



1 質的因子の1因子実験

1.2 繰り返し数が異なる場合

テキスト

芳賀敏郎（2014）医薬品開発のための統計解析

第2部 実験計画法 改訂版、サイエンティスト社、p.294



第2部 実験計画法

- 1 因子実験・・・質的因子
 - 1.1 繰り返し数が等しい場合、1.2 繰り返し数が異なる場合
 - 1.3 多重比較、1.4 ばらつきを特性値とする実験
 - 1.5 ノンパラメトリック検定
- 量的因子
 - 2.1 直線関係の場合、2.2 非直線関係の場合
 - 2.3 ダミー変数による質的因子の効果の推定
- 乱塊法・・・3.1 質的因子の乱塊法、3.2 量的因子の乱塊法、3.3 欠測値のある場合
- 共分散分析・・・4.1 共分散分析の目的、4.2 解析手順、4.3 医薬品開発における共分散分析の例
- 2 因子実験・・・5.1 2 因子実験の基礎、5.2 質的因子×質的因子、5.3 質的因子×量的因子
- 5.4 質的因子×量的因子（変形）、5.5 量的因子×量的因子
- 多因子実験・・・6.1 多因子実験の基礎、6.2 スクリーニング計画、6.3 応答曲面計画
- 変量モデルほか・・・7.1 1 因子実験、7.2 枝分れ実験、7.3 乱塊法の拡張、7.4 経時データ、7.5 交差試験



1.2 繰り返し数が異なる場合

p.38

- (1) 適切な繰り返し数
- (2) Excel による解析
- (3) JMP [二変量の関係] による解析
- (4) JMP [モデルのあてはめ] による解析

テキストの
該当ページ

使用するファイル

Excelファイル：「DE改1-1因子(質).xlsm」

JMPファイ：「1-1因子2.jmp」

サイエンティスト社のホームページからダウンロード

JMP 10.0.2 の出力を表示

★プレゼンテーションの
スピーカーノートを、
PDF の注釈に変換してあります



- 1 因子実験（質的因子）における水準の繰り返し数

- §1.1 各水準の繰り返し数が同じ場合

- §1.2 各水準の繰り返し数が異なる場合

- 各水準の繰り返し数が同じ実験において、実験の失敗などで一部が欠測値になった場合
意図的に繰り返し数を変えて実験精度を高める場合

- 本節の内容

- 意図的に水準の繰り返し数を変えて実験精度を高める
各水準の繰り返し数が異なる場合の解析方法

- 前節 [§1.1](#) が学習済みであることを前提に説明



(1) 適切な繰り返し数

コントロール水準がある実験
(意図的に水準の繰り返し数を変えて実験精度を高める)



● 1 因子実験の事例

基準となる水準が 1 つあって、他の水準が基準水準と比べて違うかどうかを知りたい

基準となる水準：無投与区、プラセボ区、標準薬区など・・・コントロール水準

● 水準ごとの繰り返し数と実験回数

水準数 a コントロール水準：1
 比較対象の水準 ： m ($m = a - 1$)

繰り返し数
 コントロール水準： n_0
 比較対象の水準 ： n
 n_0 を n よりも多くするとコントロール水準との
比較精度が高まる (標準誤差を小さくする)

$$n_0 = fn \text{ とする } (f > 1)$$

$$N = n_0 + mn = fn + mn = (f + m)n$$

コントロール水準がある 1 因子実験の実験回数

水準番号	水準	繰り返し数	実験回数
0	コントロール	$n_0 = fn$	$n_0 = fn$
1	比較対象 1	n	
2	比較対象 2	n	
3	比較対象 3	n	
⋮	⋮	n	
⋮	⋮	n	
$a - 1$	比較対象 m	n	mn
計			N



● 1 因子実験の事例

基準となる水準が 1 つあって、他の水準が基準水準と比べて違うかどうかを知りたい

基準となる水準：無投与区、プラセボ区、標準薬区など・・・コントロール水準

● 水準ごとの繰り返し数と実験回数

水準数 a コントロール水準：1
 比較対象の水準 ： m ($m = a - 1$)

繰り返し数

 コントロール水準： n_0
 比較対象の水準 ： n

n_0 を n よりも多くするとコントロール水準との比較精度が高まる (標準誤差を小さくする)

$$n_0 = fn \text{ とする } (f > 1)$$

$$N = n_0 + mn = fn + mn = (f + m)n$$

コントロール水準がある 1 因子実験の実験回数

水準番号	水準	繰り返し数	実験回数
0	コントロール	$n_0 = fn$	$n_0 = fn$
1	比較対象 1	n	
2	比較対象 2	n	
3	比較対象 3	n	
⋮	⋮	n	
⋮	⋮	n	
$a - 1$	比較対象 m	n	mn
計			N

●総実験回数 N の制約

総実験回数 N の上限が予算などの関係で決められた場合

$$n_0 = fn \quad N = n_0 + mn = fn + mn = (f + m)n$$
$$n = \frac{N}{f + m}, \quad n_0 = fn = \frac{fN}{f + m}$$

m : 比較対象の水準数

n_0 : コントロール水準の繰り返し数

n : 比較対象の水準の繰り返し数

$$\sigma_x^2 = \frac{\sigma_e^2}{n} \quad (\text{第1部 } \S 1.3 \text{ p.23})$$

各水準の分散は等しく σ_e^2 とすると

第 i 水準とコントロール水準との平均値の差の分散 (分散の加法性より、第1部 p.23)

$$V[\bar{y}_i - \bar{y}_0] = \left(\frac{\sigma_e^2}{n} + \frac{\sigma_e^2}{n_0} \right) = \left(\frac{1}{n} + \frac{1}{n_0} \right) \sigma_e^2 = \left(\frac{f + m}{N} + \frac{f + m}{fN} \right) \sigma_e^2 = \frac{1}{N} \left(f + m + 1 + \frac{m}{f} \right) \sigma_e^2$$

N を一定として、分散が最小になる f を求めるために、上の式を f で微分して 0 とおく

$$\frac{1}{N} \left(1 - \frac{m}{f^2} \right) \sigma_e^2 = 0 \quad f = \sqrt{m} \quad (1.2.1)$$

●コントロール水準と比較対象の水準の繰り返し数

コントロール水準と比較対象の平均値の差の分散を最小にする条件は、
コントロール水準の繰り返し数 $n_0 = f n$ とすると

$$f = \sqrt{m} \quad (1.2.1)$$

m : 比較対象の水準数

n_0 : コントロール水準の繰り返し数

n : 比較対象の水準の繰り返し数

例えば、比較対象の水準数 $m = 4$ のとき $f = \sqrt{4} = 2$ 、すなわち $n_0 = 2n$ 、
コントロール水準の繰り返し数 n_0 を比較対象の繰り返し数 n の2倍にすると、
平均値の差の推定精度が最良となる

$$2 = \sqrt{4}$$

m	2	3	4	5	6	7	8
$f = \sqrt{m}$	1.4	1.7	2.0	2.2	2.4	2.6	2.8
$n_0 = f n$	7	9	10	11	12	13	14
n	5	5	5	5	5	5	5

●実験精度の計算例

比較対象の水準数 m を 4、総実験回数 N の上限を 25 とした場合の実験精度

コントロール水準の繰り返し数 $n_0=5$ 、比較対象の繰り返し数 $n=5$ 、総実験回数 25 の場合

$$V[\bar{y}_i - \bar{y}_0] = \left(\frac{\sigma_e^2}{n} + \frac{\sigma_e^2}{n_0} \right) = \left(\frac{1}{5} + \frac{1}{5} \right) \sigma_e^2 = \frac{2}{5} \sigma_e^2 = 0.400 \sigma_e^2$$

(5 + 5 × 4)

コントロール水準の繰り返し数 $n_0=7$ 、比較対象の繰り返し数 $n=4$ 、総実験回数 23 の場合

$$V[\bar{y}_i - \bar{y}_0] = \left(\frac{\sigma_e^2}{n} + \frac{\sigma_e^2}{n_0} \right) = \left(\frac{1}{4} + \frac{1}{7} \right) \sigma_e^2 = \frac{11}{28} \sigma_e^2 = 0.393 \sigma_e^2$$

(7 + 4 × 4)
25を超えない最大

比較対象の水準数 $m=4$ の場合、

$f=2$ を目安に繰り返し数を設定すると、

精度の高い推定ができる

$$f = \sqrt{m} = \sqrt{4} = 2 \quad (1.2.1)$$

上限が 25

n_0	5	6	7	8	9
n	5	4	4	4	4
$f = n_0 / n$	1.0	1.5	1.8	2.0	2.3
$N = n_0 + 4n$	25	22	23	24	25
差の分散の係数	0.400	0.417	0.393	0.375	0.361

●実験精度の計算例

比較対象の水準数 m を 4、総実験回数 N の上限を 25 とした場合の実験精度

コントロール水準の繰り返し数 $n_0=5$ 、比較対象の繰り返し数 $n=5$ 、総実験回数 25 の場合

$$V[\bar{y}_i - \bar{y}_0] = \left(\frac{\sigma_e^2}{n} + \frac{\sigma_e^2}{n_0} \right) = \left(\frac{1}{5} + \frac{1}{5} \right) \sigma_e^2 = \frac{2}{5} \sigma_e^2 = 0.400 \sigma_e^2$$

(5 + 5 × 4)

コントロール水準の繰り返し数 $n_0=7$ 、比較対象の繰り返し数 $n=4$ 、総実験回数 23 の場合

$$V[\bar{y}_i - \bar{y}_0] = \left(\frac{\sigma_e^2}{n} + \frac{\sigma_e^2}{n_0} \right) = \left(\frac{1}{4} + \frac{1}{7} \right) \sigma_e^2 = \frac{11}{28} \sigma_e^2 = 0.393 \sigma_e^2$$

(7 + 4 × 4)
25を超えない最大

比較対象の水準数 $m=4$ の場合、

$f=2$ を目安に繰り返し数を設定すると、

精度の高い推定ができる

$$f = \sqrt{m} = \sqrt{4} = 2 \quad (1.2.1)$$

上限が 25

n_0	5	6	7	8	9
n	5	4	4	4	4
$f = n_0 / n$	1.0	1.5	1.8	2.0	2.3
$N = n_0 + 4n$	25	22	23	24	25
差の分散の係数	0.400	0.417	0.393	0.375	0.361



(2) Excel による解析

質的因子の 1 因子実験

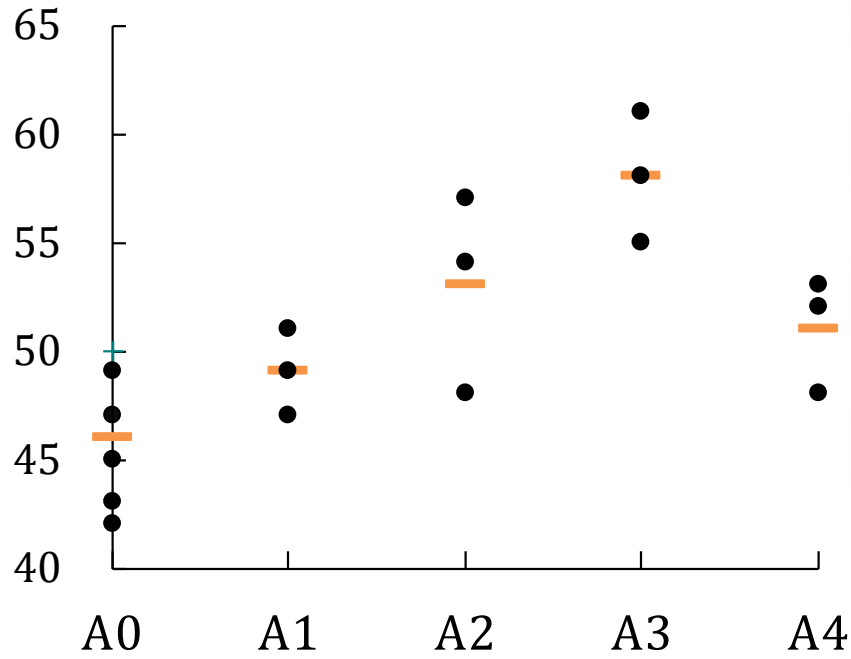
前節「繰り返し数が等しい場合」の分散分析と平均値の比較

本節「繰り返し数が異なる場合」の分散分析と平均値の比較

●Excel ファイルの読み込みと表示

Excel ファイル「DE改1-1因子(質).xls」

名前ボックスから「表示1.2.1」 (Fig12_01) を選択



コントロール水準

(1)データ、データ数、平均

(2)効果、残差

(3)分散分析表

(4) 2水準ごとの平均の比較

表示1.2.1
繰り返し数の異なる
実験データとその解析

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
3	データ								
4	水準	n	平均	1	2	3	4	5	6
5	A0	6	46.0	43	45	42	47	49	50
6	A1	3	49.0	47	51	49			
7	A2	3	53.0	54	48	57			
8	A3	3	58.0	55	58	61			
9	A4	3	51.0	52	48	53			
10	全体	18	50.5						
11	水準数	5							
12									
13	残差								
14	水準	標準偏差	効果	1	2	3	4	5	6
15	A0	3.22	-4.50	-3.00	-1.00	-4.00	1.00	3.00	4.00
16	A1	2.00	-1.50	-2.00	2.00	0.00			
17	A2	4.58	2.50	1.00	-5.00	4.00			
18	A3	3.00	7.50	-3.00	0.00	3.00			
19	A4	2.65	0.50	1.00	-3.00	2.00			
20									
21	分散分析表								
22	要因	平方和	自由度	平均平方	F 比	p 値			
23	水準間	316.50	4	79.125	7.676	0.0021			
24	残差	134.00	13	10.308	1.000				
25	全体	450.50	17	26.500					
26	(検算)	450.50	17						
27									
28					t(0.05)	2.160			
29	水準		差	標準誤差	t 値	p 値	区間推定		
30	A0	A1	-3.00	2.270	-1.321	0.209	-7.90 1.90		
31	A0	A2	-7.00	2.270	-3.083	0.009	-11.90 -2.10		
32	A0	A3	-12.00	2.270	-5.286	0.000	-16.90 -7.10		
33	A0	A4	-5.00	2.270	-2.202	0.046	-9.90 -0.10		
34	A1	A2	-4.00	2.621	-1.526	0.151	-9.66 1.66		
35	A1	A3	-9.00	2.621	-3.433	0.004	-14.66 -3.34		
36	A1	A4	-2.00	2.621	-0.763	0.459	-7.66 3.66		
37	A2	A3	-5.00	2.621	-1.907	0.079	-10.66 0.66		
38	A2	A4	2.00	2.621	0.763	0.459	-3.66 7.66		
39	A3	A4	7.00	2.621	2.670	0.019	1.34 12.66		

C20 :=LOOKUP(A30,\$A\$5:\$A\$9,\$C\$5:\$C\$9)-LOOKUP(B30,\$A\$5:\$A\$9,\$C\$5:\$C\$9)

●データ

1 因子実験

水準数

$$a = 5 \quad (i = 0, 1, 2, 3, 4)$$

繰り返し数

$$n_0 = 6 \quad (j = 1, 2, 3, 4, 5, 6)$$

$$n_1 = n_2 = n_3 = n_4 = 3 \quad (j = 1, 2, 3)$$

繰り返し数が異なるデータ

$$N = \sum_{i=0}^{a-1} n_i = 18$$

最適な繰り返し数

$$m = 4, n = 3$$

$$n_0 = fn = \sqrt{mn} = \sqrt{4} \times 3 = 6$$

水準番号：0～4
A0：コントロール水準
A1～A4：比較対象

表示1.2.1 (一部)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
3	データ												
4	水準	n	平均	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5	A0	6	46.0	43	45	42	47	49	50				
6	A1	3	49.0	47	51	49							
7	A2	3	53.0	54	48	57							
8	A3	3	58.0	55	58	61							
9	A4	3	51.0	52	48	53							
10	全体	18	50.5										
11	水準数	5											

$$f = \sqrt{m} = \sqrt{4} = 2 \quad (1.2.1)$$

●平均

水準平均 (C列、C5:C9)

$$\bar{y}_{i\cdot} = \left(\sum_{j=1}^{n_i} y_{ij} \right) / n_i$$

総平均 (セルC10)

$$\bar{y}_{\cdot\cdot} = \left(\sum_{i=0}^{a-1} \sum_{j=1}^{n_i} y_{ij} \right) / N = 50.5$$

各水準の平均の平均

$$\bar{\bar{y}}_{\cdot\cdot} = \left(\sum_{i=0}^{a-1} \bar{y}_{i\cdot} \right) / a = 51.4$$

ダブルバー

表示1.2.1 (一部)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
3	データ												
4	水準	n	平均	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5	A0	6	46.0	43	45	42	47	49	50				
6	A1	3	49.0	47	51	49							
7	A2	3	53.0	54	48	57							
8	A3	3	58.0	55	58	61							
9	A4	3	51.0	52	48	53							
10	全体	18	50.5										
11	水準数	5											

Callouts:

- `=COUNT(D5 : M5)` points to cell B5 (6).
- `C5 : =AVERAGE(D5 : M5) = (43+45+42+47+49+50) / 6 = 46.0` points to cell C5 (46.0).
- `ni` points to cell B5 (6).
- `a` points to cell B11 (5).
- `N` points to cell B10 (18).
- `C10 : =AVERAGE(D5 : M9) = $\bar{y}_{\cdot\cdot}$ ≠ AVERAGE(C5 : C9) = $\bar{\bar{y}}_{\cdot\cdot}$` points to cell C10 (50.5).

●残差

表示1.2.1
(一部)

$$e_{ij} = y_{ij} - \bar{y}_i.$$

$$e_{01} = y_{01} - \bar{y}_0.$$

$$= 43 - 46.0 = -3.0$$

各水準ごとの残差の合計は0

$$\sum_{j=0}^{n_i} e_{ij} = 0$$

標準偏差が大きい水準では

残差から外れ値の有無を確認

各水準の標準誤差 σ_i が

等しいことを前提

(→これを確認する検定 [§1.4](#))

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
3	データ												
4	水準	n	平均	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5	A0	6	46.0	43	45	42	47	49	50				
6	A1	3	49.0	47	51	49							
7	A2	3	53.0	54	48	57							
8	A3	3	58.0	55	58	61							
9	A4	3	51.0	52	48	53							
10	全体	18	50.5										
11	水準数	5											
12													
13													
14	水準	標準偏差	効果	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
15	A0	3.22	-4.50	-3.00	-1.00	-4.00	1.00	3.00	4.00				
16	A1	2.00	-1.50	-2.00	2.00	0.00							
17	A2	4.58	2.50	1.00	-5.00	4.00							
18	A3	3.00	7.50	-3.00	0.00	3.00							
19	A4	2.65	0.50	1.00	-3.00	2.00							

B15 :=STDEV(D15:M15)

D15 :=D5-\$C5

残差の計は0

●効果

表示1.2.1
(一部)

$$a_i = \bar{y}_{i.} - \bar{y}_{..}$$

$$a_0 = \bar{y}_{0.} - \bar{y}_{..}$$

$$= 46.0 - 50.5 = -4.5$$

$$a_1 = \bar{y}_{1.} - \bar{y}_{..}$$

$$= 49.0 - 50.5 = -1.5$$

水準の平均は、重みが違う

推定した効果も、重みが違うため

各水準の効果を単純に合計して

0 にはならない

重み付き合計は 0 になる

$$\sum_{i=0}^{a-1} a_i \neq 0 \quad \sum_{i=0}^{a-1} n_i a_i = 0$$

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
3	データ												
4	水準	n	平均	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5	A0	6	46.0	43	45	42	47	49	50				
6	A1	3	49.0	47	51	49							
7	A2	3	53.0	54	48	57							
8	A3	3	58.0	55	58	61							
9	A4	3	51.0	52	48	53							
10	全体	18	50.5										
11	水準数	5											
12													
13	残差												
14	水準	標準偏差	効果	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
15	A0	3.22	-4.50	-3.00	-1.00	-4.00	1.00	3.00	4.00				
16	A1	2.00	-1.50	-2.00	2.00	0.00							
17	A2	4.58	2.50	1.00	-5.00	4.00							
18	A3	3.00	7.50	-3.00	0.00	3.00							
19	A4	2.65	0.50	1.00	-3.00	2.00							

●効果

表示1.2.1
(一部)

$$a_i = \bar{y}_{i.} - \bar{y}_{..}$$

$$a_0 = \bar{y}_{0.} - \bar{y}_{..}$$

$$= 46.0 - 50.5 = -4.5$$

$$a_1 = \bar{y}_{1.} - \bar{y}_{..}$$

$$= 49.0 - 50.5 = -1.5$$

水準の平均は、重みが違う
推定した効果も、重みが違うため
各水準の効果を単純に合計して

0 にはならない

重み付き合計は 0 になる

$$\sum_{i=0}^{a-1} a_i \neq 0 \quad \sum_{i=0}^{a-1} n_i a_i = 0 \quad (1.2.2)$$

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
3	データ												
4	水準	n	平均	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5	A0	6	46.0	43	45	42	47	49	50				
6	A1	3	49.0	47	51	49							
7	A2	3	53.0	54	48	57							
8	A3	3	58.0	55	58	61							
9	A4	3	51.0	52	48	53							
10	全体	18	50.5										
11	水準数	5											
12													
13	残差												
14	水準	標準偏差	効果	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
15	A0	3.22	-4.50	-3.00	-1.00	-4.00	1.00	3.00	4.00				
16	A1	2.00	-1.50	-2.00	2.00	0.00							
17	A2	4.58	2.50	1.00	-5.00	4.00							
18	A3	3.00	7.50	-3.00	0.00	3.00							
19	A4	2.65	0.50	1.00	-3.00	2.00							

-4.5+(-1.5)+2.5+7.5+0.5 = 4.5 ≠ 0 単純な合計
-4.5×6 + (-1.5)×4 + 0.5×35 = 0 重み付き合計

●データの分解

データを各成分に分解

観測値 = 総平均 + 効果 + 残差

$$y_{ij} = \bar{y}_{..} + (\bar{y}_{i.} - \bar{y}_{..}) + (y_{ij} - \bar{y}_{i.})$$

$$= \bar{y}_{..} + a_i + e_{ij} \quad (1.1.8)$$

繰り返し数が等しい (表示1.1.6)

		1	2	3	4	5
観測値 y_{ij}	A1	10.8	9.9	9.7	10.4	10.7
	A2	10.7	10.6	11.0	10.8	10.9
	A3	11.4	10.7	10.9	11.3	11.7
	A4	11.9	11.2	11.0	11.1	11.3

		1	2	3	4	5
総平均 $y_{..}$	A1	10.9	10.9	10.9	10.9	10.9
	A2	10.9	10.9	10.9	10.9	10.9
	A3	10.9	10.9	10.9	10.9	10.9
	A4	10.9	10.9	10.9	10.9	10.9

		1	2	3	4	5
効果 a_i	A1	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6
	A2	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1
	A3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
	A4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4

		1	2	3	4	5
残差 e_{ij}	A1	0.5	-0.4	-0.6	0.1	0.4
	A2	-0.1	-0.2	0.2	0.0	0.1
	A3	0.2	-0.5	-0.3	0.1	0.5
	A4	0.6	-0.1	-0.3	-0.2	0.0

繰り返し数が異なる

		1	2	3	4	5	6
観測値 y_{ij}	A0	43	45	42	47	49	50
	A1	47	51	49			
	A2	54	48	57			
	A3	55	58	61			
A4	52	48	53				

		1	2	3	4	5	6
総平均 $y_{..}$	A0	50.5	50.5	50.5	50.5	50.5	50.5
	A1	50.5	50.5	50.5			
	A2	50.5	50.5	50.5			
	A3	50.5	50.5	50.5			
A4	50.5	50.5	50.5				

		1	2	3	4	5	6
効果 a_i	A0	-4.5	-4.5	-4.5	-4.5	-4.5	-4.5
	A1	-1.5	-1.5	-1.5			
	A2	2.5	2.5	2.5			
	A3	7.5	7.5	7.5			
A4	0.5	0.5	0.5				

		1	2	3	4	5	6
残差 e_{ij}	A0	-3.0	-1.0	-4.0	1.0	3.0	4.0
	A1	-2.0	2.0	0.0			
	A2	1.0	-5.0	4.0			
	A3	-3.0	0.0	3.0			
A4	1.0	-3.0	2.0				

同じ値

水準ごとに同じ値

●データの分解

$$n \sum_{i=1}^a a_i = \sum_{i=1}^a n a_i = 0$$

繰り返し数が等しい (表示1.1.6)

効果	A1	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	
	A2	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	
	A3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	
	A4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	
		0	0	0	0	0	0

効果の
全体の和が 0

縦の計は 0

$$\sum_{j=0}^n e_{ij} = 0$$

(1.1.11 変更)

残差	A1	0.5	-0.4	-0.6	0.1	0.4	0
	A2	-0.1	-0.2	0.2	0.0	0.1	0
	A3	0.2	-0.5	-0.3	0.1	0.5	0
	A4	0.6	-0.1	-0.3	-0.2	0.0	0

各水準ごとの
残差の和は 0

繰り返し数が異なる

	A0	-4.5	-4.5	-4.5	-4.5	-4.5	-4.5	
	A1	-1.5	-1.5	-1.5				
	A2	2.5	2.5	2.5				
	A3	7.5	7.5	7.5				
	A4	0.5	0.5	0.5				
		4.5	4.5	4.5	-4.5	-4.5	-4.5	0

効果の
全体の和が 0

$$\sum_{i=0}^{a-1} n_i a_i = 0 \quad (1.2.2)$$

$$\sum_{j=0}^{n_i} e_{ij} = 0$$

各水準ごとの
残差の和は 0

●水準間平方和

繰り返し数が異なる場合

$$\begin{aligned}
 S_A &= \sum_{I=0}^{a-1} n_i (\bar{y}_{i\cdot} - \bar{y}_{..})^2 = \sum_{i=0}^{a-1} n_i a_i^2 && (1.2.4) \\
 &= 6 \times (-4.50)^2 + 3 \times (-1.50)^2 + \dots + 3 \times 0.50^2 \\
 &= 316.5
 \end{aligned}$$

繰り返し数が等しい場合

$$S_A = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^n (y_{ij} - \bar{y}_{..})^2 = n \sum_{i=1}^a a_i^2 = \sum_{i=1}^a n a_i^2 \quad (1.1.11 \text{ 変更})$$

p.23

表示1.2.1
(一部)

	A	B	C
3			
4	水準	n	平均
5	A0	6	46.0
6	A1	3	49.0
7	A2	3	53.0
8	A3	3	58.0
9	A4	3	51.0
10	全体	18	50.5
11	水準数	5	
12			
13			
14	水準	標準偏差	効果
15	A0	3.22	-4.50
16	A1	2.00	-1.50
17	A2	4.58	2.50
18	A3	3.00	7.50
19	A4	2.65	0.50

●水準間平方和

Excel の SUMPRODUCT 関数の利用

表示1.2.1
(一部)

$$\begin{aligned}
 S_A &= \sum_{i=0}^{a-1} n_i (\bar{y}_{i.} - \bar{y}_{..})^2 = \sum_{i=0}^{a-1} n_i a_i^2 = \sum_{i=0}^{a-1} n_i \times a_i \times a_i & (i.2.4) \\
 &= 6 \times (-4.50)^2 + 3 \times (-1.50)^2 + \dots + 3 \times 0.50^2 \\
 &= 316.5
 \end{aligned}$$

	A	B	C
3			
4	水準	n	平均
5	A0	6	46.0
6	A1	3	49.0
7	A2	3	53.0
8	A3	3	58.0
9	A4	3	51.0
10	全体	18	50.5
11	水準数	5	
12			
13			
14	水準	標準偏差	効果
15	A0	3.22	-4.50
16	A1	2.00	-1.50
17	A2	4.58	2.50
18	A3	3.00	7.50
19	A4	2.65	0.50

	A	B	C	D
21	分散分析表			
22	要因	平方和	自由度	平均平方 F 比 p 値
23	水準間	316.50	4	79.125 7.676 0.0021
24	残差	134.00	13	10.308 1.000
25	全体	450.50	17	26.500
26	(検算)	450.50	17	

=SUMPRODUCT(B5:B9, C15:C19, C15:C19)
 n_i 効果 効果

●残差平方和、総平方和

繰り返し数が等しい場合と同じ計算方法

$$S_e = \sum_{i=0}^{a-1} \sum_{j=1}^{n_i} (y_{ij} - \bar{y}_{i.})^2 = \sum_{i=0}^{a-1} \sum_{j=1}^{n_i} e_{ij}^2 \quad (1.2.5)$$

$$= (-3.00)^2 + (-1.00)^2 + \dots + 2.00^2$$

$$= 134.00$$

$$S_T = \sum_{i=0}^{a-1} \sum_{j=1}^{n_i} (y_{ij} - \bar{y}_{..})^2$$

$$= 450.50$$

表示1.2.1 (一部)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
3	データ								
4	水準	n	平均	1	2	3	4	5	6
5	A0	6	46.0	43	45	42	47	49	50
6	A1	3	49.0	47	51	49			
7	A2	3	53.0	54	48	57			
8	A3	3	58.0	55	58	61			
9	A4	3	51.0	52	48	53			
10	全体	18	50.5						
11	水準数	5							
12									
13	残差								
14	水準	標準偏差	効果	1	2	3	4	5	6
15	A0	3.22	-4.50	-3.00	-1.00	-4.00	1.00	3.00	4.00
16	A1	2.00	-1.50	-2.00	2.00	0.00			
17	A2	4.58	2.50	1.00	-5.00	4.00			
18	A3	3.00	7.50	-3.00	0.00	3.00			
19	A4	2.65	0.50	1.00	-3.00	2.00			

●平方和の計算

繰り返し数が異なる場合 ($i=0 \sim (a-1)$)

$$S_T = \sum_{i=0}^{a-1} \sum_{j=1}^{n_i} (y_{ij} - \bar{y}_{..})^2$$

$$S_A = \sum_{i=0}^{a-1} n_i (\bar{y}_{i.} - \bar{y}_{..})^2 = \sum_{i=0}^{a-1} n_i a_i^2$$

$$S_e = \sum_{i=0}^{a-1} \sum_{j=1}^{n_i} (y_{ij} - \bar{y}_{i.})^2 = \sum_{i=0}^{a-1} \sum_{j=1}^{n_i} e_{ij}^2$$

繰り返し数が等しい場合 ($i=1 \sim a$)

$$S_T = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^n (y_{ij} - \bar{y}_{..})^2$$

$$S_A = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^n (\bar{y}_{i.} - \bar{y}_{..})^2 = n \sum_{i=1}^a a_i^2 = \sum_{i=1}^a n a_i^2$$

$$S_e = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^n (y_{ij} - \bar{y}_{i.})^2 = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^n e_{ij}^2$$

●分散分析表

平方和、自由度の計算方法は、「繰り返し数が等しい場合」と同じ（前節 [§1.1](#)）

平方和

$$S_A = \sum_{i=0}^{a-1} n_i (\bar{y}_{i.} - \bar{y}_{..})^2 = \sum_{i=0}^{a-1} n_i a_i^2 = 316.5$$

$$S_e = \sum_{i=0}^{a-1} \sum_{j=1}^{n_i} (y_{ij} - \bar{y}_{i.})^2 = \sum_{i=0}^{a-1} \sum_{j=1}^{n_i} e_{ij}^2 = 134.0$$

$$S_T = \sum_{i=0}^{a-1} \sum_{j=1}^{n_i} (y_{ij} - \bar{y}_{..})^2 = 450.5$$

自由度 $v_A = a - 1 = 5 - 1 = 4$

$$v_e = \sum_{i=0}^{a-1} (n_i - 1) = 5 + 2 + 2 + 2 + 2 = 13$$

$$v_T = N - 1 = 18 - 1 = 17$$

	A	B	C	D	E	F
21	分散分析表					
22	要因	平方和	自由度	平均平方	F 比	p 値
23	水準間	316.50	4	79.125	7.676	0.0021
24	残差	134.00	13	10.308	1.000	
25	全体	450.50	17	26.500		
26	(検算)	450.50	17			

表示1.2.1 (一部)

●分散分析表

平均平方、 F 比、 p 値の計算方法も、「繰り返し数が等しい場合」と同じ（前節 [§1.1](#)）
この結果、水準間の差を全体としてみると、この因子の効果は高度に有意

平均平方

$$V_A = S_A/v_A = 316.50/4 = 79.125$$

$$V_e = S_e/v_e = 134.00/13 = 10.308$$

F 比

$$F = V_A/V_e = 79.125/10.308 = 7.676$$

p 値 (Excel 関数)

$$= \text{FDIST}(F, v_A, v_e) = 0.0021$$

表示1.2.1 (一部)

	A	B	C	D	E	F
21	分散分析表					
22	要因	平方和	自由度	平均平方	F 比	p 値
23	水準間	316.50	4	79.125	7.676	0.0021
24	残差	134.00	13	10.308	1.000	
25	全体	450.50	17	26.500		
26	(検算)	450.50	17			

母分散の推定値

● 2水準ごとの平均値の差の仮説検定

前節 [§1.1](#) p.18 と、第1部 [§3.2](#)を参照

$$s.e. [\bar{y}_i. - \bar{y}_{i'}.] = \sqrt{\left(\frac{1}{n_i} + \frac{1}{n_{i'}}\right) \sigma^2}$$

$$\sigma^2 \sim V_e = 10.308$$

母分散の推定値

水準A0-A1

$$s.e. [\bar{y}_0. - \bar{y}_1.] = \sqrt{\left(\frac{1}{6} + \frac{1}{3}\right) \times 10.308}$$

$$= 2.270$$

$$t = \frac{-3.00}{2.270} = -1.321$$

$$=T.DIST.2T(ABS(-1.321), 13)=0.209$$

目的外

コントロール水準 (A0) と他の水準の比較が目的
比較対象同士の間での比較は目的外ではあるが、
汎用性を持たせるために、全ての比較を出力している
多重性が考慮されていないので注意 → [§1.3](#)

表示1.2.1 (一部)

	A	B	C	D	E	F	G	H
28	t(0.05)					2.160		
29	水準		差	標準誤差	t 値	p 値	区間推定	
30	A0	A1	-3.00	2.270	-1.321	0.209	-7.90	1.90
31	A0	A2	-7.00	2.270	-3.083	0.009	-11.90	-2.10
32	A0	A3	-12.00	2.270	-5.286	0.000	-16.90	-7.10
33	A0	A4	-5.00	2.270	-2.202	<i>0.046</i>	-9.90	-0.10
34	A1	A2	-4.00	2.621	-1.526	0.151	-9.66	1.66
35	A1	A3	-9.00	2.621	-3.433	0.004	-14.66	-3.34
36	A1	A4	-2.00	2.621	-0.763	0.459	-7.66	3.66
37	A2	A3	-5.00	2.621	-1.907	0.079	-10.66	0.66
38	A2	A4	2.00	2.621	0.763	0.459	-3.66	7.66
39	A3	A4	7.00	2.621	2.670	<i>0.019</i>	1.34	12.66

● 2水準ごとの母平均値の差の区間推定と最小有意差 LSD

コントロール水準A0 と比較対象 (A1~A4) との差

$$\mu_0 - \mu_{i'} \sim d_{0i'} \pm t(v_e, 0.05) \times s.e. [d_{0i'}] = d_{0i'} \pm 2.160 \times 2.270 = d_{0i'} \pm 4.904 \quad (1.1.5)$$

$$|d_{0i'}| = |\bar{y}_{0\cdot} - \bar{y}_{i'\cdot}| > 4.904 \dots \text{LSD} \quad (\text{最小有意差})$$

表示1.2.1 (一部)

比較対象同士 (A1~A4) との差

$$\mu_i - \mu_{i'}$$

$$\sim d_{ii'} \pm t(v_e, 0.05) \times s.e. [d_{ii'}]$$

$$= d_{ii'} \pm 2.160 \times 2.621$$

$$= d_{ii'} \pm 5.663$$

$$|d_{ii'}| = |\bar{y}_{i\cdot} - \bar{y}_{i'\cdot}| > 5.663 \dots \text{LSD}$$

LSD はコントロール水準との比較で小さい

LSD の図 (表示1.1.4) は

例数が一定でないため作成できない

	A	B	C	D	E	F	G	H
28	t(0.05)					2.160		
29	水準		差	標準誤差	t 値	p 値	区間推定	
30	A0	A1	-3.00	2.270	-1.321	0.209	-7.90	1.90
31	A0	A2	-7.00	2.270	-3.083	0.009	-11.90	-2.10
32	A0	A3	-12.00	2.270	-5.286	0.000	-16.90	-7.10
33	A0	A4	-5.00	2.270	-2.202	<i>0.046</i>	-9.90	-0.10
34	A1	A2	-4.00	2.621	-1.526	0.151	-9.66	1.66
35	A1	A3	-9.00	2.621	-3.433	0.004	-14.66	-3.34
36	A1	A4	-2.00	2.621	-0.763	0.459	-7.66	3.66
37	A2	A3	-5.00	2.621	-1.907	0.079	-10.66	0.66
38	A2	A4	2.00	2.621	0.763	0.459	-3.66	7.66
39	A3	A4	7.00	2.621	2.670	<i>0.019</i>	1.34	12.66

●Excel の LOOKUP 関数

LOOKUP 関数で、引数に水準名を指定して、これに対応する平均を参照する

$= \text{LOOKUP}(A30, \$A\$5:\$A\$9, \$C\$5:\$C\$9)$
 検索値 検索範囲 対応範囲
 $- \text{LOOKUP}(B30, \$A\$5:\$A\$9, \$C\$5:\$C\$9)$
 検索値 検索範囲 対応範囲
 $= C5 - C6$
 $= 46.0 - 49.0 = -3.00$

検索範囲

表示1.2.1

対応範囲

	A	B	C
3			⋮
4	水準	n	平均
5	A0	6	46.0
6	A1	3	49.0
7	A2	3	53.0
8	A3	3	58.0
9	A4	3	51.0

	A	B	C	D	E	F	G	H
28						t(0.05)	2.160	
29	水準		差	標準誤差	t 値	p 値	区間推定	
30	A0	A1	-3.00	2.270	-1.321	0.209	-7.90	1.90
31	A0	A2	-7.00	2.270	-3.083	0.009	-11.90	-2.10
32	A0	A3	-12.00	2.270	-5.286	0.000	-16.90	-7.10

検索値



(3) JMP [二変量の関係] による解析

JMP [二変量の関係]

JMP [モデルのあてはめ]

JMP [二変量の関係]

使わない

●JMPファイルの読み込みと表示

JMP ファイル「1-1因子2.jmp」を読み込み

●データ

表示 1.2.1 と同じデータ（1 因子、5 水準、繰り返し数が異なる）

水準の列名は「群」、観測値の列名は「y」

●解析

2 水準ごとの平均値の比較、分散分析

前節 [§1.1](#) と同様に操作

[二変量の関係]

▼> [平均/ANOVA]

▼> [平均の比較]

> [各ペア, Student の t 検定]

列名

縦に並べる

表示 1.2.1

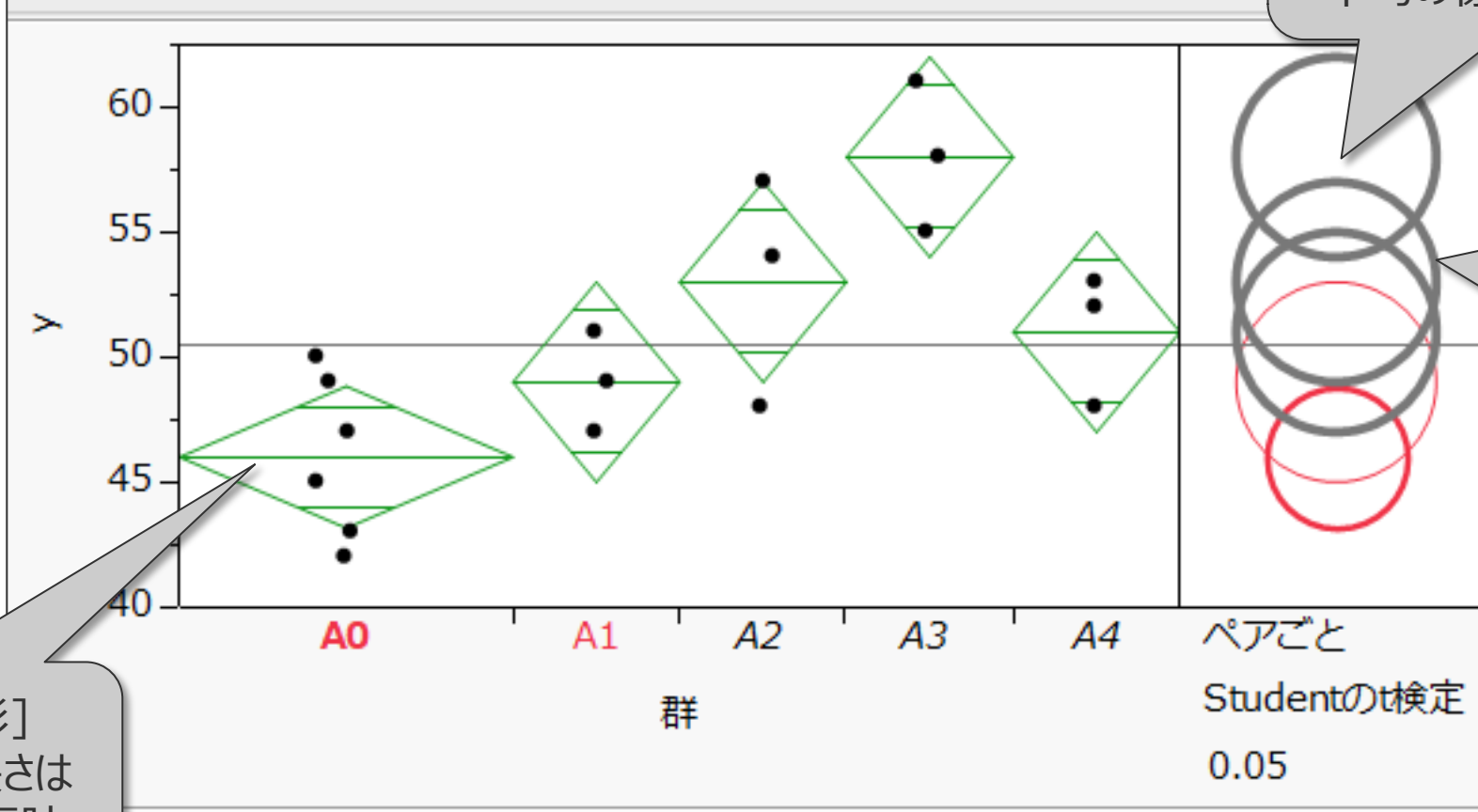
水準	1	2	3	4	5	6
A0	43	45	42	47	49	50
A1	47	51	49			
A2	54	48	57			
A3	55	58	61			
A4	52	48	53			

	群	y	x
1	A0	43	0
2	A0	45	0
3	A0	42	0
4	A0	47	0
5	A0	49	0
6	A0	50	0
7	A1	47	2
8	A1	51	2
9	A1	49	2
10	A2	54	9
11	A2	48	9
12	A2	57	9
13	A3	55	14
14	A3	58	14
15	A3	61	14
16	A4	52	5
17	A4	48	5
18	A4	53	5

●グラフ化

表示 1.2.2 JMP [二変量の関係] の出力

群による y の一元配置分析



[比較円] の半径は n_i の平方根に反比例
平均の標準偏差に比例

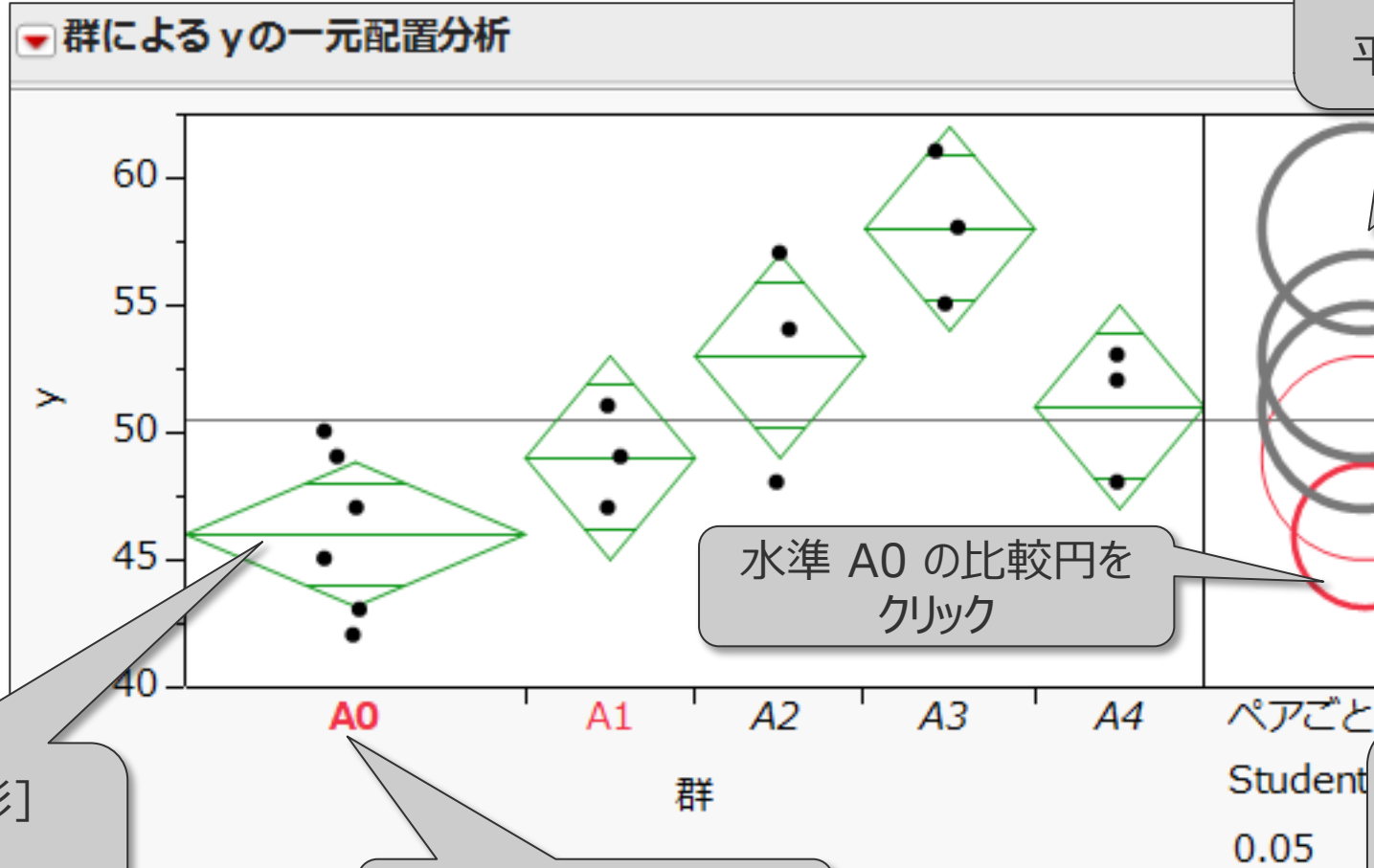
半径 = $t\sqrt{V/n}$

第 1 部 §3.2
「平均値の差の
 t 検定」
p.139 参照

[平均のひし形]
中央の横線の長さは
各水準の n_i を反映

●グラフ化

表示 1.2.2 JMP [二変量の関係] の出力



[比較円] の半径は n_i の平方根に反比例
平均の標準偏差に比例

半径 = $t\sqrt{V/n}$

水準 A0 の比較円をクリック

[平均のひし形] の横幅は各水準の n_i に比例

水準 A0 の比較円をクリックすると、立体化

[比較円] で一括した比較が可能
LSD(p.19)より優れる (多重性の問題)

●分散分析表

▲ 分散分析					
要因	自由度	平方和	平均平方	F値	p値(Prob>F)
群	4	316.50000	79.1250	7.6763	0.0021*
誤差	13	134.00000	10.3077		
全体(修正済み)	17	450.50000			

表示 1.2.1 分散分析表

要因	平方和	自由度	平均平方	F 比	p 値
水準間	316.50	4	79.125	7.676	0.0021
残差	134.00	13	10.308	1.000	
全体	450.50	17	26.500		
(検算)	450.50	17			

● 2水準ごとの平均値の比較

$$\mu_0 - \mu_{i'}$$

$$\sim d_{0i'} \pm t(v_e, 0.05) \times s.e. [d_{0i'}]$$

$$= d_{0i'} \pm 2.160 \times 2.270$$

$$= d_{0i'} \pm 4.904$$

$$|d_{0i'}| = |\bar{y}_0 - \bar{y}_{i'.}| > 4.904 \dots \text{LSD}$$

$$\mu_i - \mu_{i'}$$

$$\sim d_{ii'} \pm t(v_e, 0.05) \times s.e. [d_{ii'}]$$

$$= d_{ii'} \pm 2.160 \times 2.621$$

$$= d_{ii'} \pm 5.663$$

$$|d_{ii'}| = |\bar{y}_{i.} - \bar{y}_{i'.}| > 5.663 \dots \text{LSD}$$

この検定は多重性の問題がある → [§1.3](#)

Studentのt検定を使ったペアごとの比較

棄却限界値

t	Alpha
2.16037	0.05

LSD閾値行列

Abs(Dif)-LSD

	A3	A2	A4	A1	A0
A3	-5.6632	-0.6632	1.3368	3.3368	7.0955
A2	-0.6632	-5.6632	-3.6632	-1.6632	2.0955
A4	1.3368	-3.6632	-5.6632	-3.6632	0.0955
A1	3.3368	-1.6632	-3.6632	-5.6632	-1.9045
A0	7.0955	2.0955	0.0955	-1.9045	-4.0045

値が正の場合、ペアになっている平均の間に有意差があることを示します。

●差の区間推定

	A	B	C	D	E	F	G	H	
28	t(0.05)					2.160			
29	水準		差	標準誤差	t 値	p 値	区間推定		
30	A0	A1	-3.00	2.270	-1.321	0.209	-7.90	1.90	
31	A0	A2	-7.00	2.270	-3.083	0.009	-11.90	-2.10	
32	A0	A3	-12.00	2.270	-5.286	0.000	-16.90	-7.10	
33	A0	A4	-5.00	2.270	-2.202	<i>0.046</i>			
34	A1	A2	-4.00	2.621	-1.526	0.151			
35	A1	A3	-9.00	2.621	-3.433	0.004			
36	A1	A4	-2.00	2.621	-0.763	0.459			
37	A2	A3	-5.00	2.621	-1.907	0.079			
38	A2	A4	2.00	2.621	0.763	0.459			
39	A3	A4	7.00	2.621	2.670	<i>0.019</i>			



差の絶対値の大きい方から
降順に並んでいる



(4) JMP [モデルのあてはめ] による解析

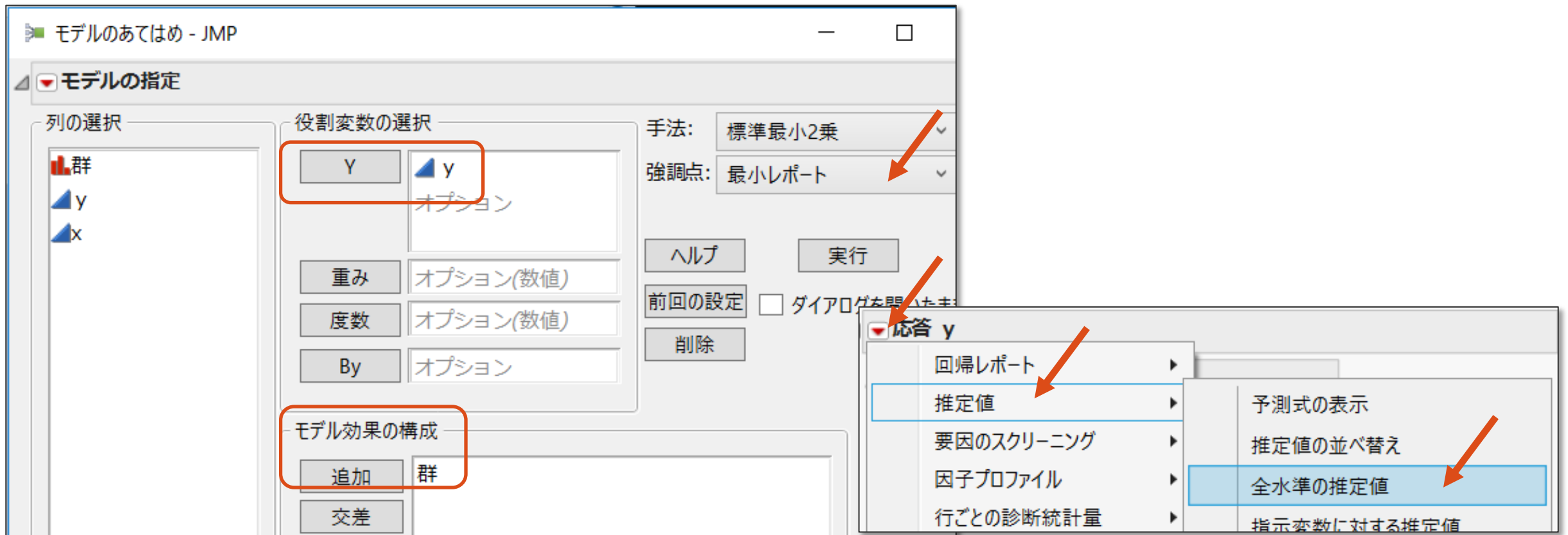
JMP [二変量の関係]

JMP [モデルのあてはめ]

- [モデルのあてはめ]

[分析] > [モデルのあてはめ] [Y] : 「y」、[モデル効果の構成] : 「群」

▼ オプション > [推定値] > [全水準の推定値]



●JMPと Excelの比較

表示 1.2.3
JMP [モデルのあてはめ]
の出力

表示 1.2.1 (一部)

水準	n	平均
A0	6	46.0
A1	3	49.0
A2	3	53.0
A3	3	58.0
A4	3	51.0
全体	18	50.5

水準	標準偏差	効果
A0	3.22	-4.50
A1	2.00	-1.50
A2	4.58	2.50
A3	3.00	7.50
A4	2.65	0.50

全水準の推定値

名義尺度の要因においては、全水準に対して推定値が求められている

項	推定値	標準誤差	t値	p値(Prob> t)
切片	51.4	0.786423	65.36	<.0001*
群[A0]	-5.4	1.284224	-4.20	0.0010*
群[A1]	-2.4	1.637071	-1.47	0.1664
群[A2]	1.6	1.637071	0.98	0.3462
群[A3]	6.6	1.637071	4.03	0.0014*
群[A4]	-0.4	1.637071	-0.24	0.8108

一致していない
(§2.3 参照)

	切片 総平均	A0	A1	A2	A3	A4	合計
JMP	51.4	-5.4	-2.4	1.6	6.6	-0.4	0
Excel	50.5	-4.5	-1.5	2.5	7.5	0.5	4.5

		A0	A1	A2	A3	A4
JMP	効果 + 切片	46	49	53	58	51
Excel	効果 + 総平均	46	49	53	58	51

JMP [モデルのあてはめ]

●JMPと Excelの比較

表示 1.2.3
JMP [モデルのあてはめ]
の出力

表示 1.2.1 (一部)

水準	n	平均
A0	6	46.0
A1	3	49.0
A2	3	53.0
A3	3	58.0
A4	3	51.0
全体	18	50.5

水準	標準偏差	効果
A0	2.00	4.50
A1	2.00	-1.50
A2	4.58	2.50
A3	3.00	7.50
A4	2.65	0.50

全水準の推定値

名義尺度の要因においては、全水準に対して推定値が求められている

項	推定値	標準誤差	t値	p値(Prob> t)
切片	51.4	0.786423	65.36	<.0001*
群[A0]	-5.4	1.284224	-4.20	0.0010*
群[A1]	-2.4	1.637071	-1.47	0.1664
群[A2]	1.6	1.637071	0.98	0.3462
群[A3]	6.6	1.637071	4.03	0.0014*
群[A4]	-0.4	1.637071	-0.24	0.8108

	切片 総平均	A0	A1	A2	A3	A4	合計
JMP	51.4	-5.4	-2.4	1.6	6.6	-0.4	0
Excel	50.5	-4.5	-1.5	2.5	7.5	0.5	4.5
		A0	A1	A2	A3	A4	
JMP	効果+切片	46	49	53	58	51	
Excel	効果+総平均	46	49	53	58	51	

$$a_i = \bar{y}_i - \bar{y}..$$

$$\sum_{i=1}^a a_i = 0 \quad (1.1.14)$$

$$a_i = \bar{y}_i - \bar{y}..$$

$$\sum_{i=1}^a n_i a_i = 0 \quad (1.2.2)$$

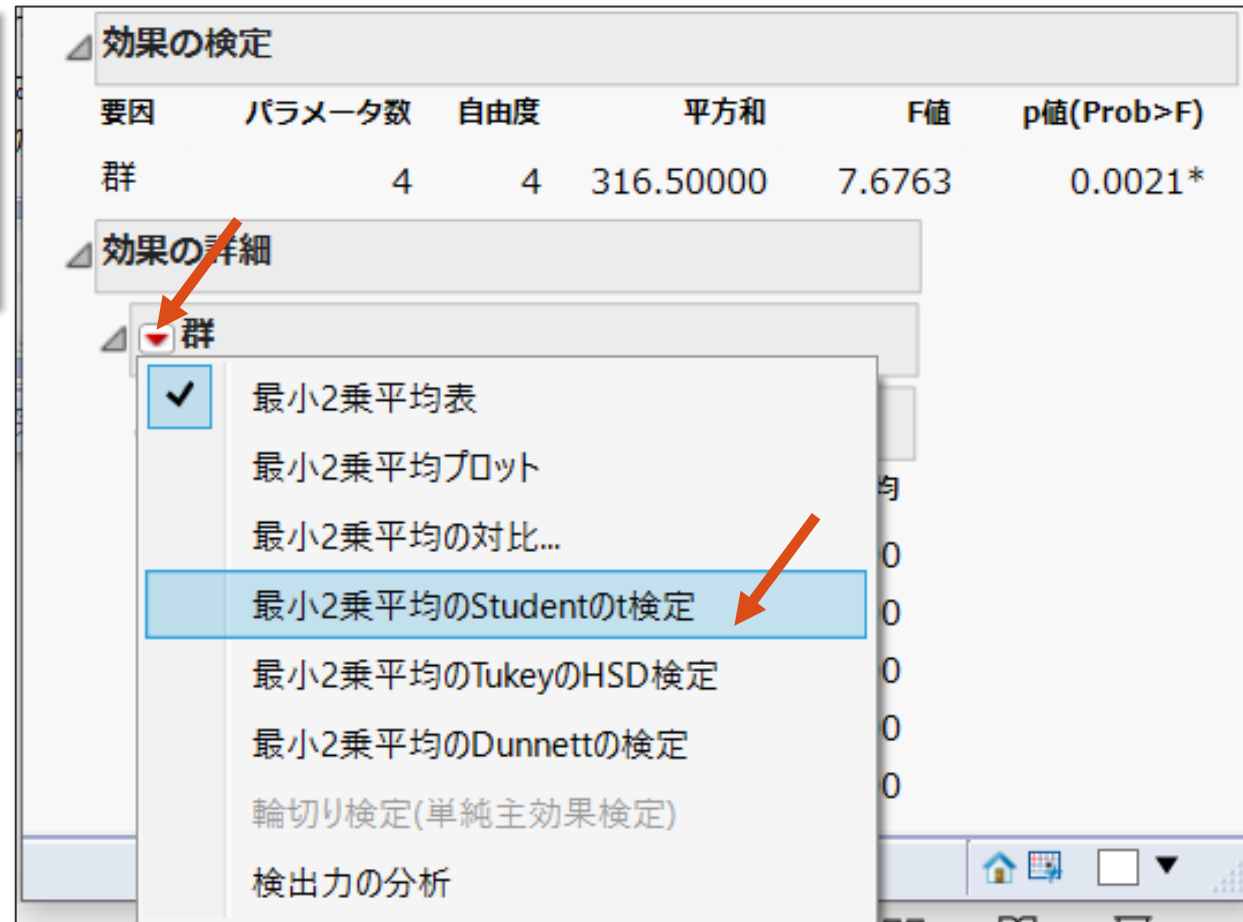
●水準間の差の区間推定

[効果の詳細] > 「群」 ▼オプション> [最小2乗平均のStudentのt検定]



効果の検定	要因	パラメータ数	自由度	平方和	F値	p値(Prob>F)
	群	4	4	316.50000	7.6763	0.0021*

効果の詳細



効果の検定

要因	パラメータ数	自由度	平方和	F値	p値(Prob>F)
群	4	4	316.50000	7.6763	0.0021*

効果の詳細

群

- ✓ 最小2乗平均表
- 最小2乗平均プロット
- 最小2乗平均の対比...
- 最小2乗平均のStudentのt検定**
- 最小2乗平均のTukeyのHSD検定
- 最小2乗平均のDunnettの検定
- 輪切り検定(単純主効果検定)
- 検出力の分析

ここでは、最小2乗平均と平均は同じ
(詳細は[ブログ](#)参照)

●水準間の差の区間推定

差の標準誤差が組合せによって異なる
 コントロール水準（A0）と比較対象との
 標準誤差 2.27、
 比較対象同士の標準誤差 2.62
 コントロール水準と比較対象の比較の
 精度が高い

コントロール水準 (A0)と
 比較対象との標準誤差

比較対象同士の標準誤差

赤の組み合わせでは
 平均値の差が有意

最小2乗平均差のStudentのt検定
 $\alpha = 0.050$ $t = 2.16037$

最小2乗平均[j]

平均[i]-平均[j]	A0	A1	A2	A3	A4
差の標準誤差					
差の下側信頼限界					
差の上側信頼限界					
A0	0	-3	-7	-12	-5
	0	2.27021	2.27021	2.27021	2.27021
	0	-7.9045	-11.904	-16.904	-9.9045
	0	1.90449	-2.0955	-7.0955	-0.0955
A1	3	0	-4	-9	-2
	2.27021	0	2.62141	2.62141	2.62141
	-1.9045	0	-9.6632	-14.663	-7.6632
	7.90449	0	1.66321	-3.3368	3.66321

●繰り返し数が異なる場合の解析方法

Excelを用いた解析方法の説明：水準平均 = 総平均 + 効果

効果の条件は、各水準の重み付き平均の和が 0

繰り返し数が等しい場合と同様に、繰り返し数が異なる場合の解析方法を説明できる

$$\sum_{i=1}^a n_i a_i = 0$$

JMP で用いられている解析方法：水準平均 = 切片 + 効果

切片は、水準の平均値を平均した値

効果の条件は、各水準の平均の和が 0

ダミー変数による回帰分析

→ [§2.3](#) 「ダミー変数による質的因子の効果の推定」 p.97

2 因子実験で、水準がアンバランスなケースでも利用可能な解析方法

→ §3.4以降で順次解説

$$\sum_{i=1}^a a_i = 0$$

- 積極的に繰り返し数を変えた実験

この実験計画はあまり知られていない
記憶に止め、有効に利用

- JMP の [比較円] の利用

繰り返し数が異なる場合でも、水準間に有意差があるかどうかの判断に役立つ
「すばらしいアイデア」

人の考えたことのすばらしさを理解できることは、自分がアイデアを生み出すための原動力

- Excel の計算表

表示1.2.1 は、1 因子実験の基本的な計算表

繰り返し数が等しい場合、繰り返し数が異なる場合に使用して有用である



- 作成 片瀬雅彦
- 監修 松本一彦、長谷文雄
- 作成時期 2019年6月22日
- 改訂 2020年3月14日、2023年9月5日