



Title	運動情報を伝達するための運動記述法
Author(s)	山田, 憲政; YAMADA, Norimasa
Citation	北海道大学大学院教育学研究科紀要, 98, 89-102
Issue Date	2006-06-30
DOI	https://doi.org/10.14943/b.edu.98.89
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/14433
Type	departmental bulletin paper
File Information	98_89-102.pdf



運動情報を伝達するための運動記述法

山田 憲 政*

A Human Movement Description Method for Conveying Information Included in a Movement to Observers

Norimasa YAMADA

【要旨】 絵画や写真で捉えられた運動のある瞬間が観察者に運動を想起させることができるのは、観察者（人間）の運動イメージには一連の運動を想起しうる情報が圧縮される局面（瞬間）があるからであろう。本研究は、その情報量が多い瞬間を含む運動中の画像を正確に撮影し、その瞬間の制約条件を満たしながら分析する手法を紹介する。この画像撮影・解析システムは、高速撮影でも捉えることが困難な打具を用いるスポーツにも適応できることを、本研究ではゴルフスイングの例で示した。

さらに人間は運動中のどのような瞬間を情報量が多いと判定するのか、そして外部から客観的に捉えられた運動はそれを実行する主体にとっても有効な情報になり得るのかを、運動中の一瞬を捉えた絵画（疾走中の馬を捉えたジェリコーの絵画）を用いて検討し、運動イメージ構造の解明へ一つの接近を試みた。

【キーワード】 身体運動、運動の瞬間、運動イメージ、絵画、連続写真

1. はじめに

著者らは絵画を介した運動情報の伝達の研究（山田と阿部，2000；山田，2001）において、ある特徴的な局面を捉えた一枚の絵画からその先後の運動情報が復元できることを示した。そしてその運動情報の復元は、仮想的な身体運動とも言える脳内部で生じる運動イメージを用いる、他者運動の自己運動としての観察によると考えられた（山田，2005）。

運動の一瞬から一連の運動へ情報を拡張する人間の知覚特性は、デンマークの科学評論家 Norretranders (1998) の著書「User illusion」で定義された外情報の概念によっても同様に理解することができる。この著書では外情報の例として、『ギネスブック』に記載された世界で最も短い以下の通信文が挙げられている。

史上最短の通信文は1862年に交わされた。『ノートルダムのせむし男』の作者として有名なヴィクトル・ユゴーは、この年、名作『レ・ミゼラブル』を上梓してすぐに休暇の旅に出た。だが、本の売れ行きが気になって仕方がない。そこで、出版社に手紙を書いた……「？」出版

* 北海道大学大学院教育学研究科健康スポーツ科学講座助教授（身体運動科学研究グループ）

社も負けてはいない。真実を少しも曲げることなく伝える返事を出した……「！」

この「？」と「！」による情報伝達からも明らかなように、人間の情報伝達における情報量とは伝文そのものによってのみ定義されるのではなく、その伝文に“圧縮”された情報量あるいはその情報の“深さ”も関与するのである。Norretranders は、この形式的な記号としての「情報 (Information)」から捨象された本質的な部分であり、その情報をきっかけとして取り出され展開される情報を「外情報 (Exformation)」と定義したのである。

前述の運動イメージを用いた瞬間から運動への展開には、その形の静止状態における不安定さやその動きを生成させる筋力発揮のタイミングが関与すると考えられているが(山田と阿部, 2000), このことはつまり、時々刻々の運動中どの局面も外情報が均一ではなく、高い外情報の圧縮点があることを意味している。

その運動中の高い外情報の圧縮点について、例としてハードル走とランニングを比較しながら、ハードルを跳び越えるダイナミックな動きを伝達することから考えてみる。図1は、バイオメカニクスの研究分野で頻繁に用いられる身体各代表点を線で結んだスティック図によって、ハードル走(上図)とランニング(下図)の各瞬間を表したものである(山田, 1990)。左から1. 着地, 2. 着地中の重心最下降時, 3. 離地, 4. 滞空中の重心最高点, 5. 次の着地, 6. 着地中の重心最下降時, 7. 離地, 8. 滞空中の重心最高点, 9. 着地を表している。ハードル走とランニングでそれぞれのスティック図を比較していくと、最後の2つのスティック図が大きく異なることから、それらがハードル走の伝達には適切なように思える。しかし8は空中に浮いたようにも見え、9は着地足のほぼ上方に重心があるため静止状態でもこの姿勢がつかれることから、右足を上げていた姿勢のようにも見え、両スティック図ともハードルを飛び越える動きが伝わりにくい。それに比べ、その一つ前の丸で囲まれた離地の瞬間は、ランニングとそれほど形が異ならないにも関わらず、斜上方へ飛び出しながら足を振り上げる動きが伝わり、着地前と滞空中の動きまでを想起することができるであろう。またそれ以前のス

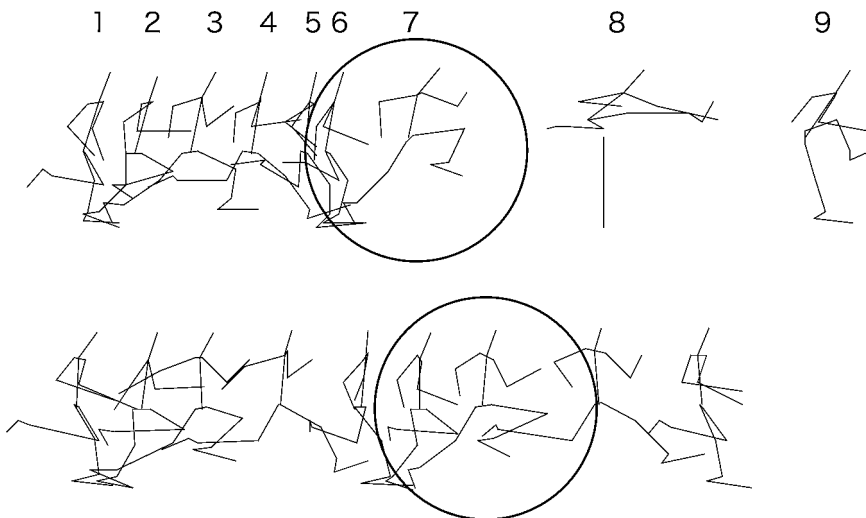


図1 ハードル走(上図)とランニング(下図)における身体各代表点を線で結んだスティック図。丸で囲ったスティック図は踏み切り瞬時を表す。

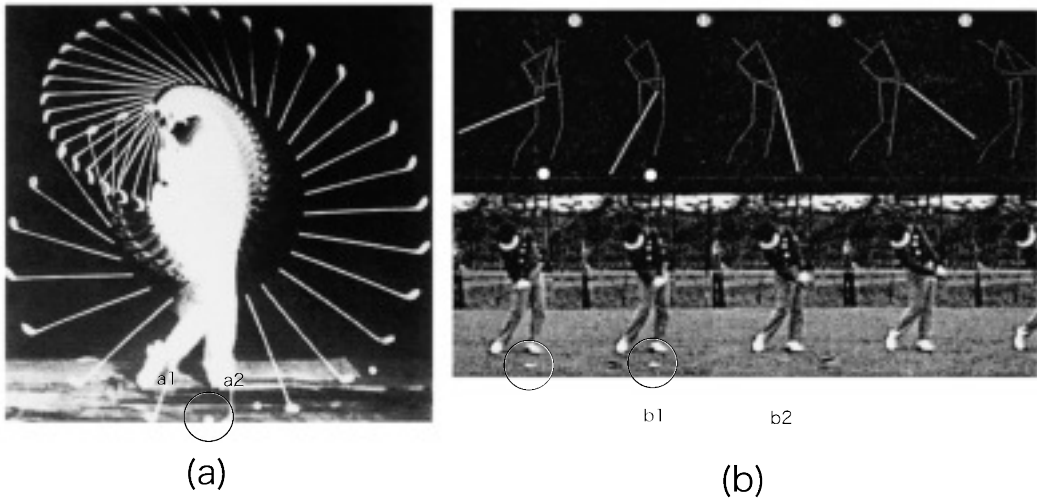


図2 (a) ゴルフスイングの100 Hz マルチストロボ撮影 (Williams, 1967 を引用・改変)。丸で囲った位置にゴルフボールがあり、a1 はインパクト直前、a2 はインパクト後である。よってインパクト瞬間は捉えられていない。(b) 高速カメラ (48 Hz) を用いたゴルフスイングの連続撮影写真とそのスティック図 (Golf classic 1987 年 3 月号, p 86 から引用・改変)。丸で囲った位置にゴルフボールがあり、b1 はインパクト直前、b2 はインパクト後である。よってインパクト瞬間は捉えられていない。

ティック図ではランニングと変わらず、ハードルを飛び越える動きが伝わらない。このように、一連の運動の中でも各瞬間が持つ外情報は異なっていることがわかる。

では、必要とする情報量が多い瞬間はいかにして正確に捉えることができるのか。このスティック図では、毎秒 120 コマの高速 16 mm カメラとフォースプレートと同期させて踏み切りの瞬間を捉えている。しかしスポーツ科学の分野では、ゴルフや野球など打具を用いた運動など対象とする運動が非常に速い場合、高速カメラを用いても相当高い周波数で運動を捉えないと、最も外情報が多いと考えられるインパクト瞬間が捉えられる保証は無い。例えば図 2 (a) は、ゴルフスイングのマルチストロボ撮影 (Williams, 1967) の例として頻繁に引用されるが、100 Hz で動きを分解しているに関わらず、インパクトの瞬間が捉えられていないことが分かる。また図 2 (b) は、スポーツの一般誌に頻繁に掲載される連続写真の一例であるが、この撮影は毎秒 48 コマの高速 16 ミリカメラが用いられているにも関わらず、この写真においてもインパクトの瞬間が撮影されていない。この連続写真から伝わるゴルフスイングという動きは、インパクトという最も身体に衝撃が加わる瞬間が欠けているので、クラブをただ空振りさせているようにも見えるであろう。すなわち、のれんに腕押しの状態である。よって、連続写真においても外情報が多い瞬間が含まれる必要があると考えられる。

著者らは、運動撮影・解析システムを構築 (波 他, 1993; 山田, 1991) した際に、目的とする瞬間を確実に捉え、さらにその前後の運動を記録する方法をそのシステムに組み込んだ。さらにそのシステムにおいて、画像データを拘束条件を有する多項式近似によって高速に分析する手法を開発した。それらの方法はここまで述べてきたように、外情報量が多い瞬間を含む運動記録に応用できるので、本研究ではその方法を紹介する。さらに人間はどのような瞬間を情報量が多いと判定するのかを、人間が自らの知覚を基に制作する情報媒体である絵画におい

て、その瞬間がどのように選ばれてきたか、そしてその瞬間はどのように加工されてきたかといった観点から疾走中の馬を捉えたジェリコー（Géricault; 1791-1824）の絵画を取り上げて検討し、運動イメージの解明へ一つの接近を試みた。

2. 運動撮影システムと解析例

2.1. 目的の瞬間を含む運動撮影システム

図3に本撮影システムの概略を示す。このシステムの特徴は、ノーマル速度のビデオカメラを用いているにも関わらず、目的とする瞬間を何らかのセンサーで捉えることによって、必ずその瞬間を含む一連のビデオ画像が得られることである。なお、ここでの紹介は2次元解析であるが、異なる方向から同期撮影するカメラを増やすことによって、容易に3次元解析に拡張できるものである。図3では、ゴルフのインパクトを含む画像を記録し、カメラの光軸と直交する平面におけるクラブの運動を解析する例を示している。この例で必要とする瞬間として選ばれたインパクトは、ボールの前方に設置したフォトスイッチによって得られる。ビデオ1は運動開始からの全画像を30 Hzで撮影し、ビデオ2はインパクトを含む画像をインパクト瞬間から30 Hzで撮影する。こうして得られた2つのビデオ画像は、データレコーダに記録された2台のビデオカメラのパルスを用いて同期され、最終的に目的とする瞬間が含まれる時系列データ（時間、角度）が得られるのである。

2.2. 目的の瞬間を考慮したデータ解析法

次に、このようにして得られたデータを解析する例を示す。このビデオ撮影システムから得られるデータは、必ず目標とする瞬間が含まれる特殊なデータなので、そのデータの特性を生かして解析しなければならない。つまり、その瞬間の条件やその運動の力学的・幾何学的な条

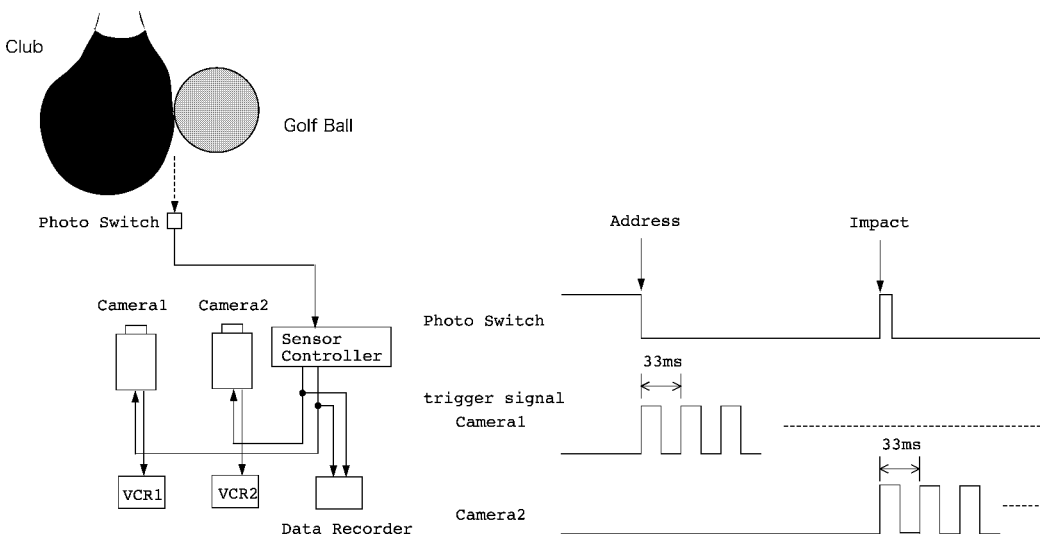


図3 特定の瞬間を含むビデオ撮影システム。この例では、ゴルフクラブとボールが接触した瞬間を特定の瞬間としている。

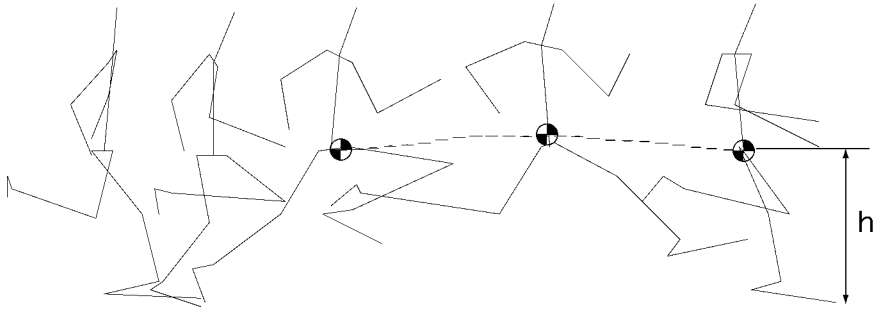


図4 片足の着地から次の足の着地までのランニングのスティック図と滞空中の重心の軌道。hは離地時と着地時の重心高を表す。

件を満たしながら解析する必要がある。そのような制約条件を考慮した解析は、近年では Wavelet を用いた優れた方法が開発されている (Li, et al. 2005)。しかしここでは、一般的によく使われていてかつプログラミングも容易な制約条件付きの多項式 (相場他, 1977; 波他, 1993; 菅原と小林, 1977) を用いた。多項式近似を用いた解析は、バイオメカニクス研究でも頻繁に用いられるが、その多くは全体の傾向を低次の係数を持って把握するために用いられ、人間の運動を制約する幾何学的あるいは力学的制約条件が考慮されていない。そこでまずその問題点を分かりやすい例で以下に示し、その後、本システムを用いてゴルフスイングを解析した例を紹介する。

図4は、図1でも示したが、ランニング中の片足が着地してから次の足が着地するまでの代表的な瞬間をスティック図で表し、そこに滞空中の重心の軌道を波線で重ねてプロットしたものである。

離地の瞬間から着地の瞬間までの重心軌道を二次式に近似すると、以下の式が得られた。

$$h(t) = a_1 + a_2 t + a_3 t^2 \quad (1)$$

$$(a_1 = 1.02824; a_2 = 1.05109; a_3 = -5.52956)$$

重心軌道 (黒丸の点) とこの近似式 (h1) をプロットしたのが図5である。

近似式と測定値の相関係数 r の二乗 r^2 は 0.954974 であり、この近似式は測定データを良く近似していることが分かる。よって、この近似式はこの重心軌道の近似には十分なように思われる。しかしながら、幾何学および力学的な制約条件を考慮するとこの近似式には次のような問題がある。まず幾何学的拘束条件として、このデータにおいては離地時の重心高は 1.034 m であることから、

$$h(0) = a_1 = 1.034 \quad (2)$$

とならなければならない。次に、力学的な拘束条件として、滞空中は重心の加速度は -9.8 m/s^2 となるので、

$$\ddot{h}(t) = 2a_3 = -9.8 \quad (3)$$

から、 $a_3 = -4.9$ とならなければならない。そして、着地時の時間 t_c における重心高は離地時とほぼ等しいことを考慮すると、

$$h(t_c) = a_1 + a_2 t_c + a_3 t_c^2 = a_1 \quad (4)$$

となり、 a_2 が以下のように決定される。

$$a_2 = -a_3 t_c \quad (5)$$

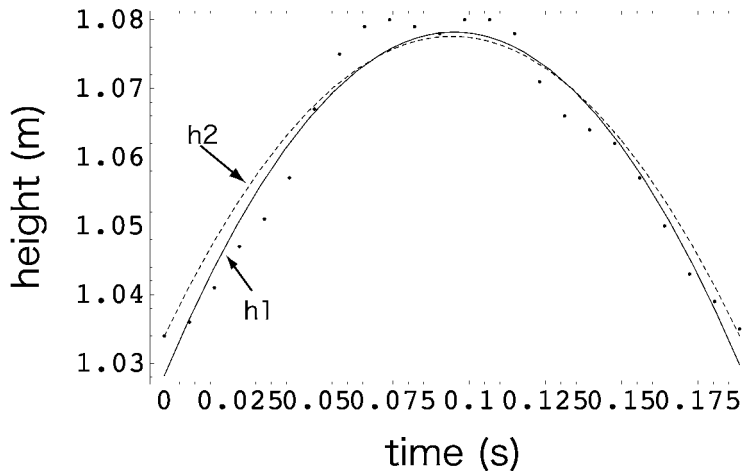


図5 ランニングの滞空局面における身体重心の実測値（黒点）と近似波形（h1：制約条件無し，h2：制約条件あり）。

このようにして求めた近似式は、図5にh2としてプロットしてある。この図を見ると、実験値と近似波形h1・h2は類似していることから、どちらの波形を近似波形として用いても問題がないように思われる。しかし、h1は測定データを単に多項式へ近似しただけなので離地時と着地時の位置と滞空中の加速度を満たしていないが、h2は滞空中の重心変動の理論式とも言えるものであり、位置、速度、加速度までを満たしているのである。したがって運動の制約条件を考えるとh1は近似波形として適さないのである。

2.3. 高速運動（ゴルフスイング）の解析例

高速運動の例としてゴルフスイングのクラブの運動を採り上げ、その制約条件を考慮した分析を検討する。この軌道の制約条件は、運動開始時（アドレスと省略）の角度と速度、そしてインパクト瞬時の角度である。

まず運動開始の時間を0、インパクトの瞬間の時間を1として規格化し、8次式で近似する（この次数は次数を増やしながらその近似を確認し決定した。その結果、6次で十分な近似が得られたが、ここでは8次のものを使用している）。

$$y_t = a_0 + \sum_{i=1}^8 a_i t^i \quad (6)$$

ここで、運動開始時クラブの角度を θ_0 、角速度は運動開始瞬間なので理論的に0とすると、

$$\begin{aligned} y_0 &= a_0 = \theta_0 \\ \dot{y}_0 &= a_1 = 0 \end{aligned} \quad (7)$$

が、得られる。

また、インパクト瞬時（ $t=1$ ）のクラブの角度は運動開始時とほぼ等しいので θ_0 と置くと、

$$y_1 = a_0 + \sum_{i=1}^8 a_i 1^i = \theta_0 \quad (8)$$

が得られる。ここで、 $a_0 = \theta_0$ 、 $a_1 = 0$ だから、

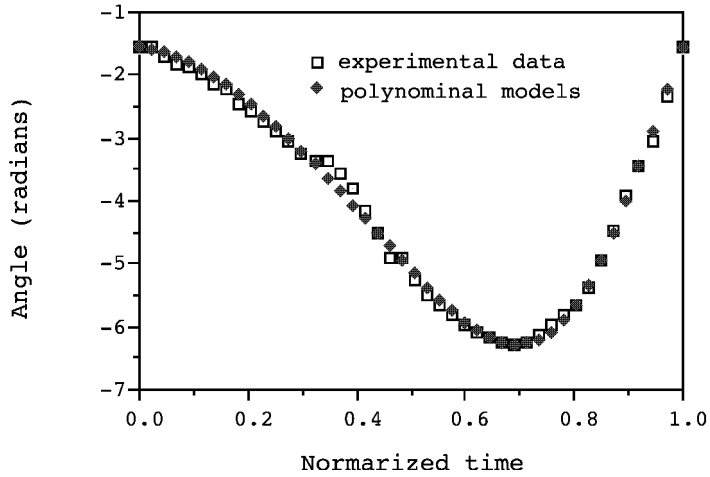


図6 アドレスからインパクトまでのゴルフクラブの鉛直軸に対する角度の時間的変化の実測値と近似曲線。

$$\sum_{i=2}^8 a_i 1^i = 0 \tag{9}$$

となり、 a_8 は以下のように書き換えられる。

$$a_8 = - \sum_{i=2}^7 a_i \tag{10}$$

これらを(6)式に代入し、

$$y_t = \theta_0 + \sum_{i=2}^7 a_i t^i - t^8 \sum_{i=2}^7 a_i \tag{11}$$

が、得られる。

実測値を y_t^* とし、近似値と実測値を用いて評価関数を以下のように定義する。

$$J = \sum (y_t - y_t^*)^2 \tag{12}$$

この評価関数 J を各係数で編微分して6連立方程式を得、 J を最少にするように各係数を決定する。

図6は、上記方法で求めた近似曲線と実測値を、アドレスからインパクトまでプロットしたものである。この図からこの近似曲線は、理論値（アドレスとインパクトの角度、アドレスの時の角速度）を満たしながら、運動の全域に渡って非常に良く軌道を近似していることが分かる。なお、この近似式から速度を求めるには、数値微分を用いず(11)式から次のように求めることができ、数値微分によるノイズ増幅の影響がない。

$$y_T = \sum_{i=2}^7 i a_i p^i T^{(i-1)} - 8 p^8 T^7 \sum_{i=2}^7 a_i \tag{14}$$

(T は実際の時間 (規格化した時間ではない)、そして $p=1/t_f$ (t_f はアドレスからインパクトまでの時間) を表す)。

3. 運動イメージの人為的変換

特定の瞬間が含まれる運動の記録と記述方法について述べてきた。この方法は、身体運動の研究における運動の正確な記録・記述ばかりでなく、情報量が多い瞬間が含まれる画像であることからスポーツの指導場面でも非常に有効な方法であると考えられる。しかしながら次の課題として、光学器械を用いて捉えた正確な瞬間が、果たして人間にとって最も適切な外情報を展開する情報となり得るかという問題がある。それは、運動する主体としての自己と客体としての自己、あるいは主観と客観という問題にもつながるものである。つまり、主体として運動している本人の運動感覚と、その外部からの正確な視覚情報には齟齬が無いかという問いである。

この問題を検討するには、人間の被験者を用いた実験的研究が必要であろう。しかしここでは、静止した平面に如何にして運動を埋め込むかといった絵画制作における課題がどのように克服されてきたかを概観することから、その問題へ一つの接近を試みたいと思う。

これまでに静止した絵画に生命の根源ともいえる運動を埋め込む様々な工夫が為され、それらは絵画の技法としてその特徴が整理されている(加藤, 1995)。しかし本研究ではそれを単に絵画の技法という観点ではなく、人間にとっての運動情報生成の原理として大きく二つに分ける独自の方法を提案する。それは運動が復元される原理を、主に人間側に求めるかあるいは絵画側に求めるかによって分ける方法である。まずそれを人間側に求める方法は、第一章でも述べたように、観察者が運動を展開しうる瞬間を絵画に埋め込むという方法である。これは人間の知覚特性を利用するものであり、既に人間側がその運動情報を所有していて、それを解きほぐのが絵で捉えられた瞬間であるといえる。よって運動の情報は絵画と人間の相互作用によって生成されるのだが、絵画はそのきっかけであり情報源はむしろ人間側にあるといえる。これに対して情報源を人間側ではなくむしろ絵画側に求める方法に、絵画上に実在した運動を描き込む方法がある。これは人間の知覚特性ではなく、Marey (1830-1904) の開発した多重露出の写真などにヒントを得た方法といえる(Stelzer, 1966; 松浦, 2001)。図7にはその例として、イタリア未来派画家バッラ(Balla; 1871-1958)による絵画とMareyの写真を示す。上図(a, b)がバッラの絵、下図(c, d)がMareyの写真である。Mareyのcの写真では、運動中の人間が多重露出を用いて一コマの中に複数映し込まれているが、バッラの絵dはそれを絵画に適応していることが分かる。また、Mareyのdの写真では、被写体の運動が高速なため、カメラのシャッターが開いている微小な時間(シャッター速度)にも動きが生じていて、被写体ブレが生じている。その被写体ブレがバッラのbの絵の足の動きでも現されている。このように未来派が絵画に埋め込んだ運動は、運動を撮影した写真の特性を利用したものであったことが分かる。

これらの中間的な存在とも言えるのが、Gombrich (1982) が絵画へ運動の埋め込みに成功した例として挙げたピカソ(Picasso; 1881-1973)の一絵画である(図8)。ピカソの絵はキュビズム絵画に分類されるが、キュビズムはルネサンス以来の単一焦点による遠近法の放棄と形態上の極端な解体・単純化・抽象化を特徴とする絵画である。その最初の特徴は、複数の視点から対象を観察しそれを画面上に再構成することを意味する。つまり、異なった位置からの観察像は、対象に対する画家の観察位置の変化(運動)によって得られるが、鑑賞者はその運動を相対的な対象の運動として感じ取れるのである。また、この複数視点は同じ視点からの時間的



(a)



(b)



(c)



(d)

図7 バッラ (1871-1958) の絵 (a, b) と Marey (1830-1904) の写真 (c, d) の類似性。

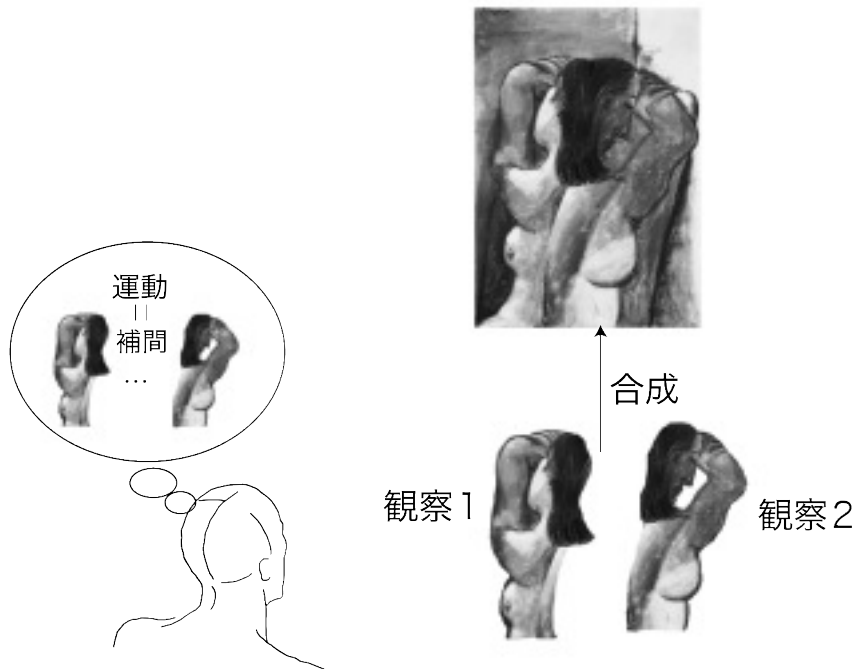


図8 ピカソ (1881-1973) 《寝返りする人》 (1960年) の絵の構成と運動への展開の原理。

に異なる画像の場合もある。図8に示したピカソの絵の例であれば、時間的に先後関係がある2回の観察で得られた画像の合成と考えられ、それを観察者は連続画像として補間して見ることによりそこに運動を感じ取るのである。この例であれば、うつ伏せの体を左右に回転させる運動が想起される。

以上、絵画への運動の埋め込みを人間と絵画という観点によってそれらの技法を分類した。ここでは、外部の正確な記録の有効性を検討することが目的なので、第2章で述べた運動の記録と直結する運動中の瞬間を絵画に埋め込むという最初の方法について考える。これまで絵画へ運動の瞬間を埋め込むことを問題にした研究では、その瞬間が決定的な (punctum) 瞬間、実りのある (fruitful) 瞬間、豊饒 (pregnant) な瞬間 (Gombrich, 1982) と命名されてきたように、その瞬間は画家にとっての生命線といえるほど重要なものである。従来この瞬間は画家の鋭い観察力によって捉えられてきたが、Muybridge (1887) による馬の疾走中の連続写真が発表された以後、その写真は人間による瞬間の把握に影響を与えたといえる。つまり、人間の知覚の解像度を超える対象が光学器械によって可視化されたことによって、人間の知覚そのものが影響されたのである。それは、視覚を含む感覚は外界からの刺激によって受動的にのみ生じるのではなく、脳を含む身体内部の能動的な情報処理過程と共に生じる (川人, 2005) からである。つまり知覚は身体内で能動的に進行する解釈過程と共に生じる歴史的産物とも考えることができるのである (栗山・北澤, 2004)。この2つの方向性を持つ知覚の性質とその神経システムの可塑性は理論研究の範疇を越えて近年リハビリテーションの領域で治療の原理に応用され、脳の障害で動かなくなった腕などを再び動かすことに成功している (宮本, 2006)。

さてMuybridgeによって捉えられた疾走中の馬の例であるが、馬の走法は移動速度によって3つ (ウォーク, トロット, ギャロップ) に大別 (Hoyt and Taylor, 1981) されるが、それらの運動中に四肢の動きや四肢が空中に浮いているか否かなどを正確に肉眼で把握するのは困難である。それは、人間の歩行中の脚の動きを肉眼で捉える競歩における審判の視覚を考えても明らかである。すなわち、人間の移動運動は秒速約2mを境に歩行と走行に大別されるが、その走行に移行するぎりぎりの歩き方で争われる競歩においては、それを歩行と認定するためにいずれか一方の足が必ず地面に接地していなければならないルールがある。それは熟練した複数の審判によって競技中常に監視されるのであるが、審判によって判断が異なる場合がしばしばあるのである。二脚が左右対称で動く人間でさえ肉眼での足の動きの把握が難しいのであるから、四脚でしかもそれが非対称的な動きをする馬であればなおさらそれが困難なことがわかる。

そこでまずMarey (1894) はその非対称で複雑な動きを捉えるために、馬の足にセンサーを取り付けることによって、足の着地パターンを明らかにした。そしてそこで明らかにされた複雑な着地パターンを生み出す四肢の動きがMuybridgeによって映像化されたのである。Muybridgeが採った方法は、馬の動きに合わせてカメラのシャッターを切る瞬間を制御できる特殊な走路を自作し、そこに12台のカメラを並べて疾走している馬を撮影するというものであった。その結果得られた連続写真は、これまで人が肉眼で捉えていた姿や絵画で捉えられてきた形とあまりに違っていたため、当時の人々を大いに驚かせたのである。その反響の大きさは、Muybridgeの写真が発表されたその年10月号のScientific American誌の表紙が、Muybridgeの連続写真を基に作成されていたことから明らかである。

Stelzer (1996) はこのMuybridgeによって光学器械を用いて可視化されたこれまでの絵とは異なる馬の姿は、当時の画家に大きな影響を与え、運動している馬車を描こうとしたある画家

の試みを紹介している。そこでは、いかにしたら硬直した動きではなく動的な動きに見えるかが、写真撮影と描写との試行錯誤の繰り返しによってなされたことを報告している。また、人間や馬の動的な瞬間を捉えた絵を数多く描いたドガ (Degas; 1834-1917) も、この連続写真を研究したことが報告されている(谷川, 1998)。つまりこれらの画家の取り組みは、連続する実在した運動の中から最も外情報が多い瞬間を探す試みが行われたといえる。これは、図1の運動のスティック図の例で示したように、どのスティック図がより運動を伝達するのに適切かを選択する作業とも言えよう。

このように、この実在した瞬間の形は画家に大きな影響を与えたのであるが、むしろそれをあえて否定した画家もいた。その一人が、生涯において馬の動きを徹底的に観察して、様々な馬の絵を多数描いたジェリコーであった。その中でも代表作の一つが《エプソンの競馬》(1821年、ルーブル美術館所蔵)である。その絵に描かれた馬の空中姿勢は、その約50年後に Muybridge が連続写真によって疾走中の滞空姿勢を明らかにした姿勢とあまりにも違っていたため、現実とは異なる間違った足の運びが描かれていると指摘されている (Grunchec, 1979)。しかし、ジェリコーは Muybridge の撮影以前に馬の滞空姿勢を観察によってある程度明らかにし、それをあえて否定して描いたと考えられるのである(朝日新聞社, ジェリコー展図録, 1987)。その根拠が、《エプソンの競馬》の完成前に描かれたこの絵の為の習作の中にある(図9)。その習作は、両脚が伸びた完成作とは異なり後脚が屈曲しているので、Muybridge の連続写真の中

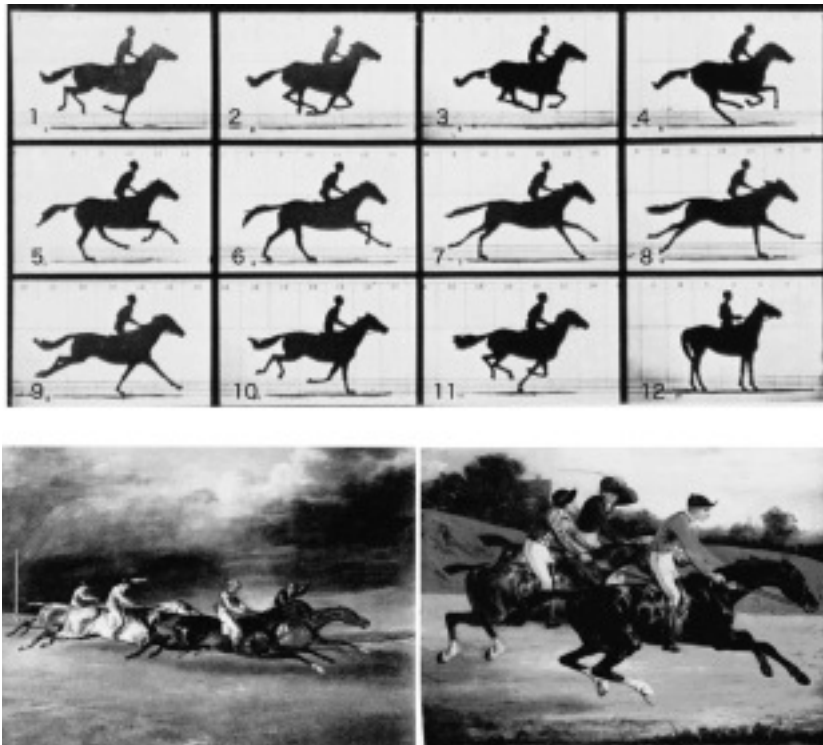


図9 (上図) Muybridge (1887) の連続写真, (左下) ジェリコー《エプソンの競馬》(1821年; ルーブル美術館所蔵) (Muybridge の連続写真に合わせて左右反転), (右下) 《エプソンの競馬》の為の習作 (ルーブル美術館所蔵) (Muybridge の連続写真に合わせて左右反転)。

でも滞空中の姿勢である2, 3に最も近い片足着地の4の姿勢に似ている。つまり滞空中の脚の形がある程度正確に捉えられていたと言える。それにも関わらずそれを採用せず、それとは大きく異なる脚の形が選ばれたのである（この姿勢は当時イギリスで流布していた大衆版画が参考にされたとされている；朝日新聞社, ジェリコー展図録, 1987）。その理由をロダン (Rodin; 1840-1917)が、研究者の外部からの客観的な観察という視点ではなく芸術家として対象の運動を描くという視点から次のように述べている。「ジェリコーは持続する直感に従って現前的諸対象の現在を描こうとした (谷川, 1998)」。メルロ＝ポンティ (1961) もジェリコーの馬が正確な姿勢ではないにも関わらず全力で疾走しているように見える理由を、ロダンの言説を採り上げながら、ジェリコーの馬の構えが私たちが熟知している身体と世界の論理における持続に対するものであるからと述べている。

このジェリコーの取り組み、さらにジェリコー絵画のメルロ＝ポンティによる解釈は、運動科学の分野にも重要な問題を提起する。つまり他者にある瞬間を用いて運動を伝達するには、客観的な形よりもそれをある程度変化させたほうが良い場合があるということである。それは、運動中の自己の運動の感覚と客観的で視覚的な形には齟齬が生じる場合があるからであろう。しかしながら、そこでの動きの伝達の原理とされた持続とは、どのような場合に生じるのか、そしてなぜ生じるのかが十分説明されていないのでその概念が分かりづらい。そこで、自己運動の感覚と視覚的齟齬はいかにして生じるのか、そして芸術家や哲学者が用いた持続とは如何なるものかを、実際の身体運動（走運動；ハードル走）を用いて、主体の発揮する力と外に現れる動きの関係を基に以下に検討する。

図10は、疾走中の地面反力(地面が身体に作用する力；作用反作用の法則でこれと同じ力を

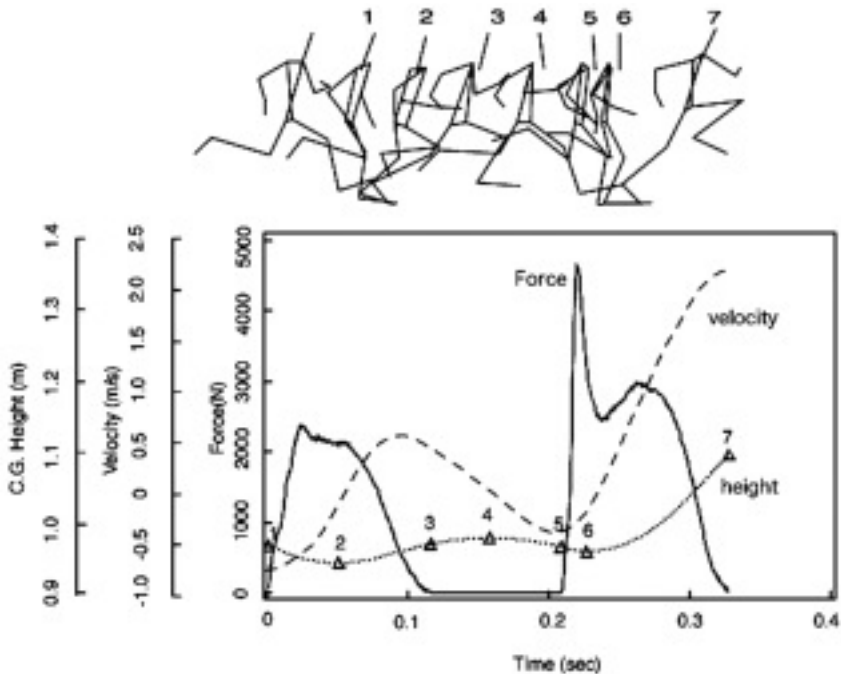


図10 ハードル疾走中の地面反力（踏み切り一步前と踏み切り）の鉛直成分と鉛直方向の重心の高さ・速度の時間的变化。

身体が地面に発揮する力)の鉛直方向成分と鉛直方向の重心の高さ・速度の時間的変化を表したものである。地面反力が2つに分かれているのは、最初がハードル走の踏み切り一歩前で次が踏み切り時のものである。よって、最初の地面反力が普通にランニングする時、次の地面反力が跳び上る時のものといえる。重心位置を表す波線上の1から7の数字は、それぞれ運動中の特徴的な瞬間を表して上スティック図の番号と対応している。この図の踏み切り一歩前を見ると、身体は滞空期を経て落下しながら足部で着地するので、着地時の重心の速度は負の最大値をとり、その直後に力の最大値が現れる事が分かる。さらに着地中期に速度が0、着地後半では正の速度となり、離地時にほぼ最大値となっている。この力と速度の変化の仕方は、踏み切り時では着地直後の地面反力が非常に大きいため、踏み切り一歩前より早くなる。つまり、走行中に重心は上下動を繰り返すのであるが、その時の速度と力の位相はほぼ逆位相となっているのである。また、身体が発揮する力は、前半では着地の運動量を受け止めるため、そして後半は滞空局面へ移行する正の運動量を得るためにと、大きくその役割が異なることが分かる。その後半の主な力は着地で屈曲した膝関節を伸展させながら得られる。このように、走行中の本人の力発揮と運動として現れる位置や速度は時間的に差が生じているのである。

では力と動きには位相差があること、さらにその力も受動的なものと同能的なものがあること、そして速度の最大値は能動的な力発揮後に生じることを基にしてみよう。これまではMuybridgeの連続写真における2、3のような姿勢を採らないジェリコーの馬は間違いであると言われてきたが、ジェリコーが選んだ空中姿勢はMuybridgeの連続写真が捉えた8番の瞬間に近く、習作で捉えた瞬間は4番の形に近いと言える。つまり、習作では滞空姿勢に近いにも関わらずこの形は棄却され、後ろ足がキックして伸びた8番が選ばれたのである。これは動きとしては離地時の身体の色度が最大になる瞬間に近く、さらにその動きは脚を伸展させながら発揮した力が要因となっているのである。すなわちそこに時間的先後関係があり、今現在の姿勢がその直前の力発揮によって生成されているのである。するとメルロ＝ポンティがジェリコーが選んだ姿勢を解説するために用いた語「持続」は、次のように考えることができよう。それは絵画から運動を復元する方法として取り上げたように、人間が運動する対象を観察する際に能動的に用いる運動イメージの性質であり、今現在の運動にその運動の原因となった動きを内包させている状態といえる。つまりMuybridgeの馬の連続写真の例では、8では離地直後の姿勢であり両脚が伸びているにも関わらずそれを生じさせた脚の伸展動作が観察者に想起される。しかしMuybridgeの4では伸展動作が終わり脚を屈曲させていて、その滞空の原因となる脚の伸展動作は観察者へ伝達が困難であると考えられる。

しかしここで若干注意が必要なのは、観察対象が人間ではなく馬であるということである。すなわち、運動イメージは他者の視覚情報だけでなく自己の運動経験が基に生成されるものであるから、運動の観察では他者運動も自己運動も同じ人間であると体の基本構造が同じなので容易であると考えられる。しかし上記のジェリコー絵画で考察したように、対象が人間ではなく馬の場合でも地球上の重力下で運動する動物であり、体がもつ質量の影響を受けながら筋力が発揮し、地面と接地する下肢(あるいは上肢)の動きによって移動運動が生成されるというように、運動の本質的な基本構造は同じである。よって、観察対象が馬であっても人間の運動観察と本質的な違いは無いと考えられる。

以上、持続の概念を手がかりとしてジェリコー絵画から身体運動の動きと力の関係を検討してきたが、自己の運動感覚と視覚的な運動には時間的なずれが生じる可能性があることが指摘

された。そしてその齟齬は逆に芸術家によって運動を伝達するために利用され、それは持続という概念で芸術家や哲学者によって捉えられてきた。しかしその概念は、運動科学の用語と人間の知覚特性を用いて説明できる可能性があると考えられる。この可能性はつまり、運動する対象を観察する際に構造的に埋め込まれている運動イメージの時空的構造の一端を明らかにできる可能性を示唆している。

[参考文献]

- 相場百合香, 小林一敏, 宮畑虎彦. (1977). 脊柱のわん曲・柔軟度と水泳能力の関係, 日本体育学会28回大会号, p 317.
- Gombrich, E. H. (1982). *The image and the eye*. Paldi Press: Oxford. (邦訳: 白石和也 (1991). *イメージと目*, 玉川大学出版部).
- Grunche, P. (1979). Gericault, probleme de methode. *Revue de l'art*, 43, 42-57.
- Hoyt, D. F., Taylor, C. R. (1981). Gait and energetics of locomotion in horses. *Nature*, 292, 239-240.
- 神奈川県立美術館, ルーアン美術館. (1987). *ジェリコー展図録*. 毎日新聞社.
- 加藤哲弘. (1995). 時間. *絵画の探偵術*. 島本流, 岸文和 (編) (pp.176-179). 昭和堂.
- 川人光男. (2005). 脳の双方向的な情報処理, 脳の計算機構, 銅谷賢治, 五味祐章, 阪口豊, 川人光男 (編) (pp. 2-10). 朝倉書房.
- 栗山茂久, 北澤一利. (2005). *近代日本の身体感覚*. 青弓社.
- Li, D., Qin, K., Sun, H. (2005). Curve modeling with constrained B-spline wavelets. *Computer aided geometric design*, 22, 45-56.
- Marey, E.-J. (1894). *Le Movement*. Masson: Paris. (邦訳: 横山正 (1982). *運動*, リプロポート).
- 松浦寿輝. (2001). *表象と倒錯*. 筑摩書房.
- Merleau-Ponty, M. (1953). *Eloge de la philosophie l'oeil et l'esprit*. Editions Gallimard: Paris. (邦訳: 滝浦静雄, 木田元 (1966). *眼と精神*, みすず書房).
- 宮本省三. (2006). *リハビリテーションルネサンス*. 春秋社.
- Muybridge, E. (1957). *Animals in Motion*. New York: Dover Publications (Contains a selection of plates from the eleven-volume work, *Animal first published in 1887*).
- 波通隆, 長尾信一, 高橋裕之, 澤山一博, 大村功, 山田憲政. (1993). 動画像処理を用いた運動解析システムに関する研究, — ゴルフ・スイング解析システムの開発 —. 北海道立工業試験場報告 No.292, 149-172.
- Norretranders, T. (1998). *The user illusion: Cutting consciousness down to size*. Penguin: London. (邦訳: 柴田祐之 (2002). *ユーザーイリュージョン*, 紀伊国屋書店).
- Stelzer, O. (1966). *Kunst und photographie*. R. Piper: Munchen. (邦訳: 福井信雄, 池田香代子 (1974). *写真と芸術*, フィルムアート社).
- 菅原秀二, 小林一敏. (1977). ランニングペースの数学モデル. 日本体育学会 28 回大会号, p 345.
- 谷川渥. (1998). *形象と時間*. 講談社学術文庫.
- Williams, D. (1967). The dynamics of the golf swing. *Quarterly Journal of Mechanics and Applied Mathematics*, 20, 247-264.
- Willemsen, A. T. (1990). Real-time gait assessment utilizing a new way of accelerometry. *Journal of Biomechanics*, 23, 859-863.
- 山田憲政, 宮下憲. (1990). ハードル走の踏み切り時間を短縮する要因. *体育学研究*, 35, 53-61.
- 山田憲政. (1991). 関節トルクに貢献する成分の定量化. *J. J. Sports Science*, 10, 162-172.
- 山田憲政. (1991). ゴルフスイングの運動力学的解析. 平成2年度産学官共同研究報告書「動画像解析を用いた運動診断CAIシステムに関する研究」, 21-27.
- 山田憲政, 阿部匡樹. (2000). 身体運動の絵画への埋め込み. *認知科学*, 7 (4), 330-340.
- 山田憲政. (2001). フェルメールが約350年前に捉えた女性の身振り. *西洋美術研究*, 5, 124-135.
- 山田憲政. (2005). 絵画における一対多の視線の動きの表現. *北海道大学教育学研究科紀要*, 97, 41-56.