

# 検定のまとめ

確率・統計 講義 14

村田 昇

2020年8月23日

## 復習

### 統計的仮説検定

- ある現象・母集団に対して仮定された仮説の真偽をデータに基づいて統計的に検証する方法
- 推定と大きく異なるのは、母集団の分布に対して何らかの仮説を考えるところ

### 検定における仮説

- 帰無仮説  $H_0$   
検定統計量の分布を予想するために立てる仮説
- 対立仮説  $H_1$   
“帰無仮説が誤っているときに起こりうるシナリオ”として想定する仮説

### 検定の基本的手続き

1. 仮説を立てる
2. 仮説のもとで検定統計量が従う帰無分布を調べる
3. 実際のデータから検定統計量の値を計算する
4. 計算された検定統計量の値が仮説が正しいときに十分高い確率で得られるかどうかを判断する

### 検定の用語

- 仮説の判定
  - 帰無仮説を棄却: 帰無仮説は誤っていると判断すること
  - 帰無仮説を受容: 帰無仮説を積極的に棄却できないこと
- 検定の誤り
  - 第一種過誤: “正しい帰無仮説を棄却する” 誤り
  - 第二種過誤: “誤った帰無仮説を受容する” 誤り
- 検定の設計
  - サイズ: “第一種過誤が起きる確率” を小さく
  - 検出力: “第二種過誤が起きない確率” を大きく

## 有意水準と $p$ 値

- 有意水準

第一種過誤が起きる確率 (サイズ) として許容する上限

- $p$  値 (有意確率): (検定統計量  $T$ , 棄却域  $R_\alpha$ )

検定統計量の値が棄却域に含まれる有意水準の最小値

$$(p \text{ 値}) = \min\{\alpha \in (0, 1) | T \text{ が } R_\alpha \text{ に含まれる}\}$$

- 有意水準と  $p$  値の関係

$p$  値が有意水準未満のときに帰無仮説を棄却する

## 正規分布を用いた平均値の検定

- 問題

確率変数列の平均値が  $\mu$  と等しいか検定せよ.

$$X_1, X_2, \dots, X_n$$

- 検定問題

$$X_i = \theta + \varepsilon_i, \quad i = 1, \dots, n \quad \varepsilon_i \sim N(0, \sigma^2)$$

を観測値の確率モデル ( $\sigma^2$  は既知) とするとき

$$H_0: \theta = \mu \quad \text{vs} \quad H_1: \theta \neq \mu$$

- 検定統計量

$$T = \frac{\sqrt{n}(\bar{X} - \mu)}{\sigma}$$

は 帰無仮説が正しいとき標準正規分布に従う.

- 棄却域 (両側検定の場合)

$$R_\alpha = (-\infty, -z_{1-\alpha/2}) \cup (z_{1-\alpha/2}, \infty)$$

## 正規分布を用いた平均値の差の検定

- 問題

2 つの確率変数列の平均値が等しいか検定せよ.

$$X_1, X_2, \dots, X_n, \quad Y_1, Y_2, \dots, Y_m$$

- 検定問題

$$X_i = \theta_1 + \varepsilon_{1i}, \quad i = 1, \dots, n \quad \varepsilon_{1i} \sim N(0, \sigma^2)$$

$$Y_j = \theta_2 + \varepsilon_{2j}, \quad j = 1, \dots, m \quad \varepsilon_{2j} \sim N(0, \sigma^2)$$

を観測値の確率モデル ( $\sigma^2$  は既知) とするとき

$$H_0: \theta_1 = \theta_2 \quad \text{vs} \quad H_1: \theta_1 \neq \theta_2$$

- 検定統計量

$$T = \sqrt{\frac{nm}{n+m}} \frac{\bar{X} - \bar{Y}}{\sigma}$$

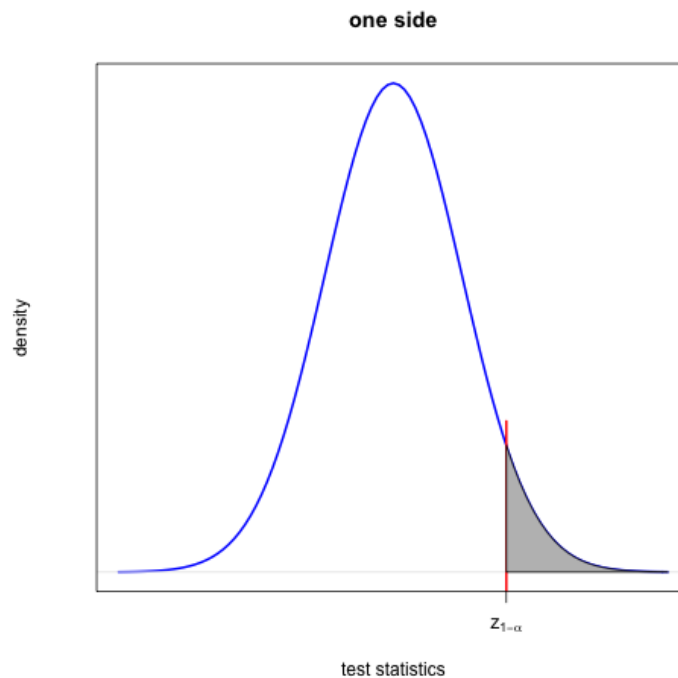
は仮説が正しいとき標準正規分布に従う.

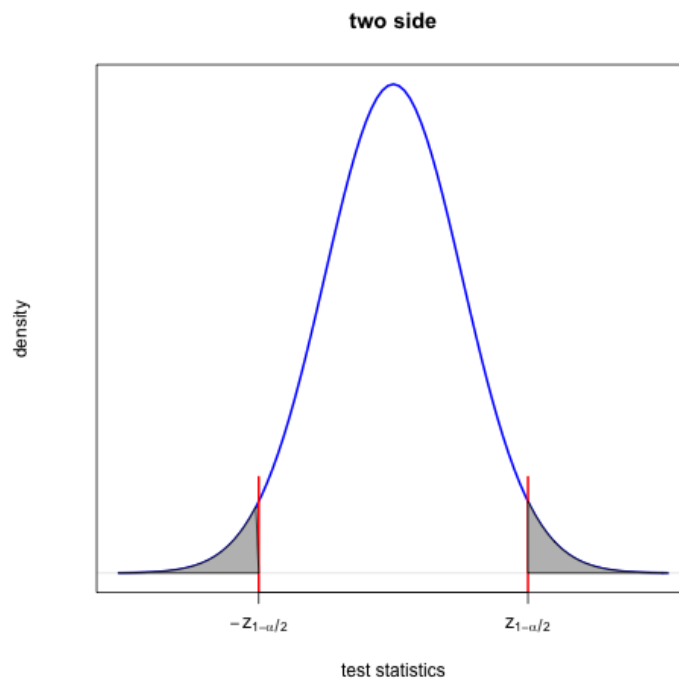
- 棄却域 (両側検定の場合)

$$R_\alpha = (-\infty, -z_{1-\alpha/2}) \cup (z_{1-\alpha/2}, \infty)$$

## 両側検定と片側検定

- 対立仮説によって棄却域の形は変わりうる
  - 例: 2つの薬の治療結果に対する仮説:
    - \* 古い薬 (高価) と新しい薬 (安価) の効能が変わらない
    - \* 古い薬に比べて新しい薬の効能が改善した
- 右片側検定: 棄却域がある定数  $a$  によって  $(a, \infty)$
- 左片側検定: 棄却域がある定数  $a$  によって  $(-\infty, a)$ 
  - 右片側検定と左片側検定を合わせて片側検定と呼ぶ
- 両側検定: 棄却域がある定数  $a < b$  によって  $(-\infty, a) \cup (b, \infty)$





## 推定量の漸近正規性

- 漸近正規性 (データ数が多いときの性質)
  - 多くの推定量  $\hat{\theta}$  の分布は正規分布で近似できる
  - モーメントに基づく記述統計量は漸近正規性をもつ
  - 最尤推定量は広い範囲の確率分布に対して漸近正規性をもつ
  - いずれも中心極限定理にもとづく
- 信頼区間と同様に正規分布を用いて検定を考えることができる

## 最尤推定量の漸近正規性

- 定理
 

$f(x) > 0$  が連続で 2 階微分可能ならば  $\sqrt{n}(\hat{\theta}^* - \theta_0)$  は  $n \rightarrow \infty$  で正規分布  $N(0, I(\theta_0)^{-1})$  に近づく.

  - 観測データが十分多ければ, 最尤推定量の誤差 (分散) は Cramer-Rao 下界に一致する
  - Fisher 情報量 ( $f$  は確率質量関数または確率密度関数)

$$\begin{aligned}
 I(\theta_0) &= \mathbb{E}_{\theta_0} \left[ -\frac{\partial^2}{\partial \theta^2} \log f(X, \theta_0) \right] \\
 &= \mathbb{E}_{\theta_0} \left[ \left( \frac{\partial}{\partial \theta} \log f(X, \theta_0) \right)^2 \right]
 \end{aligned}$$

## 最尤推定量の検定

- 問題
 

$\theta_0$  を既知の定数として, 母数  $\theta$  が真の値  $\theta_0$  であるか否かを検定する

$$H_0 : \theta = \theta_0 \quad \text{vs} \quad H_1 : \theta \neq \theta_0$$

- 上記は両側検定
- 片側検定も同様に考えることができる

## Z 検定 (正規分布による検定)

- 検定統計量

$$Z = \sqrt{nI(\theta_0)}(\hat{\theta} - \theta_0)$$

- 帰無分布は標準正規分布
- $z_{1-\alpha/2}$ :  
標準正規分布の  $1-\alpha/2$  分位点
- 棄却域:

$$R_\alpha = (-\infty, -z_{1-\alpha/2}) \cup (z_{1-\alpha/2}, \infty)$$

## 課題の説明

### 注意

- 提出するのは解答用紙 1 枚のみ
- 形式は PDF または画像
- 提出物が可読でない場合は評価できない