

テクスチャ勾配と両眼視差情報が 奥行きと大きさ知覚に及ぼす影響

河合沙弥¹⁾・高橋伸子²⁾

Effects of texture gradient and binocular disparities on depth and size perception.

Saya KAWAI and Nobuko TAKAHASHI

見えの奥行きをそろえたテクスチャ勾配と両眼視差を用い、2つの手がかりの情報統合について検討した。テクスチャ勾配、両眼視差、呈示時間を変化させてマグニチュード推定法により見えの奥行きと見えの大きさを測定した結果、見えの奥行きについては、(1)呈示時間が短い場合はテクスチャ勾配、呈示時間が長い場合は両眼視差の相対的強度が大きいことが示された。また、(2)2つの手がかりは加算的に統合され、奥行き方向が矛盾する不整合的条件では逆方向の奥行き情報の加算(相殺)が行われた。見えの奥行きと見えの大きさの関係については、(3)整合的・不整合的条件ともに、呈示時間が短い場合は見えの奥行きの増加に伴う見えの大きさの減少は認められなかったが、呈示時間が長い場合は認められた。一方、中間的な呈示時間では不整合的条件で関係が認められず、両眼視差の相対的強度が充分大きくないため、テクスチャ勾配によって相殺されたと考えられる。

Keywords : テクスチャ勾配, 両眼視差, 奥行き知覚, 大きさの恒常性

texture gradient, binocular disparity, depth perception, size constancy

1. 問題

外界は3次元空間であり、我々は立体的な広がりや奥行きを知覚している。しかし、我々の網膜に投影された像(網膜像)は2次元画像であるため、網膜に投影された2次元画像から3次元空間を再構築していると考えられている。この2次元画像から3次元空間を再構築する際に重要であるのが、奥行き知覚のための手がかりである。奥行き知覚の手がかりには、線遠近法、重なり、陰影、テクスチャ勾配、大気遠近法、大きさ、両眼視差、運動視差などがある。我々はそれらの様々な奥行き情報から最終的に一つの整合的な奥行きを知覚していると考えられている。したがって、奥行き知覚の手がかりの統合や相互作用について検討することは、我々の日常生活における奥行き知覚を知る上で、非常に重要な問題である。奥行き情報の統合については、これまで様々な研究が行われているが、未解明な部分も多い。

1.1. テクスチャ勾配

単眼性の奥行き知覚の手がかりとして、テクスチャ勾配がある。テクスチャ勾配とは、同程度の大きさの粒パターンが点在している面を観察すると、近くの粒はまばらに、遠くの粒は密に映り、この密度の変化から遠近を知覚できるものである。網膜像は、対象との距離に応じて変化し、近くのものは大き

1) 愛知淑徳大学 健康医療科学部 医療貢献学科 視覚科学専攻

2) 愛知淑徳大学 健康医療科学部 医療貢献学科 視覚科学専攻

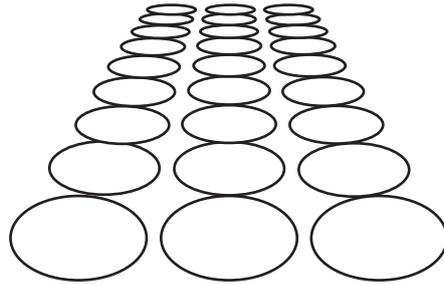


図 1.1 テクスチャ勾配の例

く映り、遠くのもの小さく映るが、対象が粒状のものであれば、近くに点在している粒の間隔は広く映り、遠くの粒の間隔は狭く映る。これが連続的に現れたものがテクスチャ勾配であり、面の連続的な奥行きを知覚する手がかりである。図 1.1 に、テクスチャ勾配の例を示した。テクスチャ勾配による奥行きは、粒すなわちテクスチャ要素の形状の変化、要素間隔、要素の大きさによって変化する。このテクスチャ勾配は計算式によって求めることが可能である。図 1.2 に、テクスチャ勾配を求める際に必要な変数間の関係の模式図を示した。眼の高さ(h)、テクスチャの最近点(TN)までの観察距離(D)、テクスチャの最近点(TN)から最遠点(TF)までの長さ(a)、求めたいテクスチャ要素の縦の長さ(y)を用い、まず TF までの角度 k1、TN までの角度 k2、TN に接したテクスチャ要素の最遠点までの角度 k3 を求めると、図から

$$k1 = \tan^{-1} \frac{a+D}{h} \quad , \quad k2 = \tan^{-1} \frac{D}{h} \quad , \quad k3 = \tan^{-1} \frac{y+D}{h}$$

となる。テクスチャ刺激全体(a)の角度 α 、TN に接したテクスチャ要素(y)の角度 β は、それぞれ

$$\alpha = k1 - k2, \quad \beta = k3 - k2$$

と表せる。角度 α を 1 としたとき、角度 β を比(K)で表すと、

$$1:K = \alpha:\beta, \quad \text{すなわち } K = \frac{\beta}{\alpha} = \frac{k3-k2}{k1-k2}$$

となり、テクスチャ要素の縦の長さ(y)は、

$$y = aK = a \times \frac{k3-k2}{k1-k2} \quad (1.1)$$

となる。求めたいテクスチャ要素の横の長さ(x)は、TN から TN+y を縦の長さとする要素の横の長さを x_{TN} とすると、観察距離(D)とテクスチャ要素の縦の長さ(y)から、

$$x = x_{TN} \times \frac{D}{D+y} \quad (1.2)$$

となる。

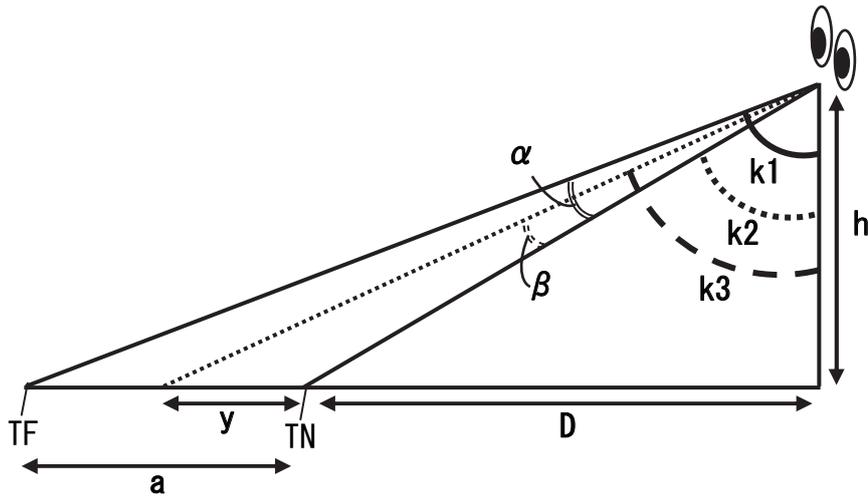


図 1.2 テクスチャ勾配を求める際に必要な変数間の関係の模式図

TN=テクスチャの最近点, TF=テクスチャの最遠点, h =眼の高さ, D =TNまでの観察距離, a =TNからTFまでの長さ, y =求めたいテクスチャ要素の長さ, $k1$ =TFまでの角度, $k2$ =TNまでの角度, $k3$ =TNに接したテクスチャ要素の最遠点までの角度, α =テクスチャ刺激全体(a)の角度, β =TNに接したテクスチャ要素(y)の角度

1.2. 両眼視差

両眼性の奥行き知覚の手がかりとして、両眼視差がある。我々は、水平方向に約 6cm 離れて位置する 2 つの眼を持っている。そのため、両眼で 3 次元対象を観察したとき、両眼に映った対象の網膜像は互いに同一ではなく、水平方向にずれが生じる。このずれが両眼視差と呼ばれており、対象の奥行きに関する手がかりとしてよく知られている。この両眼視差による奥行き知覚が両眼立体視である。図 1.3 に、両眼視差による両眼立体視のしくみを示した。図 1.3 は、左右の眼で注視点 (○) を注視するときの、

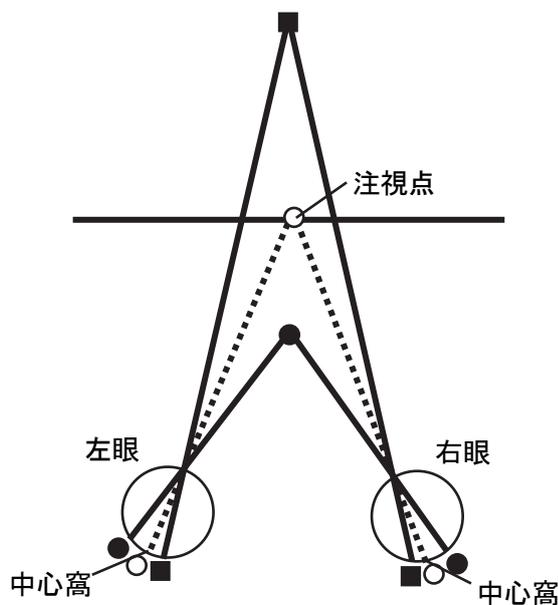


図 1.3 両眼視差による両眼立体視のしくみ

様々な奥行きにある刺激 (●, ■) の網膜像である。注視点 (○) は、中心窩に投影される。注視点 (○) と異なる奥行き面上にある刺激 (●, ■) は、左右網膜の異なる位置に投影され、ゼロ以外の両眼視差を持つ。手前にある刺激 (●) と、奥にある刺激 (■) の両眼視差の方向は逆になり、前者が交差視差、後者が非交差視差である。また、左右眼に投影される対象のずれがどのくらいであるかによって、実際にどれだけ手前に飛び出したり奥に引っ込んだりしているかを計算で算出することが可能である。図 1.4 に、両眼視差と奥行き距離の関係の模式図を示した。a=1/2 視差 (mm), P=1/2 瞳孔間距離 (mm), D=観察距離 (mm), X, Y=左右眼に実際に呈示された点, N=交差視差の場合の知覚される点, F=非交差視差の場合の知覚される点である。交差視差は、右眼に X, 左眼に Y が呈示された場合で、両眼で見ると手前の N 点にあるように知覚される。その奥行き距離(h)を計算式で表すと、 $a:h=P:D-h$ の比より、

$$h = \frac{Da}{P+a} \quad (1.3)$$

となる。非交差視差は、右眼に Y, 左眼に X が呈示された場合で、両眼で見ると奥の F 点にあるように知覚される。奥行き距離(-h)は、 $a:-h=P:D-h$ の比より、

$$-h = \frac{Da}{P-a} \quad (1.4)$$

と表せる。

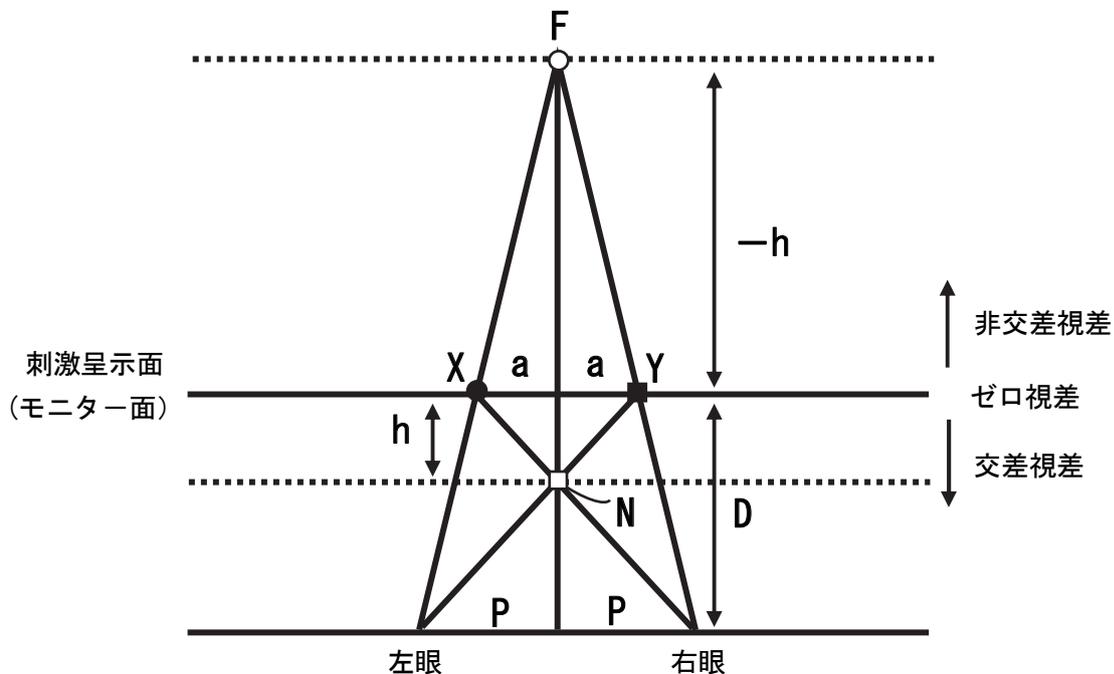


図 1.4 両眼視差と奥行き距離の関係の模式図 (丸尾・久保田 (2012 年) を改変)

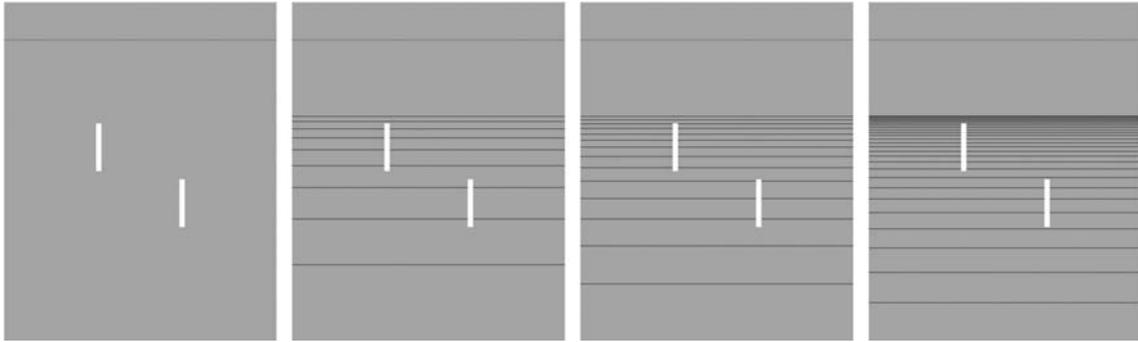


図 1.5 Tozawa (2012) が使用した実験刺激
左からテクスチャ勾配なし，低密度，中密度，高密度条件

1.3. 見えの奥行きと見えの大きさの関係

奥行きによって網膜像の大きさが異なるため、見えの大きさは、見えの奥行きと深い関係がある。Tozawa (2012) は、単眼性の奥行き知覚の手がかりの 1 つであるテクスチャ勾配の密度を変化させ、大きさ知覚に及ぼす影響について測定した。図 1.5 に、Tozawa (2012) が用いたテクスチャ勾配刺激を示す。図の左上に配置された白いバー（標準刺激）の長さと比較して、右下に配置された白いバー（比較刺激）の長さがテクスチャ勾配の違いによってどのように知覚されるかについてマグニチュード推定法で測定した結果、テクスチャの密度が高いほど比較刺激が小さく知覚され、テクスチャ勾配背景による奥行き知覚の影響により大きさの恒常性が示された。

1.4. 単眼性の奥行き知覚の手がかりと両眼性の奥行き知覚の手がかりの情報統合過程

単眼性の手がかりと両眼性の手がかりは処理過程が異なることが知られている。物理的奥行きが存在する場合、両眼性の奥行き知覚の手がかりと単眼性の奥行き知覚の手がかりは、異なる処理過程を経て統合され、一つの整合的な奥行きとして知覚される。異なる奥行き知覚の手がかりに基づく情報の統合過程を調べるためには、3 次元形状の知覚に関わる手がかり間の相互作用について考える必要がある。単眼性の奥行き情報と両眼性の奥行き情報の統合については、2 つの手がかり間に矛盾のある刺激を用いた研究が報告されている。

塩入 (1990) は、両眼視差と単眼性の奥行き知覚の手がかりである陰影を用いて、両者の奥行き情報が一致する刺激（整合刺激）と一致しない刺激（不整合刺激）に対する奥行き知覚の相違を検討し、その結果から、異なる奥行き知覚の手がかり間の情報統合メカニズムについて提唱している。塩入 (1990) の刺激は、陰影輝度分布を含むランダムドットステレオグラムで、両眼視差に関しては、奥行き変化があるサイン面と、奥行きがない平面の 2 種類を用いた。陰影輝度分布は、両眼視差との位相差として 0° から 315° まで 45° おきに 8 条件と、陰影のない条件の計 9 条件であった。位相差 0° とは、陰影による奥行き情報が両眼視差による奥行き情報と一致した条件であった。実験参加者は、サイン面と平面のいずれかの呈示に対し、それがサイン面であるか平面であるかの判断を求められ、判断までにかかった反応時間を測定した。図 1.6 に、塩入 (1990) が使用した不整合刺激例を示した。

図 1.7 には、両眼視差の有 (Sine) 無 (Flat) と陰影輝度分布との位相差が両眼立体視形成時間に及ぼす影響を示した。結果は、陰影輝度分布の位相差が 0° 付近で反応時間が短く、位相差が大きくなるにつれて反応時間が長くなるというものだった。また、陰影の奥行き情報と両眼視差の奥行き情報の整合的な条件では、不整合的な条件に比べて立体視の形成に要する時間が短いことが示された。これらのことから、陰影の持つ奥行きが、両眼立体視の形成時間に影響を及ぼし、両眼立体視の形成過程が陰影の奥行き知覚の手がかりの処理過程と全く独立のものではないことが示された。

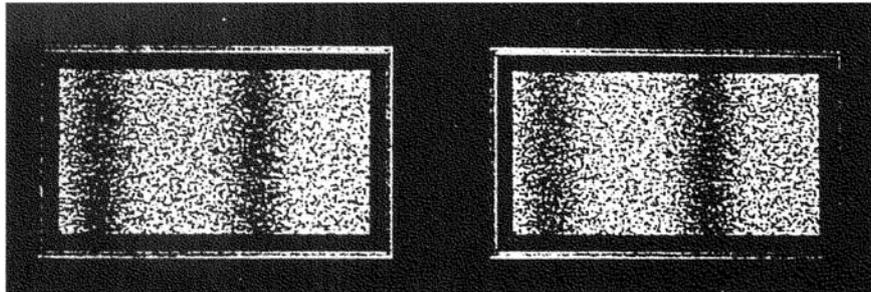


図 1.6 塩入（1990）が使用した陰影輝度分布を持つランダムドットステレオグラム（左：左眼用，右：右眼用）の不整合刺激の例（陰影輝度分布と両眼視差の位相差が 90° の条件）

しかし、単眼性の奥行き情報と両眼性の奥行き情報との統合について示す過去の研究結果は、一定の関係を示すものではなく、両者のいずれかが優位となる場合、両眼性の奥行き情報と単眼性の奥行き情報の加算が行われる場合、両者が独立に処理される場合など、様々な場合があることを示している。金子（2007）は、奥行き知覚の手がかりの統合もしくは相互作用の性質にはいくつかの型があり、加算、平均、優位、協調、分離に分類されるとしている。加算は、各手がかりによる同質の情報が加算されて、全体として手がかりが単独で得られる場合よりも優れたパフォーマンスを示す型、平均は、各手がかりによる連続的で同質な情報が平均化されて、全体として各手がかりからの情報の中間的な知覚となる型、優位は、2つもしくはそれ以上の手がかりによる情報に矛盾があるとき、1つが優位になり他が抑制される型、協調は、ある手がかりが持つ情報の曖昧性を、他の手がかりから得られる情報によって限定する型、分離は、2つもしくはそれ以上の手がかりによる複数の知覚が、同時に起こるもしくは両眼視野闘争のように入れ替わる知覚出力の型であるとしている。塩入（1990）の結果は、両眼視差と陰影の手がかりの統合においては、奥行き情報の加算が行われている可能性を示唆するものと考えられるが、反応時間を指標とした結果であるため、より直接的に検討する必要がある。

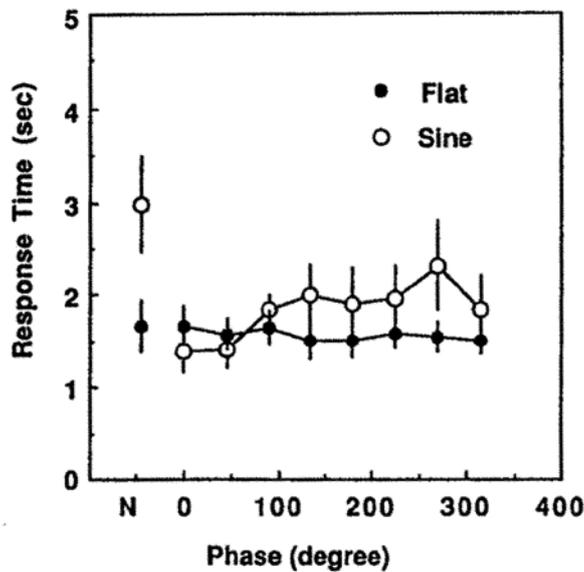


図 1.7 塩入（1990）による両眼視差の有（Sine）無（Flat）と陰影輝度分布との位相差が両眼立体視形成時間に及ぼす影響

1.6. 問題提起

単眼性の奥行き知覚の手がかりと両眼性の奥行き知覚の手がかりの情報統合について、塩入（1990）は、陰影輝度分布の位相が両眼視差と整合的な条件と、不整合的な条件で奥行きの判断時間を測定し、それらの比較から陰影の奥行き情報の両眼立体視形成への影響を調べた。しかし、塩入（1990）の実験では、陰影による見えの奥行きと両眼視差による見えの奥行きが一致しておらず、見えの奥行きがそもそも異なるのではないかということが考えられた。単眼性と両眼性の奥行き知覚の手がかりの情報統合過程を調べる上で、各々の手がかりが奥行き知覚におよぼす効果について強度が等しくなければ、直接的に奥行き情報の統合過程を調べることはできないと考えられる。

そこで本研究では、実験 1 で単眼性の手がかりによる見えの奥行きと両眼性の手がかりによる見えの奥行きが主観的に一致する主観的等価点を調整法によって測定し、手がかり間の主観的な見えの奥行きをそろえた上で、その結果をもとに実験 2 で手がかり間の奥行き情報の統合過程について検討する。両眼性の奥行き知覚の手がかりとしては両眼視差、単眼性の奥行き知覚の手がかりとしてはテクスチャ勾配を用い、2つの奥行き知覚の手がかりを組み合わせさせた条件で、対象の見えの奥行きについて測定する。塩入（1990）は、奥行きの判断時間を測定することによってその統合について検討したが、見えの奥行きについては測定していない。そこで本研究では、マグニチュード推定法を用いて、知覚内容、すなわち奥に知覚されたのかそれとも手前に知覚されたのか、さらにはその見えの奥行きがどの程度であったかを測定し、テクスチャ勾配と両眼視差の奥行き知覚への影響をより直接的に検討する。その際、Tozawa（2012）と同様、見えの大きさについてもマグニチュード推定法によって測定し、見えの奥行きと見えの大きさの関係についても考察する。また、塩入（1990）の実験で、図 1.7 に示されるように、2つの手がかり間の奥行き方向が矛盾した場合に、奥行き判断時間が長くなるという結果が示されたため、刺激の呈示時間が奥行き知覚に影響を及ぼす可能性が考えられた。そこで、テクスチャ勾配と両眼視差に加えて呈示時間条件を設定し、検討する。

2. 実験 1

2.1. 目的

奥行き知覚の手がかりの種類によって、知覚される奥行きに差があるか否かを検討するために、テクスチャ勾配によって得られる奥行き知覚量と、両眼視差によって得られる奥行き知覚量の主観的等価点を調整法によって求め、両者の奥行き知覚の手がかりとしての相対的強度を比較する。

2.2. 方法

1) 実験参加者：視力正常または矯正正常（1.0 以上）で、立体視力正常（40～60 秒）の大学生女子 3 名（平均年齢 21.3 歳，SD=0.4）。

2) 刺激・装置：実体鏡（SOKKIA 製反射式実体鏡（MS16））を刺激呈示面観察用に改造した実体鏡観察装置を用いた。図 2.1 に実験で使用した実体鏡を、図 2.2 に実体鏡で刺激呈示面に呈示された刺激を観察する装置の模式図を示した。実体鏡観察装置は、刺激呈示面（モニター面）に呈示した刺激を両眼分離できるよう作成されたもので、黒いボードによって刺激呈示面を箱で覆い、箱の中央を縦に仕切ることにより左右眼の視野を分離した。

刺激は Microsoft Office Power Point（2013）で作成し、高さ 33cm×幅 52cm（視角にして高さ 33°×幅 52°）のモニター（EIZO Flex Scan SX2462W）に呈示した。標準刺激には、テクスチャ勾配手がかり（図 2.3 の上）を使用し、比較刺激には、両眼視差手がかり（図 2.3 の下）を使用した。標準刺激と比較刺激の背景はともに黒背景（0.17cd/m²）であった。標準刺激のテクスチャ勾配は、直径 2cm（2°）

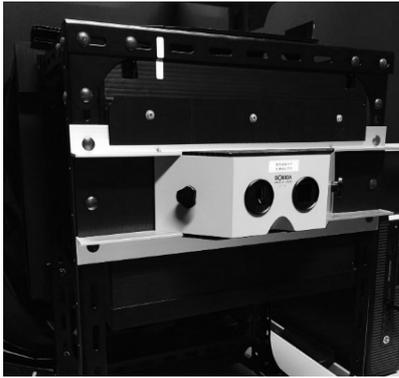


図 2.1 実験で使用した実体鏡

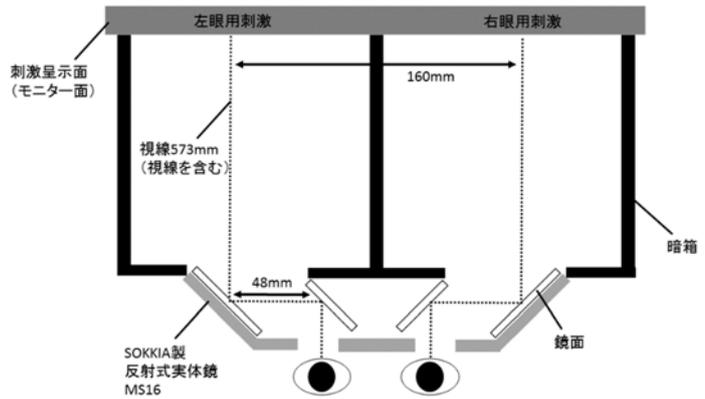
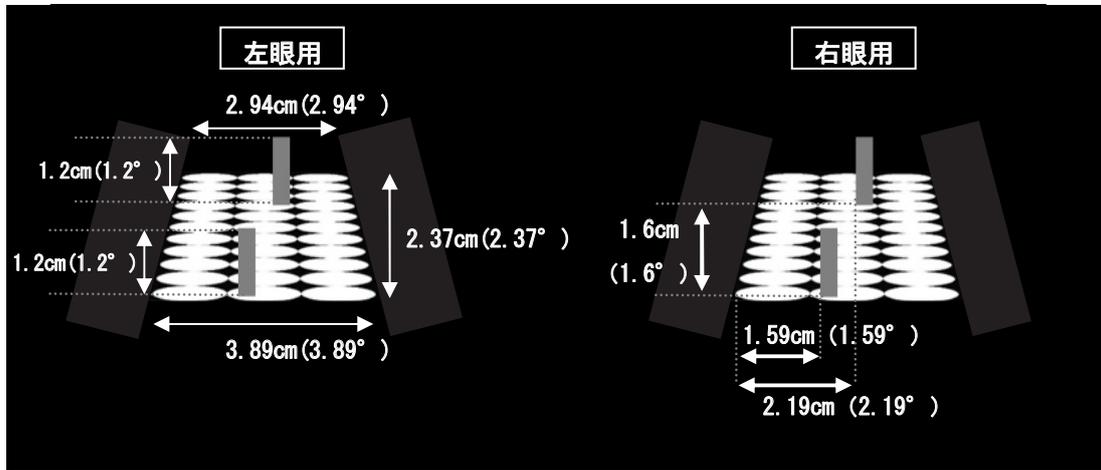


図 2.2 実体鏡観察装置の模式図

標準刺激 (テクスチャ勾配)



比較刺激 (両眼視差)

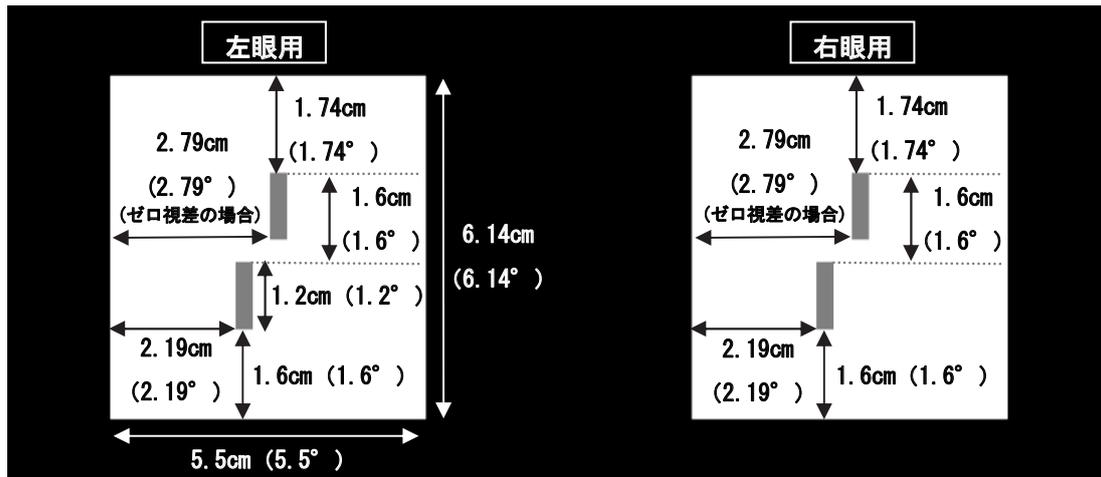


図 2.3 実験 1 で使用した標準刺激及び比較刺激 (カッコ内は視角)

の円が高さ 22cm×幅 6cm (22° ×6°) の矩形内に規則正しく配列したテクスチャを水平にして、眼の高さ 10cm, 視距離 57.3cm から観察した場合の網膜像に対応する投影像で、式 (1.1), 式 (1.2) により Adobe Photoshop (CC2014) で作成したものを使用した。図 2.4 に、実験で使用した刺激のもとに

なったテクスチャ刺激を，図 2.5 に，図 2.4 からテクスチャの投影像を得る物理的な奥行き配置の模式図を示した。また，図 2.6 に，図 2.5 の配置による投影像であるテクスチャ勾配刺激を示した。このテクスチャ勾配刺激に 2 本のバーを配置し，下端（一番手前の円の中央）を下のバー，下から 1.6cm (1.6°) ; 手前から 8 つ目の円の中央) を上のバーとした。いずれのバーも高さ 1.2cm×幅 0.3cm (1.2° ×0.3°) の灰色 (11.75cd/m²) の長方形のバーであった。図 2.6 の 2 本のバーのうち，下のバーは図 2.5 で TN(0cm)，上のバーは TN から 15cm の奥行きに相当し，下のバーの奥行きは 0 分，上のバーの奥行きは図 1.4 の式 (1.4) により，-1.21 度，すなわち-72.67 分の非交差視差に相当した。

比較刺激は，図 2.3 に示すように，標準刺激と同じ高さ・幅の灰色の長方形のバーを 2 本用い，上のバーの位置を左右に変化させて両眼視差を与えた。両眼視差は，式 (1.3)，式 (1.4) に基づき作成した。下のバーは常に標準刺激と同じ位置（ゼロ視差）に配置されたが，上のバーはゼロ視差の条件でのみ標準刺激と同じ位置に配置され，交差視差・非交差視差条件では右眼用刺激と左眼用刺激で左右の位置が異なって配置された。2 本のバーは高さ 6.14cm×幅 5.5cm (6.14° ×5.5°) の白背景 (51.27cd/m²) 上に配置した。

比較刺激の両眼視差は，ゼロ視差の場合，物理的には図 2.5 の TN (0cm)，すなわち刺激呈示面上の奥行きであり，交差視差では刺激呈示面の手前の奥行きで，図の右方向への視差，非交差視差では刺激呈示面の奥の奥行きで，図の左方向への視差に相当し，上のバーは TN から 15cm 奥であったため，非交差視差-1.21 度，すなわち-72.67 分であった (式 1.4 の $-h = \frac{Da}{p-a}$ 参照)。標準刺激であるテクスチャ勾配上の 2 本のバーは，0cm と 15cm の位置に置かれていたため，テクスチャの実際の奥行き距離と，比較刺激である両眼視差による奥行き距離が一致した場合は，どちらも 15cm 奥に引っ込んでいるように見えるはずであった。すなわち，テクスチャ勾配の実際の奥行き距離と両眼視差の奥行き距離が理論的に一致した場合は，比較刺激の視差は-72.67 分になると考えられた。

3) 手続き：刺激呈示面から 15cm 奥の投影面，すなわち-72.67 分の両眼視差に理論的に対応するテクスチャ勾配刺激の主観的両眼視差量を求めた。観察距離 57.3cm になるように実体鏡観察装置をセットし，左右眼の融像を確認した後，まず標準刺激であるテクスチャ勾配刺激を呈示した。実験参加者には 2 本のバーの奥行きを記憶するよう教示し，記憶したとの報告に基づき，標準刺激の呈示を終了した。続いて比較刺激である両眼視差刺激を呈示し，実験者調整法により 2 本のバーのうち上に配置されたバーの奥行きを 1.2 分ずつ変化させ，標準刺激の奥行きと等しいと感じたところを答えさせた。標準刺激の奥行きより明らかに手前に飛び出して見えるところから少しずつ奥に引っ込んで見えるように視差を変化させる下降系列と，標準刺激の奥行きより明らかに奥に引っ込んで見えるところから少しずつ手前に飛び出して見えるよう視差を変化させる上昇系列をそれぞれ 10 試行行った。

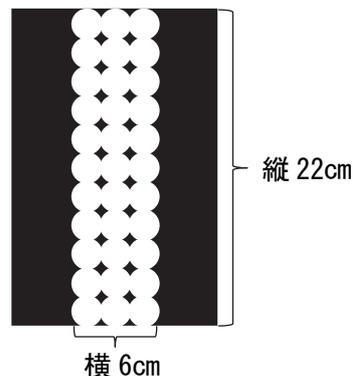


図 2.4 実験で使った刺激のもとになったテクスチャ刺激

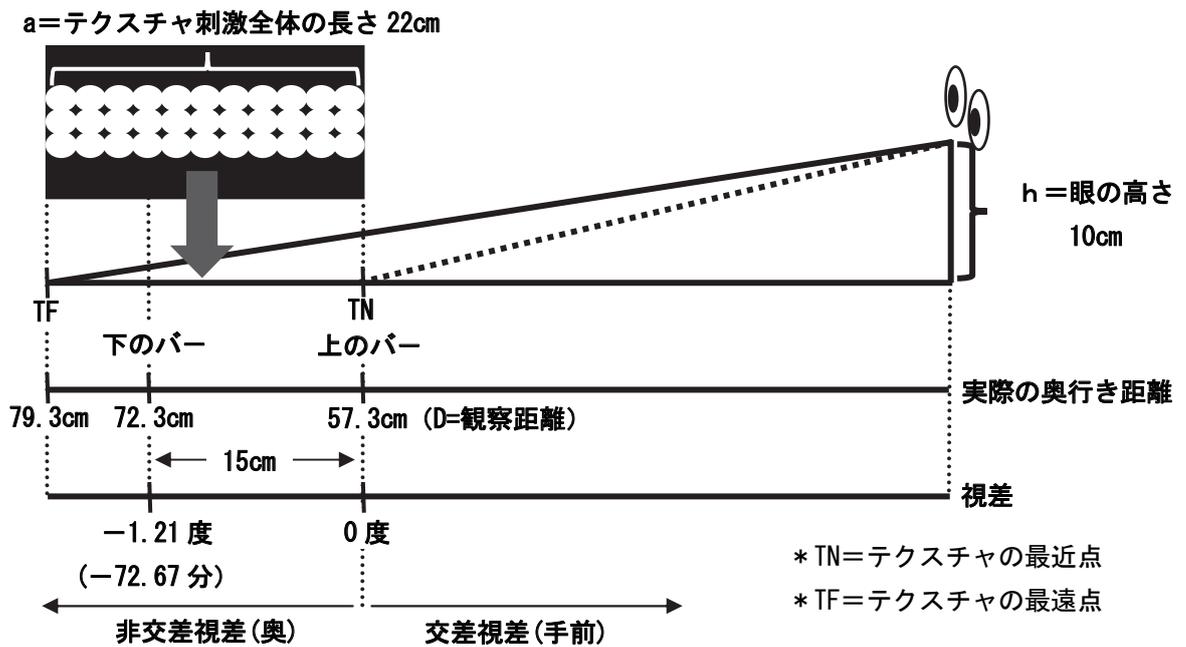


図 2.5 テクスチャ勾配刺激の投影像を得る配置の模式図

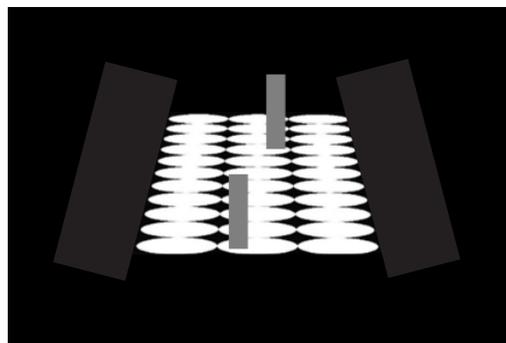


図 2.6 図 2.4 のテクスチャ刺激を図 2.5 の配置で観察したときのテクスチャ勾配刺激

2.3. 結果

図 2.7 に、実験参加者 3 名の両眼視差 -72.67 分に理論的に対応するテクスチャ勾配刺激の主観的両眼視差量を示した。図の縦軸は、テクスチャ勾配と主観的な見えの奥行きが等しい視差を示す。交差視差をプラス、非交差視差をマイナスとした場合、実験参加者平均で視差 -18 分、すなわち刺激呈示面より物理的に 3cm 奥に引っ込んだところでテクスチャ勾配の奥行きと主観的に一致するという結果であった。2.2 で述べたように、テクスチャ勾配刺激の中に配置された 2 本のバーの奥行きは実際には 15cm に相当するため、図 1.4 の模式図による計算式から理論値を算出すると、視差 -72.67 分でテクスチャ勾配と両眼視差の奥行きが一致するはずであったが、約 4 分の 1 の -18 分で一致した。

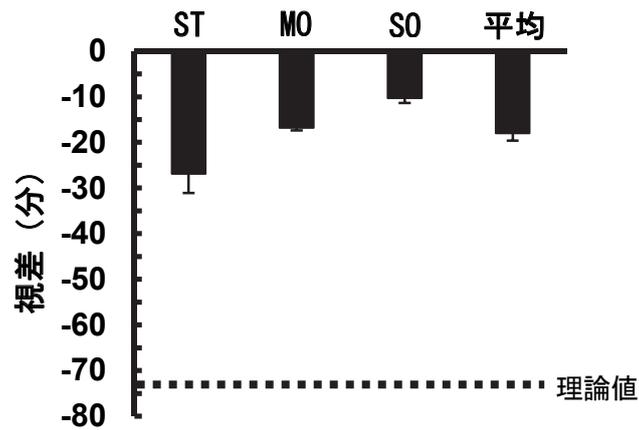


図 2.7 実験参加者 3 名のテクスチャ勾配刺激（両眼視差 -72.67 分に理論的に対応）に対する主観的両眼視差量（理論値はテクスチャ勾配による 15cm の奥行きと両眼視差による奥行きが理論的に一致する視差 -72.67 分である。）

2.4. 考察

テクスチャ勾配による奥行きと、両眼視差による奥行きの主観的等価点を求めたところ、テクスチャ勾配は刺激呈示面から最大 15cm の奥行きを投影したものであるため、理論的には視差 -72.67 分で一致しなければならないが、視差平均 -18 分で一致した。テクスチャ勾配が理論的に対応する両眼視差より少ない視差で見えの奥行きが一致したことから、テクスチャ勾配手がかりによる見えの奥行きの方が相対的に小さいことが示唆された。テクスチャ勾配は、過去の経験や知識などが奥行きの推測に影響するため、奥行き距離の判断にノイズが生じやすいと考えられる。また、テクスチャ勾配の場合、周りに他の奥行き手がかりがあったり、テクスチャ刺激までの距離がある程度判断できる場合には、それらから見えの奥行きを推測することはできるが、本研究では周りに他の手がかりがなく、さらに実体鏡観察装置は暗箱になっていたため、眼からモニターまでの距離を判断することは難しく、結果的に過小評価につながったのではないかと考える。また、Tozawa (2012) によれば、テクスチャ勾配による奥行き知覚は、テクスチャの密度やテクスチャ要素の大きさによって影響され、物理的な奥行き関係の等しいテクスチャ勾配でも、密度が高い場合にはより奥に知覚され、見えの奥行きが増加することが報告されている。本研究では、テクスチャ要素の大きさが大きく、密度が低かったために、テクスチャ勾配による見えの奥行きが減少した可能性も考えられる。

3. 実験 2

3.1. 目的

実験 1 の結果に基づき、単眼性の奥行き知覚の手がかりであるテクスチャ勾配と両眼性の奥行き知覚の手がかりである両眼視差の主観的な見えの奥行きをそろえた上で、実験 2 では、両者の手がかり間の情報統合について検討する。塩入 (1990) の実験では、陰影と両眼視差の 2 つの奥行き知覚の手がかり間の関係について、奥行き判断に要する時間により検討したが、見えの奥行きについては測定していない。本研究では、テクスチャ勾配と両眼視差の 2 つの手がかりの関係について、見えの奥行きを測定することにより直接的に検討する。本研究では、実験 1 で用いた刺激呈示面より奥に知覚されるテクスチャ勾配刺激に加えて、刺激呈示面上や刺激呈示面より手前に知覚されるテクスチャ勾配条件を設定し、非交差視差、ゼロ視差、交差視差による両眼視差条件と比較する。また、塩入 (1990) の実験で、2 つ

の手がかり間の奥行き方向が矛盾した場合に、奥行き判断時間が長くなるという結果が示されたことから、刺激の呈示時間が奥行き知覚に影響を及ぼす可能性が考えられた。そこで呈示時間についても設定し、テクスチャ勾配、両眼視差、呈示時間による見えの奥行きの変化についてマグニチュード推定法により測定する。さらに見えの奥行きと見えの大きさの関係についても検討するため、見えの大きさについても測定する。

3.2. 方法

1) 実験参加者：視力正常または矯正正常（1.0 以上）で、立体視力正常（40～60 秒）の大学生女子 3 名（平均年齢 21.3 歳，SD=0.4）。

2) 刺激・装置：実験 1 と同様のモニターと実体鏡観察装置を使用した。テクスチャ勾配刺激は、直径 2cm (2°) の円が高さ 16cm×幅 6cm (16° ×6°) の矩形内に規則正しく配列したテクスチャを水平にして、眼の高さ 10cm，視距離 57.3cm から観察した場合の網膜像に対応する投影像で、Adobe Photoshop で作成したものを使用した。これをテクスチャ勾配あり条件とした。テクスチャ勾配あり条件は、テクスチャ勾配刺激下端が刺激呈示面上で理論上 0 分の視差に対応し、テクスチャ勾配刺激上端の奥行きが実験 1 のテクスチャ勾配刺激と同様、理論上の -72.67 分の非交差視差に対応する条件であった。テクスチャ勾配なし条件は、テクスチャ勾配あり条件刺激の中心の円と同じ大きさの円のみを配列したものであった。テクスチャ勾配逆条件は、テクスチャ勾配あり条件の刺激を 180 度回転させたもので、テクスチャ勾配刺激上端の奥行きが理論上 +72.67 分の交差視差に対応する条件であった。これらのテクスチャ勾配刺激に段階的に視差をつけることによりテクスチャ勾配と両眼視差を組み合わせ、テクスチャ勾配刺激の下端が視差 0 分，上端が各視差条件になるようにした。標準刺激は、実験 1 で求めたテクスチャ勾配と両眼視差による奥行きの主観的等価点の平均である視差 -18 分を用い、視差 -18 分とテクスチャ勾配あり条件とを組み合わせた刺激であった。比較刺激は、テクスチャ勾配 3 条件と、視差 -18 分を含む両眼視差 7 条件（-36 分，-18 分，-9 分，0 分，9 分，18 分，36 分）をそれぞれ組み合わせた刺激で、計 21 刺激用いた。図 3.1 に見えの奥行き測定で用いた標準刺激の例を、図 3.2 に比較刺激の例を示した。

見えの大きさの測定には、実験 1 と同様の高さ 1.2cm×幅 0.3cm の灰色 (11.75cd/m²) のバーを用いた。バーはテクスチャ勾配刺激の上端のテクスチャに配置した。図 3.3 に、見えの大きさの測定で使用した刺激例を示した。図 3.3 は、テクスチャ勾配ありと視差 -18 分を組み合わせたものにバーを配置した例である。



図 3.1 見えの奥行き測定で用いた標準刺激の例
(テクスチャ勾配あり，視差 -18 分)

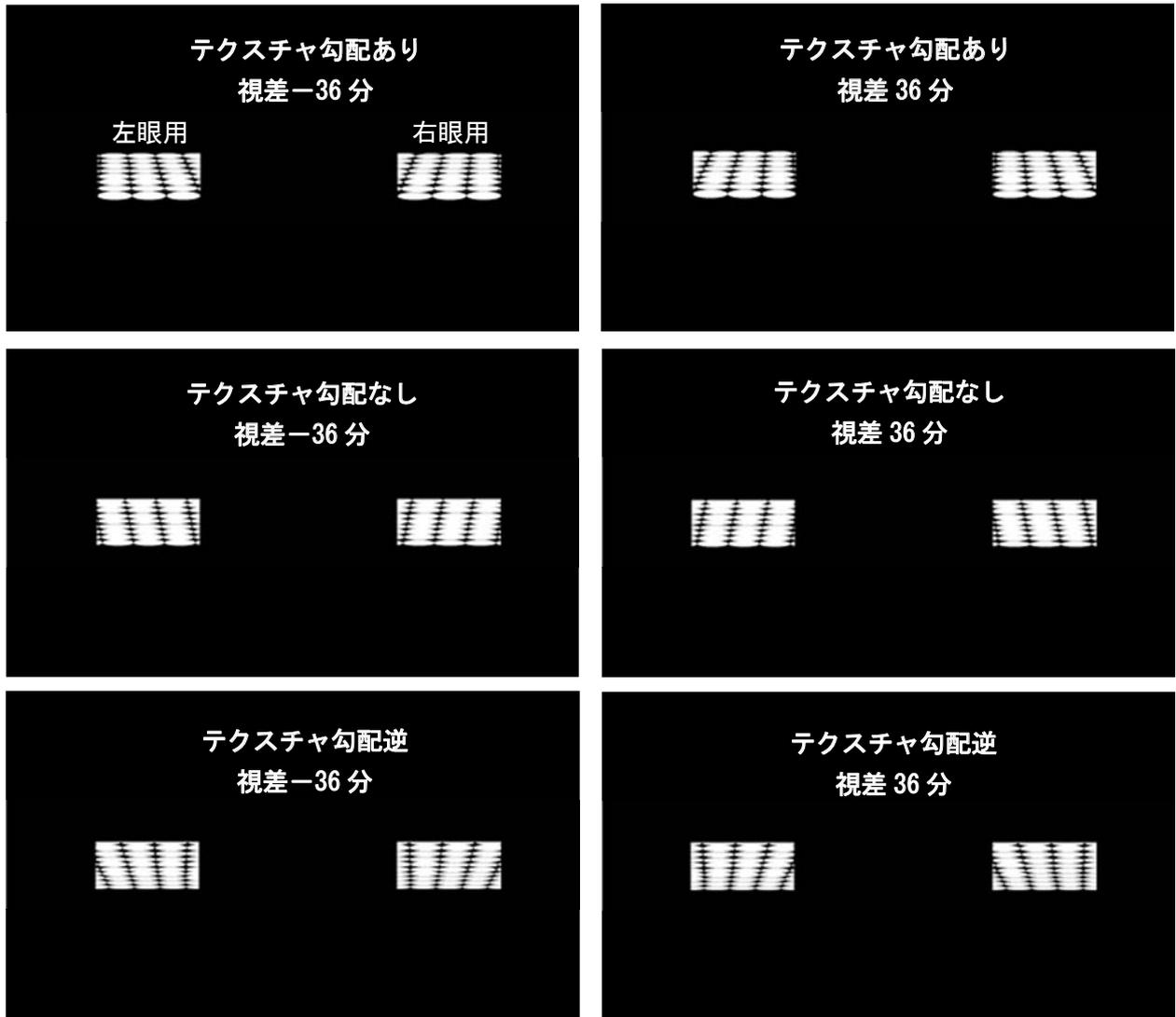


図 3.2 見えの奥行き測定で用いた比較刺激の例
(視差-36分, 36分)



図 3.3 見えの大きさ測定で用いた刺激例 (標準刺激, 比較刺激)

3) 実験条件: テクスチャ勾配 3 条件 (テクスチャ勾配あり, テクスチャ勾配なし, テクスチャ勾配逆), 両眼視差 7 条件 (-36 分, -18 分, -9 分, 0 分, 9 分, 18 分, 36 分), 呈示時間 3 条件 (1 秒, 5 秒, 25 秒) の計 63 条件を設定した。本研究では, テクスチャ勾配刺激の上端の視差が-36 分, -18 分, -9 分の条件を非交差視差 (奥), 9 分, 18 分, 36 分の条件を交差視差 (手前) とした。テクスチャ勾配あり条件では, 上端は奥, テクスチャ勾配逆条件では上端は手前としたため, テクスチャ勾配あり条件と非交差視差条件, テクスチャ勾配逆条件と交差視差条件の組み合わせが, テクスチャ勾配と両眼視差の奥行き方向が一致した整合的条件であった。一方, 不整合的条件は, テクスチャ勾配と両眼視差の奥行き方向が矛盾した条件で, テクスチャ勾配あり条件と交差視差条件, テクスチャ勾配逆条件と非交差視差条件の組み合わせであった。

4) 手続き: 刺激は Super Lab(5.0)で呈示した。観察距離 57.3cm になるよう実体鏡をセットし, 左右眼の像の融像を確認した上で実験を行った。見えの奥行き測定では, 標準刺激のテクスチャ勾配刺激下端の見えの奥行きを 0, テクスチャ勾配刺激上端の見えの奥行きを 100 としたときの比較刺激の見えの奥行きをマグニチュード推定法によって測定した。まず標準刺激を 3 秒間呈示し, 見えの奥行きを記憶させ, 次に比較刺激を呈示した。標準刺激と比較刺激の間には, テクスチャ勾配なし条件と視差なし条件を組み合わせた刺激を呈示し, 実験参加者の準備が整ったらボタンによって比較刺激の呈示を開始した。テクスチャ勾配条件 3 条件×両眼視差条件 7 条件の計 21 試行をランダムな順に呈示し, これを 4 回繰り返した (1 ブロック)。呈示時間については, ブロックごとに 1 秒, 5 秒, 25 秒の順に測定した。測定の前には練習試行を 3 回行った。適宜休憩を挟みながら, テクスチャ勾配条件 3 条件×両眼視差条件 7 条件×呈示時間条件 3 条件の計 63 試行を行った。図 3.4 に, 実験の 1 試行における時間的推移を示した。

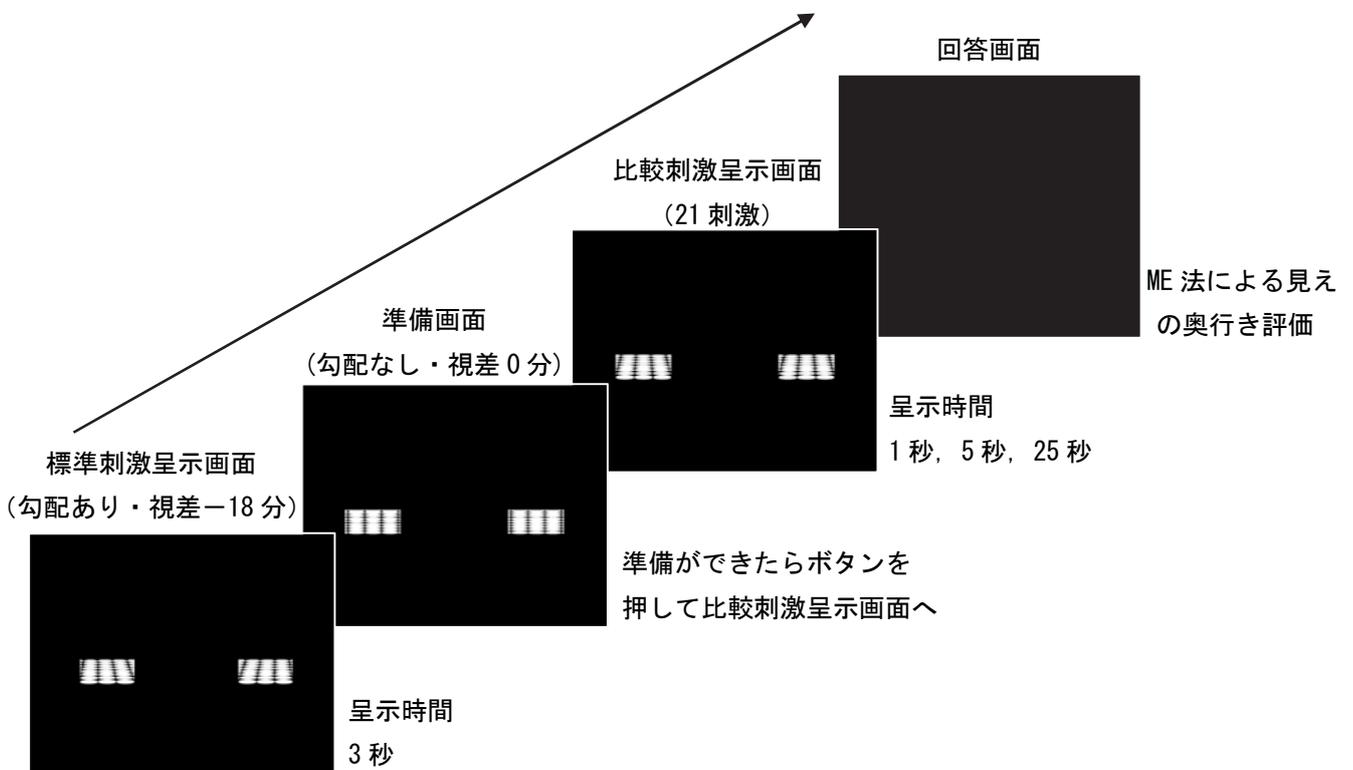


図 3.4 実験の 1 試行における時間的推移

見えの奥行きの測定に引き続いて見えの大きさの測定を行った。見えの大きさの測定では、標準刺激のテクスチャ勾配刺激の上に配置された灰色のバーの大きさを 100 とし、比較刺激のバーの大きさをマグニチュード推定法によって測定した。その他の手続きは見えの奥行きの測定と同様であった。刺激を同時呈示することによって知覚以外の手がかりによって評定されることを防ぐため、見えの奥行き、見えの大きさともに標準刺激と比較刺激は継時的に呈示した。

3.3. 結果

3.3.1 見えの奥行きの結果

まず見えの奥行きについての結果を示す。標準刺激は非交差視差（-18 分）で、これを 100 として測定したため、比較刺激の見えの奥行きは、奥に知覚された場合がプラス、手前に知覚された場合がマイナスとなった。視差条件で、-36 分、-18 分、-9 分のようにマイナス表記してあるものは非交差視差、9 分、18 分、36 分のようにプラス表記してあるものは交差視差であるため、視差と見えの奥行きの符号が逆になる。そこで、すべての見えの奥行きのデータについて、プラスマイナスを逆にして標準刺激を -100 とし、奥に知覚された場合をマイナス、手前に知覚された場合をプラスとして、理論的に視差と見えの奥行きの符号が一致するように変換した。実験参加者 3 名の変換データに対して、実験参加者ごとに SPSS によるテクスチャ勾配×視差×呈示時間の 3 元配置分散分析を行った。多重比較と交互作用の検定には Bonferroni の方法を用いた。

テクスチャ勾配の主効果について、すべての実験参加者に有意差が認められた ($F(2,189) = 755.287, p < .001$ (実験参加者 SO), $F(2,189) = 1424.359, p < .001$ (実験参加者 ST), $F(2,189) = 291.237, p < .001$ (実験参加者 MO))。多重比較の結果、すべての条件間に有意差が認められ、テクスチャ勾配あり、なし、逆の順に見えの奥行きが増加した ($p < .001$)。図 3.5 に、実験参加者 3 名のテクスチャ勾配の主効果を示した。テクスチャ勾配あり条件ではマイナス方向 (実験参加者 3 名の平均 -57)、すなわち奥に知覚され、テクスチャ勾配なし条件ではほとんど奥行きを知覚しなかった (平均 7)。テクスチャ勾配逆条件ではプラス方向 (平均 57)、すなわち手前に知覚された。

視差の主効果についても、すべての実験参加者に有意差が認められた ($F(6,189) = 100.805, p < .001$ (実験参加者 SO), $F(6,189) = 155.925, p < .001$ (実験参加者 ST), $F(6,189) = 144.2, p < .001$ (実験参加者 MO))。図 3.6 に、実験参加者 3 名の視差の主効果を示した。図 3.6 より、見えの奥行きは視差 -36 分で 3 名の平均 -43、36 分で平均 65 となり、どの実験参加者でも、非交差視差から交差視差になるにつれて見えの奥行きが増加することが示された。視差 0 分から 9 分付近で奥行きが 0 となり、それよりプ

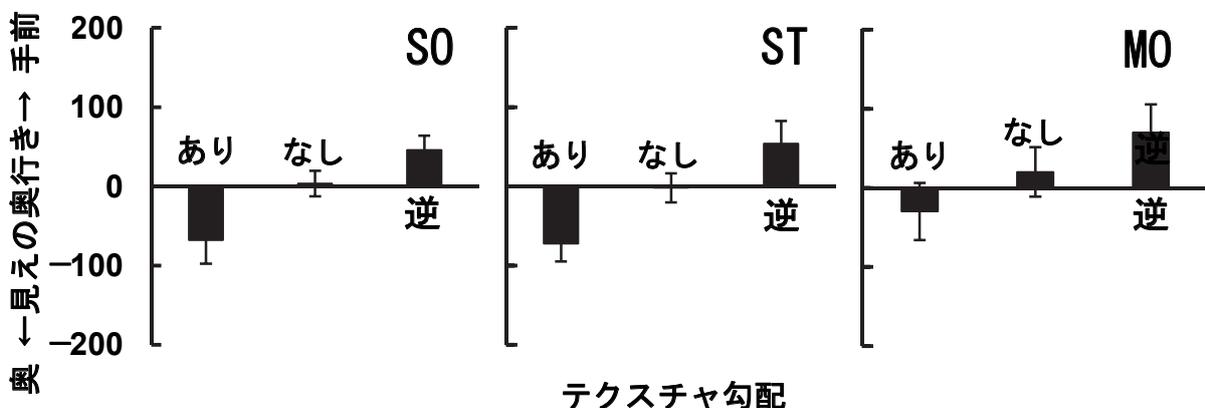


図 3.5 実験参加者 3 名の各テクスチャ勾配条件における見えの奥行き (ME 値)

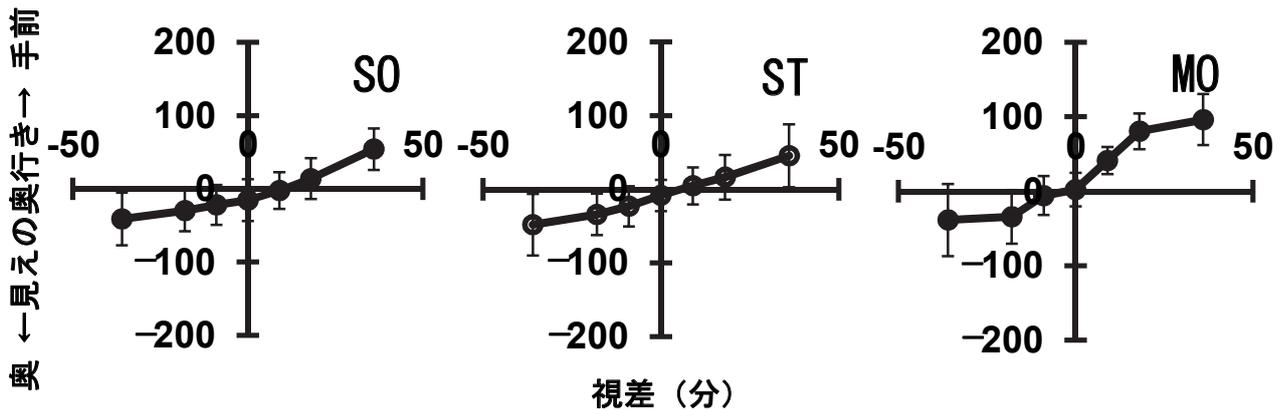


図 3.6 実験参加者 3 名の両眼視差に伴う見えの奥行き (ME 値) の変化

ラス方向 (交差視差) に視差が大きくなると手前に知覚され, マイナス方向 (非交差視差) に視差が大きくなると奥に知覚された。多重比較の結果, -18 分と 0 分, 9 分, 18 分, 36 分のように 2 つの条件間の視差が 18 分以上の場合に有意差が認められた ($p < .01$)。全体の傾向としては, -36 分, -18 分, -9 分, 0 分, 9 分, 18 分, 36 分の順に見えの奥行きが増加した。

テクスチャ勾配と視差の交互作用について, すべての実験参加者に有意差が認められた ($F(12,189) = 8.232, p < .001$ (実験参加者 SO), $F(12,189) = 10.966, p < .001$ (実験参加者 ST), $F(12,189) = 4.57, p < .001$ (実験参加者 MO))。図 3.7 に, 実験参加者 3 名の各テクスチャ勾配条件における両眼視差に伴う見えの奥行き (ME 値) の変化を示した。どのテクスチャ勾配条件でも, 視差の増大に伴い見えの奥行きは増加する傾向を示したが, 多重比較の結果, テクスチャ勾配逆条件では, 非交差視差条件で視差の効果が認められなかった。テクスチャ勾配逆条件と非交差視差条件の組み合わせは, テクスチャ勾配と両眼視差の奥行き方向が矛盾した不整合的条件であるが, 同じ不整合的条件であるテクスチャ勾配あり条件と交差視差条件の組み合わせでは, 視差の効果が認められたため, 視差の効果が認められなかったのは, 奥行き手がかり間の整合性だけではないことが示された。また, テクスチャ勾配あり条件の単独の見えの奥行き (テクスチャ勾配ありで視差 0 分) は, 実験参加者 SO で -87.50, 実験参加者 ST で -59.16, 実験参加者 MO で -38.75, 実験参加者の平均 -62 であった。一方, 視差 -18 分条件単独の見えの奥行き (テクスチャ勾配なしで視差 -18 分) は実験参加者 SO で -8.75, 実験参加者 ST で -27.5, 実験参加者 MO で -23.75, 実験参加者の平均 -20 であり, 視差による見えの奥行きはテクスチャ勾配による

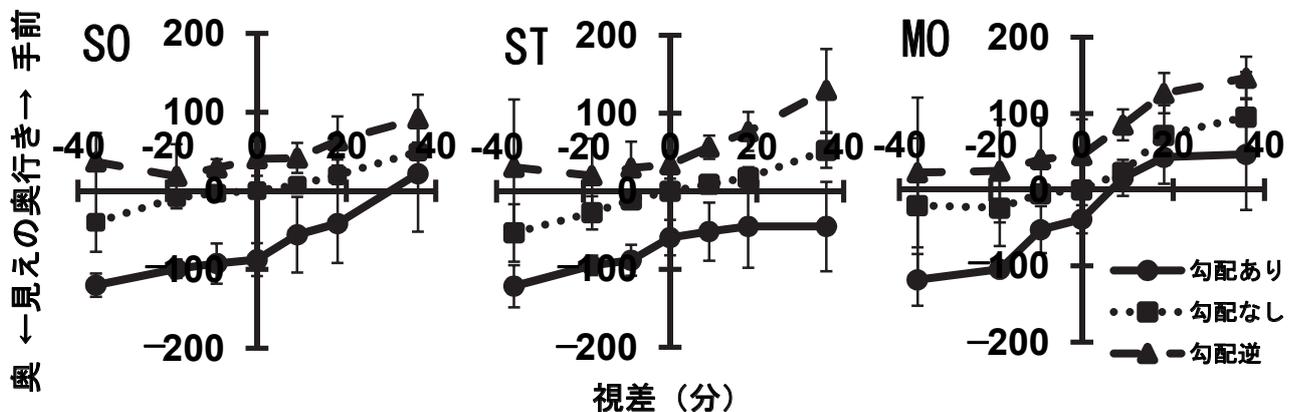


図 3.7 実験参加者 3 名の各テクスチャ勾配条件における両眼視差に伴う見えの奥行き (ME 値) の変化

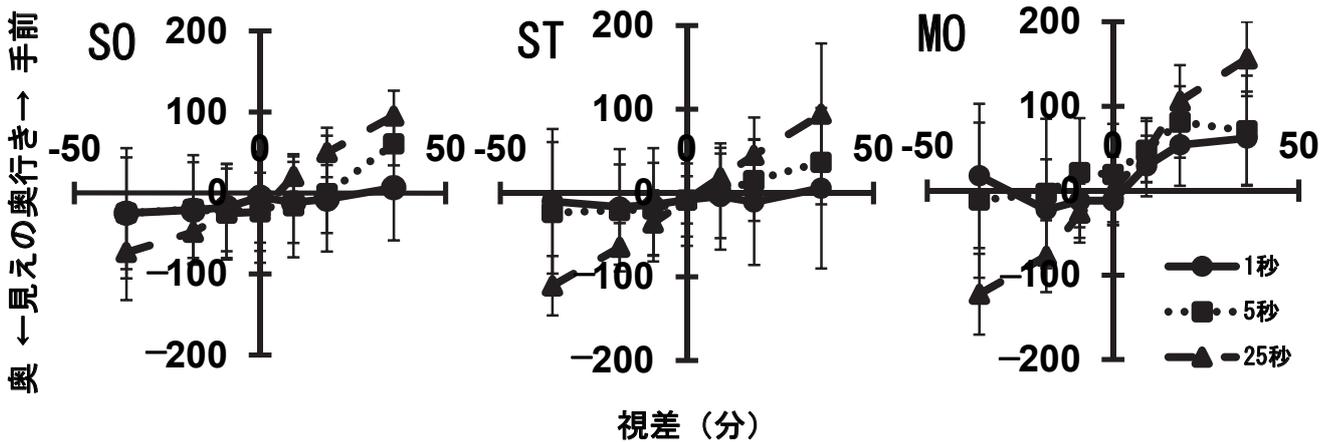


図 3.8 実験参加者 3 名の各呈示時間条件における両眼視差に伴う見えの奥行き (ME 値) の変化

見えの奥行きの約 3 分の 1 であった。テクスチャ勾配あり条件と視差 -18 分条件を組み合わせさせた条件、すなわち標準刺激 (-100) と同じ条件の見えの奥行きは、どの実験参加者でも -100 であった。

呈示時間の主効果についても、すべての実験参加者に有意差が認められた ($F(2,189) = 6.923, p < .01$ (実験参加者 SO), $F(2,189) = 3.989, p < .05$ (実験参加者 ST), $F(2,189) = 13.602, p < .001$ (実験参加者 MO))。しかし、多重比較の結果、呈示時間と見えの奥行きの間に 3 名の実験参加者間で共通した傾向は認められなかった。実験参加者 SO では 25 秒より 1 秒で ($p < .01$), 実験参加者 ST では 5 秒より 25 秒で ($p < .05$), 実験参加者 MO では 5 秒より 1 秒 ($p < .01$), 25 秒 ($p < .001$) で見えの奥行きが減少した。

視差と呈示時間の交互作用について、すべての実験参加者に有意差が認められた ($F(12,189) = 23.338, p < .001$ (実験参加者 SO), $F(12,189) = 56.833, p < .001$ (実験参加者 ST), $F(12,189) = 29, p < .001$ (実験参加者 MO))。図 3.8 に、実験参加者 3 名の各呈示時間条件における両眼視差に伴う見えの奥行き (ME 値) の変化を示した。多重比較の結果、呈示時間が 1 秒では、いずれの実験参加者においても 36 分と -36 分, -18 分, -9 分の条件間に有意差が認められ ($p < .05$), いずれも交差視差 36 分と比較して非交差視差で有意に奥に知覚されることが示された。呈示時間が 5 秒では、いずれの実験参加者においても、交差視差条件・非交差視差条件間に加えて、交差視差条件内にも有意差が認められたが (36 分と 9 分以下, 18 分と -9 分以下), 非交差視差条件間では有意差は認められなかった。一方、呈示時間が 25 秒では、実験参加者 SO の視差 0 分と -9 分の間を除いたすべての条件間に有意差が認められ ($p < .05$), 交差視差, 非交差視差ともに視差が大きくなるほど見えの奥行きが増加した。また、視差 -36 分, -18 分, 18 分, 36 分では、呈示時間が 1 秒や 5 秒と比較して、25 秒のとき見えの奥行きの絶対値が有意に大きくなり、視差の増大に伴い見えの奥行きが増加した。

テクスチャ勾配×視差×呈示時間の交互作用について、すべての実験参加者に有意差が認められた ($F(24,189) = 3.039, p < .001$ (実験参加者 SO), $F(24,189) = 7.463, p < .001$ (実験参加者 ST), $F(24,189) = 3.292, p < .001$ (実験参加者 MO))。図 3.9 に、実験参加者 3 名のテクスチャ勾配条件ごとの各呈示時間条件における両眼視差に伴う見えの奥行き (ME 値) の変化を示した。テクスチャ勾配あり条件で非交差視差条件の整合的条件では、呈示時間の効果はみられず、呈示時間が変化しても見えの奥行きに影響を及ぼさなかった。一方、テクスチャ勾配逆条件で交差視差条件の整合的条件、及びテクスチャ勾配あり条件で交差視差条件、またはテクスチャ勾配逆条件で非交差視差条件の不整合的条件では、呈示時間の増大に伴い視差による効果が増加した。

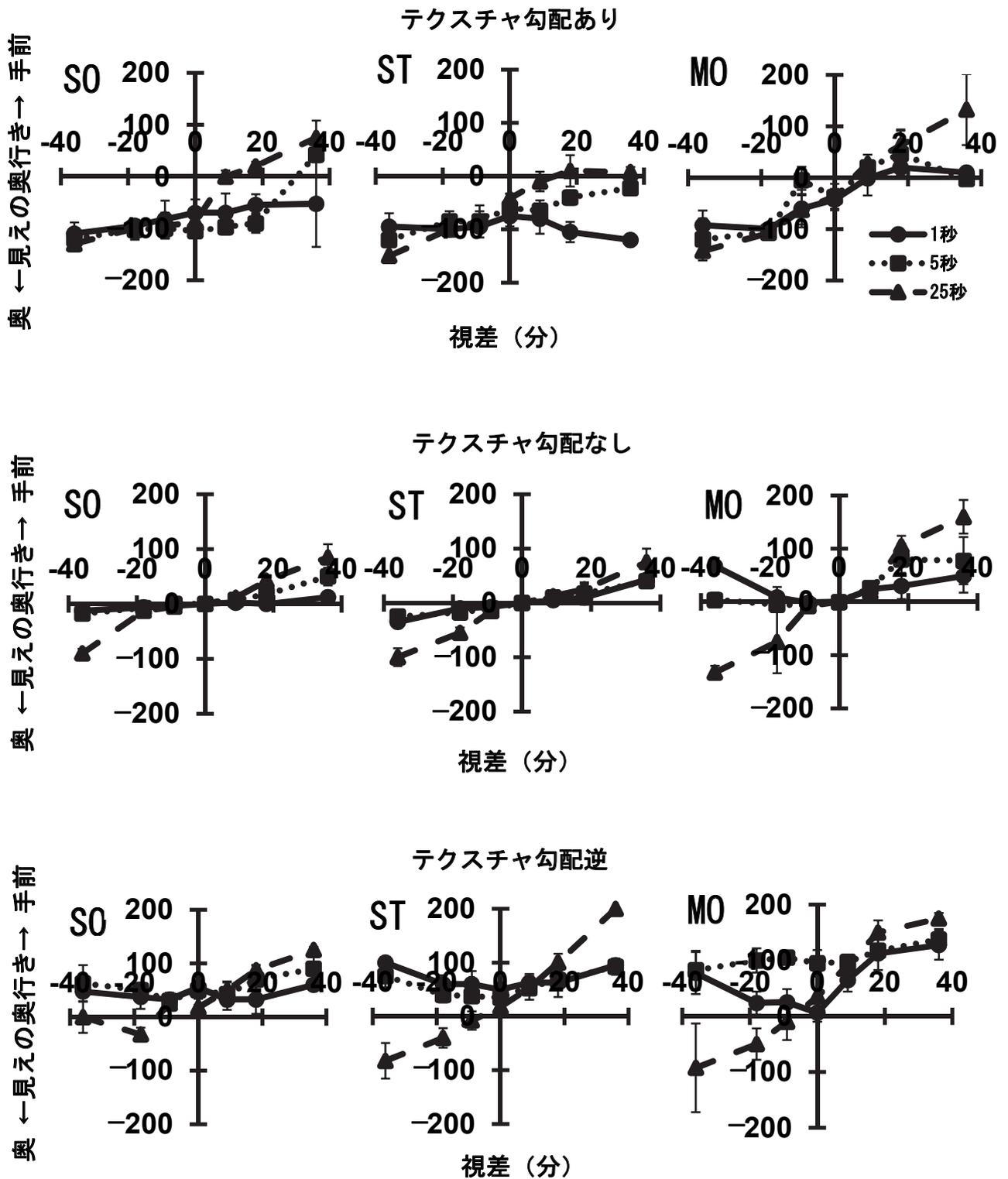


図 3.9 実験参加者 3 名のテクスチャ勾配条件ごとの各呈示時間条件における両眼視差に伴う見えの奥行き (ME 値) の変化

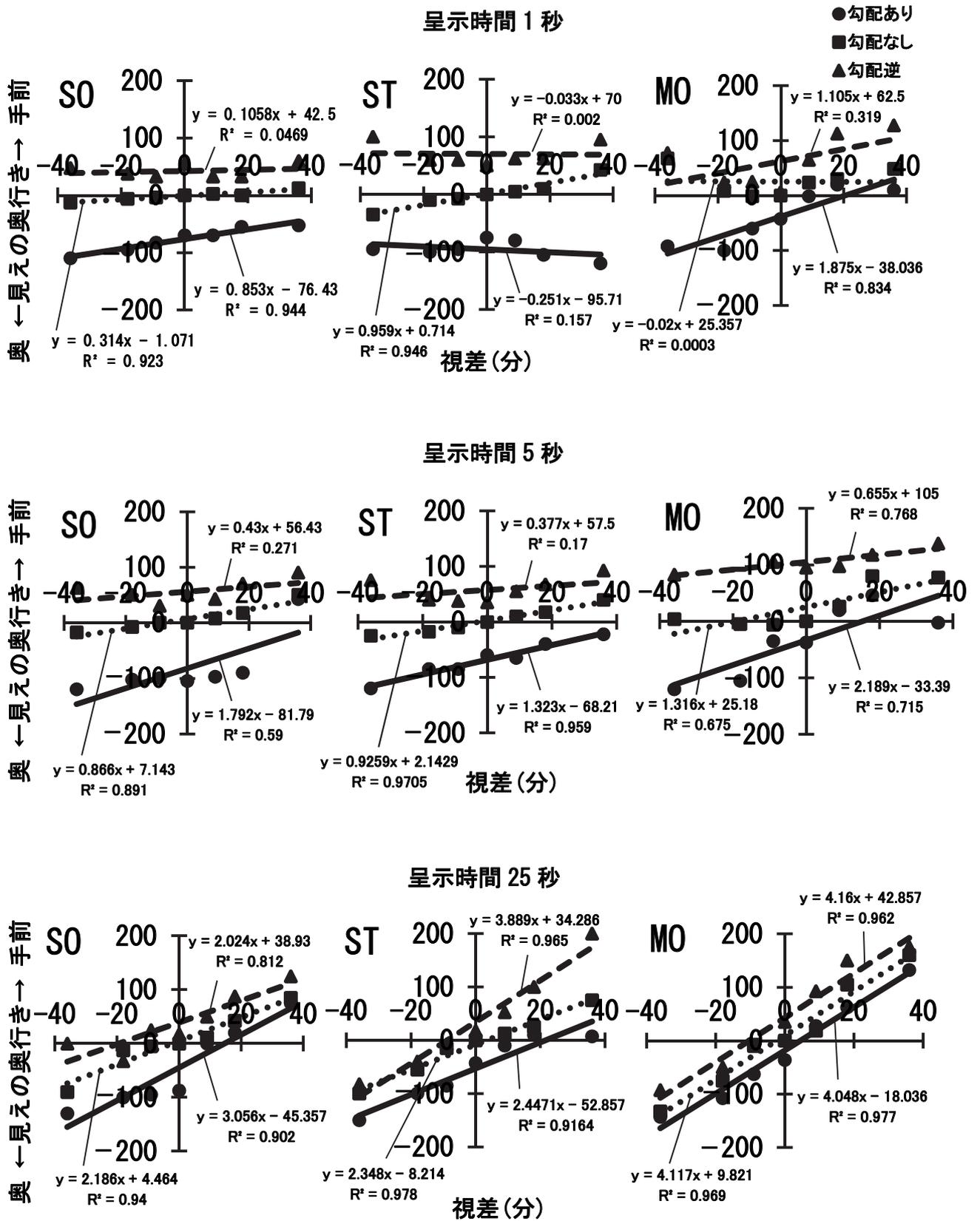


図 3.10 実験参加者 3 名の呈示時間ごとの各テクスチャ勾配条件における両眼視差に伴う見えの奥行き (ME 値) の変化

次に、呈示時間ごとにテクスチャ勾配と視差の関係を示す。図 3.10 は、図 3.9 のデータを呈示時間別にして、各テクスチャ勾配条件における両眼視差に伴う見えの奥行き (ME 値) の変化を回帰直線とともに示したものである。図 3.10 より、呈示時間が 1 秒、5 秒、25 秒と増加するのに伴い、回帰直線の傾きが大きくなることがわかった。呈示時間が 1 秒と 5 秒では、決定係数 (R^2) が低い条件が多く、回帰直線の傾きも小さいまたはマイナスの場合もあるが、決定係数が 0.8 以上の回帰直線においても、傾きは呈示時間が 1 秒では 0.314~1.875 で、呈示時間が 5 秒では 0.866~1.323 と小さかった。一方、呈示時間が 25 秒では、すべての条件で決定係数が 0.8 以上となり、回帰直線の傾きは 2.024~4.16 と呈示時間が 1 秒や 5 秒に比べて大きかった。テクスチャ勾配による見えの奥行きの変化は、呈示時間が 25 秒の場合、呈示時間が 1 秒の場合に比べて小さいが、どの視差条件でも奥から手前にテクスチャ勾配あり、勾配なし、勾配逆の順に知覚された。これらの結果から、呈示時間が 1 秒では、テクスチャ勾配条件の違いによる見えの奥行きの変化のほうが大きい、25 秒では、視差条件の違いによる見えの奥行きの変化のほうが大きいことが示された。

3.3.2. 見えの大きさの結果

見えの大きさを調べるために、実験参加者 3 名の測定データに対して、実験参加者ごとに SPSS によるテクスチャ勾配×視差×呈示時間の 3 元配置分散分析を行った。多重比較と交互作用の検定には Bonferroni の方法を用いた。

テクスチャ勾配の主効果について、実験参加者 SO ($F(2,189) = 4.19, p < .05$) と実験参加者 ST ($F(2,189) = 7.658, p < .01$) に有意差が認められた。図 3.11 に、テクスチャ勾配の主効果を示した。図 3.11 と多重比較の結果より、実験参加者 SO では、テクスチャ勾配逆条件のときに勾配なし条件と比べて見えの大きさが小さく知覚され ($p < .05$)、実験参加者 ST では、テクスチャ勾配逆条件のときに勾配あり条件 ($p < .01$) と勾配なし条件 ($p < .05$) に比べて小さく知覚されることが示された。しかし、テクスチャ勾配による見えの大きさの変化は、見えの奥行きの変化に比べて小さく、テクスチャ勾配あり条件で実験参加者 3 名の平均 97、テクスチャ勾配なし条件で平均 97、テクスチャ勾配逆条件で平均 95 であった。

視差の主効果については、すべての実験参加者に有意差が認められた ($F(6,189) = 43.1, p < .001$ (実験参加者 SO), $F(6,189) = 16.11, p < .001$ (実験参加者 ST), $F(6,189) = 71.478, p < .001$ (実験参加者 MO))。図 3.12 に、実験参加者 3 名の視差の主効果を示した。図 3.12 より、-36 分から 0 分の非交差視差条件またはゼロ視差の場合は、見えの大きさにそれほど変化はみられないが、9 分から 36 分の交差視差条件の場合に小さく知覚される傾向が示された。視差による見えの大きさの変化は、テクスチャ勾配による変化よりも大きく、視差 -36 分で平均 98、視差 36 分で平均 87 であった。多重比較の結果より、非交差視差条件ではゼロ視差と見えの大きさにおいて有意な差は認められず、交差視差条件で有意に小さく

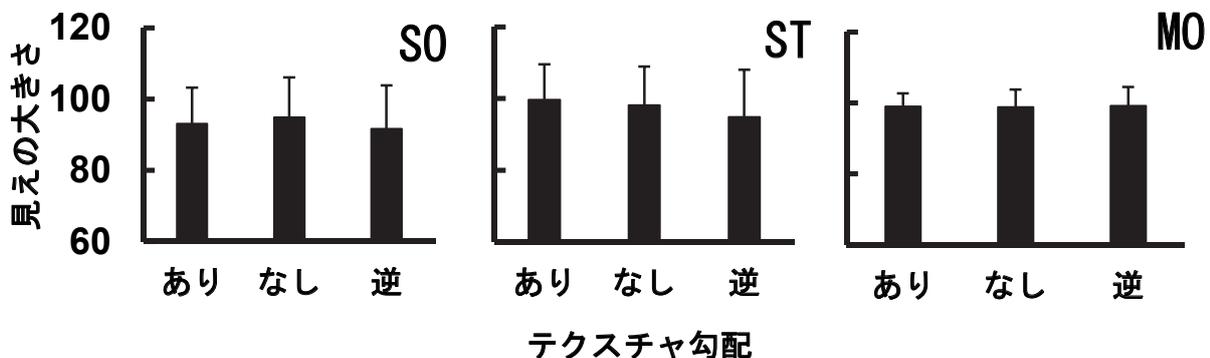


図 3.11 実験参加者 3 名の各テクスチャ勾配条件における見えの大きさ (ME 値)

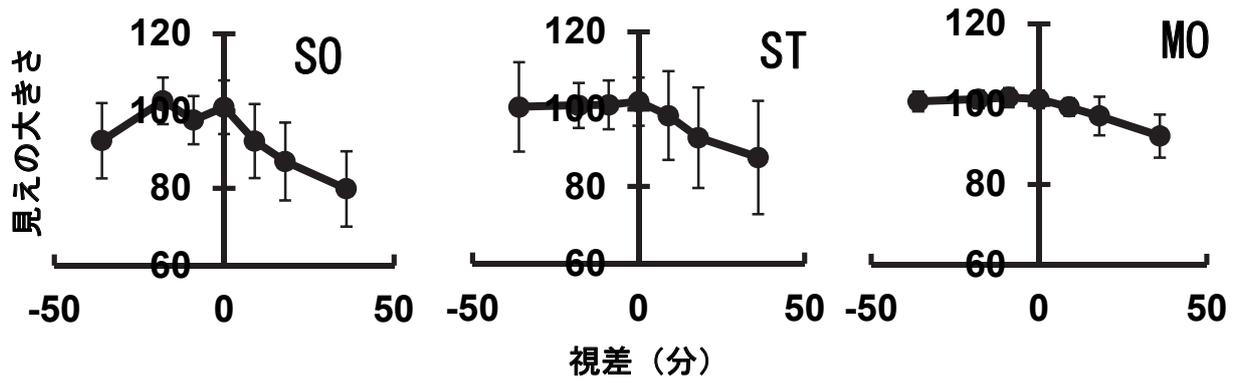


図 3.12 実験参加者 3 名の両眼視差に伴う見えの大きさ (ME 値) の変化

知覚されることがわかった。

呈示時間の主効果については、実験参加者 ST ($F(2,189) = 32.867, p < .001$) と実験参加者 MO ($F(2,189) = 43.962, p < .001$) に有意差が認められ、多重比較の結果、いずれの実験参加者においても呈示時間が長くなるほど小さく知覚されることが示された。

3.3.3. 見えの奥行きと見えの大きさの結果

見えの奥行きと見えの大きさの関係を、整合的・不整合的条件別に検討するため、2つの整合的条件 (テクスチャ勾配ありと非交差視差, テクスチャ勾配逆と交差視差) と2つの不整合的条件 (テクスチャ勾配ありと交差視差, テクスチャ勾配逆と非交差視差) の結果を取り出し、同一の刺激に対する見え

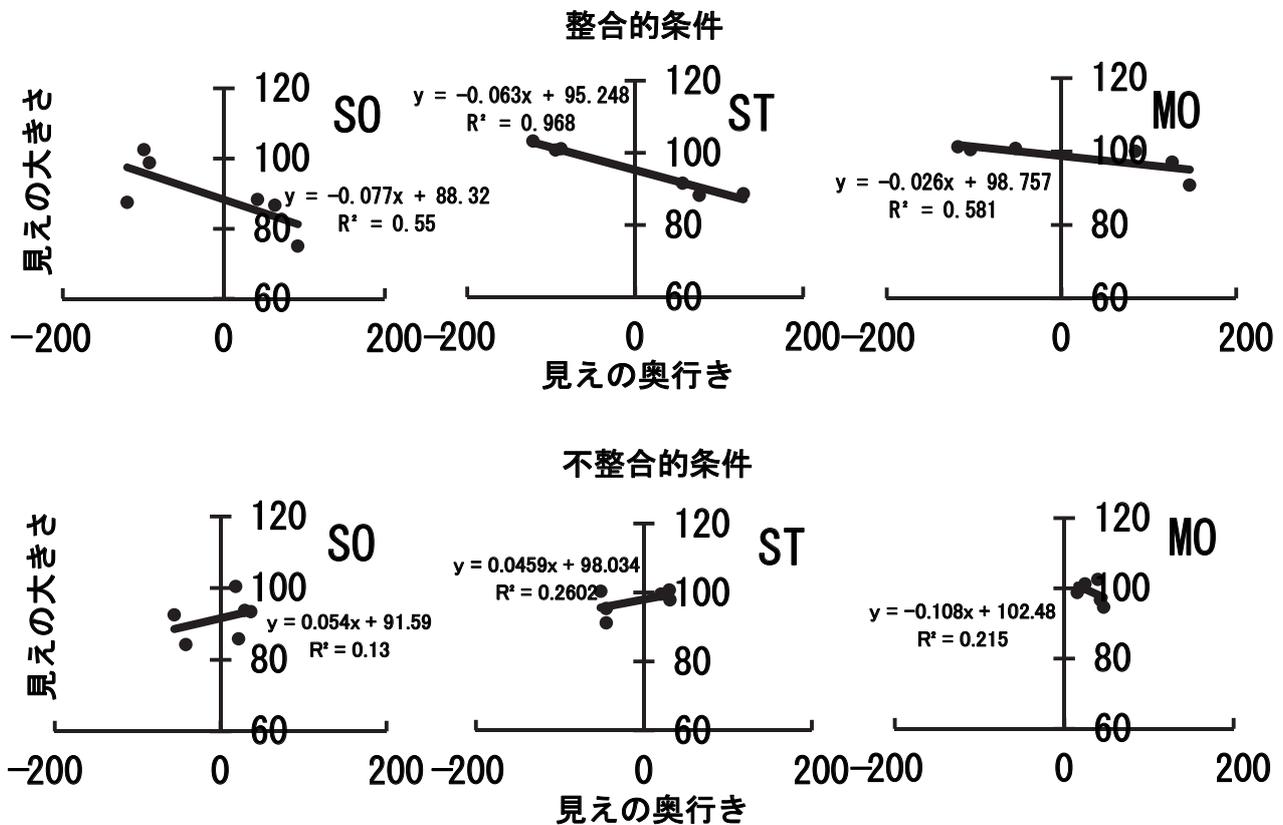


図 3.13 実験参加者 3 名の整合的条件及び不整合的条件における見えの奥行き (ME 値) と見えの大きさ (ME 値) の関係

の奥行きと見えの大きさの2つの反応を対にして、図3.13に回帰直線とともに示した。図3.13より、整合的条件では、見えの奥行きがマイナス方向、つまり奥に知覚されるほど見えの大きさが大きくなることを示された。一方、不整合的条件では、見えの奥行きが変化しても見えの大きさに影響を及ぼさなかった。見えの奥行きの範囲も、整合的・不整合的条件で大きく異なり、整合的条件における見えの奥行きは、実験参加者3名の平均最小-120、最大123で、範囲は243であるのに対し、不整合的条件では、平均最小-31、最大38で、範囲は69と整合的条件に比べて3分の1以下であった。

呈示時間別に整合的条件・不整合的条件を示したのが図3.14と図3.15である。図3.14に、実験参加者3名の整合的条件での各呈示時間条件における見えの奥行き（ME値）と見えの大きさ（ME値）の関係を回帰直線とともに示した。呈示時間が1秒では、見えの奥行きは見えの大きさに影響を及ぼさな

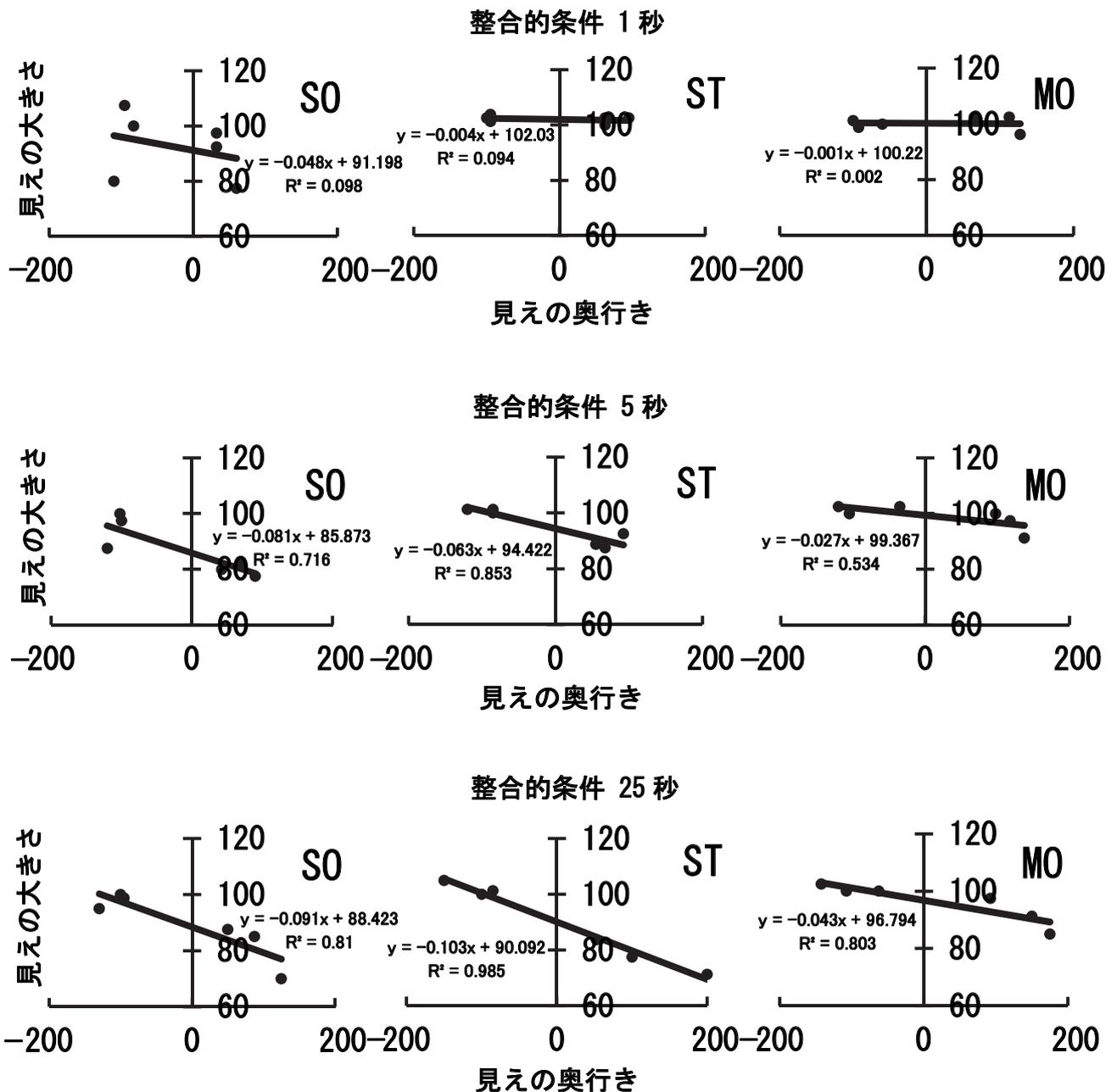


図 3.14 実験参加者 3 名の整合的条件での各呈示時間条件における見えの奥行き（ME 値）と見えの大きさ（ME 値）の関係

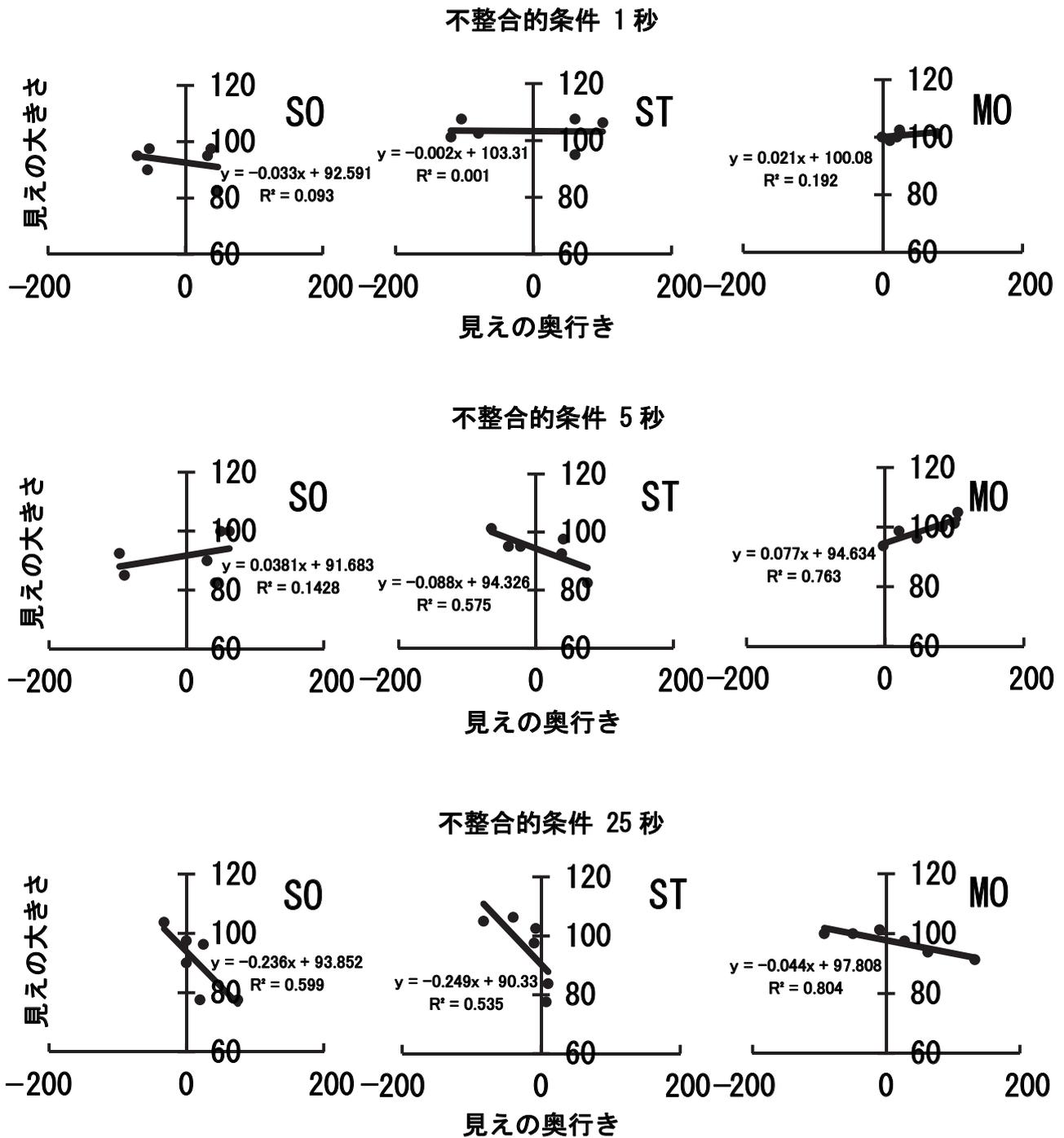


図 3.15 実験参加者 3 名の不整合的条件での各呈示時間条件における見えの奥行き (ME 値) と見えの大きさ (ME 値) の関係

かったのに対し、5 秒では、見えの奥行きが奥に知覚されるほど大きく知覚されたことが示され、回帰直線の傾きは $-0.027 \sim -0.081$ であった。25 秒では、どの実験参加者においても回帰直線の決定係数は 0.8 以上で、5 秒のときよりもさらに見えの奥行き減少に伴う見えの大きさの増加が顕著であり、回帰直線の傾きは $-0.043 \sim -0.103$ であった。図 3.15 には、実験参加者 3 名の不整合的条件での各呈示時間における見えの奥行き (ME 値) と見えの大きさ (ME 値) の関係を回帰直線とともに示した。呈示

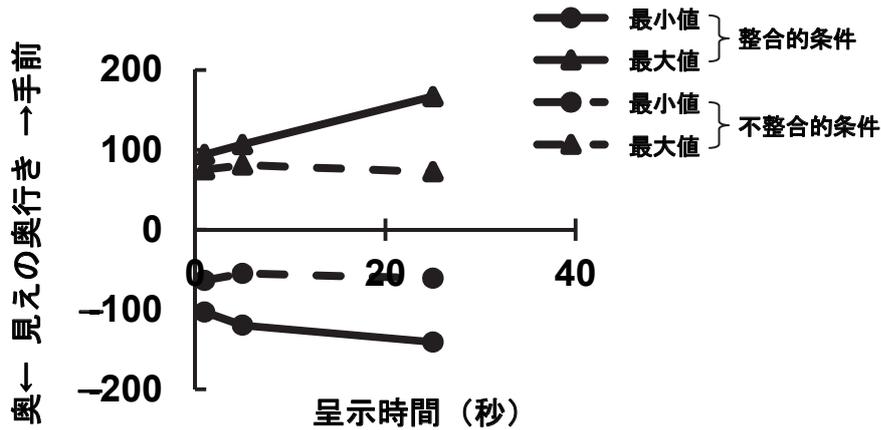


図 3.16 整合的条件・不整合的条件別の呈示時間と見えの奥行きの最大値及び最小値

時間が1秒や5秒では、見えの奥行きが変化しても大きさにはそれほど影響を与えなかった。一方、25秒になると、どの実験参加者でも見えの奥行きがより奥に知覚されるほど大きく知覚され、回帰直線の傾きは $-0.044 \sim -0.249$ であった。図 3.16 に、実験参加者3名（平均）の整合的条件・不整合的条件別の呈示時間と見えの奥行きの最大値及び最小値を示す。図 3.16 は、図 3.14 及び図 3.15 の見えの奥行きについて整理したもので、整合的条件では、呈示時間の増大に伴い見えの奥行きは手前側にも奥側にも増大し、より視差に対応した奥行きが知覚されたが、不整合的条件では、どの呈示時間でも、見えの奥行きの最大値及び最小値はほぼ一定で、視差の検出による見えの奥行きの増大は示されなかった。図 3.14～図 3.16 より、呈示時間が1秒のときは、整合的条件・不整合的条件ともに見えの奥行きの減少に伴う見えの大きさの増大傾向は認められなかった。しかし、見えの奥行きについては、図 3.16 より、整合的条件では、最大値と最小値の差、すなわち範囲は198であるのに対し、不整合的条件では、範囲は139で、不整合的条件の方が見えの奥行きの範囲が狭い結果であった。呈示時間が5秒のときは、整合的条件と不整合的条件で傾向が異なり、整合的条件の場合は、見えの奥行きが奥に知覚されるほど大きく知覚されたのに対し、不整合的条件では大きさに影響を与えなかった。見えの奥行きの範囲は、整合的条件では227であるのに対し、不整合的条件では136であり、整合的条件では呈示時間が1秒の場合に比べて見えの奥行き範囲が広がったが、不整合的条件ではほとんど変化しなかった。呈示時間が25秒のときは、整合的条件・不整合的条件ともに見えの奥行きが奥に知覚されるほど見えの大きさが増大する傾向が認められたが、呈示時間が1秒と5秒の場合と同様に、見えの奥行きの範囲は整合的条件に比べて不整合的条件では狭いことが示された。整合的条件では見えの奥行きの範囲は308であったのに対し、不整合的条件では134で、整合的条件の半分以下であった。

3.4. 考察

テクスチャ勾配が見えの奥行きに与える効果について、すべての実験参加者に有意差が認められ（図 3.5）、テクスチャ勾配あり条件がテクスチャ勾配逆条件に比べて有意に奥に知覚されることが示された。また、視差が見えの奥行きに与える効果についても有意差が認められ（図 3.6）、視差-36分の非交差視差条件が視差36分の交差視差条件に比べて有意に奥に知覚されることが示された。テクスチャ勾配による見えの奥行き（ME 値）は、テクスチャ勾配あり条件で3名の平均-57、テクスチャ勾配逆条件で平均57であった。テクスチャ勾配による手がかりの違いにより最大114の見えの奥行きの差を生じた。一方、視差による見えの奥行きは視差-36分で平均-43、視差36分で平均65であったため、両眼視差により最大108の見えの奥行きの差を生じた。2つの奥行き知覚の手がかりが見えの奥行きに与えた影響は、ほぼ等しかったと考えられる。

テクスチャ勾配が見えの大きさに与える効果については、1名の実験参加者のみテクスチャ勾配逆条件がテクスチャ勾配あり条件に比べて有意に小さく(図 3.11)、テクスチャ勾配による大きさの恒常性が示された。一方、視差の効果については、すべての実験参加者において認められ、非交差視差条件に比べて交差視差条件で有意に小さく知覚されることがわかった(図 3.12)。3名の実験参加者のテクスチャ勾配あり条件の見えの大きさは平均 97、テクスチャ勾配逆条件で平均 95 であり、テクスチャ勾配による見えの大きさの差は 2 と小さかった。非交差視差である視差 -36 分での見えの大きさは平均 98、交差視差である視差 36 分では平均 87 であり、両眼視差による見えの大きさの差は 11 であった。両眼視差による奥行き知覚の手がかりに比べてテクスチャ勾配による奥行き知覚の手がかりによる見えの大きさへの影響は極端に少なく(図 3.11)、テクスチャ勾配は見えの大きさにほとんど影響しないことが示された。一方、視差による奥行き知覚の手がかりにおいては、非交差視差の -36 分では標準刺激(視差 -18 分)の見えの大きさ 100 とほとんど変わらない結果で、非交差視差による見えの大きさの変化は認められなかったが、交差視差では見えの奥行きに対応して見えの大きさは小さくなり(図 3.12)、大きさの恒常性による効果が示されたと考えられる。

呈示時間別の視差と見えの奥行きの結果(図 3.8)より、呈示時間が 1 秒の場合は、視差による見えの奥行きの変化が少なく、視差による奥行きの検出が十分でなかったことが示されたが、呈示時間が 5 秒では、視差 18 分と視差 36 分の大きな交差視差条件で他の視差条件に比べて手前に知覚されることが示され、9 分～-36 分の非交差視差条件間では有意差が認められなかった。呈示時間が 25 秒では、交差視差・非交差視差ともに視差による奥行きの差が認められた。呈示時間による視差と見えの奥行きの関係は、呈示時間が 1 秒では、視差による見えの奥行きの差は小さいが、呈示時間の増大に伴い大きくなり、25 秒では視差の増大に伴う見えの奥行きの増大が認められた。呈示時間が 5 秒では、視差による中間的(=不完全)な見えの奥行きを生じたと考えられる。呈示時間が 5 秒のときすでに交差視差による奥行きが検出されていたことから、非交差視差と交差視差とでは、交差視差のほうが視差に対する感度が高いことが示唆される。交差視差と非交差視差では、交差視差の処理に基づく大脳における活性の方が高く、また、検出においても交差視差の方が誤答率が低く、反応時間も速いことが知られており(Verhoef, B. E., Bohon, K. S. & Conway, B. R., 2015; Landers, D. D. & Cormack, L. K., 1997)、交差視差優位の結果は、これらの先行研究による知見を支持するものと考えられる。

呈示時間別の視差と奥行きの関係の結果(図 3.8)をテクスチャ勾配別にみると(図 3.9)、非交差視差条件のとき、整合的条件であるテクスチャ勾配あり条件の場合は、呈示時間によって見えの奥行きに差が認められなかったが、同じ非交差視差条件の場合でも、テクスチャ勾配なし条件や不整合的条件であるテクスチャ勾配逆条件では、呈示時間によって見えの奥行きに差が認められた。一方、交差視差条件については、整合的条件・不整合的条件ともに、呈示時間の増大に伴い視差に対応した奥行きが知覚された。これらの結果から、2 つの奥行き知覚の手がかりの統合については、非交差視差の整合的条件以外では、呈示時間によって視差の相対的效果が異なると考えられ、短い呈示時間では、テクスチャ勾配による奥行き知覚の手がかりの影響が大きい(図 3.10)が、呈示時間の増大に伴い視差による奥行き知覚の手がかりの影響が増したと考えられる。非交差視差と交差視差では、非交差視差の方が検出が遅く、さらに整合的条件ではテクスチャ勾配に基づく見えの奥行きと視差に基づく見えの奥行きが近いいため、テクスチャ勾配の相対的效果が大きいと考えられ、呈示時間の増大に伴う非交差視差による見えの奥行きの違いが有意でなかったと考えられる(Landers, et al., 1997)。

見えの奥行きと見えの大きさの結果(図 3.13)より、整合的条件では、見えの奥行きがより奥に知覚されるほど大きく知覚され、両眼視差による奥行きに基づく大きさの恒常性が認められた。不整合的条件では、テクスチャ勾配の奥行き情報と両眼視差の奥行き情報が一致しないため、奥行き情報が打ち消

しあって見えの奥行きの変化が少なくなり、整合的条件ほど見えの大きさの変化が生じにくくなったと考えられる。

しかし、見えの奥行きと見えの大きさの結果を呈示時間別にみると（図 3.14 及び図 3.15）、整合的条件、不整合的条件ともに呈示時間が 1 秒では見えの奥行きと見えの大きさの間に直線的な比例関係は認められなかった。また、呈示時間が 25 秒では、いずれの条件においても比例関係は認められたが、不整合的条件では、見えの奥行きの範囲が整合的条件に比べて狭く、これは不整合的条件においてはテクスチャ勾配に基づく奥行き方向が両眼視差に基づく奥行き方向と逆方向で、2つの手がかりの奥行き方向が矛盾していることによると考えられる。一方、呈示時間が 5 秒では、整合的条件と不整合的条件で傾向が異なり、整合的条件では比例関係が認められたが、不整合的条件では認められず、整合的条件、不整合的条件の差は、呈示時間が 5 秒の条件においてのみ認められることが示された。すでに述べたように、見えの大きさへの影響は、テクスチャ勾配に比べて両眼視差の方が大きいため（図 3.11 及び図 3.12）、見えの奥行きと見えの大きさの関係は、両眼視差及び呈示時間によって変化すると考えられる。呈示時間が 1 秒では、どちらの手がかりも弱いため、見えの奥行きと見えの大きさとの間に直線的な比例関係は認められなかったが、5 秒では、両眼視差による手がかりにより中間的な見えの奥行きを生じ、整合的条件では比例関係が認められたが、不整合的条件では奥行きの相殺により認められなかったと考えられる。一方 25 秒では、整合的条件、不整合的条件ともにテクスチャ勾配による手がかりは弱いままであるが、両眼視差による手がかりの相対的効果は増大しているため、両眼視差に基づく見えの奥行きと見えの大きさの比例関係が認められたと考えられる。不整合的条件では整合的条件に比べて見えの奥行きの範囲が狭かったが、このことはテクスチャ勾配に基づく奥行き情報と両眼視差に基づく逆方向の奥行き情報が相殺されて見えの奥行きが減じたことによると解釈できる。

なお、見えの奥行きと見えの大きさは同一の条件を用いて測定したが、見えの大きさの測定時のみバーを用いたため、本研究においては別々のセッションで測定を行った。このため、見えの奥行きと見えの大きさの対応関係については、個々の刺激レベルでは明確でない可能性があり、今後の検討が必要と考える。

4. 総合考察

実験 1 で行ったテクスチャ勾配と両眼視差の 2 つの奥行き知覚の手がかり間の物理的な見えの奥行きを基準にした主観的等価点の比較については、テクスチャ勾配による見えの奥行きと理論的に一致すると考えられる -72.67 分よりはるかに少ない平均 -18 分の視差で一致し、テクスチャ勾配による奥行き知覚量が視差の約 4 分の 1 程度と、奥行き知覚の手がかりとしての見えの奥行きに与える効果が少ないことが示唆された。実験 2 では、-72.67 分に相当するテクスチャ勾配に対応する視差として、実験参加者 3 名の平均 -18 分用いたが、実際には実験参加者により -10.3 分～-26.88 分と異なっていた。実験 1 と実験 2 で実験参加者は同一であったため、同一の刺激条件（テクスチャ勾配ありで視差 0 分）でそれぞれの視差と見えの奥行きを比較したところ、実験参加者 ST と MO では、テクスチャ勾配に相当する視差が小さければテクスチャ勾配の見えの奥行きも小さくなったが、実験参加者 SO では大きくなった。そのため、実験 1 における実験参加者ごとの違いが、実験 2 に与えた影響に一貫した傾向は認められず、平均（-18 分）を用いたことによるシステムティックな誤差は生じていないと考えられる。

テクスチャ勾配の効果が小さかった原因として、周りに他の奥行き知覚の手がかりがなく、テクスチャ勾配刺激までの距離の判断が困難であったことなどが考えられる。また、Tozawa (2012) の実験で示されたように、テクスチャ勾配による奥行き知覚は、テクスチャの密度やテクスチャ要素の大きさによって影響されるが、本研究ではテクスチャ要素の大きさが大きかったために、テクスチャ勾配が見えの奥行きに与える効果が少なくなった可能性も考えられる。しかし、実験 1 で得られた 2 つの手がかり間

の違いは、実験2のテクスチャ勾配あり条件単独（テクスチャ勾配ありで視差0分）の見えの奥行きと、視差-18分条件単独（テクスチャ勾配なしで視差-18分）の見えの奥行きの結果（図3.7）と照らし合わせてみると、実験1で示されたより小さい可能性がある。実験1でテクスチャ勾配あり条件単独の見えの奥行きの主観的等価点を測定した結果は、物理的には-72.67分であるところ、視差-18分であったため、実験2におけるテクスチャ勾配あり条件単独の見えの奥行きと視差-18分条件単独の見えの奥行きは等しくなるはずであったが、見えの奥行きの測定結果は、テクスチャ勾配あり条件単独の見えの奥行きが平均-62であったのに対し、視差-18分条件単独の見えの奥行きは平均-20で、テクスチャ勾配の見えの奥行きは視差の3.1倍であった。このことは、実験1においてテクスチャ勾配による見えの奥行きが過小評価されていた可能性を示唆する。テクスチャ勾配あり条件は、物理的にはテクスチャ勾配刺激の上端が刺激呈示面より15cm奥に相当するが、視差-18分は、刺激呈示面より3cm奥に相当する。この奥行きに対して、見えの奥行きはテクスチャ勾配あり条件単独では平均-62で、視差-18分条件単独では平均-20という結果であった。これらのことから実験1と実験2の結果を総合すると、結局のところ、テクスチャ勾配による見えの奥行きは、実験1で測定された結果から推論される物理的奥行きの5分の1（テクスチャ勾配15cmに対して両眼視差3cm）、すなわち視差の0.2倍ではなく、実験2で測定された視差の3.1倍（テクスチャ勾配15cmの見えの奥行き-62に対して両眼視差3cmの見えの奥行き-20）の結果を踏まえ、視差の約0.6倍程度（テクスチャ勾配15cmの見えの奥行き-62に対して両眼視差15cmで $-20 \times 5 = -100$ ）と考えられる。

奥行き知覚の手がかり間の統合について、序論で述べたように、金子（2007）は、加算、平均、優位、協調、分離の5つに分類している。金子（2007）によれば、加算は、各手がかりによる同質の情報が加算されて、全体として手がかりが単独で得られる場合よりも優れたパフォーマンスを示す型、平均は、各手がかりによる連続的で同質な情報が平均化されて、全体として各手がかりからの情報の中間的な知覚となる型、優位は、2つもしくはそれ以上の手がかりによる情報に矛盾があるとき、1つが優位になり他が抑制される、すなわち1つの手がかりの重みが1となり、他の重みがゼロとなる型、協調は、ある手がかりが持つ情報の曖昧性を、他の手がかりから得られる情報によって限定する型、つまりどちらかの情報は奥行きの増加には寄与しないが、奥行き方向を特定するために用いられる型、分離は、2つもしくはそれ以上の手がかりによる複数の知覚が、同時に起こるもしくは両眼視野闘争のように入れ替わる知覚出力の型である。

本研究で得られた結果をこの分類から考察すると、どちらか1つの手がかりによる見えの奥行きより、2つの手がかりが組み合わさることにより、見えの奥行きの加算が行われたと考えられる。具体的に示すと、例えば、テクスチャ勾配あり条件と視差-18分の条件を考えてみる。テクスチャ勾配別の視差と奥行きの関係の結果（図3.7）より、テクスチャ勾配あり条件単独、すなわちテクスチャ勾配ありで視差0分の見えの奥行きは平均-62で、視差-18分条件単独、すなわちテクスチャ勾配なしで視差-18分の見えの奥行きは平均-20であるが、テクスチャ勾配あり条件と視差-18分条件を合わせた条件（標準刺激）の見えの奥行きは、-100である。もし平均であるとすれば、2つの手がかりを合わせた場合、見えの奥行きは-41になるため、平均とは考えられない。また、どちらの情報も奥行きの増加に寄与し、奥行き方向が特定されているため、協調ではなく、複数の知覚が同時に起こったり入れ替わったりしないため、分離も考えられない。よって、加算が行われたと考えられる。我々は、1つの手がかりから奥行きを知覚することは少なく、たいていの場合複数の手がかりから奥行きを知覚しているが、複数の手がかりによる奥行き情報の加算は、より奥行きに敏感な知覚を得ていることを示唆する。

奥行き情報の加算は、奥行き知覚の手がかり間に矛盾があり、それぞれの奥行き方向が不整合の場合には減算、すなわち互いに相殺する形をとると考えられる。整合的条件において、視差の手がかりに基づく見えの奥行きは、最小-120、最大123であったのに対し、不整合的条件においては最小-31、最

大38と、整合的条件に比べて約3分の1以下の範囲であった。このことは、逆方向の奥行き情報が加算的に統合（相殺）されることによって、不整合的条件における見えの奥行き変化が整合的条件に比べて相対的に少なくなったと解釈でき、それに伴い見えの大きさの変化も少なくなったと考えられる。

テクスチャ勾配と両眼視差の奥行き知覚の手がかりの加算においては、呈示時間の影響も大きいことがわかった。テクスチャ勾配による奥行き知覚の手がかりは、短時間の呈示でも利用可能であるが、視差による奥行き知覚の手がかりの利用には時間がかかり、呈示時間の増大に伴い視差に対応した奥行きが知覚された。そのため、2つの奥行き知覚の手がかりの加算は、呈示時間が短い条件では、テクスチャ勾配による奥行き知覚の手がかりの影響が大きく、呈示時間の増大に伴い視差による奥行き知覚の手がかりの影響が相対的に大きくなると考えられる。

また、呈示時間による効果は、非交差視差と交差視差で異なり、交差視差のほうが短い呈示時間で利用可能になることが示された。このことは、交差視差による奥行きの検出のほうが、非交差視差による奥行きの検出より優れていることを示唆し、交差視差優位の処理を支持する (Verhoef, et al., 2015; Landers, et al., 1997)。

見えの奥行きと見えの大きさの関係については、見えの大きさは見えの奥行きに基づき、手前に知覚されるほど小さく、奥に知覚されるほど大きく知覚される傾向を示し、大きさの恒常性が示された。テクスチャ勾配と両眼視差のいずれの奥行き知覚の手がかりについても見えの奥行きに影響を与え、テクスチャ勾配あり条件と非交差視差条件で奥に、テクスチャ勾配逆条件と交差視差条件で手前に知覚された。ただし、テクスチャ勾配と両眼視差の見えの大きさへの効果については、テクスチャ勾配と両眼視差で異なり、テクスチャ勾配による影響はほとんどないことが示された。見えの大きさは見えの奥行きに基づき、手前に見えるものは小さく、奥に見えるものは大きく知覚される傾向を示した。また、非交差視差条件における見えの大きさも、ゼロ視差条件と有意差がなかった。これらの結果は、見えの大きさについては、テクスチャ勾配や非交差視差による奥行き知覚の手がかりの影響が小さかったことを示し、見えの大きさに及ぼす両眼視差、特に交差視差による影響の優位 (Verhoef, et al., 2015; Landers, et al., 1997) が示された。

2つの手がかりの奥行き方向が一致する整合的条件と、矛盾する不整合的条件では、整合的条件において、ともに加算効果が認められ、塩入 (1990) による結果が支持されたが、呈示時間ごとにもみると、2つの手がかりの相対的効果の強さが異なることがわかり、1秒では両眼視差による手がかりの効果がほとんどないため、テクスチャ勾配優位で、25秒では両眼視差優位で統合され、1秒・25秒ともに整合的条件、不整合的条件間で差は認められなかったが、両眼視差による手がかりの効果が中間的な5秒の呈示時間においてのみ整合的条件が不整合的条件に勝ることが示された。5秒の呈示時間は、2つの奥行き知覚の手がかりによる効果が拮抗する条件と考えられ、加算的な統合においても、呈示時間によりそれぞれの手がかりの重みづけが異なる可能性を示唆する。

引用文献

- 金子寛彦(2007). 両眼情報の統合と奥行き情報の統合 塩入論(編) 視覚Ⅱ - 視覚系の中期・高次機能 - 朝倉書店 125-157.
- Landers, D.D. & Cormack, L.K. (1997). Asymmetries and errors in perception of depth from disparity suggest a multicomponent model of disparity processing. *Perception & Psychophysics*, 59 (2), 219-231.
- 丸尾敏夫・久保田伸枝(2012). 視能訓練士セルフアセスメント 視能訓練士国家試験問題集 (第6版) 文光堂
- 塩入論(1990). 3次元知覚における手がかり間の相互作用 *VISION*, 2 48-55.

Tozawa, J. (2012). Height perception influenced by texture gradient. *Perception*, 41 (7), 774-790.

Verhoef, B.E., Bohon, K.S. & Conway, B.R. (2015). Functional Architecture for Disparity in Macaque Inferior Temporal Cortex and Its Relationship to the Architecture for Faces, Color, Scenes, and Visual Field. *The Journal of Neuroscience*, 35 (17), 6952-6968.