

人間の矛盾を改善できる人工知能ロボットの推論コア

An Inference Core of an Artificial Intelligence Robot Capable of Improving Human Contradiction

どのような技術か？

例えば、いくつかの論理式と目標真理値から成る知識群

- (1) bird[falcon] = 1 (隼は、必ず鳥である。)
- (2) fly[falcon] = 0.9 (隼は、ほぼ飛ぶ。)
- (3) bird[pigeon] = 1 (鳩は、必ず鳥である。)
- (4) fly[pigeon] = 0.9 (鳩は、ほぼ飛ぶ。)
- (5) reflexes[fly] = 0.75 (飛ぶものは、だいたい反射神経が優れている。)
- (6) bird[penguin] = 1 (ペンギンは、必ず鳥である。)
- (7) fly[penguin] = 0 (ペンギンは、決して飛ばない。)
- (8) bicycle[falcon] = 0 (隼は、決して自転車に乗らない。)
- (9) bicycle[reflexes] = 0.75 (反射神経が優れているものは、だいたい自転車に乗る。)

が与えられた場合において、原子論理式 (命題記述子) が論理値

- ① falcon = 0.0100 0111 0110 0010_b
- ② bird = 0.1110 1111 1110 1011_b
- ③ fly = 0.1101 0000 1010 1001_b
- ④ pigeon = 0.1100 1011 0101 1101_b
- ⑤ reflexes = 0.1001 1111 1111 1111_b
- ⑥ penguin = 0.0010 0110 0111 1010_b
- ⑦ bicycle = 0.1000 1000 0000 0000_b

をとるとき、知識 (1)～(9) における左辺の論理式の真理値は

- (1') bird[falcon] ≐ 1.0000 = 1 - 0.0000
- (2') fly[falcon] ≐ 0.8983 = 0.9 - 0.0017
- (3') bird[pigeon] ≐ 0.9996 = 1 - 0.0004
- (4') fly[pigeon] ≐ 0.9443 = 0.9 + 0.0443
- (5') good_reflexes[fly] ≐ 0.6933 = 0.75 - 0.0567
- (6') bird[penguin] ≐ 0.9984 = 1 - 0.0016
- (7') fly[penguin] ≐ 0.0041 = 0 + 0.0041
- (8') ride_bicycle[falcon] = 0 = 0 + 0
- (9') ride_bicycle[good_reflexes] ≐ 0.8500 = 0.75 + 0.1000

となり、真理値の目標に対する残差の偏差は約 0.0411、残差の最大値は約 0.1000 です。

ここに①～⑦は、真理値の目標 (1)～(9) に対し計算結果 (1')～(9') における残差の最大値ができる限り小さくなるように求められ、この計算を学習と呼びます。学習の計算複雑度は小さくありませんが、(準) 最適解を求める多様な手法が利用でき、将来の量子コンピューティングとの相性も良好に見えます。

例えば、閾値が予め 0.1 と設定されているとき、残差の最大値が 0.1 未満ではなく、知識 (1)～(9) は一貫していないと判定できます。矛盾を改善する、すなわち、残差を低減するための一つの方法は、残差の最大値の原因となっている知識を、残差が減るように改善することであり、それは機械的に行えます。

テキスト入力を論理式に変換する自然言語理解インターフェース (大学院の授業により提供) が存在することを前提として、

✓ 制御することを「放棄」した深層学習とは違い、ニューロンのモデルに当たる原子論理式の値が可視化された学習を行い、

✓ 論理的含意によりモデル化可能な m 個のヒューリスティックを組合せ論的に非多項式時間で連鎖する、したがって連鎖の経路に応じて結論の真偽の程度も変わるかもしれない従来の推論系とは異なり、知識を参照せずに学習後の原子論理式のとり真理値 (①～⑦) のみに基づき、任意の論理式の真理値を m に依存しない O(1) ステップで瞬時に計算でき、

✓ 知識群の論理的一貫性を、ブール代数の合理性のもとで定量的に評価しつつ、知識の改善案をオペレータに提案する

推論コアを内包した、知識設計を支援する人工知能ロボットのシミュレーション動画を展示しています。

理工学部

Chuo University

教授

Professor

鈴木 寿

SUZUKI Hisashi

推論を記述するブール多値論理系 (定義)

$n \in \{0, 1, \dots\}$ 次元の原子論理式は、論理値であり真理値でもある固定小数点の二進数 $0.c_1 \dots c_n$ ($c_1 \in \{0, 1\}, \dots, c_n \in \{0, 1\}$) をとり、論理式は以下の論理演算を原子論理式および論理式自身に適用した結果であるとし、 n 次元の論理式 $x = 0.x_1 \dots x_n$ の否定 $\neg x$ は、 $i = 1, \dots, n$ に対する x_i のブール二値否定 $z_i = \neg x_i$ からなる真理値 $0.z_1 \dots z_n$ をとるとします (例: $x = 0.0000\ 0000\ 0000\ 1111_b \div 0.0002$ に対し $\neg x = 0.1111\ 1111\ 1111\ 0000_b \div 0.9998$)。 n 次元の論理式 x と $y = 0.y_1 \dots y_n$ の論理積 $x \wedge y$ は x_i と y_i のブール二値論理積 $z_i = x_i \wedge y_i$ からなる真理値 $0.z_1 \dots z_n$ をとるとし、論理和 $x \vee y$ と含意 $x \rightarrow y$ と等価 $x \leftrightarrow y$ も同様に定めます。以上の定義のもとで論理式の全体集合は、 $\wedge$ を交わり、 $\vee$ を結び、 $0.0 \dots 0_b = 0$ および $0.1 \dots 1_b = 1 - 2^{-n}$ を単位元とするブール代数を形成します。

さらに、述語のとり真理値を $y[x] = (x \wedge y) / x$ と定めます。

(以上のほか、論理式が n 個のビット列からなる論理値をとるとし、論理値におけるビット 1 の個数を n で割った値を真理値とするブール多値論理系の定義もあります。)

曖昧推論の上位代替な汎用手法

ブール多値論理系とは異なり、ファジー論理系下の曖昧推論の多様な定義のいずれにおいても、論理式の集合はブール代数を成さず、論理学や知識工学などに不慣れなオペレータは論理的一貫性を保証した多段階推論が運用できません。また、ブール多値論理系は、論理式がとり真理値にかかわらず含意・等価の真理値が $1 - \varepsilon$ (ε : 小さい正定数) 以上であることを保証しつつ、近似的な論理的含意・等価を定量的に運用できます。

他の逐次推論系との関係

確率論に整合するブール多値論理系の用語・記号等は、ベイズ推定やベイジアンネットワーク運用時の論理記述子として使えます。後者は条件付き確率を逐次に乗じる一方、前者は論理式に任意の論理演算を適用して真理値を計算しますので、「風が吹けば桶屋が儲かる」等の論理的含意のみを扱うゆえ誤推論を起こしやすいMYCIN等のプロダクションシステムの代替として

$$(((x \rightarrow y) \wedge (y \rightarrow z)) \vee ((x \rightarrow \neg y) \wedge (\neg y \rightarrow z)))[x] \Leftrightarrow (x \rightarrow z)[x]$$

などの論理的等価が運用でき、医用人工知能等の極限利用にも活かされます。

ビッグデータへの適用は？

ブール多値論理系は、統計情報の多少にかかわらず因果関係を考慮しつつ決定論的に推論する要素技術として活用できます。

提供できるもの

- 人間の矛盾を改善できる人工知能ロボットの推論コアのプログラムとして、16 ビットのブール多値論理を扱うためのC言語で書かれたソースコードおよび見本データ。
- 技術をイメージしやすくするためのシミュレーション動画。
- 代表的な論文。

[1] "New Multivalued Logic System in Boolean Class by Regarding Fixed-point Binary Numbers as Truth Values," Proc. RPC 2010, No. 3, pp. 57-62, Sept., 2010 (ISBN: 978-0-9803267-3-4)

[2] "Gödel Platform," Proc. IMCIC 2011, Vol. 1, pp. 195-200, Mar. 2011 (ISBN: 978-1-936338-19-1, 978-1-936338-20-7)

[3] "New Boolean Multivalued Logic System Simplifying Inferences in Flexible Styles," Proc. ICSEng 2011, pp. 109-114, Aug. 2011 (ISBN: 978-0-7695-4495-3)

[4] "Boolean Complex Logic," Proc. IEEE ComComAp 2012, pp. 370-375, Jan. 2012 (ISBN: 978-1-4577-1718-5)

動画（10分版）テキスト全文

Full text in the video

（10 minutes version）

1. 自然言語会話のプロトコルを起動しました。命令をどうぞ。 Activated the protocol of natural language conversation. Please order. [>論理分析起動](#) [>activate the logic analysis](#)
2. 論理分析プログラムを起動しました。現在、記憶している知識はありません。命令をどうぞ。 Activated the logic analysis program. Currently, stored no knowledge. Please order. [>調子はどうか](#) [>how are you doing?](#)
3. 命令が理解できませんでした。命令をどうぞ。 Failed to understand your order. Please order. [>記憶 隼は鳥の一種である](#) [>store: a falcon is a kind of bird](#)
4. 警告。自然言語理解においてオーバーフローが発生しました。あるものが隼のとき、それは必ず鳥である、と、理解しました。確認願います。 Warning. Overflow in natural language understanding. Understood that [if one is a falcon, it is absolutely a bird](#). Please confirm. [↵ bird\[falcon\] = 1](#) [↵>詳細](#) [>detail](#)
5. あるものが隼のとき真理値 1 でそれは鳥である、と記憶しました。命令をどうぞ。 Stored that [if one is a falcon, it is a bird with truth value 1](#). Please order. [>質問 隼は鳥か](#) [>query: is a falcon a bird?](#)
6. 回答。肯定します。命令をどうぞ。 Answer. Affirmed. Please order. [>調子良いね](#) [>you seem fine](#)
7. 同意します。警告。自然言語理解に大きなストレスがあります。文法的構造を明確にしてください。 Agree with you. Warning. Stressful in natural language understanding. Please make the grammatical structure clear. [>どのように](#) [>how?](#)
8. 警告。自然言語理解においてオーバーフローが発生しました。命令が理解できませんでした。命令をどうぞ。 Warning. Overflow in natural language understanding. Failed to understand your order. Please order. [>もう少し砕けよ](#) [>break a little more](#)
9. 警告。自然言語理解においてオーバーフローが発生しました。記憶を消去しますか。確認願います。 Warning. Overflow in natural language understanding. [May I erase the memory?](#) Please confirm. [>命令取消](#) [>cancel the order](#)
10. 承知しました。記憶を保持します。命令をどうぞ。 Sure. [Held the memory](#). Please order. [>日常会話 モードへ変更](#) [>change to the daily conversation mode](#)
11. 自然言語理解モードを日常会話に変更します。今後、確認が必要な場合でも警告しません。 Changed the mode of natural language understanding to the daily conversation. Hereafter no warning even if confirmation needed. [>かまわない](#) [>no problem](#)
12. 自然言語生成も日常会話にしますか。 May I change also the mode of natural language generation to that of daily conversation? [>砕けた感じで](#) [>casual tone is better](#)
13. オーケー。こんな感じで、いいか。 Ok. How about this? [>元に戻せ](#). 少しゆっくり [>undo. a little slowly](#)
14. 承知しました。この速さでよろしいでしょうか。 Sure. Is this speed good? [>良い](#). [質問 隼は隼か](#) [>good. query: is a falcon a falcon?](#)
15. 回答。恒等的に真です。隼は恒等的に隼です。 Answer. Identically true. [A falcon is identical to a falcon.](#) [↵ falcon\[falcon\] = 1](#) [↵>詳細](#) [>detail](#)
16. 任意の原子論理式からそれ自身への条件化演算の結果は、元の原子論理式の論理値が何であるかにかかわらず、恒等的に真です。 [The result of conditioning operation from any atom to itself is identically true](#) regardless of the logic values of atoms. [↵ X\[X\] = 1](#) $\forall X$ [↵>いいね](#) [>good](#)
17. 褒めていただきありがとうございます。 Thank you for the compliment. [>単なる社交辞令だ](#) [>it's just socializing](#)
18. 承知しました。私の偉大な能力は、今後、少しずつご理解いただけると思います。命令をどうぞ。 Sure. I believe that my great ability will be understood little by little in the future. Please order. [>記憶 隼は、ほぼ飛ぶ](#) [>store: a falcon almost flies](#)
19. 隼はほぼ飛ぶ、と記憶しました。 Stored that [a falcon almost flies](#). [↵ fly\[falcon\] = 0.9](#) [↵>詳細](#) [>detail](#)
20. あるものが隼のとき真理値 0.9 でそれは飛ぶ、と記憶しました。現在、2個の知識を記憶しています。 Stored that [if one is a falcon, it flies with truth value 0.9](#). Currently, stored 2 knowledges. [>全知識を提示](#) [>display all knowledges](#)
21. 第1の知識。あるものが隼のとき、それは必ず鳥である。 The 1st knowledge. [If one is a falcon, it is absolutely a bird.](#) [↵ bird\[falcon\] = 1](#) [↵](#)
22. 第2の知識。あるものが隼のとき、それはほぼ飛ぶ。 The 2nd knowledge. [If one is a falcon, it almost flies.](#) [↵ fly\[falcon\] = 0.9](#) [↵](#)
23. 以上です。 Over. [>連続して知識を入力](#) [>input knowledges successively](#)
24. 承知しました。入力どうぞ。 Sure. Please input. [>鳩は鳥である](#) [>a pigeon is a bird](#)
25. [A pigeon is a bird.](#) [↵ bird\[pigeon\] = 1](#) [↵>鳩はほぼ飛ぶ](#) [>a pigeon almost flies](#)
26. [A pigeon almost flies.](#) [↵ fly\[pigeon\] = 0.9](#) [↵>飛ぶものはだいたい反射神経が優れている](#) [>flying one possibly has good reflexes](#)
27. [Flying one possibly has good reflexes.](#) [↵ reflexes\[fly\] = 0.75](#) [↵>ペンギンは鳥である](#) [>a penguin is a bird](#)
28. [A penguin is a bird.](#) [↵ bird\[penguin\] = 1](#) [↵>ペンギンは決して飛ばない](#) [>a penguin never flies](#)
29. [A penguin never flies.](#) [↵ fly\[penguin\] = 0](#) [↵>隼は決して自転車に乗らない](#) [>a falcon never rides a bicycle](#)
30. [A falcon never rides a bicycle.](#) [↵ bicycle\[falcon\] = 0](#) [↵>以上](#) [>that's all](#)
31. 全部で 8個の知識を記憶しました。 Stored 8 knowledges in total. [>全知識を提示](#) [>display all knowledges](#)
32. 現在、8個の知識を記憶しています。学習しますか。 Currently, stored 8 knowledges. May I learn? [>実行](#) [>do](#)
33. 学習中です。 Learning.....
34. 学習が完了しました。知識は一貫しているようです。 Learning completed. [The knowledges seem consistent.](#) [↵ bird\[falcon\] ≐ 0.9998 = 1.0000 - 0.0002](#) [↵ fly\[falcon\] ≐ 0.9011 = 0.9000 + 0.0011](#) [↵ bird\[pigeon\] ≐ 0.9998 = 1.0000 - 0.0002](#) [↵ fly\[pigeon\] ≐ 0.9091 = 0.9000 + 0.0091](#) [↵ reflexes\[fly\] ≐ 0.7333 = 0.7500 - 0.0167](#) [↵ bird\[penguin\] ≐ 1.0000 = 1.0000 - 0.0000](#) [↵ fly\[penguin\] ≐ 0.0000 = 0.0000 + 0.0000](#) [↵ bicycle\[falcon\] ≐ 0.0001 = 0.0000 + 0.0001](#) [↵ falcon = 0.0101 1000 1100 0111b](#) [↵ bird = 0.0101 1111 1111 1011b](#) [↵ fly = 0.1111 0000 0000 0000b](#) [↵ pigeon = 0.0101 0111 1111 1111b](#) [↵ reflexes = 0.1011 0010 1001 1001b](#) [↵ penguin = 0.0000 1010 1010 0000b](#) [↵ bicycle = 0.1010 0010 0011 1011b](#) [↵>詳細](#) [>detail](#)
35. 8個の知識を学習した結果、真理値に関する残差の偏差は約 0.0067、最大値は約 0.0167 です。最大値が警告の閾値 0.1 未満なので、知識は一貫しているようです。 As a result of learning 8 knowledges, the deviation of residual error on truth values is around 0.0067 and [the max value is around 0.0167](#). Since the max value is under the warning threshold 0.1, knowledges seem consistent. [>質問 隼は鳥である、または、鳥ではない、のいずれかか](#) [>query: is a falcon either a bird or no bird?](#)
36. 回答。恒等的に真です。恒等的に、隼は鳥である、または、鳥ではない、のいずれかです。 Answer. Identically true. [A falcon is identical to either a bird or no bird.](#) [↵ Y \$\vee\$ \$\neg\$ Y = 0.1111 1111 1111 1111b](#) $\forall Y$ [↵ X \$\rightarrow\$ Y \$\vee\$ \$\neg\$ Y = 0.1111 1111 1111 1111b](#) $\forall X$ [↵ \(Y \$\vee\$ \$\neg\$ Y\)\[X\] = \(X \$\wedge\$ \(X \$\rightarrow\$ Y \$\vee\$ \$\neg\$ Y\)\) \$\vee\$ X = \(X \$\wedge\$ 0.1111 1111 1111 1111b\) \$\vee\$ X = X \$\vee\$ X = 1](#) [↵>質問 鳥は、隼、鳩、またはペンギンか](#) [>query: is a bird a falcon, a pigeon, or a penguin?](#)
37. 回答。肯定します。鳥は、隼、鳩、またはペンギンです。ただし、真理値はたまたま 1 になりましたが、恒等的に 1 というわけではないことに注意してください。 Answer. Affirmed. A bird is a falcon, a pigeon, or a penguin. Here, note that [the truth value happened to be 1](#), but is not identical to 1. [↵ bird = 0.0101 1111 1111 1011b](#) [↵ falcon \$\vee\$ pigeon \$\vee\$ penguin = 0.0101 1111 1111 1111b](#) [↵ bird \$\rightarrow\$ \(falcon \$\vee\$ pigeon \$\vee\$ penguin\) = 0.1111 1111 1111 1111b](#) [↵ \(falcon \$\vee\$ pigeon \$\vee\$ penguin\)\[bird\] = \(bird \$\wedge\$ \(bird \$\rightarrow\$ \(falcon \$\vee\$ pigeon \$\vee\$ penguin\)\)\) \$\vee\$ bird = \(0.0101 1111 1111 1011b \$\wedge\$ 0.1111 1111 1111 1111b\) \$\vee\$ 0.0101 1111 1111 1011b = 0.0101 1111 1111 1011b \$\vee\$ 0.0101 1111 1111 1011b = 0.0101 1111 1111 1011b](#) [↵>質問 鳥は飛ぶか](#) [>query: does a bird fly?](#)
38. 回答。肯定的です。鳥はたぶん飛びます。 Answer. Affirmative. A bird probably flies. [↵ bird = 0.0101 1111 1111 1011b](#) [↵ fly = 0.1111 0000 0000 0000b](#) [↵ bird \$\rightarrow\$ fly = 0.1111 0000 0000 0100b](#) [↵ fly\[bird\] = \(bird \$\wedge\$ \(bird \$\rightarrow\$ fly\)\) \$\vee\$ bird = \(0.0101 1111 1111 1011b \$\wedge\$ 0.1111 0000 0000 0100b\) \$\vee\$ 0.0101 1111 1111 1011b = 0.0101 0000 0000 0000b \$\vee\$ 0.0101 1111 1111 1011b = 20480 \$\vee\$ 24571 = 0.83350290993447560131862765048228](#) [↵>詳細](#) [>detail](#)

39. あるものが鳥のときそれが飛び真理値は約 0.8335 であり、中立の 0.5 をだいぶ上回っています。 [The truth value that if one is a bird, it flies is around 0.8335](#), which far exceeds the neutral 0.5. [↵ bird = 0.0101 1111 1111 1011b](#) [↵ fly = 0.1111 0000 0000 0000b](#) [↵ bird \$\rightarrow\$ fly = 0.1111 0000 0000 0100b](#) [↵ fly\[bird\] = \(bird \$\wedge\$ \(bird \$\rightarrow\$ fly\)\) \$\vee\$ bird = \(0.0101 1111 1111 1011b \$\wedge\$ 0.1111 0000 0000 0100b\) \$\vee\$ 0.0101 1111 1111 1011b = 0.0101 0000 0000 0000b \$\vee\$ 0.0101 1111 1111 1011b = 20480 \$\vee\$ 24571 = 0.83350290993447560131862765048228](#) [↵>質問 自転車に乗る鳥はいるか](#) [>query: is there a bird riding a bicycle?](#)
40. 回答。ほぼ否定します。自転車に乗る鳥はほぼいません。 Answer. Almost negated. There is almost no bird riding a bicycle. [↵ bird = 0.0101 1111 1111 1011b](#) [↵ bicycle = 0.1010 0010 0011 1011b](#) [↵ bird \$\rightarrow\$ bicycle = 0.1010 0010 0011 1111b](#) [↵ bicycle\[bird\] = \(bird \$\wedge\$ \(bird \$\rightarrow\$ bicycle\)\) \$\vee\$ bird = \(0.0101 1111 1111 1011b \$\wedge\$ 0.1010 0010 0011 1111b\) \$\vee\$ 0.0101 1111 1111 1011b = 0.0000 0010 0011 1011b \$\vee\$ 0.0101 1111 1111 1011b = 571 \$\vee\$ 24571 = 0.02323877742053640470473322209108](#) [↵>詳細](#) [>detail](#)
41. あるものが鳥のときそれが自転車に乗る真理値は約 0.0232 であり、ほとんど 0 です。 [The truth value that if one is a bird, it rides a bicycle is around 0.0232](#), which is almost 0. [>質問 反射神経が優れているものは自転車に乗るか](#) [>does one having good reflexes ride a bicycle?](#)
42. 回答。ほぼ肯定します。反射神経が優れているものは、ほぼ自転車に乗ります。 Answer. Almost affirmed. One having good reflexes almost rides a bicycle. [↵ reflexes = 0.1011 0010 1001 1001b](#) [↵ bicycle = 0.1010 0010 0011 1011b](#) [↵ reflexes \$\rightarrow\$ bicycle = 0.1110 1111 0111 1111b](#) [↵ bicycle\[reflexes\] = \(reflexes \$\wedge\$ \(reflexes \$\rightarrow\$ bicycle\)\) \$\vee\$ reflexes = \(0.1011 0010 1001 1001b \$\wedge\$ 0.1110 1111 0111 1111b\) \$\vee\$ 0.1011 0010 1001 1001b = 0.1010 0010 0001 1001b \$\vee\$ 0.1011 0010 1001 1001b = 41497 \$\vee\$ 45721 = 0.9076135692570153758666958290501](#) [↵>詳細](#) [>detail](#)
43. あるものの反射神経が優れているときそれが自転車に乗る真理値は約 0.9076 であり、ほとんど 1 です。 [The truth value that if one has good reflexes, it rides a bicycle is around 0.9076](#), which is almost 1. [>今から定理を確認する](#) [>now we check theorems](#)
44. 承知しました。命令をどうぞ。 Sure. Please order. [>前提を設定 隼は飛ぶ](#) [>set a premise: a falcon flies](#)
45. 第1の前提を設定しました。あるものが隼のとき、それは飛ぶ。 Set the 1st premise. [If one is a falcon, it flies.](#) [↵ falcon \$\rightarrow\$ fly](#) [↵>もう一つ前提を設定 飛ぶものは反射神経が優れている](#) [>set another premise: flying one has good reflexes](#)
46. 第2の前提を設定しました。あるものが飛ぶとき、その反射神経は優れている。 Set the 2nd premise. [If one flies, it has good reflexes.](#) [↵ fly \$\rightarrow\$ reflexes](#) [↵>前提を評価](#) [>evaluate the premises](#)
47. 肯定的です。隼から飛ぶことへの含意と、飛ぶことから反射神経が優れていることへの含意との、連言の真理値は、約 0.7157 です。 Affirmative. [The truth value of the conjunction of the implication from falcon to flying and the implication from flying to having good reflexes is around 0.7157.](#) [↵ falcon = 0.0101 1000 1100 0111b](#) [↵ fly = 0.1111 0000 0000 0000b](#) [↵ reflexes = 0.1011 0010 1001 1001b](#) [↵ falcon \$\rightarrow\$ fly = 0.0101 1000 1100 0111b](#) [↵ fly \$\rightarrow\$ reflexes = 0.1111 0000 0000 0000b](#) [↵ falcon \$\rightarrow\$ reflexes = 0.1111 0010 1001 1001b](#) [↵ falcon \$\rightarrow\$ fly \$\wedge\$ \(fly \$\rightarrow\$ reflexes\) = 0.1111 0111 0011 1000b](#) [↵ 0.1011 1111 1111 1111b = 0.1011 0111 0011 1000b](#) [↵ 0.7156982421875](#) [↵>結論を設定 隼の反射神経は優れている](#) [>set a conclusion: a falcon has good reflexes](#)
48. 結論を設定しました。あるものが隼のとき、反射神経が優れている。 Set the conclusion. [If one is a falcon, it has good reflexes.](#) [↵ falcon \$\rightarrow\$ reflexes](#) [↵>結論を評価](#) [>evaluate the conclusion](#)
49. 肯定的です。隼であることから、反射神経が優れていることへの、含意の真理値は、約 0.7177 です。 Affirmative. [The truth value of implication from being a falcon to having good reflexes is around 0.7177.](#) [↵ falcon = 0.0101 1000 1100 0111b](#) [↵ reflexes = 0.1011 0010 1001 1001b](#) [↵ falcon \$\rightarrow\$ reflexes = 0.1011 0111 1011 1001b](#) [↵ 0.7176666259765625](#) [↵>十分性を評価](#) [>evaluate the sufficiency](#)
50. 回答。この定理は妥当です。第1の前提かつ第2の前提から結論への含意は、恒等的に真です。この定理は仮言的三段論法または連鎖律とよばれています。 Answer. This theorem is valid. [Implication from the 1st premise and the 2nd premise to the conclusion is identically true.](#) This theorem is called a hypothetical syllogism or a chain rule. [↵ \(\(X \$\rightarrow\$ Y\) \$\wedge\$ \(Y \$\rightarrow\$ Z\) \$\rightarrow\$ \(X \$\rightarrow\$ Z\)\)\[X\] = 1](#) $\forall X, Y, Z$ [↵>いま何個の知識があるか](#) [>how many knowledges now?](#)
51. 全部で 8個の知識があります。 8 knowledges in total. [>知識を追加](#) [>add a knowledge](#)
52. 承知しました。入力どうぞ。 Sure. Please input. [>反射神経が優れているものはだいたい自転車に乗る](#) [>one having good reflexes possibly rides a bicycle](#)
53. 反射神経が優れているものはだいたい自転車に乗る、と記憶しました。 Stored that [one having good reflexes possibly rides a bicycle.](#) [↵ bicycle\[reflexes\] = 0.75](#) [↵>詳細](#) [>detail](#)
54. あるものの反射神経が優れているとき真理値 0.75 でそれは自転車に乗る、と記憶しました。 Stored that [if one has good reflexes, it rides a bicycle with truth value 0.75](#).
55. 現在、9個の知識を記憶しています。学習しますか。 [Currently, stored 9 knowledges.](#) May I learn? [>実行](#) [>do](#)
56. 学習中です。 Learning.....
57. 学習が完了しました。知識は一貫していないようです。 Learning completed. [The knowledges seem not consistent.](#) [↵ bird\[falcon\] ≐ 1.0000 = 1.0000 - 0.0000](#) [↵ fly\[falcon\] ≐ 0.8983 = 0.9000 - 0.0017](#) [↵ bird\[pigeon\] ≐ 0.9996 = 1.0000 - 0.0004](#) [↵ fly\[pigeon\] ≐ 0.9443 = 0.9000 + 0.0443](#) [↵ reflexes\[fly\] ≐ 0.6933 = 0.7500 - 0.0567](#) [↵ bird\[penguin\] ≐ 0.9984 = 1.0000 - 0.0016](#) [↵ fly\[penguin\] ≐ 0.0041 = 0.0000 + 0.0041](#) [↵ bicycle\[falcon\] ≐ 0.0000 = 0.0000 + 0.0000](#) [↵ bicycle\[reflexes\] ≐ 0.8500 = 0.7500 + 0.1000](#) [↵ falcon = 0.0100 0111 0110 0010b](#) [↵ bird = 0.1110 1111 1110 1011b](#) [↵ fly = 0.1101 0000 1010 1001b](#) [↵ pigeon = 0.1100 1011 0101 1101b](#) [↵ reflexes = 0.1001 1111 1111 1111b](#) [↵ penguin = 0.0010 0110 0111 1010b](#) [↵ bicycle = 0.1000 1000 0000 0000b](#) [↵>詳細](#) [>detail](#)
58. 9個の知識を学習した結果、真理値に関する残差の偏差は約 0.0411、最大値は約 0.1000 です。最大値が警告の閾値 0.1 未満ではないので、知識は一貫していないようです。 As a result of learning 9 knowledges, the deviation of residual error on truth values is around 0.0411 and [the max value is around 0.1000](#). Since the max value is not under the warning threshold 0.1, knowledges seem not consistent. [>助言要請](#) [>request an advice](#)
59. 残差の最大値は最後の知識に由来しています。 [The max value of residual error is caused by the last knowledge.](#) [↵ bicycle\[reflexes\] ≐ 0.8500 = 0.7500 + 0.1000](#) [↵](#)
60. 最後の知識を次のように置き換えるべきです。あるものの反射神経が優れているとき、それは真理値 0.85 で自転車に乗る。 The last knowledge should be replaced by: [If one has good reflexes, it rides a bicycle with truth value 0.85.](#) [↵ bicycle\[reflexes\] = 0.85](#) [↵>待機](#) [>wait](#)
61. Waiting..... [>再開](#) [>restart](#)
62. 承知しました。命令をどうぞ。 Sure. Please order. [>最後の知識を変更](#) [>change the last knowledge](#)
63. 入力どうぞ。 Please input. [>反射神経は優れているが鳥ではないものはだいたい自転車に乗る](#) [>one that is no bird but has good reflexes possibly rides a bicycle](#)
64. 反射神経は優れているが鳥ではないものは、だいたい自転車に乗る、と記憶しました。 Stored that [one that is no bird but has good reflexes possibly rides a bicycle.](#) [↵ bicycle\[\$\neg\$ bird \$\wedge\$ reflexes\] = 0.75](#) [↵](#)
65. 現在、9個の知識を記憶しています。学習しますか。 [Currently, stored 9 knowledges.](#) May I learn? [↵ bird\[falcon\] = 1](#) [↵ ...](#) [↵ bicycle\[\$\neg\$ bird \$\wedge\$ reflexes\] = 0.75](#) [↵>実行](#) [>do](#)
66. 学習中です。 Learning.....
67. 学習が完了しました。知識は一貫しているようです。 Learning completed. [The knowledges seem consistent.](#) [↵ bird\[falcon\] ≐ 0.9792 = 1.0000 - 0.0208](#) [↵ fly\[falcon\] ≐ 0.9792 = 0.9000 + 0.0792](#) [↵ bird\[pigeon\] ≐ 0.9953 = 1.0000 - 0.0047](#) [↵ fly\[pigeon\] ≐ 0.8892 = 0.9000 - 0.0108](#) [↵ reflexes\[fly\] ≐ 0.7955 = 0.7500 + 0.0455](#) [↵ bird\[penguin\] ≐ 0.9940 = 1.0000 - 0.0060](#) [↵ fly\[penguin\] ≐ 0.0221 = 0.0000 + 0.0221](#) [↵ bicycle\[falcon\] ≐ 0.0055 = 0.0000 + 0.0055](#) [↵ bicycle\[\$\neg\$ bird \$\wedge\$ reflexes\] ≐ 0.7328 = 0.7500 - 0.0172](#) [↵ falcon = 0.0010 0000 1010 1110b](#) [↵ bird = 0.1111 1110 0000 0000b](#) [↵ fly = 0.1010 0110 0100 0000b](#) [↵ pigeon = 0.1001 0110 1011 0100b](#) [↵ reflexes = 0.1100 0101 1101 1111b](#) [↵ penguin = 0.0101 1010 1000 1010b](#) [↵ bicycle = 0.1101 1111 0111 1111b](#) [↵>詳細](#) [>detail](#)
68. 9個の知識を学習した結果、真理値に関する残差の偏差は約 0.0329、最大値は約 0.0792 です。最大値が警告の閾値 0.1 未満なので、知識は一貫しているようです。一貫性をさらに改善できます。 As a result of learning 8 knowledges, the deviation of residual error on truth values is around 0.0329 and [the max value is around 0.0792](#). Since the max value is under the warning threshold 0.1, knowledges seem consistent. Further refinement of consistency is possible. [>助言要請](#) [>request an advice](#)
69. 残差の最大値は第2の知識に由来しています。 [The max value of residual error is caused by the 2nd knowledge.](#) [↵ fly\[falcon\] ≐ 0.9792 = 0.9000 + 0.0792](#) [↵](#)
70. 第2の知識を次のように置き換えるべきです。あるものが隼のとき、それは真理値 1 で飛ぶ。 The 2nd knowledge should be replaced by: [If one is a falcon, it flies with truth value 1.](#) [↵ fly\[falcon\] = 1](#) [↵>助言受諾](#) [>accept the advice](#)