

# 例題で学ぶ 知能情報入門

工学博士 大堀 隆文  
博士(工学) 木下 正博 共著  
博士(工学) 西川 孝二

コロナ社

# ま え が き

情報教育、ロボット教育を実施する大学においては、コンピュータによる知能の実現、すなわち知能情報の技術を取得することは非常に重要であり、全員が最低限の能力や技量を身に付けなければならない。しかし、知能情報の技術は一見難しく見え、特に文系学生は数字や数式の羅列により勉強意欲が消失する傾向にある。すなわち、理系の学生も含め、どんな教え方をしても学生本人のモチベーションがなければ、知能情報の知識を習得することはできない。

ここで重要な要素は、初めて知能情報に接する学生が興味やおもしろさを継続して感じ、学習への意欲を保持できるか否かにある。しかしながら、学生の知能情報学習へのモチベーションを保つだけでなく、さらにより興味を湧き立たせる例題や課題を用意することは難しい。これまで知能情報の教材を工夫し学生のモチベーションを保ついろいろな方法が試みられているが、数値が中心の数学的な例題や課題が多く、「遊び」が少なく学習意欲を継続することは難しかった。

本書では、学生のモチベーションを保ちながら知能情報の基礎を習得することを目的として、学生の興味を引きそうな例題や課題を開発した。すなわち、数学が苦手な学生、特に文科系の学生にはハードルの高い数学的な課題を極力減らし、最小限の数学からなる身近な話題を例・演習とした。

本書は以下の1～5章と付録で構成される。1章では、知能情報入門として、知能をコンピュータで実現する意義について述べる。2章では、さまざまな知能情報システムを構築する基礎となる複雑系について述べる。複雑系を世に出現させた理論である「カオス」、新しい数学の世界を開きアートにも多く

使われている「フラクタル」、人工生命の研究の基礎となった「セルオートマトン」について学習する。3～5章は知能情報システムの代表例を示す。3章では、知能情報に学習と最適化の面で新しい風を吹き込んだ「ニューラルネット」、4章では、学習原理による一見解けそうもない問題を解いてしまう「強化学習」、5章では、生物の遺伝を巧みにアルゴリズム化して複雑な問題を解く「遺伝的アルゴリズム」を学習する。最後に付録では、本書で扱う知能情報の例や演習を解くのに必要な表計算 Excel、プログラミング Java について触れる。

本書は大学等の講義において使用できるように、各章において例と演習を用意している。例は、実際に Excel または Java を用いて式またはプログラムを入力してみることで結果を確認することができる。また演習の解答例は Web ページからダウンロードことができ、自分で作成した Excel の表や Java のプログラムと比較し学習することができる (p.43 参照)。是非本書を読んで、1 人でも知能情報が好きな学生が現れることを願ってまえがきとする。

最後に、われわれをいつも陰からサポートしてくれている妻の大堀真保子、木下倫子、西川明子に最大の感謝の意を表したい。彼女らの支えがなければこのテキストを完成することはできなかっただろう。そして、本書の企画から完成まで、さまざまな面でご助力いただいたコロナ社の関係者の皆様に、改めて感謝申し上げます。

2015 年 6 月

著者を代表して 大堀隆文

#### 執筆分担

---

1, 4 章	木下 正博
2, 5 章	西川 孝二
3 章, 付録	大堀 隆文

---

# 目 次

## 1. 知能情報入門

1.1 知 能 と は .....	1
1.2 人間の知能と機械の知能 .....	3
1.3 人 工 知 能 .....	5
1.4 問題解決と探索 .....	6
1.4.1 問 題 の 表 現 .....	7
1.4.2 状態空間による表現 .....	15
1.4.3 探 索 .....	18
1.4.4 発見的探索 .....	24
1.4.5 最適化問題 .....	24
1.5 プロダクションシステム .....	25
1.6 意味ネットワークとフレーム .....	27
1.7 知識の表現 .....	28
1.7.1 命 題 論 理 .....	31
1.7.2 述 語 論 理 .....	34
1.8 エージェント技術 .....	37
1.8.1 エージェント .....	37
1.8.2 環 境 .....	39
1.9 演 習 .....	41

## 2. 複雑系入門

2.1 複雑系とは .....	44
-----------------	----

2.2	カ オ ス .....	45
2.3	フ ラ ク タ ル .....	48
2.4	セルオートマトン .....	51
2.5	演 習 .....	54

### 3. ニューラルネット入門

3.1	ニューロンの基本構造 .....	64
3.2	ニューロンのモデル化 .....	66
3.3	ニューロンによる論理関数の実現 .....	69
3.4	パーセプトロンによる AND 関数の学習 .....	76
3.5	パーセプトロンによる TCLX 文字認識 .....	84
3.6	Java によるパーセプトロンのアルファベット認識 .....	87
3.7	演 習 .....	95

### 4. 強化学習入門

4.1	強化学習概論 .....	106
4.2	強化学習モデル .....	109
4.3	エージェントの方策と状態価値関数 .....	111
4.4	強化学習の方法論 .....	112
4.4.1	TD 学 習 .....	112
4.4.2	TD(0)による TD 学習の実装 .....	113
4.4.3	Q 学 習 .....	122
4.5	演 習 .....	135

### 5. 遺伝的アルゴリズム入門

5.1	遺伝的アルゴリズムの原理 .....	140
5.2	遺伝的アルゴリズムの流れ .....	141
5.3	遺伝的アルゴリズムによる簡単関数の最小化 .....	143

5.4 遺伝的アルゴリズムによるナップサック問題の解法 .....	150
5.5 演 習 .....	158
<b>付 録</b>	
A1. Excel 編 .....	160
A1.1 Excelの基本 160	
A1.2 Excelのグラフ表示 165	
A1.3 Excelの関数 167	
A2. Java 編 .....	169
A2.1 判断文 (if文) 169	
A2.2 反復文 (for文) 173	
A3. 配 列 .....	176
A3.1 配列とは 176	
A3.2 配列の宣言とメモリ領域の確保 177	
A3.3 配列の要素数 179	
A3.4 多次元配列 180	
<b>引用・参考文献</b> .....	183
<b>あ と が き</b> .....	185
<b>索 引</b> .....	186

# 1

## 知能情報入門

知能情報とは、コンピュータによる知能を扱う情報処理の研究分野である。この分野が注目する技術は多岐にわたり、それらを網羅的に解説することは困難であるが、本章では、知能情報がどのように発展してきたかを解説し、次章以降の学習への導入とすることを目的とする。そのために、古典的な人工知能から始まり、問題解決と状態空間、探索、知識の表現、エージェント技術などについて説明する。

### 1.1 知能とは

知能情報では知能 (intelligence) を対象としているが、知能とはなんであろうか。情報処理において人間の行う知的な振る舞いをコンピュータによって実現させることは大きな目標であり、その一部は人工知能の分野として発展してきた。この考え方には哲学的要素も含まれ、非常に多岐にわたる議論が展開されている。例えば、アリはたがいに連絡を取り合い知的にえさを巣に運ぶ行動をしているように見える。また、粘菌とよばれる生命体は、迷路を通過してえさ場にたどり着くような振る舞いが報告されている。このような現象の根本に知能は存在するのか、ということが問題になってくる。人間がもつ知能を比較対象とすると判断が困難である。

ここで少しとらえ方を広げ、知的 (intelligent) な振る舞い (behavior) を実現する枠組み (frame work) として考えていく。これにより、人間を対象とした知能より、より単純な振る舞いも知能に含まれる。例えば、人間では条件反射は知能とは呼べないかもしれないが、知能情報の分野では刺激-反応系

(stimulus-response model) として体系付けることが可能である。また、人工生命の分野では、極めて単純な生命体が自身の生死のために振る舞う行動が知的であるとされる場合がある。知能が人間の脳に由来することから、脳のモデルを直接扱うニューラルネットに関する研究も急速に発展している。

このような知能を人間は具備しているが、機械、例えばコンピュータに知能をもたせることを研究テーマとして多くの労力がはらわれてきた。特に近年、複雑系 (complex system) の分野では、創発 (emergence) 現象によって予期しない振る舞いが見られるような、人間の知能とは少々異なる知的な現象も取り扱われている。以下に、知能情報に関係する研究領域を挙げる。

- (1) 人工知能
- (2) 自然言語処理
- (3) 認知・パターン認識
- (4) ファジィ理論
- (5) 知的画像処理・画像認識
- (6) 分散人工知能
- (7) 人工生命
- (8) ゲーム理論
- (9) メタヒューリスティクス
- (10) ナチュラルコンピューティング
- (11) ロボティクス
- (12) 囚人のジレンマ
- (13) スケジューリング
- (14) 複雑系工学
- (15) 自己組織化理論
- (16) 機械学習
- (17) ニューラルネットワーク
- (18) 進化的計算
- (19) 知的エージェント
- (20) Web インテリジェンス
- (21) ビッグデータ



以上のように、知能が関係する領域はさまざまであるが、「知能」が意味するものの解釈は主観的であり、特にコンピュータによる知能情報処理ではコンピュータの性能向上により大きく変化してきた。最近では IBM が開発した人工知能である Watson（ワトソン）が、ビッグデータを活用して遺伝情報と膨大な医学文献をもとにがん治療法を見つけ出す事例が報告されている。

この背景には、膨大な情報を高速で処理することが可能なコンピュータの出現がある。処理速度とともに知能情報技術の向上が新たな世界観を生み出す可能性があり、人類がかつて経験したことのないコンピュータ利用の形が現れるかもしれない。

## 1.2 人間の知能と機械の知能

人間は物を見て美しいと感じたり、おかれた環境で不快を感じたりする。また、自身の経験をもとに自分の意思決定をし、言葉を理解する。このような事象を機械によって実現することができるであろうか。機械あるいはコンピュータは反復的な作業を疲労せずしかも正確にこなすことができるが、感情やあいまいな処理が苦手とされてきた。もし、機械が人間と同様な知能や感情をもつことが可能であるかどうかを判断することができれば、機械が知能をもったというひとつの証明になりそうである。

このことについて初めて理論的に説明したものが、1950年に発表されたイギリスの計算機科学者アラン・チューリング（Alan Turing）によるチューリングテスト（Turing test）である（[図 1.1](#)）。チューリングは機械の知性について研究をしており、機械に知性をもった振る舞いができるかどうかの問題について議論を重ねていた。機械は思考できるのかという問題を「計算する機械と知性（Computing Machinery and Intelligence）」という論文によって提案した。このことは言い換えると、コンピュータに知性があるかということよりも、コンピュータはどのくらい人間の真似をできるのかということに主眼がおかれ、擬人化のレベルを押し量る試みといえる。

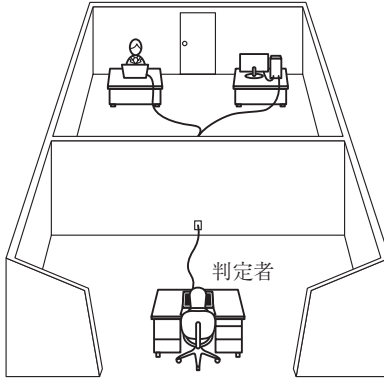


図 1.1 チューリングテスト

チューリングテストでは、壁を隔てた2つの部屋の1つには入出力機能をもつ端末を操作できる人間がおり（この人間を判定者とよぶ）、もう1つの部屋には人間とコンピュータが置かれている。ここで、判定者と人間、判定者とコンピュータは回線を通じて交信を行う。判定者が交信によって質疑応答し、どちらが機械でどちらが人間であるかを見破ることができなければ、その機械は人間と同じような知能を有していると判定しようという考え方である。質疑応答は音声によるものだと、機械が音声に変換する必要があるため、ほとんどがキーボードとディスプレイによるもので、文字のみでの交信に制限される。

ここで、チューリングテストに合格するためには、対話能力、学習能力や推論能力が必要となる。これらは知能情報を扱ううえでも重要な概念であり、それぞれが研究の課題として現在でも継続されている。しかしながら、現在あまりチューリングテストそのものは利用されることがなく、問題の提案という位置付けが大きい。このような考え方が1940年代のコンピュータ登場からわずか数年で発表されたことは、驚くべき点である。

2014年にロシアのスーパーコンピュータが「13歳の少年」としてロンドンで行われたチューリングテストに参加し、30%以上の確率で判定者に人間と間違われ、史上初めての合格者となった。

## 1.3 人工知能

知能情報を考えるうえで、人工知能（AI: artificial intelligence）の研究の流れは重要である。古くから、機械に知能をもたせたいという思想はロボットの分野ではギリシャ神話のひとつの『イリアス』に人造人間として登場しており、現在では人工物研究の分野で人間と同じような知能と感情をもつ実体（人工物）として実現しようと開発が進んでいる。

電子計算機が登場した時期と比べて現在はマイクロプロセッサの高機能、高集積化、低価格化と、情報ネットワーク技術の発展に伴い、知能の実現のための様相はかなり変化したといえる。例えば、知識（knowledge）の共有、言い換えれば価値観の共有などは、ネットワークを利用することにより高速度で実現可能となり、空間的な制約が激減した。日本からアメリカにある複数のロボットをリアルタイムで制御することも可能である。しかし、基礎的な理論や考え方は現在においても極めて有用でかつ重要である。

日本では、コンピュータのことを電子計算機とよんでいた時代には、コンピュータを知能をもった脳として電子頭脳（digital brain）とよび、これを縮めて電脳などと表記し機械の脳が実現することが期待されていた。その背景には1956年のダートマス会議でマッカーシー、ミンスキーらによって人工知能という提唱がなされたことが人工知能のブームを引き起こし、人間の脳を機械で実現できると多くの研究者が期待した。ニューラルネット（neural net）の分野ではまさしく脳の計算機モデルを構築し、実問題を解くための方法論としている。

人工知能研究の初期段階では、このようなブームにより多くの研究がなされたが、実際に研究を進めると意外に難しく、人間であればかなり平易な問題（ここではさまざまな解決すべき事柄）を解くことも単純ではないことが判明した。チェッカープログラム（checker program）やチェスプログラム（chess program）、あるいはいくつかのエキスパートシステム（expert system）が提

## あ と が き

本書は学生のモチベーションを保ちながら知能情報や人工知能の基礎を習得することを目的として、学生が興味を引きそうな例や演習を中心に、できるだけわかりやすいテキストになるように心がけた。しかし、われわれの目標は達成しただろうか？ そもそも本書を手にとって読んでくれるだろうか？ 100冊以上ある市販の知能情報や人工知能の本の中から、本書を選んでもらう方法をこれから考えなければならない。

本書を読んで「知能情報が好きになった」、「人工知能がわかった」という方からの口コミ、著者の先生方の Web ページなどでの啓蒙活動、あるいは「本書を手にとってもらうための本」が必要なかもしれない。

一旦、手に取ってもらえば、豊富な興味のある例と演習を解き、あるいはわかりやすい説明を読むことによりモチベーションは上がり、楽しくリラックスして知能情報を学ぶことができると確信する。是非、本書を読んで1人でも知能情報が好きな学生が現れることを願っている。

札幌の街は、桜の花びらは散ったがライラックの香が漂い、1年で最もすがすがしい季節を迎えている。抜けるような青空の下でビール片手に幸せを感じながら本稿を書いている。

2015年6月

札幌のピアガーデンにて

著者代表 大堀隆文

# 索引

<b>【あ】</b>	学習アルゴリズム	84	<b>【さ】</b>		
	学習係数	78		最大活性ニューロン	84, 87
アーギュメント	学習率	114		最適解	10
アクセス可能	活性誤差	79		最適化問題	24
アクセス不可能	活性値	70, 72		最適行動価値関数	123
アドホック	環 境	38		サイバネティクス	106
アトラクタ	環境適応力	140		細胞体	64
アルファベット課題			<b>【き】</b>		
暗 示				<b>【し】</b>	
	擬似乱数	94		しきい値	66, 67
<b>【い】</b>	強 化	106		軸 索	64, 65
意思決定	強化学習	106		シグモイド関数	68
一点交叉	強化学習モデル	109		刺激-反応系	1
遺伝子情報	強化-比較構造	107		自己相似性	48
遺伝的アルゴリズム	教 師	77		実行不可能解	11
	教師信号	78		シナプス	64, 65
107, 140	教師付き学習	77		樹状突起	64, 65
遺伝的操作	近 傍	51	<b>【く】</b>	述 語	34
医療診断システム				述語論理	31
インタプリタ				出力誤差	79
				上 界	22
<b>【う】</b>	組合せ爆発	19		条件式	173
後向き推論	グリーディ方策	123		条件付け	106
			<b>【け】</b>	状 態	9, 107
<b>【え】</b>				状態価値関数	111
エキスパートシステム	経 路	7		状態記述	16
エージェント	決定的	40		状態空間	11
エピソード	厳密解法	20		状態空間表現	11
エリート保存選択			<b>【こ】</b>	状態遷移ルール	51
				初期化部	173
<b>【お】</b>	交 叉	140		初期状態	8, 11
オペレータ	更新部	174		しらみつぶし法	19
重み係数	拘束条件	18		自律性	37
	行 動	38, 107		自律的主体	38
<b>【か】</b>	行動方針	107		神経回路網	65
階段関数	興奮性	66		神経細胞	64
解の質	誤 差	79		人工生命	2
カオス	コスト	9		人工知能	1, 5
—の窓	個 体	34			
下 界					

真理値表 32, 69, 70

【す】

推論エンジン 26  
 数式表現 72  
 数理計画問題 150  
 ステップ関数 67

【せ】

整数計画問題 20  
 静的 40  
 制約条件 7  
 絶対参照 160  
 セルオートマトン 44  
 ゼロ除算 161  
 宣教師と人食い人種の問題 42

線形分離可能課題 78  
 選択 142  
 全探索 18  
 前提条件 17

【そ】

総当たり法 20  
 相対参照 160  
 創発現象 2  
 添字 177  
 即時報酬 108

【た】

多次元配列 181  
 多点交叉 142  
 タートマス会議 5  
 探索 11, 18  
 探索グラフ 14  
 探索問題 7, 19

【ち】

チェスプログラム 5  
 チェッカープログラム 5  
 知覚 38  
 知識ベース 26  
 知能 1  
 知能情報 1  
 チューリングテスト 3  
 長期報酬 108

【つ】

積み木の問題 15

【て】

適応の問題解決アルゴリズム 140  
 適応度 140  
 電子計算機 5  
 電子頭脳 5  
 伝達物質 65

【と】

動的 40  
 倒立振り子 107  
 突然変異 140  
 トーナメント選択 142

【な】

ナップサック問題 20

【に】

ニューラルネット 2, 5, 64, 68  
 ニューロン 64

【は】

配列 176  
 —の宣言 177  
 パケットブリゲード 107  
 パーセプトロン 67, 76, 84  
 パターン認識 76  
 罰 106  
 発火 67  
 発見的探索 24  
 ハノイの塔 42  
 判断文 169  
 反復文 173

【ひ】

比較演算子 167  
 非決定的 40  
 非線形システム 45  
 ビッグデータ 3  
 ヒューリスティクス 24

【ふ】

複雑系 2, 44  
 フラクタル 44  
 振る舞い 1  
 フレーム 27  
 フレーム理論 27  
 プロダクション 26  
 プロダクションシステム 25  
 プロダクションメモリ 26  
 分枝限定法 22  
 分類システム 107

【ほ】

方策 111  
 報酬 106  
 報酬関数 111

【ま】

前向き推論 27  
 膜電位 65

【め】

命題 31  
 命題論理 31  
 迷路の問題 7  
 メタヒューリスティクス 24

【も】

盲目的探索 18  
 目的関数 7  
 目標状態 8, 11  
 問題 6  
 —の表現 10  
 問題解決 6, 140

【や】

山登り法 23

【ゆ】

ユニット 66

【よ】

要素還元主義 44  
 抑制性 66

<b>【ら】</b>		<b>【る】</b>		連続的	40
ランク選択	142	ルール	11, 25	<b>【ろ】</b>	
乱数メソッド	90	ルールベース	26	論理関数	69, 71
ランダム方策	115	ルールベースシステム	25	論理式	167
<b>【り】</b>		ルーレット選択	142	論理的推論	29
離散的	40	<b>【れ】</b>		<b>【わ】</b>	
領域を確保	178	列挙法	20	ワーキングメモリ	26
		連結語	31	割引率	123
◇					
<b>【A】</b>		java アプレット	115	<b>【S】</b>	
AHC	108	<b>【L】</b>		S-R 学習モデル	107
AND	69	length 属性	180	switch 文	171
AND 関数	71	<b>【M】</b>		<b>【T】</b>	
<b>【D】</b>		MAX 関数	167	TCLX 文字認識	84
default 文	171	MIN 関数	167	TD 学習	112
<b>【E】</b>		<b>【N】</b>		<b>【W】</b>	
Excel	87, 160	NAND 関数	73	while 文	173
<b>【F】</b>		new 演算子	178	<b>【X】</b>	
for 文	173	NOT	69, 70	XOR 関数	73
<b>【G】</b>		<b>【O】</b>		<b>【数字】</b>	
GOFAI (ゴーフアイ)	6	OR	69	1次元配列	177
<b>【I】</b>		<b>【Q】</b>		2次元配列	181
if-then-else 文	169	Q 学習	109, 122	8パズル	11
if-then 文	169	Q 値	122	<b>【記号】</b>	
IF 関数	167	Q テーブル	125	\$ 記号	162
if 文	169	<b>【R】</b>			
<b>【J】</b>		Random クラス	90		
Java	87, 169				

— 著者略歴 —

**大堀 隆文** (おおほり たかふみ)  
1973年 北海道大学工学部電気工学科卒業  
1975年 北海道大学大学院工学研究科修士課程  
修了(電気工学専攻)  
1978年 北海道大学大学院工学研究科博士後期  
課程修了(電気工学専攻)  
工学博士  
1978年 北海道工業大学講師  
1981年 北海道工業大学助教授  
1993年 北海道工業大学教授  
2014年 北海道科学大学教授(名称変更)  
現在に至る

**木下 正博** (きのした まさひろ)  
2003年 博士(工学)(北海道大学)  
2004年 北海道工業大学講師  
2005年 北海道工業大学助教授  
2010年 北海道工業大学教授  
2014年 北海道科学大学教授(名称変更)  
現在に至る

**西川 孝二** (にしかわ こうじ)  
1996年 北海道大学工学部精密工学科卒業  
1998年 北海道大学大学院工学研究科修士課程  
修了(システム情報工学専攻)  
2002年 北海道大学大学院工学研究科博士後期  
課程修了(システム情報工学専攻)  
博士(工学)  
2002年 ソフトバンク・コマース株式会社  
(現ソフトバンクモバイル株式会社)  
2004年 北海道自動車短期大学講師  
2007年 北海道自動車短期大学准教授  
2014年 北海道科学大学准教授  
現在に至る

例題で学ぶ 知能情報入門

Introduction to Intelligent Information with Examples

© Takafumi Oohori, Masahiro Kinoshita, Kouji Nishikawa 2015

2015年8月27日 初版第1刷発行



検印省略

著者 大堀 隆文  
木下 正博  
西川 孝二  
発行者 株式会社 コロナ社  
代表者 牛来真也  
印刷所 萩原印刷株式会社

112-0011 東京都文京区千石 4-46-10

発行所 株式会社 コロナ社

CORONA PUBLISHING CO., LTD.

Tokyo Japan

振替 00140-8-14844 · 電話 (03)3941-3131(代)

ホームページ <http://www.coronasha.co.jp>

ISBN 978-4-339-02497-5

(高橋) (製本: 愛千製本所)

Printed in Japan



本書のコピー、スキャン、デジタル化等の無断複製・転載は著作権法上での例外を除き禁じられております。購入者以外の第三者による本書の電子データ化及び電子書籍化は、いかなる場合も認めておりません。

落丁・乱丁本はお取替えいたします