連絡事項: 期末テスト (1 月 29 日) の範囲は教科書の以下の部分とします。電卓は持ち込み可です。

第 3 章 2.3 統計量と標本分布,

第 4 章 1.2 母平均の区間推定 (1), 1.3 母平均の区間推定 (2) の例題 2, 問 5,

1.5 母比率の区間推定, 練習問題 1-A **3**, **4**, **5**,

2.1 仮説と検定, 2.2 母平均の検定 (1), 2.7 母比率の検定, 練習問題 2-A **1**, **6**

1.2 母平均の区間推定 (1)

未知母数がある確率 $1-\alpha$ で (これを**信頼係数**または**信頼度**という) 入る区間を推定する。これを**区間推定**といい、推定された区間を $100(1-\alpha)\%$ **信頼区間**あるいは信頼係数 $100(1-\alpha)\%$ の信頼区間という。

$0<\alpha<1$ である値 α と標準正規分布に従う確率変数 Z について $P(Z \geq z_\alpha)=\alpha$ となる z_α を標準正規分布の**上側** α **点**という。(教科書 p.98 のグラフを参照のこと。) 以下の数値がよく用いられる。

$z_{0.05}=1.645,\ \ z_{0.025}=1.960,\ \ z_{0.01}=2.326,\ \ z_{0.005}=2.576.$

定理 (母平均の区間推定 (母分散が既知の場合)**)** 正規母集団 $N(\mu,\sigma^2)$ から大きさ n の無作為標本の標本平均の実現値を $\overline{x}$ とすると、母平均 μ の $100(1-\alpha)\%$ 信頼区間は

$$\overline{x}-z_{\alpha/2}\sqrt{\frac{\sigma^2}{n}} \leq \mu \leq \overline{x}+z_{\alpha/2}\sqrt{\frac{\sigma^2}{n}}. \tag{1}$$

証明: 正規母集団 $N(\mu,\sigma^2)$ から大きさ n の無作為標本の標本平均を $\overline{X}$ とすると、$\overline{X}$ は $N\Big(\mu, \dfrac{\sigma^2}{n}\Big)$ に従う。このとき、その標準化 $Z=\dfrac{\overline{X}-\mu}{\sqrt{\sigma^2/n}}$ は $N(0,1)$ に従うから、

$$P\Bigg(-z_{\alpha/2} \leq \frac{\overline{X}-\mu}{\sqrt{\sigma^2/n}} \leq z_{\alpha/2}\Bigg)=1-\alpha.$$

括弧内の不等式を μ について解くと、$\overline{X}-z_{\alpha/2}\sqrt{\dfrac{\sigma^2}{n}} \leq \mu \leq \overline{X}+z_{\alpha/2}\sqrt{\dfrac{\sigma^2}{n}}$ となるが、これは μ がこの区間に含まれる確率が $1-\alpha$ であることを示している。この $\overline{X}$ にその実現値 $\overline{x}$ を代入することで (1) 式を得る。 $\square$

注意 母集団分布が未知でも、標本の大きさ n が大きい場合は、母分散 σ^2 を不偏分散の実現値 u^2 に代用して上記の公式 (1) は成立する ($cf.$ 教科書 p.100)。これは中心極限定理による。また、不偏分散 U^2 に対して $E[U^2]=\sigma^2$ が成立するため、標本分散より不偏分散のほうが σ^2 をより反映する数値であることに注意する。

例題 2 ある学校の生徒 50 人を無作為に選び、1 週間あたりのテレビ視聴時間 (単位 時間) を聞いたところ、50 人の平均 $\overline{x}$ は 18.2, 不偏分散 u^2 は 30.25 であった、母平均 μ の 95% 信頼区間を求めよ。

解: $100(1-\alpha)=95$ より $\alpha=0.05$. 標本の大きさ $n=50$ は十分に大きいと考えると、

$$\overline{x} \pm z_{\alpha/2}\sqrt{\frac{u^2}{n}}=18.2 \pm 1.960\sqrt{\frac{30.25}{50}}=18.2 \pm 1.5245\cdots=\left\{\begin{array}{l}19.7245\cdots \\ 16.6754\cdots\end{array}\right.$$

従って、$16.6 \leq \mu \leq 19.8$. $\square$

注意 例題 2 解の最後の端数処理において、下限の数値の端数は切り捨て、上限の数値の端数は切り上げた。通常、区間推定では安全第一で、区間が狭くなりすぎないようにこのような端数処理を行う。次ページの例題 4 も同様。(下限上限ともに四捨五入する場合もあります。教科書は四捨五入しているようです。小数点以下何位まで求めたらよいかを含め、問題文等の指示に従って処理してください。)

1.5　母比率の区間推定

定理 (母比率の区間推定) 二項母集団から大きさ n の無作為標本の標本比率の実現値を $\widehat{p}$ とすると、母比率 p の $100(1-\alpha)\%$ 信頼区間は

$$\widehat{p} - z_{\alpha/2}\sqrt{\frac{\widehat{p}(1-\widehat{p})}{n}} \leq p \leq \widehat{p} + z_{\alpha/2}\sqrt{\frac{\widehat{p}(1-\widehat{p})}{n}}. \tag{2}$$

解説: 母比率 p の二項母集団から大きさ n の無作為標本の標本比率を $\widehat{P}$ とすると、$E[\widehat{P}] = p, V[\widehat{P}] = \dfrac{p(1-p)}{n}$.
よって、$Z = \dfrac{\widehat{P} - p}{\sqrt{p(1-p)/n}}$ は $N(0,1)$ に従うから、

$$P\left(-z_{\alpha/2} \leq \frac{\widehat{P} - p}{\sqrt{p(1-p)/n}} \leq z_{\alpha/2}\right) = 1 - \alpha.$$

括弧の中の不等式は、$\widehat{P} - z_{\alpha/2}\sqrt{\dfrac{p(1-p)}{n}} \leq p \leq \widehat{P} + z_{\alpha/2}\sqrt{\dfrac{p(1-p)}{n}}$ と変形できる。この $\widehat{P}$ とその両辺の根号内の p をすべて $\widehat{P}$ の実現値 $\widehat{p}$ に置き換えて、(2) 式を得る。 □

例題 4 A 市で、あるテレビ番組の視聴率を調べるために、成人 500 人を無作為抽出したところ、45 人が見ていることがわかった。A 市におけるこの番組の成人の視聴率の 95% 信頼区間を求めよ。
解: $\alpha = 0.05$, $n = 500$, $\widehat{p} = \dfrac{45}{500} = 0.09$ だから

$$\widehat{p} \pm z_{\alpha/2}\sqrt{\frac{\widehat{p}(1-\widehat{p})}{n}} = 0.09 \pm 1.960\sqrt{\frac{0.09 \times 0.91}{500}} = 0.09 \pm 0.02508\cdots = \left\{\begin{array}{l} 0.11508\cdots \\ 0.06491\cdots \end{array}\right.$$

従って、$0.064 \leq p \leq 0.116$.　□

例題 5 ある都市で、有権者の内閣支持率 p を調べるのに標本調査を行うことになった。信頼区間の幅が 0.04 以下になるように、信頼係数 99% で p を区間推定したい。抽出する有権者の数を何名以上にすればよいか。
解: 抽出する人数を n とする。信頼区間は (2) 式で与えられるので、その幅は

$$\left(\widehat{p} + z_{\alpha/2}\sqrt{\frac{\widehat{p}(1-\widehat{p})}{n}}\right) - \left(\widehat{p} - z_{\alpha/2}\sqrt{\frac{\widehat{p}(1-\widehat{p})}{n}}\right) = 2 \times z_{\alpha/2}\sqrt{\frac{\widehat{p}(1-\widehat{p})}{n}}.$$

したがって、$2 \times z_{\alpha/2}\sqrt{\dfrac{\widehat{p}(1-\widehat{p})}{n}} \leq 0.04$. $\alpha = 0.01$ なので、これを代入し変形すると

$$n \geq \left(\frac{2 \times z_{0.005}}{0.04}\right)^2 \widehat{p}(1-\widehat{p})$$

これがどんな $\widehat{p}$ に対しても成立すればよい。ここで、$\widehat{p}(1-\widehat{p}) = -\left(\widehat{p} - \dfrac{1}{2}\right)^2 + \dfrac{1}{4} \leq \dfrac{1}{4}$ より

$$n \geq \left(\frac{2 \times 2.576}{0.04}\right)^2 \times \frac{1}{4} = 4147.36,$$

以上より 4148 名以上とすればよい。　□