

## 第 5 回 統計的検定

★ 教材「生物統計学\_\_統計的検定とは？2013」を予習しながら空所を埋めておくこと

### A. 統計的検定

#### 1. 統計的検定とは？

統計的検定：統計的に標本の統計量から母集団の母数に関する予測の真偽を検証することを統計的検定という。

統計的検定の例：

例 1 あるメーカーではさいころを作っており，5 回振って出た目をチェックして正確なさいころであるかをチェックしている．あるさいころを 5 回振ったところ，5 回とも奇数だった．二項分布から 5 回とも奇数になる確率は  $1/32 (=0.03125)$  である．このような低い確率が出ることから，さいころは奇数と偶数が同じ確率で出ると考えるよりも，奇数が出やすいと結論し，そのさいころは不良品と判断した．

例 2 同じ M 寸の卵でありながらスーパー S は，スーパー K よりも軽い卵を売っていると考え，両店の 10 個の卵についてそれぞれ調査したところ，スーパー S の卵は平均 20g，標準偏差 0.5g，スーパー K の卵は平均 22g，標準偏差 0.5g であった．したがって，スーパー S の卵の重さは信頼区間 95% で  $20 \pm 0.31g$  であり，スーパー K の卵の重さは信頼区間 95% で  $22 \pm 0.31g$  である．2 つの信頼区間は重ならないという結果から両店の卵の重さの母平均は違うと結論づけた．

#### 2. 検定の手順

##### ① 帰無仮説の設定

統計的検定によって否定したい仮説を立てる．これを**帰無仮説**という．例 1 ではさいころは奇数と偶数が同じ確率 (0.5) で出る，例 2 ではスーパー 2 店の卵の重さが同じであるというのが帰無仮説に相当する．そして，帰無仮説に従えば，実際に得られたデータの出現する確率はいくらかを求め，その確率がきわめて低い（必要に応じて，基準となる確率は検定前に設定する）ならば，帰無仮説が間違っているとし，対立仮説が正しいとするのが統計的検定である．

##### ② 対立仮説の設定

帰無仮説が間違っていると判断した場合に採用する仮説を**対立仮説**という．

では，対立仮説は例 1，2 ではどうなるか？

例 1：

例 2：

- ③ 帰無仮説が成り立つとしたら、今回得たデータが出現する確率を求める。  
この確率のことを**有意確率 (p-値)**と呼ぶ。

- ④ p-値があまりに小さいと、帰無仮説が正しいと考えるより間違いであると判断する。これを  
「**帰無仮説を棄却する**」という

- ★ 一般には p-値が 0.05 (5%), 0.01 (1%), 0.001 (0.1%) などより小さいときに、帰無仮説が間違いであると判断する。この判定基準を**有意水準**という。

- ⑤ 帰無仮説が成り立たないと判断したときには**対立仮説**を採用する。

有意差がある：帰無仮説を棄却できるだけの反証が得られた。

p-値が 0.05 (あるいは 0.01 or 0.001) より小さいときに、5 (あるいは 1 or 0.1) %の**有意水準**で**有意差**があると表現する。

- ⑥ 帰無仮説を棄却できないときは、有意差がないことになり、対立仮説を採用するだけの証拠がないことになる。

帰無仮説が棄却できないときは、帰無仮説を採用するのではなく、帰無仮説を棄却できるだけの証拠が不十分と考える。この場合、採用するのは**対立仮説の否定**である。

対立仮説を証明したいのに、帰無仮説のようなものを持ち出すのはまどろっこしく感じるかもしれない。しかし、統計的にできるのは帰無仮説の否定だけである。その理由は以下の2つである。

- ★ 「甲は乙より早い」といっても、どのくらい速いのか、甲が乙に勝つ確率はいくらなのか、がはっきりしない。すなわち計算できない。これを明確に規定し、計算できなければ、数量的に取り扱えない。

- ★ 仮に、仮説を数量的に規定できても、それが真実であることを統計的には証明できない。統計的にできることは、仮説に対する「反証」を提示することだけである。

★ 教材「生物統計学\_\_二項分布を利用した統計的検定 2013」を予習しながら空所を埋めておくこと

## B. 二項分布を利用した統計的検定

### 1. 二項分布を利用した統計的検定

例題：A君は対戦型ゲームでキャラクターBと互角に戦えると主張しているが、実際やってみると1勝9敗だった。A君の主張の真偽を統計的に検定せよ。

帰無仮説：A君はキャラクターBと互角に戦う。

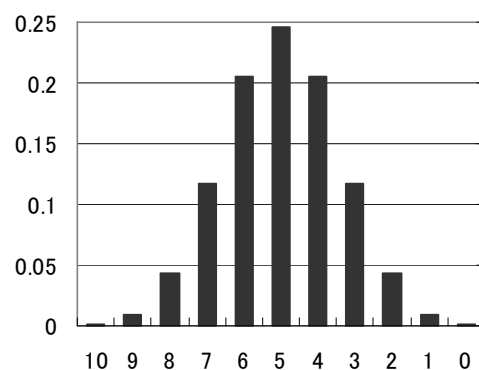
A君がキャラクターBに勝つ確率は（ ）である。

対立仮説：A君はキャラクターBより弱い（互角でない）。

A君がキャラクターBに勝つ確率は（ ）ではない。

A君がキャラクターBと互角に戦う（勝つ確率 0.5）としたら、  
二項分布に従って、A君が1勝以上しない確率を計算する  
A君がちょうど1勝する確率

A君がちょうど0勝する確率



1 勝だけの確率をみるのではなく、どれだけ中心から外れているかの確率を計算するので、0 勝の場合も計算しなければならない。さらに 10 勝と 9 勝する確率も計算しなければならない（両側検定）。

### 2. 有意水準と検定結果

#### ① 有意水準

仮説が正しいにもかかわらず、帰無仮説を棄却する確率を（ ）という。

（ ）には 5%, 1%, 0.1% などがよく使われる。

ここでは有意水準を 5% としてみよう（検定前、p-値を計算する前に有意水準を決めること）。

帰無仮説が正しいとすると今回のようなケース（A君が1勝あるいは0勝しかないということ）が起こる確率（有意確率, p-値）は（ ）であった。実際にはA君が10勝あるいは9勝する確率も一緒にして、p-値を求める（両側確率という）。

帰無仮説は棄却できるだろうか？

★ 5%の有意水準で帰無仮説は（ ），（ ）と判断できる。

★ 1%の有意水準で帰無仮説は（ ），（ ）と判断できる。

② 帰無仮説を検定する

帰無仮説が棄却される→対立仮説を採用する

帰無仮説が棄却されない→対立仮説の採用には証拠が不十分であり，この場合，対立仮説の否定的な表現となる（「対立仮説」とはいえないという表現をする）

予習問題：あるチョコレートには 0.2 の割合で当たりくじが入っているとメーカーは主張する．

10 個買ったところ，1 つも当たりくじが入っていなかった．メーカーの主張の真偽を有意水準 5% で両側検定せよ．

帰無仮説：

対立仮説：

p-値（両側確率）＝

検定結果

検定結果：

有意水準 5% で帰無仮説は（棄却される・棄却できない）．

したがって，

- 1) 対立仮説を採用する→
- 2) 対立仮説は採用できない→

★ 論文などにみられる統計的検定

論文では統計的検定の結果を表す p 値そのものを表記する場合，p 値に代えて，\*（5%水準で有意差あり），\*\*（1%水準で有意差あり），ns（5%水準で有意差がない）で表現する．

| 項目 | 処理あり | 処理なし   | P値    |
|----|------|--------|-------|
| A  | 23.8 | 18.4*  | 0.049 |
| B  | 12.3 | 10.8ns | 0.086 |
| C  | 46.0 | 61.5** | 0.008 |

★ 教材「生物統計学\_\_統計的検定における 2 種類の誤り 2013」を予習しながら空所を埋めておくこと

### 3. 第 1 種の誤りと第 2 種の誤り（有意水準と検出力）

#### ① 第 1 種の誤り

帰無仮説が正しいにもかかわらず、これを否定する過誤を**第 1 種の誤り**という。例 1 では本当はさいころは正しくできているのに、たまたま 5 回続けて奇数が出たなら、第 1 種の誤りを犯す、すなわち不良品でないのに、不良品という判断を下したことになる。

第 1 種の誤りを犯す危険率を（ ）といい、 $\alpha$  と表すことがある。有意水準を小さくして、検定すれば、第 1 種の誤りを犯す危険は小さくなる。さいころの例でいえば、10 回続けて奇数が出なければ、帰無仮説を否定しないとすれば、有意水準 0.001 で検定したことになり、そういうことは 1000 回に 1 回しかないので、帰無仮説を否定できると結論できる。

#### ② 第 2 種の誤り

しかし、5 回続けて奇数の出るさいころが正しいさいころであるよりは、奇数の出やすいさいころと考える方がありそうである。このように帰無仮説が誤りであるにもかかわらず、これを否定しない過誤を**第 2 種の誤り**（さいころの場合、不良品なのにそれを見逃す確率）という。第 1 種の誤りを減らすために有意水準を小さくすれば、第 2 種の誤りの危険率（ $\beta$ ）は高くなり、すなわち（ ）（ $1 - \beta$ ）は低下する。2 種類の誤りと検定結果には下の表のような関係がある。

表 検定における 2 種類の誤り

|                  |          | 本当に成り立っているのは                  |                              |
|------------------|----------|-------------------------------|------------------------------|
|                  |          | 帰無仮説                          | 対立仮説                         |
| 検<br>定<br>結<br>果 | 帰無<br>仮説 | 正しい<br>(その確率: $1 - \alpha$ )  | 第 2 種の誤り<br>(その確率: $\beta$ ) |
|                  | 対立<br>仮説 | 第 1 種の誤り<br>(その確率: $\alpha$ ) | 正しい<br>(その確率: $1 - \beta$ )  |

有意水準を小さくすれば、第 1 種の誤りをおかす危険性（不良品のさいころでないのに不良品として扱う確率）は（大きく・小さく）なる。しかし、第 2 種の誤り（不良品のさいころなのに見逃す確率）をおかす危険性は（大きく・小さく）なる。

統計的検定では有意水準を決めることによって、第（ ）種の誤りの大きさを制御している。すなわち第（ ）種の誤りを避けることに重点が置かれている。このことは統計的検定では貴重な発見（ここでは不良品のさいころをみつけることが科学的な新発見に対応する）を見落としてしまっても疑わしい結果を受け入れることを避けているのである。

## 第 1 種の誤りと第 2 種の誤り どちらが重要だろうか？

質問 1 万人に 1 人の割合でガンにかかっているとします．ある人がガン検診で陽性だと判定された．この検査の精度は 99%，すなわち間違っただ判定を下す確率はわずか 1%とする．ではこの人がガンである確率はいくらか？

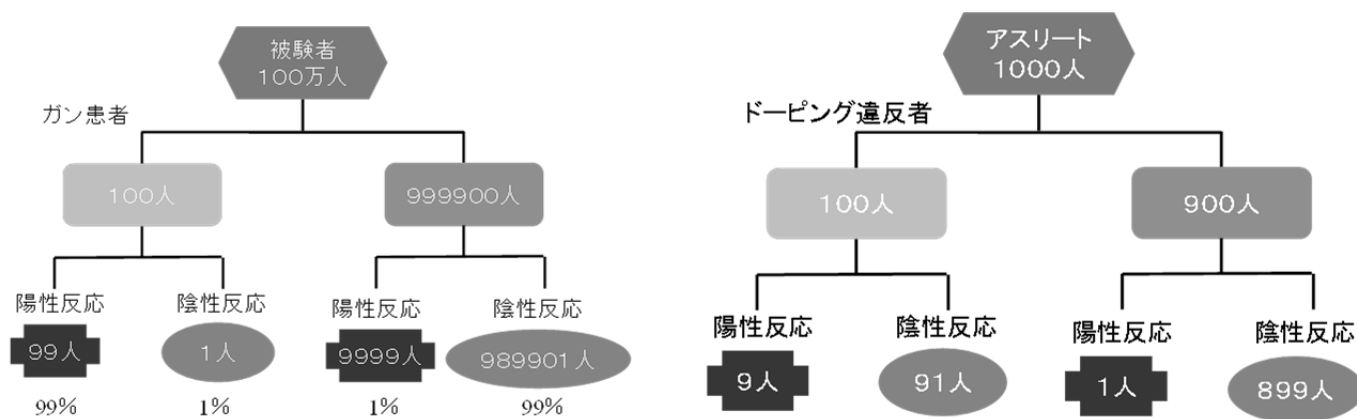


表 ガン検診における 2 種類の誤り (100 万人中)

|                  |    | 本当に成り立っているのは         |                   |
|------------------|----|----------------------|-------------------|
|                  |    | ガン患者でない              | ガン患者である           |
| 検<br>定<br>結<br>果 | 陰性 | 正しい<br>(989901 人)    | 第 2 種の誤り<br>(1 人) |
|                  | 陽性 | 第 1 種の誤り<br>(9999 人) | 正しい<br>(99 人)     |

表 検定における 2 種類の誤り (1000 人中)

|                  |    | 本当に成り立っているのは      |                    |
|------------------|----|-------------------|--------------------|
|                  |    | 非ドーピング違反者         | ドーピング違反者           |
| 検<br>定<br>結<br>果 | 陰性 | 正しい<br>(899 人)    | 第 2 種の誤り<br>(91 人) |
|                  | 陽性 | 第 1 種の誤り<br>(1 人) | 正しい<br>(9 人)       |

ガン検診では本当にガン患者なのに、ガンを見逃す危険を減らしたいから、第 ( ) 種の誤りをできるだけ避けたい。その代わりに第 ( ) 種の誤りは増える。つまりガン患者でないにもかかわらず、ガンであると判定する誤りは増加する。一方、ドーピング検査ではドーピングしていないのに、ドーピング違反者と判定する危険を減らさざるを得ない。すなわち第 ( ) 種の誤りをできるだけ避けたい。その代わりに第 ( ) 種の誤りは増える。つまりドーピングしているのに陰性と判定する誤りは増加する。

このように第 1 種の誤りと第 2 種の誤りのどちらかを重視するかは状況によって変わる。

統計的検定では帰無仮説を立ててから、データを取り、帰無仮説の元で今回得られたデータが得られる確率である有意確率 (p 値) を計算する。有意確率が実験開始前に宣言した有意水準以下であれば、帰無仮説を棄却し、対立仮説を採用する。次は正規分布を仮定した平均の検定を行う。通常、p 値の計算はむずかしいので、値を代入するだけでよい。

★ 教材「生物統計学\_\_統計的検定（1 標本の平均に関する）2013」を予習しながら空所を埋めておくこと

C. 母分散が既知のときあるいは大標本の平均に関する統計的検定

1. ある決まった平均に対する検定（標本数が 100 以上の時に利用する）

例：A農場で出荷する桃の重さの標準偏差  $\sigma$  は 20g である．桃の重さの平均が 150g となるように出荷する．ある日の調査では 100 個の桃の重さを量ったところ，平均 145g であった．桃の重さの母平均は 150g ではないのかを検定せよ．

帰無仮説  $H_0$  :

対立仮説  $H_1$  :

① 帰無仮説が成り立つとすると今回のデータが得られる確率（有意確率，p 値）を計算する  
第 5 回検定タブにある計算シートを使って p-値を計算する

|       |          |
|-------|----------|
| 標本数   | 100      |
| 標本平均  | 145      |
| 標本標準偏 | 20       |
| 母平均   | 150      |
| 有意確率p | 0.012419 |

帰無仮説  $\mu = 150$  が成り立つとき，

今回の標本  $\bar{x} = 145$ ,  $n = 100$  が得られる確率

p-値 = ( ) である．

したがって，有意水準 5% では帰無仮説  $H_0$  は棄却される（有意水準 5% で有意である）．すなわち対立仮説  $H_1$  を採用し，有意水準 5% でこの標本の母平均は 150g ではないと結論できる．

しかし有意水準 1% では帰無仮説  $H_0$  は棄却されない（有意水準 1% で有意でない）．すなわち対立仮説は採用できないので，有意水準 1% でこの標本の母平均は 150g ではないとはいえないと結論される．

練習：C村は塩分の濃い食事でも有名であり，寿命が短いといわれる．村民の平均寿命は 100 人調べたところ，70.2 歳，標準偏差は 0.9 歳だった．平均寿命が 70 歳であるかを有意水準 5% で検定せよ．

帰無仮説  $H_0$  :

対立仮説  $H_1$  :

p-値 =

検定結果

有意水準 5% において，帰無仮説は（ 棄却される ・ 棄却できない ）．したがって，平均寿命は 70 歳（ でない ・ でないとはいえない ）．

#### D. 統計的検定の手順のまとめ

1. 帰無仮説をたてる.
2. 対立仮説をたてる. ふつうは両側検定とする.
3. 有意水準を決める.

有意水準は統計的検定の計算を始める前に決める. 可能ならば実験を始めたり, データを集めたりする前に決めるのが望ましい. とくに統計によって何らかの判断を検定結果から行うときは有意水準を事前に決めなければならない.  $p$ -値をみてから有意水準を決め, 判断するというのでは, 統計的な方法をつかわないで恣意的にカンで物事を決めるのとほとんど同じことである.

統計による判断を実験した人が行わないで, ただデータをつけて結果の提示だけを行うときにはデータに  $p$ -値あるいは有意差を示す記号を付ける.  $p$ -値をつけるのがより明確だが, 以前は  $p$ -値の計算が面倒であったので, 慣例として有意差を示す記号を付け, \*は 5%水準で, \*\*は 1%水準で, \*\*\*は 0.1%水準で有意差があることを示すことが一般的である. しかし, この記号は慣例で使われているだけなので, 確認して使うべきである.

4.  $p$ -値を計算する.

特に有意水準について断りのない場合は, 有意水準を 5%として, 得られた  $p$ -値について以下のように結論するのが一般的である.

$0.05 < p\text{-値}$  5%の有意水準で帰無仮説は棄却できず, 対立仮説の否定を採用する.

$0.01 < p\text{-値} \leq 0.05$  5%の有意水準で帰無仮説は棄却され, 対立仮説を採用する.

$0.001 < p\text{-値} \leq 0.01$  1%の有意水準で帰無仮説は棄却され, 対立仮説を採用する.

$p\text{-値} \leq 0.001$  0.1%の有意水準で帰無仮説は棄却され, 対立仮説を採用する.

5. 統計的検定を行う.

$p$ -値が最初に決めた有意水準よりも小さければ, 帰無仮説は棄却され, 有意差があると判断できる. 帰無仮説が棄却できないときは「差があるとはいえない」という結論になる. 帰無仮説を採用して, 「差がない」という結論にしてはいけない.

6. 現実的な意味での差があるかの判断

統計的に有意差があることと現実的な意味でその差に意味があるかというのは別問題である. すなわち  $p$ -値が小さければ小さいほど, 差があることを統計的に強く確信が持てるとはいえる. しかし  $p$ -値が小さければ小さいほど, 現実的な意味での価値が増すというわけではない.

#### E. 宿題

宿題は <https://moodle.cerd.shimane-u.ac.jp/moodle/> を見てください.



## 補足 統計的検定の結果の表記について

### 1. 有意水準をかならず付けて表記すること

p-値が 0.05 より小さく、0.01 より大きい場合、5 %の有意水準では有意であり、1 %の有意水準では有意ではない、すなわち 5 %の有意水準では 2 つの標本の母平均に差がある、1 %の有意水準では差があるとはいえないという結論になる。このときときどき差があるといいながら、あるとはいえないともいうのかと混乱する人もいるかもしれない。あくまでも宣言した有意水準において差がある、差があるとはいえないと結論しているのであり、統計的検定においてはかならず有意水準を付けなければならない。

検定の結果を次の行動につなげる場合はかならず有意水準を決めてから検定しなければならない。この場合、有意水準  $\alpha$  % で検定せよということになり、もし p-値が  $p$  % であれば、結論は以下ようになる。

$p \leq \alpha$  有意水準  $\alpha$  % で有意差である。有意水準  $\alpha$  % で母平均に差がある。

$p > \alpha$  有意水準  $\alpha$  % で有意差がない。有意水準  $\alpha$  % で母平均に差があるとはいえない。

### 2. p-値が小さいことと処理の効果が大きいことは別である

ときどきより小さい有意水準で有意である、すなわち p-値が小さい方が効果が大きいと勘違いする人がいる。しかし p-値が小さいことは、2 つの標本の母平均が異なることをより強く確証できるだけであり、効果そのものの大きさとは関係がない。例えば、効果の強い薬を 3 人程度で比較試験してもかならずしも有意差を得られるとは限らない。すなわち p-値はあまり小さくはない。一方、効果のそれほど強くない薬でも数万人も使って、試験すれば、かなり小さな p-値を得るかもしれない。

このように p-値の大きさは標本の大きさに大きく依存する。

さらに有意差がなくてもその薬に効果がないということを証明したわけではない。あくまでも帰無仮説が棄却されないということは、差があるとはいえないと結論しただけである。もし 3 人程度の実験で有意差を得られない薬でも 10 人程度で実験すれば有意差が得られるかもしれない。

このように p-値はあくまでも統計的に 2 つの標本の母平均に差があるかどうかの判断基準を確率によって与えるだけであり、その 2 つの母平均の差が（現実的な意味で）大きい差か小さい差かは p-値からは判断できない。