

きたるべき人工知能の時代へ

松原 仁 公立ほこだて未来大学 副理事長

本稿ではゲームを例にとってこれからの時代の人間と人工知能の関係を考える。



1. 人工知能のグランドチャレンジとしてのチェス

人工知能の研究はチェスから始まった。コンピュータが作られてから間もない1950年前後にチューリングとシャノンが、コンピュータにもチェスが指せる、それも原理的には名人よりも強くなる可能性がある、という趣旨の論文を（独立に）出したのが人工知能のスタートと言える。論文にはいまもゲームの探索の基本となっているミニマックスのアルゴリズムが取り上げられていた（ミニマックスのアルゴリズム自体は20世紀前半のゲーム理論の研究の中でフォン・ノイマンが定式化したもので、彼らはそれがチェスの先読みに使えることを示したのである）。チェスが強いことは西欧では知性の象徴なので、チェスを題材として名人に勝つことを目指すのがわかりやすい目標だったものと思われる。チェスは人工知

能の最初のグランドチャレンジとなった。

初期の人工知能はチェスを題材として進められた。人工知能のパイオニアと言われる研究者はチューリングとシャノンを含めてニューエル、サイモン、マッカーシーなど多くがチェスの開発に携わった（携わらなかったのはミンスキーぐらいである）。特にたくさんの候補の中から良いものを選び出すという人工知能の基本中の基本である探索の技術はほとんどがチェスの研究の中から生まれた（たとえばアルファベータ法や反復深化などがそうである）。マッカーシーはチェスのことを人工知能のハエと呼んだ。これは遺伝学がハエを題材として大きく進歩したように人工知能がチェスを題材として大きく進歩したことを言ったものである。チェスのプログラムは当時の人工知能研究者の予想に反してなかなか強くならなかった。サイモンは1950年代（コンピュータはまだようやくルール通りにチェスが指せる程度であった）にあと10年で名人に勝ると宣言したが、1960年代はせいぜいアマの初級者程度だったので、サイモ

ンはほら吹きと言われてしまった。

1980年代になってチェス専用マシンやスーパーコンピュータを使うことによってチェスのプログラムは急速に強くなった。1秒間に2億手読むIBMのディープブルーが1997年にカスパロフに勝利した（ディープブルーの2勝1敗3引き分けという僅差だった）。人工知能の最初のグランドチャレンジは50年近く経って達成されたことになる。ディープブルーは機械学習を（ほとんど）使っていないことに注意するべきだろう。アルファ碁を開発したディープマインドが2018年にアルファゼロというアルファ碁の進化形を開発した。アルファゼロは（アルファ碁のように人間の大量の棋譜からディープラーニングで学習するのではなく）ゲームのルールだけから強化学習によって強くなる。アルファゼロはチェスのルールから学習して短期間でディープブルーよりも（したがってどの人間よりも）強くなった。ディープブルー以降20年間の機械学習の技術の進歩の結果と言えるだろう。



2. チェスの次は将棋と囲碁

ゲームとしてチェスは二人（二人でプレイする）・零和（一方が勝てばもう一方は負

ける）・有限（いつか必ず終了する）・完全情報（敵の情報がすべてわかっている）・確定（偶然性が入らない）という性質を持つ。同じ性質を持つゲームに将棋と囲碁がある。チェスの場合の数は 10^{120} である（ある局面でルール上指せる手が平均で35通り、1局の平均手数が80手なので $35^{80} \approx 10^{120}$ になる）が、将棋は 10^{220} で囲碁は 10^{360} である（これらの数字はそれぞれの合法的な局面の総数よりはかなり大きいことに注意が必要である。先読みの中では同じ局面が何度も現れるが場合の数ではそれぞれをカウントしている）。コンピュータにとっては場合の数が大きいゲームの方がむずかしいので、将棋と囲碁のプログラムはチェスよりは遅れて開発が始まった。

将棋の最初のプログラムが作られたのは1970年代半ばである（ちなみにFORTRANで数千行だったそうである）。将棋はチェスと同様に敵の大事な駒（チェスだとキングで将棋だと玉）を取ることを目指す似たゲームであるが、チェスは取った駒は盤上からなくなるのに対して将棋は取った駒が再利用できる（持ち駒という制度がある）のが特徴で、そのために中盤終盤における場合の数が大きくなるのでチェスよりも強くすることがむずかしかった。

ゲームのプログラムでは局面の形勢判断

を行なう評価関数が大きな役割を占める。評価関数の出力の数値が形勢を表わし、数字がプラスで大きければ大きいほど自分が有利で、マイナスで小さければ小さいほど自分が不利（敵が有利）である。2000年代半ばまで将棋のプログラムの評価関数は人間の手作りであった（チェスではディープブルーに至るまでずっと評価関数は手作りであった）。アマチュアの高段者レベルにまでは達していたが、プロ棋士のレベルとはまだ大きな差があった。

将棋のプログラムのブレークスルーになったのが2005年のボナンザの登場である。ボナンザは保木邦仁（現在は電気通信大学）が開発した将棋プログラムで、初めてプロ棋士を中心とする人間の膨大な棋譜からの機械学習によって将棋の評価関数を作った。人間が評価関数を手作りしているときの要素はせいぜい百以下であった（人間が制御できるのはそれぐらいがせいぜいである）。ボナンザでは40個の駒のすべての3個の駒の組み合わせの位置関係を評価関数の要素とした。要素は膨大な数になり、そのほとんどは意味がない（将棋の形勢判断に影響しない）が、まれに人間は気づかないが実は形勢判断に影響している要素（3駒の組み合わせ）が存在し、それらがあるために人間が手作りしていたときよりはるかに

正確な形勢判断ができる評価関数になったのである。機械学習で評価関数を求める手法はボナンザメソッドと名付けられてボナンザ以降のほとんどすべての将棋のプログラムがこの手法を採用した。ボナンザメソッドによって将棋プログラムはアマチュア高段者レベルからプロ棋士のレベルに達した。事実上2015年にはすでに人間（の頂上である名人）よりもコンピュータの方が強くなっていたと思われる（情報処理学会が2015年に名人に勝つことを目指した将棋のプログラム開発のプロジェクトを事実上目的が果たされたとして終了する宣言を行なった）が、実際に名人（佐藤天彦名人）と将棋プログラム（ボナンザ）が対戦して将棋プログラムが勝ったのは2017年であった。チェスはIBM、囲碁はグーグルという大企業がスポンサーについてその時点で最高性能のコンピュータで名人に勝ったのに対して、将棋は大企業のスポンサーがつかず（将棋がチェスや囲碁と比べて国際性が低くて広告効果が小さいと思われたこと、ちょうど日本が不景気の時代であったことなどが理由と思われる）高性能のパソコンで名人に勝ったというのが大きな違いである（そのために将棋のプログラムは名人に勝つのが遅れたと思われる。最高性能のコンピュータを使っていれば2010年には名人に

勝っていたはずである)。チェスで言及したアルファゼロは2018年に将棋でもルールだけから短時間で既存の最強の将棋プログラムに圧勝するまでになった。

囲碁のプログラムは将棋より早く1960年代に開発が始まった(日本、中国、韓国という囲碁がプレイされている国ではなく欧米で始まった)。最初の囲碁プログラムの強さはアマチュア38級と論文にある。人間だと囲碁のルールを覚えただけでもっと上の級になるので、いかに弱かったが想像できる(打てば打つほど形勢が悪化したそうなので、あえて言えば最悪の手を選んで打っていた感じだったらしい)。囲碁は場合の数が大きすぎてチェスや将棋のようにまともな探索ではとても対応できなかった。探索に代わるさまざまな手法が工夫されたのだが、囲碁のプログラムを強くすることはできなかった。チェスや将棋も初期は苦戦したが、囲碁はもっとひどくてまったく歯が立たなかった(チェスや将棋はなんだかんだ苦労はしたもののある程度経過したらアマチュア有段者にはなれたが、囲碁はアマ有段者になれないとっても弱い時代が長く続いた)。

それを変えた最初のブレークスルーがモンテカルロ木探索である。2006年にクローンが発表したCrazy Stoneという囲碁プログ

ラムで最初に用いられた。元になったモンテカルロ法はフォン・ノイマンが命名されると言われる乱数を用いた統計的手法である(乱数を用いるので賭博で有名なモンテカルロという名称になった)。囲碁にモンテカルロ法を当てはめると、ある局面から乱数を用いて交互に勝負がつくところまでランダムにたくさん打ち進めてもっとも勝つ確率が高くなる場所に打つというものである。囲碁の知識を(ほとんど)使わないのでとても強くなるとは思にくいだが、クローンがこれに先読みの工夫を加えたモンテカルロ木探索としたら急激に強くなった。2010年代半ばにはアマ高段者のレベルに達した。将棋で言えば2000年代半ばのレベルだったので、将棋の例から類推して囲碁は名人に勝つまであと10年ぐらいかかると多くの専門家が予想した(筆者も含まれる)。そこに2016年に現れたのがディープマインドのアルファ碁である。アルファ碁はプロ棋士を中心とした人間の三千万局面の棋譜からディープラーニングで学習し、さらに自己対戦から強化学習でさらに学習した。その結果2016年に韓国のイ・セドル、2017年に中国のカ・ケツという名人に勝つまで強くなった。機械学習の技術と高性能のコンピュータを用いることで専門家の予想を10年早めたのである。アルファ碁はその後人

間の棋譜のデータを使わずに囲碁のルール
だけから強化学習で強くなるアルファ碁ゼ
ロへと進展し（アルファ碁ゼロはアルファ
碁に圧勝した）、アルファ碁ゼロはチェスや
将棋など他のゲームを対象とした一般的な
アルファゼロへと進展した。



3. 名人を超えた後はどうなるか

チェス、将棋、囲碁という二人・零和・
有限・完全情報・確定ゲームはどれもコ
ンピュータが名人に勝って人工知能のグ
ランドチャレンジは達成された。名人に勝
つという目標が達成されると（その先もコ
ンピュータ同士でさらに強くするとか数学
的な解明を目指すとかやることはあるもの
）一気に興味が失われる傾向がある。研
究テーマとしてむずかしくなり、マスコミ
にも取り上げられなくなり、研究予算のス
ポンサーも見つけにくくなる。しかし人間
と人工知能の関係を考える立場からすれ
ば、名人より強くなったこれからが本番な
のである。人工知能はいくら賢くなっても
あくまで人間の道具である。人間のための
便利な道具になってそれが実際に使われる
ことになれば、人工知能が実用化できたこ
とになり、あるいは人工知能が社会を変え

られることになる。チェスは1997年にコ
ンピュータが名人に勝ったが、その後ア
ドバンスドチェスからフリースタイルチェ
スへと進展している。アドバンスドチェス
は人間とコンピュータがペアになってその
ペア同士で人間がコンピュータの助けを借
りてプレイをする。コンピュータを使えば
人間は見落としのミスを犯さずに済む。人
間の考えの方がコンピュータの考えに勝る
局面だと人間が思えば人間の手を採用すれ
ばよい。人間同士よりも高度な対局になる
ことが期待できる。アドバンスドチェスを
さらに人間何人でもコンピュータ何台でも
チームにしていというのがフリースタイ
ルチェスである。チェスのプログラムも個
性があってそれぞれ得意不得意の局面があ
るので複数を使い分けることでさらに強く
なる。人間も複数いた方が判断は正確にな
る。人間と人工知能が協調することによっ
てチェスのさらなる高みを目指しているの
である。

ゲームでコンピュータが名人に勝つとい
う目標は、それがわかりやすい（評価しや
すい）というだけではなく、人間の道具と
して信頼して使ってもらえるレベルに達す
るためのものであったはずである。その目
標を達成したいま、コンピュータはゲーム
において道具としての役割を果たしつつあ

る。将棋を例にしてその様子を見てみよう。人間より強くなったコンピュータは将棋において人間が思いつかなかった（価値を認めることができなかった）新手をたくさん見つけるようになってきている。2013年の名人戦第5局で後手の森内俊之名人が先手の羽生善治3冠相手に指した三七銀という手がコンピュータの見つけた代表的な新手である。その手が指された局面はプロ棋士の間では非常に有名な局面で多数の実戦が行われていたが、それまで三七銀という手を指したプロ棋士はいなかった。森内名人はその対局の前に偶然将棋プログラムのポナンザがその局面で三七銀と新手を指したのを目にしていた。調べてみるといい手だったので記憶に残っていた。その後大事な名人戦で同じ局面になったのでポナンザの新手を採用した（そして勝った）という次第だったのである。最高峰である名人戦で名人がコンピュータ新手を採用したということは大きなニュースになった。その後も多くのプロ棋士が多く対局でコンピュータ新手を採用している（ふつうのことになってニュースにならなくなった）。一つ一つの新手だけでなく、プロ棋士が指す将棋の戦型が大きく変わりつつある。たとえばプロ棋士がよく指す横歩取りという戦型はコンピュータ新手によって定跡が大きく変化しつつある。

矢倉という戦型はプロ棋士がかつては好んで採用していたのだが、コンピュータが矢倉における後手の優秀な対応法を見つけたので、採用する率がかなり減っている。雁木という戦型は江戸時代によくあったのだが守りが弱いためにそれ以降プロ棋士は採用しなかった（守りが堅い穴熊をよく採用したが、コンピュータが雁木をよく採用するようになってプロ棋士も採用するようになってきている（玉の堅さより逃げやすさを重視するようになったのである）。肉を切らせて骨を絶つという表現があるが、まさにコンピュータは肉を切らせて骨を断つ戦法を採用している。人間はどうしても恐怖感があるので自分の玉に敵が近づくのを避けがちだが、コンピュータはたとえ近づかれてもそれより先に敵の玉を詰ませられると判断すれば平気で踏み込む。将棋が好きな読者はプロ棋士の西尾明6段が最近書いた「コンピュータは将棋をどう変えたか？」（マイナビ出版）に詳しく書いてあるのでぜひ読んでいただきたい。またプロ棋士は研究に将棋のプログラムをよく使うようになってきている。終盤で詰むか詰まないかはかなり前からコンピュータの方が得意だったが、いまは序盤や中盤の形勢判断もコンピュータの方が正確である。人間はとて将棋の場合の数の全体を相手にすることは

できないので、経験に基づいて一部だけの範囲を囲ってその中だけを対象として最善手を探している（定跡などはその過程で見出されたものと言える）。コンピュータも将棋の場合の数の全体は相手にできないものの、人間よりもはるかに広い範囲を対象とすることができる。人間だけでは見えなかった世界がコンピュータの助けによって人間にも見えるようになったのである。幸いなことに、人工知能は人間にとっての将棋の世界を広げることができているように見える。これが将棋における人工知能の人間への貢献である。ボナンザはプロ棋士の棋譜のデータから機械学習によって強くなった（優れた評価関数を作ることができた）が、いまはプロ棋士がコンピュータの評価関数の値から形勢判断を学習するよう

になっている。若手の強豪として知られる藤井聡太7段はもともと終盤が非常に強かったが、コンピュータとたくさん対戦することによってコンピュータから序盤中盤の形勢判断を学んで強くなったと言われている。人間同士がそうであるように、人間とコンピュータがともに得意なことを相手に教え合うようになったのである。コンピュータが名人に勝った後の将棋界がどうなっていくか、人間とコンピュータがこれからも協調して将棋のさらなる高みに昇っていくかを見守っていきたい。

今後は将棋のようにさまざまな領域で人間と人工知能が助け合って（ともに得意なことを活かし合って）その領域のさらなる高みを目指していくことが期待される。

プロフィール.....
まつばら・ひとし 1986年東京大学工学系研究科情報工学専攻博士課程修了。工学博士。1986年通産省工科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。2016年同副理事長。2016年より（株）未来シェア代表取締役社長、（株）AIハヤブサ役員、（株）Ales役員兼務。2014年—2016年人工知能学会会長。著書に『鉄腕アトムは実現できるか』（河出書房新社）、『ロボットの情報学』（共著、NTT出版）、『先を読む頭脳』（共著、新潮社）、『AIに心は宿るのか』（集英社インターナショナル）など。