

情報理学入門

九州大学 大学院システム情報科学研究院
竹田正幸

情報理学は どんな学問か？

情報理学とは？

- Information Science
- 一般には「情報科学」と訳す.
- 「情報工学」(Information Engineering)に対比させて「情報理学」と訳すのが自然では？
 - 工学部: Faculty of Engineering
 - 理学部: Faculty of Science
- で、「情報理学」とはどういう学問か？

情報理学はどういう学問か？

- 物質と情報 = 世界を構成する二つの要素
- 物理学 = 物質の理(ことわり)についての学
- 情報理学 = 情報の理(ことわり)についての学

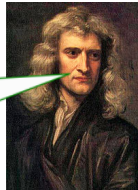
日本初・九大発の造語
(有川節夫九大前総長)



歴史の浅い学問は魅力的！

- 数学や物理学は、紀元前から存在！
 - 先人たちの研究の蓄積が体系化され教科書に.
 - 研究者は、その体系を消化吸収した上で、新しい研究を展開.
 - 最先端の研究に追いつくのが大変.

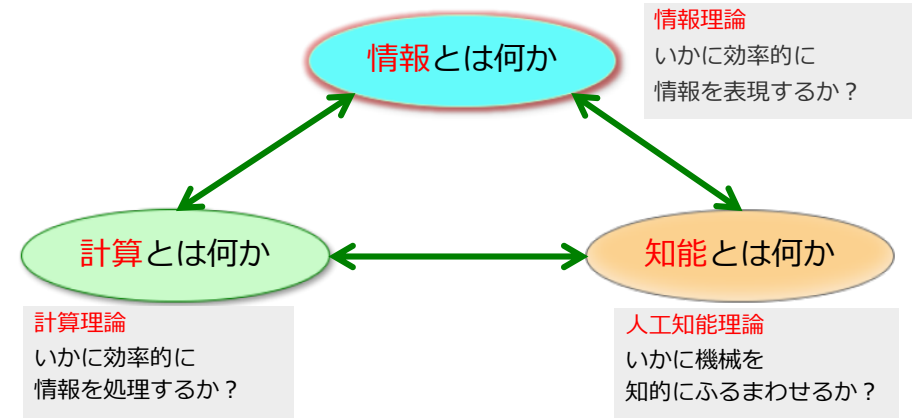
もし、私がより遠くを眺めることができたとしたら、それは巨人の肩に乗ったからです



Isaac Newton
(Wikipediaより)

- 情報を扱う学問は、20世紀に始まったばかり.
 - やるべきことがいっぱい残っており
大学院生でも世界最先端で活躍できる.
 - 「教科書を読むひと」から「教科書に載るひとへ」！

情報理学で研究すること

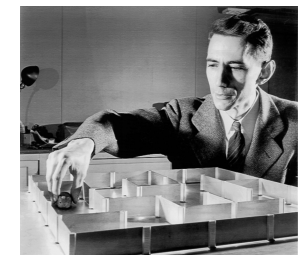


これらについて、理論と実用の両面から研究

情報理論

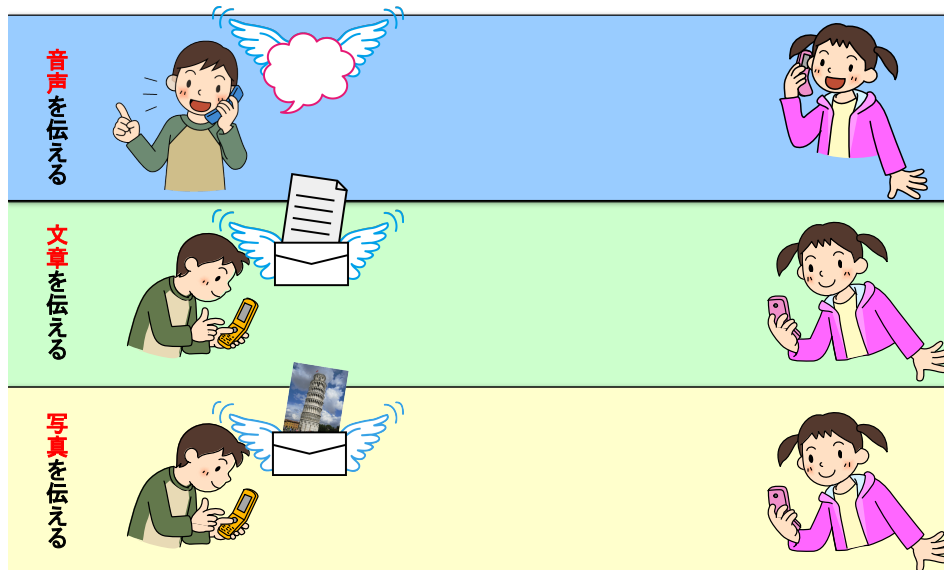
情報理論

- 創始者：
 - Claude E. Shannon (1916-2001)
 - 情報通信の基礎理論.
 - デジタル／アナログ変換の基礎理論.
 - デジタル回路設計の創始者(修士論文21才).
- 高度情報化社会を支える基盤技術.
 - 情報, 通信, 暗号, データ圧縮, 符号化.



Claude E. Shannon
(Wikipediaより)

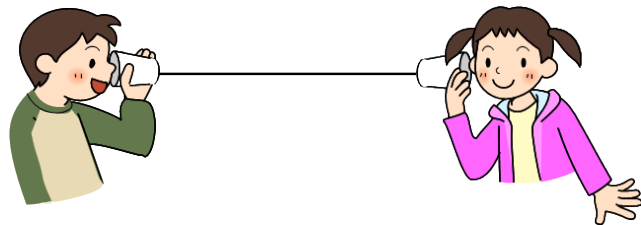
ケータイやPCでできること



ケータイやPCでできること

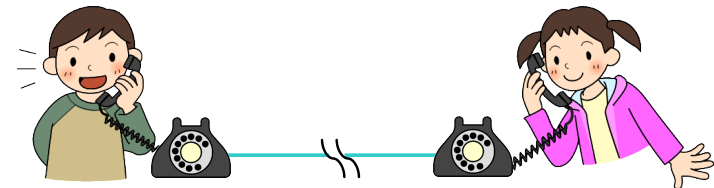


音声を伝える：糸電話



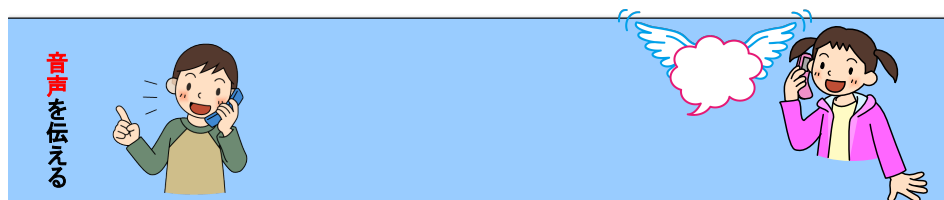
音(=空気の振動)を、糸の振動として伝える

音声を伝える：アナログ式電話



音(=空気の振動)を、アナログ電気信号として伝える

音声を伝える：デジタル式電話

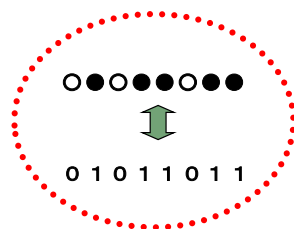


情報のデジタル表現



情報のデジタル表現

- 情報通信機器では、文字、絵や写真、音や声など様々な情報が、○と●の並びとして表される。
- 通常は0と1の並びと言われるが2種類の記号なら何でもよい。

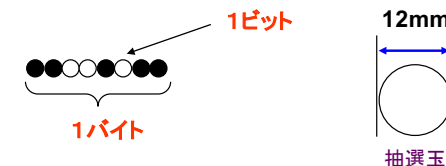


実際はどう表しているかというと

- ◇ 電気の強い・弱い
- ◇ 光の強い・弱い
- ◇ くぼみのある・なし
- ◇ 磁石の力の向き
- ...

データ量の単位

- データ量＝球の数
- 1ビット＝球1個
- 1バイト＝8ビット
- 1キロバイト＝1024バイト ↔ 約98m
- 1メガバイト＝1024キロバイト ↔ 約100km

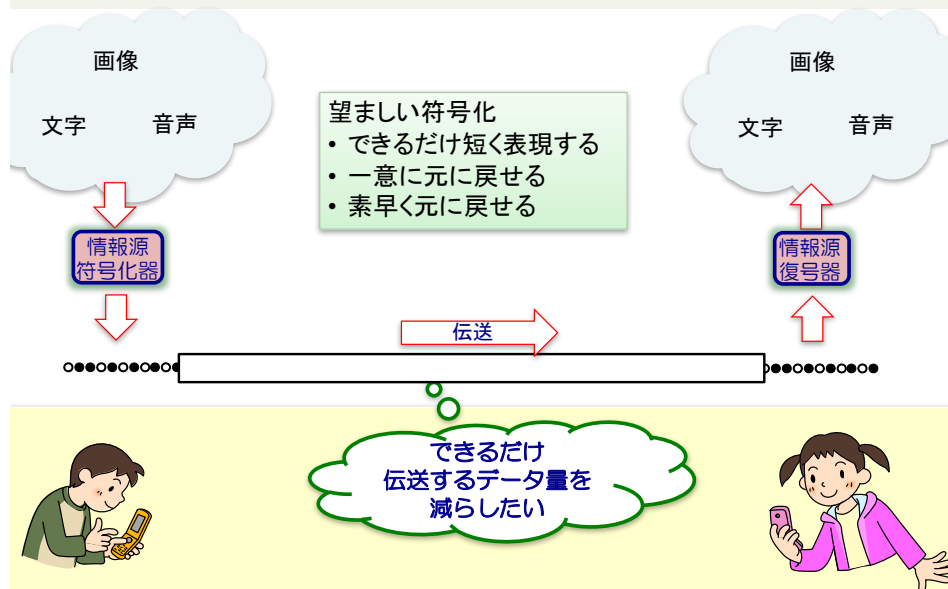


CD1枚(650メガバイト)

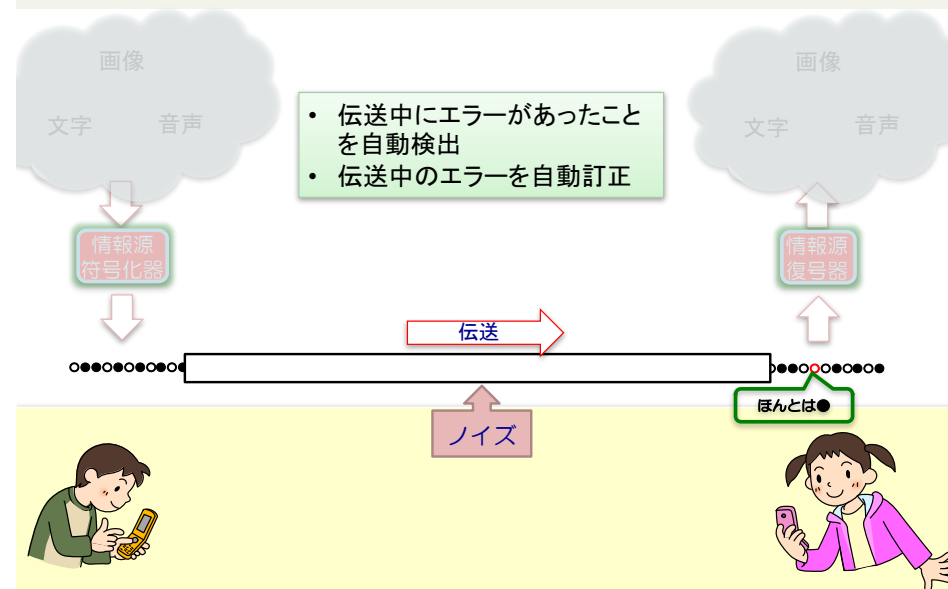


地球1周半(65000km)

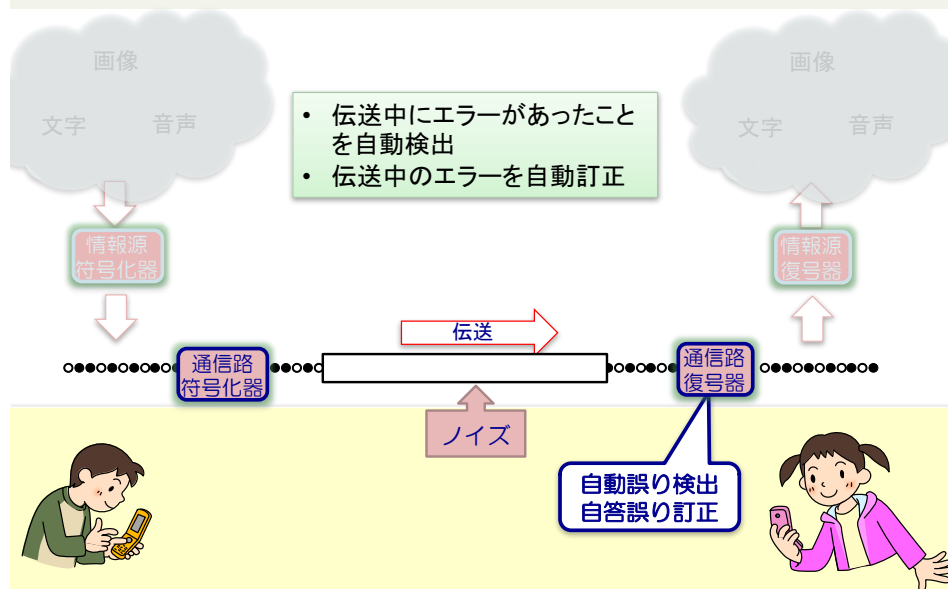
(I) 情報源符号化



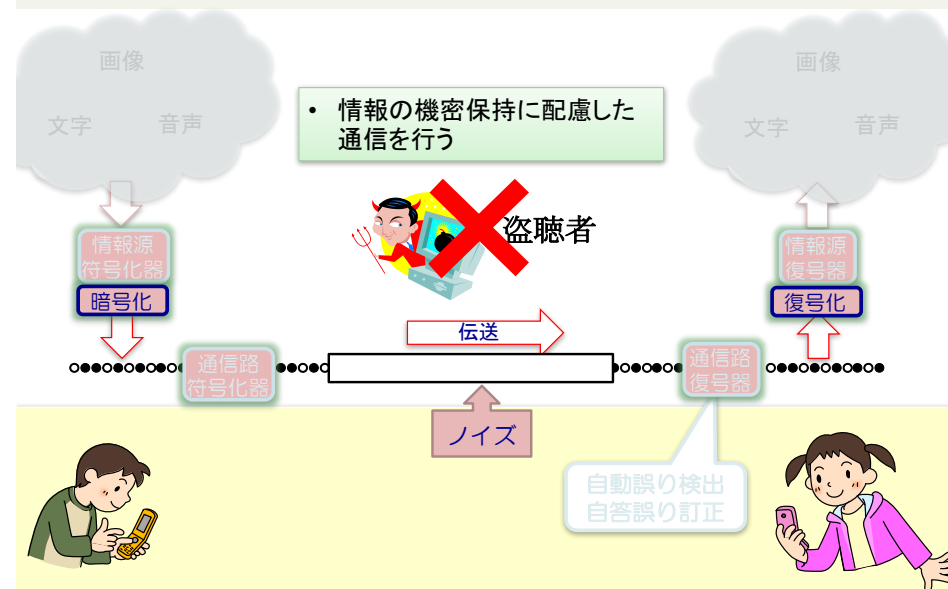
(II) 通信路符号化



(II) 通信路符号化



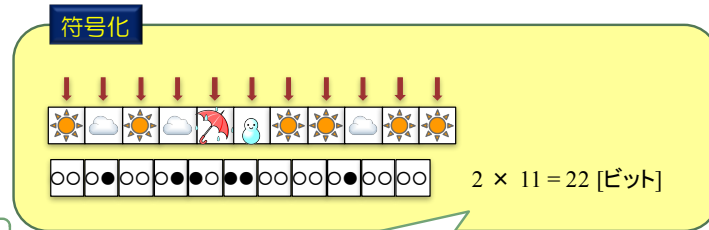
(III) 暗号化



例：符号C1

C1	符号語
	〇〇
	〇●
	●〇
	●●

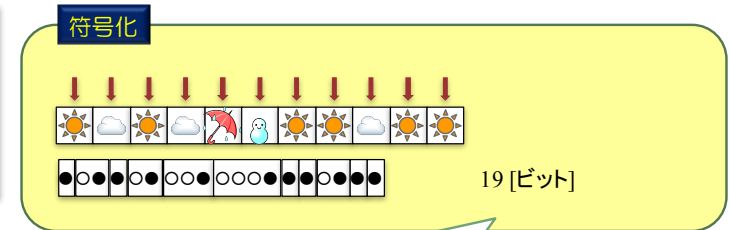
すべて同じ長さ



もっと短く表現できないか？

例：符号C2

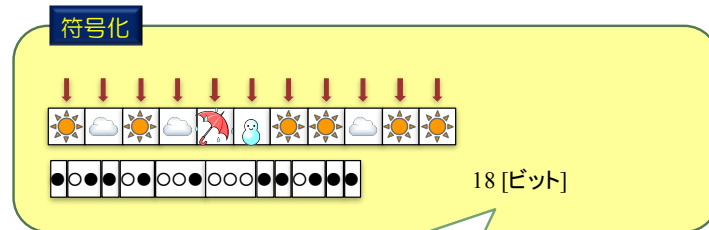
C2	符号語
	●
	○ ●
	○ ○ ●
	○ ○ ○ ●



22 [ビット]より短い

例：符号C3

C3	符号語
	●
	○ ●
	○ ○ ●
	○ ○ ○



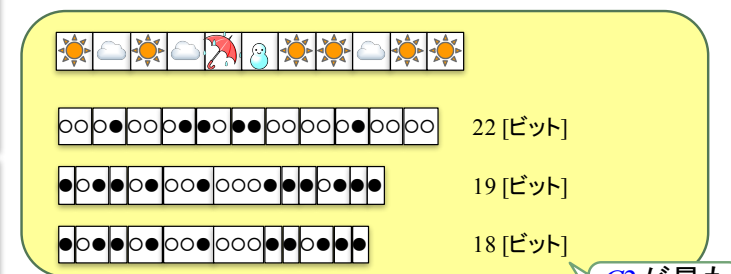
さらに短くなった！

符号化の長さの比較

C1	符号語
	○○
	○●
	●○
	●●

C2	符号語
	●
	○ ●
	○ ○ ●
	○ ○ ○ ●

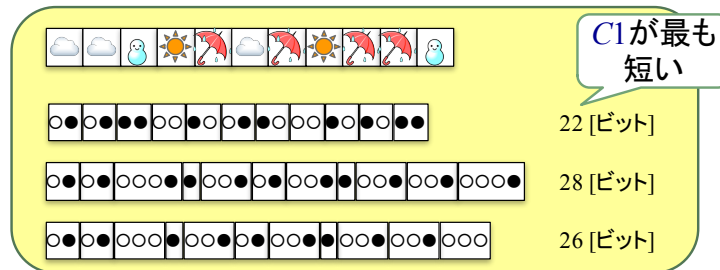
3	符号語
	
	
	
	



C3が最も短い

別の記号列では...

C1	符号語
	○○
	○●
	●○
	●●



C2	符号語
	●
	○ ●
	○ ○ ●
	○ ○ ○ ●

C3	符号語
	●
	○●
	○○●
	○○○○

記号の生起確率を考慮する必要がある

情報源符号化の目的

記号の確率分布に応じて
できるだけ平均符号語長の短い符号を設計すること。

ただし、次の2つの条件を満たすことが前提.

- 一意に元に戻せること (一意複号可能性).
- 素早く元に戻せること (瞬時復号可能性).

平均符号語長

情報源S	記号	確率
		0.70
		0.15
		0.10
		0.05

平均符号語長を短くするには、
現れやすい記号→短い符号語
現れにくい記号→長い符号語
と割り当てればよい。

C1

符号語	符号語長	
 ○○	2 × 0.70 = 1.40	} 2.00 [ビット]
 ○●	2 × 0.15 = 0.30	
 ●○	2 × 0.10 = 0.20	
 ●●	2 × 0.05 = 0.10	

C2	符号語	符号語長	1.50 [ビット]
		1 × 0.70 = 0.70	
		2 × 0.15 = 0.30	
		3 × 0.10 = 0.30	
		4 × 0.05 = 0.20	

	符号語	符号語長	
C3		●	1 × 0.70 = 0.70
		○●	2 × 0.15 = 0.30
		○○●	3 × 0.10 = 0.30
		○○○	3 × 0.05 = 0.15
			1.45 [ビット]

平均符号語長の限界？

- 情報源 S に対して、符号 C を変えると
その平均符号語長も変わる。
- 平均符号語長は、どこまで小さくできるの
だろうか？

エントロピー

【定義】

情報源 $S =$

記号	確率
a_1	p_1
a_2	p_2
...	...
a_M	p_M

に対し, S のエントロピー $H(S)$ を

次で定める.

$$H(S) = p_1 (-\log_2 p_1) + \dots + p_m (-\log_2 p_m)$$

エントロピー (続き)

例

情報源 S	確率	
	0.70	$0.70 (-\log_2 0.70) = 0.3602$
	0.15	$0.15 (-\log_2 0.15) = 0.4105$
	0.10	$0.10 (-\log_2 0.10) = 0.3322$
	0.05	$0.05 (-\log_2 0.05) = 0.2161$
	$H(S)$	$= 1.3190$

平均符号語長とエントロピー

【定理】 S を任意の情報源とする. S に対する任意の一意復号可能符号 C の平均符号語長 $L(C)$ は次の不等式を満たす.

$$H(S) \leq L(C)$$

記号	確率	記号	符号語
a_1	p_1	a_1	$C(a_1)$
a_2	p_2	a_2	$C(a_2)$
...	...	...	...
a_M	p_M	a_M	$C(a_M)$

つまり, エントロピーは平均符号語長の下限である!

平均符号語長とエントロピー (続き)

例

S	確率	$C1$	符号語	$C2$	符号語	$C3$	符号語
	0.70		〇〇		●		●
	0.15		〇●		〇●		〇●
	0.10		●〇		〇〇●		〇〇●
	0.05		●●		〇〇〇●		〇〇〇
$H(S)=1.3190$		$L(C1)=2.0000$		$L(C2)=1.5000$		$L(C3)=1.4500$	
		VI		VI		VI	
$H(S)=1.3190$		$H(S)=1.3190$		$H(S)=1.3190$		$H(S)=1.3190$	

計算理論

計算理論

計算 = コンピュータでの処理全般
(電卓の計算とは違う)

■ 創始者:

- Alan M. Turing (1912-1954)
- 現在のコンピュータの原型となるTuring機械を提唱.
- アルゴリズムの概念を明確化.



Alan M. Turing
(Wikipediaより)

■ アルゴリズム

- コンピュータによる処理(計算)手順.
- 料理のレシピみたいなもの.

■ アルゴリズムの研究

- 効率的な処理手順を
考えること.

鶏のから揚げの作り方

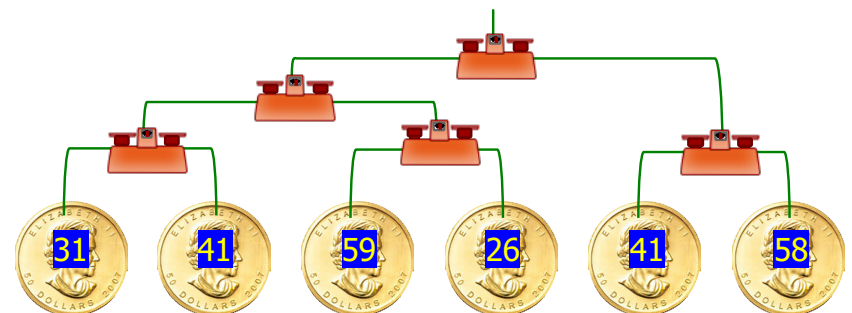
1. 鶏モモ肉を切る
2. しょうゆ, みりん,
塩こしょうで
下味をつける
3. から揚げ粉をまんべんなく付ける
4. 180℃の油で揚げる



最大値問題を解く

最大値問題

- 重さがバラバラの金貨が6枚ある. 天秤を使って
一番重い金貨を見つけるアルゴリズムを作れ.
- 勝ち抜き戦をやればOK.



並べ替え問題

n 枚の金貨を、軽い方から順に並べ替えよ.

before



after



並べ替え問題

n 枚の金貨を、軽い方から順に並べ替えよ.

before



after



並べ替え問題

定義 (並べ替え問題).

入力 : 実数の列 $\langle a_1, a_2, \dots, a_n \rangle$.

出力 : 入力を並べ替えて得られる単調増加列 $\langle b_1, b_2, \dots, b_n \rangle$.

並べ替えアルゴリズム

- 最大値を求める問題を繰り返し解けばよい.



並べ替え問題を解く

定義 (並べ替え問題).

入力 : 実数の列 $\langle a_1, a_2, \dots, a_n \rangle$.

出力 : 入力を並べ替えて得られる単調増加列 $\langle b_1, b_2, \dots, b_n \rangle$.

単純な方法

定理. 選択ソートの実行時間は $c_1 n^2$ 以下である ($c_1 > 0$ は定数).

うまい方法

定理. ヒープソートの実行時間は $c_2 n \log_2 n$ 以下である ($c_2 > 0$ は定数).

定数 c_1, c_2 は使用するコンピュータの性能に依存

効率化の限界

定義 (並べ替え問題).

入力 : 実数の列 $\langle a_1, a_2, \dots, a_n \rangle$.

出力 : 入力を並べ替えて得られる単調増加列 $\langle b_1, b_2, \dots, b_n \rangle$.

うまい方法

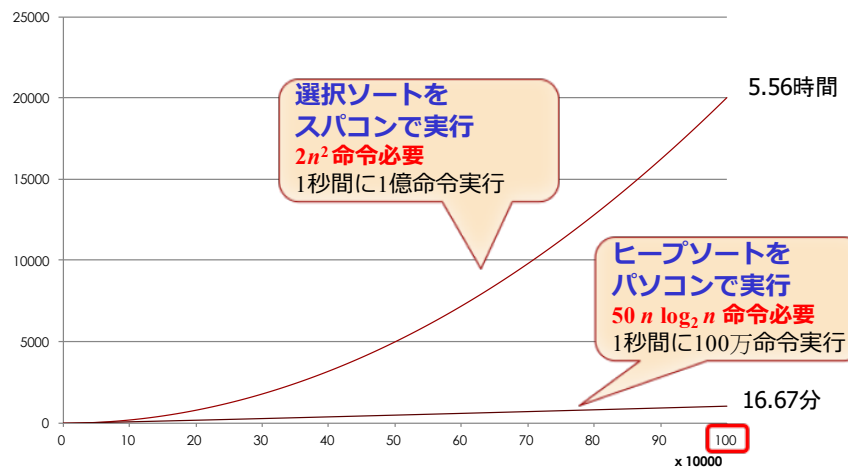
定理. ヒープソートの実行時間は $c_2 n \log_2 n$ 以下である ($c_2 > 0$ は定数).

Q. もっと効率の良いアルゴリズムは作れないのか？

A. 作れない！

定理. (値の比較に基づいた) 任意の並べ替えアルゴリズムの実行時間は $c_3 n \log_2 n$ 以上である ($c_3 > 0$ は定数).

アルゴリズムを工夫する意義



アルゴリズムを工夫する意義

- Youtube
「フカシギの数え方」
おねえさんといっしょ！みんなで数えてみよう！
(2012/09/10公開)
- 「Graphillion: 数え上げおねえさんを救え」

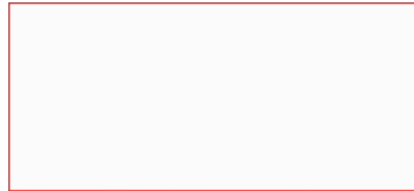
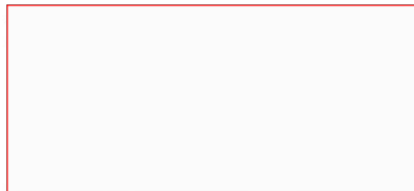
人工知能理論

人工知能理論

- 創始者:
Marvin Minsky (1927-)
John McCarthy (1927-2011)
Terry Allen Winograd (1946-)
- 人間の行なう知的な活動の原理を究明.
 - 画像認識／文字認識／音声認識
 - 自然言語理解
 - 探索
 - 推論
 - 学習／発見
- コンピュータを知的に振る舞わせるために必要な技術を開発.

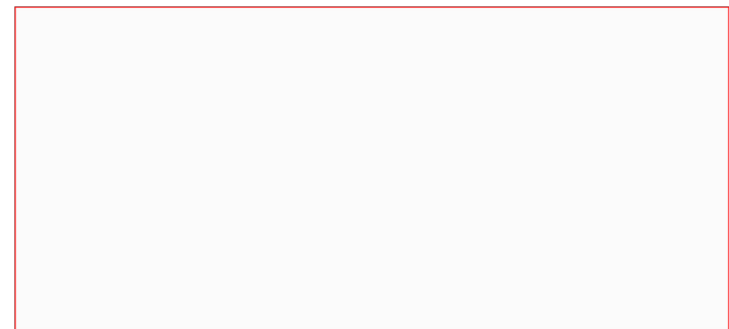
こんなことがほんとにできるの？

- はなして翻訳 (NTTドコモ)



こんなことがほんとにできるの？

- うつして翻訳 (NTTドコモ)



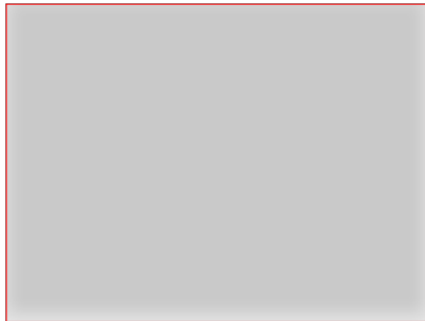
考えるコンピュータ？

- コンピュータの**擬人化**は誤解を招く
 - **人間的**にふるまって見えても、人間の作成したプログラムどおりに動作する**機械**にすぎない。
- **計算する機械**，すなわち，**計算機**(computer)。
- コンピュータ上のすべての情報は，記号列（バイト列）として表現されている。
- 計算とは，単なる**記号列の書き換え**にすぎない。
 - Turing機械

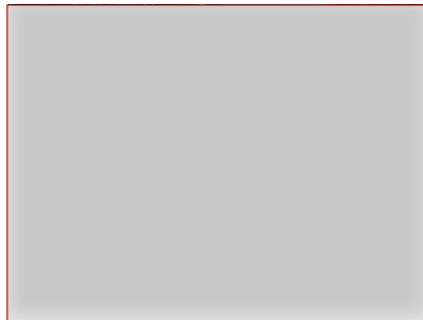
人工知能研究

- 人間の「知的活動」を解析して数学的に定式化し，それを計算機に実行させる。
 - 計算機プログラムであるから，しょせん，定型的処理。
 - **チェスの世界チャンピオンに勝った**と言っても，膨大な量の「しらみつぶし」を瞬時に行っているだけ。
- 数学的に明確に定式化できる問題に限定される。
 - **顔**とは？ （デジカメの顔検出・顔認識）
 - **笑顔**とは？ （デジカメのスマイルシャッター）

SONY スマイルシャッター



スマイルシャッターモードで撮る人物の**顔**を認識させる。



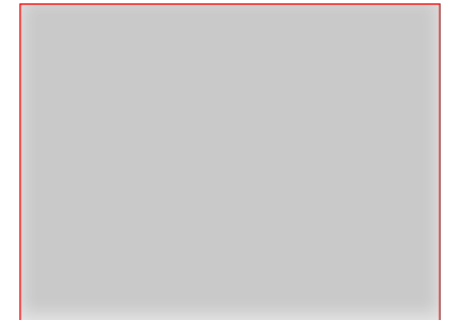
笑顔を作るとシャッターが切れる。

顔とは？ **笑顔**とは？

笑顔＝口を開けて歯が見え、目が細まった顔

口とは？ **口が開く**とは？ **歯**とは？ **目**とは？ **目が細まる**とは？

SONY スマイルシャッター



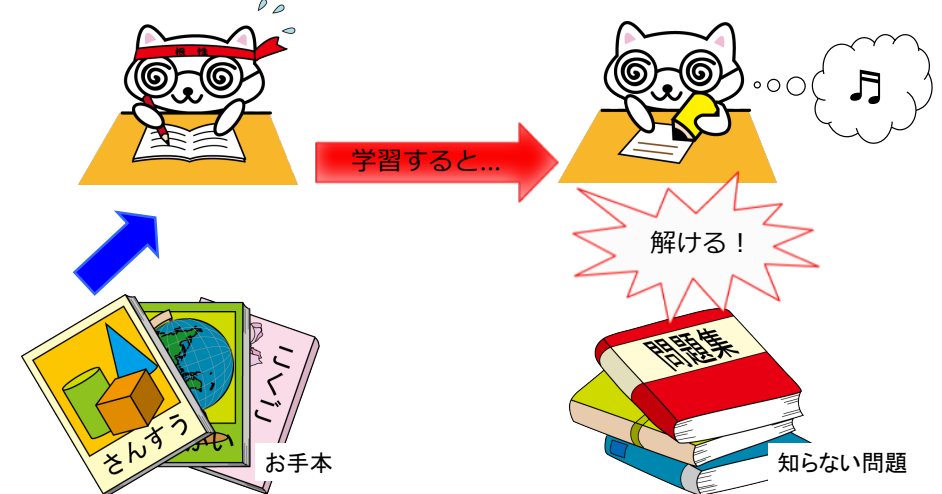
笑顔認識のターゲットを特定すると....

人工知能研究

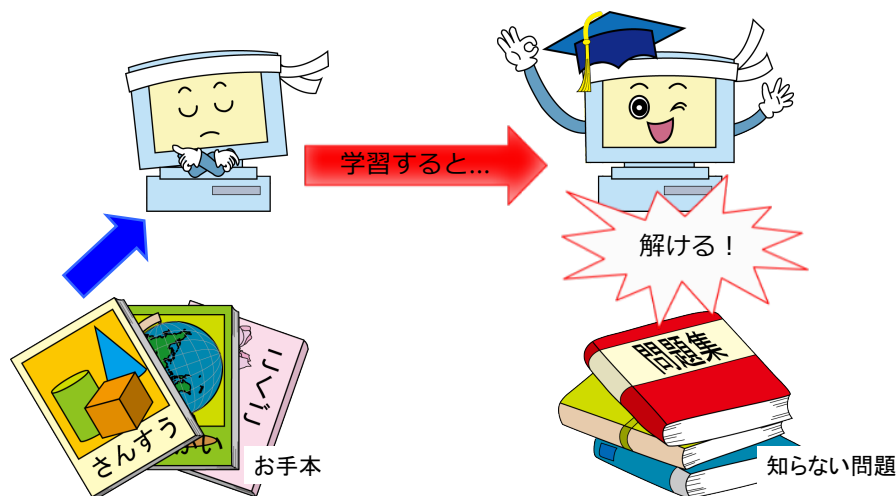
- 人間の「知的活動」を解析して数学的に定式化し、それを計算機に実行させる。
 - 計算機プログラムであるから、しょせん、定型的処理。
 - チェスの世界チャンピオンに勝ったと言っても、膨大な量の「しらみつぶし」を瞬時に行っているだけ。
- 数学的に明確に定式化できる問題に限定される。
 - 顔とは？ （デジカメの顔検出・顔認識）
 - 笑顔とは？ （デジカメのスマイルシャッター）
 - 現実世界の近似にすぎないが、近似がうまくいけば、役に立つ。

学習とは？

- 学んで知識を理解したり記憶したりすること (Wikipedia)

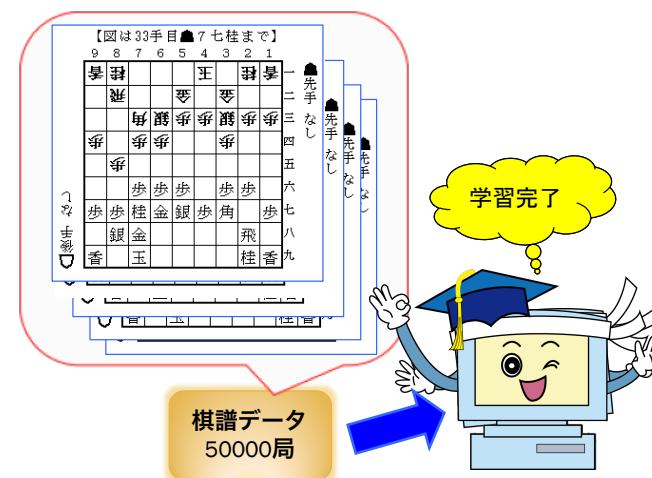


機械学習とは？



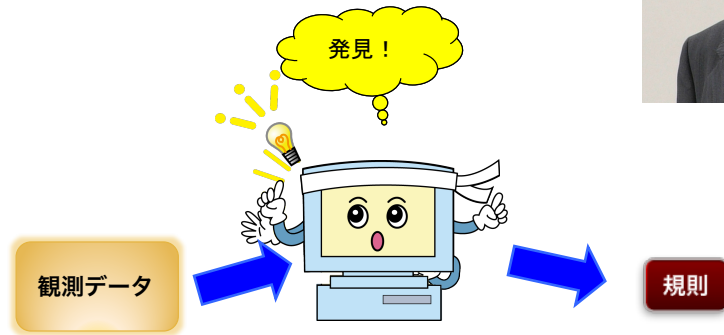
機械学習：具体例

- 専門家の行動に関する実データを与える



機械発見とは？

- 発見科学
 - 九大発・世界初の研究分野 by 有川教授(前総長)
 - 発見を科学する。
- 人間の行う発見をコンピュータで支援する。



計算機は役に立つ道具であればよい

- スターウォーズのロボット
 - C-3POとR2-D2
 - 実際に戦いの役に立ったのはどっち？

計算機は役に立つ道具であればよい

- スターウォーズのロボット
 - C-3POとR2-D2
 - 実際に戦いの役に立ったのはどっち？
- 桃太郎の家来
 - 犬(仁), 猿(智), 雉(勇)
 - 猿の智による貢献は？

計算機は役に立つ道具であればよい

- スターウォーズのロボット
 - C-3POとR2-D2
 - 実際に戦いの役に立ったのはどっち？
- 桃太郎の家来
 - 犬(仁), 猿(智), 雉(勇)
 - 猿の智による貢献は？
- 中途半端に賢い猿より,
忠実な犬を！