

『へなへなエンピツ』
——視的撓いの発生についての考察——

池田 進 ・ 鈴木 公 洋 ・ 倉田 純 一

A Flacci-flabby Bending Pencil:
How and why does visible flexion occur?

Susumu IKEDA ・ Kimihiro SUZUKI ・ Junichi KURATA

Abstract

If we loosely hold the end of a pencil with a thumb and an index finger and wave it up and down, we can then see that the pencil appears flaccid and flabby, like a stick of rubber. This illusionary phenomenon is called the rubber pencil illusion (RPI). This study reports some researches on RPI experiments performed in our laboratory, and discusses the mechanism of the apparent flexibility.

First, we consider the properties of visual functions that we see in kinematics, which are inherent in an object, and determine when such functions develop after birth. Next, we report the analysis of the loci of RPI movement by Tamai (1987) and Kitano (1996), the creation of RPI generating equipment by Nagai (1981), and the observations performed by Kitano (1996) and Azefu and Hiraoka (1998). We also consider the generation of RPI from the viewpoint of an important property of the visual system: visible persistence. Finally, we analyze the sensory impressions of RPI from the viewpoint of the properties of visual functions.

Key words : Rubber Pencil Illusion(RPI), Illusion, Visible flex, Motion perception, Blur, visible persistence

抄 録

エンピツの端に近いところを親指と人差し指でゆるく支えて水平にし、波うつように上下に揺らすとエンピツがゴムの棒のようにへなへたと撓って見える。この錯視現象はラバー・ペンシル イリュージョン (Rubber Pencil Illusion: RPI) と呼ばれている。本研究では過去、本学において行われたRPIにかんする研究を紹介し、視的撓いの発生について考察した。まず、対象に内在するキネマティックスを“見る”視覚系の機能特性、そしてそれらの機能が発生後いつごろまでに形成されていくのかについて考察した。次に、玉井 (1987) ; 北野 (1996) らによるRPIの運動波形の解析、永井 (1981) によるRPI発生装置の作成、北野 (1996) ; 畦布・平岡 (1998) ; 原 (1998) らの実験的アプローチによるRPIの現象観察が報告された。また、視覚的機能である視覚的持続の観点から、RPIの現象発生について現象観察を踏まえながら考察した。最後に我々がRPIを興味深い、あるいはおもしろいと感じる感性について考察した。

キーワード: ラバー・ペンシル イリュージョン (RPI)、錯視、視的撓い、運動知覚、
画像のボケ、視覚的持続

えんぴつは撓うか？

1 筧の運動

竹の筧を強く振ると撓う。つまり、筧の手もとの部分が振る方向にまず動き始め、先端の部分が遅れて動き出す。やがて先端部の動きが速くなって、動きが遅くなりはじめた手もとの部分を追い越し、振幅の極大位置まで行って停止するころには、手もとの部分は反対方向に向かって加速を始めている。この運動の繰り返しが、一本の竹の筧全体の撓いのキネマティックスをかたちづくっている（図1）。すなわち竹の筧は、かく撓う。



図1 筧の撓いのキネマティックス。
図では長い棒を振って筧状に撓らせたときの変形の時間的な継起が示されている。1880年代にエティエンヌ＝ジュール マレが運動する対象を1枚の乾板の上に多重露出して連続的に記録する方法を考案して、クロノ・フォトグラフと呼んだ。写真は実験中のマレ（1886）。E.マレ（横山正・訳）『運動』リプロポート, 1982, p. 199より。

この形式にしたがう筧の運動は、それを見る人にとって筧が撓って見えるという印象を引き起こす。撓いのキネマティックスが引き起こすこの撓いの印象を視的撓いと呼んでおこう。

2 バットは撓うか？

図2に示した劇画の一場面では、打者がボールを強打したときのバットが撓んで描かれている。観照者にとってそれは不自然な歪みとしてではなく、あり得る撓みとしてかえってヴィヴィッドに激しい動きを体感させる役をはたしている。

このような図像表現の心理的妥当性は2点あると思われる。その第1点は、ボールを捉えた瞬間のバットは、物理的にも撓んでいるであろうことである。それは肉眼ではとらえることができない識閥下のできごとであるにもかかわらず、そのように生起すべき事象に矛盾しない変化の形式を図像が備えていることによって、観照者はそれをキイにして激しい動きの体感が解発される。

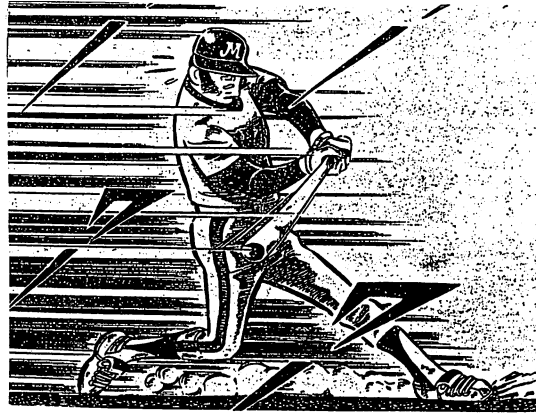


図2 バットは撓うか？
水島新司『光の小次郎』少年マガジン1982, No.14より。

考えられる第2点は、打者が強振するバットは竹の筥の撓いのキネマティックスと相同の構造をそなえているであろうことである。すなわち、構えられたバットは、始動とともに打者の手もとのグリップの部分から動きだし、遅れて出てきたヘッドの部分はボールにミートする位置で最高速度に達し、バットを振り終えつつある打者の手もとの動きを追い越して遠くまで回転して振り切られていく。このときのバットのキネマティックスは竹の筥のキネマティックスと相同であることがわかる。剛体としてのバットはこのとき撓っているはずがない。それにもかかわらず、作家はその運動をバットを撓ませて見せるという技巧において描きこんでいるので、観照者はそれをキイにして外的事象としての対象の運動の形式——強振されたバットの激しい運動を体感する。

このように、対象の運動に内在するダイナミックスやキネマティックスを“見る”ことができるのが視覚系の得意わざである（こむずかしくいえば、視覚系の機能特性は環境のそのような特質に同調されている）。

そこで、バットの図像のこの第2点、すなわち竹の筥のキネマティックスに相同の形式を、棒状の剛体の運動形式のなかに忍び込ますことができたならば、決して撓うはずがないその棒をあたかも劇画のバットのように現実に撓って見せることができるだろう。（劇画の作家はこの視的効果を先取りして図像のなかに忍びこませた。）『へなへなエンピツ』の手品はその一例である。

3 ラバー・ペンシル イリュージョン

『へなへなエンピツ』の手品は幼児向けの他愛ない手すさびである。エンピツの端に近

いところを親指と人差し指でゆるく支えて水平にし、波うつように上下に揺らすとエンピツがゴムの棒のようにへなへなと撓って見える。エンピツを上手に動かすと、エンピツが撓って見える印象はきわめてリアルなので、こども達はすっかり騙されて不思議がるという趣向である。そのときエンピツはまるでゴムで作った棒のように撓って見えるので英語ではこれをゴム製エンピツの錯視 (Rubber Pencil Illusion : RPI) と呼んでいる (Pomerantz, J. R., 1983)。

こうして、視的撓いは一義的には可撓的な棒状の物体の運動において起こるのだが、一定の条件が満たされると一見して撓うはずがないとわかる剛体においても、それが錯視的に撓って見えてしまう。以後ここでは、へなへなエンピツの印象をPomerantzにならってRPIと表記することにする。

4 RPIのテクニック

RPIはエンピツを上手に操ると起こるが下手だと起こらない。いま、RPIの際のエンピツの運動を記述するために、エンピツの3ヵ所を選んで定点とする。3つの定点はH点、E点、Fℓ点である。H点はエンピツの先端 (Head Point)、E点はエンピツの後端 (End Point)、Fℓ点はエンピツを指で支える点、支点 (Fulcrum) である。

RPIを起こすにはエンピツに2種類の運動成分を与えなければならない。その1つはFℓ点を中心とする回転運動であり、もう1つはFℓ点の直線的な移動運動である。

回転運動成分は、エンピツの両端のH点とE点が、Fℓ点を中心に逆方向に円弧を描いて往復運動する回転角度によって特定できる。移動運動成分は、Fℓ点が上下に直線的に往復運動する運動距離によって特定できる。

エンピツの重心からできるだけ離れた位置をゆるく指で支えて上下に揺るとエンピツの先端は弾みでそれより強く振動する。つまり、往復するFℓ点の移動運動に、Fℓ点を中心とするH点・E点の回転運動が付け加わる。そこでおのずと2つの運動成分が合成された複合運動ができあがる。このとき、複合運動の中心 (center of moment) はFℓ点となる。

RPIは、合成される2つの運動成分それぞれのパラメータの組み合わせに依存すると思われる。したがって最適のパラメータの組み合わせを実現するのがRPIのテクニックである。

I. ラバー・ペンシル イリュージョンの現象

1 エンピツはどのような動き方をしているか？

①運動の波形

RPIを起こすエンピツの運動の様相を写真に撮影すると図3のようである。図3では蛍光塗料をぬった長さ30cmほどの木の棒に紫外線を当てながら、RPIが起こるように揺り動かし、長時間露光（3秒間）で撮影したものである。

玉井秀樹（1987）はこのような状況をVTRに撮影して、揺り動かされている棒の運動を解析した。いくつかの試行錯誤を経て、玉井は基本的につぎのような方法を採用した。

5 × 5 × 300mmの角材を用いた。角材の両端と角材を指で支える点すなわちH点



図3 へなへなエンピツの手品。
蛍光塗料を塗った30cm程の長さの棒を紫外線で照らして、揺り動かし棒が撓って見えるところを長時間露光して撮影した。

(HeadPoint)、E点 (End Point)、Fl点 (Fulcrum) を定点として、そこに白色のマーカーをつけた。

Fℓ～H間とFℓ～E間の距離の比が、8 : 2、7 : 3、6 : 4、5 : 5 になるようにFℓ点を変えて定点の位置を4種類に設定した。

Fℓ点を指で支えて角材を振動させてRPIが発生しているところを、暗室内で黒色紙を背景にして600Wのビデオ・ライトで照明し、5秒間ビデオ撮影した。(安定したRPIの映像を得るためにいくつかの困難を克服することが必要であった。)

得られた4種類の映像からそれぞれに、100分の3秒ごとに49組からなる3定点の座標値データを入手した。これら定点の座標値を時間軸に沿ってプロットしたのが図4である(図4の右には49組の原データを重ね合わせて表示している。)

さらに玉井は実測データの波形に含まれると思われる誤差を最小化し、理想的と思われる波形を特定することによって運動のパラメータを明確にしようと試みた。

そのために、実データの波形に修正を加えるごとに関数式を推測してそれをグラフに表現する手順を3点の組み合わせのすべてについて繰り返して、最良の波形をもたらし関数式の組み合わせに到達した。図5は到達することができた理想的と思われる波形とそれをもたらし関数式を、比率8 : 2と5 : 5の場合について示したものである。

玉井の実験の長所は、RPIを生じている運動対象の各部の運動の特質を、標本として選んだ3定点の実測データから推測しようとした点にある。実測データから探索的な方法で推定したモデルはかなりきれいな余弦曲線として表現された。これは玉井の功績である。しかしいっぽう、玉井の実験の弱点は3つの定点の動き方を時系列的に関係づける時間的統合が描ききれていない点にある。図5では縦軸の目盛りが単純にモニター画面上の位置を表すことに注意。図の波形は運動対象の3定点の時間・空間的表示である。RPIの発生にとっては移動しつつある3点の位置関係の情報 (topological invariants) とともに3点の運動速度・運動方向の情報 (dynamic invariants) との間の相互的な関係が重要で、それを図5の3つの曲線が示す定点の位置関係の情報だけから明快に読み取ることはできない。

②運動の時間的統合

北野貴裕 (1996) は玉井の実験の弱点を一つの思考的な実験によって克服しようとした。北野は各点の運動の方向と速度が時間的にどのように推移するか (dynamic invariants) を視覚化した。

北野はまず玉井 (1987) の成果を参考にして定点の運動の性質を正弦運動であると仮定

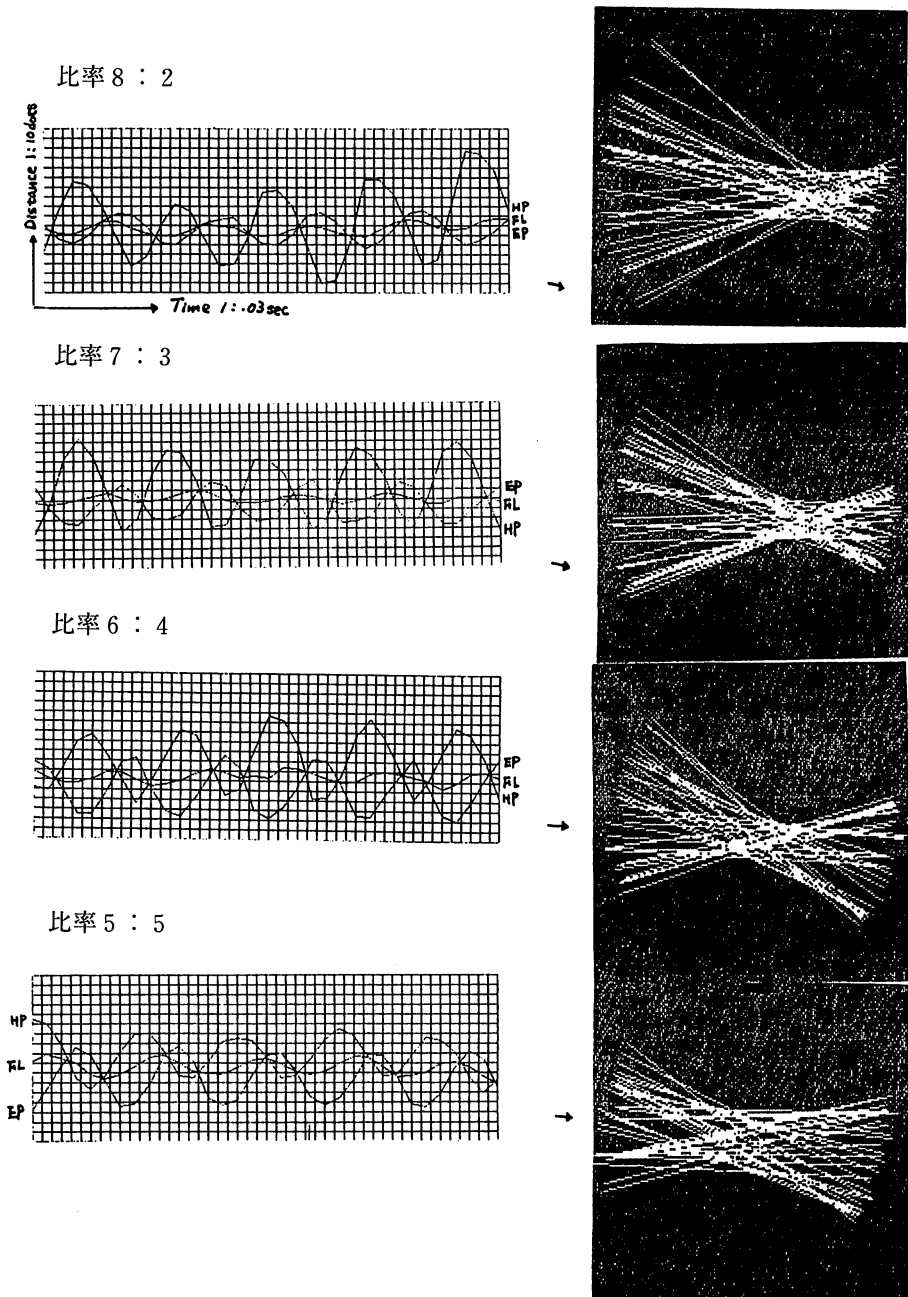


図 4 撓って見える棒の3つの定点（HP，FL，EP）の運動の波形。
横軸は時間、縦軸はモニター画面上の定点の位置を表す。玉井秀樹（1987）より。

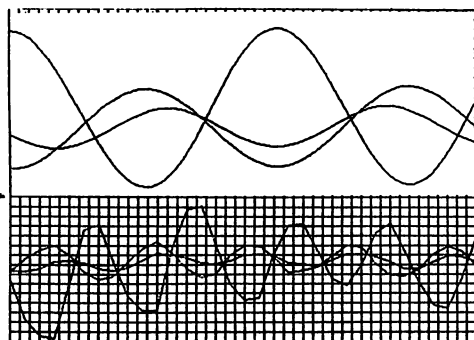


Fig-4 : 比率 8 : 2

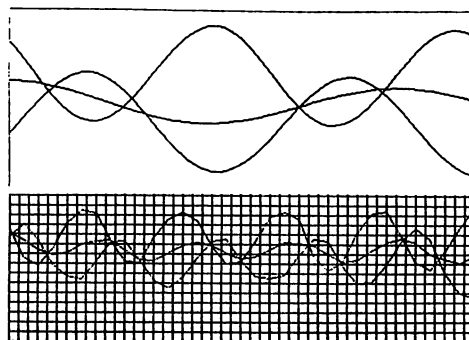


Fig-5 : 比率 5 : 5

<p>8 : 2 $HP-F(x) = 4 \cos .83x + 1$ $F\ell-F(x) = \cos (x + 1.88)$ $EP-F(x) = 2 \cos (.83x + 3.14)$</p>	<p>5 : 5 $HP-F(x) = 2.5 \cos (.91x + .94) + 1.5$ $F\ell-F(x) = \cos .56x$ $EP-F(x) = 2.5 \cos (.83x - 1.88) - 1$</p>
--	--

図5 撓って見える棒の3定点の運動の模型的な波形(上)とそれを導く関数式。
 実測データ(下のグラフ)から試行錯誤的に推定された。玉井秀樹(1987)より。

した。図6はその仮定に立ってFℓ点とH点の運動を時間軸上に関係づけたものである。縦軸は定点の運動の方向と距離を表す。図ではFℓ点の移動運動とFℓ点を中心とするHP点の回転運動が両運動の位相差(両運動の周期は常に等しい)において関係づけられている。

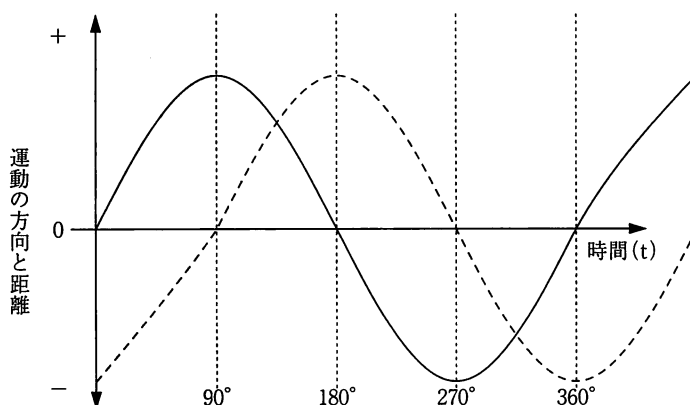


図6 撓って見える棒の2つの定点(HP, Fℓ)の運動の速度と方向の時間的關係。
 横軸は時間、縦軸は定点の移動の方向と距離を表す。

図6は位相差が90°の場合の定点の運動を示す。図6によれば、Fℓ点が上に向かって

負に加速しながらやがて最高点に達して下降運動に転じようとするとき、HP点は中間点を最高速度で上に向かって通過中である。そしてやがてHP点が減速しながら最高点に達したときにはFℓ点は下に向かって中間点を最高速度で通過している。

もしも位相差が 180° であるならば、Fℓ点が最高点に達した時点でHP点は最低点にありFℓ点が最低点に達した時点でHP点は最高点にあるだろう。位相差が 0° であるときにはFℓ点とHP点は同時に最高点にあり、あるいは最低点にあるはずである。

このような複合運動に関与するパラメータとしては、回転と移動の両運動の関係を記述する位相差のパラメータに加えて運動周期のパラメータがあり、さらに加えて回転運動の回転角と移動運動の移動距離のパラメータがある。これらの組み合わせにおいてさまざまな複合的な運動が形成されるはずである。（Pomerantz（1983）はこれらのパラメータを組み合わせた運動をコンピュータ画面上に発生させ（表1および図12参照）、そのそれぞれについてRPIの起こり方を被験者に評定させる実験をおこなっている。）

2 “Blowing in the Wind”

Cutting, J. E. (1982) は樹木様の図形の枝や幹の実体を消去し、枝の先端の位置だけを黒点で示して画面上に提示して、枝が風に吹かれて撓うような形式の回転運動をさせた。回転の一次的な中心を幹の根っこの位置（画面上ではこの点は見えない）に置いて各枝が幹から枝分かれする点（画面上ではこの点も見えない）を回転させ、その各分岐点を二次的中心として各枝の先端の黒点を回転させた。回転は、位相をずらせたものと位相を固定したものと2つのモードを用意した。この画像を観察した被験者は、どちらのモードについても樹が風に吹かれて揺れる姿を知覚した。

観察者は運動に一定の組織的な形式が与えられていると、実体は見えなくても与えられた定点の運動だけからその実体と動き方の両方をリアルに知覚することができる。

玉井（1987）はRPIが起こるように振られた棒のうち、画面に提示された3カ所の定点の運動だけで十分にRPIがおこることを確認した。

Ishiguchi, A. (1988a ; 1988b) も同様に光点の提示によって十分にRPIが起こることを各種の条件について実験的に確かめた。光点の数でいえば、両端の2点だけを提示した場合の方が、それに中央部を加えた3点、 $1/4$ の部分を加えた5点の光点を提示する場合よりRPIが起こりやすいことがわかった。

Huk, A. C., Durgin, F. H., Banton, T.A., Aks, D., Lewis, D. A., Gold, S. & Jain, R. (1997) は、振動の中心部 $3/4$ をマスクして見えなくして、両端部の運動だけを提示しても十分に

RPIが起こることを明らかにした。

3 RPIのための実験装置の製作

前々節1-①および1-②ではRPIの運動の特質を定点の運動特性として記述することができた。そこで、その運動特性を機械装置によって実現するための工夫をおこなった。図7はその機械装置の外観を示している。

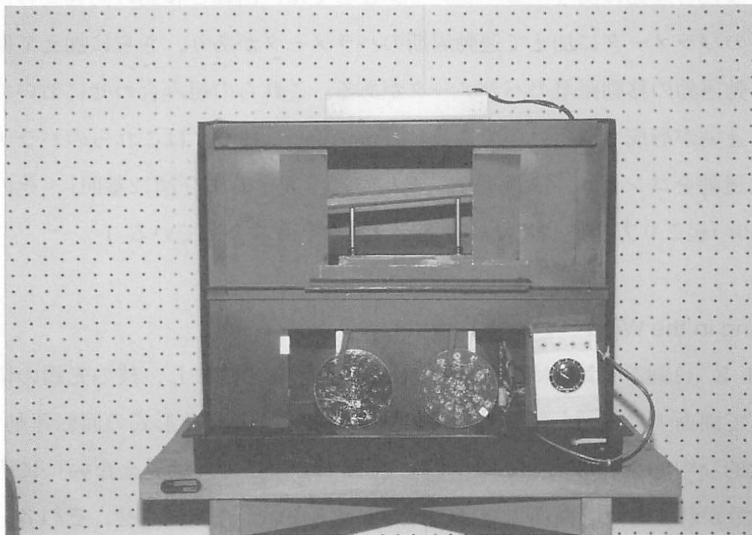


図7 RPIのための実験装置。

この機械装置の着想は永井貴之（1981）の実験に始まる。永井は最初、RPIを得るためにPomerantzと同様にコンピュータ画面に動画像を発生させることを試みた。しかし高速の画像は画面上に残像を残すので画像は尾を引いて見えてしまう。玉井（1987）の作業においても、画像にストップ・モーションをかけてライトペンで座標を定めようとするときに、どの画像が実の像であるのかを決めるのに困難があったことを報告している。視覚系内の残存効果（残像や視覚的持続など）ではなくして刺激提示面にそのような残存効果があっては困るので、そこで永井は機械的に刺激を提示する方法を工夫した。

永井は2枚の直径20cmの円盤を、中心を結ぶ線が水平になるように配置し、夜光塗料を塗った棒をピストン状にとりつけた。2枚の円盤をベルトで結んで可変モーターで同方向に回転させた。棒を円盤にとりつける位置を変えることによって棒の運動の振幅と位相差を、モーターの回転速度を変えることによって運動周期を、調整することができる。暗室

中で棒の運動を観察すると明らかにRPIが発生した。

基本的にはこの永井のデザインに沿って、精度の向上と使い勝手を考慮して設計・製作したのが図7の機械装置である。製作は関西大学工学部のワークショップに依頼した。

2つの円盤はタイミングベルトによってサーボモーターに結合されている。円盤の直径は12cm、中心間の距離は16cm。円盤のそれぞれには放射状にネジ穴が刻まれていて、腕木をネジでとりつけることができるようになっている。腕木はさらに直線的に往復運動するピストンにつながっているため、円盤を回転させると、2本のピストンに正弦波的な上下運動が伝えられる。刺激に用いる対象をこの2本のピストンの先端に取り付けて被験者に提示することができる。

2枚の円盤のネジ穴はそれぞれに円盤の中心から放射状にのびる12本の直線（放射線の中心角は 30° ）に沿って10mm間隔で穿たれている（ネジ穴の数は1列に5個、したがって、1枚の円盤のネジ穴の数は60個である。）左右2枚の円盤のそれぞれにおいて腕木を取りつけるネジ穴を、随意に選んで組み合わせることによって、位相差を 30° ステップで調整することができる。同様にして、振幅を20mmステップで調整することができる。また、左右端の振幅の組み合わせで運動の視点の位置を変更することができる。

運動の周期はモーターの回転速度を変えることによって無段階に調整することができる。

4 実験

①北野貴裕（1996）

北野は最初に前節3の装置によって運動している刺激対象（ピストンの先端にとりつけた1本のプラスチック棒）の記録と観察をおこなった。刺激対象の幅は10mm、長さは260mm。蛍光塗料をぬってブラック・ライト（6w）を照射した。

対象の運動周波数は0.5 rps に一定。位相差を7段階（ 0° , 30° , 60° , 90° , 120° , 150° , 180° ）に変化。RPIの支点にあたる位置を、左右のピストンの振幅の組み合わせによって変化させた（左右の円盤へ腕木を取り付けるネジ穴の組み合わせを変えた）。左右の振幅の組み合わせは14通り（20-40, 20-60, 20-80, 20-100, 40-40, 40-60, 40-80, 40-100, 60-60, 60-80, 60-100, 80-80, 80-100, 100-100 各mm）。したがって、観察された対象は98種類である。

この98種類の刺激対象が写真に撮影された（露出時間2秒）。そのうちの1つを図8に例示する。画像には滑らかに撓う包絡線によって囲い込まれた運動域が描き出されている。

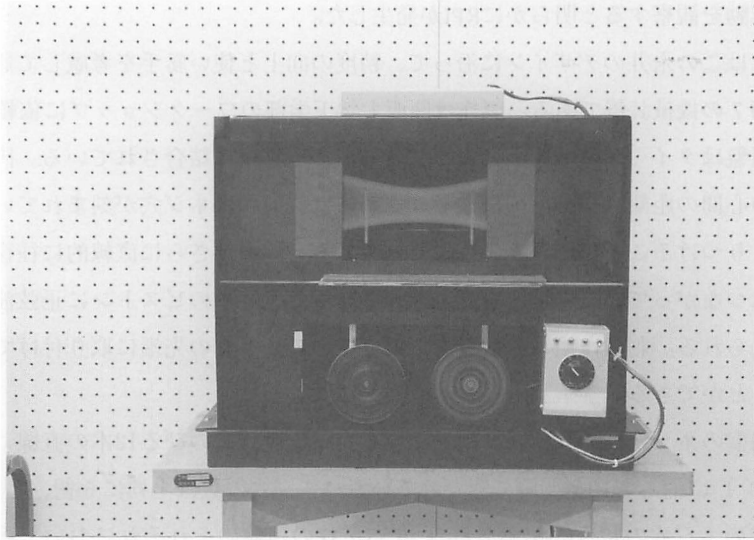


図8 運転中の実験装置。
左右の回転板に接続されたピストンによって運動する蛍光棒を長時間露光して撮影した。

つぎに被験者に、運動する刺激対象がどのように見えるかを質問した。刺激の下方にマーカーを乗せたスケールを水平に置き、被験者にとって対象が曲がって見える場所をマーカーで指摘させた。「棒の左端から、曲がって見え始める部分の下に目印を移動してください。次に右端から、曲がって見え始める部分の下に目印を移動してください。最後に、いちばん曲がって見える部分の下に目印を移動してください。」

被験者が知覚する撓みの形は写真に記録された包絡線の形におおよそ一致するが、知覚された撓みの方が包絡線の形よりも強く撓って見えるようである。また、いちばん曲がって見える部分の位置は写真に見えるような包絡線の曲がり方と一致しない。

位相差が 60° と 120° のときには撓って見える部分が見えにくく両端の部分にくらべて色が薄く見え、長く見ていると棒が波状にS字状に曲がって動くように見える場合があった。

全般に撓みの運動は見えるが撓って見える部分がどこであるかを明確に指示させることはむずかしい。被験者にとってまがって見える部分の位置を決定することは困難のようであった。

位相差が 180° のときには鳥の羽ばたき状の運動が知覚された。

②畦布伸宏・平岡直樹（1998）、原 恭子（1998）

畦布・平岡（1998）は北野（1996）と同じ装置を使って、運動の周波数と位相差がRPI

におよぼす効果を調べた。周波数は4段階（1, 2, 3, 4rps）、位相差は7段階（0, 30, 60, 90, 120, 150, 180°）とし、それを組み合わせた28種類の刺激を用意した。刺激の提示順序はランダム、提示時間は10秒、観察距離は1.5メートル。

被験者は運動する光の棒が曲がって見える程度を7段階評定尺度で評定した。被験者数は21名。

図9には位相差と評定平均値の関係が周波数ごとに示されている。全体に、周波数が大きくなるほど評定値が大きくなる（振動の速度が速いほどRPIが強く起こる）傾向が見られる。周波数が3～4 rpsの条件では位相差90°のときに評定値は最大になり、90°から隔たるほど次第に小さくなる傾向が見られる。周波数が1～2 rpsの条件では評定値が大きくなるピークが位相差の小さい方にずれて、60°のときに最大になる。

原（1998）はRPIが現れるための振動の速度閾を求める実験をおこなった。閾値は上昇

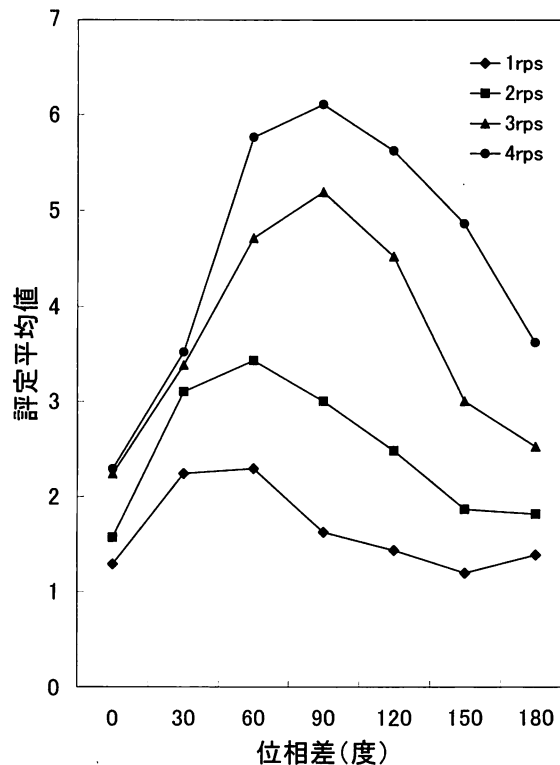


図9 蛍光棒の左右の支点の運動の位相差と見かけの撓いの程度の評定値の関係を運動の速度（周波数）ごとに示した。速度が速くなるほど撓いの評定値は大きくなる。速度の速い条件では位相差が90°のときに評定値が最大になるが、速度が遅い条件では60°のときに最大になる。畦布・平岡（1998）より。

系列と下降系列について求められた。測定手続きは実験者調整法による。

与えられた教示はつぎのとおり。

「この覗き穴から光っている棒を見てください。これがゆっくりと動き始め、徐々にスピードを上げていきます。棒が曲がって見えはじめたら『曲がった』といってください。そのあと、スピードが徐々にゆるくなっていきます。そこで棒が曲がって見えなくなったら言ってください。それ以外にもなにか感じたことがあったらその場でくわしく述べてください。」

実験条件は、刺激の左右端の振幅を60mmに一定とし、位相差を30, 60, 90, 120, 150, 180°とする条件（実験1：被験者数12名）と、刺激左端の振幅は60mmに一定、刺激右端の振幅を20, 40, 60, 80, 100mmに変化しそれぞれに位相差が30, 60, 90, 120, 150°である条件（実験2：被験者数6名）がとりあげられた。

左右端の振幅が60mmに一定の条件（実験1）では位相差が90°で最も閾値が低く（ゆっくり動かしてもRPIが起こりやすく）、それより位相差が大きくなるほど、あるいは小さくなるほど、閾値は高くなる（もう少し速く動かさないとRPIが起こらない）傾向が示された。ただし、30°と180°の条件ではデータの欠落が多くなる。すなわちこのような位相差においては識閾の検知が難しくなる傾向が強くなるようである。

また、全体の傾向として、上昇系列よりも下降系列の方が閾値が低くなる。すなわち、振動の速度を徐々に速くまたは遅くしていくとき、RPIが起こるためには速度を速くする必要があり、逆に、見えているRPIが見えなくなるためには速度をそれよりも遅くする必要があること、いいかえれば履歴現象が（位相差90°を除いて）どの位相差の条件においても起こっていることがわかる（図10）。

刺激の両端の振幅の大きさの組み合わせを変える条件（実験2）、すなわち、運動の支点を右または左へ移動させる条件では、実験1とは傾向を異にするデータが得られたが、すべての組み合わせをカバーしていないので明確な結論を述べることはできない（図11）。

畦布・平岡（1998）と原（1998）に共通する傾向は、位相差が60～90°のときにRPIの出現閾が低くなり、位相差がそれよりも小さくなるほど、あるいは大きくなるほど、閾が高くなることである。

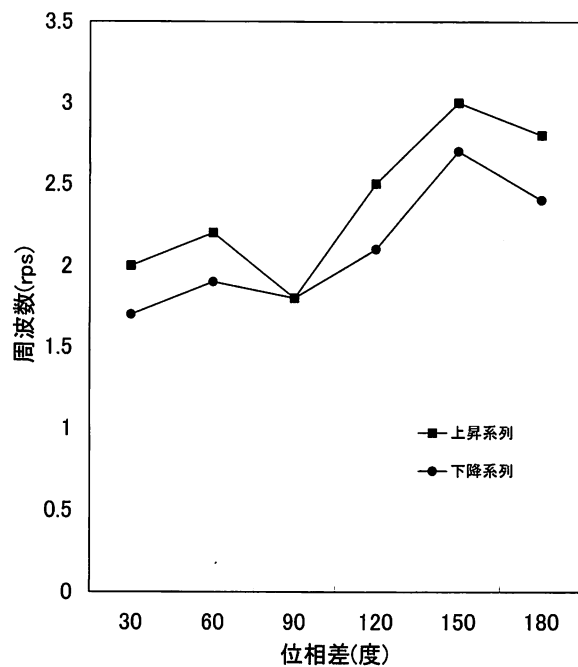


図10 蛍光棒の左右の支点の運動の位相差と速度閾の関係。原（1998 実験 1）より。

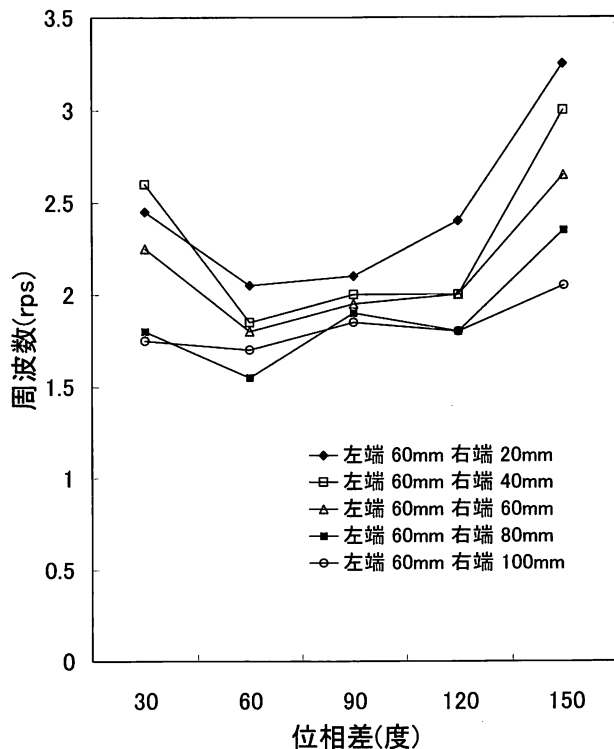


図11 蛍光棒の左右の支点の運動の位相差とRPIが出現する速度閾の関係。すべての条件で位相差が60°のときに閾値がもっとも低くなる。原（1998 実験 2）より。

5 stiff vs. flex

RPIは剛体であるはずの木棒がある種の特定の動き方をしたときに起こる視的撓いである。その特定の動き方とは、本論冒頭の1, 2節で述べたように、筈打ちのキネマティックス固有の要素が運動形式として対象に与えられた場合である。

このとき起こる視的撓いの印象は筈を打つときの筈の実際の撓いのようにリアルである。それにもかかわらず、北野(1996)の被験者のように、どの部分がどのように曲がって見えるのかを指摘させようとするとならなくなってしまうたり、長時間観察すると不規則に波うって見えてくるなどのヴァーチャルな特質も同時に現れてくる。

このことは、そのような視的撓いが剛体の振動によって起こされていること、つまり、筈のような実際の撓いを起こさない剛体が現にそこに対象として存在していることによるのかもしれない。刺激対象の剛体としての形態と可撓体的なキネマティックスとのコンプロマイズとしての視的撓いの性質が示されてあるのであろう。Ishiguchi (1988a) の条件で3点あるいは5点の提示よりも両端部の2点だけの提示の方がRPIが起こりやすいこと、あるいは、Hukら(1997)のように剛体の振動の中心部をマスクして見えなくして両端部の運動だけを見せたときにRPIが起こることはこのような事情に関連しているのではない。理由は、2光点あるいは両端条件では対象の形を規定するトポロジカルな要因の拘束力が不確定であり、いっぽう可撓体の筈打ちのキネマティックスを規定する運動の速度-方向の不変的關係は十分に保持される。したがって、2光点あるいは両端条件の方がRPIが見えやすい。

視的撓いにとって対象の運動の形式が必要条件であり、その形式を対象の可撓性をもたらしているということは十分条件である。一般に、視覚系が弾性的な事物の変形形式に同調されていることが対象の撓いの特徴検出にはたらいっているのではないか。

6 変形形式の識別はいつごろから起こるのか？

Gibson, E. J. & Walker, A. S. (1984) は生後間もない子供の弾性の認知を実験的に研究した。彼らの被験者は、第1実験と第2実験では生後約1年の幼児、第3実験では生後約1か月の乳児である。

第1実験と第2実験の要点はつぎのとおり。被験者は母親の膝に座って机の上に出された円板を自由に探索する。被験者の半数にはスポンジ製の円板、半数には木製で薄いスポンジを貼った円板が与えられる。探索は、第1実験では暗黒中で(即ち触運動感覚だけで)行なわせ、第2実験では明室内で(即ち目でも見ることが出来る状態で行なわせた。そ

の後に円板が取り去られて前方のスクリーンに2種類の動画像が左右に並べて映写された。1種類は円板が剛体の変形形式にそって運動する映像、もう1種類は円板が弾性体の変形形式にそって運動する映像で、被験者がこれらの映像にどのように反応するかが記録された。

結果、探索の仕方としてさまざまなカテゴリに分類できる動作のパターンが現れたが、第1実験第2実験とも、スポンジ製の円板を与えられた被験者群では、木製の円板を与えられた被験者群よりもそれを指で抑えつける動作が有意に多く見られ、木製の円板を与えられた被験者群では、スポンジ製の円板を与えられた被験者群よりもそれを机や他の物に打ちつける動作が有意に多く見られた。

映像に対する選好では、スポンジ製・木製いずれの円板を与えられた被験者群も、自分が先刻探索した対象と同じ変形形式をもって展開する映像、すなわち、スポンジ製の円板を体験した被験者群はスポンジ製の円板の映像を、木製の円板を体験した被験者群は木製の円板の映像を、好んで眺める傾向が見いだされた。

第3実験では生後26～45日の56人の乳児が被験者であった。被験者の口に丸棒の端を入れてやり、しばらくそれをしゃぶらせた後で同じ丸棒を動かして見せて、被験者がどのように反応するかを確かめようという実験である。

被験者の半数には加熱して柔らかくした多孔性プラスチックの丸棒をしゃぶらせ、半数には硬質プラスチックの丸棒をしゃぶらせた。1分後にそれを取り去って、正面のスクリーンのスリットから左右に2個の丸棒を出して2様の動かし方で動かして見せた。1個は剛体の運動形式すなわち縦横に回転させるやり方で、もう1個は弾性体の運動形式すなわちリズムカルに圧縮するやり方で運動させた。

柔らかい丸棒、硬い丸棒のいずれを与えられた被験者群も自分が先刻体験した対象と違う変形形式で運動する対象、すなわち、柔らかい丸棒を体験した被験者群は回転運動する対象を、硬い丸棒を体験した被験者群は伸縮運動をする対象を好んで眺める傾向が見いだされた。

1歳児がなぜ馴化した対象を視覚的に選好し、1か月児がなぜ新奇な対象を視覚的に選好したのかその理由はわからない。しかし、1歳児においても1か月児においても、提示された2様の運動に備わる変形形式を視覚的に識別できたことは事実である。そしてこの種の視覚的な識別が、生後のきわめて早い時期の対象事物の多重的な感性体験（触ったり叩いたりしゃぶったり、見たり聞いたり……）に始源を持つことが示された点にわれわれは注目することができる。

Gibsonらの実験はヒトの感性的識別機能の行動的な意義を考察するに際して示唆的である。ことに第3実験には多く興味が惹かれる。彼らの被験者たちは1か月の乳児であった。そして被験者たちの識別が高度に体制化されたものであることがあきらかにされた。高度な体制化が1か月という生後のきわめて早い時期に存在することは重要である。しかしそれと同時に、被験者たちがその時期すでに生後すくなくとも30日の生活体験を持っていることがまた重要である。だから生後初期の感性的識別機能を論ずるにあたっては、生得と習得の問題は避けることができない論点になると思われる。

識別の習得の領域に属する論点は、いわゆる初期学習の基本問題に関連するはずである。Gibsonらの実験はこの基本問題にかかわるのでこれから後十分に考究されなければならない。

実験ではまず、馴化の手続きで被験者は対象を探索した。実験3では視覚を極力制限したなかで対象を口唇と口腔で探索して、その体験がテストの手続きで対象の視覚弁別に転移された。実験1と2では可能な運動動作すべてによる探索が許されたので、対象を掴む・眺める・押す・叩く・投げる・しゃぶるなどのさまざまな動作が起こり、その体験がテストの手続きで対象の視覚弁別に転移された。

この実験的知見が意味するところは、探索をとおして把握された対象の不変的特質が、“剛性”や“弾力性”などと呼べるところの通感性的に不変の様相に統合されて対象に内在化され、その様相に適合的な視覚信号が与えられると、それを契機にして、対象に内在する不変的特質が抽出できるように感覚系が同調されるということ、すなわち、ヒトの初期経験とは生得的な感覚が環境のもろもろの事物や事象のあり方に対して同調されていく過程である。

或る事物を環境内の偶発的な感性的条件において把握するだけでなく、事物の環境における持続的恒常的な不変的特質において把握する方略を生後のごく早い時期に形成しておくことが初期経験の役割である。この種の方略が早い時期に形成されるので、偶発的に当面する雑多な感性刺激に対して最初から適応的に対処することができる。そういうわけで、目で見て分かるということが生態的にどういうことを意味するのかということをGibsonらの実験は示唆している。

Ⅱ．ラバー・ペンシル イリュージョンはなぜ起こるか

1 RPIは何故見えるのか。

① 時間的統合（視覚的持続の機能）による空間的積分

Pomerantz (1983) が明らかにしたように、RPIは直線の2方向の運動成分が合成されることによって出現する現象であると考えられる。1つは上下の平行運動成分であり、もう1つは回転運動成分である。Pomerantz (1983) は表1に示すような2方向の運動成分の合成によるいくつかの運動パターンを画面上に提示して、被験者に線分の曲がり具合を評定させた。図12は表1に基づき作成された線分の運動軌跡、1サイクル分を表したものである。その結果、図12で運動軌跡の上縁と下縁が曲がっているような軌跡を描いた刺激パターンで、RPIすなわち線の撓りを確認することができた。このことから運動軌跡の上縁と下縁が曲がっているような状態であることが、RPIを知覚する上での必要条件であることが示唆された。当然のことであるが、ここでいう軌跡の上縁と下縁の曲線は、線分の1サイクルの運動軌跡により出現したものであり、線分の一瞬の状態を表したものではない。1サイクル分の時間内に時系列にずれて出現した線分が空間的に重なりながら上縁と下縁にあたる部分の曲線を作り上げたのである。線分の運動時間（1サイクル分）の空間的積分によって出現した曲線であるともいえる。そしてこの曲線が出現するには、視覚的持続という視覚的な機能が必要である。

② どれくらいの視覚的持続時間が必要か

視覚的持続とは、刺激が提示された後、消失しても直ちに見えは消えず、見えが何らかの形で残ることをいう。自分の指を眼前で速く左右に振ると、視覚的持続の機能によって指が実際にその場所になくとも見えることは簡単に確認できよう。RPIの場合、線分が空間を移動していくわけであるが、実際にある空間位置から線分が消失しても、その空間位置に線分が見えとして残っている。では、上縁と下縁の曲線が見えるには、どれだけの長さの見えが残る時間、すなわち視覚的持続時間が必要なのか。図13の運動軌跡を見ると、上縁の曲線の左端に線分が存在している場合、その線分の右端は下縁の曲線の右端にあることがわかる。上縁と下縁の曲線、それぞれが形成されるには1サイクル分の線分の移動が必要である。そして上縁の曲線が形成されれば、同時に下縁の曲線が形成される（2曲

表1 RPIの運動成分の合成パターン (Pomerantz, 1983, p.366)

Display Number	Type	Amplitude		Phase Angle	Mean Rating
		R	T		
1	H	45	0		13.43
2	H	90	0		16.36
3	H	0	2.19		2.50
4	H	45	2.19	0	13.44
5	H	90	2.19	0	32.81
6	H	0	4.04		4.67
7	H	45	4.04	0	12.19
8	H	90	4.04	0	20.63
9	H	45	2.19	90	28.75
10	H	90	2.19	90	50.31
11	H	45	4.04	90	20.00
12	H	90	4.04	90	44.69
13	H	45	2.19	180	32.19
14	H	90	2.19	180	50.00
15	H	45	4.04	180	37.50
16	H	90	4.04	180	68.88
17	L	45	0		16.88
18	L	90	0		22.40
19	L	0	2.19		5.02
20	L	45	2.19	0	20.31
21	L	90	2.19	0	34.06
22	L	0	4.04		8.44
23	L	45	4.04	0	18.44
24	L	90	4.04	0	34.69
25	L	45	2.19	90	31.25
26	L	90	2.19	90	53.44
27	L	45	4.04	90	17.81
28	L	90	4.04	90	59.06
29	L	45	2.19	180	36.56
30	L	90	2.19	180	58.44
31	L	45	4.04	180	31.56
32	L	90	4.04	180	58.13

(注) 32パターンの運動成分のパラメータとそれに対する撓い具合の評
定値が示されている。この32パターンの運動成分により出現した
RPIは図12に示している。表中のTypeは運動形態がH：正弦波、
L：三角波を示している。AmplitudeはR：回転運動成分、T：平
行運動成分を示している。Phase Angle (位相差) は、先の運動成
分によりもたらされたものである。空白部分はR、或いはTのい
ずれかが0のため、計算不可能である。Mean Ratingは撓い具合の
評定値を示している。

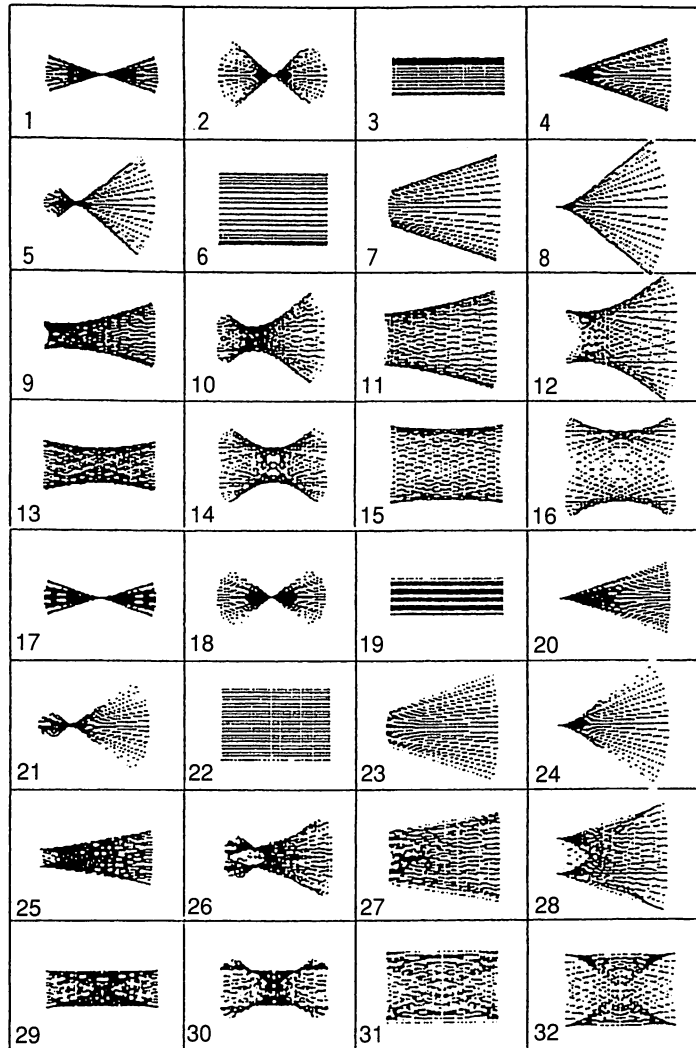


図12 表1に基づきモニター上に表示された線分の運動軌跡（Pomerantz, 1983, p.366）。
表1に示された形式の運動1サイクル分の運動軌跡が図示されている。

線が同時に出現する)。視覚的持続時間が1サイクル分の時間あれば、上縁と下縁の2曲線は同時に出現する。

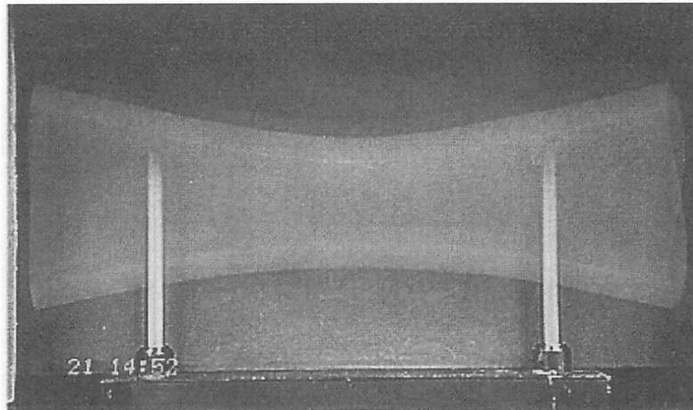


図13 RPIのための実験装置（図7）によって生成された光棒の運動軌跡

③ 2本の曲線に挟まれた空間部分

このように視覚的持続時間が、線分が移動する1サイクル分あれば、運動軌跡の上縁と下縁の2曲線は同時に出現することは明らかになった。ではこの2曲線に挟まれた空間（の見え）はどのようなになっているのであろうか。Pomerantz (1983) の報告にもあるように線分の運動軌跡の上縁と下縁の曲線は、はっきり見えるのであるが、2本の曲線に挟まれた空間部分は薄い線分（ぶれ）が見える。このぶれの部分もまた、視覚的持続の機能により（線分の運動軌跡（1サイクル分）の空間的積分として）見えていると考えられる。では何故2本の曲線は、はっきりと見え、挟まれた空間部分はぶれが見えるのか。

空間位置によって見え（空間的積分値）に違いがでる理由として、運動する線分の各空間位置での移動速度が挙げられる。例えば指を左右に早く振ってみると、指の運動軌跡の両極部分は、指がはっきり見えるが、その両極に挟まれた部分はぶれた薄い指の像が確認できよう。指の運動速度を考えた場合、運動軌跡の両端部分は物理的に静止し、挟まれた部分は移動していることは容易に理解できる。指が静止している部分（運動軌跡の両極部分）は空間的積分値が高くなり、挟まれた部分は空間的積分値が低くなる。視覚的持続の特性から、空間的積分値が高い部分は、像がはっきりと見える。逆に空間的積分値が低ければ、像ははっきりと見えない。刺激（線分）が運動している場合と静止している状態とでは見えの残り方（視覚的持続）は異なるのである。

RPIの見えにおいても、指を左右に早く振った場合の見えと同様のことがいえる。Pomerantz

（1983）；玉井（1987）；北野（1996）らが指摘しているように、線分の各部分の移動速度は各空間位置で異なっている。これはRPIを出現させる線分の運動成分が、上下平行運動と回転運動の2方向の合成によるためである。RPIの運動軌跡において、はっきりと見える上縁と下縁の曲線は、先にも述べたように、時系列にずれて出現した線分が空間的に重なること（線分の運動時間（1サイクル分）の空間的積分）によって作り上げられたものである。この曲線が現れる空間位置は、線分の上下平行運動成分の運動方向が反転する場所であり、これは運動している線分が、その時刻にその位置で物理的に静止していることを意味する。すなわち、両極の曲線は線分の移動が物理的に静止した部分の集合によって形成されたものといえる。その結果、運動軌跡の上縁と下縁の曲線部分は、空間的積分値は高くなり、はっきりと見えるのである。一方、2本の曲線に挟まれた空間部分は、運動速度の高い空間位置であり、空間的積分値は低いため、結果としてぶれが見えるのである。（視覚的持続時間内の）空間的積分値が高い部分である上縁と下縁の曲線部分がはっきりと見え、低い部分である2本の曲線に挟まれた部分はぶれが見えることは、視覚的持続の特性から説明できる。

④ 何故エンピツが撓るように見えるのか

先に言及してきたように、線分の運動軌跡において、視覚的持続の機能から、上縁と下縁の曲線がはっきりと見え、両極の曲線に挟まれた部分はぶれが見えることが明らかになった。そして運動軌跡の上縁と下縁が曲がった線として見えるような運動パターンの場合、Pomerantz（1983）の報告にもあるように、我々はRPIを知覚すると考えられる。さて、この両極の曲線が同時にはっきりと見え、それに挟まれた部分はぶれが見える（図13）ことを理解した上で、次に考えなければならないのは、これがなぜ、1本の線がへなへたと撓うように見えるのかという問題である。RPIはエンピツがへなへたと撓っているように見える現象である。2本の曲がったエンピツが同時に見えるという印象を持つ現象ではない。先の言及だけでは、2本の曲線が同時に出現している（そして2本の曲線に挟まれた部分はぶれが見える）といった状態にすぎない。我々はこれが、1本の線（エンピツ）として、へなへたと撓っているように知覚されるメカニズムを検討しなければならない。

我々が指を左右に早く振ってみると、指の運動軌跡の両極部分（物理的に静止する部分）は指がはっきり見えるが、その両極に挟まれた部分はぶれた薄い指の像が確認できる。そのとき我々は、2本の指が同時に出現しているという知覚ではなく、指の往復運動を知覚する。指の往復運動を知覚するには、何かしら運動をしているということ（情報）を我々

が得ているはずである。例えばそれは手首の運動軌跡であったりする場合もあれば、その現象を起こしているのが本人（自分が指を振っているという事実）であったりもする。しかしながら今挙げたような情報がなくても、我々は往復運動を知覚するのではないか。すなわち、はっきりと見える両極の刺激（指）によって挟まれた空間の見えである「ぶれ（blur, motion smear）」によって我々は運動を知覚するのではないか。（ぶれとしての見えが、両極の間を指が往復運動しているという情報になっているのではないか）。ぶれが見えることによって両極の指の往復運動を知覚すると考えるのである。

我々は、はっきりと見える刺激がなくとも、ぶれが見えることにより、運動を知覚する。例えば扇風機の羽根や飛行機のプロペラ等が高速で回転している場合、我々は円状のぶれを見ることにより、プロペラそのものの形は見えなくても、高速で回転運動していることを知覚する。また図14に示される様に、静止画においても、ぶれの描写により我々は薙刀の回転を知覚する。ぶれとしての見えは物体の運動（移動）を観察者が知覚するのに十分な情報になっていると考えられるのではないか。そしてぶれの両端にはっきりと見える像があれば、我々は自ずとその物体（像）の往復運動を知覚するのではないか。たとえぶれの両極に見える像が物理的には存在しえないものであっても、それがはっきりと視認しう



図14 振り回される薙刀。
薙刀の周囲にぶれを描くことにより、薙刀の回転を表現している。高畑勲『十二世紀のアニメーション ―国宝絵巻物に見る映画的・アニメ的なもの―』1999, p55より。

るかぎりにおいて、我々は両極に見える物体が、ぶれて見える空間を往復運動しているという答え（知覚）を導き出すのではないか。指の往復運動の場合、運動軌跡の両極に見える像は、剛体である指と何ら変わらない見えをしている。RPIの場合、運動軌跡の上縁と下縁にはっきりと見える線（エンピツ）は図13のように曲がったものであるが、その2曲線の間を埋める空間にぶれが見えるのであれば、我々は1本の線が撓りながら、へなへなと上下に撓っているという答え（RPIの見え）を導き出すのではないか。RPIがへなへなと撓っているように知覚するための要因として、曲線に見える運動軌跡の上縁と下縁に挟まれた空間に現れるぶれが重要であると考えるのである。

そこで曲線に見える両縁に挟まれた空間に現れるぶれが、RPIの見えにとって重要なのかを以下に示す現象観察から検討してみたい。

⑤ 現象観察

目的

RPIの見え方について、線分の運動軌跡の上縁、下縁の両極に挟まれた空間にぶれが見えることが重要なのかを現象観察から検討する。

仮説

運動軌跡の両極に挟まれた空間の見えを操作的に変化させた場合、観察者の知覚する現象（RPIの見え方）が変化する。

方法

観察者：健康な視力を持った関西大学社会学部の教員、大学院生9名（男7、女2）。

装置：先に紹介した関西大学社会学部心理実験室にあるRPI発生装置。

手続き：まず、RPI発生装置によって、RPI（線がへなへな撓って見えるような状況）を発生させ、観察者に現象について言語報告させた。次に図15、図16に示すように、2条件の運動軌跡の上縁、下縁の2曲線に挟まれた空間を遮蔽する覆いをした場合の現象について言語報告させた。この2条件は、2曲線に挟まれた空間の中央部分を部分的に遮蔽した条件（図15）、2曲線に挟まれた空間を全て遮蔽した条件（図16）であった。

結果

先に挙げた3条件のそれぞれの現象がどのように見えるかについて、観察者に言語報告させた結果、以下のような報告が得られた。

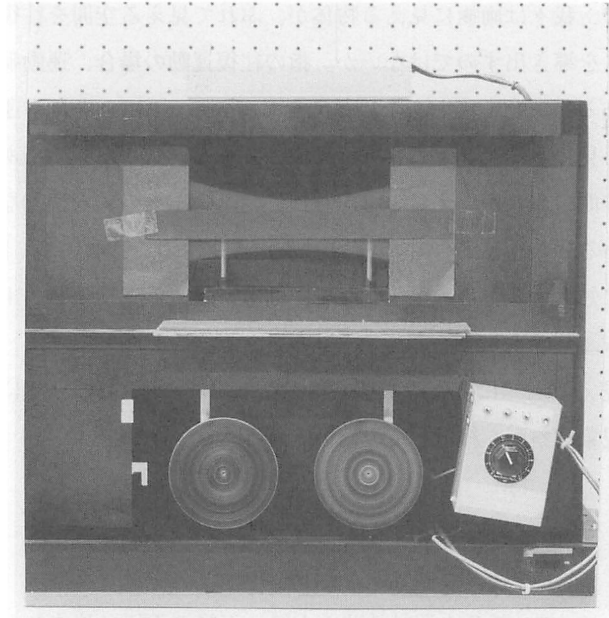


図15 部分的遮蔽。

RPIの運動の中央部分（ぶれて見える部分）を部分的に遮蔽して提示した条件。RPIの振幅（両端）70mm、マスクの幅27mm。

遮蔽しない条件

いわゆるRPIの運動印象である1本の線が上下に撓っているような運動が知覚された。このとき上縁と下縁の線分は同時に出現していた。

部分的に遮蔽した条件

遮蔽しない条件と同様、1本の線が上下に撓っているような運動が知覚された。若干、先の条件よりも撓いの程度が強いという報告も得られた。この条件も上縁と下縁の線分は同時に出現していた。

全て遮蔽した条件

視野に残された上縁を結ぶ線上、および下縁を結ぶ線上で、光点が移動するような運動が知覚された。移動方向は、左右互いに反対方向であるというものもあれば、ずれたタイミングで同じ方向に移動するように見えるというものもあった。

先の言語報告の後、同じ観察者から、上縁と下縁の線分が上下に運動するように見える

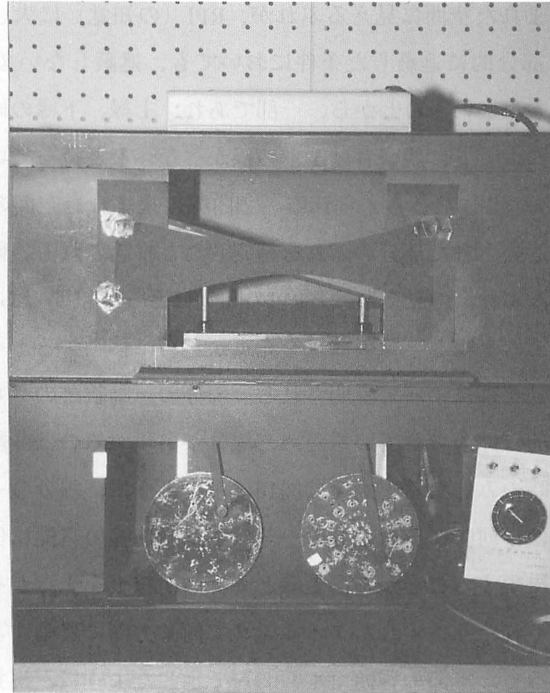


図16 全体の遮蔽。

RPIの運動の中央部分（ぶれて見える部分）を全て遮蔽して提示した条件。RPIの振幅（両端）70mm、マスクの幅は両端部65mm、中央部27mm。

という報告も得られた。このとき上縁と下縁の線分は、交互に出現しているように見え、その交互に出現しているように見える1本の曲線の上下運動（鳥の羽ばたき状の運動）が知覚された。この運動が知覚されたとき、上縁と下縁の線分は同時に出現していなかった。

遮蔽しない条件と部分的に遮蔽した条件では1本の線分が上下に撓っているような運動、いわゆるRPIが知覚されたが、全てを遮蔽した条件で知覚された運動は明らかに先の2条件とは異なっていた。全て遮蔽した条件では線分が上下に撓っているような運動（RPI）は知覚されなかった。

考察

運動軌跡の上縁、下縁の2曲線に挟まれた空間を全て遮蔽した条件では、遮蔽しない条件と部分的に遮蔽した条件とは異なった現象が観察された。この事実から、運動軌跡の上

縁と下縁の線分に挟まれた空間に見えるぶれが、RPI（の知覚）に大きく影響していることがわかる。特に、部分的に遮蔽した条件においても、遮蔽しない条件と同様の（RPI）を観察することができたということから、一部であれ、上縁、下縁の両極に挟まれた空間にぶれが見えることによって、観察者は1本の線がへなへなと撓っているという視覚的解決（RPIの見え）を導き出したと考えられる。2曲線に挟まれた空間の一部にぶれが見えることで、観察者は遮蔽された部分のぶれを補完したと推論される。両極の曲線によって挟まれた空間におけるぶれ（の見え）は、RPIの知覚にとって重要であることがわかる。

全て遮蔽した条件で、上縁と下縁の曲線を光点が左右に移動するような運動が知覚されたことは、線分の運動軌跡によって説明される。線分の運動軌跡のうち、上縁と下縁の2曲線以外は全て視覚的に遮蔽されているため、線分が出現するのは、線分が上縁と下縁の曲線部分に位置した時のみとなる。例えば図16に示すように、線分の一部が上縁の曲線の左端に位置した時には、同時にその線分の一部は下縁の曲線の右端に位置する。このような形で線分の一部が出現することから、上縁と下縁の曲線上を光点がそれぞれ反対方向に移動する運動が知覚されたり、ずれたタイミングで同じ方向に移動する運動が知覚されたと推論される。ところで、本節の冒頭（1—②）で示したように、視覚的持続時間が線分の1サイクル分の移動時間であれば、上縁と下縁の2曲線は同時に出現する。全て遮蔽した条件では上縁と下縁の2曲線が同時に出現しなかったという事実は、視覚的持続時間が他の2条件よりも短くなったことを示している。

また、同一の観察者が「上縁、下縁の曲線上を光点が左右に移動しているように見えた」と報告した後に「上縁と下縁の曲線が交互に出現している」と報告したものもあった。同一の観察者の知覚する現象が、一条件内において変化したということは、刺激条件だけでなく観察者自身の持つ何らかの要因が知覚する現象に影響を及ぼしたということを示唆している。「光点の左右の移動が見えた」後に「曲線が出現した」という事実は、観察者の視覚的持続時間の変化を示していると考えられる。Suzuki, K. (1996) は、視覚的持続時間は、個体間で差があるのみならず、個体内においても変化することを示している。しかしながら先に示したように、上縁の曲線が見えるときには下縁の曲線も同時に見えるはずである。この条件では両極の曲線が交互に出現した。この矛盾点については現段階では理由を明らかに出来ない。さらなる研究が求められる。

上縁、下縁の2曲線に挟まれた空間を遮蔽すること（全て遮蔽した条件）は、知覚される現象を他の2条件と異なったものにする大きな要因であることは本研究により明らかである。両極の2曲線に挟まれた空間におけるぶれ（の見え）は、RPIの知覚にとって重要

である。ただし、本研究は限定された刺激条件のみによるものであり、遮蔽する部分の大きさ、線分の振幅の程度、線分の移動速度、位相差等、刺激条件を詳細には検討していない。先に示した問題点を明らかにするためにもさらなる検討が必要であろう。

結論

RPIを知覚するには、視覚的持続の機能によって線分の運動軌跡の上縁と下縁に、はっきりとした見えのある曲線が同時に出現する事が必要である。次に上縁と下縁の両極に挟まれた空間にぶれが見えていることが必要である。この2条件を満たすことによって我々はRPIを知覚することができると考えられる。

2 何故RPIは面白い現象なのか。

我々の日常生活の中での興味深い現象としてRPIをあげることができる。我々は何故RPIに興味深い、あるいはおもしろいと感じるのであろうか。

Johansson, G. (1975) や Ullman, S. (1979) は「運動する刺激間の空間的な関係は、刺激間のrigidityな関係を知覚する」とする剛体の法則 (rigidity principle) を提唱している。人間は、運動する物体の2次元的な情報から、3次元の空間を運動する不変的な構造をもった物体を知覚するのである (北野, 1996)。例えばディスプレイ上 (2次元) に図17に示すような刺激が提示された場合、我々は正方形の変形を知覚せず、正方形が奥行き方向に倒れていく (あるいは手前に倒れていく) ように知覚することが多い。ここに我々が、正方形を3次元の空間の中で不変な形態構造を保持する一つの剛体として知覚的に解決していることがうかがえる。RPIは、自分が、あるいは他人が指で挟んで運動させた硬い (剛体) はずのエンピツがゴムのようにへなへたと曲がって見える現象である。RPIはエンピツが曲がるはずがない (剛体である) という考えを裏切る現象である。この「本当は曲がるはずのないものが曲がって見える」というところに、我々がこの現象をおもしろいと感じる理由があると思われる。また、こういったものをおもしろいと感じる感性が存在していると考えられる。

我々がマジックをおもしろいと感じることも、先に述べたRPIをおもしろいと感じるものと共通していると考えられる。マジックでは、観客が「そこにあるはずだ」と思っているものが無くなったり、「何もない」と思っているのに、ものがあったりすることに対して不思議がり、おもしろがる。観客の仮定を裏切る現象が目の前に出現したとき、観客はその現象を不思議がり、おもしろがるのである。ところが、これがマジックをするマジシ

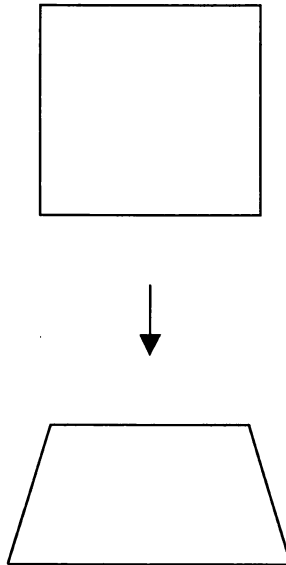


図17 剛体の法則 我々は正方形が台形に変化したと知覚するのではなく、正方形が向こうに倒れて（あるいは手前に倒れて）いったように知覚する。

ヤンにとっては、その現象は何も不思議なことではない。なぜならマジシャン自身はそこからものを消すトリックを知っているからである。そこからものが消えるのは当たり前ののである。

だまし絵やミュラー・リヤーの図形に代表されるような錯視図形がおもしろがられる理由も先に挙げた例と共通している。例えばミュラー・リヤーの錯視図形（図18）では、主線の長さが異なっているように見えるのに実際は同じ長さであることを知らされる（あるいは認識させられる）と観察者はそのことを不思議がり、おもしろがる。逆に言えば、その事実を知らされなければ、あるいは知らなければ、その図形は観察者にとっては何の魅力もないただの矢印にすぎない。

また一方で、物理的に考えると起こり得ない現象を、観察者が知らない（気がつかない）が故に不思議とは思わずに受け入れる（見る）ことが我々の日常生活にはよくある。その最も代表的な例の一つは仮現運動の知覚であり、それを利用した映画やテレビである。仮現運動とは、広義には、客観的に静止している対象が、見かけ上運動するとき、これをすべて仮現運動と呼ぶことが出来る。狭義には、客観的に静止した刺激が単に提示されたり消失したりするだけで、見かけ上生ずる運動をいう（椎名健, 1969）。図19にあるようにaとbの刺激を時系列に提示することにより黒円の運動（移動）を我々は知覚する。この原

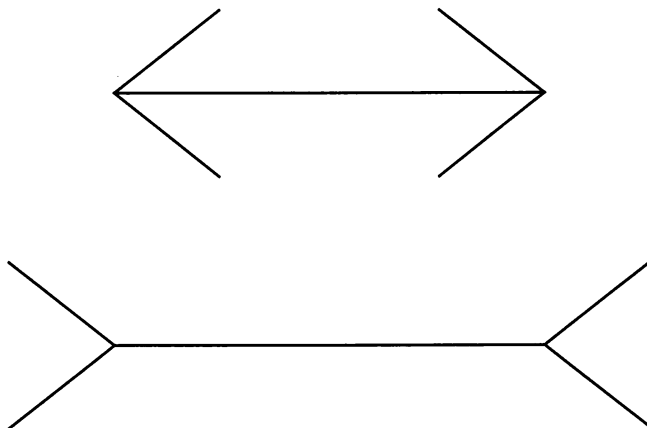
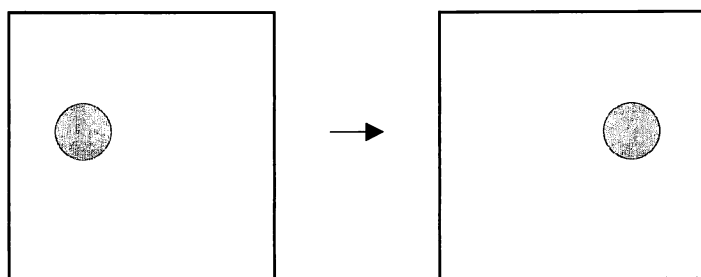


図18 ミュラー・リヤーの錯視図形



a 第一刺激

b 第二刺激

図19 仮現運動 aとbの図形を時系列に提示することによって、我々は黒円が左から右へ動くのを知覚する。

理を用いて映画やテレビは、静止画像（コマ）を時系列に提示することにより、連続した動きの画像を提示している（映画では毎秒24コマ、テレビは毎秒30コマ）。しかし我々は普通、映画やテレビを見て、静止刺激が連続して提示されていることを見ることは出来ない。我々が見るのは非常になめらかな運動刺激なのである。そこには静止画の連続提示であるという仮定あるいは認識をもたらすものが存在しない。何も不思議に思う必要がないのである。「画像が、静止画像の時系列提示にも関わらず、何故連続した動きとして見えるのか」ということを考えながらその画像を見る人は、特別な視点をもった研究者等をのぞいてはいないであろう。

我々の視覚的な現象の知覚は、網膜に写された視覚刺激が視覚的な機能によってどのよ

うに処理されるのかに大きく負っている部分がある。ただしこの視覚的な機能によって処理されたものが観察者にとってそのまま素直に受け入れられない場合がある。それが例えばどのような形の刺激が提示されているのかを理解しており、それが今見えている現象と明快に整合しなかった場合である。あるいは観察者の知識や常識、思い込みといったものと今見えている現象とが明快に整合しなかった場合も考えられよう。この視覚的な機能によって処理されたものが観察者にとってそのまま素直に受け入れられない場合、観察者はその現象を不思議であると感じたり、おもしろいと感じたりするのではないだろうか。

RPIは「本当は曲がるはずのないものが曲がって見える」というところに、我々がこの現象をおもしろいと感じる理由があると思われる。「エンピツは曲らない」というものが、我々の知覚のトップダウン的な機能と考えられる観察者の知識や常識、思い込みといったものであり、「剛体の法則」もそのうちの1つであると考えられる。そして「曲がって見える」というものが、我々の知覚のボトムアップ的な機能と考えられる視覚的な機能によって処理されたものであると考えることができる。そしてこのトップダウン的な機能とボトムアップ的な機能によってもたらされたもの（処理の結果）の不整合がRPIを面白い現象として感じる理由であると考えられる。

参考文献

- Cutting, J. E. (1982) Blowing in the wind: Perceiving structure in tree and bushes. *Cognition*, 12, 25-44.
- Gibson, E. J. & Walker, A. S. (1984) Development of knowledge of visual-tactual affordances of substance. *Child Development*, 55, 453-460.
- 原 恭子 (1998) Rubber pencil Illusion. 平成10年度関西大学社会学部卒業研究レポート.
- 平岡直樹・畦布伸宏 (1998) ラバーペンシル・イリュージョンについての実験的研究. 平成10年度社会学部卒業研究レポート.
- Huk, A. C., Durgin, F. H., Banton, T. A., Aks, D., Lewis, D. A., Gold, S. & Jain, R. (1997). The rubber pencil illusion : Beyond persistence. *Investigative Ophthalmology and Visual Science*. 38, S378.
- Ishiguchi, A. (1988a) Interpolated elastic structure from the motion of dots. *Perception & Psychophysics*, 43, 457-464.
- Ishiguchi, A. (1988b) The effect of orientation on interpolated elastic structure from dot motion : Its occurrence and persistence. *Perception & Psychophysics*, 44, 348-356.
- Johansson, G. (1975) Visual motion perception. *Scientific American*, 232, 76-88. 河内十郎 (訳) 人は動く物をどう見る 別冊サイエンス, 1975 10, 108-117.
- 北野貴裕 (1996) rubber pencil illusionに関する実験的研究. 関西大学大学院社会学研究科修士論文.
- 永井貴之 (1981) 運動錯視における視覚心理学的アプローチ. 昭和56年度関西大学社会学部卒業研究レポート.

- Pomerantz, J. R. (1983) The rubber pencil illusion. *Perception & Psychophysics*, 33, 365-368.
- 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 誠心書房 648-669.
- Suzuki, K.(1996) Effect of attention on visible persistence. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 37/ 3, S531.
- 高畑勲（1999）絵巻に見る漫画・アニメの表現. 十二世紀のアニメーション— 国宝絵巻物に見る映画の・アニメ的なもの—. 徳間書店 55.
- 玉井秀樹（1987）パーソナル・コンピュータによる心理学研究—— RPIの運動分析. 昭和62年度関西大学社会学部卒業研究レポート.
- Ullman, S. (1979) *The Interpretation of Visual Motion*. MIT Press. 176-191.

—— 2001.11.7 受稿 ——