

## システム理論を基礎にした運動合成の試み

竹宮 隆, 西平賀昭, 下田政博

### 1. はじめに

これまでの生理学の分析的な研究によると, 生体の機能はマクロからミクロまでそれぞれの階層でそれなりに主体性を有する構造と機能を確保しながら, 上位機能や下位機能との強力な協調関係を維持していることが知られている。さらに精神機能まで加わった人間の生理的な全機性<sup>11)15)</sup>は近年のシステム理論<sup>1,2,3,9)</sup>のもとであるところまで論理的に理解されるようになってきた。生体の生命維持を目標とした複雑な細胞・器官・調節系の統合的な現象を分析する生理学はまさに部分と全体<sup>4)</sup>の関係を実験的に把握することができ, システムの持つ効果を典型的に知りうる領域と考える<sup>9)</sup>。このような領域の科学や知見をふまえ, 運動生理学を含む生活科学的な応用領域では機能の分析的な事実の確認はもとより機能の統合的な認識とその具体的な成果が求められている。

本論では, 生理学のこのような伝統的な思考を運動とスポーツの構造と機能<sup>5,6)</sup>の理解に導入してこれからの発展に役立てようとするものである。そして, 特にその機能的なあつかいに対しては主題のような運動合成という視点よりシステム理論的な検討を試みるつもりである。合成という言葉は, 既知の複数のものから全く新しい未知の物質や性質を生み出すときに使用する。この合成 (synthesis) は分析 (analysis) の対語でもあり, 運動合成 (exercise synthesis) は運動分析の要素的な成果を1つの目標のもとに合成して新しい運動やスポーツを生み出す方法上の概念とみなすことができ, 合成による構造と機能の再現こそは運動の領域に科学が存在するあかし (検証) にもなると考える<sup>12,13,14)</sup>。運動生

理的な研究においては, 今後とも同じ分析的な要素研究であっても, それが全体としてのシステム合成に役立つよう絶えず意識を変革して対処する必要がある。

### 2. システム理論を導入する

システム概念や理論を主張する領域では, 複数形の Systems を「系」や「組織」という日本語に翻訳せず, 「システム」とカナで呼称している。システム理論は, 自然科学から人文・社会科学まで広く活用されており, その論理は基礎科学から応用科学の領域まで通用するような一般性を有している<sup>1,3,7,8,10)</sup>。従って, システムの定義も, 「要素と過程から成る集合体」から「関係概念による集団の認識」まで広い。一般的には, 複数の要素そのものの確定とその関係の認識のこと, 単なる集合や総合ではなく目標や形成過程を有する集合体であることなどと言われている。システムは, 要素の認識がミクロからマクロまで自由にできること, 関係の認識もタテ型からヨコ型まで構造的にできること, 時間軸を加えれば過去から現在及び現在から近未来まで回顧と展望のできることなどの特色を有している。

システムのモデルとして最もポピュラーな図式は自然科学のシステム工学にみられる自動制御システムであろう<sup>2,9)</sup>。ここでのブロックダイアグラムは物づくりに先行する思考の流れ図として極めて重要なものとされている (Fig. 1)。システム分析では, そのシステムの諸要素がシステムとして共に存在しなければならぬ必然性を分析し, それぞれの役割・適性配置・貢献度などを知る。最終的には評価まで定量化する。これだけのことを行う意義はなにかと問われれば, それはシステムが何のために活動

筑波大学体育科学系 (〒305 つくば市天王台1-1-1)

Exercise synthesis based on the systems theory.

Takashi TAKEMIYA, Yoshiaki NISHIHIRA and Masahiro SHIMODA Division of Physiology, Institute of Health & Sports Sciences, University of Tsukuba

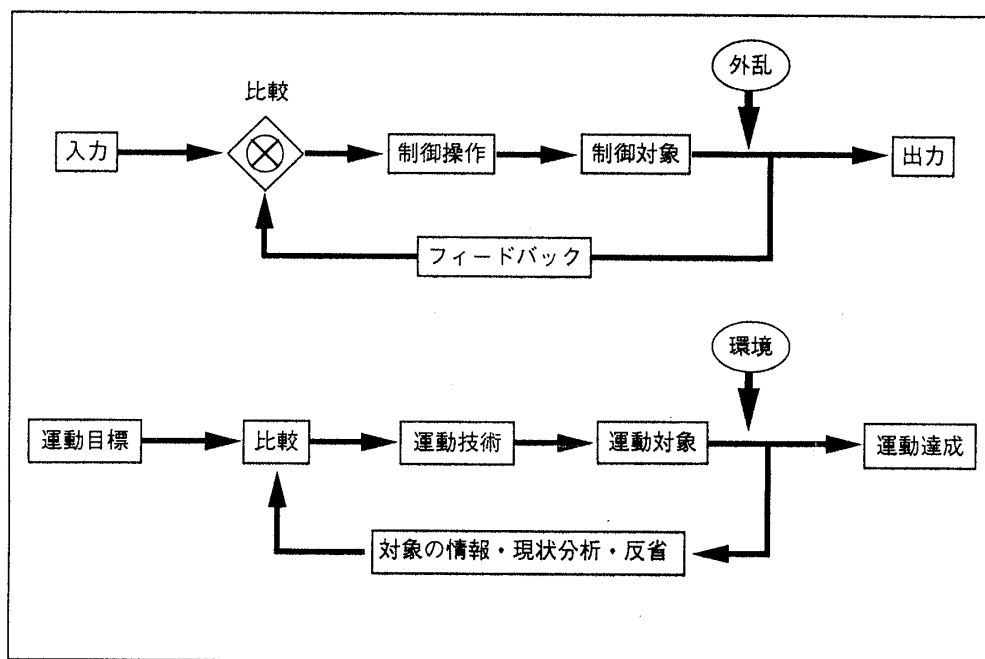


Fig. 1 システムの基本型

しているかということに帰着することになり、そこには大きな目的やさし当たりの目標が浮かび上がってくることになる。システムモデルによる思考の論理では、この目標を設定するところから始まる。本論のようにシステム分析を踏まえてシステム合成を試みる立場からは、目標は定値型でnegative feedbackの存在していることが前提となる。適応制御や発散型のpositive feedbackについては本論でふれないことにした。身体の部分的な運動や全身的な運動までを目標のもとに組む、その結果価値の内在于する全く新しい運動やスポーツができあがる。もとの動作・運動にはみられない新しい運動集合体の成立はシステムの運動合成が完了したということになる。運動合成の目標にはイメージを挙げるのが妥当である。システムはソフトであり、いっぽう、身体の運動自体はハードであると考えれば、目標にはイメージが最適である。絵画・デザイン・舞踊・マスケムなどには必ずイメージが先行している。自然科学の研究領域でも仮説や発想転換にはイメージが最も重要な役割を演じている<sup>10)</sup>。システムには、伝統的にブラックボックスをはさむ入出力の関係で思考を進める習慣がある。入力目標であり、出力はその結果や成果ということになる。イメージの入力に対し、からだの運動が出力としてその通りに表現されるならば、システムの目標が達成され

たことになる。入力には願望・要望・命令などから美・力・健康・リハビリテーションなど階層の拡大した目標の設定が可能である。この目標が達成されないときにはどこかに手を入れなければならない。それは、ブラックボックス内の伝達関数に相当する要所を操作すればよいことになる。そのためには操作対象である身体、とりわけ身体の力学特性・生理的応答性・精神性などを知っておかねばならない。これを知ったとしても運動合成の場合は身体に手を加えるための操作技術や指導技術を知らねばスタートにならない。そしてさかのぼればこの操作技術に先行して目下の運動合成はどの程度進んでいるのかをフィードバック情報として知らねばならず、イメージとのずれを比較しなければ定量化できない。そしてイメージとの差を最小にするという思考こそは実に重要であり、目標の達成すなわち入力と出力は等価になるのである。

### 1) イメージを目標にあげる

各種の動作・運動単体(要素)は目標のもとに構成されてこそ力となり、効果を発揮する。われわれの身近な体力という用語の中にもすでに目標が厳然として入っている。体力はphysical fitnessと呼ばれ、work capacityだけではない。それは、労働に対する体力やスポーツに対する体力に差のあることを示す。職種のことや程度のこと、日常生活の体力

か競技体力か、発育期の体力か中高年の体力かなどが問われるからである。

本論は、合成という概念を導入して新しい運動やスポーツをつくる試みを述べている。その際、運動創出の動機や思考の発端は社会の要望や研究の必然など多様かと思われるが、具体的な運動・スポーツの開発にはイメージの原型が不可欠である。目標のない身体運動はこれをすべて動作・運動の単体とみなし、システム上は素材や要素と位置づける。

目標に挙げられたイメージは流れ図の左端に位置し、更に線図・線画を経て視覚化されることになる (Fig. 1)。最近では、コンピュータグラフィックス (CG) の活用がいつそう容易になりつつあり有効な手段となるであろう。

格闘・競争・体力の限界への挑戦などを目標にした各種の競技型の運動合成はこれまでのスポーツを補強するところに意義があろう。いっぽう、人間関係・ユーモア・親善などを目標においた生活型の運動合成や開発も今後大いに必要と思われ、それらは運動生理的なメカニズムの理解や運動負担度の測定を経て完成することになる。

## 2) 技術を開発する。

操作対象とは、精神身体的な人体を指す。身体運動の生理学的・力学的・心理学的な研究はこれまでほとんど身体と運動に関する分析的な研究であった。この分析研究は、運動による生理的な生体反応、生体の力学特性、精神機能と心理的な勘など多様な現象に対する方法上の限定的な研究であり、この正統的な方向は今後も限りなく継続されるであろう。いっぽう、これらの分析成果は、自然科学領域の工学のような応用の科学や心理学のような関係の科学として、生活・健康・人類福祉のために具体的に役立てていかねばならない。それは目標のもとに単一動作・運動の複数を組んで新しい運動を合成し、新しい運動種やスポーツとなって学校教育の現場やスポーツの市場にでることになる。学校や社会から歓迎されれば生き残るが、不評であれば消滅する。なぜ発育期の小児に人気がないか、なぜ中高年の生活に浸透しないか、なぜトレーニング手段に活用されないか。好かれず有効でない原因の分析結果は、いち早く新しい技術開発の戦略に向けた動機にならなければならない。操作対象である人間のからだの新しい知見を絶えず得ながら、各種の運動技術の創出、対象のレベルに相応した技術加工やその持続

性・安全性の確認などは大いに求められるところである。目標の達成に必要な技術自体は、身体の動作・運動に限定される必要はない。古くから歌舞音曲の活用があるように、境界領域との交流を通じて用具の活用やその開発などあらゆる技術の採用により発展が期待される。先にも述べたように、技術は対象ごと、目標ごとに用意されるべきであり、この技術の蓄積こそは将来に向けたわが運動科学の領域の財産となるであろう。

## 3) 差を最小にする

目標のもとに運動技術を適用し、その結果得られた生体反応や運動の学習経過は科学的に検出されねばならず、その検出結果は目標と絶えず比較されねばならない。運動技術を含む操作方法の適合・過剰・不足による操作対象の体力変動・疲労・快・不快などはこれまでの分析法に従って検出される。要するに現状の評価に必要なデータは、自動制御の表現を借りれば、精度・正確度・テンポ・リズム・安全などを伴った変化となって記録されるはずである。比較の概念は、目標と現状をデータに基づいて較べることにある。Negative feedback の場合、システムは目標に向けて安定的に収斂する。運動技術の改善はその目標に調和的・安定的に到達するために不可欠であり、運動技術こそは目標と現実との差を最小にするからである。この比較の存在は、目標に沿った技術の開発や他の運動領域からの技術導入の必要性を強力に促すことになる。

## 3. スポーツの生産を試みる

スポーツは、自然科学的には人間のからだの各種の運動がゲーム目標のもとに遂行されるが故に、構造と機能を有する存在とみることができ。この構造と機能のシステム分析の成果は当然システム合成を喚起することになり、新スポーツは科学的に生産することができる (Fig. 2)。目標・思考モデル・思考実験などによるイメージ形成を経ることで、新しい身体運動種としてのスポーツは開発の対象に十分なりうる。既存のスポーツ資産目録を眺めるならば、歴史的にはほぼすべてが考案されたものばかりであり、ただ一部に起源や動機のはっきりしないものがあるだけである。医療や生活からの要望による新しい運動種を加えずとも、現代スポーツと称する種目の資産はすでに165種以上に達する。スポーツという産物は人間が手を加えて耕作・加工した意味

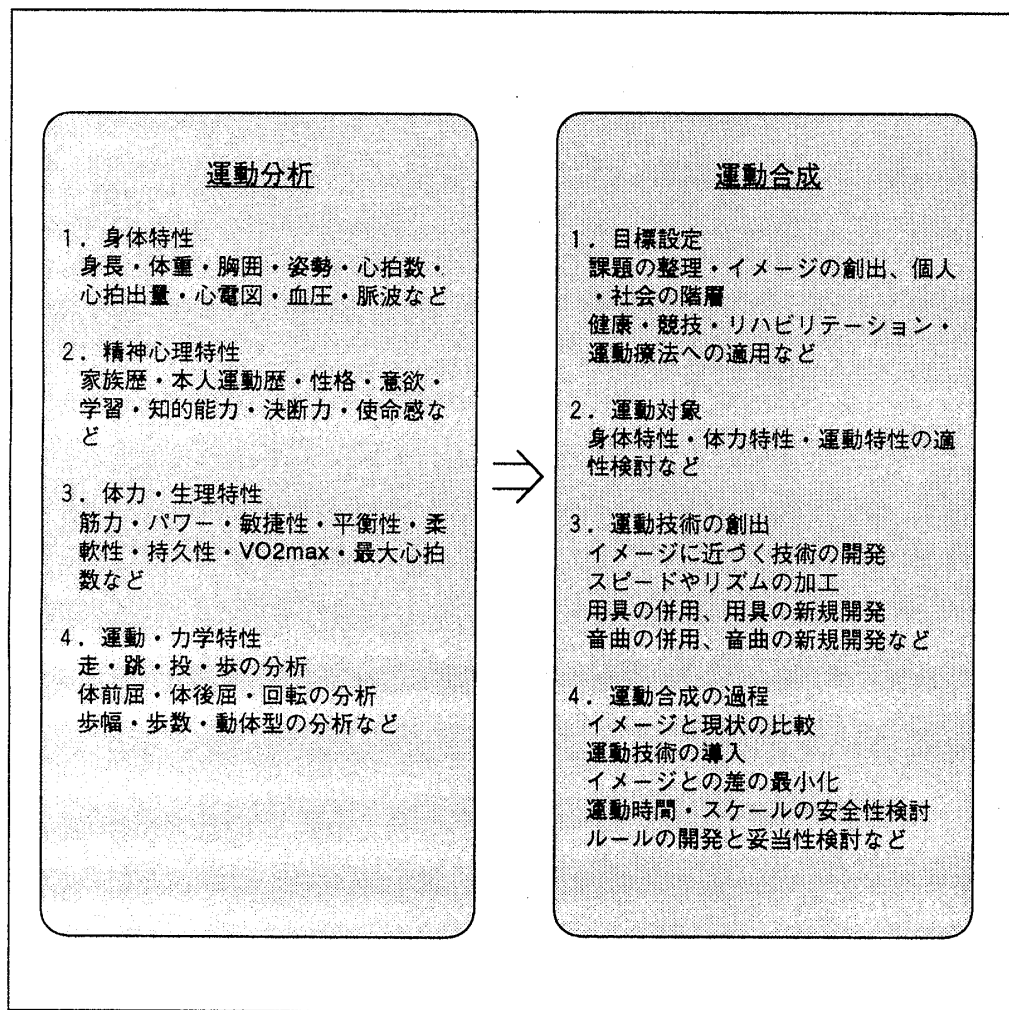


Fig. 2 運動分析から運動合成へ

を有するものであるから文化の範疇に入り、文化的な産物とされている。古くはLing, P. H. (1776-1839)の健康体操からJahn, F. L. (1779-1852)の器械体操を起源に多くのスポーツを経て今日ではリハビリテーション運動やエアロビック運動にまで及んでいる。しかし、文化財として永く生き残るためには厳しい試練や淘汰を経なければならない。運動技術を基礎に時代のだれからも好かれる運動やスポーツの開発を行うということは、社会の要望をたくみに置き換えた目標のもとに論理的(科学的)に整然と作り出すことでもある。人間の運動を分析した成果が再度合成に役立つことで、この領域の科学や技術の存在が実証されることになれば発展が期待される。

次には具体的な例を演習にとりあげてみたい。発育期の身体における運動現象は生命維持にとって必須であり、運動刺激の機会はできるだけ多く与えね

ばならない。また、発育期の園児は運動が大好きである。この園児を対象に、バレーボールを実施するという演習を考えてみたい。テーマは「幼児バレーボール」を開発するという設定になる<sup>12)</sup>。目標には一緒に遊ぶとか、成長促進の運動刺激とか和の原型を実験するとかなどを挙げてみる。とくに、園児には運動刺激そのものが重要であることから、精神心理的(快刺激)、生理・力学的(安全)な運動と生体の分析的な研究がすでにあることを前提に、幼児バレーボール運動を論理的に合成していくことになる。システム要素である用具は全面的に加工し直す。ボールは柔らかく軽く空気抵抗の大きい風船ボールとする。突き指への安全配慮や滞空時間の延長はボールの落下点への園児の集合を促し、ラリーを楽しむのに最適となる。さらにシステム要素の1つである規則は極めて単純なものを考案する。時間要素は飽きない程度に交代ができるように配慮す

る。従ってグループや人数要素は実験してみて決める。ネット要素は境界を意識させる程度でよく、高低はそのあとに考える。レフェリーは担任の先生が行う。評価は園児の楽しみ方や満足度を中心に行う。ここでは従来のバレーボールを技術的に変形する運動合成の手法を採用しており、スポーツ文化を継承させつつ発育発達の具体的な目標も達成するという一挙両得を試みるわけである。

わが国には、スポーツ運動ではないが、動作・運動をベースにした祭り・レクリエーション型の各種の踊りが存在する。阿波踊り<sup>15)</sup>は1つの見本になるので検討したい。踊りの構成に音曲(2拍子)は重要な要素になるが、ここでは身体の踊りの運動原型に注目することにしたい。この踊りは基本的には右手右足と左手左足がそれぞれ同時同側に動くところに特色があり、人間の正常な歩行や走行に存在しない違和感こそは滑稽とユーモアの身体表出に役立つ形になっている。この運動原型は、社会からの歓迎や要望の過程を経る中で、各種の技術加工を受けて変形を生むところとなった。その変形こそは、こんにちの「連」である。連固有の振り付け動作は変形の踊り(variants)として完成している。祭典では各連の技術が競演されることになる。この阿波踊りは古い祭りの円形踊りから現代の直線踊りまで時代の要望に応じて生き続けている。このトータルでみた持続性維持の原動力は、1つはユニークな運動原型にあり、他の重要な要素はリズム性音曲であろう。また、文化的な意味からはシステム枠としての歌詞文言も役割を果たしていることは言うまでもない。

最後の演習には、柔道を取りあげたい。現代の柔道は、スポーツ柔道として世界的な財産になりつつある。勝敗の判定は技の有無が中心である。柔道は本来が技術の集合体であり、技(の美)が勝敗を決める。いっぽう、技の発揮には相当の体力が必要であることも事実である。しかしながら、勝敗に占める動的な技術美が減少し、静的な重量の割合が増大するようになると、本来の柔よく剛を制する条件が入りにくくなり、魅力が薄れることになる。スポーツは、条件を決めて競うゲームだからである。そこで演習に入りたい。

柔道を構成する技術・体力・礼・義などの要素はどれが欠けても柔道の資産になり得ないと置いてみる。柔道の最終評価は技術美(技術点)と倫理意識

(態度・品位・使命感など)の価値にあると仮定する。出力はいつでも入力と置換できるので、目標にまずは技術点を置く。ブラックボックスの中では技術が介在できるあらゆる条件を検討する。例えば、試合は立ち技に限定、持ち時間数は3分とし、1分ごとに1分間の休みをいれる、1分間連続的におこなわれる攻勢の評価を検討する。すなわち、有効な技を掛けた回数を評価に入れる。従って勝敗は技1本または有効技の回数とする。出場者の体重条件は重要である。ここでは体重の上限を90kgまでと仮定し、90kg以上は競技に出場できないことにするなど。柔道の原点は、柔らかい(技術要素に満ちた)体力で相手を美しく倒すところにあると置く。だから上に述べた柔道では技術の入る余地をあらかじめ設定し、その技術の活用を安全性の面からさらに検討したうえで楽しみまた競うことのできるスポーツに仕上げるということになる。競技スポーツの場合、不安定要素や不確定要素の存在することは重要であり、これに対処する技術の工夫や開発こそ高く評価されることになる。柔道においては立位でしかも絶えず動く状態こそ不安定要素を導入する条件であり、技術の入る余地が十分にある。柔道衣の襟元の生地と縫製のつかみ易い加工は技の支点として極めて重要であり、柔道帯の強い固定の問題と共に検討されるべきである。寝技の伏臥位や仰臥位は運動抵抗が大で静止に近い。また、生理的には仰臥位は脱力状態を誘発し、快・睡眠のライン上にありとても競技を長く続ける条件の設定にはならない。礼は、人に触れ接することへの事前事後の挨拶や正座における着衣の整えなどで表現する。義は、自己の最善の行動やチーム・観客への感謝の態度で表現するなどが検討できよう。

#### 4. おわりに

運動やスポーツの科学的な分析(Analysis)は現在の研究の主流であるが、運動やスポーツの科学的な合成(Synthesis)という研究活動は余り聞かない。恐らくは、新しいものを作るという概念のことに切実でなければ、合成の発想はないものと思われる。また、現存の文化遺産を維持活用するだけであるならば確かに必要ではなからう。しかしながら、この分析と合成の科学と技術は本質的には学問の力を証明し確認する手段としてたいへん有効であり、応用的にも新スポーツという製品開発に発展することが

期待される。他領域とくに音楽の領域ではシンセサイザーによる音の合成として新しい音楽が生まれている。合成は、自然科学とくに高分子科学の領域で複数の素材から全く新しい目標物質を誕生させるときに用いる方法上の言葉である。目標の設定、要素であることの認識、各種要素の特性、合成技術の導入や開発などから成るシステムは、運動領域の運動要素と運動合成をセットで思考できるモデルとなる。発育期・社会体育・中高年運動処方などあらゆる領域の要望はそれぞれの目標に置き換えて対応していくことが可能である。身体の運動や動作には、走・跳・投・歩のほかには体前屈・体後屈・回転などがあり、これらの加工にはスピード・リズム・用具・音曲などが役立っている。Chaosの運動は時間・ルール・伴奏の枠を得て競技型・レクリエーション型・リハビリテーション型のSystemに合成され、さらには時代の試練を経て価値が定着したとき、この新しい運動はスポーツや健康運動法に発展することになる。工学領域のシステムエンジニアリングの思想は、性別・年齢・筋力・持久力などを考慮した目的ごとの最適の運動種類や運動強度を提案してくれるはずである。その際的设计で注目すべき要素とは、目標(入力)・対象・操作技術・フィードバック・比較そして成果(出力)などである。同様の例は一瞬につかむ勘と経験の芸術・工芸の世界においてもみられるところであり、その基礎はイメージ目標のもとでの多数の線画・彩色・モデル等の合成に負っている。

体育や臨床医学の領域では、はやくから運動の活用が顕著であった。この運動合成を提案した理由は、最近の中高年齢者への軽エアロビック運動の普及をみるにつけ、運動の簡単な振り付けやアレンジが科学的に試みられることへの期待からであり、またその運動合成は新しい運動の製造に役立つばかりでなく競技運動学・生活運動学・臨床運動学の論理と技術の構築に刺激を与え、発想の転換に少しでも寄与できるとの思いからである。

## 文献

- 1) Bertalanffy, L. (1968) General System Theory. Foundation, Development, Applications. George Braziller, New York. ベルタランフィ著 長野敬・太田邦昌共訳, 一般システム理論その基礎・発展・応用. みすず書房, 東京, 1973.
- 2) Blesser, W. B. (1969) A Systems Approach to

Biomedicine. McGraw-Hill Book Company, New York. プレッサー著 池田謙一訳 医学・生物学におけるシステム理論(上, 下). 東京大学出版会, 1972-3.

- 3) Bowler, T. D. (1981) General Systems Thinking. Its Scope and Applicability. Elsevier North Holland, Inc. バウラー著 中野文平訳, 応用一般システム思考. 紀伊国屋書店, 東京, 1983.
- 4) Heisenberg, W. (1969) Der Teil und das Ganze. English Title: Physics and Beyond, Encounters and Conversations. Harper & Row, Publishers, Inc., New York, 1971. ハイゼンベルグ著 山崎和夫訳 部分と全体. みすず書房, 1974.
- 5) 猪飼道夫 (1966) 動作学. 藤森聞一編 生理学大系Ⅶ 運動系の生理学. pp.717-766, 医学書院, 東京.
- 6) 岸野雄三・松田岩男・宇土正彦編 序説運動学. 大修館書店, 1973.
- 7) Koestler, A. (1978) Janus. Hutchinson & Co. (Publishers) Ltd., London. ケストラー著 田中三彦・吉岡佳子共訳 ホロン革命. 工作社, 1983.
- 8) Laszlo, E. (1972) The Systems View of the World. The Natural Philosophy of the New Developments in the Sciences. George Braziller, Inc., New York. ラズロー著 伊藤重行訳 システム哲学入門. 紀伊国屋書店, 東京, 1980.
- 9) Milsam, J. H. (1966) Biological Control Systems Analysis. McGraw-Hill Book Company, Inc., New York. ミルサム著 桑原道義・相馬敬司共訳, 生体調節系の解析. コロナ社, 東京, 1970.
- 10) Selye, H. (1976) The Stress of Life (revised edition). McGraw-Hill Company, Inc., New York. セリエ著 杉靖三郎・田多井吉之助・藤井尚治・竹宮隆共訳 現代社会とストレス. 法政大学出版社, 東京, 1988.
- 11) 杉靖三郎 (1954) 生理学. pp.2-7, 370-384, 医学書院, 東京.
- 12) 竹宮 隆 (1980) スポーツのシステム性. 学校体育 33巻 pp.131-137.
- 13) 竹宮 隆 (1986) 持久性について. 体育の科学 36: (5) 346-351.
- 14) 竹宮 隆 (1991) 生体反応の不確実性とシステム性—分析から合成へ—. 体育の科学 41: 524-529.
- 15) 東京大学医学部生理学同窓会編 (1977) 生体の全機性—橋田邦彦選集—. pp.1-39. 協同医書出版社. 東京.
- 16) 山路興造 (1976) 阿波踊り. 文化庁編 日本民俗芸能事典 pp.748-749.

(平成6年10月7日受付)  
(平成6年11月10日受理)