

サポートサイト

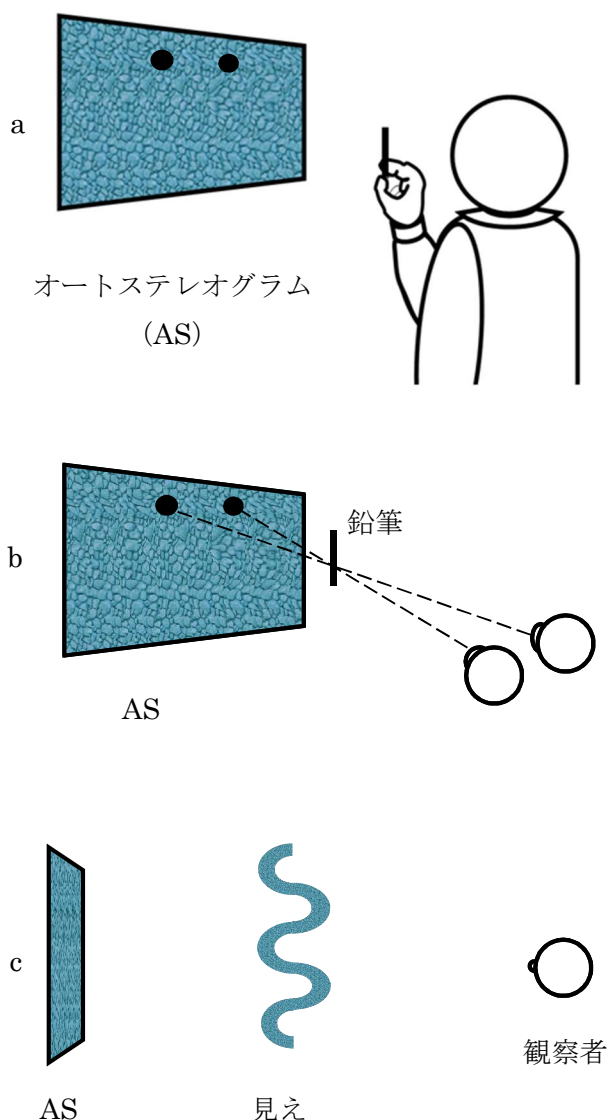


図 A1. オートステレオグラム観察法の模式図

網膜像差をもった左右の画像は融合し、奥行きが見える。もしうまく奥行きが観察できない場合は、棒を自分から遠ざけたり、近づけたりして、左右の画像が融合するように調整する。口絵の AS の場合、中央部分には丁度麦わら帽子を内側から観察したときのようなドーナツ状の凹凸が観察される。図 A 1 c には AS の奥行き方向の見えを鳥瞰図として示してある。実際には凸凹は同心円状に広がっている。

1. オートステレオグラムの観察方法

口絵のオートステレオグラム (以下 AS) は、以下の方法で観察することができる。

1) 約 20cm 離して観察する (図 A1a)。AS は壁においてもいいし、机においてもよい。
2) 図 A 1 a に示すように棒状のもの (たとえば鉛筆とかボールペンとか) を AS と自分の間に挟み (本から 5 cm 程度)、その棒をじっと観察する。この時、両眼は図 A 1 b に示すように壁と観察者の間にある。経験のない人には少し難しいが、左眼で AS 上に描かれた 2 つの黒丸の左側を、右眼で見るように目を内側に寄せる。このとき、AS 上に描かれた 2 つの黒丸は 3 つに見える (なぜ 3 つに見えるかは、本章で紹介した中溝 (2003) の視方向原理に関する解説を参照していただきたい)。

3) 真ん中の黒丸と鉛筆が自分から同じ距離に見えるように (黒丸と鉛筆の間の奥行きがゼロになるように) 鉛筆の位置を微調整する。そして視線をゆっくりと下におろし、画面全体を眺めるようにする。AS は 1 枚の画像であるが、両眼が実際の提示画面ではなく、手前の面 (あるいは後ろの面) にあるとき、左右両眼の画像には網膜像差が生まれるように作成してある。図 A1b において両眼の位置が AS 作成者の意図する面であれば、

2. 網膜像差の幾何学的表現

図 A2 に網膜像差、観察距離、対象の奥行き量間の幾何学的関係を模式的に表現してい

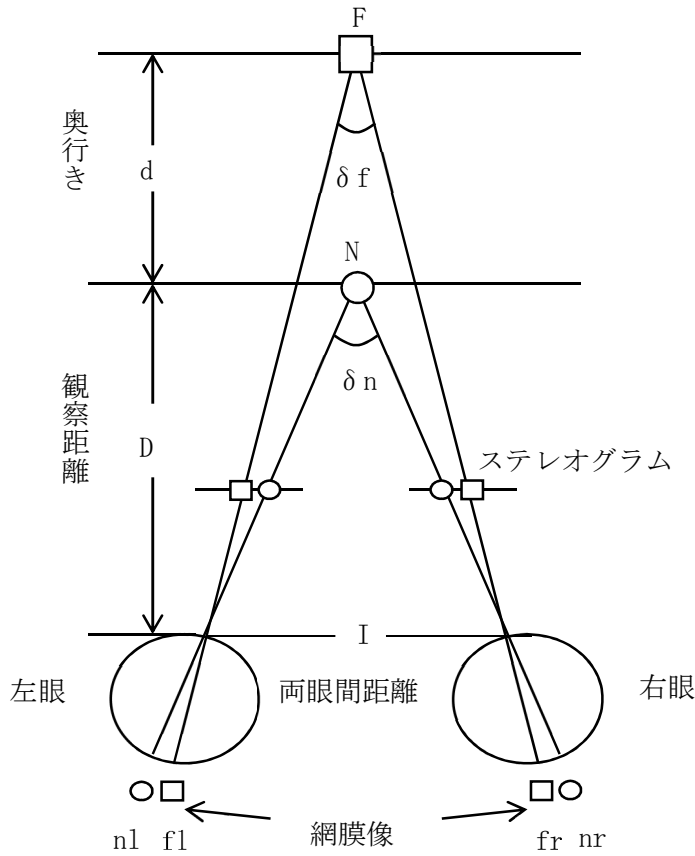


図 A2. 奥行きをもった対象が作り出す網膜像差

る。(図 A2 は、本文の図 3-4a と同じである。) 図において近対象 N と遠対象 F は両眼に対してそれぞれ δ_n と δ_f の角度をなしている。この δ_n と δ_f の角度差、 $\delta_n - \delta_f$ が網膜像差 (δ) に対応する。このとき、 N を基準とすると F は非交差性網膜像差 (uncrossed disparity) をもち (より後ろという感覚を生む)、 F を基準にすると N は交差性網膜像差 (crossed disparity) をもっている (より手前という感覚を生む)。このような網膜像と対象の間の幾何学的関係が図で示される刺激配置の場合、 δ_n および δ_f はそれぞれ、奥行きを (d)、両眼間距離を (I)、観察者から対象までの距離 (観察距離) を (D) としたとき近似的に次式(1)、(2)で表すことができる (ラディアン表記)。

$$\delta_n \doteq \frac{I}{D} \quad \dots (1)$$

$$\delta_f \doteq \frac{I}{D+d} \quad \dots (2)$$

また網膜像差 (δ) は、 δ_n と δ_f の角度差であるので、

$$\delta = \delta_n - \delta_f \doteq \frac{I}{D} - \frac{I}{D+d} \quad \dots (3)$$

となる。さらに、 d が D に比べてとても小さいと仮定すると、(3) 式は以下のようなになる。

$$\delta \doteq \frac{Id}{D^2} \quad \dots (4)$$

ここで(4)式を d について解くと

$$d \doteq \frac{\delta D^2}{I} \quad \dots (5)$$

となる。(5)式は、 D (観察距離) が一定であれば、 d (奥行き) は、 δ (網膜像差) に依存して大きくなることを意味している。(一般的には両眼間距離 I は定数だと仮定されている。) ここで気をつけなければいけないことは、(4) 式は D (観察距離)、 d (奥行き)、 δ (網膜像差) の間の幾何学的関係について記したものであり、人間が感じる奥行き量が (4) 式が予測するものと一致するかどうかはわからないということである。つまり人間があたかも (4) 式を “知って” いるかのように振舞うかどうかは、実験的に計測してみない限りわからない。

3. RDS

図 A3 と図 A4 はそれぞれ、実験用の RDS とデモンストレーション用の RDS である。図 A3 をアナグリフで観察すると[右眼で緑（あるいは青）のフィルターを通して左眼で赤のフィルターを通して観察すると]、四角形が浮かびあがって見える。図 A4 を観察すると奥行き方向に波打って見える。図 A3 には 4 種類の RDS（ゼロ、小、中、大）がある。実験で使用するときにはそれぞれのラベルを取り除いて、それぞれを 4 回ずつコピーし、ランダムな順序で提示する。（図 A3 と図 A4 は、当サポートファイル内の別のファイルに準備してある。）

4. 実験用 RDS の奥行き理論値と網膜像差の大きさ

(5) 式の示すように、奥行き理論値（奥行理論値）は、両眼間距離（I）と網膜像差（ δ ）と観察距離（D）の3つの変数から計算することができるが、ここでは（5）式ではなく、サポートサイトにあるエクセルファイル（ファイル名：網膜像差と奥行き計算式）を使った簡便な計算方法について説明する。この方法を使うには、実験者には実験用の RDS 全体の横幅（w）を測ってもらう必要がある。というのは上に述べた変数のうち、網膜像差の計算に必要な、左眼用と右眼用の画像の水平方向のずれの大きさがディスプレイの大きさ、ディスプレイの解像度、ディスプレイのアスペクト比（縦と横の比）、パワーポイントの提示倍率等、実験環境で少しずつ異なるためである。エクセルファイルでは両眼間距離を 6.4 cm、観察距離を 100 cm として計算してある。

1) 簡便法の手続き

- ① 実験者はまず RDS の横幅（w）を測る。
- ② w（cm）をサポートサイトのエクセルファイル（ファイル名：網膜像差と奥行き計算式）の書き入れそれぞれの RDS（小、中、大）の網膜像差の大きさと奥行き理論値を求める。（この計算は RDS の背景に比べて内側の矩形が飛び出して見える場合、つまり交差性網膜像差の場合の理論値である。）表 A1 がエクセルファイルの計算例である。表 A1 に示すように左のエクセル表の黄色いセルに横幅（w）を記入すると、右のエクセル表に右眼用と左眼用の画像のずれ量（s）が自動的に計算され、同時に奥行理論値（d）と網膜像差が計算される。表 A1 の右エクセル表は w が 11.3cm のときの小、中、大 RDS の奥行理論値と網膜像差（ δ ）を示している。

表 A1. エクセル表

設定パラメータ		RDS	小	中	大
RDS の横幅		画像のずれ量			
w[cm]	11.3	s[cm]	0.18	0.36	0.54
観察距離		奥行理論値			
D[cm]	100	d[cm]	2.75	5.35	7.81
両眼間距離		網膜像差			
[cm]	6.4	(δ)[分]	6.04	11.77	17.20

2) 計算方法：左エクセル表で行われていること

- ① 画像のずれ量の計算では、まず RDS の横幅（w）を RDS の画素数（250pix）で割り、画素 1 個あたりの横幅を計算している。（RDS は 2 画素 x 2 画素の四角形，125 個 x 125 個からなり、飛び出してくる矩形部分は 73 個 x 73 個からなっている。）小、中、大 RDS では、右眼と左眼用の中央の矩形部分のずれがそれぞれ 2，4，6 画素であるので各 RDS のずれ量を

計算することができる。ずれ量がわかれば、その値と両眼間距離、観察距離の値から三角形の相似関係を使って、奥行き量、網膜像差量の近似値がもとを求めることができる。図 A5 に相似関係についての説明図（鳥瞰図）がある。ここではディスプレイの真正面の点 F を基準にして左眼が赤い画素を、右眼が青い画素を見た場合（交差性視差）を考えている。2つの画素の水平方向の距離、つまりずれは s である。これらの画素は融合し、幾何学的には点 N に見えると予測される。つまり N は F よりも手前に見える。ここで F と N の距離は d である。図 A5 からわかるように、N が両眼に対してなす三角形とディスプレイ上の赤と青の点に対してなす三角形は相似である。ここで、両眼間距離を I 、観察距離を D と置くと、この相似関係から、

$$D-d : I = d : s \quad \dots (6)$$

の関係式が得られる。(6) 式より、

$$d = sD / (I+s) \quad \dots (7)$$

エクセル表での奥行理論値は (7) 式を用いて求めている。さらに、網膜像差は奥行きの理論値、観察距離、両眼間距離と (5) 式から求めている。

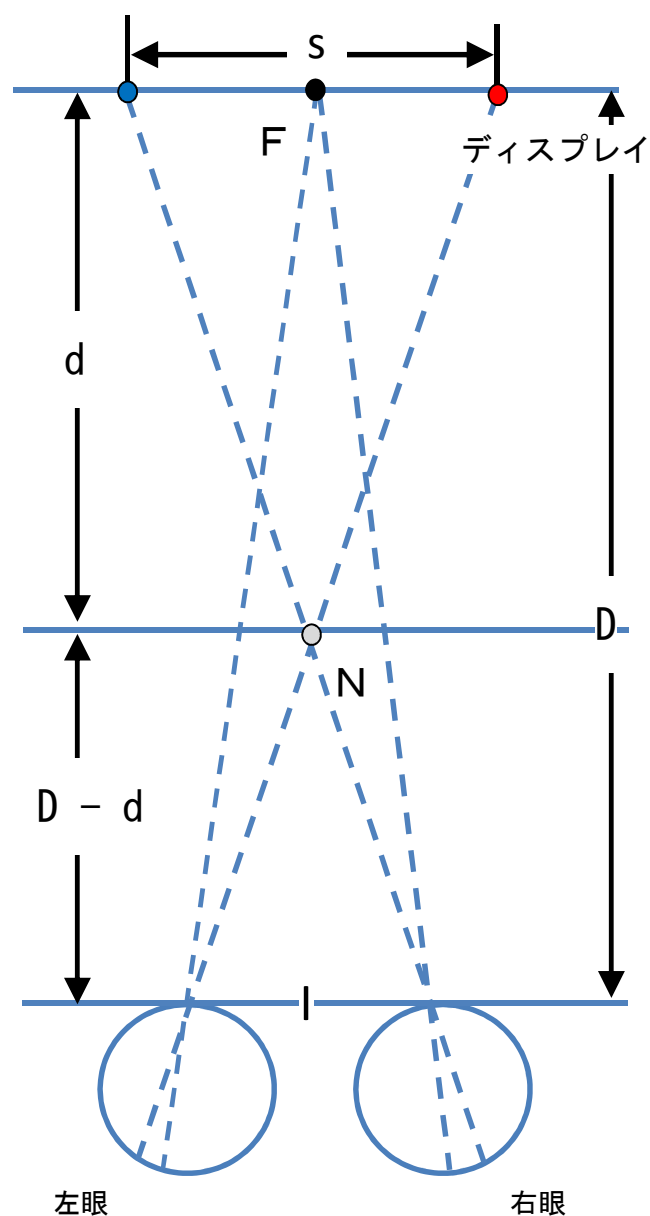


図 A5. 簡便法に使われる幾何学的関係の模式図

5. 奥行理論値と観察距離

(5)式（本サポートサイト、2. 網膜像差の幾何学的表現、参照）が示すように網膜像差の大きさが一定なら、見かけの奥行きは観察距離の二乗に比例して大きくなる。本章で使う実験用 RDS は、観察距離 50 cm のときの小ステレオグラム、観察距離 100 cm のときの中ステレオグラム、観察距離 150 cm のときの大ステレオグラムがほぼ同じ網膜像差を作り出す。このときの理論値は、表 1A に示したエクセル表で計算できる。左表の緑のセルに 50, 100, あるいは 150 を代入すると、それぞれ観察距離 50 cm、100 cm、150 cm の見かけの奥行き量が計算される。見かけの奥行き量が理論値と一致するかどうか、実験を行って確認してみよう。実験方法は、本章で使った調整法がそのまま適用できる。

6. もう1つの測定法

以下はPower Point 2013を使った場合の説明である。Power Point のバージョンによっては、以下の図A6と異なる画面が現れるが基本的なやり方は同じである。この場合も奥行理論値と網膜像差はエクセルファイルを使って最初に計算しておく。

まず、Power Point を標準モードにし、挿入モードで実験刺激（ステレオグラム）の下（あるいは上）に水平線分（図中赤い線分で示した部分）を付け加える。その後、線分をクリックし、書式モードにする。書式モードにすると図の右上に示すように、右端に水平線分の長さ、高さを示す表が表示される。（赤いマルで示している。）実験に際し被験者ごとに刺激の大きさが変化しないように、ズームは100%に固定しておく。（ズームが100%でない場合は表示された水平線分の長さが影響を受ける）。ズームの調整は図の右下に黒い矢印で示す部分で調整する。

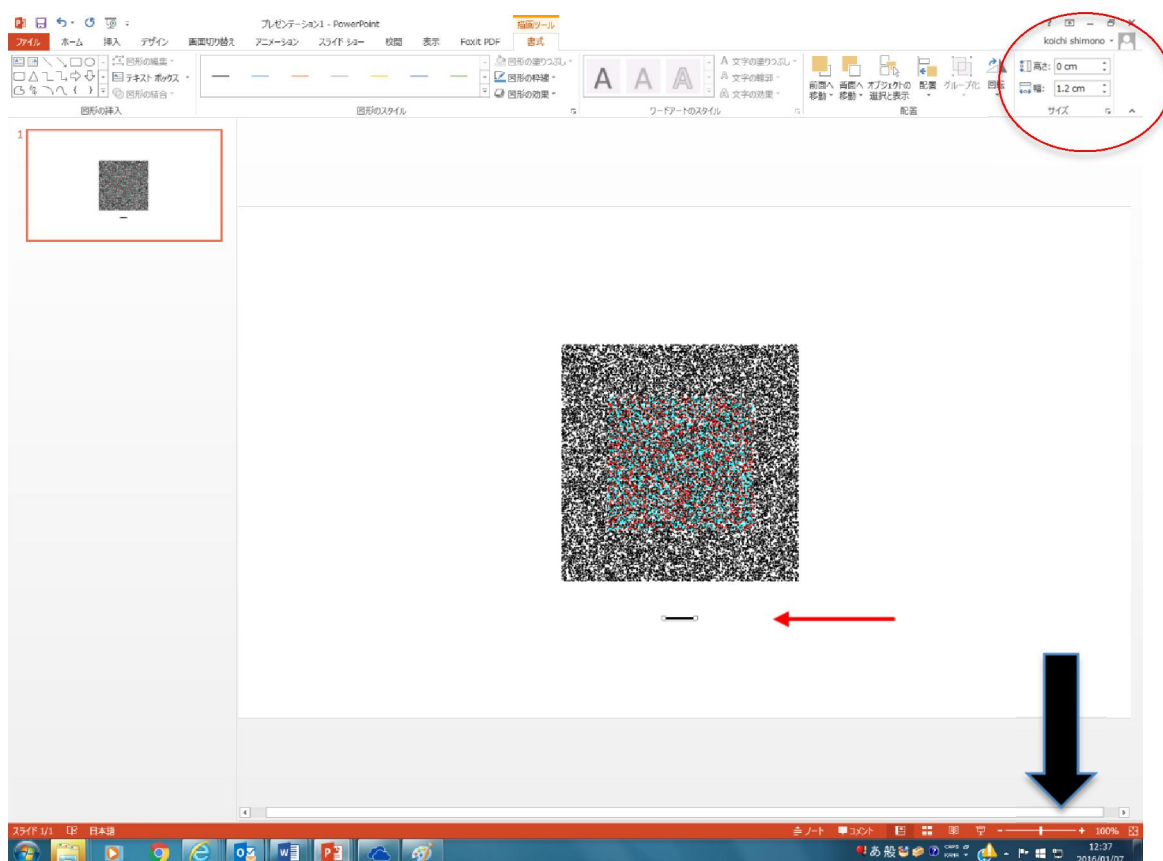


図 A6. Power Point 2013 標準モードを使った場合の例

このとき、実験者は刺激（RDS と線分刺激）以外が見えないように画面の上部と下部を枠（厚紙等で作成）覆う。ただし実験参加者が図A6の右端赤マルで示した部分のうち下の部分の上下の三角形が見えるようにしておく必要がある。実験参加者は上下の三角形をクリックすることで線分の長さを調整する。

実験参加者はさらに、試行が終わるたびに、実験参加者が調整した数字を読み取れるよう

に、枠の一部を開閉可能にしておく必要がある。さらに実験者は実験参加者が調整した水平線分の値から、線分の左右の白抜き矩形の値を差し引く必要がある。(画面に表示される値は白抜き矩形を含んだ長さである。)

(本サポートサイト作成に際しては、東京海洋大学東京海洋大学海洋工学系産学官連携
研究員松田勇祐博士の協力を得た。ここに記して感謝いたします。)