

## 運動視差による形態刺激の奥行知覚 相対的大きさ手がかりとの相互作用

原口雅浩\*・中溝幸夫\*\*

\*久留米大学 文学部 人間科学科  
〒830 福岡県久留米市御井町 1635

\*\*福岡教育大学 教育学部  
〒811-41 福岡県宗像市赤間 729

(1993年 8月30日受付, 1993年 9月28日改訂受付, 1993年10月 4日受理)

## Depth Perception Produced by Shaped Stimuli with Motion Parallax Interactions between Motion Parallax and Relative Size

Masahiro HARAGUCHI\* and Sachio NAKAMIZO\*\*

\*Department of Human Sciences, Faculty of Literature, Kurume University  
1635 Mii-machi, Kurume, Fukuoka 830

\*\*Department of Psychology, Fukuoka University of Education  
729 Akama, Munakata, Fukuoka 811-41

(Received 30 August 1993; revised form received 28 September 1993; accepted 4 October 1993)

Three experiments were performed to measure perceived orders and magnitudes of the depth produced by motion parallax. Three open circles, being arranged vertically and moved in yoking to head movement, were presented to the observers. The top and bottom circles always moved together while the middle one moved in the opposite direction with equal velocity in Experiment 1, and all the three circles moved in the same direction while the middle one moved with different velocities in Experiment 2. The results of both Experiment 1 and Experiment 2 show that the perceived depth order coincides with the order predicted from the geometry of motion parallax and that the magnitude of the perceived depth is underestimated than that predicted from the geometry. In Experiment 3, the interactions between depth cues of motion parallax and of relative size were examined in two conditions: (a) the consistent condition where the two cues specified the same depth orders and (b) the contradictory condition where the two cues specified opposite depth orders. The results show that motion parallax determines the perceived depth order dominantly.

### 1. はじめに

運動視差 (motion parallax) とは、観察者が対象のいずれか、あるいは両者の運動によって生じる対象網膜像の速度差のことである<sup>1)</sup>。運動視差が観察者から対象までの距離 (絶対距離) や対象間の奥行 (相対距離) の情報源とな

ることは、Wheatstone<sup>2)</sup> や Helmholtz<sup>3)</sup> 以来、一般に認められてきた。しかし、その後、1970年代の半ばまでに行われた研究では、運動視差が距離や奥行の正確で有効な手がかりであることは検証できなかった<sup>4)</sup>。その理由は、これらの研究で用いられた刺激には運動視差以外の距離

や奥行の手がかり（例えば、調節、輻輳、相対的な大きさなど）が混在していたこと、運動視差を生じる刺激が少なかったこと（例えば、刺激としてわずかな個数のドットや線分が用いられていた）、運動視差量が大きすぎたこと、観察者の運動が伴わなかったことなどである<sup>1,8,9)</sup>。

Rogers and Graham<sup>9)</sup>は、これらの欠点を取り除くため、観察者の頭部運動に正確に連動するランダムドットをCRT画面上に提示する装置を開発した。この方法は、他の奥行手がかりを含まない‘純粋な’運動視差を提示できるという点で、ステレオブシス (stereopsis) の研究分野における Julesz<sup>10)</sup>のランダムドット・ステレオグラムに匹敵する。Rogers and Graham<sup>9)</sup>は、この方法を用いて行った実験から、観察者が運動した場合の運動視差は3次元表面に関する十分な手がかりであり、奥行の順序と奥行量についての正確な情報源であると結論した (p.132)。

Rogers and Graham<sup>9)</sup>の研究以降、この10数年間に、彼らの方法を踏襲した数多くの研究が行われた結果、Rogers and Grahamの結論は確認され、さらに運動視差処理機構に関する重要な知見が得られている<sup>11)</sup>。とりわけ最近では、運動視差と他の奥行手がかり、例えば動的遮蔽<sup>12)</sup>や両眼網膜像差<sup>13,14)</sup>との手がかり相互作用（あるいは手がかり統合）の研究が行われている。これらの研究は、そのほとんどが運動視差をもつ刺激パターンとしてランダムドットを用いている。しかし、日常の視覚環境を構成する刺激の多くは、単眼形態情報を含んだ刺激パターンである。したがって、日常環境における手がかり統合の問題を調べるためには、形態情報を含んだ刺激をもつ奥行手がかり（例えば、相対的な大きさ、熟知した刺激の大きさ、視野における相対的な高さ、陰影、重なりなど）と運動視差との相互作用を調べる必要がある。

本研究の目的は、観察者の頭部運動と正確に連動する形態刺激を用いた場合でも、運動視差が奥行の順序と奥行量の有効な手がかりとなる

かどうかを検討することである。実験1では、互いに運動方向が異なる形態刺激をもつ運動視差の奥行効果を調べ、実験2では、同じ方向に運動する形態刺激をもつ運動視差の奥行の効果を調べた。そして実験3では、相対的な大きさの手がかりと運動視差との手がかり統合の問題を調べた。

## 2. 実験1

### 2.1 目的

実験1の目的は、前額平行面上を頭部運動と連動して互いに反対方向に運動する対象を単眼で観察したときに知覚される対象の奥行順序と奥行量を調べることである。図1に示されているように、視覚システムが頭部運動に対する網膜像の相対運動（運動視差）を、静止している対象の奥行に変換しているのであれば、前額平行面上を頭部運動と連動して頭部の運動方向と反対方向に動いている対象（●）は、同じ方向に動いている対象（○）よりも近く見え、さらにこれらの運動距離が大きいほど2つの対象の奥行量が大きく知覚されることが予測される。

### 2.2 方法

#### 2.2.1 刺激と装置

刺激として、鉛直方向に配列した直径1cmの

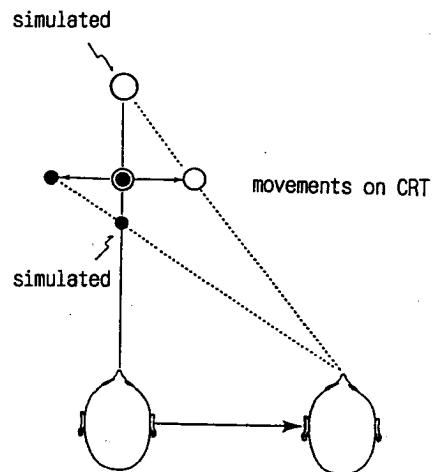


図1 複数の刺激がお互いに反対方向に運動している場合の運動視差

3個の円を用いた(図2参照)。予備的観察の結果、2個の円刺激を用いると、2つの円が知覚的に円柱の両端を形成し、奥行の反転が起こりやすいことがわかったので、これをふせぐために3個の円を用いた。3個の円が垂直方向で一直線上に並んだとき、それぞれの円の中心間距離は2cmであった。円刺激はDAコンバータ(PCN-1208)からの信号をシンクロスコープのX-Y座標として入力することによって提示した。運動視差の大きさは、観察者の任意な頭部運動(0~10cm)によるスライド式ポテンシオメータ(MIDORI LP-250F)からの出力とDAコンバータからの出力によって決定された。頭部静止条件(後述)では、スライド式ポテンシオメータからの出力の代わりにファンクションジェネレータ(NF MODEL FG-122)からの0.5Hzのサイン波信号を用いた。

### 2.2.2 手続き

被験者はスライド式ポテンシオメータと連結した台車にとりつけられたチンレストにあごを乗せて60cmの距離から右眼でシンクロスコープ画面を観察した。眼の高さは画面の中央に一致するように調整された。被験者の課題は、3つの円の奥行の順序(近くに見える順番)とその奥行量を口頭で報告することであった。複数の刺激が同一の前額平行面上に見える場合もそのことを報告した。被験者が判断に要する時間は制限されなかった。また、運動視差量が同じでもディスプレイまでの絶対距離によって知覚される奥行量が異なる<sup>15)</sup>ので、ディスプレイま

での絶対距離情報を被験者に与えるために実験は準暗室で行われた。そのため、被験者には画枠も見えた。

3種類の観察条件が設けられた(図2参照)。頭部運動条件には、(a)刺激A, Cが頭部の運動方向と同じ方向に運動し、刺激Bが反対方向に運動する条件(A C同方向条件)と(b)刺激Bが頭部の運動方向と同じ方向に運動し、刺激A, Cが反対方向に運動するB同方向条件があった。これらの条件では被験者は頭を動かしながら刺激を観察した。頭部静止条件(c)では、被験者は固定されたチンレストの上にあごを乗せて刺激を観察した。固視点はどうけられず、被験者は画面上を自由に観察できた。それぞれの観察条件下で3種類の運動視差量(等価網膜像差量<sup>15)</sup>(equivalent disparity)に換算して、0', 15', 60'が用いられた。

一人の被験者の試行数は、3(観察条件: B同方向条件, A, C同方向条件, 頭部静止条件)×2(運動視差量: 15', 60')×10(繰り返し)の60試行と2(観察条件: 頭部運動条件, 頭部静止条件)×1(運動視差量: 0')×10(繰り返し)の20試行を合わせた80試行であった。運動視差量0'条件では、同方向条件と逆方向条件はまったく同じ刺激状況となる。被験者の半数は頭部運動条件→頭部静止条件の順番で、残りの半数は頭部静止条件→頭部運動条件の順番で試行を行った。各観察条件での刺激の提示順序は乱塊法によってランダム化された。

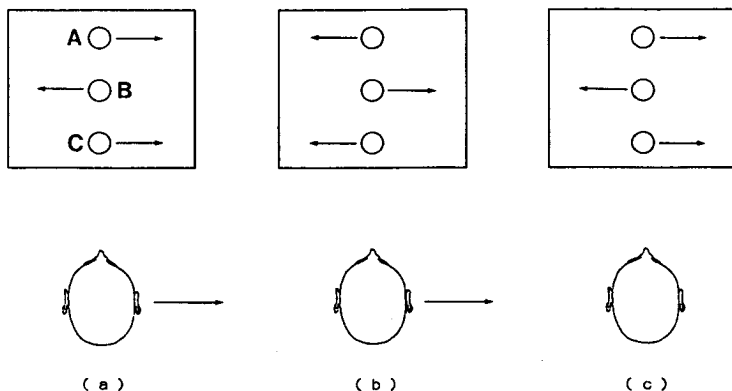


図2 観察条件。(a) A C同方向条件、(b) B同方向条件、(c) 頭部静止条件。頭は左右方向に動かすが、図中には右方向への頭の運動とそれともなう円刺激の運動方向のみを示している。

## 2.2.3 被験者

年齢 19 才～ 46 才までの成人 8 名（男性 5 名，女性 3 名）が実験に参加した。

## 2.3 結果と考察

### 2.3.1 奥行の順序

3 個の円刺激の知覚された奥行関係の順序を表す反応パターンは，複数の刺激が同一の前額平面上に見える場合も含めて全部で 13 通り考えられる。各被験者の各反応パターンの出現頻度を条件別に算出し，反応パターンのいくつかを，①A, C が B より近くに見えた反応 ( $A = C > B, A > C > B, C > A > B$ ) と，②B が A, C より近くに見えた反応 ( $B > A = C, B > A > C, B > C > A$ ) とにまとめた。ここで不等号 (>) は左辺の方が右辺よりも近くに見えたことを示しており，等号 (=) は奥行が知覚されなかったことを示している。

表 1 は①と②の各条件毎の全被験者の平均反応率を示している。運動視差量 0' のときは，1 名を除き頭部運動条件および頭部静止条件のどちらにおいても奥行がほとんど知覚されなかった。運動視差量 (15', 60') によって奥行の順序の知覚に差はなかった。AC 同方向条件での①の平均反応率は 0.14，②の平均反応率は 0.57，B 同方向条件での①の平均反応率は 0.88，②の平均反応率は 0.04 であり，どちらの条件でも頭部の運動方向と反対方向に運動する刺激の方が同じ方向に運動する刺激よりも近くに見える比率が高かった。また，頭部静止条件での①の平均反応率は 0.63，②の平均反応率は 0.13 であり，A と C が B より近くに見える比率が高かった。

表 1 A, C が B より近くに見え (A, C > B) 見えた反応率と B が A, C より近くに見えた (B > A, C) 反応率

反 応	AC同方向		B同方向		静止	
	15'	60'	15'	60'	15'	60'
A, C > B	.15	.13	.88	.88	.63	.63
B > A, C	.53	.61	.04	.05	.11	.14

実験 1 においては，頭部の運動と反対方向に運動した刺激が，同じ方向に運動した刺激よりも近くに見える比率が高かった。さらに運動視差量の大きさによって知覚される奥行の順序には影響がなかった。これらの結果は，奥行の順序は頭部の運動方向に対する対象の網膜像の相対運動（刺激の運動方向）によって決定されることを意味している。

頭静止条件では，頭部運動条件よりも奥行の順序の判断はあいまいになった。この結果はディスプレイも観察者も運動せず，刺激の相対運動だけが提示された場合，奥行効果はあいまいであるというこれまでの結果<sup>6),17)</sup>と一致している。

### 2.3.2 奥行量

奥行の順序とは関係なく，もっとも近くに見えた円ともっとも遠くに見えた円との奥行量を各条件毎に算出した。各被験者について，各下位条件における平均奥行量を分析の単位にして，3（観察条件）× 2（運動視差量）の 2 要因分散分析を行った。その結果，運動視差量の主効果は有意であったが ( $F(1,7)=36.643, p<0.1$ )，観察条件の主効果 ( $F(2,14)=2.316$ ) および観察条件と運動視差量の交互作用は有意ではなかった。運動視差量が 15' のときの知覚された平均奥行量は 1.1 cm であり，60' のときは 2.4 cm であった。図 1 に示した運動視差の幾何学に基づいて計算された等価網膜像差量 15' と 60' の奥行の理論値は，それぞれ，2.6 cm，10.5 cm であり，どちらの条件においても知覚された奥行量には過小評価が起こった（奥行の理論値の計算は， $d = \delta D^2 / (I - \delta D)$ ，ここで  $d$ : 奥行， $D$ : ディスプレイまでの絶対距離， $I$ : 平均眼球間距離， $\delta$ : 等価網膜像差 (rad))。知覚された奥行量は，運動視差が大きくなるにつれて大きくなったが，理論値よりもかなり過小評価されたものであった。この結果は，Rogers and Graham<sup>9)</sup> や 齊田・中溝<sup>18)</sup> の結果と異なっている。彼らの結果では，知覚された奥行量は運動視差の幾何学から計算された理論値とほぼ等しかった。

この違いには3つの理由が考えられる。第1は、ランダムドットを用いた Rogers and Graham<sup>9)</sup>や齊田・中溝<sup>10)</sup>らの実験に比べて、円刺激を用いた本実験では運動視差の情報量(画面全体に対する運動刺激の比率)が少なかったことである。斎田<sup>10)</sup>はランダム・ドットの密度を独立変数として知覚された奥行量を測定し、密度が小さくなれば知覚される奥行量も減少することを見いだしている。第2に、内省報告ではあるが、本実験では刺激の運動が知覚されたことである。Rogers and Graham<sup>9)</sup>では刺激の運動印象はなかった。本実験は、図1に示されているように奥行方向にある静止した対象をシミュレートしている。したがって、刺激の運動が知覚された分だけ、奥行量が少なくなったことが考えられる。Onoら<sup>12)</sup>は、この関係を量的に調べており、知覚された運動量と奥行量との間にはトレードオフの関係があることを見いだしている。第3は、実験は完全暗室ではなく準暗室で行ったことである。そのため被験者にはディスプレイ画面が見え、ディスプレイの平面性の手がかり<sup>20)</sup>が存在していたことが考えられる。

### 3. 実験2

#### 3.1 目的

実験1の結果は、運動視差に基づく奥行順序が、基本的には頭部の運動方向に対する前額平行面上での刺激の運動方向によって決定されることを示している。実験2では、このことが他

の状況でも成立することを確認するため、複数の対象が同じ方向に運動した場合の知覚された奥行の順序と奥行量を調べた。

図3 aに示されているように、前額平行面上を同じ方向に対象が動く場合、その方向が頭部の運動方向と同じならば、ディスプレイ画面より遠い静止対象をシミュレートしており、より大きく動く方の対象ほどより遠くに知覚されることが予測される。一方、図3 bに示されているように頭部の運動方向と逆方向であれば、ディスプレイ画面より近い静止対象をシミュレートしており、より大きく動く方の対象ほどより近くに知覚されることが予測される。さらに対象間の知覚される奥行量は、同方向の方が逆方向よりも大きくなることを予測される。

#### 3.2 方法

##### 3.2.1 刺激と装置

実験1と同じ刺激と装置が用いられた。

##### 3.2.2 手続き

3種類の観察条件が用いられた。頭部運動条件では、(a) 3つの円刺激とも頭部の運動方向と同じ方向に運動する条件(同方向条件)と(b) 逆方向に運動する条件(逆方向条件)があった。頭部静止条件(c)では、被験者は固定されたチンレストの上にあごを乗せて刺激を観察した。それぞれの観察条件下で、2つの相対運動距離条件、すなわち、A、Cの運動距離がBよりも大きい条件( $AC > B$ 条件)と、Bの運動距離がA、Cよりも大きい条件( $B > AC$ 条件)があった(図4参照)。それぞれの条

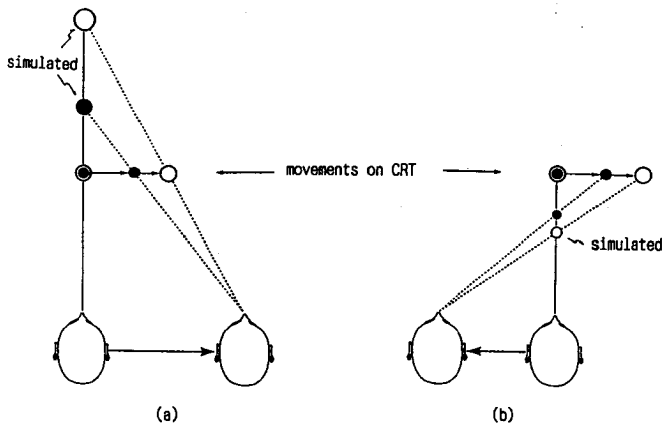


図3 複数の刺激が同方向に運動する場合の運動視差。(a) 刺激が頭と同方向に運動する場合。(b) 刺激が頭と逆方向に運動する場合。

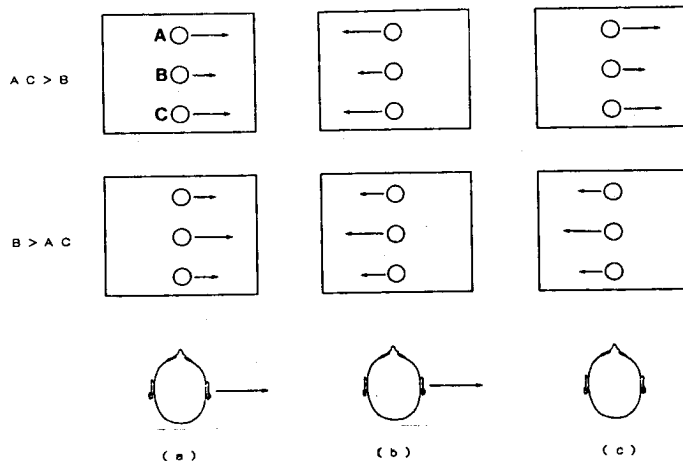


図4 観察条件。(a)同方向条件、(b)逆方向条件、(c)頭部静止条件。上段はA、Cの運動距離がBよりも大きいAC>B条件。下段はBの運動距離がA、Cよりも大きいB>AC条件。

件で、3つの運動視差量（両眼網膜像差量に換算して、0', 15', 60'）が用いられた。一人の被験者の試行数は、3（観察条件）×2（相対運動距離条件）×2（運動視差量；15', 60'）×10（繰り返し）の120試行と3（観察条件）×1（運動視差量；0'）×10（繰り返し）の30試行を合わせた150試行であった。その他の手続きは実験1と同じであった。

### 3.2.3 被験者

年齢19才~22才までの成人10名（男性4名、女性6名）が実験に参加した。

## 3.3 結果と考察

### 3.3.1 興行の順序

実験1と同じように、各被験者の各反応パターンの出現頻度を条件別に算出し、反応パターンを、①AとCがBより近くに見えた反応と②BがAとCより近くに見えた反応とにまとめた結果を表2に示す。

運動視差量が0'の時、A、B、Cの間に興行が知覚されなかった比率の平均は、頭部運動

同方向条件では0.54、頭部運動逆方向条件では0.44、頭部静止条件では0.86であった。頭部運動条件では10名中5名の被験者が、頭部静止条件では1名の被験者が興行を知覚し、その反応パターンは、C>B>AやC>A=Bというものが多かった。

同方向条件では、B>AC条件のときに①の反応率が高く、AC>B条件のときに②の反応率が高かった。一方、逆方向条件ではB>AC条件のときに②の反応率が高く、AC>B条件のときに①の反応率が高かった。しかもその値は運動視差量が60'の方が15'のときよりも高かった。頭部静止条件ではAC>B条件で①の反応率が高く、B>AC条件で②の反応率が高かった。しかしながら、頭部運動条件と異なり、運動視差量によってその比率に差はなかった。

頭と同方向に複数の刺激が運動する実験2では、より大きく運動する方の刺激が遠くに見え、一方、頭と逆方向に運動する場合は、より

表2 A、CがBより近くに見えた(A,C>B)反応率とBがA、Cより近くに見えた(B>A,C)反応率

反 応	同方向		逆方向		静 止	
	AC>B	B>AC	AC>B	B>AC	AC>B	B>AC
	15' 60'	15' 60'	15' 60'	15' 60'	15' 60'	15' 60'
A, C>B	.10 .02	.56 .90	.63 .93	.07 .02	.56 .58	.25 .36
B>A, C	.43 .87	.03 .05	.03 .00	.43 .88	.17 .23	.37 .44

大きく運動する方が近くに見えた。これらの結果は実験1の結果と同様に、運動視差が奥行の順序を決定する手がかりとなることを示している。しかしながら、実験2では、実験1と異なり、運動視差量が奥行の順序に影響を与えた。運動視差量が60'のときはほぼ予測された奥行の順序が知覚されたが、運動視差量が15'のとき、予測された奥行順序の反応率はどの条件でも約0.5であった。実験1と2の結果の差は、頭部の運動と連動して前額平行面上を互いに反対方向に運動する刺激に対する感度と同じ方向に運動する刺激に対する感度の差によるものかもしれない。

### 3.3.2 奥行量

奥行の順序とは関係なく、もっとも近くに見えた円ともっとも遠くに見えた円間の奥行量を各条件毎に算出した。運動視差量が0'の時の全被験者の知覚された奥行量の平均は、頭部運動条件では同方向条件、逆方向条件とも0.6 cm、頭部静止条件で0.02 cmであった。

各被験者について、各下位条件における平均奥行量を分析の単位として、3（観察条件）×2（相対的運動距離条件）×2（運動視差量）の3要因分散分析を行った。その結果、運動視差量の主効果の有意差が認められたが（ $F(1,9)=75.346, p<.01$ ）、観察条件および相対的運動距離条件の主効果（それぞれ、 $F(2,18)=1.39, F(1,9)=0.410$ ）ならびにすべての交

互作用には有意差は認められなかった。図3に示された運動視差の幾何学に基づいて計算された等価網膜像差量15'と60'の奥行量の理論値は、同方向条件で、それぞれ3.3 cm、13.2 cmであり、逆方向条件で、それぞれ2.1 cm、7.6 cmとなる。しかしながら、知覚された奥行量は、両観察条件とも、15'条件で1.0 cm、60'条件で1.7 cmであり、観察条件間に差は認められなかった。その理由は明確ではないが、どちらの観察条件でも、より近くに見えた対象をディスプレイ上に定位する傾向があったのかもしれない。つまり、ディスプレイまでの絶対距離情報によって、運動視差がリキャリブレート（recalibrate）されている可能性が考えられる。知覚された奥行量には、実験1と同様に過小評価が起こった。

## 4. 実験3

### 4.1 目的

実験1と2の結果から、形態刺激を用いた場合でも、観察者の頭部運動を伴う運動視差は奥行の順序と奥行量を決定する十分な手がかりとなることが示された。実験3では相対的大きさの手がかりと運動視差の手がかりが同時に与えられた場合、視覚システムがこれら2種の手がかりをどのように統合するのかを調べた。

### 4.2 方法

#### 4.2.1 刺激と装置

実験1と同じ刺激と装置が用いられた。

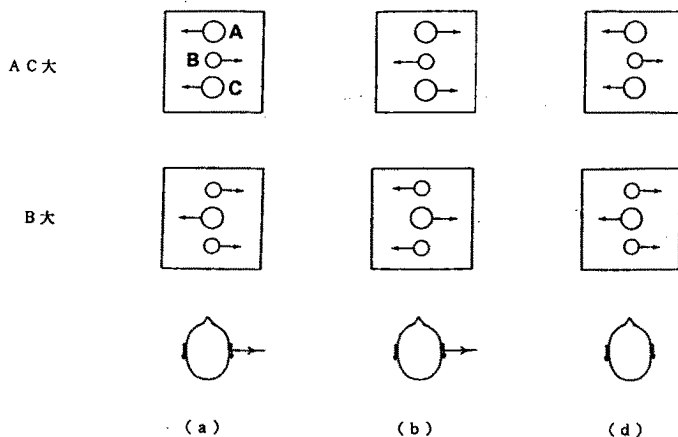


図5 観察条件。(a)一致条件、(b)矛盾条件、(c)大きさ-運動視差条件、(d)大きさ-運動視差条件、(e)頭部運動-運動視差条件は実験1の頭部運動条件と同じ(図2 a, b参照)、(f)頭部静止-運動視差条件は実験1の頭部静止条件と同じ(図2 c参照)。

#### 4.2.2 手続き

2種類の観察条件が用いられた(図5参照)。頭部運動条件には、(a)相対的大きさの手がかりと運動視差の手がかりが一致する条件(一致条件)と(b)矛盾する条件(矛盾条件)および(c)3つの円刺激の大きさが等しい運動視差のみの条件(頭部運動-運動視差条件)があった。頭部静止条件には、(d)相対的大きさの手がかりと運動視差の手がかりの両方が存在する条件(大きさ-運動視差条件)と(e)3つの円刺激の大きさが等しい運動視差のみの条件(頭部静止-運動視差条件)があった。(a),(b),(d)の条件には、それぞれ、Bの円刺激の大きさがA,Cよりも大きい(B大条件)とA,Cの円刺激の大きさがBよりも大きい(AC大条件)があり、さらにそれぞれの円刺激の大きさの比が1:0.8の条件(F条件)と1:1.2の条件(B条件)があった。(c)の条件には、Bの刺激が頭部の運動方向と同じ条件(B同方向条件)とA,Cの刺激が頭部の運動方向と同じ条件(A,C同方向条件)があった。運動視差量はすべて60'であった。したがって、頭部運動条件には10種の下位条件、頭部静止条件には5種の下位条件があった。一人の被験者の試行数は、15条件×10(繰り返し)の150試行であった。その他の手続きは実験1と同じであった。

#### 4.2.3 被験者

年齢19~22才までの成人10名(男性10名)が実験に参加した。

#### 4.3 結果と考察

##### 4.3.1 実行の順序

実験1,2と同じように、各被験者の各反応パターンの出現頻度を条件別に算出し、反応パターンを、①AとCがBより近くに見えた反応と②BがAとCより近くに見えた反応とにまとめた結果を表3に示す。

頭部運動条件の一致条件では、B大条件およびAC大条件とも0.80以上の比率で、運動視差と相対的大きさの手がかりに基づく反応が得られた。矛盾条件のB大条件では約0.80の比率で運動視差の手がかりに基づく反応が得られたが、AC大条件では0.50の比率で運動視差に基づく反応が得られ、0.25の比率で相対的大きさの手がかりに基づく反応が得られた。運動視差条件では両条件とも高い比率で運動視差に基づく反応が得られたが、その比率はAC大条件(0.91)の方がB大条件(0.75)よりも高かった。

頭部静止条件では、実験1,2と同様に頭部運動条件と比較して、実行順序の判断はあいまいとなった。大きさ-運動視差条件では、相対的大きさの手がかりに基づく反応の比率は、それに反する反応の比率よりも高かったが、その比率はAC大条件で0.64、B大条件で0.46であった。また、頭部静止-運動視差条件においては、A,C>B反応の比率(0.40)の方がB>A,C反応の比率(0.25)よりも高かった。

これらの結果は、運動視差と相対的大きさの手がかりが同時に与えられた場合、運動視差の

表3 A,CがBより近くに見えた(A,C>B)反応率とBがA,Cより近くに見えた(B>A,C)反応率

反 応	頭部運動								頭部静止						
	一 致				矛 盾				運動視差		大きさ-運動視差		運動視差		
	B大		AC大		B大		AC大		B	AC	B大	AC大			
	F	B	F	B	F	B	F	B	同方向	同方向	F	B	F	B	
A,C>B	.04	.04	.89	.86	.84	.73	.26	.23	.09	.91	.26	.13	.54	.73	.40
B>A,C	.85	.81	.00	.00	.04	.09	.51	.55	.75	.01	.39	.53	.23	.10	.25



表4 2つの円刺激の相対的奥行関係に関する、相対的高さ(H)、運動視差(M)、相対的大きさ(S)の3つの手がかりの効果の理論的予測(上段)と反応率(下段)

反応	頭部運動						頭部静止		
	一致		矛盾		運動視差		大きさ-運動視差		運動視差
	B大	AC大	B大	AC大	B 同方向	AC 同方向	B大	AC大	
C>B	H-M-S	H+M+S	H+M-S	H-M+S	H-M	H+M	H-S	H+S	H
A>B	-H-M-S	-H+M+S	-H+M-S	-H-M+S	-H-M	-H+M	-H-S	-H+S	-H
C>A	H	H	H	H	H	H	H	H	H
A>C	-H	-H	-H	-H	-H	-H	-H	-H	-H
B>C	-H+M+S	-H-M-S	-H-M+S	-H+M-S	-H+M	-H-M	-H+S	-H-S	-H
B>A	H+M+S	H-M-S	H-M+S	H+M-S	H+M	H-M	H+S	H-S	H
C>B	.12	.97	.93	.34	.15	.96	.43	.77	.66
A>B	.04	.88	.78	.25	.09	.93	.20	.64	.40
C>A	.46	.41	.49	.44	.44	.46	.55	.54	.56
A>C	.00	.11	.13	.03	.00	.15	.04	.08	.05
B>C	.83	.02	.07	.54	.75	.03	.46	.17	.25
B>A	.93	.02	.15	.72	.85	.05	.77	.28	.45

効果の方が相対的大きさの効果よりも大きいことを示している。しかしながら、運動視差と相対的大きさの効果は、条件によって異なるこれらの結果は、これら2つの手がかり以外の手がかりが存在していることを示唆している。

その手がかりとして、本実験状況では、視野内の下方にある対象が上方にある対象より近くに見える傾向、すなわち“相対的な高さ”(relative height)の手がかり<sup>2)</sup>が考えられる。そこで、各条件毎に3つの円刺激のうち、2つの円刺激の相対的奥行関係について、相対的高さ(H)、運動視差(M)、相対的大きさ(S)の3つの手がかりの効果の理論的に予測したものおよび実際に得られた反応の比率を表4に示す。+の符号はそれぞれの反応に対して正の効果があり、-の符号は負の効果があることを示している。また、円刺激の大きさの比条件(F条件とB条件)間に差がなかったため、両条件の平均値を用いている。

表4に示されているように、運動視差がなく相対的大きさの等しいAとCの間で、C>Aの平均反応率(0.48)の方がA>Cの平均反応率

(0.06)よりも高いという結果は、相対的高さの効果を表すと解釈できる。さらに、すべての条件において、運動視差と相対的大きさの効果が理論的に等しいと予測されるC>B反応とA>B反応において、前者の反応率が後者の反応率よりも高く、また同様にB>A反応率の方がB>C反応率よりも高い。これらの反応率の差は相対的高さの効果を表すと解釈できよう。

しかしながら、運動視差と相対的な大きさの効果が理論的に等しく、相対的高さのみの効果が異なる箇所のC>B反応率とB>C反応率の差、およびB>A反応率とA>B反応率の差を見てみると、どこも前者(平均0.25)の方が後者(平均0.01)よりも大きい(たとえば、大きさ-運動視差条件のC>B反応率とAC大条件のB>C反応率の差、およびAC大条件のB>A反応率とB大条件のA>B反応率の差など)。CのBに対する相対的高さの効果の方がBのAに対する効果よりも大きい原因は現時点では分からないが、CがBよりも近くに見えるという相対的高さの効果が、表3に示されている矛盾条件のAC大条件、頭部運動-運動視差

表5 数量化I類の結果

要因アイテム	カテゴリ	例数	カテゴリ数量	範囲	偏相関係数
運動視差	正	12	41.7	72.8	.898
	無	30	-4.2		
	負	12	-31.2		
相対的 大きさ	正	12	16.3	23.6	.590
	無	30	-3.6		
	負	12	-7.3		
相対的 高さ	正	27	11.1	22.1	.675
	負	27	-11.1		

条件のB同方向条件, 大きさ-運動視差条件のB大条件, および頭部静止-運動視差条件でのB>A, C反応率の低さとなって現れたと考えられる。

次に, 運動視差と相対的大きさおよび相対的高さの手がかりの効果の大きさを調べるために, 表4に示された各反応の比率を目的変数, 各手がかりの有無を説明変数として数量化I類による分析を行った(表5)。その結果, 重回帰係数は0.92であり, 3つの手がかりの効果によって, 各反応の比率の85%が説明された。偏相関係数および範囲をみると, 運動視差, 相対的大きさ, 相対的高さの順で各反応の比率を説明しており, その効果の比は, およそ7:2:2であった。

#### 4.3.2 奥行量

奥行の順序とは関係なく, もっとも近くに見えた円ともっとも遠くに見えた円との奥行量を各条件毎に算出した。各被験者について, 各下位条件における平均奥行量を分析の単位として, 15観察条件×被験者の1要因分散分析を行った。その結果, 観察条件間に有意な差は認められなかった( $F(19,133)=1.347$ )。知覚された平均奥行量はどの観察条件においても2.0cm前後であり, 実験1, 2と同様に知覚された奥行量には過小評価が起こった。

### 5. 結論

実験1と2の結果から, 形態刺激を用いた場合でも, 観察者の頭部運動をとまなう運動視差は奥行の順序と奥行量を決定する手がかりとな

ることが示された。すなわち, 奥行の順序は頭部運動の方向に対する対象の網膜像の相対運動によってほぼ決定され, 奥行量は運動視差量によって決定された。運動視差と相対的大きさの手がかりの相互作用を調べた実験3の結果から, 運動視差と相対的大きさの手がかりが矛盾する場合, 運動視差の手がかりの効果の方が相対的大きさの手がかりの効果よりも強く, その効果の比は7:2であることが示された。さらに本実験状況においては, 相対的高さの手がかりも働いていることが示された。

謝辞 本論文の草稿を読んでいただき, 有益なコメントをいただいた北九州大学の近藤倫明氏, 東京商船大学の野野孝一氏, および査読者に深く感謝いたします。

### 文 献

- 1) 中溝幸夫, 斎田真也: 運動視差: 研究史と最近の研究動向. 福岡教育大学紀要, 第39号, 239-264, 1990.
- 2) C. Wheatstone: Contributions to the physiology of vision. Part the first. On some remarkable, and hitherto unobserved, phenomena of binocular vision. *Philosophical Transactions of the Royal Society*, 128, 371-394, 1838. (N. J. Wade: Brewster and Wheatstone on vision. Academic Press, London, 1983.)
- 3) H. von Helmholtz: Handbuch der Physiologische Optik. 1866. J. P. C. Southall (ed & trs from 3rd German edition, 1910): *Helmholtz's treatise on physiological optics*. Vol. 3, Optical Society of America, Rochester, 1925, (Reprinted by Dover, New York, 1962).
- 4) W. Epstein and J. Park: Examination of Gibson's psychophysical hypothesis. *Psychological Bulletin*, 62, 180-196, 1964.
- 5) J. M. Faber and A. B. McConkie: Optical motions as information for unsigned depth. *Journal of Experimental Psychology*, 5, 494-500, 1979.
- 6) E. E. Gibson, J. J. Gibson, W. Smith and H. R. Flock: Motion parallax as a determinant of perceived depth. *Journal of Experimental Psychology*, 58, 40-51, 1959.
- 7) W. C. Gogel: The metric of visual space. W. Epstein (ed): *Stability and constancy in visual perception*. John Wiley, New York, 1977.

- 8) M. L. Braunstein and J. S. Tittle: The observer-relative velocity field as the basis for effective motion parallax. *Journal of Experimental Psychophysics*, 14, 582-590, 1988.
- 9) B. J. Rogers and M. E. Graham: Motion parallax as an independent cue for depth perception. *Perception*, 8, 125-134, 1979.
- 10) B. Julesz: Binocular depth perception of computer-generated patterns. *Bell System Technology Journal*, 39, 1125-1162, 1960.
- 11) 斎田真也: 運動視差が奥行知覚に果たす役割. *光学*, 17, 565-571, 1988.
- 12) H. Ono, B. J. Rogers, M. Ohmi and M. Ono: Dynamic occlusion and motion parallax in depth perception. *Perception*, 17, 256-266, 1988.
- 13) 一川 誠, 斎田真也: 運動視差と両眼像差の奥行き情報の統合過程. *日本心理学会第56回大会発表論文集*, 619, 1992.
- 14) B. J. Rogers and T. S. Collet: The appearance of surfaces specified by motion parallax and binocular disparity. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 41, 697-717, 1989.
- 15) M. Ono, J. Rivest and H. Ono: Depth perception as a function of motion parallax and absolute-distance information. *Journal of Experimental Psychology*, 12, 331-337, 1986.
- 16) M. L. Braunstein: Sensitivity of the observer to transformations of the visual field. *Journal of Experimental Psychology*, 72, 683-689, 1966.
- 17) 中溝幸夫, 斎田真也: 運動視差と見かけの奥行. *日本心理学会第51回大会発表論文集*, 189, 1987.
- 18) 斎田真也, 中溝幸夫: 運動視差と奥行知覚. 第34回応用物理学関係連合講演会講演予稿集, 604, 1987.
- 19) 斎田真也: 私信. 1991.
- 20) M. L. Braunstein: Depth perception through motion. Academic press, 1976.
- 21) I. Rock: An introduction to perception. Macmillan, New York, 1975.