

ゲーム情報学概論

—ゲームを切り拓く人工知能—

工学博士 伊藤 毅志 編著
博士(理学) 保木 邦仁 共著
三宅陽一郎

コロナ社

ま え が き

ゲームを題材にした研究は、海外では古くから行われてきた。ゲームは、ルールが明確であるためコンピュータに載せやすく、技術の進歩が「勝敗」に直結することから、人工知能の研究対象としてよい題材である。また、問題解決、推論、記憶、学習など人間の思考研究に関するさまざまなトピックを含んでおり、認知科学の研究対象としても優れている。特に欧米では、“チェス”は知の象徴と考えられており、知の研究の中心的役割を果たしてきた。

しかし、日本では「ゲーム≒遊び」と捉えられる傾向にあり、ゲームの研究の歴史は浅い。わが国で、「ゲーム情報学」という研究グループが情報処理学会の中で産声を上げたのは、1999年である。その前身となるゲームプログラミングワークショップというシンポジウムは、少し前の1994年から開催されているが、学術的な研究はたかだか二十数年程度の歴史しかない。日本には、将棋、囲碁、麻雀、双六など、多くの優れた伝統的なゲームがあり、近年、これらを対象とした研究が海外の研究を追う形で、長足の進捗を遂げている。

チェスや囲碁、将棋など多くのプレーヤのいるゲームにおいて、探索や機械学習などの研究成果が数多く出され、それぞれのゲームに特化した技術を解説する書籍も散見されるが、これらを統合した教科書はわが国では見当たらない。ゲーム情報学は、人工知能における問題解決、探索、認識、予測、機械学習などさまざまな研究テーマを含んでいるばかりか、人間の思考に関する認知科学的側面も含んでいる。さらに、新しい技術を利用したデジタルゲームも登場しており、研究テーマは広がりを見せている。

「ゲーム」と一言でいっても、チェス、囲碁、将棋のような古典的なゲームもあれば、最先端のVR技術やロボット技術を駆使した新しいゲームもある。また、人狼じんろうのような多人数コミュニケーションゲームや囚人のジレンマのよう

な社会ゲームも存在する。これらゲームの根底にある共通点を明らかにして、個々のゲームの違いを顕在化することによって、おのおののゲームの特質が見えてくるし、またそれぞれのゲーム研究で培ってきた技術の意味も見えてくる。本書では、ゲームのもつ意味を定義から見つめ直し、各ゲームの位置づけを行い、明確な研究成果が出てきたゲーム分野の技術を紐解いていくことで、ゲーム情報学という研究分野を体系的に捉えてみたい。

第Ⅰ部では、ゲーム情報学の定義から歴史や基礎的な考え方について、この分野を牽引してきたボードゲームの研究を中心にサーベイする。第Ⅱ部では、さらに具体的なゲームを例に挙げて、基礎となる理論について詳説する。第Ⅲ部では、デジタルゲームを例に挙げて、具体的なゲームの設計やゲームAIの応用例について概観する。これら三部は別々の執筆者によって、たがいに独立した内容になっているが、たがいに関連した事象について述べているところもある。各部を独立に読んでも、全体を通して読んでも意味がわかるように構成したつもりである。

ゲーム情報学という分野は、個々のゲームに特化した技術や理論も多く、本書だけで網羅し尽くせない内容も多い。そのような内容については、読書案内や参考文献などを示したので参照されたい。また、この分野は、日々発展しており、新しい技術がつつぎとぎと発表されている。例えば、本書を執筆した2016年から2017年にも、コンピュータ囲碁の分野において、革新的なディープラーニングや強化学習の手法が登場し、急激な発展を遂げた。同様のことがこれからもつづくことが考えられる。しかし、本書ではこれまでのこの分野の研究の道のりをまとめ、その根底にある基本的な事柄から順に積み上げたつもりである。本書が、現時点のこの分野における一つの指針となる初学者向けの教科書となったのではないかと考えている。

2018年3月

伊藤 毅志

目 次

第 I 部 ゲーム情報学概論

プロローグ

1. ゲームとはなにか

1.1	ゲームを定義する	2
1.1.1	ゲームの定義を試みた人たち	2
1.1.2	ゲームの情報学的定義	3
1.1.3	ゲーム情報学の研究領域	5
1.2	ゲームの情報学的分類	6
1.2.1	プレイヤーの数による分類	6
1.2.2	完全情報性	11
1.2.3	確定性	11
1.2.4	ゼロ和性	12
1.2.5	有限性	14
1.2.6	ゲームの分類とその役割	15

2. ゲーム情報学の基礎

2.1	ゲームと問題解決	16
2.1.1	ゲームと問題解決空間	16
2.1.2	一般問題解決器	18
2.1.3	二人完全情報確定ゼロ和ゲーム	19

2.1.4	ゲーム木と必勝法	20
2.1.5	探索量から見たゲームの複雑さ	22
2.2	ゲーム情報学の歴史	24
2.2.1	チェス	24
2.2.2	将棋	28
2.2.3	囲碁	32
2.2.4	その他のゲーム	35

3. ゲーム AI と認知研究

3.1	ゲーム AI とアルゴリズム	40
3.1.1	ゲーム AI の三つのアプローチ	40
3.1.2	ルールベースアプローチ	42
3.1.3	探索的アプローチ	44
3.1.4	学習的アプローチ	48
3.2	ゲームと認知科学	50
3.2.1	認知科学的研究とその手法	50
3.2.2	ゲームの認知科学研究	51
3.2.3	人間の思考とコンピュータの思考	56
3.2.4	自然なゲーム AI の研究	58

第 I 部の参考図書	60
------------	----

第 I 部の引用・参考文献	63
---------------	----

第Ⅱ部 ゲーム情報学のアルゴリズム

プロローグ

4. 最短経路の探索とコスト関数：15 パズル

4.1	15 パズル	68
4.2	15パズルのグラフ探索	69
4.3	A* アルゴリズム	73
4.4	問題を緩和して h コストを設計する方法	80

5. ゲーム理論の基礎知識：囚人のジレンマ，ジャンケン，三目並べ

5.1	戦略型ゲームと戦略の優劣	84
5.2	ナッシュ均衡と混合拡大	89
5.3	二人ゼロ和ゲームの均衡点とミニマックス定理	93
5.4	展開型ゲーム	98
5.5	展開型ゲームの戦略と後ろ向き帰納法	104

6. ミニマックスゲーム木とその探索：三目並べ，オセロ，チェス，将棋

6.1	ミニマックスゲーム木	106
6.2	ミニマックスゲーム木の深さ優先探索	109
6.3	ミニマックスゲーム木の $\alpha\beta$ 探索法	111
6.4	AND/OR 木と証明数	117
6.5	ミニマックスゲーム木のグラフ探索	122
6.6	ヒューリスティックミニマックス探索	126

7. モンテカルロ法を用いた強化学習：ブラックジャック

7.1 強化学習概要	129
7.2 ブラックジャックとその基本ルール	131
7.3 ゲーム状態, 行動および報酬の表現	133
7.4 モンテカルロ法による方策評価	135
7.5 方策の改善	137

第II部の引用・参考文献	141
--------------	-----

第III部 デジタルゲームへの応用

プロローグ

8. ゲーム AI：アクションゲームとボードゲームの比較

8.1 デジタルゲームの原理	144
8.2 ボードゲームとデジタルゲームの人工知能の違い	145
8.3 知識表現・世界表現	147
8.4 ゲーム表現	148
8.5 キャラクターの行動表現	149
8.6 デジタルゲーム AI の全体像	151
8.6.1 キャラクター AI	152
8.6.2 メタ AI	152
8.6.3 ナビゲーション AI	155

9. キャラクター AI

9.1 エージェントアーキテクチャ	156
9.2 センサモジュール	158
9.3 知識生成モジュール	158
9.4 意思決定モジュール	159
9.5 エフェクタと運動生成モジュール	161
9.6 記憶とインフォメーションフロー	162
9.7 記憶の形	163
9.8 黒板モデル (ブラックボードアーキテクチャ)	163

10. ゲーム AI の知識表現と意思決定アルゴリズム

10.1 知識表現	166
10.1.1 世界表現	168
10.1.2 オブジェクト表現	169
10.1.3 記憶表現	171
10.1.4 アクション表現, 意思決定, 結果表現	172
10.2 八つの意思決定アルゴリズム	173
10.2.1 ステートベース	174
10.2.2 ルールベース	176
10.2.3 ビヘイビアベース	177
10.2.4 ユーティリティベース	181
10.2.5 ゴールベース	182
10.2.6 タスクベース	186
10.2.7 シミュレーションベース	190
10.2.8 ケースベース	190

11. ナビゲーション AI

11.1	ナビゲーションメッシュとウェイポイント	192
11.2	ダイクストラ探索法と A* パス検索	193
11.3	地形解析	196
11.4	戦術位置検索	196
11.5	影響マップ	199
11.6	社会的空間	200

12. 学習・進化アルゴリズムの応用

12.1	統計による学習	204
12.2	ニューラルネットワーク	205
12.3	遺伝的アルゴリズム	206
12.4	ゲーム進化アルゴリズム	208
12.5	強化学習	209
12.6	プレイヤーのデータから学ぶ	210
	エピローグ	211
	第Ⅲ部の参考図書	212
	第Ⅲ部の引用・参考文献	214

索	引	219
----------	----------	-----

第 I 部 ゲーム情報学概論

〈プロローグ〉

この第 I 部では、ゲームの定義を試みるところから始める。さらに、ゲーム情報学という分野が、認知科学や人工知能における重要な地位を占めてきたことを、歴史的視点も含めて概観する。ゲームを科学的に捉える視線を養ってほしい。この後の第 II 部のアルゴリズム編、第 III 部の応用編につながる基本的な用語についてもふれている。

1 章では、ゲームの科学的な視点に基づく定義と分類について述べ、2 章では、問題解決という視点からゲームを概観し、ゲーム情報学の歴史を紐解く。3 章では、ゲーム AI の基本的なアプローチと認知科学的研究について紹介する。文系、理系を問わず、大学 1、2 年生程度の知識があれば理解できる内容にした。ゲームの人工知能研究、認知科学研究の基礎的な知識をなるべく広く浅く網羅するようにした。

1 章 ゲームとはなにか

ゲーム情報学を議論する前に、ゲームとはなにかを定義する必要があるだろう。一言で「ゲーム」といっても多岐にわたる。トランプやボードゲーム、囲碁、将棋、麻雀のようなゲームから、ゲームセンターや家庭用ゲーム機のようなデジタルゲームもある。さまざまな球技や競技スポーツもゲームと呼ばれる。また人間関係や国家間のようなものも、ゲームの理論としてゲームとして扱われることがある。なにがゲームで、なにがゲームでな

2 1. ゲームとはなにか

いのか、ゲーム情報学としてゲームをどう捉えるのか、ここでは定義を試みてみたい。

1.1 ゲームを定義する

1.1.1 ゲームの定義を試みた人たち

さまざまな遊びやゲームは、いろいろな立場からそれぞれの見方で定義が試みられてきた。

20世紀初頭のオーストラリアで生まれイギリスで活躍した哲学者**ヴィトゲンシュタイン** (L.J.J. Wittgenstein) は、言語哲学の立場からゲームの定義を試みている。「すべてのゲームに共通する概念というものはないが、ゲームは他のゲームと似た要素をたがいに持っている」とした。これは、言語と同様にゲームには多様性があることを意味しており、たがいに関連する要素がゲームの本質だと考えれば、新しいゲームはどんどん拡張できることを意味している。

フランス人社会学者**カイヨワ** (R. Caillois) はその著作『遊びと人間』の中で、以下の六つの要素でゲームの定義を試みている。

1. 自由な活動であること…遊技者が強制されていないこと
2. 隔離された活動であること…あらかじめ決められた時間や空間の範囲内に制限されること
3. 未確定の活動であること…ゲームの展開があらかじめ決定されていないこと
4. 非生産的な活動であること…財産や富を生み出すような行為ではないこと
5. ルールをもった活動であること…遊技者は約束事に従って行動すること
6. 虚構の活動であること…日常生活とは乖離した非現実的な行動であること

これらの要素は、確かにゲームの特徴をよく捉えているが、ゲームとして扱

うべき対象をどの範囲にするかによって、これらすべての要素が必須であるかどうかは議論が分かれるだろう。

1.1.2 ゲームの情報学的定義

本書では、ゲームを情報学的に捉えることを目的としている。ゲームをゲームたらしめている要素をなるべくシンプルに科学的に規定してみると、以下の3要素は外せない要素であると考えられる。

1. プレーヤがいる…ゲームをプレーするプレーヤが存在する。
2. ルールがある…プレーヤの行動を縛るルールが存在する。
3. 目標（勝敗）がある…プレーヤが目指す目標（例えば、ゲームに勝つ、高得点を得る、なんらかの目標を達成する、など）がある。

この三つが存在し、その状況下でプレーヤがプレー（play）を行うと、ゲームという場（field）が創出される。図 1.1 は、さまざまなプレーヤがおのおの異なる目標 a と目標 b を目指してプレーしている状況を表したものである。

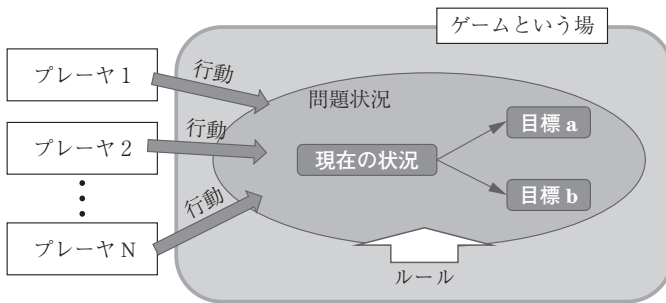


図 1.1 ゲームという場

おのおののプレーヤは、まず、ルールによって規定された範囲内の行動を理解している必要がある。そして、プレーヤはその行動の中から自身の判断に従って一つの行動を選択し、ゲームの状況を変化させ、それぞれの目標状態（goal state）に向かってプレーを進める。目標は一つでも目標状態は複数ある場合があり、目標状態に至る道は一つではないことが多いので、ゲームは筋書

4 1. ゲームとはなにか

きのないドラマのように進行する。いずれにしても、ゲームをゲームたらしめているのは、プレーヤとルールと目標の三つである。ゲームにおけるプレーとは、プレーヤがルールに従って状態を変化させることによって生じる。

この定義に従って、世の中のゲームといわれるものを見渡してほしい。少なくともこの3要素をもっていることが確認されるだろう。

例えば、じゃんけんを考えてみよう。じゃんけんのプレーヤは何人でも構わない。また、ルールも存在する。じゃんけんのルールは、掛け声とともにプレーヤが同時に3種類ある手の形のいずれかを提示し、**図 1.2**に示すような勝敗関係に従って勝敗を決める。ゲームの目的は、それぞれのプレーヤがじゃんけんに勝つことである。このように考えると、じゃんけんはやはり前述の定義によりゲームであるといえる。このゲームにおいては、たがいに相手の手が事前にわからないことがゲームとして重要であり、したがって、同時に手を出すこと（同時性）によってそれが保たれる。じゃんけんにおいては、掛け声がこの同時性を実現するための重要な役割を担っており、もし一人でも遅れて手を出した場合は、「後出し」という反則となり、ゲームは成立しない。

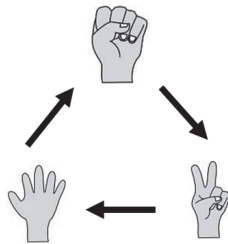


図 1.2 じゃんけんにおける手の形による勝敗関係

ゲーム情報学では、このように、プレーヤ、ルール、目標がはっきりしたものをゲームの対象として扱うことが多い。逆にこれらが不明確なものは、情報学的に扱いづらく、対象にはなりづらい。

また、ゲーム情報学が目にするのは、ゲームの場におけるプレーの部分である。ゲームをプレーするためには、なんらかの知的情報処理を行う必要があり、人間はこれを行っている。人工知能的な興味としては、どのようにしてこ

のような知的なプレーを実現しているのか、ということであり、認知科学的な興味としては、人間がどのようにしてこのような知的なプレーを実現しているのか、プレーするためになにをどのように学習しているのか、ということになる。

1.1.3 ゲーム情報学の研究領域

ゲーム情報学という分野では、さまざまな研究テーマが扱われている。以下に、その研究テーマを列挙してみる。

- (1) ゲームプレーのアルゴリズムと人工知能
- (2) ゲームの学習アルゴリズム, 機械学習
- (3) ゲームの認知科学的研究
- (4) ゲームの学習支援, 熟達化支援
- (5) デジタルゲームと新しい技術の応用
- (6) ゲーム理論による人間の行動の分析
- (7) ゲームの社会への応用, ゲーミフィケーション

ゲームを対象とした研究は、パズルやチェスを題材とした研究が中心となっ
て行われてきた。本書では、第Ⅰ部、第Ⅱ部では、(1)、(2)、(3)を中心に
説明し、(4)についても少しふれる。第Ⅲ部では、応用分野として、(5)のデ
ジタルゲームへの実用的な応用例について説明していく。

ゲームは、人間にとってなじみやすく、入り込みやすい性質をもつ。また、
自然と競争心や向上心を刺激する。このような性質から、体や脳の機能回復の
ようなリハビリテーション、学習支援、能力開発などの分野への応用も期待さ
れており、一方で(6)や(7)のような分野も広義の意味でゲーム情報学の範疇
ではあるが、本書ではあまり扱わない。本書では、ゲーム AI を中心に、それ
に関わる認知科学的研究などについて紹介していく。

索引

【あ】		【え】		環 境	129
あから 2010	31	影響マップ	199	頑強性	150
値	171	影響力関数	32	環境認識	155
アトキン	27	エキスパートシステム	42	完 全	73
アービター	164	エージェント	129	完全情報	102
アフォードンス	170	エージェントアーキテク		完全情報ゲーム	11
アルファ碁	34	チャ	156	【き】	
アルファ碁 Zero	34	エージェントセントリック		記憶モジュール	164
鞍 点	94		171	ギスパーク	38
【い】		エースターアルゴリズム	74	期待利得	91
池田心	59	エッジ	193	逆誤差伝播法	205
意思決定	157	エピソード的タスク	129	キャラクター AI	152
意思決定モジュール	159	エフェクタ	157, 161	キャロ	38
位置依存情報	168	【お】		強化学習	31, 129, 209
一般化方策反復	140	臆病者	89	教師あり学習	41
一般問題解決器	18	尾島陽児	34	強支配する	86
遺伝的アルゴリズム	48, 206	オセロ	36	強支配戦略	87
伊藤毅志	53	オブジェクト表現	169	均衡点	90, 91
インフォメーションフロー		親節点	99	【く】	
	157	【か】		タイフ	38
インフルエンスマップ	199	開始点探査	137	空間的チャンク	53
【う】		階層型ゴール指向型プラン		偶然手番	101
ヴィトゲンシュタイン	2	ニング	182	グラフ	124
ヴィラ	37	階層型タスクネットワーク		グリーディ方策	139
ウィルコックス	33		186	グリーンブラット	26
ウェイポイント	192	カイヨウ	2	クロンロッド	24
ウォールデン	32	学習のアプローチ	41	【け】	
後ろ向き帰納法	105	確定ゲーム	11, 101	激 指	29
運動生成	157	確定的	101	ケースベース	190
運動生成過程	162	確率的行動選択	48	ケースベースストーリーゾニ	
		価 値	136	ング	190
		カーリング	38	楔前部	55

ゲーム木	21, 99
ゲーム木探索	44
ゲームシステム	152
ゲーム状態	124
ゲームデザイン	146
ゲームの値	97
ゲーム世界	157
ゲームの知識表現	147
ゲームの理論	12
ゲームを解く	22
原始モンテカルロ	47
原始モンテカルロ法	33
ケンペレン	24

【こ】

合議アルゴリズム	31
控除率	140
行動	99
行動価値関数	138
合法手	11
効用	85
合理的な	86
黒板モデル	164
コスト	67, 193
子節点	99
小谷善行	28
コトック	26
コネクティブィテスト	196
子ノード競合モデル	178
ゴール指向型アクション プランニング	183
ゴール節点	70
ゴールデンパス	154
ゴールの分割	183
ゴールベース	182
コンウェイ	6
混合拡大	91
混合戦略	91
コンピュータ将棋協会	29
コンピュータ将棋選手権	29

【さ】

最短経路問題	67
--------	----

最適応答	89
最適状態価値	138
最適性	76
最適方策関数	138
斉藤康己	52
サイモン	18, 26, 51
最有力節点	120
最良優先探索	29, 67
サッカー	38
三日目並べ	20, 98

【し】

シェーファー	35
時間的チャンク	53
思考モジュール	164
仕事	129
視線計測装置	50
実現確率探索	29
支配する	86
支配戦略	87
シミュレーションベース	190
社会的空間	200
弱支配する	86
シャノン	25
囚人のジレンマ	13, 87
終端節点	99
手段-目標分析	18
シユラム	58
順序なし	186
純戦略	91
ショー	26
状態価値関数	136
衝突	126
情報集合	102
情報分割	102
初期状態	17
しらみつぶし探索	28
シルヴェイン	33
事例ベース推論	190
信頼度	171
人狼	39

【す】

推論エンジン	42
ステイト	27
ステートベース	174
スプライト	162
スマートオブジェクト	170
スマートテレイン	170
スライド	68
スループ	38

【せ】

生成フェーズ	197
生物学的制約	58
世界表現	147, 168
接続テスト	196
節点	69, 99
ゼロ和ゲーム	12, 88
センサ	157
センサモジュール	158
戦術位置検索	197
戦術位置検索システム	155
全順序	186
染色体	206
選択的探索	25
先端節点	72
全幅探索	25
戦略	85
戦略型ゲーム	86
戦略形ゲーム	86

【そ】

操作子	18
ソーシャルスペース	200
ソープ	32
ゾブリスト	32
ゾブリストハッシュ	125

【た】

ダイクストラ法	193
帯状皮質	56
大脳基底核	55
大脳皮質頭頂葉	55

<p>瀧澤武信 28</p> <p>ターゲッティングモジュール 160</p> <p>多数決合議 31</p> <p>タスクベース 186</p> <p>畳込みニューラルネットワーク 49</p> <p>田中啓治 55</p> <p>田中哲朗 30</p> <p>多人数ゲーム 9</p> <p>探索的アプローチ 41</p> <p style="text-align: center;">【ち】</p> <p>チェイス 51</p> <p>チェイニング 185</p> <p>チェスライクゲーム 19</p> <p>チェッカー 35</p> <p>チキンレース 89</p> <p>地形解析 155</p> <p>知識生成 157</p> <p>知識生成モジュール 158</p> <p>知識なし探索 73</p> <p>知識ベース 42</p> <p>知能 157</p> <p>チャンク 52</p> <p>チューリング 25</p> <p>頂点 70</p> <p style="text-align: center;">【つ】</p> <p>鶴岡慶雅 29</p> <p style="text-align: center;">【て】</p> <p>ディープソート 27</p> <p>ディープニューラルネットワーク 34</p> <p>ディープブルー 27</p> <p>定和ゲーム 88</p> <p>適応型ペーシング 153</p> <p>デ・グルート 51</p> <p>テサウロ 37</p> <p>デジタルゲーム 143</p> <p>デジタルゲーム AI 151</p> <p>データ抽象化 171</p>	<p>データマイニング 171</p> <p>手番 99</p> <p>展開 71</p> <p>展開型ゲーム 98</p> <p>展開形ゲーム 98</p> <p style="text-align: center;">【と】</p> <p>統一事実表現 171</p> <p>統計による学習 204</p> <p>同時手番ゲーム 103</p> <p>トルコ人 24</p> <p style="text-align: center;">【な】</p> <p>内部循環インフォメーションフロー 162</p> <p>内部節点 99</p> <p>仲道隆史 59</p> <p>ナッシュ均衡 90</p> <p>ナッシュ均衡点 90</p> <p>ナビゲーション AI 155</p> <p>ナビゲーションメッシュ 192</p> <p>ナレッジソース 164</p> <p style="text-align: center;">【に】</p> <p>二人完全情報確定ゼロ和ゲーム 19</p> <p>二人ゼロ和ゲーム 93</p> <p>ニューウェル 18, 26</p> <p>ニューラルネットワーク 48, 205</p> <p>ニューロエボルーション 207</p> <p>人間らしさ 58</p> <p>認識モジュール 158</p> <p>認知モデル 52</p> <p style="text-align: center;">【ね】</p> <p>根節点 21, 99</p> <p>ネットワークグラフ 193</p> <p style="text-align: center;">【の】</p> <p>ノイマン 25</p> <p>脳波計 50</p> <p>ノード 178, 193</p>	<p>ノンプレーヤキャラクター 152</p> <p style="text-align: center;">【は】</p> <p>場 3</p> <p>配置 68</p> <p>パス検索モジュール 160</p> <p>葉節点 21</p> <p>発火可能 176</p> <p>バックギャモン 37</p> <p>バックトラック 22</p> <p>バックプロパゲーション法 205</p> <p>発話プロトコル分析 50</p> <p>ハノイの塔 16</p> <p>バーリナー 37</p> <p>バリュウネットワーク 34</p> <p>パレート最適 88</p> <p>パレート最適性 88</p> <p>反射型 173</p> <p>半順序 186</p> <p>バーンスタイン 25</p> <p style="text-align: center;">【ひ】</p> <p>非合法手 11</p> <p>尾状核 55</p> <p>非ゼロ和ゲーム 12</p> <p>必勝法 22</p> <p>ビットボード 27</p> <p>ヒートマップ 199</p> <p>非反射型 173</p> <p>ビヘイビアツリー 177</p> <p>ビヘイビアベース 177</p> <p>ヒューリスティック 26, 126</p> <p>ヒューリスティック距離 194</p> <p>ヒューリスティックミニマックス値 126</p> <p>ビュロー 36</p> <p>評価関数 45, 127</p> <p>——の機械学習 30</p> <p>評価値 126</p> <p>評価フェーズ 199</p>
--	---	--

【ふ】	ポリシーネットワーク 34	山本一成 31
フィルタリングフェーズ 198	ボーン 162	【ゆ】
フィンドラー 38	【ま】	有限グラフ 70
不確定ゲーム 11, 101	マジカルナンバー 7±2 52	有限ゲーム 14
深 さ 107	マッカーシー 26	有限ステートマシン 174
深さ優先探索 111	マックスプレーヤ 94	有向グラフ 124
不完全情報 102	マックスミニ戦略 95	有向非巡回グラフ 124
不完全情報ゲーム 11	マックスミニ値 95	ユーティリティベース 181
副目標 18	マックハック IV 26	ユーティリティモジュール 160
副目標設定方略 19	マルコフ決定過程 135	【ら】
藤井叙人 58	マルチバンディッド問題 204	ライト 36
部分木 100	マルバツゲーム 98	ライトマン 33
ブラックジャック 129	【み】	ライフゲーム 6
ブラックボードアーキテク チャ 164	ミニマックスゲーム木 107	【り】
ブリッジ 38	ミニマックス戦略 95	利 得 85
プリンツ 25	ミニマックス探索 25, 44	利得表 13
プレー 3	ミニマックス値 95	リープ 36
プレーアウト 46	ミニマックス定理 97	リーマス 32
フレーム 144	ミニマムプレーヤ 94	領域黒板 164
プレーヤ 85	ミラー 52	【る】
プレーヤ分割 100	【む】	ルールセクタ 177
分 割 100	無限ゲーム 15	ルールベース 176
分散協調人工知能システム 151	無矛盾 74	ルールベースアプローチ 40
【へ】	【め】	ルーレット選択 206
閉 路 124	メタ AI 152	【れ】
辺 70	【も】	レイヤ 178
ベンソン 32	目標状態 3	レフコビッツ 32
【ほ】	モジュール型設計 157	レベル 146
方 策 136	モード 178	レベルデザイン 145
方策改善定理 139	問題解決空間 18	レミ・クーロン 33
方策関数 136	モンテカルロ木探索 33, 45, 190	連 鎖 185
方策評価 136	モンテカルロ法 45, 129	【ろ】
報 酬 129	【や】	ローゼンブルーム 36
ポーカー 38	山下宏 31	ロバストネス 150
保木邦仁 30		
保証水準 94		

[A~C]

A* アルゴリズム	74, 193
A* 探索法	193
AI ディレクター	152
BKG	37
Bonanza	30
Bridge Baron	38
CBR	190
ChessX.Y	27
Chinook	35
CNN	49
Crazy Stone	33
CSA	29

[D~G]

DAG	124
DFS	111
DNN	34
fMRI	50
fNIRS	50
FSM	174
fコスト	74
GIB	38
GOAP	184
GPI	140
GPS	18
GPS 将棋	30
g コスト	74

[H~L]

HTN	186
-----	-----

h コスト	74
ITEP	26
Jack	38
Kotok-McCarthy	26
KR	147
KS	164
Logistello	36
Loki	38

[M]

MCTS	33, 190
MEA	18
MIT Synthetic Characters Group	164
MMO	10
MO	10
MoGo	33

[N]

N.E.A.T.	207
Nerurogammon	37
NPC	152
NPS	58
NSS	26
n の証明	120
n の証明数	120
n の反証	120
n の反証数	120

[O~S]

Orac	38
O-Space	201

Poki	38
ponanza	31
P-Space	201
Q 学習	42, 209
R-Space	201
STRIPS	184

[T]

TD-Gammon	37
TD 学習	37, 49
TPS	197
Type A	25
Type B	25

[U~Y]

UCB	47
UCT	48
WR	147
YSS	31

【数字・ギリシャ文字】

0 人ゲーム	6
15 パズル	68
1 人ゲーム	7
2 人ゲーム	8
8 パズル	68
$\alpha\beta$ 枝刈り	26
$\alpha\beta$ 探索	26

— 編著者・著者略歴 —

伊藤 毅志 (いとう たけし)

1988年 北海道大学文学部行動科学科卒業
1994年 名古屋大学大学院博士後期課程修了
(情報工学専攻)
工学博士(名古屋大学)
1994年 電気通信大学助手
2007年 電気通信大学助教
現在に至る

保木 邦仁 (ほき くにひと)

1998年 東北大学理学部化学系卒業
2003年 東北大学大学院博士後期課程修了
(化学専攻)
博士(理学)(東北大学)
2003年 トロント大学博士研究員
2006年 東北大学研究支援者
2007年 東北大学助教
2010年 電気通信大学特任助教
2015年 電気通信大学准教授
現在に至る

三宅 陽一郎 (みやけ よういちろう)

1999年 京都大学総合人間学部基礎科学科
卒業
2001年 大阪大学大学院修士課程修了
(物理学専攻)
2004年 東京大学大学院博士課程単位取得満
期退学(電気工学専攻)
2004年 株式会社フロム・ソフトウェア
2011年 株式会社スクウェア・エニックス
現在に至る

ゲーム情報学概論 —ゲームを切り拓く人工知能—

Introduction to Game Informatics —Artificial Intelligence that Explores Game

© Takeshi Ito, Kunihito Hoki, Yoichiro Miyake 2018

2018年5月18日 初版第1刷発行



検印省略

編著者 伊藤 毅志
著者 保木 邦仁
三宅 陽一郎
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
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 978-4-339-02885-0 C3055 Printed in Japan

(金)



JCOPY

<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@jcopy.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。