

# 初學 語言的 60 分鐘

廖鎮磐 <[andrew.43@gmail.com](mailto:andrew.43@gmail.com)>

東海大學生命科學系

2015 年台灣生態研究網年會

2015 年 3 月 14 日於蓮華池研究中心



© 2015 廖鎮磐 (Chen-Pan Liao)

本文件採用姓名標示-相同方式分享 4.0 國際授權 (CC BY-SA 4.0)。<sup>1</sup>

歡迎下載本投影片及資料檔案。<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 詳情請見 [http://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/deed.zh\\_TW](http://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/deed.zh_TW)。

<sup>2</sup> [https://www.dropbox.com/sh/7p9cluglptyk25a/AAAmPWrsMVf\\_tC9-cL4JSscCa?dl=0](https://www.dropbox.com/sh/7p9cluglptyk25a/AAAmPWrsMVf_tC9-cL4JSscCa?dl=0)

# 大綱

- 1 R 簡介與操作環境
- 2 R 的函數
- 3 資料的讀取與整理
- 4 統計分析與繪圖
- 5 學習心得與討論資源
- 6 試練窟

# 大綱

- 1 R 簡介與操作環境
- 2 R 的函數
- 3 資料的讀取與整理
- 4 統計分析與繪圖
- 5 學習心得與討論資源
- 6 試練窟

# 今天主題.....

## 目標

- 不怕害使用 R 這類以文字指令進行的工作方式。
- 如何自己救自己。
- 如何請別人救自己。
- 實作一些常見的統計分析與繪圖。

## 預設聽眾

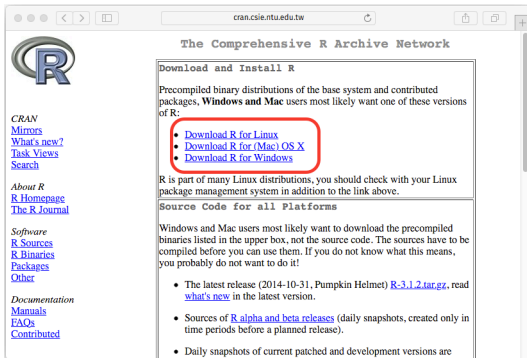
- 修過至少 3 學分的統計學。
- 從沒使用過 R 或其它統計軟體。
- 從沒學過任何程式語言。

# R 的特色

- 自由、免費、跨平台。
- 是一種「程式語言」，像 Python、Perl、JAVA 等。
- 是一種「統計工具」，像 SAS、SPSS 等。
- 強大的視覺化工具，畫專業的圖，但需要經驗。
- 套件豐富，不同自己重新寫程式。

# 安裝 R 語言

- 1 到達 <http://www.r-project.org/>
- 2 點選 Download, Packages (CRAN)
- 3 選擇作業平台



# 選用適當的 R 程式編輯器

- 建議以純文字編輯器撰寫 R 程式碼，並儲存成「.R」檔。
- 「語法多色支援」、「語法提示」、「即時執行」等功能，增加撰寫效率。
- 支援 R 語言的編輯器很多，有興趣請自行試用。

**RStudio** 強大、整合性高、專為 R 程式員設計。<sup>3</sup>  
**Notepad++** 老字號的純文字編輯器，有和 R 相配合的外掛。<sup>4</sup>  
**Atom** 與 GitHub 配合度高。<sup>5</sup>

---

<sup>3</sup> <http://www.rstudio.com/>

<sup>4</sup> <http://notepad-plus-plus.org/>

<sup>5</sup> <https://atom.io/>

## 初次見面：R 是計算機

```
> 2.4 + 42      > a <- 1      > m <- c(3, 6, 4)
[1] 44.4         > a         > n <- c(1, 2, 3)
> 4 ^ 2         [1] 1         > m + n
[1] 16           > 1 -> b      [1] 4 8 7
> sqrt(100)     > b         > m - n
[1] 10           [1] 1         [1] 2 4 1
> 100 ^ 0.5     > a + b      > m * n
[1] 10           [1] 2         [1] 3 12 12
                > m / n
                [1] 3.000 3.000 1.333
```



# 大綱

- 1 R 簡介與操作環境
- 2 R 的函數**
- 3 資料的讀取與整理
- 4 統計分析與繪圖
- 5 學習心得與討論資源
- 6 試練窟

# 什麼是程式語言的函數 (function)

- 程式語言的函數提供一個特定的功能，可以輸入引數（輸入值）並取得回傳值（輸出值）。
- 操作 R 的過程，幾乎就是使用各種 function 的過程。

## 使用某函數的語法通則

函數名(第一引數名 = 某值, 第二引數名 = 某值, ...)

- 試試看 `seq(from = 0, to = 9)` 的回傳值是什麼？
- 用中文說明上面的程式：「在 `seq()` 這個 function 中，第一個引數名為 `from`，表示起始值，其值為 0；第二個引數名為 `to`，表示終點值，其值是 9。」

# 函數的使用手冊

- 觀看某個函數的使用手冊： `?函數名` 或 `help(函數名)`。
- 請看看 `?seq`。
- 使用手冊中都有以下資訊：

**Description** 函數的功能。

**Usage** 基本語法，包括了引數的順序和預設值。

**Arguments** 引數的細節。

**Details** 函數的詳細內容。

**Value** 回傳值的內容。

**See Also** 其它相關的函數。

**Examples** 使用範例。

# 引數的預設值

## seq() 的基本語法

```
seq(from = 1, to = 1, ...)
```

- 在使用手冊中可以看出：  
第一個引數 `from` 的預設值是 1。  
第一個引數 `to` 的預設值是 1。
- 使用者未定義時採用的值，就是預設值。
- 方便快速使用。
- 例如：  
`seq(from = 10)` 和  
`seq(from = 10, to = 1)` 是相等的。

# 引數的順序

## seq() 的基本語法

```
seq(from = 1, to = 1, ...)
```

- 當明確指定引數名時，引數的順序無所謂。例如：  
`seq(from = 0, to = 9)` 和  
`seq(to = 9, from = 0)` 同義。
- 當引數的順序與該函數要求的順序相同時，可以省略引數名。例如：  
`seq(from = 0, to = 9)` 可以省略為  
`seq(0, 9)` 的形式。

# 引數的綜合練習

## seq() 的基本語法

```
seq(from = 1, to = 1, ...)
```

試回答下列程式的回傳值為何？

- `seq(from = 3, to = 1)`
- `seq(3, to = 1)`
- `seq(from = 3, 1)`
- `seq(3, 1)`
- `seq(to = 1, from = 3)`

## Q&A 的時間又到囉

Q 成千上萬的函數哪學得完？

A 不用學完！沒人學得完！學常用的就好。

Q 函數的使用手冊看不懂耶。

A 我也常看不懂。儘量看，多嘗試，特別是 Example 部份。

Q 如何找能做某件事的函數？

A 請 Google 大神幫你找最快。真的。

# 大綱

- 1 R 簡介與操作環境
- 2 R 的函數
- 3 資料的讀取與整理**
- 4 統計分析與繪圖
- 5 學習心得與討論資源
- 6 試練窟



# 檔案下載

- ① 至 <http://goo.gl/YRC0aN> 下載以下三個檔案。  
2015RforBeginnerSlide.pdf 本投影片  
exam.xlsx 例範資料  
text.xlsx 練習資料
- ② 在 C disk 下創建一個 LearnR2015 資料夾，並將三個檔案置入該資料夾中。

## 讀取 CSV 資料檔案

- ① 開啓 `exam.xlsx`，注意第一列必需有一列「變數名」。
- ② 另存新檔 → 檔名為「exam」，類型為「CSV」，儲存在相同資料夾中。
- ③ `getwd()` 顯示目前 R 所在的路徑。
- ④ `setwd("C:/LearnR2015")` 到達該資料夾。
- ⑤ `dt <- read.csv("exam.csv")` 或是  
`dt <- read.csv("C:/LearnR2015/exam.csv")` 以讀取該檔成為一個資料框 (data frame)，並取名為 `dt`。

## 提取特定變數（欄）

dt 的結果是什麼？

```
> dt
  ID Gender Group Literature Science
1 23      m    A          36      63
...
```

如何取得 Science 變數？直接輸入 Science 是不行的，因為它是在 dt 裡的變數。

- dt\$Science 意思是「dt 裡的 Science 變數」
- dt[, 5] 意思是「dt 裡的第 5 欄變數」
- attach(dt) 可使 dt 的所有變數傳至表層。

## 提取特定重覆數（列）

- `dt[3 , ]`  
取得 dt 裡的第 3 列變數
- `dt[c(3, 6) , ]`  
取得 dt 裡的第 3 及第 6 列變數
- `subset(dt, Gender == "m")`  
取得 Gender 是 m 的資料。
- `subset(dt, Science >= 60)`  
取得 Science 大於等於 60 的資料。

## Q&A 的時間又到囉

Q 可否直接讀取 `xlsx` 檔？

A 可以！請日後自行研究 `xlsx` 這個套件。

Q 中文資料怎麼辦？

A 資料中有中文可能是件麻煩事，都可以解決，但初學者還是避免比較方便。

Q 可不可以資料排序？

A 可以！請日後自行研究 `order()` 和 `sort()`。

# 大綱

- 1 R 簡介與操作環境
- 2 R 的函數
- 3 資料的讀取與整理
- 4 統計分析與繪圖**
- 5 學習心得與討論資源
- 6 試練窟

# 描述性統計

## 常見的描述性統計函數

<code>length(dt\$Science)</code>	#個數
<code>mean(dt\$Science)</code>	#平均數
<code>sd(dt\$Science)</code>	#標準偏差
<code>quantile(dt\$Science)</code>	#百分位數

如果要求各組的描述性統計呢？使用 `tapply()`。

## `tapply()` 的基本語法

`tapply(變數, 分組因子, 運算函數, ...)`

例如，要計算 Science 在不同 Gender 內的平均數：

`tapply(dt$Science, dt$Gender, mean)`

# 單樣本 $t$ 檢驗 I

目標：檢驗 Science 的平均是否為 60。

## `t.test()` 的基本語法

```
t.test(資料, alternative = "t" 或 "l" 或 "g",  
       mu = 假說平均數, ...)
```

```
> # 雙尾:  
> t.test(dt$Science, alternative = "t", mu = 60)  
> # 右單尾:  
> t.test(dt$Science, alternative = "g", mu = 60)  
> # 左單尾:  
> t.test(dt$Science, alternative = "l", mu = 60)
```



## 單樣本 $t$ 檢驗 II

```
> t.test(dt$Science, mu = 60)
```

One Sample t-test

data: dt\$Science

t = 1.5393, df = 8, p-value = 0.1623

alternative hypothesis: true mean is not equal to 60

95 percent confidence interval:

54.63219 86.92336

sample estimates:

mean of x

70.77778

# 成對樣本 $T$ 檢驗 I

目標：檢驗 Literature 和 Science 差之平均是否為 0。

## `t.test()` 的基本語法

```
t.test(資料1, 資料2,  
       alternative = "t" 或 "l" 或 "g",  
       mu = 假說中配對差的平均數, pair = T, ...)
```

```
> # 預設雙尾；預設平均差為零
```

```
> t.test(dt$Literature, dt$Science, pair = T)
```

## 成對樣本 $T$ 檢驗 II

```
> t.test(dt$Literature, dt$Science, pair = T)
```

Paired t-test

data: dt\$Literature and dt\$Science

t = -4.2126, df = 8, p-value = 0.002945

alternative hypothesis: true difference in means is not equal to 0

95 percent confidence interval:

-17.193365 -5.028857

sample estimates:

mean of the differences

-11.11111

# 獨立雙樣本 $T$ 檢驗 I

目標：檢驗二種 Gender 的 Literature 之平均是否相等。

## `t.test()` 的基本語法

```
t.test(資料一, 資料二, mu = 假說中平均數的差,  
       alternative = "t" 或 "l" 或 "g",  
       var.equal = T 或 F, ...)
```

```
t.test(應變數 ~ 二類類別因子,  
       data = 資料框, ...)
```

```
> t.test(subset(dt, Gender == "m")$Literature,  
+        subset(dt, Gender == "f")$Literature,  
+        var.equal = T)  
> t.test(Literature ~ Gender, data = dt, var.equal = T)
```

## 獨立雙樣本 $T$ 檢驗 II

```
> t.test(Literature ~ Gender, data = dt, var.equal = T)
```

Two Sample t-test

data: Literature by Gender

t = -0.8823, df = 7, p-value = 0.4069

alternative hypothesis: true difference in means is not equal to 0

95 percent confidence interval:

-43.60845 19.90845

sample estimates:

mean in group f mean in group m

54.40

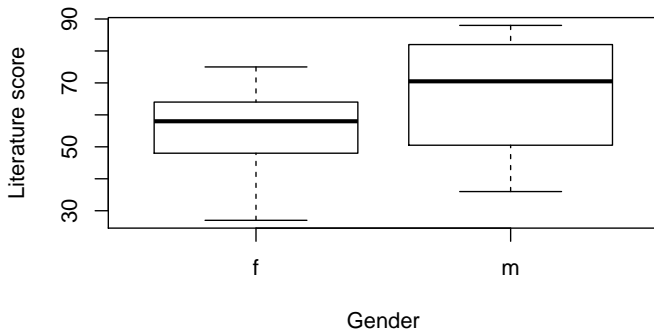
66.25

# 盒形圖

## boxplot() 的基本語法

`boxplot(應變數 ~ 類別因子, data = 資料框, ...)`

```
> boxplot(Literature ~ Gender, data = dt,  
+         ylab = "Literature score", xlab = "Gender")
```



# 單因子變異數分析 I

目標：檢驗三種 Group 的 Literature 之平均是否相等，並進行 Tukey 事後檢驗。

## aov() 和 TukeyHSD() 的基本語法

```
aov(應變數 ~ 三組以上類別自變數,  
     data = 資料框, ...)
```

```
TukeyHSD(aov物件, "分組因子", ...)
```

```
> fit.1 <- aov(Literature ~ Group, data = dt)  
> summary(fit.1) # Type I sum of square  
> TukeyHSD(fit.1, "Group")
```

## 單因子變異數分析 II

```
> fit.1 <- aov(Literature ~ Group, data = dt)
> summary(fit.1)
```

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Group	2	2.7	1.3	0.003	0.997
Residuals	6	3115.3	519.2		

```
> TukeyHSD(fit.1, "Group")
```

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

Fit: aov(formula = Literature ~ Group, data = dt)

\$Group		diff	lwr	upr	p adj
B-A	0.6666667	-56.41875	57.75209	0.9992924	
C-A	1.3333333	-55.75209	58.41875	0.9971738	
C-B	0.6666667	-56.41875	57.75209	0.9992924	

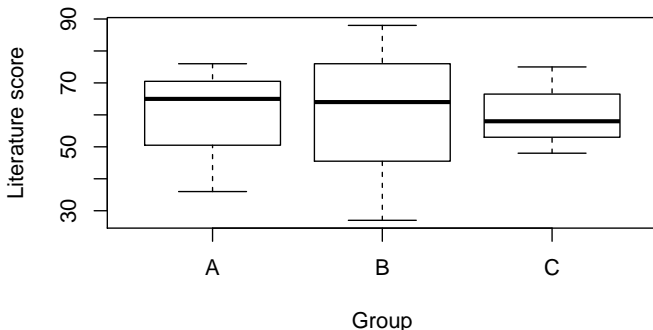


# 盒形圖

## boxplot() 的基本語法

`boxplot(應變數 ~ 類別因子, data = 資料框, ...)`

```
> boxplot(Literature ~ Group, data = dt,  
+         ylab = "Literature score", xlab = "Group")
```



# 簡單線性迴歸 I

目標：建立 Science 對應 Literature 的簡單線性迴歸模型，並檢驗斜率是否為零。

## lm() 的基本語法

`lm(應變數 ~ 連續自變數, data = 資料框, ...)`

```
> fit.2 <- lm(Literature ~ Science, data = dt)
> summary(fit.2)
> anova(fit.2) # Type I sum of square
```

## 簡單線性迴歸 II

```
> fit.2 <- lm(Literature ~ Science, data = dt);  
> summary(fit.2)
```

Call:

```
lm(formula = Literature ~ Science, data = dt)
```

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-16.894	-1.085	2.494	4.269	8.113

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t )
(Intercept)	-1.9625	9.8294	-0.200	0.847422
Science	0.8707	0.1337	6.511	0.000331 ***
---				

Residual standard error: 7.946 on 7 degrees of freedom

Multiple R-squared: 0.8583, Adjusted R-squared: 0.838

F-statistic: 42.39 on 1 and 7 DF, p-value: 0.0003308

## 簡單線性迴歸 III

```
> anova(fit.2)
```

### Analysis of Variance Table

Response: Literature

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Science	1	2676.08	2676.08	42.389	0.0003308 ***
Residuals	7	441.92	63.13		

# 簡單線性相關 I

目標：計算 Science 與 Literature 的簡單線性相關係數是否為零。

## `cor.test()` 的基本語法

```
cor.test(資料一, 資料二,  
         alternative = "t" 或 "l" 或 "g", ...)  
cor.test(~ 資料一 + 資料二, data = 資料框, ...)
```

```
> cor.test(dt$Literature, dt$Science)  
> cor.test(~ Literature + Science, data = dt)  
> cor.test(~ Science + Literature, data = dt)
```

## 簡單線性相關 II

```
> cor.test(dt$Literature, dt$Science)
```

```
Pearson's product-moment correlation
```

```
data: dt$Literature and dt$Science
```

```
t = 6.5107, df = 7, p-value = 0.0003308
```

```
alternative hypothesis: true correlation is not equal to 0
```

```
95 percent confidence interval:
```

```
0.6817766 0.9847014
```

```
sample estimates:
```

```
cor
```

```
0.9264278
```

# 散佈圖 I

## coef() 的基本語法

```
coef(lm物件, ...) # 取出各迴歸係數
```

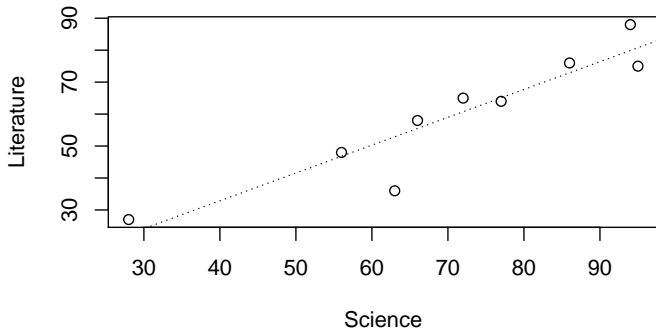
## plot.formula() 和 abline() 的基本語法

```
plot(縱軸資料 ~ 橫軸資料, data = 資料框, ...)⁶  
abline(a = coef(迴歸物件)[1],  
       b = coef(迴歸物件)[2],  
       lty, col, ...) # 畫上迴歸線
```

```
> plot(Literature ~ Science, data = dt)  
> abline(a = coef(fit.2)[1], b = coef(fit.2)[2], lty = 3)
```

## 散佈圖 II

```
> plot(Literature ~ Science, data = dt)  
> abline(a = coef(fit.2)[1], b = coef(fit.2)[2], lty = 3)
```



---

<sup>6</sup> `plot.formula()` 可簡寫成 `plot()`。



## Q&A 的時間又到囉

Q 我怎麼知道我做對了？

A 拿出你的統計學課本的例題，用 R 做做看。

Q R 畫的圖想做更多調整……

A1 這件工作不是非常容易，需要經驗。有空看看 `par()` 和 `plot()` 的使用手冊。

A2 初學者可以先用 R 畫個大概的樣子，再以其它圖片編輯軟體後製。參考 `png()`、`pdf()`、`svg()` 等方法來輸出圖檔。

# 大綱

- 1 R 簡介與操作環境
- 2 R 的函數
- 3 資料的讀取與整理
- 4 統計分析與繪圖
- 5 學習心得與討論資源**
- 6 試練窟

# 阿盤的個人學習心得

- 修習使用 R 的課。
- 多「玩」。把函數裡的 Example 玩一玩、改一改。
- 肯問人。逛逛網路教學和論壇。
- 買（可能不只一本）書。
- 拿出統計學課本的例題，用 R 做做看。
- 做過的程式碼要建檔，方便日後使用。
- 卡關時，先用英文問 Google 大神。
- 做出答案時，不要直接相信這是正解，應該以專業人士、書籍、網頁資料驗證。

## 中文書籍推薦

繁體中文書非常少，但簡體中文書不少。去圖書館或書局翻翻。能看懂有收穫就有參考價值。初學程式語言者應該都需要一本。

- 《R 軟體：應用統計方法》陳景祥著，東華出版社。  
對初學者很有幫助的一本。R 語言和統計學併重。
- 《R 錦囊妙計》Paul Teetor 著，張夏菁譯，歐萊禮出版社。  
前半本內容是 R 語言，後半本是以 R 進行統計工作。
- 《R 语言实用教程》薛毅、陈立萍著，清华大学出版社。
- 《统计建模与 R 软件》薛毅、陈立萍著，清华大学出版社。  
以數理統計為主，R 語言實作為輔。

## 英文書籍推薦

英文書選擇極多。我推薦以下幾本我喜歡或值得閱讀的。

- “Biostatistical Design and Analysis Using R: A Practical Guide” by Murray Logan.  
Wiley-Blackwell Press.  
實驗設計和 R 並重，非常推薦。
- “The R Book, 2nd Edition” by Michael J. Crawley.  
Wiley Press.  
較不易閱讀，但仍值得細讀。R 語言和統計併重。
- “A First Course in Statistical Programming with R” by W. John Braun & Duncan J. Murdoch.  
Cambridge University Press.  
易讀。統計學基礎內容為主，但實驗設計部份少。

# 網路教學

- 《R 演習室》 @ youtube.com<sup>7</sup>  
針對初學者的 R 視訊教學系列。有廣告（歡迎多看幾秒），但有提供影片載點。
- “Quick-R” by Robert I. Kabacoff<sup>8</sup>
- 請自行 Google 「R tutorial」，實在太多了。
- 中文教學網頁極少，還是找英文的比較實在。

---

<sup>7</sup> <https://www.youtube.com/playlist?list=PL5AC0ADBF65924EAD>

<sup>8</sup> <http://www.statmethods.net/>

# 網路討論區

- PTT 的 R\_Language 板  
路徑：戰略高手 → CompScience → R\_Language  
對初學者友善。
- R 軟體使用者論壇<sup>9</sup>
- Tag “R” @ stackoverflow.com<sup>10</sup>

---

<sup>9</sup> <https://groups.google.com/forum/?hl=zh-TW#!forum/taiwanruser>

<sup>10</sup> <http://stackoverflow.com/questions/tagged/r>

# R 的套件

## 什麼是套件 (package)?

安裝在 R 系統裡的外掛，讓你「不用重新造輪子」。

## 如何安裝、更新及引入套件？

- 連上網路之後，輸入 `install.packages("套件名稱")` 可以安裝某套件
- 在已安裝某套件之後，輸入 `library(套件名稱)` 可引入該套件，之後才可以使用它的功能。
- 連上網路之後，輸入 `update.packages()` 可以更新所有已安裝套件。



# R 的官方套件庫

R 官方收錄有六千多個的套件,<sup>11</sup> 可直接以 `install.packages()` 安裝。

## 我常用的套件

- (一般／廣義) 線性模型: `gmodels`、`lmtest`、`aod`
- 混合模型: `lme4`、`nlme`、`MCMCglmm`
- 蒙地卡羅、隨機化: `permute`、`boot`
- 多變量、群落生態、生物多樣性: `vegan`

---

<sup>11</sup> [http://cran.r-project.org/web/packages/available\\_packages\\_by\\_name.html](http://cran.r-project.org/web/packages/available_packages_by_name.html)

## Q&A 的時間又到囉

Q 如何找能做某件事的套件？

A 請 Google 大神幫你找最快。真的。

Q 阿盤學多久才叫「上手」、「有生產力」？

A 自學半年以上，但我今天就要把八成功力都傳給你了！

Q 聽到這裡，我想認輸了…… 我想重回用滑鼠搞定的世界。

A 只要是適合自己的工具，就是好工具。

## 今日的總複習

- 建立一個（適合自己的）R 工作環境
- 了解 R 的函數與如何閱讀其使用手冊
- R 如何讀取並整理資料
- 練習常見的統計方法
- 讓自己更厲害的資源

```
> cat("Have wonderful R experiences!\n")  
> q()
```

# 大綱

- 1 R 簡介與操作環境
- 2 R 的函數
- 3 資料的讀取與整理
- 4 統計分析與繪圖
- 5 學習心得與討論資源
- 6 試練窟

## 按今日課程試著完成以下練習

- 1 想辦法以 R 讀取 `nation-data.xlsx` 的內容並命名為 `mydt0` 資料框。以檔案中所有國家為樣本完成以下分析。
- 2 利用配對樣本  $T$  檢驗，考驗 `Mortality.rate.child` 之平均是否顯著高於 `Mortality.rate.newbornnbs` 之平均。  
提示：不是雙尾檢驗。
- 3 以 `GDP.10000nbs` 為組別，計算 `HIV.ratenbs` 在各組的平均值和標準偏差，並利用獨立雙樣本  $T$  檢驗比較組間的平均是否顯著不等，以及繪製對應的盒形圖。
- 4 以 `Continentnbs` 為組別，計算 `Age.avenbs` 在各組的平均值和標準偏差，並利用單因子變異數分析比較組間的平均差異是否顯著不等，以及繪製對應的盒形圖。
- 5 以 `HIV.ratenbs` 為反應變數（應變數），`Age.avenbs` 為解釋變數（自變數），建立簡單線性迴歸模型，並檢驗斜率及相關係數是否顯著不為零，以及繪製對應之散佈圖。

以下是參考解答

防雷一下

# 參考解法 I

讀入 CSV 檔：

```
> setwd("somewhere") # 更變目前路徑
> mydt0 <- read.csv("nation-data.csv") # 讀檔
> mydt0
```

	Nation	Continent	HIV.rate	Age.ave	Mortality.rate.child	...
1	Algeria	1Africa	0.10	72.904	18.090586	...
2	Morocco	1Africa	0.10	71.882	13.156450	...
3	Zambia	1Africa	13.50	48.513	105.545396	...
	...	...	...	...	...	...
71	Slovak Republic	4Europe	0.06	75.242	4.203745	...
72	Latvia	4Europe	0.70	73.039	4.064162	...

## 參考解法 II

```
> names(mydt0) # 查看變數名
```

```
[1] "Nation"      "Continent"    "HIV.rate"  
[4] "Age.ave"     "Mortality.rate.child" "Mortality.rate.newborn"  
[7] "GDP.10000"
```

```
> dim(mydt0) # 查看列數與欄數
```

```
[1] 72 7
```



## 參考解法 III

對 Mortality.rate.childnbs 和  
Mortality.rate.newbornnbs 的配對樣本  $T$  檢驗:

```
> x.1 <- mydt0$Mortality.rate.child  
> x.2 <- mydt0$Mortality.rate.newborn  
> t.test(x.1, x.2, paired = T, alternative = "g")  
> t.test(x.2, x.1, paired = T, alternative = "l") # 也可
```

Paired t-test

data: x.1 and x.2

t = 2.1011, df = 71, p-value = 0.01959

alternative hypothesis: true difference in means is greater than 0

95 percent confidence interval:

0.8812246            Inf

sample estimates:

mean of the differences

4.260981

註：參考使用無母數方法 one-sample Wilcoxon test `wilcox.test(..., paired = T)`。

## 參考解法 IV

以 GDP.10000nbs 分組對 HIV.ratenbs 之描述:

```
> tapply(mydt0$HIV.rate, mydt0$GDP.10000, mean))  
> with(mydt0, {tapply(HIV.rate, GDP.10000, mean)}) # 亦可
```

high	low
0.286087	1.213061

```
> with(mydt0, {tapply(HIV.rate, GDP.10000, sd)} )
```

high	low
0.3095707	2.7004554

## 參考解法 v

以 GDP.10000nbs 分組對 HIV.ratenbs 之獨立雙樣本  $T$  檢驗：

```
> t.test(HIV.rate ~ GDP.10000,
         data = mydt0, var.equal = T)
```

Two Sample t-test

data: HIV.rate by GDP.10000

t = -1.6351, df = 70, p-value = 0.1065

alternative hypothesis: true difference in means is not equal to 0

95 percent confidence interval:

-2.0576478 0.2036993

sample estimates:

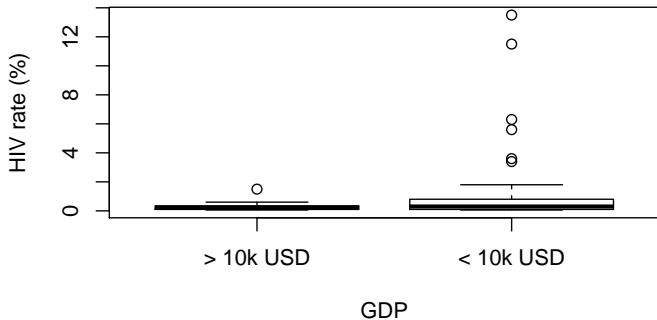
mean in group high	mean in group low
0.286087	1.213061

註：此例使用 `t.test(..., var.equal = F)`nbs 可能較恰當 (因為二組的變方差距不小)，甚至參考使用無母數方法 two-sample Wilcoxon test `wilcox.test()`nbs 或 two-sample Kolmogorov-Smirnov test `ks.test()`。

## 參考解法 VI

以 GDP.10000nbs 分組對 HIV.ratenbs 之盒形圖:

```
> boxplot(HIV.rate ~ GDP.10000, data = mydt0,  
+         xlab = "GDP", ylab = "HIV rate (%)",  
+         xaxt = "n")  
> axis(1, 1:2, label = c("> 10k USD", "< 10k USD"))
```



## 參考解法 VII

以 Continent 分組對 Age.ave 之描述:

```
> with(mydt0, {tapply(Age.ave, Continent, mean)})
```

```
1Africa 2America    3Asia  4Europe  
61.11923 74.48475 72.31782 77.37283
```

```
> with(mydt0, {tapply(Age.ave, Continent, sd)})
```

```
1Africa 2America    3Asia  4Europe  
9.308895 4.014003 6.383229 3.820449
```

## 參考解法 VIII

以 Continent 分組對 Age.ave 進行單因子變異數分析：

```
> f.anova <- aov(Age.ave ~ Continent, data = mydt0)
> summary(f.anova)
```

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Continent	3	2439	813.0	24.12	9.66e-11 ***
Residuals	68	2292	33.7		

註：此例之間變方甚不同質，故以 `oneway.test(Age.ave ~ Continent, data = mydt0)` 進行組間變方不同質之修正，或是以 `kruskal.test(Age.ave ~ Continent, data = mydt0)` 進行 Kruskal-Wallis rank sum test，可能較洽當。

## 參考解法 IX

Tukey 事後檢驗：

```
> TukeyHSD(f.anova, "Continent")
```

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

```
Fit: aov(formula = Age.ave ~ Continent, data = mydt0)
```

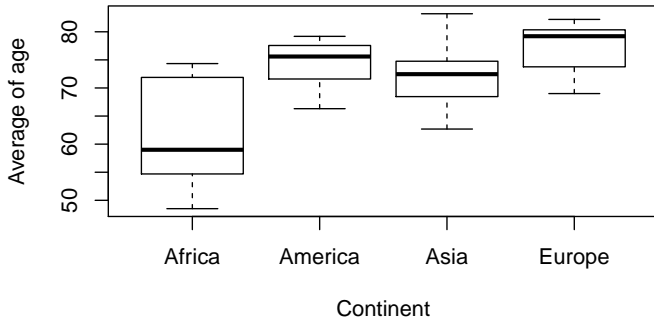
```
$Continent
```

	diff	lwr	upr	p adj
2America-1Africa	13.365519	7.2440030	19.487035	0.0000014
3Asia-1Africa	11.198593	5.5646064	16.832579	0.0000102
4Europe-1Africa	16.253603	11.1760641	21.331141	0.0000000
3Asia-2America	-2.166926	-7.9324031	3.598550	0.7556740
4Europe-2America	2.888083	-2.3349728	8.111139	0.4693185
4Europe-3Asia	5.055010	0.4129029	9.697117	0.0275116

## 參考解法 x

以 Continent 分組對 Age.ave 繪製盒形圖：

```
> boxplot(Age.ave ~ Continent, data = mydt0,  
+         xlab = "Continent", ylab = "Average of age",  
+         xaxt = "n")  
> axis(1, 1:4,  
+      label = c("Africa", "America", "Asia", "Europe"))
```





## 參考解法 XI

HIV.rate vs Age.ave 的簡單線性迴歸：

```
> fit.reg <- lm(HIV.rate ~ Age.ave, data = mydt0)
> summary(fit.reg)
```

```
Call:
lm(formula = HIV.rate ~ Age.ave, data = mydt0)
Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-2.6995 -0.8609 -0.0631  0.7118  7.8572
Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept) 15.09700    1.73463   8.703 9.27e-13 ***
Age.ave      -0.19488    0.02369  -8.225 7.03e-12 ***
---
Residual standard error: 1.63 on 70 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.4915, Adjusted R-squared:  0.4842
F-statistic: 67.65 on 1 and 70 DF,  p-value: 7.027e-12
```

註：考慮應變數轉型  $\text{lm}(\sqrt{\text{HIV.rate} + 1} \sim \text{Age.ave}, \dots)$  或自變數包括二次式  $\text{lm}(\text{HIV.rate} \sim \text{Age.ave} + \text{I}(\text{Age.ave}^2), \dots)$ 。

## 參考解法 XII

HIV.rate vs Age.ave 的簡單線性相關：

```
> cor.test( ~ HIV.rate + Age.ave, data = mydt0)  
> cor.test(mydt0$HIV.rate, mydt0$Age.ave) # 亦可
```

Pearson's product-moment correlation

```
data: mydt0$HIV.rate and mydt0$Age.ave  
t = -8.2253, df = 70, p-value = 7.027e-12  
alternative hypothesis: true correlation is not equal to 0  
95 percent confidence interval:  
 -0.8024053 -0.5604066  
sample estimates:  
      cor  
-0.7010578
```

註：考慮無母數相關 `cor.test(..., method = "kendall")` 或 `cor.test(..., method = "spearman")`。

## 參考解法 XIII

HIV.rate vs Age.ave 的散佈圖:

```
> plot(HIV.rate ~ Age.ave, data = mydt0,  
+       xlab = "Average of age", ylab = "HIV rate (%)")  
> abline(a = coef(fit.reg)[1], b = coef(fit.reg)[2],  
+       lty = 2, col = 6)
```

