

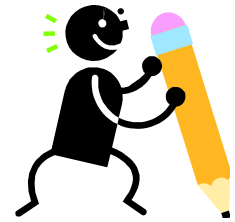
問題解決技法入門

1. 統計・シミュレーションと予測 ～サイコロをうまく使おう～

堀田 敬介



問題



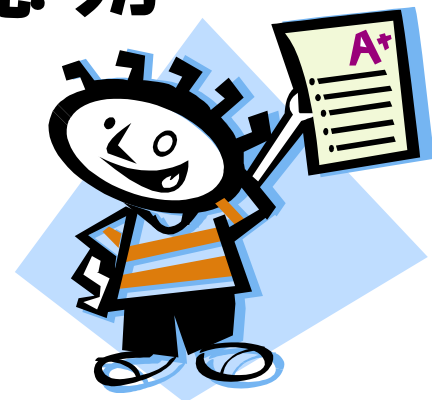
文教太郎君はマークシート形式のテストを受ける予定だ。全部で20問あり、各問題の選択肢は4つ(A,B,C,D)である。

ところが、いざ受けてみたら、まずいことにさっぱり分からない。どうしよう？ 困ったな…。 そうだ！こんな時は秘伝の「鉛筆転がし」を使おう！ 幸いにも、太郎君の鉛筆の断面は正方形だったので、各面にA, B, C, Dと書き、転がした…。

さて、60点以上で合格だが、彼は単位を貰えるだろうか？

問1. 彼が5問以上誤答する確率はどれくらいあると思うか
予測しなさい

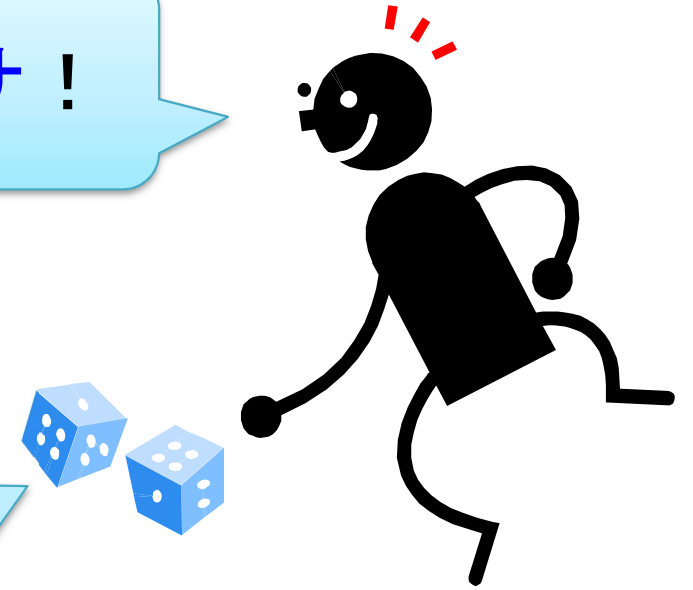
問2. 彼が単位をとれる可能性はどれくらいか
予測しなさい



わかんないやサイコロを振ろう

理屈(確率統計)はいろいろあるサ！

でも、確率は示されているのだから、
四の五の言わずに何千回何万回と
トライ(試行)してみればいいさ～



人類の偉大な発明の1つはサイコロである
サイコロによって人は神に一步近づく(エッ？)

<注意事項>

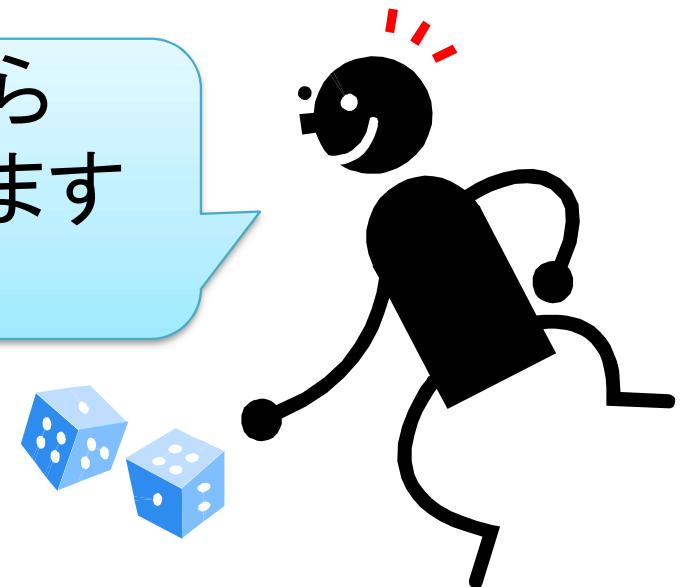
- ✓ 自分で振る場合→ 理論通りの出目 (cf. 正重心サイコロ, 重心がずれた賽の確率計算)
- ✓ コンピュータに振らせる場合→ 疑似乱数生成 (cf. 線形合同法, Mersenne twister, etc.)

※アインシュタインの言葉として有名なため、言葉が一人歩きすることが多いようです

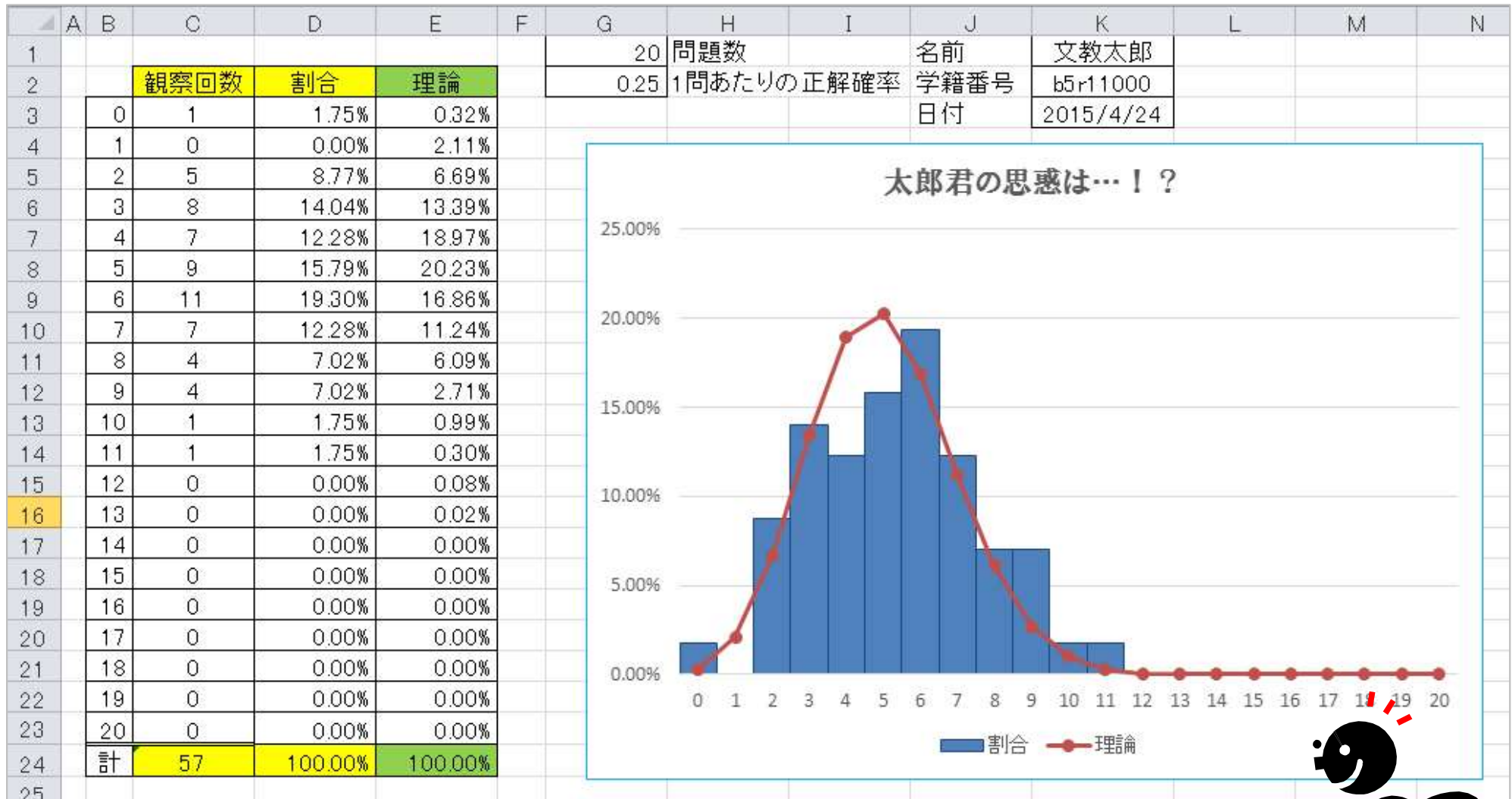
ここでも、本来の発言の趣旨と異なる形で引用しているので注意



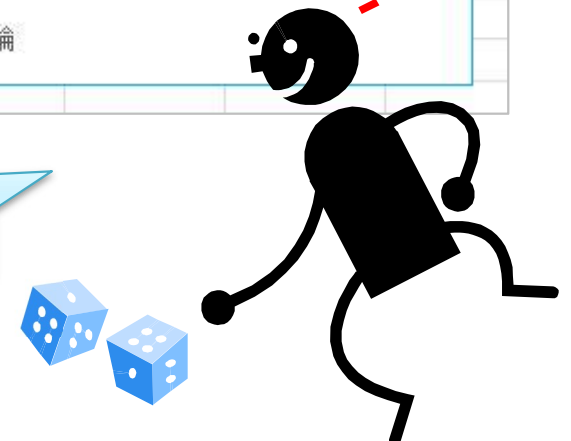
でも、人間ですから
サイコロ使っちゃいます
ゴメンね！



演習



さあ、トライ(試行)して予測しよう



Coffee Break!

ベイズ推定

ベイズの定理

$$P(A|B) = \frac{P(A)P(B|A)}{P(B)}$$

確率の乗法定理

$$\begin{aligned} P(A \cap B) &= P(A)P(B|A) \\ &= P(B)P(A|B) \end{aligned}$$



◎Q. データにもとづきコインがイカサマかどうか知りたい(コインの確率分布を知りたい)

◎Step0: (準備)

◎X... 仮定

◎B... 試行から得られた結果(データ)

◎ $P(X)$... 事前確率: 試行前の X の確率分布

◎ $P(X|B)$... 事後確率: 試行後の X の確率分布

◎ $P(B|X)$... 尤度: X のもとで B のおこる度合

◎ $P(B)$... B がおきる確率

◎Step1: 試行1回目...10回コインを投げたら表が6回出た!

◎ $P(X)=1$... X の分布は不明なので一様分布(どの値をとる確率も同じ)とする

◎ $P(B)=6/10$... 実際に10回中6回表が出た

◎ $P(B|X)=_{10}C_6 x^6(1-x)^4$... 表の出る確率 x のコインで, 10回中表が6回でる確率

$$\rightarrow P(X|B) = \frac{P(X)P(B|X)}{P(B)} = \frac{1}{6} {}_{10}C_6 x^6(1-x)^4 = k_1 x^6(1-x)^4 \rightarrow k_1 = \dots$$

和が1になるよう
係数を調整(積分)

Coffee Break!

ベイズ推定

ベイズの定理

$$P(A|B) = \frac{P(A)P(B|A)}{P(B)}$$

確率の乗法定理

$$\begin{aligned} P(A \cap B) &= P(A)P(B|A) \\ &= P(B)P(A|B) \end{aligned}$$



☉ **Step2**: 試行2回目...さらに10回コインを投げたら表が9回出た!

☉ $P(X) = k_1 x^6 (1-x)^4$

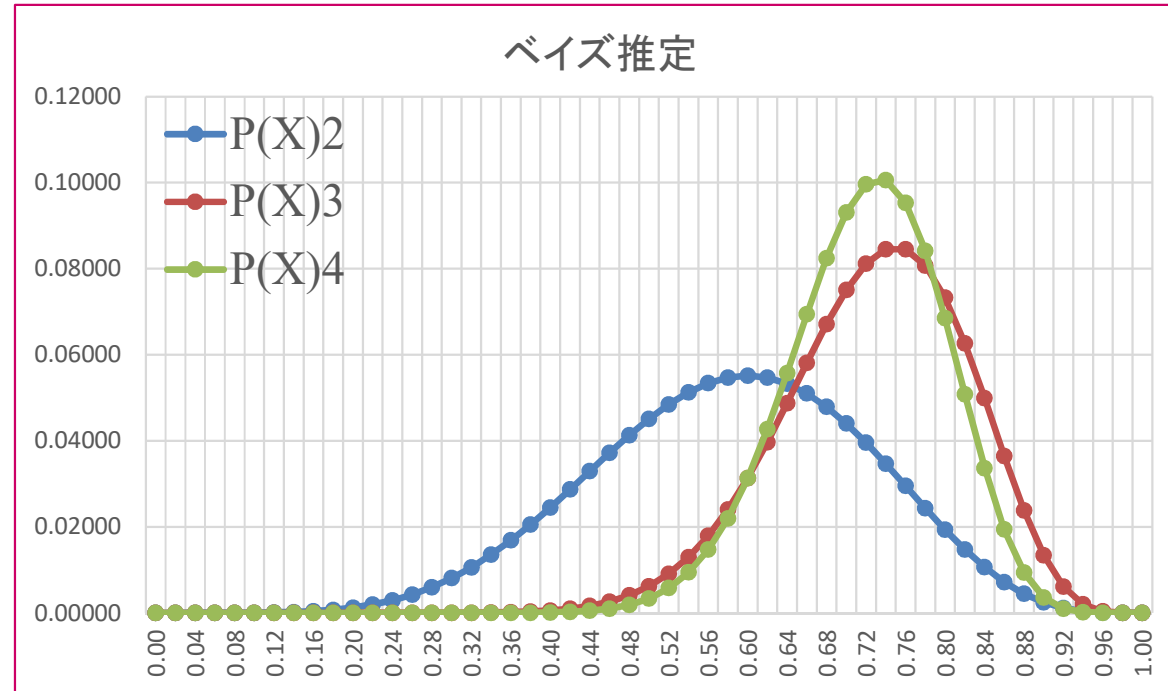
☉ $P(B) = 9/10$... 実際に10回中9回表が出た

☉ $P(B|X) = {}_{10}C_9 x^9 (1-x)^1$... 表の出る確率 x のコインで, 10回中表が9回出る確率

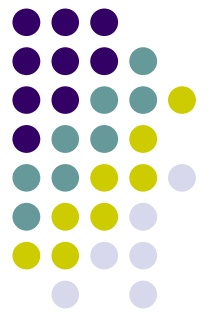
➡
$$P(X|B) = \frac{P(X)P(B|X)}{P(B)} = \frac{10}{9} k_1 x^6 (1-x)^4 {}_{10}C_9 x^9 (1-x) = k_2 x^{15} (1-x)^5$$

➡ $k_2 = \dots$

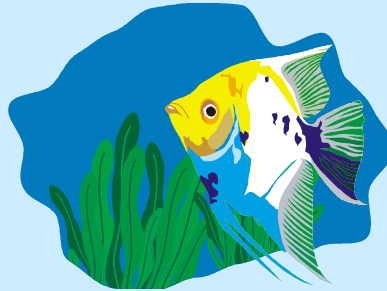
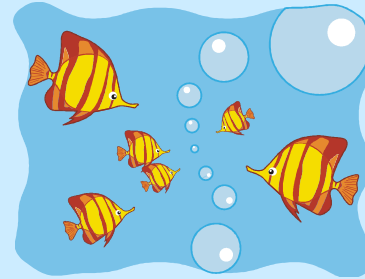
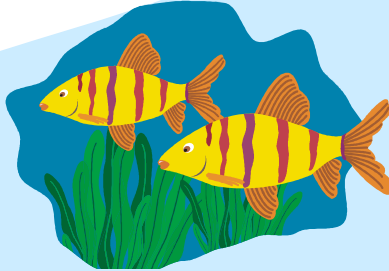
☉ **Step3**: 試行3回目...



Coffee Break!



湖の中にいる，特定の魚の**数**を**推定**したい
どうしたらよいか？



Coffee Break!



標識再捕獲法
(mark-recapture method)
ともいう

「捕獲再捕獲法 capture-recapture method」

- 湖の中の魚の個体数(N 匹)を推定したい
 - Step1 (ランダムに) 魚を捕獲(M 匹), 印 $\bigcirc$ をつけて放す
 - Step2: しばらくおいて, (ランダムに) 魚を再捕獲(n 匹)し, 印の付いている魚を数える(m 匹)



Step1: 捕獲後,
印 $\bigcirc$ を付けた魚 (M 匹)

Step2: 再捕獲 (n 匹)

再捕獲魚のうち
印の付いた魚 (m 匹)

未知の推定したい数値

総数 N 匹: 印 $\bigcirc$ 付き M 匹

再捕獲 n 匹: 印 $\bigcirc$ 付き m 匹

既知の観測数値

➡ $N:M = n:m$ より
推定値: $\hat{N} = \frac{Mn}{m}$

例) $M=300, n=500, m=5$ なら

$$\hat{N} = \frac{300 \cdot 500}{5} = 30000$$

演習

問 文教太郎君の受けた試験が、1問10点の**全10問**で、
すべて**3択**だった場合、彼が 秘伝・鉛筆転がし で単位をと
れる(60点以上とる)可能性を予測しなさい

シミュレーション回数(試行回数)は、 x 回とする
(つまり、太郎君が同じ試験を x 回受けたこととする)

ただし、「 $x = 30 + \text{あなたの学籍番号下1桁}$ 」とする

<ヒント>

3択なので、6面体サイコロを振った時、1か2の目が出たら正解！とすればよい
試験は全10問なので、1回のシミュレーションで10個サイコロをふり、1と2の目が何回出たかを観察する。それを x 回行う
結果が出たら、60点以上で単位取得なので、該当する部分から確率(予測値)を計算



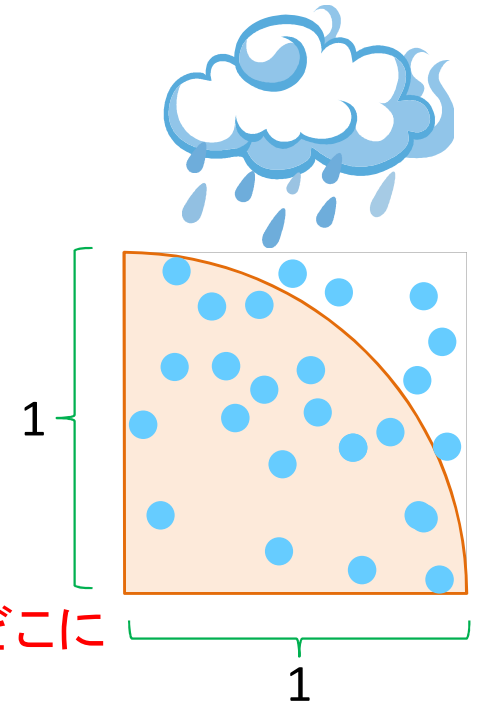
問題

問 円周率 π はいくつか？

モンテカルロ法(モンテカルロ・シミュレーション)

一辺1の正方形と内接する半径1の $\frac{1}{4}$ 円を描く(右図)

右の正方形の領域に「雨が降る」としよう. 雨は, 正方形領域のどこに降るだろう? もちろん, $\frac{1}{4}$ 円の内部か外部のどちらかだよ



そして, 全雨粒の内, 円の内部に降る雨粒の数は, 正方形の面積(1)に対する $\frac{1}{4}$ 円の面積($\pi/4$)の比に近い値になりそうだよね

だから, 全雨粒の数を T , 円内に降る雨粒数を R とすると

$$\text{正方形面積} : \frac{1}{4}\text{円面積} = 1 : \pi/4 = T : R$$

となる. 即ち, $\pi/4 = R / T \Leftrightarrow \pi = 4 \times R \div T$

この式は何を意味するのか? R と T が分かれば π を計算できるってこと!

さあ, 雨粒をたくさん降らせ($T=10,000$ 粒としよう), R の数を数えよう!

これが, モンテカルロ法による, 円周率 π の近似法(の1つ)だよ



問題

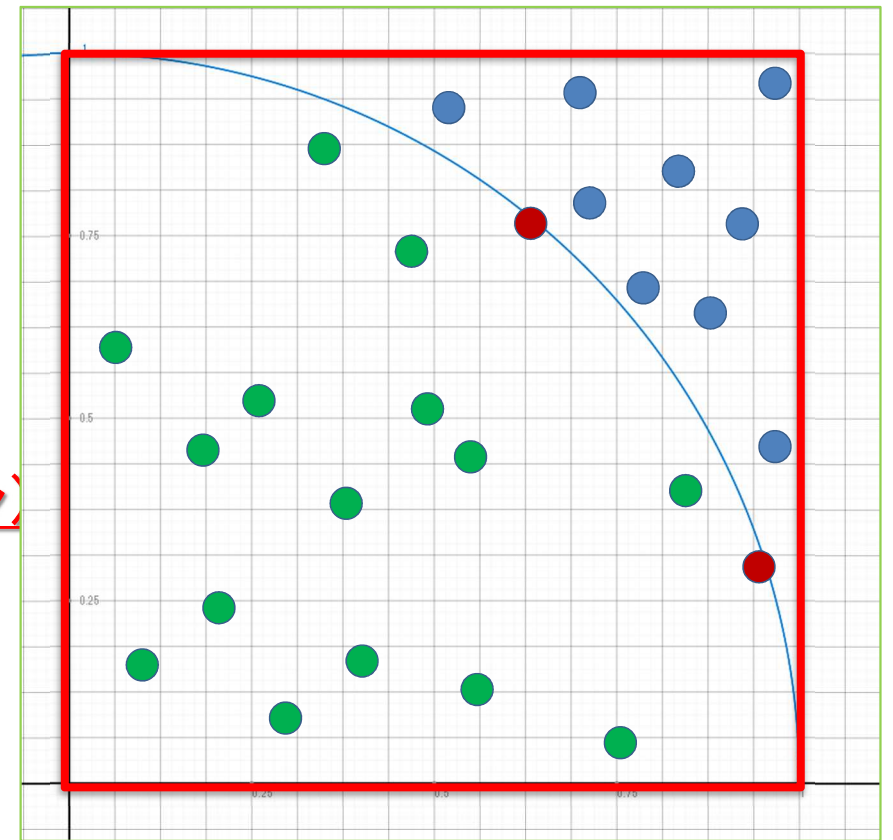
問 円周率 π はいくつか？

モンテカルロ法(モンテカルロ・シミュレーション)

$$\pi = 4 \times R \div T$$

T=降らせる雨粒の数(例:T=10,000粒)

R=円内に降った雨粒の数(数える/計算させる)



中心座標(a, b), 半径 r の円の式は $(x - a)^2 + (y - a)^2 = r^2$
今, 中心原点($0, 0$), 半径 1 の円なので $x^2 + y^2 = 1$

ある点 (x, y) (=1つの雨粒) が, 円の内部にある(降る)とは,
$$x^2 + y^2 < 1$$

を満たすということ

つまり, ある点 (x, y) (=1つの雨粒) が円内に降ったかどうかは,
$$x^2 + y^2$$

を計算した結果が1より小さいかどうかを見れば良い(これで, Rを数えられる!)

- : 円内にある点(雨粒)
- : 円外にある点(雨粒)
- : 円上にある点(雨粒)

問題

問 酔っ払いが道を歩いている
あっちにふらふら, こっちにふら
ふら, …あぶなっかしい

無事に家までたどり着けるだ
ろうか？

ランダム・ウォーク(酔歩)

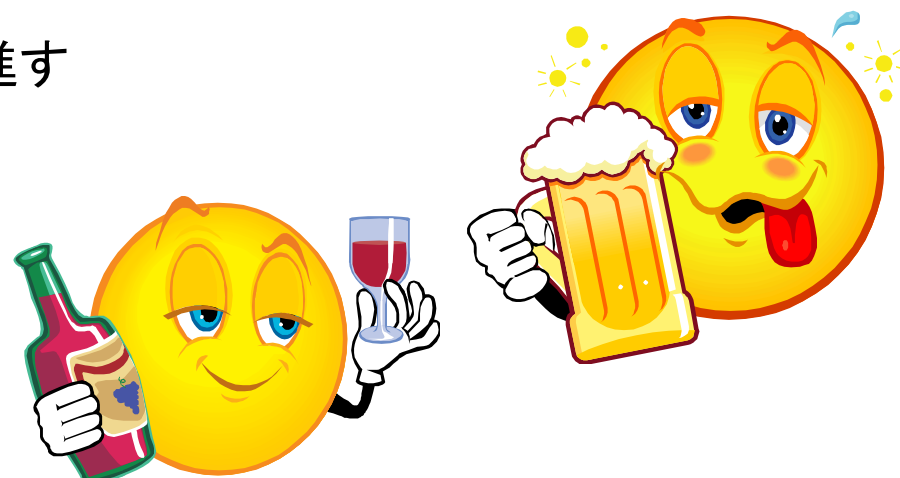
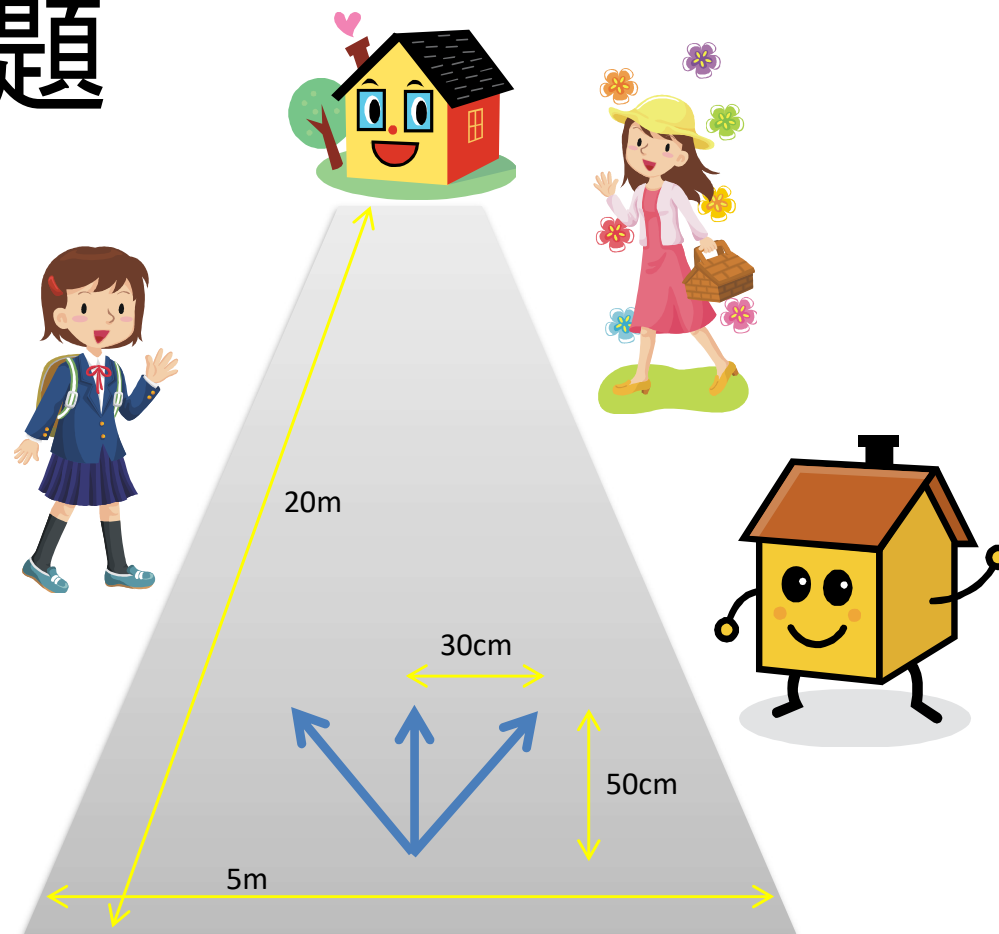
彼の歩みは

- 1/3の確率で右にふらふら
- 1/3の確率で左にふらふら
- 1/3の確率でまっすぐ

としよう. ただし, いつも1歩(50cm)は前進す
るとし, 左右へふらつく距離は30cmとする
道幅を5m

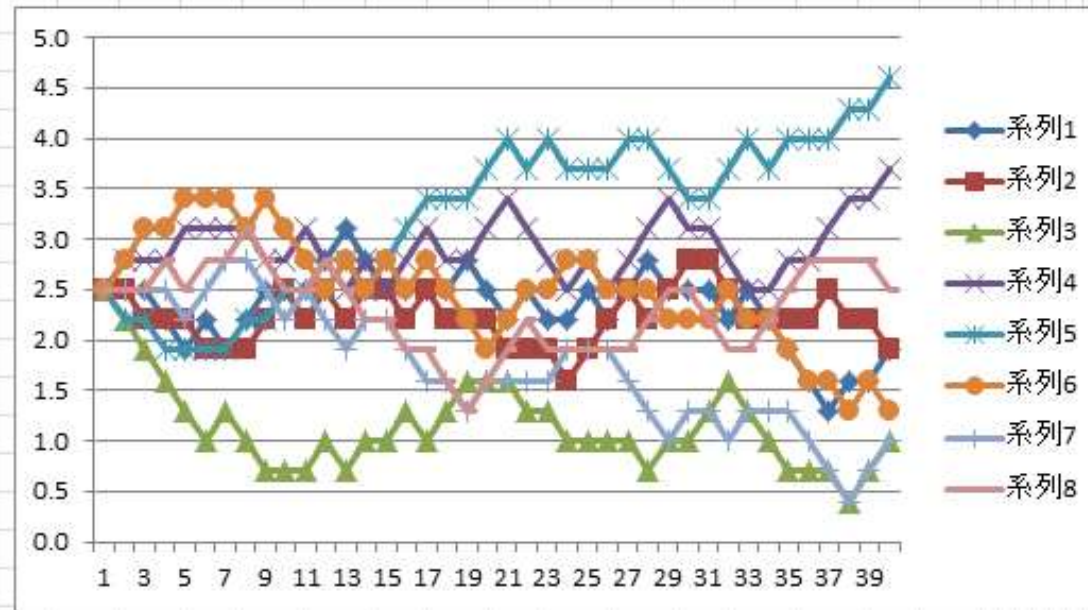
現在位置(初期位置)は道路の真ん中
とし, 家まで20mとする

この設定でシミュレーションをするよ



演習

	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG	AH	AI	AAAAAAAAAAAAAAAAAAAA	AY	AZ	BA	BB																		
1		start																																											goal
2	歩数(歩)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21																							
3	距離(m)	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0	9.5	10.0	10.5																							
4	位値	2.5	2.5	2.5	2.2	1.9	2.2	1.9	2.2	2.5	2.5	2.5	2.8	3.1	2.8	2.5	2.5	2.5	2.5	2.8	2.5	2.2																							
5		2.5	2.5	2.2	2.2	2.2	1.9	1.9	1.9	2.2	2.5	2.2	2.5	2.2	2.5	2.5	2.2	2.5	2.2	2.2	2.2	1.9																							
6		2.5	2.2	1.9	1.6	1.3	1.0	1.3	1.0	0.7	0.7	0.7	1.0	0.7	1.0	1.0	1.3	1.0	1.3	1.6	1.6	1.6																							
7		2.5	2.8	2.8	2.8	3.1	3.1	3.1	3.1	2.8	2.8	3.1	2.8	2.5	2.8	2.5	2.8	3.1	2.8	2.8	3.1	3.4																							
8		2.5	2.2	2.2	1.9	1.9	1.9	1.9	2.2	2.2	2.5	2.5	2.5	2.8	2.5	2.8	3.1	3.4	3.4	3.4	3.7	4.0																							
9		2.5	2.8	3.1	3.1	3.4	3.4	3.4	3.1	3.4	3.1	2.8	2.5	2.8	2.5	2.8	2.5	2.8	2.5	2.2	1.9	2.2																							
10		2.5	2.5	2.5	2.5	2.2	2.5	2.8	2.8	2.5	2.2	2.5	2.2	1.9	2.2	2.2	1.9	1.6	1.6	1.3	1.6	1.6																							
11		2.5	2.5	2.5	2.8	2.5	2.8	2.8	3.1	2.8	2.5	2.5	2.8	2.5	2.2	2.2	1.9	1.9	1.6	1.3	1.6	1.9																							



無事にたどり着けたかな？



2次元ランダムウォーク

問 酔っ払いが道を歩いている

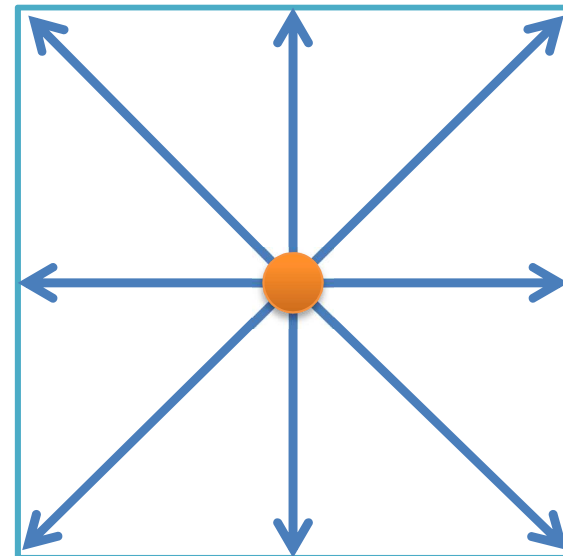
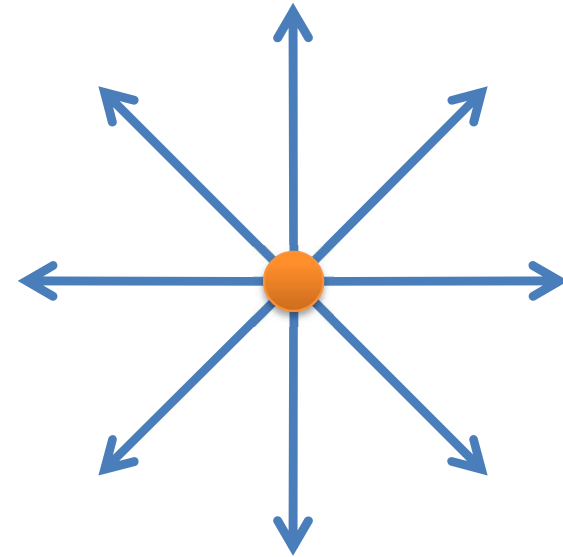
あっちにふらふら, こっちにふら
ふら, …あぶなっかしい

無事に家までたどり着けるだ
ろうか？

2次元ランダム・ウォーク(酔歩)

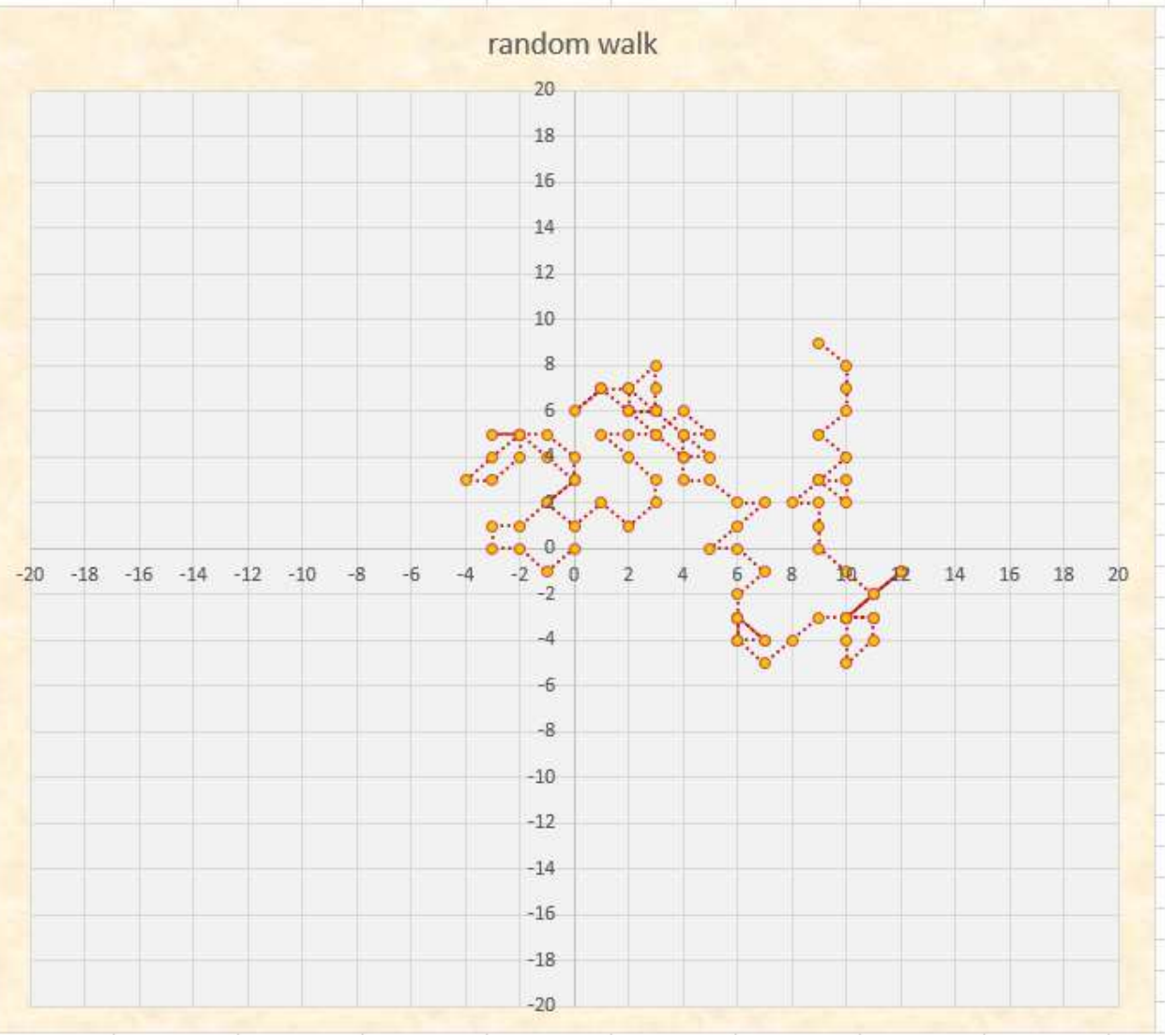
東西南北8方向にそれぞれ1/8の確率で進む

この設定でシミュレーションをするよ



演習

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V
1	2次元ランダムウォーク(酔歩)																					
2									2		3	4										
3		歩幅		1				乱数			x	y										
4		次の一歩	x座標	y座標		1					(	0	0)									
5		1 東	1	0		2	4	南西	(	-1	-1)											
6		2 南東	1	-1		3	6	北西	(	-2	0)											
7		3 南	0	-1		4	5	西	(	-3	0)											
8		4 南西	-1	-1		5	7	北	(	-3	1)											
9		5 西	-1	0		6	1	東	(	-2	1)											
10		6 北西	-1	1		7	8	北東	(	-1	2)											
11		7 北	0	1		8	8	北東	(	0	3)											
12		8 北東	1	1		9	7	北	(	0	4)											
13						10	6	北西	(	-1	5)											
14						11	5	西	(	-2	5)											
15						12	3	南	(	-2	4)											
16						13	4	南西	(	-3	3)											
17						14	5	西	(	-4	3)											
18						15	8	北東	(	-3	4)											
19						16	8	北東	(	-2	5)											
20						17	5	西	(	-3	5)											
21						18	1	東	(	-2	5)											
22						19	2	南東	(	-1	4)											
23						20	2	南東	(	0	3)											
24						21	4	南西	(	-1	2)											
25						22	2	南東	(	0	1)											
26						23	8	北東	(	1	2)											
27						24	2	南東	(	2	1)											
28						25	8	北東	(	3	2)											
29						26	7	北	(	3	3)											
30						27	6	北西	(	2	4)											
31						28	6	北西	(	1	5)											
32						29	1	東	(	2	5)											
33						30	1	東	(	3	5)											
34						31	6	北西	(	2	6)											
35						32	1	東	(	3	6)											
36						33	5	西	(	2	6)											

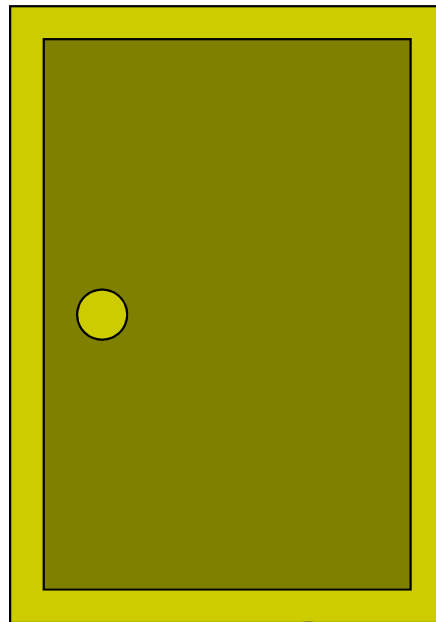
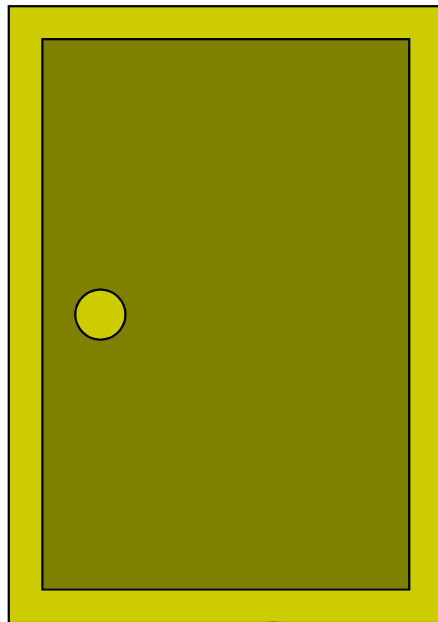
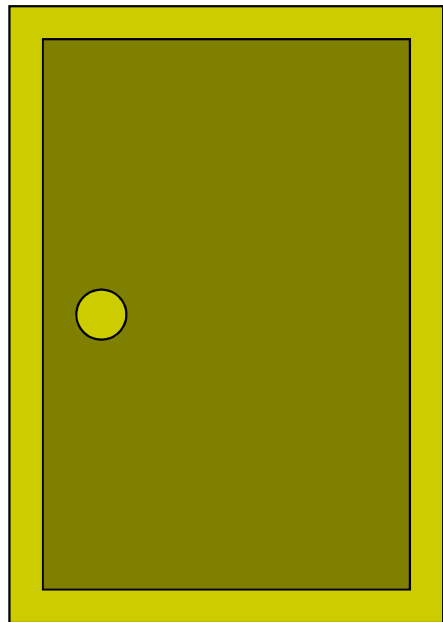


Coffee Break!



Monty-Hole Dilemma

確率的直感



3枚の扉の向こうに

•百万ドル(当たり)

•山羊(はずれ)

•山羊(はずれ)

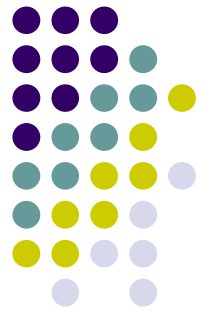
が隠されているよ。
あなたは扉を1つだけ選んでいいのよ。

ところで、あなたが選ばなかった2つの扉のうち、山羊の扉を開くから、それを見た後で、開く扉を変えてもいいよ。

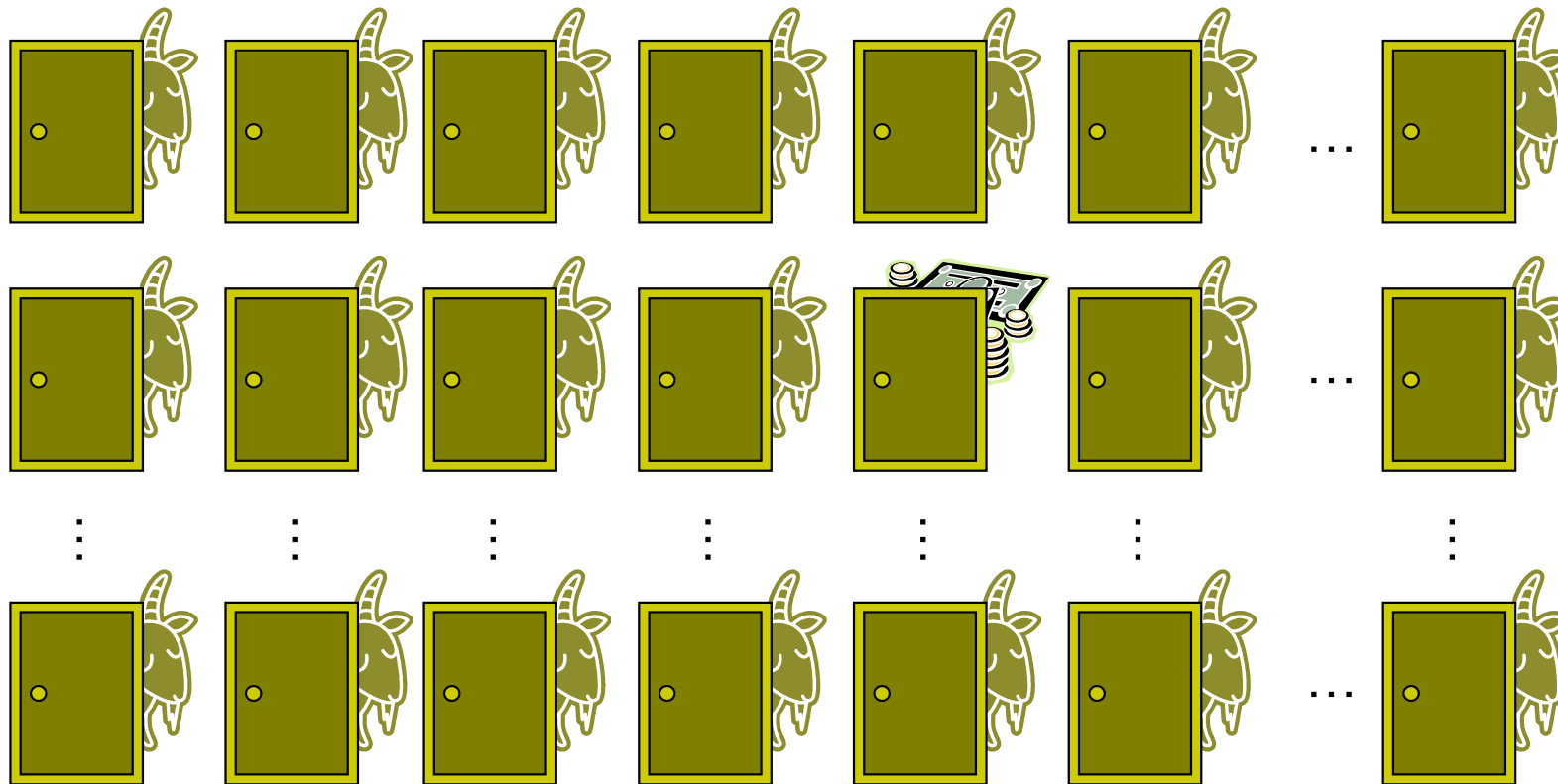
さあ、どうする？



Coffee Break!



Monty-Hole Dilemma



どうしても納得
いかない人の
ため、扉の
数を増やして
みましょう！

最初に選ぶ
扉が100個
あったらどう
かしら？

100個の扉からあなたが1つを選んだ後で、残り99の扉のうち山羊(はずれ)の98の扉を開いて見せます。さあ、開く扉を変えてもいいよ。それともやっぱり、あなたは開く扉を変えない？

あなたの最初の選択は神懸かり的な幸運に恵まれているのかしら？



Coffee Break!



クイズ・ミリオネアとお助けルール50-50

世の中で役に立つ確率統計3

問題: × × × × ...

A. ○○○○

B. △△△△

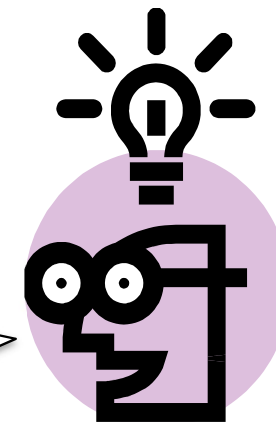
C. □□□□

D. ◇◇◇◇



さっぱり分からないよ(泣)

ならば、考えずにサイコロを
振って選びなさい



さいころ
の教え

A. ○○○○

B. △△△△

C. □□□□

D. ◇◇◇◇

A. ○○○○

~~B. △△△△~~

~~C. □□□□~~

D. ◇◇◇◇

50-50で2つ消してもらおう

A. ○○○○

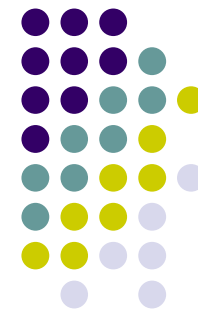
~~B. △△△△~~

~~C. □□□□~~

D. ◇◇◇◇

選択を変更して
ファイナルアンサー!
(当たる確率3/4)

Coffee Break!



答えづらい質問に答えて欲しいけど...

問: 思春期の男女90人に、恋人がいるかどうか調査したい

時間が無いので、「恋人はいるか」という質問に、『Yes』ならその場で手をあげてもらうことにしよう. 手を上げなかった人は『No』ということだよ

自分の答えが**みんなにばれてしまう**ので、
いないのに見栄を張って『YES』と答える人がいるかも...
いるのに、隠しておきたくて『NO』と答える人もいるよね...

正確な調査(正直な答え)を期待できるかな? どうしたらいい?

Coffee Break!



実現例：ランダム回答法

90人全員にサイコロを振って貰う。出た目は誰にも知らせないこと

- ◆ 1,2が出た人『恋人はいるよね?』に回答... 「いる=Yes」「いない=No」
- ◆ 3-6が出た人『恋人はいないよね?』に回答... 「いる=No」「いない=Yes」

Yesの人全員に手を上げて貰う(数えたら47人だった)。おわり

本人以外は、どちらの質問に答えているのかわからない
= プライバシーが保護される
= 正直な答えを期待できる(わざわざ嘘をつく理由がない)
そして、恋人がいる人数をある程度正確に推定できる!

集計後の計算: 真の値(恋人がいる人の数)を x 人とする。よって、いない人の数は $90-x$ 人

- 恋人がいる x 人のうち、上の質問に答える人は全体の $1/3$ いて、Yesと答える
- 恋人がいない $90-x$ 人のうち、下の質問に答える人は全体の $2/3$ いて、Yesと答える

Yesと答えたのは全部で47人だったから...

$$\frac{1}{3}\hat{x} + \frac{2}{3}(90 - \hat{x}) = 47 \quad \therefore \hat{x} = 39$$

もっと知りたい人へ

- 関連する授業

- 「統計の見方」(1/2セメ)
- 「統計の分析と利用」(2セメ)
- 「データ処理Ⅱ」(2・3セメ)
- 「データ分析」(3セメ)
- 「統計データの扱い方」(3/4セメ)
- 「多変量の統計データ解析」(4セメ)
- 「シミュレーションモデル分析A」(4セメ)
- 「シミュレーションモデル分析B」(5セメ)
- etc...