

# 仮現運動と眼球活動との関係<sup>1</sup>

今井 章・徳増和佳乃<sup>2</sup>・嶋崎裕志・本田仁視<sup>3</sup>

キーワード：運動知覚，仮現運動，眼球運動，運動印象，サッカード

## RELATIONS BETWEEN APPARENT MOVEMENT AND EYE ACTIVITIES

Akira IMAI, Wakano TOKUMASU, Hiroshi SHIMAZAKI & Hitoshi HONDA

**KeyWords** ; motion perception, apparent movement, eye movements,  
motion impression, saccade

### 問 題

視野の一点を凝視している場合，その視野内を物体が通過すると，物体の物理的運動に対応した網膜像の変化が生じ運動知覚が成立する。一方，運動する対象を追視し続けると，運動対象は網膜像の中心の一点に常に捉えられることになり，網膜像上の対象位置は変化していないにもかかわらず，やはりこの場合にも対象の運動が知覚される。

他方，静止している対象に対して，観察者が接近や逃避などの動きをともなう活動を行う場合，視野は安定し観察者は自分自身の運動を知覚する。これに対して，対象が観察者に対して接近や逃避をする場合には，観察者は自分が静止しており対象が動いているという運動知覚が成立する。

上記のいずれの場合においても，そこでは観察者と視対象との間に空間的・時間的变化が生じており，その変化を我々は“運動”として知覚するといえる。この問題は運動知覚，あるいは運動視として古くから研究がなされてきているが，いまだに運動知覚を明確に説明する統一的なメカニズムは提唱されていない。この理由の一つとして，我々の知覚世界が，刺激の物理的特性とは必ずしも一義的には対応していないことがあげられる。例えば，運動知覚には，対象が実際に動いている場合に知覚される実際運動と，実際には運動していない対象があたかも運動して知覚される仮現運動という2つの現象が区別されているが，刺激の提示条件によっては，我々は仮現運動と実際運動とを区別することができない。このことから，実際には運動していない刺激がなぜ運動して見えるのか，という仮現運動は多くの研究者の関心の対象となってきた。

この仮現運動の中でも，2光点を適当な空間的位置に適当な時間間隔をおいて交互に点滅させると，滑らかな運動が知覚されるという $\beta$ 運動の研究は，Wertheimer (1912) によっ

て組織的な検討を受けて始まり、これまでも多く研究知見が得られてきている。この現象は Braddick (1974; 1980) により、遠隔運動 (long-range motion) と呼ばれ、近傍運動 (short-range motion) と区別されるようになった。Braddick によれば、近傍運動では、運動が正しく知覚される移動距離の上限が、ランダムドットによる刺激パターンにおいて視角で十数分程度までであるという。これに対して、遠隔運動では、数度から数十度程度まで運動印象が生ずることが指摘されており (Kolers, 1972)、このことから Braddick は、仮現運動における遠隔系と近傍系という2つ運動を、現象面からのみではなくそれぞれに独立な検出メカニズムを想定して区別した。

この2分法への批判 (e.g., Cavanagh, 1991; Cavanagh & Mather, 1989) もなされているが、Braddick (1974) 以後、仮現運動を遠隔系と近傍系に区別するという仮説はさまざまな研究者によって検討されてきた (Anstis, 1980; Braddick, 1980; Petersik, 1989)。特に最近、機能的脳磁気共鳴像を用いた研究では、遠隔運動の観察時には前側頭葉の賦活がみられ、いわゆる形態視経路がこの運動知覚に関わっているが、一方、近傍運動では空間視経路に関係する MT 野の賦活がみられるという (Zhuo, Zhuo, Rao, Wang, Meng, Chen & Chen, 2003)。この事実は、仮現運動の遠隔系と近傍系が、Braddick のようにメカニズムとして独立している可能性を示唆している。

一方、知覚器官としての眼球の活動が、知覚内容にどのような影響を与えるかということもまた多くの研究者の興味を引いてきた。上記に述べたように、眼球を動かすと網膜像の位置が変化するが、我々は外界を安定し静止しているものとして知覚する。これは視覚的位置の恒常現象とよばれ、視野の安定性をもたらす重要な役割を果たしている。網膜像が変化しても外界が安定して知覚されるということは、何らかのメカニズムによって網膜位置情報が処理されていることを意味している。従って、対象が“運動”しているという知覚は、外界における刺激布置の変化と網膜位置情報との計算の結果として得られるといえる。

眼球活動の中でも、視対象を中心窩で捉えるための随意的なはたらきとして重要なものは、サッカード眼球運動 (saccadic eye movement) と追跡眼球運動 (pursuit eye movement) であろう。特に仮現運動観察時の眼球運動は、実際運動をしている対象を追跡する時に生ずる追跡眼球運動と比較され、仮現運動への眼球運動の影響を認めていないものが多い (e.g., Verstraten, Hooge, Culham & Wezel, 2001; また Wade & Heller, 2003 も参照)。ところが、もう一方の随意的眼球運動であるサッカードについては、仮現運動との関係で検討した研究は多くはない。一般に、仮現運動を観察させる条件として、視野の一点を凝視する教示を与えるためと考えられるが、サッカード生起時には視覚機能の低下がみられる (Dodge, 1900; Holt, 1903; Zuber & Stark, 1966) ことから、仮現運動観察時にサッカードを生起させた場合には、運動印象に何らかの影響を与える可能性が示唆される。特に、サッカードにともなう網膜位置情報の変化が視野の安定に関わるのであれば、サッカード生起時とサッカード非生起時では、仮現運動の見えの“運動印象”は異なってくるのではないだろうか。さらに、正常なサッカードが困難な事態になれば、視野の安定性崩壊にともなう“仮現運動の崩壊”が生ずるのではないだろうか。

そこで本研究では、遠隔運動における眼球活動の影響を検討するため、視野の一点を凝視しながら断続提示される視標を観察する条件と、視標の提示位置に積極的に眼球を動かしサ

ッカードさせながら観察する条件とを設定し、仮現運動におよぼす随意的眼球運動の影響を検討することを目的とした。

## 実 験

### 方法

**被験者** 成人男性1名、女子大学院生1名、および男子大学生2名の計4名（年齢21-43歳）が観察者であり、いずれも正常か矯正による正常視力と正常色覚を有していた。

**装置** 眼球活動の計測は、赤外線照射した瞳孔の中心を CCD カメラにより捕捉・追跡するシステム（SR Research 社製 EyeLink II）を用いた。被験者の頭部に、頭部運動補正センサー、両眼用 CCD カメラが取り付けられたヘッドマウントを装着し、データを眼球運動計測専用のソフトウェアをインストールしたパソコン（Dell OptiPlex GX260）にサンプリングレート500 Hz で取り込んだ。

**刺激と観察条件** 刺激作成提示用パソコン（Dell Dimension 4500c）上に計測システムと連動するソフトウェアを Visual C++ 言語で作成し、17インチカラー CRT ディスプレイ上に、視角 $0.5^\circ$ の赤色小光点（ $18 \text{ cd/m}^2$ ）を暗黒背景（ $0.02 \text{ cd/m}^2$ ）に提示した。いわゆる  $\beta$  現象を観察させるための条件として、以下の2条件を設定した。水平方向に視角 $10^\circ$ 離れた2点に、①第1, 第2刺激の刺激間間隔（ISI）を50 ms に固定して提示（ISI-50条件）、および②第1, 2刺激の提示時間を50 ms に固定して提示（DUR-50条件）した。さらに、ほぼ実際運動と同様な運動印象が得られ、円滑な追跡眼球運動が生ずるような連続提示条件として、③視角 $10^\circ$ 離れた2点間を小光点が点灯しながら正弦波状に往復移動する条件（PURS）を設けた。それぞれの提示条件について、第1刺激から次の第1刺激が提示されるまでの明滅周波数（条件③では往復運動周波数）を1.0, 1.43, および2.0 Hz の3種類とした。ISI-50条件での各周波数における刺激の提示時間は450 msec, 300 msec, 200 msec であり、DUR-50条件での各周波数における ISI は450 msec, 300 msec, 200 msec であった。1試行は50サイクル分の刺激提示とした。これらの各刺激条件について、観察条件として、刺激光点が点滅ないし往復を繰り返す空間的位置の中間点を凝視する凝視条件（凝視点なし）と、点滅ないし往復する光点を追視する追視条件を設けた。

**眼球運動の解析** 解析専用ソフトウェア（SR Research 社製 DataViewer）を組み込んだパソコン（Dell Dimension 4500c）を使用した。ソフトウェアにより、固視（fixation）、サッカード（saccade）、および瞬目（blink）を同定し、凝視と追視の観察条件毎に、視覚刺激が実際に提示された空間的位置から眼球位置が $\pm 1.0^\circ$ 以上逸脱した固視回数を計測した。サッカードは、角速度 $22^\circ/\text{sec}$ 以上、加速度 $5000^\circ/\text{sec}^2$ 以上、移動 $0.1^\circ$ 以上の眼球運動とし、それ以外の眼球活動を全て固視とした。瞬目は、CCD カメラが瞳孔の中心を捕捉できない場合として計測された。

**手続** ヘッドマウントを装着後、被験者は顎台に顎を乗せ、眼球運動計測システムの校正を行った。眼球運動の校正は、被験者の前方60 cm に置かれた CRT 上に、中心および上下左右の5点に視角 $0.5^\circ$ の赤色視標を提示して行った。校正後、まずもっとも円滑な運動印象が得られる条件である PURS 条件の1.0 Hz 条件について、視野の一点（CRT 中央部）を

凝視する条件で観察を行わせた。この時に得られた運動印象を“10”とし、それ以外の観察条件で得られた運動印象をマグニチュード比として評定させた。その後、PURS条件の1.43 Hz、および2.0 Hzの2条件を凝視で観察させた後、これらPURSの3条件を追視条件でも観察させた。これらの条件の観察終了後、ISI-50の3条件、およびDUR-50の3条件を被験者間でカウンターバランスをとりながら、それぞれを視野中央部の凝視、および刺激の提示位置を追視という2条件で観察させた。PURS条件は各1試行ずつ、ISI-50とDUR-50条件については各2試行ずつ行った。

## 結 果

### 1. 各条件における運動印象と追視率

追視条件については、ISI-50条件とDUR-50条件では視標が提示された位置とサッカードによる眼球位置とが $\pm 1.0^\circ$ 以上ずれた回数を計測し（最大値は100回）、比率に換算して追視の成功率（追視率）を求めた。またPURS条件では、ISI-50条件とDUR-50条件における視標が提示された位置と同じ空間的位置に指標が到達した地点での、追跡の成功率を同様な基準で求めた。

(1) ISI一定条件 (ISI-50) 下での運動印象と追視率との関係 図1には、ISIを50 msecに固定した条件下における平均運動印象と追視率が、刺激の点滅周波数の関数としてダブルプロットされている。

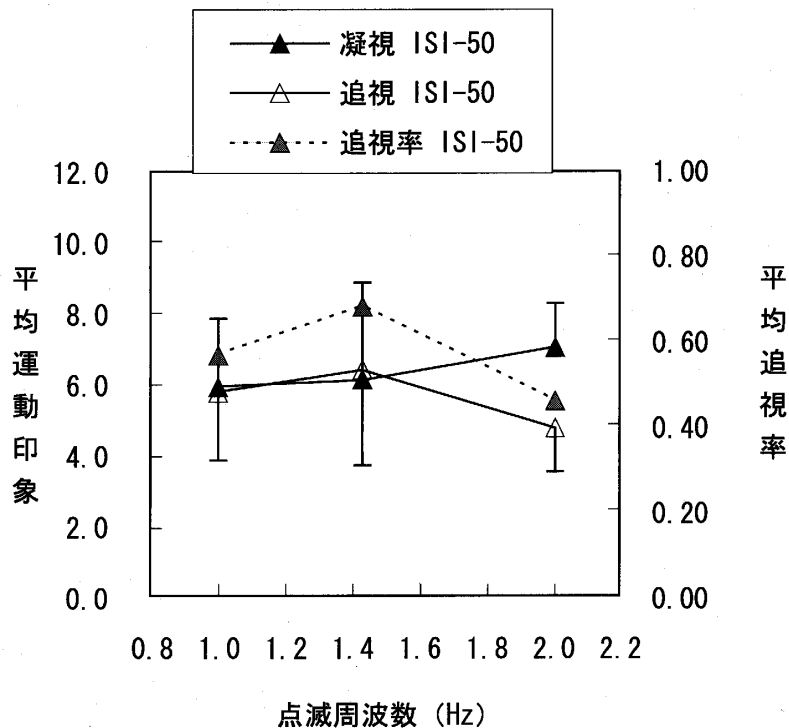


図1 平均運動印象と平均追視率 (ISI-50条件)

ISI-50条件において得られた凝視条件における平均運動印象および、追視条件における平均運動印象と平均追視率をダブルプロットしたもの。図中のバーは運動印象の標準誤差 (SE) を示す。

ISI が50 msec に固定された条件では、比較的強い運動印象が得られ、低周波数条件では凝視と追視による観察条件による運動印象の違いがほとんど認められていない。一方、追視率は追視条件での運動印象と同様な変動傾向を示している。

(2) 提示時間一定の条件 (DUR-50) 下での運動印象と追視率との関係 図2には、提示時間を50 msec に固定した条件下における平均運動印象と追視率が、図1と同様に示されている。

この条件下の運動印象は、凝視条件において一貫して追視条件よりも強く得られているが、両者の変動傾向は点滅周波数との関係ではほぼ同様である。一方、追視条件における追視率は低周波数条件で最も高く、周波数が上昇するにつれて追視がより困難になっていることがうかがえるが、運動印象は、もっとも追視率の高かった1.0 Hz においてもっとも低くなっている。

(3) 実際運動条件 (PURS) における運動印象と追視率との関係 図3には、刺激が点灯しながら正弦波状に左右に往復移動する条件下における平均運動印象と追視率が、図1と同様に示されている。この条件では刺激は連続提示され、ほぼ実際運動と同様な運動印象が得られることから、もっとも運動印象の評定値が大きくなっている。図から、この条件下での運動印象は、追視条件では刺激の往復周波数の増加に伴い徐々に減少していく傾向がみられるが、凝視条件では、往復周波数の影響はほとんど受けておらず、むしろやや微増している。一方、追視率は追視条件下での運動印象の変動傾向とほぼ一致しており、追視が困難になるほど、運動印象が低減するという傾向が認められる。

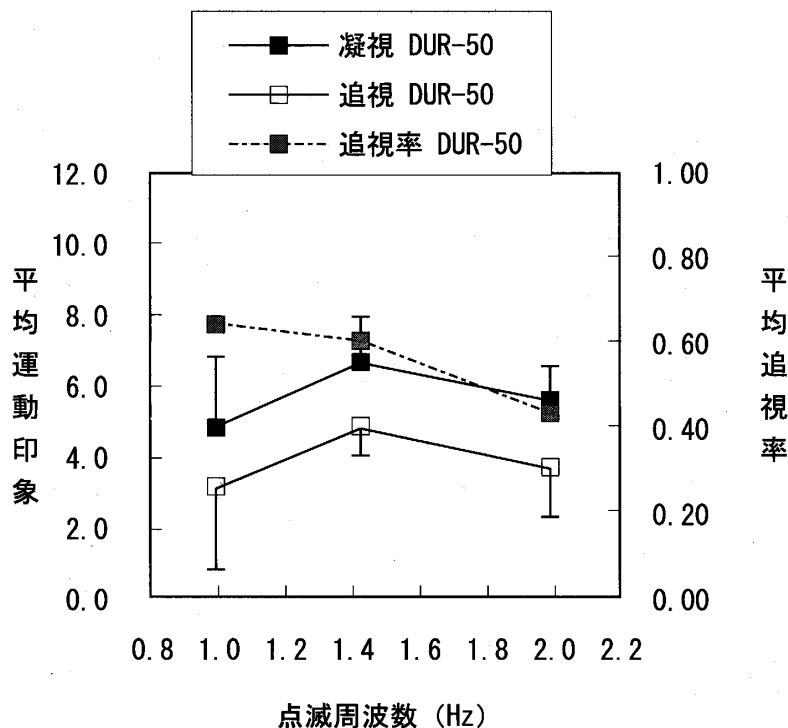


図2 平均運動印象と平均追視率 (DUR-50条件)

DUR-50条件において得られた凝視条件における平均運動印象および、追視条件における平均運動印象と平均追視率をダブルプロットしたもの。図中のバーは運動印象の標準誤差 (SE) を示す。

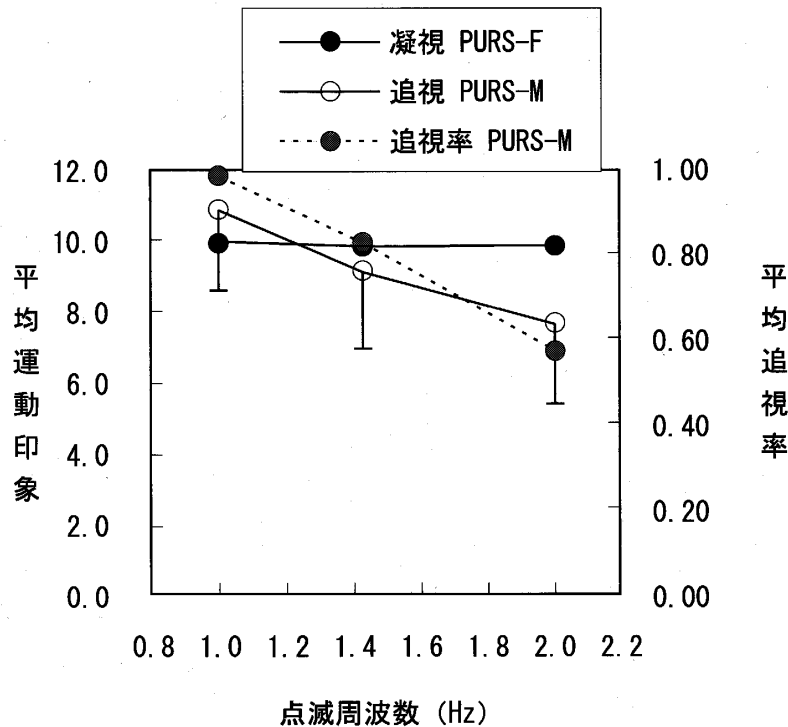


図3 平均運動印象と平均追視率 (PURS 条件)

PURS 条件において得られた凝視条件における平均運動印象および、追視条件における平均運動印象と平均追視率をダブルプロットしたもの。図中のバーは運動印象の標準誤差 (SE) を示す。

## 2. ISI-50条件と DUR-50条件での運動印象の分析

ISI-50条件と DUR-50条件における運動印象値について、視線 (凝視/追視) × 刺激条件 (ISI-/DUR-) × 点滅周波数 (1.0/1.43/2.0) の分散分析を行った。その結果、視線の主効果 ( $F_{(1,3)}=10.26, p<.05$ )、および視線 × 周波数の交互作用 ( $F_{(2,6)}=7.51, p<.05$ ) が有意であったが、刺激条件と点滅周波数の主効果、およびその他の交互作用は有意とはならなかった。視線と周波数についての交互作用について単純主効果の検定を行ったところ、2.0 Hz 条件においてのみ視線の単純主効果が有意 ( $F_{(1,3)}=18.51, p<.05$ ) となった。従って、全般的には凝視条件において運動印象が強く得られていたが、この傾向は刺激の点滅周波数が低い帯域 (1.43 Hz 以下) では消失する傾向にあったといえる。

## 3. 追視条件における運動印象と追視率の相関関係

追視条件における運動印象と追視率 (角変換値) との相関関係を検討するため、ISI-50, DUR-50, および PURS の全ての条件から得られたデータについて、ピアソンの相関係数を算出した。その結果、 $r=0.35 (p<.05)$  という結果が得られ、運動印象と追視率との間に弱い正の相関関係が認められた (図4)。

しかし、仮現運動を観察させる ISI-50条件および DUR-50条件ではサッカードが、実際運動を観察させる PURS 条件では追跡眼球運動が生起していたことから、両条件はそれぞ

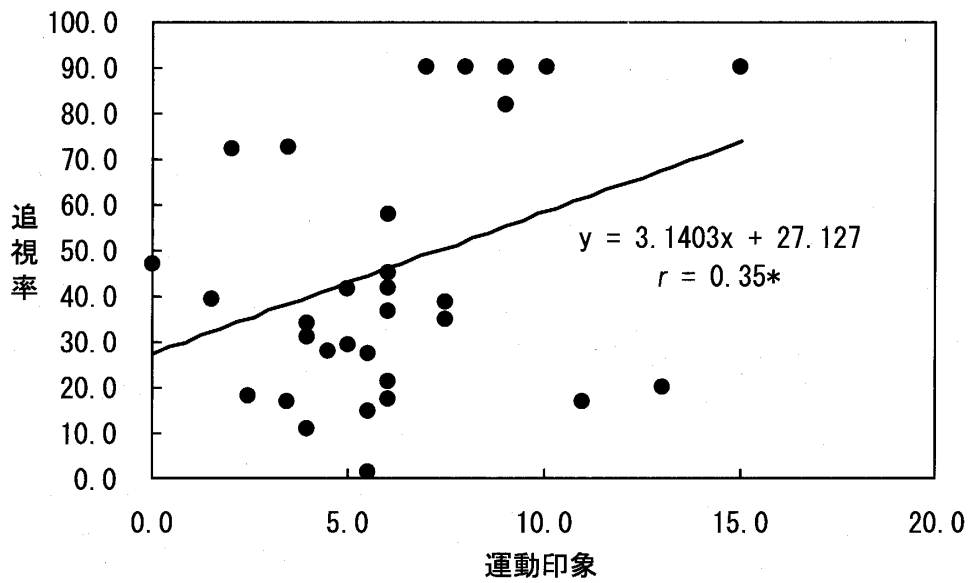


図4 全追視条件における運動印象と追視率（変換値）の相関  
 図中の直線は回帰直線を， $r$ はピアソンの相関係数を示す。

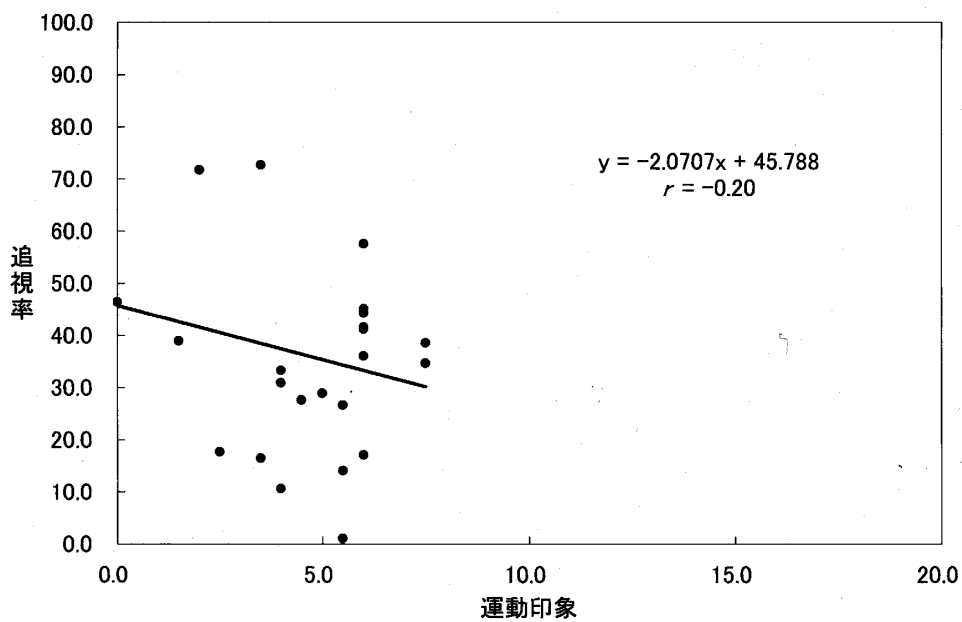


図5 仮現運動事態における運動印象と追視率（変換値）の相関  
 図中の直線は回帰直線を， $r$ はピアソンの相関係数を示す。

れ異なる眼球運動の影響が混在していると考えられる。そこで、ISI-50条件およびDUR-50条件とPURS条件とのデータを分け、それぞれの条件における相関係数を求めたところ、ISI-50条件およびDUR-50条件では $r = -0.20$  ( $p > .1$ )、PURS条件では $r = 0.06$  ( $p > .1$ )となり、いずれも有意な相関関係は得られず、運動印象と追視率とは無相関となった(図5および図6)。

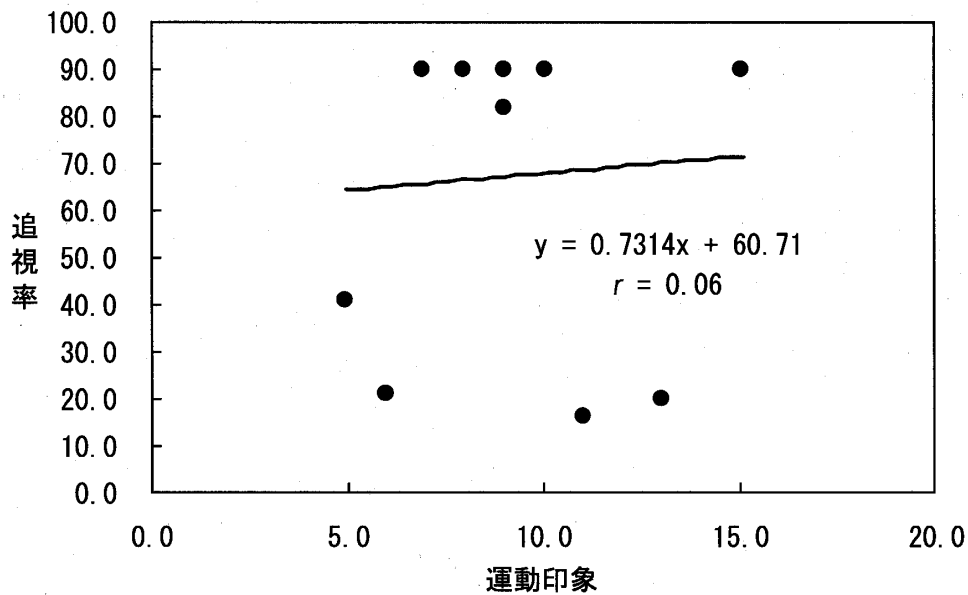


図6 実際運動事態における運動印象と追視率（変換値）の相関  
図中の直線は回帰直線を， $r$ はピアソンの相関係数を示す。

## 考 察

本研究では，仮現運動観察中の詳細な眼球運動を計測し，観察条件として，視野の一点を凝視する条件と，視標を追視し意図的にサカードを生起させた条件とを設定し，仮現運動の運動印象に及ぼす影響について検討した。その結果，追視時には凝視時に比較して全般に運動印象が低下すること，さらにこの傾向は刺激の点滅周波数が高い場合ほど顕著であることが示された。以下において本研究結果を考察し，仮現運動生起のメカニズムについて検討してみる。

### 1. 仮現運動観察時の運動印象と眼球活動

$\beta$ 運動の運動印象は全般に，視野の一点を凝視させて観察させた条件において刺激の提示位置を追視させた条件に比較して大きく，またこの傾向は点滅周波数が高い条件でより明確に認められた。固視条件は，いわゆる仮現運動を観察させる条件としては一般的と考えられることから，眼球を随意的に動かさせた追視条件における運動印象の低下は，眼球運動が何らかの形で仮現運動の知覚に影響を与えていることを示唆するものと考えられる。

最近，注意に基づく（attention-based）運動知覚のメカニズムが提唱されているが（e.g., Cavanagh, 1992），注意に基づく運動知覚を検討した実験事態では，多くの場合，眼球運動の影響が除かれているか，あるいは結果として眼球運動はほとんど運動知覚に影響を与えていない（Verstraten et al., 2001）。しかし，本研究で示されたように，随意的な眼球運動が仮現運動の運動印象に影響を与えるという事実は，“目を動かすことに関わる何らかのメカニズム”が少なくとも仮現運動の“見えの印象”に関与していることを示唆している。特に，ISI-50の追視条件では，刺激追視の成功率（追視率）の変動傾向が，見えの運動印象の変動



傾向とよく一致していたことから（図1参照，また図2も参照），眼球を飛越的に動かす過程がうまくはたらかない条件では，運動印象が低下することが示唆される。すなわち，運動印象は，飛越的に眼球を動かそうとする過程に影響されると考えられる。

## 2. 実際運動観察時の運動印象と眼球活動

本研究では，実際運動が観察される刺激条件（PURS）を設定し，刺激光点が1.0 Hzで水平方向を往復運動する事態において，視線を視野の一点に固定させて観察した場合の見えの運動印象を“10”として，その他の観察条件の見えの運動印象をマグニチュード推定させた。その結果，ここでも追視条件での運動印象と刺激光点への追視率とは，刺激の往復周波数にともない同様な変動を示していた（図3参照）。特に周波数が上昇するにつれ，追視率が低下し，同時に運動印象も低下していたことから，動眼系が刺激を追視しきれなくなる場合，すなわち，追視過程が不完全な事態では運動印象が低減する可能性が示唆される。実際に，4名中3名の被験者は，往復周波数2.0 Hz条件（刺激の移動速度は平均40°/sec）では，追視が困難であったことを訴えており，通常追視ができない条件であったと考えられる。

これまでの運動知覚と眼球運動との関係を検討した研究では，通常眼球運動が正常な範囲で生起することが期待される事態でしか検討されておらず，本研究のように，いわば機能的には困難な眼球活動を要求する事態での検討はなされてこなかった。従って，運動知覚と眼球運動との関係は，あくまでも“動眼系が正常に機能している範囲”での結果に限定される，ともいえるのではないだろうか。しかし，動眼系への指令と，実際の動眼筋の動きによる網膜像の変位は，“正常に動眼系が機能しない事態”において解離するであろう。この事態では，動眼系への指令から予測される網膜情報と，実際の眼球活動にともなう網膜情報とが相殺されない事態が予測されることから，この“相殺過程の崩壊”がどのように運動知覚に影響するのかを検討することができると思われる。

本研究では追視条件として“刺激を追視する”ことを被験者に教示したことから，動眼系には眼球を動かすための指令が常に出されていたが，高周波数条件では実際には動眼系の指令による眼球の回転が刺激の移動速度に追いつけず，動眼系への指令から期待される網膜情報と，実際の網膜情報とが相殺されていなかったと考えられる。そしてこのことが，追視条件下での運動印象の低下をもたらしたのであろう。この結果は，相殺説（cancellation theory: Helmholtz, 1866/1962; von Holst, 1954）で仮定されている動眼指令と網膜情報との相殺過程が正常に機能しなくなった場合を表していると考えられることから，相殺説を支持する結果であるともいえる。相殺過程の崩壊は運動印象の低下をまねくと考えられる。

あるいは本研究の結果は，高速度（2.0 Hz条件）で移動する視標を観察する場合にのみ，通常“追跡眼球運動による追視”が不可能になり，サッカードに変容していたことによって運動印象が変化したとも考えられる。実際に，往復周波数が1.0 Hzの場合には，全ての被験者が追跡眼球運動を示していたが，2.0 Hz条件では眼球がしばしば視野中央部で停留し，その後，刺激を追視するための2～3°程度のサッカードがわずかに生起する，という停留とサッカードの繰り返し認められていた。従って，追跡眼球運動がサッカードに変容することによって，明瞭であった運動印象が低下した，という可能性も示唆される。すなわち，眼球運動の変容過程に伴う運動印象の変容である。

追跡眼球運動がダイナミックにサッカードへと変容する過程における運動印象を検討した研究は、これまで報告されていない。従って、本研究結果のみから、実際運動観察時の追跡率低下と運動印象低下との変動傾向についての結論を得ることは性急であろう。さらなる検討が必要とされる。

### 3. 運動知覚のメカニズム

運動知覚に関わる網膜情報と眼球活動との関係において、最もよく知られており、また受け入れられているメカニズムは、すでに上記に述べた相殺説であろう。相殺説は Helmholtz (1866/1962) によって提唱されたが、von Holst (1954) は身体運動に関する中枢性の情報を遠心性コピー (Efferenzkopie) と呼び、遠心性コピーと網膜情報との比較相殺によって運動知覚が成立するとしている。相殺説に関わる解剖学的な脳の領野としては、最近、Haarmeier, Their, Repnow & Petersen (1997) によって MST 野が主に関与していることが報告されている。また、視覚一次野 (V1) も仮現運動に関わっている証拠 (Muckli, Kohler, Kriegeskorte, & Singer, 2005) が提出されている。特に、遠隔運動に対しては物体視経路の賦活が、近傍運動には空間視経路の賦活が見られることを明らかにした Zhuo et al. (2003) の研究は興味深く、Braddick (1974) 以来の、遠隔—近傍という仮現運動の 2 分法に対応した独立メカニズムに対する根拠を提供するものと考えられる。すなわち、運動知覚を支えるメカニズムは視覚系の一次野から物体視経路へと繋がる遠隔系運動と、視覚一次野から空間視経路を経て処理される近傍系という 2 つの経路で処理されているのかもしれない。

他方、網膜からの視覚情報は、上記に述べたようないわゆる膝状体から線条皮質へと連なる経路以外にも存在することが知られている。視神経は視交叉 (optic chiasm) を経た後、中心窩からみて鼻側由来の線維は視野反対側の半球視覚一次野へ投射し、一方、耳側由来の網膜情報は同側半球の視覚野へと連絡している。この経路はそれぞれ交叉、非交叉経路と呼ばれており、交叉系の神経線維は、その途中で一部分が分かれ皮質下の上丘 (superior colliculus)、視床枕 (pulvinar)、あるいは副視索系 (accessory optic system) などへと繋がっていることが明らかにされている (Nakagawa & Tanaka, 1984; Rodieck & Watanabe, 1993; Telkes, Distler, & Hoffmann, 2000)。この経路の中でも特に上丘は、眼球運動や反射性の注意喚起に関連がある (Hikosaka & Wurtz, 1985; Robinson & Kertzman, 1995, Robinson & McClurkin, 1989; Sparks & Hartwich-Young, 1989) ことから、眼球運動により運動印象が変化するという本研究結果は、膝状体外路系とも呼ばれるこの系路が、見えの運動そのものを変容させることを示唆しているとも考えられる。皮質下にあるこの経路の機能的意義については最近、詳しい議論がなされているが (本田, 2003)、皮質下の領域がどのように知覚システムに影響を与えているのか、研究知見の積み重ねが不足しており、今後の展開が期待される。

## 付 記

1. 本研究の一部は2005年の、日本心理学会第69回大会 (慶應義塾大学) および第24回日本基礎心

理学会（立教大学）で発表された。また、本研究の一部は、新潟大学超域研究機構プロジェクト「ヒト認知系の統合的研究（プロジェクトリーダー：本田仁視）」として実施されたものである。

2. 信州大学大学院人文科学研究科
3. 新潟大学人文学部

## 引用文献

- Anstis, S. M. 1980 The perception of apparent movement. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series B*, **290**, 158-168. Reprinted in *The Psychology of Vision*. London: The Royal Society.
- Braddick, O. 1974 A short-range process in apparent motion. *Vision Research*, **14**, 519-527.
- Braddick, O. 1980 Low-level and high-level processes in apparent motion. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series B*, **290**, 153-149. Reprinted in *The Psychology of Vision*. London: The Royal Society.
- Cavanagh, P. 1991 Short-range vs long-range motion: Not a valid distinction. *Spatial Vision*, **5**, 303-309.
- Cavanagh, P. 1992 Attention-based motion perception. *Science*, **257**, 1563-1565.
- Cavanagh, P., & Mather, G. 1989 Motion: The long and short of it. *Spatial Vision*, **4**, 103-129.
- Dodge, R. 1900 Visual perception during eye movements. *Psychological Review*, **7**, 454-465.
- Haarmeier, T., Thier, P., Repnow, M., & Petersen, D. 1997 False perception of motion in a patient who cannot compensate for eye movements. *Nature*, **389**, 849-852.
- Helmholtz, H. von 1866/1962 *Helmholtz's treatise on physiological optics*. [Translated from the third German Edition, ed. by J. P. C. Southall] New York: Optical Society of America.
- Hikosaka, O., & Wurtz, R. H. 1985 Modification of saccadic eye movements by GABA-related substances: I. Effect of muscimol and bicuculine in monkey superior colliculus. *Journal of Neurophysiology*, **53**, 266-291.
- Holt, E. B. 1903 Eye movement and central anaesthesia. *Psychological Monographs*, **4**, 3-46.
- 本田仁視 2003 視覚交差経路と非交差経路の機能差—皮質下視覚機能の行動学的・心理物理学的研究— *心理学評論*, **46**, 597-616.
- Kolers, P. A. 1972 *Aspects of motion perception*. New York: Pergamon Press.
- Muckli, L., Kohler, A., Kriegeskorte, N., & Singer, W. 2005 Primary visual cortex activity along the apparent-motion trace reflects illusory perception. *Plos Biology*, **3**, 1501-1510.
- Nakagawa, S., & Tanaka, S. 1984 Retinal projections to the pulvinar nucleus of the macaque monkeys: A re-investigation using autoradiography. *Experimental Brain Research*, **57**, 151-157.
- Petersik, J. T. 1989 The two-process distinction in apparent motion. *Psychological Bulletin*, **106**, 107-127.
- Robinson, D. L., & Kertzman, C. 1995 Covert orienting of attention in macaques: III. Contribution of the superior colliculus. *Journal of Neurophysiology*, **74**, 713-721.
- Robinson, D. L., & McClurkin, J. W. 1989 The visual superior colliculus and pulvinar. In R. H. Wurtz & M. E. Goldberg (Eds.), *The neurobiology of saccadic eye movements*. Amsterdam: Elsevier, pp. 337-360.

- Rodieck, R. W., & Watanabe, M. 1993 Survey of the morphology of macaque retinal ganglion cells that project to the pretectum, superior colliculus, and parvicellular laminae of the lateral geniculate nucleus. *Journal of Comparative Neurology*, **338**, 289-303.
- Sparks, D. L., & Hartwich-Young, R. 1989 The deep layers of the superior colliculus. In R. H. Wurtz & M. E. Goldberg (Eds.), *The neurobiology of saccadic eye movements*. Amsterdam: Elsevier, pp. 213-256.
- Telkes, I., Distler, C., & Hoffmann, K. P. 2000 Retinal ganglion cells projecting to the nucleus of the optic tract and the dorsal terminal nucleus of the accessory optic system in macaque monkeys. *European Journal of Neuroscience*, **12**, 2367-2375.
- Verstraten, F. A. J., Hooge, I. T. C., Culham, J., & Van Wezel, R. J. A. 2001 Systematic eye movements do not account for the perception of motion during attentive tracking. *Vision Research*, **41**, 3505-3511.
- Von Holst, E. 1954 Relations between the central nervous system and the peripheral organs. *The British Journal of Animal Behavior*, **2**, 89-94.
- Wade, N. J., & Heller, D. 2003 Visual motion illusions, eye movements, and the search for objectivity. *Journal of the History of the Neurosciences*, **12**, 376-395.
- Wertheimer, M. 1912 Experimentelle Studien über das Sehen von Bewegung. *Zeitschrift für Psychologie*, **61**, 161-265.
- Zhuo, Y., Zhuo, T. G., Rao, H. Y., Wang, J. J., Meng, M., Chen, M., Zhuo, C., & Chen, L. 2003 Contributions of the visual ventral pathway to long-range apparent motion. *Science*, **299**, 417-420.
- Zuber, B. L., & Stark, L. 1966 Saccadic suppression: Elevation of visual threshold associated with saccadic eye movements. *Experimental Neurology*, **16**, 65-79.

## RELATIONS BETWEEN APPARENT MOVEMENT AND EYE ACTIVITIES

Akira IMAI\*, Wakano TOKUMASU\*\*, Hiroshi SHIMAZAKI\* & Hitoshi HONDA\*\*\*

\*Department of Psychology, Faculty of Arts, Shinshu University

\*\*Graduate School of Arts, Shinshu University

\*\*\*Department of Psychology, Faculty of Humanities, Niigata University

### ABSTRACT

We examined the relationships between apparent motion illusion and eye movements. Four subjects were asked to report a magnitude estimation value of motion impression for long-range apparent motion under conditions of (a) fixating their gaze to a center point of visual field, and (b) shifting their gaze saccadically to a point where the stimulus was presented. Three kinds of eye activities, fixation, saccadic eye movement, and eye blink were identified, and a ratio of successfully shifting their gaze for the stimulus-appeared-point to total numbers of eye movement was calculated. While motion impression of fixating-gaze condition was significantly greater than that of shifting-gaze condition, this difference was most prominent when stimulus onset frequency was 2.0 Hz. When the stimulus onset frequency was low such as 1.0 Hz or 1.43 Hz, differences of motion impression between the fixating and the shifting conditions were smaller than those of 2.0 Hz. Among the shifting condition, the motion impression and the ratio of successful shifting tended to vary in a coincident manner as a function of the onset frequency. The results suggest that eye gazing alters an impression of motion, and motion perception is influenced by the oculomotor control. The mechanism of motion perception is discussed along with the present findings and recent works.

**Key words** : motion perception, apparent movement, eye movements,  
motion impression, saccade