JAIST Repository
https://dspace.jaist.ac.jp/

Title	コンピューターゲームプレイヤにおける人間らしさの調査
Author(s)	テンシリリックン，シラ；高橋，一幸；ナム，サンギュ；池田，心
Citation	情報処理学会研究報告．GI，研究報告ゲーム情報学，2018-GI-40(7)：1-6
Issue Date	2018-06-22
Type	Journal Article
Text version	publisher
URL	http://hdl.handle.net/10119/16084
Rights	社団法人　情報処理学会，テンシリリックン シラ，高橋 一幸，ナム サンギュ，池田 心，情報処理学会研究報告．GI，研究報告ゲーム情報学，2018-GI-40(7)，2018，1-6．　ここに掲載した著作物の利用に関する注意：本著作物の著作権は（社）情報処理学会に帰属します。本著作物は著作権者である情報処理学会の許可のもとに掲載するものです。ご利用に当たっては「著作権法」ならびに「情報処理学会倫理綱領」に従うことをお願いいたします。 Notice for the use of this material: The copyright of this material is retained by the Information Processing Society of Japan (IPSJ). This material is published on this web site with the agreement of the author (s) and the IPSJ. Please be complied with Copyright Law of Japan and the Code of Ethics of the IPSJ if any users wish to reproduce, make derivative work, distribute or make available to the public any part or whole thereof. All Rights Reserved, Copyright (C) Information Processing Society of Japan.
Description	

JAIST
JAPAN
ADVANCED INSTITUTE OF
SCIENCE AND TECHNOLOGY

Japan Advanced Institute of Science and Technology

Vol.2018-GI-40 No.7
2018/6/30

コンピューターゲームプレイヤにおける人間らしさの調査

テンシリリックン シラ[†1]　高橋 一幸[†2]　ナム サンギュ[†3]　池田 心[†4]

概要：これまでのコンピュータゲームプレイヤ（ゲーム AI）における研究の多くは，“強さ”を目的として行われてきた．近年では，ゲーム AI は人間プレイヤの対戦相手として十分な強さに達しつつある一方，それ以外の部分，特に“人間らしい振る舞い”に関心が集まってきている．人間らしいゲーム AI の利用目的・着眼点・実現法は多岐にわたる．例えば利用目的では，対戦する人間プレイヤを楽しませたり観賞用の映像を作成する目的だけでなく，人間プレイヤにとっての難易度を計測する目的，それを発展させステージを生成する目的などにも使われている．また着眼点もさまざまであり，人間の疲れ・見間違い・操作ミスなど身体的な部分に着目したもの，感情や認知バイアスなど心理的な部分に着目したもの，またそもそも「ゲームは勝つためではなく楽しむためにプレイする」などの人間の目的設定に着目したものなどが挙げられる．実現法についても各目的・着眼点ごとに複数ありえ，人間の挙動を学習データとして機械学習を用いるもの，疲れや見間違いなどを再現した環境下での学習を行うもの，など多様である．近年のこれらの研究を体系的に俯瞰しておくことは価値があると考え，本稿では第一次の文献調査の結果をまとめたものを紹介する．

キーワード：コンピューターゲームプレイヤ，人間らしさ，コンテンツ生成，楽しませる

1. はじめに

これまでのコンピュータゲームプレイヤ（ゲーム AI と呼ぶ）における研究の多くはその“強さ”を目的として行われ，また本邦においては多くの場合囲碁や将棋などのボードゲームが対象となってきた．一定の強さは他のどのような目的のためにも基盤として必要な一方で，囲碁将棋などのいわば単純なゲームに対してもその強さは十分なものではなかったためである．また，学術の世界ではルールの記述や結果の評価が容易な対象が好まれることも，この傾向の原因であろう．

10 年ほど前のボナンザ法やモンテカルロ木探索によるブレイクスルーを経て，現在は深層学習を用いることにより，囲碁将棋を含む多くのゲームでゲーム AI の強さは人間を越えるか，少なくとも大多数のプレイヤと対戦するに十分な程度に至るようになっている．このため，強さに関する研究とは別の方向性の研究，特に“人間らしい振る舞い”についての関心が高まってきている．

この方向性での研究は，海外でより重点的に行われているように感じる．これは，海外ではボードゲームだけではなくビデオゲームも比較的早期からの研究対象となっており，人間らしさの有無はターン制ゲームよりもリアルタイム制ゲームで目立つことが多いためであると考える．一方で，“人間らしい振る舞い”に関する研究は，“強さ”に関する研究に比べて幅が広いことも特徴である．強さが概ね一軸に評価できるものであることに比べ，人間らしさには多くの軸があり，限られた数の学会や論文のみを知っていればよいという訳にはいかず，多くの学生・研究者が調査に困難を覚えていると考える．

†北陸先端科学技術大学院大学
Japan advanced institute of science and technology
1 temsiririrkkul@jaist.ac.jp
2 s1610110@jaist.ac.jp
3 howzen@jaist.ac.jp
4 kokolo@jaist.ac.jp

そこで本稿では，多岐にわたる研究群をいくつかの視点で分類し，重要と思われるものを代表例として示すことを試みる．これにより，この新しい方向性に取り組む本邦の学生・研究者の調査を少しでも楽にしたいと考えている．正直なところ，現段階でのサーベイは全く不十分であり，論文の分類が不適当であるとか，重要な視点や，重要な論文が抜けているということもあるだろう．その意味では論文という形式よりも wiki などを用いた編集と情報公開が適切なのかもしれないが，まずこのような整理をしてみたらどうかという問題提起として，本稿を記すことにする．

2. 研究の分類法

例えばボードゲームにおける強さ向上のための研究であれば，「対象ゲームが何か」「良くしようとしているのが，評価関数なのか探索法なのか実装法なのか」「用いるのがどんな手法なのか」などで分類できるであろう．これらは着眼点や手法がさまざまである一方で，目的やそれが達成されたかの評価法はさほど多様性を持たない．目的は多くの場合「十分な強さで人を楽しませる」「人より強くなって人に教える・新戦法を発見する」などだろうし，評価も自己対戦や既存のプログラムとの対戦などを行えばよい場合が多いだろう．

一方で，“人間らしい振る舞い”に関する研究は，より広い利用目的や想定利用状況を持ち，そもそも“人間らしさとは何か”という定義すら共通のものがないために評価法もさまざまである点に注意したい．例えば，必ずしもゲーム AI が人間らしさを持つようにする研究ばかりでなく，「ゲームの人間プレイヤの人間らしさを考慮した AI の利用」といったものまで含まれる．そこで本稿では，大きく４つの枠「目的」「着眼点」「手法」「その他」を設け，そのそれぞれの中で分類を行い，(代表的な論文とは言い難いものも含め）調査した論文を簡単に紹介することにする．

ⓒ 2018 Information Processing Society of Japan

３章では，目的に主眼をおいた，または目的が特徴的な研究を紹介する．“人間らしい振る舞い”に関する研究で最も分かりやすいのは，人間と対戦させるコンピュータプレイヤを人間らしく振る舞わせることで，人間プレイヤの満足度を向上させるものであろう．対戦相手（敵）の場合もあれば，仲間（味方）であったり，村人や群衆のような中立の場合もあるかもしれない．単に“人間”らしいだけでなく，“ある有名プレイヤ”らしさが求められる場合もありうる．さらに他の目的としては，近年コンテンツ生成（Procedural Content Generation, PCG）への応用が盛んであるほか，人間を教育する目的，観戦用の動画を作成する目的，など幅広い．

４章では，「どの」人間らしさに着目するのかについて分類を行う．人間と機械は言うまでもなく異なる存在であり，また異なる点もさまざまである．人間はゲーム画面を正しく認識できず，思考にぶれや読み抜けがあり，操作するための手は誤動作を起こしやすくまた疲れやすい．人間は感情に左右され，主目的とは異なる目的を目指してゲームを行いうる．これらについて，いくつかのグループに分けて，その着眼点を紹介する．

５章では，どのような手法が使われているのかについて論じる．人を真似する際にすぐに思いつく方法としては人の行動履歴をそのまま似た状況で再現するとか，状況に対する行動を教師あり学習するなどがありうる．これらは古典的に“強くする”目的でも用いられてきた方法であるが，この他にも人間らしさを実現するための方法，あるいは「人間プレイヤの人間らしさを考慮する」ための方法はさまざまにありうる．

これらの３つの枠いずれにも収めにくい論文もいくつもある．例えば「そもそも人間らしさとは何か」という定義に関する研究であるとか，関連して「人間らしさはどう評価したらよいか」に関する論文などである．これらは３章の最後に紹介する．

3. 人間らしさの利用目的

本節では，人間らしい振る舞いをコンピュータプレイヤに模倣させる，あるいは人間プレイヤの人間らしい振る舞いを考慮することをどのような“目的”に用いるかについて，さまざまなものを紹介する．これらは現時点で目についたものの分類であって，目的がこれらに限られることを主張するものではない．

3.1 ゲームの面白さの向上（人間を楽しませる）

これら人間らしい振る舞いに関する研究のうち，最も直接的なのは，「プレイ相手（敵・味方・中立）として，コンピュータを人間のように振る舞わせる」ものだろう．多くの研究で，それによりプレイヤの満足度を向上させることを狙っている．

例えば[1]ではゲームのとある場面に対してゲーム AI の行動が一定もしくは変化に乏しいと，人間は学習を繰り返すことでゲーム AI の行動を予測でき，ゲームの楽しさを損なうとして，RTS ゲームにおいて個性を持つゲーム AI が提案された．

[2]では，ゲーム AI の限定された行動は人間の楽しさに影響するとして，個性・感情・モチベーション・社会関係などの様々な要素を導入し，ゲームの楽しさと一体感を与えられるゲーム AI が提案された．

[3]では，ゲームクリアのために最適化されたゲーム AI の行動は，人間が見ると機械らしく見えてしまうことがあり，プレイヤと共に遊ぶ NPC の作成のためには，一緒に遊んでいるような感覚が必要であるとして，ゲーム AI に身体的制約（ゆらぎ，反応の遅れ，疲れ）を導入することで，人間らしさを実現している．

[4]では，人はエラーをおかすものであり，ゲームにおいてそのエラーはドラマを生み，ゲームの面白さの一因となるとしている．様々なゲーム AI との対戦において，面白さを損なう一因として，「人間のような間違い」を持たないことが一因だとして，将棋を対象に，ヒューマンエラーを分類し，モデルを提案している．

[35]では囲碁将棋について用いられている楽しませるためのさまざまな手法について概説している．

これらと少々趣が異なるものとして，[29]では仲間のコンピュータプレイヤへの満足度に着目したり，[30]ではゲームの裏方である乱数生成器に着目して，それぞれ人間を楽しませることを目的としている．

これらの論文において，人間らしさを実現した目的は“ゲームの面白さ向上”であったが，それぞれ「どのような人間らしさに着目したか（着目点）」「どのように実現したか（手法）」という点は異なり，多種多様である．これらの詳細については４章・５章で後述する．

3.2 コンテンツ作成するための利用

ゲームには，基盤となるルールやシステムの他に，コンテンツと呼ばれるデータが必要である．このコンテンツという言葉の指す範囲は人々によって様々であるが，例えばゲームのマップの形状，追加の小さいルール，登場キャラクタのステータスといったゲームプレイに強く関係する部分から，キャラクタの見た目，マップの見た目（小物・テクスチャ等）など枝葉の部分まで含むことが多い．これら全ては人間のデザイナーが作成することができるものであるが，マップの自動作成などは Rogue 等の時代からしばしば試みられてきている．プレイヤを飽きさせないためにゲームのルールの更新やマップ・キャラクタ・シナリオ・イベント等の追加は必須の作業になりつつあり，これをコンピュータに補助または代替させることが重要になっている．

コンテンツの作成には，コンテンツが指すものに応じてさまざまな分野の技術，例えば自然言語処理，画像処理，音声処理などが必要になる．本ゲーム情報学研究会に強く関連する部分では，ゲームプレイ関係例えばマップ作成などが挙げられるだろう．“人間がプレイして「楽しい」「丁度良い難易度だ」と思えるかどうか”を，人間ではなくゲーム AI にプレイさせて確認するのである．このとき，ゲーム AI が「人間ばなれ」した動きをするのであれば，テストプレイに向かないわけであるから，人間らしい振る舞いが非常に重要な研究対象となる．

[5]~[7] はコンテンツ自動生成する人間らしさを利用する論文である．Togelius らは，レースゲームを対象にプレイヤをドライビングスタイル・実力などに着目した上でモデル化し，それを用いて人間が楽しく遊ぶことのできる様なコンテンツの生成を行った[5].

[6]ではプレイヤの感想（楽しさ，挑戦感，不満感）を機械学習を用いてモデル化し，ステージの評価に用いることで，人間が楽しくプレイできる可能性の高いステージ生成が試みられた．

[7]は人間のゲームプレイ中の生理学的信号を観測し，それをもとに感情を推定した上でゲームの難易度をプレイヤに合うよう調節することを提案しているもので，アプローチがアンケートによらない点が面白い．

3.3 人間の教育をするための利用

[8]は直接的な目的ではないが，最終的にはプロの棋風を再現し教育に用いようとするものである．棋風を攻めの棋風・受けの棋風に分類し，それぞれを教師に評価関数の機械学習を行うことで，棋風の再現を行っている．

[27]では囲碁の教育を目的としている．単に評価値が落ちる手を悪手として指導するのではなく,“人間の指導者が指摘する可能性の高い”悪手を見つけようとしており，これはプレイヤの人間らしい振る舞いというよりは，教育者の人間らしい振る舞いと言える．

[28]はぷよぷよの教育を目的としており，内容としては詰めぷよの問題を自動生成しており，コンテンツ生成にも分類できる．どんな問題を人間が面白いと思うか，訓練に役立つと思うかを，教師あり学習によって推測している．

3.4 その他

そもそも人間らしさとは何か，またどのように評価することができるか，あるいはどのような評価は方法論として好ましくないかなどを論じたものとしては論文[15]~[17]あるいは[26]が挙げられるだろう．

他にも，企業目線・宣伝目線にたった研究もある．[23]では，簡単に認識でき視野を阻害しない AR のアイコン配置について研究が行われている．あるいは [34] では，対戦格闘ゲームを対象に，近年さかんになりつつある e-sports の観戦用動画をコンピュータプレイヤ同士戦わせることで作成しようとしている．

4. どの人間らしさに着目するか

人間と機械の違いはさまざまである．結果として出てきた行動だけに着目することも可能だし，その行動を生みだした人間の認知・思考方法や，物理的な限界などに着目することも可能である．そのような多様な着眼点に注目して分類を試みる．

4.1 行動の模倣

まず本節では，実際の人間の行動に着目したものをまとめる．それを再現する方法としては，直接的な真似，教師あり学習，統計量を近づけることなどさまざまにありうるがこれらは 5 章で述べる．

[9]では，スーパーマリオブラザーズにおいて，人間プレイヤの“辿った経路”に注目し，これをゲーム AI が再現するために 3 つの手法（ハンドコーディング，直接学習，類似度最小化）を用い，それぞれ比較を行っており，この場合は類似度最小化が最も良い結果を得られた．

[10]では将棋を対象に, ゲーム AI 同士の棋譜と比較して，プロ棋士同士の棋譜に有意に多く現れる“手順”を抽出し，その手順を偏重するようなゲーム AI を作成することで，手の流れを考慮した自然な手を生成できる可能性を示唆した．

[11]では，カーレーシングゲームにおいて 5 つの要素（スピード，追い越し，追い越し防止，衝突回避，軌道修正）に注目し，これらが人間のもつ値と近づくように挙動を真似しようとしている．似たものとして[27]ではマリオのプレイングにおけるコイン取得率，ジャンプ率などを人間にに近づけるための進化計算を行っている．

4.2 身体的な制約

人間の身体は生物として良く出来ているが，機械と比べたときにその認識機能・伝達機能・操作機能はある程度劣ってしまう．このことは重要な人間らしさであり，人間の敵をする場合でも，仲間をする場合でも，コンテンツを作る場合にも認識しておくべきことである．

[3]で藤井らは，人間の身体的な制約（ゆらぎ，反応の遅れ，疲れなど）に注目し，マリオのゲーム AI に導入することで，人間らしさを実現した．これはマリオに限らず汎用的な手法でありさまざまな応用が考えられる．

[12]では，人間が遠いところにある物体を相対的に正しく認識することができない点に着目した．カーレーシングゲームをコンピュータにプレイさせる際，離れている部分にノイズを加えることで，人間らしい挙動を実現した．ノイズを考慮したものとしては[13]も挙げられる．

また，最初からゲームのルールとしてこのような身体的制約に配慮しているものもある．例えば FightingICE プラットフォームでは，コンピュータがプレイする際にも，情報伝達を考慮し，現在の状態ではなく過去の状態が AI に渡される[34].

4.3 感情

行動が感情に左右される点は人間の重要な特徴である．感情によってミスが増えたり，好みが変わったり，ある種の一貫性のある行動を取るようになったりする．感情は静的ではなく，状況によって変わりうる．これらを理解すると，コンピュータに人間らしい行動をとらせることができたり，人間プレイヤの挙動を仲間コンピュータや指導者コンピュータが理解して援助することが可能になる．

[14]では，ゲームプレイしているときの感情（退屈さ，チャレンジ，興奮，不満，楽しさ）に着目し，生理学的な情報からファジー理論を用いて，5 つの感情の状態を求める方法を提案した．また[7]では，同様のアプローチを用いて測定できた感情を用いて，各プレイヤにとって適切な難易度にゲームバランスを調節する手法を提案した．

[32]では，現在の人間の感情を推定するのではなく，感情を持ったように見えるゲーム AI の作成を試みている．例えばマリオにおいて敵が突然多く湧いてくるとびっくりして恐怖し，敵との距離を今までよりも多くとるようになる，などである．

4.4 間違い・勘違い

人間はさまざまな意味で間違いをおかす．間違いをおかさないゲーム AI は，仲間 AI としてはともかく，敵 AI としてあるいはコンテンツ生成のためのテストプレイヤとしては不適格である．また，人間が間違いをおかすことを前提にゲームは設計されるべきであり，場合によっては人間の勘違いの傾向を認識してそれに添ってあげることも重要である．

[4]は人間のエラーはゲームにドラマを生み，楽しさの一因であるとしている．さらに将棋を対象にヒューマンエラーの原因や種類を分類してモデルを提案している．[30]では，人間が持つ数学的な認知バイアスについて触れ，ゲームでよく用いられる乱数について，数学的な意味での正しい乱数では人間に不満を与え得ることを述べている．そのうえで，人間にとって本当の乱数よりも乱数らしく見えるような生成法がありうることを示している．このような工夫は風来のシレンなど乱数要素の大きいゲームではこれまでも行われてきており，また最近ではいわゆる「ガチャ」要素の確率調整が行われるなど，儲けに直接的に関係する部分である．

4.5 好み

同じ目標を達成しようとする場合であっても，また同じ程度の技量を持った人間同士であっても，その達成のための手段はさまざまに異なり，これはプレイスタイルと呼ばれる．また，直接的には勝利に結びつかない副賞のようなものを目的としてプレイすることを想定したゲームも多い．例えばスーパーマリオにおいて多くの敵を倒す・多くのコインを取るなどは勝利にはさほど重要ではないが，人間はしばしば好む．これらは副目的などとも呼ばれる．これらを意識して学習や探索に組み込むことで，人間らしい挙動が生まれることがありうる．[32]では感情状態によってはコインを取りに行くことがあり，これが人間らしく見えるマリオのプレイに役立つことを示唆している．

[29]では，人間がＲＰＧをプレイする際に「勝ちたい」だけでなく「安全に勝ちたい」「ＭＰを温存したい」「とにかく早く勝ちたい」などの副目的を持っていることに着目し，行動履歴から現在どの副目的を重視しているのかを推測し，それに合わせた仲間プレイヤの行動を行うことで満足度を向上させている．

[25]では，人間プレイヤがプレイ中に，挑発・警告・挨拶・自己顕示などさまざまな行動を“ゲーム内で”取りうることに注目している．これらの行動も好みであるとか副目的であるといえる．

5. 人間らしさに関する手法

人間らしい振る舞いをゲーム AI にさせる場合でも，また人間プレイヤの人間らしさを考慮する場合でも，用いられる要素技術としての人工知能技術はさまざまである．本章では，これらについて概説する．

5.1 教師あり学習

人間らしいゲーム AI を作成するためには，人間のプレイデータから学習することが最もシンプルな手法だと考えられる．実際に，今までの人間らしさに関する研究の多くがそれらのデータを用いた教師あり学習を利用してきた．これらの手法は「強い AI のために人間のプロを再現したい」という文脈で古くから研究されているため蓄積が多い．例えば，本邦発の実現確率探索やボナンザ法なども，人間らしい AI 作成のための手法と言えないことはない．

[6]は，人間らしさ表現するためにニューラルネットワークを利用した．カーレーシングゲームにおいて，車の軌道を決定するネットワークとスピードを決定するネットワークの 2 種類を組み合わせることで，人間プレイヤの行動を模倣した．また，人間らしさ直接表現しているわけではないが，[11]では同様カーレーシングについてコンテンツ自動作成による人間の評価予測モデルを作成した．また，手法を強化するため，教師あり学習と強化学習による提案も

行われた[18].

[8]では将棋における攻め受けの特徴を基に棋譜を分別，それぞれの棋譜を教師に評価関数の機械学習を行った．このように，特定のタイプ・特定の人だけをターゲットにした学習はしばしば行われる．

他にも教師あり学習を利用した研究は非常に多い（例えば[5][8][19][28][29][30]だが，参考文献に挙げているものだけでもこれに限らない）．

5.2 強化学習

強化学習も環境との相互作用による人間の学習過程を模擬したものである．AlphaGo や DQN の例を出すまでもなく強化学習は“強い”ゲーム AI を作成するのに効果的であるが，人間らしい挙動を得られるかどうかについては報酬の与え方などにもよって保証の限りではない．例えば，Atari ゲームに対する DQN は，場合によっては反応が速すぎるという意味で人間らしくない．

[3]では Q 学習を利用し，そこに人間らしい「遅れ」「ゆらぎ」を表現するために，ゲームから得られるデータを数フレーム遅らせ，位置データにノイズ加える工夫を行っている．さらに，操作（ボタン）を変更するときに負の報酬を与える事で「疲れ」を表現した．これらの工夫が人間らしい振る舞いの獲得に大きく利するものである．

[33]では強化学習とニューラルネットワークを組み合わせ，一つのエージェントで同じ種類なゲームを遊ぶことを目指した．General Game Playing (GGP) および GVGP の枠組みは,「人間ならば似たゲームはすぐに適応できる」という意味で人間らしさを追求したものと言える．

[9] では Dynamic scripting 手法を導入し，手動で定めたルールベースの重みを学習する．

他にも，そもそも報酬にゲームの利得ではない何かを導入する試みも行われている．人間は環境を与えられて失敗を続ければ，まず新しい状態に到達しようとする．これは curiosity ベースの強化学習と呼ばれるもので再現が試みられている．また[25]のようなゲーム内のさまざまな人間の遊びについては,「楽しさ」を報酬として与えると良いのではないかという指摘がなされている．

5.3 進化計算

進化もまた生物の種としての挙動であり，それそのものがある種の自然さをもたらすものとして使われる場合もある．例えばアストロノーカにおいては害虫が進化することでプレイヤに（現実の虫に対するのと似た）嫌悪感を与えることに成功している．

多くの場合は，進化計算は単なる優れた最適化手法の一つとして用いられている．進化計算は勾配法などに比べると微分が必要なく直接的な最適化が行え，多数の個体を保持することでプレイヤに多様なゲーム体験を与えることができるほか，多目的最適化によって「強さと自然さのバランス」などを取ることも容易にしている意味がある[22].

[21]では，レーシングゲームにおけるステアリングと加速に着目し，人間のプレイデータとゲーム AI を比較，その違いを最小化するために多目的進化計算を用いることで人間らしさを再現した．

ニューラルネットワークと進化計算の組み合わせはしばしば用いられ，NeuroEvolution と呼ばれる．人間の行動履歴との違いを直接に最小化する試み[9]や，人間の行動の統計量の違い（コイン取得率，左ボタン押し率など）を最小化する試み[26]などがある．

5.4 ヒューリスティック・探索法・その他

手法は他にもさまざまあり，全体をルールベースに近い形で記述する場合もあれば，探索法に人間らしい振る舞いを行えるように工夫を行うものもある．

[23][31]ではシューティングゲームにおける人間らしさを表現する工夫が行われ，弾幕をぎりぎりで避けないようにする，頻繁な方向変換を軽減するなどの目的のため探索アルゴリズムに Influence Map を導入するなどの工夫がなされている．

[35]では，接待碁のために，避けるべき不自然な手がどんなものかを定義したうえで，機械学習した行動評価関数と，MCTS による探索結果の評価値を総合的に判断して，うまく負けるための着手選択法を提案している．

[24]は[8]同様，将棋における Bonanza 手法を基にしているが，$\alpha\beta$探索により得られた評価値にヒューリスティックな調整を行って不自然さを軽減している．また，[35]の不自然さをさらに発展させ，「悪手，流れにそぐわない手，必然手を指さない，意図性がない，強さが一貫しない，戦術が不自然，悪あがき」などの分類を行っている点でも重要である．

6. おわりに

本稿では，近年さかんになりつつある「人間らしい振る舞い」とそのゲームへの応用に関する研究を紹介した．人間らしいゲーム AI を敵や仲間として利用する場合，人間プレイヤの人間らしさを利用や補助する場合など，研究は多岐にわたるため，目的・着眼点・手法について分類を行うことを試みた．

現時点で，選んだ論文は数としても代表性としても不十分なことは認識している．我々の研究グループの論文を多く含めているが，これはこれらが代表的または重要な論文だと主張しているわけではなくて，よく認識しているからであるにすぎない．「この論文が抜けている」「この見方が抜けている」などのご指摘は大変参考になるので，ぜひお知らせいただきたい．

ⓒ 2018 Information Processing Society of Japan

謝辞　本研究は JSPS 科研費 17K00506 「人間プレイヤを“指導する”囲碁プログラムの研究」の助成を受けたものです.

参考文献

[1] Jacek Mandziuk, Przemyslaw Szalaj. Creating a Personality System for RTS Bots. Believable Bots: Can Computers Play Like People?, 2012, pp 231-264.
[2] Christine Bailey, Jiaming You et.al.. Believability Through Psychosocial Behaviour: Creating Bots That Are More Engaging and Entertaining. Believable Bots: Can Computers Play Like People?, 2012, pp 29-68.
[3] N. Fujii, Y. Sato et.al.. Evaluating Human-like Behaviors of Video Game Agents Autonomously Acquired with Biological Constraints. Advances in Computer Entertainment(ACE), 2013, pp 61-76.
[4] 伊藤毅志，杵渕哲彦，藤井叙人．ゲームにおけるヒューマンエラー　ー将棋における考察ー，ゲームプログラミングワークショップ(GPW), 2014, pp 196-201
[5] Julian Togelius, Renzo De Nardi et.al.. Making Racing Fun Through Player Modeling and Track Evolution. Proc. SAB Workshop Adapt Approach, 2006.
[6] Noor Shaker, Georgios Yannakakis et.al.. Towards Automatic Personalized Content Generation for Platform Games. Artificial Intelligence and Interactive Digital Entertainment(AIIDE), 2010.
[7] Guillaume Chanel, Cyril Rebetez et.al.. Emotion Assessment From Physiological Signals for Adaptation of Game Difficulty. Transactions on Systems, Man, and Cybernetics- Part A: Systems And Humans, 41(6), 2011, pp 1052-1063.
[8] 大森翔太朗，金子知適．機械学習を用いた将棋における棋風の学習の研究．研究報告ゲーム情報学(GI), 2015-GI-34(6), 2015, pp 1-7.
[9] Juan Ortega, Noor Shaker et.al.. Imitating human playing styles in super mario bros. Entertainment Computing(EC), 4(2), 2013, pp 93-104
[10] 杵渕哲彦，伊藤毅志．手の流れを考慮して自然な手を選ぶ将棋 AI の試作．研究報告ゲーム情報学(GI), 2015-GI-33(12), 2015, pp 1-8.
[11] G. G. Jorge Munoz, A. Sanchis. Towards imitation of human driving style in car racing games. Believable Bots: Can Computers Play Like People?, 2012, pp 289-313.
[12] J. Hagelback and S. J. Johansson. A Study on Human like Characteristics in Real Time Strategy Games. Computational Intelligence and Games(CIG), 2010.
[13] Tan, C.H., Tan, K.C et.al.. Learning believable game agents using sensor noise and action histogram. Memetic Computing, 6(4), 2014, pp 215-232.
[14] Regan L. Mandryk, M. Stella Atkins. A fuzzy physiological approach for continuously modeling emotion during interaction with play technologies. International Journal of Human-Computer Studies, 65(4), 2007, pp 329-347
[15] Julian Togelius, Georgios N. Yannakakis et.al.. Assessing Believability. Believable Bots: Can Computers Play Like People?, 2012, pp 215-230.
[16] Philip Hingston. A Turing Test for Computer Game Bots. TRANSACTIONS ON COMPUTATIONAL INTELLIGENCE AND AI IN GAMES(TCIAIG), 1(3), 2009, pp 169-186.
[17] Ilya Vorobiev, Alexei V. Samosonovich. A Conceptually Different Approach to the Empirical Test of Alan Turing. Procedia Computer Science, 123, 2018, pp 512-521.
[18] Shohei Miyashita, Xinyu Lian et.al.. Developing Game AI Agent Behaving Like Human by Mixing Reinforcement Learning and Supervised Learning. Software Engineering, Artificial Intelligence, Networking and Parallel/Distributed Computing (SNPD), 2017.
[19] 杵渕哲彦，伊藤毅志．ランキング学習による流れを考慮した自然な指し手の選択方法．ゲームプログラミングワークショップ(GPW), 2016, pp 119-122.
[20] 藤井叙人，橋田光代，片寄晴弘．戦略型カードゲームのための戦略獲得法．研究報告エンタテイメントコンピューティング(EC), 2008(26), 2008, pp 9-16.
[21] N. Van Hoorn, J. Togelius et.al.. Robust player imitation using multiobjective evolution. Congress Evol. Comput(CEC), 2009.
[22] Jacob Schrum, Igor V. Karpov et.al.. Human-Like Combat Behaviour via Multiobjective Neuroevolution. Believable Bots: Can Computers Play Like People?, 2012, pp 119-150.
[23] 平井弘一, Reijer Grimbergen．弾幕の認識に人間の視覚特徴を取り入れたシューティングゲーム AIの研究．ゲームプログラミングワークショップ(GPW), 2016, pp 158-161.
[24] 仲道隆史，伊藤毅志．将棋 AI における棋力の調整が不自然さに与える影響．ゲームプログラミングワークショップ(GPW), 2014, pp 167-170.
[25] Sila Temsiririrkkul, Naoyuki Sato et.al.. Survey of How Human Players Divert In-game Actions for Other Purposes: Towards Human-Like Computer Players. Entertainment Computing(ICEC), 2017, pp 243-256.
[26] Phuc Luong, Naoto Kanazawa et.al.. Learning human-like behaviors using neuroevolution with statistical penalties. Computational Intelligence and Games(CIG), 2017.
[27] Kokolo Ikeda, Simon Viennot et.al.. Detection and labeling of bad moves for coaching go. Computational Intelligence and Games(CIG), 2016.
[28] 高橋竜太郎．連鎖構成力向上のためのぷよぷよの問題作成．研究報告ゲーム情報学(GI), 2018-GI-39(10), 2018, pp 1-7.
[29] 和田尭之．少数の記録からプレイヤの価値観を機械学習するチームプレイ AI の構成．研究報告ゲーム情報学(GI), 2015-GI, 33(5), 2015, pp 1-8.
[30] 野村 久光，テンシリリックンシラ，池田心．不満を抱かせにくいゲーム用擬似乱数列の生成と利用．エンターテイメントと認知科学研究ステーション(E&C), 2015.
[31] 佐藤 直之, Sila Temsiririrkkul, Luong Huu Phuc, 池田 心．Influence Map を用いた経路探索による人間らしい弾避けのシューティングゲーム AIプレイヤ．ゲームプログラミングワークショップ(GPW), 2016, pp 54-64.
[32] Sila Temsiririrkkul, Huu Phuc Luong et.al.. Production of Emotion-based Behaviors for a Human-like Computer Player. GAMEON, 2016, pp 49-53.
[33] Y. Hou, L. Feng et.al.. Creating human-like non-player game characters using a memetic multi-agent system. Int. Joint Conf. Neural Networks(IJCNN), 2016.
[34] Feiyu Lu, Kaito Yamamoto et.al.. Fighting Game Artificial Intelligence Competition Platform. Global Conference on Consumer Electronics (GCCE), 2013.
[35] 池田心．楽しませる囲碁･将棋プログラミング．オペレーションズ・リサーチ: 経営の科学, 58(3), 2013, pp 167-173.

ⓒ 2018 Information Processing Society of Japan