された。私たちが自然に示す協応構造の多くは、この概念枠の範囲によく適合するようである。

だが、課題や環境の要求によって制限されるがゆえに、行動が柔軟性と複雑性にかけることも予想される。しかし熟練行動には上の2つが固有にみられるということもまた広く認められていることである。伝統的な運動プログラム理論が提案するのと同じように、ダイナミック・システムズ理論の支持者たちも、有機体の生み出す行動の複雑性と柔軟性とは学習の機能であると論じている。

各立場で同じ過程（運動制御システム）の見方が異なるのに、学習に付随する構成概念は同じである。最近、ダイナミック・システムズ理論は認知過程をほとんど無視するものから、行動の柔軟性を促進する際に認知の果たす役割を認める形式へと変容しつつあるのではなからうか。

(3) 2つの見解（理論）の比較対照

運動プログラム理論とダイナミック・システムズ・アプローチとを分けている最も重要な問題は、後者が精神的な表象作用（mental representation）を否定していることである。運動スキルを習得する場合に練習の果たす重要な役割については両者ともに認めているが、各々は練習の役割についてきわめて異なった方法でとらえている。

例えば、認知的なアプローチは「学習の法則」を同定しようとするが、ダイナミック・システムズ・アプローチは、課題環境に本来的に備わっている法則を有機体がいかに学習するかを同定しようとする。この違いの端的な現れはつぎのとおりと思われる。

認知的なアプローチ：目的的に戦略や目標設定を変化させ練習条件を変えることによって、練習期間中の認知的な介入があれば、被験者は一層効率的な運動相をより早期に達成できるかどうか、という問いを発する。

ダイナミック・システムズ・アプローチ：スキーシミュレータやその他の配置状況から課されるいくつかの制限状況によって適切なアトラクター配置が生じ、その構造的特徴を伴った練習を被験者が行うことによって、ある1つの効率的な運動相が出現するだろうと予想する。

行動情報がフィードバックという形でその活動と同時的に特定化されれば、この過程は促進されるだろう。ダイナミック・システムズ・アプローチによれば、この種の情報は文脈がなく本質的に意味のないものであるから、活動の前後に与えられる情報は学習を促進するとは期待できないということになる。

だが、このタイプの情報は学習に実質的な影響を及ぼすことを研究結果が示している。新しい動作位相を習得するときあるいは運動パラメーターを精密に調整するとき、学習という問題は知覚行為循環（perception-action linkage）を開発（develop）することといった、別の問題を引き起こす。ここに、情報フィードバックの役割を位置づけることが可能だろう。

(4) さらに求められる練習（学習）過程研究；そのための実験デザイン・操作の必要

1) 非身体的な練習方法

メンタル・プラクティス（MP）とは、フィジカル・プラクティスに対峙された呼び名であり、身体的には練習しないが観察やイメージングによって、学習やパフォーマンスに有益な効果を発揮する場合を指し示す。フィジカルとメンタルとの組み合わせがフィジカルだけの場合よりも有益である、というのが一般的な研究結果の傾向である。

MPは、運動学習にいかに関与するか、この効果を説明する理論でもっとも影響を与えているのは認知理論、とりわけ「心理 運動仮説」「プログラム仮説」であったといえる。ただしダイナミック・システムズ・アプローチからは、運動制御のシステムを説明するために表象作用そのものを介在させないことが第一義的となっており、MPは認知的な課題要素に対してとくに効果が高いことに疑いはないが運動学習の非認知的な部分についてはなにも説明していない、という批判がなされている。

しかしながら、実際の練習過程や場面では多くが採用され、パフォーマンス成績向上の効果を上げている例は数々報告されている。プログラミング仮説は最近低調気味なところだが、神経生理学研究の進展が著しく、とくに運動をイメージする場合の局所的脳血流量の増加、すなわち動作プログラミングに関係することで知られる補足運動野と小脳における局所的脳血流量の増加が運動実行時にも同様に発見されたことは重要な情報である。

要するに、MPの効果を支持する基盤は、目に見える反応実行をコントロールするのに利用されるのとおなじ精神的表象作用が活性化することに由来する。神経生理学的研究の進化に依拠しつつも、練習や学習の諸条件を整備するための研究が、脳の働きに還元して説明されるようでは有益な研究情報をフィールドに提出することにはならないだろう。したがって、つぎのことだけが今後のポイントになる。

- ① 学習は行為者の現在好んでいる協調傾向と新規な課題の持つ協調要求との間の競合もしくは（協働）である（すなわち、本質的ダイナミクスと課題の制限とのあいだの相互作用）。ある協調パターンから他への移行が生じるためには、行為者は、課題の特定の要求に応じて必要な運動パターンを能動的に生み出さなければならない。観察やイメージを描くという条件の下では、観察者がなすべき事柄を学習してはじめて、学習過程できわめて重要となる「行為と知覚との相互作用」が生じることになるであろう。³²⁾
- ② 新規な課題を遂行するとき観察者は、どうして（なぜ）あるモデルから伝えられる本質的情報を取り出すことができるのか。また、いかにしてこの情報（つまり好まれるモデルの協調パターンに基づいて行為を特定化するであろう情報）が、観察者の好む協調パターンという条件の中で意味のある情報に変換されうるというのだろうか。

このことが不明確である。

2) 習得から保持への逆転現象

フィードバックの与え方（質、頻度、時点）と文脈的干渉とによって、習得パフォーマンスと保持パフォーマンスとの間には非連続性（逆転現象の例）が頻繁にみられる。フィードバックの頻度（ならびに時点）が運動課題の習得に及ぼす有益な効果は学習されるべき課題の特質如何に関わるという事実から、ダイナミック・システム・モデルへのもう1つのチャレンジが浮かび上がってくる。すなわち、

練習期間中に高頻度で与えられれば、その情報は、複雑な運動課題という文脈では学習を促進するが、単純な運動課題という文脈での学習に対しては不利益を与えるのは何故なのかということが、不明確である。

3) 意図的な動作ストラテジー

自己制御、目標設定、教示、注意の焦点など、パフォーマンスや学習においては、意識的な意図の形成が諸変化の根本に存在すると思われる。認知心理学の分野で視覚言語や聴覚言語で調べられた記憶表象作用については、運動システムのマクロな挙動を記述・分析する手法と組み合わせ、再度実験デザイン・操作の方法が深められるべきであろう。

おわりに

何らかの運動ができるようになったり、うまくなったりするのは、運動をコントロールする能力が身につくことであり、それは、通常、学習という行為や練習・訓練という手続きを通して可能となる。したがって運動コントロールの理論をどのように捉えるかという考えが練習や訓練という手続きの中に反映されているはずである。何故ならもともと室内の観察・実験研究は後者の本質的部分を室内に移調させ、その要因に対して組織的に操作を加えたものであったはずだからである。だが、物理的および生理学的データ（指標）したがって観察・実験上で操作を加える対象と方法については、その大元となる実験計画も含めてかなりの程度理解されているのに対し、運動学習の過程つまり練習・訓練という手続き上操作を加える対象と方法については、スポーツ実践の現場関係者からはあまり見向きもされない状況ではないだろうか。多少ともこの分野に関係をもつ者の僻みか、それとも他に何か大きな原因でもあるのだろうか。

引用・参考文献

- 1) Legge, D. & Barbar, P. F. (1976) "Information and Skill" London: Methuen.
- 2) 佐藤善治 (1991) 「ゲーム分析とボールゲームの類型及び階層性の関係」立命館教育科学研究, 1, 163-178.
- 3) Kerr, R. (1982) "Psychomotor Learning" CBS COLLEGE PUBLISHING.
- 4) Adams, J. A. (1971) "A closed-loop theory of motor learning" Journal of Motor Behavior, 3, 111-150.
- 5) Adams, J. A. (1976) "Issues for a closed-loop theory of motor learning" In G. E. Stelmach (ed.) Motor Control: Issues and Trends, 87-107, New York: Academic Press.
- 6) Schmidt, R. A. (1975) "A schema theory of discrete motor skill learning" Psychological Review, 82, 225-260.
- 7) Schmidt, R. A. (1985) "The search for invariances in skilled movement behavior" Research Quarterly for Exercise & Sport, 56, 188-200.
- 8) Battig, W. F. (1979) "The Flexibility of Human Memory" In L. S. Cermak & F. I. M. Craik (eds.) Levels of processing in human memory, 22-44, Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- 9) Shea, C. H., Shebilske, W. L. & Worchel, S. "Motor Learning and Control" Prentice-Hall Inc. 1993.
- 10) Schmidt, R. A. (1991) "MOTOR LEARNING & PERFORMANCE" 調枝孝治監訳「運動学習とパフォーマンス」大修館書店。
- 11) Ingvaldsen, R. P. & Whiting, H. T. A. (1997) "Modern view on motor skill learning are not representative" Human Movement Sciences, 16, 705-732.

- 12) Feldman, A. G. (1966a) "Functional tuning of the nervous system with control of movement or maintenance of a steady posture: II, Controllable parameters of the muscles" *Biophysics*, 11, 565-578.
- 13) Polit, A. & Bizzi, E. (1979) "Characteristics of motor programs underlying arm movements in monkeys, *Journal of Neurophysiology*, 42, 183-194.
- 14) Rosenbaum, D. A. (1990) "Human motor control" New York: Academic Press.
- 15) Mays, L. E. & Sparks, D. L. (1980) "Saccades are spatially, not retinocentrically coded" *Science*, 208, 1163-1165.
- 16) Schmidt, R. A. & McGown, C. M. (1980) "Terminal accuracy of unexpectedly loaded rapid movement: Evidence for mass-spring mechanism in programming" *Journal of Motor Behavior*, 12, 149-161.
- 17) Bernstein, N. (1967) "The co-ordination and regulation of movement" Pergamon Press.
- 18) Easton, T. A. (1972) "On the normal use of reflexes" *American Scientist*, 60, 591-599.
- 19) Kugler, P. N., Kelso, J. A. S. & Turvey, M. T. (1982) "On coordination and control in naturally developing systems" In J. A. S. Kelso & J. E. Clarke (eds.) *The development of movement control and coordination*, 5-78, New York: Wiley.
- 20) Kelso, J. A. S., Southard, D. L. & Goodman, D. (1979) "On the nature of human interlimb coordination" *Science*, 203, 1029-1031.
- 21) Kelso, J. A. S., Putman, C. A. & Goodman, D. (1983) "On the space-time structure of human interlimb coordination" *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 35A, 347-375.
- 22) Konzem, Y. M. (1987) "Extended practice and patterns of bimanual interference" Unpublished doctoral dissertation, University of Southern California.
- 23) Schöner, C., & Kelso, J. A. S. (1988) "Dynamic pattern generation in behavioral and neural systems" *Science*, 239, 1513-1520.
- 24) Schöner, C., Zanone, P. G. & Kelso, J. A. S. (1992) "Learning as change of coordination dynamics: Theory and experiment" *Journal of Motor Behavior*, 24, 29-48.
- 25) Kelso, J. A. S. (1995) "Dynamic patterns: The self-organization of brain and behavior" MIT Press.
- 26) Haken, H. (1978) "SYNERGETICS: An Introduction Nonequilibrium Phase Transitions and Self-Organization in Physics, Chemistry and Biology" 牧島邦夫, 小森尚志共訳「協同現象の数理」東海大学出版会。
- 27) Haken, H., Kelso, J. A. S. & Bunz, H. (1985) "A theoretical model of phase transitions in human hand movements" *Biological Cybernetics*, 51, 347-356.
- 28) 三嶋博之 (2000) 「エコロジカル・マインド」NHK BOOKS.
- 29) Schmidt, R. A. & Lee, T. D. (1999) "MOTOR CONTROL AND LEARNING" *HUMAN KINETICS*.
- 30) 佐々木正人 (1994) 「運動制御への生態学的アプローチ」川人光男他編, 運動, 岩波講座認知科学 4, 1-29, 岩波書店。
- 31) Swinnen, S. P. (1996) "Information Feedback for Motor Skill Learning: A Review" In H. N. Zelaznik (ed.) *Advances in Motor Learning and Control*, 37-66, *HUMAN KINETICS*.
- 32) Wulf, G., McNevin, N., Shea, C. H. & Wright, D. (1999) "Learning Phenomena: Future Challenges for the Dynamical Systems Approach to Understanding the Learning of Complex Motor Skills" *Int. J. Sport Psychol.*, 30, 531-557.