

2023 年度 実世界情報実験 1 心理学実験  
担当 満田 隆 mitsuda@is.ritsumeai.ac.jp

## 概要

知覚、注意、運動、感情に関する認知心理学実験を通じ、実験の適切な計画と実施方法、実験データを統計的に処理し解析する方法、レポートの作成方法を学ぶ。

## 場所

クリエーションコア 3F CC301

## 必要な物

ノートPC または USBメモリ

## スケジュール

D1クラスは第2週～第8週、D2クラスは第9週～第15週に行う。

1 回	心理学実験の基礎～実験法とレポートの書き方
	実験計画、Excelによるデータ処理・統計、レポート作成
2 回	心理学実験 1～視知覚
	ミュラー・リヤー錯視
3 回	心理学実験 2～認知
	心的回転
4 回	心理学実験 3～触知覚
	重量弁別
5 回	心理学実験 4～注意と感情
	注意、感情
6 回	心理学実験 5～生体計測
	視線計測、脈波計測
7 回	心理学実験のまとめ
	レポート指導

## 単位取得条件

指定のレポートをすべて提出して合格すること。また、基本的に7週の実験にすべて出席すること。チャイムが鳴り終わった後に教室に入ったものは遅刻とみなし、1/3欠席扱いとする。また、45分以上の大幅な遅刻・中抜け・早退は2/3欠席扱いとする。やむを得ず遅刻・欠席する場合には、事前に教員に連絡し、了解を得ること。ただし、その場合でも原則として相応の減点を行う。

## 目次

心理学実験法.....	2
Excel の使い方 Tips.....	5
Excel によるグラフの作成と統計検定 .....	6
実験レポートの書き方 .....	17
Ponzo 錯視 .....	24
Müller-Lyer 錯視 .....	26
Stroop 実験.....	32
Mental Rotation.....	34
重量弁別実験.....	37
生体計測：虚偽検出.....	44

---

## 心理学実験法

### 1. 独立変数・従属変数・剰余変数

心理学実験では、研究者が意図的に条件（**独立変数**: independent variable）を操作し、得られた結果（**従属変数**: dependent variable）との因果関係を調査する。たとえば、液晶ディスプレイの解像度が高いほど画面に映る写真は美しい、との**仮説**（hypothesis）を検証するために、解像度が異なる液晶ディスプレイに投影した写真の美しさを何名かに評価してもらったとする。この実験における独立変数は液晶ディスプレイの解像度であり、従属変数は被験者が回答した写真の美しさである。このとき、解像度が低い液晶ディスプレイの画面は暗く、解像度が高い液晶ディスプレイの画面は明るかったとすると、液晶ディスプレイによる写真の美しさの違いが解像度と画面の明るさのどちらを反映しているのかは判断できない。この実験における画面の明るさのように、従属変数の変化をもたらす独立変数以外の変数を**剰余変数**（extraneous variable）という。独立変数と従属変数の正しい因果関係を得るためには、剰余変数の影響をなるべく小さくしなければならない。考慮すべき剰余変数には以下のようなものがある。

#### a) 被験者

条件毎に被験者が異なる場合、被験者の年齢、性別、能力、心理状態（動機、疲労）などが結果に影響しうる。

#### b) 環境

実験室の騒音、まわりの人の会話、快適性（室温、湿度、明るさ）など、従属変数に影響しうる剰余変数は数多くある。条件間でこれらが異ならないように細心の注意を払う必要がある。

c) 系列効果・順序効果

被験者が繰り返し測定を受ける場合に、実験への慣れ、疲れなどが結果に影響する。

## 2. カウンターバランス

実験条件の実験順序によって生じる影響（順序効果）を相殺するために、各条件の実施順序が全体として等しくなるようにすることをカウンターバランス（counterbalancing）という。たとえば、各被験者がA, B, Cの3つの条件で測定を受ける場合、表1のようにすれば、3つの条件とも1回目、2回目、3回目でそれぞれ1回ずつ測定されることになるので、順序効果はある程度相殺される。しかし、Cに先行してBを行った被験者が2名であるのに対して、Cの後にBを行った被験者は1名なので完全にバランスがとれてはいない。この場合、6名の被験者が表2のように行えば、この問題は解決される。

表1 3条件（A,B,C）のカウンターバランスの例1

	1 回目	2 回目	3 回目
被検者 1	A	B	C
被検者 2	B	C	A
被検者 3	C	A	B

表2 3条件（A,B,C）のカウンターバランスの例2

	1 回目	2 回目	3 回目
被検者 1	A	B	C
被検者 2	B	C	A
被検者 3	C	A	B
被検者 4	C	B	A
被検者 5	A	C	B
被検者 6	B	A	C

被検者数や試行数が多い場合には、実施順序をランダムに決める（無作為化：randomization）ことがある。しかし、ランダムに決めた場合でも各条件の実施順序が等しくなるとは限らず、特に被検者数や試行数が少ない場合には偶然による偏りが生じやすいので注意する必要がある。

## 3. 参加者間計画と参加者内計画

各条件で測定する参加者が異なる実験計画を参加者間計画（between-participants design）とよび、各被験者がすべての条件で測定する実験計画を参加者内計画（within-participants design）とよぶ。たとえば、あるシステムを導入することによる作業時間短縮効果を検証

する場合、被験者を二つのグループに分けて、一つのグループはシステムを使って作業し、他方のグループはシステムを使わずに作業する実験計画は参加者間計画である。この場合、システムを使って作業するグループを実験群 (experimental group)、比較のためにシステムを使わずに作業するグループを統制群 (control group) とよぶ。また、各被験者がシステムを使った作業と使わない作業の両方を行う実験計画は参加者内計画である。

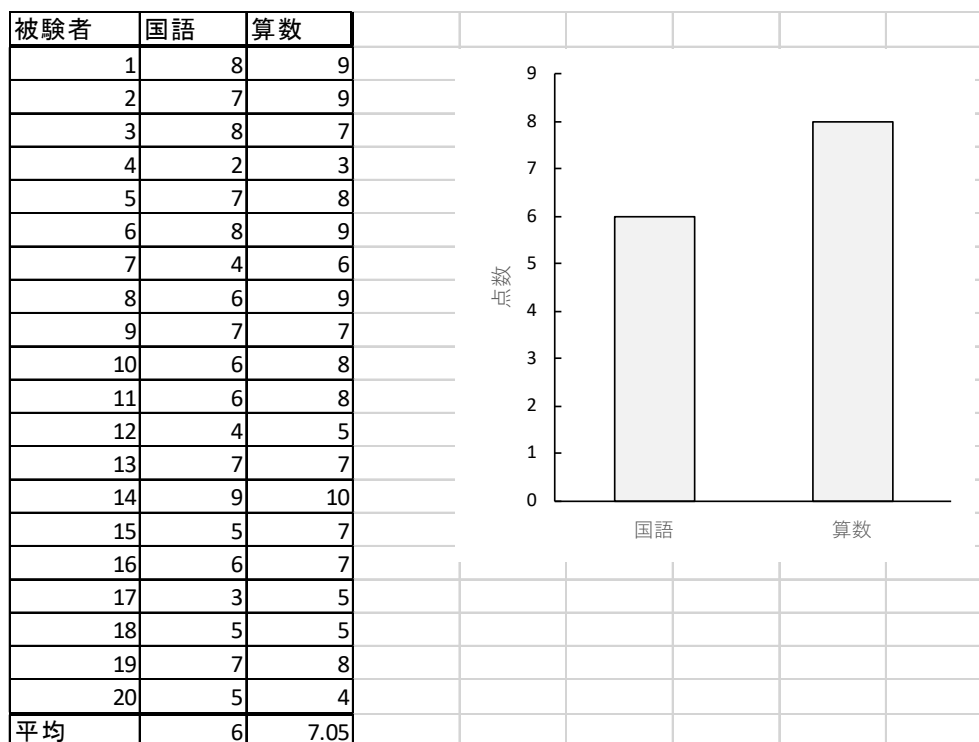
#### 4. インフォームドコンセントとプライバシーの保護

実験においては、被験者が不利益を被らないように、実験について十分に説明し、事前  
に同意 (インフォームドコンセント) を得ることが必要である。インフォームドコンセントは実験同意書への署名で得ることが望ましい。実験同意書には、実験の目的、被験者が行う内容、所要時間、謝金の有無と金額、実験参加により生じうるリスク、データを公表する可能性、プライバシー保護の方法を記載し、被験者に説明する。また、自由参加であること、いつでも参加を取り止めることができ、参加を取り止めても実験者との関係を損なうなどの不利益がないことも説明する。

心理学実験ではプライバシーの保護についても十分に注意を払う必要がある。たとえば、記憶課題を行う実験において被験者の氏名でデータを管理し、そのデータが実験者以外の人に見られると、被験者の記憶力が実験以外の目的で他者に知られることになる。被験者の氏名をID番号に置き換えて管理したり、データファイルを暗号化するなど十分な対策を行うことは実験者の義務である。近年はデータを記録したUSBメモリの紛失や、ネット接続したPCへの悪意ある他者によるハッキングなどによりデータが流出する事件が頻繁にあるので注意すること。

## Excel の練習（宿題）

stat.xlsx のワークシート「国語算数」を用いて各科目の平均点を計算し下図のグラフを作成せよ。



横軸ラベル（「国語」「算数」）のつけ方

グラフ内で右クリック「データ選択」⇒右側の「編集」ボタン⇒セルの選択（複数セルを選択）

グラフエリアの枠線の消し方（デフォルトでは枠線があるが、普通はつけない。）

グラフ内で右クリック「グラフエリアの書式設定」⇒「枠線」「線なし」を選択

グラフタイトルの消し方（デフォルトではグラフ内にタイトルがあるが、普通はエリア外に書く。）

選択して Delete キー

軸の線、メモリ、ラベルなどの調整（エリア内のメモリ線は普通はつけない）

グラフを選択して、左端の「グラフ要素を追加」

ショートカットを使うと効率的

コピー [Ctrl + c]、ペースト [Ctrl + v]、元に戻す [Ctrl + z]、カット [Ctrl + x]

データのソート（並べ替え）

「データ」⇒「並べ替え」⇒「最優先されるキー」に並べ替えの基準となる列をセットする。

右上の「先頭行をデータの見出しとして使用する」を必要に応じてチェックする、または外す。

行、列、セルの挿入、削除

選択して、右クリック⇒「挿入」「削除」 ※ データがずれないように注意が必要

## Excel によるグラフの作成と統計検定

### 1. 平均・分散・標準偏差・標準誤差

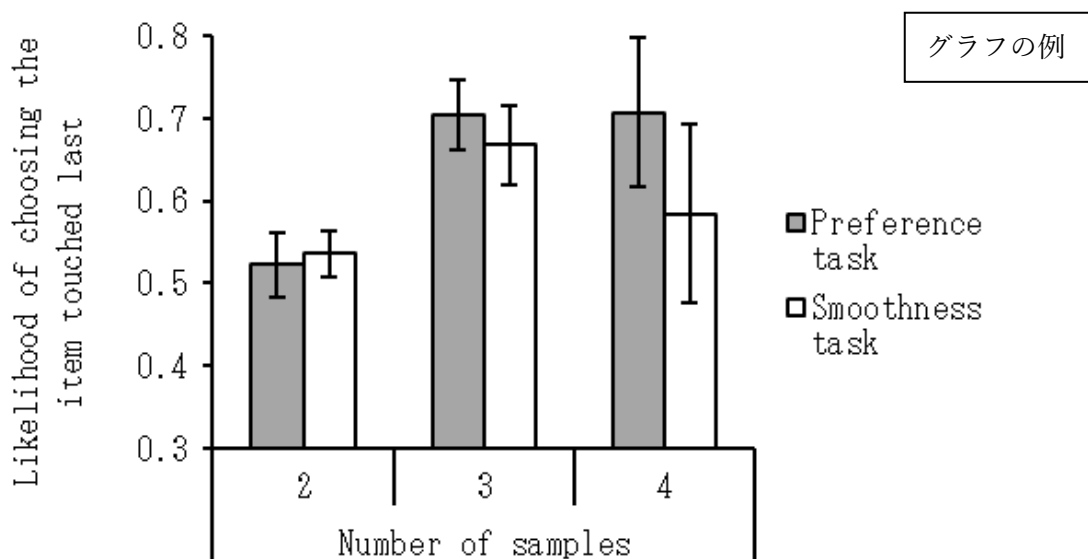
データの平均(M: mean)を示す際には、必ずデータのばらつきを示す**標準偏差**(SD: standard deviation)または、平均値の信頼区間を与える**標準誤差**(SEM: standard error of mean)を一緒に示す。

	定義	Excel での計算法
平均	$M = \frac{\sum x_i}{n}$	=AVERAGE(セル範囲)
分散	$SD^2 = \frac{\sum (x_i - M)^2}{n-1}$	=VAR(セル範囲)
標準偏差	$SD = \sqrt{\frac{\sum (x_i - M)^2}{n-1}}$	=STDEV(セル範囲)
標準誤差	$SEM = \frac{SD}{\sqrt{n}}$	=STDEV(セル範囲)/SQRT(データの個数) =STDEV(セル範囲)/SQRT(count(セル範囲)) でも良い。

$n$ : データの個数,  $x_i$ : 各データ, count() はデータが含まれるセルの個数を返す関数

### 2. エラーバー

平均を示すグラフでは、標準偏差または標準誤差をエラーバーとして示す。エラーバーが何を表しているかを忘れずに書くこと。



**Figure 2.** 最後に触った品物を選択した確率と触った回数の関係。エラーバーは標準誤差を示す。

## グラフへのエラーバーの追加方法

「グラフツール」→「デザイン」の「グラフ要素を追加」→「誤差範囲」→「その他の誤差範囲のオプション」を選択し、誤差範囲のチェックボックスの中から「ユーザー設定（値の指定）」で直接、標準偏差または標準誤差の値を指定する。

「ユーザー設定」の上の「標準偏差」や「標準誤差」のチェックボックスをオンにするのではないことに注意すること。

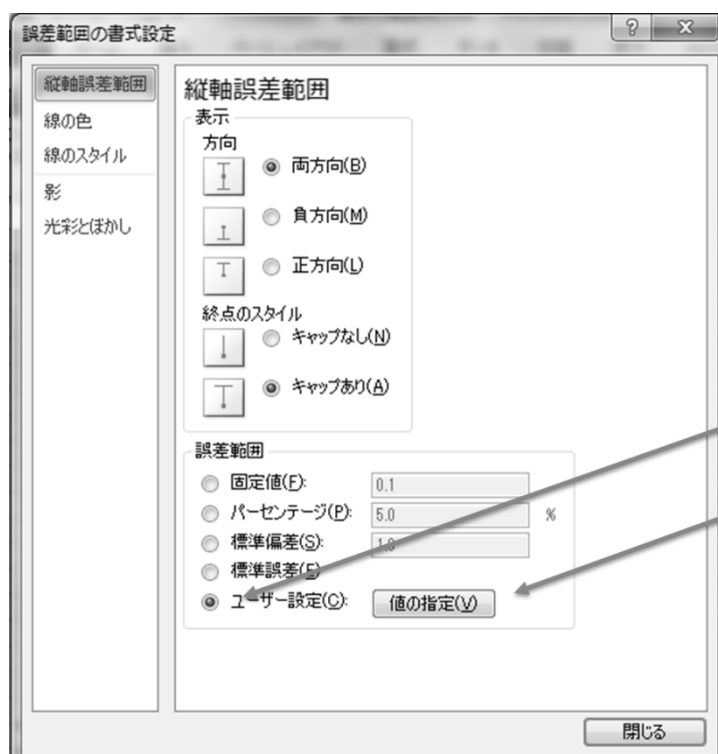


図1 Excel グラフへのエラーバーの追加方法

## 課題 1

stat.xlsx のワークシート「国語算数」のデータより、各科目の平均、分散、標準偏差、標準誤差を計算し、図2に示すグラフを作成せよ。グラフ中のエラーバーは標準誤差とする。

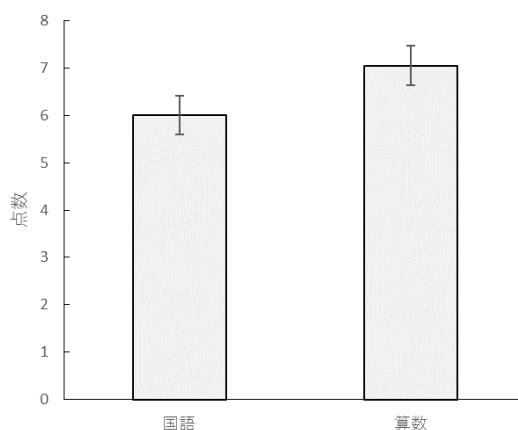


図2 エラーバーをつけた棒グラフの例

### 3. 分析ツール

Excel で統計学的検定を行う分析ツールを用いるためには、分析ツールのアドインを以下の手順でアクティブにする必要がある。

分析ツールアドインをアクティブにする方法

「ファイル」メニューの「オプション」から「アドイン」を選択し、表示された Excel のオプションのウィンドウの下部にある「管理」の横の選択メニューで「Excel アドイン」を選択し、その右横にある「設定」ボタンをクリックする。アドインのウィンドウが表示されるので、「分析ツール」にチェックを入れ「OK」をクリックする。分析ツールがアクティブになると「データ」メニューにおいて右端に「データ分析」が表示される（下図参照）。



図 3 分析ツールアドインをアクティブ化したときのメニュー画面

### 4. t 検定(t test)

t 検定で計算される p 値は、観測された二つの平均値が同じ母集団から得られたものである場合に、観測された平均値の差、および、それ以上の差が偶然的に得られる確率を示す。簡略に説明すると、t 検定は、二つの平均値の差が偶然の産物であるかどうかを判定するためのものであり、p 値は二つの平均値の差が偶然の産物である確率を示す。

二つの平均値が大きく異なる場合でも、サンプル数が少なければ偶然、そのような偏りが生じる可能性は高い。t 検定ではその確率(p 値)を計算し、p 値が小さければ（通常、0.05 未満または 0.01 未満）のときには、そのようなことは滅多に起きないことなので、二つの平均値の差は偶然に生じたものではないと考える。偶然生じたものではない、ことを“有意な差があった”と表現し、偶然であるかどうかの閾値（0.05 または 0.01）を有意水準という。以上は t 検定および帰無仮説による検定の説明だが、詳しくは、確率統計の授業や参考書で勉強して欲しい。ここでは、Excel で t 検定を行う方法を説明する。

t 検定には、“独立 2 群の差の検定”と“関連 2 群の差の検定”(paired t test)があるので注意が必要である。たとえば、A 組の生徒と B 組の生徒の平均身長を比較する場合は“独立 2 群の差の検定”を用い、生徒の国語の点数と算数の点数を比較する場合は“関連 2 群の差の検定”の検定を用いる。図に示すように関連 2 群のデータでは、それぞれの群のデータどうしを結ぶことができるが、独立 2 群のデータでは結べない。



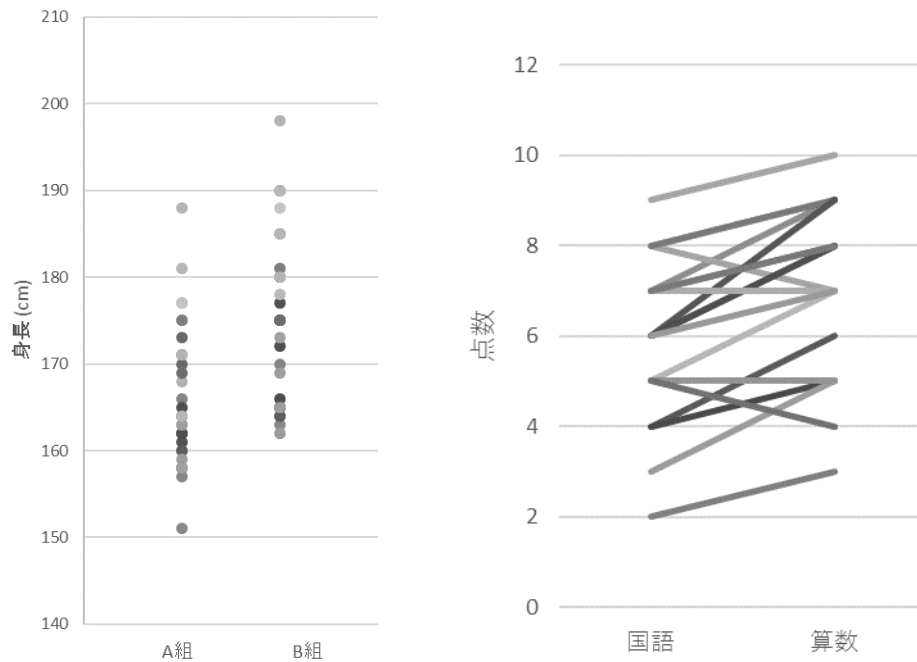


図4 独立2群（左）と関連2群（右）のデータ例

Excel の分析ツールでは、「t 検定：一对の標本による平均の検定」が関連 2 群の差の検定であり、「t 検定：等分散を仮定した 2 標本による検定」と「t 検定：分散が等しくないと仮定した 2 標本による検定」が独立 2 群の差の検定である。以下、関連 2 群の差の検定を例に Excel で行う方法を説明する。「分析ツール」から「t 検定：一对の標本による平均の検定」を選択すると、図 5 の画面が表示される。ここで、変数 1 と変数 2 の入力範囲で各群のデータを指定する。つぎに出力オプションでは結果の出力先を指定する。「新規ワークシート」を選択すると、データがあるワークシートとは別のワークシートが新たに作成されて結果が保存される。データと検定結果が同時に見られたほうが便利であるので、ここでは「出力先」で結果を出力したい場所（セル）を指定する。「OK」をクリックすると図 6 のように検定結果がセルに書き込まれる。

この場合の検定結果は、

“国語の得点と算数の得点には有意な差があった ( $t(19) = 4.47, p = .00026$ )。 “

となる。Excel の結果の表中の t 値の正負は変数 1 と変数 2 のどちらが大きかったかを示す。国語と算数の順番には意味がないので、レポートでは t 値の絶対値を報告すれば良い。また、p 値はこの例のように実際の値を書いたほうが望ましい。しかし、コンピュータが使えなかった頃(p 値の計算が難しかった頃)の名残りと、また、文の読みやすさから、

“国語の得点と算数の得点には有意な差があった ( $t(19) = 4.47, p < .001$ )。 “

のように不等号を用いて書くことも多い。しかし、この場合でも有意差がない場合には p 値を等号で書く。Excel の表中の p 値には片側検定と両側検定の結果があるが、通常は両側検定の結果を用いる。

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
7	被験者	国語	算数								
8	1	8	9								
9	2	7	9								
10	3	8	7								
11	4	2	3								
12	5	7	8								
13	6	8	9								
14	7	4	6								
15	8	6	9								
16	9	7	7								
17	10	6	8								
18	11	6	8								
19	12	4	5								
20	13	7	7								
21	14	9	10								
22	15	5	7								
23	16	6	7								
24	17	3	5								
25	18	5	5								
26	19	7	8								
27	20	5	4								
28	平均	6	7.05								

t 検定: 一対の標本による平均の検定

入力元

変数 1 の入力範囲(1):

変数 2 の入力範囲(2):

仮説平均との差異(Y):

☐ ラベル(L)

$\alpha(A)$ :

出力オプション

☒ 出力先(O):

☐ 新規ワークシート(P):

☐ 新規ブック(W)

OK

キャンセル

ヘルプ(H)

図 5 Excel による Paired t test の実施例

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
7	被験者	国語	算数						
8	1	8	9		t検定: 一对の標本による平均の検定ツール				
9	2	7	9						
10	3	8	7			変数 1	変数 2		
11	4	2	3		平均	6	7.05		
12	5	7	8		分散	3.263158	3.523684		
13	6	8	9		観測数	20	20		
14	7	4	6		ピアソン	0.838152			
15	8	6	9		仮説平均	0			
16	9	7	7		自由度	19	←		
17	10	6	8		t	-4.47187	←		
18	11	6	8		P(T<=t) 片	0.000131			
19	12	4	5		t 境界値	1.729133			
20	13	7	7		P(T<=t) 両	0.000261	←		
21	14	9	10		t 境界値	2.093024			
22	15	5	7						
23	16	6	7						
24	17	3	5						
25	18	5	5						
26	19	7	8						
27	20	5	4						
28	平均	6	7.05						

図 6 Excel により Paired t test を行った後の画面

なお、Excel では独立 2 群の差の検定において、「t 検定：等分散を仮定した 2 標本による検定」と「t 検定：分散が等しくないと仮定した 2 標本による検定」の二つを利用できる。2 群が等分散であるかどうかは F 検定で判別することができる。等分散でない場合には、Mann-Whitney 検定などのノンパラメトリック検定(Excel の分析ツールアドインでは利用不可)を用いることも多い。

## 課題 2

- (1) stat.xls の「国語算数」のデータを用いて、関連 2 群の差の検定(paired t test)を行い、図 6 と同じ結果が得られることを確認せよ。
- (2) stat.xls の「国語算数」のデータを用いて、国語と算数の得点の分散が異なることを F 検定で確認せよ。F 検定で得られた p 値はいくらか？
- (3) 独立 2 群の差の検定(等分散を仮定した 2 標本による検定)を行い、以下の文章の空欄(下線を引いた部分)を埋めよ。

国語と算数の得点には有意な差が \_\_\_\_\_ ( $t( \quad ) = \quad , p = \quad$ )。

## 5. 分散分析(ANOVA: Analysis of variance)

t 検定が 2 群の差を検定するのに対して、3 つ以上の群間の差を検定する方法として分散分析が広く利用されている。分散分析は 2 群の差の検定にも用いることができる。以下、Excel で分散分析を行う方法を説明する。Excel の分析ツールでは、「一元配置」、「繰り返し

のある二元配置」、「繰り返しのない二元配置」の3種類の分散分析が利用できる。まず、「一元配置」を例に操作方法を説明する。ここでは、A組、B組、C組の国語の得点を比較するとする。図7に各クラスの生徒の得点の表を用いて分析ツールの「分散分析：一元配置」を行おうとしている画面を示す。入力範囲には比較する群のデータがあるセル範囲を指定する。比較する群は図のように隣接している必要がある。出力オプションはt検定の場合と同じである。OKボタンを押して検定が行われた結果の画面を図8に示す。この場合の結果は、有意水準を0.05とした場合には、  
 “三つのクラスの得点には有意な差があった ( $F(2, 57) = 4.67, p = .013$ )。”となる。

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
7		A組	B組	C組							
8		8	9	7							
9		7	9	6							
10		8	7	5							
11		2	3	3							
12		7	8	8							
13		8	9	7							
14		4	6	3							
15		6	9	5							
16		7	7	6							
17		6	8	5							
18		6	8	7							
19		4	5	4							
20		7	7	6							
21		9	10	8							
22		5	7	5							
23		6	7	6							
24		3	5	4							
25		5	5	3							
26		7	8	6							
27		5	4	3							
28	平均	6	7.05	5.35							

分散分析: 一元配置

入力元  
 入力範囲(W):

データ方向:  
☒ 列(C)  
☐ 行(B)

☐ 先頭行をラベルとして使用(L)  
 α(A):

出力オプション  
☒ 出力先(O):   
☐ 新規ワークシート(P):   
☐ 新規ブック(W)

OK  
 キャンセル  
 ヘルプ(H)

図7 Excelにより一元配置の分散分析を行う例

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
7		A組	B組	C組								
8		8	9	7		分散分析:一元配置						
9		7	9	6								
10		8	7	5		概要						
11		2	3	3		グループデータの個	合計	平均	分散			
12		7	8	8		列 1	20	120	6	3.263158		
13		8	9	7		列 2	20	141	7.05	3.523684		
14		4	6	3		列 3	20	107	5.35	2.660526		
15		6	9	5								
16		7	7	6								
17		6	8	5		分散分析表						
18		6	8	7		変動要因	変動	自由度	分散	された分	P-値	F 境界値
19		4	5	4		グループ	29.43333	2	14.71667	4.673259	0.013201	3.158843
20		7	7	6		グループ	179.5	57	3.149123			
21		9	10	8								
22		5	7	5		合計	208.9333	59				
23		6	7	6								
24		3	5	4								
25		5	5	3								
26		7	8	6								
27		5	4	3								
28	平均	6	7.05	5.35								

図8 Excel により一元配置の分散分析を行った例

この例では、表の横のつながりには意味がない（関連がない）。つまり、各クラスの生徒の順番を入れ替えた表で検定を行っても同じ検定結果が得られる。これに対して、たとえば、生徒の国語、算数、理科の得点を比較する場合のように、表の横につながりがある場合（各データに関連がある場合。ここでは同じ生徒の得点である場合）には各群を関連づけた検定を行ったほうが良い。t 検定の「一对の標本による平均の差の検定」に相当する関連多群の分散分析は反復測定分散分析(Repeated-measures ANOVA)で行うことができる。Excel の分析ツールにこの分析機能はないが、ここでの例のように比較する群が一元配置である場合には「繰り返しのない二元配置」で行うことができる。図9および図10に実施例を示す。二元配置の分散分析では、二つの要因による変化を調べることができる（この例では科目と生徒）。本例での結果は

“三つの科目の得点には有意な差があった ( $F(2, 38) = 26.3, p < .001$ )。 “

となる。表中の“6.66E-08”は、 $6.66 \times 10^{-8} = 0.0000000666$  を示す。このように p 値が非常に小さい場合には適当な値(ここでは 0.001)未満であったと報告すればよい。なお、この例では、生徒間の得点にも有意な差が認められた ( $F(19, 38) = 14.9, p < .001$ )。なお、Excel の分析ツールにある「繰り返しのある二元配置」は、反復測定分散分析(Repeated-measures ANOVA)と異なるため注意すること。

被験者	国語	算数	理科
1	8	7	9
2	7	6	9
3	8	5	7
4	2	3	3
5	7	8	8
6	8	7	9
7	4	3	6
8	6	5	9
9	7	6	7
10	6	5	8
11	6	7	8
12	4	4	5
13	7	6	7
14	9	8	10
15	5	5	7
16	6	6	7
17	3	4	5
18	5	3	5
19	7	6	8
20	5	3	4
平均	6	5.35	7.05

分散分析: 繰り返しのない二元配置

入力元

☐ ラベル(L)

出力オプション  
☒ 出力先(Q):   
☐ 新規ワークシート(P):   
☐ 新規ブック(W)

図9 Excelにより二元配置の分散分析を行う例

分散分析表		自由度	分散	観測され	P-値	F境界値
変動要因	変動					
行	158.2667	19	8.329825	14.90738	3.5E-12	1.867332
列	29.43333	2	14.71667	26.33752	6.66E-08	3.244818
誤差	21.23333	38	0.558772			
合計	208.9333	59				

図10 Excelにより二元配置の分散分析を行う例

### 課題3

stat.xlsの「国語算数理科」のデータを用いて、一元配置の分散分析および二元配置の分散分析を行い、以下の空欄を埋めよ。

一元配置 3科目の得点には有意な差が (F( , ) = , p = )。

二元配置 3科目の得点には有意な差が (F( , ) = , p = )。

#### 6. 多重比較(Multiple comparison)

3つの群をt検定で比較する場合、3つの組み合わせでの検定が必要である。たとえば、国語、算数、理科の得点を比較する場合、国語 vs.算数、算数 vs.理科、国語 vs.理科でt検定を行うことになる。しかし、検定を複数回行った場合には、実際には差がないのに有意差があると結論づけてしまう確率（第一種の過誤が生じる確率）は、検定を繰り返した回数だけ大きくなる。たとえば、有意水準を0.05とした場合、実際には差がないのに有意差があると結論づける確率は0.05であるが、検定を3回行くと $0.05 \times 3 = 0.15$ の確率で間違っって有意差ありと結論づけることになる。群の個数が増えるほど組み合わせの数は増えるので(たとえば4つの群では6つの組み合わせが存在す

る)、この過ちを犯す危険は増す。そのため、3つ以上の群間の差の検定を行う場合には、まず分散分析で群間に差があるかどうかを判定する。そして差があると認められた場合に各群の間での比較を行う。しかし、この場合でも、通常の有意水準で検定を行うと前述した問題が生じるので、補正を行う必要がある。たとえば、Bonferroni 法では p 値に検定数を掛けることによって調整する。つまり、3つの組み合わせがある場合には、p 値を3倍することで有意水準を厳しくする。

このように3つ以上の群において、どの群間で差があるのかを検定する方法を多重比較と呼ぶ。Bonferroni 法は有意差が生じにくい保守的な方法である。Dunnett 法、Tukey-Kramer 法など他の多重比較法も利用されている。

## 7. 相関分析(Correlation analysis)

二つの変数に関連性があるかどうかは相関により調べることができる。

2組のデータ  $x_i, y_i$  が与えられたとき、共分散を  $s_{xy}$ 、標準偏差を  $s_x, s_y$  とおく。このとき

$$r = \frac{s_{xy}}{s_x s_y} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{(\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2)(\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2)}}$$

をピアソンの相関係数という。通常、相関といえばピアソンの相関係数を指すが、他の相関係数も用いられることもある。生徒の国語の点数と算数の点数の相関を Excel の分析ツールで計算する例を図 11 に示す。相関係数はその絶対値が 1 に近いほど、二つの変数に相関がある（関連性がある）と考えられる。しかし、データ数が少ない場合には偶然によって相関係数が得られることがあるので、その意味はデータ数により大きく異なる。相関に関しても帰無仮説により検定を行うことができる。分析ツールにその機能はないが、以下のようにセルに関数を書き込むことで実行できる。

相関係数の計算 =PEARSON(群1のセル範囲, 群2のセル範囲)

p 値の計算 =TDIST(ABS(相関係数\*SQRT(自由度)/SQRT(1-相関係数^2)), 自由度, 2)

※ここで、自由度は  $n-2$  である。n はデータの個数(ここでは生徒数)である。

本例での結果は以下のように表現される。

“国語と算数の点数には有意な相関が認められた( $r = .84, p < .001$ )“

なお、本検定で計算される p は無相関ではない確率を示すに過ぎず、相関係数が小さくても、p 値が有意水準より小さく、有意となることがある点に注意が必要である。つまり、相関の有無は相関係数を主に判断すべきで、p 値が小さい場合には、有意な相関が認められたのではなく、無相関ではないことが認められたと考えるべきである。よって、この検定は無相関検定と呼ばれる。

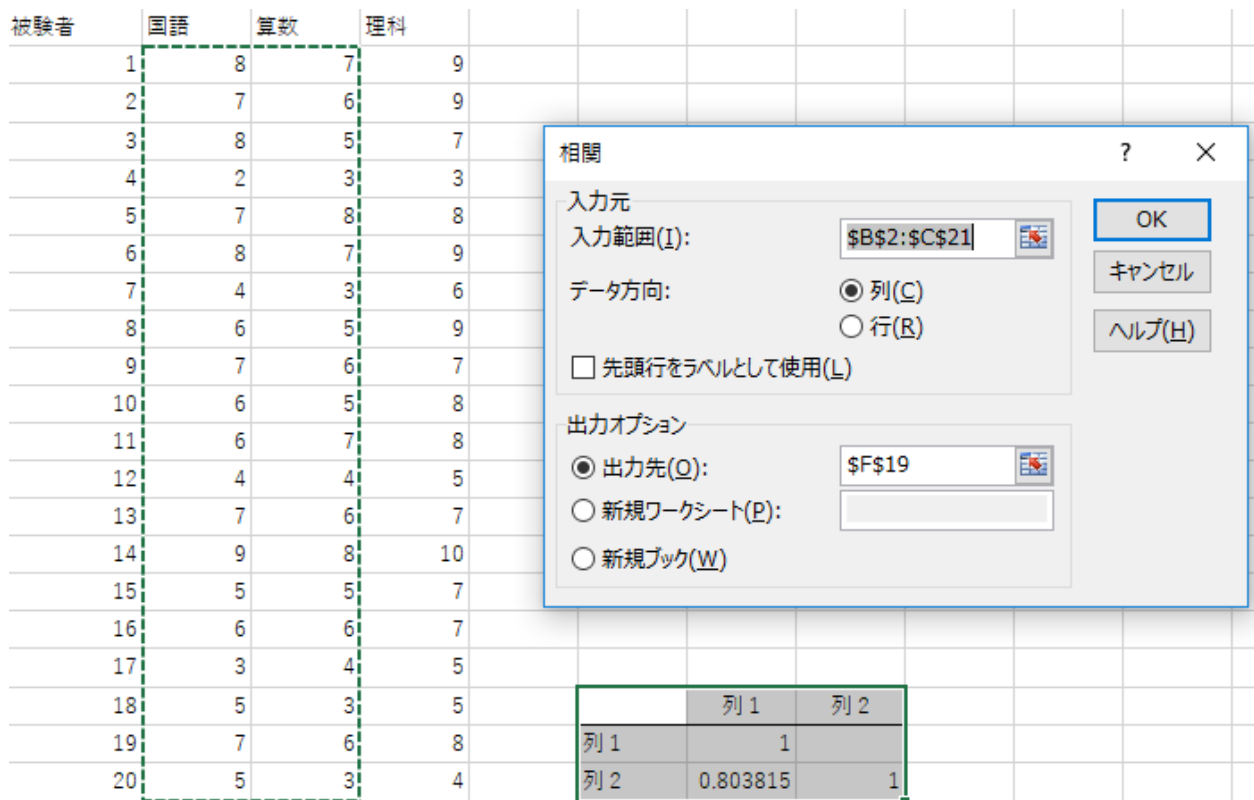


図 11 Excel により相関分析を行う例

#### 課題 4

- (1) stat.xlsx のワークシート「国語算数理科」のデータを用いて、図 12 に示すような算数と理科の点数の関係を示すプロット図を作成せよ。また、図のように近似直線とその式ならびに  $R^2$  値を示せ。
- (2) 算数と理科の得点の相関係数を求め、無相関検定を行い、以下の空欄を埋めよ。  
 “算数と理科の点数には有意な相関が \_\_\_\_\_ ( $r = \underline{\hspace{1cm}}, p = \underline{\hspace{1cm}}$ )”

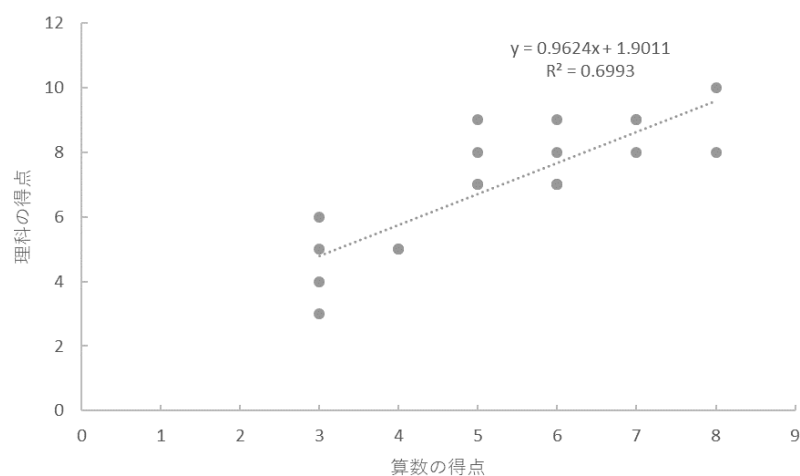


図 12 プロット図の例



## 実験レポートの書き方

### 1. 構成

実験レポートの標準的な構成を以下に示す。

**1.表題：**題目、授業科目名、班名、所属、学生番号、氏名、提出年月日を書く。

**2.序論：**実験の目的と意義を述べる。まず一般的な視点から導入部を書き、つぎに先行研究に言及しながら研究背景を説明し、これまでに明らかになっていないことや争点について説明する。その後、それらの問題を解決するために本研究で選択したアプローチについて述べ、最後に仮説と予想される結果を根拠に基づいて論理的に述べる。

なお、授業で行う実験は、新しい事実を探求する研究のための実験ではなく、すでに知られた事実の追試であることが多いので、実験の目的としては「〇〇について学ぶ」や「〇〇を追試する」と書けばよい。

**3.方法：**ここに書かれた内容だけで追試が行えるよう正確に実験の詳細を記述する。方法はすでに行ったことなので過去形で書く。次に示す小見出しに分けるとわかりやすい。

**a)実験参加者：**所属、性別、人数、年齢（平均と年齢の範囲、または標準偏差）

**b)刺激、材料、装置：**追試が行えるように、使用した刺激、材料、装置のメーカー名、型番を示す。（例：24 インチ液晶ディスプレイ (BenQ, GW2460) に刺激を表示した。）図や写真を示すのもよいだろう。結果の解釈に影響を与えるもの以外は書かなくてもよい。（例：参加者は椅子 (Okamura, CS33CS) に座った状態で画面を見た。）

**c)手続き：**参加者に教示した内容、試行数、条件の実施順序などを書く。

**d)分析：**得られたデータをどのように分析したかを書く。分析方法を次の結果の中で示すこともできるが、あらかじめ示したほうが読者は理解しやすい。

**4.結果：**得られた結果を事実即して述べる。事実と意見を区別すること。統計分析の結果は定められた書式(後述)で書く。

**5.考察：**得られた結果をまとめ、仮説が支持されたか、なぜ、そのようになったのか、残された問題は何かを書く。

**6.参考文献：**本文中に引用した文献をリストにして示す。リストに示した文献は本文中で必ず引用し、引用しない文献はリストに載せない。参考文献のフォーマット（著者名、雑誌名、ページ番号等の書き方）はすべての文献で統一する。参考文献のフォーマットは雑誌や書籍によって異なる。本実験レポートでは参考文献を以下に示す書式で書くこと。

### 論文の場合

著者名(出版年). 表題. 雑誌名(イタリック体), 巻(号), 開始ページ-終了ページ.

### 書籍の場合

著者名(出版年). 書名 出版社

(参考文献リストの例)

Mitsuda, T., & Glaholt, M. G. (2014). Gaze bias during visual preference judgments: Effects of stimulus category and decision instructions. *Visual Cognition*, 22, 1–29.

満田 隆・田中 伸治 (2014). 前腕圧迫による重量感提示時の上肢筋活動. *日本バーチャルリアリティ学会論文誌*, 19(4), 449-456.

※著者名を英語で列記するときは、”,”(カンマ)で区切り、最後は”,”&”で区切る。

※著者名を日本語で列記するときは、”・”で区切る。

※雑誌名と巻番号はイタリック体にする。号番号はイタリック体にしない。

※ピリオドとカンマを区別する。イニシャル、発行年、タイトル、ページ番号の後ろにはピリオドをつけ、姓、雑誌名、巻号の後ろにはカンマをつける。

※オンライン出版のみでページ番号がない場合は、ページに相当する識別番号を記す。

※参考文献を引用する場合は、文の主語として書くか、文末に括弧付きで示す。

(文の主語として書いた例)

Mitsuda & Glaholt (2014) は視線の偏りが刺激カテゴリと独立に生じることを示した。

(文末に括弧付きで示した例)

前腕を圧迫すると重量感が生じる (満田・田中, 2014)。

## 2. 統計分析結果の書き方

検定結果は以下の書式に従って書く。

t 検定の結果：

( $t$ (自由度) =  $t$  値,  $p$  =  $p$  値) または ( $t$ (自由度) =  $t$  値,  $p$  < .01 or .05)

例 1：両条件の平均の差は有意であった ( $t(19) = 3.40, p < .01$ )。

例 2：両条件の平均の差は有意でなかった ( $t(19) = 0.51, p = .61$ )。

分散分析(ANOVA)の結果：

( $F$ (第 1 自由度, 第 2 自由度) =  $F$  値,  $p$  =  $p$  値)

または  $F$ (第 1 自由度, 第 2 自由度) =  $F$  値,  $p$  < .01 or .05)

例 3：交互作用が有意であった ( $F(2,28) = 6.90, p < .01$ )

※  $t, F, p$  はイタリック体とする。

※ 常に 1 未満である数字(確率など)は始めの 0 を省略する。(0.05 は .05 と書く)

※ Excel では 1.2345E-06 のように表示されることがある。E は 10 のべき乗を示し、この場合は  $1.2345 \times 10^{-6}$  である。しかし、E を用いた表記は一般的ではないのでレポートや論文では用いない。また、この場合のように微小な確率の数字にあまり意味がないので、 $p < .0001$  のように書いたほうが良い。

※ 有効数字は 3 桁で十分である。 $p = .14454245643$  のように無駄に桁数の多い数は書かない。

※ Excel など出力される検定結果をまとめた表(分散分析表)などは、とくに必要とされる理由がない限り、レポートには含めない。

### 3. 図と表の書き方

つぎのルールに従うこと。

- ・図と表には通し番号をつける。ただし、図と表は独立に番号を振る（例、図 1, 図 2, . . .、表 1, 表 2、. . .）。

- ・図は下側に、表は上側にタイトルをつける。

- ・タイトルは図表の内容を的確に表すものとし、複数の図表に同じタイトルをつけない。

- ・図表は必ず本文から参照する。

（書き方の例：～である（図 1 参照）。表 1 に示すように、. . .）

- ・グラフの縦軸と横軸にはラベルと単位を書く。

- ・グラフエリアにタイトルを書かない。Excel のデフォルトではグラフエリアにタイトルが表示されるので削除する必要がある。タイトルはマウスで選択して Del キーで削除できる。

- ・図枠(図のまわりを囲む線)をつけない。Excel のデフォルトでは図枠がつくので削除する必要がある。グラフ上で右クリックして「グラフエリアの書式設定」を選択し、「枠線」を「線なし」にすれば図枠が消える。

- ・二つ以上のデータが含まれる場合は凡例をつけて、それぞれの線(点)が何を示しているかわかるようにする。カラーで作成したグラフをモノクロで印刷した場合、各線が区別できなくなるので注意すること。

- ・軸の目盛は 0, 5, 10, . . . などのように、きりのよい数字にする。

- ・図表は読みやすい場所に配置し、図表の間に 1 文だけを挟んだレイアウトにはしない。

### 4. レポートの例（認知心理学基礎実験入門 八千代出版より）

別紙参照

## 課題 5

以下の 2 つの文献を列挙した参考文献リストを上述したフォーマットで作成せよ。

文献 1 次ページに示す論文（1 頁のみを記載）

文献 2 doi:10.3758/s13414-014-0803-3

### ※ DOI(デジタルオブジェクト識別子)

インターネット上のドキュメントに恒久的に与えられる識別子。論文をオンラインで閲覧することが一般的になった現在、多くの論文には DOI がつけられている。ブラウザで DOI のついたドキュメントを閲覧するには、”<https://doi.org/>“の後ろ DOI 番号をつけて、<https://doi.org/10.3758/s13414-014-0803-3> のようにアクセスすればよい。

### 参考文献

宮谷真人・坂田省吾 編著(2009). 心理学基礎実習マニュアル 北大路書房

兵藤宗吉・須藤智 編著(2008). 認知心理学基礎実験入門 八千代出版

## 基礎論文

# 下腿遠位部圧迫による重量感の提示

満田 隆<sup>\*1</sup> 芳谷 博雄<sup>\*1</sup>

Weight Display by Placing Pressure on a Distal Lower Leg

Takashi Mitsuda<sup>\*1</sup> and Hiroo Yoshitani<sup>\*1</sup>

**Abstract** --- This paper suggests a new force display for leg movements by placing pressure on a distal lower leg. Nine subjects evaluated the weight sensation when their distal lower leg was pressured. Muscle electrical activities were measured during the leg lift motion and were compared with that when their lower leg was pulled by a weight. The results show that the weight sensation and the activity of Biceps femoris muscle were proportional to the pressure on the distal lower leg. Placing pressure on a distal lower leg and pulling a lower leg produced similar changes in the muscle activities.

**Keywords:** force display, haptic interface, leg force, wearable system

## 1 はじめに

市販される力覚提示装置の多くは、力覚を提示できる作業空間が制限されている。たとえば、PHANTOM (SensAble technology)[1]のようにロボットアームの先端をユーザが持って動かす装置の作業空間は、ロボットの大きさによって定まる。作業空間を広げるにはロボットの大規模化が必要となり、安全性の確保が課題となる。SPIDAR[2]のようにワイヤで空間中に固定されたグリッブをユーザが持って動かす装置は、ロボットアーム式の装置に比べると大型化しやすい。しかし、ユーザのまわりにワイヤが張られるため、他の人間がユーザに近づく際にはその空間が制限される欠点がある。

これに対して、装置をユーザの身体に取り付けて使用する非接地型の力覚提示装置が開発されている。たとえば、外骨格型の力覚提示装置[3]、フライホイールのジャイロモーメントを利用した装置[4]、非対称な振動で知覚される力覚を利用した装置[5]、指先に装着する触覚ディスプレイ[6]などが開発されている。これらの装置を没入型ディスプレイやヘッドマウントディスプレイと組み合わせると、歩き回りながら力覚を知覚させることもできる。しかし、これらの装置は、大きな力を提示しようとすると装置が大型化して、装着感が悪くなる問題があった。

これに対して、満田らは手首を圧迫することで手に力覚を提示する装置を開発した[7,8]。この装置は空気圧カフを手首に装着するだけであるので、装置の重量がユーザの運動感を妨げることがない。また、手に直接、力を作用させるのではなく、錯覚によって力覚を提示す

るので、安全性にも優れる。

筆者らは圧迫によって力覚が生起するメカニズムを研究する中で、下腿遠位部を圧迫すると、足を上方に動かす際の力覚(重量感)が生じることを見出したので本論文にて報告する。身体装着型の装置で足に力覚を提示することができれば、トレーニングやリハビリなどへのVR技術の応用が広がると期待される。

手への力覚提示の研究に比べて、足に力覚を提示する研究は極めて少ない。安達らは足底に装着したパンタグラフ機構を吸盤で地面に固定することで、足を上げる際に粘性を提示する装置を開発した[9]。また、前述した非接地型の力覚提示装置は、原理的に足へ用いることも可能と考えられる。しかし、これらの装置はいずれも、装置の重量が常に足に加わる欠点がある。足を固定したペダルを機械的に制御して、VR環境中での歩行感覚を提示するロコモーションインタフェース[10]は、原理的に力覚提示も可能と思われるが、身体装着型ではなく、足の可動領域が制限される。

これに対して、本研究で示す力覚提示は、足を上げる重量感のみに限定されるものの、空気圧カフを足に取り付けるだけであるので軽量である。また、身体装着型なので広い作業空間で複数のユーザが同時に使用することもできる。たとえば、沼地など足に負荷がかかる環境で複数人が共同で行う作業をトレーニングするためのVRシステムなどにも応用できると考えられる。

本論文ではまず、下腿遠位部の圧迫によって足に生じる重量感を心理物理実験により示す。つぎに、下腿圧迫時の下肢の筋電と実際に足に重量を与えたときの筋電を比較し、両者が類似することを示す。最後に、圧迫によって筋電が変化し重量感が生じる原因を考察する。

<sup>\*1</sup> 立命館大学情報理工学部

<sup>\*1</sup> College of Information Science and Engineering, Ritsumeikan University

デジタルナンバー7±2についての再検討  
—メモリスパンを用いた検討—

科目 基礎実験(2)  
担当教員 心理学  
所属 ○○大学文学部心理学専攻  
学籍番号 △□T×I×○○□  
提出年月日 2008年△月●日  
氏名 大学 太郎

図 3-1 表紙見本

【注意点】  
レポートには以下の内容を含めること。  
1. 問題, 2. 方法, 3. 結果, 4. 考察, 5. 引用文献, 6. 付録(必要があれば)

問題	方法
<p>記憶なしに人間の行動を説明することは困難である。したがって、記憶の問題は、これまで認知心理学の主たる焦点であった。認知心理学の古典的な研究をふりかえったときに、今日においても興味深いのは、ミラー (1956) の指摘による「魔法の数字7 (デジタルナンバー7)」である。彼によると、実験参加者は、様々な種類の記憶と弁別の課題において、7±2の異なる刺激を間違いないく弁別するという。具体的には、注意の範囲における7つの対象、絶対的判断の7つのカテゴリー、直接記憶範囲の7桁などが挙げられた。</p> <p>本実験は、このミラーの「デジタルナンバー7±2」を、直接記憶範囲について追試験検討することを目的とする。その際、刺激の呈示速度を2種類用意し、呈示速度がメモリスパンに与える影響の検討を行う。また、呈示速度と方略の関係、方略の種類、方略ごとの結果の差も考察する。</p>	<p>実験参加者：男15名、女19名 (平均年齢20.2歳、年齢範囲19～24歳) 実験日時：2003年9月24日9時20分～12時20分 実験場所：第1パソコン教室 装置：IBM社製のパソコン(△□□×) 手続き：実験参加者は、実験前に無作為に2つのグループに分けられたうえで、各自に割り当てられたパソコンの前に座った。実験者によって、第1グループは、刺激呈示を600ミリ秒(以下600ms条件群)に、第2グループは、1200ミリ秒(以下1200ms条件群)に設定するように指示が出された。実験は、各自が、パソコンにあらかじめ用意されたプログラムを走らせることによって、全員同時に行われた。全試行は、練習の1試行と本試行の2試行から成り、それぞれの試行の前には、教示が実験者によって読まれた(付録参照)。</p>

第1, 2文で一般的な記憶の話をすることで、導入が記述されている。  
第3～5文で先行研究が紹介されている。  
第6～8文までには目的が記述されている。

「方法」には、少なくとも以下の内容を含めること。  
1. 実験参加者  
2. 装置(材料)  
3. 手続き

図 3-2 「問題」と「方法」の見本

「結果」には、次の3つを含めること。  
 1. 記述統計的データの提示（平均と標準偏差）→第1文。2. 推測統計の結果提示→第2文。3. 結果の解釈→第3文。

結果

Table 1は、600 ms条件と1200 ms条件の実験参加者数、平均、標準偏差を示したものであり、Figure 1はその結果を明示したものである。t検定の結果、両条件の平均の差は有意であった（両側検定： $t(32) = -2.13, p < .05$ ）。したがって、600 ms条件より1200 ms条件の方がすぐれた記憶成績を上げたといえる。

Table 1.

Memory span test の条件ごとの実験参加者数、平均得点、SD

変数	600 ms 条件	1200 ms 条件
実験参加者数	17	17
平均	9.36	10.21
標準偏差	0.89	1.39

考察

今回の実験では、600 ms 条件より 1200 ms 条件の方がすぐれた記憶成績を上げた。このことは……  
 呈示時間の影響については……  
 方略の影響については……  
 残された問題は、……

図 3-3 「結果」と「考察」の見本

表の番号はレポート中に示す順序に従って、Table 1、Table 2のように算用数字で通し番号をつける。

表番号の下に、表のタイトルをつける。末尾にビリオドはつけず、中央揃えで表記する。

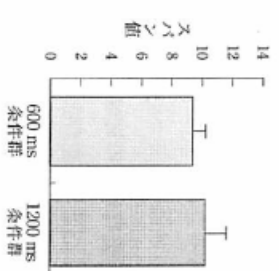


Figure 1. 呈示条件ごとのメモリスパン実験の結果

引用文献

Miller, G. A. (1956). The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information. *Psychological Review*, 63, 81-96.  
 Loftus, G. R. & Loftus, E. F. (1976). *Human Memory: The Processing of Information*. Lawrence Erlbaum Associates. (ロフタス, G. R.・ロフタス, E. F. 大村彰道 (訳) (1980). 人間の記憶 認知心理学入門 東京大学出版会)

付録  
(省略)

図の番号はレポート中に示す順序に従って、Figure 1、Figure 2のように算用数字で通し番号をつける。  
 図題は図番号の横に表記し、全体として中央揃えになるように配置する。

引用文献では、名前、年度、題名、など順番に注意する。詳細な記載方法は、日本心理学会発行の「執筆・投稿の手びき」(2005年改訂版)を参照のこと。

図 3-4 「文献」の見本

実験レポートの作成において注意すべき点のまとめ  
(本頁に示した内容が守られていないレポートは再提出とする.)

### 図表

すべての図表には図表番号と図題または表題を記す.

図題は図の下, 表題は表の上を書く.

グラフのプロットエリアにタイトルを書かない. (Excel のデフォルトではタイトルがあるので注意).

図を線で囲まない (図枠をつけない. Excel のデフォルトでは図枠があるので注意).

すべての図表を本文中から引用する.

二つ以上のデータが含まれるすべてのグラフには凡例をつける.

0, 5, 10, ... などのように, グラフの軸の目盛はわかりやすい数字とする.

グラフの軸にラベルと単位を書く.

### 統計

t, F, p などの統計記号をイタリック体にする.

無駄に桁数の多い数を書かない. 有効数字は3桁あれば十分である.

(悪い例  $p = .14454245643$  )

前ページに記載の書式で書く.

### 文章

章や節に分ける.

図、表、統計値だけの節や、1,2文しか含まない短い節を作らない.

図表を読みやすく配置する. 図表の間に1文だけを挟まない.

結果には、記述統計的データ (平均と標準偏差)、統計検定の結果、結果の解釈の3つを書く.

考察では、結果を繰り返し述べるのではなく、結果から考えられることを書く.

統計検定で出力される分散分析表などは、とくに必要とされる理由がない限り含めない.

## Ponzo 錯視

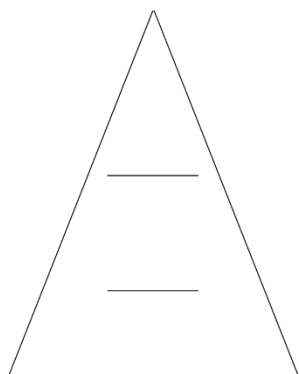


図1 Ponzo 図形

Ponzo 錯視とは、20世紀初頭にイタリアの心理学者 Mario Ponzo が発見した錯視で (Ponzo, 1912)、図1のように、2本の水平線分の上の方が過大視、下の方が過小視され、その程度は斜線の角度に影響されるといわれている。この生起過程のメカニズムを包括的に説明できる理論は出されていないが、もっとも代表的な説は遠近法節で、この説では Ponzo 錯視が生じるメカニズムは次のように説明される。

たとえば、図2のような線路の枕木を見た場合、同じ長さの枕木なら、近くにある方が長く見える。したがって、逆に、遠くの枕木と近くの枕木が同じ長さに見えるならば、遠くの枕木の方が本当は長い

「はずだ」と我々は考え、その考えが我々の「見え」に影響する (水野、1996)。この論理に従えば、2次元図形に遠近を見て取るのは文明人だけである以上、こうした習慣のない発展途上地域の人々やその習得が不十分な小さな子供ではこの錯視が我々ほど生じない可能性もある。

ただし、単純な遠近法説だけですべてが説明できるわけではないことは、図3で上の直線の方が下よりも長く見えるといった錯視が生じないことから明らかである。実際、遠近節の他に、生理学的な説明や、錯視過程のメカニズムを数理モデル化して再現するような試みも行われているが (菅沼・水野、1993)、さまざまな要因の影響が交錯しているため、万能な理論・モデルは未だ提出されていない。

いずれにせよ、人間の知覚過程、視覚情報処理過程を理解する上で、錯視が重要な手がかりとなる可能性があると考えられている。よって、多種多様な条件でデータを収集し、それらを説明できるような理論やモデルの構築を積み重ねれば、人間の知覚に影響するさまざまな要因の特性や種類だけでなく、複雑で時にはこうした誤りも犯す人間の視覚情報処理過程の合理性がつまびらかになり、人間と同じ錯視を起こすロボットを作ることにもできるようになるかもしれない。

(ブラウザでできる基礎・認知心理学実験演習 水野りか・松井孝雄著ニカニシヤ出版より一部改変)

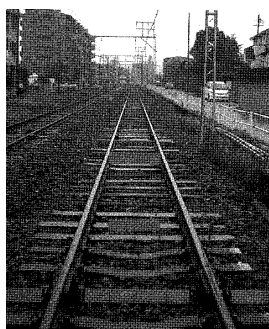


図2 線路

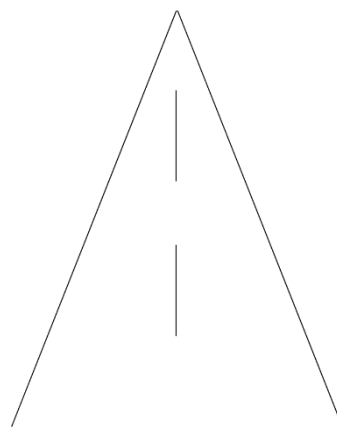


図3 変形 Ponzo 図形



**仮説** 遠近法説によって図1に示すような横棒の長さに対する錯視が説明可能なのであれば、奥行が小さく見える場合ほど、つまり、横棒までの左右の斜線のなす角度が大きいほど、錯視量は減少すると予想される。

**方法**  $30^{\circ}$  ,  $45^{\circ}$  ,  $60^{\circ}$  ,  $75^{\circ}$  の4種の角度の Ponzo 図形にて、上側の横線と同じ長さになるように下側の横線の長さを調節する。

**準備**：手順1には RAINBOW からしかアクセスできないので、学外の PC からアクセスするときは VPN 接続する必要があります。VPN 接続の方法は以下を参照してください。

VPN(学外からの学内ネットワーク接続) <http://www.ritsumei.ac.jp/rainbow/service-vpn/>

1. インターネットブラウザにて次のサイトにアクセスする。  
<http://172.25.9.2/jsexp/index.html> ← URL の入力方法は下図を参照
2. 実験中、PC より音が出るので、音量をやや小さめに調整しておく。
3. 実験メニューの Ponzo between をクリックする。
4. 学籍番号下4桁を半角文字で入力し、性別をチェックしてから開始ボタンをクリックする。
5. 角度を選択する画面が現れるので、各自、以下に示す割り当ての角度をチェックしてから決定ボタンをクリックする。  
学籍番号%4(%は4で割った余り(剰余)の演算子 0-> $30^{\circ}$  ,1-> $45^{\circ}$  ,2-> $60^{\circ}$  ,3-> $75^{\circ}$  )
6. 画面に表示される説明に沿って実験を行い、最後に終了ボタンを押して実験を終了する。

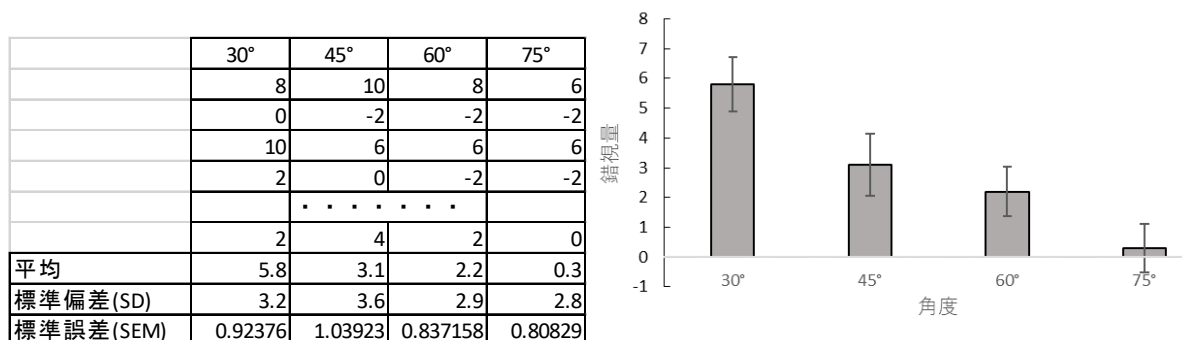
ブラウザへの URL の入力方法 (Firefox の場合)



## 分析

1. 方法1. のメニュー画面に戻り、画面最下段の”データ取得”をクリックしてメニューを切り替え、ローデータ(ponzo\_between.txt)をダウンロードする。

2. ダウンロードしたデータを Excel で開く。Excel のファイル選択画面のデフォルトでは、Excel ファイル(拡張子が.xls,xlsx)しか表示されないのので、ファイルの種類で「すべてのファイル」を選択して、txt ファイルも表示されるようにする。txt ファイルを読み込むとデータ区切りを指定する画面が表示される。適切にデータが列毎に分けられていることを確認する。ファイルのアイコンを、Excel 上にドラッグするだけでも開くことができる。
3. データには参加者番号、性別、角度、錯視量が保存されている。このデータを角度で昇順に並び替え、下図のような表とグラフを作成する。ソート（並び替え）を行う際には、1 列のみがソートされないよう気をつけること。



4. 1 要因分散分析で角度により錯視量が有意に異なるかを確認する。
5. （オプション課題）多重比較法で錯視量が斜線の角度間で有意に異なるか確認する。

## 参考文献

- Ponzo, M. (1912). Rapports entre quelques illusions visuelles de contraste angularire et l'appréciation de grandeur des astres á l'horizon. *Archives Italiennes de Biologie*, 58, 327-239.
- 水野 りか (1996). 心の認知機能, 神谷育司 (編) *心理学を学ぶ*, 文教資料協会, 37-65.
- 菅野 義昇・水野 りか (1993). V\_CORES: 視覚情報処理システム—幾何学的錯視と認識, *静岡理工科大学研究紀要*, 2, 89-118.

## Müller-Lyer 錯視

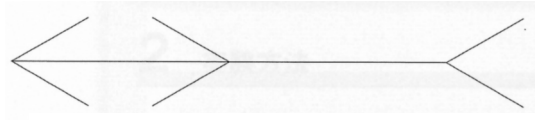


図1 Müller-Lyer 錯視図

Müller-Lyer 錯視 (Müller-Lyer, 1889) は、図1のように矢羽根が内向きだと線分が短く、外向きだと長く見える錯視である。Müller-Lyer 錯視の錯視量は、矢羽根の角度が  $40^\circ$  前後、斜線の長さが水平線の  $1/3$  前後の時に最大になるといわれており、また、角度と長さには相互作用があるとされている (鈴木、1986)。この原因についても Ponzo 錯視の場合と同じく定説はなく、遠近法による説明が最もポピュラーなので、これを紹介する。

図2に示す模型を見て欲しい。左の模型の横棒は遠くにあり、右の模型の横棒は近くにある。したがって、もしも両方が同じ長さに見えているなら、左の模型の遠くにある横棒のほうが長い「はず」であり、この知識が「見え」に影響し、錯視を生じさせているということになる。この錯視は、図3のような建物の角などの「見え」でも生じる。

しかしながら、この遠近説にも反証があり、新たなアプローチによる生起過程の包括的モデルの構築が望まれている。そしてそのためには、種々の要素の錯視量への影響を綿密に検討する必要がある。そこで本実験では、種々の要素のうちの矢羽根の角度と長さを操作し、これらの錯視量への影響を検討する。(ブラウザでできる基礎・認知心理学実験演習 水野りか・松井孝雄著ニカニシヤ出版より一部改変)

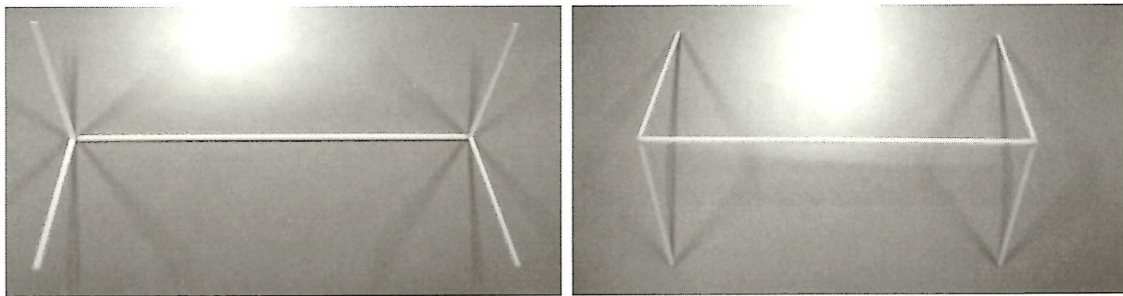


図2 Müller-Lyer 錯視の遠近法による説明1



図3 Müller-Lyer 錯視の遠近法による説明2

**仮説** この実験では明確な実験仮説はなく、探索的な実験となる。上述の通り、Müller-Lyer 錯視は角度が  $40^\circ$ 、長さが水平線の  $1/3$  前後の時に錯視量が最大となるだけでなく、両者には相互作用があることが見出されている。そこで、本演習では、矢羽根の長さと角度の錯視量への影響を、その相互作用も含めて、改めて検討する。

**方法** 3 種類の矢羽根の長さ(30, 60, 90)と 4 種類の矢羽根の角度( $15^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $60^\circ$ )の Müller-Lyer 錯視図形にて、左右の線分の長さが等しくなるよう調節する。

準備. 学外の PC からアクセスするときは VPN 接続する。

1. インターネットブラウザにて以下のサイトにアクセスする。

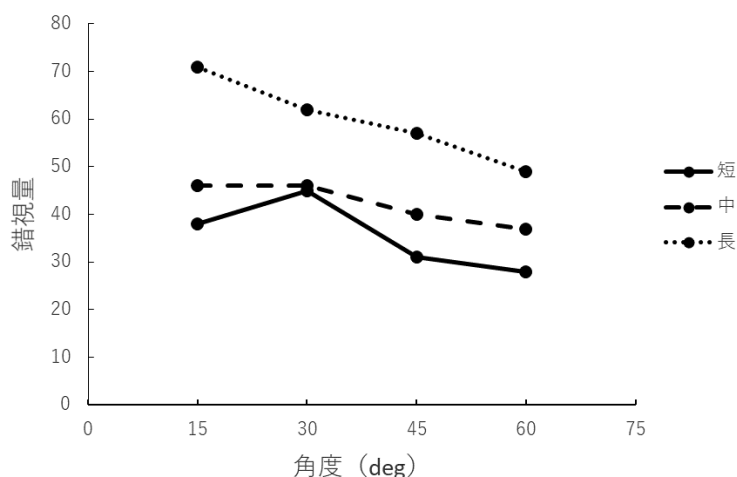
<http://172.25.9.2/jsexp/index.html>

2. 実験メニューの Muller-Lyer within をクリックする。
3. 学籍番号下 4 桁を半角文字で入力し、性別をチェックしてから開始ボタンをクリックする。
4. ディスプレイと眼の距離が 60cm(A4 縦方向 2 枚分)となるよう、モニターの位置または椅子の位置を調整する。以下の実験中は、この距離を一定に保つ。
5. 画面に表示される説明に沿って実験を行い、最後に終了ボタンを押して実験を終了する。

## 分析

1. 方法 1. のメニュー画面に戻り、画面最下段の”データ取得”をクリックしてメニューを切り替え、ローデータ(muller-lyer\_within.txt)をダウンロードする。
2. ダウンロードしたデータを Excel で開く。データには参加者番号、性別、角度、長さ、錯視量が保存されている。このデータを角度で昇順に並び替え、自分のデータだけを用いて、つぎのような表とグラフを作成する。

		角度(deg)			
		15	30	45	60
長さ	30	38	45	31	28
	60	46	46	40	37
	90	71	62	57	49



3. 2 要因分散分析(Excel の“分散分析：繰り返しのない二元配置”)で矢羽根の長さや角度により錯視量が有意に異なるかを検定する。

分散分析: 繰り返しのない二元配置						
概要	一タの個	合計	平均	分散		
行 1	4	142	35.5	57.66667		
行 2	4	169	42.25	20.25		
行 3	4	239	59.75	84.91667		
列 1	3	155	51.66667	296.3333		
列 2	3	153	51	91		
列 3	3	128	42.66667	174.3333		
列 4	3	114	38	111		
分散分析表						
変動要因	変動	自由度	分散	された分	P-値	F 境界値
行	1253.167	2	626.5833	40.79024	0.000322	5.143253
列	396.3333	3	132.1111	8.600362	0.01361	4.757063
誤差	92.16667	6	15.36111			
合計	1741.667	11				

検定結果の例

4. 計測を 2 回繰り返してデータを追加し、合計 3 回の計測結果を下图のようにまとめる。

		角度(deg)			
長さ	15	30	45	60	
	30	49	46	38	46
	33	27	27	37	
	21	28	31	26	
	60	45	57	37	40
	58	50	48	36	
	50	58	49	42	
	90	71	31	28	62
	67	67	66	49	
	51	56	51	44	

5. 2 要因分散分析(Excel の“分散分析：繰り返しのある二元配置”)で矢羽根の長さや角度により錯視量が有意に異なるかを検定する。検定をかける際、入力範囲は上図の点線の範囲とし、1 標本あたりの行数（繰り返し数）は 3 とすること。次ページに示すような結果が得られるはずである。表中の変動要因の「標本」は長さ、「列」は角度に相当する。交互作用の結果も示すこと。

分散分析: 繰り返しのある二元配置					
概要	15	30	45	60	合計
30					
データの	3	3	3	3	12
合計	103	101	96	109	409
平均	34.33333	33.66667	32	36.33333	34.08333
分散	197.3333	114.3333	31	100.3333	83.17424
60					
データの	3	3	3	3	12
合計	153	165	134	118	570
平均	51	55	44.66667	39.33333	47.5
分散	43	19	44.33333	9.333333	60.09091
90					
データの	3	3	3	3	12
合計	189	154	145	155	643
平均	63	51.33333	48.33333	51.66667	53.58333
分散	112	340.3333	366.3333	86.33333	198.6288
合計					
データの	9	9	9	9	
合計	445	420	375	382	
平均	49.44444	46.66667	41.66667	42.44444	
分散	243.5278	216	165.5	98.52778	

分散分析表						
変動要因	変動	自由度	分散	された分	P-値	F 境界値
標本	2389.056	2	1194.528	9.793441	0.000777	3.402826
列	361.4444	3	120.4815	0.987778	0.415199	3.008787
交互作用	472.0556	6	78.67593	0.645032	0.693494	2.508189
繰り返し	2927.333	24	121.9722			
合計	6149.889	35				

検定結果の例

6. 表内の分散の下に標準誤差を追加し、下図のようなグラフを作成する。標準誤差は、分散とデータの個数から計算できる(p6 参照)。

概要	15	30	45	60	合計
30					
データの	3	3	3	3	12
合計	103	101	96	109	409
平均	34.33333	33.66667	32	36.33333	34.08333
分散	197.3333	114.3333	31	100.3333	83.17424
標準誤差	<b>8.11035</b>	<b>6.17342</b>	<b>3.21455</b>	<b>5.783117</b>	
60					
データの	3	3	3	3	12
合計	153	165	134	118	570
平均	51	55	44.66667	39.33333	47.5
分散	43	19	44.33333	9.333333	60.09091
標準誤差	<b>3.785939</b>	<b>2.516611</b>	<b>3.844188</b>	<b>1.763834</b>	
90					
データの	3	3	3	3	12
合計	189	154	145	155	643
平均	63	51.33333	48.33333	51.66667	53.58333
分散	112	340.3333	366.3333	86.33333	198.6288
標準誤差	<b>6.110101</b>	<b>10.65103</b>	<b>11.05039</b>	<b>5.364492</b>	
合計					
データの	9	9	9	9	
合計	445	420	375	382	
平均	49.44444	46.66667	41.66667	42.44444	
分散	243.5278	216	165.5	98.52778	

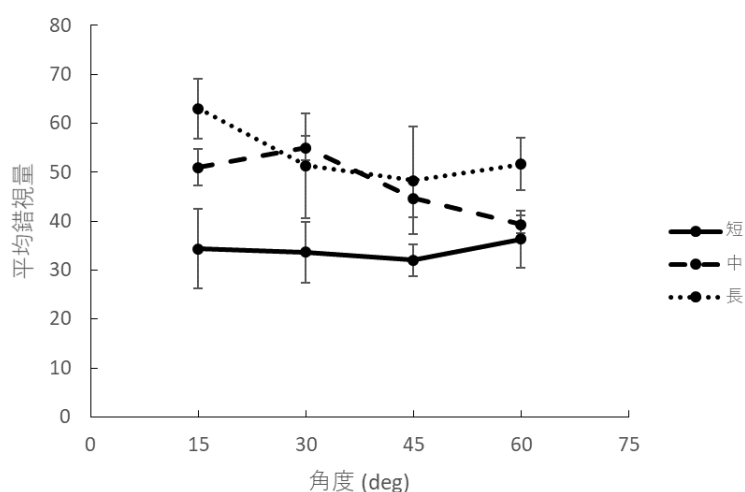


図 グラフの例 (エラーバーは平均の標準誤差を示す)

#### 参考文献

Müller-Lyer, F. C. (1889). Optische Urteilstäuschungen. *Archiv für Anatomie und Physiologie, Physiologische Abteilung*, 2, 163-170.

鈴木 光太郎 (1986). 幾何学的錯視—視知覚の不思議, 中谷和夫 (監修), パーソナル・コンピュータによる心理学実験入門, ブレーン出版, 113-126.



## Stroop 実験

Stroop 効果とは、Stroop(1935)が初めて報告した効果で、たとえば、赤で書かれた青という文字の色を判断する時間は、赤で書かれた★の色を判断する時間より遅れるといった、モジュール間の干渉による反応の遅れを指す。この原因説で有力なのは、刺激呈示とともに刺激の記憶表象のもつ複数の属性が並行して活性化されるとするプライミング説である。

**仮説** モジュール間の干渉が起こるなら、文字の色と意味が一致しない不一致条件の色判断時間は、文字ではなく★印に色がつけられた統制条件の色判断時間より遅くなるであろう。一方、文字の色と意味が一致する一致条件では促進が生じ、色判断時間が統制条件よりも早くなるであろう。

**方法** 統制、一致、不一致の3種の条件の1要因参加者内計画とする。統制条件の刺激には★印を、一致、不一致条件の刺激には「赤」「青」「緑」のいずれかの漢字を用い、刺激の色は赤、青、緑のいずれかとした。試行数は統制条件と一致条件が6試行ずつ、不一致条件が12試行の計24試行で、各刺激、色は均等に出現するようにした。

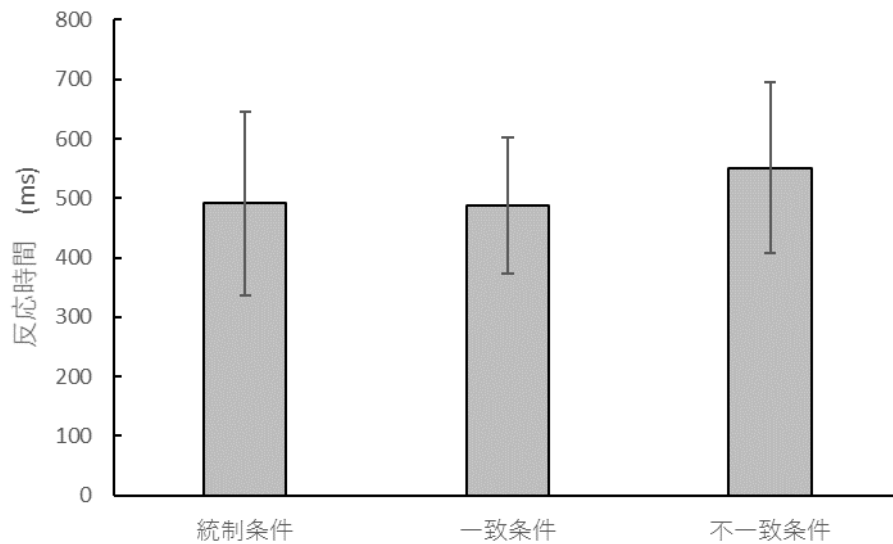
1. インターネットブラウザにて以下のサイトにアクセスする。  
<http://172.25.9.2/jsexp/index.html> (学外 PC の場合は VPN 接続が必要)
2. 実験メニューの Stroop をクリックする。
3. 学籍番号下4桁を半角文字で入力し、性別をチェックしてから開始ボタンをクリックする。
4. 説明を読み、スペースキーを押すと、9試行の練習の後、結果のフィードバックが呈示され、スペースキーを押すと本試行が開始される。試行の呈示順序はランダムである。
5. 各試行では 300 ms の空白を置いて画面中央に凝視マークである+が 500 ms 呈示され、それが消えた 500 ms 後に3条件の刺激がランダム順に呈示される。参加者は刺激の色をできるだけ早く正確に判断し、赤なら J、青から K、緑なら L のキーを右手の人差し指、中指、薬指で押す。反応が正しければピンポン、間違っていればブーというフィードバック音が呈示され、次の試行に進む。本試行の24試行を終了するとデータが保存され、実験は終了する。

**分析** ローデータには参加者番号、性別、正答数、反応時間が保存される。反応時間は、最初の6つが統制条件、次の6つが一致条件、最後の12個が不一致条件のものである。誤答の反応時間は分析の対象としないためあらかじめプログラムで空白に置き換えられている。

1. 方法1. のメニュー画面に戻り、画面最下段の”データ取得”をクリックしてメニューを切り替え、ローデータ(stroop.txt)をダウンロードする。
2. ダウンロードしたデータを Excel で開く。条件ごとの平均値を参加者毎に算出し、下図のような表とグラフを作成したあと1要因分散分析を行う。



	平均反応時間 [ms]		
参加者番号	統制条件	一致条件	不一致条件
1			
2			



(エラーバーは平均の標準誤差を示す)

- つぎに、参加者間の反応時間のばらつきの影響を除外して参加者内の変動に注目するため、条件と参加者の2要因分散分析(Excelの“分散分析：繰り返しのない二元配置”)を行う。

(ブラウザでできる基礎・認知心理学実験演習 水野りか・松井孝雄著ニカニシヤ出版より一部改変)

#### 参考文献

Stroop, J. R. (1935). Studies of interference in serial verbal reactions. *Journal of Experimental Psychology*, 18, 643-662.

## Mental Rotation

Shepard & Metzler(1971)によって行われたこの実験は、画像の表象が言語の表象と異なるか否か、より具体的にいえば、心的イメージ (mental images) が、言語記憶のようなデジタル的なものなのか、それともアナログ的なものなのかを明らかにするために行われたものである。

この実験では図1に示すような3次元の図形を左右に呈示して、両者が同じか否かを参加者に判断させた。もしも両図形の回転角度に比例して反応時間が伸びるようなら、被験者は図形の心的イメージを回転させて一致するか否かを判断している、すなわち、心的回転 (mental rotation) を行っていることになり、心的イメージがアナログ的表象である証拠が得られると考えたわけである。

実験の結果は、図2に示す通りで、平面回転でも奥行回転でも、左右の図形のなす角度が増すにつれ、反応時間が一次関数的に増加していることがわかる。よって、この結果は、心的表象がアナログ的表象であることの証拠だと考えられた。よって演習では、この実験を追試し、Shepard & Metzler(1971)の結果が再現されるか否かを確認するものとした。

(ブラウザでできる基礎・認知心理学実験演習 水野りか・松井孝雄著ニカニシヤ出版より一部改変)

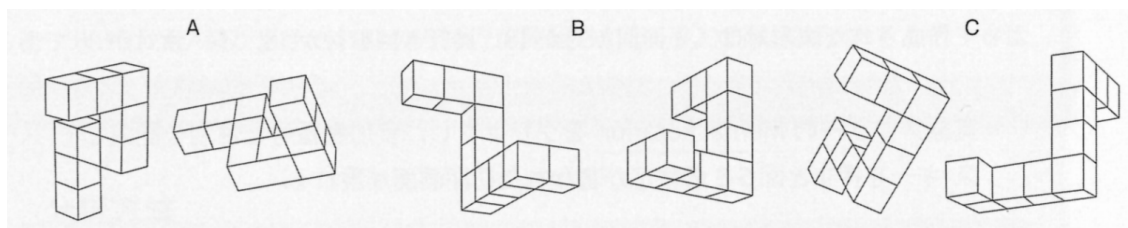


図1 Mental Rotation 実験の刺激例 (Shepard & Metzler(1971)を一部変更)

Aは平面方向の80°回転で一致、Bは奥行き方向の80°回転で一致、Cは不一致の例である。

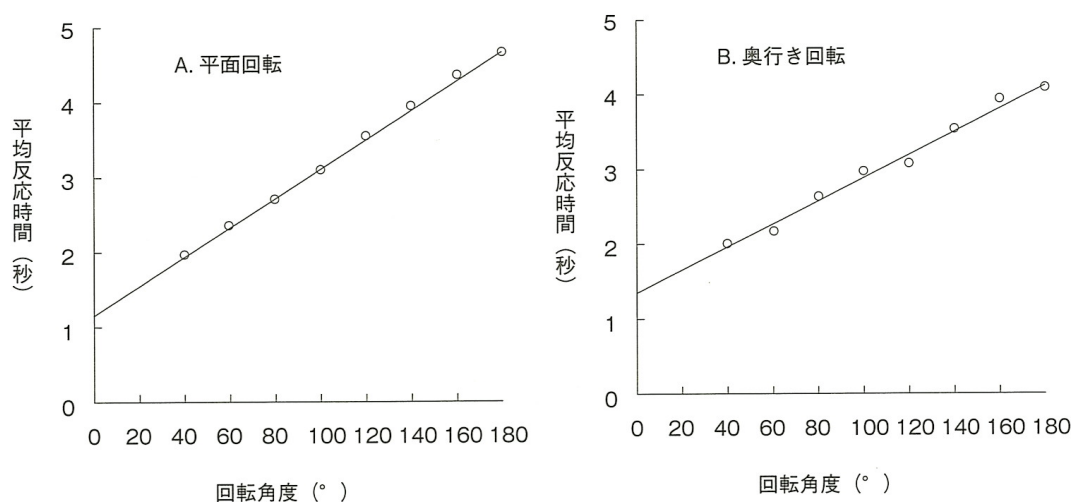


図2 Shepard & Metzler(1971)の実験結果

**仮説** 画像記憶がアナログ的表象なのであれば、二つの図形の回転角度と二つの図形が同一だと判断する時間には、正の相関が認められるであろう。

**方法** 平面回転と奥行回転の各々で、左右に呈示する二つの図形の角度差は、 $-160^{\circ}$  から  $180^{\circ}$  ままで  $20^{\circ}$  刻みで18種とした。図形は18種の角度で回転させたものを用意し、平面回転用には図1の

Aの図形、奥行回転用にはBの図形、不一致用の図形はこれらとは異なるもの2種類とした。図形対は、左に呈示される図形の角度はランダムに決定し、右に呈示される図形の角度は左の図形との角度差が上述の18種となるようにしてあらかじめ作成した。よって作成された図形対は、平面回転対が18、奥行き回転対が18、不一致対が36である。

1. インターネットブラウザにて以下のサイトにアクセスする。  
<http://172.25.9.2/jsexp/index.html> (学外 PC の場合は VPN 接続が必要)
2. 実験メニューの Mental Rotation をクリックする。
3. 学籍番号下4桁を半角文字で入力し、性別をチェックしてから開始ボタンをクリックする。
4. 説明を読み、スペースキーを押すと、6試行の練習の後、結果のフィードバックが呈示され、スペースキーを押すと本試行が開始される。

・本試行は平面回転、奥行回転、不一致の計72試行で行われる。試行の呈示順序はランダムである。

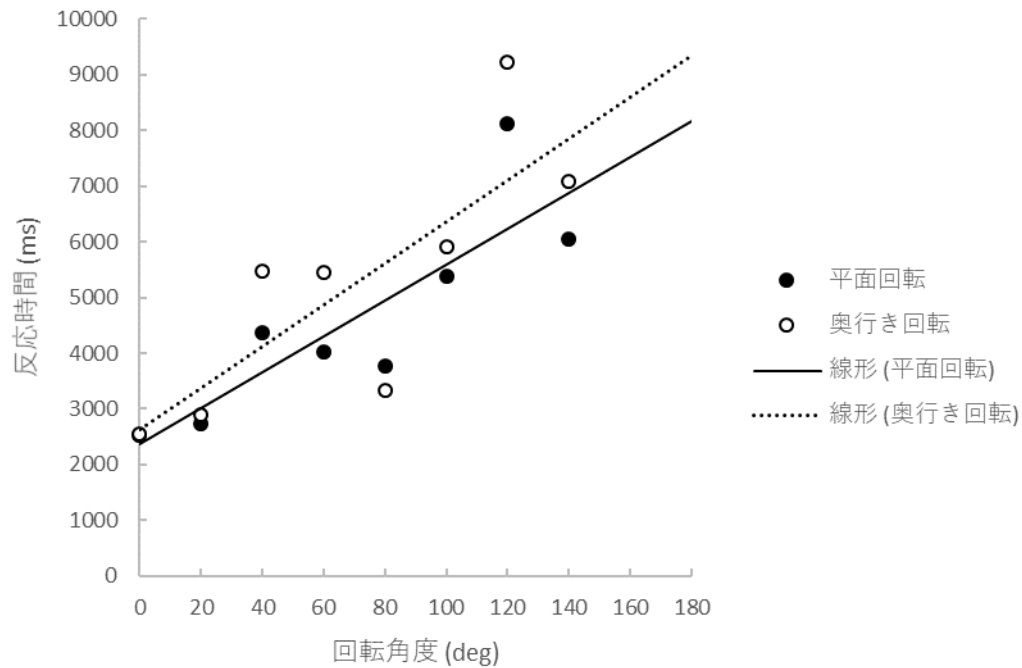
・各試行では、左右の図形の呈示される位置に凝視マークであるアスタリスクが300 ms 呈示され、それが消えてから500 ms 後に図5のように図形対が呈示される。参加者は、左右の図形が同じ図形の場合はJのキーを、異なる図形の場合はFのキーを、できるだけ早く間違えないように押す。反応が正しければピンポン、間違っていればブーというフィードバック音が呈示され、次の試行が開始される。72試行が終了するとデータは保存され、実験は終了する。音が大きすぎて周りの人の迷惑にならないようボリュームを調節すること。

**分析** 図に示すように、ローデータには参加者番号、性別、平面回転の正答数、奥行き回転の正答数、不一致の正答数の後、72試行の反応時間（平面回転18試行、奥行き回転18試行、不一致36試行）が保存されている。平面回転と奥行き回転の正答数は、 $-160^{\circ}$  から  $180^{\circ}$  の順番に並んでいる。分析するのは、平面回転の反応時間と奥行き回転の反応時間のみである。また、正答の反応時間のみ分析の対象とするため、誤答の反応時間はすべて空白に変換されている。

1. インターネットブラウザにてローデータをダウンロードする。
2. ダウンロードしたデータを Excel で開く。まずは自分の実験データのみを用いて分析する。  
データを整理して、 $0^{\circ}$  と  $180^{\circ}$  以外は回転角度の絶対値が等しい2つの回転角度条件の反応時間の平均を求め、下図のような表と散布図を作成する。 $0^{\circ}$  と  $180^{\circ}$  は1試行しか行っていないため平均値は求められないこと、また、正負の角度の双方で誤った場合は欠損値となることに注意すること。

	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180
平面回転	2525	2744	4375	4012	3758.5	5382	8118	6038.5		
奥行き回転	2539	2892	5466.5	5456	3333.5	5904	9225	7082.5		

(上の例では  $160^{\circ}$  と  $180^{\circ}$  は両回転とも欠損値である。)



- 図のように回帰直線を記入したうえで、回転角度と反応時間の相関係数を求め、無相関検定を行う。
- つぎに全参加者の各条件の平均値を求め散布図を作成し、回帰直線を記入して、相関係数を求め、無相関検定を行う。

#### 参考文献

Shepard, R. N., & Metzler, J. (1971). Mental rotation of three-dimensional objects. *Science*, 171, 701-703.

## 重量弁別実験

### はじめに

物理学の教授であったフェヒナーは、1860年に物理量(重量、明度、距離、面積など)とそれによって生じる感覚の大きさ(心理量:重さ、明るさ、長さ、広さなど)の関数関係を明らかにする学問である精神物理学(psychophysics)を創始した。今日では心理物理学と呼ばれることが多い。心理物理学は人間の脳の仕組みの解明に繋がるだけでなく、ヒューマンインターフェースの開発にも役立てることができる。たとえば、人間の感覚がどれだけの精度を持っているかを知ることができれば、インタフェースの出力に必要な分解能を定めることができる。

違いを感じることができる最小の物理的差異を弁別閾(differential threshold)と呼ぶ。たとえば、100 g と 101 g の違いはわからないが、質量の差を少しずつ大きくして、100 g と 105 g の違いがわかったとすると、5 g が弁別閾となる。この値は丁度可知差異(jnd: just noticeable difference)とも呼ばれる。物理量  $I$  に対する弁別閾を  $\Delta I$  とすると、 $\Delta I$  を  $I$  で割った値( $\Delta I/I$ )はほぼ一定になることがウェーバーの法則として知られている。ウェーバー比( $\Delta I/I$ )は感覚モダリティによって異なるが、概ね 5% 前後である。

今回の実験では、指先でおもりを持った時の重量感の弁別閾を求める。

### 方法

**実験参加者** 大学生○名(各班のメンバー全員が交替で実験被験者となる)

**刺激** 上部に突起のついた円筒形のおもり(T.K.K.111c、竹井機器工業)を用いる。

標準刺激と比較刺激の重量は次のとおりである。

a) 標準刺激: 56g 比較刺激: 50, 52, 54, 56, 58, 60, および 62g。

b) 標準刺激: 109 g 比較刺激: 100, 103, 106, 109, 112, 115, および 118g。

**手続** 実験参加者は、標準刺激を利き手で持った後で、比較刺激を同じ手でもち、標準刺激と比べて比較刺激が、“軽い”か“重い”かを判断する。実験参加者は椅子に座った状態で実験を行う。おもりは突起をつまんで 10 cm 程度持ち上げ、振ったりしない。持ち上げたおもりは 1 秒間保持したあとにテーブル状に戻し、おもりを置いてから 1 秒後に、もう一つのおもりを持ち上げ 1 秒間保持してテーブルに戻る。テーブルに戻してから、“軽い”か“重い”かを報告する。わからなくても、“同じ”とは報告しない。必ずどちらかを報告する。

比較刺激はランダムな順序で 1 回ずつ用いる<sup>1</sup>。ランダムな順番は乱数メーカー(p43 参照)を用いて決定する。標準刺激を持ってから比較刺激をもつ計測(標準-比較系列)を各おもりに対して 1 回ずつ行ったあと(計 7 試行)、今度は比較刺激を持ち上げてから標準刺激を持ち上げる計測(比較-標準系列)を各おもりに対して 1 回ずつ行う。これらの系列をそれぞれ 6 回ずつ交互に行う(7 試行×

---

<sup>1</sup> 本来は順序効果の影響を最小化するために、各おもりの提示順序を均等にしたほうがよい。たとえば、50 g のおもりが 1 回目の試行ばかりで評価されないよう、各おもりの提示順はカウンターバランスをとるべきである。しかし、今回の実験では実験者が実験参加者を兼ねるため、実験参加者がおもりの種類を推測できないようランダムな順序としている。

2 系列×6 回 =84 試行)。

すなわち半分の実験参加者は、

標準-比較系列 → 比較-標準系列 → 標準-比較系列 → . . .

の順で計測し、残り半分の実験参加者は、

比較-標準系列 → 標準-比較系列 → 比較-標準系列 → . . .

の順で計測する。

以上の計測を標準刺激が 56 g と 109 g のそれぞれに対して行う。最初に 56 g の標準刺激を用いて計測する人数と、最初に 109 g の標準刺激を用いて計測する人数はなるべく同数となるようにする。すなわち半分の実験参加者は 56 g の標準刺激を用いた実験を行ったあとに 109 g の標準刺激を用いた実験を行い、残りの実験参加者は逆の順序で行う。各班を 2 グループに分け、片方のグループが 56 g の標準刺激を用いた実験を行っている間、もう片方のグループが 109 g の標準刺激を用いて実験を行うようにすると、2 グループが並行して実験を行うことができるので実験時間を短縮できる。なお、比較刺激が 56 g または 109 g であるとき、これらのおもりは一個ずつしかないので、同じおもりを 2 回持ってもらう。実験結果はデータシートに記入する。

**解析** 各被験者が”重い”と報告した確率を表にまとめ、全被験者の平均と標準偏差(standard deviation)を計算する。

n 個のデータ,  $x_1, x_2, \dots, x_n$  があるとき、

平均  $\mu = \sum x_i / n$

分散  $\sigma^2 = 1/n \times \sum (x_i - \mu)^2$

標準偏差  $\sigma$

と定義される。そして、”重い”と報告した確率を縦軸に、比較刺激の質量を横軸にした下図に示すようなグラフを作成する。

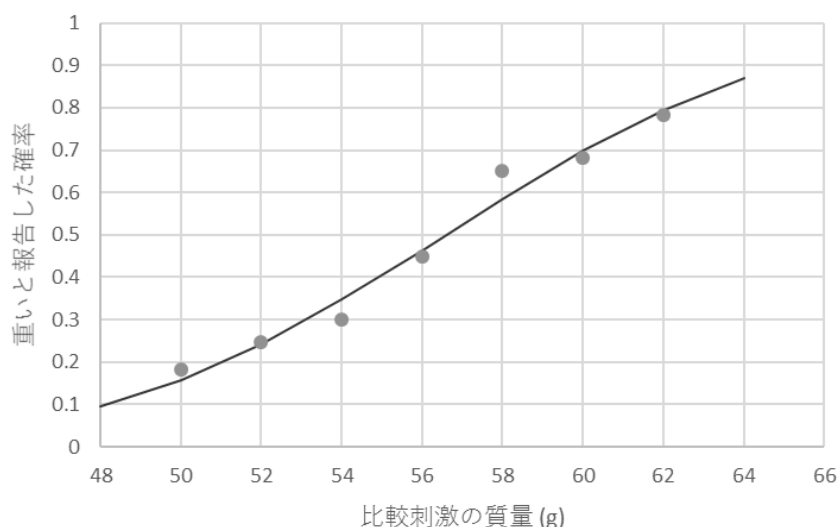


図 重量弁別実験の結果の例

つぎに、主観的等価点(PSE: point of subjective equality)と丁度可知差異(JND)を求める。PSE は”重い”と報告する確率が 0.5 となるときの質量である。参加者が偏りなく重さを知覚していたならば、標準刺激の質量と等しくなるはずである。JND は”重い”と報告する確率が 0.25 となるときの質量

と、0.75 となるときの質量の差を 2 で割ったものである。上のグラフでは、正規分布の累積分布関数を用いてデータを曲線近似している。この近似曲線から PSE と JND を求めると良いだろう。最後に標準刺激が 56 g であるときと、109 g であるときの結果よりウェーバー比を求める。

### Excel を用いた正規累積分布関数による近似方法

平均 $\mu$ 、分散 $\sigma^2$ の正規分布の累積分布関数は次式で表される。

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2}} dt$$

比較刺激の質量を  $x$ 、”重い”と報告した確率を  $y$  としたとき、 $y \approx f(x)$  となるように、 $\mu$  と  $\sigma$  を定めることでデータを曲線近似することができる。本式にて  $\mu$  が PSE となる。Excel では線形近似や多項式近似によるグラフへの近似曲線の追加は標準の機能で行える。しかし、上式のような任意の非線形式の近似は直接的には行えない<sup>2</sup>。そこで、ここでは以下に示す方法により近似を行う。

$\mu = 0$ 、 $\sigma = 1$  の正規分布の累積分布関数を  $f_{std}(x)$  とすると、

$$f(x) = f_{std}\left(\frac{x - \mu}{\sigma}\right)$$

が成り立つ。

$$y \approx f(x) = f_{std}\left(\frac{x - \mu}{\sigma}\right)$$

より、

$$f_{std}^{-1}(y) = \frac{x - \mu}{\sigma}$$

となる。 $f_{std}^{-1}(y)$  は、Excel では NORMSINV( $y$ ) で求められる。そこで、各比較刺激の質量  $x_i$  に対する”重い”と報告した確率  $y_i$  に対応した  $f_{std}^{-1}(y_i)$  を NORMSINV 関数で求め、

$$f_{std}^{-1}(y_i) = \frac{x_i - \mu}{\sigma} = \frac{1}{\sigma} x_i - \frac{\mu}{\sigma}$$

となるよう  $\mu$  と  $\sigma$  を定めればよい。上式は  $a = \frac{1}{\sigma}$ 、 $b = -\frac{\mu}{\sigma}$  としたときの線形近似 ( $y = ax + b$  による近似) であるので Excel の標準機能で行うことができる。”累積分布関数近似.xlsx”のワークシート”方法 1”に上述した方法で近似した結果を示す。

### 実験レポート

レポートは、表紙、はじめに、方法、結果、考察に分かれること。結果の欄には上述したグラフおよび、56 g と 109 g の PSE と JND を含むこと。自分が被験者となったデータの結果と、全班員の平均の結果を載せること。実験結果はウェーバーの法則と一致したか？

参考文献 [1] 認知心理学ハンドブック, 日本認知心理学会編, 有斐閣ブックス

<sup>2</sup> 任意の非線形式による近似は、Excel のアドインに含まれるソルバーを使って、近似誤差を最小化する式の係数を求めることで求めることができる。”累積分布関数近似.xlsx”のワークシート”方法 2”にソルバーを用いて近似した結果を示す。

重量弁別実験 データシート

※ 比較刺激のほうが重ければ“+”、軽ければ“-”を記入する。

標準刺激 109 g							
試行番号	100	103	106	109	112	115	118
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11							
12							
“重い”の 試行数							
“軽い”の 試行数							
“重い”の 確率							



重量弁別実験 データシート

標準刺激 56 g							
試行番号	50	52	54	56	58	60	62
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11							
12							
“重い”の 試行数							
“軽い”の 試行数							
“重い”の 確率							

重量弁別実験 データシート

”重い”と報告した確率の集計

標準刺激 56 g							
参加者	50	52	54	56	58	60	62
平均							
標準偏差							
標準刺激 109 g							
参加者	100	103	106	109	112	115	118
平均							
標準偏差							

## 乱数メーカーとは

- 疑似乱数を用いてランダムに数字を出力可能
  - <http://mpnets.net/rand/>
- 今回、比較刺激の順番をランダムに決定するため使用

### 乱数メーカー

乱数メーカーとは？

乱数メーカーは、乱数(擬似乱数)を使って、ランダムに数字を発生(表示)させるサービスです。

乱数を発生させる

0 から 10 までの  
乱数を 1 個  
☐ 同じ数字を除外  
発生させる [0]

乱数メーカー ホーム画面

## 比較刺激の順番を決める手順

1. 乱数メーカーで数字をランダムに提示
2. ノート(手帳やwordでも可)に記載
3. 1,2の手順を12回繰り返す

◆ 2(系列) × 6(回) = 12

乱数メーカー

結果

1  
0  
2  
3  
5  
6  
4

乱数を発生させる

0 から 6 までの  
乱数を 7 個  
☒ 同じ数字を除外  
発生させる [0]

手順1

### 標準-比較系列

1回目: 1, 0, 2, 3, 5, 6, 4  
2回目: 5, 6, 1, 0, 2, 4, 3  
3回目: 1, 4, 0, 5, 2, 6, 3  
4回目: 2, 5, 3, 0, 4, 1, 6  
5回目: 3, 0, 1, 6, 4, 2, 5  
6回目: 3, 4, 0, 5, 1, 2, 6

### 比較-標準系列

1回目: 3, 5, 2, 6, 1, 4, 0  
2回目: 5, 2, 1, 4, 3, 6, 0  
3回目: 0, 6, 5, 3, 1, 4, 2  
4回目: 4, 6, 5, 0, 2, 1, 3  
5回目: 2, 6, 4, 0, 3, 5, 1  
6回目: 1, 5, 6, 3, 2, 0, 4

手順2, 3

### 手順1

乱数を発生させる

0 から 10 までの  
乱数を 1 個  
☐ 同じ数字を除外  
発生させる [0]

10を消し6を入力  
7を入力

同数を除外するためチェック

設定前

0 から 6 までの  
乱数を 7 個  
☒ 同じ数字を除外  
発生させる [0]

クリック

設定後

### 手順2,3

- 手順2: 結果をノートに記載
- 手順3: 【発生させる】をクリックし、結果を変更(11回繰り返す)

結果

3  
5  
1  
4  
0  
6  
2

乱数を発生させる

0 から 6 までの  
乱数を 7 個  
☒ 同じ数字を除外  
発生させる [0]

手順2

結果

4  
0  
2  
1  
3  
5  
6

乱数を発生させる

0 から 6 までの  
乱数を 7 個  
☒ 同じ数字を除外  
発生させる [0]

手順3

## 生体計測：虚偽検出

本課題では虚偽検出を題材として、視線、心拍の計測原理とその手法を学ぶ。虚偽検出は班毎の対戦形式で行う。

各班は仮想的に窃盗を行ったこととし、窃盗に関連する画像を事前に見ておく。対戦する班は6枚の画像の中から、どの画像を相手の班が見たかを推測する。推測は、対戦する班のメンバーに各画像を見せたり、質問を行ったりしたときの視線、心拍から行う。

対戦は1班 v.s. 2班、3班 v.s. 4班の組み合わせで行う。計測の行い方、つまり、各画像の呈示方法（順番、組み合わせ、呈示時間）や質問内容（例「この人を知っていますか？」など）は各班が自由に計画する。対戦する班員全員に被験者になってもらっても良いし、一部のメンバーだけでも良い。どの人を被験者とするかは、計測する側の班が指定する。ただし、相手の班も同時に計測を行っているので、機器を操作しているメンバーを指名しないようにすること。どの画像を事前に見たかを忘れないように、計測直前に被験者に再度画像を見させても良い。被験者となっている間は実験が行えないので、計測準備の段階では自班のメンバーが被験者となり、他班のメンバーの拘束時間なるべく短くなるようにすること。また、全メンバーが1回は被験者になってもらうようにすること。「盗んだ〇を見てください」と言われて、盗んだ物を素直に見ると、虚偽検出の課題が成り立たなくなるので、被験者は嘘を見破られないようにすること。ただし、わざと不自然な視線の動きをしたりすると、実験が成り立たなくなるので、被験者は自然に振舞うこと。

計測時間は大変短いので、事前の計画と準備が重要である。たとえば、視線計測装置では、一度に1枚の画像しか呈示できない。したがって複数の画像を同時に見せたい場合には、事前に複数の画像を組み合わせた1枚の画像を作成しておく必要がある。

### スケジュール

第5週後半 計測, 準備. 第6週 計測. 第7週前半 解析, 後半 発表.

※ 時間が限られているので、計測、解析など役割分担をしたほうが良いだろう。

### 発表方法

各班5分でパワーポイントを用いて、推測結果を説明する。

直感的な理由で説明するのではなく、グラフなどを用いて客観的データとともに説明すること。たとえば、ある画像を注視した時間が長いのであれば、各画像を見た時間を比較するグラフを作成して説明すること。

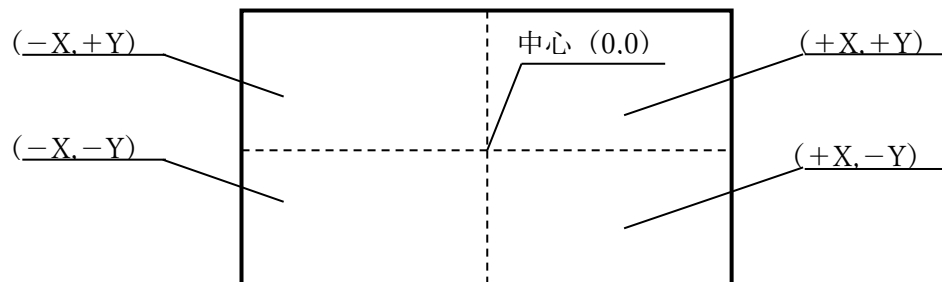
## 視線計測

視線には注意を向けている対象や心理状態など多くの情報が含まれている。かつては、視線計測装置は大変高価であったが、コンピュータの高性能化に伴って近年は安価になってきた。今後は、家庭等で用いる機器のインタフェースとしても視線計測装置が使用されることは増えていくだろう。本実験では、視線による虚偽検出を題材として、視線計測装置の原理、特性などを学ぶ。

本実験では、竹井機器工業株式会社製の非接触型眼球運動測定装置 TalkEye Free を用いる。ここでは、本装置の使い方の概要を説明する。

### 1. 仕様

測定眼	両眼		
サンプリング時間	静止画刺激	60Hz	
	動画刺激	60Hz	
刺激呈示形式	静止画	BMP/JPG/PNG	
	動画	形式	AVI
		対応コーデック	非圧縮/AVI/MJPEG /MS DTV-DVD Video
		最大フレームレート	60Hz
		最大解像度	1280×768
測定数値と位置の対応	角度データは刺激呈示モニターの中心を原点とした、正または負の角度データ		



### 2. 事前準備

装置を使用するには以下の設定や作業が必要である。

#### a. 刺激呈示パターンの設定（マニュアル p.34）（動画の場合 p.33）

画面に呈示する静止画や動画を登録し、呈示する時間、順番などを設定する。本装置では、静止画の呈示と動画の呈示を切り替える際には、「オプション」⇒「セットアップ」で設定変更したのちに、プログラムを再起動する必要がある。

静止画呈示の場合：「セッティング」⇒「刺激呈示パターン編集」

動画画呈示の場合：「セッティング」⇒「刺激呈示動画読み込み」

で設定する。静止画呈示の場合、編集を終えたら「保存」ボタンを押して適当な名前をつけて設定を保存する。

b. 被験者の画像パタン登録（マニュアル p.39）

カメラ画像から眼球を検出するために、被験者の眼周辺の画像をテンプレートとして登録する。黒目の位置により視線方向を計測するので、黒目なるべく大きく写るようにカメラや頭の位置を調節する。メガネをかけている場合、レンズの反射により、うまく計測できないことがある。メガネの角度を変えるなどしてなるべく反射が起きないようにしたほうが良い。

「校正」⇒「パタン登録」

「更新」ボタンで左側の撮影像が更新される。パタン登録枠を調整した後に、「登録」ボタンで登録する。「保存」する必要はない。登録ができれば、「閉じる」を押して終了する。

c. 校正（キャリブレーション）（マニュアル p.41）

カメラで計測した眼球画像と注視位置との対応づけを得るための作業。ディスプレイに点を表示し、被験者にその点を注視してもらって、そのときの眼球画像を計測する。

「校正」⇒「校正開始」を選択する。

「校正」⇒「9点校正」を選択すると校正が始まる。被験者は、表示された点をしっかりと注視する。校正が終了すると、画面に複数の視点が表示されるので、被験者に各点を注視してもらって、正しく計測されていることを確認する。計測精度が悪いときには、カメラ位置などを調整するとともに再度校正を行う必要がある。校正は計測直前に行うことが望ましい。

3. 測定（マニュアル p.46）

「測定」⇒「測定開始」で眼球計測が開始される。

つぎに「測定」⇒「記録開始」を選択するか、赤丸ボタンをクリックすると、設定した静止画または動画が呈示されるとともに、計測データがファイルに記録される。すべての刺激呈示が終わると、「データを保存しますか？」と表示されるので、保存したい場合は、「はい」を選択し、適切なファイル名をつける。途中で計測を止めたい場合には、「測定」⇒「記録停止」を選択するか、黒い四角印をクリックする。

4. 再生（マニュアル p.52）

測定直後あるいは、データファイルから眼球データを読み込んで、眼球データ、軌跡を表示することができる。「再生」⇒「再生開始」

また、cc301のPCにインストールされている眼球運動再生プログラムでも再生が可能である。再生にはEYESDATAフォルダに保存されている以下のファイルが必要である。

1. データファイル（ファイル名.csv）
2. 設定ファイル（ファイル名.inf）
3. サブフォルダ、刺激呈示ファイル（ファイル名\_IMG¥00.BMP～nn.BMP）

※ サブフォルダ毎コピーすること。

※静止画呈示の場合のみ。

#### 4. 刺激映像ファイル（ファイル名.AVI）※動画呈示の場合のみ。

再生プログラムの「オプション」⇒「録画」メニューから、再生の様子を動画(AVI ファイル)に変換することができる。眼球運動の動画はプレゼンや自宅での解析に利用するとよいだろう。

#### 5. 分析

計測データは、¥ドキュメント¥TalkEyeFree¥EYESDATA に CSV ファイルとして保存されている。データファイルとしては、「ファイル名.csv」と「ファイル名\_XY.csv」の2種類が保存されている。このうち、後者（「ファイル名\_XY.csv」）には、右眼と左眼の注視位置が画面座標で記録されている。前者には注視位置が角度でのみ記録されているので、後者を用いたほうが解析は行いやすい。角度は前頁の「1. 仕様」の図に示した座標系で記録されているのに対し、画面座標は画面左上が原点(0,0)、右方向が+X、下方向が+Yで、画面中が(320,240)、画面右下が(640,480)の座標系で記録される。したがって、画像座標を Excel の散布図で表示させた場合、上下が反転していることに注意が必要である。グラフの軸をマウスで選択し、画面右側に現れる「軸の書式設定」で「軸を反転する」をチェックすると上下が逆になり見やすくなる。

データは 60Hz で記録され、1 列目の「カテゴリ」に画像呈示のタイミング（インターバル時（黒色背景画面時）は 0、画像呈示時は試行番号）が記録されている。左右の眼の瞳孔径も記録されているので活用すると良いだろう。

※以下の説明ビデオも参考にすること。

<http://www.br.ci.ritsumei.ac.jp/exp1/eye1.mp4>

<http://www.br.ci.ritsumei.ac.jp/exp1/eye2.mp4>

<http://www.br.ci.ritsumei.ac.jp/exp1/eye3.mp4>

## 心拍計測

心臓の活動は心電図により計測できる。心電の詳細な活動は胸部に取り付けた電極で計測することが一般的であるが、脈拍数などおおまかな情報のみで良い場合には、手などに電極を接触させるだけでも計測が可能である。また、心臓の収縮の結果生じる血流変動（脈拍）は、近赤外光により計測できる。近赤外光は眼には見えない不可視光で生体組織を透過する性質がある。近赤外光を指などに照射し、透過した光量の変化より血流の変化を計測することができる。本実験では、市販の心拍計測計（東京デバセイズ、パルスラボ、IWS920-DEV）を利用して、近赤外光による心拍計測を体験し、その原理と性質を学ぶ。

計測原理（東京デバセイズ、パルスラボ説明書より）

「人の指先は、心拍に応じて色がわずかに変化します。この色の変化を光を使ってセンシングすることで、心拍の波形や、酸素飽和度が分かります。指先の色の変化は、酸素に結合したヘモグロビン( $O_2Hb$ )と結合していないヘモグロビン(HHb)で、吸収する光の波長が異なるために起こります。特に 660nm(深い赤色)と 900nm(近赤外線)の付近で大きく異なります(図 1)。指先には心臓から常に血液が供給されますが、心拍によって新鮮な血液が送られてきた時にはヘモグロビンはほとんど酸素に結合した  $O_2Hb$  になります。そしてすぐに酸素が消費されて HHb に変化することで  $O_2Hb$  の割合が低くなります。さらに次の心拍により、再び  $O_2Hb$  の割合が上がります。これを繰り返すことで、指先の色の濃さが周期的に変化します。」

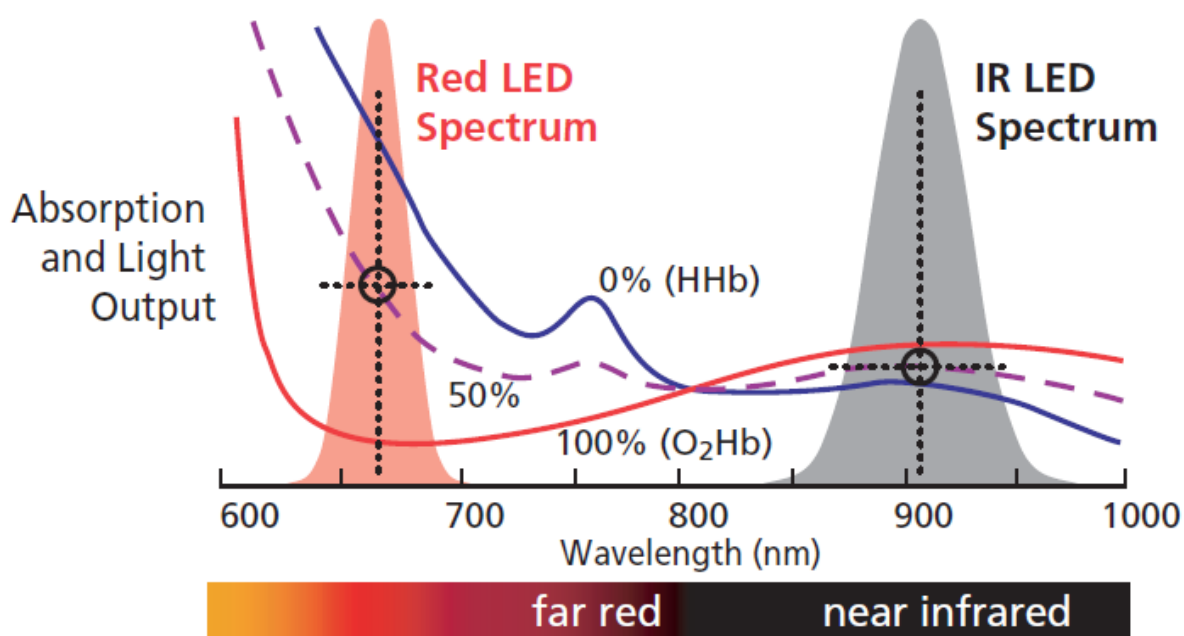


図 1 吸収スペクトラムのイメージ

(引用元: Nellcor Technical Staff, A Technology Overview of the Nellcor™ OxiMaxPulse Oximetry System)



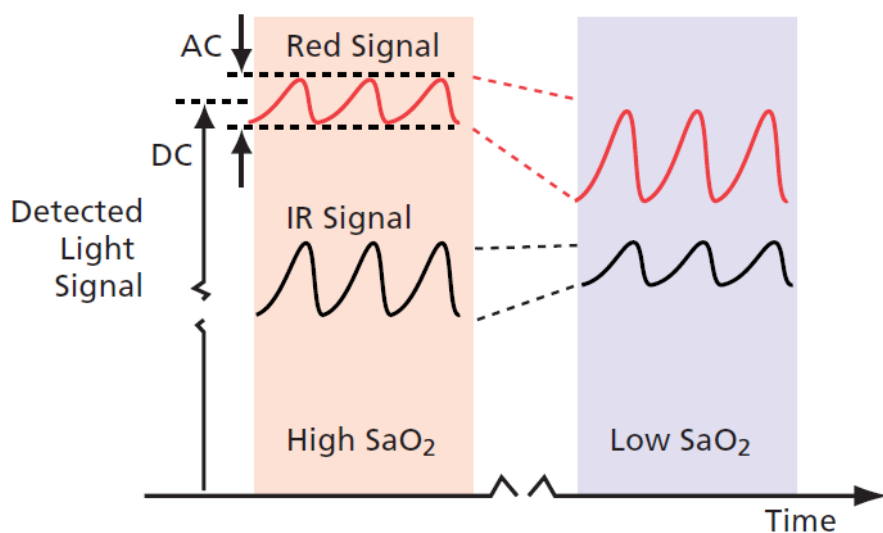


図 2 酸素飽和度による強度の変化

(引用元: Nellcor Technical Staff, A Technology Overview of the Nellcor™ OxiMaxPulse Oximetry System)

本装置では可視光と近赤外光を指に投射し、透過した光量より  $O_2Hb$  と  $HHb$  の時間変化を計測する。各ヘモグロビン量の変化より心拍数と酸素飽和度( $SpO_2$ )を計測することができる。 $SpO_2$ は医療目的では重要な値であるが、今回の課題(虚偽検出)ではとくに参考とはならないであろう。

## 使用法

1. 下図のように指を心拍プローブにはさむ。



以下のような画面が表示される。

## メインメニュー



## ステータスバー

画面中の赤線は可視光の透過光量、青線は近赤外光の透過光量を示す。画面中の項目の意味は以下のとおりである。

**心拍数** 現在の心拍数。過去 6 回分の時間間隔の移動平均から算出される。

**標準偏差** 心拍と心拍の時間間隔(受信データのポイント数)の標準偏差。過去 6 回分の時間間隔の移動平均から算出される。この値はデータ品質の指標として応用できる。目安として、約 25 以下で信頼性のある心拍数として解釈できる。

**R 値** 可視光と近赤外についての AC 成分と DC 成分の比の値。SpO<sub>2</sub> 値の算出に使用可能。この値が 0.4 程度の場合には SpO<sub>2</sub>=100、1 程度の場合には SpO<sub>2</sub>=85 程度になる。

**SpO<sub>2</sub>** R 値から算出した酸素飽和度(SpO<sub>2</sub> 値)。参考値(校正なし)。

**受信カウント** 受信したデータ数。

1 クロックあたり 1 ポイントのデータが受信される。

1 クロックは  $1 \div 409.6$  秒 = 2.44140625 ミリ秒である。

**信号レベル** 検出されている信号の強度を表す。最大 1.0、最小 0。

標準偏差と共に、データの品質指標として利用できる。

0.05 以上で正常。0.01 程度になると信号の解析品質に問題が生じる可能性がある。

## 上手に計測するためのコツ

- 指はなるべく動かさないようにしする。
- 信号が安定するまで 10 秒以上かかる場合があるのでしばらく安静にする。
- 指先が冷えていると毛細血管が収縮してほとんど血流がなくなり、信号レベルが低くなる。指先や体を適度にあたためるようにする。

2. 「ファイル」⇒「ログ記録」より、データをテキストファイルに出力することができる。データ出力には「解析済みデータ」と「生波形」がある。それぞれのデータ形式は以下のとおりである。

**表 2 「解析済みデータ」出力データ形式**

カラム番号	名前	説明
1	時刻	計測開始からの経過時刻です。単位はクロックです。 1 クロックは $1 \div 409.6$ 秒 = 2.44140625 ミリ秒です。
2	心拍数	心拍数の参考値です。
3	標準偏差	心拍と心拍の時間間隔(受信データのポイント数)の標準偏差です。過去 6 回分の時間間隔から算出されます。データ品質の指標として応用できます。信号が不安定な場合には心拍と心拍の間隔が揺らぐため標準偏差が大きくなります。目安として約 25 以下で信頼性のある心拍数として解釈できます。
4	信号レベル	心拍成分の信号強度を表します。最大 1.0、最小 0 です。標準偏差と共に、データの品質指標として利用できます。0.01 程度になると信号の解析品質に問題が生じる可能性があります。また、プローブが本体から外れている時には 0.01 程度になります。
5	R 値	可視光と赤外についての AC 成分と DC 成分の比の値の比です。SpO2 値の算出に使用可能です。この値が 0.4 程度の場合には SpO2=100、1 程度の場合には SpO2=85 程度になります。
6	SpO2 値	R 値から算出した SpO2 値です。参考値です(校正なし)。

## 出力例

4813	72	33	0.09	0.48	98
5172	69	26	0.09	0.41	100
5521	71	12	0.09	0.45	99
5874	70	5	0.09	0.45	99
6225	70	4	0.09	0.45	99
6582	70	3	0.09	0.45	99
6927	70	4	0.08	0.45	99
7276	70	4	0.09	0.46	99
7628	70	4	0.09	0.46	99

表 3 「生波形」出力データ形式

カラム番号	名前	説明
1	可視光 1	可視光による透過光量です。
2	赤外 1	赤外による透過光量です。
3	可視光 2	可視光による透過光量の交流成分です。 可視光 1 から直流成分を除き、振幅を 4.7 倍した値です。
4	赤外 2	赤外による透過光量の交流成分です。 赤外 1 から直流成分を除き、振幅を 4.7 倍した値です。

なお、デモプログラムの画面上に表示される赤と青の心拍波形グラフは、可視光 2 と赤外 2 のカラムのデータが描画されたものです。(※可視光 1 と赤外 1 のデータは、デモプログラムの画面上には表示されません)

#### 出力例

0.838049	0.657686	-0.003038	0.005427
0.837837	0.657267	-0.001892	0.007429
0.837622	0.656856	-0.000778	0.009300
0.837431	0.656442	0.000303	0.011237
0.837225	0.656005	0.001378	0.013243
0.836998	0.655570	0.002542	0.015212

解析済みデータの心拍数は前後 6 回の平均であることに注意する必要がある。

なお、心拍数の増減以外にも、心拍変動の LF/HF 成分（心拍周期の変動の周波数成分）から、交感神経（緊張・ストレス時に働く神経）と副交感神経（リラックス時に働く神経）の変動を計測することができる。心拍変動は心電図データから計測する指標であるが、脈波からもほぼ同等の指標を得ることができる。

※以下の説明ビデオも参考にすること。

<http://www.br.ci.ritsumei.ac.jp/exp1/pulse.mp4>