

# 運動物体の位置推定に関する 最近の研究：1984-1999

永井 聖剛・八木 昭宏

## 1. はじめに

サルが外界の信号を網膜で受け取り、その信号が視覚皮質に到達するまでに、30～90 ms の時間を要する (Maunsell & Gibson, 1992; Schmolesky, Wang, Hanes, Thompson, Leutgeb, Schall & Leventhal, 1998)。この到達時間はヒトではもう少し長くなる可能性がある。また、信号が視覚皮質に到達した後、意識上に視覚経験が生じるまではさらに時間を必要とするであろうから、ヒトが知覚しているのは 100 ms ほど前の世界といえるだろう。この数値は一見小さく感じられるかもしれない。しかし、この 100 ms の間に、時速 60 km で進む物体は 1.67 m、ヒトの歩行速度に相当する時速 4 km の物体でも 11.1 cm も進むことになる。このような数値を目の当たりにすると、100 ms 間の処理の遅れがいかに大きな意味を持つかが実感できよう。

例えば、野生動物にとって獲物を捕まえる、あるいは捕食者から逃れるというような行動は生死に関わる。これらの行動を成功させるには、動いている相手の位置を瞬時に、しかも正確に知らねばならない。多くの動物はこのような行動を難無く行うし、ヒトもボールをキャッチするというような行動をうまくこなしている。これは、視覚経路上の 100 ms の遅れを「取り戻す」ような処理が生じていることを示唆する。つまり、何らかの「取り戻し」処理によって、我々は 100 ms 前の世界ではなく、現在に限りなく近い世界を知覚しているものと考えられるのである。

本論文では、この「取り戻し」処理に関連した諸研究を紹介する。まず最初に、Representational Momentum と呼ばれる現象を、続いて「取り戻し」処理をよりクリアに抽出している運動刺激の空間的先行 (Spatial Lead of a moving stimulus) という現象を紹介する。

## 2. Representational Momentum

動いている物体が突然消える場合、その消失位置は実際の位置よりも物体の運動経路の延長上へとずれて判断される。この現象は Representational Momentum (RM; 表象に存するモメンタム) と呼ばれている。RM という用語は、物理的モメンタム (momentum; 勢い, 弾み) との類似性から命名された (Freyd & Finke, 1984)。物理世界においては、運動している物体がその運動を阻止するような力を受けたとき、その物体はすぐには停止することはできず、運動中に得たモメンタムのためいくらか進んでから止まる。同様に、運動している物体の表象も表象独自の形態でモメンタムを備えており、直ちに停止することはできず RM が生じるのであろう。このアイデアは、「多くの認知的活動 (例えば、知覚する、想像する、推論する、そして夢をみる) は、世界に存在する普遍則の内在化によって導かれ、万物の物理的ふるまいを支配する法則はその森羅万象内で機能する心に内在化されてきた」という Shepard (1984, 1994) の提案とオーバーラップしている。人類の進化過程において物理的モメンタムが不変であったなら、モメンタム則と一致した方法で物体の運動を推定する生物は、生存競争において優位に立ち、多くの子孫を残す可能性が高くなるものと考えられる。それゆえ、物理的モメンタムは我々の知覚システムに組み込まれてきたのであろう (e.g., Finke & Freyd, 1989; Finke, Freyd, & Shyi, 1986; Freyd & Finke, 1984)。このような議論は未だ推測の域を出ないが、RM は先述の「取り戻し」処理が実在することを示唆し、「取り戻し」処理の性質を探る道具となるという点で重要な意味を持つものと期待された。

典型的な RM の実験では、まず空間を短時間移動（回転あるいは並進）する刺激を提示し、その刺激の消失から 250 ms 後（保持時間）に、プローブとして消失位置付近に運動刺激と同形状の刺激を静止提示する。被験者は、運動刺激消失位置とプローブの位置に関する同異判断を行う。被験者が運動刺激の消失位置を正しく判断できるなら、実際の消失位置にプローブが提示されたときに、最も多い「同」反応を示すはずである。ところが、実際の消失位置よりも運動経路の延長上にプローブが提示されたときに、最多の「同」反応が見られる。すなわち、消失位置判断が刺激の運動方向にシフトするのである。

RM についてこれまで多くの研究が行われており、その性質が明らかになってきている。既知の性質は大きく 2 つに分けられる。1 つは物理世界での物体の振る舞いに類似した性質、もう 1 つは観察者の予測・知識を反映した性質である。続いて、これらの RM の性質を紹介する。

#### (1) 物理法則と類似の RM の性質

RM は物理世界に見られる物体の振る舞いと類似の性質を示す。例えば、運動刺激の速度の増大に伴って位置判断シフトが大きくなること (Freyd & Finke, 1985; Hubbard, 1990; Hubbard & Bharucha, 1988)、加速度の増大に応じて位置判断シフトが大きくなり、その大きさは運動刺激の瞬間的な最終の速度に依存することが確認されている (Finke, Freyd, & Shyi, 1986)。また、運動刺激の運動の向きが鉛直下向きの場合の方が、上向きよりも位置判断シフトが大きくなると報告されている (重力効果, Hubbard, 1990; Hubbard, 1995; Hubbard & Bharucha, 1988)。ところが、重力効果に関する従来の研究では、この効果が本当に重力軸下方へ位置判断シフトを増大させるのか、それとも身体軸下方へ増大させるのかについて明らかにしていなかった。しかし最近、筆者らは重力効果が重力軸下方への位置判断シフトを増大させるものであることをはっきりと示す実験データを報告した (Nagai & Yagi, 1998 a; 永井・八木, 1998 b)。

さらに、運動刺激の運動経路に接して障害物を提示する場合に位置判断シフ

トが小さくなることも知られている（摩擦力の効果, Hubbard, 1995）。筆者らは、2等辺3角形のように1方向だけ極端に尖ったボタンが、尖っている方に進む場合には逆に進む場合よりも大きなRMが出現することを見出した（永井・八木, 1997）。物理世界でこのような2等辺3角形ボタンが媒介中を進むことを想定した場合、尖った方に進む場合の方が受ける抵抗が少ない。したがって筆者らの知見は、摩擦効果の1つととらえることが可能であろう。

しかし、物理法則と完全に一致しないRMの性質も知られている。例えば、物理的モメンタムは運動する物体の質量の大きさにつれて増大する。したがって、運動刺激の質量に比例した大きさの位置判断シフトが生じると考えられる。Hubbard (1995) は、運動する刺激の大きさを様々に変えて、質量の効果を検討した。その結果、鉛直下向きに刺激が運動する場合に限り、大きな刺激の方がより大きな位置判断シフトを生じさせることが確認された。しかし、その他の方向に運動する場合には、刺激の大きさは何の影響も与えなかった。また、Freyd and Jones (1994) はとぐろを巻いたチューブからボールが発射される映像を提示し、どの方向に位置判断シフトが生じるかを調べた。実験の結果、物理的に正しい方向（チューブ終点の接線方向）ではなく、それまでの運動を継続するような方向（とぐろの延長方向）に位置判断のシフトが生じることが示された。

これらはRMが物理世界に見られる諸性質を完全に反映してはいないことの証拠であろう。直観物理学の研究で指摘されたように（McCloskey, 1983; McCloskey, Caramazza & Green, 1980）、我々は脳内に物理法則とは少し異なった、外界の物体の振る舞いについての内的モデルを有しており、それがRMの性質を決定しているものと考えられる。

## (2) 観察者の予測・知識の影響

上記のように、物理世界にみられる物体の運動と類似したRMの性質を挙げた。しかし、物理世界との類似性だけでは説明することのできないデータも報告されている。Hubbard and Bharucha (1988) は、フレーム内をバウン

ドしながら水平移動するボールを提示し、フレームに衝突する直前にボールとフレームを同時に消失させた。このとき、ボールの運動方向ではなく、正反対の方向、すなわち衝突後にボールが達するであろう位置に位置判断のシフトが生じることが示された。また Verfaillie and d'Ydewalle (1991) は、直方体刺激が一定の方向に回転する条件と、周期的に回転方向を変える条件との間で位置判断のシフトを比較した。一定回転の条件では従来通りのシフトが得られたが、他方の条件では回転変化時に刺激を消失させると、ほんの僅かなシフトしか生じなかった。これら2つの研究から、位置判断シフトの生じる方向およびその大きさが、刺激の移動先についての被験者の予測に影響されると考えられるようになった。

また、Reed and Vinson (1996) は現実世界での物体の進行に関連した知識が位置判断シフトの大きさを左右することを示した。彼らが行ったある実験では、上方が尖った抽象的な図形が用いられた。この抽象的な図形に対して、一方の群に「ロケット」、他方に「教会の尖塔」というラベルを教示によって与えたとき、「ロケット」というラベルを与えられた群の方が、図形が上向きに動く場合に限ってより大きな位置判断シフトを示した。また別の実験では、ロケットおよび教会の尖塔の線画を用い、線画が上向きに動く場合に限って、ロケットの方がより大きなシフトを生じることを示した。このような結果から、彼らは物体がその典型的な運動を見せるときにはその物体に関連する知識がRMに影響を及ぼすものと考えた。すなわち、ロケットが上昇するように提示される場合に限って「ロケットは勢いよく上昇する」という知識が位置判断シフトの大きさに影響し、尖塔に比べてより大きなシフトを生じるものと結論した。ところが、Halpern and Kelly (1993) では物体に関連した知識の影響が見られなかった。彼らは、実際世界で様々なスピードを持った物体を刺激とし、位置判断シフトの大きさを測定した。しかし、得られたシフトの大きさは、実際世界での移動スピードの大小に関わらず同程度のものであった。以上のように、物体に関連した知識の影響については統一的な実験結果は得られていない。

#### (4) 知覚か記憶か？

先述したように、RM を検討する実験パラダイムでは運動刺激の消失後約 250 ms (保持時間) にプローブを提示することによって位置判断のシフトを測定する。このとき測定されるのは、プローブ提示時での位置判断のシフトであり、運動刺激消失時点の位置判断シフトを測定することはできない。したがって、観察される位置判断のシフトは知覚過程だけではなく、保持時間中の記憶過程を反映している可能性が十分にある。これを端的に示したのは、Freyd and Johnson (1987) のデータであった。彼らは保持時間を 10 ms から 1700 ms まで変化させたときの位置判断シフトの大きさを測定した。その結果、保持時間が 300 ms まではシフトの大きさは増加し、それ以上の保持時間では次第に減少することが示された。このデータを考慮すると、RM パラダイムで観察されるのは、知覚時の位置判断シフトではなく、知覚された消失位置の記憶が時間とともに変容していったものと解釈すべきであろう。

### 3. 運動刺激の空間的先行

上述のように、RM 研究の実験パラダイムでは、「ある瞬間に運動物体がどの位置に知覚されているか」という疑問に答えることはできなかった。RM パラダイムで観察される位置判断のシフトは、100 ms の処理遅延を「取り戻す」ようなメカニズムが視覚システムに存在することを示唆するが、その存在の直接的な証拠としては不十分であった。このような RM 研究の限界を打破し、我々が運動物体に対する処理遅延を「取り戻し」ている可能性を直接的に示したのは、近年 Nijhawan のグループが報告した運動刺激の空間的先行 (Spatial Lead of a moving stimulus) という現象であった (Nijhawan, 1994, 1997)。

Nijhawan (1994) は定速回転するバーを実運動提示し、予測不可能なタイミングで回転バーの両端に 2 つの静止バーを瞬間提示した (図 1)。被験者は、回転バーと静止バーが一直線になるように静止バーの空間位置を調節する

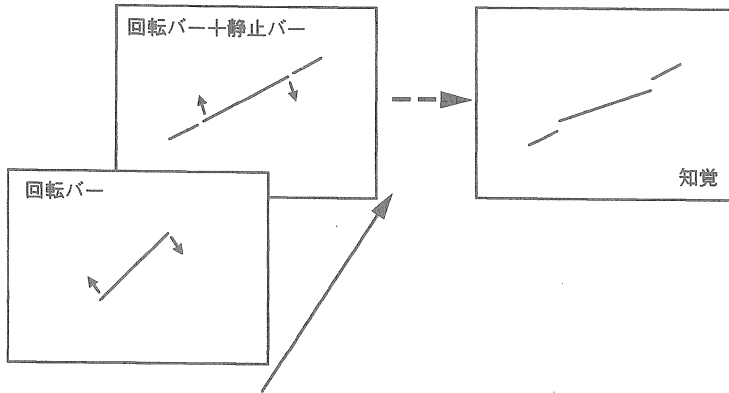


図1 Nijhawan (1994) で用いられた刺激

回転バーが提示される間に、予測できないタイミングで静止バーが瞬間提示された。両バーが物理的に一直線に並んでいる場合、観察者は回転バーの方が先に進んでいるかのように知覚した。

ように求められた。実験の結果、両バーが物理的に一直線に並ぶように提示されたときには、回転バーが静止バーよりも先に進んでいるように知覚された（回転バーの空間的先行）。空間的先行の大きさは、両バーが一直線に見えるときの両バーの物理的ギャップの大きさによって示された。実験の結果、空間的先行の大きさはバーの移動速度に比例して大きくなり、時間に換算すると 82 ms に相当した。

Nijhawan (1994) によれば、このような結果を説明するカギは、定速回転バーの未来の位置の予測可能性と静止バーの出現の予測不可能性にあると述べている。回転バーの未来の位置は、その回転速度に基づいた外挿 (Motion Extrapolation: ME) により正確に推定することができる。このような処理を初期視覚メカニズムが瞬時に行い、100 ms の処理の遅れを取り戻しているのだと考えた。これに対して、瞬間提示される静止バーはその出現が突然で、処理遅延を取り戻すことができない。したがって、物理的に静止バーが先行したときに、静止バーと回転バーが一直線に見えるのだと説明した。また、実験で得られた空間的先行 (82 ms) は、網膜から皮質までの処理遅延 (100 ms 程度)

とさほど違いがなく、ヒトが知覚している運動物体の位置は実際の物理的位置とほとんど差がないことを強調した。

Nijhawan (1994) の研究は、運動物体が知覚される位置をリアルタイムで観察可能なパラダイムを紹介したこと、そしてヒトが処理遅延を取り戻しているという直接的な根拠を示した点で価値あるものであった。

#### (1) 注意による空間的先行の説明は可能か？

Blado and Klein (1995) は空間的先行が、注意の移動と密接な関係にあることを示唆した。彼らは、注視点の周りを1対のドットが回転する間に、一直線に並んだ2対の静止ドットを瞬間提示した。このとき、静止ドットの方が回転ドットよりも注視点から離れていた。注視点から静止ドットまでの距離は、1.47 deg, 4.74 deg のいずれかであった (図2)。Nijhawan (1994) の実験と同じく、両ドットが一直線に並ぶように静止ドットの位置を調整するように被験者に求めた。実験の結果、回転ドットと静止ドットの距離が大きい場合の方が小さい場合よりも、大きな空間的先行が観察された。このような結果から、注意の2つの側面、すなわち「突然の刺激出現による注意の捕捉 (attentional capture)」(Hillstrome & Yantis, 1994) および「注意の移動 (attentional shift)」(Tsal, 1983; Weichselgartner & Sperling, 1987) によって、空間的先行が説明可能であるとした。彼らの説明によれば、回転ドットだけが提示されているときは被験者はそちらに注意を向けているが、突然の静止ドットの出現に一瞬にして注意を奪われる。その後、回転ドットに注意を戻すが、その移動に要する時間は静止ドットと回転ドットの距離に比例する。両ドットが近い場合には、静止ドットから回転ドットへの注意の移動が短時間で行われる、つまり素早く回転ドットの位置を知覚できるため空間的先行が小さくなる。これに対し、両ドットが遠い場合には、注意の移動により時間がかかるため、回転ドットがより進んだ位置に知覚され、空間的先行が大きくなるとした。彼らは、注意前の知覚処理が空間的先行を生じさせているという可能性を否定できないとしながらも、以上のように注意メカニズムによって空間的先行が生起し



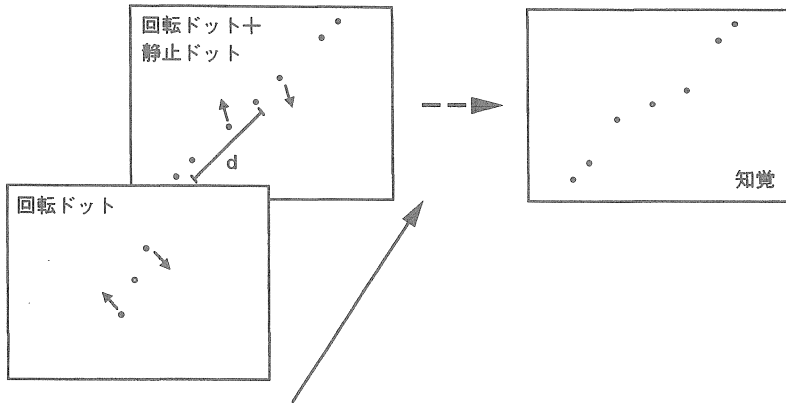


図2 Blado & Klein (1995) で用いられた刺激

回転ドットが提示される間に、予測できないタイミングで静止ドットが瞬間提示された。両ドットが物理的に一直線に並んでいる場合、観察者は回転ドットの方が先に進んでいるかのように知覚した。注視点から静止ドットまでの距離 ( $d$ ) は、 $1.47 \text{ deg}$ ,  $4.74 \text{ deg}$  のいずれかであった。

ているという仮説を提唱した。

Khurana and Nijhawan (1995) は、Blado and Klein (1995) の注意による空間的先行の説明に対して反論した。彼らは図3のような刺激を提示し、注意の移動が生じる余地をなくした。しかし、このような刺激を用いてもなお空間的先行を得た。また別の実験では、回転バーの出現と同時に静止ドットを瞬間提示し、突然の刺激出現による注意の捕捉の効果を両ドット間で等質にした。この刺激事態でも、通常の刺激事態と同程度の空間的先行を得た。このような結果から、彼らは空間的先行の生起は注意によるものではないとした。さらに、後者の実験結果から、処理の速い大細胞経路(magnocellular pathway)にMEシステムが実装され、視覚刺激が皮質に伝わる100ms以内にME処理が完了できるのだらうと推測した。

## (2) 不完全なME処理

従来の空間的先行の研究では回転バー、静止バーともに同じ輝度の刺激を用いていたが、Purushothaman, Patel, Bedell and Ogmen (1998) ではこれ

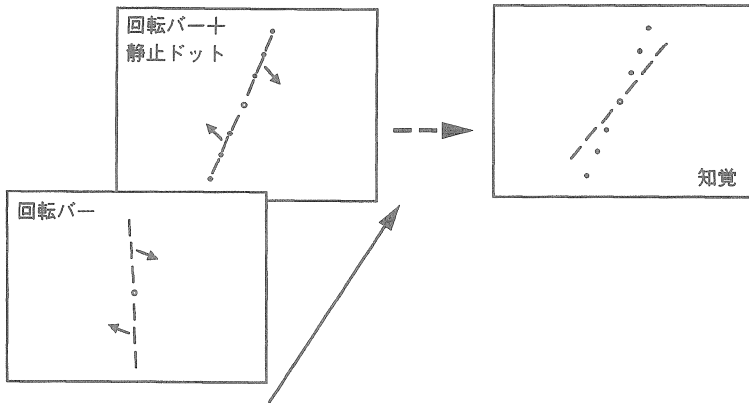


図3 Khurana & Nijhawan (1995) で用いられた刺激 Blado & Klein (1995) とは異なり、静止ドットの間を複数の回転バーで埋めて注意の移動の生じる余地をなくした、回転バーが提示される間に、予測できないタイミングで静止ドットが瞬間提示された。両者が物理的に一直線に並んでいる場合、観察者は回転バーの方が先に進んでいるかのように知覚した。

らの輝度を独立に操作した。よく知られているように、高輝度の刺激の方が低輝度の刺激よりも知覚潜時が短い (Williams & Lit, 1983)。もし ME を実現するシステムが刺激の輝度による知覚潜時の差を相殺して機能しているならば、回転・静止バーの輝度をどのように変化させても、空間的先行は常に同じ大きさになると考えられる。また相殺していなければ、輝度設定に応じて空間的先行の大きさは変わるであろう。実験の結果、後者の予測が支持された。すなわち、回転バーの輝度を変化させた場合、その輝度が高くなるほど空間的先行は大きくなった。また、静止バーの輝度を変化させた場合、その輝度が高くなるほど空間的先行が小さくなり、ある条件では回転バーが静止バーがよりもいくらか前方に位置したときに両者が一直線に知覚された。つまり、物理的に一直線に両バーが並んだ場合、回転バーが後方に位置しているように知覚された (空間的後行; Spatial Lag of a moving stimulus)。

以上の結果は、ヒトが外界の運動物体の物理的位置をリアルタイムで正確に知覚することができないことを示唆する。例えば、同じ速度だが明るさの異なる

る複数の物体が並んで動いていても、一直線に並んで見えないことになる。

### (3) ME 処理によらない空間的先行の説明

Whitney and Murakami (1998) は、運動刺激と静止刺激に対する知覚潜時の違いを考慮すれば、ME システムを仮定せずとも Nijhawan (1994) の結果を説明できると主張した。彼らは、ランダムに方向を変えながら水平移動するバーを提示し、予測できないタイミングで水平移動バーの両端に静止バーを瞬間提示した。被験者には水平移動バーと静止バーが一直線になるように調整させた。実験の結果、水平移動バーが方向を転換する 75 ms 前までは、45 ms 相当の空間的先行がみられた。ところが、方向転換前 75-45 ms では徐々に空間的先行の大きさが小さくなり、方向転換前 45-0 ms では、空間的後行がみられた。Nijhawan が主張する ME システムが機能していれば、方向転換するまでは常に空間的先行が生じるはずである。彼らはこのような実験結果を説明するためには、水平移動バーの方が静止バーよりも知覚潜時が短いと仮定すればよいと主張した。また、知覚潜時の違いが空間的先行の大きさに相当するとした。

しかし、知覚潜時の違いを仮定するだけでは Whitney and Murakami (1998) の結果を説明することはできない。知覚潜時の違いが、水平移動バーの方向転換前後で大きく変化することを仮定しなければ、彼らの結果は説明不可能である。けれども、この点に関しては彼らは何も述べていない。

### (4) ME を実現する神経メカニズム

Nijhawan らは ME 処理の迅速性から、そのような処理が大細胞経路で実現されていると考えていたが、その証拠を示すことはなく推測の域を出なかった (Nijhawan, 1994; Nijhawan, 1997; Khurana & Nijhawan, 1995)。ところが、ごく最近 Berry, Brivanlou, Jordan and Meister (1999) によって、ME システムが網膜上に存在していることを示すデータが報告された。彼らは、サンショウウオ、ウサギの網膜で、運動刺激に対するニューロン集団の

発火ピークが実際の物理刺激の位置よりも運動の方向に  $100 \mu\text{m}$  先行することを示した。この発見によって、ME 処理が速くも網膜の段階で生じていることが明らかになった。網膜は外界の刺激を最も速く受け取ることができるということを考えると、ME システムにおいて網膜の果たす役割は非常に大きいものと思われる。

#### (5) 仮現運動による空間的先行

これまで紹介してきた全ての空間的先行研究では実運動を用いており、時間に換算して  $50\text{--}80 \text{ ms}$  ほどの空間的先行がみられた。ところが CRT 画面で刺激を提示した Hill (1998) では、たった  $3.9 \text{ ms}$  の空間的先行しか得られていない。彼らが用いた運動刺激は、 $13.3 \text{ ms}$  毎に  $8.56 \text{ min}$  ずつ位置を変えるようなものであった。このような運動刺激を観察した場合、主観的には非常にスムーズな仮現運動が知覚され、実運動と区別することは不可能であろう。しかし、網膜上では全く異質のものとして扱われているかもしれない。実運動の場合には Berry *et al.* (1999) が報告したような網膜上での ME 処理を生じさせるであろうが、いくらスムーズな仮現運動でも網膜上では断続的な運動として扱われ、網膜レベルでの ME 処理を引き起こさない可能性が十分にある。その結果、仮現運動提示では非常に小さな空間的先行しか生じないのかもしれない。

もちろん、この仮説の真偽を明らかにするには、まだまだ多くのデータを集積しなければならない。ただ、もし仮現運動刺激が網膜上の ME システムを機能させないのであれば、仮現運動刺激を用いた研究は（もし存在するならば）網膜以後の経路での ME システムの性質を色濃く反映するかもしれない。

#### (6) 運動反応による検討

ここまで紹介してきた研究は、全て知覚レベルでの反応を求めたものであった。しかし、運動物体への反応は「ボールを取る」あるいは「打つ」のような

運動器官の反応によって完了する。したがって、運動反応の正確さを指標とするような課題を用いた研究が、今後重視されるであろう。

先の項目で紹介したように、仮現運動刺激を用いた場合、知覚レベルでは ME 処理がほとんど機能しない可能性がある。また、実運動刺激でも刺激の輝度によっては ME 処理が完全に働かない場合もある (Purushothaman *et al.*, 1998)。このような刺激事態でも、運動物体への運動反応が正しく遂行できるか否かは大変興味ある問題である。もし可能なら、運動物体に対する正確な反応は、知覚レベルでの ME システムだけでなく、運動反応レベルでの ME システムにも依存して実現されていることになる。

#### 4. ま と め

RM 研究パラダイムは、視覚経路の処理遅延の「取り戻し」過程を調べるには不都合だが、ヒトがもつ内的な物理モデルを検討するには優れている。今後そのような目的に沿って、RM パラダイムが利用されるであろう。これに対し、Nijhawan が紹介したパラダイムは運動物体の知覚位置をリアルタイムで測定することができ、「取り戻し」処理を検討するための有力な手段である。Nijhawan は、空間的先行を生じさせるのは ME 処理であると考え、その実体が Berry *et al.* (1999) によって網膜に存在することが報告された。しかし、空間的先行を生じさせるのは、網膜での ME 処理だけではないと思われる。知覚レベルでの ME 処理の不完全さから、別のシステムの働きによって、運動物体への行動が適切に遂行されている可能性が十分にある。今後は、網膜、網膜以降～視覚皮質、運動遂行など複数のレベルで ME 処理が実現されているという立場から研究を進めるべきであろう。

#### References

- Berry, M. J., Brivanlou, I. H., Jordan, T. A., & Meister, M. (1999). Anticipation of moving stimuli by the retina. *Nature*, 198, 334-338.
- Blado, M. V. & Klein, S. A. (1995). Extrapolation or attention shift? *Nature*,

- 378, 565-566.
- Finke, R. A. & Freyd, J. J. (1989). Mental extrapolation and cognitive penetrability: Reply to Ranny and proposals for evaluative criteria. *Journal of Experimental Psychology: General*, 118, 403-408.
- Finke, R. A., Freyd, J. J., & Shyi, G. C. W. (1986). Implied velocity and acceleration induce transformations of visual memory. *Journal of Experimental Psychology: General*, 115, 175-188.
- Freyd, J. J. & Finke, R. A. (1984). Representational momentum. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, & Cognition*, 10, 126-132.
- Freyd, J. J. & Finke, R. A. (1985). A velocity effect for representational momentum. *Bulletin of the Psychonomic Society*, 23, 443-446.
- Freyd, J. J. & Johnson, J. Q. (1987). Probing the time course of representational momentum. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, & Cognition*, 13, 259-269.
- Freyd, J. J. & Jones, K. T. (1994). Representational momentum for a spiral tube. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, & Cognition*, 20, 968-976.
- Halpern, A. R. & Kelly, M. H. (1993). Memory biases in left versus right implied motion. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, & Cognition*, 19, 471-484.
- Hill, J. H. (1998, August). *The extrapolation of visual motion trajectories*. Paper presented at the 21st European Conference on Visual Perception, Oxford, England.
- Hillstrom, A. P. & Yantis, S. (1994). Visual motion and attentional capture. *Perception & Psychophysics*, 55, 399-411.
- Hubbard, T. L. (1990). Cognitive representation of linear motion: Possible direction and gravity effects in judged displacement. *Memory & Cognition*, 18, 299-309.
- Hubbard, T. L. (1995). Cognitive representation of motion: Evidence for representational friction and gravity analogues. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, & Cognition*, 21, 241-254.
- Hubbard, T. L. & Bharucha, J. J. (1988). Judged displacement in apparent vertical and horizontal motion. *Perception & Psychophysics*, 44, 211-221.
- Khurana, B. & Nijhawan, R. (1995). Extrapolation or attention shift? *Nature*, 378, 566.
- Maunsell, J. H. & Gibson, J. R. (1992). Visual response latencies in striate cor-

- tex of the macaque monkey. *Journal of Neurophysiology*, 68, 1332-1344.
- McCloskey, M. (1983). Intuitive Physics. *Scientific American*, 248, 122-130.
- McCloskey, M., Caramazza, A., & Green, B. (1980). Curvilinear motion in the absence of external forces: Naive beliefs about the motion of the objects. *Science*, 210, 1139-1141.
- 永井聖剛・八木昭宏. (1997). Representational momentum に対する刺激形態の効果. 日本心理学会第 61 回大会発表論文集.
- Nagai, M., & Yagi, A. (1998 a, August). *Gravitational influence on representational momentum*. Paper presented at the 21st European Conference on Visual Perception, Oxford, England.
- 永井聖剛・八木昭宏. (1998 b). Representational momentum に対する重力効果の再検討. 日本心理学会第 62 回大会発表論文集.
- Nijhawan, R. (1994). Motion extrapolation in catching ball. *Nature*, 370, 256-257.
- Nijhawan, R. (1997). Visual decomposition of colour through motion extrapolation. *Nature*, 386, 66-69.
- Purushothaman, G., Patel, S. S., Bedell, H. E., & Ogmen, H. (1998). Moving ahead through differential visual latency. *Nature*, 396, 424.
- Reed, C. L. & Vinson, N. G. (1996). Conceptual effects on representational momentum. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance*, 22, 839-850.
- Schmolesky, M. T., Wang, Y., Hanes, D. P., Thompson, K. G., Leutgeb, S., Schall, J. D., & Leventhal, A. G. (1998). Signal timing across the macaque visual system. *Journal of Neurophysiology*, 79, 3272-3278.
- Shepard, R. N. (1984). Ecological constraints on internal representation: Resonant kinematics of perceiving, imaging, thinking, and dreaming. *Psychological Review*, 94, 417-447.
- Shepard, R. N. (1994). Perceptual-cognitive universals as reflections of the world. *Psychonomic Bulletin & Review*, 1, 2-28.
- Tsal, Y. (1983). Movements of attention across the visual field. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance*, 9, 523-530.
- Verfaillie, K. & d'Ydewalle, G. (1991). Representational momentum and event course anticipation in the perception of implied periodical motions. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, & Cognition*, 17, 302-313.
- Weichselgartner, E. & Sperling, G. (1987). Dynamics of automatic and controlled visual attention. *Science*, 238, 778, -780.

Whitney, D. & Murakami, I. (1998). Latency difference, not spatial extrapolation. *Nature Neuroscience*, 1, 656-657.

Williams, J. M. & Lit, A. (1983). Luminance-dependent visual latency for the Hess effect, and simple reaction time. *Vision Research*, 23, 171-179.

——永井聖剛 大学院文学研究科博士課程後期課程——

——八木昭宏 文学部教授——