人工知能の基礎（サイエンス社，小林一郎著）章末問題解答

第 1 章演習問題解答

1. チューリングテストとは何か説明しなさい．
   機械が知能を持っているかを判別するために考案されたテスト．人が相手が見えない状況において対話を行ったとき，対話の相手が機械にも関わらず，人が相手を人間と勘違いしてしまったときに機械は「知能を持っている」と判断できるとするテスト．（詳細は，教科書 p.-2「チューリングテスト」の項目参照）

2. 哲学者のジョン＝サールは「中国語の部屋」と呼ばれる議論でチューリングテストの不完全さを指摘しているが，それはどのようなものか説明しなさい．
   中国語の受け答えを完璧に翻訳本があり，それを利用して部屋にいる人が中国語がわからないにも関わらず，中国語の質問に完璧に受け答えをできたとしても，その人は中国語を理解しているとは言えない．このことは，まるで人のように受け答えをできる機械があり，それがチューリングテストに合格したとしても機械に知能があるとは言えないことと同じになると指摘している．(詳細は，教科書 p.-2「チューリングテスト」の項目参照）

3. フレーム問題がなぜ人工知能を実現するために大きな問題となるのか説明しなさい．
   有限の情報処理能力しか持たない人工知能には，対象世界に存在するすべての問題には対処することはできないため．(詳細は，教科書 p.-4「フレーム問題」の項目参照）

第 2 章演習問題解答

1. 問題解決とはどのようなことを実現することか説明しなさい．
   状態空間において，初期状態から目標状態に至る経路（解に相当）を効率よく見つけ出すこと．(教科書 p.-9 参照）

2. 問題解決における「解」,「作用素」,「状態空間」とは何か説明しなさい．

   解： 初期状態から目標状態に至る経路のことを指す．

   作用素： ある状態から他の状態へ移行させる手段のことを指す．

   状態空間： 初期状態からすべての作用素を適用することにより到達可能なすべての状態とその経路の集合に相当する．

   （教科書 p.-9 参照）

3. 状態空間のタイプを挙げ，それぞれどのような特徴を持つか説明しなさい．

   (a) 問題がそのまま状態空間として表現されているタイプ
   迷路のように問題の見た目そのものが状態空間を表現している．

   (b) 作用素を適用するにつれ状態空間が形成されていくタイプ
   「8 パズル」のように作用素を適用することによって状態空間が形成されていく．

   (c) 制約を問題に含んでいるタイプ
   「宣教師と先住民問題」のように問題自体に制約があり，作用素を適用することによって状態空間が形成されていく．

（教科書 p.-10 参照）

4. 以下に示す迷路の状態を「分岐」または「行き止り」とし，それらに適当に番号を振り，問題の状態空間を表現する探索木をつくりなさい．
   解答は教科書の章末問題略解に掲載．そちらを参照してください．

5. 8 パズルの作用素を全て書き出しなさい．
   教科書 2.2.2 項を参照し，すべて（24 個の作用素）書き出してください．

第 3 章演習問題解答

1. 盲目的探索法，系統的探索法，発見的探索法について説明しなさい．
   3.1 節，3.2 節を参照し，解答せよ．

2. 縦型探索法，横型探索法，反復深化探索法について説明し，それぞれのアルゴリズムの違いを説明しなさい．
   3.1 節を参照し，解答せよ．

3. 下の迷路において，縦型探索法および横型探索法を用いたときの Start から Goal までの A から始まり Y で終わるそれぞれの探索経路を求め，探索の順番をノード（A から Y のアルファベットを指す）の上に付記しなさい．ただし，探索に迷ったときは，アルファベット順を優先するとする．
   教科書の章末問題略解を参照.

4. 山登り法とはどのような探索法か説明しなさい．
   3.2.1 項を参照し，解答せよ．

5. 最適探索と最良探索の違いを説明しなさい．
   最適探索においては，あらかじめ探索経路のコストがわかっているなどにより，目的とするものまでの最適な経路を発見できる．一方，最良探索においては，ヒューリスティック関数を用いて，最良と思われる経路を探索しながら目的とするものまでの経路を発見する．

6. A^* アルゴリズムとはどのような探索法か説明しなさい．
   3.2.4 項を参照し，解答せよ．

7. (3) における迷路を A^* アルゴリズムで解くとする．このとき，評価関数を $f'(p) = g(p) + h'(p)$ として，探索をおこなうとする．ここで，評価関数の各構成要素は以下のようになっている．

   - $f'(p)$ は Goal に到達するまでの予測コスト
   - $g(p)$ は A 点から p 点までの移動距離
   - $h'(p)$ は，迷路に壁がないと仮定したときの p 点から Y 点までの移動距離

   また，迷路中は A $\rightarrow$ G のように斜めに移動することはできないとする．

   このとき，以下の 2 つの問いに答えなさい．

   (a) なぜ，$h'(p)$ を上記のように「迷路に壁がないと仮定」しているのか説明しなさい．
   A^* アルゴリズムにおいては，評価関数において，$h'(p) \leq h(p)$ の関係が成り立っているとき必ず最適解が得られることが保証されているため，この場合，壁がないと仮定して $h'(p)$ を設定することでその条件を満たしている．

   (b) このときの探索経路を求め，探索の順番をノードの上に付記しなさい．

但し，p（小文字の p）は，迷路における場所を示す変数であり，迷路中の特定の場所を示す P（大文字の P）とは異なる．また，経路のコストとしては，距離を考え，１文字分の移動を距離 1 とする．また，探索に迷ったときはアルファベット順を優先するとする．

教科書の章末問題略解を参照.

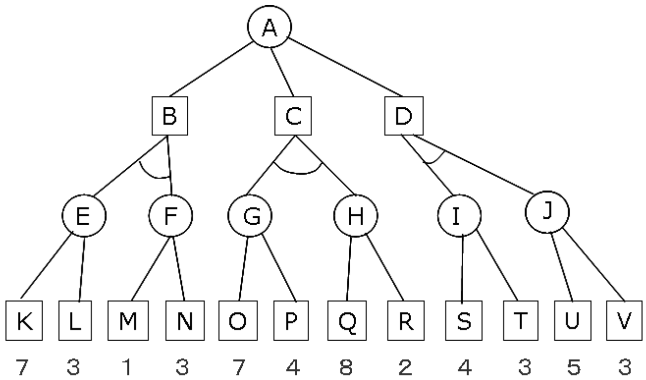
8. (3) および（7）の結果から縦型探索法，横型探索法，A^* アルゴリズムによる探索法の探索効率を比較しなさい.

   迷路のひとつの経路が深く入り組んでいる場合は，縦型探索は探索に時間がかかり，迷路の規模が大きくなると横型探索は時間がかかってしまう．それに比べて，A^* アルゴリズムは Goal までの予測コストが小さい方へ進むことができるため，探索木の余計なノードを探索することがなくなり，探索時間が短くなる.

第 4 章演習問題解答

1. 海外旅行に行くことを源問題として，それを実現するための副問題からなる AND/OR グラフを作成しなさい.
   図 4.4 を参考にし，解答せよ.
2. ハノイの塔において，円盤が 4 枚のとき円盤の移動回数は何回となるか答えなさい．また，そのときの円盤の移動の過程を示しなさい．$2^4 - 1 = 15$ 回
   移動の過程は各自考察し，解答せよ.
3. ゲーム木とはどのようなものか説明しなさい.
   ゲーム木は，2 人のプレイヤが交替で手を打ち，ゲームを進めていく遷移状態を木構造で表現したものであり，AND/OR グラフから構成される探索木である.
4. いくつかのマッチ棒を 3 つの山に分け，先手と後手の各プレーヤは，残っている山の内の 1 つから，1 本または 2 本のマッチ棒を交互に取り除くとする．手を進めていき，最後の 1 本を取った方が敗者となる．いま，各山に配置されているマッチ棒の数が n_1, n_2, n_3 であることを (n_1, n_2, n_3) と表わすとする．このとき，山は区別する必要がないため，探索木を書きやすいように $n_1 \geq n_2 \geq n_3$ として表示することとする．このとき，このゲームにおけるゲーム木をつくりなさい．ただし，初期配置を $(2, 2, 2)$ とする．また，探索木を書く際に，同じ組み合わせが出てきたらどちらか一方だけを書き進めればよいとする.

   教科書の章末問題略解を参照.
5. ミニ・マックス法とはどのような探索手法か説明しなさい.
   4.2.1 項を参考にし，解答せよ.
6. αβ法とはどのような探索手法か説明しなさい.
   4.2.2 項を参考にし，解答せよ.
7. 以下のゲーム木は，ある先手番の局面から 3 手先の局面の評価値を示している．○の局面は先手番，□の局面は後手番である．このとき，以下の問いに答えよ.



(a) ミニマックス法によりすべての盤面の評価値を決定し，盤面 A での先手の手を決定せよ．また，それにともない，ミニマックス法で決定される盤面のたどるパスを求めよ．
盤面の評価値は，図 1 に示す．パスは，$A \to C \to G \to O$ となる．

(b) アルファベータ法で探索し，枝狩りされる盤面を答えよ．β カットされるのは，R．α カットされるのは，U, V, J．

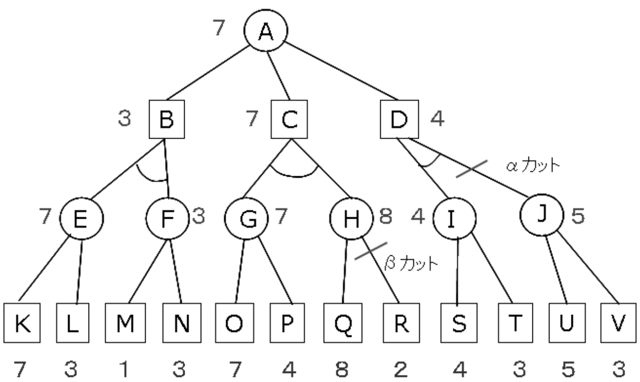


図 1: ミニマックス法による各盤面の評価値の付与および $\alpha\beta$ 法による枝狩り

第 5 章演習問題解答

1. 以下の命題論理を連言標準形に変換しなさい．

(a) $(p \to q) \land (\neg p \to \neg(q \lor r))$

$$\begin{aligned} &\equiv (\neg p \lor q) \land (\neg\neg p \lor \neg(q \lor r)) \\ &\equiv (\neg p \lor q) \land (p \lor \neg(q \lor r)) \\ &\equiv (\neg p \lor q) \land (p \lor \neg q) \land (p \lor \neg r) \end{aligned}$$

教科書，章末問題略解の方は「∧」を「∨」と書き間違えてしまい，連言標準形になっていません．申し訳ありません．

(b) $(q \to r) \land (p \lor \neg q) \land (\neg r \to \neg q)$

$$\equiv \quad (\neg p \lor r) \land (p \lor \neg q) \land (r \lor \neg q)$$

2. 以下の命題論理を選言標準形に変換しなさい.

1) $p \lor (q \land r) \to r \land q$
$\equiv \neg(p \lor (q \land r)) \lor (r \land q)$ （$\to$ の変形）
$\equiv \neg p \land (\neg(q \land r)) \lor (r \land q)$ （$\neg$）
$\equiv \neg p \land (\neg q \lor \neg r) \lor (r \land q)$ （$\neg$）
$\equiv (\neg p \land \neg q) \lor (\neg p \land \neg r) \lor (r \land q)$ （分配律）

2) $(p \land \neg q) \to (q \land (\neg p \lor q))$
$\equiv \neg(p \land \neg q) \lor (q \land (\neg p \lor q))$ （$\to$ の変形）
$\equiv \neg(p \land \neg q) \lor (q \land \neg p) \lor (q \land q)$ （分配律）
$\equiv \neg(p \land \neg q) \lor (q \land \neg p) \lor q$ （巾等律）
$\equiv \neg p \lor q \lor (q \land \neg p) \lor q$

3. 以下の論理式が恒真式になっていることを真理表，および，論理式の同値変換を用いて証明しなさい.

(a) $(A \to B) \to ((B \to C) \to (A \to C))$

- 真理表を使って証明

A	B	C	$A \to B$	$B \to C$	$A \to C$	$(B \to C) \to (A \to C)$	$(A \to B) \to ((B \to C) \to (A \to C))$
0	0	0	1	1	1	1	1
0	0	1	1	1	1	1	1
0	1	0	1	0	1	1	1
0	1	1	1	1	1	1	1
1	0	0	0	1	0	0	1
1	0	1	0	1	1	1	1
1	1	0	1	0	0	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1

- 論理式の同値変換をおこなって証明

$(A \to B) \to ((B \to C) \to (A \to C))$
$\equiv \neg(\neg A \lor B) \lor (\neg(\neg B \lor C) \lor (\neg A \lor C))$
$\equiv (A \land \neg B) \lor ((B \land \neg C) \lor (\neg A \lor C))$
$\equiv (A \land \neg B) \lor (((B \land \neg C) \lor \neg A) \lor ((B \land \neg C) \lor C))$
$\equiv ((A \land \neg B) \lor ((\neg(A \land \neg B) \land (\neg A \lor \neg C)) \lor ((B \lor C) \land (\neg C \lor C)))$
$\equiv (A \land \neg B) \lor ((\neg(A \land \neg B) \land (\neg A \lor \neg C)) \lor ((B \lor C) \land T))$
$\equiv ((A \land \neg B) \lor (\neg(A \land \neg B)) \land ((\neg A \lor \neg C) \lor (A \land \neg B)) \lor (B \lor C)$
$\equiv T \land ((A \land \neg B) \lor (\neg A \lor \neg C)) \lor (B \lor C)$
$\equiv (A \land \neg B) \lor (\neg A \lor \neg C) \lor (B \lor C)$
$\equiv (A \land \neg B) \lor (\neg A \lor B \lor \neg C \lor C)$
$\equiv (A \land \neg B) \lor (\neg A \lor B \lor T)$
$\equiv (A \land \neg B) \lor T \equiv T$

(b) $\neg A \to (A \to B)$

- 真理表を使って証明

A	B	$\neg A$	$A \to B$	$\neg A \to (A \to B)$
0	0	1	1	1
0	1	1	1	1
1	0	0	0	1
1	1	0	1	1

- 論理式の同値変換をおこなって証明

$\neg A \to (A \to B)$
$\equiv \neg(\neg A) \vee (\neg A \vee B)$
$\equiv A \vee (\neg A \vee B)$
$\equiv (A \vee \neg A) \vee B$
$\equiv T \vee B \equiv T$

(c) $(A \to B) \wedge (B \to C) \to (A \to C)$

- 真理表を使って証明

A	B	C	$A \to B$	$B \to C$	$A \to C$	$(A \to B) \wedge (B \to C)$	$(A \to B) \wedge ((B \to C) \to (A \to C))$
0	0	0	1	1	1	1	1
0	0	1	1	1	1	1	1
0	1	0	1	0	1	0	1
0	1	1	1	1	1	1	1
1	0	0	0	1	0	0	1
1	0	1	0	1	1	0	1
1	1	0	1	0	0	0	1
1	1	1	1	1	1	1	1

- 論理式の同値変換をおこなって証明

$(A \to B) \wedge (B \to C) \to (A \to C)$
$\equiv (\neg A \vee B) \wedge (\neg B \vee C) \to (\neg A \vee C)$
$\equiv \neg((\neg A \vee B) \wedge (\neg B \vee C)) \vee (\neg A \vee C)$
$\equiv ((A \wedge \neg B) \vee (B \wedge \neg C)) \vee (\neg A \vee C)$
$\equiv (((A \wedge \neg B) \vee B) \wedge ((A \wedge \neg B) \vee \neg C)) \vee (\neg A \vee C)$
$\equiv (((A \vee B) \wedge (\neg B \vee B)) \wedge ((A \vee \neg C) \wedge (\neg B \vee \neg C))) \vee (\neg A \vee C)$
$\equiv (((A \vee B) \wedge T) \wedge ((A \vee \neg C) \wedge (\neg B \vee \neg C))) \vee (\neg A \vee C)$
$\equiv ((A \vee B) \wedge (A \vee \neg C) \wedge (\neg B \vee \neg C)) \vee (\neg A \vee C)$
$\equiv ((A \vee B) \vee (\neg A \vee C)) \wedge ((A \vee \neg C) \vee (\neg A \vee C)) \wedge ((\neg B \vee \neg C) \vee (\neg A \vee C))$
$\equiv (A \vee \neg A \vee B \vee C) \wedge (A \vee \neg A \vee C \vee \neg C) \wedge (\neg A \vee \neg B \vee C \vee \neg C)$
$\equiv (T \vee B \vee C) \wedge (T \vee T) \wedge (\neg A \vee \neg B \vee T)$
$\equiv T \wedge T \wedge T \equiv T$

4. 形式的証明とはなにか説明しなさい.
   5.1.7 項を参考にし，解答せよ.

5. 以下の自然言語文を適当な述語を定義し，１階述語論理式によって表現しなさい.
   (a) お茶子は大学生である.（大学生（お茶子））
   (b) 人は 2 つ目を持つ.（$\forall x$(人 $(x) \to$ 目の数 (2))）
   (c) 怪我をした人は走れない.（$\forall x$(人 $(x) \wedge$ 怪我 $(x) \to$ 走る (x))）
   (d) 世界中の人が認めている賞がある.（$\exists y \forall x$(世の中人 $(x) \wedge$ 賞 $(y) \wedge$ 認めている (x, y))）

6. 以下の述語論理式を節形式に変換しなさい.

(a) $\forall x\exists y[P(x,y)\vee Q(y)]\to\forall x\forall z[P(x,z)\vee R(x,z)]$
$\equiv\neg\forall x\exists y[P(x,y)\vee Q(y)]\vee\forall x\forall z[P(x,z)\vee R(x,z)]$
$\equiv\exists x\forall y[\neg P(x,y)\wedge\neg Q(y)]\vee\forall x\forall z[P(x,z)\vee R(x,z)]$
$\equiv\exists x_1\forall x_2[\neg P(x_1,x_2)\wedge\neg Q(x_2)]\vee\forall x_3\forall x_4[P(x_3,x_4)\vee R(x_3,x_4)]$
$\equiv\exists x_1\forall x_2\forall x_3\forall x_4[(\neg P(x_1,x_2)\wedge\neg Q(x_2))\vee((P(x_3,x_4)\vee R(x_3,x_4)))]$
$\equiv\exists x_1\forall x_2\forall x_3\forall x_4[(\neg P(x_1,x_2)\vee P(x_3,x_4)\vee R(x_3,x_4))\wedge(\neg Q(x_2)\vee P(x_3,x_4)\vee R(x_3,x_4))]$

(b) $\neg((\forall x\exists yP(x,y)\wedge\forall x\forall y\forall z[P(x,z)\to Q(y,z)])\to\forall x\exists yQ(x,y))$
$\equiv\neg(\neg(\forall x\exists yP(x,y)\wedge\forall x\forall y\forall z[\neg P(x,z)\vee Q(y,z)])\vee\forall x\exists yQ(x,y))$
$\equiv\forall x\exists yP(x,y)\wedge\forall x\forall y\forall z[\neg P(x,z)\vee Q(y,z)])\wedge\exists x\forall yQ(x,y)$
$\equiv\forall x_1\exists x_2P(x_1,x_2)\wedge\forall x_3\forall x_4\forall x_5[\neg P(x_3,x_5)\vee Q(x_4,x_5)])\wedge\exists x_6\forall x_7[Q(x,y)]$
$\equiv\forall x_1\exists x_2\forall x_3\forall x_4\forall x_5\exists x_6\forall x_7[P(x_1,x_2)\wedge(\neg P(x_3,x_5)\vee Q(x_4,x_5)])\wedge\neg Q(x_6,x_7)]$

第 6 章演習問題解答

1. 導出原理とは何かをその目的およびアルゴリズムについて説明しなさい．
   6.2 節を参照し，解答せよ．

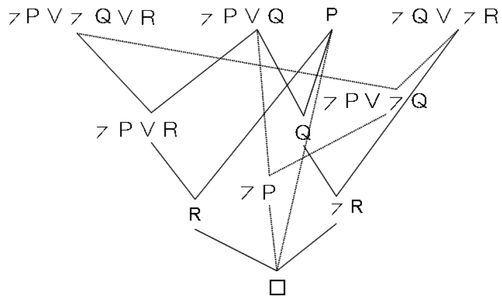
2. 次の述語論理式のスコーレム標準形を求め，節集合形式で表しなさい．

   (a) $\forall x\exists y[P(x)\to Q(x,y)]\wedge\neg(\forall x\exists y[P(x)\wedge\forall zR(z)])$
   $\equiv\forall x\exists y[\neg P(x)\vee Q(x,y)]\wedge\exists x\forall y[\neg P(x)\vee\exists z\neg R(z)]$
   $\Rightarrow\forall x_1[\neg P(x_1)\vee Q(x_1,f(x_1))]\wedge\forall y_1[\neg P(a)\vee\neg R(g(y_1))]$
   $\equiv\forall x_1\forall y_1([\neg P(x_1)\vee Q(x_1,f(x_1))]\wedge[\neg P(a)\vee\neg R(g(y_1))])$
   節集合表現：$\{\neg P(x_1)\vee Q(x_1,f(x_1)),\neg P(a)\vee\neg R(g(y_1))\}$
   教科書解答に上記，赤字で示した否定（¬）が抜けておりました．大変申し訳ありません．

   (b) $\forall x\exists y[P(x,y)\to Q(x)]\wedge\neg(\forall x\exists y[P(x,y)\wedge\forall zR(z)])$
   $\equiv\forall x\exists y[\neg P(x,y)\vee Q(x)]\wedge\exists x\forall y[\neg P(x,y)\vee\exists z\neg R(z)]$
   $\Rightarrow\forall x_1[\neg P(x_1,f(x_1))\vee Q(x_1)]\wedge\forall y_1[\neg P(a,y_1)\vee\neg R(g(y_1))]$
   $\equiv\forall x_1\forall y_1([\neg P(x_1,f(x_1))\vee Q(x_1)]\wedge[\neg P(a,y_1)\vee\neg R(g(y_1))])$
   節集合表現：$\{\neg P(x_1,f(x_1))\vee Q(x_1),\neg P(a,y_1)\vee\neg R(g(y_1))\}$
   教科書解答に上記，赤字で示した否定（¬）が抜けておりました．大変申し訳ありません．

   (c) $\forall x\exists y[P(x,y)\to Q(x)]\wedge\neg(\forall x\exists y[P(x,y)\to\forall zR(z)])$
   $\equiv\forall x\exists y[\neg P(x,y)\vee Q(x)]\wedge\exists x\forall y[P(x,y)\wedge\exists z\neg R(z)]$
   $\Rightarrow\forall x_1[\neg P(x_1,f(x_1))\vee Q(x_1)]\wedge\forall y_1[P(a,y_1)\wedge\neg R(g(y_1))]$
   $\equiv\forall x_1\forall y_1([\neg P(x_1,f(x_1))\vee Q(x_1)]\wedge[P(a,y_1)\wedge\neg R(g(y_1))])$
   教科書の解答が間違えておりました．大変申し訳ありません．
   （訂正前）
   節集合表現：$\{\neg P(x_1,f(x_1))\vee Q(x_1)),\neg P(a,y_1)\wedge R(g(y_1))\}$
   （訂正後）
   節集合表現：$\{\neg P(x_1,f(x_1))\vee Q(x_1),P(a,y_1),\neg R(g(y_1))\}$

3. 以下の節集合 C において単一化置換を施すことにより空節を導出しなさい．その際にどのような単一化置換を行ったのかがわかるように導出反駁木を用いて導出過程を示しなさい．
   節 $\{\neg P\vee\neg Q\vee R,\neg P\vee Q,P,\neg Q\vee\neg R\}$ から導出反駁木を用いて空節を導出すればよい．



4. 次の Prolog プログラムが与えられたときの実行過程を導出反駁木を用いて示しなさい.

プログラム：
親である $(x, y) \leftarrow$ 父である (x, y).
親である $(x, y) \leftarrow$ 母である (x, y).
祖父である $(x, z) \leftarrow$ 父である (x, y), 親である (y, z).
父である (太郎, お茶子) $\leftarrow$.
母である (お茶子, 花子) $\leftarrow$.

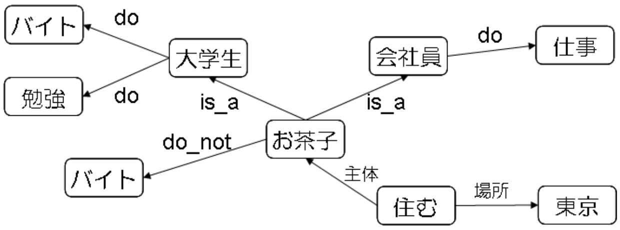
質問：
$\leftarrow$ 祖父である $(x,$ 花子$)$.

教科書章末問題略解を参照.

第 7 章演習問題解答

1. 手続き的知識と宣言的知識とはどのようなものかそれぞれ説明しなさい.
   7.1 節を参照し，解答せよ.

2. 「お茶子は東京に住む」,「お茶子は大学生である」,「お茶子は会社員である」,「お茶子はバイトをしない」,「大学生はバイトをする」,「大学生は勉強をする」,「会社員は仕事をする」の知識をお茶子をひとつの概念として（図 7.3(a) の「太郎」の概念のようにする），意味ネットワークで示しなさい. ただし，属性として,「主体」,「場所」,「is_a」,「do」,「do_not」が使えるとする.
   お茶子を何かの概念のインスタンスと考えると（例えば「人間」という概念），お茶子は複数のロール（役割：つまり，大学生と会社員）を持っている．ロールを考慮した意味ネットワークの記述も可能であるが，本書ではロールの概念についての詳細は扱っていないため，以下に示すように，お茶子を直接，概念として扱って意味ネットワークを記述する.



3. (2) において，(a) お茶子は大学生であることから大学生の性質を受け継ぐことができる．このことを何というか答えなさい．(b) また，お茶子は大学生であると同時に会社員でもある．このことから会社員としての性質も受け継ぐことができる．このように二つ以上の概念の性質を受け継ぐことを何というか答えなさい．(c) また，お茶子は大学生であるが，バイトをしない．このように性質を受け継がないことを何というか答えなさい.

(a)　継承（性質（属性）の継承）

(b) 多重継承

(c) 例外

4. 意味ネットワークの利点と欠点について述べなさい．
   7.2.3 項における「意味ネットワークの特徴」の項目を参照し，解答せよ．

5. 人工知能におけるオントロジー技術の目的は何か説明しなさい．また，それにより何を提供しようとしているのか説明しなさい．
   意味ネットワークを記述する際にその定義があいまいである，定義属性や性質属性を明確に体系化し，構築した知識を他のシステムにおいても相互運用可能に知識の再利用と共有を目的とした，知識記述のための枠組みを提供することを目的としている．また，複数のさまざまなシステムがオントロジーによって記述されることによりそれぞれの機能を客観的に観察，比較することが可能となる．オントロジーはすべてのシステムにおいて，知識の共有化，相互運用を行う基盤技術を提供しようとしている．

6. 知識記述におけるオントロジーの利点について説明しなさい．
   7.3.2 項を参照し，解答せよ．

7. 記述対象の違いによるオントロジーの種類を挙げ，それぞれについて説明しなさい．
   7.3.3 項を参照し，解答せよ．

8. 記述力の違いによるオントロジーの種類を挙げ，それぞれについて説明しなさい．
   7.3.3 項を参照し，解答せよ．

9. 意味ネットワークとオントロジーの違いについて説明しなさい．
   7.3.5 項を参照し，解答せよ．

第 8 章演習問題解答

1. 次の意味ネットワークをフレームを用いて表現しなさい．
   教科書の章末問題略解を参照.

2. 8.1 節を参照し，解答せよ．

3. 8.2 節を参照し，解答せよ．

4. 8.3 節を参照し，解答せよ．

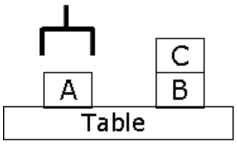
5. 8.3.1 項を参照し，解答せよ．

第 9 章演習問題解答

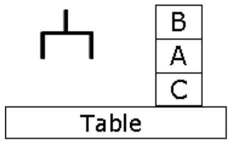
1. プロダクションシステムの基本構成を示し，各部について説明しなさい．
   図 9.1 を基にし，9.1 節における説明を参照し，解答せよ．

2. 競合解消にはどのようなものがあり，どのような機能を持っているか答えなさい．
   9.1.3 項における「競合解消」の項目を参照し，解答せよ．

3. 前向き推論と後ろ向き推論について説明しなさい．
   9.3 節を参照し，解答せよ．



(a)



(C)

4. 下図のように机の上に積み木が置かれている．積木を状態 (a) から状態 (c) にするときのワーキングメモリの状態変化を書き出しなさい．

   教科書，章末問題略解を参照．

第 10 章演習問題解答

1. ファジィ集合とクリスプ集合の違いについて説明しなさい．
   クリスプ集合は，特性関数が 1 または 0 の 2 値をとるの対して，ファジィ集合は，[0,1] の連続値をとる．

2. 適当なファジィ集合を設定し，離散的表現方法，連続的表現方法を用いて表しなさい．
   例えば，台を 1 月から 12 月としたときの「夏」を表すファジィ集合は，以下のように表現される．
   「夏」のファジィ集合=0.0/1 月+0.0/2 月+0.0/3 月+0.0/4 月+0.2/5 月+0.5/6 月+0.8/7 月+1.0/8 月+0.8/9 月+0.2/10 月+0.0/11 月+0.0/12 月

   また，$\tilde{A} =$「5 にほぼ等しい実数」を連続的表現方法で表すと以下のようになる．

   $$\tilde{A} = \int_X e^{-|x-5|}/x$$

3. ファジィ集合とクリスプ集合の排中律と矛盾律について，その違いについて説明しなさい．
   $\tilde{A}$ をファジィ集合，および $\tilde{A}^c$ をその補集合とするとき，$\tilde{A} \cup \tilde{A}^c$ はクリスプ集合のように全体集合にはならず，図 10.5 に示すように，それぞれのファジィ集合のメンバーシップ関数の最大値をもつ集合となる．また，矛盾律は $\tilde{A} \cap \tilde{A}^c$ はクリスプ集合のように空集合にはならず，図 10.6 に示すように，それぞれのファジィ集合のメンバーシップ関数の最小値をもつ集合となる．

4. アクセルペダルの踏込みと車の速度の関係を表すファジィ推論規則を作りなさい．

   アクセルペダルを強く踏むと車は早く走る．

   アクセルペダルを普通に踏むと車は普通に走る．

   アクセルペダルを弱く踏むと車はゆっくり走る．

5. 式（10.26）の条件付確率から式（10.29）で表されるベイズの定理を導きなさい．
   10.2.1 項を参照し，解答せよ．

6. ベイジアンネットワークとは何か説明しなさい．
   10.2.2 項を参照し，解答せよ．

7. 式（10.34）から式（10.38）を導きなさい．
   式（10.34）から式（10.38）への式の展開を参照し，解答せよ．

第 11 章演習問題解答

1. 「教師あり学習」,「教師なし学習」,「強化学習」とはそれぞれどのようなものか説明しなさい.
   11.1 節を参照し，解答せよ.

2. 候補消去アルゴリズムにおいて，正例と負例によって行う処理の内容について説明するとともに，なぜそのような処理を行うと概念学習を可能にするのかについても説明しなさい.
   正例により，学習対象が持つ特性を学習し，負例によって学習対象が持たない特性を学習する．学習対象となる概念は，概念の特性を表す属性の値が，必ず，最も一般化されたものと最も特殊化されたものの間に存在する．このことを利用し，最も一般化された概念からは特殊化を行うことにより，また，最も特殊化された概念からは一般化を行うことにより，学習対象となる概念の正例と負例によって属性の値が特定されるものを発見することにより概念学習を可能にする.

3. 下表において,「日本車」の概念を候補消去アルゴリズムを使って求めた際の学習結果を示しなさい.

	属性			
事例	排気量	燃費	サイズ	分類
車 1	中	良	小	日本車
車 2	大	中	大	アメリカ車
車 3	中	良	大	日本車
車 4	大	中	大	ドイツ車

   ただし，排気量に関してとりうる値は，{ 大，中，小 }，燃費は，{ 良，中，悪 }，サイズは，{ 大，小 } とする.

表 1: 候補消去アルゴリズムによる「日本車」概念学習の過程

処理過程	観測事例	概念仮説 G，S の状態遷移
1	初期状態	$G\{< *, *, * >\}$ $S\{< \phi, \phi, \phi >\}$
2	**正例** 日本車 < 中，良，小 >	$G\{< *, *, * >\}$ S{< 中，良，小 >}
3	**負例** アメリカ車 < 大，中，大 >	G{< 中, ∗ ,∗ >，< ∗，良,∗ >，< ∗ , ∗，小 >} S{< 中，良，小 >}
4	**正例** 日本車 < 中，良，大 >	G{< 中, ∗ ,∗ > , < ∗，良,∗ >} S{< 中，良,∗ >}
5	**負例** ドイツ車 < 大，中，大 >	G{< 中，良,∗ > , < ∗，良，小 >} S{< 中，良,∗ >}
	仮説概念 S の要素は単一要素であり，仮説概念 G の要素の一つと一致する．それを目標概念と判断する.	

   「日本車」の概念は以下のようになる.

排気量	：	中
燃費	：	良
サイズ	：	∗

4. ID3 とはどのような学習法か説明しなさい.
   与えられたデータ集合から概念分類された決定木を自動で生成する手法．詳細は，11.3 節における説明を参照し，解答せよ.

5. いま，以下のような車の総合評価に関して観測されたデータ集合が与えられたとする．このとき，ID3 に基づき，各属性に対する情報利得を求め，より単純な決定木となりうるものを求めなさい．

事例	内装	燃費	排気量	製造会社	クラス
1	悪	良	小	S 社	高性能
2	良	悪	小	D 社	低性能
3	普	悪	小	T 社	低性能
4	悪	良	小	H 社	低性能
5	良	良	大	N 社	高性能
6	悪	悪	小	N 社	低性能
7	良	悪	大	M 社	高性能
8	良	悪	大	T 社	高性能
9	普	悪	小	H 社	低性能
10	良	良	小	T 社	高性能

   教科書，章末問題略解を参照．

6. 強化学習において，状態価値関数と行動価値関数のそれぞれについて説明しなさい．
   11.4 節，p.135 を参照し，解答せよ．

7. Q 学習とはどの様な学習か説明しなさい．
   11.4.1 項を参照し，解答せよ．

8. Q 値を求める以下の式がどのように導かれるのか説明しなさい．
   $Q(s_t, a_t) \leftarrow (1-\alpha)Q(s_t, a_t) + \alpha(r_{t+1} + \gamma \max_{a_{t+1} \in A} Q(s_{t+1}, a_{t+1}))$

   図 11.6 に示される関係から導かれる．詳細は，11.4.1 項における説明を参照し，解答せよ．

第 12 章演習問題解答

1. ニューラルネットワークにおけるニューロンのモデルを図示しなさい．
   図 12.2 を参照し，解答せよ．

2. ニューラルネットワークの基本的な 2 つの構造を挙げなさい．
   階層型ネットワーク，相互結合型ネットワーク

3. パーセプトロンの特徴を挙げなさい．
   12.2.1 項における「パーセプトロンの特徴」の項目を参照し，解答せよ．

4. パーセプトロンにおける，誤り訂正型の学習によって結合荷重がどのように更新されるのかについて説明しなさい．
   12.2.1 項における式（12.5）が成り立つことを示すことにより，解答せよ．

5. バックプロパゲーションアルゴリズムの基本学習則となるデルタルールについて説明しなさい．
   階層型ネットワークモデルにおいて，中間層と出力層の 2 層間での結合荷重の修正の基本量．詳細な説明は，12.2.3 項を参照し，解答せよ．

6. 一般化デルタルールについて説明しなさい．
   デルタルールを中間層間の結合荷重更新には適用できるように一般化したもの．詳細な説明は，12.2.3 項を参照し，解答せよ．

7. バックプロパゲーションネットワークの特徴を挙げなさい．
   p.146 における「バックプロパゲーションネットワークの特徴」の項目を参照し，解答せよ．

8. ホップフィールドネットワークの特徴を挙げなさい．
ホップフィールドネットワークは，相互結合型ネットワークで構成され，エネルギー関数を導入することにより，ネットワーク全体の状態を判別できるようにしている．ネットワーク構造にはフィードバック・ループが含まれているため，状態変化を繰り返す内に，ネットワークは与えられた初期状態に依存して，ある安定な平衡状態に達する．この性質を利用して，ネットワークの平行状態をある想起したいパターンの記憶として設定することにより，入力された情報からその情報を想起させる連想記憶のような機能を持つことができる．(12.3.1 節を参照し，解答せよ.)

9. ホップフィールドネットワークがもつ連想記憶を行列計算を用いて確認しなさい．
p.151 における「連想記憶の行列計算」に説明されている式（12.31）から式（12.37）を参考にして，確認せよ．

例として，いま，以下に示す行列 A を記憶させたいパターンとして，ホップフィールドネットワークのモデルを構築すると，

$$A = \begin{bmatrix} 1 \\ -1 \\ -1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$W_A = AA^T = \begin{bmatrix} 1 \\ -1 \\ -1 \\ 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & -1 & -1 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & -1 & -1 & 1 \\ -1 & 1 & 1 & -1 \\ -1 & 1 & 1 & -1 \\ -1 & -1 & -1 & 1 \end{bmatrix}$$

次に，対角成分が 0 であることより，行列 W_A は以下のようになる．

$$W_A = \begin{bmatrix} 0 & -1 & -1 & 1 \\ -1 & 0 & 1 & -1 \\ -1 & 1 & 0 & -1 \\ -1 & -1 & -1 & 0 \end{bmatrix}$$

これにより，行列 A のパターンを記憶したホップフィールドネットワークのモデルが構成された．

ここで，このモデルに対して，行列 A のパターンに近い情報として，行列 A の第 2 成分を -1 から 1 に変更した行列 A' を入力情報として与える．この際，想起される出力を Y とし，$sgn(.)$ を 0 以上の値をとる時，1 を出力し，0 より小さい値をとる時，-1 を出力する関数とすると，

$$Y = sgn(WA') = sgn\left(\begin{bmatrix} 0 & -1 & -1 & 1 \\ -1 & 0 & 1 & -1 \\ -1 & 1 & 0 & -1 \\ -1 & -1 & -1 & 0 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ -1 \\ 1 \end{bmatrix}\right) = sgn\left(\begin{bmatrix} 1 \\ -3 \\ -1 \\ 1 \end{bmatrix}\right) = \begin{bmatrix} 1 \\ -1 \\ -1 \\ 1 \end{bmatrix} = A$$

となり，パターン A' からパターン A が想起されていることが確認できる．

10. ボルツマンマシンで利用される，焼きなまし法とはどのような目的のために用いられるか説明しなさい．

温度パラメータ T をエネルギー関数の中に導入することによって，ホップフィールドネットワークのようにエネルギー関数が減少方向にしか動作しないようになるのを避ける．初期状態で高温でネットワークを稼動させ，安定状態に収束する方向に向かったら温度を徐々に下げていくことにより，局所解に陥らないようにし，最適解を発見できる可能性を増やすために用いられる．

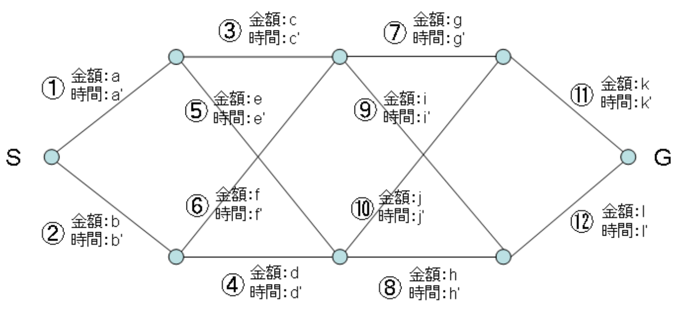
第 13 章演習問題解答

1. GA はどのような問題に適用されるか説明しなさい．
例えば，組み合わせ問題において，最適解を見つけるには NP 完全問題になってしまい実時間内に解が見つからないようなときに，実時間内に最適解の近似解を見つける際などに使用される．

2. GA のアルゴリズムについて説明しなさい．
問題を遺伝子型にコーディングし，ランダム関数を用いて初期集団（親遺伝子）を発生させる．同時に初期集団の中においてエリート遺伝子を一つ確保しておく．次に世代のエリートを評価し，そのエリートの適応度が評価関数（ナップサック問題の場合は，詰め込んだ荷物における価値となるが，価値がどれだけになるかわからないので実際は世代数で終了させている.）を満足する場合は処理を終了し，得られたエリートの適応度をその問題の GA による解とする．満足しない場合は，次の世代の計算を行い，親遺伝子から子遺伝子を交叉により発生させる．交叉をした後に突然変異率で選ばれた遺伝子に突然変異を施し，最終的な子遺伝子の世代（新たな親遺伝子の世代）とする．そして，その世代のエリートの適応度を評価することにより終了条件が満たされるかどうかを調べる．これを繰り返す.（13.3 節における「GA の処理の流れ」の項目を参照し，解答せよ.）

3. GA のアルゴリズムにおいて突然変異の役割を説明しなさい．
親遺伝子の性質だけを受け継いでいると子遺伝子に多様性が欠如する．それを避けるために，交叉後に突然変異を起こし，出現する遺伝子に偏りが生じるのを防ぐ.（13.3 節における「突然変異」の項目を参照し，解答せよ.）

4. 組み合わせ最適化によって問題解決ができる例を挙げ，遺伝子へのコーディングを示しなさい．
通学経路の最適解を求める，など．金額と時間の両方とも制約条件とみなすことができる．
いま，以下の図に示すように S 地点から G 地点まで行く際の所要時間と費用が示されているとする．



経路番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
金額	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l
時間	a’	b’	c’	d’	e’	f’	g’	h’	i’	j’	k’	l’

このとき，以下のような問題設定が可能と考えられる．

- 所要時間 T の制約の下，金額 C を最小にする．

– 目的関数：

$$\min_{x_i} C = \sum_{i=1}^{12} c_i x_i$$

– 制約式：

$$\sum_{i=1}^{12} t_i x_i \le T$$
$$x_i \in \{0,1\}$$

- 金額 C の制約の下，所要時間 T を最小にする．
  – 目的関数：

$$\min_{x_i} T = \sum_{i=1}^{12} t_i x_i$$

  – 制約式：

$$\sum_{i=1}^{12} c_i x_i \le C$$
$$x_i \in \{0,1\}$$

このときのコーディングの例として，12 個の経路に対して，選択される際に「1」を割り当て，選択されない際には「0」を割り当てるなどをして，遺伝子座 12 個に対して，1 または 0 のバイナリのコーディングを行うなどする．

5. 突然変異率の大小の値によって，交叉にはどのような影響がでるかを説明しなさい．
突然変異率が小さいと子遺伝子が親の遺伝子の性質を受け継ぐ傾向が強くなり，解の探索に多様性を失い，局所解に陥る可能性が高くなる．一方，突然変異率が大きいと解に近づいた良い遺伝子を破壊する可能性が高くなる．

第 14 章演習問題解答

1. エージェントの振る舞いの特徴を挙げ，それぞれについて説明しなさい．
14.1 項を参照し，解答せよ．

2. インタフェースエージェントおよびマルチエージェントシステムとはどのようなシステムかそれぞれ説明しなさい．14.2.1 項および 14.2.2 項を参照し，それぞれ解答せよ．

3. 契約ネットワークプロトコルとは何か説明しなさい．また，それを用いた処理にはどのようなものがあるか挙げ，それぞれについて説明しなさい．
14.2.2 項を参照し，解答せよ．

4. エージェント技術による相互作用性（interoperability）とはどのようなものか説明しなさい．
p-176 における,「相互運用性」の項目を参照し，解答せよ．

5. エージェントアーキテクチュアにおいてファシリテータの果たす役割について説明しなさい．
14.3.1 項におけるファシリテータの説明を参照し，解答せよ．

第 15 章演習問題解答

1. 自然言語処理において，形態素解析，構文解析，意味解析とはどのような解析であるかそれぞれ答えなさい．
   形態素解析とは，文を形態素に分割し，品詞を判別する解析．構文解析とは，形態素の係り受けの関係を判別し，木構造として表現する解析．意味解析とは，構文解析によって得られる複数の構文木の可能性を特定し，深層格と呼ばれる意味的な役割を各語に割りふる操作を指す.（15.2 節，15.3 節および 15.4 節を参照し，解答せよ.）

2. 形態素解析における最長一致法とはなにか答えなさい．
   p.183 における「ヒューリスティックを用いた手法」における最長一致法の項目を参照し，解答せよ．

3. n-gram とは何か答えなさい．また，bi-gram，tri-gram とは何かそれぞれ答えなさい．
   p.184 に示す,「統計的言語モデルを用いた手法」を参照し，解答せよ．

4. 「文が単語列 $W = w_1, \cdots, w_n$，品詞列 $T = t_1, \cdots, t_n$ から構成されているものとすると，形態素解析は単語列と品詞列の同時確率 $P(W,T)$ を最大化する品詞列 $\hat{T}$ を求める問題に帰着される」の意味を説明しなさい．
   形態素解析は，文の品詞列を正しく求める操作に相当するため，単語列の共起の確率とその品詞列の共起の確率の同時が高くなるような品詞列を求める作業に相当するということを意味する．

5. 文脈自由文法における「書き換え規則」,「非終端記号」,「終端記号」について説明しなさい．
   15.3.1 項を参照し，解答せよ．

6. 15.3.1 項に示される文脈自由文法を用いて「太郎は花子に花をあげる」をトップダウン法を用いて構文解析の過程を示しなさい．

処理手順	**適用規則**	**規則内容**	**解析過程**	**状態**
1	規則 1	文 → 後置詞句 後置詞句 動詞	太郎 は 花子 に 花 を あげる	
2	規則 3	文 → 名詞 助詞 後置詞句 動詞	太郎 は 花子 に 花 を あげる	成功
3	規則 3	文 → 名詞 助詞 名詞 助詞 動詞	太郎 は 花子 に 花 を あげる	成功
4	動詞	文 → 名詞 助詞 名詞 助詞 $\boxed{\text{動詞}}$	太郎は 花子 に $\boxed{\text{花}}$ を あげる	失敗
バックトラックにより処理手順 3 において規則 3 ではなく規則 4 を適用し探索を進める．				
5	規則 4	文 → 名詞 助詞 名詞句 助詞 動詞	太郎 は 花子 に 花 を あげる	成功
6	規則 5	文 → 名詞 助詞 後置詞句 名詞 助詞 動詞	太郎 は 花子 に 花 を あげる	成功
7	規則 3	文 → 名詞 助詞 名詞 助詞 名詞 助詞 動詞	太郎 は 花子 に 花 を あげる	成功
8	動詞	文 → 名詞 助詞 名詞 助詞 名詞 助詞 動詞	太郎 は 花子 に 花 を あげる	成功

7. 「お茶子は太郎から花をもらう」: 動詞「もらう」から動作主格として「お茶子」，源泉格として「太郎」，対象格として「花」を持つ関係として表現される．
   お茶子は本を買う」: 動詞「買う」から動作主格として「お茶子」，対象格として「花」を持つ関係として表現される.（表現されたものは教科書の章末問題略解を参照）

8. 15.4.2 項を参照し，解答せよ．