

TR-H-074

0047

物体の奥行運動を検出する視覚情報処理機能
(Visual Function of Motion-In-Depth
Information Processing)

須佐見 憲史
鈴木 雅洋(中京大学)

1994. 4. 5

ATR 人間情報通信研究所

〒619-02 京都府相楽郡精華町光台 2-2 ☎07749-5-1011

ATR Human Information Processing Research Laboratories

2-2, Hikaridai, Seika-cho, Soraku-gun, Kyoto 619-02 Japan

Telephone: +81-7749-5-1011

Facsimile: +81-7749-5-1008

物体の奥行運動を検出する視覚情報処理機能

-- 奥行運動残効の時間・空間範囲 --

須佐見 憲史

(ATR人間情報通信研究所)

鈴木 雅洋

(中京大学)

概要：

ヒトは刻々と変化する物体の位置や運動の方向を視覚によって瞬時にとらえることができる。特にその中でも自己方向の運動，すなわち奥行運動を知覚することは，接近する物体から回避したり外敵を事前に感知する上で，ヒトばかりでなく動物一般に重要な機能であると考えられる。本研究ではこのような奥行運動を検出する視覚情報処理過程の時間・空間的な特徴を視覚実験によって明らかにすることを目的とし，その結果から奥行運動の検出機能を考察した。

ヒトの視覚情報処理過程を解明する手段として，従来から生理学的，心理学的な幾つかの方法が提案されている。本研究では特にヒトの視覚を対象にするため，運動刺激に対する視覚順応パラダイムを用いた。例えば，大きさの変化を繰り返すパターンに順応した後，静止した刺激を見ると視線方向の運動が知覚される。これは奥行運動残効と呼ばれ，パタンの大きさ変化を奥行運動に変換する視覚情報処理過程の残効であると言われている。更にこの残効はパタンの大きさ変化だけではなく，2線分の相対運動によって生じることも知られている。

そこで本研究では2線分が離反運動する順応刺激を用いて奥行運動残効の時間，空間的な範囲を検討した。その結果，奥行運動残効は2線分の間隔の増加に伴って減少し，視角約 3° で消失した。また各々の運動線分を継時提示すると奥行運動残効は消失した。これらの結果は奥行運動残効の時間，空間的限界を示し，奥行運動の視覚情報処理過程が視野全体のフローパターンではなく，ある物体の奥行運動を検出するように機能していることを示唆するものと言えよう。

Visual Function of Motion-In-Depth Information Processing :

Aftereffect of Motion-In-Depth has a Spatial and Temporal Limit

Kenji SUSAMI

(ATR Human Information Processing Research Laboratories)

Masahiro SUZUKI

(Chukyo University)

Abstract

A motion aftereffect induced by a stimulus changing its size produces a perception of motion-in-depth. Similarly, a relative motion of opposite edges presenting subparts of such a stimulus also produces the aftereffect of motion-in-depth. In this study, we examined the spatial and temporal properties of the relative motion for the aftereffect of motion-in-depth. In experiment 1, we used two vertical lines moving away from each other. After adaptation, two stationary test lines were first perceived to be approaching each other (2D-MAE), and subsequently perceived to be moving away from the observer (3D-MAE). This aftereffect gradually decreased as the distance between the two lines increased and then disappeared at about 3 deg/arc apart. In experiment 2, we examined the effect of presenting the two adaptation lines sequentially. The 2D-MAE was induced, but the 3D-MAE could not be found. These results suggest that the aftereffect of motion-in-depth has properties of a spatial and temporal limit.

1. まえがき

1. 1 奥行運動の検出と生物の行動

生物は、環境に対して適応的な視覚システムを持っていることが多い。例えば、比較的プリミティブと思われるハエの視覚系が、optical flowによってランディングポイントを決定したり、他のハエを追跡したりする機能があると言われている[1]。また、カエルはある条件下ではエサになる生物の接近運動に対して選択的な求餌行動を示すことから[2]、カエルの視覚系にも物体の奥行運動を検出する機能があると考えられる。更に、Bower et al.は生後6~20日齢のヒトの乳児がスクリーン上の拡大刺激に対して防御性の反応を示すことから、ヒトの視覚系が乳児の段階から奥行運動の検出機能を有していることを示唆している[3]。これらのことは、奥行運動の検出が動物の行動にとって重要な課題であり、かつ基本的な視覚メカニズムであることを示唆するものである。

1. 2 奥行運動の検出と大きさ変化の手がかり

3次元の視空間を自己方向に運動する物体は、前額平面上を運動する物体とは異なり、網膜像が拡大・縮小する。このような網膜像の拡大・縮小は、大きさ変化の手がかりと呼ばれ、物体の奥行運動を知覚するための重要な要因であることが多くの先行研究で指摘されてきた[4-8]。しかしその後の心理物理的・生理学的研究では、視覚情報処理過程は直接網膜上の大きさ変化を処理するのではなく、大きさ変化の局所的な運動成分を検出・統合することによって奥行運動の情報を生成していることを示している[9]。

1. 3 奥行運動の視覚情報処理モデル

奥行運動の視覚情報処理過程に関して、心理物理的、生理学的根拠を基にした情報処理モデル[9-11]が提案されている(Fig.1)。このモデルによると、奥行運動は次のように処理される。物体が観察者に対して接近・後退運動すると、それに伴って網膜像が拡大・縮小する。視覚はこの網膜上の大きさ変化を直接的に奥行運動として処理するのではなく、まず運動検出機構(motion filter)[12-16]が大きさ変化の検出に介入する。運動検出機構はエッジの局所的な運動成分を検出し、次に、大きさ変化のフィルター機構(changing-size filter; CSフィルター)が対向エッジの速度差成分に対して反応する。CSフィルターの反応は大きさ変化の信号としてばかりでなく、奥行運動を処理するステージ(motion-in-depth stage; MDステージ)にも送られる。MDステージは、その信号を両眼視系の非対応量の変化(changing disparity)と加算し、ある物体の奥行運動情報として利用する。これは、視覚が物体の大きさ変化に含まれる相対運動をある種の対応関係として検出・統合し、奥行運動情報を生成していることを示すものである。

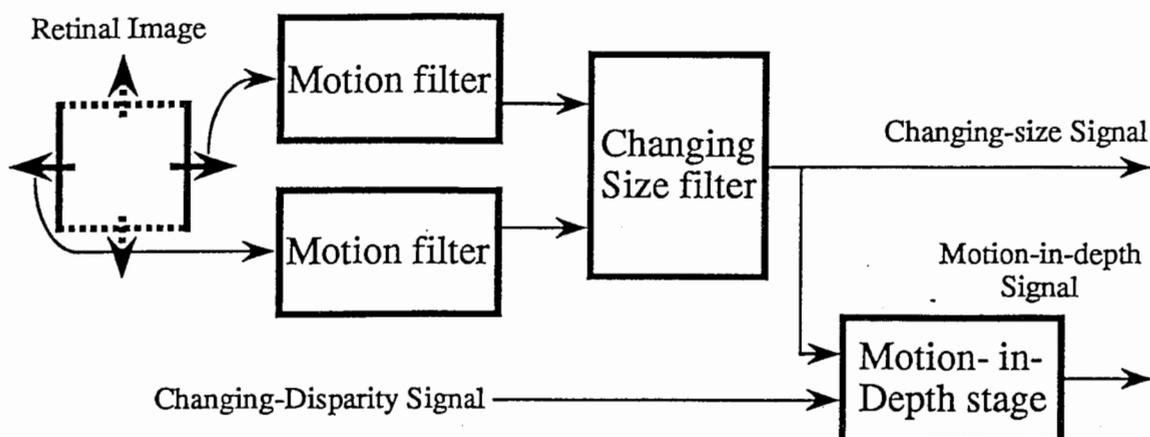


Fig. 1 A schematic diagram of Motion-in-Depth Information Processing. An object moving into the line-of-sight projects the changing-size images onto the retina. The motion filters respond to the local motion component contained in the opposite edges of the changing-size images. The changing-size filter computes the relative velocity of the opposite edges of the changing-size images. The changing size filter produces the changing-size signal and also drives a motion-in-depth stage. The changing-disparity signal from the stereoscopic-motion filter also feeds the motion-in-depth stage. (modified from Regan and Beverley, 1979; 1980).

1. 4 モデルの問題点

視覚が上述の相対運動によって物体の奥行運動を検出していると仮定すると、ある場合には、物体の奥行運動と同じ情報が生成される場合がある。例えば、観察者が前進後退する場合は視野全体にフローパターンが投影される。相対運動成分はこのようなフローパターンにも含まれるが、視覚はこのような視野全体のフローパターンを物体の接近後退運動としてではなく、自己の前進後退運動として解釈する。したがって、視覚によって物体の奥行運動と自己の前進後退運動を弁別するためには、前述のモデルのCSフィルターに対応する機構がある空間的な範囲の相対運動だけを選択的に検出する必要があると考えられる。

本研究ではこのような仮定の下に、CSフィルターの相対運動検出機能を奥行運動残効によって検討し、奥行運動情報が生成される視覚情報処理過程を考察する。

2. 研究手法

2. 1 運動残効とそのメカニズム

ヒトの視覚情報処理過程を調べる手法としては生理学的、心理学的な幾つかの方法が提案されている。本研究では、特に運動刺激によって視覚を順応させたときに生じる残効を

利用し、奥行運動を検出する視覚情報処理過程について検討した。例えば、ある一方に持続的に運動する刺激（滝など）を長時間観察した後では、静止した物体が刺激の運動とは逆の方向に動いているように知覚される。これはwater-fall illusion,あるいは運動残効(Motion After-Effect, MAE)と呼ばれ、運動を検出する視覚機構の順応疲労が原因であると言われている[12-16].

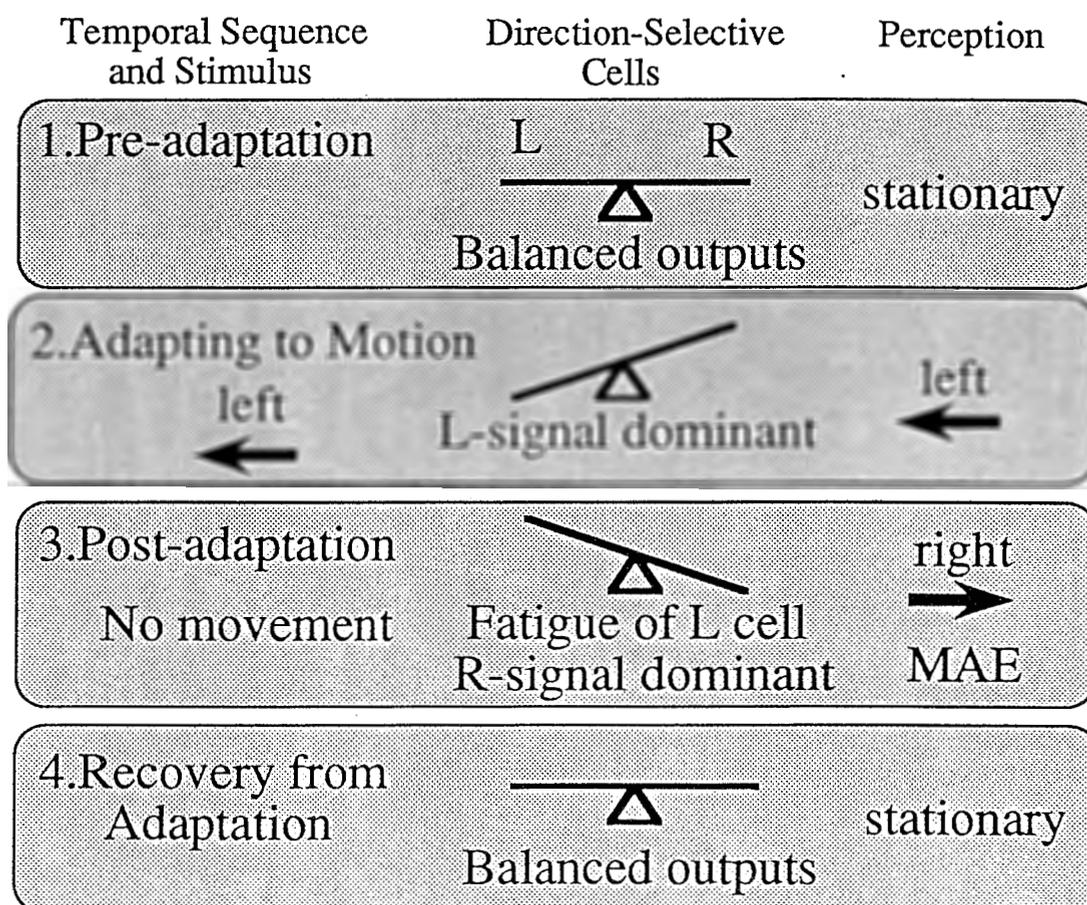


Fig.2 Mechanisms of Motion After-Effect(MAE). A prolonged period of adapting to L or R stimulus direction, it leads to fatigues L or R cell, and also lead to an imbalance in their activity (opponent-process) which produces the motion after-effect.

運動残効が生じる視覚メカニズムについて現在までに報告されている知見をまとめると、Fig.2のようなモデルで示すことができる。例えば左右の運動に対して方向選択性を持つ運動検出細胞は対になっていて相互抑制的な関係があり、一方の反応が活発になるともう片方の活動は抑制される[16]。これは対立過程(opponent-process system)[15]と呼ばれ、一般に運動残効の説明原理とされている。この対立過程の出力を基にして運動残効を説明すると次のように示すことができる。運動刺激を提示していないとき(1.Pre-adaptation)は、例えば左右の運動に対して方向選択性を持つ運動検出細胞の反応は均衡状態にあり、したがって運動知覚は生じない。次に左方向の運動を提示すると(2.Adapting to motion)左方向の

運動に対して選択的に反応する細胞が活動し、それが右運動検出細胞の反応を抑制する。したがって左方向の運動を提示したときは左向きの動きが知覚される。しかし左方向に持続的に運動する刺激を長時間見た後では(3.Post-adaptation)、左運動検出細胞が通常の状態よりも活動レベルが低下し、相対的に右運動検出細胞の反応が優位になる。したがって右向きの運動が知覚される。これが運動残効である。その後(4.Recovery from adaptation)運動刺激がないと左運動検出細胞の順応疲労は徐々に回復し、やがて定常状態に復帰する。以上が現在一般に理解されている運動残効のメカニズムであると思われる。

2. 2 奥行運動残効

運動残効と同様に、奥行方向についても運動残効が生じる。例えば、大きさの変化を繰り返すパターンに順応した後、静止した刺激を見ると奥行方向の運動が知覚される。これは奥行運動残効 (motion-in-depth after-effect) と呼ばれ、物体の接近後退に伴う網膜像の大きさ変化を奥行運動に変換する視覚情報処理過程の残効であると言われている[9,10,17]。したがって大きさ変化から奥行運動への変換過程は網膜像的な拡大・縮小あるいは3次元的な接近・後退に関して対立過程が存在するものと考えられる。さらにこの残効はパターンの大きさ変化だけではなく、2線分の接近・離反運動のような相対運動によって生じることも示されている[18]。これらのことから、奥行運動の処理過程は網膜像の大きさ変化に含まれる対向エッジの相対運動を検出し、奥行運動の情報を生成していることを示すものと考えられる。

3. 実験1 (空間的効果)

3. 1 目的

2本の線分が離反運動を繰り返す順応刺激を用いて、奥行運動残効が誘導される空間的な範囲を調べる。

3. 2 方法

被験者：以下の課題に対して十分な経験のある2名の被験者(KS, MY)がすべての条件を試行し、視覚実験の被験者の経験はあるがこの課題は未経験である3名の被験者(MM, YY, MsY)が実験の一部に参加した。

刺激と条件：刺激は2本の運動線分を用いた。線分の垂直長は視角 1° 輝度は 30cd/m^2 であり、マイクロコンピュータ(NEC,PC-9801VM)で生成し、CRT(NEC,PC-KD851)上に提示した。運動刺激は画面の中心から左右 0.5° 離れた位置に提示し、運動線分の下端から約 0.5° 離れた位置に凝視点を設けた。画面周辺には残効観察時の奥行手掛りとして斜格子縞を提示した(Fig. 3)。刺激の運動はグラフィックス画面に視角 $2'$ 間隔で線分を描き、

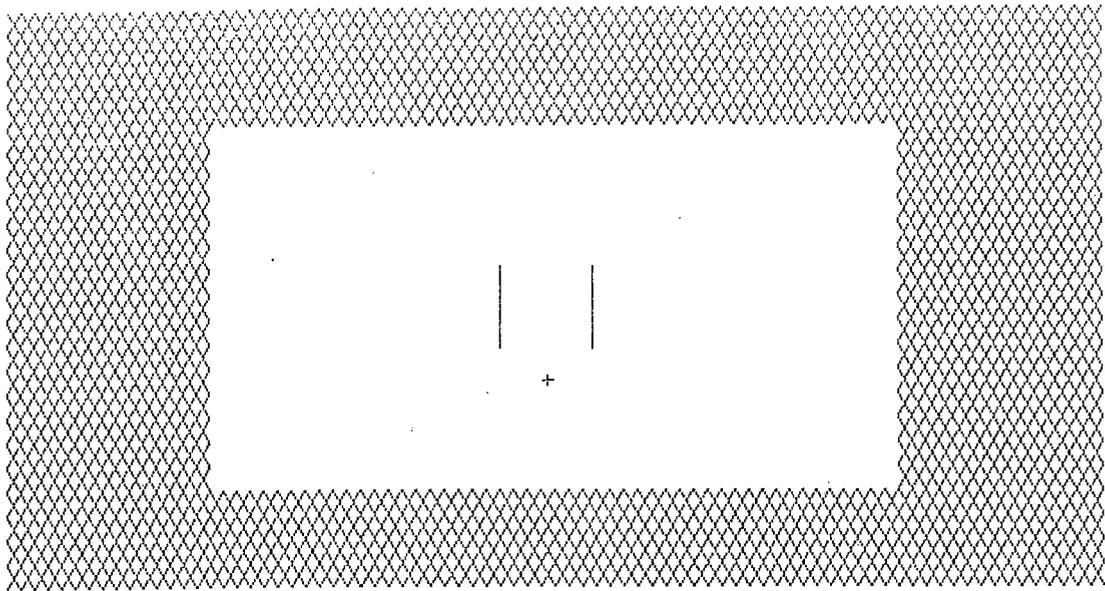


Fig.3 An example of a stimulus configuration presented on a CRT display. The vertical lines shows the adaptation and test stimuli located at the center of the CRT. The fixation point and surrounding cross-stripes are used for gazing and as reference for discrimination between 2D and 3D motion aftereffects.

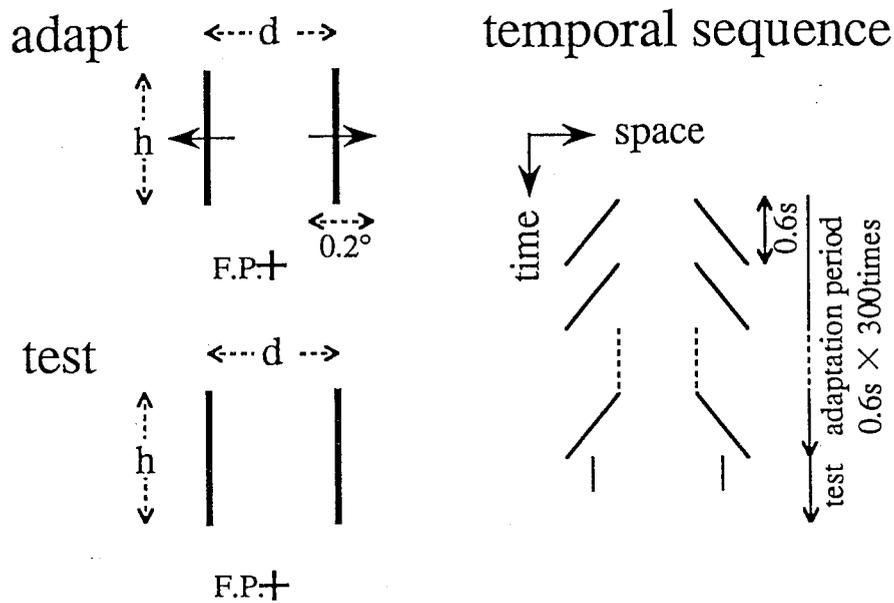


Fig.4 Adaptation and test stimuli with temporal sequence. In experiment 1, two vertical lines that subtended 1 degree were presented for the adaptation and the test stimuli ($h=1^\circ$). There were six different distances between the two lines, ranging from 1 to 3 degree (d). Additionally, an $h=d$ condition was arranged to test the vertical length of the stimuli. Two adaptation stimuli moved away from each other in the ramp phase of a saw-tooth waveform. Each line moved 0.2 degree with the velocity of 3.33deg/sec. After adaptation of 3 minutes, two stationary test lines were presented.

1 フレームの提示時間を100ms.とし、6 フレームを連続提示することによって得た。提示時間はハードウェアタイマ(日本アセンブラ, タイマーボード)で制御した。2 線分はそれぞれ振幅 0.2° , 周期0.6s.で鋸歯状波状に離反運動を繰り返した。2 線分の間隔は $1'$ から $2.875'$ まで $0.375'$ ステップの6 条件を設け、空間条件とした($h=1^\circ$)。また $d=1.75, 2.5, 2.875^\circ$ において2 線分の間隔と垂直長が等しい条件($h=d$)を設けた(Fig. 4)。運動に対する順応は離反運動1 振幅を300回連続的に提示することによって得た。したがって順応時間は3分を要した。検査刺激は順応刺激と同じ垂直長の2本の静止線分を用い、順応刺激の運動範囲の中心に提示した。

手続き：被験者は暗室内に設置したCRT上の刺激を114cmの距離から両眼で観察し、1分暗順応の後、運動刺激の順応に移った。順応終了後、検査刺激を提示した。被験者は手元の反応キー2個を利用し、検査刺激の観察中に2次元的な運動知覚(2D-MAE)が消失したり3次元の運動に変化した時点で一方の反応キーを押し、3次元の運動知覚(3D-MAE)が消失した時点でもう一方の反応キーを押し、検査刺激の提示開始から反応キー押下までの時間を残効持続時間としてマイクロコンピュータで計測・記録した。試行終了後、被験者は残効の見え方を報告した。先行試行の順応回復のため30分以上経過してから次試行を行なった。各順応条件はランダムに試行し、被験者MY,KSは $h=1^\circ$ の各空間条件毎に10試行、 $h=d$ 条件は5試行を行なった。その他3名の被験者は5試行を行なった。

3. 3 結果と考察

まず各被験者の内省報告の結果から残効の現象的な特徴を示すと以下のようにまとめることができる。順応後に提示された検査刺激の2線分は互いに接近運動し(2D-MAE), その後、被験者から遠ざかって行く運動を繰り返し知覚した(3D-MAE)。3D-MAEは被験者や条件によって持続時間の変化はあるが、同一被験者の条件内では一定の傾向を示し、数秒から20数秒で消失した。これらの残効の生起順序はどの試行でも変化することはなかった。これらの内省報告から、2D-MAEと3D-MAEの生起順序は一定であり、反応キーの押下と一致するものと考えられる。そこで空間条件毎に各試行の残効持続時間の幾何平均を算出した。

Fig. 5は2線分の間隔と運動残効の持続時間の関係を2名の被験者(MY,KS)別に示したものである。図中には $h=1^\circ$ に加え、 $h=d$ の残効持続時間をプロットした。縦軸は残効持続時間を表し、検査刺激の提示開始から各残効が消失した時点までの経過時間を示す。Fig. 5から、空間条件に対する残効持続時間の変化は被験者間で同じ傾向を示すことがわかる。残効全体の持続時間は2線分の間隔が拡大しても大きな変化は認められない。しかし2D-MAEの持続時間は2線分の間隔の拡大に伴い増加する。それに対して3D-MAEは減少し、視角約 3° で消失する。 $h=d$ 条件の場合も3D-MAEの持続時間は空間間隔に伴って減少し、 $h=1'$ 条件と同様に視角約 3° で消失する。

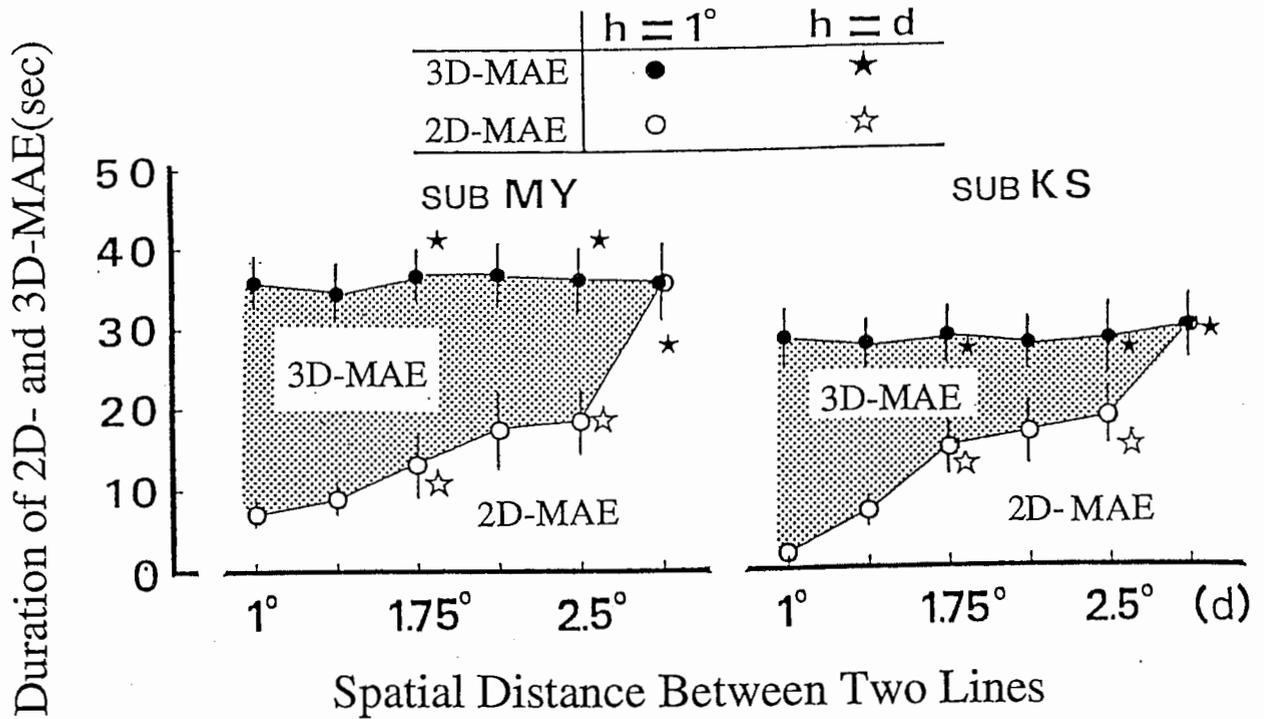


Fig.5 Duration of 2D- and 3D-MAE induced by relative motion. In general, the vertical lines were first perceived to be approaching each other (2D-MAE), and subsequently, to be moving away from the observer (3D-MAE). These aftereffects continued for 25-35 seconds. This general effect was smaller when the distance between two lines was larger and disappeared when the two lines were roughly 3 deg/arc. apart.

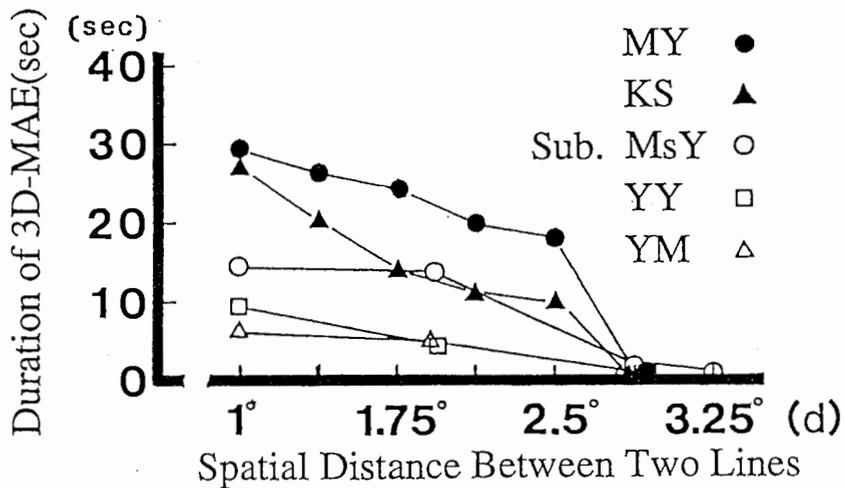


Fig.6 Spatial limit of 3D-MAE induced by relative motion. The 3D-MAE gradually decreased as the distance between the two lines increased and then disappeared at about 3 deg/arc apart.

Fig. 6 は被験者 5 名の 3D-MAE 持続時間を示したものである。5 名中 2 名のデータは Fig. 5 の 3D-MAE の持続時間だけを算出しプロットし直したものである。この図からも明らかのように Fig. 5 の 2 名の被験者に加え、他の被験者 3 名も視角約 3° で 3D-MAE が消失す

ることがわかる。

これらの結果から、奥行運動残効はある空間範囲の相対運動成分によって誘導されると考えられる。これは、相対運動を検出しているメカニズムが、例えば前述のフローパタンのような視野全域に及ぶ相対運動を検出しているのではなく、ある空間的な範囲の相対運動を検出していることを示唆するものと言えよう。

4. 実験2 (時間的効果)

4. 1 目的

実験1では2線分の離反運動によって奥行運動残効が生じた。これはCSフィルター以降の奥行運動を処理する視覚情報処理過程が相対運動によって順応したことを示すものと考えられる。しかし本実験で用いた刺激に着目すると、離反運動を構成する片方の運動線分によって局所的に運動残効が生じることも推測できる。これは2本の運動刺激の提示位置に対する運動残効がCSフィルター以降で変換され、奥行運動として知覚された可能性があることを意味する。そこで実験2ではこの可能性を調べるため、2本の運動線分を継続的に提示し、奥行運動残効の変化を検討する。

4. 2 方法

被験者：この課題に対して十分な経験のある2名の被験者(KS, MY)と視覚実験の被験者の経験はあるがこの課題は未経験である1名の被験者(KI)の計3名が実験に参加した。

刺激と条件：刺激は実験1同様、2本の運動線分を用いた。ただし実験2では継時提示の時間的な効果を調べるため、左右の運動線分を交互提示するAlternative条件(A)と、左右の運動線分のうち一方を25回ずつ提示するConsecutive条件(C)を設けた。運動刺激の提示回数に関しては実験1と等しくなるように片方の運動線分を300回提示した。したがって順応時間は6分を要した。検査刺激は実験2と同様、2本の垂直線分を順応刺激と同じ位置に提示した(Fig. 7)。その他の条件および手続きは実験1と同じである。

4. 3 結果と考察

Fig. 8は各条件の運動残効の持続時間を被験者別に示したものである。縦軸は残効持続時間を表し、検査刺激の提示開始から各残効の消失時点までの経過時間を示す。残効持続時間は各条件10試行の運動残効の持続時間から幾何平均を算出したものである。

2線分を交互提示したA条件では3名の被験者ともに2D-MAEの後3D-MAEを知覚した。2D-MAEと3D-MAEの持続時間は2名の被験者で大きな差はみられないが、1名は3D-MAEの方が顕著に長くなる傾向がある。片方の運動線分を連続提示したC条件では3名の被験

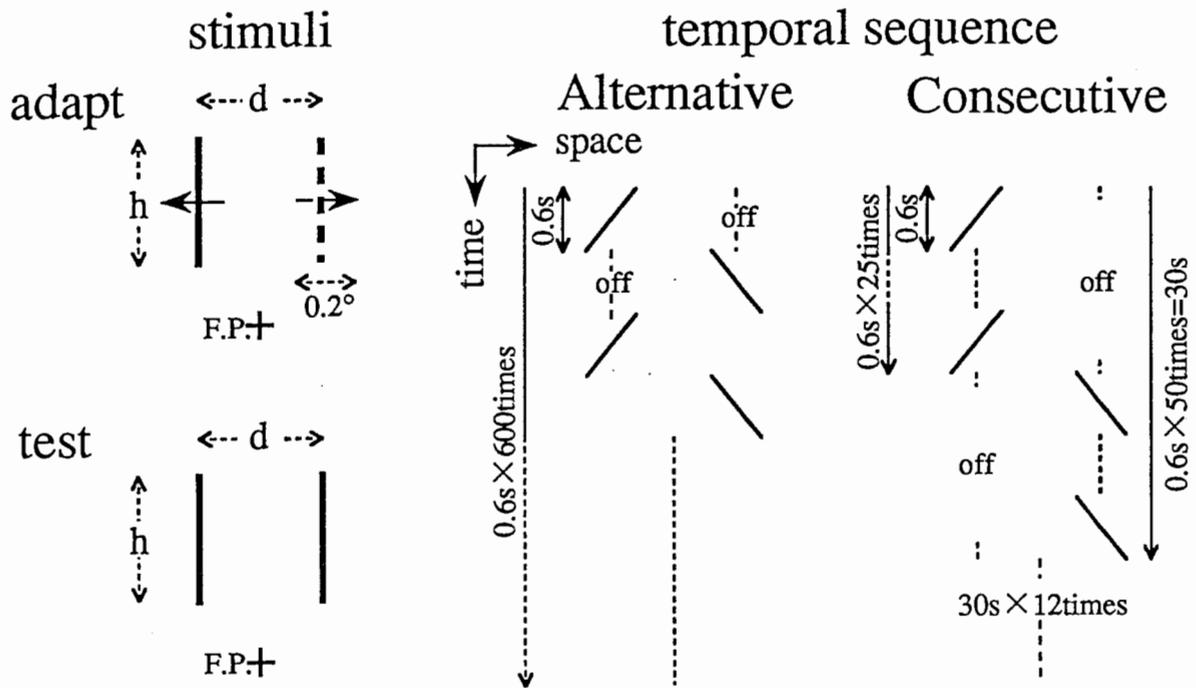


Fig.7 Adaptation and test stimuli with temporal sequence in experiment 2. Two adapting conditions of movement (Alternative and Consecutive) were arranged to test the effect of temporal interaction between two adapting movements. Both the alternative and the consecutive condition were equivalent in total number of presentation of the motion stimulus. A pair of static lines was presented as the test stimulus after an adaptation period for both cases.

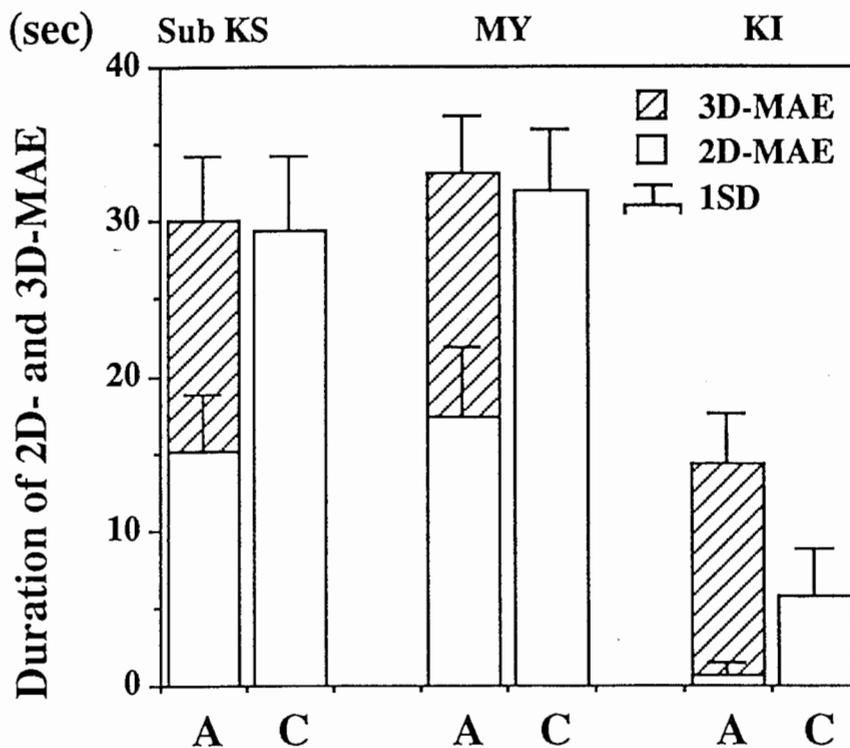


Fig.8 Duration of 2D- and 3D-MAE induced by Alternative (A) and Consecutive (C) condition. Although the total number of stimulus presentation was equivalent in both cases, the 3D-MAE disappeared under the consecutive condition.

者ともに2D-MAEだけを知覚した。これらの結果から被験者によって残効持続時間の傾向は異なるが、A条件では3D-MAEが生じC条件では生じないことが共通する。

この結果に関して、運動検出機構の順応とCSフィルターの順応という点から幾つかの可能性が考えられる。ひとつは、2本の運動刺激の提示位置に対する個々の運動残効がCSフィルター以降で変換され、奥行運動として知覚されたという可能性である。しかし、2つの局所的な運動残効によって3D-MAEが誘導されたのであれば、A条件だけでなくC条件でも3D-MAEが生じるものと考えられる。またA,C条件の刺激提示回数は等しくなるように条件設定をしたので、両条件で運動検出機構の順応の程度が異なるとは考え難い。したがって、運動残効がCSフィルターで利用され3D-MAEが知覚されたという可能性は少ないと考えられる。

もうひとつの可能性として、CSフィルター以降の順応効果が挙げられる。A条件は左右の運動線分を交互に提示したので左右の運動の継時的な対応がより生じやすいと考えられる。逆に、C条件は左右の運動線分の一方を持続的に提示したので、左右どちらか片方の順応は進行するが継時的な対応は少ないと考えられる。これはA条件のように継時的な対応が強い場合には、運動検出機構の反応として次のような可能性があることを示唆する。例えば一方の運動刺激が提示されたあとそれを検出する運動検出機構の反応が減衰する時に、もう一方の運動刺激が提示され、これに対する運動検出機構の反応が始まると仮定する。このように考えると継時的な場合も相対運動が検出され、CSフィルター以降が順応することが説明できる。逆に、C条件のように個々の運動検出機構が逆方向の運動に独自に順応したときは運動検出機構はそれぞれ独自に順応し、2D-MAEだけが生じると考えられる。これらのことから、2D-MAEは運動検出機構の順応によって生じるが3D-MAEはCSフィルター以降の順応が必要であると考えられる。したがって、奥行運動の検出過程では運動検出機構だけではなく相対運動によって順応する機構を仮定する必要がある。これは、実験1でみられた奥行運動残効の空間的限界が、運動検出機構によるものではなく、相対運動検出機構に依存することを示すものと考えられる。

5. まとめ

本報告では、奥行運動残効の持続時間を指標に、物体の奥行運動に伴う網膜像の大きさ変化を奥行運動に変換する視覚情報処理過程の時間・空間的な性質を検討した。より具体的には2本の線分の離反運動を用いて、大きさ変化に含まれる相対運動の時間空間的な検出機能の特徴を調べた。

実験1では、2線分の離反運動を用いて、2本の運動線分の間隔を変化させた。その結果、2線分の間隔が狭いときには奥行運動残効が生じた。ところが2線分の間隔が広くなるに従い奥行運動残効は減少し、視角約 3° で消失した。また、この傾向は2線分の間隔と垂直長を同じ長さにした順応条件でも同じ結果が得られることがわかった。これらの結

果は、相対運動検出機能の空間的限界を示すものと考えられる。しかし、本実験に用いた運動刺激に関しては局所的に運動残効を誘導している可能性もあり、2つの運動残効が相対運動検出機構で変換され、奥行運動が知覚される可能性もあった。これは実験1で得られた結果が、直ちに相対運動検出機能を示すものではないことを示唆している。

そこで実験2では、2本の運動線分を継時提示する順応条件を設定し、奥行運動残効の生起を検討した。その結果、2線分を同時提示した場合には奥行運動残効が生じたが、完全に継時提示した条件では消失することを確認した。これは奥行運動残効が2つの運動残効によって誘導されたものではなく、運動検出機構とは別の視覚機構、すなわち相対運動を奥行運動の情報に変換する機構の残効であることを示すものと考えられる。

これらの結果は、奥行運動残効の時間、空間的な限界を示し、奥行運動の処理過程が視野全体を覆うようなフローパターンを検出しているのではなく、ある物体の奥行運動を検出するように機能していることを示唆するものと言えよう。

参考文献

- [1] D. Marr: "Vision", W.H. Freeman and Company, New York and Oxford, (1982).
- [2] 鷺見 成正: "生体動作にかかわる視覚機構-カエルの運動視-", 日本心理学会第56回大会発表論文集, p508, (1992).
- [3] T.G.R. Bower, J.M. Broughton and M.K. Moore: "Infant responses to approaching objects: An indicator of response to distal variables", Perception and Psychophysics, 9(2B), pp193-196, (1970).
- [4] J.J. Gibson: "The perception of the visual world", Boston: Houghton-Mifflin, (1950).
- [5] W.H. Ittelson: "Size as a cue to distance: Radial motion", American Journal of Psychology, 64, pp188-202, (1951).
- [6] F.P. Kilpatrick and W.H. Ittelson: "Three demonstrations involving the visual perception of movement", Journal of Experimental Psychology, 42, pp394-402, (1951).
- [7] G. Johansson: "Perception of motion and changing form", Scandinavian Journal of Psychology, 5, pp181-208, (1964).
- [8] K. Sayons: "Kinetic frame effects. II. Vista motion", Perceptual and Motor Skills, 18, pp857-863, (1964).
- [9] D. Regan, K.I. Beverley and M. Cynader: "The visual perception of motion in depth", Scientific American, 241, pp136-151, (1979).
- [10] K.I. Beverley and D. Regan: "Separable aftereffects of changing-size and motion-in-depth: Different neural mechanisms?", Vision Research, 19, pp727-732, (1979).
- [11] D. Regan and K.I. Beverley: "Binocular and monocular stimuli for motion in depth: changing-disparity and changing-size feed the same motion-in-depth stage", Vision Research, 19, pp1331-1342, (1979).
- [12] H.B. Barlow and R.M. Hill: "Evidence for a physiological explanation of the waterfall phenomenon and figural after-effects", Nature, 200, pp1345-1347, (1963).
- [13] R. Sekuler and L. Ganz: "Aftereffect of seen motion with a stabilized retinal image", Science, 139, pp419-420,

(1963).

[14] R. Sekuler and A. Pantle: "A model for after-effects of seen movement", *Vision Research*, 7, pp427-439.(1967).

[15] J.P. Frisby: "Seeing: Illusion, Brain and Mind", Oxford University Press, Oxford, (1979).

[16] S.E. Petersen, J.F.Baker and J.M.Allman: "Direction-specific adaptation in area MT of the owl monkey", *Brain Research*, 346, pp146-150, (1985).

[17] D. Regan and K.I. Beverley: "Illusory motion in depth: Aftereffect of adaptation to changing size", *Vision Research*, 18, pp209-212, (1978).

[18] 須佐見,古賀,間野: "2本の運動線分によって生じる奥行運動残効", *名古屋大学環境医学研究所年報* XXXIX, pp301-305, (1988).