

本講義の目的

- ◆ 人工知能 (AI) 分野の基本的な「考え方」を学ぶ
- ◆ 記号論理に基づく知識表現と推論に習熟する
- ◆ Prolog 言語を道具として、推論が機械化できることを体得する
- ◆ 人工知能分野の重要な技術要素を習得する
 - 探索と制約充足
 - 計画生成と行動
 - 機械学習と知識獲得
- ◆ 計算知能論 A では記号的な AI を中心に学ぶ。計算知能論 B では非記号的な AI も扱う。

1

2007年4月9日

上田 和紀

早稲田大学理工学部CS学科

3

予備知識

- ◆ 記号的な AI で主要な役割を果たす道具立ては
一階述語論理 (cf. 情報数学)
 - 一階述語論理を用いた**知識の表現**
(knowledge representation)
 - 与えられた知識を用いた**推論**
(reasoning, inference)
 - 本講義でも復習します

4

計算知能／人工知能とは

- ◆ 「知能」を「構成的」に探求する学問
 - 科学：知能を構成的に理解する
 - 工学：知的機能を実装して役立てる
 - 「構成的」 ≒ 「計算機プログラムとして」
- ◆ 人工知能は多くの計算機科学者の夢
 - George Boole, Charles Babbage, Alan Turing, John von Neumann, ...
 - 多くの要素技術が実現、21世紀は統合の段階
 - 重要な副産物も多数
- ◆ 学ぶことによって頭が柔らかくなる分野

計算知能／人工知能とは

- ◆ 人工知能では主に、効率の良い解決手順（アルゴリズム）が確立していない知的作業を扱う。
 - したがって、**探索 (search)** が中心的な役割を果たす
 - アルゴリズムが確立したり特化したりしてゆくと、独立した研究分野として巣立ってゆく
 - 記号処理
 - 文字認識
 - 数式処理

人工知能はインキュベータ学問

- ◆ メカニズムの解明されていない知的作業が人工知能の研究対象
- ◆ 確立した関連分野は“のれん分け”
 - パターン認識（文字認識、音声認識、etc.）
 - 自然言語の理解
 - 知能ロボット (cf. )
- ◆ “spin-off” したテクノロジたち
 - マウス、オブジェクト指向、GUI、記号処理言語 (Lisp, Prolog), ハイパーテキスト、数式処理、etc.



<http://www.robocup.org/>

Prolog を学ぶ意義

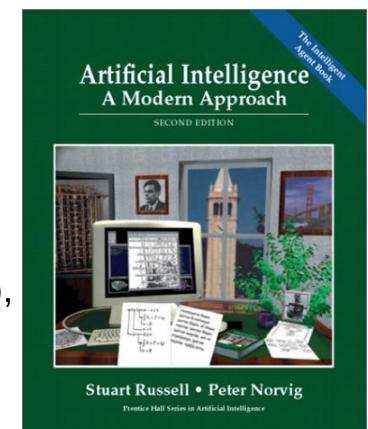
- ◆ 他のプログラミング言語と異なる考え方ふれる
- ◆ 推論が機械化できることを体得する
- ◆ 記号処理言語は**生産性が高い**
- ◆ **宣言型プログラミング**の体験は重要
- ◆ 制約プログラミング（超高級言語）への入口
- ◆ 関係データベースの本質を見るために
- ◆ XML関連技術の理解のために
- ◆ ...

人工知能の参考書 [1]

- ◆ 本によって内容構成がまったく異なる

- ◆ 何か一冊買うとすれば

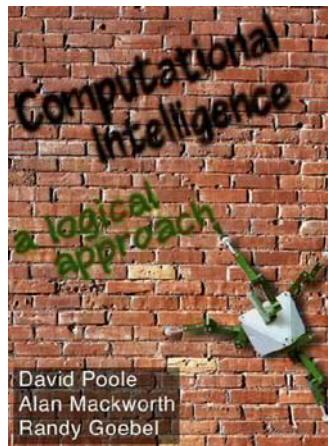
Stuart J. Russell and Peter Norvig, *Artificial Intelligence, A Modern Approach* (2nd ed.), Prentice-Hall, 2003.
(第1版は邦訳あり)



人工知能の参考書 [2]

◆ 筋が通っているのは

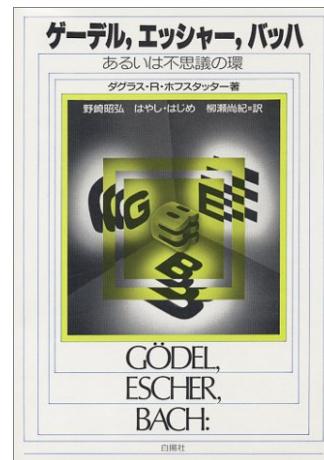
David Poole, Alan Mackworth, Randy Goebel, *Computational Intelligence, A Logical Approach*, Oxford Univ. Press, 1998.



参考文献

◆ 縦書きの読んで楽しい名著：

ダグラス・R・ホフスタッター：「*ゲーデル、エッシャー、バッハ*」，白揚社，1985。



参考文献

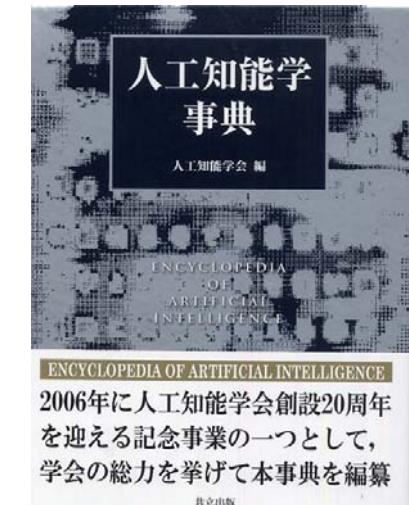
◆ Webで探すならば人工知能学会とAAAIの解説ページ

- <http://www.ai-gakkai.or.jp/jsai/>
- <http://www.aaai.org/AITopics/>
- 導入記事なら David L. Waltz, "Artificial Intelligence: Realizing the Ultimate Promises of Computing"
<http://www.cs.washington.edu/homes/lazowska/cra/ai.html>

参考文献

◆ 最新の事典：

人工知能学会編：「*人工知能学事典*」，共立出版，2005。



講義で使う Prolog システム

- ◆ 標準処理系 : SWI-Prolog (フリーソフトウェア)
 - <http://www.swi-prolog.org/> からダウンロードしてインストールしておく (簡単) .
- ◆ Unix および Windows 上で動く他の無料処理系としては, B-Prolog, XSB, GNU Prolog などが代表的.
 - 有料処理系では SICStus Prolog が最も高水準

計算知能／人工知能とは（再）

- ◆ 「知能」を「構成的」に探求する学問
 - 科学 : 知能を構成的に理解する
 - 工学 : 知的機能を実装して役立てる
 - 「構成的」 ≒ 「計算機プログラムとして」
- ◆ 人工知能は計算機科学者の夢
 - George Boole, Charles Babbage, Alan Turing, John von Neumann, ...
 - あるものは実現
 - 重要な副産物も多数
- ◆ 学ぶことによって頭が柔らかくなる分野

人工知能の 4 つの立場 [1]

人間らしく 思考する (cf. 認知科学)	合理的に 思考する (cf. 論理学)
人間らしく 行動する (cf. Turing Test)	合理的に 行動する (cf. 合理的エージェント)

計算機を通じた「知能の解明」の意義

- ◆ 計算機プログラムは豊かな表現手段
→ 思考の助けになる
- ◆ 構成的理解
→ 正確さ、高い説得性
- ◆ 定量化が可能
- ◆ 計算機は従順 (cf. 生物の利用)

人工知能の歴史

- ◆ “Artificial Intelligence” という用語はダートマス会議(1956)で初めて使われた
 - John McCarthy (1927~)
<http://www-formal.stanford.edu/jmc/history/>
 Lisp の設計 (1958) 者としても著名
- ◆ 人工知能年表は WWW 参照
 - <http://www.aaai.org/AITopics/bbhst.html>

人工知能によってできたことの例

- ◆ 自動車の運転 (CMU, RALPH プログラム, 1997)
 - Washington DC → San Diego 2849 miles のハンドル操作 (52 miles だけ人間が運転)



- http://www-2.cs.cmu.edu/afs/cs/usr/tjochem/www/nhaa/nhaa_home_page.html

人工知能によってできたことの例

- ◆ DARPA Grand Challenge
 - DARPA = 防衛高等研究計画局
- ◆ Grand Challenge 2004
 - 142マイルの砂漠コースの自動完走が目標
 - コース設定が厳しすぎて全車 7.4マイル以内でリタイア
- ◆ Grand Challenge 2005
 - 5チームが132マイル完走
- ◆ Grand Challenge 2007 (11月3日)
 - “Urban Challenge”: 市街地を交通ルールを守って事故を起こさずに走る



人工知能によってできたことの例

- ◆ Deep Blue (May 11, 1997) <http://www.chess.ibm.com/>



- ◆ 代数学の未解決問題の解決 (October 10, 1996)
 - <http://www.cs.unm.edu/~mccune/papers/robbins/>
- ◆ DNAからの遺伝子の発見
 - <http://www.tigr.org/softlab/>

「知的」とは何だろう？

- ◆ 電卓は我々よりも計算が速くて正確
 - しかしあまり知的には見えない
 - 計算力が重要なのはなさそう
- ◆ 「物知りな人」 vs. 「知的な人」
 - 知識量が重要なのもなさそう
- ◆ 重要そうなのは判断能力、思考能力、学習能力、発見能力、...
 - これらをコンピュータに持たせるには？



22

コンピュータに知的能力をもたせる

- ◆ どちらが難しい？

$$x^n - 1 = (x-1)(x^{n-1} + x^{n-2} + \dots + 1)$$

Q1. 数式の展開 vs. 因数分解

Q2. 式の微分 vs. 積分

$$\frac{df(x)}{dx} \text{ vs. } \int f(x) dx$$

- ◆ しかしこれらはできるようになってきた

- 積分をするプログラムは AI 草創期の主要成果
- 将棋もプロ一歩手前（奨励会 3 段）

形式知

- ◆ 作るのがはるかに難しいのは

- 子供の知的能力（例：コトバの学習）
- 動物の知的能力（相手の認識、運動神経）

暗黙知

「知的能力」の特徴 (Allen Newell)

1. Behave as an (almost) arbitrary function of the environment (universality)
2. Operate in real time.
3. Exhibit rational, i.e., effective adaptive behavior.
4. Use vast amount of knowledge about the environment.
5. Behave robustly in the face of error, the unexpected, and the unknown.

24

「知的能力」の特徴 (Allen Newell)

6. Use symbols (and abstractions).
7. Use (natural) language.
8. Exhibit self-awareness and a sense of self.
9. Learn from its environments.
10. Acquire its capabilities through development.
11. Arise through evolution.
12. Be realizable within the brain as a physical system.
13. Be realizable as a physical system.

➔これを実証するのが人工知能研究の目的

23

知性・知識・知覚

- ◆ 知性だけでは実世界の問題を扱うことができない。我々は相当な量の**知識**を使って生きている。
 - “Knowledge is power.” — E. A. Feigenbaum
 - cf. アルゴリズム vs. データ構造／データベース
- ◆ さらに、実世界とのインタラクションを実現するには、**知覚**と**行動能力**も備えなければならない
 - 知的エージェントへ
 - 不確実情報の扱いや制御工学もより深く関係してくる

二大隣接分野：認知科学と知識工学

- ◆ **認知科学** (cognitive science)
 - 「知的機能」の「科学的」研究
 - 学際領域（心理学、言語学、哲学、動物行動学、神経生理学、社会学、etc.）
- ◆ **知識工学** (knowledge engineering)
 - 実用的な知的システムの構築
 - 知識ベースの構築が中心課題 (cf. 知性)
 - **エキスパートシステム** (expert systems)
 - 注目、失望、再発展

Expert Systems

- ◆ “一般知能”は実現困難でも、分野を限定すれば、役立つ知的機能が実現できるはずだ
 - 役立つためには知識量が重要
- ◆ 具体例（1960's～）：
 - 解釈・予測（化合物や蛋白質の構造同定 (DENDRAL), 音声理解、株価予測等）
 - 診断（感染症の診断と療法選択 (MYCIN), 回路故障診断等）
 - 制御・監視（計算機オペレーション監視、医療監視）
 - 計画（分子生物学実験計画、列車ダイヤ作成等）
 - 設計・配置（機械設計、VLSIレイアウト等）

Expert Systems

- ◆ 特徴：**知識ベース**と**推論エンジン**の分離
 - なぜ分離が重要か？
 - 知識（ルール）の管理
 - 推論機能の汎用性、多様性（説明機能等）
- ◆ 問題点：知識獲得ボトルネック
 - 専門家の知識を聞き出して知識エンジニアが入力するのは大作業
 - **機械学習**機能が解決の糸口

機械学習とData Mining

- ◆ 実世界から得た大量のデータから法則性を発見する
- ◆ 応用例：
 - 遺伝子情報処理 (例：モチーフ発見)
 - セールスデータの解析
 - クレジットカードの与信 (cf. e-commerce)
 - 天体の識別
 - 機械の自動診断・自動運転
- ◆ 詳しくは講義後半で

Can Machines Think?

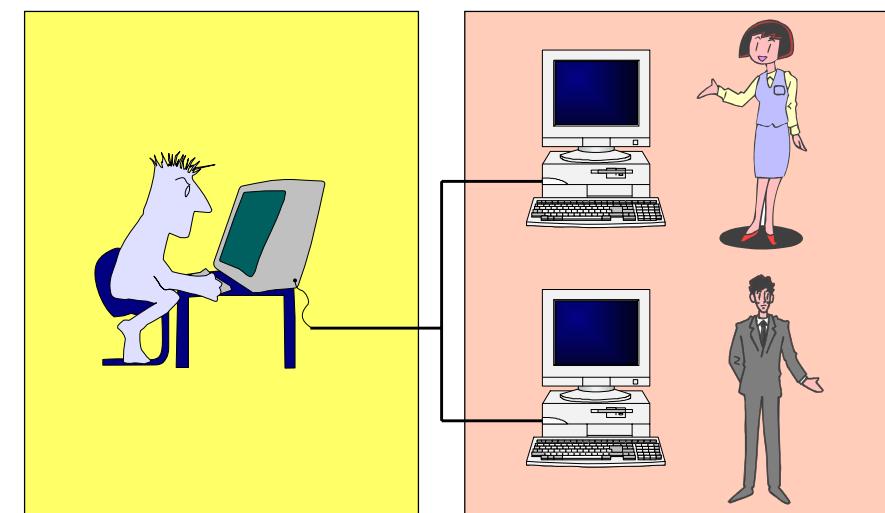
- ◆ 比較1:
 - “Can machines fly?”
 - “Yes, airplanes can fly!”
- ◆ 比較2:
 - “Can machines swim?”
 - “Yes, ships can swim!”

???

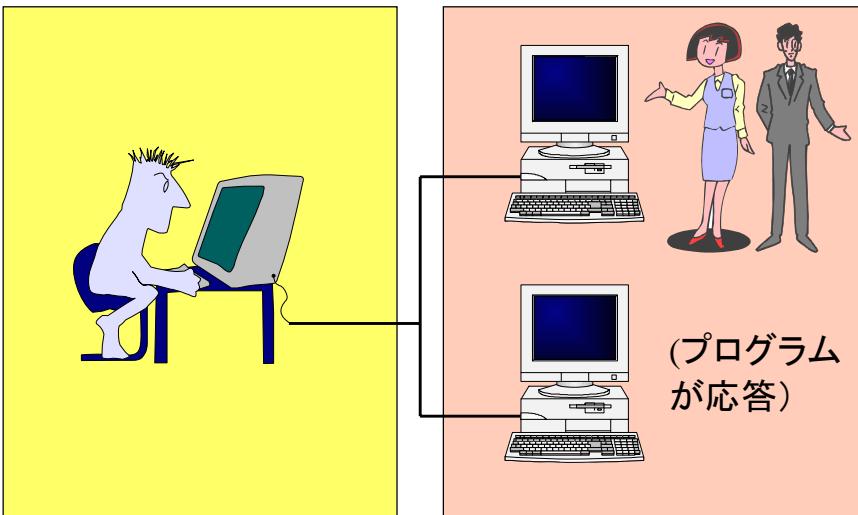
“Can Machines Think?” — Turing Test

- ◆ Turing の動機：上記の問い合わせ科学的な (well-defined な) ものにしたい
- ◆ 排除したい答の例：
 - 人間は一種の人造機械なのだから yes
 - “think” は人間固有の行為であるから no

Turing Test — Imitation Game



Turing Test – Imitation Game



Turing Test

- ◆ 原論文 “Computing machinery and intelligence” (MIND, vol. LIX, no. 236, pp. 433-60, 1950) のオンライン版は
<http://www.abelard.org/turpap/turpap.htm>
- ◆ The Alan Turing Home Page (Andrew Hodges 編) は <http://www.turing.org.uk/turing/>
- ◆ 計算機と会話する初期のプログラム ELIZA (1965) の精神分析医版 DOCTOR は Emacs 上で M-x doctor で実行可能

Turing Test への批判と擁護

- ◆ Turing test は非常に多くの哲学論争を呼んだ.
 - 思考の内部メカニズムを見ていない
 - 生身の人間の知性を論じるときにメカニズムを見ているか？
 - 簡単すぎる
 - 言語能力をちゃんと与えるのは大変なこと
 - 一面的である
 - 自然言語会話を通じて多様な能力が試せる

課題 1 — 期限：5月10日（木）

- 主張 1 :** 「コンピュータが知的なはずがない (P1). だって, プログラムされたことしかできない (Q1) のだから」
- Q1は正しいか？ Q1 は P1 を含意するか？
- 主張 2 :** 「人間が知的なはずがない (P2). だって, 遺伝子に組み込まれたことしかできない (Q2) のだから」
- Q2 は正しいか？ Q2 は P2 を含意するか？
- ◆ 以上に関する自分の意見をレポート用紙 1～2 枚にまとめて提出. **両主張の関係をよく分析して下さい.**