

〔研究ノート〕

複雑系の観点からのスポーツ科学，運動学と コーチングに関する試論

齋藤健治

要 旨

科学による究極の目的は「極微小」「極巨大」「極複雑」の理解にあるという視点を出発点に，人間の理解は「極複雑」の理解にあたるとして，人間の運動分析という「スポーツ（科）学」を複雑系の観点から考えてみた。科学における複雑系の典型としての乱流問題を例に，人間の複雑な運動の分析を科学ではない方法で試みる *Bewegungslehre* との対比で複雑系を対象とする両分野の同質性，異質性について考察した。また，*Bewegungslehre* が内包するコーチング問題について理論負荷性の観点で考察した。

キーワード：分析，総合，*Bewegungslehre*，ゲーテ形態学，理論負荷性

はじめに

「スポーツ科学」という言葉が我が国で用いられ始めたのは，樋口 [2] によると，日本体育協会（現日本スポーツ協会）にスポーツ科学研究室が設けられた1961年頃だという。東京オリンピックを3年後に迎える頃で，それ以降約60年の歴史ということになる（スポーツ科学の営み自体はそれ以前にも認められている）。その間，日本体育学会（1950年設立，現日本体育・スポーツ・健康学会）や日本体力医学会（1949年設立）に継いで種々のスポーツ系学会が設立され，そして科学技術の発展の恩恵も受

けつつ，体育・スポーツ系学問は発展を続けてきたといえる。一方で，科学の御旗の元に無批判に受け入れられ，礼讃されてきたスポーツ科学に対して，痛烈な皮肉を込めた議論 [1, 2] があるのも確かである。そのような批判的議論の核は，「人間の現象には数値化できないことがたくさんある」というものである。「人間」は物理学から見ると「極複雑の極致」[14]の世界であるといわれるが，まさに数値化できる現象は限られている（あるいは数値化しようとするればいくらでもできるが，その数値に本質的意味が見いだせない）という指摘であり，樋口の議論は，柘植 [14] が引用した「科学」観

を用いて「スポーツ科学」を批判している図式でもある。

また、樋口 [1] は体育・スポーツに欠かせない「指導者」とスポーツ科学の関わりにも言及しており、たとえば「実践知」という数値化できない人間の複雑な現象を、スポーツ科学はどう受け入れるのか、どう対応するのかあるいは対応できないのかの問題にも視点をおいている。「指導」「実践」という言葉が出てくれば、体育・スポーツでは「コーチング」ということになるが、ここまでの話からすると、「コーチング」と「スポーツ科学」は相容れない性質を持ち合わせているといえる。「コーチ」「コーチング」については、内山 [15] がコーチの本質について競技スポーツコーチングの点で考察しており、コーチング研究のほとんどが枚挙的（特殊）で、本質的（普遍）な議論がなされていないと指摘している。この問題も、上記「複雑」な系で見られる、個別な現象を観察（分析）しても、そこから普遍的な法則のようなものは出てこない複雑系に潜在する本質的な問題と相同ということができ興味深い。

以下では、複雑な系を対象に、終始一貫して「分析」「総合」的視点で現象の本質的理解を試みる乱流の科学と、科学的手法を受け入れない（ただし総合的視点）運動学 *Bewegungslehre* との対比の中で、複雑系への異なるアプローチについて考察し、さらに運動学の一つの究極的目標とでもいえる「コーチング」との関係について考えてみたい。

乱流の問題から考える複雑系へのアプローチ

科学には、数学を援用して演繹的に理論体系を構築したり、コンピュータシミュレーション

により解析的に解けない複雑な問題に対して一定の解を提供したり、などの方法があるものの、概ね「計測」という観察行為とそれに基づく帰納的推論が、理論を構築する上でも何らかの解を見いだす上でも不可欠である。柘植 [14] は、物理学の立場で科学を概観したとき、その究極の目的は「極微小、極巨大、極複雑の三つの世界を理解すること」にあると引用して述べている。また、極複雑を対象とする場合、極微小、極巨大の世界を理解する上で有効であった「分析」の手法は歯が立たず、むしろ「総合」的視点が必要であるとし、その理由を、自身の研究テーマである乱流を例に挙げて説明している。ここで、「分析 *analysis*」とはいわゆる、わからない対象を細かく分けてみていけば、その詳細が明らかになるだろうと期待してとられる手法であり、科学の手法としてはごく一般的なものである。それに対して、「総合 *synthesis*」とは、分析的視点で得られた結果をまとめるという意味や、あえて細かく分けず、あるいは対象を丸ごと捉えるという意味で使いたい。

乱流（不規則な流れ）は、レイノルズ数（慣性力と粘性力の比）がある値以上になると層流（規則的な流れ）から遷移して起こる現象であるが、その特徴は、たとえば「無限に多様な運動状態を示し、その運動状態は二度と繰り返されることがない」 [5]、「無限大自由度、強い非線形性、散逸・開放系の現象で微小攪乱に対して鋭敏なため、統計法則を基礎方程式から解析的に導くことは困難である」 [12] といったものである。このような流体の現象を支配する原理（方程式）は、すでにナビエ-ストークス方程式として与えられているが、方程式が存在してもそれは現象理解のための一面を与えるだけで、それをもって個々の乱流現象を理解できるものではない [11]。ナビエ-ストークス方

程式はその成立から200年近く経つが、時間微分と空間微分が混在した二階非線形偏微分方程式で、厳密解が求められていない。したがって、対象(流体場)を時間方向に細かいステップで、そして空間を細かいメッシュで刻み、スーパーコンピュータを用いて数値的に(力技で)解くことになるが、高レイノルズ数での計算には数千億以上のメッシュが必要となり時間積分スキームによる数値計算は事実上困難になる[7]。むしろ、熱力学のように総合的な視点、あるいは現象のマクロな性質(分子一個一個の振る舞いではなく、温度や圧力のような物理量)に着目して普遍的な法則を見いだすというアプローチのほうが現象の理解に有効であるという。流体力学であれば、たとえば「時間平均やアンサンブル平均、空間平均によって得られる平均量」を見る総合的なアプローチや、物理実験で流れのマクロな情報に着目することで見通しがよくなり、ブレイクスルーがもたらされることがある[4]。このマクロな視点でのアプローチは、層流から乱流への遷移が、普遍的な相転移の法則にしたがうことが明らかにされている(130年来の問題が解決している)[10]。

スポーツ科学, 運動学 *Bewegungslehre* と複雑系

このような古くて、かつなお最先端の乱流の問題は、スポーツ科学とは異なる運動学的運動分析で取り上げられてきた問題と同一の性質をもつといえる(この運動分析の「分析」は「総合」との対比としての「分析」というよりも、一般的な「調べる」「明らかにする」といった意味のほうが近い)。

スポーツ科学を代表する一分野に「バイオメカニクス」があるが、この分野は古典力学をベー

スとした演繹により、スポーツ動作そのもの、あるいはその違いや良否を説明することを主たる目的とする。バイオメカニクスの手法で現在主流となる三次元動作解析法は、運動中の対象(主としてヒト)の各部位の座標値を三次元固定座標系上で獲得し、数値微分により任意の部位の速度や加速度を求めたり、セグメントや関節の回転角度、角速度、角加速度を求めたりする(運動学 *kinematics*)。さらに、ある部位で計測された力(主として床反力)を用いて、剛体モデルや筋骨格モデルに *kinematics* で得られた計測値、計算値を適用することで関節の力やトルク、エネルギーあるいは筋張力を求めたりする(力学 *kinetics*)。ここで、数値的に解かれる方程式は並進成分であればニュートンの運動方程式であり、回転成分であればオイラーの運動方程式であるが、これらは、物体一般(剛体という理想化が行われるが)に適用できる常微分方程式であり、ヒトの運動の原理を説明するものではない。しかし、多数の運動のデータを採取して統計手法を適用することで、対象とする運動の、そしてあるいはその年齢層の、あるいはその技術レベル層の代表値として受け入れられ、それが対象とする運動の普遍的構造であるように暗黙裡に解釈される(真理とされる)傾向にある。

このような自然科学的・分析的手法により得られる解を真理相当とすることに異を唱えるのが、*kinematics* と異なる別種の運動学 (*Bewegungslehre*) である。この *Bewegungslehre* は1960年、マイネルによって興されたモルフォロジー運動学を、金子がフッサールのキネステーズ概念やゲーテの形態学などの思想も取り込み深化させた運動理論の一般呼称であり、さらにベルクソンの純粹持続の運動論、ヴァイツェッカーのゲシュタルトクライ

ス論、シュトラウスの感覚論などを取り込み発展させた「発生運動学」という概念としても提唱されている [9] (以下では、マイネル、金子の流れの運動学をまとめて *Bewegungslehre* とする)。その中核となる考え方は、「スポーツにおける〈動き〉の〈かたち〉の発生と構造に関わる理論であり、そこで取り上げる動的で本質的に一回性現象である〈動き〉や〈かたち〉は一瞬たりとも止まった静止(映像)的なものとして、また完了した運動として分析することはできない」「スポーツ運動は物体運動ではなく、全体性心理学によって提起された身体による行為としての〈運動ゲシュタルト〉である」というものである [9]。一つ目の考え方は、乱流に関する「無限に多様な運動状態を示し、その運動状態は二度と繰り返されることがない。したがって、流れの瞬間場の構造から普遍法則を抽出することは不可能である」といった流体力学研究者の考え方と同質といえる。スポーツ競技者の運動(たとえば走跳投などのパフォーマンス)が、実施されるたびに乱流のような不規則な見え方をするわけではなく、高いレベルの競技者であれば、むしろその運動は毎回同じように再現されているように見える。しかしながら、厳密にはその時々動きは同一に再現されることはなく一回限りの現象であり、そういう意味で無限に多様な運動であるといえる。したがって、そのような多様なパフォーマンスから一つの運動だけ選んで分析する、あるいは、分析可能な部位のみ抽出するといった「分析」から得られた結果をもって、対象運動の普遍性が明らかになったとはいえない、という論は妥当である。

流体力学と *Bewegungslehre* は複雑な系を研究対象としている点では同じであるが、流体力学は「分析」的視点を援用しながら、「総合」

的な見方が必要で有効である、という立場であるのに対し、*Bewegungslehre* は「分析」的視点、あるいは科学的方法を不可としており、この点において、両者に違いが認められる。複雑さの度合いに差があること(人間の現象は乱流以上に複雑である)、個別の現象(特殊例)に大きな意味を見いだす *Bewegungslehre* の複雑系理解は、現状ではメタフィジクスのにならざるを得ないのだろうか。

スポーツ科学の複雑系科学的アプローチ

このように、本質的に同質の問題を抱えているながら、現象の理解の方法に大きな差が出る二つの複雑系を橋渡しするような試みはある [3, 8, 16]。山本・郷原 [16] は「巧みな動き」を対象とし、その巧みさは、環境の変化に柔軟に対応する複雑なシステムにあるという視点で分析している。巧みな動きには、運動を起こすにあたっての入出力の「連続性」と「多様性」が絡んでおり、その中で、安定で正確な運動を成立させる制御について、ダイナミカルシステム(動的システム)として検討することの有効性を説いている。そして、運動(任意の部位に絞られるが)を軌道(たとえば肩関節角度-股関節角度平面上での時間的推移)として表し、入力に対応した出力を連続力学系および離散力学系の視点で観察し、運動状態(軌道)の遷移(ここではフォアハンドストロークからバックハンドストロークおよびその逆)を確認している。同じ運動を行っている間は、同じような軌道(アトラクタ)を通るが、全く同じ軌道を通過することはなく、この点は *Bewegungslehre* が指摘する「動的で本質的に一回性現象」に相当する。それでも、これらの研究ではある関節の角度であったり角速度であったりと、ある部

位, ある計測項目を抽出した上での分析であり, *Bewegungslehre*のたとえば「運動リズム, 運動弾性, 運動流動」といった運動の特徴を重視する観点からは未だかけ離れた研究であるといわざるを得ない。

複雑系の中でのコーチング

複雑な系を研究対象とする中で, 一方は科学そのものであり他方は科学とは一線を画す, という見方以上に *Bewegungslehre* がもつ異なる性質は, 本来スポーツ科学がもっているものではあるが, 学習者と指導者という二者の相互関係 (*Bewegungslehre* の学習者と指導者の関係も「コーチング」とする) に視点をおいているというところにある。金子は, 人間の運動を「動感運動」と呼び, 「動感運動の分析は自然科学的な立場からではなく現象学的立場ないし超越論的立場に立つ発生分析として行われるべきである。そして, そのためには観察や観察分析が主要な方法になる」とする。ただしその観察は, 傍観者的観察ではなく, 観察対象となるプレイヤーの動きに同化する, そして (指導者の立ち位置として) 客観的なスタンスに留まらず, 動きを学習者の運動感覚的な意識まで入りこんで, その上で学習者の動きの問題を把握しなければならない, と述べている [9]。

この「運動感覚的な意識」は, 「伝える一承ける」というコーチングにおいては避けて通れない問題であり, 「感覚」は, 人間のスポーツ運動をコーチングの対象とする際, 捨象することのできない要素である。しかしながら, 科学のスタンスは, 現象の記述において, 「自然現象のうちで感覚性質のようなものは捨象し, 数量化可能な側面にのみ着目する」[6]とされ, つまり相反するものであり, やはり

Bewegungslehre と相容れない。柘植 [13] が「人間の感覚という領域へ踏み込まないで済むときは, 科学的アプローチはすでにかなり強力である」というように, 裏を返せば, 人間の感覚に関わる問題に対して科学は無力に近いということでもある。この意味において, 必然的に「感覚」を無視できないコーチングは科学から距離をおくことも必要であるといえる。内山 [15] は「コーチング」とは何か, 「コーチ」とは何者かを問う中で, 「コーチング」に関わる研究の課題の一つとして, 「コーチングという辛くて骨の折れる仕事を「エピソード的」に扱う体験談とおぼしきものが数多く存在することである」と述べ, 「その特異で個別な体験談は, あくまでも「そのつどの」な解釈の域を出ることはない」と指摘している。これは, 前述の「無限に多様な運動状態を示し, その運動状態は二度と繰り返されることがない」という性質が故に, 数値解を求めることはできても現象の理解につながらないとする乱流の問題と同質である。つまり, 「特殊」な例をいくら積み上げても「普遍」には到達しないということであるが, 「コーチング」の本質を問う研究においても同様の課題であるといえる。

コーチングの理論負荷性

一方で, *Bewegungslehre* において指導者に求められる現象学的立場, 超越論的立場での「観察」という行為は, 科学における「観察」と, 「理論負荷性」の点でも異質の行為になる。「観察の理論負荷性」とは, デュエム (1914), ハンソン (1958) により提起された概念で, 「物理学 (科学) における観察とは現象の直接的な記述という仕方ではあり得ず, それは現象についての理論に基づく解釈である」「観察は理論

を背景として解釈されて初めて意味をもつ」というものである [6]。スポーツ科学においても観察（計測）という行為は常套手段であり、同じく「理論を背景として解釈される」ことは逃れ得ない。一方で、コーチング(Bewegungslehreの観察を含む)においても観察は欠かせない行為であるが、前述のように、「傍観者的観察ではなく、観察対象となるプレーヤーの動きに同化する、そして（指導者の立ち位置として）客観的なスタンスに留まらず、動きを学習者の運動感覚的な意識まで入りこんで、その上で学習者の動きの問題を把握しなければならない」とするならば、その運動に対する何らかの理論、あるいは経験上得た理屈・知識を排して観察する（同化する）ということであり、理論負荷性から独立しなければならないということと等しい。「観察」という行為において、マッハの現象論や論理実証主義では、「われわれの認識や理論から独立の中立的な感覚与件というものがあり、科学的知識の構成はそのようなものの忠実な観察と記述から始めなければならない」という立場をとっていたが、ハンソンは物理学の観察において感覚与件を純粹無垢に知覚するなどということはある得ない、という [6]。ここでは、「物理学」としているが、「科学」と読み替えることは大きな問題はないだろうし、むしろ、コーチングにおける観察も含めて考えることはできるだろう。観察が理論負荷性を逃れ得ないとすると、理論、理屈、知見、さらに拡大して経験といったものが異なると、感覚与件やデータの解釈が異なることになる。「コーチング」においてはどうか。同一の観察に対して異なる見解が出されることはたくさんあると経験的にいえそうだが、それは、一般的にも「理論負荷性」は逃れ得ない、ということでもある。理論、理屈、知見、経験が多数存在すれ

ば、「コーチング」の言説も必然的に多数存在することになり、学問としては個別（特殊）の記載が積み重ねられることとなり、普遍には到達しづらいかも知れない。

おわりに

「コーチング」とは「人を導くこと」という広い解釈をすれば、人を相手にするあらゆる営みに適用できる概念である。そして、人の現象が本質的に複雑であると認められることから、コーチングとは複雑系と複雑系の相互作用の中で営まれる複雑な行為であり、いきおい、科学の対象たり得ない印象を受けることになる。しかしながら、「科学」的観察により、新たに見えることもあることは確かであり、それら知見を援用することは「コーチング」という営みにプラスであることは間違いない。ただし、援用の仕方を間違えた場合には、複雑系と複雑系の相互作用の中では予期せぬ結果が導かれることも予想される。そうなるコーチングの際、科学理論から離れることを意識する必要もあるかも知れない。コーチングという営みは、スポーツ競技に限っても技術的スキルの指導から戦術指導、トレーニング指導、コミュニケーション、マネジメントなど幅広い活動が必要となるが、ここでは技術的スキルの指導に重きをおいた観点での話とした。

参考文献

- [1] 樋口 聡 (1994a) スポーツ科学論序説：(Ⅰ) 序論, 広島大学教育学部紀要第二部, 43, 135-144.
- [2] 樋口 聡 (1994b) スポーツ科学論序説 (Ⅱ): イメージの生成—わが国におけるスポーツ科

- 学の誕生一, 広島大学教育学部紀要第二部, 44, 113-123.
- [3] 平川武仁・山本裕二 (2018) 3つの運動パターン切替の遷移状態と切替時間長との規則的關係, 南山大学紀要『アカデミア』人文・自然科学編, 16, 119-139.
- [4] 木田重雄 (2002) 乱流の統計理論, プラズマ・核融合学会誌, 78(8), 773-781.
- [5] 木田重雄 (2004) 不安定周期運動による乱流解析, なかれ, 23, 319-327.
- [6] 小林道夫 (2003) 科学哲学, 産業図書
- [7] 松崎継生・岡本直也・横川三津夫・金田行雄 (2018) 乱流DNSにおける種々の時間積分スキームの評価, 情報処理学会研究報告, 2018-HPC-166(8), 1-7.
- [8] 三浦哲都・向井香瑛・横山 梓・恵谷隆英・工藤和俊 (2019) 身体運動と環境情報の相互作用, バイオメカニズム学会誌, 43(3), 161-166.
- [9] 佐野 淳 (2007) ゲーテ形態学とスポーツにおける発生運動学的運動分析, モルフォロギア:ゲーテと自然科学, 2007(29), 45-62.
- [10] Sano M. and Tamai K. (2016) A universal transition to turbulence in channel flow, Nature Physics, 12(3), 249-253.
- [11] 玉井敬一 (2019) 乱流遷移に対する基礎科学の挑戦～そこに潜む普遍的な法則～, 理科資料86, 実教出版, 12-17.
- [12] 戸田卓也・後藤俊幸 (2005) 乱流におけるエネルギーカスケードの統計, 1434, 205-214.
- [13] 柘植俊一 (1990) 反秀才論, 読売新聞社
- [14] 柘植俊一 (1992) 物理学を通して人をもみる—物理学と人間の視点における相似と相違—, 電子情報通信学会, 75(7), 743-748.
- [15] 内山治樹 (2013) コーチの本質, 体育学研究, 58, 677-697.
- [16] 山本裕二・郷原一寿 (1999) 巧みな動き—入出力の連続性と多様性—, 認知科学, 6(3), 332-345.

[Research Note]

Essay on sport sciences, Bewegungslehre and coaching
from the perspective of complex systems

Kenji Saitou