

仮現運動と眼球活動との関係(2)¹

—詳細な運動印象の分析—

今井 章・嶋崎裕志・本田仁視²

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 :

II. Detailed analyses of smoothness, coherence, and dimensionality of perceived motion.

Akira IMAI, Hiroshi SHIMAZAKI & Hitoshi HONDA

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

問 題

観察者と視対象との間において，どちらか一方の側に空間的・時間的变化が生じた場合，我々はその変化を“運動”として知覚することがある。例えば，視野の一点を凝視している観察者の視野内に何らかの対象が出現すると，その対象の空間的・時間的变化に対応した網膜像の変化が生じ，運動印象が得られる。また，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，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。この問題は運動知覚，あるいは運動視として古くから数多くの研究がなされてきているが，運動知覚を統一的に説明できる理論やメカニズムは提起されていない。

この運動知覚については，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。我々は刺激の提示条件によっては，仮現運動と実際運動とを弁別できないことが知られており，実際には運動していない刺激が運動して見える仮現運動の現象は，多くの研究者の関心を引きつけてきた。

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において交互に点滅させると，滑らかな運動が知覚される β 運動に関しては，Wertheimer (1912)以降，数多くの研究知見が得られてきている。その後，Braddick (1974, 1980)により β 運動は遠隔

運動 (long-range motion) と呼ばれるようになり、近傍運動 (short-range motion) と区別されるようになった。Braddick 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のものが近傍運動とされたが、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いる (Kolars, 1972)。これらのことから 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、現象面から区別するだけでなく、それぞれに独立な運動検出のメカニズムを想定した。

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多くの研究者によって注目されてきた (Anstis, 1980; Braddick, 1980; Petersik, 1989)。特に最近、機能的脳磁気共鳴像 (fMRI) 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ことが示されている (Zhuo, Zhuo, Rao, Wang, Meng, Chen, Zhuo, & Chen, 2003)。この事実は、仮現運動の遠隔系と近傍系が、Braddick のいう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上の対象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事実は、網膜位置情報が何らかのメカニズムによって処理され、視覚的位置の恒常性が成立し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。

一般に網膜位置情報は、眼球活動によって変化する。この眼球活動の中でも、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、サッカード眼球運動 (saccadic eye movement) と追跡眼球運動 (pursuit eye movement) が重要であろう。たとえば、仮現運動観察時の眼球運動が、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ているが、仮現運動への眼球運動の影響は認められていない (e. g., Verstraten, Hooge, Culham & Van 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、仮現運動観察時に意図的なサッカードをさせた場合には、運動印象にも何らかの影響を与えると思われる。特に視野の安定が、サッカードに伴う網膜位置情報の変化を処理して成立しているのであれば、過度なサッカードの要求により網膜情報の処理が限界に達した場合、仮現運動の見えの“運動印象”は異なってくるであろう。さらに、正常なサッカードが困難な事態になれば、視野の安定性自体までも維持が困難になり、これに伴い仮現運動印象の変容が生ずると予測される。

以上のような問題意識に基づき、今井・徳増・嶋崎・本田 (2006) 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交替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サッカードを行って観察する条件とを設定し、仮現運動観察時に得られる運動印象におよぼす随意的眼球運動の影響を検討した。その結果、視標を追視させると、一点を凝視した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。しかし、今井他では、仮現運動観察時に得られた運動感を全般的な“運動印象”として大枠で捉えたにすぎず、仮現運動のどのような“見え”が現象として影響を受けているのかまでは探ることができなかった。

そこで本研究では、上記の問題をさらに検討するため、仮現運動観察時に得られる運動印象を詳細に探ることを目的とした。具体的には、2光点の点滅が一つの対象の往復運動として観察される β 運動について、その“なめらかさ”、2光点の“一体感”、および平面として提示される光点運動の“奥行感”について検討を加えることとした。

実 験

方法

被験者 成人男性1名、および男女大学生5名の計6名(年齢20—44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、今井他(2006)と同様であり、概略は以下のようであった。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、被験者の頭部に計測機器が取り付けられたヘッドマウントを装着した。データは、眼球運動計測専用ソフトによりパソコン(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運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° の赤色小光点(18 cd/m^2)を暗黒背景(0.02 cd/m^2)に提示した。 β 現象を観察させるための刺激の提示要因として、以下の2条件を設定した。水平方向に視角 10° 離れた2点に、①第1, 第2刺激の刺激間隔(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、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° 離れた2点間を小光点が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点滅周波数(条件③では往復運動周波数)を1.0, 1.43, 2.0, および3.0 Hzの4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, 117 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, 117 msecであった。1試行には20サイクル分の刺激を提示した。これらの各刺激条件の組合せについて、さらに観察時の視線条件として、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(ただし凝視点なし)と、点滅ないし往復する光点を追視する追視条件とを設けた。

眼球運動の解析 概略は今井他(2006)と同様であった。解析専用ソフトウェア(SR Research DataViewer)により、固視(fixation)、サッカード(saccade)、および瞬目

(blink)を同定し、追視観察条件では、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。凝視条件では、観察開始後、固視点が $\pm 1.0^\circ$ 以上ずれた回数を計測した。サッカードは、角速度閾 $22^\circ/\text{sec}$ 以上、加速度閾 $5000^\circ/\text{sec}^2$ 以上、移動閾 0.1° 以上の眼球運動とし、瞬目を除くこ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補足できない場合とした。

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° 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PURS条件での観察を行わせた。観察は、4周波数条件それぞれについて、凝視条件(CRT中央部を凝視する)と追視条件(点灯しながら往復運動をする光点を追視する)とで、条件の提示順序を被験者間で相殺しながら行わせた。各条件の観察ごとに得られた運動印象について“段階的—なめらか”、“分離的—一体的”、および“2次元—3次元”のそれぞれについて7件法による絶対判断法で評定させた。これらの条件の観察終了後、ISI-50の4条件、およびDUR-50の4条件を被験者間で相殺しながら、それぞれについて視野中央部の凝視、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逸脱率

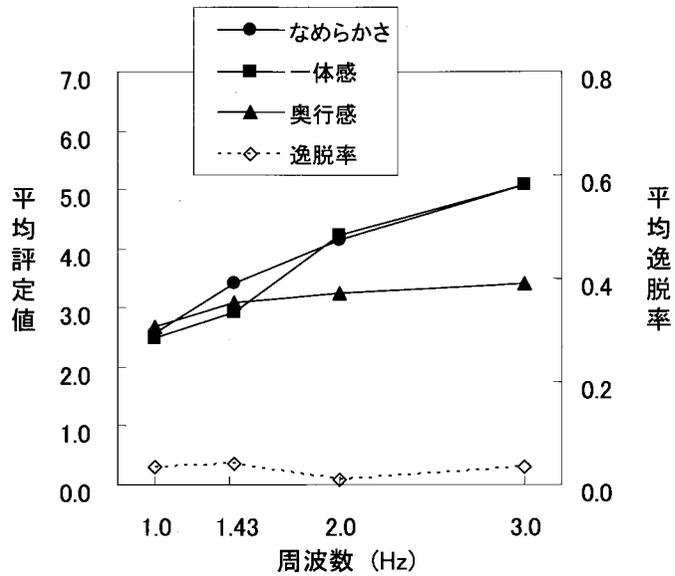
追視条件については、ISI-50条件とDUR-50条件では視標が提示された位置とサッカードによる眼球位置とが $\pm 1.0^\circ$ 以上逸脱した回数を計測し(最大値は40回)、比率に換算して追視の失敗率(逸脱率)を求めた。またPURS条件では、ISI-50条件とDUR-50条件における視標が提示された位置と同じ空間的位置に指標が到達した地点での、追跡の逸脱率を同様な基準で求めた。

(1) **凝視条件での運動印象と逸脱率との関係** 図1aにはISIを50 msecに固定した条件(ISI-50)における平均運動印象値と平均逸脱率が、また、図1bには提示時間を50 msecに固定した条件(DUR-50)における平均運動印象値と平均逸脱率が、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。

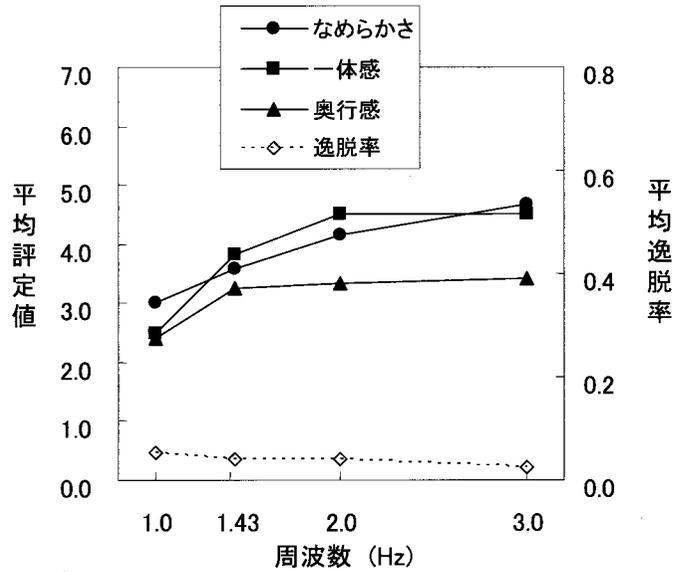
図1aと1bを見比べると、3種の運動印象が両提示条件間で同様な変動を示していることが容易に認められる。すなわち、両提示条件とも点滅周波数が増加するにつれ、なめらかさと一体感の評定値が増大するが、奥行感ほぼ一定のままである。視点を一点に凝視させた場合には、被験者は視線を移動させることがほとんどないため、逸脱率は極めて低くかつ点滅周波数の影響はほとんど受けていない。従って、この条件における各種の運動印象値には、固視微動を除く眼球運動の影響は全く関与していないと考えてよいであろう。

(2) **追視条件での運動印象と逸脱率との関係** 図2aにはISI-50条件における平均運動印象値と平均逸脱率が、また、図2bにはDUR-50条件における平均運動印象値と平均逸脱率が、図1と同様に示されている。

図から、ISI-50条件では逸脱率の上昇と共に運動印象値が増大しているが、DUR-50条件



a



b

図1 仮現運動事態における凝視観察条件での各運動印象の平均評定値と平均逸脱率を、2光点の点滅周波数の関数としてダブルプロットしたもの。a, ISI-50条件。b, DUR-50条件。

では、点滅周波数が1.43 Hzを超えるとむしろ運動印象値は下降傾向を示している。一方、点滅周波数が3.0 Hzにまで達すると、どちらの条件でも正確な追視が非常に困難になっていたことが示唆される。すなわち、逸脱率はISI-50, DUR-50条件とも周波数が上昇するに

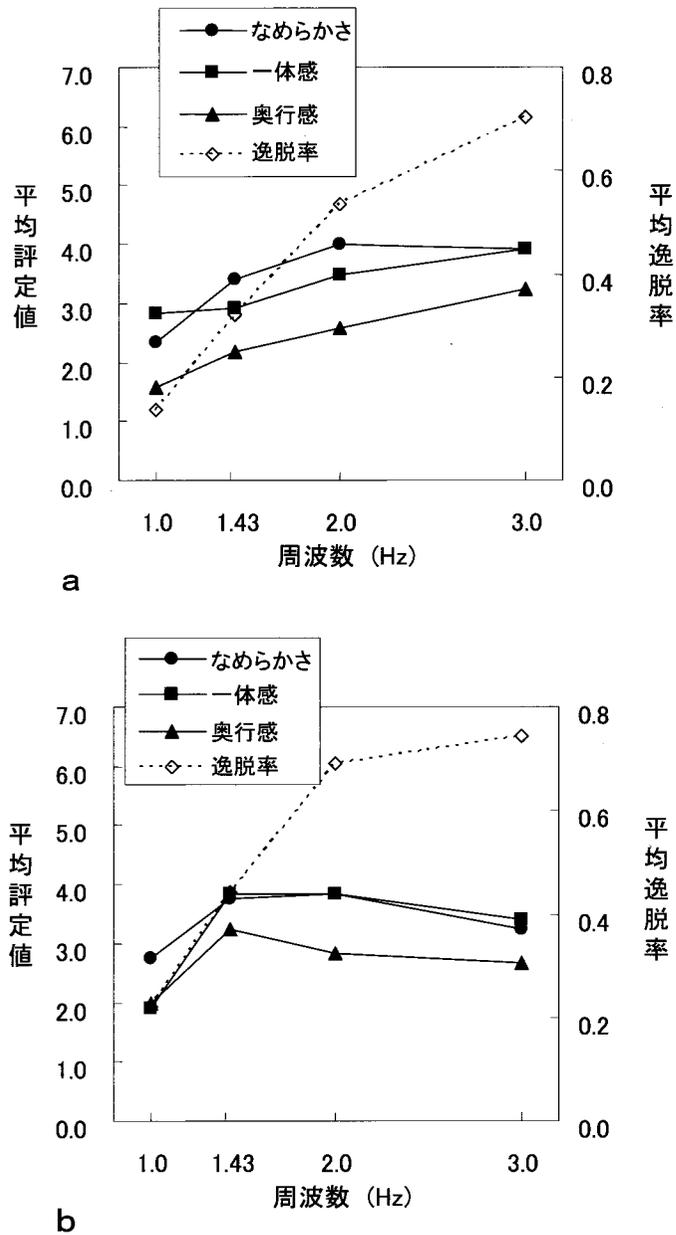


図2 仮現運動事態における追視観察条件での各運動印象の平均評定値と平均逸脱率を、2光点の点滅周波数の関数としてダブルプロットしたもの。a, ISI-50条件。b, DUR-50条件。

つれて増大し、3.0 Hzでは平均70%以上の逸脱が示されていた。従って、ISI-50条件とDUR-50条件の両条件において、視標を追視させることによって仮現運動の“見え”が変容することが示唆される。

(3) 実際運動条件 (PURS) における運動印象と逸脱率との関係 光点刺激が正弦波状に左右に往復移動する条件での平均運動印象値と平均逸脱率について、図 3 a には凝視条件での結果が、図 3 b には追視条件での結果が図 1 と同様に示されている。この条件で視線を固

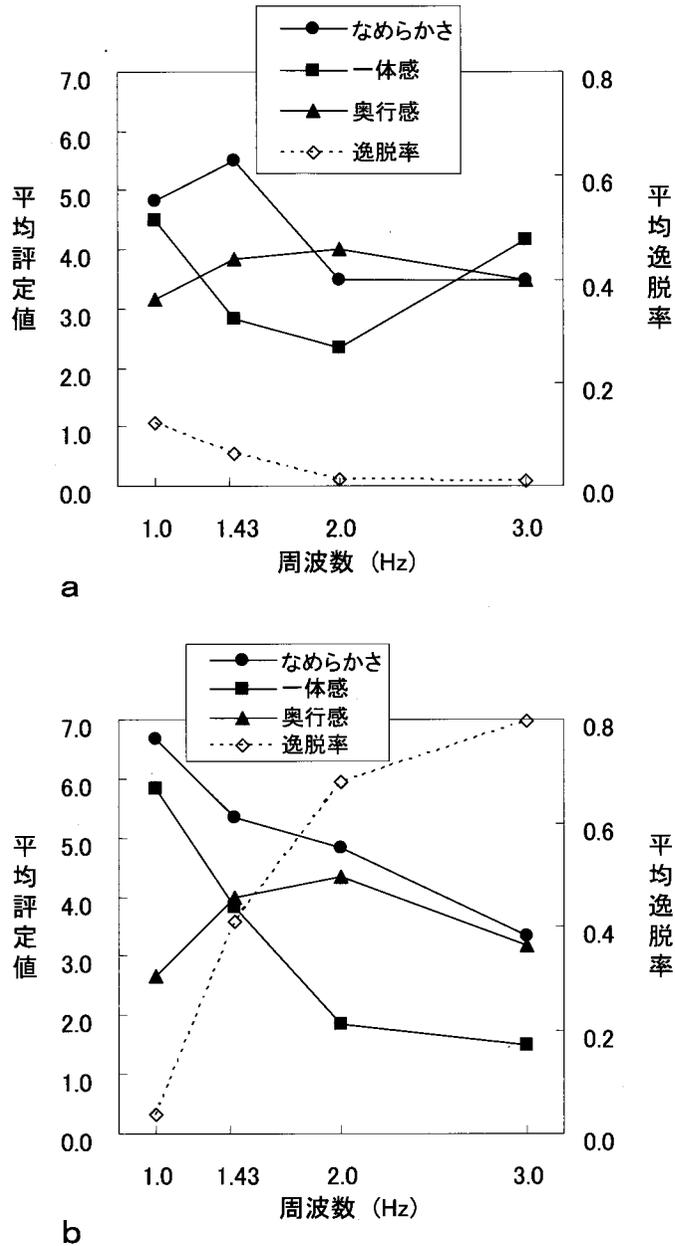


図 3 実際運動事態における各運動印象の平均評定値と平均逸脱率を、2 光点の往復周波数の関数としてダブルプロットしたもの。a. 凝視条件。b. 追視条件。

定して観察すると、刺激の見えは実際運動とほぼ同様な運動印象が得られることから、仮現運動事態よりも印象値は平均的に大きくなっている（図1および図3aを比較）。しかし、この印象値は、視線を固定させた場合と光点を追視させた場合とでは、大きく異なることが図から示唆される。すなわち、追視条件での運動印象値は、奥行感を除き、おおよそいずれも往復周波数の上昇により低下しており、その様相は、逸脱率がほぼ負の加速曲線を描きながら上昇していく様子と対照的である（図3b）。従って、実際運動の見えは、逸脱率の上昇に伴いなめらかさと一体感が低減することが示されたといえる。

一方、奥行感には、凝視、追視の両条件において周波数との関係では、逆U字型の変動がみられた（図3）。この傾向から奥行感には、なめらかさや一体感という運動印象とは異なる側面が反映されていたことが示唆される。

2. 仮現運動観察時の運動印象値の分析

2 光点を点滅させ、 β 運動を誘発する事態において得られた3種の運動印象値の各々について、視線（凝視／追視）×提示条件（ISI-/DUR-）×点滅周波数（1.0/1.43/2.0/3.0）の分散分析を行った。

(1) なめらかさ “段階的—なめらか”として求めた評定値については、周波数の主効果（ $F_{(3,15)}=3.51$, $p<.05$ ）、および視線×周波数の交互作用（ $F_{(3,15)}=3.73$, $p<.05$ ）が有意であった。交互作用について単純主効果の検定を行ったところ、3.0 Hz条件における視線の単純主効果および凝視条件における周波数の単純主効果が有意（それぞれ $F_{(1,20)}=5.82$ ； $F_{(3,30)}=9.57$, $p<.05$ ）となった。従って、なめらかさは全般的に周波数の増大に伴い強くなる傾向にあったが、3.0 Hzまで上昇するとなめらかさが追視条件においてのみ低下することが示唆された。

(2) 一体感 “分離的—一体的”として求めた評定値については、周波数の主効果（ $F_{(3,15)}=5.97$, $p<.01$ ）にのみ有意な結果が得られた。下位検定の結果、2.0 Hzと3.0 Hz条件は、1.0 Hz条件よりも有意に一体的と評定されていた。従って、2光点の見えの印象は、視線や刺激条件に関わらず周波数が上昇するにつれて分離的な印象からより一体的な印象へと変化することが示された。

(3) 奥行感 “2次元的一—3次元的一”として求めた評定値については、周波数の主効果（ $F_{(3,15)}=4.93$, $p<.05$ ）が有意であった。また、視線と提示条件についての交互作用は有意な傾向（ $F_{(1,15)}=4.38$, $p<.10$ ）にとどまった。下位検定の結果、1.0 Hz条件では、他の3条件よりも有意により2次元的一と評定されていた。従って、奥行感についても、視線や刺激条件の影響はほぼ受けず、周波数が上昇するにつれて2次元的一な印象からより3次元的一な印象へと移行することが示唆された。

3. 追視条件における運動印象値と逸脱率の相関関係

追視条件における運動印象と逸脱率（角変換値）との相関関係を検討するため、仮現運動事態（ISI-50およびDUR-50条件）での各運動印象値と逸脱率、実際運動事態（PURS）での各運動印象値と逸脱率、および両運動事態を込みにした各運動印象値と逸脱率とのピアソンの相関係数を求めた（表1）。その結果、仮現運動事態では、どの運動印象値も逸脱率と

表1 追視条件における各運動印象値と逸脱率との相関

	なめらかさ	一体感	奥行感
仮現運動 (n=48)	0.324*	0.452**	0.444**
実際運動 (n=24)	-0.582**	-0.736**	0.418*
仮現+実際 (n=72)	0.077	0.163	0.423**

* $p < .05$ ** $p < .01$

の有意な正の相関が認められた。実際運動事態では、奥行感において有意な正の相関がみられたが、なめらかさ、および一体感において有意な負の相関が認められた。両運動事態を込みにすると、なめらかさと一体感におけるそれぞれの有意な相関が消失したが、奥行感については有意な正の相関が依然としてみられた。

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、両条件において生起したそれぞれの眼球活動が運動印象に与える影響は、なめらかさと一体感については異なっていたと考えられる。しかし、奥行感については、いずれも逸脱率とは正の相関が認められたことから、奥行的（3次元）な運動印象は、逸脱率が高い場合、すなわち追視率が低下した場合に増大する傾向があるといえる。

考 察

本研究では、仮現運動観察中の眼球運動を計測し、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ッカードを生起させた条件とを設定し、この事態で得られる3種類の運動印象に及ぼす眼球活動の影響について検討した。その結果、光点の軌跡を追視させる条件では、追視の失敗（逸脱率）がいずれの運動印象に対しても影響すること、さらにその影響の程度は、なめらかさ、一体感、奥行感という運動印象それぞれについて異なって現れたことが示された。以下において本研究結果を考察し、前報（今井他，2006）に引き続き仮現運動生起のメカニズムについて考察してみる。

1. 仮現運動観察時の運動印象と眼球活動

2点間での光点の点滅を観察させることにより、いわゆる β 運動が生起したと考えられるが、この運動観察で得られた3種類の異なる印象値は、全体としては点滅周波数が高くなると、よりなめらか、より一体的、より3次元的と評定される傾向が認められた。しかし、2光点の点滅交替のスムーズさ、すなわち“分離的なめらか”についての印象値のみは、視線と周波数の交互作用が有意となり、点滅周波数3.0 Hzにおいて、凝視条件が追視条件に比較して有意に“なめらかな”運動印象をもたらしていた。すなわち、点滅光点の交替的なめらかさは追視させることにより低下したが、それは、逸脱率が上昇する高周波数条件においてのみであったといえる。点滅周波数の上昇に伴い逸脱率が増加していたにもかかわらず、他の2種の運動印象はほぼ凝視条件における運動印象と一致していたことから、“なめらか

さ”は追視の影響をより受けられる。

前報（今井他，2006）では，実際運動観察時に得られた運動印象を，いわばモジュラスとしたマグニチュード推定法によって全般的な運動印象を評定させており，本研究の絶対判断法による評定とは異なっていた。従って，評定法は異なるものの，前報で認められた追視率の低下に伴う全般的運動印象の低下は，本研究におけるなめらかさと同等か，あるいは類似的な運動印象を評定させていたことが示唆される。

一方，“一体感”と“奥行感”には，凝視か追視かの視線条件の差異が明確には認められなかった。平均値としては，視野の一点を凝視させた場合に比較して追視条件でのそれぞれの運動印象の低下傾向がみられたが，統計的な確証を得るには至らなかった。従って，仮現運動がもたらす運動印象には，随意的眼球活動の影響を受けやすいものと，受けにくいものとが区別されるのかもしれない。

本研究では“刺激を追視する”ことを被験者に教示しており，この教示は，通常の凝視観察条件との比較において運動印象を変容させていた。一体感と奥行感は，仮現運動事態では追視による影響を受けていたとは認められなかったが，なめらかさは高周波数条件において追視の影響を受け低減していた（図1および図2参照）。追視条件では，動眼系に眼球を動かすための指令が常に出されていたと思われることから，高周波数条件で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，追視条件下でのなめらかさの低下をもたらしたのであろう。この結果は，相殺説（cancellation theory）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，相殺過程の不全が運動印象の変容をもたらしていた可能性を示唆している。

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，通常の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に関するこれまでの知見は，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。

本研究は，現象の観察からもたらされる運動印象が，前報（今井他，2006）と同様，随意的な眼球運動によって影響されることを示したといえるが，心理的評定値がどのようにして神経学的背景を持つ随意的眼球運動により変動したり，あるいはしなかったりするのかは未だ不明のままである。今後の検討が必要とされよう。

2. 実際運動観察時の運動印象と眼球活動

本研究では，仮現運動観察時の運動印象の詳細を比較検討するため，実際運動が観察される刺激条件（PURS）でも印象評定値を求めた。その結果，追視条件での運動印象と逸脱率とは，なめらかさと一体感では負の相関を，奥行感では逆に正の相関を示していた（図3お

よび表1参照)。周波数の上昇が逸脱率の増加をもたらしていたことから、追視の失敗は実際運動の印象をより段階的、より分離的、より3次元的にすることを示唆する。従って、追視が不完全になると、凝視条件で観察された運動印象は変容するものと思われる。実際に、6名すべての被験者が、往復周波数2.0 Hz や3.0 Hz 条件（刺激の移動速度は平均40-60°/sec）では、追視が困難であったことを訴えており、通常の追視ができない条件であったと考えられる。

加えて、実際運動事態における刺激の追視は、周波数の上昇に伴いなめらかさと一体感を低減させていた（図3b）。一方、奥行感は、逸脱率とは正の相関を示し、刺激の往復周波数が高い条件ほど、すなわち追視の失敗が多くなるほど刺激はより3次元的に評定された。この結果は、高速度で移動する視標を観察する場合にのみ、通常の“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ことによるものとも考えられる。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 以上の条件での眼球活動は、追視がしばしば停止され、視野中央部で眼球は停留し、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が特徴的でありこのパターンが5名の被験者において認められていた。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、眼球運動の変容に伴う運動印象の変容である。

我々は、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と思われる過程での運動印象の検討を前報（今井他、2006）より開始したが、このような観点からの研究はこれまで報告されていない。引き続き、運動刺激観察時のサッカードや追跡眼球運動の追跡率低下と、その低下がもたらす運動印象の変容について検討する必要がある。

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、最もよく知られている理論的背景はすでに上記に述べた相殺説であろう。相殺説はHelmholtz (1866/1962) や Von Holst (1954) によって展開されている。この相殺説に関わる解剖学的な脳の領野としては、Haarmeier, Their, Repnow & Petersen (1997) によってMST野の関与が示唆されている。

一方、運動知覚については、視覚一次野(V1)が仮現運動に関与している証拠(Muckli, Kohler, Kriegeskorte, & Singer, 2005)や、動きを合意する写真がMT野複合の賦活をもたらす証拠(Lorteije, Kenemans, Jellema, van der Lubbe, de Heer, & van Wezel, 2006)などが提出されている。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、Brad-dick (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していると考えられる。すなわち、運動知覚を支えるメカニズムは、視覚一次野から物体視経路へと繋がる遠隔系と、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つの経路で担わ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。視神経は、中心窩からみて鼻側由来の線維が視野反対側の脳半

球視覚一次野へ、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とが知られている。この経路はそれぞれ交差、非交差経路と呼ばれており、交差系の神経線維は、その途中で一部が分かれて皮質下の上丘 (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 (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、見えの運動やその知覚によってもたらされる運動印象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まだ不明な点が多く、皮質下領域の機能的意義を探る心理学的研究は不足しており (本田, 2003), この径路がどのように知覚システムに影響を与えているのか、今後の知見の積み重ねが必要であろう。

付 記

1. 本研究の一部は、2006年日本心理学会第70回大会 (九州大学) において発表された。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. 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.
- 今井 章・徳増和佳乃・嶋崎裕志・本田仁視 2006 仮現運動と眼球活動との関係 信州大学人文学部人文科学論集<人間情報学科編>, **40**, 1-13.
- Kolers, P. A. 1972 *Aspects of motion perception*. New York: Pergamon Press.
- Lorteiji, J. A. M., Kenemans, J. L., Jellema, T., van der Lubbe, R. H. J., de Heer, F., & van Wezel, R. J. A. 2006 Delayed response to animate implied motion in human motion processing areas. *Journal of Cognitive Neuroscience*, **18**, 158-168.
- 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 uber 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

II. Detailed analyses of smoothness, coherence, and dimensionality of perceived motion.

Akira IMAI*, Hiroshi SHIMAZAKI* & Hitoshi HONDA**

*Department of Psychology, Faculty of Arts, Shinshu University

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

ABSTRACT

We examined the relationships between apparent motion illusion and eye movements. Six subjects were asked to report smoothness, coherence, and dimensionality of long-range apparent motion under instructions 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 successful shifts of their gaze to the stimulus-presented-point to total numbers of eye movement was calculated. Under the instruction of fixating-gaze, estimated smoothness was significantly greater than that under the shifting-gaze when the stimulus onset frequency was 3.0 Hz. Estimated coherence and dimensionality did not differentiate between fixating-gaze and shifting-gaze conditions, showing that coherence increased monotonically and dimensionality varied as inverted U-shape as a function of the onset frequency. The results suggest that eye gazing alters smoothness of apparent motion, and motion perception may be influenced by the oculomotor control. The mechanism of motion perception is discussed in relation to the present results and recent works.

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