４．実験結果の解析や検定

(1) 実験結果と平均値・中央値・最頻値

多くのデータの特徴を簡単に表す際に、次のような値を使うことがある。

1) 平均値：全データの値の合計をデータ数で割る。

2) 中央値(メジアン)：データを小さいものから大きいものに並べた時に、真ん中に位置する値。データが偶数の場合は真ん中の２個の中間とする。

3) 最頻値(モード)：最も多くのデータ数を持つ値。いくつかの階層に分ける場合は、もっとも多くのデータを含む階層のこと。

一般に「平均値」を使うことが多いが、すべてのデータに対して使えるのは中央値であり、平均値は正規分布にしたがうデータの中心傾向を表す際には使えるが、次のような場合は、平均値を計算してはいけない。

・サイズの異なる複数の集団から求めた平均値の平均、複数の集団から得られた比率の平均、測定のスケールが線形ではない値（例えばｐＨ）の平均。

(2) 平均値と標準偏差・標準誤差

Excel では平均値は AVERAGE,**標準偏差**は普通 STDEV（標本標準偏差）という関数で求められる。また，標本の平均値が母集団の真の平均値をどれくらいよく表しているかを示す指標として，標準誤差(SE)や，95％信頼区間(95％CI)を用いる。Excel では，これらをグラフ上で誤差棒によって示すことができる。

・標準誤差(SE)＝〔標準偏差〕÷√（標本数）

・95％信頼区間＝〔標準誤差〕×〔ｔ分布の臨界値〕

〔ｔ分布の臨界値〕は，自由度（標本数―１）で，有意確率５％における値を用いる。

（注）標準偏差には，もう一つ母標準偏差があり，これは，Excel では STDEV.P という関数で求めることができる。母標準偏差は，得られているデータが集団全体である場合，例えばある高校の１年１組の全員の身長のようなデータに対して適用する。それに対して実験データの解析では，大きな母集団からいくつかの標本を抽出したデータを扱うので，この場合は標本標準偏差を用いることになる。

・標本標準偏差(STDEV)＝$\sqrt{\ }$〔$\Sigma(X_i-X)^2/(n-1)$〕

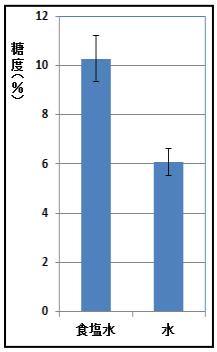
・母標準偏差(STDEV.P)＝$\sqrt{\ }$〔$\Sigma(X_i-\mu)^2/n$〕

ここで，X_i：それぞれのデータ（測定値），ｎ：標本数

μ：母平均(母集団の平均値)，Ｘ：標本の平均値　を表す。

【例題】0.3％食塩水を与えて栽培したトマトと，水を与えて栽培したトマトの果実 10 個ずつの糖度を測定したところ，以下のようになった。このデータの平均，標準偏差，標準誤差，平均値の 95％信頼区間を求めよ。

0.3％食塩水	10.2, 12.5, 9.3, 9.3, 11.3, 10.9, 7.7, 10.1, 9.7, 11.7
水	6.5, 5.4, 6.3, 5.5, 7.5, 5.1, 7.2, 6.2, 5.8, 5.3



平均値は Excel で AVERAGE，標準偏差は STDEV の関数を用いて求める。標準誤差は，標準偏差をサンプル数(この例では 10 個)の平方根（3.16）で割って求める。平均値の 95％信頼区間は，自由度 df（サンプル数―１，ここでは 10－1＝9）で，有意確率５％における t 分布の臨界値（この例では自由度が 9 なので，2.26）をかけて求める。グラフでは，図のように信頼区間をバーで表示する。

	食塩水	水
平均	10.3	6.08
標準偏差	1.32	0.77
標準誤差	0.42	0.24
信頼区間	0.94	0.55

＊参考：P=0.05 における t 分布の臨界値

自由度	4	5	6	7	8	9	10	20	60	120	>120
臨界値	2.78	2.57	2.45	2.37	2.31	2.26	2.23	2.09	2.00	1.98	1.96

(3) 実験データの統計的検定

実験では，仮説を検証するために，ある条件で実験したデータと，対照実験による実験のデータを比較する場合がよくある。実験群と対照群の平均値を比較しただけでは，その違いが標本集団または測定データの単なる実験誤差に基づくものなのか，それとも母集団の有意な違いに基づくものなのかの判断に迷うことがある。有意な差があると判定しても有意な差がないと判定しても恣意的な判断とみなされてしまう可能性がある。そこで用いられるのが統計的検定である。様々な検定法の詳細は多くの文献があるのでそれらを参照してほしいが，ここでは、いくつかの実験例をもとに，よく使われる検定法を紹介したい。

検定を行う実験データの種類によって，次のように分けて考える。

（＊印についてはここでは扱わないので，他の参考文献などを参照して欲しい）

①実験データが度数の場合

・サンプル数が十分大きい場合(期待度数が５以上)→カイ二乗検定（例１）

・変数が２種でサンプル数が少ない場合→二項検定（＊）

②実験データが測定値で，２つのグループ間のデータの差を検定

・正規分布が期待されるデータ　→t 検定（例２）

・正規分布が期待されないデータ　→マン・ホイットニーのＵ検定（＊）

③実験データが測定値で３以上のグループのデータの差を検定→分散分析（＊）

④実験データが測定値である２つの変数間の関連を検定（＊）

・１つ変数は他の変数によって影響されない独立な変数である場合→回帰分析

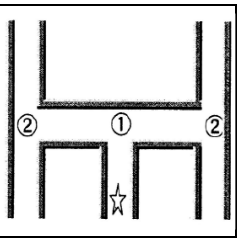
・２つの変数間に相関関係がある場合→相関分析

(4) よく使う統計的検定の具体例と手順

①カイ二乗検定（χ^2検定）

グループ間の差を検定する方法だが，測定値ではなく，度数（カウント数）を検定するために用いられる。

【例題１】ダンゴムシは交替性転向反応を示すことが知られている。これは，最初に右へ曲がったら次は左へ，最初が左なら次は右に曲がるという反応である。いま，ワラジムシで同じ実験を５０回行ったところ，４３回は１回目と違う向きに曲がり，７回は同じ向きに曲がった。この結果から、ワラジムシに交替性転向反応があるといえるか。



１）帰無仮説「ワラジムシは交替性転向反応を示さない」を設定する。

２）期待度数 E を計算する。実験を 50 回行ったので、交替性転向反応を示さない場合は、違う向きと同じ向きに曲がる回数は同数になる。この場合の期待度数Ｅはいずれの場合も 25 回ずつとなる。

	観測度数（O）	期待度数（E）	差（O－E）	$\frac{(O-E)^2}{E}$
違う向き	43	25	18	12.96
同じ向き	7	25	－18	12.96
計	50	50	0.0	25.92

３）観測度数と期待度数の差を計算する。

43－25＝18　　7－25＝－18

４）カイ二乗(χ^2)値を計算する。χ^2値は、観測度数と期待度数の差を二乗した値を期待度数で割り、その値を全項目について積算する。

つまり、$\chi^2 = 18^2 / 25 + (-18)^2 / 25 = 25.9$。自由度＝項目数－1＝2－1= 1

5）有意水準５％の臨界値を Excel の関数 CHIINV で求める。有意水準５％で自由度１の場合は、CHIINV（0.05, 1）＝3.84

6）カイ二乗値と臨界値を比較する。この場合は、カイ二乗値(25.92)＞臨界値(3.84)なので、帰無仮説は棄却され、「観測値と期待値の差は有意であり」、「ワラジムシは交替性転向反応を示す」と結論づけることができる。つまり、この差は偶然によるものでなく、２回目は違う方向に曲がる性質があると言える。この結論が間違っている確率は５％（20 回に１回）以下である。

＊χ^2値の表（自由度 1～5, P＝0.05、0.01 の場合）

自由度	1	2	3	4	5
P＝0.05	3.84	5.99	7.81	9.49	11.07
P＝0.01	6.63	9.21	11.34	13.28	15.09

（注）サンプル数が少ない（期待度数＜５）場合は、カイ二乗検定は使えず、二項検定を使う。

② t 検定

実験条件が異なる「２組のデータ」の平均値に有意な差があるかどうかを検定する場合によく用いられる。この検定の過程で必要な数値は、Excel で下記のような関数で求めることができる。

・実験区と対照区のデータの平均 x を関数 AVERAGE で算出
・各区のデータの標準偏差 s を関数 STDEV で算出
・各区のデータの標準誤差 SE＝標準偏差 s ／標本数$\sqrt{n}$
・ t 値＝２組の平均値の差／SQRT（実験区の標準誤差の二乗＋対照区の標準誤差の二乗）を算出。
・有意水準 5%の臨界値＝関数 TINV（0.05, t 値）を算出。自由度は標本数ｎ－１の和。

【例題２】ある昆虫のオスとメスの体重を 16 個体ずつ測定したところ，次の通りのデータを得た（単位は mg)。オスがメスと異なる体重をもつかどうか。
オスの体重（mg）：43, 45, 45, 45, 46, 46, 46, 47, 47, 48, 48, 49, 49, 49, 50, 52
メスの体重（mg）：41, 42, 43, 43, 43, 43, 44, 44, 44, 44, 45, 45, 45, 45, 46, 47

1）２組のデータの基本統計量を求める。
・オス：平均値 x_m＝47.2,　標準偏差 s ＝2.29,　標準誤差 SE＝0.57
・メス：平均値 x_m＝44.0,　標準偏差 s ＝1.51,　標準誤差 SE＝0.38

2）帰無仮説「雌雄の体重には有意な差がない」を設定する。

3）両側検定か、片側検定かを決める。２つのグループの平均値を比較する場合に，一方が他方より大きい場合も小さい場合もあるときは，両側検定を行う。一方が他方よりも論理的に明らかに大きいか同じ場合は片側検定でよいが，両側検定よりも判定が甘くなるので，そう判断した根拠を述べる必要がある。ここでは「両側検定」とする。

4）ｔ値を計算する。上記の式に１）で求めた基本統計量を代入すると、
ｔ値＝（47.2－44.0）／SQRT（$0.57^2 + 0.38^2$）＝3.2／SQRT（0.468）＝4.66

5）有意水準５％での t 分布の臨界値を求める。自由度は(16-1)＋(16-1)＝30 となる。Excel の関数を使うと、TINV(0.05, 30)=2.04。

6）４）で求めた t 値(4.66)と、５）で求めた臨界値(2.04)を比較すると、
t 値(4.66)の絶対値＞臨界値(2.04)　　なので、帰無仮説は棄却される。
つまり、「オスとメスの体重には有意な差があった」といえる。