

垂直大きき視差と水平大きき視差から知覚される面の傾きの時間推移

福田 一帆・金子 寛彦

東京工業大学像情報工学研究施設 〒226-8503 横浜市緑区長津田町 4259-R2-60

Temporal Transition of Perceived Slant Produced by Vertical- and Horizontal-Size Disparities

Kazuho FUKUDA and Hirohiko KANEKO

Imaging Science and Engineering Laboratory, Tokyo Institute of Technology, 4259-R2-60 Nagatsuta, Midori-ku, Yokohama 226-8503

It has been reported that spatial properties of vertical-size disparity processing are different from those of horizontal-size disparity processing for slant perception. Regarding the temporal properties, there has been reported no clear difference in the transitions of perceived slant over time from the stimulus onset for these disparities. In this study, we investigated relationships between the stimulus duration and the magnitude of perceived slant for the stimuli with vertical- and horizontal-size disparities. The results showed that the perception of a stable slant required approximately 200 ms for vertical-size disparity and 100 ms for horizontal-size disparity from the stimulus onset. The difference between the durations required to obtain a stable slant percept for these disparities probably due to the difference between the mechanisms to process these disparities, being consistent with the same idea suggested from the difference of spatial properties for these disparities.

Key words: slant perception, binocular disparity, vertical-size disparity, temporal property, duration

1. はじめに

人間は、左右眼の網膜像差（両眼視差）から外界の三次元空間における奥行き構造を認識できる。両眼視差の中でも、特にその水平成分である水平視差が奥行き情報としては重要であると、幾何学的にも実験的にも考えられてきた。しかし、左右の網膜像が垂直視差をもつ場合が実際にあり、特に奥行き方向の面の傾き知覚に関して、水平視差だけでなく垂直視差も大きな影響を与えることが近年明らかになってきた。

左右の網膜像の一方が、他方に対して垂直方向に一樣に拡大または縮小されている場合に生じる視差パターンを垂直大きき視差という。同様に、水平方向に拡大または縮小されている場合の視差パターンを水平大きき視差という。前額平行面を示す刺激を両眼観察しているときに片眼の前にシリンドリカル（円柱）レンズを置き、刺激に水平大き

き視差、または垂直大きき視差を付加すると、その面が垂直軸に関して傾いて知覚されることは数十年前に報告されている¹⁾。

水平大きき視差と垂直大きき視差が傾き知覚を生じるという効果は類似しているが、その性質は大きく異なる。理論的には、水平大きき視差による効果は各点の視差から幾何学的に予測できるが、垂直大ききによる効果を各点の視差から幾何学的に求めることはできない。また、空間的な知覚特性を比較した研究からは、水平大きき視差による傾き知覚は局所的な視差に依存し、垂直大きき視差による傾き知覚は広範囲で空間統合された視差に依存することが報告されている^{2,3)}。これらの性質の違いは、傾き知覚における垂直視差と水平視差の処理過程の違いを示唆する。水平大きき視差による傾き知覚は、その性質から、局所的な水平視差による奥行き知覚と同様のメカニズムに基づく

考えられる。一方、垂直大きさ視差による傾き知覚については、ある広い範囲から抽出される垂直大きさ視差が、直接的に、または対象位置情報として間接的に水平大きさ視差による傾き知覚を補正するというメカニズムが提案されている^{4,5)}。垂直大きさ視差が対象位置情報として働くという考えは、実環境において、1つの実対象から生じる垂直大きさ視差がその実対象の頭部座標における距離と方向の関数で表せることに基づく^{4,6)}。例えば、垂直線分から生じる左右網膜像を考えると、その垂直大きさ比は線分から左右眼までの距離の比によって求められることから、頭部座標における線分の位置に依存することがわかる。

刺激呈示時間と知覚効果の強度の関係は、基礎的な知覚特性のひとつであり、その特性は情報の処理過程に依存すると考えられる。そのため、垂直大きさ視差と水平大きさ視差とで処理過程が異なるとすると、両者の時間特性が異なる可能性がある。また、それを明確にすることは、視覚実験において一定の知覚効果を得るために非常に重要である。

垂直大きさ視差と水平大きさ視差の効果の強度と、刺激呈示時間の関係は過去に Allison らが比較したが、両者の間に明確な差はみられず、垂直大きさ視差、水平大きさ視差ともに 10 s 以上の刺激呈示時間が一定の傾き知覚のために必要であったことが報告されている⁷⁾。この結果は、垂直大きさ視差と水平大きさ視差とで処理の時間特性が異なるという可能性を否定する。しかし、Allison らの研究における刺激呈示時間の測定範囲は 0.1, 1, 10, 30 s の 4 条件のみであり、100 ms 程度の短い刺激呈示時間に関して詳細な測定をすることで、Allison らの研究ではみられなかった特性が表れる可能性がある。例えば、水平視差による奥行き知覚の時間特性を示した Harwerth らの過去の研究では、異なる水平視差をもつ刺激間の奥行き弁別のための水平視差閾値が約 100 ms 以上の呈示時間で一定となることが報告されている⁸⁾。水平大きさ視差による傾き知覚が局所的な水平視差による奥行き知覚と同様のメカニズムに基づくならば、短い呈示時間で一定の効果が表れる可能性がある。このように、面の傾き知覚のための垂直大きさ視差と水平大きさ視差の時間処理特性、特に短い時間における特性はまだ明らかであるとはいえない。

本研究の目的は、垂直大きさ視差と水平大きさ視差による傾き知覚に関して、刺激呈示時間と知覚する傾きの大きさの関係を明らかにし、両者を比較すること、そしてそれらの時間特性から過去に推測されている垂直大きさ視差と水平大きさ視差の処理過程の違いを明らかにすることである。そこで、実験 1 では、さまざまな呈示時間の大きさ視

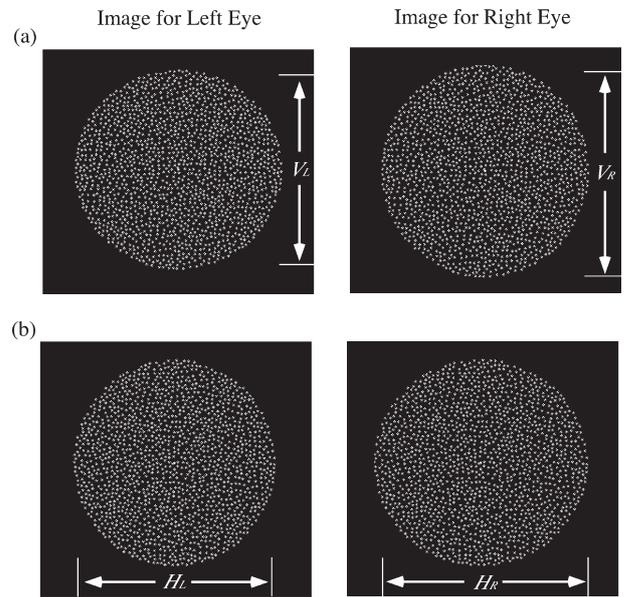


Fig. 1 Stimulus configuration of vertical- (upper panels) and horizontal-size disparity (lower panels) in the experiment. The right and left eye images were vertically or horizontally expanded and shrank relative to the original image.

差刺激に対して、知覚される面の傾き量を測定した。特に、Allison らの研究で行っていない 100 ms 程度の短い呈示時間についての詳細な測定を行った。また、Allison らの実験では、テスト刺激の呈示の前に前額平行面が先行呈示されていた。したがって、その結果は視差変化直後に対する時間特性を表しているとみなせる。前額平行面の先行呈示がテスト刺激に対する知覚に影響を与えた可能性があり、テスト刺激のみが呈示される実験方法とは時間特性が異なるかもしれない。このため、実験 2 では先行刺激の有無を条件として実験 1 と同様の実験を行い、その結果を比較した。

2. 実験刺激と装置

2.1 実験刺激

実験刺激には、ランダムドットステレオグラムを用いた (Fig. 1)。各ドットは、ガウス関数状の輝度分布を有しており、輝度分布の標準偏差は 6.25 arcmin であった。また、アンチエイリアシングを行い、モニター上のピクセルサイズの 100 分の 1 までのドット位置が表現可能となっていた。このドットが、固視点を中心とする直径 40 deg の円形範囲内に 2000 個配置されていた。

本研究では、水平視差と垂直視差の時間処理特性を明らかにすることを目的としているので、パースペクティブ (線遠近法手がかり) や眼球運動系による眼球方向の信号など、面の傾き知覚に影響する他の情報は無効化すること

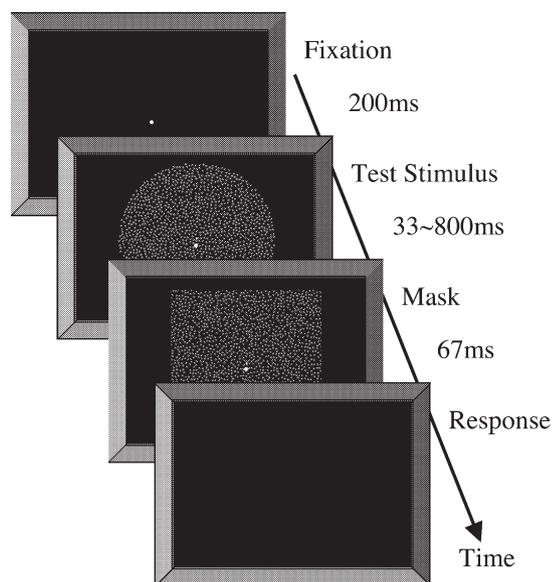


Fig. 2 Schematic representation of stimulus presentation on time scale.

が望ましい。そこで、円形かつ大視野の刺激を用いて実験を行うことで、面の傾き知覚に対する両眼視差以外の影響を排除した。過去の研究から、刺激に線形成分がないとき、また刺激サイズが大きいたまは、それぞれパースペクティブと眼球運動系による眼球方向の信号の影響が両眼視差の影響に対して相対的に無視できることが報告されている^{6,9)}。

刺激には、垂直大きさ視差 (Fig. 1 (a)), または水平大きさ視差 (Fig. 1 (b)) を与えた。大きさ視差の値は、オリジナルの刺激サイズに対する右眼刺激の拡大率と左眼刺激の縮小率の和で定義した。例えば、垂直大きさ視差が+6%のときは、オリジナルの刺激全体を垂直方向に3%拡大したものが右眼に、3%縮小したものが左眼にそれぞれ呈示された。大きさ視差の符号は、右眼像が左眼像よりも大きいときを正、小さいときを負とした。大きさ視差を与えることによって各ドットの位置は移動したが、各ドットの大きさは画面上で常に一定であった。

2.2 刺激呈示装置

刺激に両眼視差を与えるため、刺激呈示装置にはミラー式ステレオスコープを使用した。この装置はおもに刺激作成用コンピューター (Macintosh Power Mac G4; Apple Computer, Inc.), 2台の刺激呈示用モニター (GDM-520F; Sony Corp.), そして2枚のミラーから構成された。モニターの解像度は800 pixel×600 pixel, 垂直周波数は実験1では60 Hz, 実験2では75 Hzであった。モニターの発光体の輝度は、呈示から1 ms以下で最大輝度の1%以下に減衰した。

2枚のミラーは被験者の正面に90°の角度をもって、2台のモニターはミラーの左右に対面して、それぞれ設置された。左右2台のモニターには、それぞれ左眼用, 右眼用の視覚刺激が呈示された。被験者は、顎台により頭部を固定し、ミラーを通して左右のモニターに呈示された視覚刺激をそれぞれ左眼, 右眼で観察した。このとき、理論的な左右の刺激の融合位置は被験者の正面, 視距離40 cmの位置であった。

2.3 応答装置

本実験では、被験者が刺激から知覚された面の傾きの大きさを示す手段として、実物の応答板を手動で操作し、その角度を知覚された面の傾きと一致させる方法を用いた。応答板は、被験者の正面40 cmの目視不可能な位置 (ミラーの背後) に設置された。この位置は、視覚刺激の理想的融合距離に一致する。応答板の角度の計測には、応答板の角度により抵抗値の変化するポテンシオメーターを使用した。そして、ポテンシオメーターの電圧値をA/D変換ボード (MIO-16E; National Instruments) を用いてコンピューター上で読みとり、応答板の角度に変換した。

3. 実験1: 短時間呈示された垂直視差, 水平視差による面の傾き知覚

3.1 実験方法

垂直または水平大きさ視差をもつテスト刺激に対して、刺激呈示時間と知覚される面の傾きの関係を測定した。Fig. 2は、実験1における各試行の手順を示したものである。はじめに固視点のみが呈示され、被験者がこれを凝視した状態で開始ボタンを押すと、テスト刺激が呈示された。また、刺激の視差の種類, 視差量, 呈示時間は変数となっていた。刺激呈示終了とともに、マスク刺激が67 ms呈示された。マスク刺激は、一辺40 degの正方形範囲に分布する左右無相関のランダムドットからなり、刺激の残効をなくすために挿入された。被験者は、テスト刺激とマスク刺激を形状によって区別可能であった。その後、被験者は、応答板の傾きをテスト刺激呈示終了時に知覚された面の傾きと一致させた。応答時はモニターに何も呈示されなかった。被験者が決定ボタンを押すと、応答板の傾きが記録され1試行が終了し、次の試行の固視点が呈示された。刺激条件は、視差の種類2条件 (垂直大きさ視差, 水平大きさ視差), 視差量4条件 (-6, -4, +4, +6%), 呈示時間12条件 (33, 67, 100, 133, 167, 200, 233, 300, 400, 500, 600, 800 ms) のすべての組み合わせ、つまり合計96条件あり、1セッションには各条件1回の96試行がランダムな順序で含まれていた。各被験者は、これを3セ

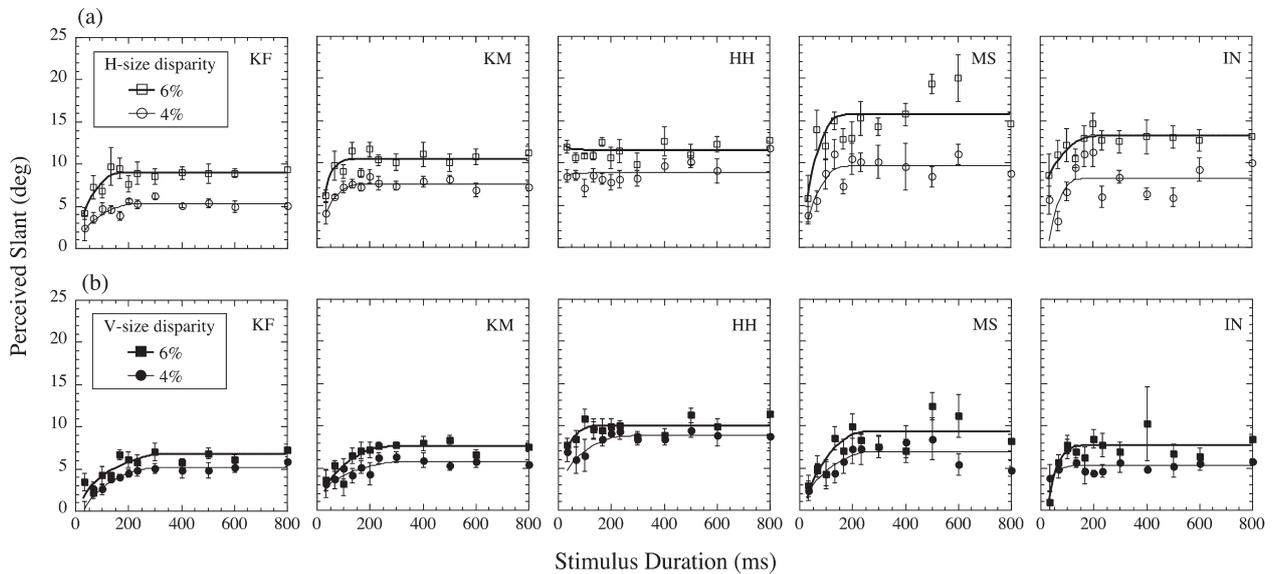


Fig. 3 Magnitude of estimated slant for horizontal- (upper panels (a)) and vertical-size disparity (lower panels (b)) as a function of the stimulus duration. The error bars represent the standard error over six repetitions.

セッションを繰り返した。被験者は5名であり、心理物理実験に慣れた被験者であった。そのうち1名(KF)は筆者であり、他の被験者には実験の目的は知らされていなかった。被験者の視力は正常または矯正されていた。さらに、予備観察として、本実験で用いた垂直大きさ視差、水平大きさ視差それぞれを呈示したときに、過去の研究(文献1)などの報告と整合する面の傾き知覚を応答したことから、立体視能力も正常であると考えられる。

3.2 結果

水平大きさ視差、垂直大きさ視差に対する実験結果をそれぞれ Fig. 3 (a), (b) に示す。グラフの横軸は刺激呈示時間、縦軸は知覚された面の傾き、つまり応答板の傾き測定値を表す。面の傾きの符号は、過去の研究で明らかにされている水平大きさ視差、垂直大きさ視差から知覚される傾き(文献1)など参照と一致する方向の傾きを正とした。つまり、垂直大きさ視差の場合、右眼刺激が大きいとき(+4, +6%)は右側が手前となる傾きを正、左眼刺激が大きいとき(-4%, -6%)は面の左側が手前となる傾きを正とした。水平大きさ視差における視差の方向と傾き知覚の方向は垂直視差の場合と逆、すなわち幾何学的に予想される方向の傾きを正とした。シンボルの形状の違いは視差量の違いを示す。各プロットは、正負の大きさ視差について3回ずつ合計6回の測定値を平均した結果であり、エラーバーは標準誤差を表す。

実験結果は、刺激呈示時間が短い範囲では、面の傾きは呈示時間とともに増大する傾向を示した。また、ある呈示時間以上になると、面の傾きはほぼ一定となった。この傾

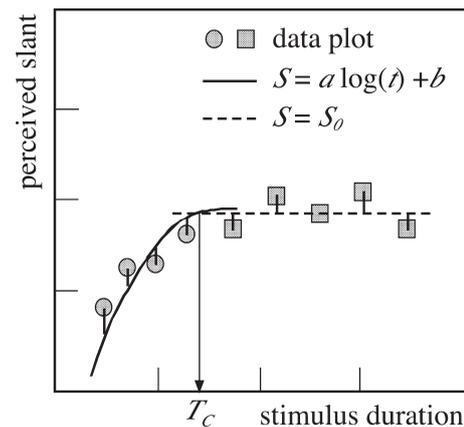


Fig. 4 Schematic representation of functional approximation for the results of experiment 1 (Fig. 3). Solid curve and dashed line respectively represent log and linear approximation. In the equations, “ S ” and “ t ” respectively represent the perceived slant and the stimulus duration. The variable “ a , b ” for the curve and “ S_0 ” for the line were respectively estimated by the data in increasing range (circular plot) and the data in stable range (rectangular plot). The division between these ranges was decided as the total sum of square error between the experimental data and the approximations became minimal. The stimulus duration at the intersection of the two approximations was defined as the critical duration “ T_c ”.

向は、全被験者のすべての条件でほぼ一致した。そこで、面の傾きが一定となる刺激呈示時間を刺激条件ごとに定量化するため、実験結果に対して関数回帰を行った。

Fig. 4は関数回帰の概要を示す。呈示時間とともに知覚される面の傾きは対数関数状に増大し、ある呈示時間を超えると一定の傾きが知覚されるという関数モデルを定義し

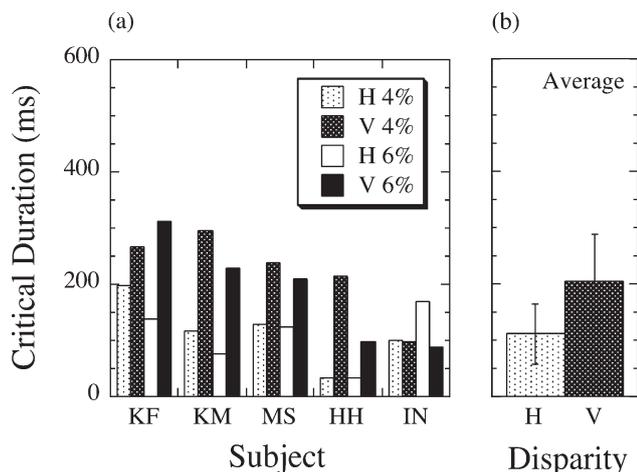


Fig. 5 Critical duration required to produce the perception of a stable slant for the stimulus with horizontal- or vertical-size disparity: (a) individual result and (b) averaged result across the five subjects. The error bars represent the standard deviation over the five subjects and two disparity magnitudes.

た。面の傾きが増大する範囲は対数関数で、面の傾きが一定値をとる範囲は傾きゼロの直線で回帰を行った。それぞれの回帰線を適用する呈示時間条件の範囲は、実験結果と2種類の回帰線の二乗誤差の合計が最小となるように設定された。このとき、2つの回帰線の交点にあたる刺激呈示時間を、傾き知覚成立時間 T_c と定義した。

各刺激条件における傾き知覚成立時間について、Fig. 5 (a) では被験者ごとの結果を、Fig. 5 (b) では全被験者の結果を平均したものをそれぞれ示す。傾き知覚成立時間は、被験者や条件によって異なる結果を示した。水平大きさ視差と垂直大きさ視差の結果を比較すると、傾き知覚成立に必要な刺激呈示時間を視差条件ごとに平均した値は、垂直大きさ視差に対しては約 205 ms、水平視差に対しては約 112 ms となり、垂直大きさ視差に対してのほうが大きな値を示した。被験者ごとの結果にも、5名中4名のすべての条件でこの傾向が表れた。一方、視差の大きさによる知覚成立時間に対する効果に関しては明確な差は表れなかった。視差の種類、視差の大きさによる知覚成立時間に対する効果に関して2要因分散分析を行ったところ、視差の種類の主効果は有意であった ($F(1, 16) = 8.21, p < 0.05$)。一方、視差の大きさの主効果 ($F(1, 16) = 0.43, p > 0.10$)、2要因の交互作用 ($F(1, 16) = 0.18, p > 0.10$) は有意でなかった。

3.3 考察

垂直大きさ視差をもつ刺激から一定の傾きが知覚されるために必要な刺激呈示時間は約 200 ms、水平大きさ視差の場合は約 100 ms であることが明らかになった。100~

200 ms 程度で一定の傾きが知覚されたことは、Allison らの過去の研究⁷⁾の結果と明らかに異なる。この原因としては、刺激呈示時間の測定範囲の違い、テスト刺激呈示前の先行刺激の有無の影響が考えられる。後者に関しては、実験2で詳しく検討する。垂直大きさ視差と水平大きさ視差とで結果に有意な差が表れたことは、両者に対する処理過程が異なることを示唆する。これは、垂直大きさ視差と水平大きさ視差による傾き知覚に関して、これまで報告されてきた空間特性の違い^{2,3)}と整合する。

被験者 IN に関しては、垂直視差と水平視差の結果に明確な差は表れなかった。この原因のひとつの可能性として、視差情報と単眼性奥行き情報の矛盾の影響が考えられる。本研究の実験刺激は、単眼性奥行き情報の影響を少なくするために円形ランダムドットステレオグラムを用いたが、ドットサイズとドット密度は画面上で一様であったので、これらの単眼性奥行き情報は前額平行面を示しており、視差情報と矛盾していた。視差情報と矛盾する単眼情報は、視差による傾き知覚を減衰させることが報告されている^{10,11)}。さらに、坂野らの研究^{12,13)}では、面の傾き知覚に対する単眼情報と視差情報の重みが被験者によって異なることが報告されている。本実験の被験者5名中4名は、坂野らの研究にも参加した被験者であり、各被験者の傾き知覚における視差情報の重みは 0.74 (KF)¹²⁾、0.59 (KM)¹²⁾、0.35 (HH)¹³⁾、0.27 (IN)¹³⁾であった。被験者 IN は、この中で最も視差情報の重みが低いことから、本実験においても単眼情報の影響により視差情報の効果が表れなかった可能性が考えられる。実際に、被験者 IN は刺激観察時に知覚面上でドット密度が一様に見えないことを内観として報告したが、これも視差情報と矛盾する単眼情報の影響^{10,11)}と一致する。また、単眼情報の影響は時間的に変化する可能性も考えられ、それも被験者間の結果の差の原因であるかもしれない。

4. 実験2：先行呈示刺激の影響

実験1で示した刺激呈示時間と知覚された面の傾きの関係は、Allison らの過去の研究⁷⁾とは大きく異なる結果となった。この原因は、Allison らの実験では、刺激呈示前に前額平行面が呈示されていたことが原因のひとつであると推測される。そこで、実験2では、傾き知覚成立時間に対する先行刺激の影響を明らかにすることを目的とした。

4.1 実験方法

実験1と同様の方法で、水平大きさ視差、垂直大きさ視差刺激について、刺激呈示時間を変数として知覚された面の傾きを測定した。ただし、実験2では、テスト刺激の前

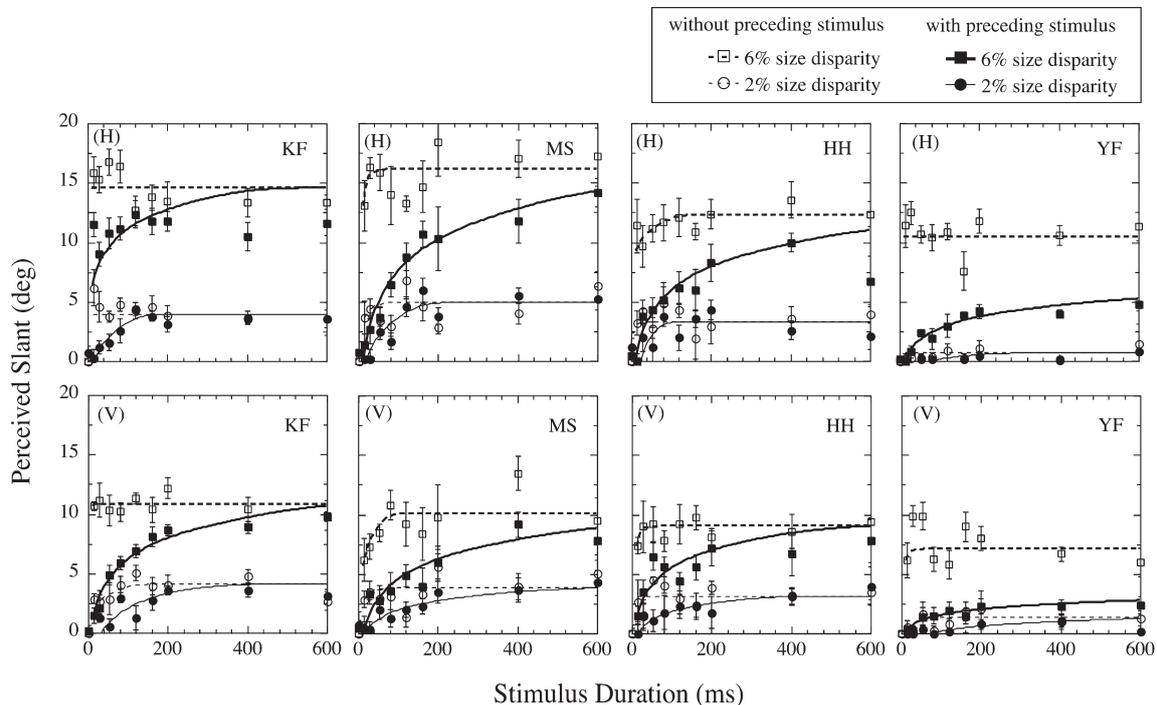


Fig. 6 Magnitude of estimated slant for horizontal- (upper panels) and vertical-size disparity (lower panels) as a function of the stimulus duration with preceding stimulus (filled symbols) and without preceding stimulus (open symbols). The error bars represent the standard error over six repetitions.

に呈示される先行刺激の条件として、先行刺激なし（固視点のみを呈示）、先行刺激あり（前額平行面を呈示）の各条件を設定した。先行刺激はテスト刺激と同様のランダムドットステレオグラムであり、大きさ視差は0%であった。先行刺激としての固視点または前額平行面の呈示時間は200 msであった。また、すべての条件でマスク刺激は呈示されなかった。これは特に、先行刺激あり条件でマスク刺激が呈示されると、被験者が応答すべきテスト刺激を判別することが難しくなったためである。マスクをなくすることが時間特性に影響を与える可能性があるため、実験1と実験2の結果を直接比較することはできないが、実験2の先行刺激ありと先行刺激なしの2条件間の結果の比較は有効である。その他の実験方法は実験1と同じであった。実験条件は、先行刺激の有無2条件、テスト刺激の大きさ視差 $\pm 2\%$ 、 $\pm 6\%$ の4条件、呈示時間0, 13, 27, 53, 80, 120, 160, 200, 400, 600 msの10条件であった。1セッションには、各条件1回の80試行がランダムな順序で含まれていた。各被験者は、これを3セッション繰り返した。被験者4名中、YFを除く3名は実験1にも参加した被験者であった。被験者YFの視力は矯正されており、立体視が可能であることも実験1に参加した被験者と同様に確かめられた。

4.2 結果

水平大きさ視差、垂直大きさ視差に対する実験結果をFig. 6に、実験1と同様に示した。シンボルの色の違いは先行刺激の有無を、形状の違いはテスト刺激の大きさ視差の値の違いをそれぞれ示す。各プロットは正負の大きさ視差について3回ずつ合計6回の測定値を平均した結果であり、エラーバーは標準誤差を表す。

実験結果は、先行刺激の有無によって、異なる傾向を示した。先行刺激が呈示されない条件では、100 ms以下の短い呈示時間で一定の傾き知覚を示した。先行刺激が呈示される条件では、一定の傾きを示すのに長い呈示時間を必要とした。特に大きさ視差6%の条件では、傾き知覚の遅れが大きく、測定範囲内では先行刺激なし条件と一致する傾きまで到達しなかった。

大きさ視差2%の条件では、刺激呈示時間が短い範囲では面の傾きは呈示時間とともに増大し、ある呈示時間以上になると面の傾きはほぼ一定になるという、実験1と同様の傾向が示された。そこで、面の傾きが一定となる刺激呈示時間を定量的に示すため、実験結果に対して関数回帰を行った。回帰の方法は実験1と同様であったが、最終的に知覚される傾きは先行刺激の有無によらず一定であると仮定し、直線回帰部分の切片には先行刺激なし条件に対する直線回帰の切片を適用した。

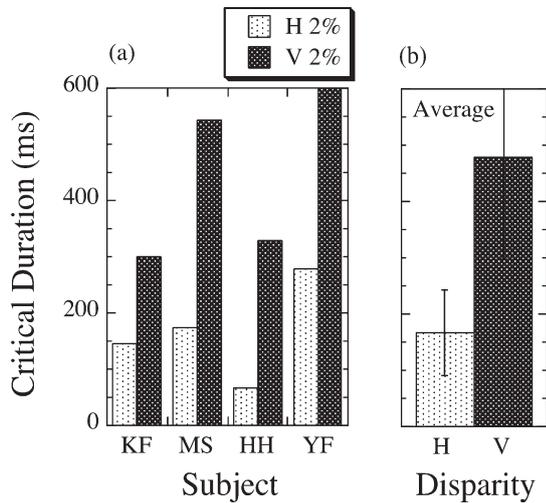


Fig. 7 Critical duration required to produce the perception of a stable slant for the stimulus with 2% of horizontal- or vertical-size disparity: (a) individual result and (b) averaged result across the four subjects. The error bars represent the standard deviation over the four subjects.

2%の垂直大きさ視差と水平大きさ視差に対する傾き知覚成立時間について、Fig. 7 (a)では被験者ごとの結果を、Fig. 7 (b)では全被験者の結果を平均したものをそれぞれ示した。傾き知覚成立時間は、垂直大きさ視差と水平大きさ視差とで異なる値を示した。全被験者において、垂直大きさ視差に対する傾き知覚成立時間は、水平大きさ視差の場合よりも大きな値を示した。被験者4名の傾き知覚成立時間の平均値は、垂直大きさ視差に対して約478 ms、水平大きさ視差に対して約166 msであった。その差は約312 msであり、実験1よりも大きな差が示された。傾き知覚成立時間に対する視差方位の効果の有意性を被験者内の1要因分散分析で検討した結果も、垂直大きさ視差と水平大きさ視差の差が有意であることを示した ($F(1, 3) = 21.80, p < 0.05$)。

4.3 考察

先行刺激の有無により結果に明確な違いが表れた。先行刺激がない場合は、100 ms以下で一定の傾きが知覚された。実験1よりも短時間の刺激呈示で傾きが一定となるのは、マスク刺激が呈示されなかったことによるテスト刺激の視覚的持続 (visual persistence) の影響と考えられる。一方、前額平行面が先行呈示される条件では、水平大きさ視差、垂直大きさ視差ともに傾きの知覚に明らかな遅れが生じた。この結果は、単独パルス状の一定大きさ視差による傾き知覚の時間変化が、視差変化後の一定大きさ視差による傾き知覚の時間変化と異なることを示す。そして、本研究実験1の結果とAllisonらの結果が大きく異なる原因のひとつが、先行呈示の有無であることを示唆する。他の

原因として、眼球運動が増加することによって傾き知覚が促進される可能性が考えられる¹⁴⁾。しかし、本研究で被験者に与えられたインストラクションは、固視点を凝視することであった。ただ、眼球運動は測定していないため無意識の眼球運動が発生した可能性は否定できないが、先行刺激の条件によらず実験手順は同一であるので、前額平行面を先行呈示する条件と固視点のみを先行呈示する条件で眼球運動の効果が異なる可能性は低い。無意識の眼球運動は奥行き知覚に寄与しないという報告もあり^{14,15)}、眼球運動が本研究の結果に影響したとは考えにくい。

先行刺激による傾き知覚成立の遅れは、テスト刺激の視差の大きさにより変化した。大きさ視差2%の条件では、一定の傾き知覚のために垂直大きさ視差に対しては約478 ms、水平大きさ視差に対しては約166 msを要した。垂直大きさ視差について先行刺激の影響が表れたのは、先行刺激とテスト刺激の垂直視差が時間統合処理されたとして説明できる¹⁶⁾。一方、水平大きさ視差に対しても先行刺激の影響が表れたこと、そして、垂直大きさ視差、水平大きさ視差ともに大きさ視差が6%の条件において先行刺激の影響が非常に大きくなったことは、先行刺激が垂直視差と水平視差の両者に共通するメカニズムに影響することを示唆する。

5. 総合考察

本研究の実験1では、水平大きさ視差については約100 ms、垂直大きさ視差については約200 msの刺激呈示時間で一定の傾きが知覚されることが明らかになった。水平大きさ視差と垂直大きさ視差の効果と刺激呈示時間の関係は、過去にAllisonらも研究しているが⁷⁾、彼らの実験における刺激呈示時間条件は0.1, 1, 10, 30 sの4条件のみであり、1 s未満の刺激呈示時間での時間特性については示されていない。また、実験2において先行刺激の呈示により傾き知覚成立が遅れたことから、Allisonらの研究において10 s以上の刺激呈示時間でも知覚される面の傾きが収束しなかった原因のひとつとして、テスト刺激の呈示前に前額平行面が呈示されていたことによる影響が考えられる。

垂直大きさ視差による一定の傾き知覚のために必要な刺激呈示時間が、水平大きさ視差の場合よりも約100 ms長いことは、傾き知覚のための情報処理に前者のほうが長時間を要することを意味し、垂直大きさ視差と水平大きさ視差とで処理過程が異なることを示唆する。視差の空間統合^{2,3)}、時間統合¹⁶⁾などの垂直大きさ視差に特有の知覚特性が報告されていることは、これに整合する。水平大きさ

視差刺激も実際は0%の垂直大きさ視差を含んでいるが、これは刺激呈示位置に実際に存在する対象が生じる垂直視差と矛盾しない。一方、垂直大きさ視差刺激が含む垂直視差は、刺激呈示位置と矛盾する垂直視差である^{4,6)}。両刺激から傾きを知覚する時間が異なる原因は、この刺激位置に矛盾する垂直視差を処理する過程の存在を示しているとも考えられる。

水平大きさ視差による効果が一定となる刺激呈示時間が約100msであるという値は、Harwerthらの研究⁸⁾における奥行き弁別のための水平視差閾値が一定となる刺激呈示時間と類似した。両者の時間特性が類似することは、水平大きさ視差による傾き知覚が局所的な水平視差による奥行き知覚と同様のメカニズムに基づくという考えと整合する。

本研究では、参照面の先行呈示がない条件では約100~200msで大きさ視差の効果が一定となったが、同様の実験条件でvan Eeらが水平大きさ視差による効果と刺激呈示時間の関係を調べた研究では、1s以下の呈示時間ではほとんど傾きが知覚されないという結果が示されている¹⁷⁾。本研究とvan Eeらの研究結果が異なる原因のひとつは、応答方法の違いかもしれない。van Eeらの実験では、前額平行面を基準としたテスト刺激の傾き量を見積もることを必要とする応答方法であった。一方、筆者らの研究では、知覚した傾きに対して応答板の傾きを直接的に一致させる方法を用いたので、傾き判断の基準を必要としなかった。この応答方法の性質の違いは、面の知覚自体は100ms程度で一定となるが、呈示されない前額平行面を基準とした傾きを見積もるには1s以上の長い呈示時間が必要であることを示唆する。van Eeらの研究で、前額平行を示す参照面が呈示された条件では短い時間でも比較的大きな傾きが知覚されたことも、この考えと整合する。また、van Eeらの研究でも、両眼立体視の被験者経験の多い被験者は1s以下の呈示時間でも大きな傾きを知覚していることから、被験者により時間特性が異なる可能性も考えられる。

実験2において、先行刺激の呈示による知覚成立時間の遅れは、垂直大きさ視差の場合だけでなく水平大きさ視差の場合にも表れた。また、先行刺激とテスト刺激の間の視差変化が大きい条件ほどその遅れは大きくなった。これにはおもに2つの原因が考えられる。第1は、両眼視差と単眼性奥行き情報の矛盾^{10,11)}による影響である。本研究では、刺激のドット密度は常に画面上で一様であったため、テスト刺激においても単眼性奥行き情報は前額平行面を示していた。一方、先行刺激は両眼視差も単眼性情報もとも

に前額平行面を示していた。2つの情報が矛盾しない先行刺激を呈示したことにより、その直後のテスト刺激における両眼視差と単眼性情報の矛盾が知覚的に強調された可能性が考えられる。第2に考えられる原因は、視差検出過程(視差検出細胞の応答、左右像の融合や対応付けなど)の時間特性による影響である。例えば、ゼロ視差が呈示されているときには、他の視差に感度をもつ視差検出過程は抑制されて反応速度が遅くなると考えると、先行刺激の影響が説明できる。また、対応点問題の解決に時間を要したことによる説明もできる。特に、大きな視差変化は左右対応点の位置関係に大きな変化を生じるので、このとき対応点問題の解決に時間がかかる可能性がある。

6. 結 論

本研究では、垂直および水平視差情報による傾き知覚が一定となるのに要する刺激呈示時間を、100ms程度の短い刺激呈示時間について測定し比較した。その結果、水平大きさ視差からは約100ms、垂直大きさ視差からは約200msで傾きが一定となった。水平大きさ視差による傾き知覚が一定となった約100msという値は、水平視差による奥行き弁別の視差閾値が一定となる刺激呈示時間が約100msであること⁸⁾と一致する。これは、水平大きさ視差による傾き知覚が、局所的な水平視差による奥行き知覚と同様の処理過程に基づくという考えを支持する。一方、垂直大きさ視差からの傾き知覚が一定になるまでに水平大きさ視差の場合よりも長い呈示時間を要したことは、両者の処理過程が異なることを示唆する。

文 献

- 1) K. N. Ogle: "Induced size effect. I: A new phenomenon in binocular vision associated with the relative sizes of the images in the two eyes," *AMA Arch. Ophthalmol.*, **20** (1938) 604-623.
- 2) S. P. Stenton, J. P. Frisby and J. E. W. Mayhew: "Vertical disparity pooling and the induced effect," *Nature*, **309** (1984) 622-623.
- 3) H. Kaneko and I. P. Howard: "Relative size disparities and the perception of surface slant," *Vision Res.*, **36** (1996) 1919-1930.
- 4) B. Gillam and B. Lawergren: "The induced effect, vertical disparity and stereoscopic theory," *Percept. Psychophys.*, **34** (1983) 121-130.
- 5) H. Kaneko and I. P. Howard: "Spatial limitation of vertical-size disparity processing," *Vision Res.*, **37** (1997) 2871-2878.
- 6) B. T. Backus, M. S. Banks, R. van Ee and J. A. Crowell: "Horizontal and vertical disparity, eye position, and stereoscopic slant perception," *Vision Res.*, **39** (1999) 1143-1170.
- 7) R. S. Allison, I. P. Howard, B. J. Rogers and H. Bridge: "Temporal aspects of slant and inclination perception,"

- Perception, **27** (1998) 1287-1304.
- 8) R. S. Harwerth, P. M. Fredenburg and E. L. Smith, III: "Temporal integration for stereoscopic vision," *Vision Res.*, **43** (2003) 505-517.
 - 9) M. S. Banks and B. T. Backus: "Extra-retinal and perspective cues cause the small range of the induced effect," *Vision Res.*, **38** (1998) 187-194.
 - 10) B. Gillam: "Changes in the direction of induced aniseikonic slant as a function of distance," *Vision Res.*, **7** (1967) 777-783
 - 11) B. Gillam: "Stereoscopic slant reversals: A new kind of induced effect," *Perception*, **22** (1993) 1025-1036.
 - 12) 坂野雄一, 金子寛彦, 松宮一道: "両眼視差と遠近法情報の統合過程における視距離と過去の経験の影響", *光学*, **33** (2004) 110-121.
 - 13) 坂野雄一, 金子寛彦, 松宮一道: "偏った奥行き手がかり環境下での学習が面の傾き知覚のための両眼視差と遠近法情報の統合過程に与える影響", *光学*, **33** (2004) 490-502.
 - 14) R. van Ee and W. Richards: "A planar and a volumetric test for stereoanomaly," *Perception*, **31** (2002) 51-64.
 - 15) R. van Ee and C. J. Erkelens: "The influence of large scanning eye movements on stereoscopic slant estimation of large surfaces," *Vision Res.*, **39** (1999) 467-479.
 - 16) K. Fukuda, H. Kaneko and K. Matsumiya: "Temporal integration of vertical-size disparity for slant perception," *Fall Vision Meeting 2003 Abstract Book* (2003) p. 24.
 - 17) R. van Ee and C. J. Erkelens: "Temporal aspects of binocular slant perception," *Vision Res.*, **36** (1996) 43-51.