

コントラスト運動の検出機構

西田 眞也

N T T 基礎研究所

〒180 東京都武蔵野市緑町3-9-11

1. はじめに

人間の視覚系には、時空間の輝度の相関から運動を検出する機構があることが知られており、これまでに、いくつかの精緻なモデルが提出されている（例えば、Adelson and Bergen¹⁾）。一方、運動視現象の中には、このような輝度運動検出機構では説明できないものがいくつかある。その典型例はコントラスト運動である（Anstis²⁾; Badcock and Derrington³⁾; Chubb and Sperling⁴⁾）。コントラスト運動とは、刺激中のコントラスト変調のパターンだけが運動する際生じるもので、通常輝度の流れを伴っていない。

では、コントラスト運動は、輝度運動とは異なる機構によって媒介されているのであろうか。それとも、同一の機構が、いずれの運動も媒介しているのであろうか。次のような状況を考えてみよう。

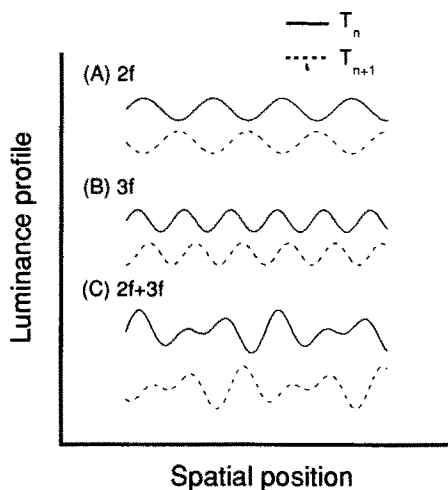
2. 正方向の運動残効

正弦波格子が、その周期の半分の移動距離でシフトしていく。この格子の周波数は $2f$ とする。この場合、知覚される運動方向は完全に曖昧である（図1 A）。移動距離をそのままにして、周波数だけを $3f$ とすると、移動角が 270° (-90°) 度になって、シフトと反対方向に運動が知覚される（B）。次に、この二つの正弦波を足し合わせると、面白いことに、シフト方向に運動が知覚される（C）。つまり、正弦波に対する運動知覚は、輝度運動視機構の振る舞いから予測されるものと一致するのに対し、複合

波に対する運動は予測と反対になるのである。

これは、周波数を足すことによって生じた周波数 f のコントラスト変調の運動を検出した結果であると考えられる。

これらの運動に対し誘導される運動残効を測定すると、さらに面白いことが分かる。 $2f$ の



	Shift phase angle	Shift direction	Perceived direction	MAE direction
(A) $2f$	180°	←	↔	—
(B) $3f$	270°	←	→	←
(C) $2f+3f$		←	←	←

図1 正弦波格子（A：周波数 $2f$ 、B：周波数 $3f$ ）とその複合波（C）による仮現運動。いずれの場合も、移動距離は、Aの正弦波格子の半周期。上：輝度プロフィール。下：各刺激に対して知覚される運動方向と、誘導される運動残効方向。

正弦波に対しては残効なし、 $3f$ の正弦波に対しては知覚される運動と反対方向の残効が誘導されるのに対し、複合波に対しては知覚される運動と同一方向に残効が誘導されるのである。この正方向の運動残効は、運動知覚が運動残効と独立した機構によって媒介されていることを意味している。さらに、モデルの予測から、残効は輝度運動視機構によって媒介されていると考えられるので、複合波に対する運動知覚を媒介するコントラスト運動視機構は、輝度運動視機構とは独立にはたらくものと考えられる。

3. コントラスト運動の時空間特性

では、コントラスト運動機構とはどのようなものなのであろうか？この点に関し、Chubb and Sperling⁴⁾は、輝度運動機構と同様の運動検出器の前に、時空間線形フィルターおよび全波整流段階があるというモデルを提出している。しかし、コントラスト運動についてはいくつかの知見が得られているものの（例えばCavanagh and Mather⁵⁾）、これらのモデルを裏付けるだけの十分な実験的証拠は得られていない。

そこで、コントラスト運動の検出段階を解析するため、その基本的な時空間特性を測定した。刺激は RWK [random window

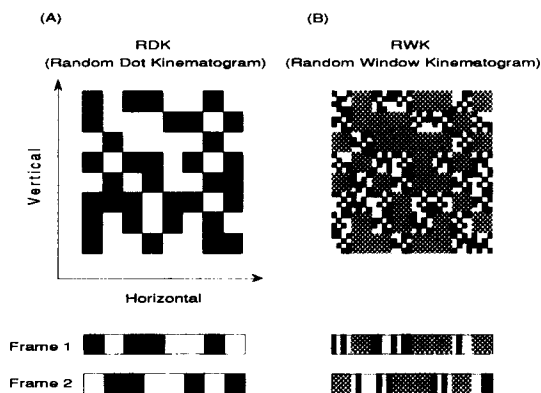


図2 RDK (A)とRWK (B)の刺激布置(上)および刺激系列(下)

kinematogram; 図2 B]を用いた。RWKとは、フレーム間で無相関に更新されるランダムドットのチェックと、ランダムドットチェックの平均輝度と等輝度の灰色チェックからなるチェックパターンが、フレームの切り替え時に左(右)にシフトするというものである。理論的には、このRWKの運動は、輝度運動機構では検出できない。コントラスト運動機構と輝度運動機構の違いを明確にするため、主として輝度運動機構に媒介されるRDK [random dot kinematogram; 図2 A]についても同様の実験を行ない、その結果を、RWKについて得られた結果と比較した。

その結果、以下のことが明らかとなった。

- (1) RDKと同様、インコヒーレントな運動(間引き運動, reversed phi)がRWKでも知覚される(図4)。
- (2) 第1, 第2フレームの提示時間が等しいとき、RWK弁別に対する提示時間の効果は、SOA [第一刺激の提示時間 + ISI (刺激間間

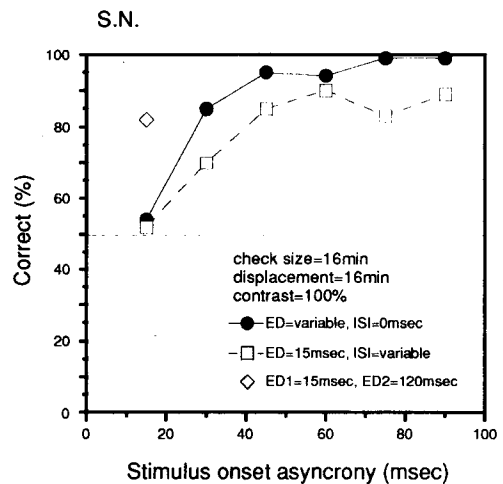


図3 RWKに対する方向弁別率のSOA(第1フレームの提示時間 + ISI)依存性。(●)はISIを0に固定し、第1, 第2フレームの提示時間を変えて得られたデータ。(□)は、両フレームの提示時間を15msecに固定し、ISIを変化させたときのデータ。(◇)は、第1フレームを15msec, ISIなし、第2フレームを120msec提示したときのデータ。

隔]に対する依存性として記述可能である。しかし、第1フレームの提示時間が短く、第2フレームが長い場合の弁別率は、SOAから予測されるものより良くなる(図3)。同様の傾向は、RDK弁別においても見られることが知られている(Baker and Braddick⁶⁾)。

- (3) 同じ実効コントラストで比較した場合、RDKに比べ、RWKは長いISIでも知覚されうる(図4)。
 - (4) 同じ実効コントラストで比較した場合、RWKのDmax(移動距離限界)は、RDKのDmaxと大きく変わらない(図5)。
 - (5) RWKのDmaxがチェックサイズに比例して大きくなるのに対し、RDKではこのことは成り立たない(図5)。
- これらの結果から、以下のことが示唆された。

(a) コントラスト運動機構は、局所的に運動を検出する。

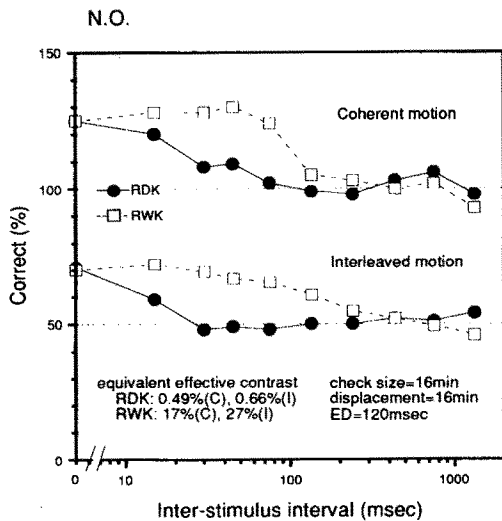


図4 RDKおよびRWKに対する方向弁別率のISI依存性。コヒーレント運動と共に、前後のパターンからの運動方向の推定を困難にするため、間引き運動を用いた。コヒーレント運動のデータは50%上方にシフトしてある。それぞれの刺激について、ISIなしの時の正答率が70~80%になるコントラストを用いた。

- (b) コントラスト運動機構の運動抽出段階は、相関型検出器としてモデル化可能である。
- (c) コントラスト運動機構のはたらく空間範囲は、輝度運動機構とはほぼ同じである。
- (d) コントラスト運動機構のはたらく時間範囲は、輝度運動視機構よりも広い。
- (e) コントラスト運動機構は運動検出以前に、局所的な特徴を分析・表現している可能性がある。

(a)~(c)の点は、Chubb and Sperling⁴⁾の整流モデルと一致し、また、(d)に関しては、彼らのモデルに組み込むことが容易に可能である。しかし、(e)は、線形フィルタ+全波整流以上のプロセスが、コントラスト運動機構の前処理にあるというものである。この考え方は、ある条件下のMissing fundamental squarewave gratingの仮現運動(Georgeson and Shackleton⁷⁾)が、整流モデルでは説明困難であるという事実と符合する。

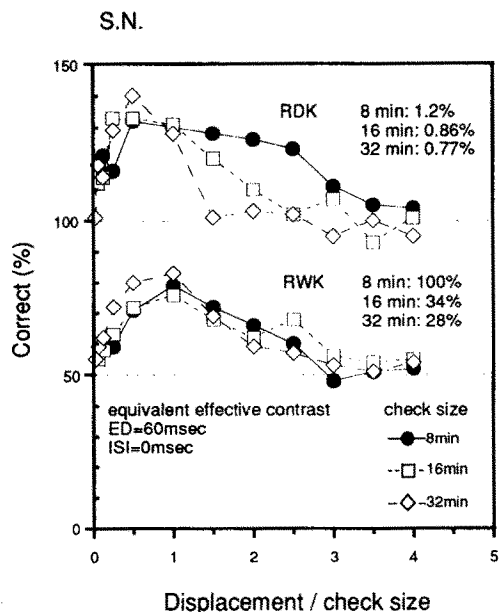


図5 RDKおよびRWKに対する方向弁別率の相対移動距離(移動距離/チェックサイズ)依存性。RDKのデータは50%上方にシフトしてある。シンボルはチェックサイズの違いを現す。それぞれの刺激について、相対移動距離が1のときの正答率が70~80%になるコントラストを用いた。

4. むすび

コントラスト運動機構の前処理機構は、単に二つの運動視機構の違いにかかわる問題ではなく、恐らく、初期視覚における表現は何かという問題にかかわっている。運動視は、このような視覚系の一般的特性を探る有効な切り口の一つなのである。

文 献

- 1) E. H. Adelson and J. R. Bergen: Spatiotemporal energy models for the perception of motion. *Journal of the Optical Society of America A*, 2, 284-299, 1985.
- 2) S. M. Anstis: The perception of apparent motion. *Philosophical Transactions of the Royal Society, London*, B290, 153-168, 1980.
- 3) D. R. Badcock and A. M. Derrington: Detecting the displacement of periodic patterns. *Vision Research*, 25, 1253-1258, 1985.
- 4) C. Chubb and G. Sperling: Drift-balanced random stimuli: a general basis for studying non-Fourier motion perception. *Journal of the Optical Society of America A*, 5, 1986-2007, 1988.
- 5) P. Cavanagh and G. Mather: Motion: The long and short of it. *Spatial Vision*, 4, 103-129, 1989.
- 6) C. L. Baker Jr and O. Braddick: Temporal properties of the short-range process in apparent motion. *Perception*, 14, 181-192, 1985.
- 7) M. A. Georgeson and T. M. Shackleton: Monocular motion sensing, binocular motion perception. *Vision Research*, 29, 1511-1523, 1989.