

† ————— †

2025 年度知能情報システム創成

生体知能課題：視覚実験

～視覚系の空間解像力測定～

† ————— †

担当：坪泰宏 (tsubo@fc.ritsumei.ac.jp)

担当：明石行生 (akashy@fc.ritsumei.ac.jp)

2025 年 4 月 ver. 1.5

1 評価基準と諸注意

1.1 評価基準

視覚実験第 1 課題と第 2 課題でのデータ（授業理解度）とそれを元にした第 3 週以降に提出する実験報告書に基づいて評価する。

1.2 各実験終了時点でのチェック項目

視覚実験第 1 課題と第 2 課題の実験実施後に、取得したデータを TA もしくは教員に確認してもらうこと。

1.3 実験報告書

MATLAB+Psychtoolbox によって生成されたデータをコピーし、整理して表やグラフを作成し報告書にまとめる。必ず自分で作成する（元データ以外のファイルコピーや剽窃は認められない）。

- 提出期限：7 月末日
- 提出方法：manaba+R に提出
- 必須内容：以下に示す
 - ・（データシート）実験結果を整理した表とグラフを作成する
 - ・（目的）実験の目的を簡潔に書く
 - ・（実験）方法，機器，条件を記述する（班ごとに条件が異なることもあり，情報を漏らさず書くこと）
 - ・（結果）データシートの表やグラフを説明する（予測通りの結果でもデータをきちんと説明する）
 - ・（考察）実験結果から示唆されること，要因，予測との相違や誤差について書く

1.4 実験に用意するもの以下のものを各自で用意し実験に臨むこと。

- 消えないペンまたはボールペン（実験の記録は消しゴムを使ってはいけない！）
- 実験用ノート（実験条件，データ，その他気づいたことなどを記録する）
- USB メモリー（自分のデータ，プログラムなどを保存するため，ノート PC にデータをうつすため）
- ノート PC（Microsoft Excel，MATLAB，python などが利用できることが望ましい：実験中にグラフ作成してデータを簡易にチェックできる）

¹ 改ざんの疑いをかけられないためである。

2 実験目的と原理

2.1 実験概要

ランドルト環 (Landolt ring) を用いて, 中心視での視力 (visual acuity) を恒常法 (method of constant stimuli) で計測する (第 1 課題). また, 周辺視での視力を極限法 (method of limits) で計測する (第 2 課題).

2.2 実験目的

様々な条件で視力を測定し, 視覚系, 特に網膜における空間情報処理について理解を深める. 心理物理学 (psychophysics) における代表的な閾値測定法である恒常法 (method of constant stimuli) と極限法 (method of limits) を学ぶ. 心理物理学実験用の課題を簡単に作成できるソフトウェアである MATLAB + Psychtoolbox を使用して実験を行い, MATLAB や python 等でデータ解析を行うことで, コンピュータを用いた心理物理学実験及びデータ解析の方法について学ぶ.

2.3 実験原理

2.3.1 視力の定義

視力は視覚系の解像限界（spatial resolution）を表す指標である．厳密には2つの物を分離して見ることのできる最小の間隔（最小分離閾²）を視角 s [分 (min)]³で表し，その逆数⁴を視力 V と定義する（式 (1)）．視力測定に用いる視標にはランドルト環（ランドルトC）やフーコー格子（Foucault grating）があり⁵（図 1），線幅（切り欠き幅）は共に全体の 1/5 と定義される．例えば視力 0.5 は，2.0 min までの切り欠きが見えることを表す．図 2 のように観察距離 D [cm] と切り欠き幅 d [cm] から式 (2) により切り欠き幅の視角 s_{rad} [rad] がラジアン単位で計算され，さらに式 (3) により s [min] へ変換される．

$$V = \frac{1}{s \text{ [min]}} \quad (1)$$

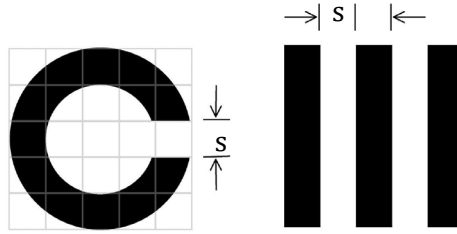


図 1: 視力測定用視標（ランドルト環とフーコー格子）

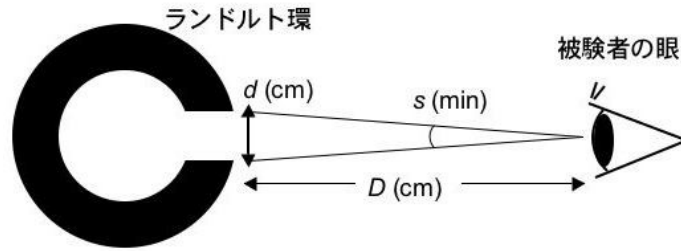


図 2: ランドルト環の切り欠き幅

$$s_{\text{rad}}[\text{rad}] = 2 \cdot \tan^{-1} \frac{d/2}{D} \quad (2)$$

$$s[\text{min}] = s_{\text{rad}}[\text{rad}] \cdot \frac{180}{\pi} \cdot 60 \quad (3)$$

² 「閾」とは何らかの知覚を生じる最小の刺激強度のことで，ここでは分離して見える最小の間隔

³ 「分 (min または ')」は角度の単位で，度 (deg または °) の 1/60

⁴ 通常，種々の知覚における「感度」は「閾値」の逆数で定義される．例えば，最高感度は絶対光覚閾値の逆数

⁵ 欧米では線幅が文字サイズの 1/5 と定義されたスネレン文字（Snellen chart）を使うことが多い

2.3.2 視力の決定要因

視力は様々な因子に左右される。眼に入った光は角膜（cornea）、水晶体（lens）、硝子体（vitreous humor）を通して網膜（retina）上に像を結ぶ（図 3(A)）。よって、まず網膜像の良し悪しが視力に影響する。近視・遠視・乱視・老眼などの屈折異常や水晶体が白濁する白内障では視力は低下する（図 3(B)）。眼科や眼鏡店での視力検査は上記の診断や程度の把握を主目的としている。

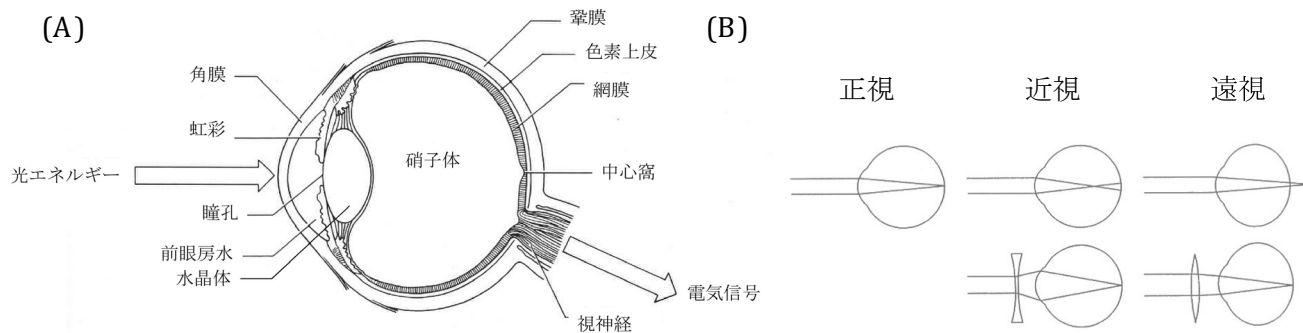


図 3: (A) 眼球断面図 [4]

(B) 屈折異常と視力矯正

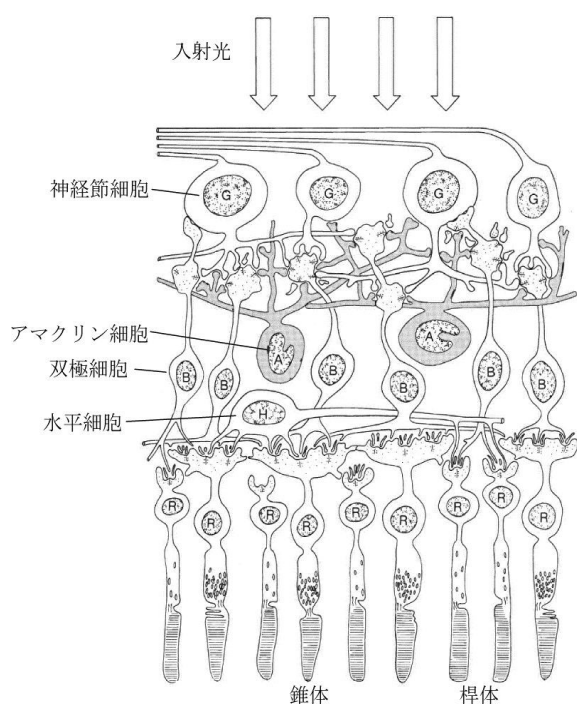


図 4: 網膜拡大図 [4]

視力は光を感知するセンサーである錐体（cone）、桿体（rod）などの視細胞や、その後の神経系にも依存する。視細胞で生じた光に対する電気信号は、水平細胞（horizontal cell）、双極細胞（bipolar cell）、アマクリン細胞（amacrine cell）、神経節細胞（ganglion cell）を経由し、最終的に視神経（optic nerve、神経節細胞の軸索）を通して脳に送られる（図 4）。視細胞が 1 億 2600 万個（錐体約 600 万個、桿体約 1 億 2000 万個）あるのに対し、視神経は約 120 万本しかない。これは視細胞の空間情報が集約されて脳に送られることを示す。その際、1 本の視神経（神経節細胞）は複数の視細胞の反応を統合するが、この 1 個の神経節細胞が受け持つ網膜上での範囲のことを神経節細胞の「受容野（receptive field）」と呼ぶ。

受容野は様々なレベルで定義でき⁶、視覚系の空間情報処理においては重要な概念となる。受容野の大きさは様々で、中心窩付近で小さく、網膜周辺部で大きい。また明るさレベルによっても変化し、明所で小さく、暗所で大きい。

受容野の大きさと「感度⁷」、「解像力」の関係を理解するために、神経節細胞（視神経）と視細胞からなる簡単な神経モデルを考える（図 5）。左が受容野の大きいモデル、右が受容野の小さいモデルである。図のように 2 つの微小光が入射するとき、どちらのモデルでも 2 つの光は別々の視細胞の反応を引き起こすが、視神経レベルの反応は異なる。

受容野が大きいほど多くの信号を足し合わせて強い反応を生じ、高感度となる一方で、解像力は逆になる。受容野が小さいと視神経においても 2 つの反応は別々に扱われ、分離した光点として知覚される。ところが受容野が大きいと 2 つの反応は同じ視神経に集められ、1 つの反応として大脳に送られる。この場合、もはや 2 つではなく 1 つの光点として知覚され、解像力は下がる。このように、受容野の大きさは視力の決定要因となる。逆に、視力測定から受容野の大きさに関する情報が得られる。

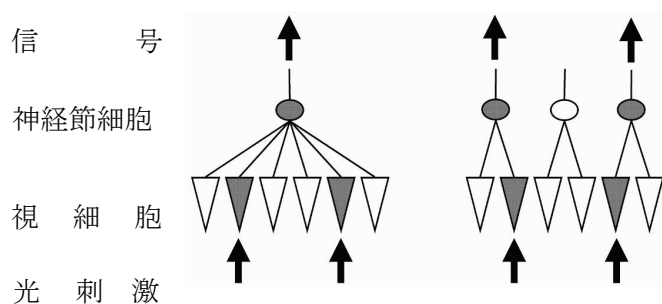


図 5: 受容野の大きさと解像力の関係

⁶ 例えば大脳のある神経細胞に着目して受容野を定義することもある

⁷ 高感度とは、より弱い光に反応できることであり、解像力が高いことや視力が高いこととは明確に区別する必要がある

3 実験環境

外光の影響を避けるため簡易暗室内で実験する（図 6）。実験前に以下の設定を行う。

- 機器
 - ・ LCD1（PC とディスプレイの一体型）： Inspiron 27（27 インチ，DELL）
 - ・ LCD2：HD 709A（HDMI と表示）（24 インチ，JAPANNEXT）
- ディスプレイ設定
 - ・ 輝度・コントラストを初期出荷時状態に戻す（LCD2：M ボタン→ 右矢印ボタン 2 回→ M ボタン 2 回）
 - ・ どちらのディスプレイもカラー設定を「sRGB」にする（輝度とコントラストも自動的に固定される）
 - ・ LCD2（75Hz，1920 x 1080 ピクセル，1080p）であることを確認する
- 実験用アプリケーション
 - ・ MATLAB + Psychtoolbox で作成したコードを用いて実験を行う。
- ミラー調整⁸
 - ・ 被験者が指示しながらミラーの角度を調節し，LCD2 画面がミラー中央に映るように設定する。

⁸ ディスプレイ解像度の限界のため視力測定に使えるほど十分小さな視標を呈示できない。そのため，実験ではミラーを用いて観測距離を長くして小さな視角を実現している

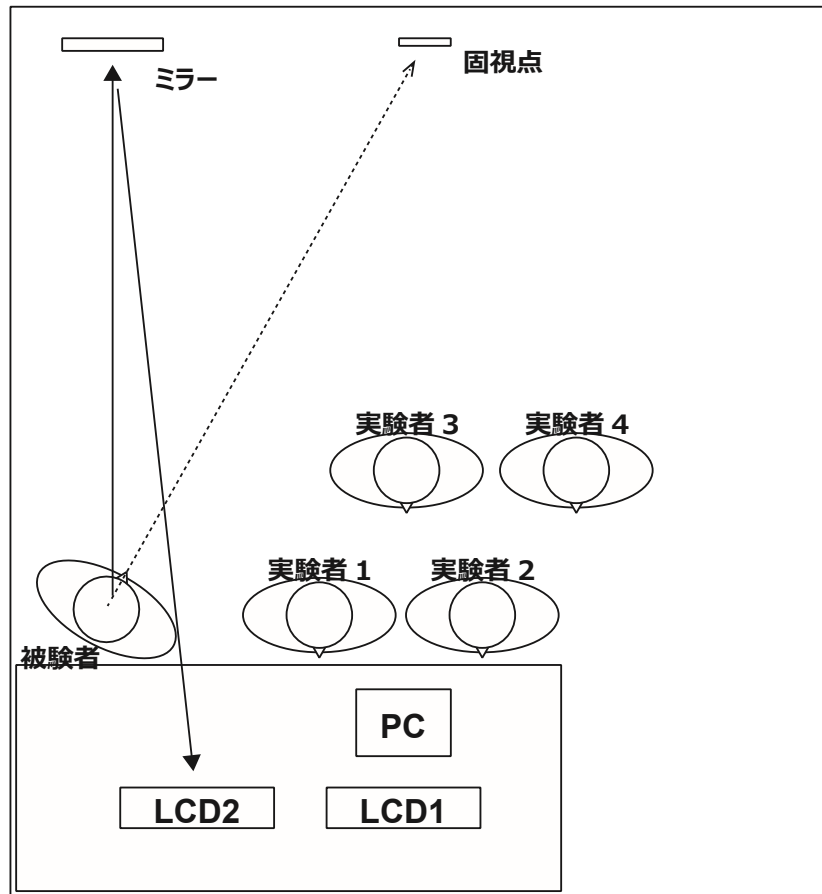


図 6: 簡易暗室内の配置例（視覚実験 2 の場合）：視覚実験 1 の固視点はミラーである。

4 視覚実験 1：恒常法による網膜中心窩での視力測定（第 1 週）

中心窩（fovea）は網膜の凹んだ所で、解像力が最も高い部位である（図 3）。視覚実験 1 では中心窩の解像力を「恒常法（method of constant stimuli）」により測定する。恒常法は時間を要するが高精度に閾値を決定できる手法である。一回の試行では、実験者はある大きさのランドルト環を上下左右のいずれかの方向で呈示し、被験者は切り欠きの方向を答える。この試行を様々な切り欠き幅の視標に対して多数繰り返して正答率を求める。そして正答率がある基準に達するときの切り欠き幅を最小分離閾値として決定する。以下に手順を示す。

4.1 実験系のセットアップ

- PC, LCD1 モニター, LCD2 モニターの電源を入れる

4.2 被験者情報と実験環境の記録

- 実験日時と実験場所⁹を表 1 に記録する。以下、表 1 に記録していく。
- MATLAB+Psychtoolbox で作成した実験用アプリケーション「Oneshot.m」のコードを開ける。
- 被験者に椅子に座ってもらう。実験者の名前（被験者以外のメンバー名と役割）、被験者の名前と被験者番号（participant：3桁の数字で 001 から通し番号で使用。レポートでは、被験者の名前は書かずに番号で書く）を記録する。
- 被験者の性別、年齢、眼鏡コンタクトレンズ着用の有無などの情報を記録する。
- 使用する眼（選定眼）と、今回の計測部位（中心窩）を記録する。
- 「Oneshot.m」のコードの先頭で Gapsize [pix]（ピクセル）と Angle [度]を設定する。ここでは寸法の測定が容易なように、Gapsize [pix]に大きめのランドルト環を設定し、それを初期の切り欠き幅 d_{pix} [pix]として表 1 に記録する。一方、Angle [度]は切り欠き幅の位置（上下左右の 4 通り）を指定する変数である。ただし、鏡を使った実験を想定し左右を反転させているため、上方向は 360 [度]、下方向は 180 [度]、左方向は 90 [度]、右方向は 270 [度]と設定する。
- 「Oneshot.m」を実行し、ランドルト環を呈示する。
- ディスプレイに呈示されているランドルト環の切り欠き幅の長さ d [cm] を計測し、切り欠き幅の設定 d_{pix} [pix] で割って、1 ピクセルあたりの長さ p [cm/pix] を求める。
- 被験者から LCD2 までの距離 D [cm]を測定する。距離 D は、被験者からミラーまでの距離と、ミラーから LCD2 までの距離の和である。

⁹ 実験日時と実験場所を記録するのは、実験の基本である。いろいろな目的があるが、例えば今回の実験では、日時は電子データとの整合のときに重要になり、場所は、実験に問題があった場合に、後日問題を確認するときに重要となる。

4.3 視標サイズの範囲の設定

- 被験者に呈示する視標から，下限（この実験の正答率の下限 0%ではない．では何%か？）から上限（100%）にわたる正答率の推移（知覚確率曲線（psychometric function））が得られるように，以下の手順で切り欠き幅のピクセルサイズの範囲を決め，リスト {g_{pix}} [pix] を作成する．
- まず，「Oneshot.m」のコードを開けて先頭のランドルト環の Gapsize [pix] を変更する．
- 切り欠きの方向が「容易に分かる」視標の切り欠き幅のサイズ g_{pix:max} [pix] と「まったく分からない」視標の切り欠き幅のサイズ g_{pix:min} [pix] を大まかに求めて，表 1 に記入する．
- メモ帳で「Task1Parameter.txt」を開き，この g_{pix:max} と g_{pix:min} を参考にして，「GapPix」の値を設定する．デフォルトの「Task1Parameter.txt」の設定では，g_{pix:min} = 3, g_{pix:max} = 15' {g_{pix}} = {3, 5, 7, 9, 11, 13, 15} となるように記載されている．デフォルトの値が，表 1 の g_{pix:max} と g_{pix:min} と大きく異なるようだったら，このリスト {g_{pix}} を変更する¹¹．但し，「GapPix」は 5～7 段階とすること．

4.4 試行の繰り返しの準備

MATLAB では，刺激のパラメータを変更しながら繰り返し実験を行う場合に，パラメータを Excel のファイルに用意しておけば，そのパラメータを順次呼び出して呈示できる．視覚実験 1 では，この機能を利用して刺激呈示を行う．なお，視覚実験 1 には「Task1.m」の MATLAB のコードを用いる．

- MATLAB の「Task1.m」のコードを開けて，実行する．
- 「被験者番号，セッション番号，繰り返し回数（初期 5）」を入力するダイアログが表示されるので，被験者番号とセッション番号を入力する．
- 「繰り返し回数」は，最終的には 5 回以上計測するように設定する．しかし，1 回のループで 28 条件呈示されるため，最初から 5 と設定すると，被験者は 140 回連続で視標を呈示されることになる．そのため，2 回か 3 回に分割して実験することを推奨する（すなわち，合計が 5 になるように，毎回は 1～3 の数値を設定する）．
- 「被験者番号，セッション番号，繰り返し回数」を入力した後，「OK」を押すとファイル選択画面に移行するので，実験に用いる txt ファイルを選択する．
- これで実験の準備は終了し，実験室の扉を閉めて照明を消す．

4.5 試行の繰り返し

- 被験者は測定しない方の眼を遮蔽し、選定眼だけでミラー越しに LCD2 モニター上の固視点を固視する。
- 実験者は実験に用いるファイルを選択後、「OK」を押して実験の試行をスタートする。
「participant」は被験者番号、「session」はまとまりの番号（合計で 5 試行行うが、被験者が疲労するので適宜 1～3 回のまとまりに分割して実験する）。被験者が疲労しないよう、まとまりごとに交替しながら測定すること
- 被験者は切り欠きの方向（‘上’、‘下’、‘左’、‘右’のいずれか¹⁰⁾）をキーボードの十字キーで答える

(注) 被験者は正答率を上げようとするのではなく、同じ判断基準で判定するように心掛けること

(注) 被験者は目を細めたり、頭の位置を動かしたりしないように注意すること

- 以上の実験を、左眼と右眼に対して全員が被験者になって行うこと。ただし、後に実験 2 と比較するため、左眼から始めること（時間が足りない場合は教員に相談すること）。

4.6 出力データシートの確認（閾値と視力の導出）

- フォルダ「視覚実験」に、「Task1_被験者番号_セッション番号_MMddHHmm.xlsx」という Excel ファイルが生成されているので、このファイルを「Microsoft Excel」で確認する。
- 各行は、実際に呈示された視標の順番に、各パラメータが記録されている。各列のパラメータは、左から Gapsize, Angle, Answer（被験者の回答）、Correct（正誤）の順に並んでいる。
- 実際に設定した試行回数（繰り返し回数（例えば 2）× 条件数（例えば 28））に対応する行の出力が得られていることを確認する。
- 5 回分が複数のファイルで得られたら、それらの行を縦に結合した「新しい」Excel ファイルを作成し、「Task1_被験者番号_MMddHHmm.xlsx」という名前で保存する。実験で自動的に得られた「Task1_被験者番号_セッション番号_MMddHHmm.xlsx」の大元のファイル（raw file（生のファイル））を、決して修正したり削除したりしてはならない。これは、データの改ざんをしていない証拠を残すためである。データを変換したり、計算したりして新しい値を得るときには、必ず新しいファイルに保存することが、実験の基本である。

4.6.1 出力データシートから閾値と視力の導出

- 5 回分のデータが結合されている「Task1_被験者番号_MMddHHmm.xlsx」のファイルで、各行の「GapPix」 $g_{\text{pix}}[\text{pix}]$ から 1 ピクセルあたりの長さ $p[\text{cm/pix}]$ を用いて各行の切り欠き幅 $d[\text{cm}]$ を計算し、式 2 と 3 を用いて、切り欠き幅の視角 $s[\text{min}]$ を計算する。この視角を「GapMin」として、新たなパラメータ列として加える。

¹⁰⁾ 強制選択法（forced choice method）‘分からない’は認めない

- 横軸を視標の切り欠き幅の視角「GapMin」 s [min], 縦軸を正答率 [%] として, グラフ化する (知覚確率曲線). 正答率のグラフは, 横軸を視標の切り欠き幅「GapPix」とする.
- データ点を折れ線で結び (\tanh 関数でフィッティングしてもよい) 正答率が 62.5%となる切り欠き幅の視角を線形補間¹¹ (フィッティングされた関数を用いてもよい) により求め, これを最小分離閾 s_{thre} [min] とする.
- 最小分離閾の逆数を取り視力 V とする (式 (1)).

4.7 実験報告書

以下の内容を, 実験報告書としてまとめて, 第3週以降に, manaba+R に pdf で提出すること.

1. (目的) 目的を簡潔に書く
2. (実験) 方法, 条件, 機器, 被験者などについて記述する
3. (結果) データシートの説明, 閾値と視力の決定方法について解説する
4. (考察) 以下について考察する
 - 正答率と視標サイズの関係, とくに知覚確率曲線の形状について説明せよ
 - 知覚確率曲線および最小分離閾値や視力を被験者間で比較して個人差を論ぜよ
被験者の通常視力や近視・遠視から実験結果を考察しても良い
 - 最小分離閾値を求める正答率を 62.5%とするのはなぜか考えよ

¹¹ 62.5%の正答率をまたぐ 2 点のデータを通る直線を求め, その直線の式に 62.5%を代入すれば良い

恒常法による網膜中心窩での視力測定実験データシート No.	
実験日時と実験場所	2025/ / : ~ : (暗室 No.)
実験者の名前と各役割	()
	()
	()
被験者の名前と被験者番号 (subject)	()
被験者の情報	性別 : 年齢 : 視力 :
測定網膜部位と選定眼	(中心窩) (左・右)
初期の切り欠き幅の設定 d_{pix}	[pix]
初期の切り欠き幅の長さ d	[cm]
1 ピクセルあたりの長さ $p = d/d_{\text{pix}}$	[cm/pix]
被験者から LCD2 までの距離 D	[cm]
切り欠き幅のピクセル (大) $g_{\text{pix}:\text{max}}$	[pix]
切り欠き幅のピクセル (小) $g_{\text{pix}:\text{min}}$	[pix]
切り欠き幅のリスト $\{g_{\text{pix}}\}$	[pix]
出力ファイル名 (.xlsx)	

表 1: 実験環境と実験者・被験者情報の記録

5 視覚実験 2：極限法による様々な網膜部位での視力測定（第 2 週）

図 7 のように，被験者は固視点（fixation point）を固視したまま周辺視で視標を観察し，周辺網膜部位での視力を測定する（実際の配置は図 6）．視覚実験 2 は測定条件が多いため，簡便な「極限法（method of limits）」を用いる．固視点の位置の設定は，実験室の大きさと個人の盲点の位置によって調整する必要がある．

例えば，ミラー中心から固視点までの距離 E を 0, 20, 40, 60, 100cm などに設定する（この被験者の場合，盲点が 80cm 辺りにある）．盲点に視標が入る場合は，固視点位置をずらして設定する．固視点をミラー中心とする条件は，視覚実験 1 と同じ中心窩呈示条件となる．

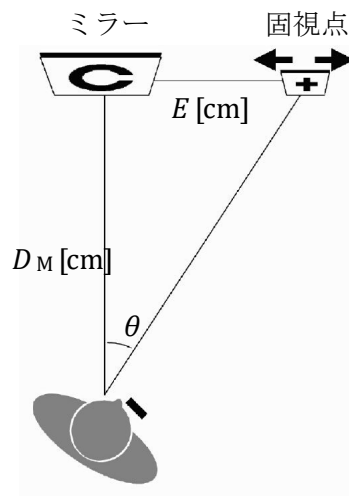


図 7: 視覚実験 2 の測定配置図

5.1 被験者情報と実験環境の記録

- 実験日時と実験場所を表 2 に記録する．以下の項目についても表 2 に記録していく．
- 被験者に椅子に座ってもらう．実験者の名前（被験者以外のメンバー名と役割），被験者の名前と被験者番号（視覚実験 1 で割り当てた番号と同じ番号にする）を記録する．
- 被験者の性別，年齢，眼鏡コンタクトレンズ着用の有無などの情報を記録する．
- 使用する眼（選定眼）を記録する．
- 被験者からミラーまでの距離 D_M [cm] を測定する．
- 盲点領域の測定と呈示網膜部位の設定を以下の手順で行う．
 1. ディスプレイに適当な大きさのランドルト環を呈示する（「Oneshot.m」のコードの「サイズ」を小さく設定したランドルト環を利用する）．
 2. 実験者はペン先などの固視点を視標に近いところから徐々に離しながら水平に移動させる．
 3. 被験者は測定しない方の眼を遮蔽し，選定眼で固視点を追従したまま視標を周辺視で観察する．
 4. 被験者は視標が消えるところ E_{B-} [cm] と視標が再び現れるところ E_{B+} [cm] で合図する．
 5. 上記の位置（盲点） E_{B+} , E_{B-} [cm] を測定し，表 2 に記録する．レポート作成時にこれらの値とミラーまでの距離 D_M [cm] と固視点までの距離 E [cm] を用いて式 (4) により盲点領域の内側・外側位置 θ_{B-} , θ_{B+} [deg] を計算する．

$$\theta = \frac{180}{\pi} \tan^{-1} \frac{E}{D_M} \quad (4)$$

- 視標サイズの設定の参考値を求める
 1. 視覚実験 1 と同様に，中心視（ミラーを見る場合， $E = 0$ cm）の時に，切り欠きの方向が「容易に分かる」視標の切り欠き幅のサイズ $g_{\text{pix:max}}$ [pix] と「まったく分からない」視標の切り欠き幅のサイズ $g_{\text{pix:min}}$ [pix] を大まかに求めて，表 2 に記入する．
 2. 一番離れた周辺視（例えば， $E = 100$ cm）の時に，同様に $g_{\text{pix:max}}$ [pix] と $g_{\text{pix:min}}$ [pix] を大まかに求めて，表 2 に記入する．
 3. 上記の $g_{\text{pix:max}}$ と $g_{\text{pix:min}}$ を参考にして，上昇系列，下降系列の初期値を決定する．

5.2 試行の準備

下降系列の実験と上昇系列の実験には MATLAB のコードを用いる.

- それぞれ「Task2_LimitDown.m」と「Task2_LimitUp.m」を開いて、コードの先頭部分でランドルト環の切り欠き幅のサイズを設定する.
- 下降系列の場合, $g_{\text{pix}:\text{max}}$ を参考にして「Task2_LimitDown.m」のコードの先頭に最大サイズを設定する. 一方, 上昇系列の場合, $g_{\text{pix}:\text{min}}$ を参考にして「Task2_LimitUp.m」のコードの先頭に最小サイズを設定する.
- これで準備を終了し, 実験室の照明を消す.

5.3 試行の繰り返し

- 先の実験で決定した固視点の呈示位置 (メジャーの目盛り位置) $\{E\}$ のうちの一つに固視点を置く (蓄光マグネットを使用するとよい)
- 被験者は固視点に正対するように顔を向け, 測定しない方の眼を覆う
- 下降系列の場合, 以下の通り進める
 - 実験者は被験者に固視点を固視するよう指示し, $g_{\text{pix}:\text{max}}$ を参考にして大きめのサイズの視標から呈示する.
 - 「Task2_LimitDown.m」は, 1 問でも不正解をすると終了するように作成されている. 被験者が正解したら同じサイズの視標を呈示し, 2 回連続で正解したら視標の切り欠き幅のサイズが一定の数のピクセル分だけ変化される. 下降系列の場合, 基本的に -2 pix とする.
 - 連続正解した最後の視標 $g_{\text{pic}+}$ と最初に不正解した視標 $g_{\text{pic}-}$ の切り欠き幅の中間値を最小分離閾値 g_{thre} とする (式 5). この値から視角 $s [\text{min}]$ を計算する

$$g_{\text{thre}} = \frac{g_{\text{pic}+} + g_{\text{pic}-}}{2} \quad (5)$$

- 上昇系列の場合, 以下の通り進める
 - 実験者は被験者に固視点を固視するよう指示し, $g_{\text{pix}:\text{min}}$ を参考にして小さめのサイズの視標から呈示する.
 - 「Task2_LimitUp.m」は, 2 問連続で正解をすると終了するように作成されている. 被験者が不正解であったら切り欠き幅のサイズが一定の数のピクセル分だけ変化し, 正解した場合には同じ値が繰り返される. 上昇系列の場合は, 基本的に $+2 \text{ pix}$ とする.
 - 連続正解した最後の視標 g_{pic} を最小分離閾値 g_{thre} とする. この値から視角 $s [\text{min}]$ を計算する
- それぞれの網膜部位 ($E = 0, 20, 40, 60, 100 \text{ cm}$) に対して下降系列と上昇系列を交互に 2 回ずつ繰り返す. ばらつきが大きい場合は 3 回, 4 回と回数を増やすこと. エラーなどにより中断した場合はメモをすること. 系列を 1 回実行するごとに, session 番号の 1 の桁を変えること.

10 の桁, 100 の桁は, 網膜部位 E の値にすること (例: $E = 60$ の 3 回目の系列の場合, session=063)

- 得られた閾値の平均値を最終的な最小分離閾値の視角 s [min] とし, その逆数をその網膜部位での視力 V とする. 切り欠き幅の視角 [min] や視力の計算方法は視覚実験 1 と同様とする.
- 視標の呈示位置が網膜上の鼻側/耳側のどちらであるか確認する. ちなみに図 7 の配置のとき, 視標は左眼の網膜上鼻側に位置する.
- ミラーまでの距離 D_M [cm] と固視点までの距離 E [cm] を用いて式 (4) により, 視標の呈示網膜部位 θ [deg] と盲点領域の内側・外側位置 θ [deg] を計算する.

5.4 データシート（周辺視力と盲点のグラフ作成）

1. 横軸を網膜部位（固視点からの角度 θ [deg]），縦軸を視力にとってグラフ（散布図-直線）にプロットする．
2. 盲点の領域もグラフ上に図示する．

5.5 実験報告書以下の内容を，実験報告書としてまとめて，7 月末日までに，manaba+R に pdf で提出すること．

1. （目的）目的を簡潔に書く
2. （実験）方法，条件，機器，被験者などについて記述する
3. （結果）データシートの説明，網膜部位と視力の関係，盲点領域について解説する
4. （考察）以下について考察する
 - 視力変化を被験者間で比較せよ（中心窩での個人差・周辺視野での個人差）
 - 視力変化と盲点領域を被験者間で比較せよ（視距離（頭部の位置）の誤差が網膜部位と最小分離閾値に与える影響を定量的に検討してみよ）
 - 各網膜部位で得られた視力から網膜部位と受容野サイズの関係性を論ぜよ（2.3.2 節参照）
 - 視覚実験 2 の中心窩で測定した視力と視覚実験 1 で得た視力を比較せよ（両者とも中心窩の視力だが一致しないことがある，その理由を閾値で想定される正答率をもとに考えよ，ちなみに視覚実験 1 は 62.5%）

参考文献

- [1] 情報機器と情報社会のしくみ素材集，<http://www.sugilab.net/jk/joho-kiki/index.html>
- [2] P. Kaiser & R. Boynton: *Human Color Vision*, Optical Society of America, Washington (1996)
- [3] 池田光男著：色彩工学の基礎 (朝倉書店, 東京, 1988)
- [4] 篠田・藤枝著：色彩工学入門 (森北出版, 東京, 2007)
- [5] 太田登著：色再現工学の基礎 (コロナ社, 東京, 2000)
- [6] 池田光男著：眼はなにを見ているか (平凡社, 東京, 1988)

極限法による様々な網膜部位での視力測定実験データシート No.	
実験日時と実験場所	2025/ / : ~ : (暗室 No.)
実験者の名前と各役割	()
	()
	()
被験者の名前と被験者番号 (subject)	()
被験者の情報	性別 : 年齢 : 視力 : 矯正 : 有・無
測定網膜部位と選定眼	(周辺網膜部位) (左・右)
初期の切り欠き幅の設定 d_{pix}	[pix]
初期の切り欠き幅の長さ d	[cm]
1 ピクセルあたりの長さ $p = d/d_{\text{pix}}$	[cm/pix]
被験者から LCD2 までの距離 D	[cm]
中心視の切り欠き幅 (大) $g_{\text{pix}:\text{max}}$	[pix]
中心視の切り欠き幅 (小) $g_{\text{pix}:\text{min}}$	[pix]
$E = 100$ の切り欠き幅 (大) $g_{\text{pix}:\text{max}}$	[pix]
$E = 100$ の切り欠き幅 (小) $g_{\text{pix}:\text{min}}$	[pix]
被験者からミラーまでの距離 D_M	[cm]
盲点位置のメジャーの目盛 E_{B+} , E_{B-}	[cm]
固視点の呈示位置のメジャー目盛 E	(, , , ,) [cm]
出力ファイル名 (.xlsx)	

表 2: 実験環境と実験者・被験者情報の記録