

2. エンタテインメントと人工知能 —思考ゲームを例として—

松原 仁（公立はこだて未来大学）

強さから楽しさへ

人工知能の厳密な定義は存在しないが、コンピュータあるいはロボットに人間のような知能を持たせることを目指した研究領域である。広い意味でのエンタテインメント（楽しむこと）は知能の重要な要素の1つであり、エンタテインメントと人工知能の関係は強い。本稿では思考ゲームに注目し、強いプログラムから楽しいプログラムへという方向性について考えてみたい。

強い思考ゲームのプログラム

ゲームは、ルールが明確である、勝ち負けによって手法の良し悪しが明確に評価できる、目標にできる強い人間が存在する、など情報処理の研究の題材として優れている。ゲームを対象とした情報処理の研究を行う領域をゲーム情報学と呼ぶ¹⁾。

チェスは西欧で知性のシンボルとされているので、人工知能の例題としてチェス（の世界チャンピオンに勝つコンピュータを開発すること）は人工知能の研究が始まって50年間ずっと中心的な例題となっていた。Claude Elwood Shannon が1950年にコンピュータチェスの論文を書いている（同じ時期にAlan Mathison Turing も独立にコンピュータチェスの論文を書いている）。John McCarthy はチェスのことを人工知能の「ハエ」と称した。遺伝学が「ハエ」を題材として大きな進歩をしたように、人工知能はチェスを題材として大きな進歩をしたという意味である。チェスの場合の数はほぼ 10^{120} である。ある局面でルール上指せる合法手の数を分岐数というが、チェスの平均分岐数は約35である。チェスは平均

80手で勝負がつくので、35の80乗すなわち 10^{120} が場合の数となる。

Shannon と Turing はチェスの探索にゲーム理論で von Neumann らが開発したミニマックス法を使うことを提案し、このミニマックス法がその後のゲームの探索の基本となった。ゲームのプログラムを強くするには、

- 1) ミニマックス法を基本とした探索手法の改良
 - 2) 局面を点数化する（静的）評価関数の精緻化
- の2つが求められる。理論的には例外が存在するものの、経験的にほとんどの場合ゲームはより深く先読みした方が強くなるので、同じ時間でできるだけ深く先読みできる探索手法が望ましいことになる。

チェスは何度も人間の対戦を経たのちに1997年にDeep Blue が世界チャンピオンのGary Kasparov に勝利した（注意しておきたいのは、Deep Blue は基本的には機械学習を使っていないことである。その後の将棋と囲碁とは話が異なる）。6回戦で5回戦が終わった時点では1勝1敗3引き分けのイーブンであったが、最終戦でKasparov が緊張のあまり序盤で大悪手を指して負けてしまった。これはフロク勝ちで、この時点ではまだKasparov の実力がDeep Blue に勝っていたと思われる。その後の進歩によりコンピュータは人間より明らかに強くなっている。Deep Blue はスーパーコンピュータにチェス専用マシンを数百台並べた構成であったが、もはやパソコン1台でも人間が敵わないまでになっている。

チェスよりも場合の数が大きいゲームに中国将棋（ 10^{150} ）、将棋（ 10^{220} ）、囲碁（ 10^{360} ）が存在する。中国将棋は探索問題として見るとチェスに近い（す

で人間よりもコンピュータの方が強くなっている)が、将棋と囲碁はチェスよりはるかに場合の数が大きく、チェスとは異なる手法が必要なので、チェスに続く例題として適切である。将棋はチェスと同じ敵の重要な駒(キングあるいは玉)を捕まえるゲームであるが、チェスは敵から取った駒が使えないのに対して将棋では敵から取った駒が再利用できる(「持ち駒」制度と呼ばれる)ため、終盤は序盤より分岐数が大きくなる。チェスは収束型ゲームであるが、将棋は発散型ゲームなのである。

将棋はチェスよりも場合の数がはるかに大きく、チェスで有効であった探索手法がそのままでは使えないので、チェスの次の探索研究の良い対象になった。評価関数はチェス同様に手作業で作成と改良を行っていたが、チェスの評価関数は駒の損得という明快な基準があったものの、将棋の評価関数は複雑でなかなか強くならなかった。2000年代の半ばに登場した保木邦仁のボナンザによってコンピュータ将棋は革命的な進歩を果たした。保木の工夫は、それまで将棋は前向き枝刈りの探索をしていたのをチェスのように全数探索にした、それまで評価関数は手作業で作っていたのを棋譜からの機械学習で作るようにした、の2点である。この工夫をしたボナンザが圧倒的な強さでコンピュータ将棋のトップに立ったので、ほかの研究者開発者もこぞってこれらの方法を取り入れた。特に上記の機械学習の方法は強豪のプログラムすべてが取り入れており、「ボナンザ・メソッド」と呼ばれている。保木はボナンザのアルゴリズムをすぐに公開し、またプログラムのソースコードも無償で公開した。

2010年代になってコンピュータとプロ棋士が対戦するようになった。2010年に本会の50周年を記念して清水市代女流王将とあから2010というコンピュータ将棋が対戦してあから2010が勝利した(図-1)。2013年、2014年と電王戦と称してプロ棋士5人とプログラム5つが対戦したが、3勝1敗1分け、4勝1敗とともにコンピュータ



図-1 2010年 清水市代女流王将対あから2010

が圧勝した。すでにコンピュータはトップクラスのプロ棋士(竜王、名人)のレベルに達したと思われる。いまトッププロ棋士とコンピュータが対戦すれば勝率的にはコンピュータが勝ち越す可能性が非常に高い。現在のトップ棋士である羽生善治氏との対戦はすぐに実現しないと思われたので、本会は2015年10月に将棋で人間とコンピュータの強さを問うことは学問的には結論が出たという終了宣言を行った²⁾。

囲碁は中国発祥のゲームであるが、中国では廃れて日本で盛んになった。囲碁は、ほかに似たルールのゲームが存在しない、漢字を使っていないので親しみやすい、などの理由で世界的に普及している。最初にコンピュータ囲碁の研究がなされたのは1960年代のドイツである(チェスよりは遅いが将棋より早い)。囲碁もチェスのように探索によって次の手を決めようとしたが、囲碁の場合の数は 10^{360} とチェス(や将棋)よりはるかに大きく、普通の探索によって良い手を見つけるには候補手が多すぎて強くならなかった。2000年代になってもまだとても弱い状態であった(初心者レベルよりは強くてもしいぜい初級者レベルであった)。

囲碁も将棋のボナンザ・メソッドのような革命的な手法が現れた。それがモンテカルロ木探索である。この元となったモンテカルロ法は von Neumann の命名と言われるシミュレーションによっ



て解を求める方法である。1990年代にこれを囲碁に適用するというアイデアが発表されたものの、そのときは成功しなかった。2000年代になって Rémi Coulom が Crazy Stone という囲碁プログラムの中でモンテカルロ法を応用した（UCT というアイデアを付け加えた）モンテカルロ木探索を採用し、この Crazy Stone が圧倒的な強さを示した。囲碁にモンテカルロ法を適用するということは、ある局面から白と黒が交互にランダムに終局まで打ち進めるというシミュレーションを多数行って勝つ確率が一番高い手を選ぶということである。そこには囲碁の知識はほとんど何も入っていない。この一見単純な方法（実は UCT など細かい工夫が重要なのではある）で強くなることに驚きその後の囲碁プログラムは皆この方法を取り入れている。その結果、囲碁プログラムは一気にアマチュアの6段程度の実力に達した。



最近までは日本の ZEN（これもモンテカルロ木探索を用いている）が Crazy Stone を抜いて最も強い囲碁プログラムであった。これらのプログラムはまだ互先（ハンディなし）で戦うのは無理であるが、トッププロ棋士と4子（初期局面に4個の石をあらかじめ置く）のハンディで勝つまでになっていた。それでも、トッププロ棋士に勝つのはまだ10年はかかると思われた。そこに2016年1月に Google が AlphaGo というプログラムを発表した。AlphaGo は、深層学習（ディープ・ラーニング）、モンテカルロ木探索、強化学習という3つの手法をうまく組み合わせている。大量のプロ棋士の棋譜をデータとして深層学習によってある程度の強さのプログラムを作り、そのプログラム同士の強化学習によってさらに強くした。これまでコンピュータ囲碁で成功しなかった評価関数を実質的に作ったことが AlphaGo の大きな特徴である。手を決める部分では従来手法であるモンテカルロ木探索を使っている。2016年3月にトッププロ棋士のイ・セドルと対戦して AlphaGo は4勝1敗と勝ち越した³⁾。囲碁もコンピュータが人間に追いついた（追い越した）といえる。

楽しい思考ゲームのプログラム

強い思考ゲームのプログラムを作ってきたのは人工知能の技術のレベルを上げるためであった。チェス、将棋、囲碁を含めた完全情報の思考ゲームがほぼ人間並みに強くなった。これからは強いことではなく、楽しませることを目指したプログラムの研究が望まれる。

❖ プログラムのプレイを鑑賞する

これまで思考ゲームのレベルの高いプレイは強い人間（プロ棋士など）によってなされてきた。ゲームのファンはそれらレベルの高いプレイを鑑賞することを楽しんできたのである（思考ゲームのエンタテインメント性がそこにある）。コンピュータが人間を超えたことによって、思考ゲームはさらなる高みに昇ったことになる。より高いレベルのプレイをコンピュータがファンに提供してくれるのである。より良いプレイが見られるというのは一義的にはファンにとっては喜ばしいことのはずであるが、問題が発生する可能性がある。それは、コンピュータのレベルの高いプレイを人間が理解できるかということである。将棋や囲碁ではすでにコンピュータが人間（トップレベルのプロ棋士）を超えているので、コンピュータは人間よりもレベルの高いプレイをしている。そのプレイ（手の意味）が人間に理解できないという状況もすでにしばしば発生しているのである。将棋と囲碁の強いプログラムは（機械学習で強くなったなどの理由によって）自分の手の意味を人間に理解できる形で説明できない。普通のファンはおろか、プロ棋士にも意味が理解できない手を指している（打っている）のである。

理解できないのであれば、いくらレベルの高いプレイをしてきても鑑賞できない。いま人工知能では人間を超えた高いレベルの手の意味を理解させる（説明する）仕組みの研究が進められている。普通のファンが直接理解できなくても、プロ棋士が理解できればそのプロ棋士を介して普通のファ

ンにその手のすばらしさを伝えることができるはずである。

❖ プログラムと良い勝負をする

中学生のころに「2001 年宇宙の旅」という映画が大好きになって現在まで何十回も見ている（公開は 1968 年）。HAL9000 というコンピュータが高度な人工知能を有する存在として登場していて、ほとんどのシーンに感心したのだが、唯一おかしいと思ったのが乗組員と HAL9000 がチェスを指すシーンであった。暇つぶしに HAL9000 とチェスを指す乗組員がずっと負けているという設定になっていた。HAL9000 が本当に賢いのであれば、うまく手を抜いていい勝負を演出してくれるはずと思ったのである。将棋や囲碁をファンに指導するレッスンプロはうまい手抜きができる。ファンがいい手を指した／打ったなら、それを活かして接戦で負けになる手順を選ぶのである。プロがアマ相手に百戦百勝を誇ってみても意味がない。大差よりも接戦の方がやっても見ても楽しいのは道理である。

コンピュータが十分に強くなってきたので、人間とコンピュータがよい勝負をするプログラムの研究が本格化している。実は以前から研究自体はあったのだが、弱いときに手抜きをしてもさらに弱くなるだけだったのでまずは強くすることに精力が注がれた。故意に弱くすることはむずかしい。むずかしいのは相手の人間に手抜きが露見しないよう適切に弱くすることである。単に強いプログラムを作るよりもうまく手抜きをするプ

ログラムを作る方がはるかにむずかしい（うまい手抜きのためには高度な知能が必要となる）。しかし優秀なレッスンプロはそれができているので、何とかコンピュータにもできるはずである。いわば「接待将棋」や「接待囲碁」ができるプログラムが開発できれば、人工知能はかなり人間に近づいたといえるのではないかと考えている。

さらなる楽しさへ

思考ゲームを例に、強いプログラムから楽しいプログラムへのシフトについて述べた。思考ゲーム以外でも人間を楽しませるエンタテインメントに人工知能の技術を適用することはこれからますます広がっていくと思われる。我々はコンピュータに小説を生成させる研究を行っているが、これもエンタテインメントへの人工知能技術の適用の例である。人工知能の技術の進歩によってエンタテインメントがますます魅力的なものになっていくことを期待したい。

参考文献

- 1) 特集「ゲーム情報学」、情報処理, Vol.53, No.2, pp.100-152 (Feb. 2012).
- 2) 松原 仁：コンピュータ将棋プロジェクトの終了宣言, 情報処理, Vol.56, No.11, pp.1054-1055 (Nov. 2015).
- 3) 松原 仁：速報 AlphaGo の勝利, 情報処理, Vol.57, No.6, pp.502-503 (June 2016).

(2016 年 10 月 18 日受付)

松原 仁（正会員）■ matsubar@fun.ac.jp

1986 年東大大学院工学系研究科情報工学専攻博士課程修了。同年通産省工技院電子技術総合研究所（現産業技術総合研究所）入所。2000 年公立はこだて未来大学教授。本会理事。

.....