

# 人工知能入門

## 第2回

---

藤田 悟

黄 潤和

# 前回の復習：人工知能の様々な定義

- ◆ 人間の知性を理解し、再現する
  - ◆ 認知科学的な考え方
- ◆ 難しい問題を解く
  - ◆ 人間の知性とは別のモノ
- ◆ 知的に動作し、学習する
  - ◆ 教えていないことを行動できるもの

# 前回の復習：人工知能の歴史

- ◆ 1950年: チューリングテスト by Turing
  - ◆ キーボードの先は、人間か？機械か？
- ◆ 1956年: ダートマス会議
  - ◆ 人工知能という言葉の名づける
- ◆ 1966年: ELIZA by Weisenbaum
  - ◆ 患者との会話
- ◆ 1970年: SHRDLU by Winograd
  - ◆ 積み木の世界
- ◆ 1976年: Newell & Simon
  - ◆ 記号システム

# 今回学ぶこと

- ◆ 知識表現
  - ◆ 知識表現の考え方
  - ◆ 知識の種類
- ◆ 知識の論理式表現
  - ◆ 論理式による簡単な知識表現と推論

# 知識表現

# 「考える」ために必要なものは？

- ◆ 考えるという行動は、以下の行動を含む
  - ◆ 知識を使う
  - ◆ 言語を使う
  - ◆ 意思決定をする
  - ◆ 物事を認識する
  - ◆ 状況を理解する
  - ◆ 戦略を計画する

知識を表現し、蓄積し、操作する必要がある

# ニワトリは空を飛べるか？

- ◆ 「ニワトリは空を飛べるか？」を考えるための知識には、どのようなものがあるか。
  - ◆ ニワトリは鳥である
  - ◆ ニワトリは動物である
  - ◆ ニワトリは羽がある
  - ◆ ニワトリは卵を産む
  - ◆ 鳥は羽がある
  - ◆ 鳥は空を飛ぶ
  - ◆ ダチョウは鳥である
  - ◆ ダチョウは空を飛ばない
  - ◆ あのニワトリの名前は、「コッコちゃん」である
  - ◆ 名古屋コーチンというニワトリがいる

# 知識を整理する

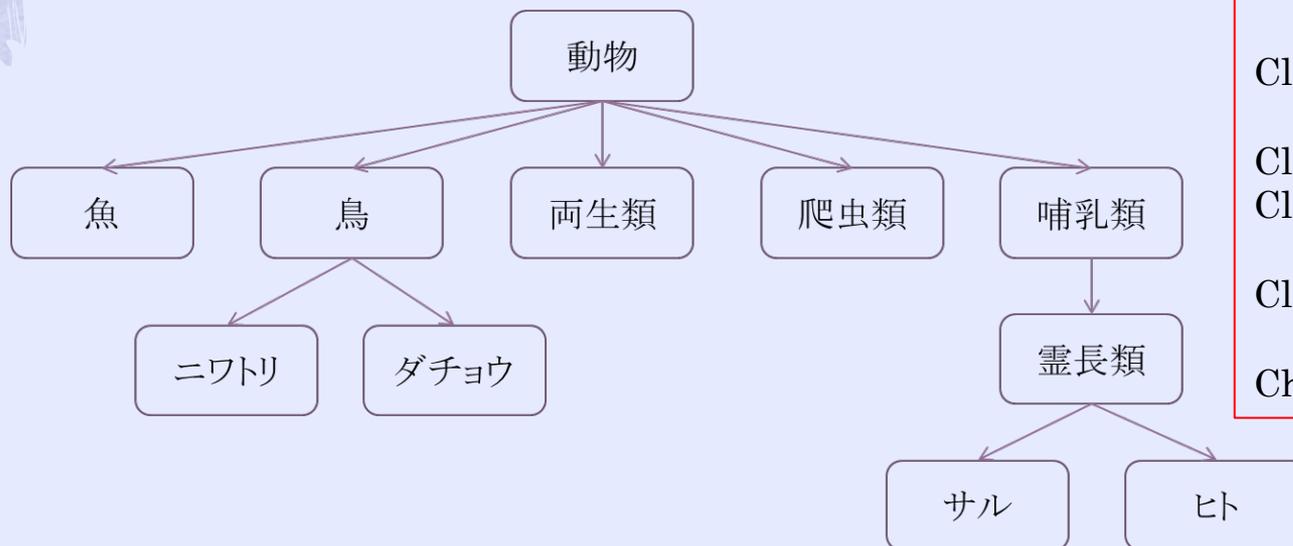
- ◆ 前ページの知識を整理する
  - ◆ **is-a 型**: 上位概念と下位概念を結ぶ
    - ◆ ニワトリは鳥である
    - ◆ ニワトリは動物である
    - ◆ 名古屋コーチンというニワトリがいる
  - ◆ **has-a 型**: 属性・部分として保有する
    - ◆ ニワトリは羽がある
  - ◆ 性質を述べる
    - ◆ 鳥は空を飛ぶ
  - ◆ 特定知識
    - ◆ あのニワトリの名前は「ココちゃん」である

# 一般知識と特定知識

- ◆ 一般知識とは、常識として知っている汎用な知識
  - ◆ ニワトリは鳥である
- ◆ 特定知識とは、ある特定分野に特化した特殊な知識
  - ◆ 鶏卵の最大の生産地は茨城県である
  - ◆ とは言え、どこまでが常識でどこから特定知識という明確な境界があるわけではない
  - ◆ 人間は常識と想着いても、機械は常識を知らないの  
で、知識を集める時に、常識は見落とされがちである

# is-a 型: 階層的な知識

- ◆ 生物の分類のような上下の階層関係を表すための知識
  - ◆ “原則的に” 上位の性質は下位に継承する



In Java

```
Class Animal {}
```

```
Class Fish extends Animal {}
```

```
Class Bird extends Animal {}
```

```
Class Chicken extends Bird {}
```

```
Chicken c1 = new Chicken("coco");
```

# has-a 型: 所有の知識

- ◆ has-a 型は、is-a 型と違って、性質が上位に継承されない場合があるので注意
  - ◆ パソコンは電源がある
    - ◆ 電源は重い
    - ◆ よって、パソコンは重い
  - ◆ パソコンはCPUがある
    - ◆ CPUはインテル製である
    - ◆ よって、パソコンはインテル製である ???

In Java

```
Class Computer
```

```
{
```

```
    Battery b;
```

```
    CPU c;
```

```
    Memory m;
```

```
    b = new Battery(1000);
```

```
    c = new CPU "Intel";
```

```
    .....
```

```
}
```

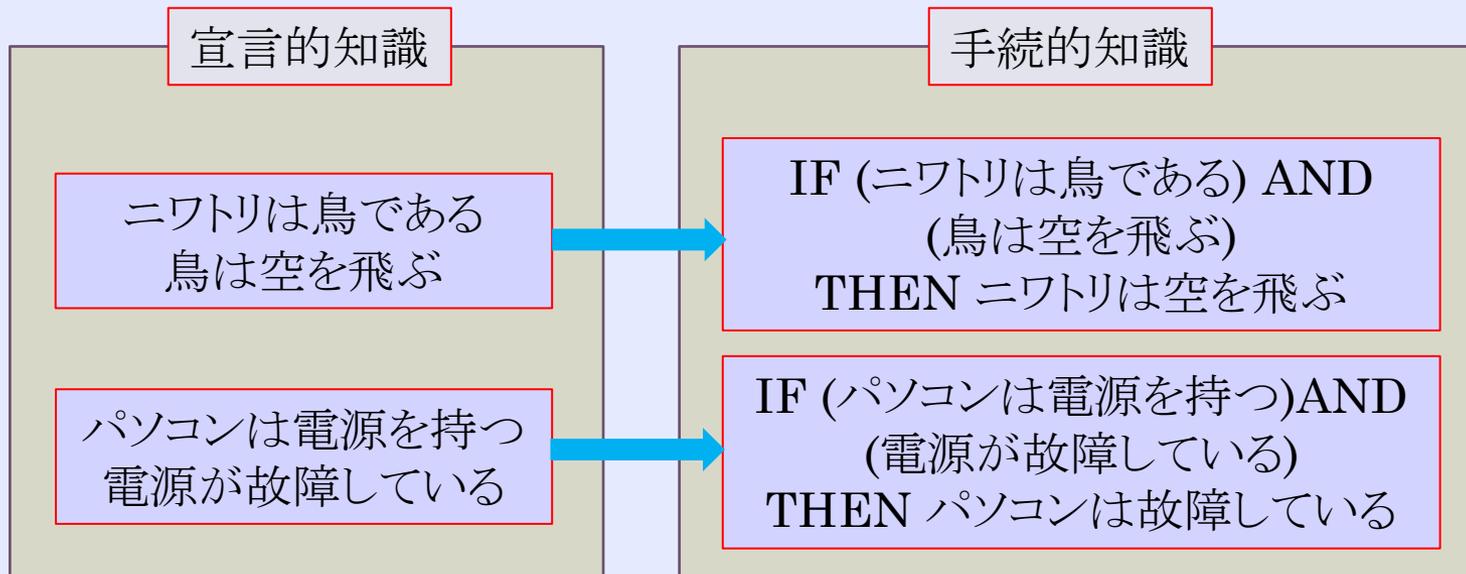


# (演習 1) パソコンは故障しているか？

- ◆ 「パソコンは故障しているか？」を考えるために必要な知識を列挙せよ
  - ◆ is-a 型
  - ◆ has-a 型
  - ◆ 性質

# 問題解決に不足する知識

- ◆ 「パソコンは故障しているか」、「ニワトリは飛べるか？」を判断するためには、状況を示す知識だけではなく、知識を操作する知識が必要
  - ◆ 宣言的知識と手続的知識 (第4回講義)



# 命題論理による知識表現

# 知識の論理式表現

- ◆ 知識を自然言語で記述すると、曖昧性が残る
- ◆ そこで、知識を論理式(命題論理)の体系として表現する
  - ◆ P: ニワトリは鳥である
  - ◆ Q: 鳥は空を飛ぶ
  - ◆ R: ニワトリは空を飛ぶ
  - ◆  $P \wedge Q$ : ニワトリは鳥であるかつ 鳥は空を飛ぶ
  - ◆  $P \vee Q$ : ニワトリは鳥である または 鳥は空を飛ぶ
  - ◆  $\neg P$ : ニワトリは鳥でない
  - ◆  $P \wedge Q \Rightarrow R$ 
    - ◆ ニワトリは鳥であるかつ 鳥は空を飛ぶ ならば、ニワトリは空を飛ぶ

# 離散構造1の復習: 真理値表

- ◆ P, Q の真理値に対する論理演算の真理値を確認しよう

P	Q	$\neg P$	$\neg Q$	$P \wedge Q$	$P \vee Q$	$P \Rightarrow Q$	$\neg P \vee Q$
T	T	F	F	T	T	T	T
T	F	F	T	F	T	F	F
F	T	T	F	F	T	T	T
F	F	T	T	F	F	T	T

T: True, F: False

# Propositional logic: Syntax 構文論

- 命題論理の記号は全体の命題(事実)を表し、論理定数trueかfalseの値を取る

- 論理結合子:

$\neg$  (否定),  $\wedge$  (論理積),  $\vee$  (論理和),  $\Rightarrow$  (含意),  $\Leftrightarrow$  (等値文)

$S$  が命題なら  $\neg S$  も命題

$S_1$  と  $S_2$  が命題なら,  $S_1 \wedge S_2$  も命題

$S_1$  と  $S_2$  が命題なら,  $S_1 \vee S_2$  も命題

$S_1$  と  $S_2$  が命題なら,  $S_1 \Rightarrow S_2$  も命題

$S_1$  と  $S_2$  が命題なら,  $S_1 \Leftrightarrow S_2$  も命題

- 命題論理の優先順位は以下ようになる

$\neg, \wedge, \vee, \Rightarrow, \Leftrightarrow$  (高 $\rightarrow$ 低)

# Propositional logic: Semantics 意味論

否定:  $\neg S$  is true  $\rightarrow$   $S$  is false

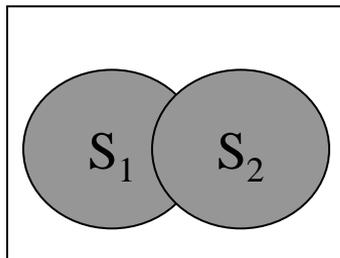
連言:  $S_1 \wedge S_2$  is true  $\rightarrow$   $S_1$  is true **and**  $S_2$  is true

選言:  $S_1 \vee S_2$  is true  $\rightarrow$   $S_1$  is true **or**  $S_2$  is true

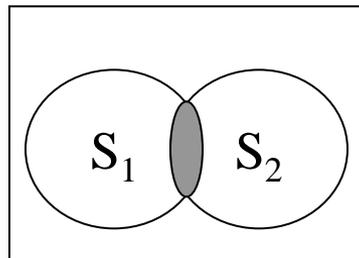
含意:  $S_1 \Rightarrow S_2$  is true  $\rightarrow$   $S_1$  is false **or**  $S_2$  is true  
i.e., is false  $S_1$  is true **and**  $S_2$  is false

$S_1$  is true,  
then  $S_2$  is true.  
 $S_1$  is false,  
then  $S_2$  is either true or false

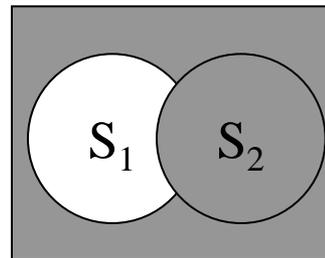
等値文:  $S_1 \Leftrightarrow S_2$  is true  $\rightarrow$   $S_1 \Rightarrow S_2$  is true **and**  $S_2 \Rightarrow S_1$  is true



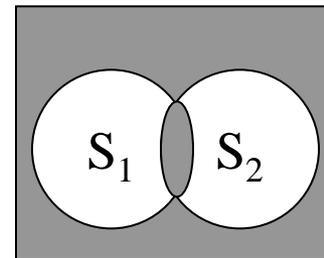
$S_1 \vee S_2$



$S_1 \wedge S_2$



$S_1 \Rightarrow S_2$



$S_1 \Leftrightarrow S_2$

上の図で: 灰色部分はtrue, 白の部分はfalseを意味する

# 論理式の性質

性質	論理式の恒等式
二重否定	$\neg(\neg P) = P$
交換則	$P \wedge Q = Q \wedge P$ $P \vee Q = Q \vee P$
結合則	$(P \wedge Q) \wedge R = P \wedge (Q \wedge R)$ $(P \vee Q) \vee R = P \vee (Q \vee R)$
分配則	$P \wedge (Q \vee R) = (P \wedge Q) \vee (P \wedge R)$ $P \vee (Q \wedge R) = (P \vee Q) \wedge (P \vee R)$
ド・モルガンの法則	$\neg(P \wedge Q) = (\neg P) \vee (\neg Q)$ $\neg(P \vee Q) = (\neg P) \wedge (\neg Q)$

# 命題論理を用いた推論

1.  $P$ : ニワトリは鳥である
  2.  $Q$ : ニワトリは空を飛ぶ
  3.  $P \Rightarrow Q$ : ニワトリが鳥であるならば、ニワトリは空を飛ぶ
- ◆ ここで、1と3が真であることが知識として与えられているならば、 $Q$ は真になる。

$P$	$Q$	$\neg P$	$\neg Q$	$P \wedge Q$	$P \vee Q$	$P \Rightarrow Q$	$\neg P \vee Q$
T	T	F	F	T	T	T	T
T	F	F	T	F	T	F	F
F	T	T	F	F	T	T	T
F	F	T	T	F	F	T	T

# 命題論理を用いた推論

1.  $P$ : ニワトリは鳥である
  2.  $Q$ : ニワトリは空を飛ぶ
  3.  $P \Rightarrow Q$ : ニワトリが鳥であるならば、ニワトリは空を飛ぶ
- ◆ ここで、1と3が真であることが知識として与えられているならば、 $Q$ は真になる。

$P$	$Q$	$\neg P$	$\neg Q$	$P \wedge Q$	$P \vee Q$	$P \Rightarrow Q$	$\neg P \vee Q$
T	T	F	F	T	T	T	T
T	F	F	T	F	T	F	F
F	T	T	F	F	T	T	T
F	F	T	T	F	F	T	T

# 命題論理を用いた推論

1.  $P$ : ニワトリは鳥である
  2.  $Q$ : ニワトリは空を飛ぶ
  3.  $P \Rightarrow Q$ : ニワトリが鳥であるならば、ニワトリは空を飛ぶ
- ◆ ここで、1と3が真であることが知識として与えられているならば、 $Q$ は真になる。

$P$	$Q$	$\neg P$	$\neg Q$	$P \wedge Q$	$P \vee Q$	$P \Rightarrow Q$	$\neg P \vee Q$
T	T	F	F	T	T	T	T
T	F	F	T	F	T	F	F
F	T	T	F	F	T	T	T
F	F	T	T	F	F	T	T

$P \Rightarrow Q$ が真

# 命題論理を用いた推論

1.  $P$ : ニワトリは鳥である
  2.  $Q$ : ニワトリは空を飛ぶ
  3.  $P \Rightarrow Q$ : ニワトリが鳥であるならば、ニワトリは空を飛ぶ
- ◆ ここで、1と3が真であることが知識として与えられているならば、 $Q$ は真になる。

$P$	$Q$	$\neg P$	$\neg Q$	$P \wedge Q$	$P \vee Q$	$P \Rightarrow Q$	$\neg P \vee Q$
T	T	F	F	T	T	T	T
T	F	F	T	F	T	F	F
F	T	T	F	F	T	T	T
F	F	T	T	F	F	T	T

## 妥当性と推論

$\alpha = A \vee B$  ,  $KB = (A \vee C) \wedge (B \vee \neg C)$  とすると

Is it the case that  $KB \vdash \alpha$ ?  $\alpha$ はKBの論理的帰結

全ての取りうる状態を調べるとKBがtrueなら $\alpha$ は必ずtrue

A	B	C	$A \vee C$	$B \vee \neg C$	KB	$\alpha$
False	False	False	False	True	False	False
False	False	True	True	False	False	False
False	True	False	False	True	False	True
False	True	True	True	True	True	True
True	False	False	True	True	True	True
True	False	True	True	False	False	True
True	True	False	True	True	True	True
True	True	True	True	True	True	True

KB  $\vdash$   $\alpha$  TRUE

# 命題論理を用いた推論

1. P: ニワトリは鳥である
  2. Q: 鳥は空を飛ぶ
  3. R: ニワトリは空を飛ぶ
  4.  $P \wedge Q \Rightarrow R$ : ニワトリが鳥であり、かつ、鳥が空を飛ぶならば、ニワトリは空を飛ぶ
- ◆ ここで、1と2と4が真であることが知識として与えられているならば、Rは真になる。

P	Q	R	$P \wedge Q$	$P \wedge Q \Rightarrow R$
T	T	T	T	T
T	T	F	T	F
T	F	T	F	T
T	F	F	F	T
F	T	T	F	T
F	T	F	F	T
F	F	T	F	T
F	F	F	F	T

# (演習2) 命題論理を用いた推論

1.  $P$ : ニワトリは鳥である
  2.  $Q$ : ニワトリは空を飛ぶ
  3.  $P \Rightarrow Q$ : ニワトリが鳥であるならば、ニワトリは空を飛ぶ
- ◆ ここで、2と3が真であることが知識として与えられている時に、 $P$ について推論せよ。

$P$	$Q$	$\neg P$	$\neg Q$	$P \wedge Q$	$P \vee Q$	$P \Rightarrow Q$	$\neg P \vee Q$
T	T	F	F	T	T	T	T
T	F	F	T	F	T	F	F
F	T	T	F	F	T	T	T
F	F	T	T	F	F	T	T

# (演習3) 命題論理を用いた推論

1. P: ニワトリは鳥である
  2. Q: 鳥は空を飛ぶ
  3. R: ニワトリは空を飛ぶ
  4.  $P \wedge Q \Rightarrow R$ : ニワトリが鳥であり、かつ、鳥が空を飛ぶならば、ニワトリは空を飛ぶ
- ◆ ここで、1と3と4が真であることが知識として与えられた時、Qについて推論せよ。

P	Q	R	$P \wedge Q$	$P \wedge Q \Rightarrow R$
T	T	T	T	T
T	T	F	T	F
T	F	T	F	T
T	F	F	F	T
F	T	T	F	T
F	T	F	F	T
F	F	T	F	T
F	F	F	F	T

## 例：真偽値の計算

$$p = T, q = F, r = T$$

のとき

$$(p \wedge q) \rightarrow r$$

$$= (T \wedge F) \rightarrow T$$

$$= F \rightarrow T$$

$$= T$$

$$p = T, q = T, r = F$$

のとき

$$(p \wedge q) \rightarrow r$$

$$= (T \wedge T) \rightarrow F$$

$$= T \rightarrow F$$

$$= F$$

# 演習4: 真偽値の計算

$p = F, q = F, r = T$ のとき

$$(p \wedge q) \rightarrow r$$

$p = F, q = F, r = F$ のとき

$$(p \vee q) \rightarrow r$$



# 課題：真偽値の計算

$p = T, q = F, r = T$ のとき

$(p \wedge q) \rightarrow r$

$F \rightarrow T$

$=T$

$p = T, q = F, r = F$ のとき

$(p \vee q) \rightarrow r$

$T \rightarrow F$

$=F$

$p = F, q = F, r = T$ のとき

$(p \wedge q) \rightarrow r$

$F \rightarrow T$

$=T$

$p = F, q = F, r = F$ のとき

$(p \vee q) \rightarrow r$

$F \rightarrow F$

$=T$

**A**  $\models$  **B**

**A**  $\rightarrow$  **B**

**A**  $\Rightarrow$  **B**

**F** A is true, B is false

**T** A is true, B is true

**T** A is false, B is true

**T** A is false, B is false

# (課題1) 命題論理を用いた推論

1. P: ニワトリは鳥である
  2. Q: 鳥は空を飛ぶ
  3. R: ニワトリは空を飛ぶ
  4.  $P \wedge Q \Rightarrow R$ : ニワトリが鳥であり、かつ、鳥が空を飛ぶならば、ニワトリは空を飛ぶ
- ◆ ここで、2と3と4が真であることが知識として与えられた時、Pについて推論せよ。

P	Q	R	$P \wedge Q$	$P \wedge Q \Rightarrow R$
T	T	T	T	T
T	T	F	T	F
T	F	T	F	T
T	F	F	F	T
F	T	T	F	T
F	T	F	F	T
F	F	T	F	T
F	F	F	F	T

## (課題2) 命題論理を用いた推論

1. P: 祖父である
  2. Q: 父の父である
  3. R: 母の父である
  4.  $P \Rightarrow Q \vee R$ : 祖父ならば父の父または母の父である
- ◆ 1と4が真で、2が偽の時、真理値表を作って、Rについて推論せよ。