

TR-A-0111

帯域制限ランダムドットに
誘導される正方向の運動残効

西田 眞也

1991. 4. 3

ATR 視聴覚機構研究所

〒619-02 京都府相楽郡精華町乾谷 ☎07749-5-1411

ATR Auditory and Visual Perception Research Laboratories

Inuidani, Sanpeidani, Seika-cho, Soraku-gun, Kyoto 619-02 Japan

Telephone: +81-7749-5-1411

Facsimile: +81-7749-5-1408

Telex: 5452-516 ATR J

目次

概要	-----	1
1. はじめに	-----	1
2. 実験方法	-----	2
2. 1. 刺激と装置	-----	2
2. 2. 実験手続き	-----	3
2. 2. 1. 運動残効	-----	3
2. 2. 2. 運動方向弁別	-----	5
2. 3. 被験者	-----	5
3. 実験結果	-----	5
3. 1. 二次元帯域制限 R D K の結果	-----	7
3. 2. 一次元帯域制限 R D K の結果	-----	10
4. 考察	-----	10
4. 1. 運動残効	-----	10
4. 2. 運動方向弁別	-----	12
5. 結論	-----	13
謝辞	-----	14
参考文献	-----	15

概要

空間周波数の帯域を制限したランダムドットキネマトグラムに対する運動方向弁別率と運動残効を測定し、両者の移動距離に対する依存性に、明瞭な食い違いを見いだした。特に、刺激中の最低周波数の半周期付近の移動距離において、知覚運動に対し正方向の運動残効が誘導されることを発見した。このような食い違いは、全方向の周波数成分を含む二次元帯域制限パターン、運動方向に一致する水平周波数成分のみを含む一次元帯域制限パターンのいずれを用いた場合にも見いだされた。運動知覚と運動残効の食い違いは、両者を媒介する機構が同一でないことを示唆している。運動残効の移動距離依存性が、（輝度の流れから直接運動を検出する）一次の運動検出器の順応から予測されるものに一致したことから、帯域制限ランダムドットに対する運動知覚には一次の運動検出器以外の機構が関与していると考えられる。その候補として、ビートパターンの運動を検出する二次機構が考えられる。

1. はじめに

ランダムドットの位置をずらし、継時的に提示すると一貫した運動が知覚される。このランダムドットキネマトグラム（Random-Dot Kinematogram; RDK）の知覚には、広範囲の空間周波数が関与しているものと考えられる。そこで、個々の周波数成分の役割を明らかにするため、周波数の帯域を制限したRDKを用いた実験が、多くの研究者によって報告されている[1-7]。これらの実験から、以下の二つの点が明らかになった。（1）正しい（移動に一致した）方向に運動が知覚される移動距離の限界（ D_{max} ）は、刺激中の空間周波数にほぼ逆比例する。（2）帯域が1オクターブの場合、 D_{max} は刺激中の最低周波数の半周期以上に達する。

ところで、人間の視覚系には二種類の運動検出機構があると考えられている[8-11]。一つは、網膜上の輝度の流れから運動を検出する機構である。このタイプの機構に対しては、これまで多くのモデルが提唱されている[eg,12-14]。これらのモデルに仮定されている計算は、刺激中の空間周波数成分の運動から全体の運動方向を決定するという考え方に沿ったものである[9]。もう一つの機構は、テクスチャー領域の運動や複合周波数中のビートパターンの運動のように、運動に対応する輝度の流れが存在しない状況で成立する運動知覚を媒介するものである。このような運動知覚に対しては、輝度分布に対し、なんらかの非線形変換を行なった後に運動を検出する機構を考える必要がある[9]。ここでは、CavanaghとMather[11]に従って、前者を一次の運動検出機構、後者を二次の運動検出機構と呼ぶ。

RDKは、一次の運動検出機構に媒介される典型的な刺激であると考えられてきた[11,15]。帯域制限RDKに見いだされた刺激中の周波数と D_{max} の逆比例関係は、この考え方に適合する事実である。しかし、 D_{max} が刺激中の最低周波数の半周期以上に達す

る事実は、一次の運動検出機構のモデルからの予想に反する。なぜなら、帯域が1オクターブで、移動距離が最低周波数の半周期の時、運動に最も大きく関与する移動方向の各周波数成分の移動位相角度は $180^{\circ}\sim 360^{\circ}$ となり、周波数成分の運動から考えると、運動の逆転が予想されるからである。

この矛盾点を説明するため、BischofとDi Lollo[7]は運動方向以外の周波数成分の影響を指摘した。このような周波数は、たとえ移動距離が最低周波数の半周期であっても移動角度が 180° 以下となり、正しい運動方向を示唆する可能性がある。この考え方は全方向の周波数成分を含む二次元帯域制限刺激については有望な考え方であると思われる。しかし、ClearyとBraddick[4]は、運動方向の周波数成分しか持たない一次元帯域制限刺激のDmaxが二次元刺激とほとんど変わらないことを見だし、斜方向成分の関与による説明が不十分なものであることを示している。

帯域制限RDKのDmaxが一次の運動検出機構のモデルからの予想に反することは、二次の運動検出機構の存在を考えれば自然に説明できる。我々は、この可能性を検討するために、二次元および一次元の帯域制限RDKによって誘導される運動残効を測定し、その結果を運動方向弁別の結果と比較した。運動残効とは、一定方向の刺激を長時間観察（順応）した後、静止刺激が順応刺激とは反対方向に運動して見える現象である。例えば、流れ落ちる滝を眺めた後、周辺の岩に目を移すと、それが上方向に運動して知覚される。これまでの研究から、運動残効は一次の運動検出機構の順応によって強く誘導されるが、二次の運動検出機構の順応によってはあまり誘導されないことが知られている[8,16-18]。それ故、運動残効を一次の運動検出機構の活性量の一つの指標とすることが可能となる[19]。もし、帯域制限RDKに対する運動方向知覚が一次の運動検出機構のみによって媒介されているのであれば、運動残効の移動距離に対する変動は、運動方向弁別と同期したものとなるはずである。一方、運動方向知覚に二次の運動検出機構が介在しているのであれば、運動残効と運動方向弁別は異なった移動距離依存性を示すことが予想される。我々の実験結果は、後者の予想を支持するものとなった。

2. 実験方法

2. 1. 刺激と装置

白黒二値の 512×512 画素のランダムドットをフーリエ領域に変換し、帯域通過型フィルタを通す。二次元フィルタは全方向の空間周波数を通し、一次元フィルタは垂直方向の空間周波数のみを通す（図1）。どちらの場合も帯域幅は1オクターブである。実空間に戻した後、最大コントラストを50%に設定し、画像配列として保存する。実験に用いた刺激は、このように作成された画像配列から切り出された二つの $256(H) \times 128(V)$ 画素領域から構成された（図2）。[実験で用いた視距離（104cm）では、1画素は視角 $1' \times 1'$ に相当する。]二つの領域は縦に併置され、領域の間隙（ $20'$ ）中央に凝視点が設定されていた。各領域の画像の移動は水平方向で、移動方向は上下の領域で逆向きとした。領域内の画像移動は、画像配列上の切り出し窓を移動させることで実現された。背景は、 $19^{\circ} \times 15^{\circ}$ の白色領域で、その明るさは刺激領域の平均輝度（ 30 cd/m^2 ）

) に設定した。

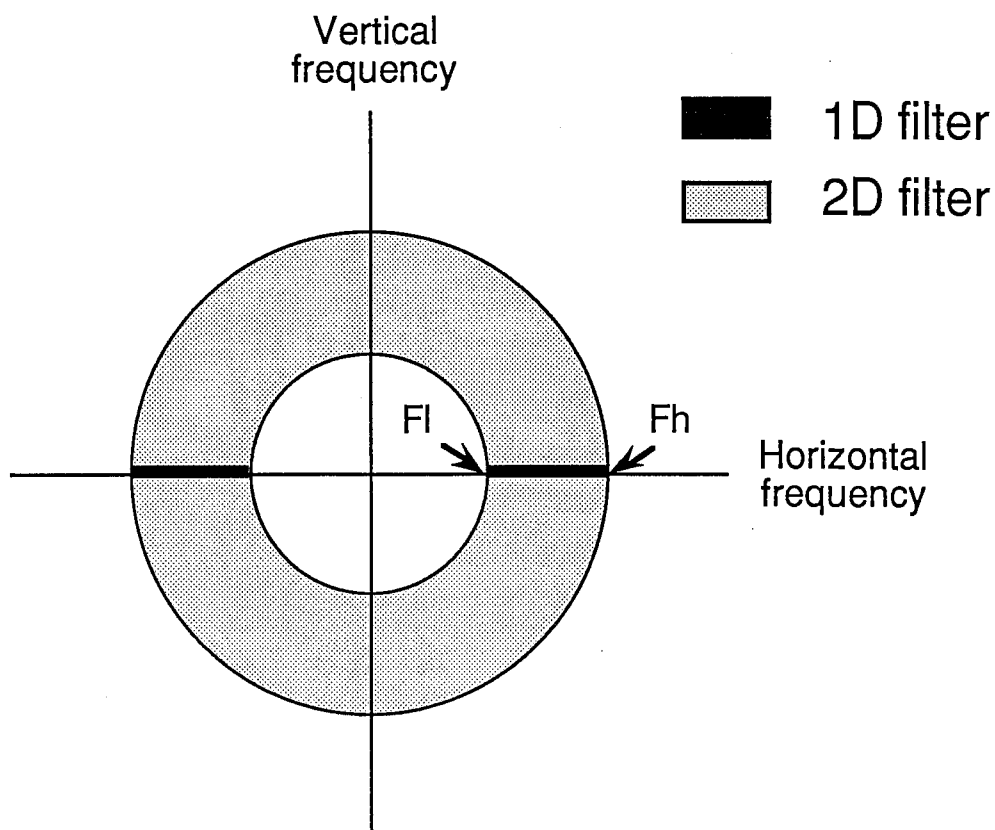


図1. 刺激作成に用いたバンドパスフィルター

刺激は、ワークステーション (Masscomp 6600) 制御の66.7HzノンインターレースCRT (Sony GDM-1952) 上に8bit/画素の精度で提示された。ガンマ補正はルックアップテーブル上で行なった。被験者は、暗室中、顎台で顔面を固定し、両眼で刺激を観察した。

2. 2. 実験手続き

2. 2. 1. 運動残効

ある帯域制限RDKによって誘導される運動残効の方向と持続時間を、様々な移動距離に対して測定した。タイムチャートを図3に示す。一つの試行では、まず、120ミリ秒毎に一定距離移動する画像系列 (順応刺激) が20秒間被験者に提示された。移動時の刺激間隔 (ISI) は零とした。その後、画像は静止し (テスト刺激)、被験者は誘導される残効の方向 (上: 左方向/下: 右方向、またはその逆) によって、二つのボタンのうち一方を残効が消失するまで押し続けた。残効が消失し、再び現われた場合は、複数回ボタンを押すことが許されていた。テスト刺激提示開始から、最終的にボタンが離されるまでの時間を、運動残効の持続時間として記録した。ボタンが終始押されなかった

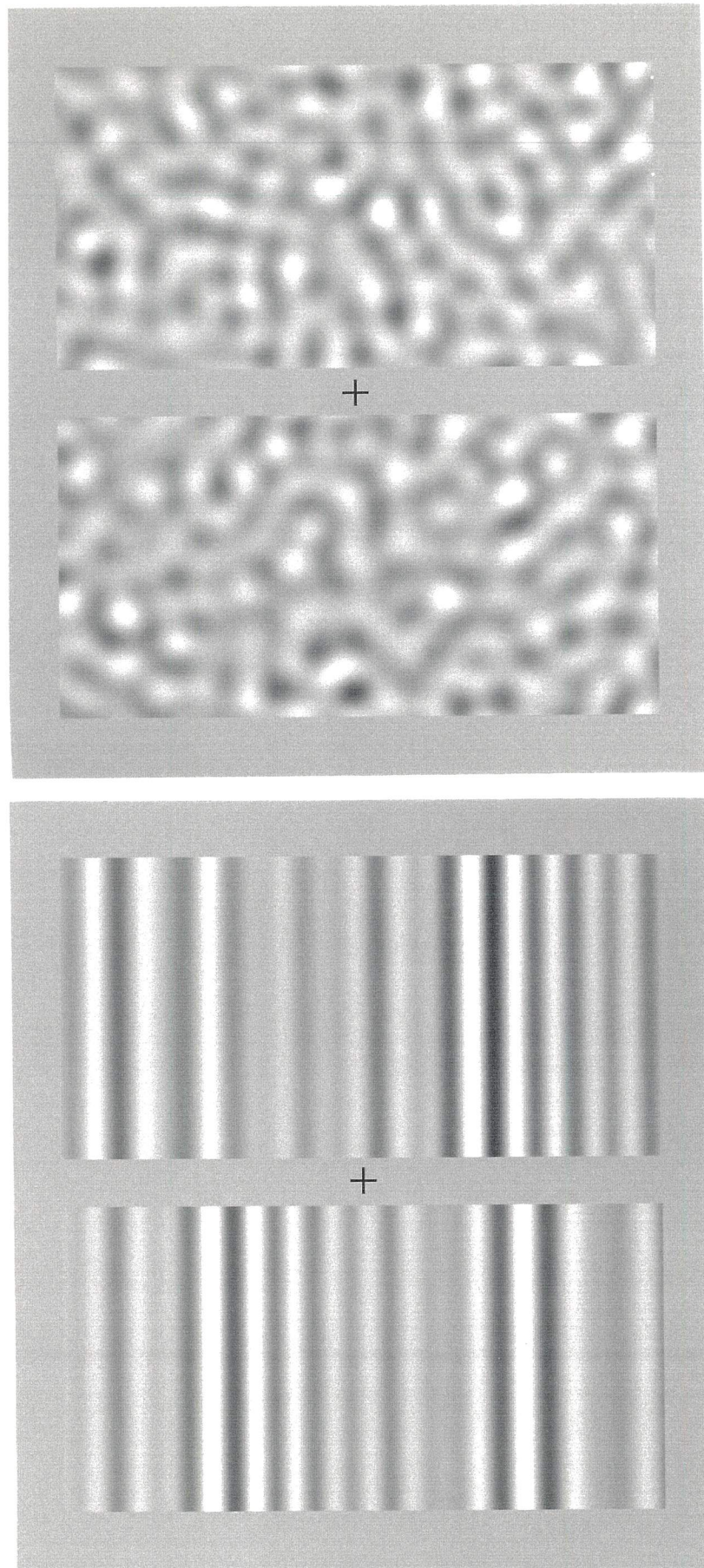


図 2. 実験に用いられた刺激布置。(上) 二次元帯域制限RDK (下) 一次元帯域制限RDK。いずれの場合も、周波数帯は1.9～3.8 c/deg。

場合には、残効が見えなかったものとし、持続時間零として扱った。上記の試行中、被験者に刺激中央の凝視を求めた。前回の順応終了から90秒の間隔をおいて次の試行を開始し、試行毎に、移動距離とその方向をランダムに変化させた。各移動距離に対し、6回の測定が行なわれた。

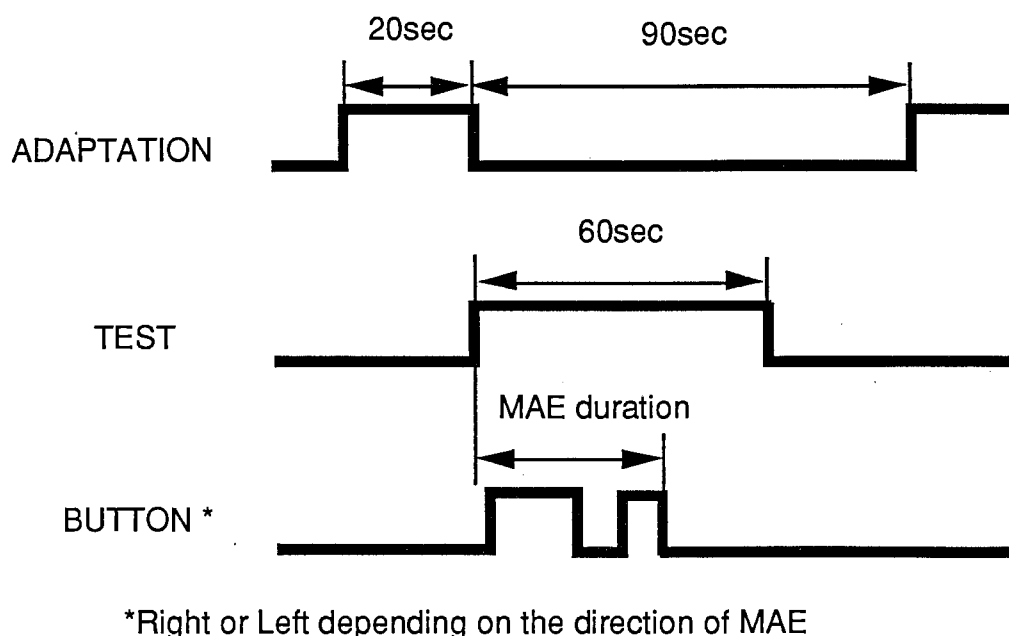


図3. 運動残効測定の時計チャート

2. 2. 2. 運動方向弁別

運動残効測定と同様の刺激を用い、様々な移動距離に対する運動方向弁別の正答率を恒常法を用いて測定した。一つの試行では、刺激中央を凝視した被験者に対し、2コマまたは8コマの画像系列が提示された。2コマ提示はこれまでの研究で一般的に用いられてきた条件であり、一方、8コマ提示は運動残効測定時に近づけた条件である。1コマは120ミリ秒で、ISIは零とした。被験者には、知覚された運動方向に応じ、二つのうちいずれかのボタンを押すことが求められた。フィードバックは与えなかった。一つの移動距離に対し、48試行が行なわれた。

2. 3. 被験者

被験者は、本研究報告者1名（SN：男性）および、実験目的を知らされていない女性1名（HH）であった。

3. 実験結果

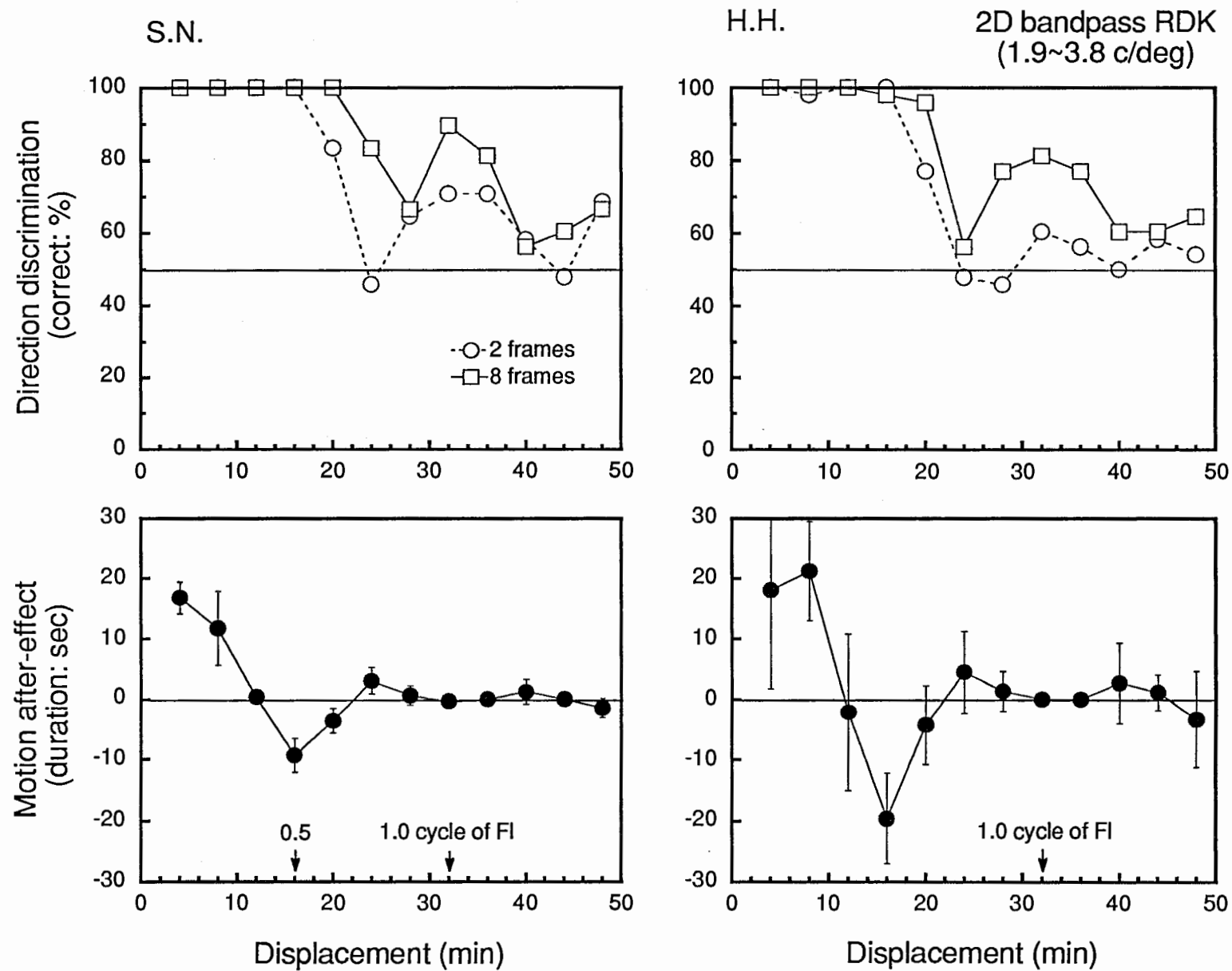


図4. 二次元帯域制限RDKに対する結果。周波数帯は1.9~3.8c/deg。

3. 1. 二次元帯域制限RDKの結果

図4に、二次元帯域通過フィルタを用いて作成された帯域制限RDKに対する運動方向弁別正答率（上）と運動残効持続時間（下）を被験者毎に示す。横軸は移動距離である。刺激の周波数帯は1.9~3.8 c/degであり、最低周波数（F1）の1周期は32'となる。運動方向弁別の結果で、○は2コマ提示、□は8コマ提示の結果を示す。運動残効の結果で、持続時間の正値は移動の反対方向に残効が現われたことを示し、負値は移動と一致した方向に残効が現われたことを示す。誤差棒は、 $\pm 1SD$ をあらわす。

運動方向弁別は、移動距離が16'に達するまではほぼ完全正答である。そこから正答率は減少し、24'~28'でチャンスレベル（50%）付近にまでいたる。その後、正答率は移動方向に対し振動している。提示コマ数の増加（2コマ→8コマ）は、正答率を全体的に押し上げるが、関数の形状にはほとんど影響を与えない。これらの結果は、これまでに報告されている同様の実験の結果に符合する[5,7]。一方、運動残効は、移動距離が8'以下で移動と反対方向に見られるが、16'で移動と一致した方向に転じている。その後、運動残効は低いレベルで移動距離に対し振動するが、その位相は運動方向弁別に一致しない。

このように、運動方向知覚と運動残効は明らかに異なる移動距離依存性を示す。その違いは、移動距離が最低周波数の半周期（16'）のとき、最も顕著となる。この場合、順応刺激において知覚されたのと同じ方向に運動残効があらわれることを図2は示唆している。この刺激での順応を体験した多くの観察者は、20秒の順応刺激提示中に運動方向が曖昧になることはあるものの、おもに知覚されていた運動に対し正方向の残効が知覚されると言語報告している。

図4に見られた結果が、用いた周波数帯に特異的なものでないことを示すために、別の空間周波数帯で構成される二次元帯域制限RDKを用いて同様の実験を行なった。結果を図5に示す。ここで用いた周波数帯は0.47~0.94 c/deg, 0.94~1.9 c/deg, 3.8~7.5 c/deg, 7.5~15 c/degの4種類である。高周波刺激を用いるとコントラスト感度が低下するため、最も高い周波数帯の最大コントラストは0.5から1.0に上昇させた。移動距離は、各刺激中の最低周波数の0.25, 0.5, 0.75, 1.0周期とした。縦軸左は運動残効持続時間（●）、縦軸右は運動方向弁別正答率（□）のスケールを示す。運動方向弁別の提示コマ数は8とした。図5中の1.9~3.8 c/degの結果は、図4からのリプロットである。被験SNの結果を示している。最も高い周波数帯の結果をのぞき、移動距離が最低周波数の半周期となるところで正方向の運動残効が示唆されている。最も高い周波数帯ではその位置が移動し、最低周波数の0.75周期のところで正方向の運動残効が示唆されている。この移動は、移動距離をそれぞれの周波数に相対的にプロットした場合、高い周波数帯で、運動残効および運動方向弁別の関数が大きな移動距離側に移動するという傾向を反映したものである。おそらく、この傾向は、視覚系の空間周波数特性により、高周波数刺激中の低周波数成分の相対的寄与率が高くなったことに起因するものと考えられる。このように、刺激を構成する周波数帯は結果に対し若干の影響を与えるものの、いずれの周波数帯でも運動方向知覚と運動残効の移動距離依存性における食い違いは明白である。

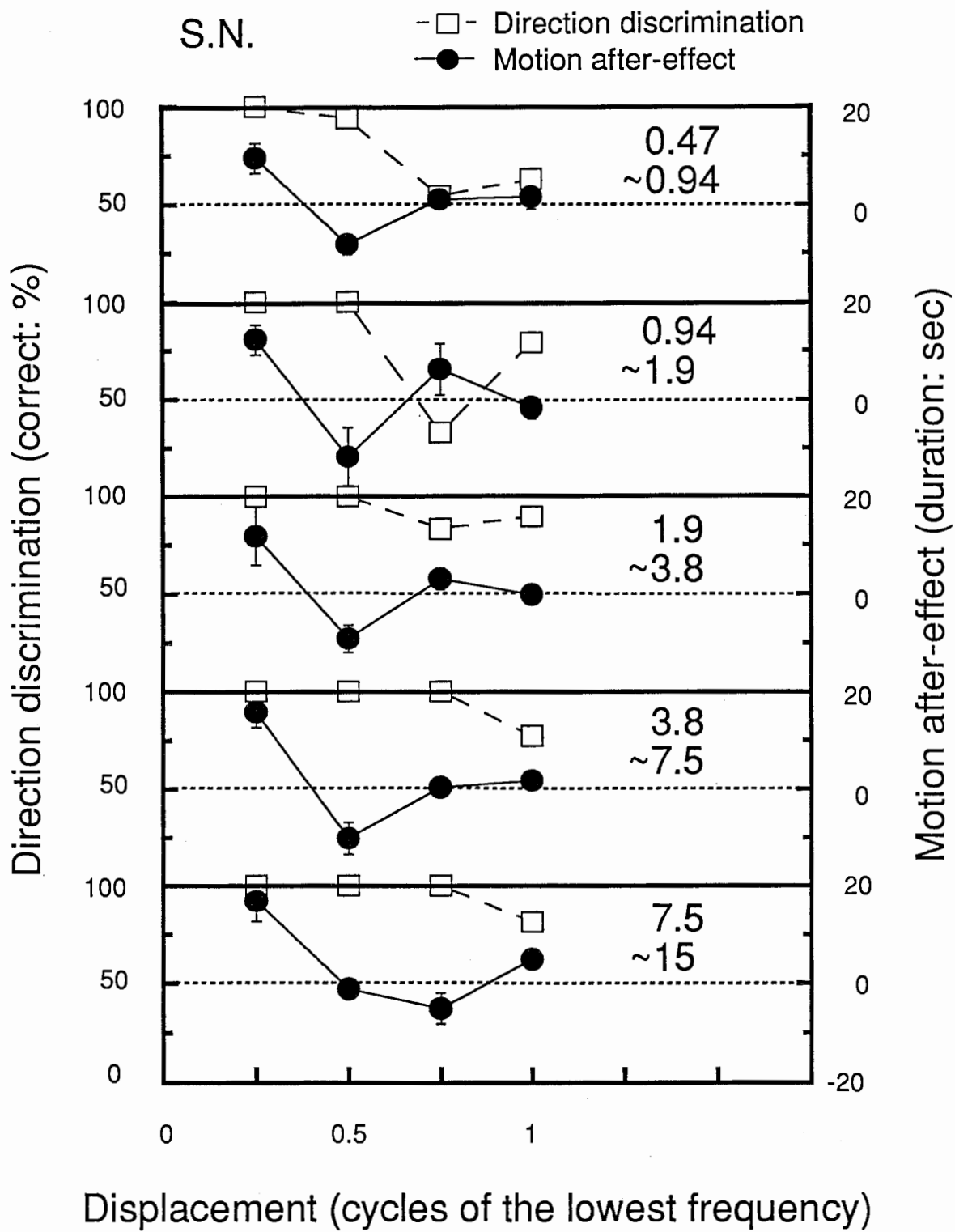


図5. 二次元帯域制限RDKに対する結果。図中の数字は刺激に含まれる周波数帯を示す。単位は c/deg。

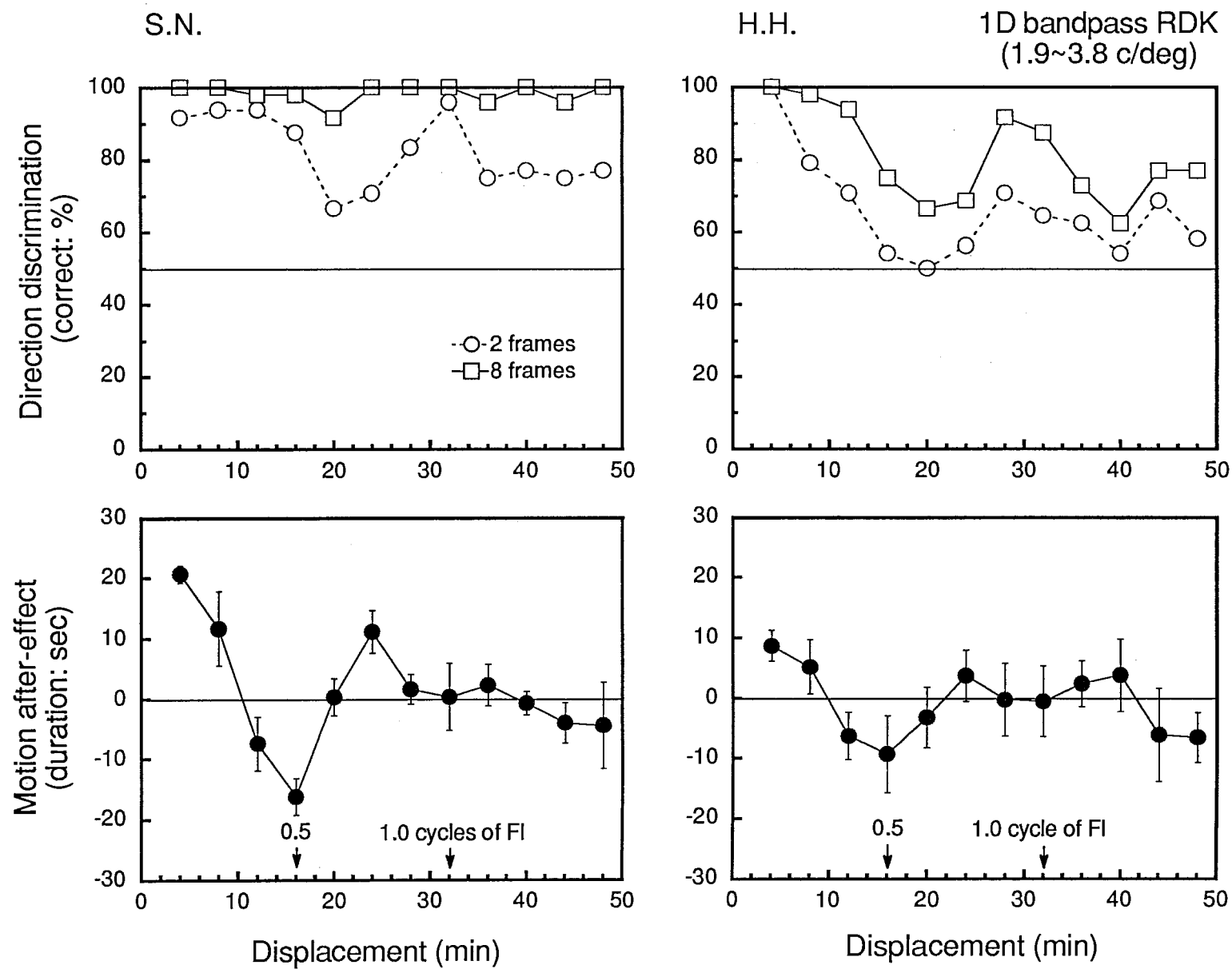


図6. 一次元帯域制限RDKに対する結果。周波数帯は1.9~3.8c/deg。

3. 2. 一次元帯域制限RDKの結果

図6に、一次元帯域制限RDKに対する運動方向弁別正答率と運動残効持続時間を被験者毎に示す。刺激の周波数帯は1.9~3.8 c/degである。図の詳細は図4に準じる。

運動残効の結果は、二次元帯域制限RDKを用いた場合とほとんど変わらない。わずかな違いで注目すべきことは、二次元の場合ほとんど残効が見られなかった12'の移動距離で、移動に一致した方向に残効が見られていることである。HHの残効量減少は、刺激の差によるものではなく、日間変動によるものであることが確認されている。

一方、運動方向弁別の正答率には、二次元の場合とのかなりの違いが見られる。この違いは、短い(~20')移動距離での正答率減少、ならびに長い移動距離での正答率上昇という2つの傾向に要約することができる。前者の傾向はHHの結果に、後者の傾向はSNの結果にそれぞれ顕著である。しかし、この2つの傾向を除けば、正答率がチャンスレベルを下回らない点や、関数の全体的形状、特に第二の山や谷の位置などに二次元の場合との類似点を見いだすことができる。

二次元の場合と同様、一次元の場合においても、運動方向弁別の移動距離依存性は、運動残効とは明らかに異なっている。SNの結果およびHHの8コマ提示条件の結果は、12'~16'の移動距離で正方向の運動残効が見られることを示唆している。この正方向の運動残効は、観察者の言語報告からも確認されている。

4. 考察

我々は、二次元および一次元の帯域制限RDKに対する運動方向弁別率と運動残効を移動距離の関数として測定した。その結果、両者の移動距離依存性に大きな食い違いが見られた。刺激の最低周波数の半周期付近の移動距離に見られた知覚運動に対する正方向の運動残効は、両者の食い違いを鮮明に示す現象である。このような食い違いは、運動方向知覚と運動残効を媒介する機構が同一のものではないことを強く示唆している。

4. 1. 運動残効

さきに述べたように、運動残効はおもに一次の運動検出機構で媒介されるといわれている[8,16-18]。我々の実験結果において、刺激の最低周波数の半周期の移動距離で、移動に一致した方向に運動残効が見られたことは、この考え方に符合する事実である。なぜなら、一次の運動検出機構は刺激中の空間周波数成分の運動を検出すると考えられており[9,14]、その考えに従えば、最低周波数の半周期の移動距離で、ほとんどすべての垂直方向周波数は反対方向の運動を示唆するはずだからである。

この定性的な議論を定量的なものに発展させるため、帯域制限RDKの各移動距離に対する運動方向性パワー (net Directional Power ; DP) を計算した。DPとは、ある方向に流れる周波数成分のパワーと、反対方向に流れる周波数成分のパワーの差をとったものである。DPは、一次の運動検出機構に仮定されている計算の結果に、粗くではあるが対応すると考えられる[20]。図7に、実験に用いた一次元帯域制限RDKから計算されたDP

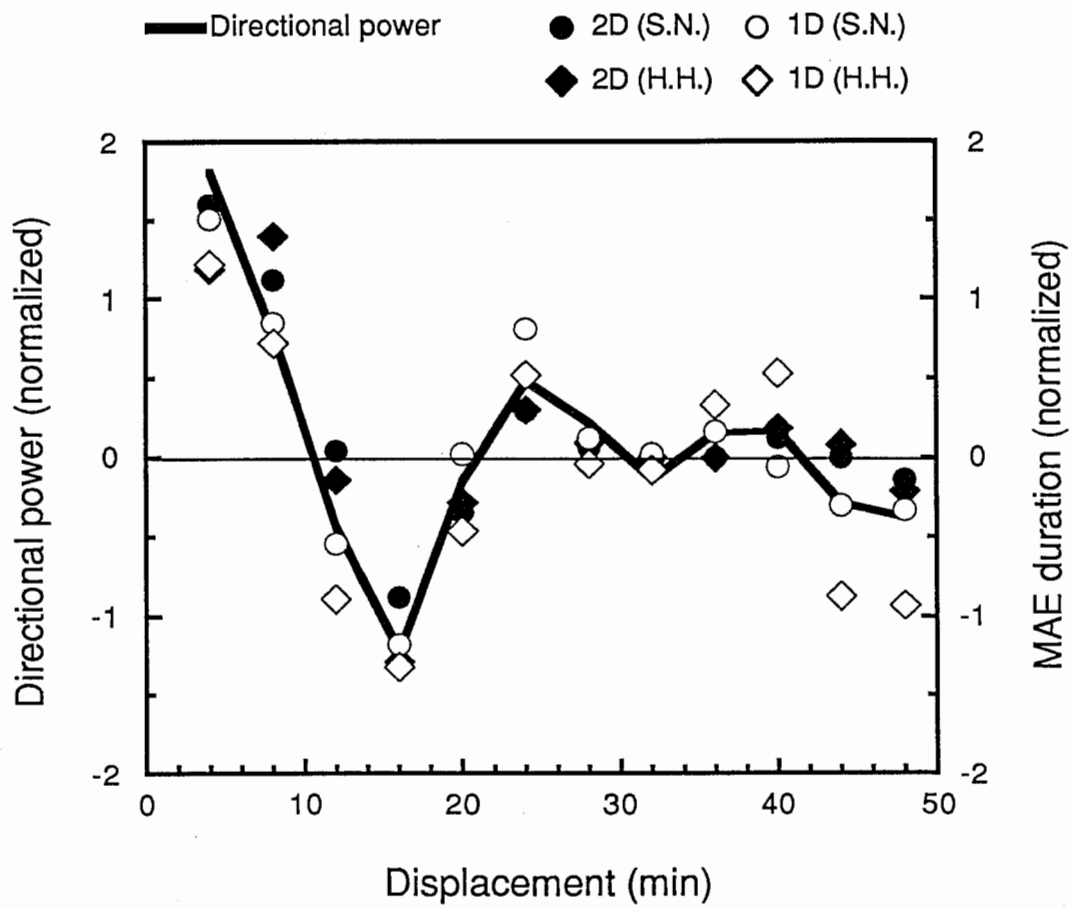


図7. Directional Powerと運動残効の移動距離依存性。

を、図4および図6の運動残効の結果と重ね、移動距離の関数として示す。DPおよび各運動残効のスケールは、できるだけ重なるよう設定してある。

図から明らかなように、DPは、一次元帯域制限RDKに誘導される運動残効の方向および持続時間の移動距離依存性を見事に説明している。このことは、その運動残効が一次の運動検出機構によって媒介されていることを示唆している。一方、二次元の帯域制限RDKに誘導される運動残効は、DPからの予測に多くの点で一致しているものの、移動距離12'のところで多少予測と食い違っている。このとき、二次元画像に対して運動残効はほとんど見られず、一方、DPの値は（一次元画像に対して見られたように）移動に対し正方向の残効を示唆している。このことは、二次元帯域制限RDKに含まれる斜方向の周波数成分の影響で説明可能である。なぜなら、このような周波数の運動方向反転には、同じ周波数であっても、運動方向からの角度のずれが大きくなるほど、より大きな移動距離が必要となるからである。このように、二次元帯域制限RDKに誘導される運動残効も、一次の運動検出機構によって媒介されていると考えられる。

4. 2. 運動方向知覚

知覚された運動方向に対し正方向の運動残効がえられる現象は、Anstisらがすでに報告している[8,17]。彼らの用いた刺激では、運動対象のコントラストが移動毎に反転する。このような刺激に対して、一次の運動検出機構は、移動と反対方向の運動を示唆することが予想される。運動残効はこのような一次の運動検出機構の順応の結果であり、一方、移動方向に沿った運動の知覚は二次の運動検出機構によって媒介されていると彼らは解釈した。

今回の実験の結果も、帯域制限RDKに対する運動方向知覚に、二次の運動検出機構が関与していると考えれば容易に説明可能である。では、刺激中に、二次機構のみが検出しようとするような運動が存在するのだろうか。

いくつかの近接する空間周波数を重ね合わせると、より低い周波数のコントラスト変調が生じ、局所的な輝度の山や谷から構成されるビートパターンとして知覚される。BadcockとDerringtonは、このビートパターンの移動に対する運動知覚を検討し、高周波のため要素周波数単独では運動が検出できない条件でも、ビートパターンの移動が検出されることを示した[21]。また、ビートパターンの運動は、運動残効をほとんど誘導しないことを見いだした[18]。これらのことは、ビートパターンの運動が、二次の運動検出機構に媒介されていることを示唆している。今回用いた帯域制限RDKは、1オクターブの範囲で、近接した周波数の正弦波格子群を、ランダムなコントラスト、位相（および方向）で重ね合わせたものに他ならない。それゆえ、刺激中には複雑なビートパターンが存在している。そのビートパターンの運動を二次機構が検出している可能性がある。

この仮説を検討するため、以下に述べる観察を行なった（表1）。図4および図6に示す実験で用いた帯域の最低周波数（1.9 c/deg）と中心周波数（2.8 c/deg）の正弦波格子を最低周波数の半周期（16'）づつ移動させる。移動角度はそれぞれ180°、270°となり、一次の運動検出機構の振る舞いから予想されるとおり、前者は運動方向がまったく曖昧、後者は必ず移動とは反対方向に運動が知覚される。しかし、この2つを重ねた複

合格子では、移動と一致した方向に運動が知覚された。これは、周波数を重ねた結果生じた低周波（0.9 c/deg）のビートパターンの運動を二次機構が検出した結果であると考えられる。一方、この移動距離での運動残効は、低周波数格子に対しては誘導されず、高周波数格子に対しては知覚と反対方向、つまり、移動に一致した方向に誘導される。そして、複合格子に対しては、高周波数格子に対する残効と同じ方向、つまり、知覚される運動に正方向の残効が誘導されたのである。この運動残効の結果は、いずれの場合も、一次の運動検出機構の応答から予想されるものである。このように、帯域制限RDKの構成要素である二つの周波数の複合格子が、元の刺激と同様の正方向の運動残効を誘導したことは、本実験で見られた運動方向弁別と運動残効の食い違いが、周波数の重ね合わせの結果生じるビートパターンの運動を二次機構が検出した結果であるという考え方を支持する事実である。

表1. 複合正弦波格子に誘導される正方向の運動残効

Frequency (c/deg)	1cycle (min)	Displacement			Peceived direction	Motion after-effect		
		Direction	Size (min)	Angle (deg)		Direction	Duration (sec) S.N.	H.H.
1.88	32.0	←	16.0	180	↔		0.0	0.0
2.81	21.3	←	16.0	270	→	←	22.7	10.1
compound grating		←	16.0		←	←	17.1	15.8

今回の実験では、一次元と二次元の帯域制限RDKに対する運動方向弁別の結果に違いが見られた。この違いは、斜方向周波数成分の一次・二次両機構に対する複雑な影響の結果であると考えられる。この影響の解明は本研究の範囲を越えており、今後に残された問題である。

5. 結論

帯域制限RDKに対する運動方向弁別率と運動残効に見られた移動距離依存性の明瞭な食い違いは、両現象を媒介する機構が同一のものではないことを示唆している。移動距離依存性の詳細な検討から、運動残効が一次の運動検出機構によって媒介されていることが示唆された。一方、帯域制限RDKの運動知覚には、刺激中のビートパターンの運動を検出する二次機構が関与している可能性がある。

これまで二次の運動検出機構の存在は、特殊な刺激条件下のみで示されてきた。今回、

帯域制限RDKのような一般性のある刺激に対する運動知覚に二次機構が関与していることが示されたことから、通常の運動知覚においても、二次機構が本質的な役割を演じていることが予想される。よって、今後に残された最も重要な課題は、二次の運動検出機構のモデルの構築である。この点に関し、ChubbとSperling[9]は、一次の運動検出機構のフロントエンドに、線形フィルター＋全波整流過程を付加した機構を提案している。このモデルは、BadcockとDerrington[21]らが提案しているような空間周波数選択性を持つユニット（例えば一次視覚野の単純細胞）の出力を見ている運動検出ユニットによって実現可能である。一方、このような比較的単純な機構ではなく、もっと複雑な特徴点マッチングが要請されるような運動知覚の事例も報告されている[22]。このような二次の運動検出機構の解析のために、ビートパターン運動等の基礎的特性のさらに詳細な検討が必要である。

謝辞 --- 本研究の機会を与えて下さったATR視聴覚機構研究所の淀川英司社長、有益な助言をして頂いた視覚研究室の上野圭一室長、本研究の共同研究者である現NTT基礎研究所の佐藤隆夫氏、ならびに被験者をして頂いた林秀代さんに感謝します。

参考文献

- [1] Chang, J.J. & Julesz, B. (1983). Displacement limits for spatial frequency filtered random-dot cinematograms in apparent motion. *Vision Research*, 23, 1379-1385.
- [2] Chang, J.J. & Julesz, B. (1985). Cooperative and non-cooperative process of apparant movement of random-dot cinematograms. *Spatial Vision*, 1, 39-45.
- [3] Nakayama, K. & Silverman, G.H. (1984). Temporal and spatial characteristics of the upper displacement limit for motion in random dots. *Vision Research*, 24, 293-299.
- [4] Cleary, R. & Braddick, O.J. (1987). Apparent motion in one- and two-dimensional bandpass images. *Perception*, 16, A38.
- [5] Cleary, R. & Braddick, O.J. (1990). Direction discrimination for band-pass filtered random dot kinematograms. *Vision Research*, 30, 303-316.
- [6] De Bruyn, B. & Orban, A. (1989). Discrimination of opposite directions measured with stroboscopically illuminated random-dot patterns. *Journal of the Optical Society of America*, A6, 323-328.
- [7] Bischof, W.F. & Di Lollo, V. (1990). Perception of directional sampled motion in relation to displacement and spatial frequency: evidence for a unitary motion system. *Vision Research*, 30, 1341-1362.
- [8] Anstis, S.M. (1980). The perception of apparent motion. *Philosophical Transactions of the Royal Society, London*, B290, 153-168.
- [9] Chubb, C & Sperling, G. (1988). Drift-balanced random stimuli: a general basis for studying non-Fourier motion perception. *Journal of the Optical Society of America*, A5, 1986-2007.
- [10] Sperling, G. (1989). Three stages and two systems of visual processing. *Spatial Vision*, 4, 183-207.
- [11] Cavanagh, P. & Mather, G. (1989). Motion: The long and short of it. *Spatial Vision*, 4, 103-129.
- [12] Marr, D & Ullman, S. (1981). Directional selectivity and its use in early visual processing. *Proceedings of the Royal Society, London*, B211, 349-385.
- [13] Van santen, J.P.H. & Sperling, G. (1985). Elaborated Reichardt detectors. *Journal of the Optical Society of America*, A2, 300-321.
- [14] Watson, A.B. & Ahumada, A.J.Jr (1985). Model of human visual motion sensing. *Journal of the Optical Society of America*, A2, 322-341.
- [15] Braddick, O.J. (1974). A short range process in apparent motion. *Vision Research*, 14, 519-527.
- [16] Banks, W.P. and Kane, D.A. (1972). Discontinuity of seeing motion reduces the visual motion aftereffect. *Perception & Psychophysics*, 12, 69-72.
- [17] Mather, G., Cavanagh, P. and Anstis, S.M. (1985). A moving display which opposes short-range and long-range signals. *Perception*, 14, 163-166.

- [18] Derrington, A.M. & Badcock, D.R. (1985). Separate detectors for simple and complex grating patterns. *Vision Research*, 25, 1869-1878.
- [19] Baker, C.L.Jr, Baydala, A. and Zeitouni, N. (1989) Optimal displacement in apparent motion. *Vision Research*, 29, 849-859.
- [20] Doshier, B.A., Landy, M.S. & Sperling, G. (1989). Kinetic depth effect and optic flow - I. 3D shape from Fourier motion. *Vision Research*, 29, 1789-1813.
- [21] Badcock, D.R. & Derrington, A.M. (1985). Detecting the displacements of periodic patterns. *Vision Research*, 25, 1235-1258.
- [22] Georgeson, M.A. & Shackleton, T.M. (1989). Monocular motion sensing, binocular motion perception. *Vision Research*, 29, 1511-1523.