

# 解 説

## 相 対 運 動 の 検 出

塩 入 諭

千葉大学工学部画像工学科 〒263 千葉市稲毛区弥生町 1-33

(1992年6月24日受理)

### Detection of Relative Motion

Satoshi SHIOIRI

Faculty of Engineering, Chiba University,  
1-33, Yayoi-cho, Ichigaya-ku, Chiba 263

#### 1. はじめに

視覚系の処理はその初期において、色、形、動き、両眼視差など網膜像中のいくつかの画像属性を並列的に処理しているといわれる<sup>1-3)</sup>。これらは、人間にとって最も基本的な視覚情報であるが、なかでも動き情報は多くの動物でその生存に対してきわめて重要な働きを持っている。肉食動物は獲物を発見するために、草食動物は捕食者から身を守るために獲物や敵の動きを察知する必要がある。運動視は、外界の時間変化を瞬時に理解し、獲物や敵を発見するために発達した能力であることが想像される。

運動情報の役割は、対象の動きの検出のみではない。対象物体の背景からの分離、2次元の網膜像からの3次元空間および形状の再構築、自己の運動の制御など多くの視覚処理が運動情報により可能となる。これらの視機能においては、単純にある物体の速度を検出するだけでなく、異なる空間位置での速度差、つまり相対運動の検出が必要である。相対運動を含まない単純な運動検出に関しては、近年多くの重要な研究がなされそのメカニズムも詳細に理解されつつあるため<sup>4-7)</sup>、運動視研究での興味の対象は相対運動検出のメカニズムへ向かいつつある。本稿では、相対運動が重要な役割をはたしている視機能について概観し、人間の視覚系に相対運動を検出するメカニズムが存在することを示す心理物理実験について解説する。さらに、相対運動検出についての時空間特性について考察する。

#### 2. 相対運動情報の役割

相対運動としては、図1に示すように運動方向に平行な速度変化である剪断運動(shearing motion)、運動方向に垂直な速度変化である圧縮運動(compressive motion)、および回転運動、拡大運動などが考えられる(それぞれの方向と大きさが変化する場合も含む)。以下にこれらの相対運動検出が多くの視機能において重要な役割をはたすことを概説する。

##### 2.1 運動物体の分離

ランダムドットを用いた運動視の実験は、動きから運動物体の形が知覚できることを明らかにしている<sup>8-10)</sup>。図2はそのような刺激の例である。図2に示す2枚のランダムドットパターンは同一のドット配列を持つが、上半分は左右像において1ドットだけ左に移動していて下半分は逆に右に1ドット移動している。この2枚を併置し観察することから同一ドット配列部分を探しだすことは非常に時間がかかる作業である。しかし、この2枚を同じ位置に交互に提示すると、瞬時に上下部分が分離して見える。明らかに動きの情報をもとに形の認識がなされていることになる。

一般にこの現象は、運動視のメカニズムが图形処理などに先立つ視覚の初期に存在することの証拠として挙げられるが、ここにはそれ以上のものが含まれている。ここで形を作っているのは動きそのものではなく、ドットが動く方向の違いつまり相対運動である(ここでは剪断運動)と考えられる。事実、ランダムドットキネマトグラムでの图形の分離能力は相対運動に依存すると報告さ

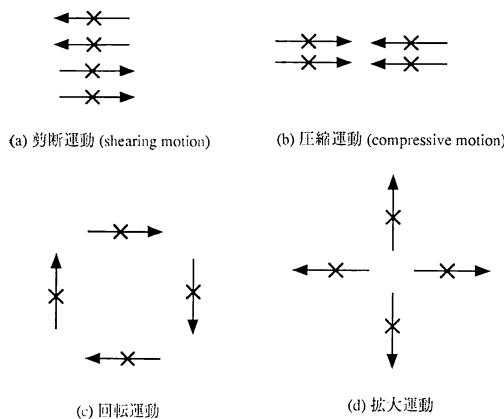


図1 相対運動の種類. 矢印は×印の示す位置における速度ベクトル.

れている<sup>11)</sup>.

このように相対運動でできた図形を検出するためには、空間的に隣接する領域での動きを比較するメカニズムが存在すると考えられ、それは相対運動検出器と呼ぶべきものであろう。相対運動検出器は、明暗情報の画像に対するエッジ検出器に相当する。エッジ検出器は、明暗情報が急激に変化するエッジ部分に感度を持つため、例えば白地に黒の図形の特徴を捉えることができる。運動差図形では、エッジ検出の次元が明暗情報のかわりに運動方向の次元になっていると理解できる（図3）。

## 2.2 3次元形状の再構築

前項では、運動情報により物体が背景から分離されることを述べたが、運動情報はさらにその物体の3次元形



図2 a ランダムドットキネマトグラムの例. b では a に比べ上半分では1ドット左に、下半分では1ドット右に動かしてある。このドットのすれば、2画像を両眼立体視することで確認することができる。

状の認識にもかかわっている。今、ある物体が回転しているとすると、その物体表面上の各点は観察者の網膜上で速度を変えながら移動することになる。この速度変化には3次元形状に関する情報が含まれているため（ただし完全ではない）、それを利用できれば運動情報のみからその形状の予測が可能である<sup>12-15)</sup>。実際に人間がそのような形状知覚を行っていることを示す現象として、例えば図4に示すような不規則に曲がった針金の影をスクリーンに映したときの形状知覚がある<sup>12)</sup>。スクリーン上の影の形状は針金の向きにより変わるため、静止した状態で影のみから針金の形状を理解することは難しい。しかし針金を回転させるとその動きによりこの3次元形状は明らかになる。運動情報が3次元形状の再構築に役立っていることを意味する。

この例では、針金が運動に伴い多くの角度からの影を見るため、静止刺激と比較して形状が容易

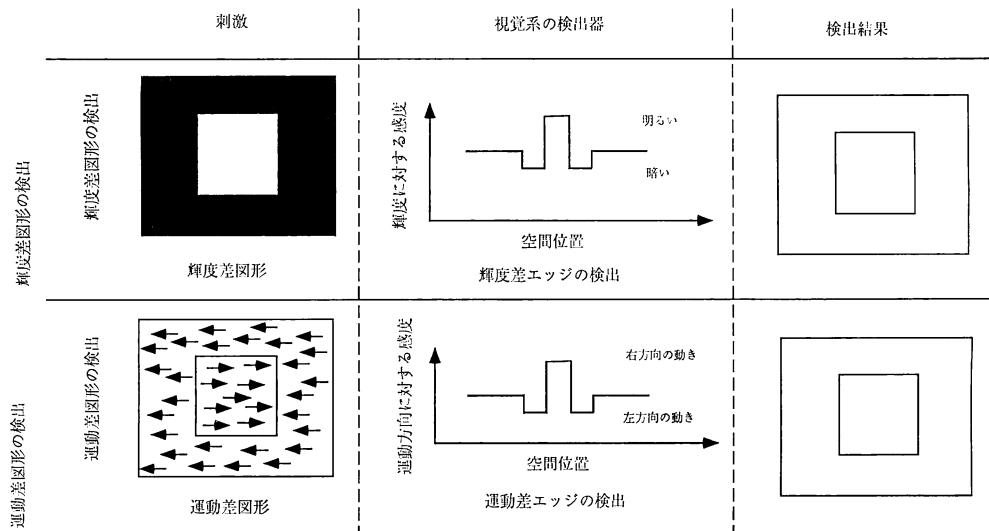


図3 輝度差図形の検出と運動差図形の検出

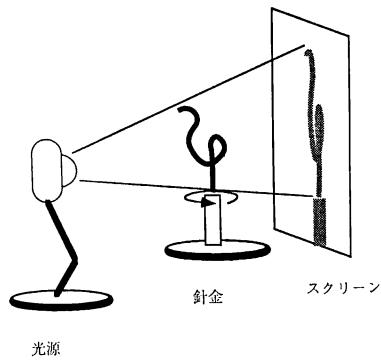


図 4 運動情報による3次元形状の再構築。静止状態では、スクリーン上の影から3次元形状は認識できないが、針金が回転すると容易に認識できる。

に知覚できるのは運動のためであると単純に結論することはできない。しかし、各瞬間の静止画像には形状情報が全く存在しない条件（ランダムドットパターンを用いる）でも運動による3次元形状の再構築は可能であること<sup>13)</sup>から、運動情報そのものが3次元の知覚に直接かかわっていることは間違いない。

このような3次元再構築に必要な運動情報は、運動物体の背景からの分離に必要なもの以上である。後者では隣接領域の速度差のみで十分であるが、前者では速度の空間分布をより詳細に知る必要がある。このためには、運動方向に水平および垂直な速度の段階的な変化（多数の速度を含む剪断運動と圧縮運動）の検出が必要であると考えられる。これは、陰影からの3次元形状の知覚が輝度の段階的な変化よりもたらされるのと類似していて、エッジ検出の類似（図3）とともに興味深い点である。しかし、動きからの3次元再構築に実際にかかわる生理学的なメカニズムについてはほとんど理解が進んでいない、今後の大きな課題といえよう。

### 2.3 自己運動に伴う運動情報

前項までは、網膜上の運動情報は物体の動きに起因するもののみを扱ったが、観察者自身の動きもまた網膜像に運動を与える。一般に、観察者の動きによる網膜像の変化は外界の動きとして知覚されない（われわれが動いているときに世界が揺れてみえない）が、これはその運動情報が使用されていないことを意味するわけではない。自己の移動に起因する運動情報にも、空間の奥行きや自己の運動方向など多くの有用な情報が含まれておらず、われわれはそれを利用している。

#### 2.3.1 運動視差による奥行き知覚

自己運動に伴う運動情報からも、両眼立体視と同様の

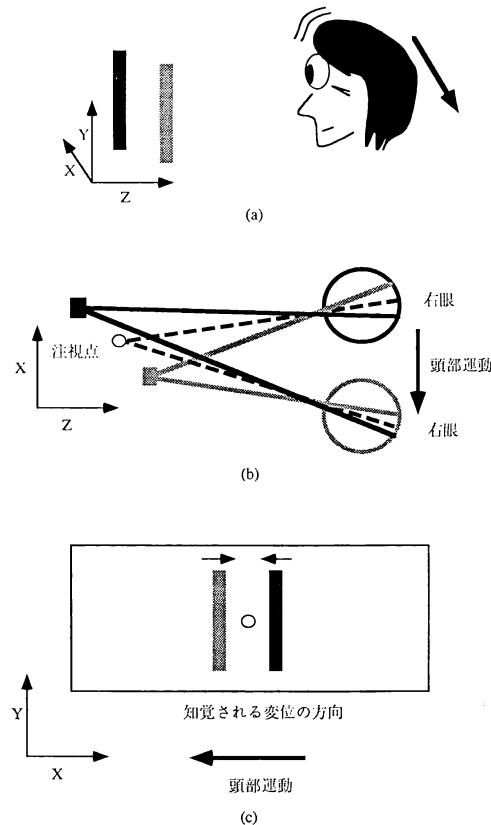


図 5 運動視差の説明。(a) 単眼で頭を左右に動かし刺激を観察する。(b), (c) その時の知覚される像の変化（奥行き方向の位置により像の変化が異なる）。

奥行き知覚が得られる。頭を左右に移動して観察位置を変化させると、網膜上に奥行きに依存した運動を生じる。図5からわかるように、注視点より手前にある物体の像是頭の動きと反対方向に、また注視点より奥にある物体の像是同じ方向に移動する。さらに、この移動速度は物体の奥行き位置に依存し、注視点から離れるほど速くなる。このような網膜像の変化を両眼視差に対して運動視差という。運動視差がそれのみで奥行きの情報を与えることは、他の奥行き手掛かりを取り除いた刺激条件（ランダムドット刺激）から明らかにされている<sup>16,17)</sup>。これはランダムドットステレオグラムにおいて両眼視差のみで奥行きを知覚することに対応し、運動視差の検出がやはり視覚処理の初期レベルの機能であることを意味する。運動視差からの奥行き知覚は、網膜像の運動情報を考えると前述の運動からの3次元形状再構築の場合と同じであり、運動速度の空間分布に基づいている。この場合もやはり相対運動の検出が必要であるといえる。

### 2.3.2 自己運動のガイド

何かに向かって移動しているときの網膜像の変化(optic flow)からは二つの重要な情報が得られる。自己の運動方向と、そのまま進んだ場合に予想される衝突時間である。これらは、われわれが障害物や他人にぶつからずに歩くことに大きな助けとなっている。

静止している物体に向かって進んでいるときの網膜像の変化を考えると、その進行方向は網膜像の各点の動きから推定できる。像の拡大の中心点がそれに対応する。進行方向と眼球の注視位置が同一であるとき(つまり注視している対象に向かっているとき)は、網膜像中の静止した点と像の拡大の中心点は一致し、それが進行方向となる。しかし観察者が進行方向以外の点を注視している場合は、注視点が常に静止することになり静止点から進行方向を予測することはできない。進行方向の知覚は静止点ではなく、むしろ各網膜位置における速度の変化率から検出される拡大の中心に基づくと考えられている<sup>18,19</sup>。人間の視覚系がそのような値を網膜像が流れからどのように検出しているかは未知であるが、拡大運動の検出が不可欠と考えられ、相対運動に依存した処理といえる。

Optic flow からは、進行方向に加え衝突するまでの時間の推定も可能である。衝突時間は、対象までの距離と自己の運動速度がわかれば、当然、計算可能であるが、実際には距離と速度がわからなくても、網膜像の流れの速度から直接計算できることが知られている<sup>20</sup>。いまある人が、距離  $D$  にある直径  $S$  の円盤に向かって速度  $V$  で進んでいるとする。この円盤に対する視角  $\theta$  の時間変化は、 $d\theta/dt = -S/D^2 \cdot (dD/dt) = SV/D^2$  と表せる ( $\theta = S/D$ ,  $dD/dt = -V$ )。ここで衝突までの時間を  $T$  とすると、 $T = D/V = \theta/(d\theta/dt)$  となり網膜像の流れの速度から直接  $T$  が計算できる。

ここで  $(d\theta/dt)$  は網膜上の円盤の大きさの変化であるので、拡大運動から求めることができる。衝突の回避行動は、網膜像中の相対運動の処理から必要な情報を直接得ることができるわけである。この機能は、移動速度を知る必要がないことから人間の移動速度に制約されないとも考えられる。これは、人間が過去に体験しえなかったような高速で運動する自動車などの運転時の処理において興味深い。

## 3. 相対運動検出器の存在

上述のように、相対運動成分を検出することは多くの運動に基づく視機能にとって重要であることから、人間

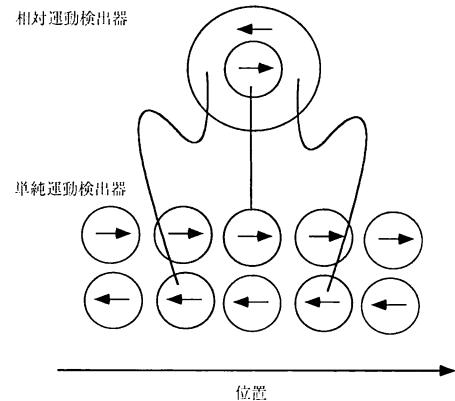


図 6 視野内の各位置に異なる方向に感度を持つ単純運動検出器があり、それらが相対運動検出器に信号を送る。相対運動検出器は中心部と周辺部で逆方向の単純運動検出器からの入力を受けるため、隣接領域で運動方向が逆であるとき最も強く反応する(図 2 参照)。

の視覚処理過程に相対運動に感度を持つメカニズムがあることが予測される。ここでは、相対運動検出器の存在を示唆する心理物理学的所見について解説する。相対運動の検出器はいろいろな型のものが考えられるが、最も基礎的な相対運動検出器のモデルとして図 6 に示すような受容野を持つメカニズム(大脳皮質細胞といつてもよい)を考えることにする。矢印の方向は感度を持つ運動方向であり、受容野の中心部で右方向の運動に感度を持ち周辺部で左方向の運動に感度を持つ(図 2)。この形状は、輝度変化に感度を持つ細胞において受容野の周辺では中心と逆の極性に感度を持つ(例えば、中心興奮/周辺抑制型)ことと同様であり、隣接領域での運動方向が急峻に変化するときに大きな出力を出すことになる。つまり相対運動に感度を持つことになる。

### 3.1 誘導運動

静止している物体の周辺に運動している物体があるときには、その静止物体が周囲と逆方向に運動して見えることがよく知られ、誘導運動と呼ばれる<sup>21</sup>。例えば、月を眺めているときに雲が風で流れると、月に対して非常に強い運動印象を受ける。静止しているものとして見ようと試みても運動印象は消えずに、まさに視覚処理初期の生理的なメカニズムの結果であると思われる。相対運動検出器が存在し、その出力が速度差の境界の両側で逆方向の動きがあるとの知覚を生じているならば、誘導運動は予想される現象といえる。

### 3.2 運動対比

誘導運動と同種の現象として運動対比と呼ばれる現象

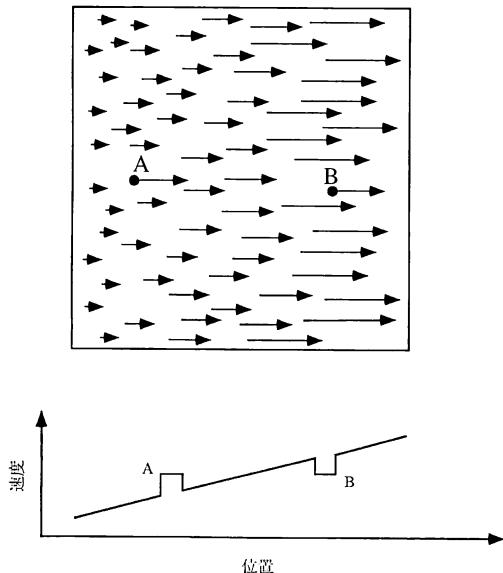


図 7 運動対比. 矢印はランダムドットの速度を示し、左から右に行くに従い大きくなる。A点とB点に同じ速度の運動刺激が提示されると、A点の刺激の方がB点の刺激より速く知覚される。

がある。これは明るさ対比や色対比と類似して、周辺の動きにより反対方向の運動がより強く知覚される現象である<sup>22,23)</sup>。Loomis と Nakayama<sup>22)</sup>は、図 7 に示すような速度分布を持つ刺激により運動対比の存在を確認した。彼らは、実際には同じ速度である A と B の部分で知覚される速度を測定すると、A の方が B より速く知覚されることを報告している。彼らの結果は受容野の中心と周辺で反対方向の運動に感度を持つ相対運動検出器の働きであると考えることができる。

### 3.3 運動残効への周辺刺激の影響

周辺の刺激による影響は運動残効にも生じる<sup>24,25)</sup>。例えば Strelow と Day は、順応刺激において周辺に静止パターンがある場合には、順応効果が大きくなる、またテスト刺激の周辺に静止パターンがある場合も運動残効が大きくなることを報告している<sup>24)</sup>。ここでも相対運動成分（静止している周辺に対する運動刺激）が運動知覚を強調していることが理解できる。

### 3.4 相対運動検出機構の順応効果

上述のように多くの事実は、相対運動検出器の存在を示唆しているが、より直接的にその存在を証明する方法として順応実験がある。Shioiri らは相対運動に順応するメカニズムがあることを示す実験について報告している<sup>26)</sup>。以下に、われわれの研究室で行った、彼らの実験の追試について説明する<sup>27)</sup>。

この実験の原理は以下のとおりである。相対運動検出を行う大脳皮質細胞があったとすると、相対運動刺激が連続して与えられたときには順応効果により感度の低下が予測される。したがって、適当な順応刺激の後に相対運動の検出閾値の変化を測定すれば相対運動検出器の存在を検証できることになる。しかし運動刺激一般に対して順応効果（運動残効）があるため、相対運動検出のメカニズムと単純な運動検出のメカニズムを分離する必要がある。これは、相対運動成分が存在する刺激と存在しない刺激に対する順応効果を比較することで解決可能である。

われわれが用いた刺激は、Shioiri ら<sup>26)</sup>と同様に正弦波格子縞の二つのバンドである（図 8）。順応条件は相対運動条件と単純運動条件の二つを用いる。相対運動刺激では、二つのバンドが常に逆方向に運動していて、単純運動は両者が同一方向の運動をしている（運動方向は周期的に変化している）。前者にはバンド間に相対運動成分があるが後者にはない。したがって、もし相対運動順応条件で単純運動順応条件より大きな順応効果が得られれば、相対運動に感度を持つメカニズムの存在が確認されることになる。

恒常刺激法により測定された速度閾値は、相対運動順応条件での  $0.33 \text{ min/s}$  および単純運動順応条件に対する速度閾値は  $0.24 \text{ min/s}$  となった。それぞれの閾値は計 750 回の判断から求められていて、これら値の間には統計的に十分有意な差がある。相対運動順応条件では単純運動順応条件に比べ約 1.5 倍の速度閾値を持ち、相対運動に選択性で感度を持つメカニズムの存在を示している。ちなみにこの 1.5 倍という値は、Shioiri ら<sup>26)</sup>の結果とよく一致する。

## 4. 相対運動検出の時空間特性

相対運動検出器の基本的な機能は、運動差でできたエッジを検出するという意味で輝度情報の処理と類似している（図 3）。ここでは、両者の時空間特性からその相違点について考察する。

### 4.1 時間特性

相対運動検出にかかる時間特性を測定した報告はいくつかあるが<sup>28,29)</sup>、一例として視覚的持続時間を測定したものについて述べる。視覚的持続時間は、刺激の提示終了後にも刺激に対する視知覚が数十から数百ミリ秒持続する現象で、アイコニックメモリー（iconic memory）と呼ばれることがある<sup>30,31)</sup>。Shioiri と Cavanagh は、運動差图形の視覚的持続を測定するために、図 9 a, b

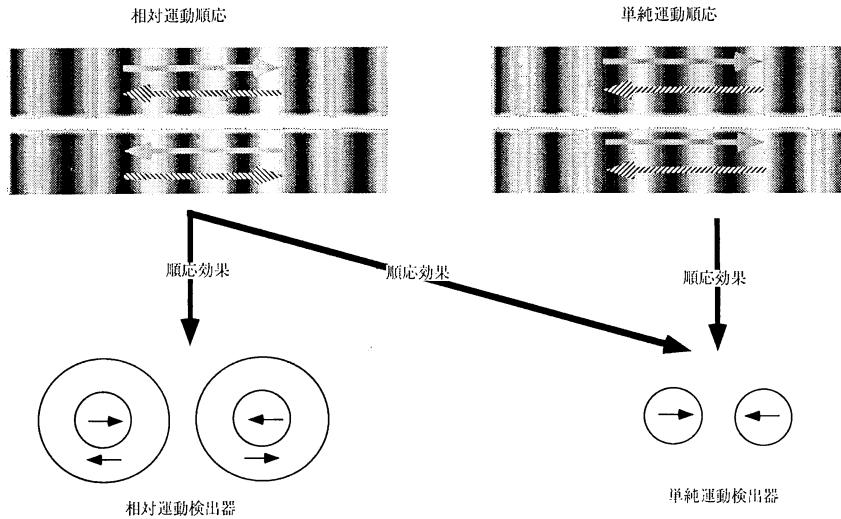


図 8 相対運動検出器の選択的順応。相対運動順応は相対運動検出器と単純運動検出器に順応効果を与えるが、単純運動順応は単純運動検出器にのみ順応効果を与える。実験に用いた格子縞の空間周波数は 3.8 cycle/deg, コントラスト 85%, 順応速度 0.6 deg/s, 刺激の大きさは  $8.5^\circ \times 4.9^\circ$  である。ひとつのセッションは、5 分間の初期順応に続いて 1 秒間テスト刺激提示と 19 秒の再順応が繰り返される。被験者の応答は運動方向の二者択一の強制選択であり、恒常刺激法により速度閾値が測定された。

に示すような 2 枚の運動差図形を継時提示した<sup>29)</sup>。刺激図形は正方形が  $4 \times 4$  の配列の要素であり、半数の要素は 1 枚目のフレームに残りの半数は 2 枚目のフレームに含まれている。いずれかのフレームで要素のひとつが欠けていて、被験者はそれを見つけるという課題を与えられる。2 枚のフレーム提示の時間間隔が視覚的持続時間より短ければ、図 11c に示すように両パターンは重なって見え、欠落している要素は簡単に見つけることができる。したがって、この欠落要素検出の正当率から視覚的持続時間が推定できることになる。

彼らの実験によるとその持続時間は 130 ミリ秒程度となっている。同じパターンを静止条件で用い、輝度差を与えて図形を形成したときの持続時間は 50~90 ミリ秒であると報告している。この結果は、運動差図形においても視覚的持続が存在するという点で輝度差検出メカニズムと共に処理の存在を示唆する。一方、その持続時間の違いは、運動と輝度の時間分解能の差によると予想される。速度の検出には網膜像中の輝度の時間変化が必要であるので、その処理は輝度変化自体の検出より長時間必要であることは理解できる。

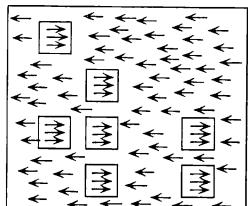
#### 4.2 空間特性

運動差図形の空間周波数特性にかかる測定もいくつか報告されている<sup>32~34)</sup>。Golomb らはランダムドット

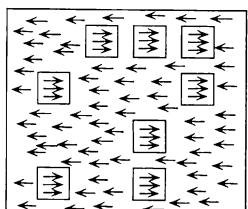
パターン中で速度を正弦波状に変化し（図 10），その振幅から運動閾値を求めている<sup>33)</sup>。この測定は速度次元でのコントラスト感度閾値を求めていくことになるが、彼らはそれが帯域通過型となることを示した。これは、図 7 に示すような受容野を持つ相対運動検出器が存在すると言えば、予想される結果である。しかし、もし明暗情報の場合と同様に相対運動検出器も、異なる空間周波数帯域に感度を持つ複数が存在するとすれば、速度コントラスト閾値はそれらの総合的な特性を反映していると考えられる。したがって、それをそのまま相対運動検出器の周波数応答特性と考える必要はない。

異なる大きさの相対運動検出器が存在するとの考えを支持する実験結果として塩入と佐藤のものがある<sup>34)</sup>。彼らの刺激はやはりランダムドットキネマトグラムであるが、運動差図形は副尺視力測定用の刺激である（図 11）。ドットは上部と下部で逆方向に一回のジャンプをするが、その時に運動差図形が検出できる。被験者の課題はオフセット（中央の不連続部分）の方向（右が上か左が上か）を答えるものであった。彼らは異なるオフセットの大きさに対してこの課題が遂行できる最大のジャンプの大きさ、つまり  $D_{\max}$  を求めている。

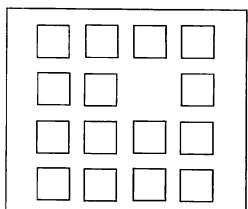
もし異なる大きさに感度を持つ相対運動検出器が存在すれば、相対運動検出器の大きさとその検出器を最適に



(a) フレーム 1



(b) フレーム 2



(c) 同時知覚

図 9 ランダムドットキネマトグラムによる視覚的持続：フレーム 1 (a) とフレーム 2 (b) が順番に提示され、そのフレーム間の時間間隔が短いときは、同時的に知覚されマトリックス中の欠落要素が容易に検出できる (c)。

刺激するジャンプの大きさには相関があると考えられる。つまり、ジャンプの大きさを変えると刺激される相対運動検出器の大きさが変化することになる。被験者の課題が運動方向の検出である場合は、すべての大きさの検出器の出力に基づき応答ができる。しかし、ここでは運動差図形の空間構造を問題にするため、その構造を分離できる検出器が働くなければならない。小さなオフセットを検出するためには小さな相対運動検出器が効果的であると考えると、オフセットが小さいほどその検出に対する  $D_{max}$  は小さくなると予測される。彼らはオフセットが小さくなるに従い、 $D_{max}$  はほぼ線形に減少するとの結果を報告している。この結果は異なる大きさの複数の相対運動検出器が存在しているとの仮説と一致する。ただし、運動差図形分離の空間特性には、いくつかの異なるレベルでの特性が内包されていることには注意が必要であり、今後さらに詳細な検討が望まれる。

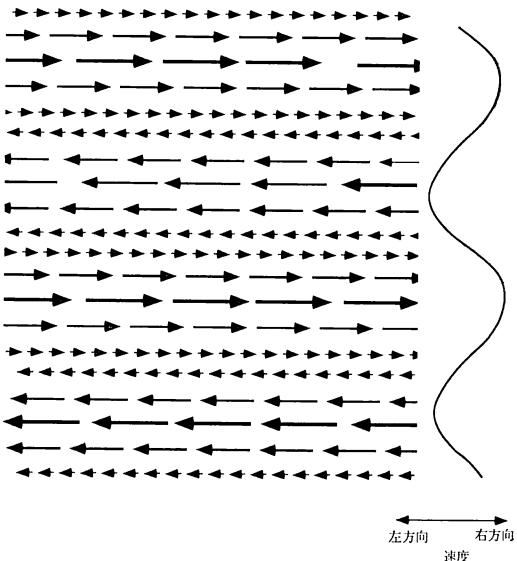


図 10 速度が正弦波状に変化するランダムドットキネマトグラム。矢印は各ドットの速度を示す。

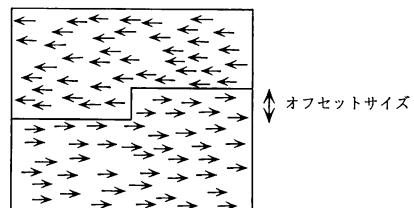


図 11 ランダムドットキネマトグラムでできた副尺視力刺激

## 5. まとめ

本稿では、人間の視覚処理において相対運動が重要な役割をはたしていることを概観し、また相対運動を検出するメカニズムが人間の大脳に存在することを示す心理物理的研究について解説した。しかし、ここで考えた相対運動検出器の単純な生理学的モデル（図 6）は、例えれば 3 次元形状の再構築等の複雑な機能を説明するために全く不十分である。計算機による画像中の速度分布からの 3 次元形状の再構築などを行う試みも多いが、生理学的モデルを与えるまでにいたっていない。今後相対運動検出の詳細な検討が進めば、運動視に基づく多くの複雑な視機能のメカニズムも明らかにされていくものと期待される。

## 文 献

- 1) S. Zeki and S. Shipp: "The functional logic of

- cortical connections," *Nature*, **335** (1988) 311-317.
- 2) P. Cavanagh : "Reconstructing the third dimension: interactions between color, texture, motion, binocular disparity, and shape," *Comput. Vision Graphics Image Process.*, **37** (1987) 171-195.
  - 3) J. Zihl, D. von Cramon and N. Mai : "Selective disturbance of movement vision after bilateral brain damage," *Brain*, **106** (1983) 313-340.
  - 4) E. H. Adelson and J. R. Bergen : "Spatiotemporal energy models for the perception of motion," *J. Opt. Soc. Am. A*, **2** (1985) 284-299.
  - 5) A. B. Watson and A. J. Ahumada : "Model of human visual-motion sensing," *J. Opt. Soc. Am. A*, **2** (1985) 322-341.
  - 6) M. Ogata and T. Sato : "Motion-detection model with two stages: spatiotemporal filtering and feature matching," *J. Opt. Soc. Am. A*, **9** (1992) 377-387.
  - 7) 塩入 諭, P. Cavanagh : "動きの知覚の二重性", *光学*, **18** (1989) 516-523.
  - 8) S. M. Anstis : "Phi movement as a subtraction process," *Vision Res.*, **10** (1970) 1411-1430.
  - 9) O. J. Braddick : "A short-range process in apparent motion," *Vision Res.*, **14** (1974) 839-847.
  - 10) B. Julesz : *Foundation on Cyclopean Perception* (University of Chicago Press, 1971).
  - 11) C. L. Baker Jr. and O. J. Braddick : "Does segregation of differently moving areas depend on relative or absolute displacement?" *Vision Res.*, **22** (1982) 851-856.
  - 12) H. Wallach and D. H. O'Connell : "The kinetic depth effect," *J. Exp. Psychol.*, **45** (1953) 205-217.
  - 13) G. Sperling, M. S. Landy, B. A. Dosher and M. E. Perkins : "Kinetic depth effect and identification of shape," *J. Exp. Psychol.: Human Perception and Performance*, **15** (1989) 826-840.
  - 14) G. Johansson : "Visual perception of biological motion and a model for its analysis," *Percept. Psychophys.*, **14** (1973) 201-211.
  - 15) G. Johansson : "Visual motion perception," *Sci. Am.*, **232**(6) (1975) 76-89.
  - 16) B. Rogers and M. Graham : "Motion parallax as an independent cue for depth perception," *Perception*, **8** (1979) 125-134.
  - 17) H. Ono and M. J. Steinbach : "Monocular stereopsis with and without head movement," *Percept. Psychophys.*, **48** (1990) 179-187.
  - 18) D. M. Regan and K. I. Beverley : "How do we avoid confounding the direction we are looking and the direction we are moving," *Science*, **215** (1982) 194-196.
  - 19) J. E. Cutting : *Perception with an Eye for Motion* (The MIT Press, Cambridge, 1986) pp. 151-184.
  - 20) D. M. Regan : "Visual processing of four kinds of relative motion," *Vision Res.*, **26** (1986) 127-145.
  - 21) A. H. Reinhardt-Rutland : "Induced movement in the visual modality: an overview," *Psychol. Bull.*, **103** (1988) 57-71.
  - 22) J. M. Loomis and K. Nakayama : "A velocity analogue of brightness contrast," *Perception*, **2** (1973) 425-428.
  - 23) P. Walker and D. J. Powell : "Lateral interaction between neural channels sensitive to velocity in the human visual system," *Nature*, **252** (1974) 732-733.
  - 24) E. R. Strelow and R. H. Day : "Visual movement aftereffect: evidence for independent adaptation to moving target and stationary surround," *Vision Res.*, **15** (1975) 117-121.
  - 25) A. T. Smith, M. J. Musselwhite and P. Hammond : "The influence of background motion on the motion aftereffect," *Vision Res.*, **24** (1984) 1075-1082.
  - 26) S. Shioiri, H. Ono and T. Sato : "Adaptation of relative motion detectors," *Invest. Ophthalmol. Visual Sci. (Suppl.)*, **32** (1991) 827.
  - 27) 平間憲竹 : "相対運動検出器における空間特性の検討", 平成3年度千葉大学卒業研究論文 (1992).
  - 28) D. Regan and K. I. Beverley : "Figure-ground segregation by motion contrast and by luminance contrast," *J. Opt. Soc. Am. A*, **1** (1984) 433-442.
  - 29) S. Shioiri and P. Cavanagh : "Visual persistence of figures defined by relative motion," *Vision Res.*, **32** (1992) 943-951.
  - 30) M. Coltheart : "Iconic memory and visible persistence," *Percept. Psychophys.*, **27** (1980) 183-228.
  - 31) G. M. Long : "Iconic memory: a review and critique of the study of short-term visual storage," *Psychol. Bull.*, **88** (1980) 785-820.
  - 32) K. Nakayama and C. W. Tyler : "Psychophysical isolation of movement sensitivity by removal of familiar position cues," *Vision Res.*, **21** (1981) 427-433.
  - 33) B. Golomb, R. A. Anderson, K. Nakayama, D. I. A. MacLeod and A. Wong : "Visual thresholds for shearing motion in monkey and man," *Vision Res.*, **25** (1985) 813-820.
  - 34) 塩入 諭, 佐藤隆夫 : "動きにより分離された图形の空間特性", 第38回応用物理学関係連合講演会講演予稿集 (1991) p. 876.