

## 数理統計学・期末試験問題 (2013.07.25)

- [1]–[7] は必答. [8]–[9] から 1 題だけを選択解答せよ. (100 点満点)
- 電卓などの計算機の使用禁止.
- 提出する解答用紙には学籍番号と氏名を記入せよ.
- 判読不能な文字 (薄い, 小さい, 汚いなど) や論理不明瞭な文章は読みません.
- 試験終了後, 問題の解説を担当者のホームページに掲載するので参考にされたい.

[1] (必答) 長さ  $L$  の棒からランダムに 1 点を選びその点で 2 分割する. 得られる断片のうち, 長いほうが短いほうの 1.5 倍以上の長さをもつ確率を求めよ. (10 点)

[2] (必答) サイコロを 2 個投げて出た目の小さい方を  $X$  とする. (同じ目が出たときは, その目を  $X$  とする.)  $X$  の平均値と分散を計算せよ. (10 点)

[3] (必答) 2 つの事象  $E, F$  に対して,  $P(E) = \frac{1}{3}$ ,  $P(F) = \frac{1}{2}$ ,  $P(E \cup F) = \frac{2}{3}$  とする. 次の問いに答えよ. ただし,  $E^c$  は  $E$  の余事象を表す. (10 点)

- (1)  $P(E^c \cap F)$  を求めよ.
- (2) 条件付き確率  $P(E|F^c)$  を求めよ.

[4] (必答) 標準正規分布表を用いて次の問いに答えよ. (10 点)

- (1)  $X$  が正規分布  $N(2, 3^2)$  に従う確率変数であるとき  $P(X \leq a) = 0.123$  となる  $a$  を求めよ.
- (2) サイコロ (6 面体) を 720 回投げるとき, 1 の目が 135 回以上出る確率を求めよ.

[5] (必答) 「100 万世帯に対して番組 A の視聴率調査を行った. 600 世帯を無作為抽出して視聴率 22.1% が得られたので, 標準的な計算によって, 信頼係数 95% の信頼区間  $22.1 \pm 3.3\%$  が導かれた」このことに関して以下の記述はいずれも誤りである. 理由を述べて正しい記述に書き直せ. (20 点)

- (1) 信頼区間では, 端のほうの値よりも中央の値のほうが信頼度が高い.
- (2) 信頼係数を 99% に高めるほうが, 信頼区間の幅が狭くなり, より精度の高い推定ができる.
- (3) 信頼係数 95% の信頼区間の幅を  $1/10$  として  $22.1\% \pm 0.33\%$  のように精度を高めるためには標本数を 10 倍にしなければならない.
- (4) 母集団が 10 倍の 1000 万世帯になると, 信頼係数 95% の信頼区間の幅は  $\sqrt{10}$  倍に広がり精度が落ちる.

[6] (必答) コインを 400 回投げたところ表が 224 回出た. このコインは公正であるといえるだろうか? 有意水準 5% で仮説検定せよ. 有意水準 1% ではどうか? これら 2 つの結論を比較検討せよ. (10 点)

[7] (必答) ある国では, 病気 A の感染者は 100 人に 3 人の割合であるという. 検査 B は, 感染者の 90% に陽性反応を示すが, 非感染者の 5% にも陽性反応が出てしまう. ある人がこの検査を受けて陽性反応が出た. この人が感染者である確率 (% で表わし, 小数第 1 位を四捨五入せよ) を求めよ. (10 点)

[8] (選択) コインを 400 回投げたとき, 表が 215 回出た. 有意水準 5% の仮説検定によってコインは公正といえるかどうかを判定するときに生ずる第 2 種誤り確率とは何か説明せよ. 次に, 第 2 種誤り確率が 5% 以下になるような状況はどのような場合であるか答えよ. (20 点)

[9] (選択) 中心を  $O$  とする半径 1 の円の内部にランダムに 1 点を選び, その点と中心  $O$  との距離を  $X$  とする.  $X$  の分布関数  $F(x) = P(X \leq x)$  を求めよ. 次に, それを用いて, 確率密度関数, 平均, 分散を求めよ. (20 点)

付録：標準正規分布表  $P = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^z e^{-x^2/2} dx$

| $z$ | 0.00   | 0.01   | 0.02   | 0.03   | 0.04   | 0.05   | 0.06   | 0.07   | 0.08   | 0.09   |
|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 0.0 | 0.0000 | 0.0040 | 0.0080 | 0.0120 | 0.0160 | 0.0199 | 0.0239 | 0.0279 | 0.0319 | 0.0359 |
| 0.1 | 0.0398 | 0.0438 | 0.0478 | 0.0517 | 0.0557 | 0.0596 | 0.0636 | 0.0675 | 0.0714 | 0.0753 |
| 0.2 | 0.0793 | 0.0832 | 0.0871 | 0.0910 | 0.0948 | 0.0987 | 0.1026 | 0.1064 | 0.1103 | 0.1141 |
| 0.3 | 0.1179 | 0.1217 | 0.1255 | 0.1293 | 0.1331 | 0.1368 | 0.1406 | 0.1443 | 0.1480 | 0.1517 |
| 0.4 | 0.1554 | 0.1591 | 0.1628 | 0.1664 | 0.1700 | 0.1736 | 0.1772 | 0.1808 | 0.1844 | 0.1879 |
| 0.5 | 0.1915 | 0.1950 | 0.1985 | 0.2019 | 0.2054 | 0.2088 | 0.2123 | 0.2157 | 0.2190 | 0.2224 |
| 0.6 | 0.2257 | 0.2291 | 0.2324 | 0.2357 | 0.2389 | 0.2422 | 0.2454 | 0.2486 | 0.2517 | 0.2549 |
| 0.7 | 0.2580 | 0.2611 | 0.2642 | 0.2673 | 0.2704 | 0.2734 | 0.2764 | 0.2794 | 0.2823 | 0.2852 |
| 0.8 | 0.2881 | 0.2910 | 0.2939 | 0.2967 | 0.2995 | 0.3023 | 0.3051 | 0.3078 | 0.3106 | 0.3133 |
| 0.9 | 0.3159 | 0.3186 | 0.3212 | 0.3238 | 0.3264 | 0.3289 | 0.3315 | 0.3340 | 0.3365 | 0.3389 |
| 1.0 | 0.3413 | 0.3438 | 0.3461 | 0.3485 | 0.3508 | 0.3531 | 0.3554 | 0.3577 | 0.3599 | 0.3621 |
| 1.1 | 0.3643 | 0.3665 | 0.3686 | 0.3708 | 0.3729 | 0.3749 | 0.3770 | 0.3790 | 0.3810 | 0.3830 |
| 1.2 | 0.3849 | 0.3869 | 0.3888 | 0.3907 | 0.3925 | 0.3944 | 0.3962 | 0.3980 | 0.3997 | 0.4015 |
| 1.3 | 0.4032 | 0.4049 | 0.4066 | 0.4082 | 0.4099 | 0.4115 | 0.4131 | 0.4147 | 0.4162 | 0.4177 |
| 1.4 | 0.4192 | 0.4207 | 0.4222 | 0.4236 | 0.4251 | 0.4265 | 0.4279 | 0.4292 | 0.4306 | 0.4319 |
| 1.5 | 0.4332 | 0.4345 | 0.4357 | 0.4370 | 0.4382 | 0.4394 | 0.4406 | 0.4418 | 0.4429 | 0.4441 |
| 1.6 | 0.4452 | 0.4463 | 0.4474 | 0.4484 | 0.4495 | 0.4505 | 0.4515 | 0.4525 | 0.4535 | 0.4545 |
| 1.7 | 0.4554 | 0.4564 | 0.4573 | 0.4582 | 0.4591 | 0.4599 | 0.4608 | 0.4616 | 0.4625 | 0.4633 |
| 1.8 | 0.4641 | 0.4649 | 0.4656 | 0.4664 | 0.4671 | 0.4678 | 0.4686 | 0.4693 | 0.4699 | 0.4706 |
| 1.9 | 0.4713 | 0.4719 | 0.4726 | 0.4732 | 0.4738 | 0.4744 | 0.4750 | 0.4756 | 0.4761 | 0.4767 |
| 2.0 | 0.4773 | 0.4778 | 0.4783 | 0.4788 | 0.4793 | 0.4798 | 0.4803 | 0.4808 | 0.4812 | 0.4817 |
| 2.1 | 0.4821 | 0.4826 | 0.4830 | 0.4834 | 0.4838 | 0.4842 | 0.4846 | 0.4850 | 0.4854 | 0.4857 |
| 2.2 | 0.4861 | 0.4864 | 0.4868 | 0.4871 | 0.4875 | 0.4878 | 0.4881 | 0.4884 | 0.4887 | 0.4890 |
| 2.3 | 0.4893 | 0.4896 | 0.4898 | 0.4901 | 0.4904 | 0.4906 | 0.4909 | 0.4911 | 0.4913 | 0.4916 |
| 2.4 | 0.4918 | 0.4920 | 0.4922 | 0.4925 | 0.4927 | 0.4929 | 0.4931 | 0.4932 | 0.4934 | 0.4936 |
| 2.5 | 0.4938 | 0.4940 | 0.4941 | 0.4943 | 0.4945 | 0.4946 | 0.4948 | 0.4949 | 0.4951 | 0.4952 |
| 2.6 | 0.4953 | 0.4955 | 0.4956 | 0.4957 | 0.4959 | 0.4960 | 0.4961 | 0.4962 | 0.4963 | 0.4964 |
| 2.7 | 0.4965 | 0.4966 | 0.4967 | 0.4968 | 0.4969 | 0.4970 | 0.4971 | 0.4972 | 0.4973 | 0.4974 |
| 2.8 | 0.4974 | 0.4975 | 0.4976 | 0.4977 | 0.4977 | 0.4978 | 0.4979 | 0.4979 | 0.4980 | 0.4981 |
| 2.9 | 0.4981 | 0.4982 | 0.4983 | 0.4983 | 0.4984 | 0.4984 | 0.4985 | 0.4985 | 0.4986 | 0.4986 |
| 3.0 | 0.4987 | 0.4987 | 0.4987 | 0.4988 | 0.4988 | 0.4989 | 0.4989 | 0.4989 | 0.4990 | 0.4990 |

## 数理統計学 (2013.07.25 実施) 期末試験解説

[1] 折れ目が左端の  $2/5$  または右端の  $2/5$  の範囲にあればよいから, 求める確率は  $4/5$ .

[2] サイコロの 1 個目の目を  $i$ , 2 個目の目を  $j$  とすると, 標本空間と確率は,

$$\Omega = \{\omega = (i, j); i, j \in \{1, 2, 3, 4, 5, 6\}\}, \quad P(\{\omega\}) = P(\{(i, j)\}) = \frac{1}{36}$$

で与えられる.  $X = \min\{i, j\}$  の値について表を作ると, 次のようになる.

| $i \backslash j$ | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|------------------|---|---|---|---|---|---|
| 1                | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 2                | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 3                | 1 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| 4                | 1 | 2 | 3 | 4 | 4 | 4 |
| 5                | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 5 |
| 6                | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |

この表から確率分布がわかる.

| $k$        | 1     | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    |
|------------|-------|------|------|------|------|------|
| $P(X = k)$ | 11/36 | 9/36 | 7/36 | 5/36 | 3/36 | 1/36 |

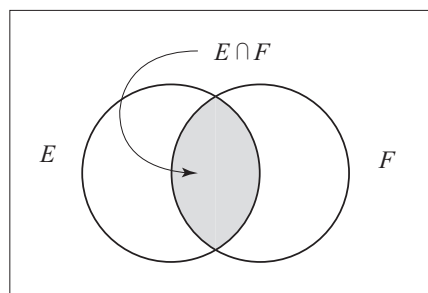
平均は公式にあてはめて計算する.

$$\begin{aligned} \mathbf{E}[X] &= \sum_{k=1}^6 kP(X = k) \\ &= 1 \times \frac{11}{36} + 2 \times \frac{9}{36} + 3 \times \frac{7}{36} + 4 \times \frac{5}{36} + 5 \times \frac{3}{36} + 6 \times \frac{1}{36} = \frac{91}{36}. \end{aligned}$$

分散は,

$$\mathbf{V}[X] = \mathbf{E}[X^2] - \mathbf{E}[X]^2 = \frac{301}{36} - \left(\frac{91}{36}\right)^2 = \frac{2555}{36^2}.$$

[3]



(1)  $P(E \cup F) = P(E) + P(F) - P(E \cap F)$  であるから, 数値を代入して,

$$\frac{2}{3} = \frac{1}{3} + \frac{1}{2} - P(E \cap F).$$

よって,

$$P(E \cap F) = \frac{1}{6}.$$

これを用いて,

$$P(E^c \cap F) = P(F) - P(E \cap F) = \frac{1}{2} - \frac{1}{6} = \frac{1}{3}.$$

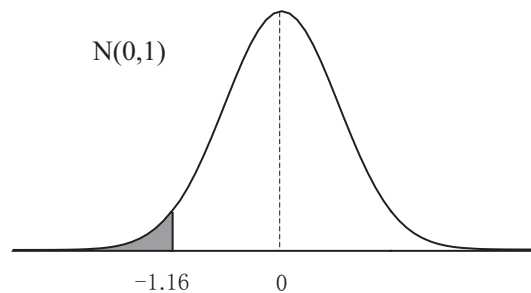
(2) まず,

$$P(E \cap F^c) = P(E) - P(E \cap F) = \frac{1}{3} - \frac{1}{6} = \frac{1}{6}.$$

したがって,

$$P(E|F^c) = \frac{P(E \cap F^c)}{P(F^c)} = \frac{1/6}{1/2} = \frac{1}{3}$$

[4] (1) 標準正規分布表により,  $Z \sim N(0, 1)$  なら,  $P(Z \leq -1.16) = 0.123 = 0.5 - 0.377$ .



したがって,

$$\frac{X-2}{3} = Z \leq -1.16 \quad \Leftrightarrow \quad X \leq -1.48$$

したがって,  $a = -1.48$ .

(2) サイコロを 720 回投げるとき 1 の目が出る回数は  $B(720, 1/6) \approx N(120, 10^2)$  に従う. したがって, 半目補正して,

$$P(X \geq 135) = P(X \geq 134.5) = P\left(\frac{X-120}{10} \geq \frac{134.5-120}{10}\right) = P\left(\frac{X-120}{10} \geq 1.45\right)$$

標準正規分布表を用いて, 上の値は,  $0.5 - 0.4265 = 0.0735$ .

[5] 信頼区間が

$$\bar{X} \pm z \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

で与えられることが, 議論の基礎になる. たとえば, 信頼係数が 95% なら  $z = 1.96$ , 99% なら  $z = 2.58$  をとる.

(1) 確率 95% で得られた信頼区間が母平均を含むことを言っているにすぎず, 信頼区間の中央のあたりが母平均に近いという議論は誤り.

(2) 信頼係数を 99% に高めるということは, 確率 99% で母平均を信頼区間を含むことになるので, 信頼区間の幅は広がることになり, 言い方としてはより曖昧になる.

(3) 信頼区間の幅は  $2z \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$  で与えられる. したがって, 信頼区間の幅を 1/10 にするためには標本数は 100 倍必要になる.

(4) 信頼区間は得られた標本平均から算出されるのであるから, 母集団の大きさは関係ない.

[6]  $H_0 : p = \frac{1}{2}$ ,  $H_1 : p \neq \frac{1}{2}$ ,  $\alpha = 0.05$  によって検定を行う. コインを 400 回投げるときの表の回数を  $X$  とすると,  $X \sim B(400, 1/2) \approx N(200, 10^2)$ .  $H_1$  から両側検定の棄却域は

$$W : \left| \frac{x - 200}{10} \right| \geq 1.96$$

実現値  $\bar{x} = 224$  は  $W$  に落ちる. したがって, 有意水準 5% で  $H_0$  は棄却され, コインは公正ではないと判定される.

有意水準  $\alpha = 0.01$  とすると, 両側検定の棄却域は

$$W : \left| \frac{x - 200}{10} \right| \geq 2.58$$

であるから, 実現値  $\bar{x} = 224$  は  $W$  に落ちない. したがって, 有意水準 1% で  $H_0$  は棄却されず, 高度に有意とは判定できない.

[7] 病気  $A$  に感染している確率と感染していない確率は

$$P(A) = \frac{3}{100}, \quad P(A^c) = \frac{97}{100}.$$

検査  $B$  に陽性反応を示す確率は, 条件付確率であって,

$$P(B|A) = 0.9 \quad P(B|A^c) = 0.05$$

ベイズの公式によって,

$$\begin{aligned} P(A|B) &= \frac{P(A)P(B|A)}{P(A)P(B|A) + P(A^c)P(B|A^c)} \\ &= \frac{\frac{3}{100} \times 0.9}{\frac{3}{100} \times 0.9 + \frac{97}{100} \times 0.05} = \frac{2.7}{2.7 + 4.85} = \frac{2.7}{7.55} = 0.3576... \end{aligned}$$

したがって, 36%.

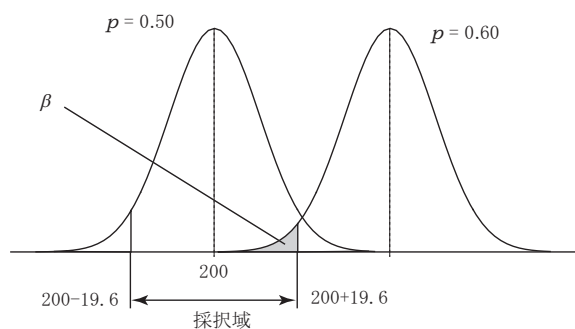
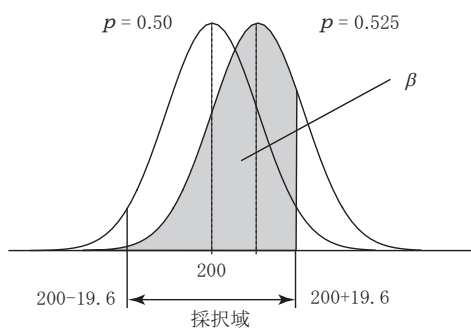
[8]  $H_0 : p = \frac{1}{2}$ ,  $H_1 : p \neq \frac{1}{2}$ ,  $\alpha = 0.05$  によって検定を行う. コインを 400 回投げるときの表の回数を  $X$  とすると,  $X \sim B(400, 1/2) \approx N(200, 10^2)$ .  $H_1$  から両側検定の棄却域は

$$W : \left| \frac{x - 200}{10} \right| \geq 1.96$$

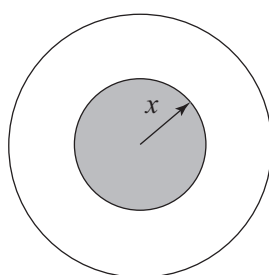
実現値  $\bar{x} = 215$  は  $W$  に落ちない. したがって, 有意水準 5% で  $H_0$  は棄却されず, コインは公正であると判定される. この判定が間違っている確率, すなわち, コインは公正ではないにもかかわらず公正であると判定してしまう確率が第 2 種誤り確率である. コインが公正ではない場合, 可能な  $p$  は無限にあり, 第 2 種誤り確率を評価することができない.

たとえば,  $p = 0.525$  (左図) と  $p = 0.6$  (右図) の場合を考えよう.  $p = 0.525$  の場合は,  $p = 0.5$  の分布と近いため, 採択域の範囲にかぶさってくる範囲がかなり大きく, 図からわかるように  $\beta \geq 0.5$  である. つまり, 公正なコインに近い偽物に対しては, 公正であるという判定をしがちであり, その間違い確率 (第 2 種誤り確率) は極めて大きい.

$p = 0.6$  の場合は, 2 つの分布がかなり離れており,  $\beta \leq 0.025$  となることが見て取れる. したがって,  $\beta = 0.05$  となるのは  $p$  が 0.6 より少し小さい時である. このとき, 分散はほぼ  $10^2$  と考えてよいので,  $219.6 + 1.64 \times 10 = 236$  から  $p = 0.59$  がわかる. つまり, 調べているコインが公平 ( $p = 0.5$ ) であるか, あるいは表が出やすく  $p \geq 0.59$  であるか, いずれかであれば, 第 2 種誤り確率が 0.05 に抑え込まれる.



[9]



題意から  $X$  は  $0 \leq X \leq 1$  の範囲の値をとるから,  $x < 0$  では  $F(x) = 0$ ,  $x \geq 1$  では  $F(x) = 1$  である. そこで,  $0 \leq x \leq 1$  とする.  $X \leq x$  はランダムに選んだ 1 点と中心  $O$  との距離が  $x$  以下となることを意味するが, それはランダム点が  $O$  を中心とする半径  $x$  の円板から選ばれたことと同値である. したがって,

$$F(x) = P(X \leq x) = \frac{\pi x^2}{\pi} = x^2.$$

以上まとめて,

$$F(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 0, \\ x^2, & 0 \leq x \leq 1, \\ 1, & x \geq 1. \end{cases}$$

これを微分したものが確率密度関数である:

$$f(x) = \begin{cases} 2x, & 0 \leq x \leq 1, \\ 0, & \text{その他.} \end{cases}$$

その平均値は

$$m = \int_0^1 x f(x) dx = \frac{2}{3}.$$

分散は,

$$\sigma^2 = \int_0^1 x^2 f(x) dx - m^2 = \int_0^1 2x^3 dx - m^2 = \frac{1}{2} - \left(\frac{2}{3}\right)^2 = \frac{1}{18}$$