

データの可視化

第5講 - 様々なグラフの描画

村田 昇

講義の内容

- 可視化の重要性
- 基本的な描画
- 分布の視覚化
- 比率の視覚化
- 多次元データの視覚化

可視化の重要性

可視化のための機能

- データの特徴や傾向を把握するために効果的
- R はきわめて多彩な作図機能を持つ
- `package::graphics` に含まれる代表的な描画関数を取り上げて解説する
 - 描画関連の関数は色、線の種類や太さ、あるいは図中の文字の大きさなどを指定することができる
 - 用意されている多彩なオプションは説明しきれないため、必要に応じて関数 `help()` (ヘルプ) と関数 `example()` (例題) を参照のこと

サンプルデータの説明

- `jpdata[1-3].csv` (再掲)
 - <https://www.e-stat.go.jp> (統計局)
 - * 地域から探す / 全県を選択 / 項目を選択してダウンロード
 - * 日本語が扱えることを想定して日本語を含んでいる
 - * 英語のために `-en` を用意
 - データファイル (文字コード: utf8)
 - * `jpdata1.csv`: 県別の対象データ
 - * `jpdata2.csv`: 対象データの内容説明
 - * `jpdata3.csv`: 県と地域の対応関係
 - 作業ディレクトリの `data` 内に置いて読み込む場合

```
jp_data <- read.csv(file="data/jpdata1.csv", fileEncoding="utf8", row.names=1)
jp_item <- read.csv(file="data/jpdata2.csv", fileEncoding="utf8")
jp_area <- read.csv(file="data/jpdata3.csv", fileEncoding="utf8")
```

* 変数名は自由に付けてよい

- tokyo_weather.csv (tokyo.zip の中)
 - <https://www.jma.go.jp> (気象庁)
 - * 各種データ・資料 / 過去の地点気象データ・ダウンロード
 - * 地点 / 項目 / 期間を選択してダウンロード
 - * ダウンロードしたものを必要事項のみ残して整理
 - データ項目
 - 平均気温 (°C), 降水量の合計 (mm), 合計全日射量 (MJ/m²), 降雪量合計 (cm), 最多風向 (16 方位), 平均風速 (m/s), 平均現地気圧 (hPa), 平均湿度 (%), 平均雲量 (10 分比), 天気概況 (昼: 06 時~18 時), 天気概況 (夜: 18 時~翌日 06 時)
 - 作業ディレクトリの data 内に置いて読み込む場合

```
tw_data <- read.csv(file="data/tokyo_weather.csv")
```

- tokyo_covid19_2021.csv (tokyo.zip の中)
 - <https://stopcovid19.metro.tokyo.lg.jp> (東京都)
 - データ項目
 - 陽性者数, 総検査実施件数, 発熱等相談件数
 - 作業ディレクトリの data 内に置いて読み込む場合

```
tc_data <- read.csv(file="data/tokyo_covid19_2021.csv", fileEncoding="utf8")
```

基本的な描画

関数 plot()

- ベクトルデータの描画を行う関数

```
plot(x, y = NULL, type = "p", xlim = NULL, ylim = NULL,
      main = NULL, xlab = NULL, ylab = NULL, ...)
## x, y: ベクトル. y は省略可能.
## type: 描画タイプ. 既定値は "p" (点), "l" (折れ線) などが指定可
## xlim/ylim: x/y 軸の範囲. 既定値は自動的に決定
## main: 図のタイトル. 既定値は空白
## xlab: x 軸のラベル名. 既定値は Index
## ylab: y 軸のラベル名. 既定値は x のオブジェクト名
## ...: その他のオプション
```

- 適宜 help("plot") を参照

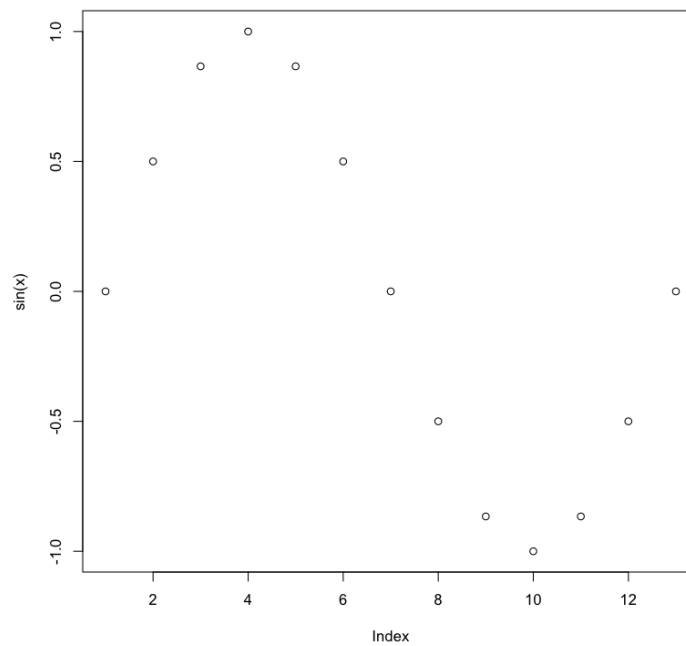
関数 plot() のオプション

- よく利用される ... の部分
 - col: 色の指定. "red" や "blue" など. 指定可能な色は関数 colors() を参照
 - pch: 点の形. 詳細は help("points") を参照
 - lty: 線のタイプ. 実線・破線など. タイプ名もしくは数字で指定. 詳細は help("par") を参照
 - lwd: 線の太さ. 数字で指定
 - cex: 文字の大きさ. 既定値の何倍にするかを指定

ベクトルの描画の例

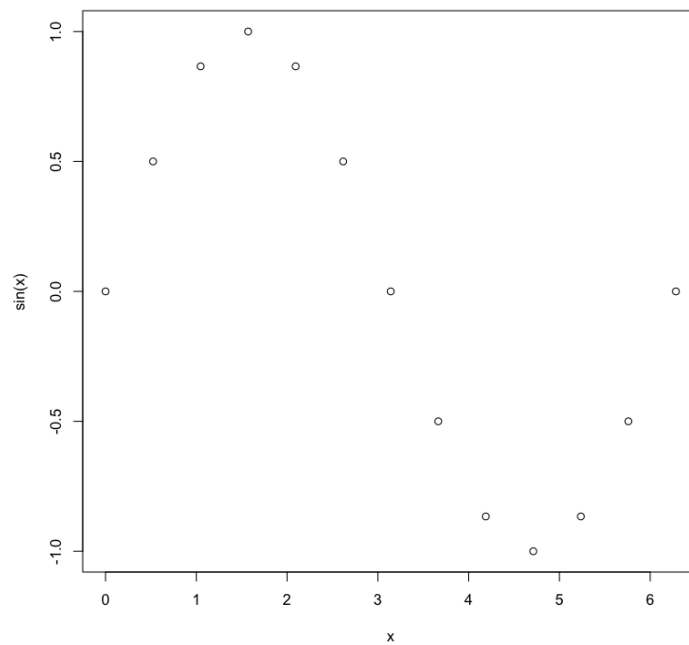
- 1 変数の場合 `plot(x)`
- 2 変数の場合 `plot(x,y)`
- 基本的なオプションの指定例
- 1 変数の場合 `plot(x)`

```
x <- pi/6*(0:12) # 30度 (pi/6) おきに 1 周期分 (0-2*pi)
plot(sin(x)) # x軸はベクトルの要素番号 (Index), y軸は sin(x) の値を描画
```



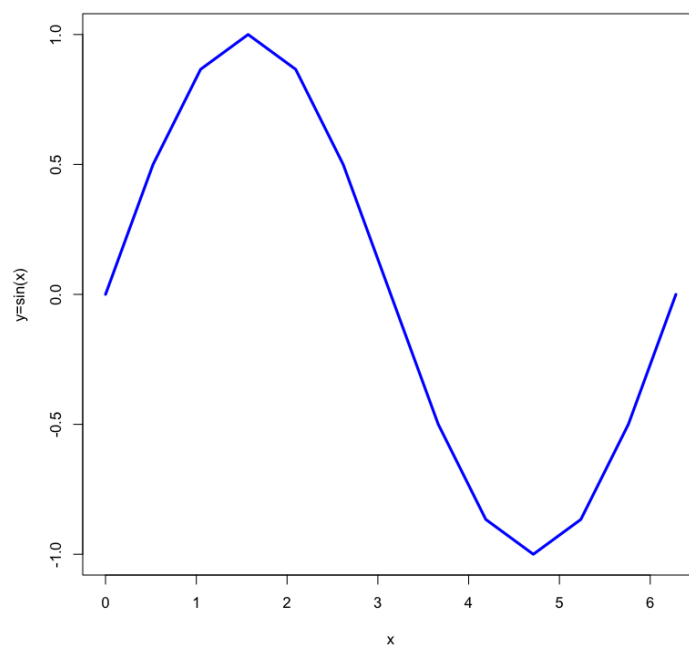
- 2 変数の場合 `plot(x,y)`

```
x <- pi/6*(0:12)
plot(x, sin(x)) # x の値に対する y=sin(x) の値を対応づけて描画
```



- オプションの例

```
x <- pi/6*(0:12)
plot(x, sin(x), type="l", lwd=3, col="blue", ylab="y=sin(x)")
```



重ね描きのための関数

- 別のベクトルを点として重ね描きする場合

```
points(x, y = NULL, ...) # ... は関数 plot() と同様なオプションが指定可能
```

- 別のベクトルを線として重ね描きする場合

```
lines(x, y = NULL, ...) # ... は関数 plot() と同様なオプションが指定可能
```

- 文字を重ね描きする場合

```
text(x, y = NULL, labels, ...) # labels に文字列を指定
```

重ね描きの例

- ベクトルデータの重ね描き

```
x <- seq(0, 4*pi, by=0.5)
y <- sin(x)
z <- cos(x)
plot(x, y, type="b", pch=4, ylim=c(-2,2), col="red") # "b"="p+l"
points(x, z, col="blue", pch="C") # 点を追加. pch は文字も指定できる
lines(x, z, col="cyan", lwd=3) # 折れ線を追加
```

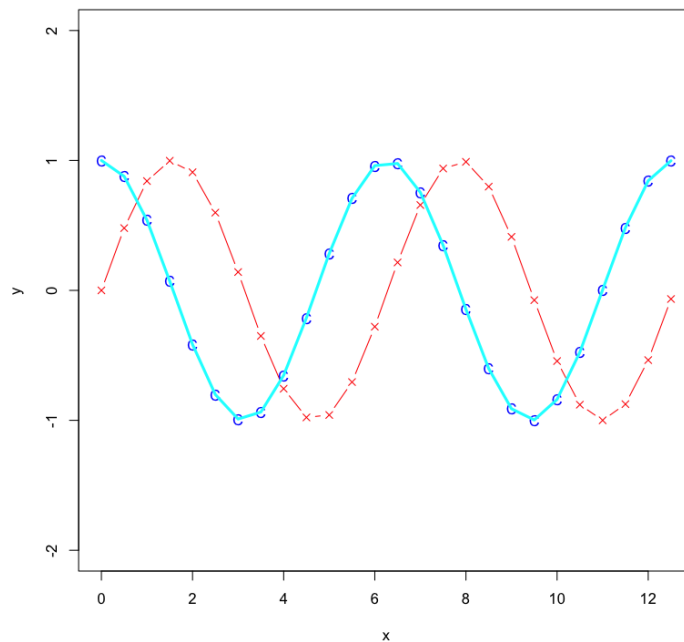


図 1: ベクトルデータの重ね描き

関数 curve()

- 1 変数関数の描画を行う関数

```
curve(expr, from = NULL, to = NULL, add = FALSE,
      type = "l", xname = "x", xlab = xname, ylab = NULL, ...)
## expr: 1 変数関数 (関数名)
## from: x 軸の左端
## to: x 軸の右端
```

```
## add: TRUE で重ね描きする
## xname: x 軸の変数名
```

- 関数 `plot()` にも同様の機能がある

```
plot(x, y = 0, to = 1, ...) # ... は "ベクトルの描画" と同様に指定が可能
```

関数の描画の例

- 関数の描画

```
curve(sin, from=0, to=4*pi,
      col="blue", lwd=2, # グラフの線の色と太さ
      xlab="time", ylab="sin/cos") # x/y 軸のラベルの文字列を指定
curve(cos, # 上書きする場合は範囲の指定は不要
      add=TRUE, # グラフを上書き
      col="red", lwd=2)
```

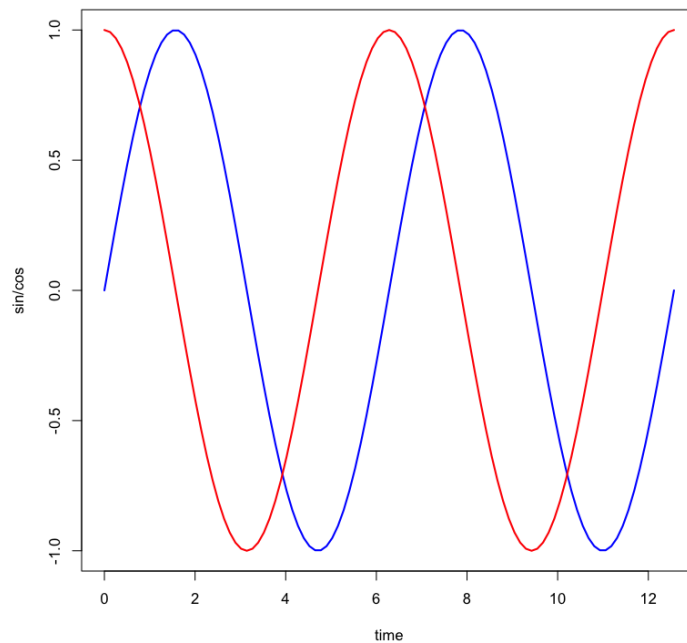


図 2: 関数の描画

- 関数とベクトルデータの重ね描き

```
x <- seq(0, 4*pi, by=0.25)
y <- sin(x) + rep(c(-0.2, 0.1), len=length(x))
plot(x, y, type="p", pch="x", ylim=c(-2,2), col="red")
lines(x, y, col="blue", lwd=2) # 折れ線を追加
curve(sin, add=TRUE, col="orange", lwd=3)
```

散布図

- 2 種類のデータ x_1, \dots, x_n および y_1, \dots, y_n が与えられたとき、同じ添字を持つ点 $(x_1, y_1), \dots, (x_n, y_n)$ を平面上に描画した図
- データの性質を捉えるための基本的な描画の方法

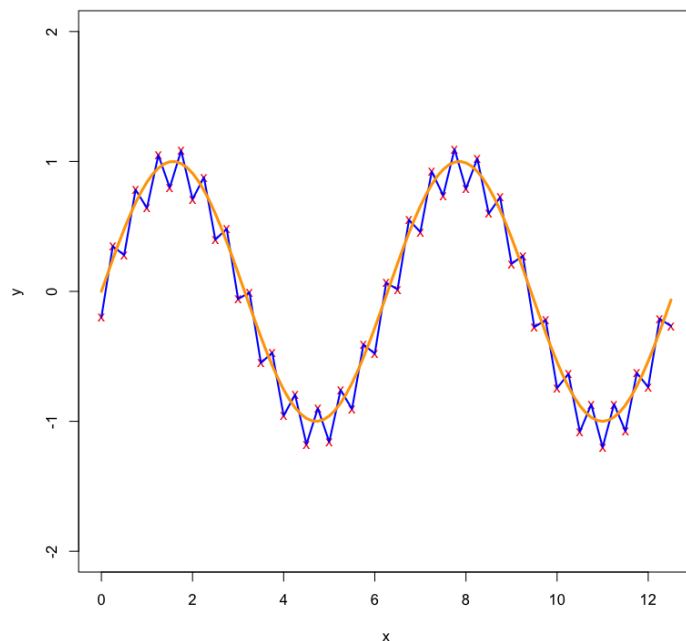


図 3: 関数とベクトルデータの重ね描き

関数 `plot()`

- ベクトルデータの散布図を作成する (既出の機能)

```
plot(x, y = NULL, ...) #... は "ベクトルの描画" と同様に指定が可能
## x: 1 種類目のデータ c(x1,x2,...)
## y: 2 種類目のデータ c(y1,y2,...) (x と同じ長さ)
```

関数 `plot()`

- データフレーム `x` の変数 `A`, `B` の散布図を作成する

```
plot(B ~ A, data = x, ...) # "Y軸 ~ X軸" と指定
## x: データフレーム
## A,B: 変数名 (データフレームの列名を利用可能)
##      "B ~ A" は formula と呼ばれる
```

- formula の書き方は `help("formula")` を参照
- データフレーム `x` に対して `plot(x)` を実行すると、すべての変数のペアに対する散布図が作成される (散布図行列・対散布図; `pairs()` 後述)

散布図の例

- データフレームを用いた散布図

```
plot(Ozone ~ Wind, data=airquality, # xy 軸名は列の名前が使われる
     pch="x", # 点の形を文字で指定することもできる
     col="red",
     cex=2) # cex は点の大きさの倍率を指定する
```

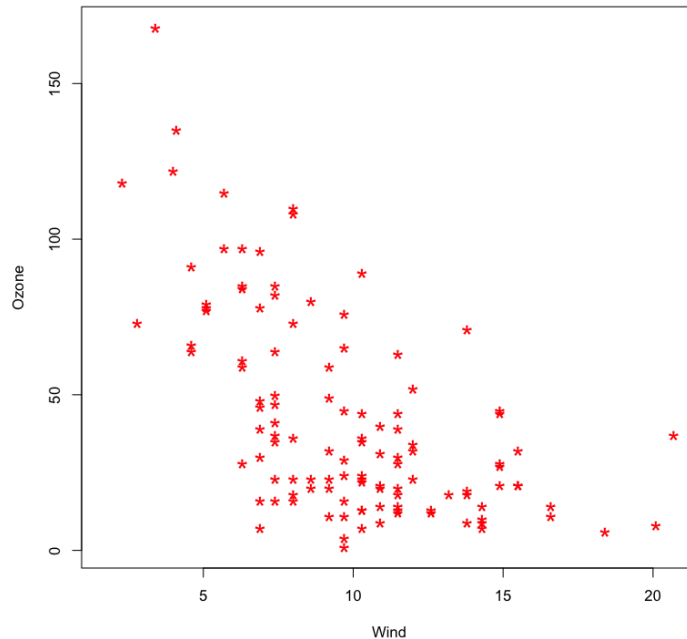


図 4: データフレームを用いた散布図

日本語に関する注意

- 日本語を含む図で文字化けが起こった場合
(主に macOS)
 - 関数 `par` の `family` オプションでフォントを指定
ヒラギノ角ゴシック W4 を指定する場合

```
par(family="HiraginoSans-W4") # 数字を変えると太さが変わる
```

- 以下のサイトなども参考になる
<https://oku.edu.mie-u.ac.jp/~okumura/stat/font.html>

図の保存

- RStudio の機能を使う場合 :
 - 右下ペインの “Plots” タブの “Export” をクリック
 - 形式を指定する
クリップボードにコピーもできる
 - サイズを指定して保存
- コンソール / R Script で実行する場合は以下を参照
 - `help("pdf")` : PDF ファイルに保存
 - `help("png")` : PNG ファイルに保存
 - `help("dev.copy")` : “graphic device” 間でコピー

演習

練習問題

- `jpdata1/3.csv` (前回配布のデータ) を用いて以下の問に答えよ.

- 婚姻・離婚率の散布図を描け.
- 地方別に異なる点の形状を用いた散布図を描け.
- それ以外にも様々な散布図を描画してみよう.
- (参考) 読み込み方

```
## CSV ファイルは作業ディレクトリの下に data サブディレクトリにあるとする
jp_data <- read.csv(file="data/jpdata1.csv", fileEncoding="utf8", row.names=1)
jp_area <- read.csv(file="data/jpdata3.csv", fileEncoding="utf8")
```

分布の視覚化

ヒストグラム

- データの値の範囲をいくつかの区間に分割し、各区間に含まれるデータ数を棒グラフにしたもの
- 各棒グラフの矩形
 - 横幅が区間に対応
 - 面積が区間に含まれるデータの個数に比例
- データの分布の仕方を可視化するのに有効
 - どのあたりに値が集中しているか
 - どの程度値にばらつきがあるか

関数 hist()

- ヒストグラムを描画する関数

```
hist(x, breaks = "Sturges", freq, ...) # ... は関数 plot() と同様に指定可能
## x: ベクトル
## breaks: 区間の分割の仕方を指定. 既定値は Sturges の公式.
##         数字を指定するとデータ範囲をその数字に近い個数に等分割する.
##         詳細はヘルプを参照
## freq: TRUE (既定値) を指定すると縦軸はデータ数
##        FALSE を指定すると縦軸はデータ数/全データ数
```

ヒストグラムの例

- 関数 hist() によるヒストグラムの作図

```
if(Sys.info()["sysname"]=="Darwin"){par(family="HiraginoSans-W4")} # 日本語表示
## 東京都の気温のヒストグラムを作成する
tw_data <- read.csv("data/tokyo_weather.csv") # 東京都の気象データの読み込み
hist(tw_data$temp,
     xlab="気温 (°C)", ylab="頻度",
     breaks=25, # ビンの数を約 25 に設定
     labels=TRUE, # 各ビンの度数を表示
     col="lightpink", main="気温のヒストグラム")
```

- 密度での表示

```
if(Sys.info()["sysname"]=="Darwin"){par(family="HiraginoSans-W4")} # 日本語表示
hist(tw_data$wind, freq=FALSE, # 全体に対する割合で表示
     xlab="風速 (m/s)", ylab="密度",
     breaks=25,
     col="lightblue", border="blue", # 長方形の境界の色
     main="風速の密度")
```

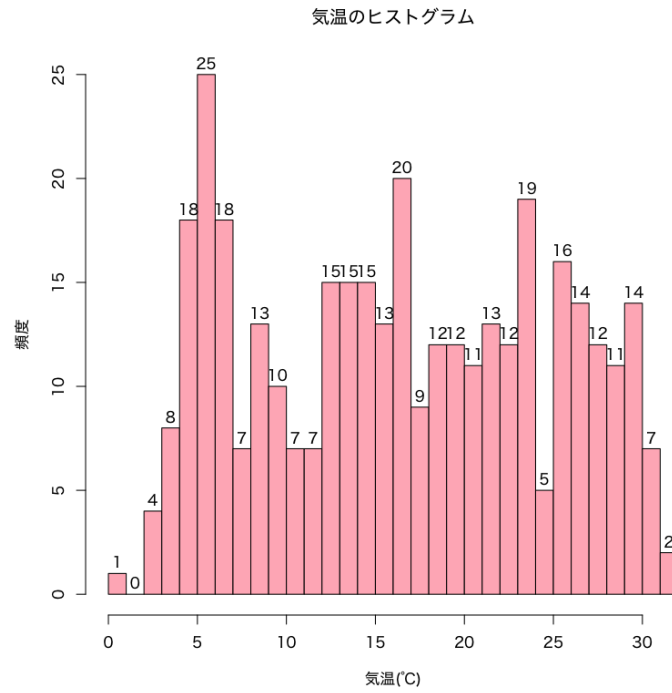
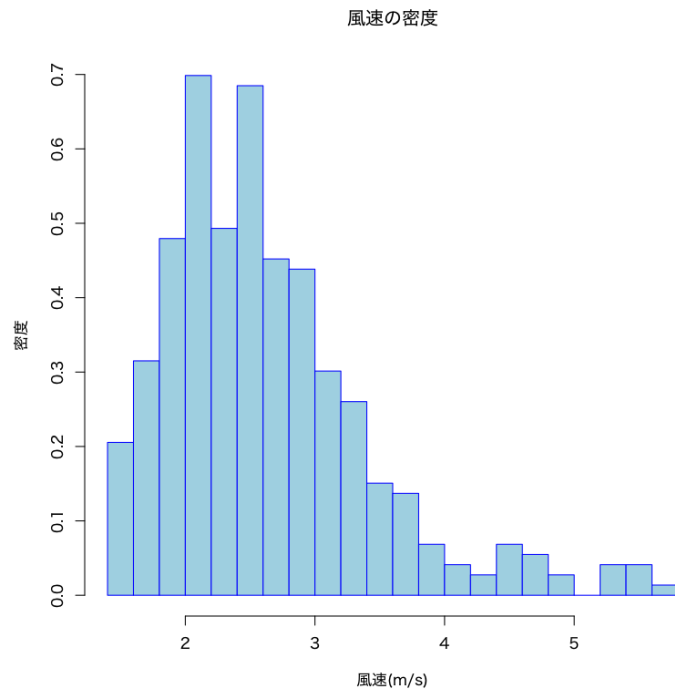


図 5: ヒストグラム



箱ひげ図

- データの中心、散らばり具合および外れ値を考察するための図 (ヒストグラムの簡易版)
- 複数のデータの分布の比較の際に有効
 - 太線で表示された中央値 (第 2 四分位点)
 - 第 1 四分位点を下端・第 3 四分位点を上端とする長方形 (箱)

- 第1四分位点・第3四分位点からそれぞれ箱の長さの1.5倍以内にあるデータのうちの最小の値・最大の値を下端・上端とする直線(ひげ)
- ひげの外側のデータは点で表示される

関数 `boxplot()`

- 箱ひげ図を描画する関数

```
boxplot(x, ...) # ... は関数 plot() と同様に指定可能
## x: ベクトルまたはデータフレーム
##     ベクトルに対しては単一の箱ひげ図
##     データフレームに対しては列ごとの箱ひげ図
```

- 質的変数ごとに分類して描画する場合

```
boxplot(B ~ A, data = x, ...)
## x: データフレーム
## A: x の変数 (質的変数; 性別・植物の種類など)
## B: x の変数
```

箱ひげ図の例

- 関数 `boxplot()` による箱ひげ図の作図

```
if(Sys.info()["sysname"]=="Darwin"){par(family="HiraginoSans-W4")} # 日本語表示
## 気温, 降雨, 日射, 降雪, 風速の箱ひげ図を作成する
boxplot(subset(tw_data, select=c(temp:snow,wind)), # 数値データの一部を抽出
        names=c("気温", "降雨", "日射", "降雪", "風速")) # 各箱ひげ図の名前を指定
## names を指定しなければ列名が使われる
```

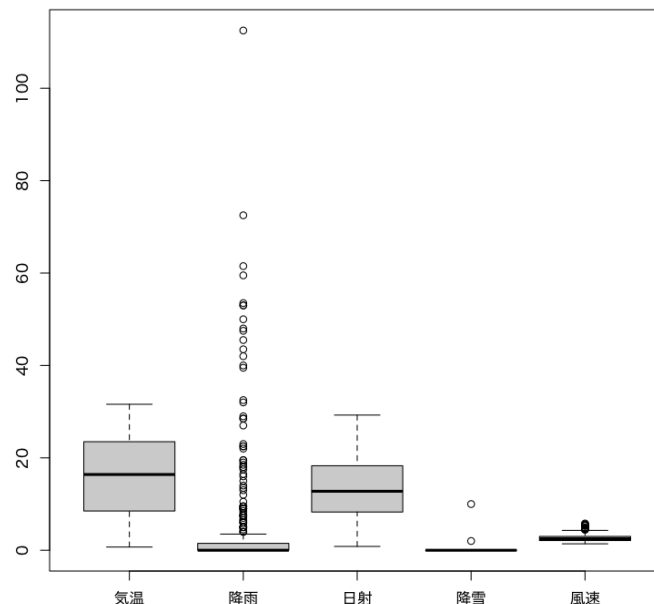


図 6: 箱ひげ図

- 箱を横向きにする場合

```

if(Sys.info()["sysname"]=="Darwin"){par(family="HiraginoSans-W4")} # 日本語表示
## 気温, 降雨, 日射, 降雪, 風速の箱ひげ図を作成する
boxplot(subset(tw_data, select=c(temp:snow,wind)), # 数値データの一部を抽出
        names=c("気温", "降雨", "日射", "降雪", "風速"), # 各箱ひげ図の名前を指定
        horizontal=TRUE) # 図を横向きに回転する

```

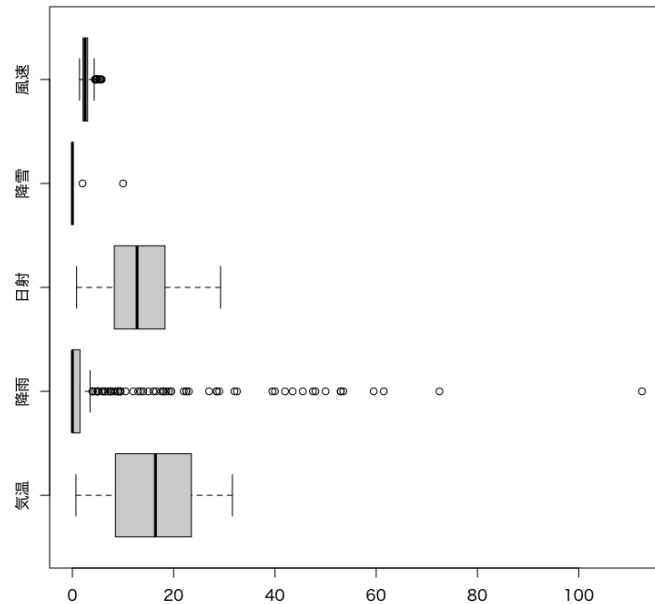


図 7: 箱ひげ図 (横向き)

- 条件ごとの箱ひげ図の作図

```

if(Sys.info()["sysname"]=="Darwin"){par(family="HiraginoSans-W4")} # 日本語表示
## 月ごとの気温の分布を箱ひげ図によって可視化する
boxplot(temp ~ month, data=tw_data,
        col="orange",
        xlab="月", ylab="気温", main="月ごとの気温")
## 図を回転する場合は horizontal を指定する
## boxplot(気温 ~ 月, data=tw_data,
##         col="purple", main="月ごとの気温", horizontal=TRUE)

```

比率の視覚化

関数 barplot()

- 棒グラフを作成する関数

```

barplot(x, width = 1, space = NULL, beside = FALSE,
        legend.text = NULL, args.legend = NULL,
        ...) # ... は関数 plot() と同様に指定可能
## x: ベクトルまたは行列 (データフレームは不可)
## width: 棒の幅
## space: 棒グラフ間・変数間のスペース
## legend.text: 凡例
## beside: 複数の変数を縦に並べるか・横に並べるか

```

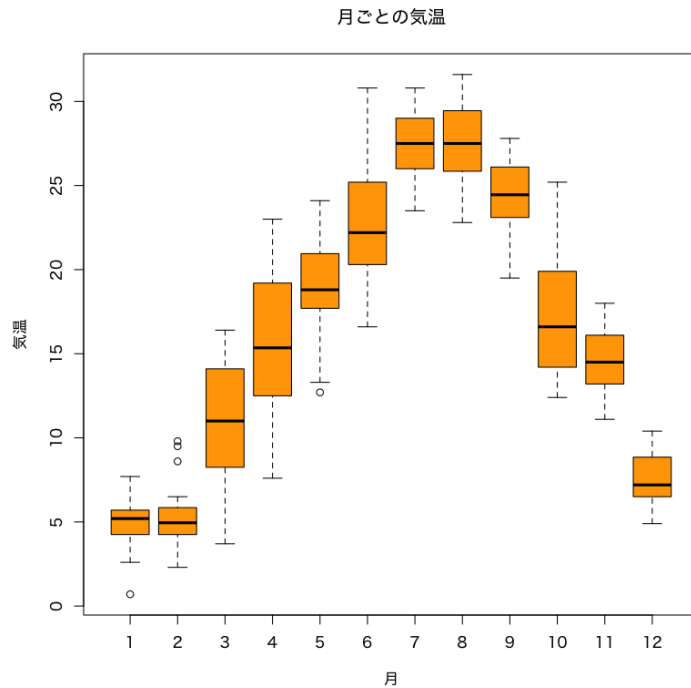


図 8: 条件ごとの箱ひげ図

```
## args.legend: 関数 legend() に渡す引数
```

棒グラフの例

- 関数 `barplot()` による棒グラフの作図

```
if(Sys.info()["sysname"]=="Darwin"){par(family="HiraginoSans-W4")} # 日本語表示
## 月ごとに各変数の平均を計算
(foo <- aggregate(. ~ month, FUN=mean,
  data=subset(tw_data, select=c(month,temp:snow,wind))))
## 月ごとの気温の平均値の棒グラフを作成する
barplot(foo$temp, # 棒の高さのベクトル
  col="slateblue", # 棒の色の指定
  names.arg=foo$month, # x軸のラベル
  xlab="月",main="平均気温") # タイトル
```

- 複数の棒グラフ

```
if(Sys.info()["sysname"]=="Darwin"){par(family="HiraginoSans-W4")} # 日本語表示
## 気温, 降雨, 日射, 降雪, 風速の月ごとの棒グラフを作成する
barplot(as.matrix(foo[, -1]), # 第 1 引数のデータフレームは行列にする
  col=rainbow(12)[c(8:1,12:9)], # 12色に色分け, 季節に合うように色を並べ変えている
  beside=TRUE, # 各列ごとの棒グラフを横に並べる
  space=c(1.5, 3), # 棒グラフ間・変数間のスペースを指定
  names.arg=c("気温","降雨","日射","降雪","風速"), # 各列の名前を指定, 指定しなければ列名が使われる
  legend.text=paste0(foo$month,"月"), # 凡例の指定
  args.legend=list(ncol=2)) # 凡例を 2 列にして表示
```

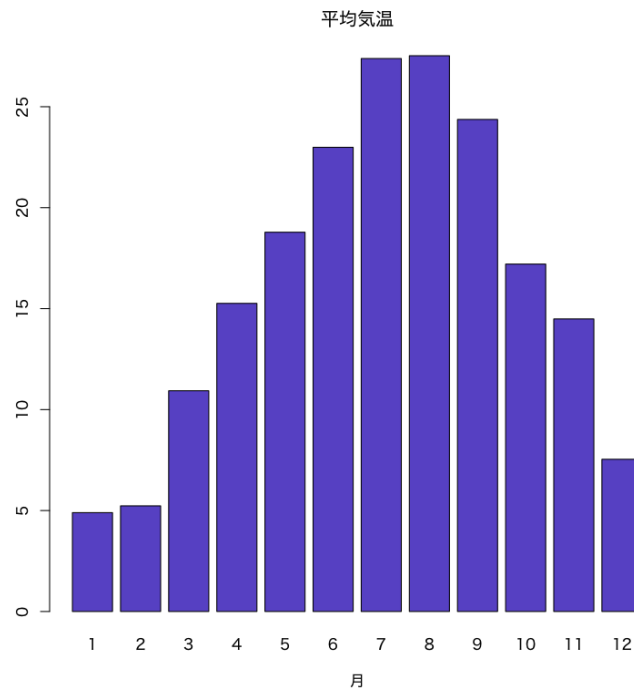
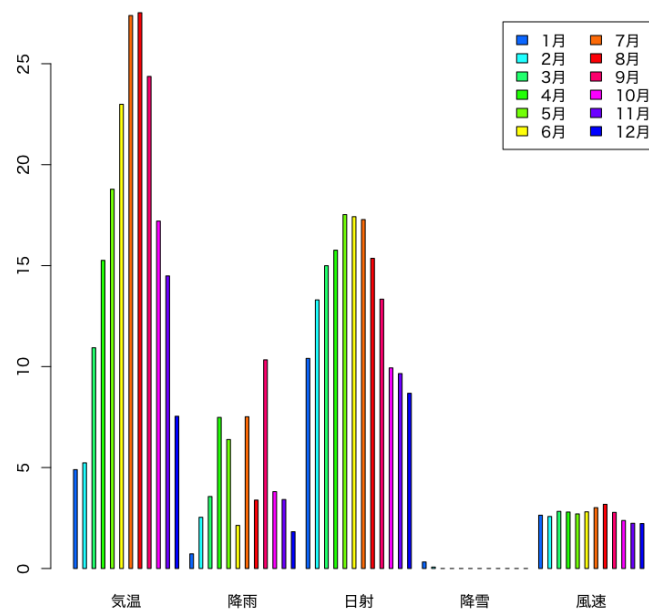


図 9: 棒グラフ



関数 `pie()`

- 円グラフを作成する関数

```
pie(x, labels = names(x),
    clockwise = FALSE, ...) # ... は関数 plot() と同様に指定可能
## x: ベクトル
```

```
## labels: ベクトルの各成分のラベル (既定値ではベクトルから取得)
## clockwise: 時計回りに書くか否か
```

円グラフの例

- 関数 `pie()` による円グラフの作図

```
if(Sys.info()["sysname"]=="Darwin"){par(family="HiraginoSans-W4")} # 日本語表示
## ヒストグラムの機能を用いてデータの集計を行う
foo <- hist(tw_data$solar, breaks=5, plot=FALSE) # 5つ程度に分類を指定. 実際には 6つに分類
bar <- foo$count # 各ビン内のデータ数
baz <- foo$breaks # ビンの境界
names(bar) <- paste(baz[-length(baz)], baz[-1], sep="-") # ビンの範囲の文字列を作成
## 6つに分類した日射量ごとの日数の割合を示す円グラフを作成する
pie(bar, clockwise=TRUE, main="日射量別の日数の割合",
    col=heat.colors(length(bar), rev=TRUE)) # 日射量が高いほど赤を濃く指定
```

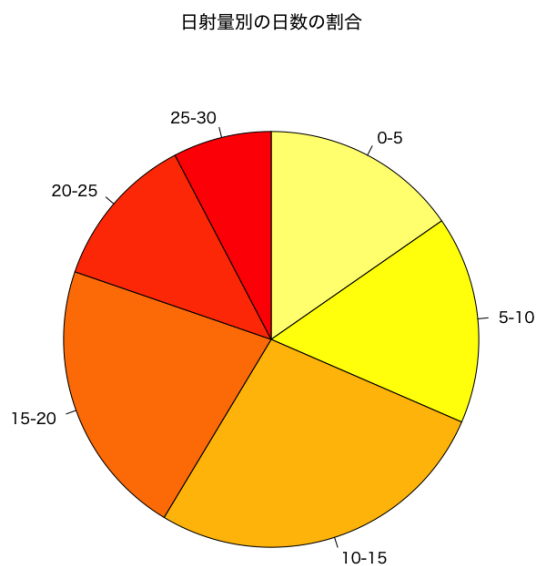


図 10: 円グラフ

演習

練習問題

- tokyo_covid19_2021.csv (東京都の新型コロナの動向データ) を用いて以下の問に答えよ。
 - 陽性者数の推移の折線グラフを描け。
 - 総検査実施件数の推移の棒グラフを描け。
 - 曜日ごとの総検査実施件数の箱ひげ図を描け。
 - (参考) 読み込み方

```
## CSV ファイルは作業ディレクトリの下での data サブディレクトリにあるとする
tc_data <- read.csv(file="data/tokyo_covid19_2021.csv",fileEncoding="utf8")
```

多次元データの視覚化

関数 pairs()

- 散布図行列 (対散布図) を作成する関数

```
pairs(x, ...) # 関数 plot() でも良い
## x: データフレーム
```

- すべての列のペアに対する散布図を行列状に配置

- 変数 A1, ..., Ak (列名) のみ考える場合

```
pairs(~ A1 + ... + Ak, data = x, ...) # 関数 plot() でも良い
## x: データフレーム
## A1, ..., Ak: データフレームの列名
```

散布図行列の例

- 関数 pairs() による散布図の作図

```
if(Sys.info()["sysname"]=="Darwin"){par(family="HiraginoSans-W4")} # 日本語表示
## 気温, 日射, 風速に関する散布図を作成する
pairs(~ temp + solar + wind, data=tw_data,
      labels=c("気温", "日射", "風速"), # 指定しなければ列名が使われる
      col=rainbow(12)[tw_data$month]) # 月毎に異なる色で表示
```

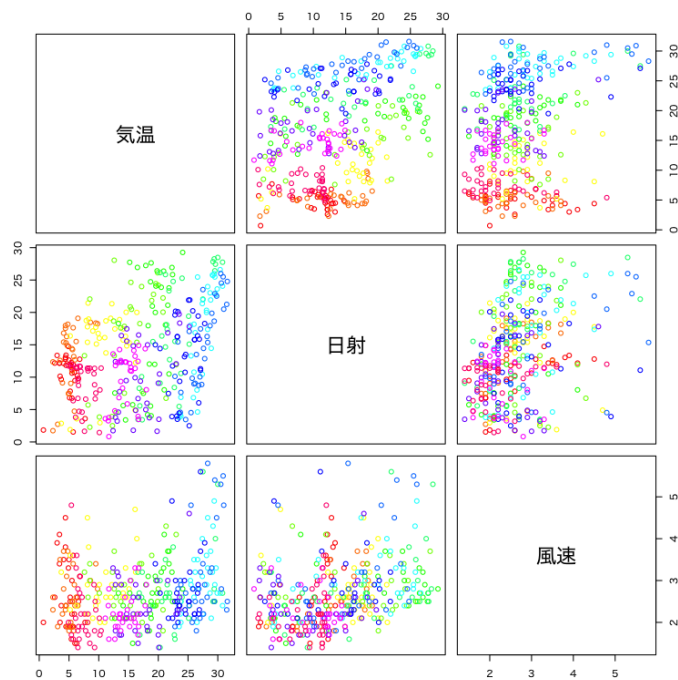


図 11: 散布図行列

関数 persp()

- 3次元のグラフを2次元に射影した俯瞰図を描く関数

```
persp(x, y, z, theta = 0, phi = 15, expand = 1, ...) # ... は関数 plot() と同様に指定可能
## x,y,z: x,y,z 座標
##      z は点 (x[i],y[j]) に対応する値を (i,j) 成分とする行列で与える必要がある
## theta,phi: 俯瞰の方向を指定する極座標
## expand: z 軸の拡大度
```

3次元俯瞰図の例

- 関数 persp() による2変数関数の俯瞰図

```
f <- function(x,y) x^2 - y^2
x <- seq(-3, 3, length=51) # x座標の定義域の分割
y <- seq(-3, 3, length=51) # y座標の定義域の分割
z <- outer(x, y, f) # z座標の計算
## 基本的な俯瞰図
## persp(x, y, z, col="lightblue")
## 俯瞰する向きを指定
persp(x, y, z, theta=30, phi=30, expand=0.5, # 俯瞰する視線の設定
      col="royalblue", main=expression(z==x^2-y^2))
```

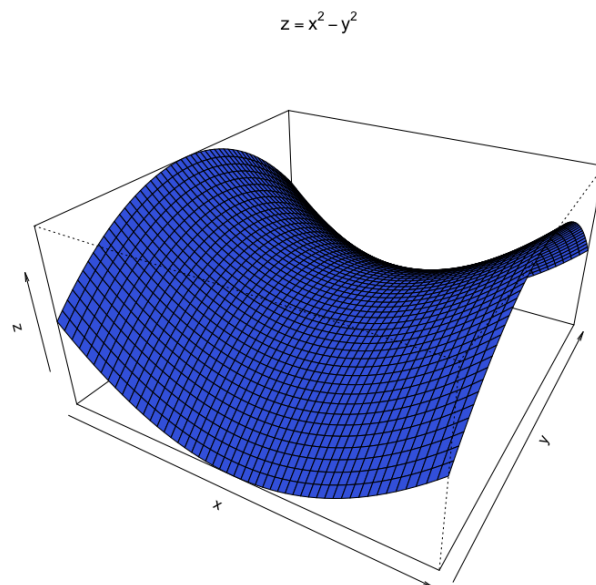


図 12: 俯瞰図

3次元グラフのためのパッケージ

- 以下は scatterplot3d() の例

```
library("scatterplot3d") # パッケージの読み込み
scatterplot3d(x, color, angle = 40, ...) # ... は関数 plot() とは若干異なる
## x: x,y,z座標を指定するデータフレーム
##   関数 persp() のように x,y,zを個別に指定することも可能
```

```
## color: 色を指定 (col ではないので注意). 既定値は黒  
## angle: x 軸と y 軸の間の角度
```

- 詳細は `example("scatterplot3d")` を参照

3次元散布図の例

- 関数 `scatterplot3d()` による 3 次元散布図

```
## install.packages("scatterplot3d") # 初めて使う時に必要  
library("scatterplot3d") # パッケージのロード  
if(Sys.info()["sysname"]=="Darwin"){par(family="HiraginoSans-W4")} # 日本語表示  
## 風速, 日射, 気温の 3 次元散布図を作成する  
scatterplot3d(subset(tw_data, select=c(wind, solar, temp)),  
               xlab="風速", ylab="日射", zlab="気温", # 指定しなければ列名が使われる  
               pch=4, color="orchid")
```

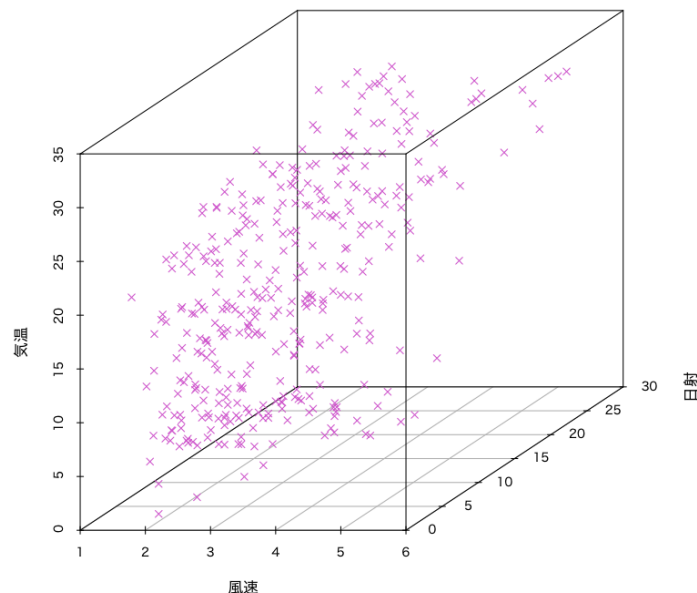


図 13: 3 次元散布図

凡例の追加

関数 `legend()`

- グラフに凡例を追加する関数

```
legend(x, y = NULL, legend, ...) # ... はその他のオプション  
## x, y: 凡例の位置を指定 (座標やキーワードで指定が可能)  
## legend: 凡例の文字列ベクトル
```

- 複雑なオプションは `help("legend")` を参照
- 数式の表示の詳細は `help("plotmath")` を参照

凡例の例

- 凡例の追加

```
f <- function(x) exp(-x) * cos(x)
plot(f, 0, 2*pi, col="red", lwd=2, ylab="")
g <- function(x) exp(-x) * sin(x)
curve(g, lty=2, # グラフの線の形式 2は破線
      add=TRUE, col="blue", lwd=2)
legend(4, # 凡例の左上の x 座標
      1, # 凡例の左上の y 座標
      legend=c(expression(e^{-x}*cos(x)),expression(e^{-x}*sin(x))),
      lty=c(1,2), lwd=2, col=c("red","blue"), # 指定はグラフに準拠
      bty="n", # 凡例の枠線の形式 (オプション) "n"は枠線なし
      y.intersp=2) # 行間の指定 (オプション)
```

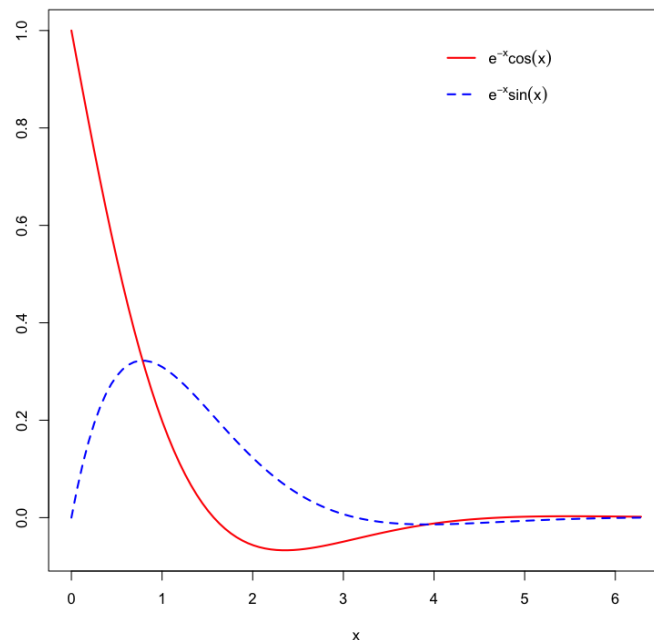


図 14: 凡例の追加

- 東京の気象データを用いた例

```
if(Sys.info()["sysname"]=="Darwin"){par(family="HiraginoSans-W4")} # 日本語表示
## 東京の気象データから月ごとの気温, 降水量, 日射量の平均を計算し描画する
(foo <- aggregate(. ~ month, FUN=mean,
                  data=subset(tw_data, select=c(month,temp,rain,solar))))
plot(foo$temp, type="b", lwd=3, col="green", ylim=c(0, max(foo$temp)+1),
     xlab="月", ylab="", main="東京の気候データ", axes=FALSE) # 軸は無
axis(1, 1:12, 1:12); axis(2) # x(1), y(2) 軸の作成
lines(foo$rain, type="h", lwd=3, col="blue") # 棒グラフ
lines(foo$solar, type="s", lwd=3, lty=2, col="red") # 階段グラフ
abline(0, 0, lwd=2, lty="dotted") # y=0 の線を引く
legend("topleft", inset=0.02, # 左上で全体の 2%(0.02) 内側に良せる
      legend=c("気温", "降水量", "日射量"),
      col=c("green", "blue", "red"), lwd=3, lty=c(1,1,2))
```

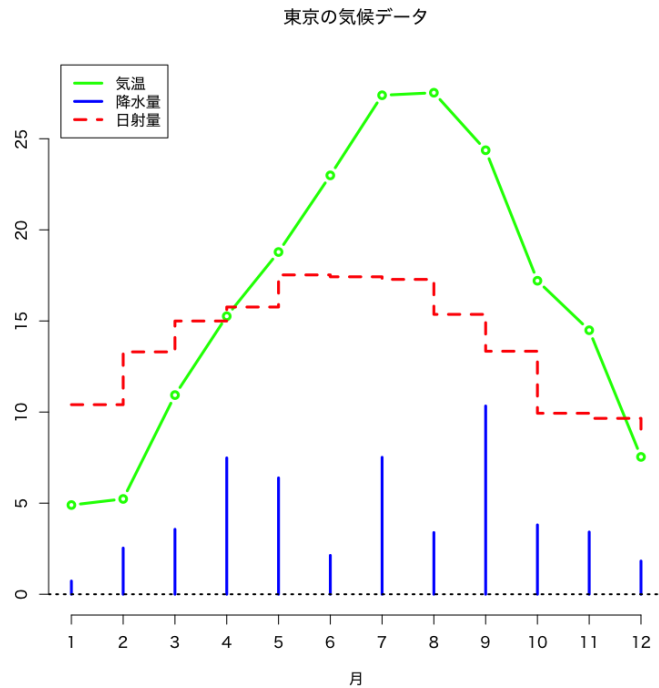


図 15: 日本語での凡例の表示

補遺

関数 `par()`

- グラフィックス環境の設定 (複数図の配置, 余白の設定など) をする関数

```
par(tag = value)
## tag: グラフィックスパラメータ
```

- 描画する線の種類・色・点の形などの既定値を設定することができる
- 設定可能なグラフィックスパラメータについては `help("par")` を参照

`package::ggplot2`

- R のグラフィック機能を拡張するパッケージの 1 つ
- 統一的な文法で系統的に美しいグラフを描くことを目指して開発
- 詳細については <https://docs.ggplot2.org/> を参照

```
### - Brain and Body Weights for 28 Species
library("MASS")
library("tidyverse")
## 外れ値を除いた回帰直線を引く
model <- lm(log(brain) ~ log(body),
             data=Animals, subset=-c(6,16,26))
ggplot(Animals, aes(body, brain, label=rownames(Animals))) +
  scale_x_log10() + scale_y_log10() + # log-log plot
  geom_line(aes(y=exp(predict(model,newdata=Animals))),
            color="dodgerblue", lwd=1.2) +
  geom_text(size=3) +
```

```
labs(title="Brain and Body Weights for 28 Species",
     x="body [kg]", y="brain [g]")
```

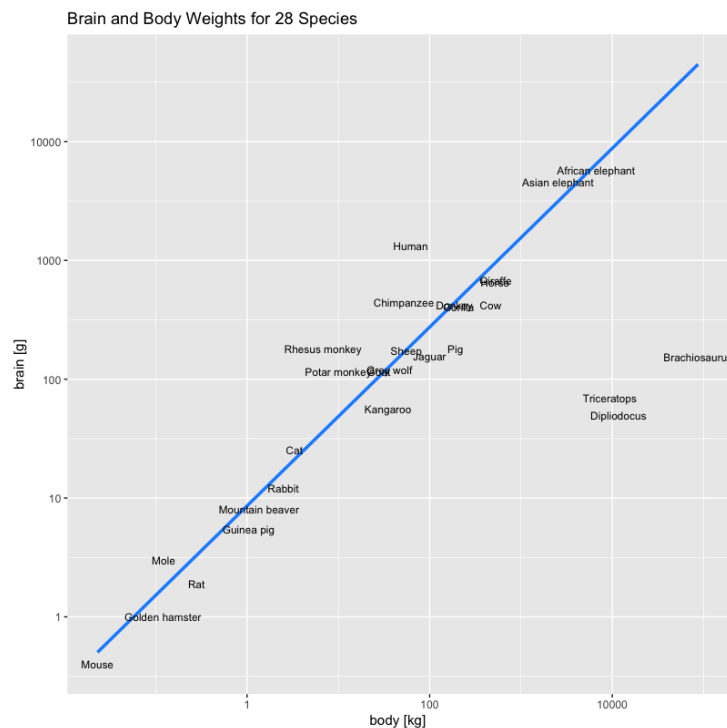


図 16: 脳の重さと体重の関係

演習

練習問題

- 配布したサンプルデータ
 - jpdata1.csv
 - tokyo_weather.csv
 - covid19_tokyo.csv
 - covid19_tokyo_patients.csv

を用いて以下の問いに答えよ.

- 3次元の散布図を作成せよ.
- 凡例を加えたグラフを作成せよ.

次回の予定

- 計算機による数値実験
- 乱数とは
- 乱数を用いた数値実験