

人工知能

第15回 言語と論理(3) 証明と質問応答

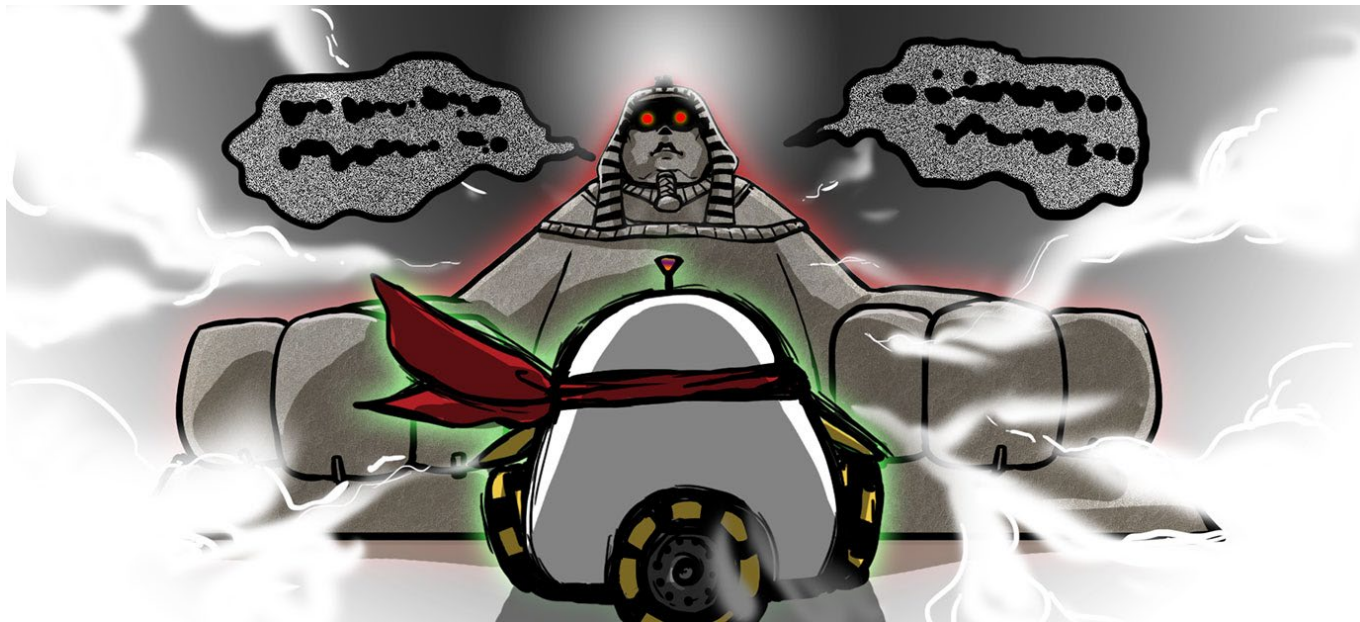
立命館大学 情報理工学部

谷口彰



STORY 証明と質問応答

- ホイールダック 2 号は単純な論理を理解できるようになった.
- 冒険もついに最終局面. ダンジョンを抜けてスフィンクスと対峙するホイールダック 2 号. やがてスフィンクスが語り出す. 「貴子は洋子の娘」「子供の子供は孫」「娘ならば子供である」「洋子は豪太郎の娘だ」「靖は洋子のいとこだ」
- そして, スフィンクスは問う.
- 「さて, 豪太郎の孫は誰だ？」
- 果たして, ホイールダック 2 号はこの問いに答えられるのか.



仮定 証明と質問応答

- ホイールダック2号に文法に関する知識，語彙に関する知識は事前に与えてよいものとする.
- ホイールダック2号は誤りのない音声認識が可能であるとする.
- ホイールダック2号は与えられた自然言語文を論理式に変換する意味的構文解析の処理系を備えているものとする.

Contents

□16.1 導出原理

□16.2 述語論理による質問応答

□16.3 スフィングスの謎かけ

16.1.1 導出原理と証明

- 与えられた文から得られた一階述語論理式が恒真式（正しい）かどうか，判断するためにはどうすればよい？
- **証明**：対象となる式が恒真式であることを示すこと

無理！

$\forall xP(x)$ が真であるかどうかを直接しらべるには，全ての x について考えないといけない。



導出原理



反駁（反論）による
証明

16.1.2 導出とは何か？

- 節集合 $C = \{C_1, \dots, C_n\}$ における節 C_i, C_j が、あるリテラル P とその否定リテラル $\neg P$ を含んでいた時、これら二つの節から新たな節を導く推論形式を**導出**(resolution)という。

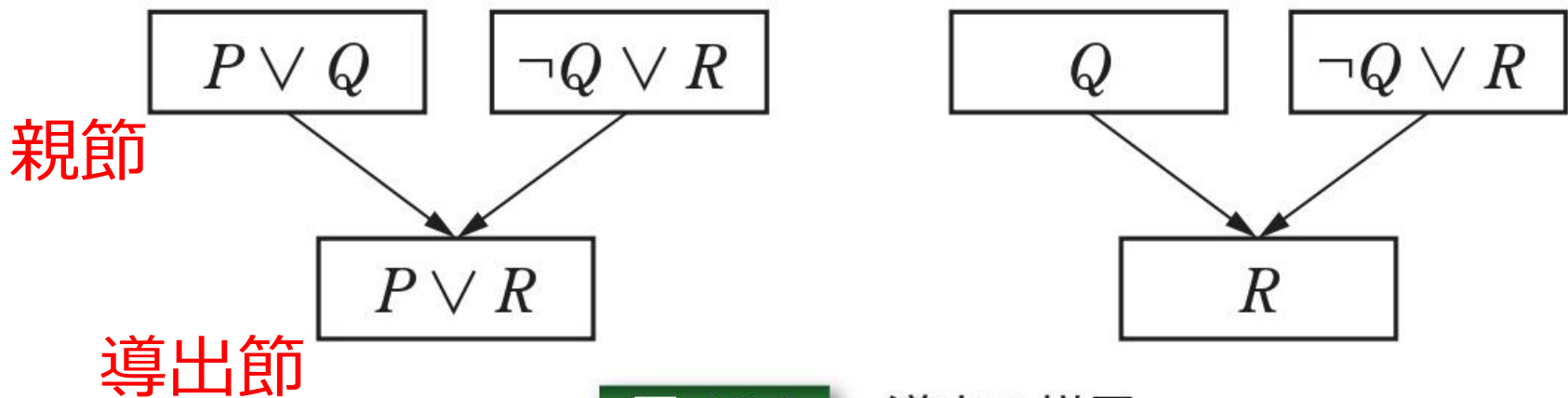


図 16.2

導出の様子

16.1.4 反駁による証明

- 人手によって証明するのではなく、何らかのアルゴリズムによって自動的に証明したい。

P が恒真式 $\Leftrightarrow \neg P$ が恒偽式（矛盾がある）

- 前提 X と結論 Y に対して、 $X \rightarrow Y$ 「 X ならば Y 」を証明する。

$$\begin{aligned}\neg Z &\equiv \neg(X \rightarrow Y) \\ &\equiv \neg(\neg X \vee Y) \\ &\equiv X \wedge \neg Y\end{aligned}$$

前提 X の節集合に、結論の否定 $\neg Y$ を節として加えた節集合に対して導出を繰り返すことで、空節を導けばよいことがわかる。

16.1.5 反駁による証明の例

前提 $P \rightarrow Q, P \wedge R$

結論 $Q \wedge R$



$\{\underbrace{\neg P \vee Q, P, R}_{\text{前提部}}, \underbrace{\neg Q \vee \neg R}_{\text{結論部}}\}$

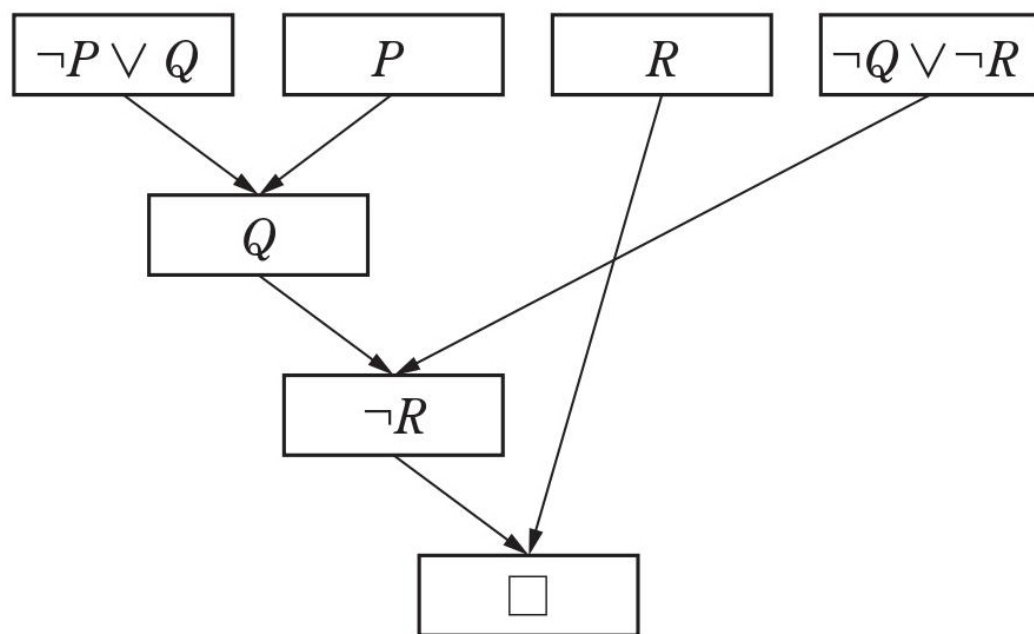


図 16.3

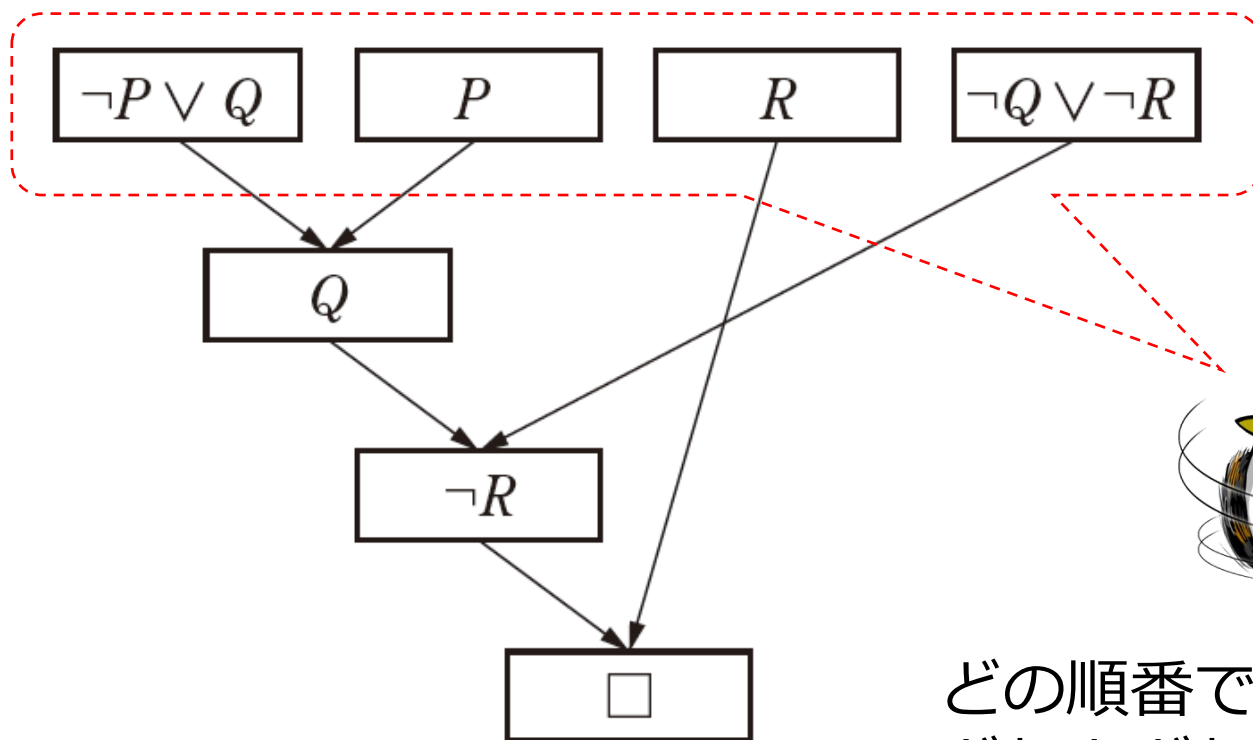
導出グラフ

演習16-1

- 前提 $(P \wedge Q) \rightarrow R$, $P \rightarrow Q$, P から結論 $Q \wedge R$ が導けることを, 導出原理を用いて証明せよ.
- $([(P \wedge Q) \rightarrow R] \wedge [P \rightarrow Q] \wedge [P]) \rightarrow Q \wedge R$

導出制御戦略

- 親節内の特定の二つの節を具体的にどう選んだら良いかが決まらない。



どの順番で
どれとどれをくっつける？

図 14.3 導出グラフ

導出制御戦略

- 機械的な制御戦略

- 幅優先戦略(breadth-first strategy)
- 線形導出(linear resolution)

基本的な探索

- 意味的な制御戦略

- **支持集合戦略**(set-of-support strategy)
- 意味導出 (semantic resolution)
- などなど

大体間違っているとしたら
結論の方なので、結論の節
から重点的に攻める。

前提X

結論 $\neg Y$

16.1.3 単一化置換

- 述語論理式に対する導出は述語論理式に含まれる個体変数にあらかじめ適切な処置を施さないと導出を行なうことが出来ない.
- 例えば $\forall x, y, z$ で下式があったとき
 - $C_i \equiv P(x, f(y)) \vee Q$
 - $C_j \equiv \neg P(a, z) \vee R$
- $x=a, z=f(y)$ であると仮定すれば, 置換 $(a/x), (f(y)/z)$ の後に導出を行える.
- このように, 個体変数を別の項に置き換える操作を**単一化 (unification)**という.
- 必要最小限の置換を行なう
 - それ以降の置換の自由度を確保することが出来る.

Contents

□16.1 導出原理

□16.2 述語論理による質問応答

□16.3 スフィングスの謎かけ

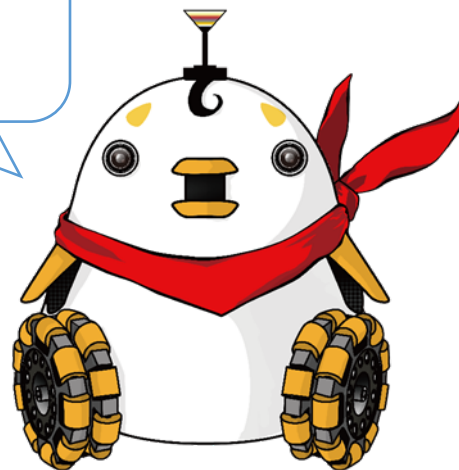
16.2.1 質問応答システム

ゴジラは大きいですか？

はい



これができるか？



前提知識

- $\text{monster}(x) \rightarrow \text{big}(x)$
- $\text{monster}(\text{ゴジラ})$

16.2.2 一般疑問文に対する質問応答

□一般疑問文

□「Do you〜?」「Is this〜?」→はい, いいえ で回答

□(事前知識) → (疑問文中で問われている事実)という述語論理式を構成し, これが恒真式であることを示せばよい.

□($\text{monster}(x) \rightarrow \text{big}(x)$) \wedge $\text{monster}(\text{ゴジラ}) \rightarrow \text{big}(\text{ゴジラ})$

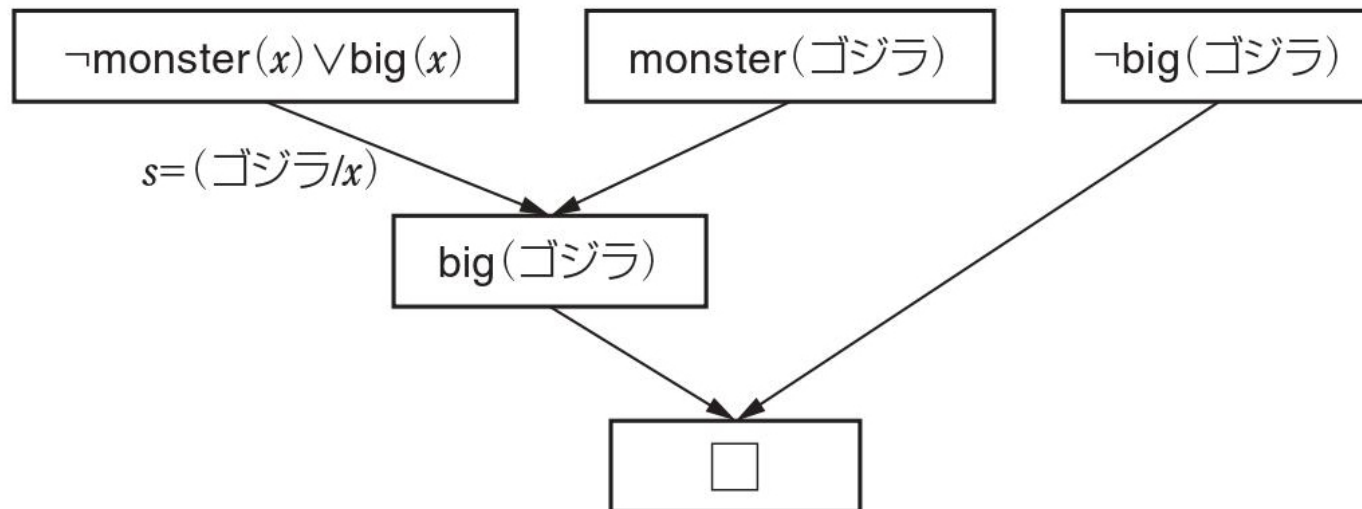


図 16.4

一般疑問文に対する導出グラフ

演習16-2 一般疑問文

- 「ネズミは動物だ」
- 「あらゆる動物は生き物だ」
- 「山田は人間だ」

という知識をロボットに述語論理式で持たせた上で

- 「ネズミは生き物か？」

という質問に対する答えを反駁による証明を用いて求めさせよ.

16.2.3 特殊疑問文に対する質問応答

□特殊疑問文

□What, When, Where, Why, Who, How といった5W1H を問われる疑問文

□「由美子さんは何の食べ物が好きですか？」 \Rightarrow
「何か x が存在して、由美子さんはその x が好きである」

$$\exists x \text{ like(由美子, } x)$$

□前提知識 like(由美子, イクラ) があったとすると,

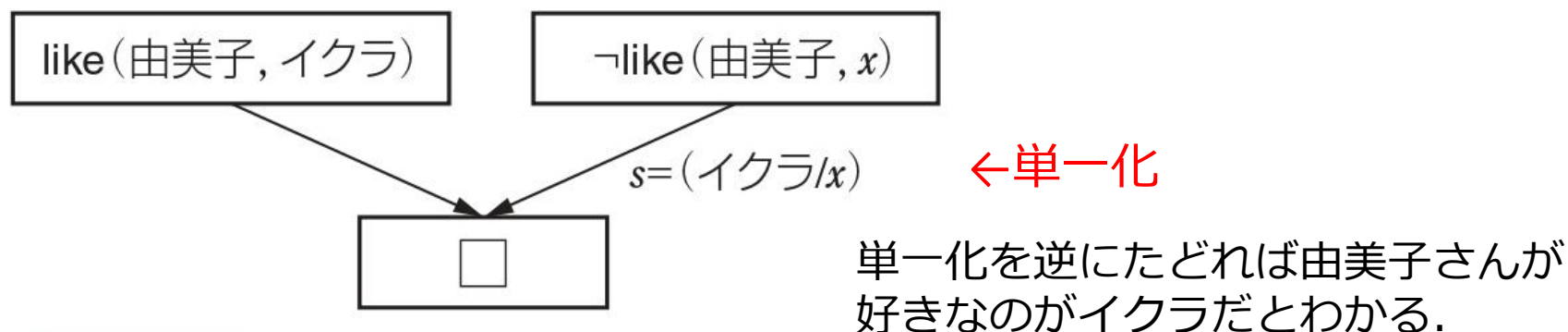


図 16.5

特殊疑問文に対する導出グラフ

16.2.4 Prolog

- 導出原理を用いた定理証明や質問応答を行うプログラミング言語にProlog (PROgramming in LOGic) がある. Prolog は論理型プログラミング言語の一種である.

Prologのプログラミング例

```
parent(Pam, Bob)
parent(Tom, Bob)
parent(Tom, Liz)
parent(Bob, Pat)
?- parent(Bob, Pat)
出力>> yes
?- parent(X, Liz)
出力>> Tom
```

またPrologを確率化した**Problog**などの**確率論理プログラミング言語**も近年注目されている。

Contents

□16.1 導出原理

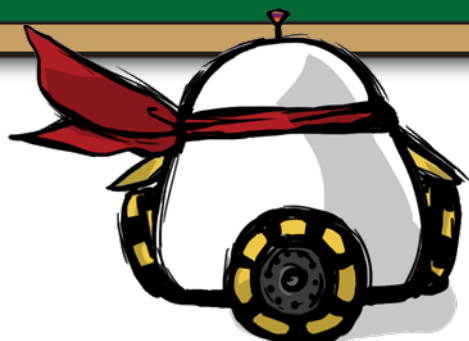
□16.2 述語論理による質問応答

□16.3 スフィングスの謎かけ

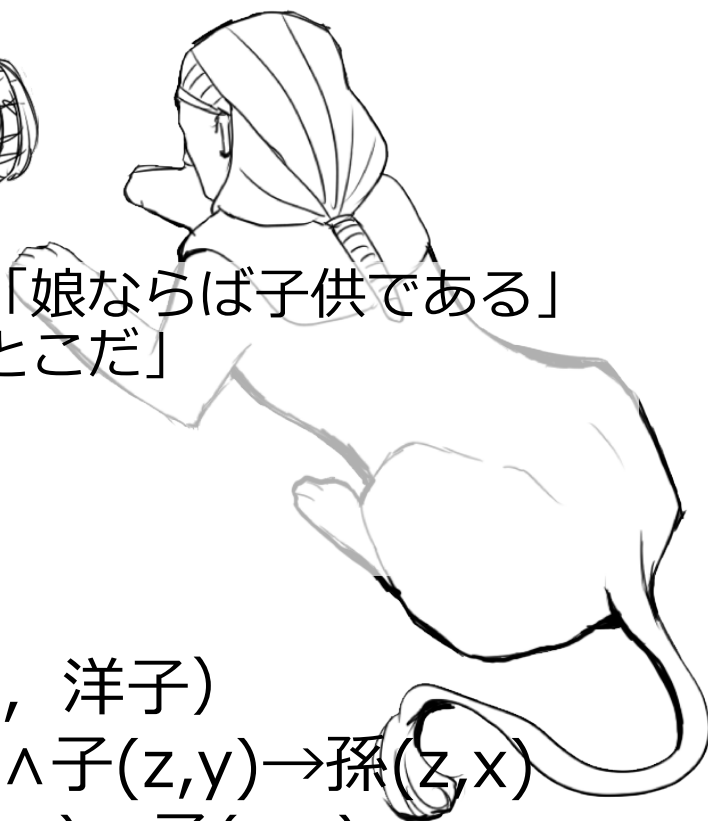
スフィンクスの謎かけ

スフィンクスの謎かけ

「貴子は洋子の娘」「子供の子供は孫」「娘ならば子供である」「洋子は豪太郎の娘だ」「靖は洋子のいどこだ」そしてスフィンクスは問う。「さて、豪太郎の孫は誰だ？」



スフィンクスの問い



- 「貴子は洋子の娘」「子供の子供は孫」「娘ならば子供である」「洋子は豪太郎の娘だ」「靖は洋子のいとこだ」
 - そしてスフィンクスは問う
 - 「さて、豪太郎の孫は誰だ？」
1. 「貴子は洋子の娘」 \rightarrow 娘 (貴子, 洋子)
 2. 「子供の子供は孫」 \rightarrow 子(y, x) \wedge 子(z, y) \rightarrow 孫(z, x)
 3. 「娘ならば子供である」 \rightarrow 娘(x, y) \rightarrow 子(x, y)
 4. 「洋子は豪太郎の娘だ」 \rightarrow 娘(洋子, 豪太郎)
 5. 「靖は洋子のいとこだ」 \rightarrow いとこ (靖, 洋子)
 6. 「さて、豪太郎の孫は誰だ？」 \rightarrow $\exists w$ 孫(w , 豪太郎)

演習14-3 スフィンクスの問い

節集合形式



- C1: 娘 (貴子, 洋子)
- C2: $\neg \text{子}(y, x) \vee \neg \text{子}(z, y) \vee \text{孫}(z, x)$
- C3: $\neg \text{娘}(x, y) \vee \text{子}(x, y)$
- C4: 娘(洋子, 豪太郎)
- C5: いとこ (靖, 洋子)
- C6: $\neg \text{孫}(w, \text{豪太郎})$

上記の節集合形式にもとづいて、
反駁による証明を用いてスフィンクスの問の答えを導け。

スフィンクス

「さて、豪太郎の孫は誰だ？」



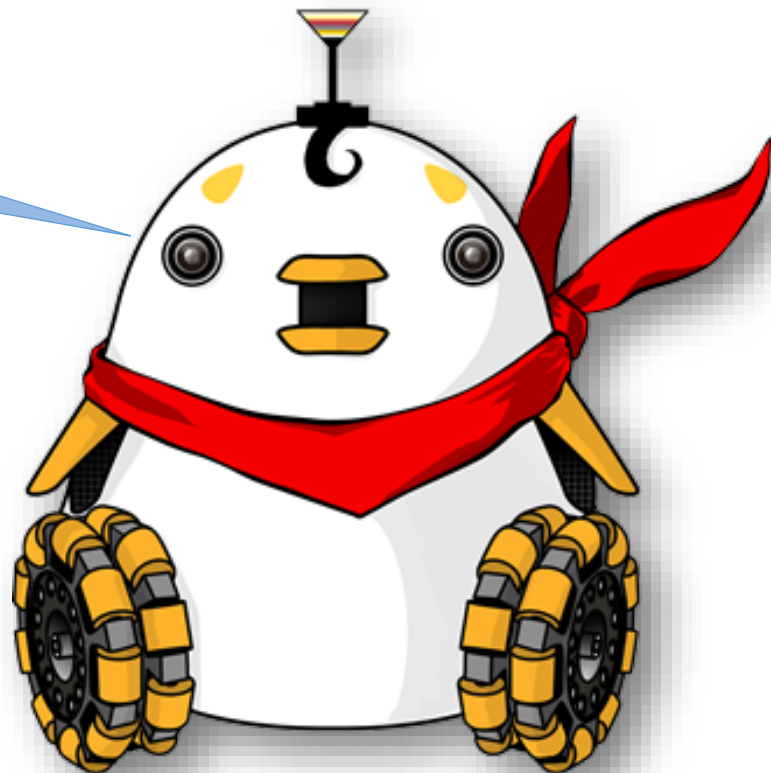
ホイールダック2号

「豪太郎の孫は『貴子』だ！」

孫は貴子



デヘペロ～
(・ω<)



スフィンクスは驚き，岩の台座から飛び降りて，海に落ちた



おめでとうホイールダック2号！



まとめ

- 導出原理について学んだ.
- 述語論理による質問応答システムを反駁による証明に基づいて実現する仕組みについて学んだ.
- 導出原理に基づいた質問応答の実行事例を学んだ.