知的情報処理
1. 導入

櫻井彰人
慶應義塾大学理工学部

本講義の目的

- データに基づき未知を予測・推測する方法の基礎を知る
  - 「未来」の予測とは限らない
  - 「未知」の推測もある
- その基礎である機械学習を知る
  - 統計的手法も知る
- 道具として用いる R を知る

目次

- 第一部
  - 予測と推定
  - 機械学習とは、(アルゴリズムを用いた)穴埋めである
  - クラスタリング
  - 教師付、半教師付、教師なし
- 第二部
  - 予測
  - Random walk - ランダムな時系列
  - べき分布とBlack swan
  - 機械学習の位置づけ
- この講義について

本日の第一部

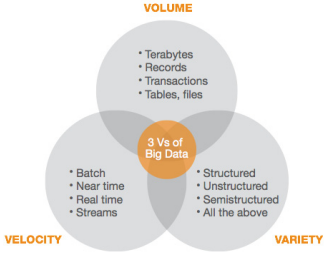
Big Data

Big Data is a loosely defined term used to describe data sets so large and complex that they become awkward to work with using standard statistical software.

> Snijders, C., Matzat, U., & Reips, U.-D. (2012). 'Big Data': Big gaps of knowledge in the field of Internet. International Journal of Internet Science, 7, 1-5.

従来のデータベース管理システムなどでは記録や保管、解析が難しいような巨大なデータ群。
明確な定義があるわけではなく、
企業向け情報システムメーカーのマーケティング用語として多用されている。

Three V's of Big Data



Big Data Analytics Challenges Facing All Communications Service Providers
http://blog.vitria.com/bid/87945/Big-Data-Analytics-Challenges-Facing-All-Communications-Service-Providers

Big Data の取り扱い

- Big のまま扱う
  - これこそ、本道。実際、技術開発が行われている。
  - これまでのデータマイニングとは別種と考えてよい
    - データマイニングも、その当時のビッグデータを取り扱うことからスタートした
  - 解析方法を0から考えることになる
- Big data からある程度情報を抽出して、それを分析する
  - Big data の基礎的取扱い＋データマイニング/機械学習
  - 多くはこちら。

補足: 公共データ

公共データ	サービスアイデア
事業許認可情報 学校情報 工事情報 イベント情報 バリアフリー情報	●工事状況やバリアフリーなども考慮に入れて、目的地へ誘導するナビゲーションシステムの高度化 ●買物客や観光客を案内するシステム
事業許認可情報 学校、公共施設	●ビッグデータ解析による出店や商品展開における高度マーケティング
事故発生情報	●事故多発の場所に近づいた際、注意を促すアプリケーション。 ●子供が近づいた際に、近親者に連絡が行く見守りアプリケーション
気象情報	●農業の高度化 ●流通における仕入調整等への利用
大気汚染度情報 水汚染度情報	●高付加価値な住宅情報サービス
ハローワークに登録された求人情報	●求職者のニーズに合致した求人情報を探し出す、高度なジョブマッチングサービス
製品安全・事故・リコール情報	●事故情報のビッグデータ解析による、事故発生の傾向分析。
地域で受けられる医療検診の情報 国民健康・栄養調査	●住民の健康を促進する情報サービス。ヘルスケアサービスの紹介等

（平成24年4月25日電子行政タスクフォース　gコンテンツ流通推進協議会事務局提出資料）

予測

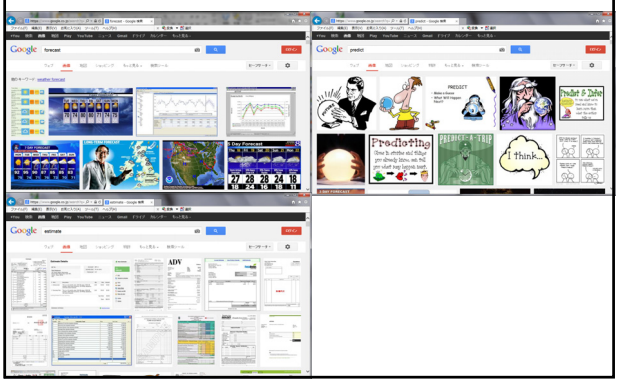
- 事の成り行きや結果を前もっておしはかること。また、その内容。（デジタル大辞泉）
  例文: 10年後の人口を予測する
- 将来の出来事や状態を前もっておしはかること。また、その内容。科学的根拠が重んじられる。（大辞林）
- 将来どうなるかを得られた情報などに基づいておしはかること。また、そのようにして得たもの。「予想」は将来を推測する意で広く使い、「予測」は具体的なデータなどに基づく意で使うことが多い。（明鏡国語辞典）
- Predict: prae "before" + dicere "to say"

「予言＝予め言う」にそっくり！

推定

- ①周囲の状況や情報に基づいて、おしはかって決めること。推測決定すること。また、そのようにして得たもの。②法律で、明瞭でない法律関係または事実関係について、否定する反証が成り立つまで、それを正当なものとして扱うこと。（明鏡国語辞典）
- (1)はっきりとはわからないことをいろいろな根拠をもとに、あれこれ考えて決めること。(2)〔法〕明瞭でない法律関係・事実関係について一応の判断を下すこと。(3)〔数〕統計で、ある母集団から取り出された標本をもとにその母集団の平均・分散などを算出すること。(4)文法 …　（大辞林）

Forecast, predict, and estimate



推測

- ある事柄をもとにして推量すること。（デジタル大辞泉）

と、まあ、言ったが

- 我々が（理工学的に）できることは、

  穴埋め

  です。

目次

- 第一部
  - 予測と推定
  - 機械学習とは、（アルゴリズムを用いた）穴埋めである
  - クラスタリング
  - 教師付、半教師付、教師なし
- 第二部
  - 予測
  - Random walk - ランダムな時系列
  - べき分布とBlack swan
  - 機械学習の位置づけ
- この講義について

例1

一期〇会
三〇一体
無〇乾燥
〇面楚歌
八面〇臂
無我〇中
我〇引水
支離〇裂
単〇直入

- 解けますか？
- コンピュータに解かせるには何が必要ですか？

そうです、「答え」が必要です。

なぜなら、規則性がない、から

人間だって、覚えていなければ答えられません。
ましてや、コンピュータも覚えなければ答えられません。

しかし、覚えれば答えられる

例2

1
2
4
8
??
32
64
128

3	8	11
1	10	11
3	1	4
7	4	11
6	3	??
6	4	10
10	5	15
8	2	10

5	5	1
5	2	0
8	6	1
5	9	1
9	5	??
6	2	0
7	10	1
5	8	1

違いは、何でしょうか？

例3

星新一「ぼろ家の住人」より

- 以下、空欄に「は」か「が」を入れて、文法的に正しい日本語文にしなさい。

1. それでまた金をむだ使いし、あとにはさらに大きなむなしさ（　）残る。
2. 現実に形となって残るの（　）、ふえてゆく借金ばかり。
3. 世の中（　）太平ムードで好景気というのに、おれだけ（　）例外。
4. 番組にのせる、なにかいい題材（　）ないものかと考えながら。
5. ごみごみと、古くきたない家々（　）密集している地域だった。
6. うむ、この経過（　）いいテーマかもしれぬ。
7. 都市（　）再開発されてゆくのを、具体的にとらえるのだ。
8. 「それ（　）ありがたい。あわれであればあるほど、ぴったりです。で、 それどこにですか。」
9. このへんの建物（　）どれもぼろだが、そのなかでも最もぼろで最も小さく、建物というより小屋に近い。
10. ひとりの老人（　）いた。
11. 同情（　）視聴者のすることであり、テレビ関係者（　）まず番組のことを考える。
12. 「生活保護（　）受けていますか」
13. 「そんなもの（　）知らん。」
14. 会話をしているうちに、この老人だけで番組（　）一つできると思った。

例3 補足

- 日本語を母語とする人なら、まず、正解する。
- どうしてだろうか？

- 記憶している？ NO!
- 規則を知っている？ NO!

同じ文を見たこと・聞いたことは、まず、ない

次のスライドのような説明ができますか？

- 生まれつき知っている？
- では、教わった？

母語は、生まれ育った環境に依存する

母語教育はあるが、大抵は、かなりできるようになってから行われる

- つまり、
  - 生後、自力で学習した
  - 丸暗記ではない
  - 学習結果（規則）を口頭で表現することはできない。

http://techieminx.com/listen-no-one-can-tell-you-who-is-looking-at-your-twitter-profile.html

例3の説明

説明できますか？

文1. それでまた金をむだ使いし、あとにはさらに大きなむなしさ（　）残る。

この文は出来事を表す「現象文」である。［残る］は自動詞である。
「現象文」の中では、主語に「が」をつけるのが普通である。
そして、［あとには］の中に取立ての「は」が入っているので、主語に対してもう一つの取立ての「は」が入りにくい。
これにより、この文には「が」しか使えない。

文2. 現実に形となって残るの（　）、ふえてゆく借金ばかり。

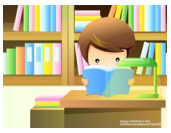
この文は名詞述語の「判断文」である。
文末に［である］が省略されているが、「判断文」という性質に変わりはない。
「判断文」の主語に「は」をつけるのが普通である。

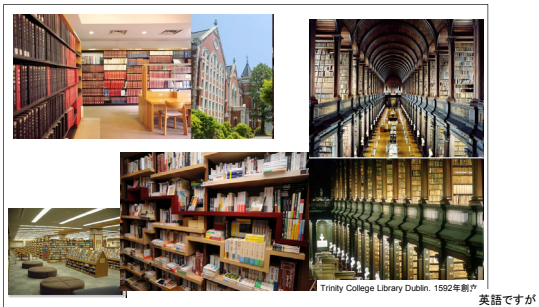
説明できなくても正解できますよね？

ある日本語研究・教育用テキストから

例3. 本題に戻ろう

- コンピュータでできるか？
- もし、人間が行うように、生後聞いた母語をすべて与えたらできるかもしれない。
  - なぜなら人間は皆そうして学習しているから
    - （脱線）「生まれる前から知識を持っている」と主張する人と「まったくの白紙から学習する」と主張する人とがいる
- つまり、





Trinity College Library Dublin. 1592年創立

英語ですが

大量の「日本語文」があれば

それでまた金をむだ使いし、あとにはさらに大きなむなしさ(が)残る。

つまり

- 人間であれば、
  データ ＋ 学習（の結果） ⇒ 穴埋め
- コンピュータであれば、
  データ ＋ アルゴリズム ⇒ 穴埋め

ということを期待してよいだろうか？

http://hararie-japan-tokyo-tokyo.com/japanese_alphabet/japanese-study/various-expressions-of-yes/

つまり

人間の学習

- 人間であれば、
  データ ＋ 学習（の結果） ⇒ 穴埋め
- コンピュータであれば、
  データ ＋ アルゴリズム ⇒ 穴埋め

コンピュータの学習
すなわち
機械学習

整理しよう

穴埋め1	穴埋め2-1	穴埋め2-2	穴埋め2-3	穴埋め3
一期〇会	1	6 9 15	8 8 1	1. それでまた金をむだ使
三〇一体	2	5 1 6	6 7 1	2. 現実に形となって残る
無〇乾燥	4	5 2 7	4 7 1	3. 世の中（　）太平ムー
〇面楚歌	8	4 10 14	1 3 0	4. 番組にのせる、なにか
八面〇臂	??	6 10 ??	8 6 ??	5. ごみごみと、古くきた
無我〇中	32	7 6 13	10 1 1	6. うむ、この経過（　）
我〇引水	64	10 7 17	3 7 1	7. 都市（　）再開発され
支離〇裂	128	10 9 19	6 6 1	8. 「それ（　）ありがた
単〇直入				9. このへんの建物（　）
				10. ひとりの老人（　）い
				11. 同情（　）視聴者の
				12. 「生活保護（　）受
				13. 「そんなもの（　）気
				14. 会話をしているうちに
同一	一次元系列	連続関数	不連続関数	文字列

整理しよう

穴埋め1

一期一会
三位一体
無味乾燥
四面楚歌
八面六臂
無我夢中
我田引水
支離滅裂
単刀直入

一期〇会
三〇一体
無〇乾燥
〇面楚歌

同一

穴埋め2-1

1
2
4
8
??
32
64
128

一次元系列

穴埋め2-2

6	9	15
5	1	6
5	2	7
4	10	14
6	10	??
7	6	13
10	7	17
10	9	19

連続関数

穴埋め2-3

8	8	1
6	7	1
4	7	1
1	3	0
8	6	??
10	1	1
3	7	1
6	6	1

不連続関数

穴埋め3

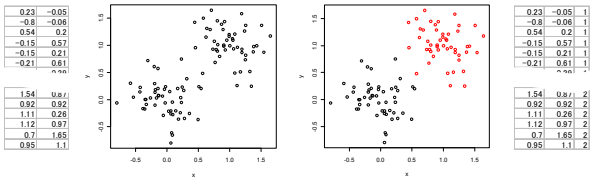
1. それでまた金をむだ
2. 現実に形となって残る
3. 世の中（ ）太平ム
4. 番組にのせる、なにか
5. ごみごみと、古くきた

文字列

目次

- 第一部
  - 予測と推定
  - 機械学習とは、(アルゴリズムを用いた)穴埋めである
  - クラスタリング
  - 教師付、半教師付、教師なし
- 第二部
  - 予測
  - Random walk - ランダムな時系列
  - べき分布とBlack swan
  - 機械学習の位置づけ
- この講義について

穴埋めではないが、類似

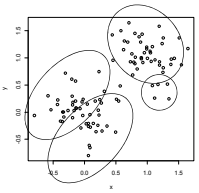


クラスタリングという

クラスタリングとは
「いくつか」の「かたまり」に分けること

課題
「かたまり」？
「いくつ」？

応用はあるの？
はい！

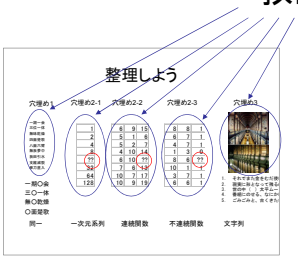


こんな風に考えては、悪いのか？

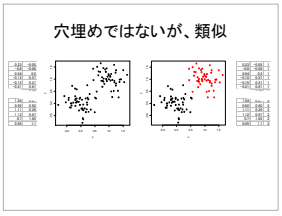
目次

- 第一部
  - 予測と推定
  - 機械学習とは、(アルゴリズムを用いた)穴埋めである
  - クラスタリング
  - 教師付、半教師付、教師なし
- 第二部
  - 予測
  - Random walk - ランダムな時系列
  - べき分布とBlack swan
  - 機械学習の位置づけ
- この講義について

教師



「教師付き」

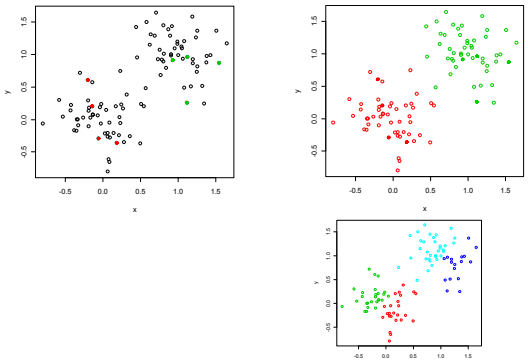


「教師なし」

教師なしデータの有用性

- 教師データ作成コストは高い
- 例えば 次のアプリを考えよう(実問題)
  - バイオ系の論文で、化合物・タンパク質間の相互作用について記述した論文を選び出したい。
  - この「相互作用」の表現をリストアップすることができない(googleの検索(つまり全文検索)では見つけられない)。
  - 専門家が論文を読んで、その表現を探し出す必要がある。
- ならば、その少数例(教師データ)と、多数の文から、仮の(間違っているかもしれない)教師データを作れないか?
  - 実は、この問題は、この方法では難しい。しかし、雰囲気は分ろう

半教師付き学習



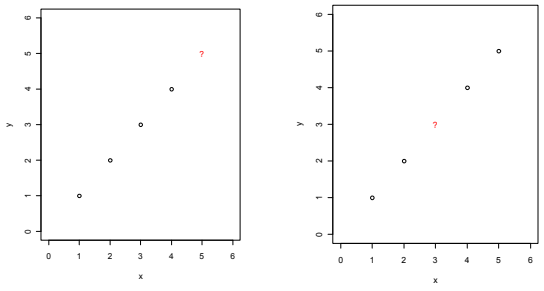
もう一度、整理

目次

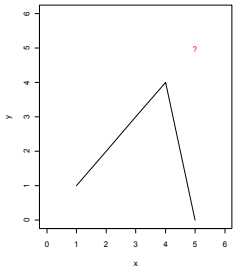
- 第一部
  - 予測と推定
  - 機械学習とは、(アルゴリズムを用いた)穴埋めである
  - クラスタリング
  - 教師付、半教師付、教師なし
- 第二部
  - 予測
  - Random walk - ランダムな時系列
  - べき分布とBlack swan
  - 機械学習の位置づけ
- この講義について

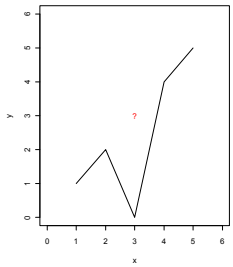
本日の第二部

予測と推測・推定

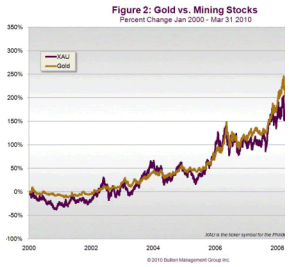


予測と推定・推測





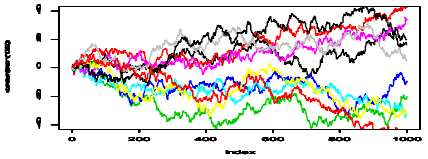
http://heavenawaits.wordpress.com/god-man-and-stock-market-wave-theories/



http://www.safehaven.com/article/17497/why-bullion-is-outperforming-mining-stocks

目次

- 第一部
  - 予測と推定
  - 機械学習とは、(アルゴリズムを用いた)穴埋めである
  - クラスタリング
  - 教師付、半教師付、教師なし
- 第二部
  - 予測
  - Random walk - ランダムな時系列
  - べき分布とBlack swan
  - 機械学習の位置づけ
- この講義について



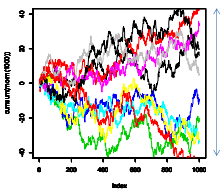
ランダムウォーク S が $2n$ 歩後に $2l$ ($-n \le l \le n$ とする)の地点にいる確率は

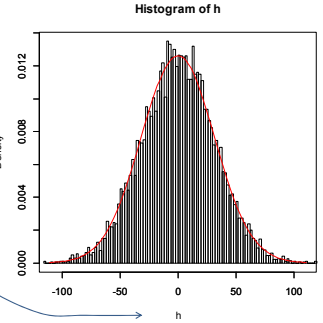
$$P(S_{2n}=2l)=\binom{2n}{n+l}\frac{1}{2^{2n}}=\frac{(2n)!}{(n+l)!(n-l)!}\frac{1}{2^{2n}}$$

ランダムウォーク S が $2n$ 歩後に $a\sqrt{2n}$ 以上 $b\sqrt{2n}$ 以下である確率は

$$P\left(a\sqrt{2n} \le S_{2n} \le b\sqrt{2n}\right)=\frac{1}{\sqrt{2\pi}}\int_a^b e^{-\frac{1}{2}y^2}dy$$

ただし、$-\sqrt{2n} \le a \le b \le \sqrt{2n}$





ここの分布

```
set.seed(123)
rep <- 10000
N <- 1000
br <- 100
h <- numeric(rep)
h<-numeric(rep); for( i in 1:rep) h[i]<-sum(rnorm(N))
hc <- hist(h,freq=F,breaks=br)$density
ymax <- max(hc)
hist(h,freq=F,breaks=br,ylim=c(0,ymax),xlim=c(-3.5*sqrt(N),3.5*sqrt(N)))
par(new=T)
plot(function(x) dnorm(x,0,sqrt(N)), col=2, ylim=c(0,ymax),
      xlim=c(-3.5*sqrt(N), 3.5*sqrt(N) ) , xlab="", ylab="")
```

逆正弦定理

定理(逆正弦法則) ランダムウォーク S が $2n$ までの間に正の側で $2k$, 負の側で $2n-2k$ 過ごす確率 $P(n, k)$ は

$$P(n,k)=u_k u_{n-k}$$

である

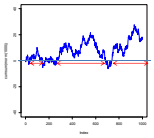
定義

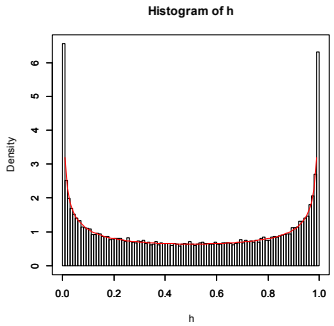
$$u_0=1, u_n=\binom{2n}{n}\frac{1}{2^{2n}}=\frac{(2n)!}{n!n!2^{2n}}$$

P(ランダムウォーク S が $2n$ までの間に正の側にいる割合 $\le \alpha$)

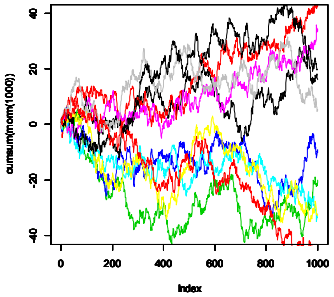
$$=\sum_{k\le \alpha n} P(n,k) \approx \sum_{0\le \frac{k}{n}\le \alpha} \frac{1}{\pi\sqrt{k(n-k)}} = \sum_{0\le \frac{k}{n}\le \alpha} \frac{1}{\pi\sqrt{k(n-k)}} = \frac{1}{\pi}\sum_{0\le \frac{k}{n}\le \alpha} \frac{\frac{1}{n}}{\sqrt{\frac{k}{n}\left(1-\frac{k}{n}\right)}} \approx \frac{1}{\pi}\int_0^{\alpha}\frac{dx}{\sqrt{x(1-x)}} = \frac{2}{\pi}\arcsin\alpha^{\frac{1}{2}}$$

http://elis.sigmath.es.osaka-u.ac.jp/~nagahata/20070816/arcsin.pdf






```
set.seed(123)
rep <- 50000
N <- 1000
br <- 100
h <- numeric(rep)
for ( i in 1:rep) {
  t <- cumsum(rnorm(N))
  h[i] <- length(t[t >= 0])/N
}
hc <- hist(h,freq=F,breaks=br)$density
ymax <- max(hc[1],hc[length(hc)])
hist(h,freq=F,breaks=br,ylim=c(0,ymax))
par(new=T)
plot(function(x){(1/pi)/sqrt(x*(1-x))},col=2,
    xlim=c(0,1),ylim=c(0,ymax),xlab="",ylab="")
```

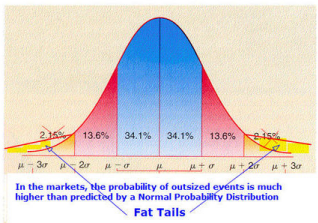



```
set.seed(123)
for ( i in 1:10)
  { plot(cumsum(rnorm(1000)),col=i,type="l",ylim=c(-40,40));par(new=T) }
```

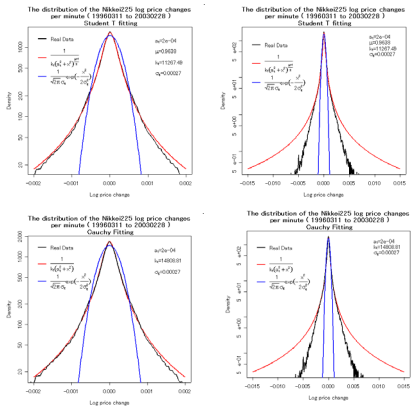
目次

- 第一部
  - 予測と推定
  - 機械学習とは、(アルゴリズムを用いた)穴埋めである
  - クラスタリング
  - 教師付、半教師付、教師なし
- 第二部
  - 予測
  - Random walk - ランダムな時系列
  - べき分布とBlack swan
  - 機械学習の位置づけ
- この講義について

正規分布でない世界なら



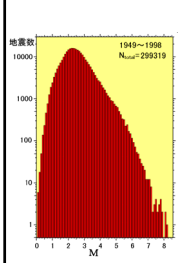
http://stephenvita.typepad.com/alchemy/2010/08/adjustments-8312010.html



安定分布(stable distribution) がよくフィットするとされている。しかし、実データは安定分布より早く裾が落ちる。そこで、切断安定分布(truncated stable distribution) を考えることがある。しかし、今度はきりすぎになりやすい。

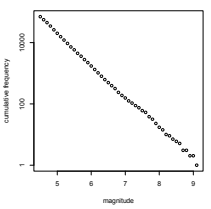
http://www18.tok2.com/home/kabutaro/econophysics/N225perMinDistribution.htm

例えば、地震

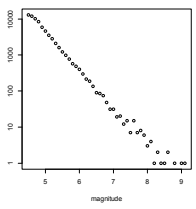


1949～1998年の50年間に日本周辺で検知された地震のM別頻度分布(気象庁データによる)

http://www.hinet.bosai.go.jp/about_earthquake/sec1.2.html



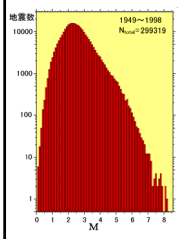
全世界で2000年1月1日～2012年8月30日間に検知された地震のマグニチュードに対する積算度数



全世界で2000年1月1日～2012年8月31日間に検知された地震のマグニチュードに対する度数

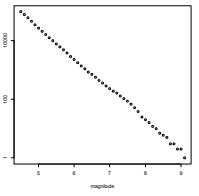
http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eqarchives/epic/epic_global.php

例えば、地震

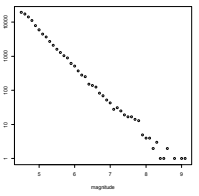


1949～1998年の50年間に日本周辺で検知された地震のM別頻度分布（気象庁データによる）

http://www.hinet.bosai.go.jp/about_earthquake/sec1.2.html



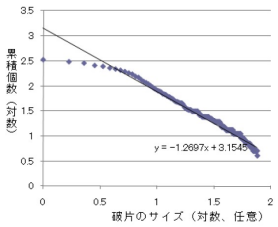
全世界で2000年1月1日～2014年9月27日間に検知された地震のマグニチュードに対する積算度数



全世界で2000年1月1日～2014年9月27日間に検知された地震のマグニチュードに対する度数

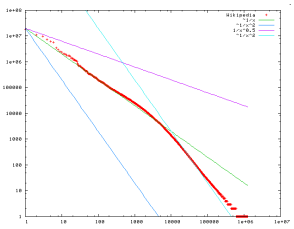
http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eqarchives/epic/epic_global.php

べき分布



はやぶさの分裂破片のサイズ分布

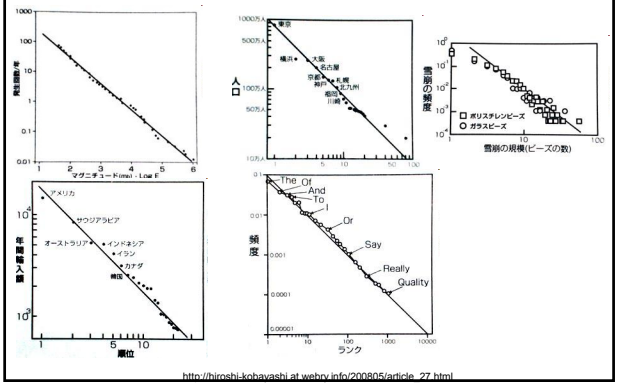
http://pholus.mtk.nao.ac.jp/~satomk/hayabusa/result/



英単語の出現頻度の Zipf 則。横軸が（wikipedia に書かれている）単語の出現数の順位、縦軸が出現数。

http://en.wikipedia.org/wiki/Zipf%27s_law

べき分布（続）



http://hiroshi-kobayashi.at.webry.info/200805/article_27.html

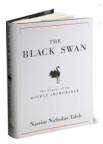
現実のデータ

- 正規分布に従わないものがある
  - 冪分布に従うと、fat tail である。
  - その結果、予測誤りの影響が大きくなる
- しかも、現実にはデータ量が少ない
  - 絶対量が少ない場合
  - 相対量が少ない場合

世の中ビッグデータだと騒いでいるのに？

Swan and Black Swan

http://akkesi1946.kitaguni.tv/e456896.html



http://ermbooks.wordpress.com/2008-reading-groups/the-black-swan/

http://journal.mycom.co.jp/articles/2009/07/21/blackswan/

http://photo.digikita.com/article/31090086.html

Swan and Black Swan

- "Black Swan" はTalebの極めて有名な著書
  - 最近は、"Black Swan" とgoogleで引くと、別のものが大量に出てきて困ります。
    - 一昨年よりは、よくなった。昨年よりは、悪い（かな）。
- Swanは白い鳥だと誰もが信じていた。Black Swan が発見されるまでは。
  - 「これはバブルではない、わが国経済の実力である」と誰もが信じていた。バブルが崩壊するまでは。

目次

- 第一部
  - 予測と推定
  - 機械学習とは、(アルゴリズムを用いた)穴埋めである
  - クラスタリング
  - 教師付、半教師付、教師なし
- 第二部
  - 予測
  - Random walk - ランダムな時系列
  - べき分布とBlack swan
  - 機械学習の位置づけ
- この講義について

統計学との違い

- 統計では、分布の推定や(ほぼ同じことであるが)パラメータの推定を目指す。
- 機械学習では、「論理・ロジック」と組み合わせた知識表現(記号表現)も推定対象に入る。

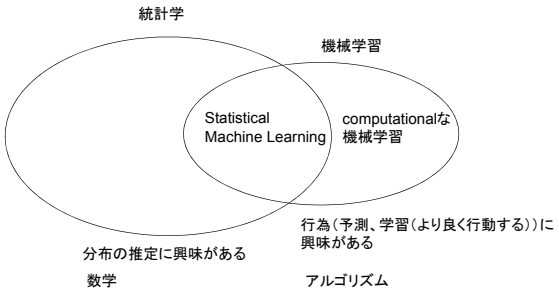
- 統計で目的とする分布は、数式で書ける分布が多い。
  - モデルを単純にし、理論的に正確に。ノンパラメトリックという手法はある
- 機械学習では、数式で書けないような分布を対象とする
  - モデルは複雑(かどうかは分からないが)に、予測結果は正確に。
  - 機械学習でも「分布の推定」ということを行うし、研究ではその評価式がたくさん出てくるのですが、実用上は、その推定精度は大したことはない。結果としての予測精度が重要。
  - 分布の推定精度が測れるほどのデータ量が、実は、ないのが原因。
    - モデルパラメータが多すぎるのが原因。

- 融合が進んでいますが、相変わらず、違いがある

PAC学習可能

- Probably Approximately Correct 学習可能
  - 大抵の場合、近似的に、正しく学習できる
- 大抵の場合:
  (e.g.) 100回学習すると、そのうちの95回
- 近似的に正しい:
  (e.g.) 真の解との誤差は 5% 以内で

統計学と機械学習



目次

- 第一部
  - 予測と推定
  - 機械学習とは、(アルゴリズムを用いた)穴埋めである
  - クラスタリング
  - 教師付、半教師付、教師なし
- 第二部
  - 予測
  - Random walk - ランダムな時系列
  - べき分布とBlack swan
  - 機械学習の位置づけ
- この講義について

この講義の目的

- 知的な情報処理を実現する技術の一つである「機械学習・データマイニング」技術の基礎を知る

- Rという統計パッケージに慣れておこう
  - きっと卒論で役に立つよ

講義の進め方

- 講義中心、しかし、手を動かす。
- R を使用します（ほどほどに）

Rとは

- （元は）統計計算とその結果表示のための言語・環境
  - いろいろな統計手法が、パッケージ（オープンソース）とされ、簡単に組み込める
- ところが、今では、様々な機械学習手法も入っている。
  - そのため、機械学習の手法の学習には使えない。
  - しかし、使い方の学習にはもってこい！
- フリーソフト

評価他

- レポート（3回ほど）と試験（またはレポート（4回ほど））に基づく
  - 講義の進行状況に依存して決める。
  - レポート採点は、考察重視
  - 出席はとらない予定
  - ただし、たいていは、簡単な即レポで代替するので、ご注意ください
- 講義資料は、櫻井研究室 website に掲載予定（google で 櫻井研究室 で検索すればよい）

  http://www.sakurai.comp.ae.keio.ac.jp/

予定

1	9月30日	火	予測と推測と機械学習
2	10月7日	火	R 超入門
3	10月14日	火	最近傍法 – 近さの利用
4	10月21日	火	ナイーブなベイズ法
5	10月28日	火	ナイーブベイズと自然言語処理
6	11月4日	火	決定木 – 生成と剪定
7	11月11日	火	オッカムの剃刀と過学習
8	12月2日	火	演習
9	12月9日	火	ニューラルネットワーク – 夢と限界と広がり
10	12月16日	火	実用的なニューラルネットワーク
11	12月26日	金	SVM – 強力な分類法
12	1月6日	火	クラスタリング
13	1月13日	火	モデル選択・Deep Learning
14	1月20日	火	最終課題