

Rubyによるデータ解析

Data Analysis in Ruby

2016年2月19日

株式会社ネットワーク応用通信研究所 前田 修吾

NaCl

自己紹介

■ 名前

- 前田 修吾

■ 所属

- 株式会社ネットワーク応用通信研究所(1999年～)
- 一般財団法人Rubyアソシエーション(2007年～)

■ オープンソース活動

- Ruby開発者(1997年～)

本日のテーマ

- Rubyによるデータ解析

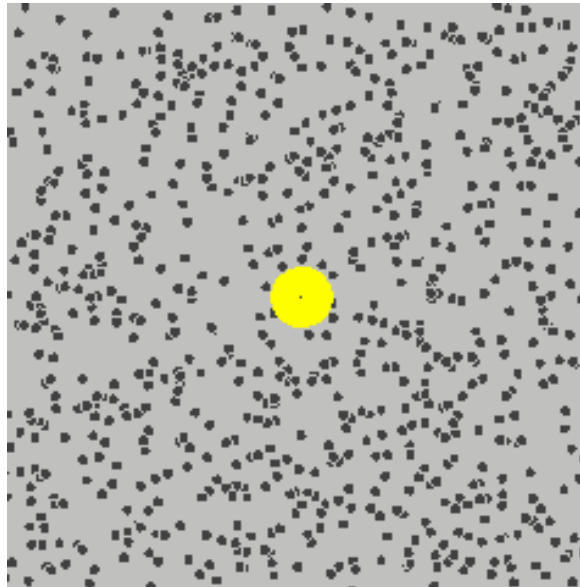
データ解析の例

株式市場のブラウン運動

- M. F. M. Osborne, *Brownian Motion in the Stock Market*, Operations Research, 1959
- 『ウォール街の物理学者』という書籍で紹介
- 株価の対数とブラウン運動における微粒子の座標との類似性
- 統計力学的手法を株価に適用

ブラウン運動

- 液体のような溶媒中に浮遊する微粒子が不規則に運動する現象



https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Brownian_motion_large.gif CC-BY-SA 3.0 by Lookang

1. 株価の変化

- 株価の変化は離散的(1/8ドル単位)
- 株価の対数も同じ

2. 取引数

- 単位時間あたりに有限の取引(あるいは決定)が行われる
 - 一つの株に対して0～1000あるいはそれ以上

3. Weber-Fechnerの法則

- 精神物理学の基本法則
- 感覚量Eは刺激量の強度Rの対数に比例する
 - $E = C \log R$
 - 強度100の刺激が200に増加した場合の感覚量と、
強度200の刺激が400に増加した場合の感覚量は同じ
- 株価という刺激とそれに対するトレーダー・投資家の主観的感覚はこの法則に従うと仮定する

統計学的アプローチ

- 金融の知識のない統計学者がNY市場の取引データを解析したら？
 - 集団が均質かどうか
 - 各属性・変数の関連性

株価の分布

- 株価の終値を主要な変数と推測
- 1000要素のサンプルの分布をプロット

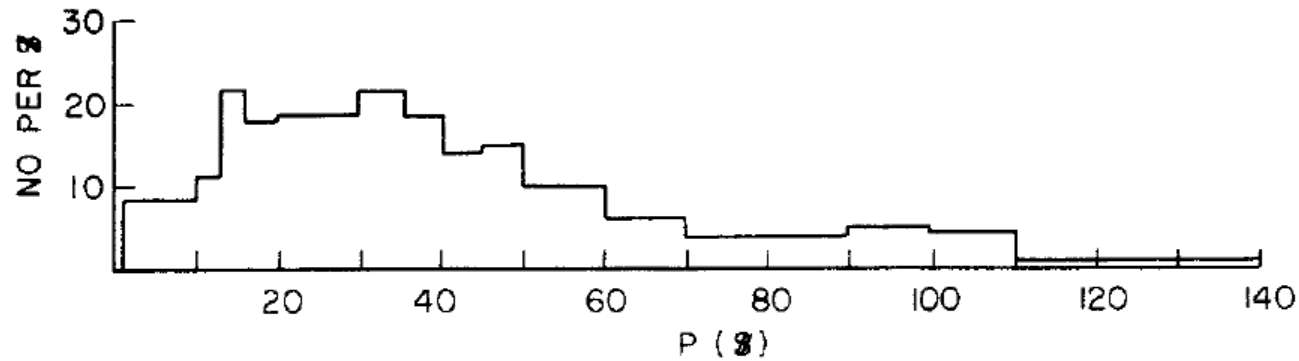


Fig 1 Distribution function of closing prices for July 31, 1956
(all items, NYSE)

- 株価は正規分布に従わない
- 株価の対数は正規分布に従うかもしれない

正規分布

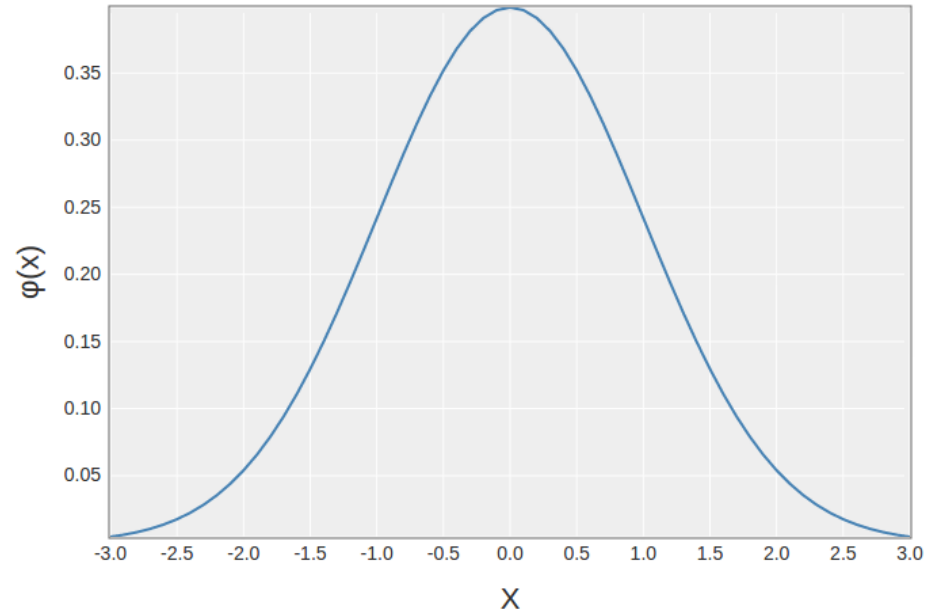
■ 以下の確率密度関数を持つ

- $f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp\left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right)$

■ 確率密度関数

- xがある範囲の値となる確率
= 当該範囲の積分値

■ サンプルサイズを大きくすると 標本平均が真の平均に近づく (大数の法則)



平均・分散・標準偏差

■ 平均

- $\mu = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$

■ 分散

- 平均からのばらつきの指標（正の値にするため自乗誤差を使う）
- $\sigma^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^2$

■ 標準偏差

- 分散の平方根（ x_i や μ の値と比較しやすくするため平方根を取る）
- $\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^2}$

株価の対数の分布

- 正規分布ではない
- $\log_e P \approx 45$ 周辺の副極大
 - この集団は均質でない
 - 少なくとも二つの下位集団
- 生データの確認
 - $\log_e P \approx 45$ 周辺のデータに pfd (preferred) 属性

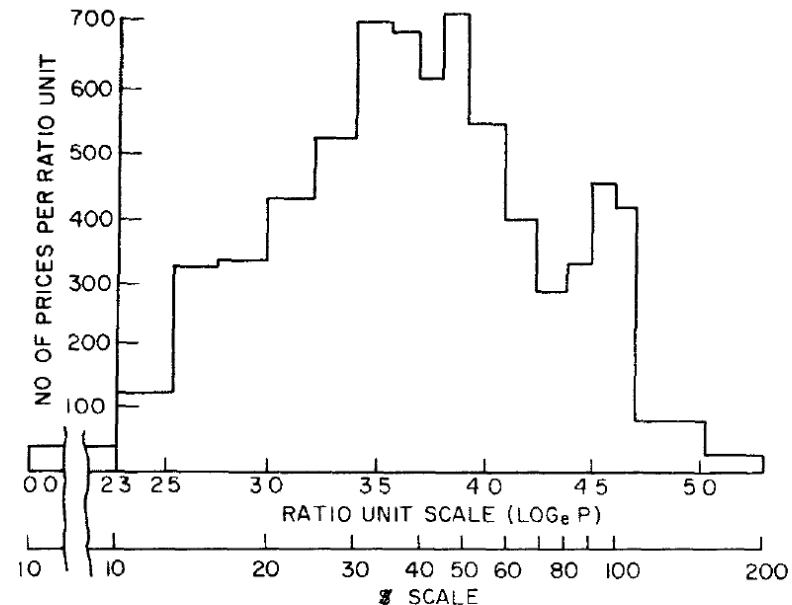


Fig 2 Distribution function for $\log_e P$ on July 31, 1956 (all items NYSE)

対数収益率を使う根拠

- 価格の変化による利益・損失に対する主観的感覚を表す
- \$10から\$11の価格変化と、\$100から\$110の価格変化に対する主観的感覚は同じ
- なぜ収益率 $\frac{P(t+\tau)-P(t)}{P(t)}$ ではなく対数収益率 $\log_e \frac{P(t+\tau)}{P(t)}$ を使うか
 - 対数収益率を使うことで、上昇率と下降率の対称性が得られる
 - 価格が $\frac{1}{2}$ 下降した後に $\frac{1}{2}$ 上昇しても元の価格に戻らない
 - $\log_e \frac{1}{2} = -\log_e 2$

4. 論理的決定

■ 収益の期待値

- A という一連の行動が Y_{A1}, Y_{A2} という収益を確率 $\varphi(Y_{A1}), \varphi(Y_{A2})$ で生む
- 収益の期待値 $\varepsilon(Y_A) = \sum_i Y_{Ai} \varphi(Y_{Ai})$

■ 収益の期待値が高い行動を選択

- $\varepsilon(Y_A)$ と $\varepsilon(Y_B)$ のどちらが大きい？

■ 価格 $P_0(t)$ の株を100株買うかどうか？

- $A =$ 将来 $t + \tau$ に株を売るために買う
- $B =$ 買わない
- $Y_A(\tau) = \Delta \log_e [100 P(t)] = \log_e [P(t + \tau) / P_0(t)]$
- $Y_B = 0$
- $Y_A(\tau)$ の期待値の見積が正か負かによって論理決定を行う

5. 市場の平等性

■ $\Delta \log_e P$ を買い手は正、売り手は負と判断する

- $E\varepsilon(\Delta \log_e P)_S + E\varepsilon(\Delta \log_e P)_B = 0$
 - ここで P は1株当たりの価格、 $E\varepsilon$ は期待値の見積

■ 市場全体では以下の式のような状況

- $E\varepsilon(\Delta \log_e P)_{M=S+B} = 0$
- 上記の式では見積を表す E はなくてもよいかもしれない

6. 株価の収益率の分布

- 以下の $Y(\tau)$ は、平均 0、標準偏差 $\sigma_{Y(\tau)}$ の正規分布に従うと予測される
 - $Y(\tau) = \log_e [P(t + \tau) / P_0(t)]$
- $\sigma_{Y(\tau)}$ は取引数の平方根に比例する
- 取引数が時間上均一に分布すると考えると
 - $\sigma_{Y(\tau)}$ は時間間隔の平方根に比例する
 - すなわち、 $\sigma_{Y(\tau)}$ は $\sigma\sqrt{\tau}$ という形式となる

7. 数学的表現

■ k 個のランダムな独立変数 $y(i) = i, \dots, k$ を仮定する

- $y(i) = \Delta_{i\delta} \log_e P = \log_e [P(t + i\delta) / P(t + \{i - 1\}\delta)]$
 - ここで、 $P(t)$ はある銘柄の時間 t における価格、 δ は取引間の小さな時間間隔
 - $y(i)$ は同じ標準偏差 $\sigma(i) = \sigma'$ を持つと仮定

■ k 回の取引、 $\tau = k\delta$ 時間後の $Y(\tau)$ を以下のように定義

- $Y(\tau) = Y(k\delta) = \sum_{i=1}^{i=k} y(i) = \log_e [P(t + \tau) / P(t)] = \Delta_\tau \log_e P(t)$

■ Y の標準偏差

- $\sigma_{Y(\tau)} = \sqrt{\varepsilon(Y^2) - [\varepsilon(Y)]^2} = \sqrt{\sum_{i=1}^{i=k} \sigma^2(i)} = \sqrt{k} \sigma' = \sqrt{\tau / \delta} \sigma'$

■ 中心極限定理により、 $y(i)$ の分布によらず k が大きくなると $Y(\tau)$ は正規分布に近づく

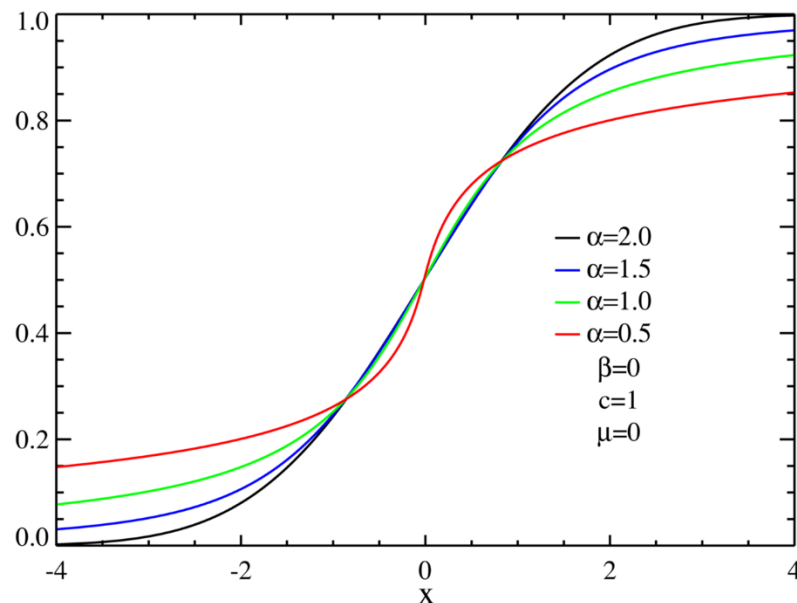
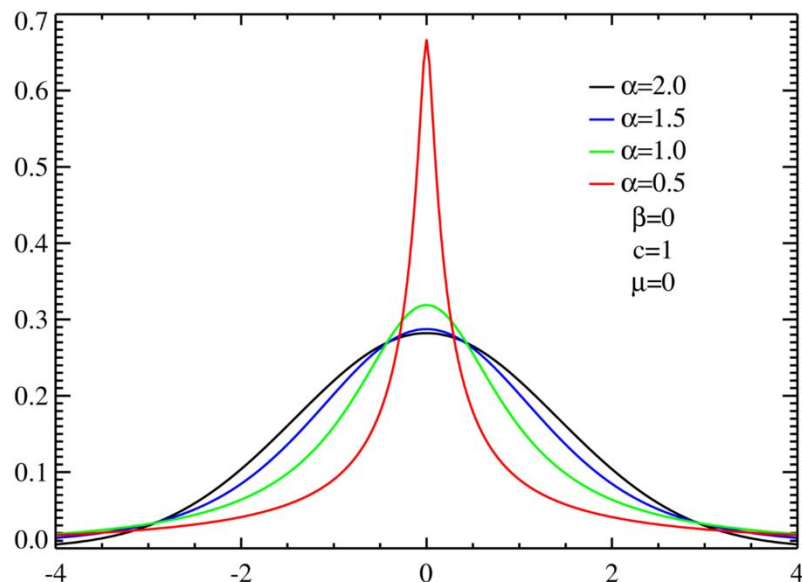
観測データとの比較

- 後でRubyで確認

収益率の分布の非正規性

- Benoit Mandelbrot, *The Variation of Certain Speculative Prices*, Journal of Business, 1963
- Benoit Mandelbrot, *The Variation of Other Speculative Prices*, Journal of Business, 1967
- 収益率の分布は、安定分布だが正規分布ではない
- 安定分布は α というパラメータで分布の裾の広さが決まる
 - 小さいほど裾が広い(正規分布は $\alpha = 2$)
 - $\alpha \leq 1$ の場合、大数の法則に従わない
 - $\alpha < 2$ の場合、中心極限定理は成り立たない
- Mandelbrotは収益率は $1 < \alpha < 2$ の安定分布に従うと考えた

安定分布のPDFとCDF



左: 安定分布の確率密度関数

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Levy_distributionPDF.png public domain by PAR

右: 安定分布の累積分布関数

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Levy_distributionCDF.png CC-BY-SA 3.0 by PAR

Rubyによるデータ解析 の現状

Why Ruby?

■ Pythonと同じ理由 (『Pythonによるデータ分析入門』)

- 「糊(グルー)」としてのRuby
 - C/C++/FORTRANなどで書かれたコードをつなぎ合わせる
- 「2つの言語を利用する」ことの問題を解決する
 - アプリケーション開発とデータ解析で同じ言語を使う

■ 多様性は善

ライブラリ・ツール群

分類	Python	Ruby
ベクトル・行列	NumPy	NArray, NMatrix
データフレーム	pandas	daru
可視化	matplotlib	Nyaplot
対話環境	Jupyter/IPython	Jupyter/IRuby
科学計算全般	SciPy	SciRuby

NArray

- 多次元配列ライブラリ
- 連続したメモリ領域に要素を配置し、次元毎の要素数を固定することでインデックスアクセスを行う

- 4×3 の多次元配列 a のとき、 $a[i, j]$ は $i + 4 * j$ 番目

$a[0, 0]$	$a[1, 0]$	$a[2, 0]$	$a[3, 0]$	$a[0, 1]$	$a[1, 1]$	$a[2, 1]$
-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-------

- 次元順序は次期開発版で変更？
- 多次元配列同士の演算、多次元配列とスカラー値の演算が高速
- 最新リリースは2013年2月27日
- 別リポジトリで次期開発版が開発中

NMatrix

- SciRubyプロジェクトの行列計算ライブラリ
- NArrayより後発の競合ライブラリ
 - 同時に使えないという意味でも競合...
 - ドキュメントには `require "nmatrix/nmatrix"` で回避せよとあるが、その後で `require "narray"` しているライブラリがあるとエラー...
- 最新リリースは2016年1月18日

daru

- **Data Analysis in R**uby
- 以下のデータ型を提供
 - Daru::Vector
 - Daru::DataFrame

Daru::Vector

■ 1次元ベクトル

```
v1 = Daru::Vector.new([40, 20, 30])  
v2 = Daru::Vector.new([10, 60, 30])  
v1 + v2 ==> Vector[50, 80, 60]  
v1 * 10 ==> Vector[400, 200, 300]  
v1.mean ==> 30.0
```

Daru::DataFrame

■ 2次元のスプレッドシート風データ構造

```
df = Daru::DataFrame.new(x: [1,2,3], y: [4,5,6])
```

■ 各列がDaru::Vectorによって表現される

■ 列単位の処理は速いが、行単位の処理は遅い

- とくに遅い例

```
df.filter_rows {|row| row[:x] > 1}
```

- 高速化例

```
df.where(df[:x].gt(1))
```

Nyaplot

- プロットライブラリ
- Jupyter notebook上で動作
- WebGLを利用した3Dプロットも可能
- 散布図のプロット例

```
plot = Nyaplot::Plot.new  
sc = plot.add(:scatter, [0,1,2,3,4], [-1,2,-3,4,-5])  
plot.show
```

Jupyter/IRuby

■ Jupyter

- Webアプリケーションによる対話環境
- Mathematica風のノートブック
 - プログラムの対話的実行
 - グラフの描画
- プログラミング言語非依存
 - 各言語の実行環境をカーネルとして提供
 - プロセス間通信

■ IRuby

- Jupyter用のRubyカーネル

SciRuby

- Ruby用の科学計算ライブラリの開発プロジェクト
- NMatrix, daru, IRuby, NyaplotもSciRubyの一部
- Statsample
 - 統計用ライブラリ
- Distribution
 - 確率分布用ライブラリ

デモ

■ 株価データの解析

- <https://github.com/shugo/DCW2016/blob/master/Stock.ipynb>

■ PSDSから取得したデータの解析

- <https://github.com/shugo/DCW2016/blob/master/PSDS.ipynb>
- 相関行列
- 回帰分析
- マハラノビス距離による異常値の検出

今後の課題

利用促進

- 現状は利用者が少ない
- 今後の方策
 - ドキュメントの充実
 - 利用事例の発信

機能追加・機能改善

■ Python/R等に比べ機能的に見劣りする

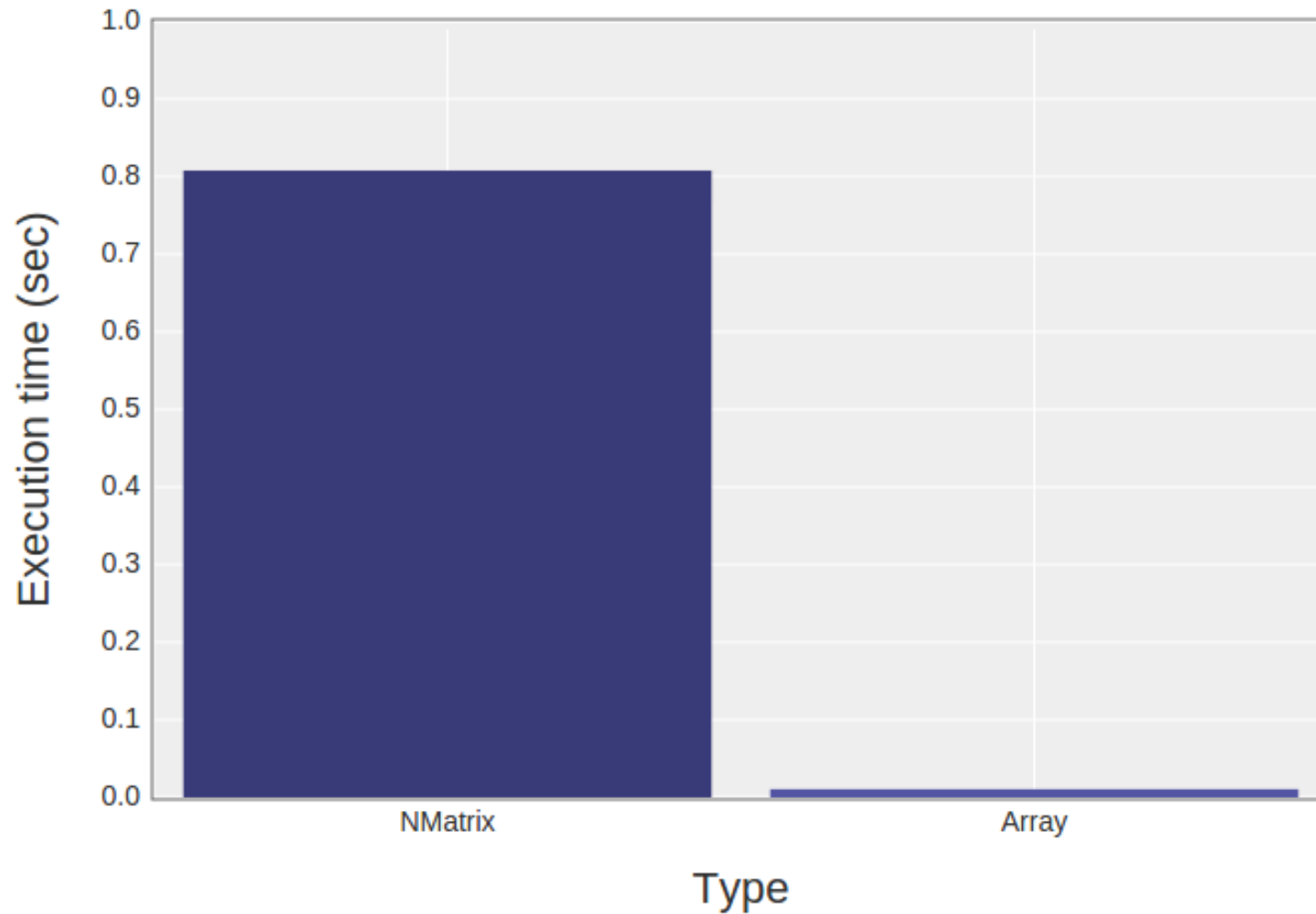
- 欠損値の扱い
 - チェックや穴埋め
- 時系列データの扱い
 - 再サンプリング
- 変化率の計算
- 金融関係の機能
- 経験累積分布
- Q-Qプロット
- ...

性能改善

- NMatrixは遅い
- ベンチマークプログラム

```
m = NMatrix.dindgen([100000])  
a = 0.0.step(99999.0, 1.0).to_a  
  
Benchmark.bmbm do |x|  
  x.report("NMatrix") do  
    m.mean  
  end  
  
  x.report("Array") do  
    a.sum.quo(a.size)  
  end  
end
```

ベンチマーク結果



他言語との差別化

■ DSLの活用

- ブロックの効果的利用

■ Rubyの動的性質の活用

- スキーマレスなデータとの親和性

DSLの活用提案

■ Daru::DataFrame#where

- 現在の記法

```
df.where(df[:x].gt(1))  
df.where(df[:x].gt(1) & df[:y].lteq(10))
```

- 拡張案

```
df.where { :x > 1 }  
df.where { (:x > 1) & (:y <= 10) }
```

Rubyの言語拡張案

■ ブロック内でのみRefinementsを有効にする

- https://github.com/shugo/ruby/tree/eval_using

```
module FixnumDivExt
  refine Fixnum do
    def /(other)
      quo(other)
    end
  end
end

p 1 / 2
instance_eval(using: FixnumDivExt) do
  p 1 / 2
end
p 1 / 2
```

デモ2

■ `Daru::DataFrame#where`の拡張

- <https://github.com/shugo/DCW2016/blob/master/DaruRefinements.ipynb>

References

- ジェイムズ・オーウェン・ウェザーオール, *ウォール街の物理学者*, 早川書房, 2015
- M. F. M. Osborne, *Brownian Motion in the Stock Market*, Operations Research, 1959
- Benoit Mandelbrot, *The Variation of Certain Speculative Prices*, Journal of Business, 1963
- Benoit Mandelbrot, *The Variation of Other Speculative Prices*, Journal of Business, 1967
- 平岡和幸・堀玄, *プログラミングのための確率統計*, オーム社, 2009
- Wes McKinney, *Pythonによるデータ分析入門*, オライリー・ジャパン, 2013