



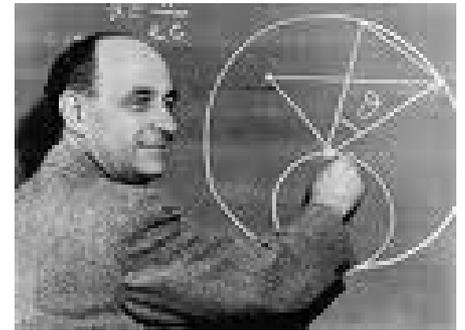
フェルミ問題を解く



電子情報工学科
伊庭 斉志

フェルミ問題とはなにか？

- 初歩的な方法でおおよその推定をすること
- Enrico Fermi (1901-1954)



例1：部屋をいっぱいにするのに必要なポップコーンの数は？



例2：人間の体にある細胞の数は？

フェルミ問題とはなにか？

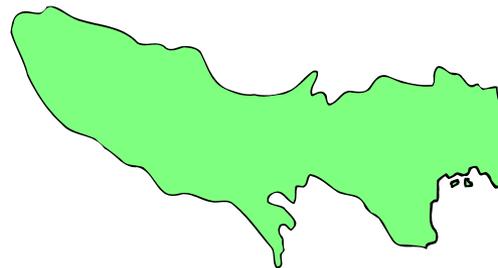
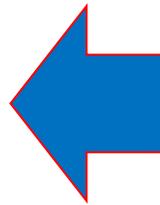
■ オーダー・エスティメーション

- 誤差同士が打ち消しあう
- 推測値がすべて過大(過小)になることはない
- 最後の結果は正しい値に収束する

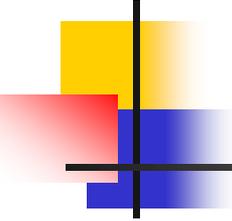


例1: ピアノの調律師

- 東京にいるピアノ調律師の数はどのくらいか？

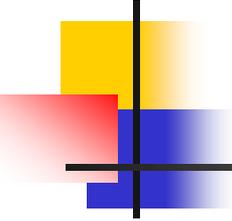


How many?



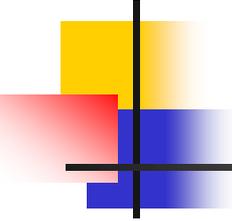
例1: ピアノの調律師の数 = P

- $N =$ 人口
- $p =$ 1家庭にあるピアノの台数の平均 (通常 $p < 1$)
- 年に b 回調律する ($0 < b < 2$ としていい)
- $n =$ 家族の平均人数
- このとき、一年あたりの回数は Npb/n



例1: ピアノの調律師の数 = P

- 一年あたりの総調律回数は Npb/n
- 調律師は一日 m 台のピアノを調律する ($0 < m < 4$ としていい)
- すると一人で一年に $250m$ 台となる (一年の労働日数は250日)
- 以上から、 $P = (Npb/n) / (250m) = Npb / 250nm$



例1: ピアノの調律師の数=P

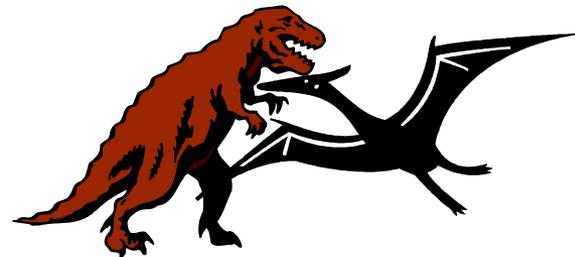
- $P = (Npb/n)/(250m) = Npb/250nm$
- 東京では、 $N \doteq 12000000$, $n=4$, $b=0.5$, $p=0.2$,
 $m=2$ より $P \doteq 600$
- つまり、ピアノの調律師数は100と1000の間の
大きさのオーダーといえよう

例2:小惑星の衝突

- 約6,500万年前に小惑星が衝突し、衝突で生じた塵が地球表面を覆った。



- その結果、太陽の光が遮られ、植物・動物が大きな被害を受け、恐竜は絶滅したとされる。

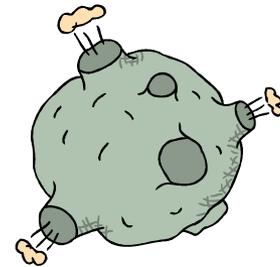


例2:小惑星の衝突

- ある仮説では、この小惑星の質量の約20%が地球表面を一様に約 0.02g/cm^2 覆っているとされている。



- 小惑星の大きさはどのくらいだったのか？



例2:小惑星の衝突

- r (cm) = 地球の半径とすると、小惑星の質量は約 $4 \pi r^2 \times 0.02 \times 5$ となる

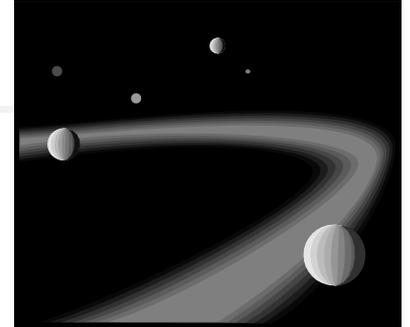
20%が飛び散った



半径
6370Km

- 小惑星の密度を 2 g/cm^3 とする (普通の岩石組成)
- よって、小惑星を一辺 L の立方体と近似すると、
$$2 L^3 \doteq 0.4 \pi r^2$$

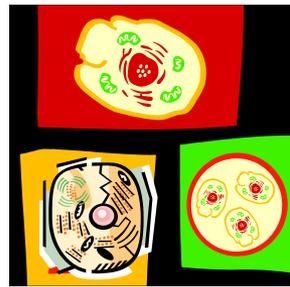
例2:小惑星の衝突



- $2 L^3 \doteq 0.4 \pi r^2$
- $r \doteq 6.4 \times 10^8 \text{ cm}$ なので、 $L \doteq 6 \times 10^5 \text{ cm} \doteq 6 \text{ km}$
- つまり、10 kmのオーダーとなる
- 大体の仮説と一致している
 - イリジウムの量による推定 3.4Km
 - 衝突エネルギーによる推定 5km
 - $10 \mp 4 \text{ Km}$ (ルイス・アルバレッツによる)

例3：人の細胞の数

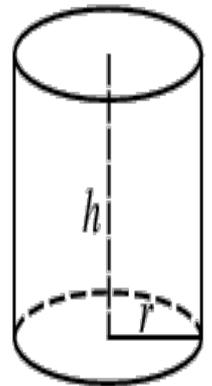
- 人には細胞がいくつあるか？



How many?



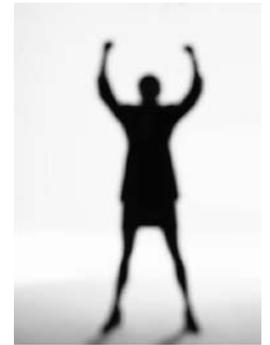
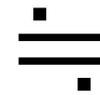
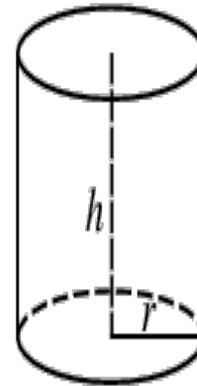
- 人の表面積と体積を求めよう
- 人を半径 r 、高さ h の円柱で近似する
- $r \doteq 0.15\text{m}$, $h \doteq 1.8\text{m}$ くらい
- よって、



体積 $V \doteq \pi r^2 h \doteq 0.1\text{m}^3$ 表面積 $S \doteq 2\pi rh \doteq 2\text{m}^2$

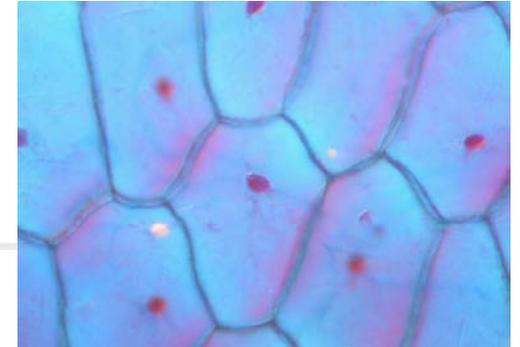
例3: 人の細胞の数

- 体積 $V \doteq \pi r^2 h \doteq 0.1 \text{m}^3$
- 表面積 $S \doteq 2 \pi r h \doteq 2 \text{m}^2$



- (検証)ほとんどの人は水に浮くので密度は約 1g/cm^3
- つまり体重 70Kg の人は 0.07m^3
- 大体一致している

例3: 人の細胞の数



- 体積 $V \doteq \pi r^2 h \doteq 0.1 \text{m}^3$
- 人を細胞の直径を平均10ミクロン $= 10^{-5} \text{ m}$ とする
- よって、人は $10^{-1} / (10^{-5})^3 \doteq 10^{14}$ 個の細胞からできている
- (一般的な説) 標準体型の60キロの人で約60兆個