初學  語言的120分鐘

廖鎮磐 <andrew.43@gmail.com>
東海大學生命科學系

[1] http://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/deed.zh_TW。

大綱

R 簡介與操作環境

R 的函數

資料的讀取與整理

統計分析與繪圖

學習心得與討論資源

試練窟

大綱

R 簡介與操作環境

R 的函數

資料的讀取與整理

統計分析與繪圖

學習心得與討論資源

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

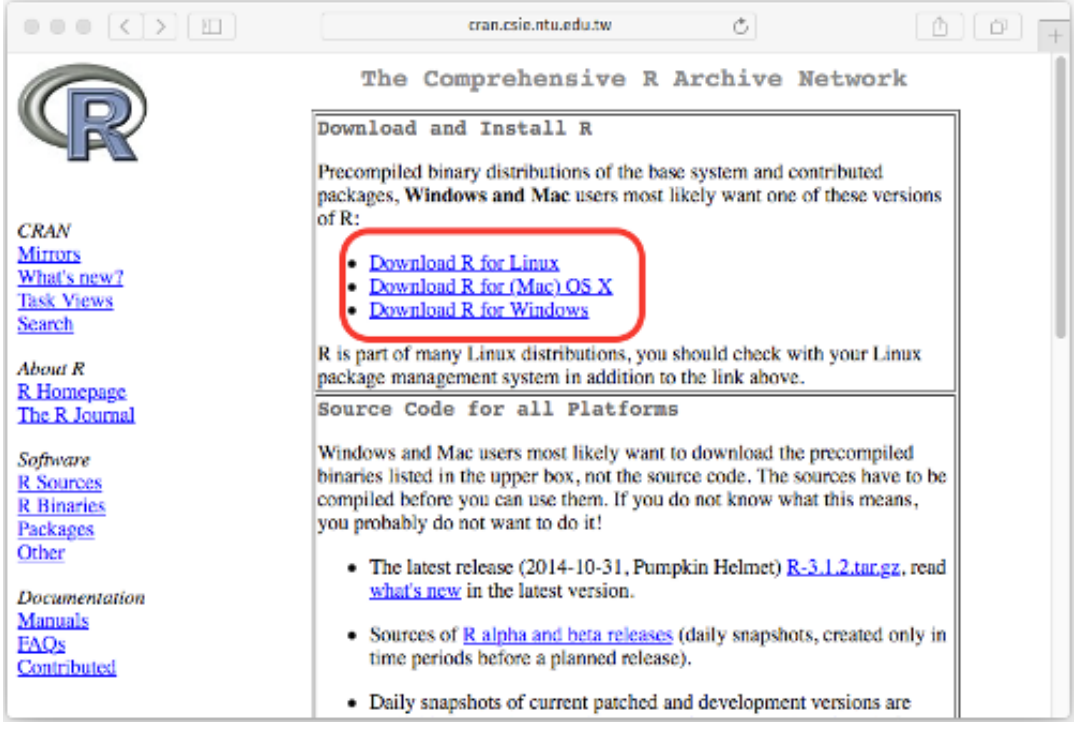
- 修過至少 3 學分的統計學。
- 從沒使用過 R 或其它統計軟體。
- 從沒學過任何程式語言。

R 的特色？為什麼我選擇 R？

- 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

- 不要只是在 R 的命令列輸入 R 指令。建議以純文字編輯器撰寫 R 程式碼，並儲存成「.R」檔，供未來始用時參考。
- 「語法多色支援」、「語法提示」、「即時執行」等功能的編輯器，增加撰寫效率。

```
a <- c(1,2,3); b <- "Hello, world!"
```

RStudio 目前最流行的 IDE，跨平台，支援功能多。[2]

Tinn-R 老字號的 R IED。[3]

Notepad++ 老字號的純文字編輯器，有和 R 相配合的外掛 NppToR。[4]

Atom + language-r + r-exec MAC 平台上效果好。[5]

[2] http://www.rstudio.com/

[3] http://sourceforge.net/projects/tinn-r/

[4] http://notepad-plus-plus.org/

[5] https://atom.io/

初次見面：R 是計算機

```
> 2.4 + 42
[1] 44.4

> 4 ^ 2
[1] 16

> sqrt(100)
[1] 10

> 100 ^ 0.5
[1] 10
```

```
> a <- 1
> a
[1] 1

> 1 -> b
> b
[1] 1

> a + b
[1] 2
```

```
> m <- c(3, 6, 4)
> n  = c(1, 2, 3)

> m + n
[1] 4 8 7

> m - n
[1] 2 4 1

> m * n
[1]  3 12 12

> m / n
[1] 3.000 3.000 1.333
```

```
> # 這是註解
>

> m +
+ 3
[1] 5 8 6

> m * 2 ; m / 2
[1]  6 12  8
[1] 1.5 3.0 2.0
```

大綱

R 簡介與操作環境

R 的函數

資料的讀取與整理

統計分析與繪圖

學習心得與討論資源

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。
- 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

R 簡介與操作環境

R 的函數

資料的讀取與整理

統計分析與繪圖

學習心得與討論資源

試練窟

轉存 Excel 檔案成 CSV 檔案

1. 取得檔案：
   - exam.xlsx 例範資料
   - nation-data.xlsx 練習資料
2. 在 C disk 下創建一個 LearnR2015 資料夾。[6]
3. 以 Excel 開啟 exam.xlsx，注意第一列必須是變數名稱。
4. 另存新檔 → 檔名為「exam」，類型為「CSV」，一樣儲存在 C:/LearnR2015 中。

[6] Unix-like 電腦可放置於家目錄下的 LearnR2015 資料夾。

在 R 中讀取 CSV 資料檔案

1. `getwd()` 顯示目前 R 所在的路徑。
2. `setwd("C:/LearnR2015")` 到達該資料夾。[7]
3. `dt <- read.csv("exam.csv")` 或
   `dt <- read.csv("C:/LearnR2015/exam.csv")` 或
   `dt <- read.csv(file.choose())` 以讀取該檔成為一個資料框 (data frame)，並取名為 `dt`。

[7] Unix-like 電腦可輸入 `setwd("~/LearnR2015")`

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 列資料
- `dt[c(3, 6) , ]`
  取得 dt 裡的第 3 及第 6 列資料
- `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

R 簡介與操作環境

R 的函數

資料的讀取與整理

統計分析與繪圖

學習心得與討論資源

試練窟

描述性統計

常見的描述性統計函數

```
length(變數)    #個數
mean(變數)      #平均數
sd(變數)        #標準偏差
quantile(變數) #百分位數
```

```
> mean(dt$Science)
> sd(dt$Literature)
```

```
[1] 70.77778
[1] 19.74209
```

分組之描述性統計

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)
```

```
    f     m
64.40 78.75
```

或是用subset() 切出子集，例如

```
> mean( subset(dt, Gender == "m")$Science )
> mean( subset(dt, Gender == "f")$Science )
```

```
[1] 78.75
[1] 64.4
```

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)
```

単様本T検験 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)
```

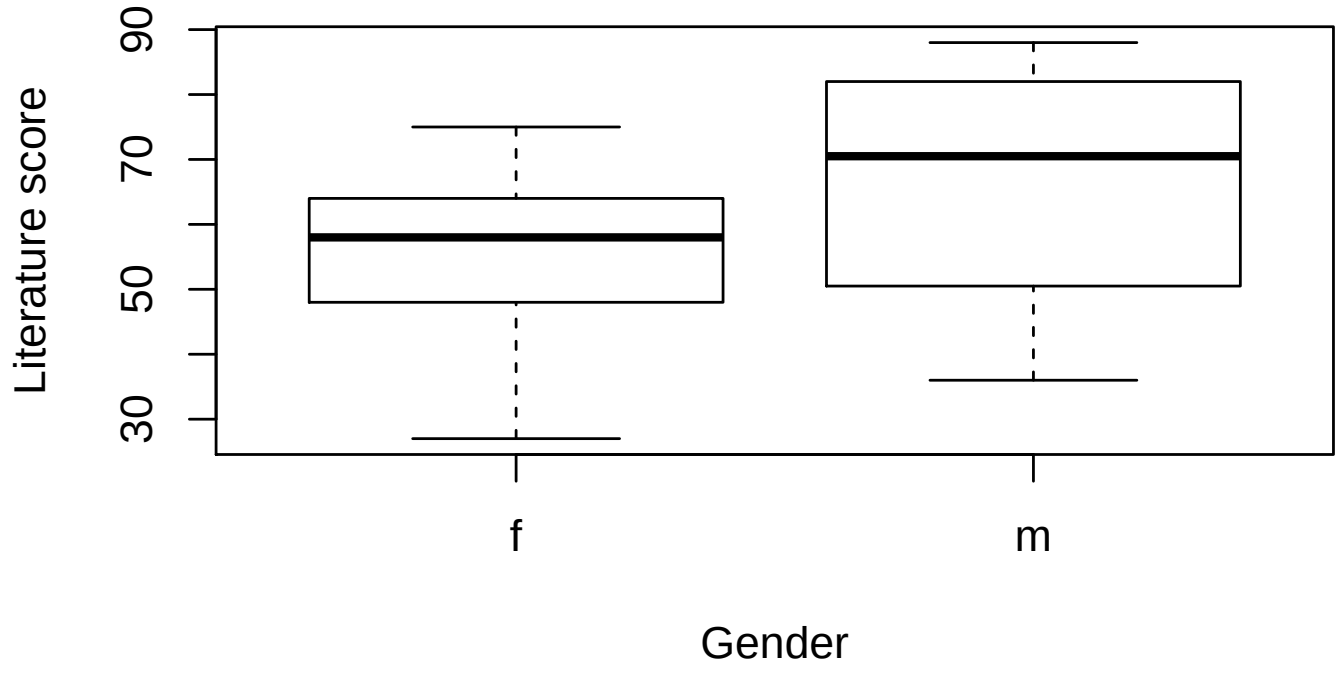
```
        Two Sample t-test

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")
```

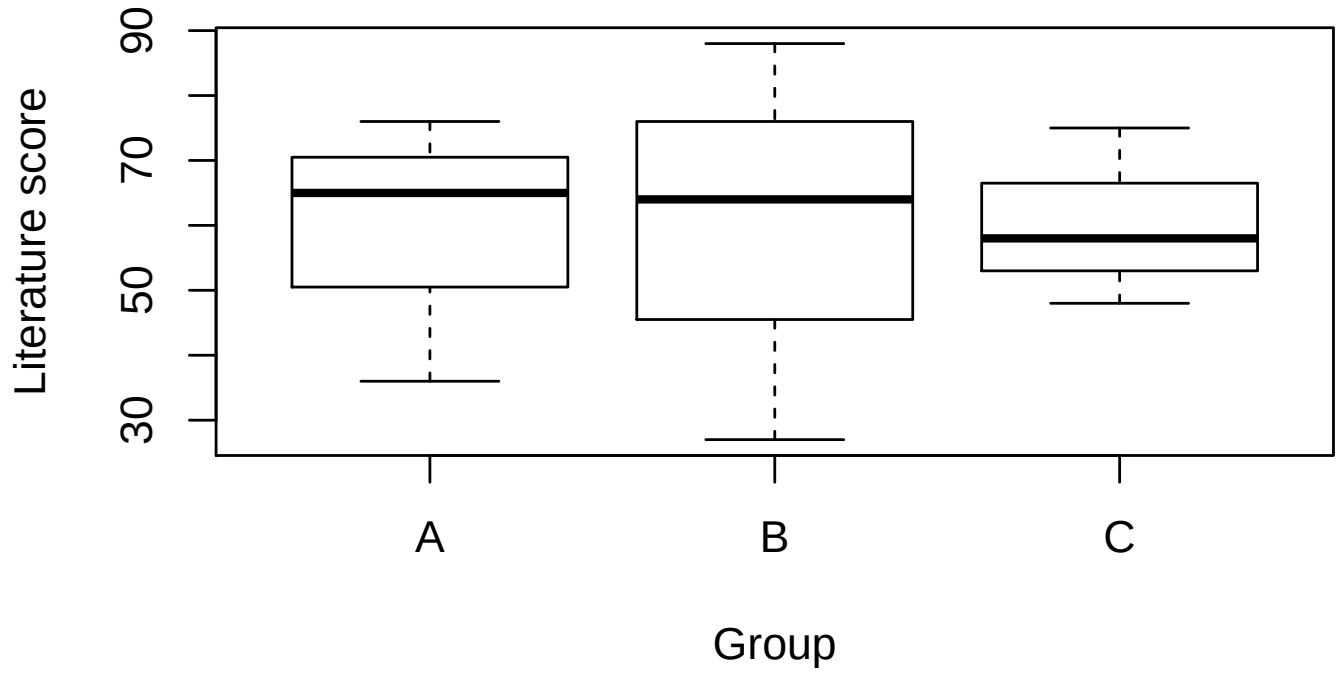
```
  Tukey multiple comparisons of means
    95% family-wise confidence level

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
```

簡単線性回帰 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
```

簡単線性回帰 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
```

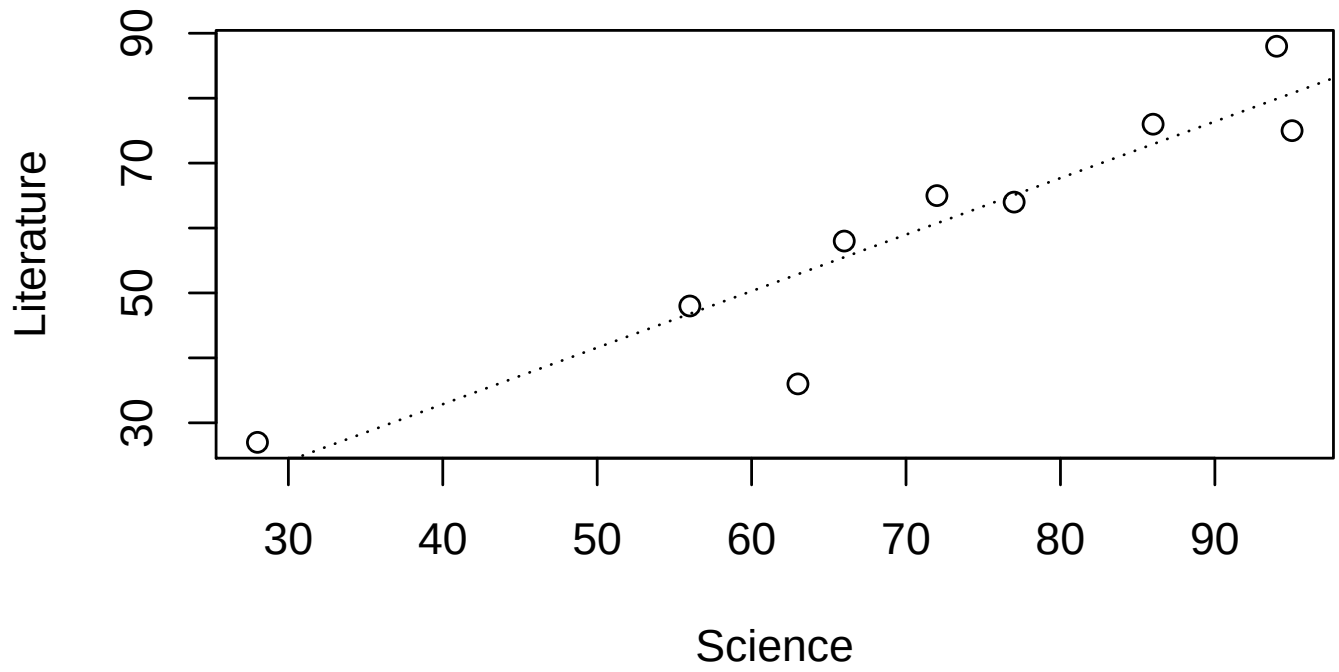
plot.formula() 和 abline() 的基本語法

```
plot(縱軸資料 ~ 橫軸資料, data = 資料框, ...)[8]
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)
```



[8] `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

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。

R 適合你嗎？

- R 是很自由的語言，所以同一項任務給不同人寫可能會寫出非常不同的程式碼；其它統計軟體可能很制式，一步一步照著教材做。
- R 的學習梯度在初期較陡，必竟它也是一種程式語言。在學習後期梯度明顯較平緩。
- 身為程式語言，R 可以完成一般統計軟體不能辦到的「個人化」任務，但這在學習中後後期才出現。
- R 內建沒有圖形介面（但有第三方的支援軟體有），所以只能寫 code。這對沒寫過程式的人可能很可怕。

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[9]
  針對初學者的 R 視訊教學系列。有廣告，但有提供影片載點。
- http://www.r-software.org/home
  中華 R 軟體學會。收錄許多中文影片與中文教學，內容豐富，亦適合初學者。
- “Quick-R”by Robert I. Kabacoff[10]
  我常用的速查網站。
- 英文的的網路教學非常多，請自行搜尋「R tutorial」。

[9] https://www.youtube.com/playlist?list=PL5AC0ADBF65924EAD
[10] http://www.statmethods.net/

網路討論區

- PTT 的 R_Language 板[11]
  路徑：戰略高手 → CompScience → R_Language
  對初學者友善。
- （中文的）R 軟體使用者論壇[12]
- Tag “R” @ stackoverflow.com[13]

[11] https://www.ptt.cc/bbs/R_Language/index.html
[12] https://groups.google.com/forum/?hl=zh-TW#!forum/taiwanruser
[13] 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 官方套件庫收錄有六千多個的套件,[14] 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
- 繪圖、視覺化：ggplot2

[14] 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

R 簡介與操作環境

R 的函數

資料的讀取與整理

統計分析與繪圖

學習心得與討論資源

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.newborn` 之平均。提示：不是雙尾檢驗。
3. 以 `GDP.10000` 為組別，計算 `HIV.rate` 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 `Continent` 為組別，計算 `Age.ave` 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.rate` 為反應變數（應變數），`Age.ave` 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

先以 Excel 轉存 nation-data.csv 後，在 R 中讀入 CSV 檔：

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

```
             Nation Continent HIV.rate Age.ave ...
1           Algeria   1Africa     0.10  72.904 ...
2           Morocco   1Africa     0.10  71.882 ...
3            Zambia   1Africa    13.50  48.513 ...
                ...       ...      ...     ... ...
71 Slovak Republic   4Europe     0.06  75.242 ...
72           Latvia   4Europe     0.70  73.039 ...
```

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

Mortality.rate.child 和 Mortality.rate.newborn 的配對樣本 T 檢驗：

```
> x1 <- mydt0$Mortality.rate.child
> x2 <- mydt0$Mortality.rate.newborn
> t.test(x1, x2, paired = T, alternative = "g")
```

```
        Paired t-test
data:  x1 and x2
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.10000 分組對 HIV.rate 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.10000 分組對 HIV.rate 之獨立雙樣本 T 檢驗：

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

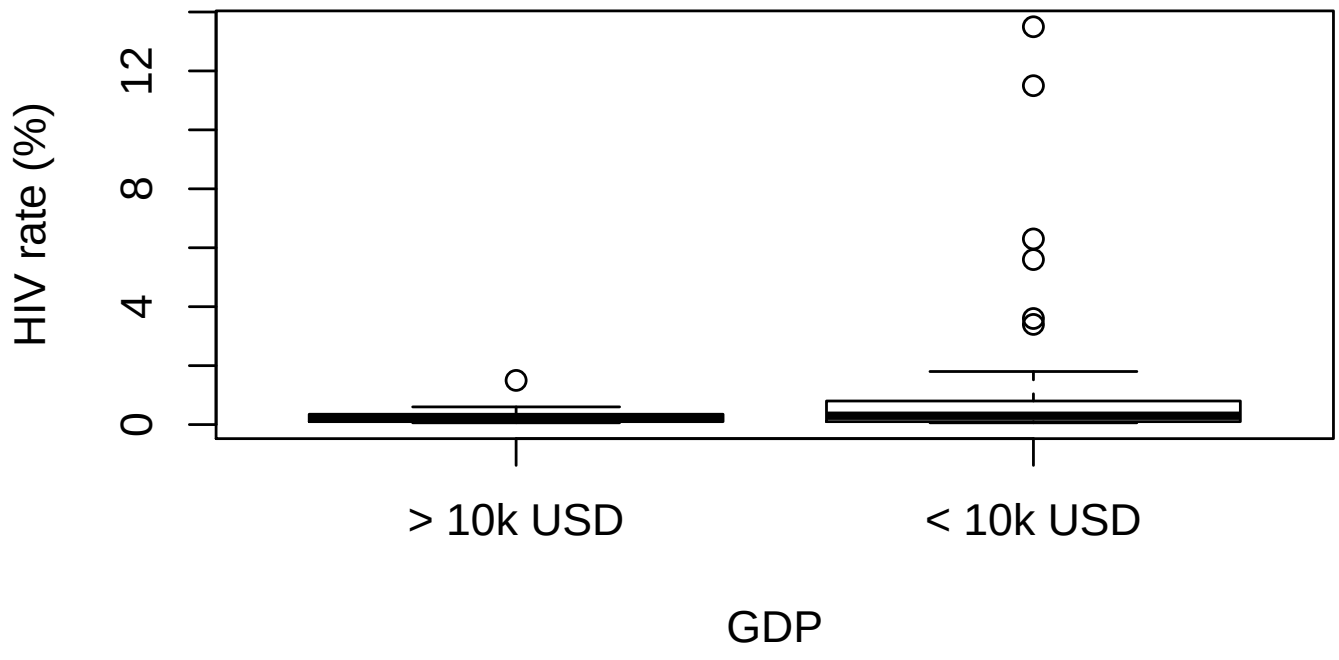
```
        Two Sample t-test

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) 可能較洽當（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() 或 two-sample Kolmogorov-Smirnov test ks.test()。

參考解法 VI

以 GDP.10000 分組對 HIV.rate 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。

参考解法 IX

Tukey 事後検験：

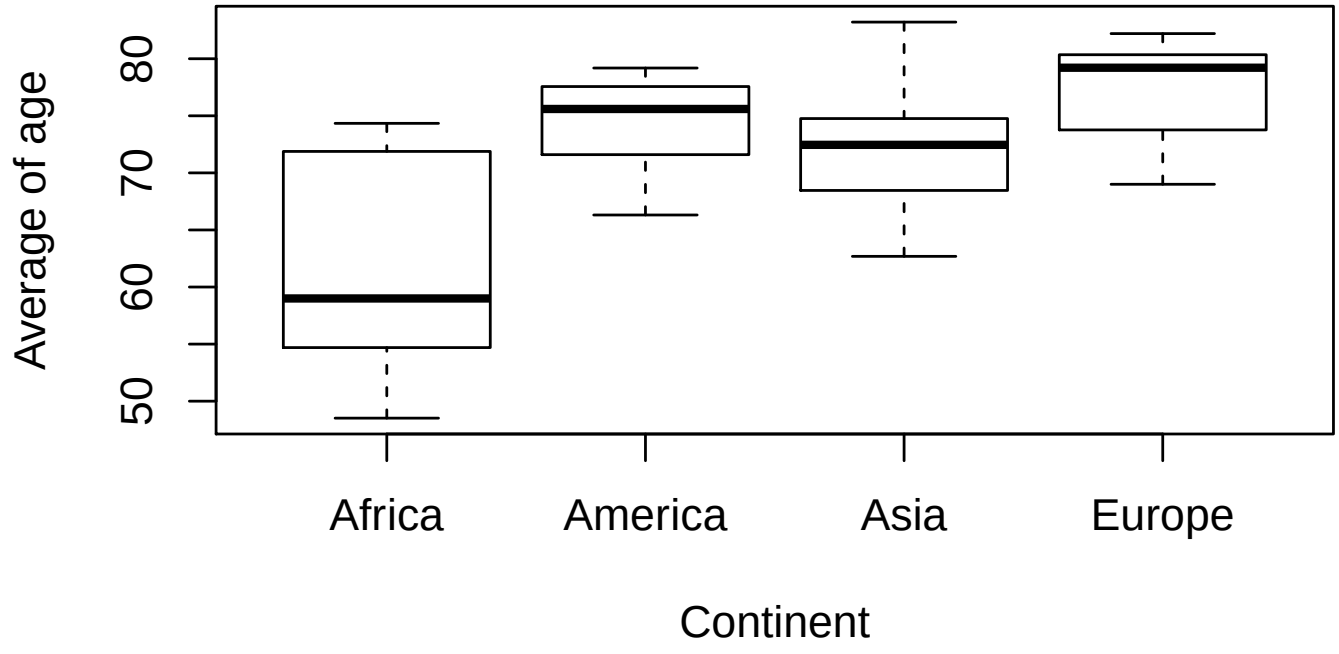
```
> TukeyHSD(f.anova, "Continent")
```

```
  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 ***
---
...
```

註：考慮應變數轉型 `lm(sqrt(HIV.rate + 1) ~ Age.ave, ...)` 或自變數包括二次式 `lm(HIV.rate ~ Age.ave + I(Age.ave ^ 2), ...)`。

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)
```