

TR - A - 0151

27

両眼視差が連続的に変化する刺激の奥行き知覚

近江 政雄

1992. 8. 28

ATR 視聴覚機構研究所

〒619-02 京都府相楽郡精華町光台 2-2 ☎07749-5-1411

ATR Auditory and Visual Perception Research Laboratories

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

Telephone: +81-7749-5-1411

Facsimile: +81-7749-5-1408

両眼視差が連続的に変化する刺激の奥行き知覚

A T R 視聴覚機構研究所
ヨーク大学心理学科

近江政雄

1. はじめに

垂直軸あるいは水平軸のまわりに傾いた平面の水平両眼視差は連続的に変化する。図1に示すように、垂直軸のまわりの傾きに対しては一方の眼の網膜像が水平方向に拡大され、他方の眼の網膜像が縮小される。水平軸のまわりの傾きに対してはそれぞれの眼で反対方向に網膜像のずれが起こる。いずれの場合でも、視野の中心においては水平両眼視差が零であり、周辺に向かうにつれて水平両眼視差の絶対値が連続的に増加する。したがって図1のような水平視差を持たしたランダムドットパターンを呈示すると垂直軸あるいは水平軸のまわりに傾いた平面が知覚されるが、視野の中に奥行き方向のエッジがない場合には面の傾きの知覚が減少ないしは消滅するといわれている¹⁾。これは両眼視差による奥行き知覚の感度が低空間周波数で低下すること^{2)、3)}や奥行きに関してクレイク・オブライエン効果⁴⁾があらわれること⁴⁾からも支持される。しかしながらこれまでの両眼視の研究で用いられてきた視野が比較的小さかったために、奥行き知覚をもたらすために水平両眼視差の不連続な変化が必要であるという主張は必ずしも実験的に証明されているとはいえない。そこで本報告では、大きな視野内において水平両眼視差が連続的に変化する刺激を呈示し、その奥行き知覚を検討した。

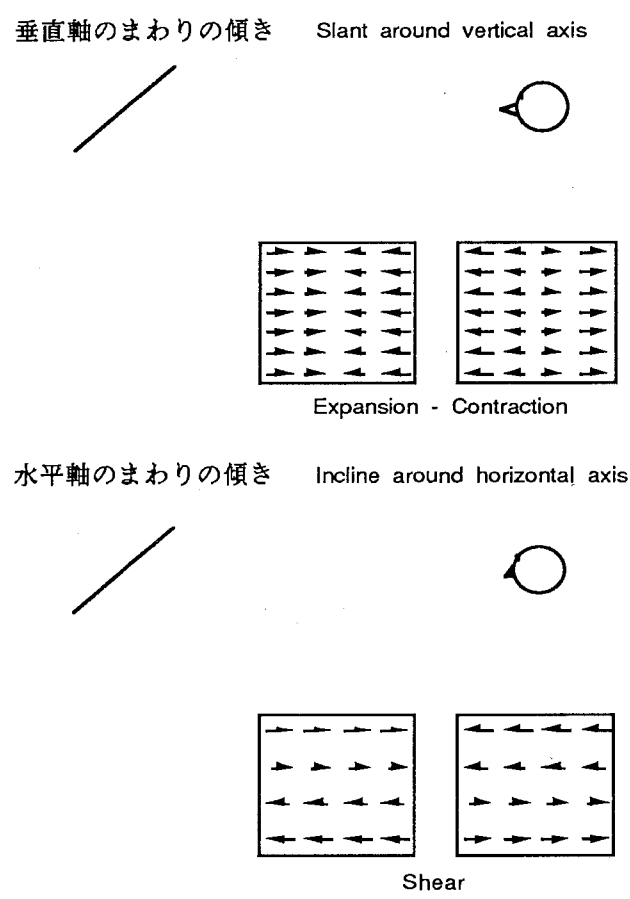


図1 垂直軸および水平軸のまわりに傾いた平面の水平両眼視差

2. 実験1

本実験の目的は、奥行き知覚をもたらすためには水平両眼視差の不連続な変化が必要であるという主張を実験的に検討することである。水平両眼視差が連続的に変化する大視野刺激を呈示し、その見かけの傾きを触覚ポインティング法と視覚マッチング法の二つの方法で測定した。

2. 1. 実験装置および方法

ハイビジョンプロジェクションシステムによるディスプレイ装置を使用した。左右各眼のイメージをそれぞれハイビジョンプロジェクター（ソニー HDIH-1200J）を用いてスクリーンに裏面から投影した。それぞれのプロジェクターの前に偏光フィルターを置き、被験者に偏光眼鏡を装用させることによって左右のイメージを分離した。パーソナルコンピュータ（アップル Machintosh IIfx）のよってつくられた左右のイメージを、スキャンコンバータ（クロマテイク 9135）を介してプロジェクターに入力した。

刺激までの視距離は100cmであった。刺激の大きさは幅76度、高さ57度であり、視野は十分に大きくエッジは知覚されなかった。刺激は黒い背景上に直径0.6度の白色円形が2000個ランダムに配置されたランダムドットパターンであった。本実験では垂直軸のまわりに傾いた平面を採用し、左側が手前に28.6度傾いた平面をあらわす右眼が拡大・左眼が縮小の水平両眼視差を与えた。左右の刺激の大きさの比は1.036であり、パターンの端での水平両眼視差の大きさは3.2度、水平両眼視差の勾配は5度あたり25分であった。実験室内はスクリーン上の刺激以外のものが見えないように暗室とした。

刺激の見かけの傾きを測定するために従来から用いられている触覚ポインティング法と視覚マッチング法の二つの方法を採用した。触覚ポインティング法は、手で水平な棒を垂直な軸のまわりに回転させて、刺激の見かけの傾きに一致させる方法である。水平な棒は長さ33cm、幅4cmでその中心のまわりに回転するようになっており、被験者は両手を使って水平な棒を回転させた。被験者には水平な棒が見えないようになっていたので、触覚情報のみを使って傾きのマッチングを行なわれた。この方法は、最終的に大視野刺激がどのように傾いて知覚されているかを測定できる方法であるが、異なった感覚系を使うために結果の信頼性が問題である。そこで触覚ポインティング法の精度を調べるための予備実験として、明室内で幅21cm、奥行き8cm、高さ40cmの紙箱を視距離30cmのところ垂直軸のまわりに回転し、被験者にその見かけの傾きを触覚ポインティング法でマッチングさせた。その結果を図2に示すが、本実験で必要となる傾き30度までの範囲においては、触覚ポインティング法による見かけの傾きのマッチングが信頼性よくできることが確認された。しかしながら、被験者が傾きを30%程度過小評価することが判明したので、この予備実験の結果を用いて本実験の測定結果を校正した。

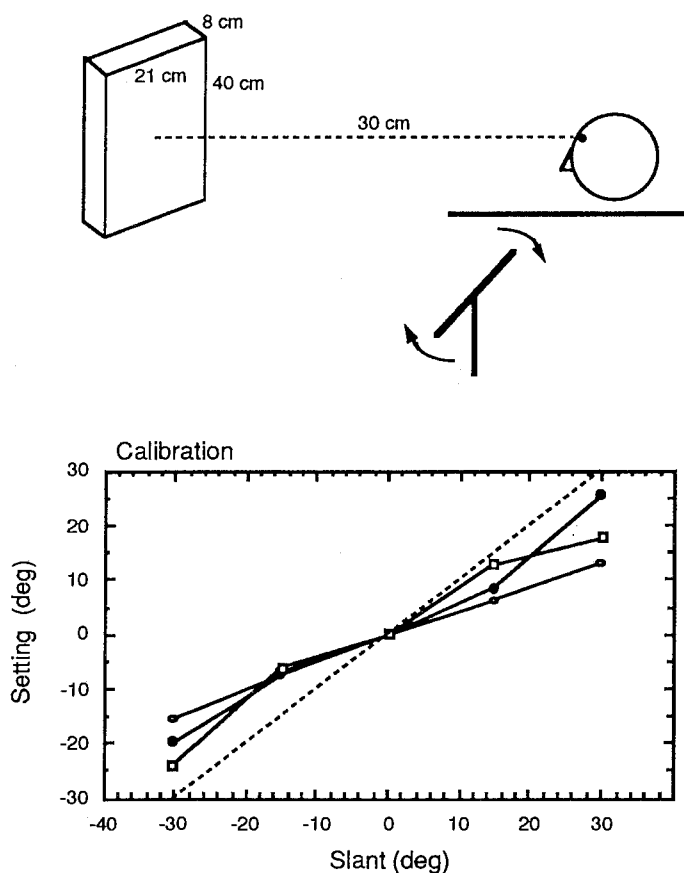


図2 触覚ポインティング法の信頼性を確認するための予備実験の結果

視覚マッチング法は、大視野刺激にマッチング刺激を重ねて呈示し、刺激の見かけの傾きにマッチング刺激の見かけの傾きを一致させる方法である。視覚情報のみを用いてマッチングを行なうので信頼性のある結果が得られるが、大視野刺激の最終的な見かけの傾きを使わないでマッチングが行なわれる可能性があるのが問題である。実験では大視野刺激の中央部幅7.6度、高さ7度の領域を除去して、そこに長さ6度、幅0.6度の白色水平線をマッチング刺激として呈示し視覚マッチング法による刺激の見かけの傾きの測定を行なった。

被験者は二十代の男性一名、女性三名であった。うち三名は心理物理学の実験の経験をもち、一名は心理物理学の実験の未経験者であったが、四名とも本実験の目的については知らされていないかった。

2. 2. 結果

四名の被験者のうち一名は他の三名と異なって、視覚マッチング法による測定結果のばらつきが非常に大きく又、大視野刺激の傾きの知覚についての口頭による報告にも一貫性が見られなかったので本実験の結果に含めないこととした。触覚ポインティング法による刺激の見かけの傾きの測定結果を図3に示す。三名の被験者とも、水平両眼視差を持つ大視野刺激に対しては視差によって示される方向への刺激平面の傾きが知覚されているが、その傾き知覚量は水平両眼視差から予測される28.6度に比べて顕著に小さい。本実験の条件においては見かけの傾きは三分の一程度に減少しており、垂直軸のまわりに回転した大視野の平面刺激は被験者と

平行に近いものとして知覚されていると言える。この結果は、奥行き知覚をもたらすためには水平両眼視差の不連続な変化が必要であるという主張を実験的に裏付けるものである。

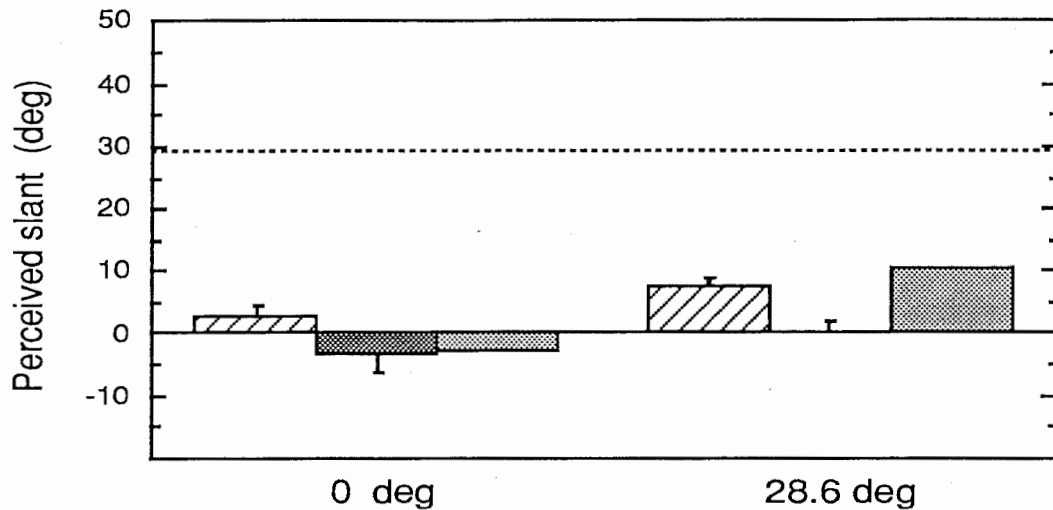


図3 触覚ポインティング法による大視野刺激の見かけの傾きの測定結果

図4に視覚マッチング法による刺激の見かけの傾きの測定結果を示す。水平両眼視差を持つ大視野刺激に対して、視差に対応する28.6度の傾きにマッチングされている。これは触覚ポインティング法によるものと一致せず、刺激の見かけの傾きが測定されているとは考えにくい。すなわち視覚マッチング法においては大視野刺激の見かけの傾きが測定されるのではなく、大視野刺激の水平両眼視差とプローブ刺激の水平両眼視差のマッチングが起きていることを意味する。この結果は一つには、視覚マッチング法を用いて刺激の見かけの傾きを測定するという実験手法に問題があることを示す。さらに大視野の刺激において見かけの傾きが減少した時にも、水平両眼視差に関する情報は処理されていることを示している。これはわれわれの奥行き知覚が、まず局所的な水平両眼視差情報を処理するメカニズムがあり、ついでそれらの情報を統合して視野全体の奥行きに関する情報を処理するメカニズムがあるという二段階のメカニズムによっていることを示唆する。

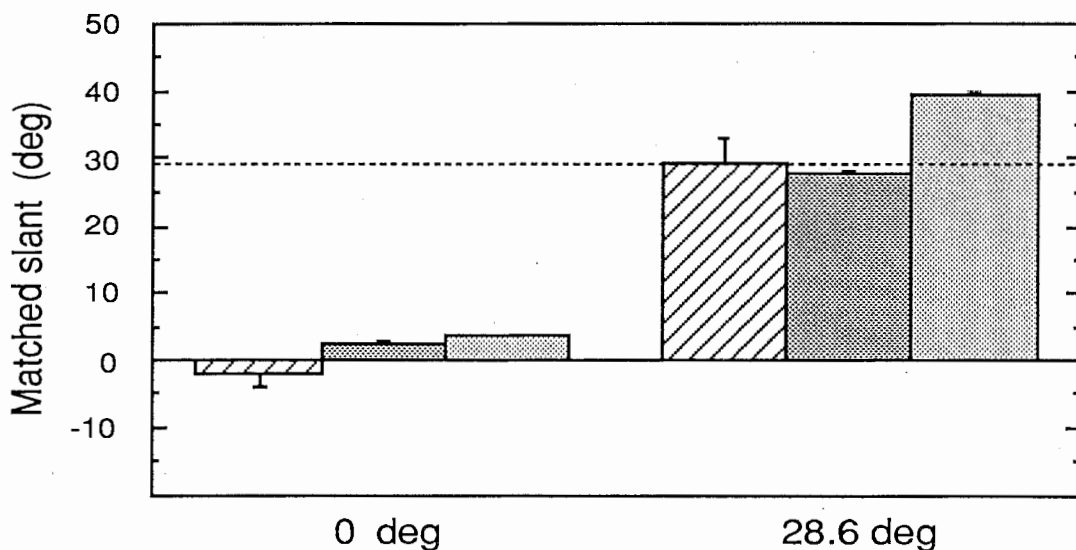


図4 視覚マッチング法による大視野刺激の見かけの傾きの測定結果

2. 3. 考察

本実験の結果は、奥行き知覚をもたらすために水平両眼視差の不連続な変化が必要であるという主張に実験的支持を与える。これまでの報告では刺激が十分に大きくなかったために視野の境界の影響を無視できなかったが、視野の境界が見えないような刺激を用いた本実験によって、水平両眼視差の不連続な変化がない場合に奥行きの知覚が著しく減少することが示された。したがって奥行き知覚のメカニズムは水平両眼視差の不連続な変化のみを検知し、それらの間の奥行きは不連続部分の奥行きを内挿することによって求めているというふうに考えることができる。これは奥行き知覚のメカニズムが、局所的なメカニズムと統合的なメカニズムの二段階から成り立っているという事を意味する。すなわち、局所的なメカニズムによって見いだされた水平両眼視差の不連続性を用いて、視差が連続的に変化する部分の両眼視差情報が統合される訳である。統合の過程において局所的には検知されていた両眼視差情報が失われることは、視覚マッチング法による結果と触覚ポインティング法による結果との違いからも示唆される。

3. 実験2

本実験の目的は、水平両眼視差が連続的に変化する大視野刺激の奥行きの知覚に及ぼす垂直両眼視差の影響について検討することである。本報告で対象としている垂直軸のまわりに回転した平面の傾きは、水平両眼視差のみならず、垂直両眼視差によっても知覚されることが知られている⁵⁾。知覚される傾きの方向は水平視差と垂直視差とは逆であり、水平視差については右眼が拡大・左眼が縮小の時に左側が手前に見え、垂直視差については右眼が拡大・左眼が縮小の時に右側が手前に見える。そのメカニズムについてはいくつかの説が提案されているが、そのなかで大視野の刺激の傾き知覚にうまく適用できるものの一つが変形説である^{6)、7)}。この説は、四通りの基本的変換の組み合わせによって視野全体の運動の知覚と奥行きの知覚が説明されるというモデルに基づいている^{8)、9)}。水平・垂直方向の拡大・縮小は、全方向変形と全方向拡大という二つの基本的変換の組み合わせによって表現できる。変形説は、垂直軸のまわりに回転した平面の傾きの知覚が全方向の変形によってもたらされると考えるものであり、図5に示されるように水平両眼視差と垂直両眼視差が逆方向の傾き知覚を与えるという実験結果を説明できる。本実験は水平視差と垂直視差を共に与えた刺激を呈示し、その混合比を変えて見かけの傾きを測定して変形説の可否を検討した。

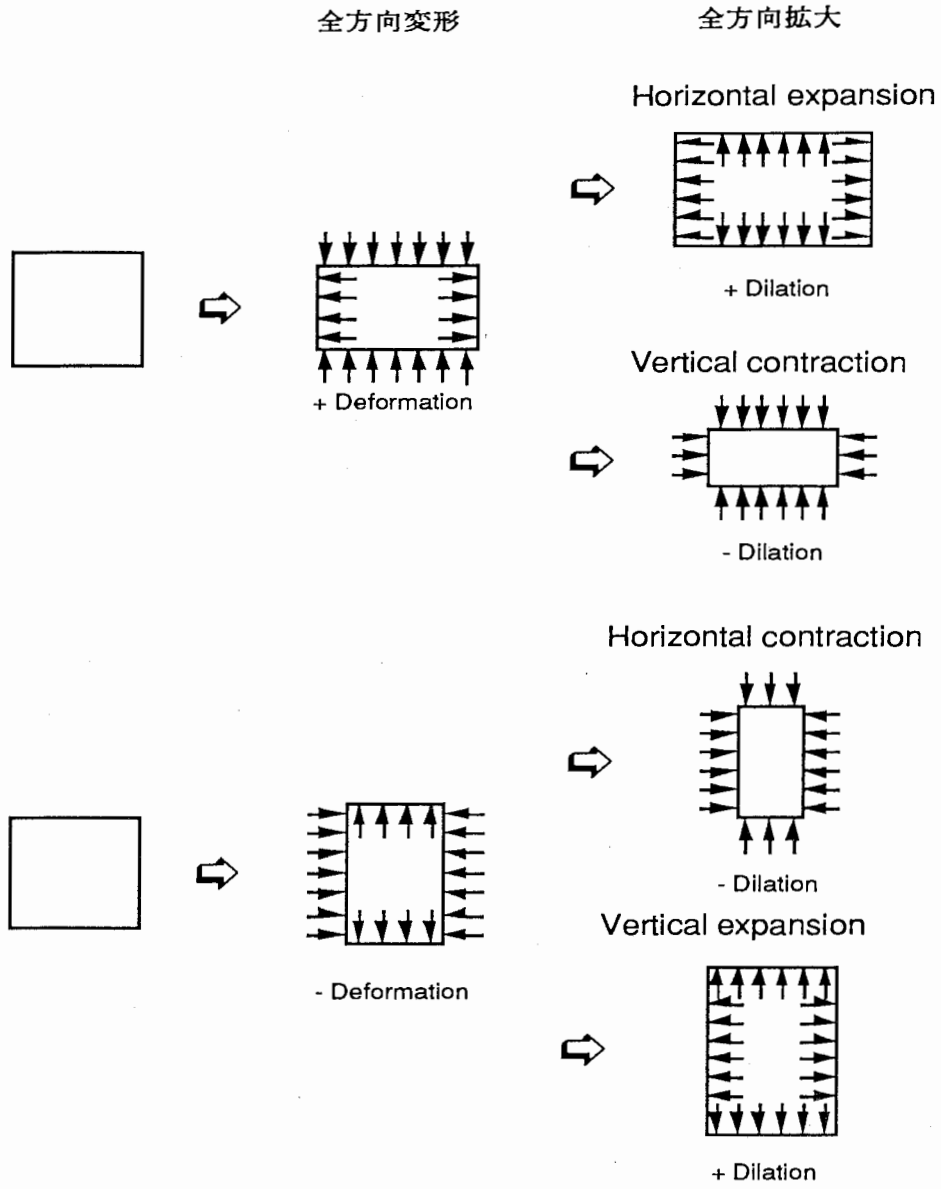
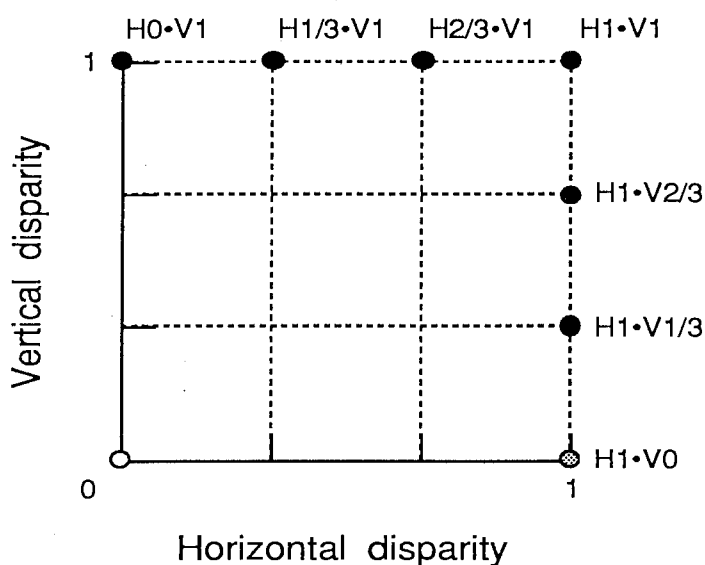


図5 全方向変形・全方向拡大と水平・垂直視差の関係

3. 1. 実験装置および方法

実験装置は実験1で用いたものと同じである。刺激も実験1のものと同様であるが、水平両眼視差の勾配が5度あたり25分であるものをH1、垂直両眼視差の勾配が5度あたり25分であるものをV1とし、 $H0 \cdot V1$ 、 $H1/3 \cdot V1$ 、 $H2/3 \cdot V1$ 、 $H1 \cdot V1$ 、 $H1 \cdot V2/3$ 、 $H1 \cdot V1/3$ 、 $H1 \cdot V0$ の7通りの異なった比で水平両眼視差と垂直両眼視差を混合した刺激を用いた。それぞれの刺激の全方向変形と全方向拡大の大きさを図6に示す。それぞれの刺激に対して、触覚ポインティング法と視覚マッチング法によって刺激の見かけの傾きを測定した。被験者は実験1において結果を採用した3名であった。



	Deformation	Dilation
$H0 \cdot V1$	$H(-1/2) \cdot V1/2$	$H1/2 \cdot V1/2$
$H1/3 \cdot V1$	$H(-1/3) \cdot V1/3$	$H2/3 \cdot V2/3$
$H2/3 \cdot V1$	$H(-1/6) \cdot V1/6$	$H5/6 \cdot V5/6$
$H1 \cdot V1$		$H1 \cdot V1$
$H1 \cdot V2/3$	$H1/6 \cdot V(-1/6)$	$H5/6 \cdot V5/6$
$H1 \cdot V1/3$	$H1/3 \cdot V(-1/3)$	$H2/3 \cdot V2/3$
$H1 \cdot V0$	$H1/2 \cdot V(-1/2)$	$H1/2 \cdot V1/2$

図6 実験2で用いた刺激の全方向変形と全方向拡大の大きさ

3. 2. 実験結果

触覚ポインティング法による測定結果を図7に示す。ここで縦軸の値は、両眼視差がない場合と水平両眼視差のみがある (H 1 · V 0) 場合の測定値を用いて測定された見かけの傾きを標準化した比である。比が1の場合は水平視差のみがある時と同じ見かけの傾きが得られたことを意味し、比が0の場合は両眼視差がない時と同じ見かけの傾きが得られたことを意味する。したがって見かけの傾きが大きいほど比は大きくなる。横軸の値は全方向変形の大きさであり、水平視差・垂直視差それぞれの大きさは図中に示されている。三名の被験者とも、全方向変形が増加するにつれて見かけの傾きが増加している。図7で破線は刺激の全方向変形の大きさによって見かけの傾きが決定される場合を示しており、水平両眼視差が小さい場合には見かけの傾きはほぼ全方向変形の大きさによって決定されるが、水平両眼視差が大きくなると見かけの傾きが全方向変形の大きさから予測されるよりも大きくなることわかる。

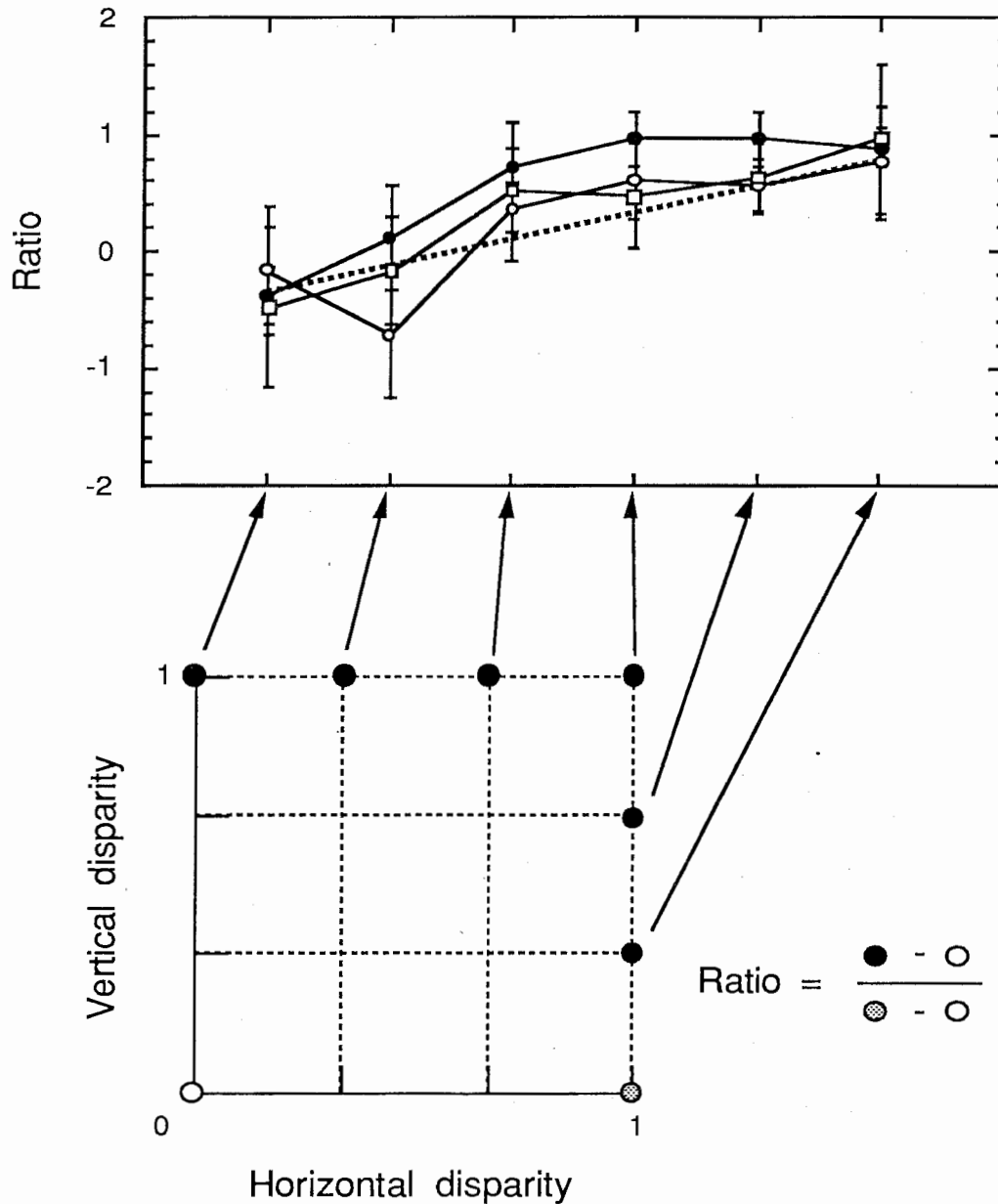


図7 触覚ポインティング法による測定結果

視覚マッチング法による測定結果を図8に示す。縦軸、横軸の値の意味は図7と同じである。図8で破線は見かけの傾きが水平両眼視差の大きさによって決定される場合を示しており、垂直両眼視差のみがある時を除いて実験結果と良く一致していることがわかる。これは実験1の場合と同様に、視覚マッチング法による見かけの傾きが垂直両眼視差の大きさにかかわらず水平両眼視差の大きさによってのみ決定されている事を示す。

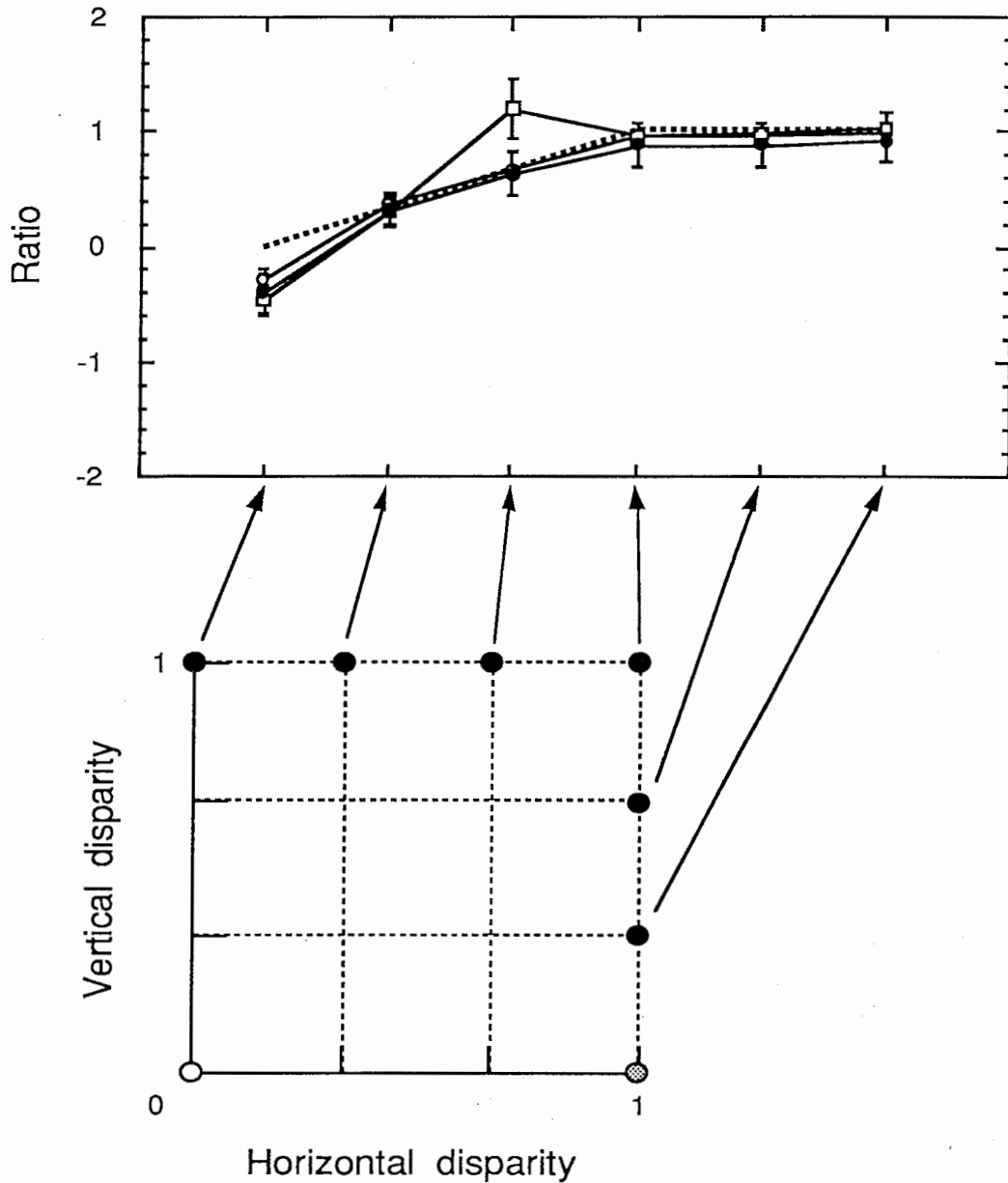


図8 視覚マッチング法による測定結果

触覚ポインティング法と視覚マッチング法による三名の被験者の測定結果を平均したものを、全方向変形成分と水平両眼視差成分による予測値と共に図9に示す。大視野刺激の見かけの傾きは、水平視差成分が大きい場合には全方向変形成分から予測されるよりも大きくなり、水平視差成分から予測されるものとの中間の大きさになる事がわかる。一方視覚マッチング法による測定結果は、垂直両眼視差がある場合にもその影響を受けず水平両眼視差の大きさのみによって決定されている。

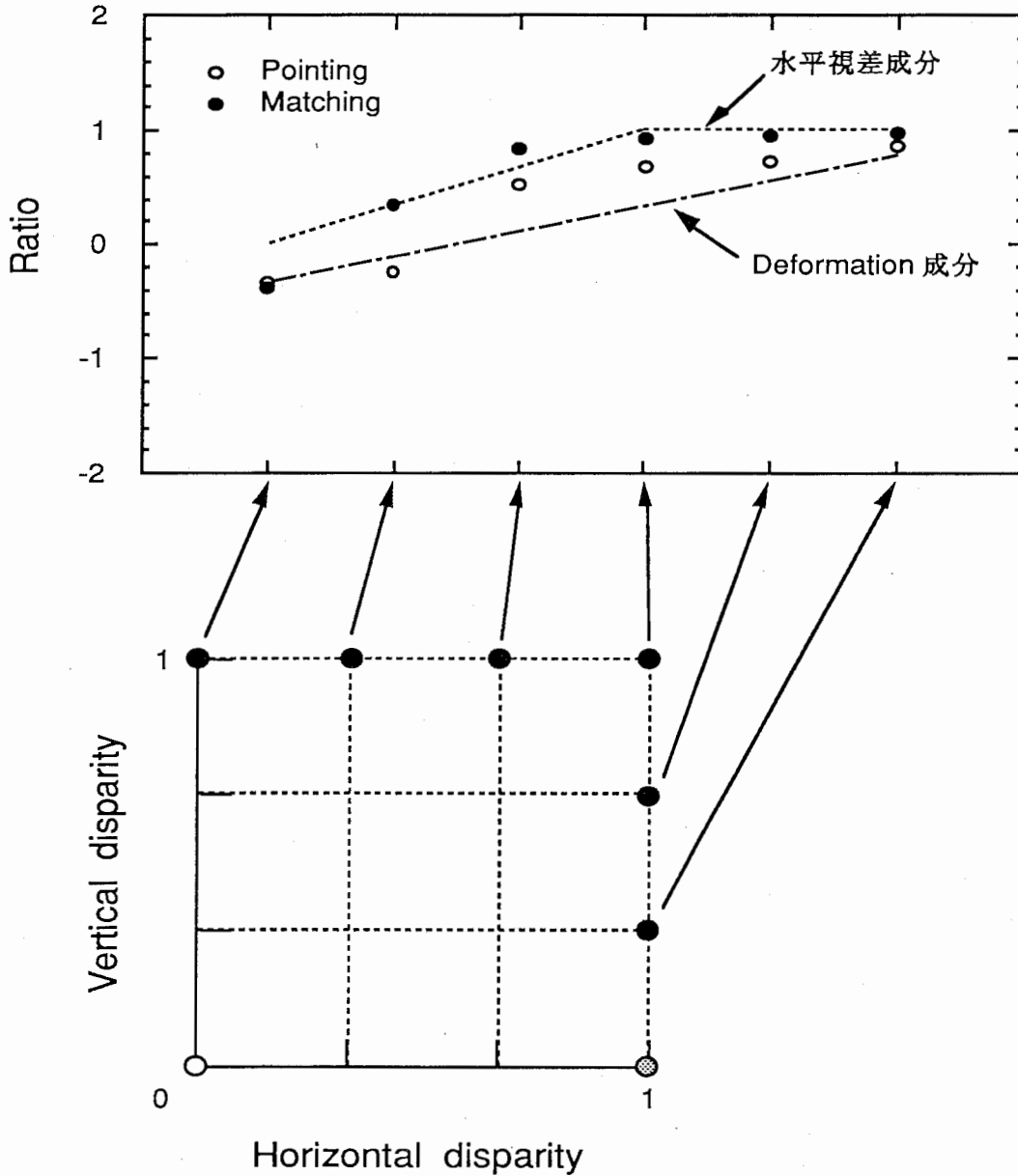


図9 触覚ポインティング法と視覚マッチング法による測定結果の比較

3. 3. 考察

本実験の結果は、大視野刺激の見かけの傾きは水平両眼視差のみによっては決定されず、垂直両眼視差の影響を受ける事を示す。しかしながらその影響は、水平両眼視差と垂直両眼視差を等価なものともみなす変形説による予測よりも小さい。変形説は視野全体に分布する情報によってその奥行きが決定されるという考え方であるから、本実験の結果は大視野の奥行きの決定に局所的な両眼視差情報も寄与していることを示唆するものと考えられるが、その検討は今後の課題である。視覚マッチング法による測定結果は、水平両眼視差の大きさという局所的な情報のみによることが本実験でも示された。しかしながら水平両眼視差成分が無い場合には視野全体の情報が使われており、視覚マッチング法による測定結果の解釈には注意が必要であろう。

4. おわりに

本報告はまず、垂直軸のまわりに回転した大視野平面刺激の見かけの傾きが顕著に減少することを示し、水平両眼視差の不連続な変化が奥行きの知覚に重要な役割を果たしているという考えに実験的証明を与えた。又、局所的な水平両眼視差情報を処理するメカニズムと、その情報を統合して視野全体の奥行きを求めるメカニズムからなる二段階の奥行き情報処理システムを支持する実験結果を示した。さらに、大視野の奥行きの知覚への垂直両眼視差の影響について検討し、それが視野全体に関しての水平・垂直視差情報の単純な寄せ集めではない事を明らかにした。

引用文献

- 1) A. Brookes and K.A. Stevens: "The analogy between stereo depth and brightness," *Perception*, **18** (1989) 601-614
- 2) C.W. Tyler: "Depth perception in disparity gratings," *Nature*, **251** (1974) 140-142
- 3) B. Rogers and M. Graham: "Similarities between motion parallax and stereopsis in human depth perception," *Vision Res.*, **22** (1982) 261-270
- 4) S.M. Anstis, I.P. Howard and B. Rogers: "A Craik-O'Brien-Cornsweet illusion for visual depth," *Vision Res.*, **18** (1978) 213-217
- 5) B. Gillam and B. Lawergren: "The induced effect, vertical disparity, and stereoscopic theory," *Perception & Psychophysics*, **34** (1983) 121-130
- 6) B. Rogers and J. Koenderink: "Monocular aniseikonia: a motion parallax analogue of the disparity-induced effect," *Nature*, **322** (1986) 62-63
- 7) B. Gillam and B. Rogers: "Orientation disparity, deformation, and stereoscopic slant perception," *Perception*, **20** (1991) 441-448
- 8) J. Koenderink and A. van Doorn: "Geometry of binocular vision and a model of stereopsis," *Biological Cybernetics*, **21** (1976) 29-35
- 9) J. Koenderink: "Optic flow," *Vision Res.*, **26** (1986) 161-180