

■コンピュータサイエンス教科書シリーズ **12**

人工知能原理

博士(工学) 加納 政芳

博士(工学) 山田 雅之 共著

博士(学術) 遠藤 守



COMPUTER SCIENCE TEXTBOOK SERIES



コロナ社

コンピュータサイエンス教科書シリーズ編集委員会

編集委員長 曾和 将容（電気通信大学）

編集委員 岩田 彰（名古屋工業大学）

（五十音順）

富田 悦次（電気通信大学）

（2007年5月現在）

刊行のことば

インターネットやコンピュータなしでは一日も過ごせないサイバースペースの時代に突入している。また、日本の近隣諸国も IT 関連で急速に発展しつつあり、これらの人たちと手を携えて、つぎの時代を積極的に切り開く、本質を深く理解した人材を育てる必要に迫られている。一方では、少子化時代を迎え、大学などに入学する学生の気質も大きく変わりつつある。

以上の状況にかんがみ、わかりやすく体系化された、また質の高い IT 時代にふさわしい情報関連学科の教科書と、情報の専門家から見た文系や理工系学生を対象とした情報リテラシーの教科書を作ることを試みた。

本シリーズはつぎのような編集方針によって作られている。

- (1) 情報処理学会「コンピュータサイエンス教育カリキュラム」の報告、ACM Computing Curricula Recommendations を基本として、ネットワーク系の内容を充実し、現代にふさわしい内容にする。
- (2) 大学理工系学部情報系の 2 年から 3 年の学生を中心にして、高専などの情報と名の付くすべての専門学科はもちろんのこと、工学系学科に学ぶ学生が理解できるような内容にする。
- (3) コンピュータサイエンスの教科書シリーズであることを意識して、全体のハーモニーを大切にするとともに、単独の教科書としても使える内容とする。
- (4) 本シリーズでコンピュータサイエンスの教育を完遂できるようにする。ただし、巻数の制限から、プログラミング、データベース、ソフトウェア工学、画像情報処理、パターン認識、コンピュータグラフィックス、自然言語処理、論理設計、集積回路などの教科書を用意していない。これらはすでに出版されている他の著書を利用していただきたい。

ii 刊 行 の こ と ば

- (5) 本シリーズのうち「情報リテラシー」はその役割にかんがみ、情報系だけではなく文系、理工系など多様な専門の学生に、正しいコンピュータの知識を持ったうえでワープロなどのアプリケーションを使いこなし、なおかつ、プログラミングをしながらアプリケーションを使いこなせる学生を養成するための教科書として構成する。

本シリーズの執筆方針は以下のものである。

- (1) 最近の学生の気質をかんがみ、わかりやすく、丁寧な、体系的に表現する。ただし、内容のレベルを下げることはしない。
- (2) 基本原理を中心に体系的に記述し、現実社会との関連を明らかにすることにも配慮する。
- (3) 枝葉末節にとらわれてわかりにくくならないように考慮する。
- (4) 例題とその解答を章内に入れることによって理解を助ける。
- (5) 章末に演習問題を付けることによって理解を助ける。

本シリーズが、未来の情報社会を切り開いていけるたくましい学生を育てる一助となることができれば幸いです。

2006年5月

編集委員長 曾和 将容

ま え が き

2017 年は、第 3 次人工知能ブームの中にある。

人工知能 (artificial intelligence, AI) という言葉が初めて使用された 1956 年のダートマス会議から第 1 次 AI ブームが始まるが、マービン・ミンスキーが、ニューラルネットワークの最も基本的な「単層パーセプトロン」は線形分離不可能なパターンを識別できないことを示したことなどもあり、1970 年代中ごろには冬の時代を迎えることになる。

その後、1980 年代になると、隠れ層をもつパーセプトロンはその問題を解決できること、ニューラルネットワークの学習アルゴリズム「誤差逆伝播法」が発見されたことから、第 2 次 AI ブームが到来する。この期間には、ニューラルネットワーク以外にもエキスパートシステムによる知識表現が隆盛し、わが国では第五世代コンピュータプロジェクトが推進されるなどの活況の中にあった。しかし、その状況も長くつづかず、およそ 7 年程度で再び冬の時代を迎えることになる。これにはさまざまな理由が考えられるが、その一つに、人工知能の構築に必要な大量のデータがなかったことが挙げられる。

そして、その環境が 2010 年代に激変する。「ディープラーニング (深層学習)」の登場である。大量なデータと、それを処理するのに十分な能力を有するコンピュータが比較的容易に入手できるようになったことがきっかけで、高い精度の学習が可能になったのである。Google 社の AlphaGo が 2015 年 10 月に人間のプロ囲碁棋士に勝利したのは衝撃的な出来事である。現在われわれはこの渦中にいる。

上述の人工知能の歴史は、ニューラルネットワークの視点から記したが、この期間、さまざまな人工知能アルゴリズムが研究されてきた。例えば、探索アルゴリズムは、第 1 次 AI ブームから脈々と研究され、近年では先ほどふれた

AlphaGoにも採用されているモンテカルロ木探索が注目を集めている。第2次AIブームで脚光を浴びたエキスパートシステムでは比較的単純な知識表現構造が用いられていたが、現在では、文書の意味を形式化することでコンピュータによる自動的な情報収集や分析を行うセマンティック Web の研究が盛んに行われている。本書では、人工知能アルゴリズムの中でも特に、探索・ゲーム、機械学習、および知識表現・セマンティック Web 技術に焦点を絞り、平易な文章で解説する。また、読者の理解を助けるために、実際のプログラミングコードも掲載した。本書を読み、人工知能に興味をもち、さらなる勉学を進めるためのきっかけとなれば幸いである。

各章の執筆者はつぎのとおりである。

第 I 部「探索とゲーム」：山田

第 II 部「機械学習」：加納

第 III 部「知識表現」：遠藤

最後に、本書の出版の機会を与えてくださり、種々ご指導いただいた本シリーズの編集委員長 曾和将容 先生，担当編集委員 岩田 彰 先生，ならびにコロナ社には心から感謝申し上げます。

2017 年 10 月

加納 政芳

目 次

1 人工知能とその歴史

1.1 人工知能とは	1
1.2 人工知能の歴史	3

第I部 探索とゲーム

2 探 索

2.1 状態空間のグラフ表現	8
2.2 深さ優先探索と幅優先探索	10
2.2.1 深さ優先探索	10
2.2.2 幅優先探索	12
2.2.3 プログラム	13
2.2.4 深さ優先探索と幅優先探索の比較	18
2.3 分岐限定法	20
2.3.1 プログラム	21
2.3.2 健全性	24
2.4 山登り法	26
2.5 最良優先探索	29
2.6 A^* アルゴリズム	31
2.6.1 プログラム	33
2.6.2 健全性	36
2.6.3 ヒューリスティック関数の精度・無矛盾性	38

2.7 反復深化法と IDA^*	39
2.7.1 深さを閾値とした反復深化法	39
2.7.2 IDA^*	41
演習問題	42

3 ゲ ー ム

3.1 群論によるパズルの分析	44
3.1.1 コマの並びの表現	45
3.1.2 巡回置換による操作の表現	45
3.1.3 等価な巡回置換	47
3.1.4 偶置換・奇置換	48
3.2 ヒューリスティック関数の設計	49
3.3 ゲーム木	52
3.4 AND-OR 木	55
3.5 証明数と反証数	56
3.6 MINMAX 法	60
3.6.1 局面の評価	61
3.6.2 MINMAX 探索	63
3.7 $\alpha\beta$ 法	66
3.8 ゲームプログラミングの進展	71
3.8.1 いろいろな手法	71
3.8.2 パズルやゲームの解を求める試みの事例	73
演習問題	77

第Ⅱ部 機械学習

4 進化的計算

4.1 遺伝的アルゴリズム	79
4.1.1 選 択	82
4.1.2 交 叉	84
4.1.3 突 然 変 異	86
4.1.4 GA による探索の具体例	87
4.2 遺伝的プログラミング	87
4.2.1 選 択	88
4.2.2 交 叉	89
4.2.3 突 然 変 異	89
4.2.4 GP による探索の具体例	90
4.3 差 分 進 化	93
4.4 対話型進化計算	96
演 習 問 題	97

5 ニューラルネットワーク

5.1 ニューロンモデル	99
5.2 パーセプトロン	101
5.2.1 誤り訂正学習法	105
5.2.2 誤差逆伝播法	107
5.3 デープラーニング	110
5.4 自己組織化マップ	115
演 習 問 題	118

6 強化学習

6.1 強化学習の枠組み	120
6.2 TD 学 習	122
6.3 SARSA	129
6.4 Q 学 習	131
6.5 適格度トレース	133
演 習 問 題	134

第Ⅲ部 知 識 表 現

7 知 識 表 現

7.1 知識とその表現	136
7.2 知識表現技法	137
7.2.1 フレーム	138
7.2.2 意味ネットワーク	140
7.2.3 プロダクショナルルール	142
7.2.4 スクリプト	144
7.3 推 論	145
7.3.1 フレームシステムにおける推論の事例	145
7.3.2 意味ネットワークによる推論の事例	147
7.3.3 プロダクショナルシステムによる推論の事例	148
7.3.4 スクリプトによる推論の事例	149
7.4 マークアップ言語とメタ言語	150
7.4.1 HTML	152
7.4.2 XML	155
7.5 知識表現とその活用	157

演習問題	157
------	-----

8 セマンティック Web 技術

8.1 セマンティック Web 設計の原則と技術階層	158
8.2 スキーマ言語	160
8.2.1 DTD	160
8.2.2 XML Schema	163
8.3 Web におけるメタデータの活用事例	168
8.4 オントロジー	170
8.4.1 RDF	171
8.4.2 OWL	174
8.5 セマンティック Web の応用事例	178
8.5.1 Linked Open Data	178
8.5.2 SPARQL	180
8.6 セマンティック Web の未来	183
演習問題	187
引用・参考文献	188
演習問題解答	191
解答プログラム	202
索引	215

COMPUTER SCIENCE TEXTBOOK SERIES □

1 人工知能とその歴史



1.1 人工知能とは

人工知能 (artificial intelligence, AI) という用語は, 1956 年に開催された国際会議「ダートマス会議」において, ジョン・マッカーシーによって提案された造語である。AI は, 元来, 機械 (コンピュータ, ロボットなど) に人と同様の知能を人工的に実現させることを目的とした研究分野[†]であるが, 現在では, ファイナンス, バイオインフォマティクス, 音楽, エンターテイメントなど, 多くの分野にも広く波及しており, 学際的な分野となっている。学際的と称される AI の研究領域には具体的にどのようなテーマがあるだろうか。人工知能学会に投稿される論文の該当分野を以下に示す。

- 基礎・理論
- 機械学習
- データマイニング
- 知識の利用と共有
- Web インテリジェンス
- Web マイニング
- エージェント
- ソフトコンピューティング

[†] もう一つの側面として, 人の知能のメカニズムを解明しようとする科学的な研究分野 (認知科学の一分野) もある。

2 1. 人工知能とその歴史

- 自然言語処理・情報検索
- 画像・音声
- ロボットと実世界
- ヒューマンインタフェース・教育支援
- AI 応用

基礎・理論は、探索や知識表現、推論など、知的な情報処理を実現するための基礎的な研究分野である。機械学習は、明示的にプログラムしなくても学習する能力を機械に与える研究領域であり、基礎・理論と同様に AI の基礎的な分野である。

それ以外の分野は、応用分野に大別される。データマイニングは、膨大なデータから有用な知識を発見するための研究である。知識の利用と共有では、機械内に蓄積されたデータをどのように扱うかを考える分野である。Web インテリジェンス、Web マイニングは、Web をより使いやすくする手法を研究する分野である。エージェントは、人の代わりに機械（ソフトウェアも含む）をエージェントと呼び、エージェントに作業させるための技術やそのあり方を研究する分野である。ソフトコンピューティングは、扱いやすさや頑健性、時間的・メモリ空間的な低コストを実現するために、精密さを過度に求めることを避けた手法を検討する研究である。ニューラルネットワークや遺伝的アルゴリズム、遺伝的プログラミングなどの学習・探索手法をこの分野に含めることもある。自然言語処理・情報検索、画像・音声は、人が日常で使用するメディアを直接扱う研究である。ロボットと実世界は、人の代替として実際にロボットを用いて研究を進める分野である。ヒューマンインタフェース・教育支援は、人と機械が接するデバイス（インタフェース）をどのように設計するか、またインタフェースを通じた支援について検討する分野である。AI 応用は、先に述べたファイナンス、バイオインフォマティクス、音楽、エンターテインメントの他に、産業システム、社会システム、e-コマース、ヘルスケア、マルチメディア、ゲームなどの分野に AI を活用する応用研究分野である。

本書では、応用分野にも広く活用可能な機械学習を含めた基礎分野について

概説することで、AIに関する基礎的な知識を得ることを目指す。

2章「探索」、3章「ゲーム」では、探索に関する知識を深める。探索とは、問題を解く場合にどのような順序で手続きを進めていけばよいかを決定することである。このような手続きが重要になる一つの分野にオセロや将棋といったゲームがある。4章「進化的計算」、5章「ニューラルネットワーク」、6章「強化学習」では、機械学習について学ぶ。進化的計算は、生物の進化の過程を模してつくられたアルゴリズムで、確率的な探索手法とも学習手法ともいわれる。学習には、明示的な教示を与えて学習する教師あり学習、明示的な教示ではなく出力の善し悪しを与えて学習する強化学習、多数の例から共通の法則を導く教師なし学習などがある。7章「知識表現」、8章「セマンティック Web 技術」では、知識表現に関する理解を深める。知識表現とは、知識をどのような形式で蓄積し、利用するかを議論する分野である。知識表現は、古くはエキスパートシステムや自然言語処理のための知識の表現の基礎となっているが、最近注目されている研究としてセマンティック Web がある。セマンティック Web の目的は、インターネットで Web ページを閲覧する際に、意味の疎通を付け加えることにある。

本書は、上記のように大きく三つの分野をカバーしている。特に2章から順に読み進める必要はないので、読者の興味のある分野から取り組んでいただきたい。

1.2 人工知能の歴史

AIに関する研究が学問分野として確立したのは、1956年のダートマス会議がきっかけである。本節では、1950年代から現在に至るまでのAIの歴史を俯瞰する。

1950年、アラン・チューリングが、機械が知能をもつかどうかを判定する尺度としてチューリングテストを提案した。また同年、クロード・シャノンによってチェスの最適手を検索するためのアルゴリズムであるMINMAX法が、アイ

4 1. 人工知能とその歴史

ザック・アシモフによってロボット三原則が公開された。その後、アーサー・サミュエルは、1952年に $\alpha\beta$ 法を用いたチェッカープログラムを、1955年にサミュエル自身のプレーを学ぶチェッカープログラムを開発した。1956年、アレクサンダー・ニューウェル、ハーバート・サイモンらは、数学の定理を証明するロジックセオリストを開発した。サミュエルのチェッカープログラム、もしくはニューウェルらのロジックセオリストが、最初のAIプログラムといわれている。1958年、ローゼンブラットが脳をモデル化したパーセプトロンを提案した。パーセプトロンは、機械に学習を行わせる研究の発端となり、1960年代に爆発的なニューラルネットワークブームを巻き起こすきっかけとなった。1950年代には、その他にも、ニューウェルとサイモンによって任意の形式化された記号問題を解くプログラムGPS (general problem solver) が (1957年)、ジョン・マッカーシーによってLISP言語が開発された (1958年)。このころは、ゲームプログラミングや記号処理に関する研究が盛んに行われていた。

1960年に入ると、ダニエル・ボブロウが高校レベルの代数問題を解くプログラムSTUDENTを開発した。つづいて、1965年、ジョセフ・ワイゼンバウムがELIZAを開発した。ELIZAは、文字入力によって対話を行うインタラクティブなプログラムである。同年、エドワード・フェイジェンバウムがDENDRALという有機化合物の分子構造を推定するためのソフトウェアを開発した。DENDRALなどの専門家のように振る舞うシステムはエキスパートシステムと呼ばれるが、DENDRALはその最初の例である。同時期には、ロス・キリアンらの報告によって意味ネットワークが広く知られるようになった (1966年)。そして、1969年、マービン・ミンスキーとシーモア・パパートによって、二層構造のパーセプトロンの認識限界を、さらにジョン・マッカーシーとパトリック・ヘイズが、有限の情報処理能力しかない機械は現実には起こりうる問題すべてに対処することができないことを示すフレーム問題を、提起した。これらがきっかけの一つとなって、AIは冬の時代を迎えることとなった。

1971年、テリー・ウィノグラードによって画面上の「積み木の世界」に存在するさまざまな物体を言語入力によって動かすことができるシステムSHRDLU

が、さらに1972年、論理型言語 Prolog が開発された。Prolog は、LISP と
らび AI 研究者に広く用いられているプログラミング言語である。また、1975
年に、ジョン・H・ホランドによって遺伝的アルゴリズムが提案された。同年、
マービン・ミンスキーによって、人の記憶や推論の認知心理的なモデルである
フレームが提起された。1979年、ディープラーニングの先駆的研究として、福
島邦彦がネオコグニトロンを発表した。このころの計算機の計算速度やメモリ
は、現代のものと比較して大きく劣っていた。例えば、1975年に発売された
IBM 5100 ポータブルコンピュータは、CPUの動作周波数が1.9 MHz、メモリ
が16~64 kiB (RAM)、32~64 kiB (ROM)、本体の重量が24 kgであった。
このような計算機的な限界によって、理論上は実現可能でも実装不可能な問題
も数多く存在した。

1980年代に入り、日本では1982年に述語論理による推論を高速実行する並
列推論計算機とそのOSを構築することを目標として、第五世代コンピュータシ
ステムプロジェクトが開始された(1992年終了)。同年、ジョン・ホップフィー
ルドによってホップフィールドネットワークが発表された。ホップフィールド
ネットワークは相互結合回路であり、ネットワークによる連想記憶モデルとし
て広く活用された。また、1986年、デビッド・ラメルハートによって誤差逆伝
播法が提案された[†]。誤差逆伝播法は、パーセプトロンの限界を解消するもので
あった。これらの提案によって再びニューラルネットワークが注目を集めるこ
とになった。1986年には、ロドニー・ブルックスによってサブサンクション(包
摂)アーキテクチャが提唱された。こうして1980年代は、ニューラルネット
ワークモデルを活用する研究者の割合が急速に増え、AI研究が活況となった。

1990年、ジョン・コザによって遺伝的プログラミングが提案された。1992
年、強化学習によって強くなるバックギャモンプログラム TD-Gammon がジェ
ラルド・テザウロによって発表された。1996年、本格的な二足歩行ロボット
ASIMO が発表された。ASIMO の研究は1986年以前より秘密裏に行われてい
たといわれ、発表までに実に10年以上の歳月を要した。1997年、チェスプロ

[†] 日本では、1967年に甘利俊一が発表している。

索引

	【あ】		
アウル	174	オープンリスト	13
誤り訂正学習法	105	オブジェクト	143
暗黙知	137	親子関係	11
	【い】	オントロジー	170
石取りゲーム	53	オントロジーの定義	171
一様交叉	85	オントロジーヘッダ	174
一点交叉	84	【か】	
遺伝子型	79	下位概念	139
遺伝子座	80	階層構造	141
遺伝子長	80	外部サブセット	161
遺伝的アルゴリズム	79	学習者	120
遺伝的操作	82	学習率	106
遺伝的プログラミング	87	確定ゲーム	53
意味ネットワーク	138, 140	隠れ層	101
入れ子構造	154	活性化関数	100
インスタンスフレーム	139	環境	120
インタプリタ	143, 145	慣性項	110
	【う】	慣性率	110
後ろ向き推論	149	間接照合	147
	【え】	完全情報ゲーム	53
エージェント	120	【き】	
枝	9	木	9
エッジキューブ	73	奇置換	48
エピソード的タスク	123	逆位	90
エリート数	83	逆元	46
エリート戦略	83	吸収状態	126
	【お】	吸収壁	126
オープンガバメント	184	強化学習	120
オープンデータ	184	競合解消	148
		競合学習	117
		教師あり学習	115
		教師なし学習	115
		兄弟関係	11
		共通語彙基盤	180
		局面表	72
		【く】	
		偶置換	48
		クエリ	181
		クラス公理	174, 175
		クラスフレーム	139
		グラフ	9
		グリーディ方策	128
		クローズドリフト	13
		群	46
		【け】	
		形式知	137
		形式ニューロン	100
		継承	147
		経路	9
		ゲーム木	54
		結合重み	100
		健全	24
		【こ】	
		交叉	84, 89, 94
		構造的性質	141
		行動	120, 148
		行動価値	129
		公理	177
		コーナーキューブ	73
		互換	48
		誤差逆伝播法	105, 107
		個体	177
		個体値型プロパティ	176
		個体の記述	174

【さ】	スロット名	138	単層パーセプトロン	101
サーバント		138	【ち】	
最新優先		148	知識表現	136
最大プーリング		113	直接照合	147
最良優先探索		29	【て】	
作業域	142, 143		ディープラーニング	110
差分学習	123		定義属性	142
差分進化	93		定数節点	88
参照ベクトル	116		データ駆動型推論	149
【し】	セマンティック Web の	158	データ値型プロパティ	176
自己組織化マップ	115		デーモン	138
事 実	143, 177		適格度トレース	133
次状態	120		適合度	80
実数値 GA	93		適用制限	149
収 益	123		手続き的知識	137
集団サイズ	81		デフォルト値	142
出力層	101		展開する	13
巡回置換	45		転 換	90
循環路	9		伝達関数	100
上位概念	139		【と】	
条件照合	148		動的評価	61
詳細優先	148		トーナメント方式	83
勝者ユニット	117		突然変異	86, 89, 94
状 態	120		突然変異率	86
状態価値	122		トリプル	171
状態空間	9		【な】	
証明集合	58		内部サブセット	161
証明数	56		【に】	
証明数探索	59		二点交叉	84
人工知能	1		入力層	101
深層学習	110		【の】	
シンプル DC	173		ノウハウ	200
【す】	セマンティック Web の	158	ノード	9, 140
推 論	145		【は】	
推論機構	143		葉	11
スキーマ	160		パーセプトロン	101
スキーマ言語	160			
スクリプト	138, 144			
スロット	138			
スロット値	138			
	【せ】			
	性質属性	142		
	性質の継承	141		
	静的評価	61		
	静的評価関数	61		
	静的評価値	62		
	セマンティック Web	158		
	セマンティック Web 技術	158		
	セマンティック Web の	158		
	概念	159		
	ゼロパディング	111		
	ゼロ和ゲーム	52		
	遷移確率	126		
	線形探索	8		
	全結合	110		
	宣言的知識	136		
	センターキューブ	73		
	選 択	82, 88, 95		
	【そ】			
	双方向推論	149		
	属 性	143		
	属性継承	147		
	属性値	143		
	ソフトマックス手法	128		
	【た】			
	対立遺伝子	80		
	対話型進化計算	96		
	多重継承	147		
	多層パーセプトロン	101		
	たたみ込み	111		
	たたみ込みニューラルネット	110		
	トワーク	110		
	多値決定グラフ	90		
	多点交叉	84		
	単位元	46		
	探 索	7		
	探索木	11		
	単純型	165		

バイアスユニット 103	ベルマン方程式 126	ユニット 100
発 火 149	変数節点 88	ユニット数 116
バックプロパゲーション法 107		
	【ほ】	【よ】
幅優先探索 13	方策オフ型学習 132	要素型宣言 162
ハミング距離 87	方策オン型学習 129, 131	
反証集合 58	報 酬 120	【ら】
反証数 56	歩 道 9	ラベル付き有向グラフ 140
反復深化 $\alpha\beta$ 探索 72		ランキング方式 83
反復深化法 39		ランダムウォーク問題 126
	【ま】	【り】
【ひ】	マークアップ言語 136, 150	粒子群最適化 93
ヒューリスティック 26	前向き推論 149	リンク 9, 140
ヒューリスティック関数 26	マスク 85	リンクトオープンデータ 178
表現型 80	マスクパターン 85	隣接する 9
	マッシュアップ 186	
	マルコフ決定過程 121	【る】
	マルコフ性 121	ルート 11
	マンハッタン距離 49	ルービックキューブ 44, 73
		ルールベース 142, 143
	【み, む】	ルール優先順位 149
	水差し問題 12	ルーレット方式 82
	無矛盾 38	
		【れ】
	【め】	例 外 148
ファーストマッチ 149	メタ言語 136, 151	例外処理 148
ファセット 138	メタデータ 151	レストランسكريプト 145
ファセット値 138		連結グラフ 9
ファセット名 138		連続タスク 123
ブーリング 111		
深 さ 11		【わ】
深さ優先探索 11		ワーキングメモリ 200
複合型 165		割引収益 123
プレイアウト 72		割引率 123
フレーム 137, 138		
フレーム問題 140	【も】	
プロダクションシステム 142	モーメンタム 110	
プロダクションルール 138, 142	目標駆動型推論 149	
プロパティ公理 174, 176	モンテカルロ木探索 72	
分岐限定法 20	モンテカルロ法 124	
文書型定義 160		
	【や】	
【へ】	山登り法 26	
平均ブーリング 112		
閉 路 9	【ゆ】	
ヘックス 74	有限ゲーム 53	
	有向グラフ 9	

		HTML5	152		
[A]		[I]		[R]	
A* アルゴリズム	31	IDA*	41	RDF	171
actor-critic	128	[K]		RDF/XML	172
AI	1	KR	136	RDF グラフ	171
$\alpha\beta$ カット	68	[L]		RSS	168
$\alpha\beta$ 探索	68	LinkData	185	RSS フィード	169
$\alpha\beta$ 法	66	Linked Open Data	178	RSS リーダ	169
α カット	67	LOD	178	[S]	
AND-OR 木	55	L_p プーリング	113	SARSA	129
AND ノード	55	[M]		SGML	155
AND 分岐	55	MAX ノード	62	SOM	115
Atom	168	MAX プレーヤ	61	SPARQL	180
[B]		MDP	121	SPARQL endpoint	181
β カット	67	MINMAX 探索	63	SVG	151
[C]		MINMAX 法	60	[T]	
CNN	110	MIN ノード	62	TD 学習	122
[D]		MIN プレーヤ	61	TD 学習アルゴリズム	124
DAML-ONT	174	[N]		TD 誤差	122
DCMES	173	Negamax 法	71	TeX	151
DCMI	173	[O]		[U]	
DE	93	OAV 形式	143	URI 参照	172
DOCTYPE 宣言	161	OIL	174	[V]	
DTD	160	Ontolingua	174	VRML	151
Dublin Core	173	OR ノード	55	[W]	
[E]		OR 分岐	55	World Wide Web	151
ϵ -グリーディ方策	130	OWL	174	[X]	
[G]		OWL オントロジー	174	XML	155
$g(n)$	20	OWL 文書	174	XML Schema	160, 164
$\hat{g}(n)$	20	[P]		[数字]	
GA	79	PSO	93	1 ステップダイナミクス	121
GP	87	PTYPE	80	5 ★オープンデータ	179
GTYPE	79	[Q]		8-パズル	8, 44
[H]		Q 学習	131		
$h(n)$	26				
$\hat{h}(n)$	26				
HTML	151, 152				

— 著者略歴 —

- | | |
|---|--|
| 加納 政芳 (かのう まさよし) | 山田 雅之 (やまだ まさし) |
| 1999年 名古屋工業大学工学部知能情報システム
学科卒業 | 1992年 名古屋工業大学工学部電気情報工学科
卒業 |
| 2001年 名古屋工業大学大学院博士前期課程修了
(電気情報工学専攻) | 1994年 名古屋工業大学大学院博士前期課程修了
(電気情報工学専攻) |
| 2004年 名古屋工業大学大学院博士後期課程修了
(電気情報工学専攻)
博士 (工学) | 1994年 名古屋工業大学助手
1998年 中京大学助手
1999年 博士 (工学) (名古屋工業大学) |
| 2004年 中京大学講師 | 2007年 中京大学准教授 |
| 2010年 中京大学准教授 | 2012年 中京大学教授 |
| 2015年 中京大学教授
現在に至る | 現在に至る |
-
- | |
|---|
| 遠藤 守 (えんどう まもる) |
| 1997年 信州大学工学部情報工学科卒業 |
| 1999年 名古屋大学大学院博士前期課程修了
(物質・生命情報学専攻) |
| 2003年 名古屋大学大学院博士後期課程修了
(物質・生命情報学専攻), 博士 (学術) |
| 2003年 中京大学講師 |
| 2008年 中京大学准教授 |
| 2014年 名古屋大学准教授
現在に至る |

人工知能原理

Principles of Artificial Intelligence

© Kanoh, Yamada, Endoh 2017

2017年12月15日 初版第1刷発行

検印省略

著者 加納 政 芳
山田 雅 之
遠藤 守
発行者 株式会社 コロナ社
代表者 牛来 真也
印刷所 三美印刷株式会社
製本所 有限会社 愛千製本所

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 978-4-339-02712-9 C3355 Printed in Japan

(金)



JCCOPY <出版者著作権管理機構 委託出版物>

本書の無断複製は著作権法上での例外を除き禁じられています。複製される場合は、そのつど事前に、出版者著作権管理機構 (電話 03-3513-6969, FAX 03-3513-6979, e-mail: info@jccopy.or.jp) の許諾を得てください。

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います。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いません。落丁・乱丁はお取替えいたします。