

## 2枚の画像で構成される後戻り感を生まないアニメーション

吉村 浩一・佐藤 壮平（法政大学）

■ Two-picture animations not giving back-and-forth impression.  
YOSHIMURA, Hirokazu and SATO, Sohei (Hosei University)

### Abstract:

When alternately and repeatedly presented two pictures, we usually perceive back-and-forth motion between the two images, i.e. regressive motion. In some cases, however, we would perceive progressive motion to the alternate repetition. The present research aims to show the convincing examples and to consider the reason why they do not give the regressive impression to the sequences.

We begin with distinguishing two cases; sequential motion and progressive motion. The latter is more important because it contains perceptual and/or technical problems relating to the animation research. We give some examples which belong to the latter; the progressive motion related to the representational momentum (Freyd and Finke, 1984) and the progressive motion known as the two-stroke apparent motion (Mather, 2006). Based on the discussion concerning these phenomena, we concluded that the role of context and/or experience would be rather limited.

### Key Words:

two-stroke apparent motion, representational momentum,  
Kanizsa's dancing ostrich

### キーワード:

2ストローク仮現運動、表象的慣性、  
カニツツアの踊るダチョウ

### 1.はじめに

最低2枚の静止画があれば、アニメーション、すなわち画像の動きは生成できる。心理学で言うところの仮現運動（ $\beta$ 運動）の要領である。2枚の静止画を適切なタイミングで交互提示すれば、誰の目にも動いているように見せることができる。ただし、その繰り返し提示は、行きつ戻りつ、後戻りする運動として知覚される。図1を見てみよう。aとbの2枚の静止画を同じ位置で交互提示すれば、cの矢印で示すような行きつ戻りつする運動が知覚される。これが2枚の画像だけで生み出すことのできる動きの原型である。

本研究では、知覚心理学を中心にこれまでに提案されてきたいくつかのデモンストレーションを検討対象に、2枚の画像しか用いていないにもかかわらず、後戻りしない運動が実現される仕組みについて考えていきたい。その際、2枚の画像以外に空白フレームを挿入することは可とする。たとえ空白画像を挿入したとしても、2枚の画像だけで、後戻りしないアニメーションを作ることは、どのような条件のもとで実現可能なのだろうか。このような問題意識をもつことは、アニメーションの原点の理解に寄与するものと期待できる。

“戻らない”とはどういう動きを言うのか。それには、次の2つの類型が考えられる。

- (a) 動作そのものが繰り返しであることから、同じ動作の反復を意味し、後戻り感を与えない。
- (b) 繰り返し提示であるにもかかわらず、“前進運動”と知覚され、後戻り感を与えない。

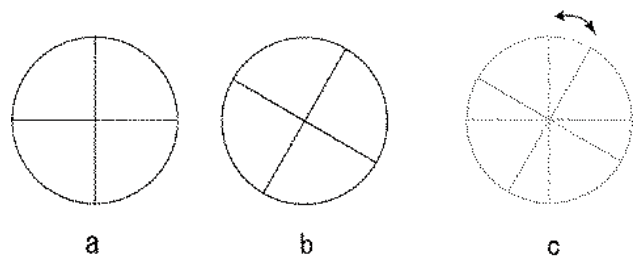


図1. 2枚の静止画（aとb）の交互提示を続けると、多くの場合、cのような行きつ戻りつ、後戻りする運動が知覚される。

■ 受稿日：2009年11月30日／received on November 30, 2009.  
受理日：2010年2月22日／accepted on February 22, 2010.

2枚の画像で構成される後戻り感を生まないアニメーション  
吉村 浩一・佐藤 壮平

まず、(a) について、具体例で説明しよう。ゼンマイ仕掛けでシンバルを叩くサルのおもちゃがある。左右の手にシンバルをはめ両手を広げているポーズと両手を閉じてシンバルを叩く瞬間のポーズ、これら2枚の絵の交互提示を繰り返せば、シンバルを叩くサルの動作は“繰り返し運動”と知覚され、後戻り感を与えない。左右対称なシンバル叩きではなく、太鼓叩きのように左右非対称的な動きであってもよい。身体正面に置いた太鼓を、右手のパチが打つ瞬間、左手は上段高く構えている。逆に、左手で打つ瞬間には、右手は上段に構えている。これら2つの瞬間の静止画を適切なタイミングで繰り返し提示すれば、太鼓を打ち続ける“繰り返し運動”が知覚される。動き自体は“後戻り運動”と変わらないのだが、動きの意味が“繰り返し運動”となる。この場合、動きの速さは、1秒間にせいぜい2周期程度である。

(a) (b) 2つのタイプのうち、(a) については、交互提示が意味的に“繰り返し運動”になるという上の説明で、アニメーションの技法ないし知覚心理学的検討をこれ以上行う必要はない。問題として重要なのは、タイプ (b) である。交互提示なのに戻らず前進を続けるとはどういうことなのか。どういう条件下で“前進運動”は知覚されるのか。この問いが、本稿での主な検討事項となる。

## 2. 表象的慣性 (representational momentum) という考え方

モーターの回転原理を思い浮かべてほしい。N極とS極の引きつけと同極同士の反発を利用し、極を電氣的に高速に切り替えることで回転を実現している。N極からS極までは一周(360度)のちょうど半分の180度である。両極の引きつけ合いでそこまで回転したところで、電氣的に同極に切り替える。そうすれば、今まで引きつけ合って接近してきた極同士が反発し、遠ざかろうとする。その際、もときた回転方向に戻る方向に遠ざかることも考えられるが、現実の物理世界ではそうならない。今まで運動してきた半周回転の延長方向へと前進する。そこには、それまでの運動を保とうとする慣性の法則が働いている。このような極の切り替えを繰り返せば、モ

ーターのシャフトは行きつ戻りつすることなく、同方向へ回転し続けることになる。

さて、図2に示した2枚の図形を切り替え提示すれば、動きの見え方においても、物理世界でのモーターの回転と同じ現象が生じるのだろうか。この図の場合は180度ではなく45度回転した図との切り替えとなっているが、原理は同じことである。この場合にも、回転し続けるような知覚が起これば、心理的慣性が働いたことになる。心理学ではそのような現象の存在を、物理的慣性からのアナロジーとして、“表象的慣性”と呼んでいる。この用語は、比較的最近になって、Freyd and Finke (1984) が用い始めたものである。

しかし、図2の図形を用いて回転運動が生じる可能性を指摘したのは、百年近く前の Max Wertheimer であった。ゲシュタルト心理学の出発点になった1912年のモノグラフにおいてである。Wertheimer (1912) は、回転運動が知覚されるには、2つの十字形が適切な時間間隔で交互提示されることに加え、観察者が回転するように見ようとする能動的注意を投入する必要があると指摘した。「能動的注意の投入」とは、「そのように見ようとすれば見えなくもない」ということで、回転現象がはなはだ不安定なことを意味する。

フェルストラーテン・蘆田 (1997) は、この Wertheimer (1912) の指摘にヒントを得て、図3に示した図形を用いて、2枚の画像の切り替えが往復運動ではなく回転運動 (前進運動)

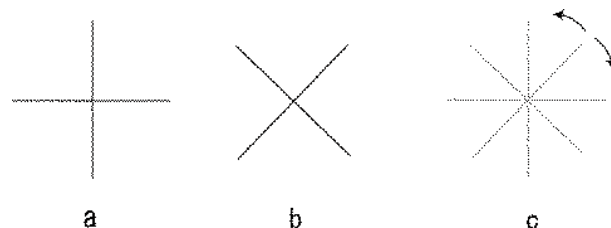


図2. 互いに45度回転した位置関係をなす十字形を適切な速さで交互提示すると、後戻りすることなく回転するように知覚されることを最初に指摘したのは Wertheimer (1912) であった。

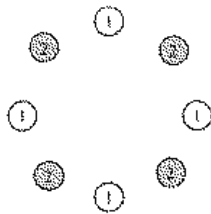


図3. 時相1には1と記された4つのディスクが、時相2には2と記された4つのディスクが交互に点滅するとき、タイミングが適切でありかつ能動的注意を投入すれば、後戻りせず前進回転を続けるように知覚される（フェルストラテン・蘆田, 1997）。

と知覚されることを見いだした。図2（Wertheimerのデモンストレーション）での十字の端点にあたる位置に置いた4つのディスクを、時相1と時相2で交互提示するのである。そうすると、ディスクが回転しながら点滅していくように知覚されるという。ただし、ここでも「能動的注意の投入」が必要である。“能動的注意”を投入せず、刺激全体の中央付近を見つめているだけでは、周辺でディスクがランダムに点滅を繰り返すように見えたり、あるいは時相1のパターンと時相2のパターンが行きつ戻りつするようにはしか見えないと言う。

物理的慣性と比べると、このように表象的慣性の働きは必ず

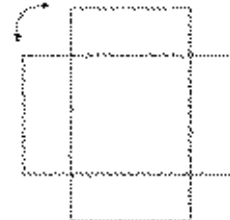


図4. 互いに90度回転した位置関係にある2つの長方形の交互提示を続けても、一般的には回転しているようには知覚されない（Palmer, 1999）。

と弱く、運動の見え方の基礎をなすとは言えない。“能動的注意”の支援を得て、条件のよいときにかろうじて機能するいわば特殊な知覚現象と見なすべきである。運動知覚について最近著されたPalmer（1999）の総説においても、図4に示すような縦長と横長の長方形の交互提示では、お互い90度回転した位置関係にあるにもかかわらず、せいぜい同じ経路を90度戻る往復運動にしか見えないことが指摘されている。このようなわけで、軌道上の中間地点に位置する2枚の静止画同士を切り替えれば“表象的慣性”の働きにより回転運動（前進運動）知覚が生じると主張することは適切でない。限られた図形条件下で“能動的注意”を向けたときのみ、かろうじて実現する知覚現象と言うべきである（“表象的慣性”については、吉村,

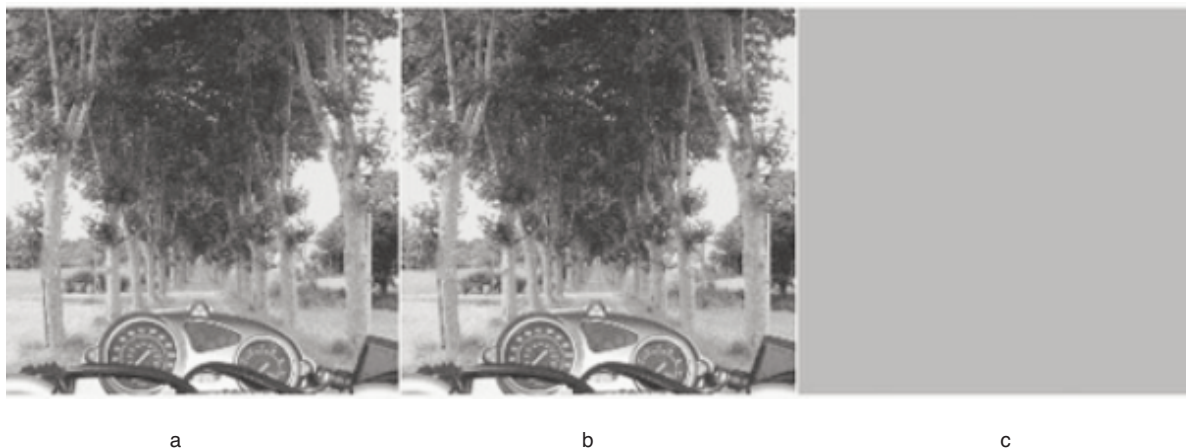


図5. Mather が制作し2005年度の最優秀錯視コンテストで第2位となった two-stroke apparent motion に用いられた3枚の画像。

2枚の画像で構成される後戻り感を生まないアニメーション  
吉村 浩一・佐藤 壮平

2006 の解説も参照してもらいたい)。

### 3. 2枚の画像で前進運動を実現する two-stroke apparent motion

英国サセックス大学の心理学者 Mather (2006) は、2枚の静止画像を使って、戻らず前進し続ける運動をデモンストレーションし、two-stroke apparent motion と名づけた。図5は、Vision Sciences Society が主催する年間最優秀錯視コンテスト第6回 (2005年) で第2位となった Mather の作品である (動画によるデモンストレーションは、<http://illusioncontest.neuralcorrelate.com/2005/two-stroke-apparent-motion/>を参照)。a と b の2枚の画像を繰り返し交互提示すれば、画像内のバイクは行きつ戻りつすることなく、並木道を前進し続けるように知覚されるのである。

ただし、2枚の画像を交互提示しただけでは、行きつ戻りつする運動にしか見えない。b のあとに空白時間として c のような無地のコマを挿入する必要がある。c は、何もないブランクであってもよいが、中間調の灰色 (a、b はモノクロ映像であるが、それらの平均輝度付近の灰色) なら、さらに点滅感が弱まり、見やすい動画となる。a-b-c 系列を毎秒1回ずつ提示する程度の周期が前進運動を起こしやすいため、c 画像を挿入すると、どうしてもフリッカー点滅が生じてしまう。それでもなお、two-stroke apparent motion では、このような空白画像の挿入

が必要要件なのである。

その上でさらに、a と b の画像には適切な視差が要求される。ここでは、並木道を走るバイクが題材である。a の視点から、奥行き方向に伸びる木と木の間隔の途中の地点まで進んだ視点からの画像が b なのである。しかもそれは、隣り合った2本の木のちょうど真ん中の位置からの画像ではなく、それ以下の視差量でなければならない。理論的には、1/3 進んだ視点からの映像が最適と考えられる。なぜなら、次の1/3の時間、すなわち a から2/3 進んだ視点からの画像は、空白の時間 c が担うと考えられるからである。しかしなぜか、図2に掲げた Mather のデモンストレーションでは1/3 まで進んだ地点の映像ではなく、それ以下の小さな視差量の画像が使われている。それでも、バイクが“前進運動”を続ける印象は十分生じるのである。

わが国の心理学者北崎充晃は、Mather のこのデモンストレーションに触発され、図6に示す two-stroke apparent motion をウェブサイト上で公開している (<http://www.tut.ac.jp/rese/rcfv/top2sm.html>)。北崎の場合、a と b の視差量は、橋の欄干の間隔のほぼ1/3 になっており、前進運動感は、Mather のものよりさらに明確である。

可能性として、Mather や北崎のデモンストレーションでは、「バイクや自動車は前進するもの」という意味づけが起こり、“前進運動”と知覚されるトップ・ダウン的支援が加わったと



図6. 北崎充晃が Mather の作品をもとにして制作した two-stroke apparent motion。



も考えられる。しかし、bとaを入れ替え、b-a-cという系列に変更すれば、バイクや自動車の動きは後退運動に変わる。この事実から、画像の意味内容ではなく、画像系列の時空間パターン、すなわち画像の運動視差の作り方が、バイクや自動車の運動方向を決定づけると言うべきである。

Mather (2006) の見解、さらには北崎のデモンストレーションから、空白画像の挿入には、前進する一方向運動の知覚を促進する働き、すなわち時空間関係を補う働きがあると考えられる。空白画面が挿入されている時間が、1周期の1/3分の空間位置の前進を支えている可能性が高い。このような時間-空間関係は、仮現運動において主張されているコルテの法則（最適仮現運動が知覚されるのに必要な2画像の提示時間間隔は運動の空間移動量に規定されるとの見解）に整合することから、two-stroke apparent motionを仮現運動の枠組みで捉えることを有望視させる。また、運動の移動量と時間間隔の関係に関するS効果（カップパ効果）の理論的根拠として主張されている等速運動仮説（Anderson, 1974）とも整合する。今後は、時間と空間の関係を扱う運動知覚の領域において、こうした観点からの研究が進むことを期待したい。

Mather (2006) によりデモンストレーションされたtwo-stroke apparent motionは、心理学ではその後、脳内での運動処理という神経学的検討へと方向づけられている。しかし、ここではその点には触れない。ただ、この現象を扱った最初の論文において、Mather (2006) はすでに、2枚の画像で動きを表現できることは伝送帯域が狭い（単位時間当たりの伝送量が少ない）環境下でのアニメーション作りへ応用可能と指摘していたことを書きとめておきたい。

#### 4. 2枚の静止画でアニメーションを作る意義と限界

2枚の静止画を用いて“連続運動”を実現することに、どのような実用的意味があるのだろうか。コンピュータやゲーム機の処理能力が低く、プログラムサイズも小さかった時代には、デフォルメされた対象の動きを少ない絵で表現することには実用的意義があった。その後も、表示装置であるNTSCテレビ

ジョンのフレーム・レートに起因する制約から、2枚の静止画でのアニメーションの追求は、一部の動き表現に効力をもち続けた。ファミコンゲーム全盛期の例として『スーパーマリオブラザーズ3』を取り上げよう。走るマリオの表現方法についてである。この作品では、最高速で走る様子を表現するために、2枚の静止画が交互提示されていた。2枚での運動は、単体なら後戻り運動としか見えないが、水平方向にすばやく移動する表現が加わると、前進する動きとして許容できる。歩いたりゆっくり走ったりする動作には3枚の描画が用いられているが、すばやく走る動作には、単位時間あたりのストローク数（往復の歩数）を高める必要があることから、2枚での表現は実用的意味があったと言える。

今日でも、携帯電話の絵文字に動きをつけたり機器の動作状態を表示するアニメーション（Eメールの送信中や受信時の表示）など、アイコンに動きをつけるために、2枚の静止画の交互提示を行っている場面は頻繁にある。まずもって、2枚で表現することは、表示インターフェイスの軽量化に寄与する。3枚以上を費やして作るよりも速度感（軽快感）が増すことも狙える。小画面デバイスでは、描画ピクセル・サイズに制限があるため、キャラクタや動きをデフォルメすることが必要である。こうした状況において考案されたドット絵の巧みな技法は、「利用者が違和感なく動きを知覚できるためにはどのような条件が必要か」を考える材料を提供してくれることになる。

実際に、マリオのすばやく走る動きは、どのような2枚の静止画で表現されていたのだろうか。常識的に考えると、右足を前に出した静止画と左足を前に出した静止画の2枚の交互提示

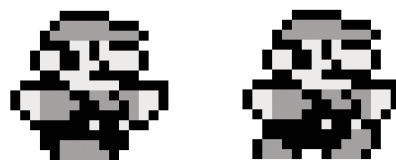


図7. スーパーマリオブラザーズ3で最高速で走るときのマリオの2つのポーズ。

2枚の画像で構成される後戻り感を生まないアニメーション  
吉村 浩一・佐藤 壮平

と思えるかもしれない。しかし、デフォルメされた画素数の少ない画像では、そのような2枚の絵はほとんど同じ画像になり、それらを交互提示しても動き感は生じない。実際に用いられたのは、図7に示すように、両足を開いたポーズと閉じたポーズの2枚の絵であった。おそらく、デザイナーが試行錯誤して見いだした苦肉の策だったのだろうが、そのアイデアは、次に示すようなゲシュタルト心理学の知見と引き比べると、興味深い問題をはらむことになる。

イタリアのゲシュタルト心理学者カニツァ（1985）は、図8のような工作物を用いて、歩行あるいは走行運動を作り出した。脚型に整形した2枚の薄い板を付け根のところでつなぎ合わせ、さまざまな周波数（毎分26～100回の振動）で往復させた。リアリティを増すため、上半身も付け加えた。この事態では、状況的に考えて、人が歩いたり走ったりしている動作と知覚されることが予想される。ところが、そうはならないのである。カニツァ（1985）自身の説明を引用しよう。

この装置が駆動すると、人形が腕と脚を動かしはじめ、誰しもこの人形があしばやに「歩く」ように見えると予想するであろう。しかし、実際には、もっと不思議なことが起こるのである。人形は歩くのではなく、まるでダンスをしているかのように、二本の脚をリズムカルに打ち合わせは



図8. カニツァ（1985）の“踊るダチョウ”の連続的な足の動き。

じめるのである。別のいいかたをすれば、人形の二本の脚は、客観的にはそれぞれ完全な往復軌道を描いているのであるが、現象的にはまったく異なった見えかたをする。二本の脚は、それぞれ中央の位置で出会った後に元の位置に戻ってしまうように見えるのである。つまり、一方の脚は常に左にあり、他方は常に右にあるように見える。(p.26-27)（説明が引用文により完結するように、表現を一部変更した）

脚の形をした2枚の板が互い違いに往復し、しかもアナログ的に実際の動きを提示しているにもかかわらず、知覚者は、それを歩行あるいは走行とは見ず、中央で反発する動きと知覚するのである。

カニツァはこの観察を、人物の工作物以外に、ダチョウの上半身を付け足した工作物でも行っているが、そこでも人物の場合と同様、両足は中央で反発するように知覚される。カニツァにより「踊るダチョウ」と名づけられたこの現象は、2枚の静止画での動き表現を目指しているわれわれに、重要な教訓を与える。経験的、あるいはトップ・ダウン（概念駆動）的に「走っている」と知覚されて当然の条件が整っている場合でも、知覚はそれとは異なるルールで成立しうるのである。two-stroke apparent motionにおいても、「バイクや自動車は前進するもの」という状況的・経験的枠組みは、必ずしも知覚される運動の方向を規定する力をもたなかった（aとbを入れ替えたときには前進運動が知覚されなかった）。マリオの素早い動きは、走っているのではなく「踊るダチョウ」と同様に、ダンスしながら素早く動くという軽やかでひょうきんな動きを生み出していたのである。

#### まとめ

“繰り返し動作”をアニメーションで表現するには、一般に3枚以上の静止画を必要とする。たとえば、プロペラの回転は3枚、炎の揺らぎやさざ波も3枚、布のはためきは4枚、ちらほら降る雪には8枚、嵐の中の大波の表現にはなんと32枚の絵が

必要なのだそうです（岡部・森, 2002 参照）。それらを繰り返し提示することによって、初めてそれらしい動きが表現できる。

本稿では、動きの原点として、2枚の絵で、後戻りしないアニメーション表現の可能性を検討した。two-stroke motionや表象的慣性という限られた条件下では、戻らない動きが可能なことをみてきた。また、「はじめに」で類型化した（a）のように、交互提示が意味的に繰り返し運動となる場合があることも指摘した。しかし、カニツァのデモンストレーションは、“意味”の力を過信してはならないことを警告する。本稿で得られた見解は、次のようにまとめることができる。

（ア）2枚の画像だけでは、基本的に行きつ戻りつする運動となる。ただし、運動自体がそもそも繰り返し運動である場合は、後戻り感が生じない（1の（a））。

（イ）2枚の画像以外に空白画像を挿入することが、後戻りしない運動の知覚を促進する。その際、2枚の画像の差分に、two-stroke motionのような工夫が施された画像を用いることがより有効となる。

（ウ）画像の意味内容が一方方向への運動知覚を促進することも考えられるが、そうしたトップ・ダウン的機能を過信してはならないことを、representational momentumや「踊るダチョウ」のデモンストレーションから読み取らなければならない。

本稿では、これまでに提案されてきたデモンストレーションを用いて、後戻りしない動きの可能性を探った。しかし、これまでの事例を網羅的に検討できたわけではない。たとえば、知覚心理学者の北岡明佳は、1枚のみの静止画であるにもかかわらず、それを見ると一方方向に運動し続けるように知覚される画像を多数作成している（<http://www.ritsumei.ac.jp/~akitaoka/>）。その際の運動知覚メカニズムと本稿で扱った2枚の画像の繰り返し提示による一方方向運動知覚には何らかの関係があるかもしれない。北岡の図形では、明度の異なる画像要素の組み合わせ、あるいはグラデーションによる明度差の設定により、一方方向の運動感を創出している。こうした要因を2枚の画像の繰り返し

提示に応用すれば、後戻りしない動きの生成がさらに促進されるかもしれない。今後の検討課題として、指摘しておくべき点である。

2枚の絵は、動かすことに関しては、3枚以上の絵には及ばない。しかし、「ひょうきんなマリオ」で見たように、動きが生み出す“感性”の面では、「軽快さ」「スピード感」「ひょうきんさ」など、3枚以上の絵にはない2枚の絵によるアニメーションの価値は小さくない。現在でも、携帯画面やPDAなど、小さな世界から豊かな感性を伴う動きを生み出す要請は小さくない。今後は、そうした感性の面からも、2枚の絵によるアニメーションの可能性を見つめていくべきである。

#### 引用文献

- Anderson N. H. (1974). Algebraic models in perception. In E.C. Carterette & M.P.Friedman(Eds.) *Handbook of Perception Vol.2*. New York: Academic Press. pp. 215-298.
- Freyd, J.J. and Finke, R.A. (1984). Representational momentum. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, **10**, 126-132.
- カニツァ, G. 野口薫（監訳）(1985). 視覚の文法——ゲシュタルト視覚論——サイエンス社（英文原著, 1979）
- Mather, G. (2006). Two-stroke: A new illusion of visual motion based on the time course of neural responses in the human visual system. *Vision Research*, **46**, 2015-2018. ([http://www.lifesci.sussex.ac.uk/home/George\\_Mather/Papers/Mather2006.pdf](http://www.lifesci.sussex.ac.uk/home/George_Mather/Papers/Mather2006.pdf))
- 岡部望・森宏樹 (2002). 映像・アニメ入門
- Palmer, S.E. (1999). *Vision science*. Cambridge, MA: MIT Press.
- フェルストラテン, F.A.J.・蘆田宏 (1997). 注意と運動視機構の関係 信学技報, HIP96-40, 7-12.
- Wertheimer, M. (1912). Experimentelle Studien über das Sehen von Bewegung. *Zeitschrift für Psychologie*, **61**, 161-265.
- 吉村浩一 (2006). 運動現象のタキシノミー——心理学は“動き”をどう捉えてきたか——ナカニシヤ出版