

情報統計学実験

—視覚・味覚の官能検査—

予習課題

標準予習書の実験装置・実験方法欄に記述すること.

- 1 本実験におけるカイ二乗統計量 χ_0^2 が自由度 ϕ_0 のカイ二乗分布に従うとき, 帰無仮説が有意水準 5% で有意かどうかを検定する方法を Excel 関数を用いて説明しなさい. (p.3)
- 2 本実験における分散比 F_0 が自由度 ϕ_1, ϕ_2 の F 分布に従うとき, 帰無仮説が有意水準 5% で有意かどうかを検定する方法を Excel 関数を用いて説明しなさい. (p.4)
- 3 帰無仮説が有意であるとき, 帰無仮説についてどのような判断を下すか.

1 実験 1

1.1 目的

視覚を用いた官能検査をおこなう. 8 種類の茶飲料の見た目の好ましさの順位付けをし, 各実験者の評価に一致性があるかどうか確認する.

1.2 ケンドールの一致係数

8 種類の飲料 $A_1, \dots, A_8$ の対して n 人の見た目の好ましさに対する順位付けは, 表 1 のようにまとめられる.

つまり, $(R_{i1}, \dots, R_{i8})(i = 1, \dots, n)$ は, $(1, \dots, 8)$ の順列の 1 つである. n 組の順位付けが全くまちまちになされた場合, 飲料ごとの順位和, $(A_1), \dots, (A_8)$ はバラつかずにどの飲料の順位和も平均値 $\bar{S} = \frac{n(8+1)}{2}$ に近い値をとる. 一方, n 組の順位の一貫性が

表 1 実験者ごとの飲料の順位

飲料 実験者	A_1	A_2	$\cdots$	A_j	$\cdots$	A_8
1	R_{11}	R_{12}	$\cdots$	R_{1j}	$\cdots$	R_{18}
2	R_{21}	R_{22}	$\cdots$	R_{2j}	$\cdots$	R_{28}
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
i	R_{i1}	R_{i2}	$\cdots$	R_{ij}	$\cdots$	R_{i8}
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
n	R_{n1}	R_{n2}	$\cdots$	R_{nj}	$\cdots$	R_{n8}
順位和	(A_1)	(A_2)	$\cdots$	(A_j)	$\cdots$	(A_8)

高ければ（みんなが同じような順位付けをおこなえば）， (A_j) のバラツキは大きくなる．

ここで，

$$S = \sum_{j=1}^8 \{(A_j) - \bar{S}\}^2 = \sum_{j=1}^8 \left\{ (A_j) - \frac{n(8+1)}{2} \right\}^2$$

とおくと， S は n 組の順位が完全に一致したとき最大値 $\frac{n^2(8^3-8)}{12}$ をとる． S をこの最大値で割った

$$W = \frac{12S}{n^2(8^3-8)}, \quad 0 \leq W \leq 1$$

をケンドールの一致係数という． n 組の順位が完全に一致するとき， $W = 1$ となる．

1.3 W の検定

「各飲料の見た目の好ましさの順位には関連がない」という帰無仮説のもとで，有意水準 5% で検定をおこなう．対立仮説は，「各飲料の見た目の好ましさの順位には関連がある」である．

$$F_0 = \frac{(n-1)W}{1-W}$$

は，自由度 ϕ_1, ϕ_2 の F 分布に従う．ここで，有意水準を $\alpha (= 0.05)$ とすると，

$$F_0 \geq F(\phi_1, \phi_2; \alpha)$$

ならば有意である．ここで，

$$\phi_1 = 8 - 1 - \frac{2}{n}, \quad \phi_2 = (n-1)\phi_1$$

である．なお，今回は飲料数が $8(> 7)$ 種類であることから，

$$\chi_0^2 = n(8-1)W = \frac{12S}{n8(8+1)}$$

が自由度 $8-1$ のカイ二乗分布に従うことを用いる．つまり，

$$\chi_0^2 > \chi^2(8-1, \alpha)$$

ならば，有意である．

1.4 実験方法

- ① コップに入った 8 種類の茶飲料 ($A_1, A_2, A_3, A_4, A_5, A_6, A_7, A_8$) を見て，見た目の好ましさの順位をつける．
- ② I 班と II 班全員の結果を表 1 の形でまとめる．(実験者欄は氏名を記入し，自分を 1 番上にする．)
- ③ ケンドールの一致性の係数の検定をおこない，各実験者の評価に差があるか考察する．

2 実験 2

2.1 目的

味覚を用いた官能検査をおこなう．8 種類の茶飲料について，官能特性（好ましさ，渋さ）を計測し，8 種類の茶飲料にそれぞれの官能特性の差があるかどうか考察する．

2.2 Scheffé の一対比較法

n 人の実験者について ℓ 番目の実験者 $O_\ell, \ell = 1, \dots, n$ が，8 種類の茶飲料 $A_1, \dots, A_8$ から $A_i, i = 1, \dots, 8$ を先に， $A_j, j = 1, \dots, 8$ を後にした順序での評点を $x_{ij\ell}, i \neq j$ で表わし，データの構造を以下のように仮定する．

$$x_{ij\ell} = (\alpha_i - \alpha_j) + \gamma_{ij} + \delta_{ij} + e_{ij\ell}$$

ここで， α_i, α_j は，主効果，つまり茶飲料 A_i, A_j に対して，実験者全体がもっている平均的な好ましさ（渋さ）の度合いを表わす． $\sum \alpha_i = 0$ とする． γ_{ij} は， A_i と A_j を組みにしたことによる影響を表わす組合せ効果である． $\sum \gamma_{ij} = 0$ ， $\gamma_{ij} = -\gamma_{ji}$ とする． δ_{ij} は，順序効果を表わす ($\delta_{ij} = \delta_{ji}$)．また， $e_{ij\ell}$ は誤差を表わし， $e_{ij\ell} \sim N(0, \sigma^2)$ とする．

検定の対象となる帰無仮説は，

$$H_{01} : \alpha_1 = \alpha_2 = \cdots = \alpha_8 = 0$$

$$H_{02} : \gamma_{12} = \gamma_{13} = \cdots = \gamma_{78} = 0$$

$$H_{03} : \delta_{12} = \delta_{13} = \cdots = \delta_{78} = 0$$

であり，対立仮説は，

$$H_{11} : \text{少なくとも1つは } \alpha_i \neq 0 \text{ となる.}$$

$$H_{12} : \text{少なくとも1つは } \gamma_{ij} \neq 0 \text{ となる.}$$

$$H_{13} : \text{少なくとも1つは } \delta_{ij} \neq 0 \text{ となる.}$$

である.

A_i に対する好ましき（渋さ）の平均の推定値 $\hat{\alpha}_i$ は，

$$\hat{\alpha}_i = \frac{x_{i..} - x_{.i.}}{2n8}$$

で与えられる．組合せ効果の推定値 $\hat{\gamma}_{ij}$ は，

$$\hat{\gamma}_{ij} = \frac{x_{ij.} - x_{ji.}}{2n} - (\hat{\alpha}_i - \hat{\alpha}_j)$$

で与えられる．順序効果の推定値 $\hat{\delta}_{ij}$ は，

$$\hat{\delta}_{ij} = \frac{x_{ij.} + x_{ji.}}{2n}$$

で与えられる．ここに， $x_{i..} = \sum_{j=1}^8 \sum_{\ell=1}^n x_{ij\ell}$ ， $x_{.j.} = \sum_{i=1}^8 \sum_{\ell=1}^n x_{ij\ell}$ ， $x_{ij.} = \sum_{\ell=1}^n x_{ij\ell}$ ， $(i \neq j)$ である．続いて，各効果の平方和を求める．

$$\text{主効果} \quad S_{\alpha} = \frac{1}{2n8} \sum_{i=1}^8 (x_{i..} - x_{.i.})^2$$

$$\text{組み合わせ効果} \quad S_{\gamma} = \frac{1}{2n} \sum_{i=1}^8 \sum_{j>i}^8 (x_{ij.} - x_{ji.})^2 - S_{\alpha}$$

$$\text{順序効果} \quad S_{\delta} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^8 \sum_{j=1}^8 x_{ij.}^2 - S_{\alpha} - S_{\gamma}$$

$$\text{総平方和} \quad S_T = \sum_{i=1}^8 \sum_{j=1}^8 \sum_{\ell=1}^n x_{ij\ell}^2 = \sum_k k^2 n_{ij(k)}$$

$$\text{誤差平方和} \quad S_e = S_T - S_{\alpha} - S_{\gamma} - S_{\delta}$$

これらの統計量を表 2 の分散分析表にまとめる．分散比から有意水準 $\phi (= 0.05)$ で各要因の有意性の検定をおこなう．主効果の分散比は，自由度 f_{α} ， f_e の F 分布に従うので，この分布の上側確率が ϕ となる確率点を求め，分散比の値と比較すれば良い．同様に，組合せ効果の分散比は，自由度 f_{γ} ， f_e の F 分布，順序効果の分散比は，自由度 f_{δ} ， f_e の F 分布に従うことを用いて検定をおこなう．

表 2 分散分析表

要因	平方和	自由度	不偏分散	分散比
主効果	S_α	$f_\alpha = 8 - 1$	$V_\alpha = \frac{S_\alpha}{f_\alpha}$	$\frac{V_\alpha}{V_e}$
組合せ効果	S_γ	$f_\gamma = \frac{(8-1)(8-2)}{2}$	$V_\gamma = \frac{S_\gamma}{f_\gamma}$	$\frac{V_\gamma}{V_e}$
順序効果	S_δ	$f_\delta = \frac{8(8-1)}{2}$	$V_\delta = \frac{S_\delta}{f_\delta}$	$\frac{V_\delta}{V_e}$
誤差平方和	S_e	$f_e = f_T - f_\alpha - f_\gamma - f_\delta$	$V_e = \frac{S_e}{f_e}$	
総平方和	S_T	$f_T = 8(8-1)n$		

分散分析の結果、有意水準 ϕ で主効果が有意であった場合、主効果の差 $(\alpha_i - \alpha_j)$ を推定する。信頼度を $1 - \psi$ とすると、スチューデント化された範囲の確率点 q_ψ （本実験では 4.3630 を用いる。）と誤差分散の推定値 $\hat{\sigma}^2 (= V_e)$ を求め、ヤードスティック Y_ψ を次式により求める。

$$Y_\psi = q_\psi \sqrt{\frac{\hat{\sigma}^2}{2n8}}$$

ここで、主効果の差の絶対値 $|\hat{\alpha}_i - \hat{\alpha}_j| > Y_\psi$ であれば、 α_i, α_j は有意水準 ψ で有意である。つまり、茶飲料 A_i と A_j の好ましさ（渋さ）には有意差があることになる。さらに次式を用いて、 $(\alpha_i - \alpha_j)$ の 95% 信頼区間を求める。

$$\hat{\alpha}_i - \hat{\alpha}_j - Y_{0.05} \leq (\alpha_i - \alpha_j) \leq \hat{\alpha}_i - \hat{\alpha}_j + Y_{0.05}$$

この信頼区間が、+ 側と - 側にまたがっていれば、 α_i と α_j に差があるとは言えない。また、区間が + 側にあれば $\alpha_i > \alpha_j$ であり、- 側にあれば $\alpha_i < \alpha_j$ と考える。

2.3 実験方法

I 班が先に実験する。II 班は I 班へ茶飲料を運ぶ。I 班の実験が終了したら、II 班が実験をおこなう（I 班が運搬）。

- ① 水を口に含む。
- ② A と B の組合せを評価する。
- ③ $A \rightarrow \text{水} \rightarrow B$ の順で口に含む。

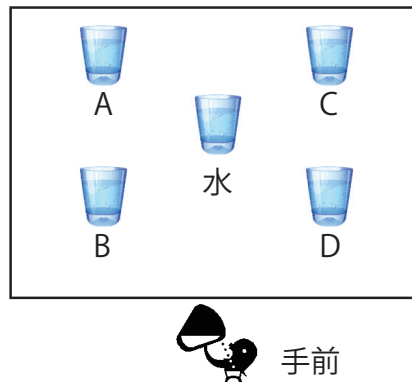


図 1 配置

表 3 評価表

実験回数 (回目)	評点		実験回数 (回目)	評点	
	好ましさ	渋さ		好ましさ	渋さ
1			2		
3			4		
⋮			⋮		
55			56		

- ④ B の好ましさを基準にして、
- $$\left\{ \begin{array}{ll} A \text{ が } B \text{ より非常に良い} & +2 \text{ 点} \\ A \text{ が } B \text{ より幾分良い} & +1 \text{ 点} \\ A \text{ が } B \text{ と同じ良さ} & 0 \text{ 点} \\ A \text{ が } B \text{ より幾分に悪い} & -1 \text{ 点} \\ A \text{ が } B \text{ より非常に悪い} & -2 \text{ 点} \end{array} \right. \quad \text{と 5 段階評価}$$

し、評価表（表 3 参照）へ記入する。

⑤ B の渋さを基準にして同様に 5 段階評価し、評価表（表 3 参照）へ記入する。

⑥ C と D の組合せ (D を基準にする。) についても①～⑤の評価をおこなう。

⑦ すべての組合せについて①～⑥を繰り返す。

実験が終了したら、好ましさと渋さそれぞれについて、評価結果を表 4 の集計表にまとめる。

ここで、 $n_{ij(k)}$ は、 $A_i \rightarrow A_j$ の順で茶飲料を評価したときの評点が k 点であった実験者数である。

集計表から、推定値 $\hat{\alpha}_i$, $\hat{\gamma}_{ij}$, $\hat{\delta}_{ij}$ を求める。主効果 $\hat{\alpha}_i$ を数直線上に図示する。

表 4 集計表

組合せ	評点					$x_{ij\cdot}$	$x_{ij\cdot}-x_{ji\cdot}$	$x_{ij\cdot}+x_{ji\cdot}$
	-2	-1	0	1	2			
A_1, A_2	$n_{1\ 2(-2)}$	$n_{1\ 2(-1)}$	$n_{1\ 2(0)}$	$n_{1\ 2(1)}$	$n_{1\ 2(2)}$			
A_2, A_1	$n_{2\ 1(-2)}$	$n_{2\ 1(-1)}$	$n_{2\ 1(0)}$	$n_{2\ 1(1)}$	$n_{2\ 1(2)}$			
A_1, A_3	$n_{1\ 3(-2)}$	$n_{1\ 3(-1)}$	$n_{1\ 3(0)}$	$n_{1\ 3(1)}$	$n_{1\ 3(2)}$			
A_3, A_1	$n_{3\ 1(-2)}$	$n_{3\ 1(-1)}$	$n_{3\ 1(0)}$	$n_{3\ 1(1)}$	$n_{3\ 1(2)}$			
$\vdots$								
A_7, A_8	$n_{7\ 8(-2)}$	$n_{7\ 8(-1)}$	$n_{7\ 8(0)}$	$n_{7\ 8(1)}$	$n_{7\ 8(2)}$			
A_8, A_7	$n_{8\ 7(-2)}$	$n_{8\ 7(-1)}$	$n_{8\ 7(0)}$	$n_{8\ 7(1)}$	$n_{8\ 7(2)}$			
計	$n_{ij(-2)}$	$n_{ij(-1)}$	$n_{ij(0)}$	$n_{ij(1)}$	$n_{ij(2)}$	$x_{\dots}$	$\sum (x_{ij\cdot}-x_{ji\cdot})$	

表 5 主効果の差の 95% 信頼区間

$\hat{\alpha}_i - \hat{\alpha}_j$	$\hat{\alpha}_i - \hat{\alpha}_j + Y_{0.05}$	$\hat{\alpha}_i - \hat{\alpha}_j - Y_{0.05}$
$\hat{\alpha}_1 - \hat{\alpha}_2 = \theta_1$	$\theta_1 + Y_{0.05}$	$\theta_1 - Y_{0.05}$
$\hat{\alpha}_1 - \hat{\alpha}_3 = \theta_2$	$\theta_2 + Y_{0.05}$	$\theta_2 - Y_{0.05}$
$\vdots$		
$\hat{\alpha}_7 - \hat{\alpha}_8 = \theta_{28}$	$\theta_{28} + Y_{0.05}$	$\theta_{28} - Y_{0.05}$

続いて集計表から、好ましさ、渋さの評価の分散分析表（表 2 参照）を作成する。ここで、分散比が有意水準 5% で有意であった場合、分散比の値の右肩に * をつける。

主効果が有意になった場合、主効果の差の 95% 信頼区間を表 5 の形式にまとめる。解析結果を基に考察をおこなう。

3 課題

実際に企業でおこなわれている官能検査を紹介しなさい。（本や雑誌ならそのコピーを添付し、また Web ページならその URL を示し、ページのコピーを添付すること。）

（注）紹介は自分でまとめた文でおこなうこと。

参考文献

- [1] 湯浅, 山城, “Scheffé の一対比較法による缶コーヒーの官能検査,” 食品工業, vol.33, No.16, pp.61-64, 1990.

[2] 長沢（編著），川栄（著），「Excel でできる統計的官能評価法」，日科技連出版社，2008.

実験上の注意

- ・ 実験は無言でおこなうこと。（集中力が途切れたり，他人の影響を受けることを避ける.）
- ・ 実験 1 時間前から実験終了（12：30～18：50）までは禁煙.
- ・ 実験前に口をよくゆすいでおくこと.