R 与 tidyverse——数据分析入门

石天熠

2019-06-29

目录

欢迎

简介

本书为 R(R Core Team 2019) 和 tidyverse(Wickham 2017) 的入门向教程。教学视频在 b 站 ()。

使用说明

左上角的菜单可以选择收起/展开目录，搜索，和外观，字体调整。

如果你对某一段文字有修改意见，可以选择那段文字，并通过 Hypothesis 留言（选择 “annotate”）。右上角可以展开显示公开的留言。

如果你熟悉Bookdown和 Github，可以在此提交 pull request.

Chapter 1

R 和 RStudio 介绍和安装教程

1.1 什么是 R

R(R Core Team 2019) 包含 R 语言和一个有着强大的统计分析及作图功能的软件系统，由新西兰奥克兰大学的 Ross Ihaka 和 Robert Gentleman 共同开发。R 语言虽然看起来只能做统计，实际上它麻雀虽小，五脏俱全，编程语言该有的特性它基本都有（甚至支持 OPP）。

安装了 R 之后，你可以在其自带的 “R” 软件中（也可以直接在命令行使用），但是那个软件界面比较简单，需要记住一些命令来执行 “查看当前存储的数据”，“导出 jpg 格式的图像” 等操作，对新手不太友好。因此我们使用 RStudio.

RStudio(RStudio Team 2015) 是 R 语言官方的 IDE（集成开发环境），它的一系列功能使得编辑，整理和管理 R 代码和项目方便很多。

了解 R 的优势，请看第1.3节

1.2 安装 R 和 RStudio

1.2.1 安装 R

https://cran.r-project.org

前往CRAN，根据自己的操作系统（Linux，MacOS 或 Windows）选择下载安装 R. (Linux 用户亦可参考此处)

1.2.2 安装 RStudio

https://www.rstudio.com/products/rstudio/download/

前往RStudio 下载页，选择最左边免费的开源版本，然后选择对应自己的操作系统的版本，下载并安装。

1.3 为什么使用 R，R 与其他统计软件的比较[1]

(这一小节不影响 R 的学习进度，可以直接跳过到下一章)

SAS，SPSS，Prism，R 和 Python 是数据分析和科研作图常用的软件。

SAS, SPSS 和 Prism 都是收费的，而且不便宜。比如 SAS 第一年需要10000多美元，随后每年要缴纳几千美元的年费。

R 比 SAS 功能更强大。所有 SAS 中的功能，都能在 R 中实现，而很多 R 中的功能无法在 SAS 中实现[2]。

R 和 Python（NumPy 和 SciPy）是开源、免费的。在数据分析的应用中，R 比 Python 历史更悠久，因此积攒了很多很棒的 packages（包）。一般来说，python 的强项是数据挖掘，而 R 的强项是数据分析，它们都是强大的工具。不用担心需要在二者之中做选择，因为 rpy, reticulate 等 packages 可以让你在 python 中使用 R，在 R 中使用 python，详情请见第9章。无论你是数据分析零基础，还是有 python 数据分析的经验，都能从本书中获益。

[1] Gentleman, R. (2009). *R Programming for Bioinformatics*. Boca Raton, FL: CRC Press.

[2] https://thomaswdinsmore.com/2014/12/15/sas-versus-r-part-two/

至于 Excel，它的定位原本就是办公（而不是学术）软件，用作数据收集和初步整理是可以的，但是做不了严谨的数据分析和大数据，功能也非常局限。有五分之一的使用了 Excel 的遗传学论文，数据都出现了偏差 (Ziemann, Eren, and El-Osta 2016)。

R 是 GNU 计划的一部分，因此 R 是一个自由软件 (Libre software)。你可以在GNU 官网了解更多。

此外，R 可以完美地在 Linux 中运行。

Chapter 2

获取资源与帮助（重要!）

这本书可以帮助你快速学会 R 和 tidyverse 的最常用和最重要的操作，但这仅仅是冰山一角。当你在做自己的研究的时候，会用到很多这本书中没有讲到的方法，因此学会获取资源和帮助是很重要的。以下列举几个常用的获取 R 的帮助的网站/方法：

2.1 论坛类（解答实际操作中的问题）

- 爆栈网 (StackOverflow)是著名计算机技术问答网站（如果你有其他的编程语言基础，一定对它不陌生）。查找问题的时候加上 `[R]`，这样搜索结果就都是与 R 相关的了（为了进一步缩小搜索范围，可以加上其他的 tag，比如 `[ggplot]`，`[dplyr]`）。注意，提问和回答的时候话语尽量精简，不要在任何地方出现与问题无关的话（包括客套话如 “谢谢”），了解更多请查看其新手向导。
- 由谢益辉大佬在 2006 年（竟然比爆栈网更早!）创建的“统计之都” 论坛，是做的最好的一个面向 R 的中文论坛（但是客观地来说活跃度还是没爆栈网高）同样不要忘记读新手指引。

2.2 Reference 类（查找特定的 function/package 的用法，就像查字典一样）

- 直接在 R console 中执行?+ 函数名称，比如`?t.test`
- RDocumentation上有基础 R 语言和来自 CRAN，GitHub 和 Bioconductor 上的近 18000 个 packages 的所有的函数的说明和使用例。
- 有些 packages 会在官网/github 仓库提供使用说明，比如tidyverse
- 有些 packages 会提供 vignettes，它们类似于使用指南，相比于函数的 documentation 更为详细且更易读。`vignette()`（无参数）以查看全部可用 vignettes. 你可以试试 `vignette("Sweave")`，它是用 LaTeX 排版的，很漂亮。

2.3 教程和书籍类（用来系统地学习）

- R 的官方 Manuals. 其中新手只需要看 *An Introduction to R*，随后选看 *R Language Definition* 即可。部分由丁国徽翻译成中文（点击量其实并不高……要想把握前沿信息还是需要阅读英语的能力的）。
- *R for Data Science* by Garrett Grolemund & Hadley Wickham. `tidyverse` 的作者写的一本书，较为详细地介绍了 `tidyverse` 的用法以及一些更高深的关于编程的内容。（练习题答案）
- RStudio Resources是 RStudio 的资源区，有关于 R 和 RStudio 的高质量教程，还可以下载很多方便实用的 Cheat Sheet.
- *The R Book* by Michael J. Crawley
- R 的官方 FAQ（在左侧菜单栏中找到 “FAQ”）
- 存储在 CRAN 上的中文 FAQ（注意这不是英文 FAQ 的翻译，而是一本独立的 R 入门教程）
- *Advanced* R by Hadley Wickham及其练习题答案。

2.4 速查表 (Cheat sheets)（用来贴墙上）

- R Reference Card 2.0 by Mayy Baggott & Tom Short以及其第一版的中文翻译

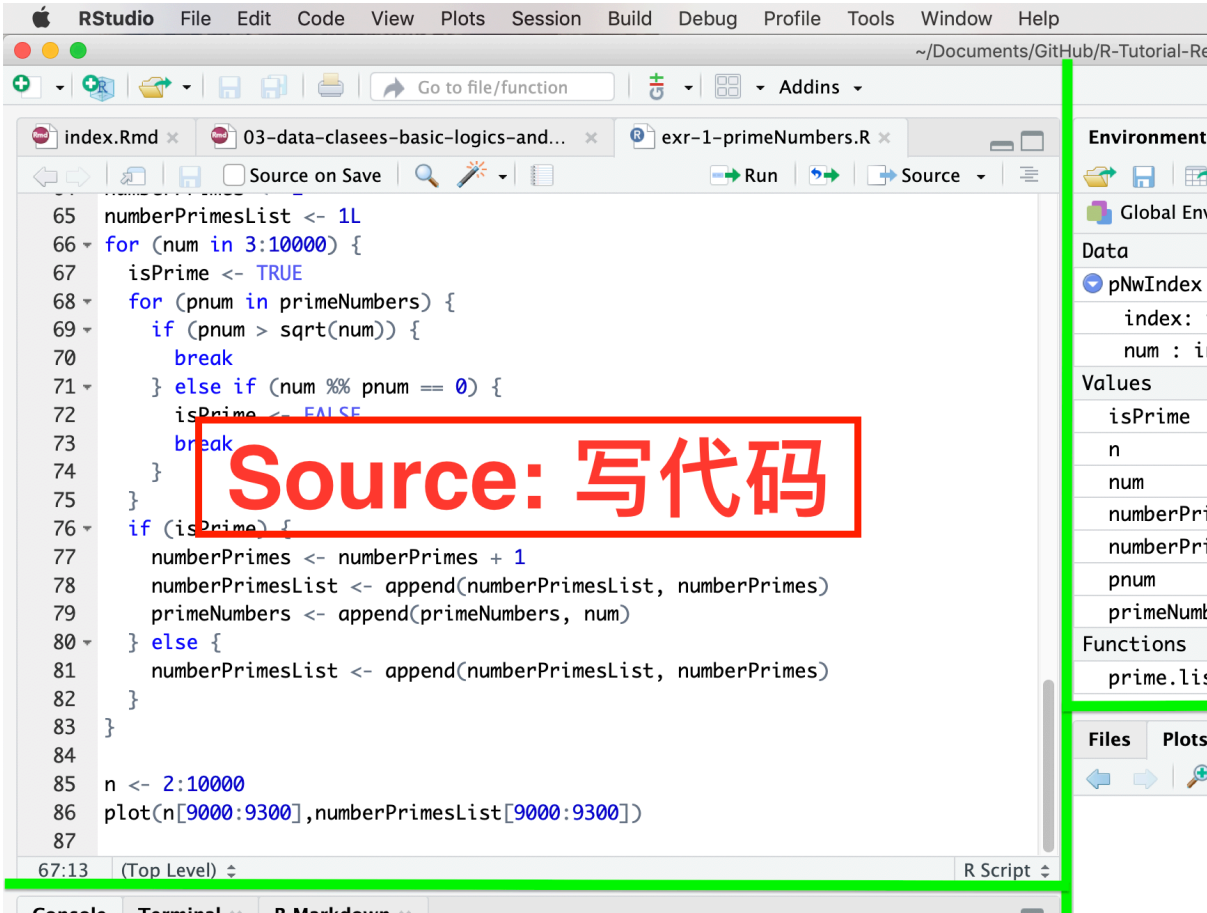
- RStudio Cheat Sheets包含了 RStudio IDE 和常用 packages 的 cheat sheets。2019 年版的合集在这里。

Chapter 3

RStudio 界面介绍，基本操作，和创建新项目

3.1 界面

3.1.1 概览



3.1.2 左下角：Console（控制台）

Console 是执行代码的地方。试试在里面输入 `1 + 1` 并按回车以执行。

3.1.3 左上角：Source（源）

Source 是写代码的地方。请看第3.2.2节。

这个位置也是用来查看文件和数据的地方。试试在 console 中执行 `View(airquality)` 或 `library(help = "stats")`.

3.1.4 右上角：Environment（环境），

Environment 是一个列表，显示了所有当前工作环境中所有的变量（“values” 和 “data”）和自定义的函数（functions）。

History（历史）和 Connections（连接）不太常使用。

3.1.5 右下角：Plots（绘图），Help（帮助），Files（文件）和 Packages（包）

Plots 是预览图像的区域。试试在 console 中执行 `hist(rnorm(10000))`.

Help 是查看帮助文件的区域。试试在 console 中执行`?hist` 或`?norm`.

Files 是查看文件的区域，默认显示工作目录 (working directory)。

Packages 是安装/查看/更新 packages（包）的区域。详情请看第4.3章。

3.2 基本操作

3.2.1 执行代码

试着在 console 里输入 `1 + 1`，并按回车以执行。你的 console 会显示：

```
> 1 + 1
[1] 2
```

其中 2 是计算结果，[1] 我们在下一章再解释。> 1 + 1 是 input，[1] 2 是 output.

还是用 1 + 1 举例，在本书中，对于 input 和 output 的展示格式是这样的：

```
1+1
```

```
## [1] 2
```

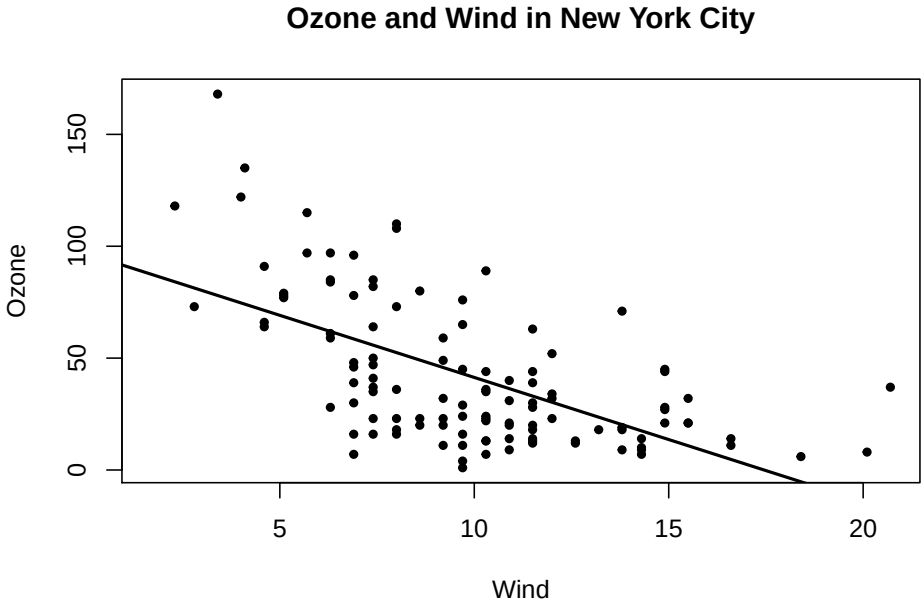
注意 input 中的 > 被省略了，这意味着你可以直接把代码从本书复制到你的 console 并按回车执行（因为 console 本身自带了 >），类似地，你从其他各种网站上找到的说明书，教程和论坛帖子中看到的 R 代码，大多数也都是这种形式呈现，便于复制粘贴。

再来一个例子，试着在 console 里输入（或者复制）以下代码并执行：

```
attach(airquality)
```

```
## The following objects are masked from airquality (pos = 12):
##
##     Day, Month, Ozone, Solar.R, Temp, Wind
```

```
plot(Wind, Ozone, main = "Ozone and Wind in New York City", pch = 20)
model <- lm(Ozone ~ Wind, airquality)
abline(model, lwd = 2)
```



可以看到，在 plots 区，生成了一副漂亮的图。（先别在意每行代码具体的作用，在之后的章节我会一一讲述）

这时，把 RStudio 关掉，再重新启动，你会发现你的图没了。因此我们需要记录和管理代码。

3.2.2 记录和管理代码

初学者经常会在 console 里写代码，或者从别处复制代码，并执行。这对于一次性的计算（比如写统计学作业时用 R 来算线性回归的参数）很方便，但是如果你想保存你的工作，你需要把它们记录在 R script 文件里。如果你的工作比较复杂，比如有一个 excel 表格作为数据源，然后在 R 中用不同的方法分析，导出图表，这时候你会希望这些文件都集中在一起。你可以使用 R Project 来管理它们。

3.2.2.1 创建 R Project

1. 左上角 File > New Project
2. 点选 New Directory > New Project

3. 输入名称和目录并 Create Project

3.2.2.2 使用 R Project

在创建 R project 的文件夹中打开`.Rproj` 文件。或者，RStudio 启动的时候默认会使用上一次所使用的 R project.

随后，你在 RStudio 中做的所有工作都会被保存到`.Rproj` 所在的这个文件夹（正规的说法是 “工作目录” (working directory)）。比如，在 console 中执行：

```
pdf("normalDistrubution.pdf")
curve(dnorm(x),-5,5)
dev.off()
```

一个正态分布的图像便以 pdf 格式保存在了工作目录。你可以在系统的文件管理器中，或是在 RStudio 右下角 File 面板中找到。

3.2.3 写/保存/运行 R script

在 console 中运行代码，代码得不到保存。代码需保存在 R script 文件（后缀为`.R`）里。

`Ctrl+Shift+N`（Mac 是 `command+shift+N`）以创建新 R script.

然后就可以写 R script. 合理使用换行可以使你的代码更易读。`#` 是注释符号。每行第一个 `#` 以及之后的内容不会被执行。之前的例子，可以写成这样：

```
# 读取数据
attach(airquality)

# 绘图
plot(Wind, Ozone, # x 轴和 y 轴
     main = "Ozone and Wind in New York City", # 标题
     pch = 20) # 使用实心圆点
```

```
model <- lm(Ozone ~ Wind, airquality) # 线性回归模型
abline(model, lwd = 2) # 回归线
```

`Ctrl`+`Enter` (`command`+`return`) 以执行一 "句" 代码（比如上面的例子中，从 `plot(Wind...` 到 `pch = 20)` 有三行，但是它是一 "句"）。

`Ctrl`+`Shift`+`Enter` (`command`+`shift`+`return`) 以从头到尾执行所有代码。

试试复制并执行以上代码吧。

`Ctrl`+`S` (`command`+`S`) 以保存 R script. 保存后会在工作目录找到你新保存的`.R` 文件。重新启动 RStudio 的时候，便可以打开对应的 R script 文件以重复/继续之前的工作。

Chapter 4

安装和使用 packages（包）

4.1 Package 是什么，为什么使用它们？

Package 是别人写好的在 R 中运行的程序（以及附带的数据和文档），你可以免费安装和使用它们。

Packages 可以增加在基础 R 语言中没有的功能，可以精简你代码的语句，或是提升使用体验。比如有个叫做 `tikzDevice` 的 package 可以将 R 中的图表导出成 tikz 语法的矢量图，方便在 LaTeX 中使用。本书的编写和排版也是使用 R 中的一个叫做 `bookdown` 的 package 完成的（真的超棒）.

这个课程主要是学习 `tidyverse` 这个 package，

4.2 如何安装 packages

首先我们安装 tidyverse（**很重要，本书接下来的部分都要使用这个 package**）:

```
install.packages("tidyverse")
```

在 console 中运行以上代码，R 就会从 CRAN 中下载 tidyverse 并安装到你电脑上的默认位置。因此安装 packages 需要网络连接。

如果想安装多个 packages，你可以一行一行地安装，或是把多个 packages 的名字合成一列，同时安装，比如：

```
install.packages(c("nycflights13", "gapminder", "Lahman")
```

它其中包含一系列小

4.3 如何使用 packages

安装 packages 后，有两种方法使用它们。以 `tidyverse` 为例：

```
library('tidyverse')
```

或

```
require('tidyverse')
```

两者的效果很大程度上都是一样的，都可以用来读取**单个** package。它们的不同，以及如何通过一行指令读取多个 packages，请参看第 @ref{require-and-library} 节。

每次重启 R 的时候，上一次使用的 packages 都会被清空，所以需要重新读取。因此我们要在 R script 里面记录此 script 需要使用的 packages（这个特性可以帮助你养成好习惯：当你把你的代码分享给别人的时候，要保证在别人的电脑上也能正常运行，就必须要指明要使用哪些 packages）

4.4 其它

这小节包含了一些不重要的内容，因此**可酌情跳到下一章（第 @??vectors-logicals-and-functions）章**。

4.4.1 library() 和 require 的区别；如何使用一行指令读取多个 packages

1. require() 会返回一个逻辑值。如果 package 读取成功，会返回 TRUE，反之则返回 FALSE.
2. library() 如果读取试图读取不存在的 package，会直接造成错误 (error)，而 require() 不会造成错误，只会产生一个警告 (warning).

这意味着 require() 可以用来同时读取多个 packages：

```
lapply(c("dplyr","ggplot2"), require, character.only = TRUE)
```

```
## [[1]]
## [1] TRUE
##
## [[2]]
## [1] TRUE
```

或者更精简一点，

```
lapply(c("dplyr","ggplot2"), require, c = T)
```

```
## [[1]]
## [1] TRUE
##
## [[2]]
## [1] TRUE
```

Chapter 5

向量，逻辑，循环和函数

5.1 向量的概念，操作和优越性

R 没有标量，它通过各种类型的向量 (vector) 来存储数据。

5.1.1 创建向量（赋值）

与很多其他的计算机语言不同，在 R 中，`<-`（像一个小箭头）用于给**向量，数据框和函数**赋值（即在每行的开头）。在 RStudio 中，可以用 `Alt+-` (Mac 是 `option+-`) 这个快捷键打出这个符号。

```
x <- 2
x
```

```
## [1] 2
```

虽然 `=` 也可以用，但是绝大多数 R 用户还是采用标准的 `<-`符号，而 `=` 则用于给**函数的参数**赋值。

要创建一个多元素的向量，需要用到 `c()` (concatenate) 函数：

```
nums <- c(1,45,78)
cities <- c("Zürich", "上海", "Tehrān")
```

```
nums
```

```
## [1]  1 45 78
```

```
cities
```

```
## [1] "Zürich" "上海"   "Tehrān"
```

```
class(nums)
```

```
## [1] "numeric"
```

```
class(cities)
```

```
## [1] "character"
```

```
class(c(3+5i, 3i, 1+0i))
```

```
## [1] "complex"
```

```
# 没必要赋值一个变量；c(...) 的计算结果就是一个向量，并直接传给`class()`函数
```

通过 length() 函数，可以查看向量的长度。

```
length(c("Guten Morgen", ""))
```

```
## [1] 2
```

(每个被引号包围的一串字符，都只算做一个元素，因此长度为 1；多元素的向量请看第5.1.1节)

5.1.2 索引

索引 (index) 就是一个元素在向量中的位置。R 是从 1 开始索引的，即索引为 1 的元素是第一个元素（因此用熟了 Python 和 C 可能会有些不适应）。在向量后方使用方括号进行索引。

```
x <- c("one", "two", "three", "four", "five", "six", "seven", "eight", "nine")
x[3]
```

```
## [1] "three"
```

可以在方括号中使用另一个向量抓取多个元素：

```
x[c(2,5,9)] # 第 2 个，第 5 个，第 9 个元素
```

```
## [1] "two"  "five" "nine"
```

经常，我们会抓取几个连续的元素。如果想知道方法，请继续往下看。

5.1.3 生成器

有时候我们需要其元素按一定规律排列的向量，这时，相对于一个个手动输入，有更方便的方法：

5.1.3.1 连续整数

```
1:10 # 从左边的数（包含）到右边的数（包含），即 1:10
```

```
##  [1]  1  2  3  4  5  6  7  8  9 10
```

这时，你应该会有个大胆的想法：

```
x[3:6]
```

```
## [1] "three" "four"  "five"  "six"
```

没错就是这么用的，而且极为常用。

当元素比较多的时候：

```
y <- 7:103 # 复习一下赋值
y
```

```
##  [1]   7   8   9  10  11  12  13  14  15  16  17  18  19  20  21  22  23
## [18]  24  25  26  27  28  29  30  31  32  33  34  35  36  37  38  39  40
## [35]  41  42  43  44  45  46  47  48  49  50  51  52  53  54  55  56  57
## [52]  58  59  60  61  62  63  64  65  66  67  68  69  70  71  72  73  74
## [69]  75  76  77  78  79  80  81  82  83  84  85  86  87  88  89  90  91
## [86]  92  93  94  95  96  97  98  99 100 101 102 103
```

注意到了左边方括号中的数字了吗？它们正是所对应的那一行第一个元素的索引。

5.1.3.2 复读机 rep()

```
rep(c(0, 7, 6, 0), 4) # 把 [0, 7, 6, 0] 重复 4 遍
```

```
##  [1] 0 7 6 0 0 7 6 0 0 7 6 0 0 7 6 0
```

5.1.3.3 等差数列: seq()

公差确定时:

```
seq(0, 15, 2.5) # 其实是`seq(from = 0, to = 50, by = 5)`的简写
```

```
## [1]  0.0  2.5  5.0  7.5 10.0 12.5 15.0
```

长度确定时:

```
 seq(0, 50, length.out = 11) # 其实是`seq(from = 0, to = 50, length.out = 11)`的简写
```

```
##  [1]  0  5 10 15 20 25 30 35 40 45 50
```

5.2 数据类型 (Data Types)

向量所存储的的数据类型有:

类型	含义与说明	例子
numeric	浮点数向量	3, 0.5, sqrt(2), NaN, Inf
integer	整数向量	3L, 100L
character	字符向量；需被引号包围	"1", "$", " 你好"
logical	逻辑向量	TRUE, FALSE, NA
complex	复数向量	3+5i, 1i, 1+0i

通过 class() 函数，可以查看向量的类型。

```
class(" 早上好")
```

```
## [1] "character"
```

（除此之外，`typeof()`，`mode()`，`storage.mode()` 这三个函数的功能与 `class()` 类似，但有重要的区别；为避免造成困惑，此处不展开讨论）。

5.3 数学表达和运算

5.3.1 数的表达

5.3.1.1 浮点数

除非指定作为整数（见下），在 R 中所有的数都被存储为双精度浮点数的格式 (double-precision floating-point format)，其 `class` 为 `numeric`。

```
class(3)
```

```
## [1] "numeric"
```

这会导致一些有趣的现象，比如 $(\sqrt{3})^2 \neq 3$：~~（强迫症患者浑身难受）~~

```
sqrt(3)^2-3
```

```
## [1] -4.440892e-16
```

浮点数的计算比精确数的计算快很多。如果你是第一次接触浮点数，可能会觉得它不可靠，其实不然。在绝大多数情况下，牺牲的这一点点精度并不会影响计算结果（我们的结果所需要的有效数字一般不会超过 10 位）。

`NaN`（非数）和 `Inf`（无限大）也是浮点数！

```
class(NaN)
```

```
## [1] "numeric"
```

```
class(Inf)
```

```
## [1] "numeric"
```

5.3.1.2 科学计数法

在 R 中可以使用科学计数法 (`AeB`$= A \times 10^B$)，比如：

```
3.1e5
```

```
## [1] 310000
```

```
-1.2e-4+1.1e-5
```

```
## [1] -0.000109
```

5.3.1.3 整数

整数的 class 为 `integer`。有两种常见的方法创建整数：1）在数后面加上 L；

```
class(2)
```

```
## [1] "numeric"
```

```
class(2L)
```

```
## [1] "integer"
```

2）创建数列

```
1:10 # 公差为 1 的整数向量生成器，包含最小值和最大值
```

```
##  [1]  1  2  3  4  5  6  7  8  9 10
```

```
class(1:10)
```

```
## [1] "integer"
```

```
seq(5,50,5) # 自定义公差，首项，末项和公差可以不为整数
```

```
##  [1]  5 10 15 20 25 30 35 40 45 50
```

```
class(seq(5,50,5)) # 因此产生的是一个浮点数向量
```

```
## [1] "numeric"
```

```
seq(5L,50L,5L) # 可以强制生成整数
```

```
##  [1]  5 10 15 20 25 30 35 40 45 50
```

```
class(seq(5L,50L,5L)) # 是   整数没错
```

```
## [1] "integer"
```

整数最常见的用处是 indexing（索引）。

5.3.1.3.1 整数变成浮点数的情况

这一小段讲的比较细，**请酌情直接跳到下一节（5.3.2）**。

整数与整数之前的加，减，乘，求整数商，和求余数计算会得到整数，其他的运算都会得到浮点数，（阶乘 (factorial) 也是，即便现实中不管怎么阶乘都不可能得到非整数）：

```
class(2L+1L)
```

```
## [1] "integer"
```

```
class(2L-1L)
```

```
## [1] "integer"
```

```
class(2L*3L)
```

```
## [1] "integer"
```

```
class(17L%/%3L)
```

```
## [1] "integer"
```

```
class(17L%%3L)
```

```
## [1] "integer"
```

```
class(1000L/1L)
```

```
## [1] "numeric"
```

```
class(3L^4L)
```

```
## [1] "numeric"
```

```
class(sqrt(4L))
```

```
## [1] "numeric"
```

```
class(log(exp(5L)))
```

```
## [1] "numeric"
```

```
class(factorial(5L))
```

```
## [1] "numeric"
```

整数与浮点数之间的运算，显然，全部都会产生浮点数结果，无需举例。

另外一个需要注意的地方是，取整函数5.3.2.3并不会产生整数。如果需要的话，要用 `as.integer()` 函数。

5.3.2 运算

5.3.2.1 二元运算符号

R 中的 binary operators（二元运算符）有：

符号	描述
+	加
-	减
*	乘
/	除以
^ 或 **	乘幂
%/%	求整数商，比如 7%%3= 2
%%	求余数，比如 7%%3= 1

其中求余/求整数商最常见的两个用法是判定一个数的奇偶性，和时间，角度等单位的转换。（后面再详细介绍）。

5.3.2.2 e^x 和 $\log_x y$

`exp(x)` 便是运算 e^x。如果想要 $e = 2.71828...$ 这个数：

```
exp(1)
```

```
## [1] 2.718282
```

`log(x, base=y)` 便是运算 $\log_y x$，可以简写成 `log(x,y)`（简写需要注意前后顺序，第5.7.1有解释）。

默认底数为 e：

```
log(exp(5))
```

```
## [1] 5
```

有以 10 和 2 为底的快捷函数，`log10()` 和 `log2()`

```
log10(1000)
```

```
## [1] 3
```

```
log2(128)
```

```
## [1] 7
```

5.3.2.3 近似数（取整，取小数位，取有效数字）

注意，取整函数给出的的结果不是整数！

```
class(ceiling(7.4))
```

```
## [1] "numeric"
```

5.3.2.4 R 中自带的数学函数集合

函数	描述
`exp(x)`	e^x
`log(x,y)`	$\log_y x$

函数	描述
`log(x)`	$\ln(x)$
`sqrt(x)`	$\sqrt{x}$
`factorial(x)`	$x! = x \times (x-1) \times (x-2) \ldots \times 2 \times 1$
`choose(n,k)`	$\binom{n}{k} = \frac{n!}{k!(n-k)!}$（二项式系数）
`gamma(z)`	$\Gamma(z) = \int_0^\infty x^{z-1} e^{-x} dx$（伽马函数）
`lgamma(z)`	$\ln(\Gamma(z))$
`floor(x)`, `ceiling(x)`, `trunc(x)`,	取整；见上一小节。
`round(x, digits = n)`	四舍五入，保留 n 个小数位，n 默认为 0
`signif(x,digits = n)`	四舍五入，保留 n 个有效数字，n 默认为 6）
`sin(x)`, `cos(x)`, `tan(x)`	三角函数
`asin(x)`, `acos(x)`, `atan(x)`	反三角函数
`sinh(x)`, `cosh(x)`, `tanh(x)`	双曲函数
`abs(x)`	$\|x\|$（取绝对值）

5.4 逻辑

5.4.1 Logical Values（逻辑值）

逻辑值有三个。`TRUE`, `FALSE` 和 `NA`.

```
class(c(TRUE,FALSE,NA))
```

```
## [1] "logical"
```

`TRUE` 为真，`FALSE` 为假，`NA` 为未知（即真假难辨）。

5.4.2 Logical Operations（逻辑运算）

R 中常用的关系运算符有：

符号	描述
`==`	equal to（等于）
`!=`	equal to（不等于）

符号	描述
<	less than（小于）
>	more than（大于）
<=	less than or equal to（小于等于）
>=	more than or equal to（大于等于）

使用关系运算符进行计算，会产生逻辑值作为结果。比如：

```
x <- 5
x != 3 #x 等于 5，所以“x 不等于 3”为真
```

```
## [1] TRUE
```

有一些其他的运算符或函数也会返回逻辑值，比如

```
7 %in% c(1,4,5,6,7)
```

```
## [1] TRUE
```

顾名思义，这个运算符是用来检测一个元素是否在另一个向量中。其它类型的运算符，我在需要用到的时候再讲。

5.4.3 逻辑运算详解

5.4.3.1 逻辑运算符

以下是最常用的三个逻辑运算符。

符号	描述
&	AND（且）
|	OR（或）
!	反义符号

5.4.3.2 反义符号（!）

! 使 TRUE FALSE 颠倒。一般，我们用小括号来包住一个逻辑运算，然后在它的前面加上一个! 来反转结果，比如

```
!(3 < 4) # 这个例子很简单，反义符号意义不大。后面实操的时候才能领略到它的用处。
```

```
## [1] FALSE
```

5.4.3.3 多个逻辑运算的组合（&（且）和 |（或））

& 和 | 可以把多个逻辑运算的结果合并成一个逻辑值。

& 判断是否两边运算结果都为 TRUE。如果是，才会得到 TRUE（即一真和一假得到假）。（正统的翻译貌似是“与”，但是我觉得不太与中文语法适配；想想“x 大于 2 **与**y 小于 4”是不是比“x 大于 2 **且**y 小于 4”别扭）

| 判断两边运算结果是否至少有一个 TRUE，如果是，就会得到 TRUE。

不用死记硬背！其实就是“且”和“或”的逻辑。

用脑子想一下以下三条运算的结果，然后复制代码到 R console 对答案。

```
1 == 1 & 1 == 2 & 3 == 3 # 即：“1 等于 1 且 1 等于 2 且 3 等于 3”，是真还是假？
FALSE | FALSE | TRUE # FALSE/TRUE 等价于一个运算结果
!(FALSE | TRUE) & TRUE # 注意反义符号
```

我们可以查看三个逻辑值所有两两通过 & 组和的计算结果（如果你不感兴趣，可以不看方法。这里重点是结果）：

```
vals <- c(TRUE, FALSE, NA)
names(vals) <- paste('[',as.character(vals),']',sep = '')
outer(vals, vals, "&")
```

```
##          [TRUE] [FALSE]  [NA]
## [TRUE]     TRUE   FALSE    NA
## [FALSE]   FALSE   FALSE FALSE
## [NA]         NA   FALSE    NA
```

可以看到，FALSE 与任何逻辑值组合，结果都是 FALSE。这个好理解，因为一旦一个是 FALSE，那么不可能两边都是 TRUE. TRUE & NA 之所以为 NA（而不是 FALSE），是因为 NA 的意思是“不能确定真假”，即有可能真也有可能假。因此 TRUE & NA 也无法辨真假。

再来看 | 的组合：

```
outer(vals, vals, "|")
```

```
##         [TRUE] [FALSE] [NA]
## [TRUE]    TRUE    TRUE TRUE
## [FALSE]   TRUE   FALSE   NA
## [NA]      TRUE      NA   NA
```

可以看到，TRUE 与任何一个逻辑值组合，都是 TRUE，而 FALSE | NA 为 NA。原因一样（因为 NA 的不确定性）。

5.5 以下是不重要的一些内容

5.5.1 Console 和 R script 编辑器的一些特性

Console 中每个命令开头的 > 叫做 prompt（命令提示符），当它出现在你所编辑的那一行的开头时，按下回车的时候那行的命令才会被执行。有时候它会消失，这时候按 esc 可以将其恢复。

prompt 消失的主要原因是你的代码没有写完，比如括号不完整：

```
> 2+(3+4
```

这时你按回车，它会显示：

```
> 2+(3+4
+
```

+ 号是在提示代码没写完整。这时你把括号补上再按回车：

```
> 2+(3+4
+ )
[1] 9
```

便可以完成计算。

这意味着我们可以把一条很长的命令分成很多行。比如我们可以写这样的代码（在 R script 编辑器中！）

```
if(1 + 1 == 2 & 1 + 2 == 5){
  print(2)
} else{
  print(3)
}
```

然后 Ctrl+Enter 执行。

```
<function>(<argument> = <value>)
```

5.6 判断和循环（控制流）

如果你学过其他编程语言，知道判断和循环的作用，只是需要知道在 R 中的表达，那么请看以下两个例子快速入门，然后跳过本节（如果没学过，请往后面看）：

```
foo <- 1:100 # 产生一个 [1,2,3,...,99,100] 的整数向量。上面讲过。
bar <- vector("numeric")
for (i in foo) {
  if (i %% 2 == 0) {
    bar <- append(bar, i^2)
  } else if (i == 51) {
    break
  }
}
bar
```

```
##  [1]    4   16   36   64  100  144  196  256  324  400  484  576  676  784
## [15]  900 1024 1156 1296 1444 1600 1764 1936 2116 2304 2500
```

```
logi = TRUE
num <- 1
```

```r
while (num <= 100) {
  if (logi) {
    num = num + 10 # R 不支持 num += 5 的简写
    print(num)
    logi = FALSE
  } else {
    num = num + 20
    print(num)
    logi = TRUE
  }
}
```

```
## [1] 11
## [1] 31
## [1] 41
## [1] 61
## [1] 71
## [1] 91
## [1] 101
```

5.6.1 if, else, else if 语句

if 语句长这样：

```
if (something is true/false) {
do something
}
```

其中小括号内为测试的条件，其运算结果需为 TRUE 或 FALSE（关于逻辑值的计算请看第5.4节。若运算结果为 TRUE，大括号内的语句将会被执行。

注意，不能直接用 `x == NA` 来判断是否是 `NA`，而要用 `is.na(x)`

R 中没有专门的 `elseif` 语句，但用 `else` 加上 `if` 能实现同样的效果。

5.7 函数

不像很多其他语言的函数有 `value.func()` 和 `func value` 等格式，R 中所有函数的通用格式是这样的：

```
function(argument1=value1, argument2=value2, ...)
```

比如

```
x1 <- c(5.1,5.2,4.5,5.3,4.3,5.5,5.7)
t.test(x=x1, mu = 4.5)
```

```
##
##  One Sample t-test
##
## data:  x1
## t = 3.0308, df = 6, p-value = 0.02307
## alternative hypothesis: true mean is not equal to 4.5
## 95 percent confidence interval:
##  4.612840 5.558589
## sample estimates:
## mean of x
##  5.085714
```

The term argument is used for an expression passed by a function call; the term parameter is used for an input object (or its identifier) received by a function definition, or described in a function declaration. The terms "actual argument (parameter)" and "formal argument (parameter)" respectively are sometimes used for the same distinction.

(英语中，"parameter" 或 "formal argument" 二词用于函数定义，"argument" 或 "actual argument" 二词用于调用函数 (Kernighan and Ritchie 1988)，中文里分别是 "形式参数" 和 "实际参数"，但是多数场合简称 "参数"。)

5.7.1 调用函数时的简写

以 seq 函数为例，通过查看 documentation（在 console 执行?seq）可以查看它的所有的参数：

```
## Default S3 method:
seq(from = 1, to = 1, by = ((to - from)/(length.out - 1)),
    length.out = NULL, along.with = NULL, ...)
```

可以看到第一个参数是 from，第二个是 to，第三个是 by，以此类推。因此我们执行 seq(0, 50, 10) 的时候，R 会自动理解成 seq(from = 0, to = 50, by = 10)。而想用指定长度的方法就必须要写清楚是 length.out 等于几。

length.out 本身也可以简写：

```
seq(0, 25, l = 11)
```

```
##  [1]  0.0  2.5  5.0  7.5 10.0 12.5 15.0 17.5 20.0 22.5 25.0
```

因为参数中只有 length.out 是以 l 开头的，l 会被理解为 length.out. 但是这个习惯并不好；自己用用就算了，与别人分享自己的工作时请务必使用标准写法。

5.7.2 关于...

有时候，你想写的函数可能有数量不定的参数，或是有需要传递给另一个函数的“其它参数”（即本函数不需要的参数），这时候可以在函数定义时加入一个名为... 的参数，然后用 list() 来读取它们。list 是进阶内容，在第??节有说明。

比如我写一个很无聊的函数：

```
my_func <- function(arg1, arg2 = 100, ...){
  other_args <- list(...)
  print(arg1)
  print(arg2)
  print(other_args)
```

```
}

my_func("foo", cities = c(" 崇阳", "A  ", " つがる"), nums = c(3,4,6))
```

```
## [1] "foo"
## [1] 100
## $cities
## [1] "崇阳"   "A  "  "つがる"
##
## $nums
## [1] 3 4 6
```

arg1 指定了是"foo"（通过简写），因此第一行印出"foo"; arg2 未指定，因此使用默认值 100，印在第二行。cities 和 nums 在形式参数中没有匹配，因此归为 "..."，作为 list 印在第三行及之后。

5.8 简易的统计学计算

5.8.1 t 分布

众所周知，t 分布长这样：

```
## Warning in grid.Call(C_textBounds, as.graphicsAnnot(x$label), x$x, x$y, :
## conversion failure on 'P(t T)' in 'mbcsToSbcs': dot substituted for <e2>

## Warning in grid.Call(C_textBounds, as.graphicsAnnot(x$label), x$x, x$y, :
## conversion failure on 'P(t T)' in 'mbcsToSbcs': dot substituted for <89>

## Warning in grid.Call(C_textBounds, as.graphicsAnnot(x$label), x$x, x$y, :
## conversion failure on 'P(t T)' in 'mbcsToSbcs': dot substituted for <a4>

## Warning in grid.Call(C_textBounds, as.graphicsAnnot(x$label), x$x, x$y, :
## conversion failure on 'P(t T)' in 'mbcsToSbcs': dot substituted for <e2>

## Warning in grid.Call(C_textBounds, as.graphicsAnnot(x$label), x$x, x$y, :
## conversion failure on 'P(t T)' in 'mbcsToSbcs': dot substituted for <89>
```

```
## Warning in grid.Call(C_textBounds, as.graphicsAnnot(x$label), x$x, x$y, :
## conversion failure on 'P(t T)' in 'mbcsToSbcs': dot substituted for <a4>

## Warning in grid.Call(C_textBounds, as.graphicsAnnot(x$label), x$x, x$y, :
## conversion failure on 'P(t T)' in 'mbcsToSbcs': dot substituted for <e2>

## Warning in grid.Call(C_textBounds, as.graphicsAnnot(x$label), x$x, x$y, :
## conversion failure on 'P(t T)' in 'mbcsToSbcs': dot substituted for <89>

## Warning in grid.Call(C_textBounds, as.graphicsAnnot(x$label), x$x, x$y, :
## conversion failure on 'P(t T)' in 'mbcsToSbcs': dot substituted for <a4>

## Warning in grid.Call(C_textBounds, as.graphicsAnnot(x$label), x$x, x$y, :
## conversion failure on 'P(t T)' in 'mbcsToSbcs': dot substituted for <e2>

## Warning in grid.Call(C_textBounds, as.graphicsAnnot(x$label), x$x, x$y, :
## conversion failure on 'P(t T)' in 'mbcsToSbcs': dot substituted for <89>

## Warning in grid.Call(C_textBounds, as.graphicsAnnot(x$label), x$x, x$y, :
## conversion failure on 'P(t T)' in 'mbcsToSbcs': dot substituted for <a4>

## Warning in grid.Call(C_textBounds, as.graphicsAnnot(x$label), x$x, x$y, :
## conversion failure on 'P(t T)' in 'mbcsToSbcs': dot substituted for <e2>

## Warning in grid.Call(C_textBounds, as.graphicsAnnot(x$label), x$x, x$y, :
## conversion failure on 'P(t T)' in 'mbcsToSbcs': dot substituted for <89>

## Warning in grid.Call(C_textBounds, as.graphicsAnnot(x$label), x$x, x$y, :
## conversion failure on 'P(t T)' in 'mbcsToSbcs': dot substituted for <a4>

## Warning in grid.Call(C_textBounds, as.graphicsAnnot(x$label), x$x, x$y, :
## conversion failure on 'P(t T)' in 'mbcsToSbcs': dot substituted for <e2>

## Warning in grid.Call(C_textBounds, as.graphicsAnnot(x$label), x$x, x$y, :
## conversion failure on 'P(t T)' in 'mbcsToSbcs': dot substituted for <89>

## Warning in grid.Call(C_textBounds, as.graphicsAnnot(x$label), x$x, x$y, :
## conversion failure on 'P(t T)' in 'mbcsToSbcs': dot substituted for <a4>

## Warning in grid.Call(C_textBounds, as.graphicsAnnot(x$label), x$x, x$y, :
## conversion failure on 'P(t T)' in 'mbcsToSbcs': dot substituted for <e2>
```

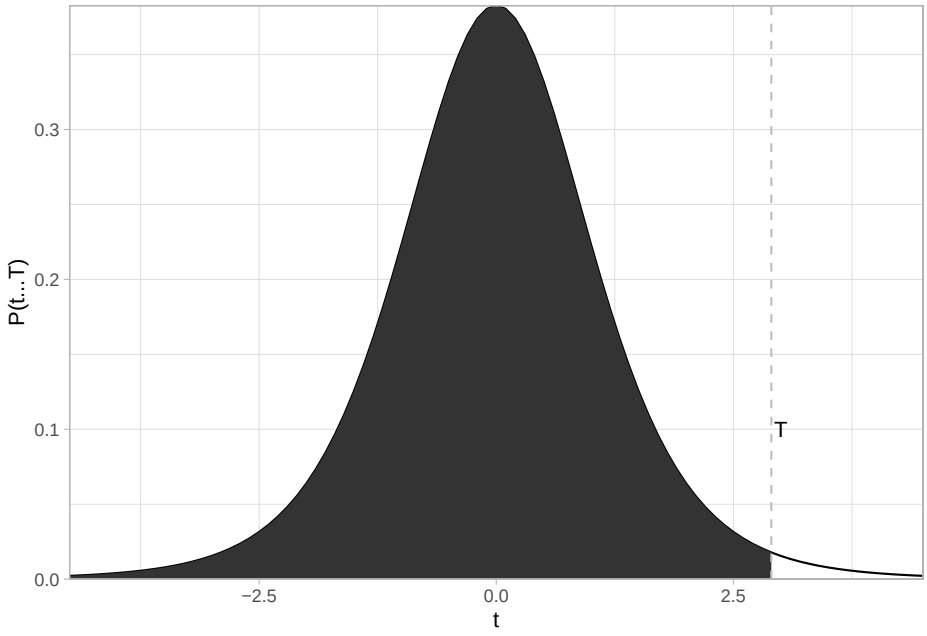
```
## Warning in grid.Call(C_textBounds, as.graphicsAnnot(x$label), x$x, x$y, :
## conversion failure on 'P(t T)' in 'mbcsToSbcs': dot substituted for <89>

## Warning in grid.Call(C_textBounds, as.graphicsAnnot(x$label), x$x, x$y, :
## conversion failure on 'P(t T)' in 'mbcsToSbcs': dot substituted for <a4>

## Warning in grid.Call.graphics(C_text, as.graphicsAnnot(x$label), x$x,
## x$y, : conversion failure on 'P(t T)' in 'mbcsToSbcs': dot substituted for
## <e2>

## Warning in grid.Call.graphics(C_text, as.graphicsAnnot(x$label), x$x,
## x$y, : conversion failure on 'P(t T)' in 'mbcsToSbcs': dot substituted for
## <89>

## Warning in grid.Call.graphics(C_text, as.graphicsAnnot(x$label), x$x,
## x$y, : conversion failure on 'P(t T)' in 'mbcsToSbcs': dot substituted for
## <a4>
```



阴影面积为 $P(t < T)$，虚线对应的 t 为 T. `qt()` 可以把 $P(tT)$ 的值转化成 T,`pt()` 则相反。

假设你需要算一个 confidence interval（置信区间），confidence level（置信

等级）为 95%，即 $\alpha = 0.05$，degrees of freedom(自由度) 为 12，那么怎么算 t^* 呢?

```
qt(0.975, df = 12)
```

```
## [1] 2.178813
```

为什么是 0.975? 因为你要把 0.05 分到左右两边，所对应的 t* 就等同于 t 分布中，$P(tT) = 0.975$ 时 T 的值。

再举一个例子，你在做 t 检验，双尾的，算出来 $t = 1.345$，自由度是 15，那么 p 值怎么算呢?

```
p <- (1-(pt(2.2, df = 15)))*2
p
```

```
## [1] 0.04389558
```

其中 `pt(2.2, df = 15)` 算出阴影面积（$P(tT)$ 的值），1 减去它再乘以 2 就是对应的双尾 t 检验的 p 值。

5.8.2 z 分布

没有 z 分布专门的函数。可以直接用 t 分布代替，把 `df` 调到很大（比如 `999999`）就行了。比如我们试一下 95% 置信区间所对应的 $z*$:

```
qt(0.975,9999999)
```

```
## [1] 1.959964
```

(果然是 1.96)

5.8.3 t 检验

t 检验分为以下几种:

- One sample t test （单样本）
- paired t test（配对）
- Two sample…（双样本）

- Unequal variance t test（不等方差）
- Equal variance t test（等方差）

在 R 中做 t 检验，很简单，以上这些 t 检验，都是用 `t.test` 这个函数去完成。

以单样本为例：

```
x <- c(2.23,2.24,2.34,2.31,2.35,2.27,2.29,2.26,2.25,2.21,2.29,2.34,2.32)
t.test(x, mu = 2.31)
```

```
##
##  One Sample t-test
##
## data:  x
## t = -2.0083, df = 12, p-value = 0.06766
## alternative hypothesis: true mean is not equal to 2.31
## 95 percent confidence interval:
##  2.257076 2.312155
## sample estimates:
## mean of x
##  2.284615
```

可以看到 $p = 0.06766$。

R 的默认是双尾检验，你也可以设置成单尾的：

```
x <- c(2.23,2.24,2.34,2.31,2.35,2.27,2.29,2.26,2.25,2.21,2.29,2.34,2.32)

t.test(x, mu = 2.31, alternative = "less") # 检验是否 *less* than
```

```
##
##  One Sample t-test
##
## data:  x
## t = -2.0083, df = 12, p-value = 0.03383
## alternative hypothesis: true mean is less than 2.31
## 95 percent confidence interval:
```

```
##       -Inf 2.307143
## sample estimates:
## mean of x
##  2.284615
```

p 值瞬间减半。

双样本/配对:

```
x <- c(2.23,2.24,2.34,2.31,2.35,2.27,2.29,2.26,2.25,2.21,2.29,2.34,2.32)
y <- c(2.27,2.29,2.37,2.38,2.39,2.25,2.39,2.16,2.55,2.81,2.19,2.44,2.22)

t.test(x, y)
```

```
##
##  Welch Two Sample t-test
##
## data:  x and y
## t = -1.5624, df = 13.65, p-value = 0.1411
## alternative hypothesis: true difference in means is not equal to 0
## 95 percent confidence interval:
##  -0.18460351  0.02921889
## sample estimates:
## mean of x mean of y
##  2.284615  2.362308
```

R 的默认是 non-paired, unequal variance, 你可以通过增加 `paired = TRUE`, `var.equal = TRUE` 这两个参数来改变它。

```
t.test(x, y, paired = TRUE)
```

```
##
##  Paired t-test
##
## data:  x and y
## t = -1.4739, df = 12, p-value = 0.1662
## alternative hypothesis: true difference in means is not equal to 0
```

```
## 95 percent confidence interval:
##  -0.19253874  0.03715412
## sample estimates:
## mean of the differences
##              -0.07769231
```

5.8.4 χ^2 检验

彩蛋：用 R 代码实现卡方分布的概率密度函数的图像：

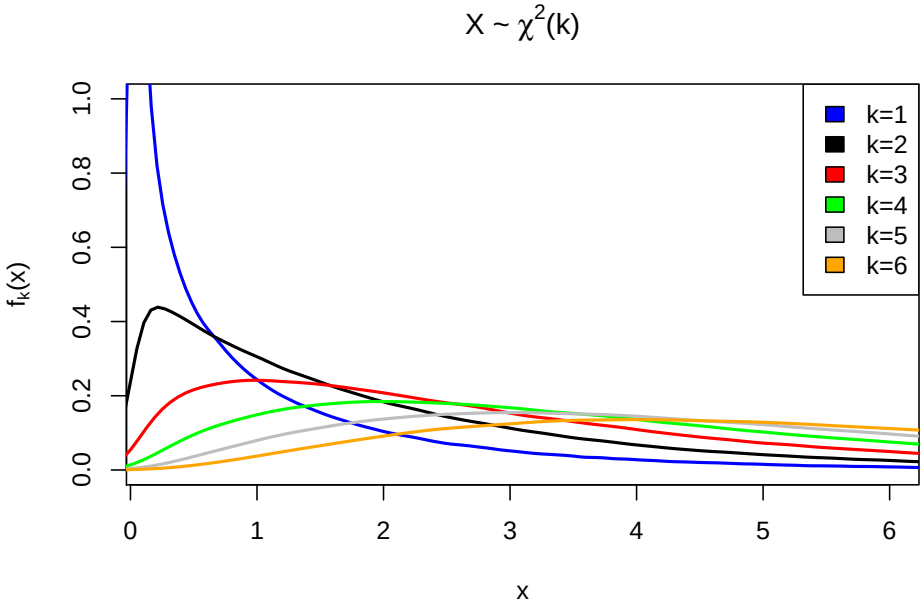
```
# 其实还可以更精简，但是为了易读性不得不牺牲一点精简度。

X_squared <- matrix(rep(rnorm(1000000), 6), nrow = 6)^2

Q <- matrix(nrow = 6, ncol = 1000000)

for (i in (1+1):6) {
  Q[1,] = X_squared[1,]
  Q[i,] = Q[(i-1),] + X_squared[i,]
}

plot(NULL, xlim=c(0.2,6), ylim = c(0,1),
     main = expression(paste('X ~ ', chi^'2', '(k)')),
     xlab = "x",
     ylab= expression(f[k]*'(x)')
    )
colors <- c('blue', 'black', 'red', 'green', 'gray', 'orange')
for (i in 1:6) {
  lines(density(Q[i,]),
        col=colors[i],
        lwd=2)
}
legend('topright',c('k=1','k=2','k=3','k=4','k=5','k=6'),
       fill = colors)
```



χ^2 有两种，good

Chapter 6

dataframe（数据框）和 tibble

6.1 查看 dataframe/tibble 并了解它们的结构

6.1.1 dataframe/tibble 的概念

dataframe 是 R 中存储复杂数据的格式，它直观易操作。tibble 是 tidyverse 的一部分，它是 dataframe 的进化版，功能更强大，更易操作。

我们来看个例子：

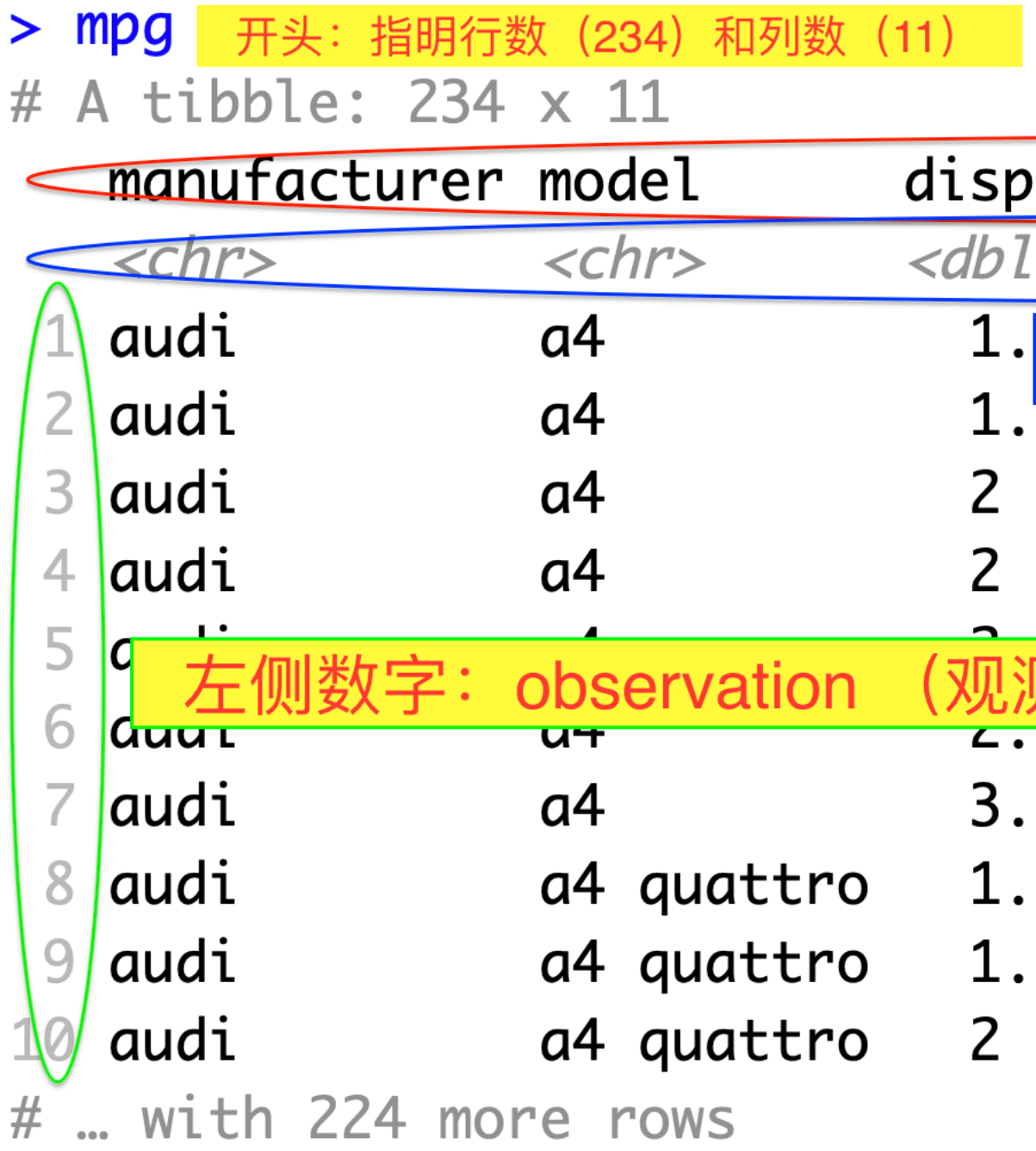
首先加载 tidyverse：

```
require(tidyverse)
```

以后每次跟着本书使用 R 的时候，都要先加载 tidyverse，不再重复提醒了。

tidyverse 中自带一些范例数据，比如我们输入：

```
mpg
```



这张图是重中之重。一个正确的 dataframe/tibble，每一行代表的是一个

observation（硬翻译的话是“观测单位”，但是我觉得这个翻译不好），每一列代表的是一个 variable（变量），且同一个变量的数据类型必须一样[1]。像这样的数据被称为“tidy data”（“整齐的数据”）。虽然看起来简单，直观，理所当然，但是现实中上人们经常会做出“不整齐”的数据。把不整齐的数据弄整齐是下一章的重点。

6.1.2 查看更多数据

R 默认显示 dataframe/tibble 的前 10 行。如果想看最后 6 行，可以使用 `tail()` 函数，比如：

```
tail(mpg)
```

```
## # A tibble: 6 x 11
##   manufacturer model  displ  year   cyl trans drv     cty   hwy fl    class
##   <chr>        <chr>  <dbl> <int> <int> <chr> <chr> <int> <int> <chr> <chr>
## 1 volkswagen   passat   1.8  1999     4 auto~ f        18    29 p     mids~
## 2 volkswagen   passat   2    2008     4 auto~ f        19    28 p     mids~
## 3 volkswagen   passat   2    2008     4 manu~ f        21    29 p     mids~
## 4 volkswagen   passat   2.8  1999     6 auto~ f        16    26 p     mids~
## 5 volkswagen   passat   2.8  1999     6 manu~ f        18    26 p     mids~
## 6 volkswagen   passat   3.6  2008     6 auto~ f        17    26 p     mids~
```

若要从头到尾查看全部数据，可以使用 `View` 函数：

```
View(mpg)
```

[1] https://thomaswdinsmore.com/2014/12/15/sas-versus-r-part-two/

6.2 编辑 tibble

6.2.1 创建 tibble

6.2.1.1 手动输入数据以创建 tibble

使用 `tibble` 函数，按以下格式创建 tibble. 换行不是必须的，但是换行会看得更清楚。如果换行，不要忘记行末的逗号。

```
my_tibble_1 <- tibble(
                nums = c(4, 5, 6),
                chars = c("hej", " 你好", " こんにちは"),
                cplxnums = c("4+8i", "3+5i", "3+4i")
                )
my_tibble_1
```

```
## # A tibble: 3 x 3
##    nums chars      cplxnums
##   <dbl> <chr>      <chr>
## 1     4 hej        4+8i
## 2     5 你好       3+5i
## 3     6 こんにちは 3+4i
```

类似地，可以从现有的 vector 创建。**所有的变量长度必须一样**。

```
x <- c(1,4,5)
y <- c(211,23,45)
z <- c(20,32)
```

```
my_tibble_2 <- tibble(v1 = x, v2 = y)
my_tibble_2
```

```
## # A tibble: 3 x 2
##      v1    v2
##   <dbl> <dbl>
## 1     1   211
## 2     4    23
```

```
## 3     5    45
```

而试图把 x 和 z 做成 tibble 就会报错：

```
my_tibble_3 <- tibble(w1 = x, w2 = z)


 # Error: Tibble columns must have consistent lengths, only values of length one are recycle
```

6.2.1.2 把 dataframe 转换成一个 tibble

```
d1 <- as.tibble(d) # 其中 d 是一个 dataframe
```

6.2.1.3 从外部数据创建 tibble

参见第 @ref() 节（数据的导入）

6.2.2 抓取行，列

6.2.2.1 抓取单列

抓取单列很简单，也很常用（比如我们只想从一个大的 tibble 中抓两个变量研究它们之间的关系）。有两个符号可以用于抓取列，$（仅用于变量名称）与 [[]]（变量名称或索引）。还是以 mpg 为例，假设我们要抓取第 3 列 (displ)：

```
#########################
# 通过变量名称抓取：
mpg[["displ"]]
# 或
mpg$displ # 一般，在 RStudio 中此方法最方便，因为打出“$”之后会自动提示变量名。


#########################
# 通过索引抓取：
mpg[[3]]
```

以上三种方法都应得到同样的结果（是一个 vector）：

```
##  [1] 1.8 1.8 2.0 2.0 2.8 2.8 3.1 1.8 1.8 2.0 2.0 2.8 2.8 3.1 3.1 2.8 3.1
## [18] 4.2 5.3 5.3
```

6.2.2.2 抓取多列

有时候，一个 tibble 中含有很多冗余信息，我们可能想把感兴趣的几个变量抓出来做一个新 tibble. 这时 `select` 函数最为方便。可以用变量名称或者索引来抓取。比如：

```
mpg_new <- select(mpg, 3:5, 8, 9)
# 等同于
mpg_new <- select(mpg, displ, year, cyl, cty, hwy)

mpg_new
```

```
## # A tibble: 234 x 5
##    displ  year   cyl   cty   hwy
##    <dbl> <int> <int> <int> <int>
##  1   1.8  1999     4    18    29
##  2   1.8  1999     4    21    29
##  3   2    2008     4    20    31
##  4   2    2008     4    21    30
##  5   2.8  1999     6    16    26
##  6   2.8  1999     6    18    26
##  7   3.1  2008     6    18    27
##  8   1.8  1999     4    18    26
##  9   1.8  1999     4    16    25
## 10   2    2008     4    20    28
## # ... with 224 more rows
```

6.2.2.3 通过 filter，抓取满足某条件的行

通过 filter，我们可以过滤出某个或多个变量满足某种条件的 observations. 如果你还不熟悉逻辑运算，请看第5.4.2节

假设我们只想看 mpg 中的奥迪品牌的，排量大于等于 2 且小于 4 的车辆的数据：

```
mpg_audi_displ2to4 <- filter(mpg, manufacturer == "audi", displ >= 2.5 & displ < 4)

mpg_audi_displ2to4
```

```
## # A tibble: 9 x 11
##   manufacturer model  displ  year   cyl trans drv     cty   hwy fl    class
##   <chr>        <chr>  <dbl> <int> <int> <chr> <chr> <int> <int> <chr> <chr>
## 1 audi         a4       2.8  1999     6 auto~ f        16    26 p     comp~
## 2 audi         a4       2.8  1999     6 manu~ f        18    26 p     comp~
## 3 audi         a4       3.1  2008     6 auto~ f        18    27 p     comp~
## 4 audi         a4 qu~   2.8  1999     6 auto~ 4        15    25 p     comp~
## 5 audi         a4 qu~   2.8  1999     6 manu~ 4        17    25 p     comp~
## 6 audi         a4 qu~   3.1  2008     6 auto~ 4        17    25 p     comp~
## 7 audi         a4 qu~   3.1  2008     6 manu~ 4        15    25 p     comp~
## 8 audi         a6 qu~   2.8  1999     6 auto~ 4        15    24 p     mids~
## 9 audi         a6 qu~   3.1  2008     6 auto~ 4        17    25 p     mids~
```

6.3 进阶内容

这一节为进阶内容，不用看。可以直接跳到下一章（第7

其中的很多操作和 dataframe 或 tibble 中的操作是等效的。一般，tibble 中的操作更直观，更容易上手。

6.3.1 arrays（数组）和 matrices（矩阵）简介

Vector 是一维的数据。Array 是多维的数据。Matrix 是二维的数据，因此 matrix 是 array 的一种特殊情况。

Dataframe 不是 matrix. A matrix is a two-dimensional **array** containing numbers. A dataframe is a two-dimensional **list** containing (potentially a mix of) numbers, text or logical variables in different columns.

我们可以用 `dim()` 来创建 arrays：

```
A <- 1:48 # 创建一个 (1,2,3,...24) 的 numeric vector
dim(A) <- c(6,8) # 给 A assign 一个 6 乘 4 的 dimensions
A
```

```
##      [,1] [,2] [,3] [,4] [,5] [,6] [,7] [,8]
## [1,]    1    7   13   19   25   31   37   43
## [2,]    2    8   14   20   26   32   38   44
## [3,]    3    9   15   21   27   33   39   45
## [4,]    4   10   16   22   28   34   40   46
## [5,]    5   11   17   23   29   35   41   47
## [6,]    6   12   18   24   30   36   42   48
```

可以看到我们创建了一个二维的，array, 因此它也是一个（4 行 6 列的）matrix。

```
is.array(A)
```

```
## [1] TRUE
```

```
is.matrix(A)
```

```
## [1] TRUE
```

注意 24 个数字排列的方式。第一个维度是行，所以先把 4 行排满，随后再使用下一个维度（列），使用第 2 列继续排 4 行，就像数字一样，（十进制中）先把个位从零数到 9，再使用第二个位数（十位），以此类推。下面三维和四维的例子可能会更清晰。

同时注意最左边和最上边的 [1,], [,3] 之类的标记。你应该猜出来了，这些是

index. 假设你要抓取第五行第三列的数值：

```
A[5,3]
```

```
## [1] 17
```

或者第三行的全部数值：

```
A[3,]
```

```
## [1]  3  9 15 21 27 33 39 45
```

或者第四列的全部数值：

```
A[,4]
```

```
## [1] 19 20 21 22 23 24
```

接下来我们再看一个三维的例子（还是用 1-48）：

```
dim(A) <- c(2,8,3)
A
```

```
## , , 1
##
##      [,1] [,2] [,3] [,4] [,5] [,6] [,7] [,8]
## [1,]    1    3    5    7    9   11   13   15
## [2,]    2    4    6    8   10   12   14   16
##
## , , 2
##
##      [,1] [,2] [,3] [,4] [,5] [,6] [,7] [,8]
## [1,]   17   19   21   23   25   27   29   31
## [2,]   18   20   22   24   26   28   30   32
##
## , , 3
##
##      [,1] [,2] [,3] [,4] [,5] [,6] [,7] [,8]
## [1,]   33   35   37   39   41   43   45   47
## [2,]   34   36   38   40   42   44   46   48
```

它生成了三个二维的矩阵。在每个 2*8 的矩阵存储满 16 个元素后，第三个维度就要加一了。每个矩阵开头的，，x 正是第三个维度的值。同理，我们可以生成四维的 array：

```
dim(A) <- c(3,4,2,2)
A
```

```
## , , 1, 1
##
##      [,1] [,2] [,3] [,4]
## [1,]    1    4    7   10
## [2,]    2    5    8   11
## [3,]    3    6    9   12
##
## , , 2, 1
##
##      [,1] [,2] [,3] [,4]
## [1,]   13   16   19   22
## [2,]   14   17   20   23
## [3,]   15   18   21   24
##
## , , 1, 2
##
##      [,1] [,2] [,3] [,4]
## [1,]   25   28   31   34
## [2,]   26   29   32   35
## [3,]   27   30   33   36
##
## , , 2, 2
##
##      [,1] [,2] [,3] [,4]
## [1,]   37   40   43   46
## [2,]   38   41   44   47
## [3,]   39   42   45   48
```

观察每个矩阵开头的，，x，y. x 是第三个维度，y 是第四个维度。每个二位矩阵存满后，第三个维度（x）加一。x 达到上限后，第四个维度（y）再加一。

类似二维矩阵，你可以通过 index 任意抓取数据，比如：

```
A[ ,3 , , ] # 每个矩阵第 3 列的数据，即所有第二个维度为 3 的数值
```

```
## , , 1
##
##      [,1] [,2]
## [1,]    7   19
## [2,]    8   20
## [3,]    9   21
##
## , , 2
##
##      [,1] [,2]
## [1,]   31   43
## [2,]   32   44
## [3,]   33   45
```

6.3.2 给 matrices 和 arrays 命名

假设我们记录了 3 种药物（chloroquine, artemisinin, doxycycline）对 5 种疟原虫 (P. falciparum, P. malariae, P. ovale, P. vivax, P. knowlesi) 的疗效，其中每个药物对每种疟原虫做 6 次实验。为了记录数据，我们可以做 3 个 6*5 的矩阵：（这里只是举例子，用的是随机生成的数字）

```
B <- runif(90, 0, 1) # 从均匀分布中取 100 个 0 到 1 之间的数
dim(B) <- c(6, 5, 3) # 注意顺序
B
```

```
## , , 1
##
##           [,1]      [,2]      [,3]      [,4]      [,5]
```

```
## [1,] 0.2415776 0.5242838 0.7352969 0.1313954 0.4667498
## [2,] 0.8926535 0.9634007 0.5846095 0.7557924 0.2252941
## [3,] 0.3302690 0.2952240 0.3597534 0.4603156 0.9699843
## [4,] 0.9276662 0.3531149 0.5069761 0.1002837 0.6333862
## [5,] 0.1272156 0.1573198 0.1532267 0.9780175 0.1043068
## [6,] 0.8131391 0.6317449 0.8005155 0.9987736 0.5442852
##
## , , 2
##
##           [,1]      [,2]      [,3]      [,4]      [,5]
## [1,] 0.6904035 0.8208418 0.9870558 0.7340091 0.9970073
## [2,] 0.4313577 0.8632674 0.4312112 0.2102800 0.1837637
## [3,] 0.9141547 0.6185988 0.8758551 0.3449712 0.2654355
## [4,] 0.5520347 0.3094929 0.8631295 0.8886063 0.5343539
## [5,] 0.7412163 0.2207543 0.7524223 0.7963836 0.5454476
## [6,] 0.4776628 0.3929327 0.6203356 0.8639600 0.2404051
##
## , , 3
##
##           [,1]      [,2]      [,3]       [,4]       [,5]
## [1,] 0.9611371 0.1534631 0.4538189 0.99278820 0.32712930
## [2,] 0.1458736 0.6759583 0.5057370 0.05837633 0.50384213
## [3,] 0.2966969 0.6985601 0.7846608 0.03811940 0.08452826
## [4,] 0.3603438 0.4991536 0.8948747 0.89492495 0.76711691
## [5,] 0.4723897 0.8113412 0.6966183 0.69747444 0.61477400
## [6,] 0.4580120 0.6338552 0.9373622 0.43735815 0.08615919
```

然后我们用 dimnames() 来命名：

```
dimnames(B) <- list(paste("trial.", 1:6), c('P. falciparum', 'P. malariae', 'P. ov
B
```

```
## , , chloroquine
##
##          P. falciparum P. malariae  P. ovale  P. vivax P. knowlesi
```

```
## trial. 1     0.2415776   0.5242838 0.7352969 0.1313954   0.4667498
## trial. 2     0.8926535   0.9634007 0.5846095 0.7557924   0.2252941
## trial. 3     0.3302690   0.2952240 0.3597534 0.4603156   0.9699843
## trial. 4     0.9276662   0.3531149 0.5069761 0.1002837   0.6333862
## trial. 5     0.1272156   0.1573198 0.1532267 0.9780175   0.1043068
## trial. 6     0.8131391   0.6317449 0.8005155 0.9987736   0.5442852
##
## , , artemisinin
##
##          P. falciparum P. malariae  P. ovale  P. vivax P. knowlesi
## trial. 1     0.6904035   0.8208418 0.9870558 0.7340091   0.9970073
## trial. 2     0.4313577   0.8632674 0.4312112 0.2102800   0.1837637
## trial. 3     0.9141547   0.6185988 0.8758551 0.3449712   0.2654355
## trial. 4     0.5520347   0.3094929 0.8631295 0.8886063   0.5343539
## trial. 5     0.7412163   0.2207543 0.7524223 0.7963836   0.5454476
## trial. 6     0.4776628   0.3929327 0.6203356 0.8639600   0.2404051
##
## , , doxycycline
##
##          P. falciparum P. malariae  P. ovale   P. vivax P. knowlesi
## trial. 1     0.9611371   0.1534631 0.4538189 0.99278820  0.32712930
## trial. 2     0.1458736   0.6759583 0.5057370 0.05837633  0.50384213
## trial. 3     0.2966969   0.6985601 0.7846608 0.03811940  0.08452826
## trial. 4     0.3603438   0.4991536 0.8948747 0.89492495  0.76711691
## trial. 5     0.4723897   0.8113412 0.6966183 0.69747444  0.61477400
## trial. 6     0.4580120   0.6338552 0.9373622 0.43735815  0.08615919
```

清清楚楚，一目了然。

6.3.3 apply

```
apply(A,1,sum)
```

```
## [1] 376 392 408
```

Chapter 7

ggplot

若要了解更多, 请阅读 ggplot 开发者本人所编写的 *ggplot2: Elegand Graphics for Data Analysis*(Wickham 2015)。

Chapter 8

数据处理

Chapter 9

与 Python 的联合使用

9.1 在 R 中使用 Python: `reticulate`

9.2 在 Python 中使用 R: `rpy`

9.3 Beaker Notebook

https://decisionstats.com/2015/12/07/decisionstats-interview-scott-draves-beaker-notebook/

Inspired by Jupyter, Beaker Notebook allows you to switch from one language in one code block to another language in another code block in a streamlined way to pass shared objects (data)

9.4

References

Kernighan, Brain W., and Ednnis M. Ritchie. 1988. *The C Programming Language*. 2nd ed. Prentice Hall.

R Core Team. 2019. *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing. https://www.R-project.org/.

RStudio Team. 2015. *RStudio: Integrated Development Environment for R*. Boston, MA: RStudio, Inc. http://www.rstudio.com/.

Wickham, Hadley. 2015. *Ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis*. Use R! Springer.

———. 2017. *Tidyverse: Easily Install and Load the 'Tidyverse'*. https://CRAN.R-project.org/package=tidyverse.

Ziemann, Mark, Yotam Eren, and Assam El-Osta. 2016. "Gene Name Errors Are Widespread in the Scientific Literature." Journal Article. *Genome Biology* 17 (1): 177. https://doi.org/10.1186/s13059-016-1044-7.