

目 次

第1章 人工知能基礎	.....	2
1.1 人工知能研究の歴史		2
1.2 状態空間の探索		11
1.3 CSP, SAT などのその他の探索手法		13
1.4 プランニングとスケジューリング		16
1.5 あとがき		18
1-1 縦型（深さ優先）探索と横型（幅優先）探索 21		
1-2 山登り法 22		
1-3 最良優先探索とビーム探索 23		
1-4 A* アルゴリズム 24		
1-5 反復深化 26		
1-6 AND/OR グラフ探索 27		
1-7 確率的探索法 30		
1-8 制約充足問題 (CSP) の局所整合アルゴリズム 32		
1-9 制約充足問題 (CSP) の木探索とルックアヘッド 34		
1-10 制約充足問題 (CSP) の併合法 36		
1-11 SAT 38		
1-12 数理計画法による推論 40		
1-13 動的計画法 42		
1-14 STRIPS プランニング 45		
1-15 階層的プランニング 47		
1-16 半順序プランニング 48		
1-17 即応プランニング 49		
1-18 実時間 A*アルゴリズム 50		
1-19 任意時間アルゴリズム 51		
1-20 SAT プランニング 52		
1-21 スケジューリング 53		
1-22 人工知能探索問題の計算量 55		
1-a チューリング・テスト 3		
1-b ダートマス会議 4		
1-c ヒューリスティックス 6		
1-d SHRDLU ロボット 8		
1-e 分枝限定法と A*アルゴリズム 14		
1-f 制約充足問題 (CSP) と命題論理式の相互変換 16		
1-g GPS と手段-目標解析 17		
1-h プランニング・スケジューリング手法は実用的か? 18		
1-i 量子コンピュータ 19		
第2章 知の基礎科学：哲学、心理学、認知科学、脳科学	.....	58
2-1 哲学 61		
2-2 サール・ドレイファス論争 65		
2-3 心身問題 67		
2-4 消去主義 69		
2-5 志向性 71		
2-6 シンボル・グラウンディング 73		
2-7 意識 75		
2-8 身体性 77		
2-9 暗黙知 79		
2-10 アブダクション 81		
2-11 フレーム問題 83		
2-12 モジュラリティ 85		
2-13 思考の言語 86		
2-14 心理学 88		

2-15 心理学研究法	92	2-38 科学的推論	137
2-16 動物行動	94	2-39 学習科学	138
2-17 視覚・聴覚	96	2-40 洞察と発見	139
2-18 ワーキングメモリ（作業記憶）	99	2-41 認知神経科学	141
2-19 潜在記憶・潜在学習	101	2-42 脳科学	143
2-20 概念とカテゴリ	102	2-43 計算論的神経科学	147
2-21 動機づけ	104	2-44 脳の理論	149
2-22 文章理解	105	2-45 ニューロンとシナプスの 数理モデル	151
2-23 意思決定	106	2-46 神経細胞と神経回路網の機能	153
2-24 思考	108	2-47 視覚系のモデル	155
2-25 感情・情動	111	2-48 聴覚系のモデル	157
2-26 発達	113	2-49 記憶系のモデル	159
2-27 認知科学	116	2-50 運動系のモデル	162
2-28 熟達化	120	2-51 発達と可塑性	164
2-29 領域固有性・文脈依存性	121	2-52 神経回路網の学習	166
2-30 メンタルモデル	122	2-a 心の進化	74
2-31 図的推論	123	2-b 状況意味論	87
2-32 コラボレーション（協働）	125	2-c アフォーダンス	98
2-33 コネクショニズム	127	2-d 連想	103
2-34 類推	129	2-e 創造性心理	110
2-35 制約	131	2-f 進化心理学	115
2-36 状況の認知	133	2-g 創造科学	140
2-37 ダイナミカルシステムズアプローチ	135	2-h アウェアネス	167

第3章 知識表現・論理・推論 170

3-1 知識表現基礎	175	3-16 融合原理	195
3-2 Newell の知識レベル	177	3-17 モデルチェックング	196
3-3 Lisp	178	3-18 不完全性定理	198
3-4 意味ネットワーク	180	3-19 非単調推論	200
3-5 フレーム表現	181	3-20 信念修正	202
3-6 Conceptual Graph	182	3-21 AI におけるアブダクション	203
3-7 KL-ONE ファミリーの知識表現言語	183	3-22 プロダクションシステム	204
3-8 論理的表現	185	3-23 事例ベース推論	206
3-9 演繹推論	186	3-24 モデルベース推論	207
3-10 古典論理	187	3-25 定性推論	208
3-11 定理証明	189	3-26 空間推論	209
3-12 論理プログラミング	190	3-27 状況計算	211
3-13 様相論理	191	3-28 概念依存理論	212
3-14 時間論理	192	3-29 手続き的知識と宣言的知識	213
3-15 記述論理	193	3-30 前向き推論と後向き推論	214

3-a 知識表現の標準化活動の動向 171 3-b 第五世代コンピュータ 172 3-c 認知ロボティクス 173	3-d Prolog の誕生 190 3-e イエールシューティング (Yale Shooting) 問題 201
---	--

第4章 知識モデリング 218

4.1 知識工学の誕生とエキスパートシステム 218 4.2 知識の共有と再利用の必要性 221 4.3 知識モデリング 223 4.4 オントロジー 224	4-1 エキスパートシステム 229 4-2 MYCIN と EMYCIN 231 4-3 R1/XCON 233 4-4 知識ベース・ルールベース 235 4-5 説明機能 236 4-6 エキスパートシステムにおける経験則 237 4-7 知識獲得 238 4-8 汎化タスク 240 4-9 タスクレベル方略 241 4-10 KADS 方法論 242 4-11 Soar 244 4-12 深い知識と知識コンパイル 246 4-13 知識の共有と再利用 248 4-14 大規模知識ベース 249 4-15 言語知識からのモデリング 250 4-16 オントロジー 252
	4-17 上位オントロジー 254 4-18 is-a 関係と part-of 関係 256 4-19 オントロジー表現言語 257 4-20 オントロジー開発方法論 258 4-21 オントロジー開発ツール 261 4-22 オントロジー学習 262 4-23 オントロジー統合 264 4-24 オントロジーアウェア・モデリング環境 266 4-25 知識の体系化とモデリング 267
	4-a 実用化されたエキスパートシステム 219 4-b 知識獲得ボトルネック 221 4-c 知識ベースの完全性 222 4-d オントロジーの定義 225 4-e light-weight オントロジーと heavy-weight オントロジー 226 4-f オントロジーの開発例 226 4-g 哲学のオントロジー 227

第5章 機械学習 270

5.1 人工知能は学習するのか?! 270 5.2 機械学習の代表的なパラダイム 270 5.3 学習研究の歴史 272 5.4 機械学習の研究分野 272 5.5 ニューラルネットワークと機械学習 274 5.6 計算論的学習理論 275 5.7 論理プログラミングと学習 275	5-1 暗記学習 279 5-2 例からの学習 280 5-3 類推による学習 282 5-4 概念クラスタリング 284
	5-5 EM アルゴリズム 286 5-6 機械学習から発見への展開 288 5-7 計算論的学習理論 289 5-8 正例からの学習 291

5-9 極限における同定	293	5-20 説明に基づく学習	309
5-10 質問による学習	295	5-21 帰納論理プログラミング	311
5-11 PAC 学習	297	5-22 構成的帰納と新述語の発明	313
5-12 学習結果の評価	299	5-23 理論精錬	315
5-13 代表的なベンチマーク	300	5-24 多戦略学習	316
5-14 クロスバリデーション（交差検定）	301	5-25 強化学習	318
5-15 AQ アルゴリズム	302	5-26 コミッティ学習	321
5-16 決定木	303	5-a 自然言語処理と機械学習	271
5-17 決定リスト	305	5-b パーセプトロン批判	273
5-18 分類規則	306	5-c 学習結果はどう評価されるべきか：訓練例とテスト例	
5-19 バージョン空間	307	276	

第6章 進化・創発 324

6.1 進化論的手法	324		
6.2 人工生命と複雑系	329		
6-1 遺伝的アルゴリズム (GA)	333	6-14 共進化と協調計算	352
6-2 遺伝的プログラミング (GP)	335	6-15 対話型進化論的計算	353
6-3 多目的最適化のための GA	337	6-16 複雑系と人工生命	355
6-4 関数最適化のための実数値型 GA	338	6-17 セルオートマトン	357
6-5 スキーマ定理とだまし問題	340	6-18 人工市場と進化経済学	358
6-6 並列・分散 GA, GP	341	6-19 メタヒューリスティックス	360
6-7 GP のイントロンとプロート	343	6-20 免疫系アルゴリズム	363
6-8 ノーフリーランチ定理	344	6-a ドーキンスと利己的遺伝子	325
6-9 リンケージと EDA アルゴリズム	345	6-b 囚人のジレンマ	327
6-10 GA とニューラルネットワーク	346	6-c ボールドウイン効果	328
6-11 クラシファイアシステム	347	6-d 中立説	329
6-12 進化型ハードウェア	349	6-e Tierra	330
6-13 進化型ロボット	351	6-f Karl Sims の人工進化シミュレーション	331
		6-g U-Mart	359
		6-h Reynolds の Boid	361

第7章 自然言語処理 366

7.1 1970年代：小規模言語理解システムの時代	366		
7.2 1980年代：文法の深化の時代	368		
7.3 1990年代：統計的言語処理の時代	368		
7.4 2000年代の自然言語処理と今後	372		
7-1 言語資源	373	7-5 文法	380
7-2 形態素解析と品詞タグつけ	375	7-6 チャンキング	382
7-3 統語解析アルゴリズム	377	7-7 言語生成	383
7-4 統計的統語解析	379	7-8 言い換え技術	385

7-9 意味処理 386	7-19 情報検索 402
7-10 語彙意味論 388	7-20 適合性フィードバック 404
7-11 語義曖昧性解消 389	7-21 多言語情報検索 405
7-12 言語知識獲得 390	7-22 情報抽出 406
7-13 談話処理 392	7-23 文書要約 408
7-14 対話処理 394	7-24 文書分類 410
7-15 照応解析 396	7-25 テキストマイニング（1） 411
7-16 機械翻訳 398	7-a ALPAC 報告 367
7-17 統計的機械翻訳 400	7-b 文書処理に関する評価型ワークショップ 369
7-18 二言語間アラインメント 401	7-c 質問応答システム 370
<hr/>	
第8章 画像・音声メディア 414	
8.1 はじめに 414	
8.2 人間のためのメディアとしてのコンピュータ 415	
8.3 パターン認識・理解の枠組み 416	
8.4 メディア情報処理の将来 422	
<hr/>	
8-1 パターン認識・理解 425	8-17 映像要約と編集 450
8-2 シーン理解 427	8-18 MPEG-4 と MPEG-7 451
8-3 DP マッチング 428	8-19 ヒューマンビジョン 453
8-4 ベクトル表現 429	8-20 音声認識・理解 455
8-5 パターンクラスタリング 430	8-21 音声言語モデル 457
8-6 次元圧縮 431	8-22 音声合成 459
8-7 スペクトラルクラスタリング 433	8-23 話者認識 461
8-8 人物像処理 435	8-24 音声対話システム 462
8-9 顔画像処理 436	8-25 VoiceXML 463
8-10 バイオメトリクス 438	8-26 聴覚の情景分析 464
8-11 モデルベースビジョン 440	8-27 音楽情報処理 465
8-12 全方位画像と任意視点画像 442	8-a タンジブル・ビット：情報と物理世界を融合するユーティリティ・デザイン 419
8-13 イメージベースモデリング 443	8-b インタラクティブアートと音声・画像メディア 423
8-14 イメージベースレンダリング 445	8-c ビジョンハードウェア 437
8-15 複合現実感 447	8-d メディア教育応用：臨場感の伝達をめざして 448
8-16 マルチメディアデータベース 449	8-e ゲシュタルト理論 454
<hr/>	
第9章 ヒューマンインタフェース 470	
9.1 ヒューマンインタフェースとは 470	
9.2 ヒューマンインタフェースの進化 471	
9.3 入出力インタフェース 475	
9.4 知的インタフェース 476	
9.5 インタフェースデザイン 482	

9-1 GUI	486	9-18 情報検索インターフェース	509
9-2 ウェアラブルコンピュータ	488	9-19 ヒューマンインターフェースのデザイン原理	
9-3 ユビキタスコンピューティング	489	510	
9-4 入力デバイス	491	9-20 認知モデル	511
9-5 日本語入力	492	9-21 ユーザビリティ	512
9-6 ペンインターフェース	493	9-22 インタラクティブシステムのモデル	513
9-7 音声インターフェース	495	9-23 情報可視化	514
9-8 視線インターフェース	496	9-24 感性コミュニケーション	516
9-9 ジェスチャインターフェース	497	9-25 コミュニケーション支援	518
9-10 感覚提示技術	498	9-26 CSCW	519
9-11 実世界指向インターフェース	500	9-27 ユニバーサルデザインインターフェース	
9-12 センサ	502	521	
9-13 マルチモーダルインターフェース	503	9-a マクルーハンとアラン・ケイ	473
9-14 PUI	504	9-b MIT メディアラボのインパクト	474
9-15 インタフェースエージェント	505	9-c 小型キーボードによるテキスト入力	477
9-16 適応型インターフェース	507	9-d ワイヤレス技術とヒューマンインターフェース	479
9-17 予測インターフェース	508	9-e コンピュータが見えなくなる	481
		9-f ゲームが人間を変える	484

第10章 エージェント 524

10.1 エージェントとは何か	524		
10.2 エージェント研究の歴史	525		
10.3 エージェント研究の展望	527		
10-1 合理的エージェント	529	10-11 モバイルエージェント	547
10-2 言語行為	531	10-12 エージェント通信プロトコル	549
10-3 エージェントアーキテクチャ	532	10-13 エージェント指向ソフトウェア工学	550
10-4 協調下の探索	534	10-14 エージェント指向インターフェース	554
10-5 協調下の行動選択	536	10-15 マルチエージェントシミュレーション	557
10-6 分散協調問題解決	538	10-16 エージェントの心理学	558
10-7 交渉	540	10-17 エージェントと社会	560
10-8 提携	542	10-a オブジェクトとエージェント	552
10-9 市場指向プログラミング	544	10-b エージェント指向インターフェース vs. 直接操作インターフェース	555
10-10 オークション	545		

第11章 Web インテリジェンス 564

11.1 はじめに	564
11.2 広大な記号世界としての Web	565
11.3 社会-情報システムとしての Web 世界	567

11-1 検索エンジン	573	11-11 ピア・ツー・ピア (P2P)	590
11-2 Web 検索	575	11-12 コミュニティ支援	591
11-3 ランキング・アルゴリズム	577	11-13 デジタルシティ	593
11-4 Web コミュニティ	579	11-14 社会知能	594
11-5 Web マイニング	581	11-15 XML とメタデータ	596
11-6 Web ナビゲーションと可視化	582	11-16 セマンティック Web	598
11-7 Web における情報共有	584	11-17 Web サービス	600
11-8 インターネットエージェント	585	<hr/>	
11-9 情報推薦システム	586	11-a Web の大きさ	566
11-10 デジタルライブラリ	589	11-b Web における多言語問題	568
		11-c Small World	569
		11-d メタデータ・ボトルネック	571

第12章 ロボティクス 602

12.1 ロボティクスとは？	602
12.2 ロボットの歴史	603
12.3 ロボットの主要な三つの要素	604
12.4 知能の獲得のロボティクスアプローチ	612
<hr/>	
12-1 産業用ロボット	615
12-2 ロボットの知覚	616
12-3 ロボットの認知	618
12-4 ロボットの機構と制御	620
12-5 ロボットのアクチュエータ	622
12-6 移動ロボット技術	623
12-7 ヒューマノイド	625
12-8 ロボット言語	627
12-9 古典的制御アーキテクチャと行動規範型制御 アーキテクチャ	629
12-10 身体性と環境	631
<hr/>	
12-11 教示と学習	633
12-12 強化学習における状態・行動空間構成	635
12-13 強化学習のマルチエージェント環境への拡張	637
12-14 模倣学習	639
12-15 ユビキタスロボティクス	641
12-16 ペット型ロボット	643
12-17 ロボカップ	645
<hr/>	
12-a からくり人形	605
12-b ロボカップヒューマノイドリーグの魅力	608
12-c チェスとロボカップ	609
12-d ロボカップにおける研究から実用への流れ	610

第13章 知識発見・データマイニング 648

13.1 背景・歴史	648
13.2 データマイニング技術の課題と進展	649
13.3 今後の展望	656
<hr/>	
13-1 知識発見のプロセス	659
13-2 科学的発見	661
13-3 データマイニングのサイクル	663
13-4 データウェアハウス	664
13-5 データの可視化	665
13-6 データ洗浄	667
<hr/>	
13-7 データ削減	668
13-8 数値属性離散化	669
13-9 属性選択・抽出・構築	671
13-10 相関規則	673
13-11 大量データのクラスタリング	675
13-12 テキストマイニング(2)	676

13-13 時系列マイニング	678	13-21 データマイニングとコンプライアンス	692
13-14 空間マイニング	680	13-22 データマイニングツール	693
13-15 構造マイニング	681	13-a ビールとおむつの相関	649
13-16 関係データマイニング	683	13-b AM：理論駆動型の発見	650
13-17 例外知識発見	685	13-c 機械学習とデータマイニング	652
13-18 ユーザインタラクション	687	13-d Association と Correlation	656
13-19 知識の評価・検証	689	13-e KDD チャレンジ	657
13-20 知識の伝達性	691		

第14章 ソフトコンピューティング 696

14.1 ソフトコンピューティングとは	696		
14.2 記号と非記号	696		
14.3 ファジィ論理とラフ集合	699		
14.4 確率	700		
14.5 ニューラルネットワーク	702		
14.6 学習	705		
14.7 まとめにかえて	708		
14-1 特徴抽出の理論	711	アーキテクチャ	743
14-2 ファジィ集合論, ファジィ測度, ファジィ積分	713	14-20 単純・多層パーセプトロン	745
14-3 ファジィ論理, ファジィ推論	715	14-21 リカレントネットワーク	747
14-4 ファジィ制御	717	14-22 ホップフィールドネットワークとボルツマンマシン	749
14-5 ファジィパターン認識	718	14-23 競合学習と学習ベクトル量子化	751
14-6 ファジィデータ解析	720	14-24 カオスネットワーク	753
14-7 ファジィルールの学習	721	14-25 ニューロイダルネット	755
14-8 ラフ集合理論	723	14-26 汎化能力の評価と向上策	757
14-9 確率分布モデル	726	14-27 ラージマージン分類器	758
14-10 確率密度分布の推定	728	14-28 ニューロ・ファジィ・GA の融合	761
14-11 隠れマルコフモデル	730	14-a 実世界知能	697
14-12 マルコフ確率場	731	14-b 記号パラダイムと非記号パラダイム	698
14-13 識別の理論と手法	733	14-c 確率とファジィ	701
14-14 パターン認識とベイズ推定	735	14-d ファジィの長い道：なぜ米国では冷遇され日本で花開いたか	702
14-15 単結合ベイジアンネットによる確率計算	737	14-e 確率と AI：別離から蜜月へ（水と油から融合へ）	703
14-16 複結合ベイジアンネットによる確率計算	739	14-f ニューラルネットワーク：工学応用か脳のモデルか	704
14-17 ベイジアンネットの学習	741	14-g ニューラルネットワークの浮き沈み	705
14-18 独立成分分析	742	14-h 光ニューロチップから人工網膜 LSI まで：事業化への棘の道	706
14-19 ニューラルネットワーク		14-i ニューラルコンピューティングと組合せ最適化問題	707
		14-j 物理と AI：統計力学, レプリカ法	708

第15章 AI応用：人工知能の産業応用 764

15.1 はじめに	764
15.2 エキスパートシステムの普及における問題	764
15.3 人工知能の産業応用への変遷	766
15.4 発表論文から見た人工知能の産業応用の状況	768
15.5 特許から見た人工知能の産業応用の状況	769
15.6 小項目テーマ選定の方針と今後の動向	770
15-1 LSI CAD システム 773	773
15-2 コンフィグレーション・システム 774	774
15-3 計画とスケジューリングシステム 775	775
15-4 診断システム 776	776
15-5 制御システム 777	777
15-6 生産管理システム 778	778
15-7 データウェアハウスとデータマイニング 779	779
15-8 CRM 780	780
15-9 電子調達 781	781
15-10 電子商取引 782	782
15-11 インテリジェント交通システム 783	783
15-12 次世代カーナビゲーションシステム 784	784
15-a AI応用に関する学会 771	771
15-b AI技術と実用化のギャップ 785	785

第16章 AI応用：ナレッジマネジメント 788

16-1 暗黙知と形式知 795	795
16-2 コード化戦略と個人化戦略 796	796
16-3 ナレッジマネジメントとBPR 797	797
16-4 商用のナレッジマネジメントツール 798	798
16-5 ナレッジマネジメントとエキスパートシステム 799	799
16-6 ナレッジマネジメントとオントロジー 800	800
16-7 ナレッジマネジメントとデータマイニング 801	801
16-a アルファベットスープ 789	789
16-b ナレッジエンジニアからナレッジワーカーへ 794	794

第17章 AI応用：バイオロジー 804

17-1 遺伝子発見 811	811
17-2 ホモロジー検索 812	812
17-3 アラインメント 813	813
17-4 モチーフ抽出 814	814
17-5 立体構造決定 815	815
17-6 単粒子解析 816	816
17-7 立体構造予測 817	817
17-8 分子シミュレーション 818	818
17-9 統合データベース 819	819
17-10 ゲノムオントロジー 820	820
17-11 遺伝子多型解析 821	821
17-12 表現型変異解析 822	822
17-13 遺伝子ネットワーク解析 823	823
17-14 プロテオーム解析 824	824
17-15 システム・バイオロジー 825	825
17-16 細胞シミュレーション 826	826
17-a ゲノム解析プロジェクト 805	805
17-b 智の遺伝子探索 806	806
17-c バイオ グリッド 806	806
17-d タンパク 3000 プロジェクト 807	807
17-e タンパク質構造予測コンテスト 808	808

第18章 AI応用：教育支援	.....	830
18.1 背景・歴史		830
18.2 知的教育支援のシステム類型・関連領域・要素技術		831
18.3 今後の展望		835
18-1 知的学習環境	839	
18-2 知的教育システム(ITS)	841	
18-3 協調学習支援システム(CSCL)	842	
18-4 発見学習・探索学習支援	844	
18-5 語学学習支援システム	846	
18-6 シミュレーション・訓練システム	848	
18-7 Webベースの教育システム	850	
18-8 認知と教育	852	
18-9 メタ認知	854	
18-10 リフレクションの支援	856	
18-11 協調学習の学習理論	858	
18-12 インストラクショナルデザイン	859	
18-13 教育の評価・分析	861	
18-14 学習者モデル	863	
18-15 教材知識の表現	865	
18-16 教授方略	867	
18-17 教育エージェント	869	
18-18 教育のオントロジー	871	
18-19 e-Learningと標準化	872	
18-20 学習資源のメタデータ	874	
18-21 オーサリング支援	876	
18-22 ユビキタスラーニング	878	
18-a 自然言語処理と教育支援システム	831	
18-b ナレッジマネジメントと教育	832	
18-c 質的評価と量的評価	833	
18-d 教育デザイン理論間の論争	834	
18-e e-LearningとセマンティックWeb	837	
第19章 AI応用：ゲーム	.....	882
19-1 ゲーム木探索	887	
19-2 ミニマックス探索	887	
19-3 アルファ・ベータ探索	888	
19-4 評価関数	889	
19-5 置換表	889	
19-6 オープニングブック	890	
19-7 Endgameデータベース	890	
19-8 選択的深化	891	
19-9 PN探索	892	
19-10 チェス	892	
19-11 オセロ	894	
19-12 将棋	895	
19-13 詰め将棋	896	
19-14 囲碁	897	
19-15 コンピュータゲーム	898	
19-a チャイノック	885	
19-b ディープブルー	893	
19-c ロジステロ	894	
執筆者別項目一覧	.....	899
和英索引	.....	906
英和索引	.....	938
人名索引	.....	973