

運動のできないメカニズムを探る

新潟大学教育学部 山崎 健

1. 問題の所在について

運動ができる、できないという問題は、体育の授業やスポーツの指導の場面を考えた際に極めて大きな意味をもっており、いかに「やり甲斐のある楽しい実践」を展開したとしても、「できる」という決定的な段階をクリアできなければ、スポーツ主体の形成にはつながり得ないと考えられる。ここでは、「できない」という現象を、1)ある動作が獲得できない、2)獲得された動作が巧く適用できないという2点に限定し神経生理学的知見との対応からそのメカニズムを探ろうとするものである。

清水⁹⁾はアルペン・スキーロボットの研究において、スキーの回転操作を股関節の内転・外転に限定してそのモデルを示した。このロボットは加藤⁴⁾のいう自律型ではなく、動作自体はロボットがおこなうが、その適用は「経験者」が無線装置によって内転・外転のタイミングを操作するタイプである。吉田¹³⁾は、ネコを用いた実験から動作をどのように行うかというプログラミングは大腦皮質の運動野が関与し、それを実際に適用しようとするプランニングは大腦基底核が関与するのではないかと報告している。伊藤³⁾は、大腦皮質運動野への電気刺激では「誰かが腕を動かした」と感じるのに対して視床下部への電気刺激では「腕が動きたがった」と感じるというワードの報告を引用している。

これらの知見は、「運動ができない」という現象に存在する2つの側面を端的に示すものであり、特に動作の発現にかかわる側面の重要性を示すものと考えられる。ここでは、この運動の発現に関わる神経回路と信号の流れに関する最新のモデルとしてのブルックス¹⁾のものを示す(図1)。

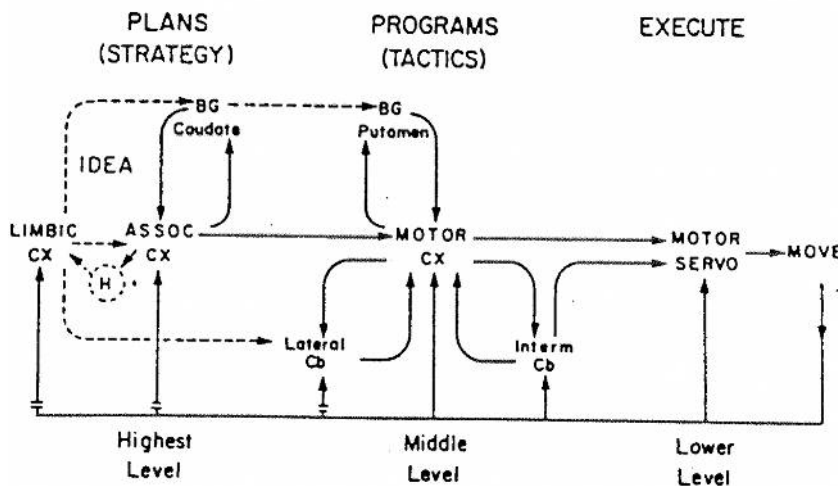


図1 随意運動における情報の流れ (Brooks, V. B.、1986)

BG Caudate、大腦基底核・尾状核；BG Putamen、被核；LIMBIC CX、辺縁皮質
 ACCOC 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

2. 「できない」基準について

ここでは、「できない」とはどのような概念であり、何を基準として判断されるのかというについて検討する。

第1は、「できない」基準は、一般には「定性的」であって「定量的」ではないと考えられている点である。例えば、女子100mハードルの選手が男子の110mハードルを15秒台で走るとは非常に困難である。しかし、このことを量的に未達成であっても一般には「ハードルができない」とは規定しない。

第2は、「できること」の限定性の問題である。例えば、アルペンスキーの回転技術の実施について考えれば、上級者は急斜面でも回転動作を行うことが可能であるが、中級者では回転を実施することは困難である。この困難さの原因は、1つには、各種の姿勢反射や防御反応の発現による回転動作の実施の障害であり、これは心理的因子であるとともに姿勢の動的保持という回転技術とはある程度独立した因子と考えられる。2つめは、動作系への外乱（斜度や雪質の変化）に対する「対応幅（第1図の運動サーボ）」が不足している問題であり、これはいわゆる feed-back 制御系の不全と考えられる。3つめは、滑走経験に伴う「文脈的な予測能」の不足であり、これはいわゆる feed-forward 制御系の不全に相当するものと考えられる。つまり、1つめはスキー以外でも解決される問題である。

このように、「できないこと」の基準や「できること」の限定性を規定することは、「現象」からの遊離を示す側面をもつと同時に他方ではその「実体」のモデル化の可能性を提供するものでもある。

久保田は⁵⁾、「手の器用さ」について、1)受容器と筋肉（効果器）のフィードバックが時間的・空間的に高度に組織化されていること、2)時間的・空間的な運動パターンが形成されていること、3)時間関係の予測と順序だった段階的な反応がおこなわれることの三要素を指摘している。

3. 感覚性入力的重要性

動作系の獲得や適用に際しての重要な因子のひとつが体性感覚（筋—運動感覚）入力の問題である。

丹治¹¹⁾は、光刺激—反応開始では100msec.かかるのに対し、体性感覚刺激—反応開始では30msec.で動作を完了している点を指摘し、運動野と体性感覚野の強い結合を示唆している。

松波⁶⁾は、感覚神経がまとめて入るサルの脊髄後根を切断することによる影響を分析し、切断直後には運動課題の遂行が全く不可能であったものが半年ほどでほぼ完全に回復することを報告している。そして、ある程度の粗い運動であれば、事前に強固に形成された中枢プログラムによって課題の遂行が十分可能であり、これに対して新しい運動課題ではその遂行は不可能ではないかと述べている。

大島⁸⁾は、大脳皮質運動野の大型錘体路細胞のニューロン活動が、定位=探究反射発現時に発射頻度が減少（興奮性入力の60~70%）し逆に信号と雑音のSN比が改善され、系全体の反応性の向上が見られることを報告し、これを脳内過程のリセット機構と解釈している。そして、そのことにより体性感覚入力がより明瞭となり、その後の「運動の再生過程」をより円滑にしているのではないかと述べている。

篠田¹⁰⁾は、大脳皮質を経由する反射（transcortical reflex）の可能性を報告している。これは、動作中に急激に負荷を変更した際に観察されるもので、脊髄性の伸張反射（spinal-reflex）に続いて発現し、意識的な補正運動（voluntary reaction）に先行して起こるものである。松波⁶⁾は、この機能について、補正作用、外乱を検知するテスト信号、筋の緊張度の変更、反射の安定性と安全性

の確保、運動系全体のクリアによる次の補正運動の効率化をあげている。

また、松波⁶⁾は、運動の記憶を「身体でおぼえる」と表現し、「雀、百まで踊りを忘れず」の「懐の得物を見ると、つい指が動く」老スリの例を引用している。このことは、事前動作が感覚を生み出し、その感覚が動作プログラムの引金となって一連の運動を引き起こすというシェーマを意味している。

以上の神経生理学的知見を考えた時、例えばテニスのボレーがアウトしそうな際にインパクト中にもかかわらずグリップの調整を行っているように感じることなどの背景には、これらのメカニズムが関与しているものと考えられる。また、動作プログラムは獲得されたがそれが巧く適用できないといった場面も、現在の身体感覚情報の入力に障害があることも考えられる。初心者に特徴的な筋の過緊張は、感覚器官としての筋紡錘や腱紡錘からの信号を曖昧なものとし、系全体の応答特性を低下させる。スポーツの指導における「リラックス」や「リセット」の重要性は数多く指摘されているが、これは正確な感覚情報の入力にとっても重要な点である。

これらの感覚性入力の神経インパルスの伝導速度は極めて速い(30~120m/sec.)のものであり、言語的確認(発音過程)の時間とのズレを生みだす。また、感覚的(操作的)尺度の「つときた時にハッとまっというグイーンと跳ぶんだよ!」という表現と言語的(記述的)尺度の「膝を0.16~0.20秒間だけ43~45度に曲げておいて0.7~0.9秒の間に最大跳躍の72~78%で!?!」とのズレもこのことに起因していることと思われる。

4. 運動の基本的形態の系統性およびその適用

松浦⁷⁾は、子供の運動パターンの発達について、8~9歳児では大人の可能な基本パターンとその協応性が獲得されるがその質的な向上は未発達であると報告している。また深代⁷⁾は、5~12歳児の2ヶ月間の走幅跳の練習効果について、1)6~8歳以降練習効果が大きい、2)11~12歳男女差が見られる(女子が伸びる)ことを報告し、その原因を運動経験の有無に求めている。

一般に、人間の運動は幾つかの基本的形態とその「組み合わせの系統」から構成されていると考えられる。例えば、「上手投げ」は石投げやボール投げから助走と組み合わせられた槍投げ等へ発展する系統と、移動対象への作用をもつアタックやスマッシュ、サービス等へ発展する系統をもっている。

この動作の系統性が誤って認識され、順序性の無視や異系統の強制がなされると動作の獲得や適用に障害を起こすことが考えられる。例えば、「跳び箱」と「うま跳び」とは一見類似した動作系と思われるが、跳び箱の系統には第一飛躍と第二飛躍との間に「切り返し(転向)」が存在し、着手時も肘関節は伸展されている。これに対してうま跳びでは肘関節の屈曲-伸展を利用して上昇力を得ており切り返しは存在しない。故に切り返しを含む系統で跳び箱が「できる」ことはうま跳びも「できる」が、切り返しの系統を含まないうま跳びが「できる」ことは跳び箱が「できる」ことを意味しない(もちろんうま跳びが「できた」ことによる心理的効果が跳び箱を跳べるようにする可能性はあるが、ここでは動作の系統性が獲得されておらず、故に切り返しを中核とする水平跳びや前転跳びといったその後の技の系統的発展を保証するものでもない)。

以上のように、運動の「できない」ことやある動作系を様々な条件下で発現できないことが、運動の基本的形態の獲得とその系統的組み合わせの経験の不足に起因することは明らかである。筆者¹²⁾は、この点を動作系の「協応性」の不足と規定し、この協応性をもった動作系の獲得を東欧圏のスポーツ科学でいう「ダイナミック・ステレオタイプ」に相当するものとして以下のモデルを提示した(図2)。

このモデルにおいて、上はステレオタイプ（紋切型）であり動作サーボの適応幅がない。これに対して下はダイナミック・ステレオタイプ（動的常同性）であり、a1～aNはaという動作のプロトタイプ（例えばスキーの回転後半のエッジング）の動作サーボの幅（例えば様々な斜度や雪質での実施）をしめしており、系としての適応性が高い。ここにおいて動作間の移行は初期的には「言語的制御」であり動作系の習熟に伴って「感覚的制御」に移行する。これに対して動作内の選択は感覚性入力による対応であり極めて短時間であるため言語的レベルには到達せずに対応を完了する。

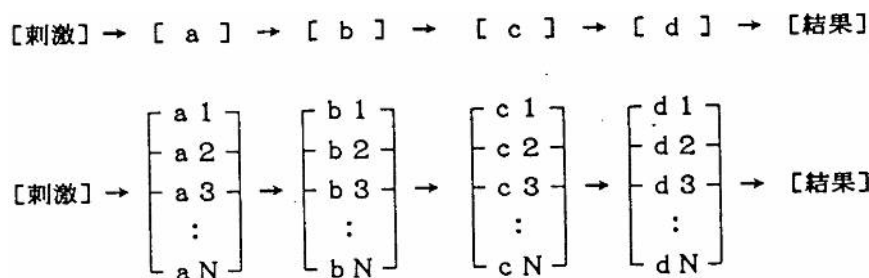


図2 上：ステレオタイプと下：ダイナミックステレオタイプ

5. まとめ

以上、神経生理学的知見と動作の系統性の問題を中心に運動のできないメカニズムを検討してきた。ここで、運動の基本的形態の獲得やその動作系の移行は比較的容易に実現されるものと考えられる。これに対して、その動作系に協応性をもたせ運動課題に応じて巧みに適用するという問題は、感覚性入力の応答が極めて短時間で完了することや動作サーボの対応幅の形成が具体的経験に依存し、しかも発達の比較的初期に行われていると考えられることからかなり困難な側面をもつものと思われる。

特に、幼児期から少年期にいたる「運動遊び」の減少やスポーツの早期専門化による動作系の「紋切型化」（これもある意味では協応性や動作サーボの対応幅を狭めていると考えられる）が意味するものはかなり深刻なものと思われる。成長期にある子供にとって、動作パターンの獲得とその動作系を様々な条件のなかで系統性をもたせて実施させることは、すべての子供に運動が「できる」ことを保証する上で不可欠のものとする。

【参考文献】

- 1) Brooks, V. B.、The Neural Basis of Motor Control、Oxford University Press (1986) : 18-35
- 2) 深代千之、稲葉勝弘他、跳能力の発達—走幅跳の練習効果—、日本体育学会第35回大会号 : 408
- 3) 伊藤正男、随意運動のメカニズム（脳の設計図）、中央公論社（1980） : 197-198
- 4) 加藤一郎、ロボットの制御（伊藤正男編：脳と運動）、平凡社（1983） : 39-58
- 5) 久保田競、手と脳、紀伊國屋書店（1982） : 103
- 6) 松波謙一、運動と脳、紀伊國屋書店（1986） : 162-166、92-94、193-194
- 7) 松浦義行、体力の発達、朝倉書店（1982） : 29-30
- 8) 大島知一、随意運動をどう考えるか（伊藤他編：脳の統御機能4）、医歯薬出版（1979）、101-111
- 9) 清水史郎、スキーの科学、光文社（1987） : 54-84
- 10) 篠田義一、随意運動制御における体性感覚の役割（伊藤編：前掲書） : 249-270
- 11) 丹治順、随意運動と皮質運動野・補足運動野（伊藤他編：前掲書）、医歯薬出版（1977） : 119
- 12) 山崎健、スポーツの認識と習熟（伊藤他編：スポーツの自由と現代・下）、青木書店（1986） : 307
- 13) 吉田充男、随意運動における大脳基底核の役割（伊藤編：前掲書） : 315-329