

映画やアニメーションに動きを見る仕組み： 仮現運動説をめぐる心理学的検討

吉村, 浩一 / SATO, Sohei / YOSHIMURA, Hirokazu / 佐藤,
壮平

(出版者 / Publisher)

法政大学文学部

(雑誌名 / Journal or Publication Title)

法政大学文学部紀要 / Bulletin of the Faculty of Letters, Hosei University

(巻 / Volume)

69

(開始ページ / Start Page)

87

(終了ページ / End Page)

105

(発行年 / Year)

2014-10

(URL)

<https://doi.org/10.15002/00010550>

映画やアニメーションに動きを見る仕組み

— 仮現運動説をめぐる心理学的検討 —

吉村 浩一・佐藤 壮平

要 旨

映画やアニメーションに滑らかな動きを知覚する理由を説明するのにいくつか異なる説がある。知覚心理学的観点から、われわれはこの問題に対し、仮現運動説に焦点を当てて検討する。2013年8月25日に著者らが計画して法政大学で研究会を開催したことが、本研究の出発点となった。研究会にはパネリストとして、知覚心理学者以外に、アニメーション教育に携わるアニメ映画制作者や画像工学者も招いた。われわれが主張した重要な論点は、Braddick (1974) による、仮現運動を短いレンジと長いレンジに分けるべきだとする主張である。彼の考えを受けて、映像研究者の Anderson & Anderson (1993) は、映画における動きの知覚は、長いレンジではなく短いレンジの仮現運動によって生じると主張した。しかしながらこの二分法は、知覚心理学分野ではその後批判され、短いレンジの仮現運動の代わりに一次運動という新しい概念が提案されている。にもかかわらずわれわれは、一次運動と短いレンジの仮現運動がほぼ共通する処理であるとの証拠を指摘し、映画やアニメーションにおける動きの知覚は短いレンジの仮現運動によると結論づけた。最終節では、研究会において発言したパネリストや参加者による多くの示唆に富むコメントを引用した。

キーワード：仮現運動、ランダムドット・キネマトグラム、短いレンジと長いレンジの仮現運動、フィールドくり返し、一次運動と二次運動

実写映画もアニメーション映画も、実際は静止している画像なのに高速に切り換えられることにより滑らかな動きが知覚される。提示される刺激が運動ではなく静止画の連続であるという意味で、そこに見える運動は“仮現運動”と言える。しかし、ここでの“仮現運動”は、ゲシュタルト心理学の起点となった Wertheimer (1912) 以来取り組まれてきた現象と同じなのか。また、“高速”とは、毎秒どの程度の枚数なのか。さらには、動いて見える移動角度には制限があるのか。これらは、未だ解答が与えられていない問いである。というより、いまだに適切な形で問いが立てられていないと言ふべきかもしれない。

運動知覚を研究している心理学者たちと、芸術

系大学においてアニメーションの動きを教授する立場にあるアニメーション制作者たちにとって、動機こそ違っても、映画やアニメーションの動きは、解明すべき重要な問題である。そこで、日本映像学会と日本アニメーション学会の関係者が関わり、2013年中に3度、両立場の人たちが集まる研究会が設けられた。うち2回(8月10日と12月14日)は、日本映像学会心理部会の横田正夫氏が発起人となり、日本大学において行われた。それに挟まれる形の8月25日に、日本アニメーション学会心理研究部会と法政大学文学部心理学科の共催で、筆者らが世話人となり、法政大学で研究会を開いた。本稿では、8月25日に行われたこの研究会の議論を受け、映画やアニメーション

ンにおける運動知覚と仮現運動の関係を検討する。この研究会は、慶應義塾大学の鷺見成正名誉教授の提案による「パネルディスカッション『アニメーションと仮現運動～この似て非なるもの？～』」とのタイトルのもと行われた。幸い、この研究会での議論は、参加者の1人で日本アニメーション学会研究教育委員長の布山タルト氏により記録されているので、その資料をここでのテキストに活用したい⁽¹⁾。パネリストには、知覚心理学者やアニメーション関係者に加え、画像工学的観点からテレビなどの動きの原理解明に取り組んでいる吹抜敬彦氏の参加も仰いだ。

本稿の目標は、一連の研究会を経て、映画やテレビ、アニメーションの動きに関し、知覚心理学サイドから現時点で提供できる見解を分かりやすく示すことである。知覚心理学からの視点をとるため、扱うトピックは「仮現運動説」に集中することになるが、その観点に立ちつつこれまでの研究の流れを的確かつ分かりやすく示していきたい。そしてそれが、人工工作物としてのアニメーションの動き表現の基本原則として活用されることを目指したい。

1. “残像” についての理解のばらつき

「映画は残像によって動いて見える」と考える人たちがいる。その人たちに対して、心理学的には「誤り」と言わなければならない。“残像”とは、心理学では「刺激を与えて感覚が生じてのち、刺激を取り去った後もなおその興奮が残ること（心理学事典、1957）である。視覚に限れば、網膜に映し出された対象物の像が消えたあとも、刺激されていた網膜位置に神経興奮として残り続けることである。したがって、映画のフレームが高速に切り替わり次の画像が提示されてからのちも、以前の映像が元の位置に残り続けることを言う。しかしながら、たとえそうした像が残っても、その現れ方は図1に示すように断続的で、決して動いて見えることをサポートすることにならない。むしろ、“残像”として同じ位置に残らないから

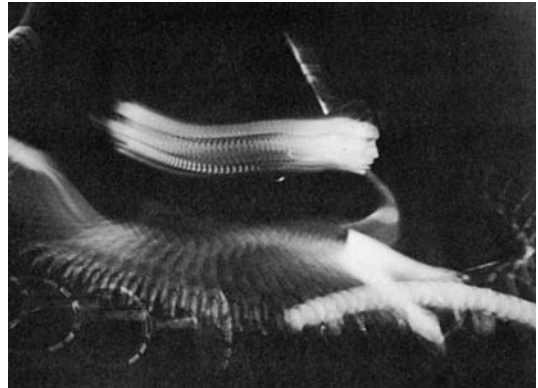


図1 網膜に残像が残った場合の映像の現れ方をつかむための画像 (Kepes, 1965より引用)

こそ、断続的な軌跡ではなく、対象物の滑らかな動きが知覚されるのである。

「断続的な軌跡」と「残像」に関して、次のようなデモンストレーションができる。暗闇の中で線香やたばこの火を素早く動かすと、尾を引くように滑らかな線状の“残像”が見える。ただしそれは、実際に生で見たときのことで、ビデオや映画撮影したものをモニターやスクリーンで見るときには、連続線ではなく「断続的な軌跡」が見える。実例として、レーザーポインタをスクリーンに向け素早く動かしビデオ撮影した画像を図2に示す。これは残像が起こることを想定して3フレーム分の画像を残して表示したものである。似たような体験は、テレビのスポーツ番組でもしばしば起こる。投手の速球を横から撮影した野球中継の映像では、ボールがかなりの角速度で画面を左から右に横切るため、画面を見ているわれわれには軌道上に複数のボールが見えてしまう。卓球中継の場合にも、横からの撮影では軌道上に複数の玉が見えることがある⁽²⁾。こうした事実は、急速に動く対象物を“残像”が都合よくつなげて滑らかな動きを見せてくれるとする考えが楽天的過ぎることを意味する。複数コマが生み出す残像は、連続線ではなく断続線なのである。したがって、“残像”の心理学的定義に従えば、「映画やテレビにおいて滑らかな動きを知覚するのは残像による」とするのは誤りである。



図2 暗くした部屋でスクリーン上にレーザーポインタの光を素早く動かした状態で撮影したものを3フレーム分加算した映像

おそらく、映画やアニメーションの世界で、「映画は残像で動いて見える」というときの“残像”は、心理学で言う“仮現運動”を取り込んだ説明なのであろう。次節ではまず、“仮現運動”が心理学でどのように理解されてきたかを紹介し、映画での滑らかな動きは従来の意味での仮現運動によっては説明できないことを明らかにしていきたい。

2. “仮現運動”についての従来の考え方

「映画は残像により動いて見える」と考えるこ

と「映画は仮現運動により動いて見える」と考えることは、“残像”と“仮現運動”が協同して機能すると捉えれば、ほぼ同じ考え方と言ってよい。複数の位置にある断続線あるいは断続点（残像）が、仮現運動の働きで滑らかにつながると考えるのである。ただし、仮現運動が機能しているとすれば、連続運動として見えるには、一連の刺激が以下のように進行しなければならない。具体的に言うと、“仮現運動”には、ゲシュタルト心理学が明らかにした“最適時相”という考え方があり、画面の切り替わり時間と対象物同士の距離（角距離）にはある関係が満たされていなければならない。それは、発見者の名にちなんで“ホルテの法則”と呼ばれるものである。図3を見てほしい。第1刺激として画面左寄り位置に1つの●が提示され、その提示時間を T msec（msec は $1/1000$ 秒のこと）とする。続く第2画面は、左寄りの●が消えてから右寄りの●が提示されるまでの何も提示されていない時間で、同じく T msec とする。そして第3画面では、第2の●が画面の右寄りに同じく T msec 提示される。これをくり返し提示すると、2点間の距離が適切であれば、●が左位置から右位置へ実際運動と区別できないほど滑らかに動くように知覚される（最適時

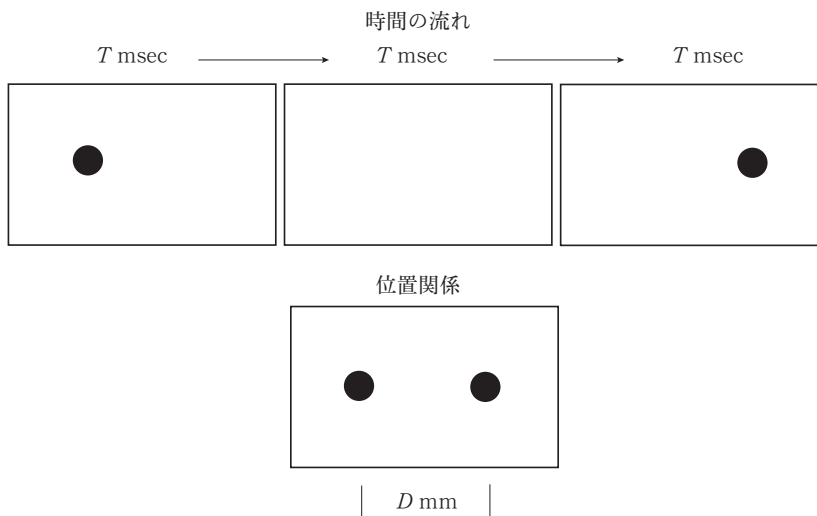


図3 従来の仮現運動に対して提案されているホルテの法則にかかわる提示時間（msec）と刺激間距離（ D mm）の関係を示す図（もう1つの要因である I は●と背景とのコントラスト比である）

相となる)。“コルテの法則”によれば、最適時相となるには、関連する3つの要素間に次の関係が成り立っていなければならない。関連する要素とは、 T (2つの刺激を提示する間の時間)、 D (第1刺激と第2刺激との空間距離)、それに刺激対象である●と背景とのコントラスト (I) の3つである。例えば I が一定なら T が大きくなると D を長くしなければ最適時相は保てない。この関係を式で表せば、 $\phi = f(D/(I \cdot T))$ となる (ϕ は純粹運動が見える最適時相)。これは百年も前に提案された法則で、その後この法則は、他の要因からの影響も受けるので定量的には厳密でなく、定性的法則と理解するのが適切(椎名, 1969ほか)と見なされている。この法則に従えば、 T が短すぎると左右の●が同時に見える“同時時相”, 逆に長すぎるとまず左の●が見えそれが消えた後に右の●が見える“継時時相”となる。Wertheimer (1912) の研究では2つの刺激の切り替え時間 (ISI), すなわち T に関して、おおよそ $T = 60$ msec 付近で最適時相, $T = 30$ msec 以下では同時時相, $T = 200$ msec 以上では継時時相との見解が示されており、大山・鷺見 (2014) による最近の教科書でも、この値は踏襲されている。

さて、仮現運動に関するこうした知見を踏まえて映画やテレビやアニメーションの動きを考えると、いくつかの不都合が生じる。1つは、時間に関することで、静止画が毎秒24コマのペースで切り替わる一般的な映画では、毎秒24回のシャッター遮蔽(実際には1コマの画像を2回遮蔽するので毎秒48回)のため、1回の遮蔽時間は画像提示時間を含めてもわずか20 msec ($\approx 48/1000$) で、上で“同時時相”になるとした30 msec にすら達しない。このような時程では、“最適時相”など望むべくもない。2つ目も時間に関する難点である。仮現運動が生じるには ISI として60 msec 程度が適当とされているが、現在一般的に家庭で使われている液晶ディスプレイ・テレビでは、ISI はほぼ0 msec である。液晶ディスプレイはホールド型表示と呼ばれる画像提示方式で、

画像と次の画像のあいだに間隙がない。にもかかわらず、われわれは液晶テレビで自然な動きを見ている。この点も、従来の仮現運動の枠組みに合わない。3つ目は、 D に関する疑念である。フレーム内にさまざまな映像を映し出す映画のコマは、隣り合ったコマ同士のあいだで、ある部分は大きく別の部分は小さく移動し、さまざまな D が入り交じる。コルテの法則 $\phi = f(D/(I \cdot T))$ に従えば、 I と T が一定なら D も一定の値をとらなければ、滑らかに動かないところが生じるはずである。大きく異なる D に対して I と T が一定のもとでこの等式を成り立たせることは不可能である。これらの点から、映画やアニメーションにおける動きの知覚を、コルテの法則に従う仮現運動により説明するのは不適切である。ほかにも、映画やアニメーションの動きを仮現運動で説明することはできないとする根拠がある。節を改め、それについて検討したい。

3. 映画の仕組みと“仮現運動説”の問題点

前節の論拠に加え、映画やアニメーションでの運動知覚を仮現運動により説明することに決定的な難点がもう1つある。それを提示する前に、映画のコマ表示のメカニズムを説明しておきたい。

映画は、静止画像を毎秒24コマの速さで次々に提示することにより動きを表現している。映写機のフィルム送りはモーターの回転で行っているが、フィルムは等速で動くわけではなく、次のコマがフレームの中央に移動するまでは急速に動き、フレーム中央位置で短い時間だけが静止する。この間欠運動を毎秒24回、くり返しているのである。急速に動くと言っても、コマ移動中の映像をそのままスクリーンに映せば、スクリーン上で像の流れが見えてしまう。そこで、次のコマへ移動させるあいだ、シャッターで遮へいすることで像の流れが見えないようにしている。こうしたコマの間欠運動は、等速で回転し続けるモーターのシャフトにマルテーズ・クロース機構と呼ばれる特殊な

仕掛けを噛ませることで実現される。Monaco (1981) から引用した図4左図を見てもらいたい。モーターのシャフトが等速回転しているあいだ、1回転分の1/4回転のみ回転部(図では黒い円盤部)に取りつけられたピンを噛んで回転がスプロケット・ホイール側シャフトに伝わるが、残り3/4回転分はジョルダに沿って空回りするようになっている。そのため、モーター側のシャフトが回転していてもフィルムを動かす側のシャフトへは回転が伝わらず、静止している。1/4回転の急速回転中、フィルムを動かす側のシャフトにつけられた歯車がパーフォレーションと呼ばれるフィルム両脇に並んだ四角い穴を噛んでフィルムを1フレーム分、素早く掻き落とす。このような掻き落とし運動は、いま述べたマルテズ・クロス機構で実現される。「マルテズ・クロス」とは「マルタの十字架」という意味で、この機構の重要部分をなすピンを噛むホイールの形が、十字軍時代にマルタ騎士団の象徴として使われた紋章に似ていることからそう名づけられたとのことである。

余談はさておき、話を先へ進めよう。観客が映し出された映像にスムーズな動きを見るだけなら、毎秒24コマの画像切り替えて足りるのだが、毎

秒24回しかシャッターによる遮断が行われないと、画面の明暗変化(点滅)が目立ち見苦しい映像になってしまう。そこで、1つのコマを提示しているあいだにシャッターをもう1回切るという2枚羽根シャッター方式が採用された(図4右図参照)。それにより点滅回数は毎秒48回となり、その点滅回数なら暗い映画館だと人間の目の CFF 値^③を超えるため、観客はスクリーン上の映像に点滅感を抱かない。半ば試行錯誤的に、このような形で誰の眼にも動きが滑らかに知覚され、かつ点滅感も生じない方式ができた。

ところが、現実にも用いられてきたこの方式では、「映画は仮現運動によって動いて見える」とする考え方に決定的不都合が生じる。シャッターによる遮断を挟み、コマA→コマB→コマC…と切り替わるのではなく、A→A→B→B→C→C…と、同じコマを2回ずつくり返しつつ変化していくからである。Wertheimer 以来の仮現運動では、同じ映像が2度提示されながら次々に切り替わっていく事態は想定されていない。このようなシークエンスに対し、“最適時相”という概念が成り立つのだろうか。

この問題に正面から取り組む研究が、かなり以前にNHK総合技術研究所で行われていた。宮原

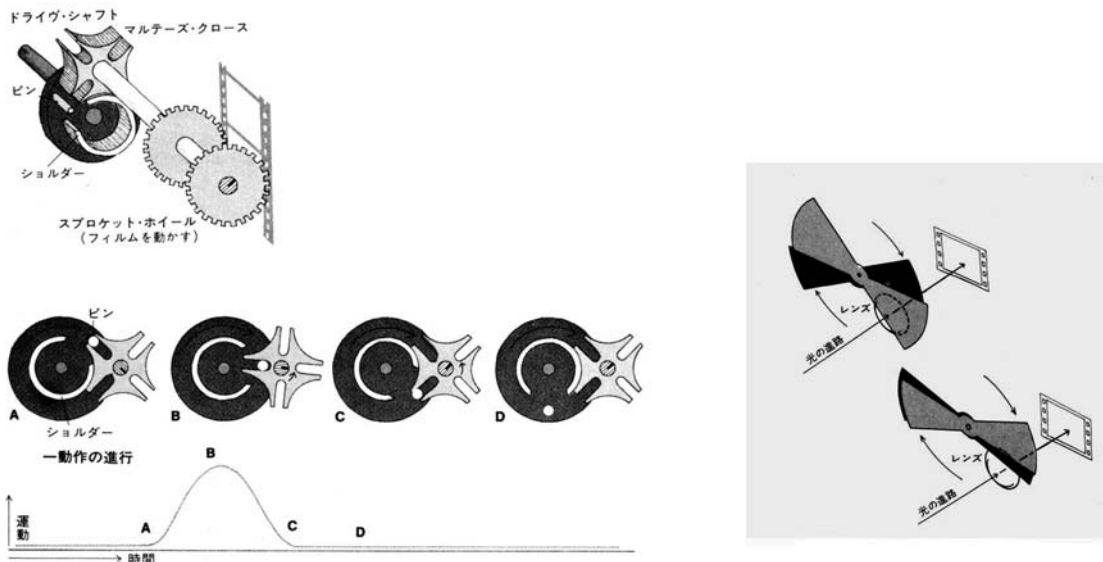


図4 映画での間欠運動とシャッターを切る仕組みの解説図 (Monaco, 1981 より引用)

(1973)の「フィールドくり返しに起因する滑らかなさの劣化」という副題をもつ論文である。ここで言う“フィールドくり返し”こそ、上に記したシャッターを2度切ることに伴う同じ映像のくり返しである。宮原(1973)は、2回のくり返しのみならず、3回、4回のくり返し映像も検討した⁽⁴⁾。その結果、滑らかな動きに見えなくなる検知限は、フィールドくり返しがない場合に比べ、2回以上のくり返し映像においては激減したのである。宮原によれば、くり返しのない場合の検知限が24.0度/秒の動きだったのに対し、2回くり返し映像では0.9度/秒、3回くり返し映像では0.56度/秒、4回くり返し映像では0.37度/秒と、くり返し回数にかかわらず、くり返しがあると画面上での対象物の動きは著しく劣化したのである。宮原は、これらの値からさらに、それぞれのくり返し映像における「フィールド間移動距離」を算出した。それは、隣り合ったフィールド(コマと考えてよい)同士で視角(度ではなく分単位)に換算して視対象がどれだけ以上の角度を移動すれば動きの劣化が検知されるかを示す移動距離のことである。それによれば、毎秒60フィールドで提示くり返しのない映像なら、隣接画像間での位置のズレが視角24分までとなる。それでもなお、これを1秒間の移動量に換算すれば、その60倍(毎秒60フィールド提示されるため)の24度となり、かなり速い動きに対しても滑らかな動きを知覚できる。それに対し、2回繰り返し映像(毎秒30フィールド)では1.8分/フィールド、3回くり返し映像(毎秒20フィールド)では1.65分/フィールド、4回くり返し映像(毎秒15フィールド)では1.5分/フィールドと、はるかに遅い移動量しか許容しなくなる。3種類のくり返し映像での隣接画像間の移動距離を視角換算すると、いずれも視角1分余りで、その値は視力1.0の人が静止刺激に対しても限界解像度にほぼ匹敵する。すなわち、フィールドくり返しのある映像では、隣接フィールド間に通常視力の人が位置ズレを感知できる程度の位置変化に、もはや滑らかな動きを知覚しないのである。

こうした制約があるにもかかわらず、われわれは、 $A \rightarrow A \rightarrow B \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow C \dots$ と同じ画像を2度くり返しつつ変化する映画に対し、動きを知覚している。その理由は、隣り合ったコマ同士の映像の変化が非常に小さいためと考えざるを得ない。試しに映画フィルムを手を持って光にかざしてみると、図3に示したWertheimer以来の仮現運動とは違い、隣接フレーム同士がほとんど同じ画像に見えるほどわずかしか異ならないことがわかる。その範囲内においてのみ、われわれは滑らかな動きを知覚するのである。ホルテの法則が適用可能な従来の仮現運動とはまったく異なる様相と言える。

4. 2種類の仮現運動

Wertheimerの扱った仮現運動とは異なり、映画の動きはコマごとのほんのわずかな変化を連ねていくことで実現される。この考えを強力に支持する主張が、1970年代に知覚心理学領域で提案された。仮現運動を“短いレンジ(short-range)”と“長いレンジ(long-range)”に分けるべきとしたBraddick(1974)の主張である。彼が研究に用いたのは、2枚のランダムドット画像からなる“ランダムドット・キネマトグラム(random-dot kinematogram, RDK)”というものであった。そもそも心理学でのランダムドット・パターンの利用は、Julesz(1960)が立体視研究のために開発したランダムドット・ステレオグラムに始まる。Braddick(1974)は、それを運動視研究に応用したのである。“ランダムドット・キネマトグラム”については、のちにPalmer(1999)が教科書の中で行っている説明が分かりよいので、彼の図を用いてBraddickの研究を説明したい(図5参照)。1枚のランダムドット・パターンを見ただけなら、ただ点が不規則に並んでいるだけで、形はまったく知覚されない。しかし、1枚目のランダムドット・パターンの一部、例えば真ん中の長方形領域を少し上にずらせたものを2枚目のランダムドット・パターンにはめ込み、それら

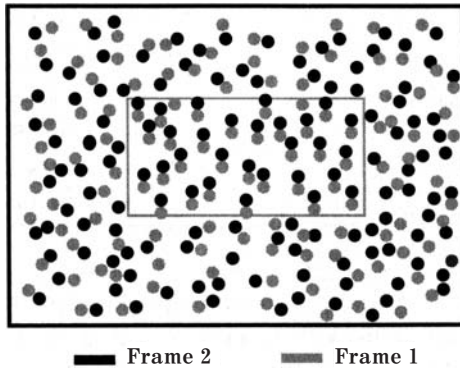


図5 Braddick が考案したランダムドット・キネマトグラム⁽⁵⁾の解説図 (Palmer, 1999 より引用)
中央付近の長方形を表わす線は実際には表示されない。

2枚のパターンを素早く切り替え提示すると、両パターンに共通する長方形部分の位置変化から、「長方形が上へ動いた」と、かなり明確に知覚できる。図5では、解説のため、1枚目のランダムドット・パターンを灰色で、2枚目のランダムドット・パターンを黒色で表示しているが、実際には同じ色である。2枚のパターンのあいだには、ずらして提示する長方形部分を除けば関連性はまったくない。

図5に示した2枚の刺激パターンが継時的に提示される状況で、観察者に求められた課題は、長方形の長辺が水平・垂直のどちらに動いて見えるかを確信度とともに報告することであった⁽⁵⁾。その結果、一定以上の確信度をもって正しく知覚できるのは、長方形部分のパターンのズレが視角に換算して1/4度(分に直すと15分)以下の場合で、かつ2画面パターンの切り替えが80ミリ秒以下という高速のときに限られることが判明した。それ以上の大きさや切り替え時間が長ければ、

まとまった方向への動きは知覚されず、点がただ無秩序に変化しているようにしか見えない。長方形の動きが知覚されるのは2枚の画像のズレが小さい場合に限られることから、Braddickは、ここで見いだされた運動知覚を支えるメカニズムはWertheimer以来の古典的仮現運動とは異なり、小さく変化する場合に限定される低次の知覚過程だと考えた。“低次”とは、理解や推論という高次過程が介入する余地のない、自動的・固定的・生理的に進行する処理のことである。

Palmer (1999) の解説には、これら2種類の仮現運動の対照性が5項目あげられている(表1参照)。以下に、それらを順に解説していく。

- (a) 最大の特徴は、分類のラベルともなっている性質で、「小さなズレ」として分類されるのは、2枚の刺激画面での対応部位のズレが1/4度以下と極めて小さい場合に限られるのに対し、古典的仮現運動(「長いレンジの動き」)では、それより明らかに長い距離変化が扱われてきた。
- (b) 「短いレンジの動き」では、2枚の刺激画面の切り替わり時間(すなわちISI)が80ミリ秒以下と「速い交替」でなければならないのに対し、「長いレンジの動き」では、ISIがそれより長くても運動は知覚される。
- (c) 「短いレンジの動き」の場合には、2枚の刺激画面が同じ側の眼の網膜に対して与えられなければ、動きは知覚されない。例えば、2画面とも左眼に提示するとか、2画面とも両眼に提示するなどである。第1画面を左眼だけに、第2画面を右眼だけに提示したのでは、「短いレンジ」の場合、動きは知覚されない。この事実は、「短いレンジの動き」が

表1 2種類の仮現運動の対照的性質 (Palmer, 1999 を改変)

	短いレンジの動き	長いレンジの動き
(a)	小さなズレ	大きなズレ
(b)	速い交替	遅い交替
(c)	単眼(同じ眼)でのみ生じる	両眼(異なる眼間)でも生じる
(d)	マスクにより妨害されやすい	マスクがあっても妨害されにくい
(e)	明度差がなければ生じない	色相差だけで生じる

両眼からの情報を統合する中枢的处理ではなく、網膜という末梢で処理される低次機能であることを意味する⁽⁶⁾。「短いレンジの動き」は低次処理、「長いレンジの動き」は高次処理ということになる。

- (d) 「短いレンジ」の場合は、2枚の画面のあいだ、すなわち ISI に明るい均一な（模様のない）画面が挿入されると、動きの知覚は妨害される。「長いレンジの動き」では、そのような妨害効果は起こらない。
- (e) 緑色の背景上に赤色のランダムドットを提示したとしよう。その場合、たとえ赤と緑の明度が同じでも、われわれは緑の地に赤色のランダムドットがあることを知覚できる。ところが、そうした明度差のない図（赤）と地（緑）の刺激を用いて仮現運動が生じるかどうか調べたところ、「短いレンジの動き」は、明度差がないと生じないことがわかった。それに対し、「長いレンジ」では、色相さえ違えば明度が同じであっても動きは知覚される（Ramachandran & Gregory, 1979）。色相差は高次処理であるため、「短いレンジ」では区別できないためと考えられた。

これら5項目の性質から、「短いレンジの動き」が中枢への伝達や解釈を要さない迅速な低次処理であるのに対し、「長いレンジの動き」は時間のかかる認知的処理が関与すると総括できる。

5. 短いレンジの仮現運動に基づく映画の動きの説明

Braddick (1974) による「仮現運動は2つの異なる過程に分かれる」との提案を踏まえ、映画やテレビなどでの動きの知覚を「短いレンジの動き」によるとする見解が、映画研究者の Anderson らにより主張された。最初の発表は、1978年秋の Anderson と Fisher による University Film Association の機関誌上であった。その論文は「視覚の残存という名の神話」というタイトルで、「神話」として名指しされたのは「視覚の

残存 (persistence of vision)」説であった。そのようなもので映画の動きを説明しようとするのは絵空事だとの批判を込めたタイトルであった。University Film Association とは、1947年に University Film Producers Association の名で発足した組織で、その後、University Film Association を経て、現在は University Film and Video Association となっている。最初の発表から15年経って Anderson & Anderson (1993) が再び同じ問題を論文にしたのは、最初の論文で「視覚の残存」説を徹底的に論破したにもかかわらず、いまだに「視覚の残存」という考え方がまかり通っているためであった。同じ機関誌上に発表した新たな Anderson & Anderson (1993) の論文タイトルは、「視覚の残存という名の神話、再び現る」で、誤った考え方の息の根を止めるための論文であった。その際に彼らが用いた論拠が、仮現運動は「短いレンジ」と「長いレンジ」に分けられるとの Braddick (1974) の提案であった。本人たちが嘆くように、1978年の最初の論文は映画研究に携わる人たちのあいだにさえ周知されなかった。そのため、同じ主張をくり返したのである。しかし、二度目の論文が公にされてもなお、少なくとも運動知覚を研究する心理学者のあいだでこの論文はほとんど知られていない。そこで本稿では、まず Anderson らの主張を詳しく紹介し、「視覚の残存」説が誤りで「短いレンジの仮現運動」に基づく説明が適切であるとの彼らの主張を跡づけていきたい。

「視覚の残存」説とは、本稿第1節で取り上げた残像による説明や第2節の従来の仮現運動による説明とほぼ同じものと見なしてよい。Anderson & Anderson (1993) は、「視覚の残存」について、次のように解説する。

速い速度で少しずれた静止画像が次々に継続提示されると、2枚の画像間のわずかな空白時間に、網膜上には今まで提示されていた画像が残り、その残存が次の画像と滑らかに混ざり合う。(p. 4)

Anderson & Anderson (1993) は、この説明は誤っており、たとえ想定されているように像が混ざり合ったとしても、それはデュシャンの『階段を下りる裸体 No. 2』のように、重なり合った多重露光にしかならないと説明した。こうした指摘に続き、彼らは 19 世紀前半から始まる「映画の動きを説明する初期の試み」も、「視覚の残存」の域を出なかったと評した。20 世紀に入ると、ゲシュタルト心理学を創始した Wertheimer (1912) の仮現運動に関する有名な研究によって、仮現運動が中枢で処理されるとする考え方が定着し、その見解が当時の映画研究にも影響を与えたが、中枢での処理がどのようなものなのかの理解は進まなかった。また、Frederick Talbot の「眼という優れた器官にも欠陥があり、それが“視覚の残存”を生じさせる」という末梢説寄りの欠陥説や、逆に中枢説の例として、1915 年の Hugo Munsterberg の「2 つの刺激は異なる時刻に異なる位置に知覚されるが観察者はそのギャップを中枢において充填する、すなわち動きは見られるものではなく心の能動的働きによって付け加わるものである」との中枢説も紹介した。

Anderson らのレビューは 20 世紀後半へと進み、前節で解説した Braddick の二分法が登場する。ところで、分けられた 2 つを、Anderson & Anderson (1993) は「short-range apparent motion」と「long-range apparent motion」と名づけたが、より一般的には「short-range process」と「long-range process」と呼ばれている。ただ、このような名称の違いにこだわる必要はなく、「短い動き」と「長い動き」を分ける点を重視し、本稿でも、後にくる名詞を文脈に応じて使い分けていきたい。

Anderson & Anderson (1993) も、前節の Palmer (1999) が指摘した「短いレンジ」と「長いレンジ」のあいだの 5 つの対照性を指摘するが、さらに別の 3 点を加えられていた。

- (f) 「短いレンジの仮現運動」では運動残効が生じる（この性質は実際運動と共通する）が、「長いレンジの仮現運動」では生じない。

- (g) Petersik (1989) は、神経生理レベルの研究で、「短いレンジの仮現運動」では実際運動のときと同様に低次の運動検出器が活性化するが、「長いレンジの仮現運動」では弱くしか反応しない。

- (h) 脳細胞を、運動などを処理する大細胞系と色や形などを処理する小細胞系に大別した Livingstone & Hubel (1988) の研究によると、「短いレンジの仮現運動」では実際運動の場合と同様に大細胞系に直接的反応が生じる。それに対し、「長いレンジの仮現運動」ではそうした反応は生じない。

これら 3 項目は、いずれも「短いレンジの仮現運動」は実際運動の処理と共通する神経過程であるのに対し、「長いレンジの仮現運動」はそうでないことを示している。

神経生理レベルの研究を含む以上の知見を根拠に、Anderson & Anderson (1993) も、「短いレンジ」と「長いレンジ」の仮現運動は異なる処理を受け、「短いレンジ」は実際運動と共通する処理過程であるとした。そして、われわれが映画やテレビ画像に運動を知覚するのは「短いレンジの仮現運動」によるのであって、Wertheimer (1912) 以来の ϕ 運動⁷⁾ と同次元で捉えることは不適切、ましてや「視覚の残存」による説明などもってのほかとした。さらに言えば、視覚神経系にとって、映画での動きは実際運動と同様、低次の処理過程であり、それは意味づけや判断を介さず自動的・固定的に処理されるものとした。

6. 運動レンジの違いによる二分法への批判とそれに代わる提案

映画を見ているときに実際運動と変わらない滑らかな動きを知覚できるのは「短いレンジの仮現運動」によるとする Anderson & Anderson (1993) の考えは、根拠も豊富で理に適った主張に思える。しかし、Braddick (1974) 以来のこの見解は、1980 年代以降、知覚心理学の領域では批判を受けてきた。もし批判が正しいなら、

「映画の動きは短いレンジの仮現運動により知覚される」とする考えは、根拠を失うことになりかねない。

批判を紹介する前に、二分法の集大成とも言える研究を紹介しておきたい。Petersik (1989) は、その名も「仮現運動における二過程分離 (The

two-process distinction in apparent motion)」と題する論文で、仮現運動を短いレンジと長いレンジの二過程に分けることを支持する研究をレビューし、それらが提案してきたさまざまな対照性を一覧表示している。筆者による日本語訳とともに、それらを表2に示した。

表2 Petersik (1989) により一覧表示された短いレンジと長いレンジの仮現運動の対照的性質

記号*	研究	短いレンジ	長いレンジ	参照**
Pet. 1	Anstis, 1980; Braddick, 1980; Pantle & Petersik, 1980	空間統合範囲が短い (20 分以下)	空間統合範囲が広い (数度以上に及ぶ)	(a)
Pet. 2	Braddick, 1980; Petersik & Pantle, 1979	短い ISI を好む (<40-60 ミリ秒)	より長い ISI を好む	(b)
Pet. 3	Baker & Braddick, 1985; Petersik & Pantle, 1979	短い刺激持続時間を好む	長い刺激持続時間を好む	
Pet. 4	Petersik & Grassmuck, 1981	低い基本空間周波数を好む	高い基本空間周波数を好む	
Pet. 5	Braddick, 1980; Pantle & Picciano, 1976	刺激眼が両眼にまたがる両眼性では生じない	単眼性でも両眼性でも生じる	(c)
Pet. 6	Braddick, 1980; Pantle & Picciano, 1976	コントラストが反転する刺激間では生じない	コントラスト反転には無関係に生じる	
Pet. 7	Braddick, 1980; Petersik & Pantle, 1979	ISI 期間はぼんやりまたは暗くしなければならない	ISI 期間の明るさには無関係に生じる	(d)
Pet. 8	Anstis, 1980; Braddick, 1980	等輝度刺激は適切でない (刺激は輝度差をもって定義されていなければならない)	色相差があれば生じる	(e)
Pet. 9	Petersik & Pantle, 1979	対応要素同士が同一または類似していなければならない	形態的類似性には無関係に生じる	
Pet. 10	Anstis, 1980	神経の運動検出器を刺激し、運動残効を生む	おそらく運動検出器は刺激せず、運動残効はほとんど生じない	(f)(g)
Pet. 11	Anstis, 1970, 1980; Lappin & Bell, 1976	点対点の相互相関タイプの処理に基づく	微細な (高次の?) 対応検出に基づく	
Pet. 12	Anstis, 1980	運動検出がエッジ検出に先立つ	エッジ検出が運動検出に先立つ	
Pet. 13	Dick, Ullman, & Sagi, 1987	前注意的 (並列処理)	注意的 (直列処理)	
Pet. 14	Larsen, Farrell & Bundesen, 1983	網膜上での分離に反応する	知覚的に分離されたものに反応する	
Pet. 15	Cavanagh, Boeglin, & Favreau, 1985; Chang & Julesz, 1983	おそらく2つの処理水準をもつ (運動検出と形態分凝)	処理の水準数は不明	
Pet. 16	Cangh & Julesz, 1984, 1985; Julesz, 1971	全体的・協同的処理過程	特徴の前処理に基づく	
Pet. 17	Petersik, Hicks, Pantle, 1978	出力は長いレンジの処理の入力として機能しうる	適用なし	
Pet. 18	Breitmeyer & Rittker, 1986a, 1986b	少なくとも部分的には視覚的持続 (visual persistence) に基づく	視覚的持続があれば抑制される	

* Pet は、Petersik (1989) での記載に基づくことを表す記号として用いた。

** 5 節の(h)に相当するものはない。

既に本研究では、4節と5節で、短いレンジと長いレンジの仮現運動の対照性として、(a)から(h)の8項目をリストアップした。Petersik (1989)の一覧表には、これらのうち(h)を除く7つまで含まれている。照合を容易にするため、表2では「参照」欄にその記号を書き加えた。Petersik (1989)は、総計18項目もの対照性をリスト化した。それぞれへの解説は省略するが、これほどまで多面的に「短いレンジ」と「長いレンジ」の二分法を支持する根拠が示されている上は、異なる二過程の存在は明白と思われる。しかし現在、この二分法は次のように批判され不適切と見なされている。

Petersik (1989)によれば、Braddickが提唱した二過程説を最初に批判したのは、Lappin & Bell (1976)である。発表年を考えると、かなり早くから批判があったことになる。Lappin & Bellは、ランダムドット・キネマトグラムを用いた自らの研究において、Braddickらと矛盾するデータを提出した。確かに、ドットの移動距離が大きくなるにつれ長方形部分の一貫した方向への動き知覚は弱まるが、提示面に含まれるドット数を増やすことで、長方形部分の一貫した方向への運動知覚は強まることを示した。この密度という側面は、Braddickがまったく考慮していなかったことである。さらにLappin & Bellは、一貫した方向への動きを知覚できる距離の上限が、ドット間距離に依存すること、すなわちドット間距離が短いほど運動距離が長くなっても正確に弁別できることを示した。これらの事実は、Braddick (1974)による「 $D_{\max}^{(8)}$ の限界値は一定(1/4度)」との主張と矛盾し、「 D_{\max} の限界値はシチュエーション次第で変動する」ことになる。Lappin & Bellは、両研究が矛盾することについて、Braddickの研究ではドット間の距離の増加に連動してドット数を減少させていった(移動長方形の面積を変えない)ためと説明した。こうした批判が、1980年以降も続くことになった。Morgan (1992)は大きなドットやブルーのかかったドットを使えば、 D_{\max} を視角2度まで増大できると

した。Mather & Tunley (1995)は、ランダムドット・キネマトグラムを用いて第1画面から第2画面への切り替えを、急速に行うのではなく徐々に滑らかに行うことにより両画面間のISIの時間的限界値(T_{\max})を(80ミリ秒でなく)500ミリ秒にまで伸ばすことに成功した。これらの事実から、短いレンジの仮現運動の特性とされていた性質は実験手続きに依存するのであって、その範囲は長いレンジの仮現運動にまで及ぶこととなった。そうなれば、短いレンジと長いレンジを看板に掲げる二分法は維持できないことになる(Cavanagh & Mather, 1989)。

Mather (2006)は知覚を扱った最近の教科書で、二分法説にはこのような批判があるが、それでもなお、運動知覚には複数の過程が存在する証拠があるとした。現在、それらは一次運動と二次運動という名称で区別されている。提案者であるCavanagh & Mather (1989)によれば、一次運動とは、変化前の画面と変化後の画面において、動きが同定される部分とそれ以外の部分との区別が明度差(提示処理の対象)によって定義できる運動で、図5に示した長方形輪郭はこれに当たる。それに対し、二次運動とは、そのレベルでは定義できないものとする。具体的にどのようなものがあるのか、Mather (2006, p.314)から例を引こう。

図6は、ランダムな明暗パターンからなる4枚のフレームである。第1フレームから第4フレームに向かい、1ドット幅の垂直列(矢印で示されたコラム)のみ、ドットの明るさが反転していく(明るいドットは暗く、暗いドットは明るくなる)。明るさが反転する列は第1フレームから第4フレームに向かい、1列ずつ右に進んでいくが、それにより仮現運動が生じる。この仮現運動では、動く部分とそれ以外の部分が明暗によっては同定できず、フレーム間での明るさ反転が生じている。

運動する部分をそれ以外の部分から明度差で同定できるのが一次運動なのに対し、図6の場合はそうでない。ランダムな白黒パターンで構成される列のうち、画面が変わるごとに1列ずつ白黒反

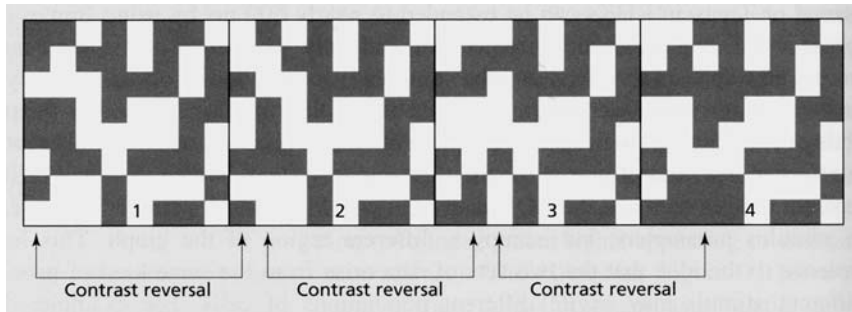


図6 Mather (2006) らが提案する二次運動の存在を裏づけるデモンストレーション

転していくので、運動部分を明度差で同定できるどころか、むしろ運動部分の対応箇所の明るさは次々に変わっていく。にもかかわらず図6では、左端列から右に向かって1列ずつ動くように知覚される。

二次運動に関わる処理を、直接的な知覚ではなく位置の変化から派生する間接的推論、すなわち認知レベルの高次処理と見なすことが可能かもしれない。しかし、二次運動においても、知覚の本質的特徴である順応現象が観察されることから、知覚過程と見なすべきである。西田 (2007, p. 284) は運動視に関するレビューの中で、二次運動においても運動残効が生じることを、自らの研究を含めたいくつかの研究により指摘している。西田はさらに、電気生理学的研究において、二次運動に関わる運動応答細胞がネコやサルの視覚野で見ついているのみならず、fMRI (機能的磁気共鳴画像) 研究からヒトの脳でも応答が得られていることを指摘した。

7. 現時点でとりうる考え

説明がかなり込み入ってきたので、映画やアニメーションの動きを理解する上で仮現運動における二分法を利用することはできるか、現時点でとりうる考え方を提案したい。Braddick により1970年代半ばに提案された短いレンジと長いレンジの仮現運動の区別は、命名にも利用されたくらい、時間的に隣り合う画面間での移動距離に絶対的意味を付与した。それに対し、1/4度という

移動距離は絶対視できないことを、Cavanagh & Mather (1989) に代表される諸研究が示した。したがって、短いレンジと長いレンジを固定した値で区分することは適切でない。しかし、表2にリストアップされた短いレンジと長いレンジの18項目にわたる対照性の多くは、のちに提案された一次運動と二次運動の区別にもおおよ適用できる。たとえば、表2のPet. 6の「長いレンジ」の内容は、本節での二次運動の説明に用いた「明暗が反転する刺激間での運動」と呼応する。また、Pet. 9の対応要素同士の類似性、Pet. 11の対応点、さらにはPet. 12の運動検出とエッジ検出処理の順序性についても、おおむね一次運動と二次運動の違いに当てはまる。もちろん中には、運動残効に関する西田の指摘のように、一次・二次運動の違いがレンジの違いと対応しないものもある。巧妙な実験方法により1/4度という境界線を絶対視できないことは立証されたが、映画やアニメーションの動きを理解する上で、短いレンジの動きを踏まえることは誤っていない。

このことを補強する意味で、ここまでに取り上げてこなかった新たなデータを紹介したい。それは、Anderson & Anderson (1993) も言及した知覚心理学領域でのKolars (1972) による研究で、論文の形で詳細データが示されていないため、これまであまり評価されてこなかったが、ここでの議論では重要な意義をもつものである。心理学では短いレンジと長いレンジの区別を扱うときにも、また一次運動と二次運動の違いを扱うときにも、もっぱらランダムドット・キネマトグラム

(RDK) が用いられてきたが、ここに示す Kolers (1972) の著書に記載されている研究は、RDK パラダイムが生まれる前の研究であった。オシロスコープの画面 (CRT) 上に、次のような刺激が提示される。高さが 5 cm で幅が 1 スポット分 (画面に提示できるスポットの最小の大きさで 1 画素分の極めて細かい幅) の線分を何本か、右から左に向かって継時的に提示していく。線分の提示時間とそれが消え次の線分が提示されるまでの時間間隔 (ISI) は適宜調整する⁽⁹⁾。提示線分の本数は最小 2 本で、その場合は、まず右端に 1 本提示され、適切な ISI ののち、左端の 1 本が提示される。両線分間の距離は 13 cm, 視角に換算して 7.5 度である。これが「2 本条件」である。次に 13 cm のあいだに等間隔にさらに 2 本加え全部で 4 本、やはり右から左に次々に点滅させていく。これが「4 本条件」である。「2 本条件」を「 2^1 本条件」, 「4 本条件」を「 2^2 本条件」と表示すると、一般形は「 2^k 本条件」と表せる。等間隔に本数を増やしていくことで、最大 $2^{10} = 1024$ 本 ($k = 10$) まで増やすことができ、実際にそこまで実施された⁽¹⁰⁾。図 7 は、例として、 $k = 4$, すなわち 16 本が次々に点滅していく条件を示している。

上述のように、線分の点灯時間と次の線分が点灯するまでの ISI を適切に変え、それぞれの本数条件で線分ができるだけ滑らかに右から左に動く

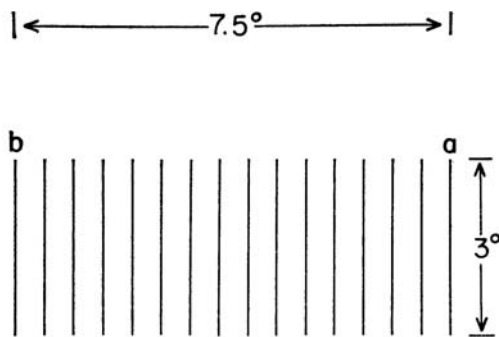


図 7 Kolers (1972) に示されている右から左へ縦棒を次々に点滅させていくときに生じる運動知覚実験の刺激画面。この画面は縦棒が 16 本 ($=2^4$) の条件。

と知覚される値を探りながら実験は進められる。その結果、次の結果が得られた。まず、 $k = 1$ のとき、滑らかな仮現運動が認められた。これは、Wertheimer (1912) 以来の、大きく離れた 2 点間での仮現運動である。 k が増加する (線分の本数が増す) につれて、あいだが埋められていくわけだから、より滑らかな運動が知覚されるものと予測されるが、 $k = 2, 3, 4$ では、滑らかさが知覚されなかった。ところが、 k をさらに 5 から 10 へと増加させると、再び滑らかな運動を知覚する。 k を横軸に運動の滑らかさを縦軸にとると、全体が U 字曲線となる (Kolers, 1972, p. 36-37)。

U 字曲線になることは、滑らかな運動が知覚される点は同じでも、 $k = 1$ と $k > 5$ でメカニズムに違いがあることを示唆する。2 本のあいだの切り替え ($k = 1$ の場合) で起こる滑らかな運動は Wertheimer (1912) 以来の通常の仮現運動であるのに対し、 $k > 5$ で認められる滑らかな動きは隣り合った画面同士の刺激移動距離が短いときに起こる「短いレンジの仮現運動」と考えられる。 $k = 5$ すなわち $2^5 = 32$ のときの隣り合う線分間の刺激移動角を算出すると、 $7.5 \text{ deg} / (32 - 1) \text{ line} \approx 0.24 \text{ deg/line}$ で、視角にして約 $1/4$ 度となる。この値は、Braddick (1974) の値と符合する。前節で紹介した批判から、この数値を絶対視することは許されないが、第 3 節で紹介した宮原 (1973) のくり返しのない映像での運動劣化検知限が 24 分/フィールド (度に換算すれば 0.4 度) であることとも合わせ、滑らかな運動が知覚されるには画面間での移動角度が小さくならないという見解は間違っていない。臨界値は必ずしも絶対的でないと留保はあるものの、Wertheimer 以来の仮現運動とは別に、移動量の小さい画像変動に動きを知覚することを積極的に評価してよい。そこから、次節で見るように、映画やアニメーションの動きを捉える上で、示唆に富む見解が得られることになる。

8. 法政大学での研究会（2013.8.25）で 浮き彫りになった問題

本稿の執筆動機は、冒頭で紹介した2013年8月25日に法政大学で開催した研究会『アニメーションと仮現運動～この似て非なるもの？～』での活発な討議にあった。アニメーションにおける滑らかな動きの知覚について、知覚心理学側から行える貢献は、漠然と主張されている“仮現運動説”に対し現時点で提供できることを的確に評価し、アニメーション制作現場にフィードバックすることであるとの認識を新たにした。

研究会開催の少し前、筆者は、パネリストの1人となるアニメーション映像研究家の叶精二氏から、以下のような質問を電子メールで受けた。質問の趣旨を、シンポジウムの当人の発言記録から引いておこう。

アニメーションの入門書を絵本で出版しようと考えている。アニメーターになるための本ではなく、アニメーションの原理的なことを解説するものを目指している。本の構成としては、子どもたちが自分でも制作できる視覚玩具の型紙のようなものと、原理の解説を含むようなもの。しかし、原理的なことを考えていくとあまりにもわからないことが多いことに驚く。（中略）

なぜ動くのかという原理について調べてみたがよくわからない。本によって、それぞれ言っていることが違う。今まで様々な本で記述されてきた内容は大きく次の3つと考えられる。

- A：網膜の残像効果
- B：間欠運動（スリット越しの運動知覚。間欠が欠けていることによって運動がつながる）
- C：体験学習による脳内の補間：「こういうものはこういう動きになるだろう」との学習

しかも、さらに調べると「仮現運動」というものが出てくる。これがわからない。認知心理学

や知覚心理学などでは、「残像〔説〕は間違っている」とははっきり述べられているが「仮現運動」とは何なのか。単純なライトの明滅を例として説明されても、あまりにも味気なくそっけない説明で、普段見ているアニメーションにどうも結びつかない。

また、「仮現運動」も結局は上述のA, B, Cの組み合わせで説明できてしまうのではないかと、いう素朴な疑問もある。それらと仮現運動の違いがどうもわからない。（布山氏の記録から一部改変して引用。〔 〕内は吉村による追加説明。以下同様）

タイムリーなメールであった。研究会「アニメーションと仮現運動～この似て非なるもの？～」にうってつけの問題提起であり、さっそくパネリストを引き受けて頂いた。

シンポジウムでは、この問題提起を受け、筆者（吉村）が、本稿でも解説したAnderson & Anderson（1993）の主張、すなわち映画に滑らかな動きを知覚するのは、残像や従来の仮現運動によるのではなく、Braddickの「短いレンジの仮現運動」によるとするのが適切であることを説明した。そのあと、知覚心理学者の中村浩氏により、Braddickの考え方はその後、批判されていることが指摘され、それに続き、ランダムドット・キネマトグラムのデモがあった。短い移動距離ならドット群は長方形をなして同じ方向へ動くように知覚され、移動距離が大きくなると動くものの形も方向も知覚できないことを全員で観察した。このデモンストレーションは、参加していたアニメーション関係者に強いインパクトを与えた。

研究会では、全く別の原理に基づき映画やテレビ映像の動きを説明する画像信号処理工学者の吹抜敬彦氏にもパネリストとなってもらった。文系人間にも理解しやすいよう、数式を使わずに原理を説明してもらいたいとの注文をつけた。吹抜氏が比喩あるいは比較のために用いたのは音楽CDであった。音源を毎秒数万回サンプリングすれば、われわれの聴覚は断続音ではなく本来の音源通り

の音を知覚する。聴覚は視覚より時間分解能が高いのでサンプリング回数がおびただしく多いが、視覚では数十回のサンプリング（CFFの値以上の回数）で画像点滅を感知しなくなり、音楽CDの場合と同様、もとの運動映像が知覚されるというのである。この「時空間標本化」に基づく説明に対し、動画撮影や記録媒体などを扱っている参加者たちとのあいだで活発な質疑応答があった。確かに、この解明ルートは重要で、知覚心理学者の中にも吹抜（2008）の「時空間標本化」に通じる考えをもつ人がいる（Watson *et al.*, 1986；蘆田，2004など）。吹抜氏にパネリストを依頼したのは、この説明原理を重視する姿勢からであった。ただ、アニメーション制作に携わっている研究会参加者の多くは、パネリストとして最後に登壇したアニメーション監督片瀨直氏の発言からも読み取れるように、「短いレンジの仮現運動」とアニメーションの動きの関係にまず注意を向けた。

片瀨氏は、仮現運動には長短2つのレンジがあるとの知見をさっそく取り込み、アニメーション制作を学ぶ学生たちの姿勢に、次のような苦言を呈した。

学生たちは、こうした「長短2種類の仮現運動という」区分けなどを意識せずに、極端に長いレンジの仮現運動に頼ったような、極端にぶっ飛んだ表現に最初からいってしまう。しかし、「動くものを整列させる」ということをちゃんと基本としてわきまえておいてほしい。そのことを理解してもらうには、それがどういう効果をもつかについて、きちんとした裏づけが必要だと思う。（中略）

なぜ学生が、コマの動きを飛ばすのが好きなのか？ その回答はこの事例「金田伊功『銀河疾風ブライガー』のオープニング・シーン」にあるんじゃないか。こういうふうに動かすと、画面を見たときにある種の「快感」がある。「シヨメ監督の」『イリュージョニスト』のような実写に近い動きの方に、若者たちは違和感を抱いてしまうのではないか。それらには、「ぬ

るぬる動く」という不思議な「否定」の仕方がある。シャープにパキパキ動くのが日本のお家芸で、学生たちはそれに1つの理想を見いだし、あこがれているのではないか。（布山氏の記録から一部改変して引用）

片瀨氏のこの指摘は、実写映画とは違い、アニメーションの場合は「短いレンジの仮現運動」のみならず「長いレンジの仮現運動」も活用しうることを示唆する。「滑らかな動き」にはならないが、うまく使えば、見る人に「シャープでパキパキ動く」「快感」を与えうる。もし実写映画でこの技法を使うと、微速度撮影映像のようながたついた画面となり、動きに滑らかさが知覚されないだろう。もちろん、たとえアニメーションでも、それを多用すれば、上述のように先輩アニメーターたちからお叱りを受けるわけで、あくまでも「短いレンジの仮現運動」による滑らかな動き作りが基本である。

上述の「短いレンジの仮現運動」ということ以外に、「滑らかな動き」にとって重要な要因がもう1つある。1秒間に何枚の絵を使うかである。研究会での片瀨氏のデモンストレーションは、同僚の深井利行氏の協力を得て行われたが、この要因をめぐっていくつもの事例が示された。映画の場合は毎秒24コマの静止画が切り替わるが、アニメーション映画の場合は、実写映画と同様に毎秒24枚の異なる絵を切り替えること（1コマ撮りまたは1コマ打ちと呼ぶ）もあるが、作画におびただしい時間と費用がかかるため、たとえ劇場用アニメーションでも、毎秒12コマ（2コマ撮り）か毎秒8コマ（3コマ撮り）にするのが一般的である。1コマ撮りを使うのは、長編作品中のごく一部、どうしても1コマ撮りでなければうまく動かない部分に限定するのが通常である。諸作品からピックアップした的確な例を用いて、1, 2, 3コマ撮りがデモンストレーションされた。ここでのキーワードは、「動いて見えるか止まって見えるか」であるが、アニメーション制作のプロ（エキスパート）と、それ以外の人たち（ノービ

ス)では、「止まって見える」ことの閾値が異なるようである。ノービスであるわれわれには、たとえ3コマ撮りでも直線的な動きの場面を除くと1コマ撮りと区別できないが、エキスパートにとっては2コマ撮りでも止まって見えるらしい。フロアにいた片渚氏の同僚、森田宏幸氏から次のような発言があった。

2コマ [撮り] でも果たして「綺麗に動いて見える」と言えるのか? 学生たちに自由落下のボールを描かせたとき、やっぱり2コマ [撮り] でも止まっているボールが見えてしまう。だから、実は [24ヘルツではなく] 60ヘルツ [毎秒60枚] 必要なんだと、60ヘルツないと動いて見えないんだと言ってしまったほうが、研究的には話がわかりよいのじゃないか? (中略) アニメーションは動きを表現している・感じさせているだけで、じっくり見れば止まって見えてしまう。(布山氏の記録から一部改変して引用)

エキスパートの感覚はノービスには所詮味わえないものかもしれないが、筆者はノービスの立場から、もう少し食い下がって説明を求めた。森田氏の返答は、以下のようであった。

絵がどうして動いて見えるのかという問題について、「止まっている絵が見えなくなったときに動いて見えるんだ」とわれわれは理解している。輪郭がはっきりしていたりコマ間の間隔が広いと止まっている絵がばれちゃうから、それではマズイと判断して絵を足したり輪郭をボカしたりする。「なぜ動いて見えるのか」の答えは見つからないような気もするが、はっきりしているのは、「止まっている絵が見えなくなったとき動いてみえる」ということ。(布山氏の記録から一部改変して引用)

エキスパートは、実写映画ではなくアニメーション映画の動きにのみ、「止まっている」「つながり

が悪い」「動きがスムーズでない」ことを見て取る。実写の場合には、自然な動きをサンプリングしているので、彼らと言えどもそうした違和感を抱かない。実写とアニメーションの動きの見え方を比較する際には、さらに別の要因が関係しそうである。先に登壇した吹抜氏は、「これから話す内容は、主に自然画像(自然コントラストの自然画像、コントラストの強いアニメではない)」と断って説明を始めた。この発言は、動きの見え方にコントラストが関係することを示唆する。深井氏は、「実写映像だと画はぼやける。一方、アニメーションはアウトラインがはっきりした画である。それは実写映像でいうなら、シャッタースピードの早い超高速撮影の状態」だと言う。片渚氏は、「ハワイのものすごく明るい光の下で撮影した実写は、実写なのにパカパカして見える。アニメーションはそれに近い」と言う。コントラストのみならず画像のぼやけは、実写とアニメーションを比較する際に検討すべき重要な要因になるようである⁽¹¹⁾。

ところで、アニメーションにおいて動いていると見せるには1コマ撮りが理想かと言うと、そうとも言えない。1コマ撮りのフルアニメーションの例としてデモされた『アラビアンナイト』のおっかけっこのシーンを見た感想として、片渚氏は「アニメーションを見る立場からすると、これは過剰な動きと思われる。自分たちが判断できないくらいの情報量があり疲れてしまう。2コマ [撮り] のほうが見やすい」。深井氏も、「1コマで動かすときにも出来不出来がある。これはメリハリのない動きに見える。それは技術的な問題」と手厳しい。1コマ撮りは、「ぬめり感」につながる、軽快さを欠く動きとなる危険をはらむ。他方、3コマ撮りで大きな動きをつなぐ金田伊功の『銀河疾風ブライガー』のオープニング・シーンに対し、片渚氏は「つながりがあまり見えないにもかかわらず動きを感じる。本来なら動いて見えるかよくわからないものが、ギリギリのところどころでちゃんと1つのアクションになっている。長いレンジの仮現運動を感じられるのはこうした表現」と評価する。

「滑らかさを作る技術」と「軽快感を与える技術」は、それぞれ「短いレンジの仮現運動」と「長いレンジの仮現運動」に対応する。このことを基本に、アニメーターはそのうに技術を伴った個性的表現スタイルを展開していくべきなのであろう。

註

- (1) 一部手を加えたものを「吉村浩一ホームページ」上に転載してある。
- (2) ただし、撮影時のカメラのシャッター開口率が100%だと連続線が見える。開口率が低いほど、断続線の長さは短くなり、断続していることがはっきりと見て取れる。
- (3) 臨界融合周波数 (Critical Flicker Frequency) のこと。ヒトの CFF はおよそ 40 Hz である。このことは、1 秒間に 50 回以上の頻度で点滅する光は、もはや点滅光ではなく連続光として融合して知覚されることを意味する。
- (4) 宮原 (1973) では、用語の使用法が本稿とは異なり、本稿で言う「繰り返し数 2 回」のことを「1 フィールドくり返し」と名づけ、「繰り返し数 3 回」以下、本稿での記述と数値が 1 ずつずれて表記されている。
- (5) 心理学では“確信度”を量的尺度に用いることが一般的だが、画像工学の分野では、画像劣化の程度を 5 段階で主観的に評価する方法が用いられる。そのための物理条件や環境条件を定める国際規格 ITU-R BT.500 などがある。
- (6) 一般に、ある知覚が単眼性であるか両眼性であるかは、その知覚が末梢レベルで起こる低次処理なのか中枢が関与する高次処理なのかの判断の根拠になると考えられている。
- (7) Wertheimer (1912) により記述された、最適時相での運動の見え方のこと。すなわち、第 1 刺激から第 2 刺激に向かって滑らかに移動して動くように見える現象のこと。
- (8) 2 つの画面間で運動が知覚されるための最大距離のこと。
- (9) この点に関するデータが Kolers (1972) の著書では記載されていない。
- (10) 1024 本が最大本数となるのは、画面上で 13 cm 幅に入るスポット数 (画素数) が 1024 であるため、物理的にそれ以上の位置区分ができないからである。最大数である「1024 本条件」では、線分は 1 画素分ずつ右から左に極めて小刻みに進んでいく。

- (11) 明るい太陽の下では撮影時のシャッター開口率が小さくなり、各静止画像はぼやけのないシャープな絵となる。アニメーションの場合は、人工的にぼやけを描き込まない限り、明るさに関係なくシャープな絵となる。それに対し、暗めの照明下での実写撮影では、撮影時のシャッター開口率が高くなり、動きの速いものはそれぞれのコマにおいてぼやけて撮影される。一般的に、運動軌道に沿ってぼやけた静止画ほど動きは滑らかになる。(2)も参照してもらいたい。

引用文献

- Anderson, J. and Anderson, B. 1993 The myth of persistence of vision revisited. *Journal of Film and Video*, **45**, 3-12.
- Anstis, S. M. 1970 Phi movement as a subtraction process. *Vision Research*, **10**, 1411-1430.
- Anstis, S. M. 1980 The perception of apparent movement. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B*, **290**, 153-168.
- 蘆田宏 2004 動き知覚と動画の認識 (講座 視覚心理 第8回) 映像メディア学会誌, **58**, 1151-1156.
- Baker, C. L. and Braddick, O. J. 1985 Temporal properties of the short-range process in apparent motion. *Perception*, **14**, 181-192.
- Braddick, O. J. 1974 A short-range process in apparent motion. *Vision Research*, **14**, 519-527.
- Braddick, O. J. 1980 Low-level and high-level processes in apparent motion. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B*, **290**, 137-151.
- Breitmeyer, B. G. and Ritter, A. 1986a The role of visual pattern persistence in bistable stroboscopic motion. *Vision Research*, **26**, 1801-1806.
- Breitmeyer, B. G. and Ritter, A. 1986b Visual persistence and the effect of eccentric viewing, element size and frame duration on bistable stroboscopic motion percepts. *Perception & Psychophysics*, **39**, 275-280.
- Cavanagh, P., Boeglin, J., and Favreau, O. E. 1985 Perception of motion in equiluminous kinematograms. *Perception*, **14**, 151-162.
- Cavanagh, P. and Mather, G. 1989 Motion: The long and short of it. *Spatial Vision*, **4**, 103-129.
- Chang, J. J. and Julesz, B. 1983 Displacement limits, directional anisotropy and direction versus form discrimination in random-dot cinematograms. *Vision Research*, **23**, 639-646.

- Chang, J. J. and Julesz, B. 1984 Cooperative phenomena in apparent movement perception of random-dot cinematograms. *Vision Research*, **24**, 1781-1788.
- Chang, J. J. and Julesz, B. 1985 Cooperative and non-cooperative processes of apparent movement of random-dot cinematograms. *Spatial Vision*, **1**, 39-45.
- Dick, M., Ullman, S. and Sagi, D. 1987 Parallel and serial processes in motion detection. *Science*, **237**, 400-402.
- 吹抜敬彦 2008 視知覚信号処理工学のすすめ — 視知覚心理現象を時空間周波数領域で解く — 電子情報通信学会技術研究報告 (IE+SIP) 2008-8
- Julesz, B. 1960 Binocular depth perception of computer-generated patterns. *Bell System Technical Journal*, **39**, 1125-1162.
- Julesz, B. 1971 *Foundations of cyclopean perception*. Chicago: University of Chicago Press.
- Kepes, G. (ed.) 1965 *The nature and art of motion*. New York: George Braziller.
- Kolers, P. A. 1972 *Aspects of motion perception*. New York: Pergamon Press.
- Lappin, J. S. and Bell, H. H. 1976 The detection of coherence in moving random-dot patterns. *Vision Research*, **16**, 161-168.
- Larsen, A., Farrell, J., and Bundesen, C. 1983 Short- and long-range processes in visual apparent movement. *Psychological Research*, **45**, 11-18.
- Livingstone, M. S. & Hubel, D. H. 1988 Segregation of form, color, movement, and depth. *Journal of Neuroscience*, **7**, 3416-3468.
- 宮原誠 1973 動きの知覚特性 — フィールドくり返しに起因する滑らかさの劣化 — テレビジョン, **27**, 24-30.
- Mather, G. 2006 *Foundations of perception*. Hove, UK: Psychology Press.
- Mather, G. and Tunley, H. 1995 Temporal filtering enhances direction discrimination in random dot patterns. *Vision Research*, **35**, 2105-2116.
- Monaco, J. 1981 *How to read a film. 2nd version*. New York: Oxford University Press. (モナコ, J. 岩本憲児・内山一樹・杉山昭夫・宮本高晴 (訳) 1993 映画の教科書 フィルムアート社)
- Morgan, M. J. 1992 Spatial filtering precedes motion detection. *Nature*, **355**, 344-346.
- 西田真也 2007 運動視 大山正・今井省吾・和氣典二・菊池正 (編) 新編感覚・知覚心理学ハンドブック Part 2 誠信書房 pp. 281-300.
- 大山正・鷲見成正 (編) 2014 見てわかる視覚心理学 新曜社
- Palmer, S. E. 1999 *Vision science*. Cambridge, MA: The MIT Press.
- Pantle, A. J. and Petersik, J. T. 1980 Effects of spatial parameters on the perceptual organization of a bistable motion display. *Perception & Psychophysics*, **27**, 307-312.
- Pantle, A. and Picciano, L. 1976 A multistable movement display: Evidence for two separate motion systems in human vision. *Science*, **193**, 500-502.
- Petersik, J. T. 1989 The two-process distinction in apparent motion. *Psychological Bulletin*, **106**, 107-127.
- Petersik, J. T., Hicks, K. I., and Pantle, A. J. 1978 Apparent movement of successively generated subjective figures. *Perception*, **7**, 371-383.
- Petersik, J. T. and Pantle, A. J. 1979 Factors controlling the competing sensations produced by a bistable stereoscopic motion display. *Vision Research*, **19**, 143-154.
- Petersik, J. T. and Grassmuck, J. 1981 High fundamental spatial frequencies and edge have different perceptual consequences in the 'group/end-to-end' movement phenomenon. *Perception*, **10**, 375-382.
- Ramachandran, V. S. & Gregory, R. L. 1978 Does colour provide an input to human motion perception? *Nature*, **275**, 55-56.
- 椎名健 1969 仮現運動 和田陽平・大山正・今井省吾 (編) 感覚+知覚心理学ハンドブック 誠信書房 pp. 648-654.
- Watson, A. B., Ahumada, A. J., and Farrell, J. E. 1986 Windows of visibility: a psychophysical theory of fidelity in time-sampled visual motion displays. *Journal of the Optical Society of America*, **3**, 300-3007.
- Wertheimer, M. 1912 Experimentelle Studien über das Sehen von Bewegung. *Zeitschrift für Psychologie*, **61**, 161-256. (Wertheimer, M. 2012 Experimental studies on seeing motion. In L. Spillmann (ed.) *On perceived motion and figural organization*. Cambridge, MA: The MIT Press, pp. 1-91.)

Mechanisms of Motion Perception
in Film and Video, especially in Animation:
A Psychological Review of Factors
Concerning to Apparent Motion Hypothesis

YOSHIMURA Hirokazu and SATO Sohei

Abstract

There are some different theories to explain the reason why we perceive smooth motion in movies and animations. From the perceptual psychological point of view, we can focus on the apparent motion theory to this problem. The meeting which was planned by us and held in Hosei University on August 25, 2013 became the starting point of the present study. As the panelists, we invited some animation movie producers engaged in animation education and an image engineer as well as perceptual psychologists. One of the most important points at issue which we insisted was the Braddick's (1974) claim, in which he divided apparent motion into short-range and long-range ones. Based on his idea, Anderson & Anderson (1993), movie researches, insisted that the short-range apparent motion, not the long-range one, causes motion perception in movies. This dichotomy, however, was received severe criticism in the field of perceptual psychology, and new concept called first-order motion is suggested for the short-range apparent motion. Nevertheless, we pointed out a lot of evidence that the low-level processing and the short-range apparent motion have almost common processes and concluded that the short-range apparent motion would be responsible for the motion perception in movies and animations. In the last section, we quoted some suggestive comments by the panelists and the participants of the meeting.

Keywords: apparent motion, random-dot kinematogram, short- and long-range apparent motion, field-repeated motion, first-order and second-order motions