

5.2 多重比較の実際

5.2.1 テューキーのHSD法

例題1：テューキーのHSD法による多重比較

次のデータ（先の数値例）を使って、どの水準間の母平均に差があるかを検定する。

一元配置実験のデータ

A1	A2	A3	A4
18.5	17.2	26.1	32.5
16.4	23.9	21.3	32.1
23.4	18.7	23.6	25.9
19.8	23.1	29.7	25.5

データの入力

```
> A1 <- c(18.5, 16.4, 23.4, 19.8)
> A2 <- c(17.2, 23.9, 18.7, 23.1)
> A3 <- c(26.1, 21.3, 23.6, 29.7)
> A4 <- c(32.5, 32.1, 25.9, 25.5)
> MYDATA <- data.frame(A=factor(c(rep("A1", 4), rep("A2", 4), rep("A3", 4),
+ rep("A4", 4))), y=c(A1, A2, A3, A4))
```

テューキーのHSD法のための関数

```
> TukeyHSD(aov(y~A, data=MYDATA))
```

テューキーのHSD法を実施するためには、`TukeyHSD()` という関数を利用する。引数は関数 `aov()` による分散分析の結果を用いる。

多重比較の結果

```
Tukey multiple comparisons of means
95% family-wise confidence level
```

```
Fit: aov(formula = y ~ A, data = MYDATA)

$A
      diff      lwr      upr    p adj
A2-A1 1.200 -5.988545  8.388545 0.9585528
A3-A1 5.650 -1.538545 12.838545 0.1446383
A4-A1 9.475  2.286455 16.663545 0.0096075
A3-A2 4.450 -2.738545 11.638545 0.3036827
A4-A2 8.275  1.086455 15.463545 0.0228708
A4-A3 3.825 -3.363545 11.013545 0.4249118
```

p 値が0.05以下で有意となっている組み合わせは、次のとおりであることがわかる。

有意な組み合わせ

組み合わせ	p 値
A4とA1	0.0096075
A4とA2	0.0228708

A4はA1およびA2と有意な差があるといえる。

5.2.2 ボンフェローニ法とホルム法

例題2：ボンフェローニ法とホルム法による多重比較

例題1と同じデータを使って、ボンフェローニ法とホルム法で多重比較を行う。

4つの素材の強度

A1	A2	A3	A4
18.5	17.2	26.1	32.5
16.4	23.9	21.3	32.1
23.4	18.7	23.6	25.9
19.8	23.1	29.7	25.5

データの入力

```
> A1 <- c(18.5, 16.4, 23.4, 19.8)
```

```
> A2 <- c(17.2, 23.9, 18.7, 23.1)
> A3 <- c(26.1, 21.3, 23.6, 29.7)
> A4 <- c(32.5, 32.1, 25.9, 25.5)
> DATAY <- c(A1, A2, A3, A4)
> DATAX <- c(rep("A1", 4), rep("A2", 4), rep("A3", 4), rep("A4", 4))
```

ボンフェローニ法とホルム法では分散分析の結果を引用するわけではないので、例題1のようにデータのフレーム化は行っていない。

ボンフェローニ法のための関数

```
> pairwise.t.test(DATAY, DATAX, p.adj="bonferroni")
```

t 検定を複数用いる多重比較では、`pairwise.t.test()`という関数を用いる。引数として「測定値のデータセット名」、「因子変数名」、「 p 値の調整方法」を順に指定する。 p 値の調整方法は「`p.adj="〇〇〇"`」の形で指定する。ボンフェローニ法のときには「`p.adj="bonferroni"`」と記述する。

ホルム法のための関数

```
> pairwise.t.test(DATAY, DATAX, p.adj="holm")
```

ホルム法のときには「`p.adj="holm"`」と記述する。

多重比較の結果

①ボンフェローニ法

```
Pairwise comparisons using t tests with pooled SD

data:  DATAY and DATAX

      A1      A2      A3
A2 1.000 -      -
A3 0.227 0.546 -
A4 0.012 0.031 0.841

P value adjustment method: bonferroni
```

A4とA1の p 値が0.012、A4とA2の p 値が0.031となっており、有意な差があることがわかる。

②ホルム法

```
Pairwise comparisons using t tests with pooled SD

data:  DATAY and DATAX

      A1      A2      A3
A2 0.629 -      -
A3 0.151 0.273 -
A4 0.012 0.026 0.280

P value adjustment method: holm
```

A4とA1の p 値が0.012、A4とA2の p 値が0.026となっており、有意な差があることがわかる。

このほかに、ホメル (Hommel) 法、ホッチバーグ (Hochberg) 法と呼ばれる方法もあり、Rで実施することができる。以下に、実施例を示す。

```
> pairwise.t.test(DATAY, DATAX, p.adj="hommel")

Pairwise comparisons using t tests with pooled SD

data:  DATAY and DATAX

      A1      A2      A3
A2 0.629 -      -
A3 0.151 0.210 -
A4 0.012 0.026 0.280

P value adjustment method: hommel
```

```
> pairwise.t.test(DATAY, DATAX, p.adj="hochberg")

Pairwise comparisons using t tests with pooled SD
```

```
data: DATAY and DATAX
```

```

      A1      A2      A3
A2 0.629 -      -
A3 0.151 0.273 -
A4 0.012 0.026 0.280

```

```
P value adjustment method: hochberg
```

5.2.3 ダネット法

例題3：ダネット法による多重比較

データは、これまでと同じものを使う。

一元配置実験のデータ

A1	A2	A3	A4
18.5	17.2	26.1	32.5
16.4	23.9	21.3	32.1
23.4	18.7	23.6	25.9
19.8	23.1	29.7	25.5

A1を従来材料、A2、A3、A4を改良材料として、

A1とA2

A1とA3

A1とA4

の母平均に関する有意差検定を行うことを考える。

このように、すべての組み合わせに興味があるのではなく、1つの対照群（従来材料：A1）があり、それとほかの複数の処置群（改良材料：A2、A3、A4）との比較に興味があるような状況では、ダネット法による多重比較を適用する。

データの入力

```
> A1 <- c(18.5, 16.4, 23.4, 19.8)
```

```
> A2 <- c(17.2, 23.9, 18.7, 23.1)
> A3 <- c(26.1, 21.3, 23.6, 29.7)
> A4 <- c(32.5, 32.1, 25.9, 25.5)
> MYDATA <- data.frame(A=factor(c(rep("A1", 4), rep("A2", 4), rep("A3", 4),
+ rep("A4", 4))), y=c(A1, A2, A3, A4))
```

ダネット法のための関数

```
> res1 <- aov(y~A, data=MYDATA)
> library(multcomp)
> res2 <- glht(res1, linfct=mcp(A="Dunnett"))
> summary(res2)
```

ダネット法を実施するときの要点は次のとおりである。

- ① 関数 `aov()` を使って、分散分析を実施する。
- ② その結果を `res1` というオブジェクトに格納する。
- ③ `multcomp` ライブラリをロードする。
- ④ 関数 `glht()` の第1引数として「`res1`」を渡す。`glht()` は一般線形仮説 (general linear hypotheses) と多重比較のための関数である。
- ⑤ 関数 `glht()` の第2引数を「`linfct=mcp(因子名="Dunnett")`」とする。
- ⑥ その結果を `summary()` で表示させる。

多重比較の結果

```
Simultaneous Tests for General Linear Hypotheses

Multiple Comparisons of Means: Dunnett Contrasts

Fit: aov(formula = y ~ A, data = MYDATA)

Linear Hypotheses:

            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
A2 - A1 == 0    1.200      2.421   0.496  0.92527
A3 - A1 == 0    5.650      2.421   2.333  0.09205 .
A4 - A1 == 0    9.475      2.421   3.913  0.00562 **
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

(Adjusted p values reported -- single-step method)

処置群の中のA4が対照群A1と有意な差がある (p 値 = 0.00562) ということが示されている。