

人間の随意運動における2つの成分について

—Two Factors of Human Voluntary Movement—

山 崎 健

1. はじめに

動物及び人間の行動の発現及びその制御に関する研究は、Descartesによる「反射」の概念の適応以降、刺激に対する生体の反応（反射）というシェーマのもとに、今日に至るまで数多くの検討が加えられてきている。

Sechenov は、刺激とそれに対応する「脳の反射」という観点から、動物及び人間に関する行動を、脊髄反射等の低次な段階から人間固有の思考過程等の高次な統御機能に至るまで反射学的考察を拡張し、研究の一方を確立したと考えられる。特に、人間に固有の非感性的思考においても、歩行等の筋感覚の反復による反射化された信号が、時間的・空間的思考過程のシグナルを保証するという指摘¹⁾を行っており、経験的領域から非感性的領域への思考の移行という人間的行動の獲得過程に関する分析を加えている。

Sechenov 以降の反射学的研究において、Pavlov は、唾液分泌反応等の無条件反射とそれに結合される条件信号との対応から「大脳皮質における一次的結合」という概念を提示し、条件反射学的方法を確立したといえる。Pavlov の研究の中心的対象は唾液分泌反応であったといえるが、同時に、条件運動反応の形成に関しても、大脳皮質の運動覚細胞が、他の皮質の全細胞との結合を持つ可能性について言究²⁾しており、随意運動の形成過程に関する条件反射学的研究法に関する一定のコメントを残している。

猪飼³⁾は、Pavlov のこのような研究方法とともに、Sherrington による脊髄反射を中心とした神経生理学的方法の段階的適応に関しても、運動の制御の研究の二大潮流として大きな評価を与えており、前者を刺激とその反応から統合機能を black-box 的に分析しようとするもの、後者を個々のニューロン活動からその

統合機能 (integrated action of central nervous system) に迫ろうとする neurological orthodox な分析であると表現している。

Pavlov による条件反射の手法は、行動主義心理学における行動研究との一定の相同 (homology) と相異 (analogy) とを含む点から、条件反射学派においても、Thorndikian response と Pavlovian response とを conditioning と conditioned reflex として区分し、前者を生理学的心理学、後者を条件反射研究と規定⁴⁾している。

しかし、TEAB(The experimental analysis of behavior) に代表される行動科学においては、客観的に観察され得る行動の研究という視点から、respondent behavior と operant behavior とを異質なものとして明確に区分 (前者を Pavlovian or Sherrington's response, 後者を誘発刺激なしに能動的に自発するもの) しており、特に後者に関して能動性を規定する行動的場の構造の解明 (制御変数の決定) を中心課題 (唯一の?) としている点から、行動の因果関係に関する検討及び「行動主体の内的諸条件の総体」⁵⁾に関する検討は否定されている⁶⁾。

Pavlov は、晩年、人間の条件反射における二つの信号系の存在について言究しており、それは、感覚的信号系による具体的条件反射の形成と、言語的信号系による抽象的条件反射の形成である⁷⁾。

この言語的信号系による条件反射の形成は、その後 Luria により、言語指示と運動反応とを結合させ、外言としての言語指示を主体における内言に転換させることにより運動反応を調整するという「ルリヤ・テクニク」として発展している²⁹⁾。

しかし、近年の神経生理学的研究の進歩は、動物及び人間の運動の発現と制御に関しての数多くの新知見を与えており、従来の black-box として把握され、あるいは個々のニューロンの局所的解明として把握されてきた脳内過程についても、詳細な電気生理学的研究

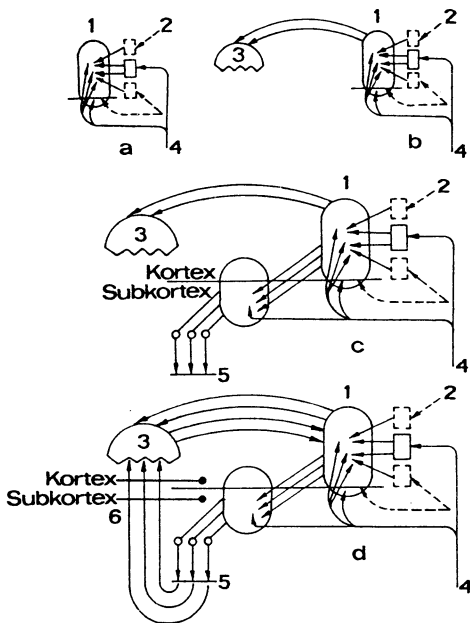


fig. 1 Anochin, P. K. による条件反射の四段階 (a~d) 1. 求心性総合 2. 求心性状況 3. 行動受容器 4. 求心性インパルス 5. 反動行動 6. 再求心性信号

により、幾つかの解剖学的及び機能的ブロックが同定されており、運動の発現と制御における実体モデルが提示されてきている⁹⁾¹⁰⁾¹¹⁾¹²⁾¹³⁾。

また、Pavlov 学派の古典的テーゼとしての「皮質における一時的結合」についても、当時、皮質下構造との関連を指摘し、Sherrington のいう積分作用との関係から“funktionelles System” の概念を提示した Anochin¹⁴⁾ に対する Iwanov = Smolensky らによる教条主義的批判があった⁷⁾が、Anochin はその後もそのモデルを確立し (fig. 1)¹⁵⁾、近年の電気生理学的研究により、大脳-小脳ループを中心とした皮質下構造との関連が究明され、幾つかの明確なアンチ・テーゼが示されてきている¹⁶⁾¹⁷⁾¹⁸⁾。

本研究では、特に「人間の」随意運動の発現とその制御機構に関する幾つかの構造を検討するとともに、神経生理学的パラメータとの対応の問題をも含め、人間における二つの信号系として規定された条件信号の因子についての階層構造の一端を究明し、人間の随意運動の特殊性に検討を加えようとするものである。

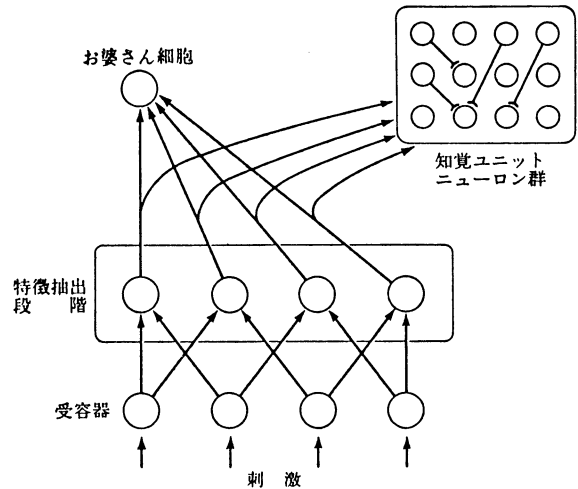


fig. 2 伊藤による知覚系の二つのモデル

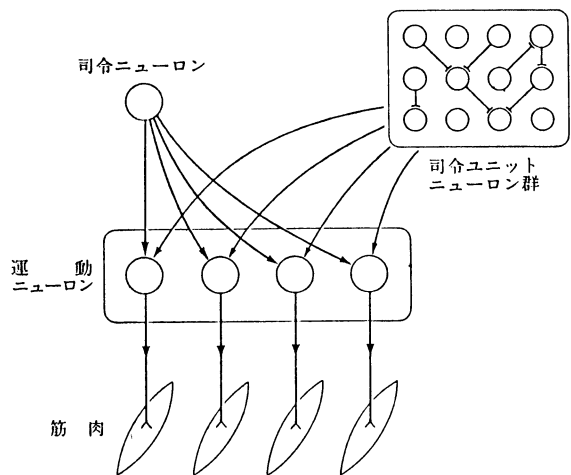


fig. 3 伊藤による運動系の二つのモデル

2. 随意運動発現の階層モデル

運動の発現機構に関する研究は、伊藤の指摘¹⁹⁾¹¹⁾するように、知覚機構と同様のある性質についての特定の情報の集中する「お婆さん細胞」とでも規定できる機能的円柱が存在するか、あるいは一群の細胞の興奮による時間的・空間的パターンによる知覚単位が存在するのかという二方向に大別されているものと思われる (fig. 2. fig. 3)。

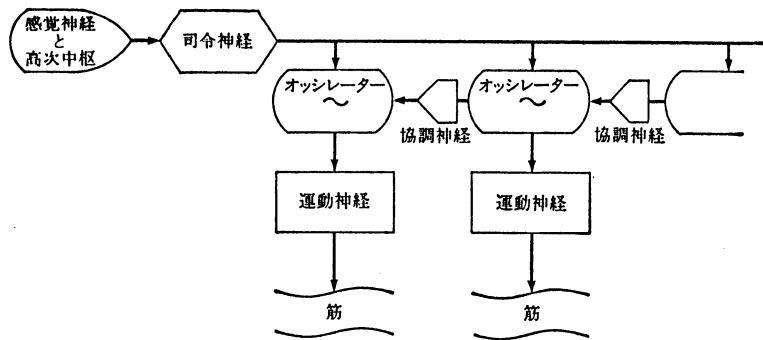


fig. 4 協調神経を含むパターンジェネレーターの神経回路モデル(久田による)

ザリガニのような節足動物においては、久田²⁰⁾によってC 99ニューロンの刺激による一連の防御反射行動の発現が報告されているが、サルやヒトのような複雑な統御機能を持つ動物では、そのような同定を行うことは困難であろう。

久田²⁰⁾はまた、運動のパターン・ジェネレーターによるオシレーターのブロック制御モデルを提示 (fig. 4) しているが、Arbib²²⁾は、中枢神経系の活動による抽出標本が、Pribram²³⁾のいう時間的・空間的パターンによる神経ホログラム過程によって形成されたホログラムボックスによって動作スペクトル変換を受ける仮説 (fig. 5) を提示している。

このような、運動の制御と発現の因子が、司令ニューロンによるものか時間的・空間的ホログラム過程によるものか、そして機能的局在か散在した運動野の共同作用かという概念の対立の問題は、大島²⁴⁾の指摘するように、随意運動自体が、運動野のみの活動に依存していない点に起因しているものと思われる、Granitのいう組織化 (organization) の問題として検討されるべきものと考えられる。

大島は、運動発現の問題に関して、全く別の角度から、いわば「継時的」ともいえる検討²⁴⁾²⁵⁾を加えている。

それは、Pavlovによって定義された定位反射 (おや何だ²⁶⁾ 反射) の生物学的役割 (現在の動作の停止と感覚系の活動の方向転換) を、運動の転回点として捉え、それを前提として以降の運動発現の継時的機構を検討しようとするものである。

大島は、大型錐体路細胞のニューロン活動を記録し、脳波覚醒反応時にスパイク発射頻度の減少がみられ、興奮性入力 of 60-70% が減少することにより、逆

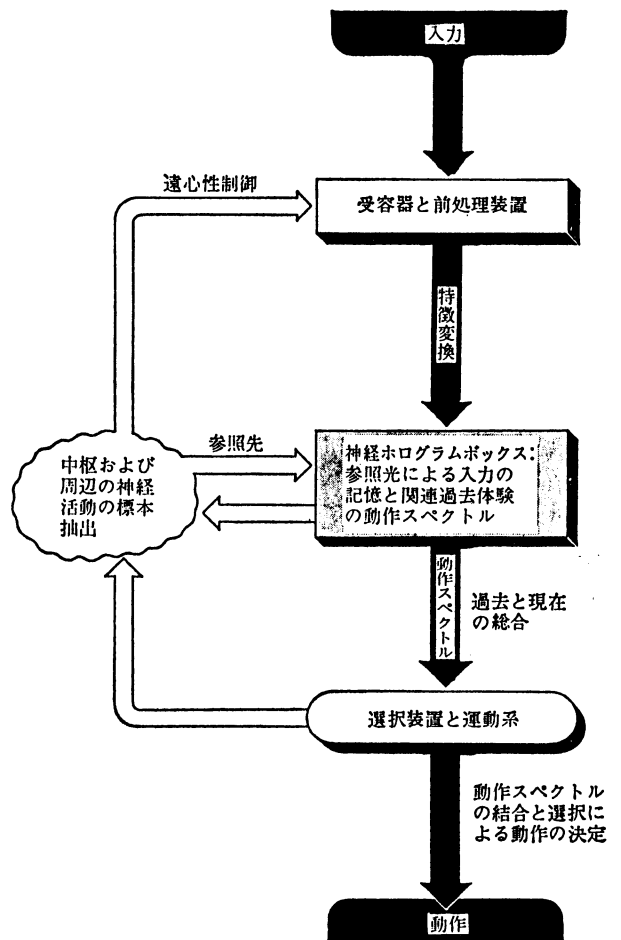


fig. 5 Arbib, M. A. によるホログラム・メタフィアのモデル

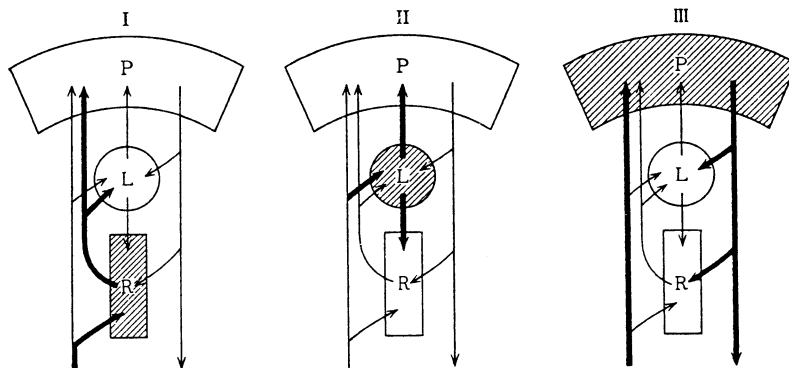


fig. 6 大島による三段階の様式図 (R:網様体 L:辺縁系 P:プログラム中枢)

に信号と雑音の比 (SN rate) が向上し、反応性の向上がみられることを指摘し、定位反射の発現に伴う脳波覚醒反応を、脳内過程のリセット機構あるいはクリア機構に相当するものではないかと報告している。

そして、定位反射の発現からそれに続く「運動の再生過程」に関しての次の三段階の仮説を提示している。

- (1) 脳幹網様体 (BSRF) 賦活系の上行系投射による脳波覚醒反応 (Reticular stage)
- (2) 視床下部、海馬等の大脳辺縁系の活動による条件づけ学習と対応したニューロン活動のみられる目標対応行動の習熟過程 (Limbic stage)
- (3) 運動の自動化として辺縁系のニューロン活動の減少と大脳連合野等プログラム系のニューロン活動のみられる trigger による定型的反射の完成 (Brain reflex stage)

そして、第三段階では、学習の過熟 (overtraining) によっていわゆる意識や注意の集中は減少するのではないかとしている (fig. 6)。

しかし、随意運動の発現機構に対するアプローチの多様性を考えた時、大島の指摘²⁵⁾する行動の論理における open system の存在が、社会的諸条件と生物的諸条件の重層構造を持つ「人間の随意運動」を trial & error の過程と規定せざるを得ない点 (行動科学における operant response の能動的自発と同様に) もまた否定できない側面である。

3. 人間の随意運動をめぐって

行動の発現を、時間軸のアスペクトから考えた際、柘植²⁶⁾は、個体発生と系統発生との対応という「反復説 (Theory of recapitulation)」からのユニークな考察を行っている。そして、系統発生過程から行動発達段階を考えた場合に、次の三段階があることを指摘している。

- (1) 神経系に支配されない行動、すなわち神経系を欠く動物
- (2) 第一信号系によって支配される行動、すなわち腔腸動物から類人猿
- (3) 第一と第二信号系によって支配される行動、すなわち人間

そして、第三段階において随意的 (voluntary) と意志的 (volitional) な運動が混在していることから、その両者の相違を解明して行くことが精神病理学的にも重要であることを指摘している。

確かに、類人猿の高次な統合活動であっても、次の例²⁷⁾にもみられるように「抽象概念」による思考行動は観察されない。

バヴロフ研究所の雄チンパンジーのラファエリは、水槽から瓶で水を汲み、火のついた小扉の火を消して好餌を取って食べるという複雑な運動反応を獲得していたが、湖の二つの筏 (一方には好餌のある火のついた小戸棚、他方には水槽) では、最初は湖の水を瓶で汲み身体にかけていたが、好餌を見つけると隣の筏に棒の小橋を渡し、水槽の水を汲み小扉の火を消して好餌を手にいれた。

この典型的な例にもあるように、「水」という抽象概念を持たない類人猿の行動は、常に「具体的な思考行動」となってあらわれる。

岡田²⁹⁾は、人間に固有な第二信号系の発生による高次神経活動の変化を、次のように指摘している。

第1に、条件反射がまず第二信号系によって形成されて、それが第一信号系へつたえられる場合も多く、第2に、第二信号系による豊かな抽象概念の形成能力により、概念操作による思考能力がはかりしれないほど拡大された。第3に、概念伝達の可能性が確立され、他人の経験も自分のものとするができるようになり、これにより外界における人間の適応能力は、はかりしれないほどに拡大された。

これらの系統発生過程において発生した両信号系の相互作用と、社会的諸条件と生物的諸条件の重層構造を持つ人間の随意運動の場を考えた場合、大島の指摘した人間の行動の論理における open system による trial and error の「能動的な自発性」についての一定の理論的背景（個体発生における両信号系の機能的完成の為の内的衝動とそれを保障する二つの諸条件によって形成される場）を付与するものと思われる。

4. 神経生理学的パラメータとの対応

しかし、このような人間に固有の言語、思考、認知等の高次神経機能に対する生理学のアプローチは、倫理上での制約をも含め、いまだに脳内過程をブラック・ボックスとして把握するにとどまっており、Luria³⁰⁾に代表される脳の局所的損傷による機能変化を手掛りとして検討する方法が唯一のものとして残されているともいえる。

これに対して、動物及び人間を含めた随意運動（いわゆる前述の volitional movement のかなり高次な水準に至るまでの）の発現機構の神経生理学的研究は、電気生理学的手法とデータ処理過程の飛躍的な発展により、数多くの重要な知見を提示している。

(1) 皮質脊髄路のニューロン活動

丹治³⁰⁾³¹⁾は、Evartsの方法によるサルの随意運動発現時の皮質錐体路細胞 (PT cell) からの単一ニューロンの発射活動を記録し、次の知見を報告している。

その一つは、サルでの光刺激から体性感覚刺激によるハンドル引きまでの運動準備期間において、PT cell の発射頻度の変化分は 10-20/sec のものが多く、運動遂行に伴う変化 (50-100/sec) とは異質の

ものと考えられ、これらの PT cell の多くは脊髄に軸索を送っていることから、その部位のニューロンの興奮性を変化させているのではないかという点である。

また、体性感覚刺激を trigger とした場合の一過性の高頻度発射やそれまでの発射活動の抑制までの潜時 (latency) は、PT cell では 25-30 msec のものが多く、光刺激での latency 100 msec と比較しても十分短かいことから、体性感覚入力と運動野との強い結びつきを示しているとも報告している。

このことは、voluntary trigger としての末梢受容器からの feed-back 信号の運動の制御における重要性を示していると思われる。

錐体路細胞には、slow PT cell と fast PT cell とが存在することが報告されており、荒木³¹⁾は、相動性の α -motor neuron に対しては両細胞とも興奮性の影響を与えるのに対し、持続性の α -motor neuron に対しては fast PT cell が抑制性の影響を与えていると報告している。

大島²⁵⁾は、slow PT cell は覚醒時に興奮を受け、fast PT cell はその際脱促進 (disfacilitation) を生ずるとし、後者の興奮性入力の一時的遮断状況を一種の reset or clear 機構に相当するのではないかとし、それを興奮準備期と解釈した場合、定位反射発現の所見と見做されるのではないかと報告している。

このような皮質運動野及び補足運動野からの錐体路細胞のニューロン活動の記録は、サル以下の動物の随意運動の神経生理学的設計図の一端を提示するとともに、人間の volitional movement の傍証をも提示するものと思われる。

(2) 脳運動関連電位の検討

人間の随意運動の研究において、頭皮上から記録される脳波及び脳電位の変化を手掛りとする方法は、最も広く行なわれている。

Kornhuber und Deeke³²⁾は、随意運動の発現に伴って頭皮上から導出される4つの電位変化を脳運動関連電位と規定した。

西平ら³³⁾³⁴⁾³⁵⁾は、特に動作開始に 800-1500 msec 先行して出現する N_1 電位と、Walter によって見出された随伴性陰性波 (Contingent Negative Variation) について検討を加え、更に³⁶⁾ N_2 電位、 P_2 電位、 P_3 電位についても検討を加えている。

そして、 N_1 電位は、運動準備電位として使用肢の反対側頭皮上に C_z を中心として優位な分布を示し、これに対して CNV は、予告刺激によって C_z を中心とした頭皮上に広範に出現するとしている。そして CNV

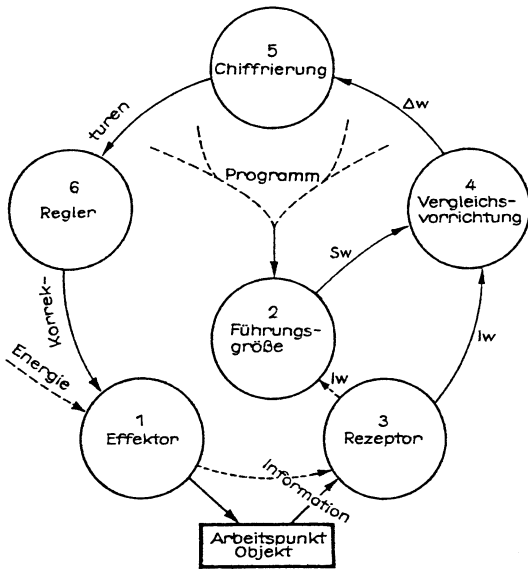


fig. 7 Bernstein, N. A. による運動制御のモデル (Iw は入力信号, Sw は出力信号, Δw はその差)

出現期間内に脊髄レベルでの興奮性の示標としての H 波も亢進している点から, CNV を皮質下部 (脳幹, 大脳基底核等) からの注意及び覚醒水準の上昇に関与した irradiation の成分, N_1 電位を slow PT cell 及び fast PT cell の重畳による成分ではないかと指摘している。また, N_2 電位 (運動電位) を皮質脊髄路のニューロン活動を反映したもの, P_3 電位を末梢受容性の feed-back の反映ではないかと報告している。

この点から, CNV の発現は, 脳運動関連電位に先行する皮質脊髄路の準備状態を形成するものと考えられ, 大島のいう reset or clear 機構の発現に伴う現象と推測することもできる。

(3) 脳波の周波数成分の変動

荒木³⁷⁾は, 反応動作前の脳波の α -blocking の発生と CNV 発現との関連に検討を加え, α -blocking 率の最大ピークの発現が, CNV の早期成分の最大のピーク時にわずかに先行して観察される点から, α -blocking の発現は感覚刺激の入力系に依存した変動を受けているのではないかとしている。

しかし, 刺激提示に対応した α -blocking と同時に, 反応動作駆動前の α -blocking 率の増大も観察されることから, 準備電位成分 (CNV の後期成分との対応が考えられる) と関連した変動もあるのではないかとし

ている。

そして, 動作遂行に対応すると見做される α -blocking 率の増大が, 対象条件としての光刺激提示と比較しても後頭野ではなく, 前頭野, 中心野に有意に増加している点からも, この変動が, 随意運動の遂行に関連したパラメータではないと報告している。

この α -blocking の発現をパラメータとする随意運動発現の機構に対する検討は, Chatrian ら³⁸⁾による研究がなされてから, 何例かの報告がなされている。

Chatrian らは, 皮質ローランド野から記録される平均 9 cps のアルソー波 (rolandic wicket rhythm) が, 随意的な拇指屈曲等によって抑制されるのに対して, 膝蓋腱反射等の spinal reflex の発現によっては抑制を受けない点から, 随意的動作と反射的動作に関連した変化ではないかと報告している。

筆者は, 動作発現時³⁹⁾及び動作の中枢プログラミング過程⁴⁰⁾⁴¹⁾⁴²⁾における脳波の周波数成分の変動に検討を加え, 後頭部脳波の α -blocking の発現に比較して, 頭頂部脳波の α -blocking の発現に継時的な変化 (中枢プログラミングの一次的完成に対応したと考えられる α -blocking の脱抑制 (de-inhibition) 等) が観察される点から, 動作遂行時の意識や注意の水準に関連したパラメータと見做し得るのではないかと報告した。

Sokolov⁴³⁾は, 運動反応の形成過程において, 初期の定位反射の発現は, 皮膚電気反射 (Galvanic Skin Reflex) の変動と汎性的な α -blocking を引き起すとしている。そして, 定位反射の成分は, 刺激の出現に対するものと運動器官の変化に対するものがあり, 運動反応の確立によって, これら二つの汎性的な成分は消失し, ローランド・リズムの局所的抑制は持続するとしている。そして定位反射の役割を, 組み合わせられる刺激の呈示点における一定の興奮水準を確保し, 条件結合の連結を促進するものと規定している。そして, この活動は, 求心性及び遠心性の両系に作用して運動反応の汎化と分化を進める役割を果すものであると報告している。

この運動発現における求心性系の果たす役割について, Bernstein⁴⁴⁾は, サイクリックな運動制御系において明確な位置づけ (fig. 7) を行っており, Luria³⁹⁾は, この Bernstein の指摘を引用し, Anochin¹⁵⁾の提示した "Aktionsakzeptor" の形成 (fig. 1) が運動遂行に決定的な役割を果すとしている。

このような幾つかの神経生理学的パラメータの検討は, 随意運動の発現とその制御及び運動反応の形成時の脳内過程を推測する上での直接的及び間接的な論拠

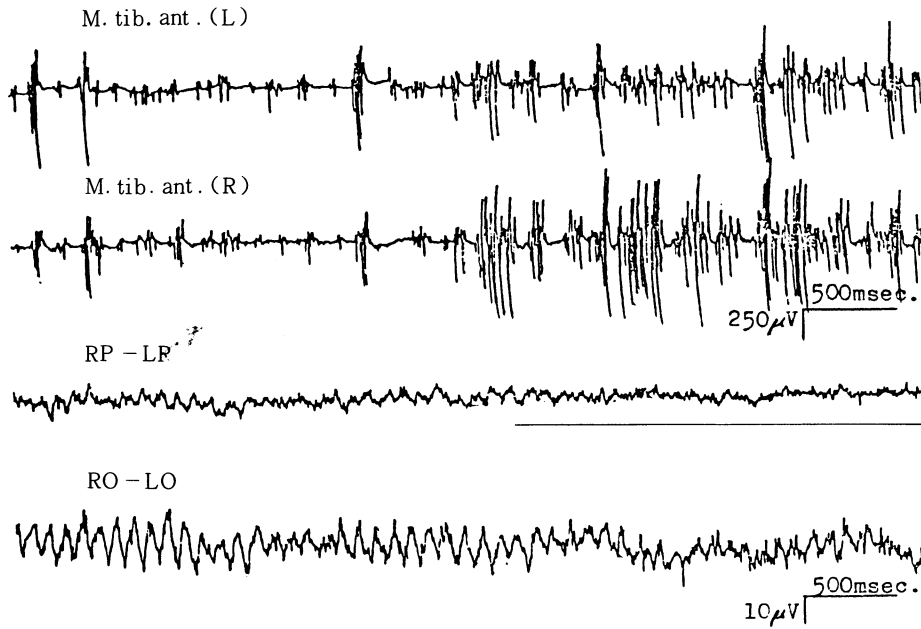


fig. 8 傾斜台移動時のEMG(前脛骨筋)とEEG(RP-LD, RO-LO) 後半 α -blockingが発生している。

を与えるものと思われる。

5. 意図的運動のパラメータの存在

以上述べてきたように、動物及び人間の volitional と見做し得るレベルでのパラメータは、電気生理学的手法による研究により多くの知見が得られている。

しかし、前述のように言語、思考、認知、意図的行為といった volitional と見做されるパラメータは、必ずしも明確になっているとはいえず、言語的記録や内省的報告等から間接的に推測する方法が主要なものとなっている。更に、これらの方法では volitional factor を「切り離れた」形で検討しているため、人間の運動に固有の volitional-volitional-loop に関する検討を加えることは困難なものとなっている。

Sokolov⁴⁵⁾ は、聞き取りからの暗算の解決過程における思考過程を検討し、言語運動筋(舌筋)群のEMGの活動に tonic と phasic の二つの成分があることを報告している。

Sokolov は、同時に GSR 及び後頭部 EEG を記録し、GSR の変動及び α -blocking の発生は、課題解決の初頭的な「定位的」段階(聞き取り時)において、持続的(tonic)な電気活動と同期してあらわれ、順次

消失するとしており、これに対して tonic な電気活動は持続すると報告している。そして、tonic な成分は、言語運動分析器とその他の分析器システムの一般的鋭敏化(sensibilization)と結びついたものであり、もう一つの phasic な電気活動は、談話過程そのもの(語の顕在的あるいは潜在的発音過程自体)と結びついたものと規定しており、前者を比較的圧縮された(減衰した)内的言語、後者を比較的展開された内的言語に対応するものと報告している。

筆者の一連の実験⁴¹⁾⁴²⁾における、欧文タイプライティングの遂行過程において、動作遂行の障害(誤りの認知、タイプライティングの遅れ)に伴って α -blocking の発生が観察され、更に発音(humming)がみられる場合があった。これは、Sokolov の指摘する舌筋群の phasic な discharge と類似した現象と思われる、それまでの安定した動作遂行状態(tonic factor)に対する phasic factor の重畳とも考えることができる。

また、タイプライティングの学習初期において“A, B, C, D, E, F, G, H, I,” という比較的習慣化されたプログラムと比較して、その転移型プログラム“A, I, B, H, C, G, D, F, E,”の遂行時において、被検者自身の発音による確認が行なわれる例も観察された。

しかし、これらの volitional-volitional-loop と見做

されるパラメータは、安定した動作遂行状態では、いわば「背景ノイズにマスキングされている」ものと考えられ、動作遂行が困難な状況に至って初めて phasic factor として背景水準を越えて顕在化してくるものと考えられる。

6. 結語

大島の指摘するように、人間の随意運動の発現と制御の機構を継時的に把え、更に柘植の指摘するように系統発生過程からの視点を導入した場合、人間の運動とその遂行過程の意識の階層性は、次のシェーマによって表わされると考えられる。

- (1) Unvoluntary movement
 - (a) 反射的・非意識的遂行過程
- (2) Voluntary movement
 - (b) 感覚的・前意識的遂行過程
- (3) Volitional movement
 - (c) 言語的・意図的遂行過程

このシェーマにおいて、(1)と(a)との対応は、固定的なものと考えられるが、(2)と(b)、(3)と(c)とは固定的なものではなく、継時的な変化を受けるものと見做すのが妥当である。

例えば、習慣化された動作ないしは高度に自動化された動作の遂行に関しては、運動の方向と初期値が「意図的に」決定されさえすれば、以後はBernsteinの指摘する求心性系からの“voluntary feed-back”あるいは姿勢反射などの脊髄反射に参与した“unvoluntary feed-back”の成分により連続的に動作が遂行されて行くものと考えられる。

これに対して、中枢プログラミングの完成されていない動作の遂行の場合には、運動遂行の方向と初期値の決定とともに、遂行する動作自体の選択-確認が必要とされ、動作中も voluntary-volitional-loop での遂行状態の確認 (feed-back) が実行されているものと思われる。

この運動遂行の自動化は、一見「開放系」として末梢からの種々の feed-back を必要としないように思われるが、運動遂行に何らかの障害が発生した場合には、大島の指摘するように定位反射の発現を招き、reset 機構の作動後、新たなプログラムの検索が行なわれるものと考えられる。

筆者は、先行研究³⁹⁾において、アルペンスキーの「く」の字姿勢⁴発現のシミュレーションにおいて、傾斜移

動台の前後移動時の脳波 (RO-LO, RP-LP) と EMG を記録した。そして、台の移動に対応しきれなくなった際に、 α -blocking の発生、EMG の混入等が観察された (fig. 8)、最終的には傾斜台から落下する例がみられた。この現象を前記のシェーマとの関係で考えれば、スポーツ的姿勢としての volitional movement の発現ではあるが、習熟された動作発現であるために、台の移動に対応している期間の意識は (b) の水準であり、対応しきれなくなった際に (c) の水準へ復帰し、最終的に台から落下する場合は逆に unvoluntary movement としての立ち直り反射 (righting reflex) の発現をみており、(a) の意識水準にあるものと考えられる。

故に、運動の自動的遂行過程を考えた場合、voluntary factor は、trigger pulse としての運動プログラムの連続的遂行を保証する成分として、volitional factor は、開始初期のプログラムの選択-確認及び遂行の障害時の検索-確認に参与する成分と考えることができ、前者を“voluntary trigger”、後者を“volitional anticipation”といった性質を持つものと見做すことができ、定位反射の発現は、大島の指摘するようにこれらの reset or clear 機構に相当するものと考えられることができる。

引用・参考文献

- 1) Sechenov, I. M.: 柴田義松訳: 非感性的思考 (思考の要素) 明治図書 (1964): 157-182
- 2) Pavlov, I. P.: 東大ソ医研訳: 機能局在と随意のメカニズム (Koschtoyantz, Kh. S. 編: パヴロフ選集 上巻) 合同出版 (1962): 237-257
- 3) 猪飼道夫: 運動の制御 (猪飼編: 身体運動の生理学) 杏林書店 (1973): 54-56
- 4) 林謙: ‘条件反射’ と ‘条件づけ’ (条件反射第3版) 岩波書店 (1963): 167-192
- 5) Rubinstein, S. L.: 寺沢恒信訳: 心理活動と脳。心理現象の決定の問題 (存在と意識 下巻) 青木書店 (1961): 243-346
- 6) 佐藤方哉: 行動とはなにか—実験的行動分析の立場から—科学 (1977) Vol. 41 (4): 198-205
- 7) Iwanov = Smolensky, A. G.: 東大ソ医研訳: 高次神経活動病生理学の領域でパヴロフの思想を発展させる道 (パヴロフ選集 下巻・附II) 合同出版 (1962): 643-703

- 8) 丹治順: 大脳運動野のニューロン活動からみた中枢プログラム (伊藤・島津編: 現代の神経科学3 高次脳機能と中枢プログラミング) 産業図書 (1976): 99-117
- 9) 丹治順: 随意運動と大脳皮質運動野のはたらき 科学 (1977) Vol.41 (7): 230-236
- 10) 丹治順: 随意運動と皮質運動野・補足運動野 (伊藤他編: 脳の統御機能4 運動の中枢メカニズム) 医歯薬出版 (1979): 113-133
- 11) 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): 176-198
- 12) 久保田競: 前頭前野と学習行動 (伊藤・島津編: 現代の神経科学3) 産業図書 (1976): 171-190
- 13) 酒井正樹: 行動の発現機構と階層性について (伊藤他編: 脳の統御機能6 行動発現と脳) 医歯薬出版 (1980): 95-112
- 14) Anochin, P. K.: Reflex und funktionelles System als Faktoren der physiologischen Integration (1949) (Beitrage zur allgemeinen Theorie des funktionellen Systems) Gustav Fischer Verlag Jena (1978): 25-37
- 15) Anochin, P. K.: Theorie des funktionellen Systems als Ausgangspunkt für den Aufbau der physiologischen Kybernetik (1962) (ibid.): 77-91
- 16) 真野範一: 随意運動と小脳 (伊藤他編: 脳の統御機能4) 医歯薬出版 (1979): 135-159
- 17) 佐々木和男: 大脳・小脳関連の神経回路網 (同上): 151-169
- 18) 伊藤正男: 神経計算機—小脳— (脳の設計図) 中央公論社 (1980): 75-96
- 19) 伊藤正男: 視覚系の仕組 (同上): 157-175
- 20) 久田光彦: 節足動物司令線維の構築と機能 (伊藤・島津編: 現代の神経科学3) 産業図書 (1976): 31-57
- 21) 久田光彦: 運動のパターンジェネレーターとは何か (伊藤他編: 脳の統御機能4) 医歯薬出版 (1979): 13-34
- 22) Pribram, K. H.: 岩原・酒井訳: ホログラフ (脳の言語) 誠心書房 (1978): 144-171
- 23) Arbib, M. A.: 金子隆芳訳: 層別コンピューターにおける記憶と知覚 (The Metaphorical Brain) サイエンス社 (1978): 229-272
- 24) 大島知一: 随意運動の発現機構 科学 (1977) Vol. 41 (4): 237-243
- 25) 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
- 26) 柘植秀臣: 行動の発達に関する若干の理論的考察 (柘植編著: 進化と条件反射) 恒星社厚生閣版 (1971): 139-150
- 27) Kogan, A. B.: 河辺広男訳: 類人猿の複雑な行動の生理学的分析 (脳生理学の基礎 (下)) 岩波書店 (1964): 198-218
- 28) 岡田靖雄: 意識の発生 (武谷三男編: 自然科学概論 第2巻) 頸草書房 (1960): 405-428
- 29) Luria, A. R.: 松野・関口訳: 随意運動の発生 (言語と精神発達) 明治図書 (1969): 137-171
- 30) Luria, A. R.: 松野豊訳: 神経心理学とその心理学及び臨床に対する意義 (人間の脳と心理過程) 金子書房 (1976): 35-59
- 31) 荒木辰之助: 運動の中枢性制御に関する最近の知見 (日本バイオメカニクス学会編: 身体運動の科学 III 運動の制御) 杏林書院 (1979): 1-35
- 32) Kornhuber, H. H. und Deeke, L.: Hirnpotentialänderungen bei Willkürbewegungen des Menschen: Bereitschaftspotential und reafferent Potential Pflügers Arch. ges. Physiol. (1965) 284: 1-17
- 33) 西平賀昭・藤田紀盛・荒木秀夫: 随意動作に先行する脳運動関連電位 体力科学 (1978) 274: 140-148
- 34) 西平賀昭・荒木秀夫・藤田紀盛: 随意動作に先行する脳運動関連電位—単極導出法を用いての検討— 体育の科学 (1979) 29 (10): 733-738
- 35) 西平賀昭・荒木秀夫・藤田紀盛・島田茂・須田和裕: CNV 出現期間内におけるH波の変化について 第34回日本体力医学会発表抄録 (1979)
- 36) 西平賀昭・荒木秀夫・藤田紀盛: 随意動作に伴う脳運動関連電位 体育学研究 (1981) 26: 43-56
- 37) 荒木秀夫・西平賀昭・藤田紀盛: 反応動作前の α -blockingと緩電位変動との関連について 体力科学 (1981) 30: 148-156
- 38) Chatrian, G. E., Peterson, M. C. and Lazarte, D. A.: The blocking of the Rolandic wicket rhythm and some central changes related to movement EEG and Clin. Neurophysiol. (1959) 11: 497-510
- 39) 山崎健: スポーツ姿勢の基礎的モデル実験 東京教育大学体育学研究科修士論文 (1975)
- 40) 山崎健: 末梢動作の学習過程における脳波的变化 I 新潟大学教育学部高田分校研究紀要 (1978)

- 23: 81-91
- 41) 山崎健: 末梢動作の学習過程における脳波的变化
II 新潟大学教育学部高田分校研究紀要 (1981)
25: 147-162
- 42) 山崎健: 末梢動作の反復発現に伴う脳波の変容
I 新潟大学教育学部紀要 人文・社会科学編
(1982) 24 (1): 205-215
- 43) Sokolov, E. N.: 鈴木・金子訳: 条件反射形成時における分析器の機能的状態 (知覚と条件反射) 世界書院 (1965): 258-279
- 44) Sokolov, A. N.: 松野豊訳: 言語運動の求心的作用と思考の脳メカニズムの問題 ソビエト心理学研究 (1970) 9/10: 36-54
- 45) Bernstein, N. A.: Einige heranreifende Probleme der Regulation der Bewegungsakte (Bewegungsphysiologie) Johan Ambrosius Barth Leipzig (1975): 141-162