

TR - H - 138

2次運動が示す運動視差および  
動的遮蔽の手がかりからの奥行知覚

一川 誠

1995. 3. 27  
(1994.3.30受付)

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 ☎ 0774-95-1011

**ATR Human Information Processing Research Laboratories**

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

Telephone: +81-774-95-1011

Facsimile: +81-774-95-1008

2次運動が示す運動視差および動的遮蔽の手がかりからの奥行知覚  
Depth Perception from Motion Parallax and Dynamic Occlusion  
due to the Second Order Motion

一川 誠

Makoto Ichikawa

A T R 人間情報通信研究所

ATR Human Information Processing Research Laboratories

( 大阪市大文学研究科 )  
( Osaka City University )

## 要 約

運動視差や動的遮蔽の手がかりに基づく奥行知覚の成立過程と運動知覚成立過程との関係について検討することが目的とされた。2つの実験において、これらの手がかりを1次運動およびいくつかのパタンの2次運動によって提示し、見かけの奥行方向と奥行量とが運動の種類によってどのような影響を被るかを調べた。1次運動とフリッカー2次運動によって運動視差と動的遮蔽を提示した場合、2つの手がかりが同じ奥行方向を示す条件では、視覚系が、これらの手がかりにしたがって見かけの奥行方向と奥行量とを決定していることが見いだされた。それに対し、テクスチャー2次運動がこれらの手がかりを示した場合、運動に基づく刺激領域内の視覚的分節は成立したものの、これらの手がかりによる見かけの奥行量と奥行方向への効果は認められなかった。以上の結果は、運動視差、動的遮蔽からの奥行知覚成立過程は2次運動知覚の成立過程とは異なる運動表現の処理に基づいていることを示唆し、また、奥行知覚と運動知覚との間に乖離が有り得ることを意味する。

## はじめに

観察者頭部が観察対象が移動する場合、観察者により近い表面とより遠い表面とを単眼観察することによって、視覚系は主に2通りの奥行き手がかりから奥行情報を得ることができる。第1に、観察者の頭部や対象の移動に同期して、より近い面の網膜像のほうがより遠い面のそれよりも速く動く。この頭部運動に相対的な網膜上の速度差は「運動視差(motion parallax, motion disparity)」として知られ、人間の視覚系はこの手がかりから奥行の方向と量の情報を得て奥行知覚を成立させることができる(Rogers & Graham, 1979)。第2に、観察者の頭部や対象の移動に同期して、より近い面との境界部で、遠方の面の一部が見え隠れする。これは、「動的遮蔽(dynamic occlusion)」の手がかりと呼ばれ、奥行方向の知覚を決定するのに有効である(Rogers, 1984; Rogers & Graham, 1983)。また、それは、運動視差(Ono, Rogers, Ohmi & Ono, 1988)や両眼視差(Braunsten, Andersen, Rouse & Tittle, 1986)の手がかりと逆の奥行方向を示した場合でも、見かけの奥行方向を決定し得る。

本研究の目的は、運動視差および動的遮蔽を提示する運動の質の違いが奥行の知覚にどのように影響を及ぼすかを調べることであった。そのために、異なるタイプの運動によってこれらの手がかりを提示した。

人間の視覚系にとって運動の知覚を成立させることが可能な運動として、2タイプのものがあることが従来の研究によって知られている。第1のタイプの運動は、1次運動、あるいはフーリエ運動と呼ばれる。これは、輝度の流れの検出によって運動が決定できるものである。他方、輝度の流れとしては運動を特定できなくても、コントラスト変調、時間変調、テクスチャー差異などの高次の特徴の流れによって運動が特定できるような刺激に対しても運動の知覚が生じることが知られている(Cavanagh & Mather, 1989; Chubb & Sperling, 1988)。このタイプの運動は、2次運動、あるいは非フーリエ運動と呼ばれる。運動残効についての以下のような違いから、人間の知覚系による2次運動の処理は、1次運動のそれとは異なる経路において行われていると考えられている(Nishida & Sato, 1993, 1994)。すなわち、1次運動刺激をしばらく観察した後に静止したグレーティング刺激を観察すると、運動刺激と逆方向の運動印象(運動残効)が生じる。他方、2次運動刺激を観察した後、静止したグレーティング刺激を観察しても運動残効は認められず、コントラスト反転するグレーティング刺激を観察したときには運動残効が認められる。

Nishida and Sato (1993)の主張するように、経路の異なる運動処理過程が存在するとすると、異なるタイプの運動が奥行き手がかりを提示した場合、そのそれぞれについて奥行知覚が同様の仕方で成立するか否かが問題となる。運動に基づく奥行き手がかりの処理過程は、2つの異なる経路からの運動情報によって、同様の仕方で奥行知覚を成立させることができるのだろうか?あるいは、いずれかの経路からの運動情報を奥行知覚に利用することは困難なのであろうか?運動視差や、動的遮蔽、あるいは対象の回転によって生じる運動性奥行(KD)手がかりからの奥行知覚過程についてのこれまでの多くの研究では、運動は輝度の流れによって規定されていた。すなわち、これらの手がかりからの奥行知覚成立過程に関する従来の多くの研究は、1次運動によって示されるこれらの手がかりからの奥行知覚を検討したものと言える。つまり、1次運動を処理する過程に奥行情報を提示した場合には、これらの奥行き手は視覚系にとって奥行知覚の情報源として有効であることが多くの研究によって示されてきている。他方、2次運動を用いて奥行情報を提示した研究として、Doshier, Landy and Sperling (1989)とLandy, Doshier, Sperling and Perkins (1991)とがある。これらの研究は、2次運動に基づく運動性奥行(KD)手がかりからの立体形状判断が成立しにくい(Doshier et

al., 1989), 2次運動も, マイナーな効果ではあるが, 奥行知覚に寄与し得ること(Landy et al., 1991)を示した. しかしながら, 運動視差と動的遮蔽の手がかりについては, 運動のタイプと奥行知覚系との関係は, これまでのところまったく調べられていない.

本研究は, 運動視差と動的遮蔽の手がかりを, 1次運動刺激もしくは2次運動刺激によって提示し, 運動のタイプと奥行知覚成立過程との関係を検討することを目的とした. この目的のために, 2つの実験において, それぞれのタイプの運動によって運動視差と動的遮蔽の手がかりを示した場合, これらの手がかりが見かけの奥行方向(凹凸)と奥行量とを決定するのに有効であるか否かを調べた.

### 実験 1

運動視差は, 被験者が頭部を運動させて制止した対象を観察した場合, もしくは頭部を固定した被験者が移動する対象を観察した場合に利用可能になる奥行手がかりである(Rogers & Graham, 1979). 実験1では, 頭部を固定した被験者が水平方向に往復運動する刺激を観察した場面をシミュレートして運動視差が提示された.

### 方法

**装置と刺激** フレームメモリ(FMV-1048 Graphica)とディスプレイ(CMM20-11 Shibasoku)を用いた. 被験者は, 頭部を固定して, 149cm×127cmの大きさの刺激を5つの矩形に分けた刺激を単眼観察した. この刺激は, 198cm×149cmの窓枠とともに, 水平方向に5.3cmの幅で往復運動することによって運動視差と動的遮蔽を提示した. 刺激領域の運

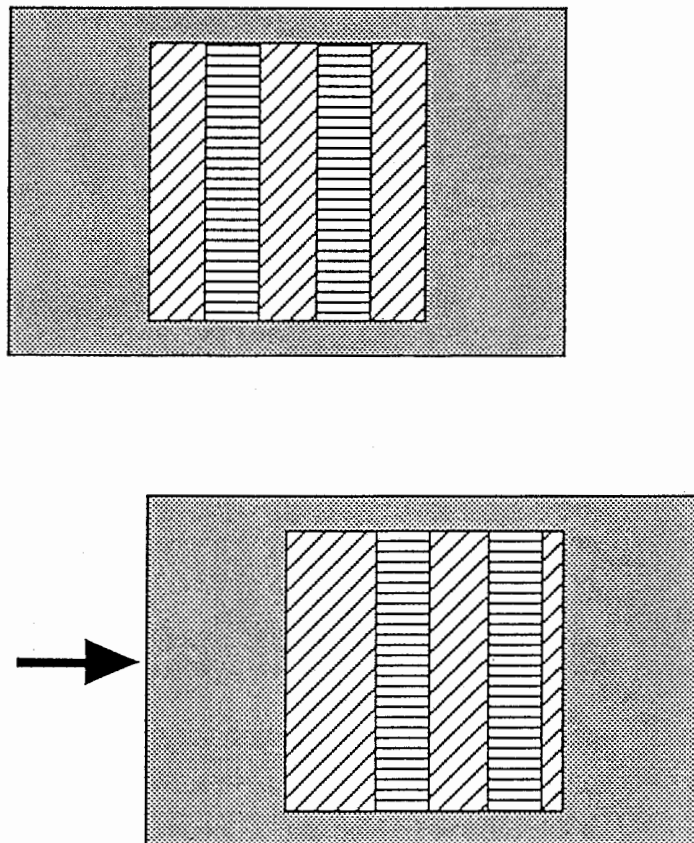


図1. 対象運動による運動視差提示

上図の数フレーム後に下図が提示されたとする. 窓部(グレー部)の動きに合わせて, 偶数部(横線部)を窓部と同方向で, より速く動かすと, 偶数部は窓と奇数部(斜線部)に対して「凸」の運動視差を提示することになる.

動の周期は0.6Hz、観察距離は150cmであった。窓枠とランダムドット刺激の片道運動を示すのに24フレーム、往復運動を示すのに48フレームが用いられた。窓枠は、どの条件でも、フレームごとに2.2mmずつ移動した。運動視差の手がかりは、ランダムドット刺激の偶数番目、奇数番目の部分と窓枠との相対的な位置関係によって示された。運動視差の手がかりによって凸の奥行を示す領域は、フレームごとに窓枠と同じ方向に、窓枠よりも余計に動いた。それ以外の領域は、窓枠と同じ距離だけ移動した（図1）。動的遮蔽によって凸の奥行を示す領域は、どのフレームにおいても提示されるのに対し、凹の奥行を示す領域のうち凸領域と接する部分はフレームごとに徐々に消失もしくは現出した。

運動視差条件として、3通りの条件が用意された。

1) 1次運動条件：この条件では、運動はコントラスト差によって示された（図2，上右）。刺激条件は、運動視差が示す奥行方向（偶数番目の矩形が凸，奇数番目の矩形が凸）×遮蔽が示す方向（偶数番目の矩形が凸，奇数番目の矩形が凸），であった。個々のランダムドットの大きさは3.9mm×3.9mmであった。

2) フリッカー2次運動条件：この条件では、運動は、フリッカー部分の移動，すなわち時間変調(Chubb & Sperling, 1989)によって示された（図2，中左）。刺激条件は、運動視差が示す奥行方向（偶数番目の矩形が凸，奇数番目の矩形が凸）×遮蔽が示す方向（偶数番目の矩形が凸，奇数番目の矩形が凸）×フリッカーの位置（偶数番目の矩形がフリッカー，奇数番目の矩形がフリッカー），であった。個々のランダムドットの大きさは3.9mm×3.9mmであった。

3) テクスチャー2次運動条件（テクスチャーサイズ）：この条件では、運動は2つの領域の間のドットによるテクスチャー差によって示された（図2，中右）。大テクスチャーでは3.9mm×15.4mm，小テクスチャーでは3.9mm×3.9mmであった。

4) テクスチャー2次運動条件（ランダムウインドウ）：この条件では、運動は2つの領域の間のランダムウインドウによるテクスチャー差によって示された（図2，下）。運動視差が示す奥行方向（偶数番目の矩形が凸，奇数番目の矩形が凸）×遮蔽が示す方向（偶数番目の矩形が凸，奇数番目の矩形が凸）×テクスチャーの大きさ（偶数番目の矩形が大テクスチャー，奇数番目の矩形が大テクスチャー）。それぞれの大きさ0.6mm×0.6mmのランダムドット刺激にランダムウインドウが重ねられた。ランダムウインドウの明るさは、ランダムドット刺激の白部と黒部との中間の明るさに設定された。ランダムウインドウの大きさは、大テクスチャーでは15.4mm×15.4mm，小テクスチャーでは3.9mm×3.9mmであった。

運動視差の大きさは、どの条件でも等価視差で37minであった（「等価視差」の概念についてはRogers & Graham, 1982を参照）。動的遮蔽によって消失・現出する領域の幅も、運動視差同様、等価視差で37minであった。動的遮蔽が運動視差と同じ奥行方向を示す条件では、偶数番目の部分と奇数番目の部分との境界部は、運動視差の凸部と同距離、同方向に移動した。動的遮蔽が運動視差と反対の奥行方向を示す条件では、境界部は、運動視差の凸部と同距離、逆方向に移動した。

被験者 5名の被験者（男性4名，女性1名）が参加した。うち1名は著者であった。

手続き 1次運動条件，フリッカー2次運動条件，テクスチャー2次運動条件の刺激は、それぞれが単一の系列で提

空間(垂直)座標  
時間(垂直)座標

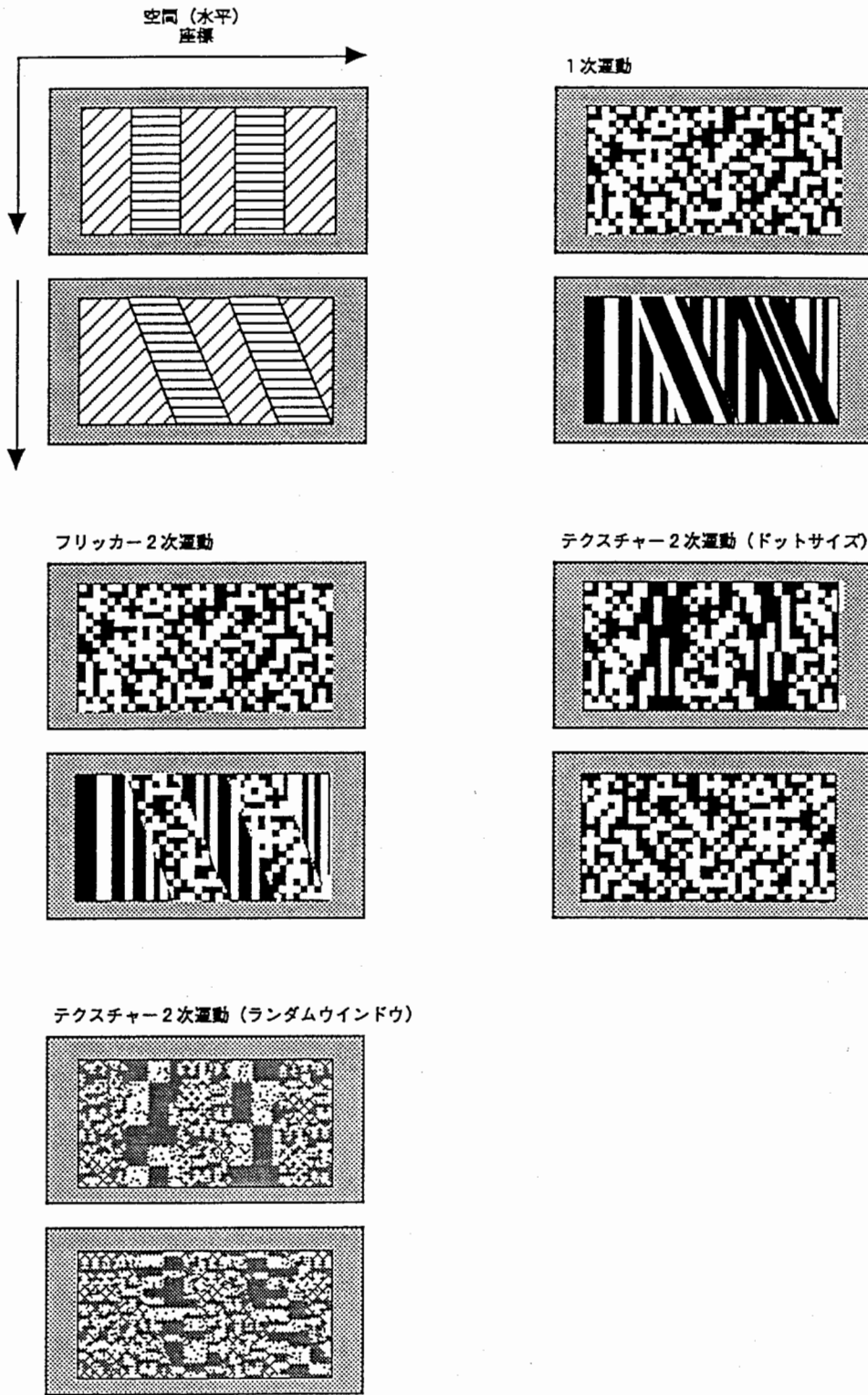


図2. 実験1で用いられた運動条件

偶数部が運動視差と動的遮蔽によって凸の奥行を示す場合の窓部および奇数部(上左の斜線部)と偶数部(横線部)との相対的運動を例示する。窓部が右に動いた場合、凸の奥行をもつ偶数部(上左の横線部)は右方向に、窓部と奇数部(斜線部)より速く動いた。運動は、1次運動条件ではコントラスト変調によって、フリッカー2次運動条件では時間変調によって、2つのテクスチャー2次運動条件ではテクスチャーサイズによって、規定された。

示された。各条件の刺激をランダム順に5回ずつ単眼観察するブロックが2つ用意された。

### 結果と考察

被験者の報告によると、観察中に見かけの奥行方向が反転することがあったが、最終的に運動視差が示した奥行方向が知覚された試行の頻度を以下の分析に用いた。

#### 1次運動条件

見かけの奥行方向がチャンスレベルよりも有意に高い頻度で偏りを生じたかを検討するために、運動視差が示す奥行方向が見えた頻度について、被験者別に2項検定を行った。結果を表1に示す（以下の表中の数字は、運動視差が示す奥行方向が見えた頻度を示す）。運動視差と動的遮蔽の示す奥行方向が一致したときには、どの被験者もチャンスレベルよりも有意に高い頻度で、これらの手がかりの示した奥行方向が知覚された。他方、運動視差と動的遮蔽とが反対の奥行方向を示した場合、運動視差の示す奥行方向が知覚される頻度はチャンスレベルよりも有意に高い被験者はいたが、動的遮蔽の示す奥行方向を知覚した被験者は0名であった。

見かけの奥行方向への、運動視差と動的遮蔽の手がかりの効果を検討するために、偶数番目の矩形が最終的に凸に見えた頻度について分散分析を行った。すなわち、偶数番目の矩形が凸に見えた頻度に関し、その部分について運動視差が示す奥行方向（2）×遮蔽が示す方向（2）の2要因の繰り返しのある分散分析を行った。その結果、有意な主効果は認められなかったが、これら2要因の交互作用( $F(1,4) = 24.500, p < .01$ )のみが有意で、2つの手がかりが一致するか否かで見かけの奥行方向が異なることが示された。

以上の検定結果をまとめると、第1に、1次運動によって提示される運動視差と動的遮蔽の手がかりのそれぞれが示す奥行方向が一致したときに見かけの奥行方向が安定する（表1）。第2に、運動視差、動的遮蔽がともに見かけの奥行方向に影響を及ぼしており、これらの手がかりからの情報が奥行方向において相互に矛盾する場合には、どちらか一方の手がかりのみによっては見かけの奥行方向は決定されない（分散分析）。

表1. 実験1の1次運動条件結果  
視差の示した奥行方向が知覚された頻度

視差による凸部 遮蔽による凸部	偶数部		奇数部	
	偶数部	奇数部	偶数部	奇数部
被験者				
MS	10 *	6	6	9 *
KI	10 *	10 *	3	8
SY	10 *	8	9 *	10 *
TS	8	4	5	10 *
MI	10 *	4	5	10 *

\* 視差が示す奥行方向が知覚された頻度 ( $p < .05$ )

† 視差と逆の奥行方向が知覚された頻度 ( $p < .05$ )



### フリッカー 2 次運動条件

見かけの奥行方向について 2 項検定を行った結果を表 2 に示す。運動視差と動的遮蔽とが同じ奥行方向を示した場合、これらの手がかりが示す奥行方向が知覚されることが多く、また、非フリッカー部分が凸に見えやすい傾向があった。運動視差と動的遮蔽とが反対の奥行方向を示した場合も、非フリッカー部分が凸に見える傾向があった。

最終的に中央部分が凸に見えた頻度に関し、その部分について運動視差が示す奥行方向 (2) × 動的遮蔽が示す奥行方向 (2) × フリッカーの位置 (2) の 3 要因の繰り返しのある分散分析を行った。その結果、フリッカー位置の主効果 ( $F(1,4) = 18.766, p < .05$ ) と、運動視差と動的遮蔽の交互作用 ( $F(1, 4) = 29.836, p < .01$ ) が有意であった。

以上のように、動的遮蔽と運動視差とが同じ奥行方向を示した場合には、これらの奥行手がかりによって奥行方向知覚が決定された (分散分析)。この傾向は、1 次運動条件と同様であった。

なお、運動視差が凸を示す部分をフレームごとにリフレッシュさせたフリッカー 2 次運動刺激は、動的遮蔽からの奥行知覚過程についてのこれまでの研究においてもしばしば用いられてきたものであった (Rogers, 1984, Rogers & Graham, 1983)。これらの研究では、フリッカーは“ダイナミックノイズ”とみなされ、動的遮蔽と運動視差とを分離するものとして用いられてきた。これらの研究では、遮蔽が凸部として示す部分を短時間でリフレッシュする刺激を用いた実験を行い、動的遮蔽のみでは見かけの奥行方向を決定することはできるが、奥行量の知覚のために十分な情報を示さないことを見出したことを報告している。これらの先行研究との比較のために、遮蔽による凸部がフリッカーする条件の結果について、運動視差が示す奥行方向 (2) × 動的遮蔽が示す奥行方向 (2) の分散分析を行ったところ、遮蔽が見かけの奥行量に影響する傾向が認められた ( $F(1,4) = 7.278, p < .10$ )。この結果は、動的遮蔽のみで見かけの奥行方向を決定することを示唆しており、上述の先行研究と一致する。

表 2. 実験 1 のフリッカー 2 次運動条件結果  
視差の示した奥行方向が知覚された頻度

視差による凸部 遮蔽による凸部 フリッカー部分 被験者	偶数部				奇数部			
	偶数部		奇数部		偶数部		奇数部	
	偶数部	奇数部	偶数部	奇数部	偶数部	奇数部	偶数部	奇数部
MS	7	8	2	2	5	1 †	8	10 *
KI	5	10 *	3	9 *	8	0 †	10 *	3
SY	8	9 *	2	4	8	4	10 *	6
TS	7	10 *	0 †	0 †	5	0 †	10 *	5
MI	10 *	10 *	1 †	0 †	5	0 †	5	7

\* 視差が示す奥行方向が知覚された頻度 ( $p < .05$ )

† 視差と逆の奥行方向が知覚された頻度 ( $p < .05$ )

### テクスチャー 2 次運動 (ドットサイズ) 条件

運動視差の示す奥行方向が最終的に見えた頻度について 2 項検定を行った結果を表 3 に示す。表 3 が示すように、被験者によっては、特定の刺激に対して、チャンスレベルよりも高い頻度で運動視差が示す、あるいは、運動視差と

逆の奥行方向が知覚された。しかしながら、被験者間で一貫した傾向は認め難かった。このことは、2次運動知覚による刺激内の分節は成立したが、運動視差や動的遮蔽に基づく奥行知覚の成立は困難であったことを示唆する。

最終的に運動視差が示す奥行方向が見えた頻度に関し、運動視差が示す奥行方向(2)×遮蔽が示す方向(2)×テクスチャーの大きさ(2)の3要因の繰り返しのある分散分析を行った。5%水準では有意な主効果や交互作用は認められなかったが、運動視差が示す奥行方向の主効果の傾向が認められた( $F(1,4)=5.956, p < 10\%$ )。

以上の結果は、動的遮蔽と運動視差とが同じ奥行方向を示した場合、ドットサイズによるテクスチャー2次運動が示す運動視差から、運動視差に基づく奥行方向知覚が生じる可能性を示唆する。他方、動的遮蔽の影響は認められなかったことから、本実験で用いられた条件科では、動的遮蔽が奥行知覚に関与することは困難であったと考えられる。

表3. 実験1のテクスチャー2次運動条件(ドットサイズ)結果  
視差の示した奥行方向が知覚された頻度

視差による凸部 遮蔽による凸部 大テクスチャー部	偶数部				奇数部			
	偶数部		奇数部		偶数部		奇数部	
	偶数部	奇数部	偶数部	奇数部	偶数部	奇数部	偶数部	奇数部
被験者								
MS	8	8	4	4	3	3	4	8
KI	1†	10*	1†	10*	7	1†	10*	1†
SY	7	4	6	8	3	5	2	3
TS	7	7	3	7	7	3	7	1†
MI	10*	10*	0†	1†	1†	4	8	9*

\* 視差が示す奥行方向が知覚された頻度 ( $p < .05$ )

† 視差と逆の奥行方向が知覚された頻度 ( $p < .05$ )

表4. 実験1のテクスチャー2次運動条件(ランダムウインドウ)結果  
視差の示した奥行方向が知覚された頻度

視差による凸部 遮蔽による凸部 大テクスチャー部	偶数部				奇数部			
	偶数部		奇数部		偶数部		奇数部	
	偶数部	奇数部	偶数部	奇数部	偶数部	奇数部	偶数部	奇数部
被験者								
MS	9*	2	3	0†	2	9*	5	9*
KI	0†	9*	1†	10*	8	0†	9*	1†
SY	6	4	5	4	6	9*	7	8
TS	7	8	4	8	8	1†	7	5
MI	10*	5	1†	0†	2	10*	4	10*

\* 視差が示す奥行方向が知覚された頻度 ( $p < .05$ )

† 視差と逆の奥行方向が知覚された頻度 ( $p < .05$ )

## テクスチャー 2 次運動 (ランダムウインドウ) 条件

運動視差の示す奥行方向が最終的に見えた頻度について 2 項検定を行った結果を表 4 に示す。表 4 が示すように、被験者によっては、特定の刺激に対して、チャンスレベルよりも高い頻度で運動視差が示す、あるいは、運動視差と逆の奥行方向が知覚された。しかしながら、被験者間で一貫した傾向は認め難かった。このことは、ドットサイズによるテクスチャー 2 次運動条件同様、2 次運動知覚による刺激内の分節は成立したものの、運動視差や動的遮蔽に基づく奥行知覚の成立の困難を示唆する。

最終的に運動視差が示す奥行方向が見えた頻度に関し、運動視差が示す奥行方向 (2) × 遮蔽が示す方向 (2) × テクスチャーの大きさ (2) の 3 要因の繰り返しのある分散分析を行った。5%水準では有意な主効果や交互作用は認められなかったが、運動視差と動的遮蔽とが同じ奥行方向を示すか否かの交互作用の傾向が認められた ( $F(1,4)=5.059, p < 10\%$ )。この結果は、動的遮蔽と運動視差とが同じ奥行方向を示した場合、テクスチャー 2 次運動に基づく運動視差と動的遮蔽によって奥行知覚が生じ得ることを示唆する。

以上の 4 つの運動条件の結果を比較する。2 項検定と分散分析の結果が示すように、1 次運動条件とフリッカー 2 次運動条件では、2 つの手がかりが同じ奥行方向を示した場合に、見かけの奥行方向がこれらの手がかりによって決定され得る。また、フリッカー 2 次運動では、フリッカー部分が凹に見えることが多く、フリッカー部分は図としてよりは地として見られ易いことがうかがわれる。他方、2 つのテクスチャー 2 次運動条件では、被験者によってチャンスレベルよりも高い頻度で特定の奥行方向を知覚することもあった。このことは、運動に基づく図=地分節の知覚が成立していたことを表す。しかしながら、2 種類のテクスチャー 2 次運動条件では、運動視差や動的遮蔽に基づく奥行知覚が生じたことを示す、被験者間に一貫した傾向は認められなかった。これらの結果は、運動に基づく知覚的分節が成立しても、それは運動視差や動的遮蔽に基づく奥行知覚が成立することを意味しないこと、本研究で用いられた条件下では、テクスチャー 2 次運動からは運動視差や動的遮蔽に基づく奥行方向の知覚の成立が困難であったことを示す。

## 実験 2

運動視差からの奥行知覚についての従来の研究では、対象運動によって生じた運動視差よりも、頭部運動によって生じた運動視差の観察でのほうが、奥行の知覚が成立しやすいことが見い出されてきた。たとえば、被験者が頭部を運動させることによって生じた運動視差では、対象の移動によって生じた運動視差よりも、1) 奥行知覚の閾値が低く (感度が高く, Cornilleau-Pérès & Droulez, 1994), 2) 運動視差の示す奥行方向の知覚される頻度が高く (Rogers & Graham, 1979), 3) 見かけの奥行量が多い (一川 & 齋田, 1992; Ono & Steinbach, 1990; Rogers & Graham, 1979)。こうしたことから、本研究の実験 1 で、1 次運動条件やフリッカー 2 次運動条件に比べてテクスチャー 2 次運動条件において、動的遮蔽や運動視差にしたがった奥行知覚が成立しにくかったのは、対象の運動が運動視差を示すという、運動視差からの奥行知覚の成立にとっては必ずしも好ましくない実験手続きに起因した可能性も考えられる。

そこで、実験 2 では、頭部運動によって生じる運動視差と動的遮蔽が見かけの奥行方向に及ぼす影響について検討した。また、等価視差の大きさと見かけの奥行量との関係についても検討した。

## 方法

**装置と刺激** 顎台はレール上で6.5cmの可動範囲内で水平運動することができた。顎台に設置したポテンシオメーターからの電圧信号をパソコン(PC9801-RA NEC)で読み取り、その信号によって、顎台の位置に適切なフレームを、実験1で用いられたフレームメモリからディスプレイ(HM-4619-D-BA-2 UC Hitachi)に提示した。観察距離は114cmであった。

運動視差条件として、3通りの運動条件それぞれについて、以下の刺激が用意された。1) 1次運動条件。視差と遮蔽が示す奥行方向(偶数番目の矩形が凸, 奇数番目の矩形が凸)×運動量(大, 小)。個々のランダムドットの大きさは1.5×1.7mmであった。2) フリッカー2次運動条件。視差と遮蔽が示す奥行方向(偶数番目の矩形が凸, 奇数番目の矩形が凸)×フリッカーの位置(偶数番目の矩形がフリッカー, 奇数番目の矩形がフリッカー)×運動量(大, 小)。個々のランダムドットの大きさは1.5×1.7mmであった。3) テクスチャー2次条件(ランダムウインドウ)。視差と遮蔽が示す奥行方向(偶数番目の矩形が凸, 奇数番目の矩形が凸)×テクスチャーの大きさ(偶数番目の矩形が大テクスチャー, 奇数番目の矩形が大テクスチャー)×運動量(大, 小)。ランダムウインドウの大きさは、大テクスチャーでは5.9×5.9mm, 小テクスチャーでは1.5×1.7mmであった。個々のランダムドットの大きさは0.2×0.2mmであった。以上のいずれの条件でも、それぞれの条件の刺激は、頭部運動と刺激運動が連動していること以外では、実験1と同様の方法で提示された。また、運動視差と遮蔽の手がかりは一致した奥行方向を示した。

頭部の片道運動に対応したランダムドット刺激の運動を示すのに19フレーム、往復運動に対応したそれを示すのに38フレームが用いられた。運動視差の手がかりは、観察者の頭部運動によって生じる、ランダムドット刺激の偶数番目、奇数番目の部分と窓枠との相対的な位置関係によって示された。運動視差の手がかりによって凸の奥行を示す領域は、フレームごとに頭部と反対方向に余計に動いた。それ以外の領域と窓枠とは、静止していた。凸部分の運動量は、等価視差で18.8min、もしくは37.6minであった。動的遮蔽の大きさも、運動視差と同じであった。偶数番目の部分と奇数番目の部分との境界部は、運動視差の凸部と同距離、同方向に移動した。

**被験者** 実験1に参加した5名のうち、著者を除く4名の被験者(男性3名, 女性1名)が参加した。

**手続き** ランダム順に4回ずつ観察するブロックが2つ用意された。被験者は見かけの奥行方向を口頭で実験者に報告し、見かけの奥行量をポインターを用いて評定した。

## 結果と考察

各条件の刺激観察中に見かけの奥行方向が反転することもあった。最終的に知覚された奥行方向について、繰り返しのある分散分析と2項検定を行った。知覚された奥行量については、被験者別に、各条件の刺激の全試行で知覚された奥行量の平均値を1.0として標準化を行った値(図2)を分散分析に用いた。標準化において1.0として用いられた値を表5に示す。表5からは、どの被験者でも、知覚された奥行量は、1次運動条件で最も大きく、テクスチャー2次運動条件で最も小さかったことがわかる。

### 1次運動条件

2項検定の結果を表6に示す。どの被験者もチャンスレベルよりも有意に高い頻度で、運動視差と動的遮蔽の手がかりの示した奥行方向を知覚した。見かけの奥行方向と奥行量のそれぞれについて、視差と遮蔽が示す奥行方向(2)

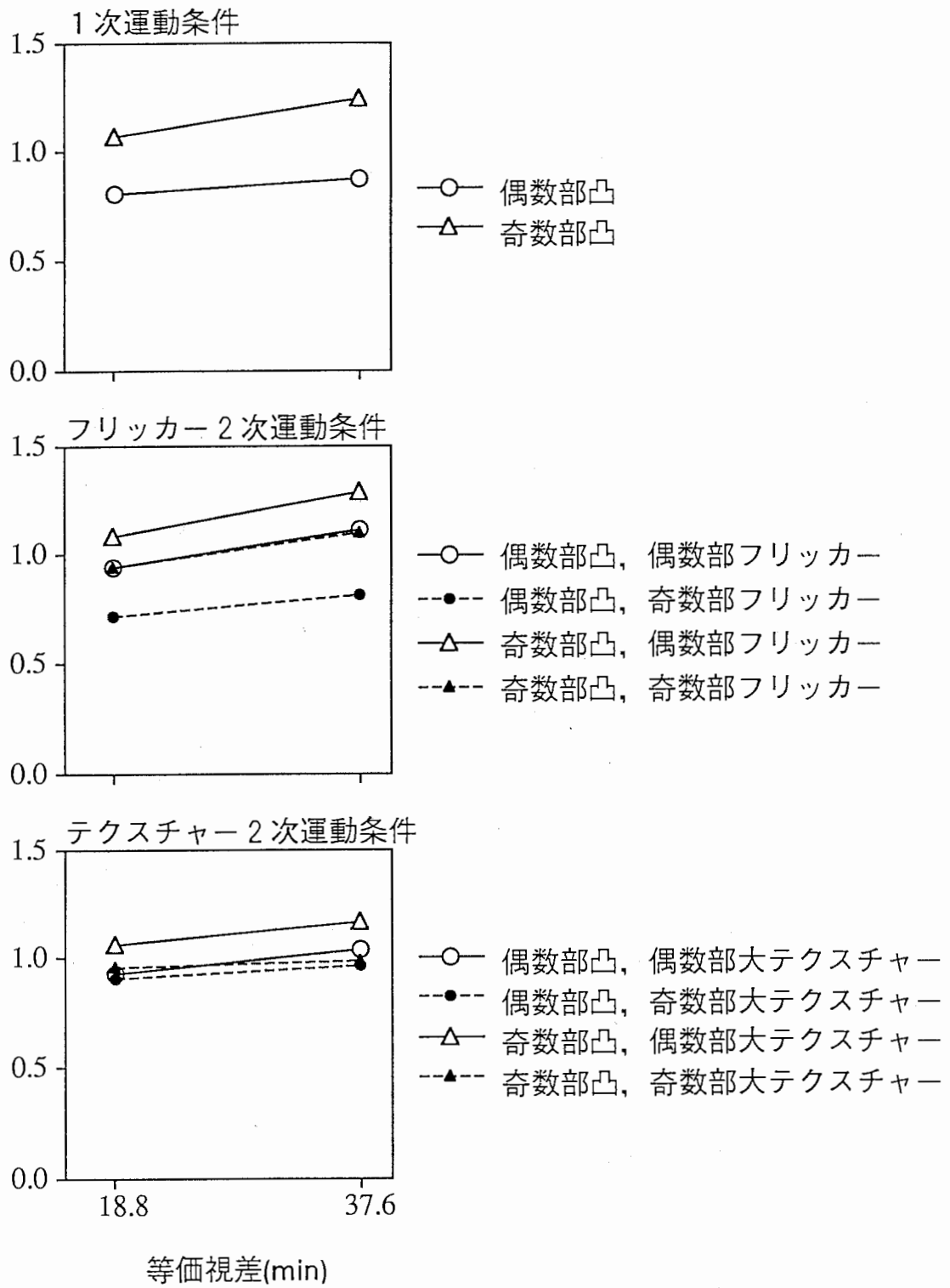


図3. 知覚された奥行き

4名の被験者の平均値を示す。

×等価視差量（2）の2要因の繰り返しのある分散分析を行った。その結果、奥行方向については、運動視差の主効果のみ有意であった ( $F(1, 3) = 1014.818, p < .01$ )。また、見かけの奥行量については、 $F(1, 3) = 12.307, p < .05$ で、等価視差の大きさの主効果が認められた。

表5. 見かけの奥行量の標準化で1.0として用いられた値 (mm)

被験者	MS	KI	SY	TS
1次運動	154.91	12.219	54.469	22.438
フリッカー2次運動	146.38	9.391	53.922	15.844
テクスチャー2次運動	80.125	8.75	45.016	3.859

表6. 実験2の1次運動条件結果  
視差と遮蔽の示した奥行方向が知覚された頻度

視差と遮蔽による凸部 等価視差量(min)	偶数部		奇数部	
	18.8	37.6	18.8	37.6
被験者				
MS	6	8*	8*	8*
KI	8*	8*	8	7*
SY	8*	8*	8*	8*
TS	8*	8*	8*	8*

\* 視差が示す奥行方向が知覚された頻度 ( $p < .05$ )

† 視差と逆の奥行方向が知覚された頻度 ( $p < .05$ )

#### フリッカー2次運動条件

表7の2項検定の結果が示すように、フリッカーの位置や等価視差の大きさに関係なく、どの被験者もチャンスレベルよりも有意に高い頻度で、運動視差と動的遮蔽の示した奥行方向を知覚した。

見かけの奥行方向について、運動視差が示す奥行方向（2）×等価視差の大きさ（2）×フリッカーの位置（2）の3要因の繰り返しのある分散分析を行った。手がかりの示す奥行方向の主効果が有意であった ( $F(1, 3) = 5766.000, p < .01$ )。また、フリッカー位置が見かけの奥行方向に影響する傾向が認められた ( $F(1, 3) = 6.000, p < .10$ )。本研究の実験1で認められたフリッカー部分の主効果が5%水準で有意でなかったことは、運動視差と動的遮蔽の手がかりにしたがった奥行方向が知覚されることが多く、結果として、フリッカー位置の影響が小さくなったためと考えられる。

見かけの奥行量について、運動視差が示す奥行方向（2）×等価視差の大きさ（2）×フリッカーの位置（2）の3要因の繰り返しのある分散分析を行ったところ、等価視差の大きさの主効果のみが有意であった ( $F(1, 3) = 19.161, p < .01$ )。

テクスチャー 2 次運動条件

2 項検定の結果を表 7 に示す。被験者によっては、特定の刺激に対して、チャンスレベルよりも高い頻度で運動視差が示す、あるいは、運動視差と逆の奥行方向が知覚された。しかしながら、被験者間で一貫した傾向は認め難かった。この結果は、実験 1 と同様である。

見かけの奥行方向、見かけの奥行量について、運動視差と動的遮蔽が示す奥行方向 (2) × 等価視差の大きさ (2) × テクスチャーの大きさ (2) の 3 要因の繰り返しのある分散分析を行ったが、有意な主効果、交互作用は認められなかった。

表 7. 実験 2 のフリッカー 2 次運動条件結果  
視差と遮蔽の示した奥行方向が知覚された頻度

視差と遮蔽による凸部 等価視差量(min)	偶数部				奇数部			
	18.8		37.6		18.8		37.6	
	フリッカー部分 偶数部	奇数部	偶数部	奇数部	偶数部	奇数部	偶数部	奇数部
被験者								
MS	8 *	7 *	8 *	8 *	8 *	8 *	8 *	8 *
KI	8 *	8 *	8 *	8 *	7 *	8 *	7 *	8 *
SY	8 *	8 *	8 *	8 *	8 *	8 *	8 *	8 *
TS	8 *	8 *	8 *	8 *	7 *	8 *	8 *	8 *

\* 視差が示す奥行方向が知覚された頻度 (p<.05)

† 視差と逆の奥行方向が知覚された頻度 (p<.05)

表 8. 実験 2 のテクスチャー 2 次運動条件結果  
視差と遮蔽の示した奥行方向が知覚された頻度

視差と遮蔽による凸部 等価視差量(min)	偶数部				奇数部			
	18.8		37.6		18.8		37.6	
	大テクスチャー部 偶数部	奇数部	偶数部	奇数部	偶数部	奇数部	偶数部	奇数部
被験者								
MS	0 †	8 *	5	7 *	8 *	4	8	3
KI	6	4	6	4	5	3	6	4
SY	5	8 *	6	6	5	1 †	4	1 †
TS	7 *	3	7 *	3	1 †	6	2	6

\* 視差が示す奥行方向が知覚された頻度 (p<.05)

† 視差と逆の奥行方向が知覚された頻度 (p<.05)

以上の結果から、頭部運動によって運動視差と動的遮蔽が生じるか否かによらず、テクスチャー 2 次運動による運動視差と動的遮蔽からの奥行知覚は成立しにくいことが示された。それに対し、1 次運動とフリッカー 2 次運動によって示された運動視差と動的遮蔽は、見かけの奥行方向と奥行量に影響を及ぼした。

## 全体的考察

1次運動やフリッカー2次運動によって運動視差と動的遮蔽を示した場合、運動視差が示す奥行方向が知覚され、また、これらの手がかりにおける運動（等価視差）の大きさに応じて見かけの奥行量が大きくなることが示された。以上の結果は、これらの条件の示す運動では、運動視差および動的遮蔽による奥行知覚が成立しうることを示している。

それに対し、2つの実験の結果が示すように、運動の知覚およびそれに基づく刺激内の分節（図地の分化）が成立していたにもかかわらず、2種類のテクスチャー2次運動による運動視差と動的遮蔽からは、一貫した奥行知覚は成立し難かった。これらの結果は、2次運動を用いて提示された運動性奥行（KD）の手がかりからの奥行知覚が成立しにくかったという先行研究（Doshier et al., 1989; Landy et al., 1991）の結果とも一致する。これらのことは、運動の知覚やそれに基づく刺激内の知覚的分節が成立していても、運動視差と動的遮蔽からの奥行知覚が成立するわけではないこと、すなわち、2次運動知覚の成立過程は、運動視差、動的遮蔽からの奥行知覚成立過程とは異なる運動表現の処理に基づいていることを意味すると考えられる。1次運動知覚と2次運動知覚がそれぞれ異なる経路における処理に基づくとすれば（Nishida & Sato, 1993）、運動視差、動的遮蔽からの奥行知覚は、主に、1次運動の処理経路の出力表現に基づいていることが仮定される。

本研究結果は、テクスチャー2次運動による運動視差や動的遮蔽に基づいた奥行知覚が成立不可能であることを意味するものではない。本研究の2つの実験の結果から言えることは、テクスチャー2次運動の知覚およびそれに基づく図地分化が成立していたとしても、運動視差や動的遮蔽に従った奥行知覚が成立しないということ、奥行知覚と運動知覚との間に乖離が有り得るということである。この乖離がテクスチャー2次運動に特有のものであるのか、1次運動や他の2次運動にも共通のものであるかということは興味深い問題であるが、本研究の2つの実験結果はこの問題について論じるのに十分ではないので、この問題の検討は今後の研究に委ねることとする。

Rogers (1983)やRogers and Graham (1984)は、動的遮蔽のみによっては奥行量の知覚が決定されないと報告した。しかしながら、本研究の実験2のフリッカー2次運動条件の結果は、ある特定の実験条件下では、動的遮蔽の手がかりによって見かけの奥行量が決定されることを示している。Rogers (1983)やRogers and Graham (1984)の報告では、具体的な実験条件を示していないので、どのような刺激提示方法の違いが本研究と彼等の実験結果の違いを結果したかは不明である。最も有力な可能性は、等価視差の大きさである。Ono et al. (1988)は、運動視差と動的遮蔽が相互に反対の奥行方向を示す場合、これらの手がかりにおける運動の大きさが等価視差にしておよそ25 min以上の大きさであれば動的遮蔽が、それ以下の大きさであれば運動視差が、見かけの奥行方向を決定すると報告している。Ono et al. (1988)は、見かけの奥行量と動的遮蔽の手がかりの関係については特に述べていない。しかしながら、より大きな運動であれば、動的遮蔽が見かけの奥行量に寄与するということは有り得ることであろう。Rogersらの研究では運動の大きさが小さかったのに対し、本研究の2つの実験で用いられた37min（実験1）や18.8min, 37.6min（実験2）という大きさの運動は、動的遮蔽が見かけの奥行量に寄与するのに十分な大きさであったと考えられる。

「2次運動」として同様にカテゴライズされていても、その運動の提示の仕方の違いによって、奥行知覚への関与が異なることが認められた。すなわち、フリッカー2次運動では、運動視差、遮蔽ともに有効な手がかりであったの



に対し、テクスチャー2次運動条件では、運動視差や動的遮蔽の有効性を認めることは困難であった。これらの結果は、さまざまな「2次運動」刺激、およびそれらに基づく運動の知覚について、形状や奥行の知覚との関係において区別、整理することが可能であることを意味する。

#### 謝 辞

人間情報通信研究所東倉洋一社長、第5研究室矢野澄男室長には、本研究の実施に当たって便宜をはかっていただいた。向田茂氏には、刺激提示にあたっての補助をいただいた。また、York UniversityのOno教授、NTT基礎研究所の佐藤隆夫氏と西田真也氏には、実験結果の解釈において有益なご助言をいただいた。ここに深謝の意を表すものである。実験実施中、筆者は日本学術振興会の援助を受けた。

#### 引用文献

- Braunstein, M. L., Andersen, G. J., Rouse, M. W., & Tittle, J. S. (1986). Recovering viewer-centered depth from disparity, occlusion, and velocity gradients. *Perception & Psychophysics*, **40**, 216-224.
- Cavanagh, P., & Mather, G. (1989). Motion: The long and short of it. *Spatial Vision*, **4**, 103-129.
- 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.
- Cornilleau-Pérès, V., & Droulez, J. (1994). The visual perception of three-dimensional shape from shelf-motion and object-motion. *Vision Research*, **34**, 2331-2336.
- Dosher, 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.
- 一川誠, & 斎田真也. (1992). 運動視差からの奥行知覚に頭部運動様式が及ぼす効果. 日本視覚学会1992年夏期研究会予稿集.
- Landy, M. S., Dosher, B. A., Sperling, G., & Perkins, M. (1991). The kinetic depth effect and optic flow-II. First- and second-order motion. *Vision Research*, **31**, 859-876.
- Nishida, S., & Sato, T. (1993). Two kinds of motion aftereffect reveal different types of motion processing. *Investigative Ophthalmology of Visual Science*, **34**, 1363.
- Nishida, S. & Sato, T. (1994). Motion aftereffect with flickering test patterns reveals higher stages of motion processing. *Vision Research*, **35**, 477-490.
- Ono, H., Rogers, B. J., Ohmi, M., & Ono, M. E. (1988). Dynamic occlusion and motion parallax in depth perception. *Perception*, **17**, 255-266.
- Ono, H., & Steinbach, M. J. (1990). Monocular stereopsis with and without head movement. *Perception & Psychophysics*, **48**, 179-187.
- Rogers, B. J. (1984). Dynamic occlusion, motion parallax and the perception of 3-D surfaces. *Perception*, **13**, A46.

- Rogers, B. J., & Graham, M. E. (1979). Motion parallax as an independent cue for depth perception. *Perception*, **8**, 125-134.
- Rogers, B. J., & Graham, M. E. (1983). Dynamic Occlusion in the perception of depth structure. *Perception*, **12**, A15.
- Rogers, B. J., & Graham, M. E. (1982). Similarities between motion parallax and stereopsis in human depth perception. *Vision Research*, **22**, 261-270.