

楽しませる囲碁・将棋プログラミング

池田 心

テレビゲームをプレイしていて楽しいと思うためには、ゲームのルールや画面表示・操作などの GUI が洗練されていること、コンテンツの豊富さなどとともに、協力・対戦するコンピュータプレイヤー (AI) が知的であることが求められる。このことは囲碁や将棋といった古典的思考ゲームでは特に重要であり、“強い AI” “楽しい AI” のためのさまざまな取り組みがなされている。本稿では、強さという意味では十分な域に達しつつある囲碁・将棋 AI の基本的な枠組みの解説ののち、楽しませるために必要な要素技術と、そのためのいくつかのアプローチを紹介する。

キーワード：楽しませる AI, 囲碁, 将棋, ゲーム木探索, モンテカルロ法

1. はじめに

1980 年代、ファミリーコンピュータの登場、パーソナルコンピュータの普及にとともに、テレビゲームは多くの人々にとって身近な娯楽として定着した。以降現在に至るまで、さまざまに形態を変え、またさまざまなジャンルを生みながらテレビゲームは継続してその人気と産業的・文化的な重要性を保っている。ゲームを構成する要素はルール・コンテンツ・UI・画像・音など多岐にわたり、そのそれぞれについて企業の技術開発と学術的な研究が続いている。

人工知能 (Artificial Intelligence, AI) という言葉は広義には非常に広範の知的情報処理技術を指すが、ゲームで AI といった場合には通常、「自分の対戦相手をしてくれるプログラム」「自分と協力プレイをしてくれるプログラム」のことを意味する場合が多いだろう。囲碁や将棋、マージャンなどの多人数ゲームを、相手を探したり気遣ったりする必要なしに、いつでもどこでも 1 人でも遊べるようになったことの意義は大きい。

一方で、ゲーム AI が「強さ」「楽しさ」の意味で不満足であることは長年深刻な課題であった。例えば 1990 年に発売された冒険 RPG ドラゴンクエスト IV は、“仲間キャラクターが、学習する AI で自動操作される”ことが大きな特徴であり、AI という言葉を小学生にまで広めた貢献とともに、そのあまりの弱さ・非合理性によって“ゲームの AI はバカだ”という負のイメージの元凶ともなった。なお名誉のために言ってお

くと、本ゲームの AI がほかのゲームの AI に比べても非常に悪いというほどではなく、負のイメージの大きさは本シリーズが特段に著名であることによるものと言えよう。

シューティングゲームやアクションゲームなどに登場する弱くて多い敵キャラクタ (いわゆるザコキャラ) の場合、その行動は知的でなくともよい。しかし、すごろくゲームや格闘ゲームなどで対等の関係にあるはずの仲間や敵が知的でないことは、勝敗にかかわらず、大きなストレスとなる。この AI の部分は購入前に評価することが困難な (つまり出来不出来が売り上げに直結しない) ためもあって、特に日本企業ではあまり重要視されてこず、いまだに多くのゲームで不十分な AI が提供されている現状がある。

その点、囲碁・将棋ゲームの場合、ルールや映像・音などに改良の余地が少ないこともあり、“AI の強さ・楽しさ” がしっかりと重視され、努力が行われてきた幸せなジャンルであると言えよう。ファミリーコンピュータの時代には「まだまだ勝負にならない」くらい弱かった囲碁将棋プログラムも、次章で述べるようなさまざまな技術の進展と計算機の進歩にとともに、将棋ではほぼプロレベル、囲碁でもアマチュア高段者レベルに至っている。

長い間、囲碁・将棋 AI にとっての最重要課題は「強くすること」だった。それは、それが人智への挑戦というわかりやすい目標であったこと、学術的評価がしやすいこととともに、ある程度強くなければ次の段階である「自然な AI」「楽しませる AI」「教える AI」などの実現は困難だったことが大きな理由だろう。強さが十分になりつつある今、戦って楽しいプログラムを作成するための学術的研究 [1, 2, 11] も盛んになって

いけだ ころろ

北陸先端科学技術大学院大学 情報科学研究科

〒 923-1292 石川県能美市旭台 1-1

E-mail: kokolo@jaist.ac.jp

いくと思われる。

本稿では、次章で囲碁・将棋プログラミングの基本的枠組みを解説したのち、3章では“楽しませる AI”を取り巻く現状をまとめ、4章で具体的に必要となる要素技術と、そのためのアプローチを紹介する。

2. 囲碁将棋プログラムの基本的枠組

RPGの敵キャラクタなど、単純な動作しかしなくてよいゲームでは、AIの多くはいわゆる if-then ルールで記述されていると思われる。しかし囲碁や将棋のように複雑なゲームで知的な AI を書こうとすれば、例えば「銀が飛車を取れてその銀が取られないなら、取る」のような if-then ルールの集合だけで AI を手動記述することは現実的ではない。

そこで多くの場合、盤面 x の良さを評価する状態評価関数 $f(x)$ を作成し、数手先までのあらゆる可能性を列挙し、相手も最善の行動を取ると想定したうえで自分の最善の手を決める minimax 探索と呼ばれる考え方が用いられる (図 1)。実際には、探索の必要のない部分を省略する $\alpha\beta$ 探索、あり得なさそうな着手が続く場合を省略する実現確率探索 [15] などさまざまな効率的な探索が行われる。

状態評価関数 $f(x)$ は、駒の損得や利き、玉の安全度などの複数の項目を考慮して定められる。黎明期にはこれらは手動で定められていたが、現在では機械学習と呼ばれる枠組みを用い、プロの棋譜 (局面と着手の組) を学習データとして自動調整する [7] ことが主流になっている。例えばプロがある局面で手 a_1 を着手し局面 s_1 に遷移した場合、それ以外の合法手 a_2, a_3 に対する次局面 s_2, s_3 は相対的に良くない局面であったということである。そこで、 $f(s_1) \geq f(s_2), f(s_1) \geq f(s_3)$ となるように、 f を調整する (駒の価値や利きの価値などを増減する)。これを探索時の評価精度がより向上するように拡張したのがポナンザ法 [12] であり、強い AI に大きく貢献した。

駒の価値や利きなどを比較的数値化しやすい将棋に

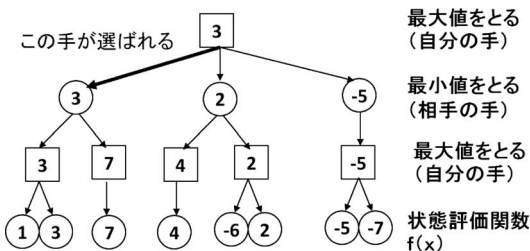


図 1 minimax 探索の概略

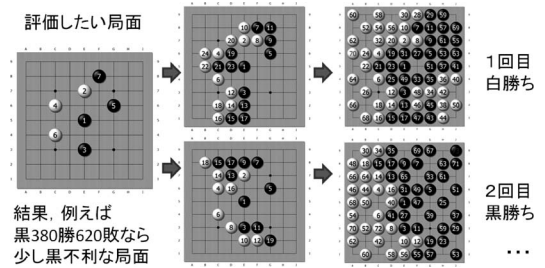


図 2 モンテカルロ法の概略

比べ、囲碁では局面を評価することが困難であるとされ、長年棋力が停滞している時期があった。ここに登場したのがモンテカルロ法 (図 2) である。モンテカルロ法では、評価したい局面からランダムに着手を進め、終局時の勝ち負けを得ることを複数回繰り返す、どれだけの割合で勝てたかを評価値として用いる。モンテカルロ法と木探索の組み合わせ (MCTS) [13]、ランダム着手中も良さそうな手を高い確率で選ぶようにする [14] などの工夫が行われており、現在の主流となっている。

これらの技術進展と計算機資源の増大の結果として、2012年、将棋ではボンクラーズが米長邦雄永世棋聖に勝ち、囲碁では Zen が武宮正樹九段に 4 子ハンデながら勝つなど、ほとんどのプレイヤーにとって囲碁将棋プログラムの“強さ”は十分なレベルに達しつつある。

3. 楽しませる AI をとりまく現状

ゲーム業界は面白いあるいは売れるゲームを作ることが使命であるから、AIに限らずあらゆる要素について楽しませる工夫が追求されてきた。一方研究者の立場からすると、“楽しませる AI”や“教える AI”は“強い AI”よりも客観的評価という意味で論文が書きにくいテーマであると言える。AIがある手法で強くなったことは、既存の AI とのコンピュータ上での対戦実験を行えば比較的容易に示せる。一方で AI がある手法で楽しくなったことを客観的に示すためには、既存の AI との比較など、“人間が”評価を行わねばならず、多大な評価コストを要する。“教える AI”に至っては、教育効果を調べるための一定期間の被験者実験が必要になる場合もあり、より一層評価が困難になる。

とはいえ海外ではすでに、強さだけでなく面白さや自然さに着目した学術研究が盛んになりつつある。例えば国際会議 IEEE-CIG (Computer Intelligence and Games) では毎年多くの研究発表と競技会 [4] が行われている。特筆すべき競技を 2 つ挙げておく。

- FPS (1人称視点の銃ゲーム) では、2008年より、AIの人間らしさを競う7,000ドルの賞金つきのチュeringテストが行われている。2012年初めて「人間プレイヤーの平均よりも人間らしいAI」が達成された。
- スーパーマリオブラザーズでは、「うまくステージクリアできるAI」のほかに、「人間らしいAIを作る」、「人間が最も楽しめるような難易度と配置のステージを、プレイヤーごとに作る」という意欲的な競技が行われている。

囲碁と将棋に話を戻すと、強さを競う競技会は国内外ともに頻繁に開催されている一方で、自然さを競う大会 [3] や楽しさを競う大会 [8] はわれわれが行ったものの以外はほとんど行われていないと思われる。技術開発とともに、そのようなイベントを拡充していくことも必要だろう。

そもそも囲碁や将棋で「楽しませるAI」を研究する価値があるのかという疑問もあるかもしれない。これらのゲームは人間と勝負するのが一番楽しく、いまだインターネットによっていくらかでも相手は見つかるから、というのがその理由である。しかし、人間と勝負するのは嫌だというプレイヤーも少なくはなく、初心者にとっては入りにくい雰囲気があることもあり、気軽に楽しめる囲碁将棋AIの需要は決して小さくはない。

上達のサポート態勢は囲碁将棋に限らず競技人口の増加のために重要である。囲碁将棋の入門上達の場合は多くの場合、家庭・部活動・サークルなどであろう。しかし、「教えるプロ」が担当する道場など以外では、教える側は強くはあっても教える・楽しませる技術が十分でない場合も多い。大きなハンデをつけたうえで本気で勝負することはしばしば見られるが、うわ手(教える側)が勝ちすぎてしまう結果として上達の途中で意欲を失ってしまう初中級者も多い。親子の場合には期待から厳しくなりすぎることも原因だろう。これに対し、「教えるプロ」「楽しませるプロ」は少し小さめのハンデを用い、うまく手加減を行い、ためになる・楽しめる局面を導く技術を持つ。この技術をAIにも持たせたいというのが次の大きな目標となるのである。

4. 楽しませるAIの要素技術

うわ手側(上級者、AI)が勝つことを目的とせず、した手側(初級者中級者)に楽しんでもらうことを目的とする対局を「接待碁」「接待将棋」と呼ぶ。本章では、そのためにどのような要素が必要になるのか、またどんなアプローチがありうるのかを、先行文献 [11] および実際に囲碁将棋ソフトを作ってきた方々からの

情報 [5, 16, 17] をもとに紹介する。

4.1 プレイヤーを理解する

勝つことが目的なら、対戦相手が誰かに関係なく“そのゲームの最善手”を選ばばよい。しかし楽しませることが目的ならば、なんらかの意味で相手プレイヤーに“合わせる”必要があり、そのためにはまず相手プレイヤーの強さや好みを理解する必要がある。

人間の指導者は一局の序盤～中盤には、した手のおよその強さを多角的に把握することができる。あるいはAIも、プレイヤーの着手を自分の探索結果から評価して強さを推測することができる [2]。また、単に強さということであれば、プレイヤーの段級位を申告してもらうだけでよいかもしれない。

より困難なのは、プレイヤーの好みの把握、つまり「どういうときにこのプレイヤーは楽しいと思うのか」ということを把握することだろう。一般論として「こういう場合は楽しい・楽しくない」を言おうとする研究、それを脳科学などと結びつけるアプローチもあるが、そもそもプレイヤーの好みはかなりバラバラである。ざっと挙げるだけでも、

- とにかく勝ちたい ⇔ 手加減されたくない
- 急戦が好き ⇔ 落ち着いた戦いが好き
- 1戦数十分くらいで ⇔ 数時間くらいで
- いつも同じ戦型で ⇔ 多様な戦型がいい
- 平凡に着手してほしい ⇔ 変な手を見たい
- 攻めたい ⇔ 守りたい
- 自分が対戦したい ⇔ 見ているのが好き
- 対戦だけでいい ⇔ 局後の検討が好き

など多くの可能性がありうる。AI側としては標準的と思われるタイプを仮定したうえで、プレイヤーにオプションを選んでもらうことで好みを申告してもらうよりないのが実情であろう。

4.2 不自然な着手の抑制

人間とプログラムは思考方法が異なるため、人間ではまず着手しないような手がAIから出てくることはしばしばある。場合によってはそれは“楽しい意外性”になりうるが、そうでない場合も多い。

人間のプロに迫るような強いプログラムでは、必然的にその着手は人間と区別がつきにくくなる [8]。しかし、次節で述べるように初級者中級者に合わせてAI側が「手加減」をする場合は、明らかに手抜きだとわかってしまい、楽しさを減じる結果になってしまうことも多い。図3に囲碁の例を示す。

- 1) 形が悪い手 局所的なパターンや囲碁のルールから

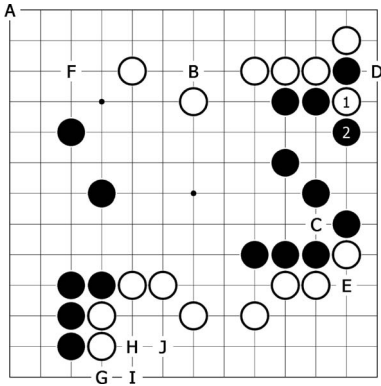


図3 不自然な着手の例示のための人工的局面

考えて、探索せずとも悪いとわかる手。例えば白A（位置）やB（パターン）やC（自殺）はなさそうな形の手である。

- 2) 流れにそぐわない手 仮に白1黒2という手順でこの局面に来ているとすると、その流れを受け継いで白Dが自然な着手であり、ほぼ同じ大きさ、あるいは悪くない手だとしても白Eは不自然に映る場合がある。
- 3) 明らかに損をする手 ほかに明らかに大きい箇所がある場合。例えば白Fは白DやEよりもかなり大きい手だろう。形勢を接近させるために白DやEを打つとそれらは不自然に映るかもしれない。
- 4) 高度すぎる手 実は良い手なのだが、した手の棋力では意図を理解できない場合。例えば黒がGに着手した後、級位者には白H（あるいは下手すると白I）が自然に見え、一見無駄に後退しているように見える白Jの良さは理解されないかもしれない。

将棋の場合の「駒の自殺」「取れる駒を取らない」「損な駒交換」「そっぽの着手」などもこれらに分類されるだろう。1手前に動いた駒が次には元の位置に戻るなどというのは昔のAIによくある悪い手加減の典型と言えよう。逆に、詰みがある局面でそれを見逃すような着手は、「明らかな損」という意味で不自然ではあるが、弱いプレイヤー相手には有力な手加減方法であることがわかっており、実際採用されている [5]。

4.2.1 アプローチ

ある着手の「ぱっと見の良さ・自然さ」を数値化することは、強い囲碁将棋プログラムのためにも重要であり、多くの研究がなされている。例えば囲碁では、「周囲の配石（局所的なパターン）」「直前手からの距離」「盤端からの距離」「石のアタリ・ツギ・ヌキ」などの特徴量を用いて着手の選択確率をプロの棋譜から学習

する手法 [7] が頻繁に用いられ、プレイアウト時の着手選択 [14] や木探索部の枝刈り（実現確率探索） [15]、探索の優先度の調整 [9] などに使われている。

「形が悪い手」のほとんどはこの選択確率をフィルタとして用いることで抑制できる。また直前手からの距離を考慮に入れることで「流れにそぐわない手」つまりそっぽの手も抑制できる。

「明らかに損をする手」については、選択確率だけでなく、探索の結果を利用することが可能である。例えば勝率 80%の手があるのに勝率 60%の手を選ぶのは不自然であると判断できる。

「高度すぎる手」の抑制はプレイヤーの思考に依存するために、比較的困難である。例えば「3手読みでは良い評価値なのに7手読むと悪い評価値になるような手は高度な手」といった基準は利用できるかもしれない。

4.3 負けるための手加減

「子供大会の余興でプロが相手をするならば2勝13敗が好ましい」という見解もある [6] ように、（ハンデが実力差よりも不当に小さい場合であっても）手加減によって負けてあげることが楽しませるAIには求められる。言うまでもなく、それは単に負ければよいということではなく、あからさまな悪手や無抵抗な負けは興ざめの原因である。軽微な悪手でバランスを取りつつ、プレイヤーに試練やチャンスを与えたくて「自分の力で勝った」と思わせるのが望ましい（図4）。

4.3.1 アプローチ

ある（強い）プログラムに手加減させる場合、大きく分けて2つのアプローチがある。1つはプレイヤーの強さや展開に関係なく一定の弱さを演出する方法、もう1つは形勢に応じて手加減の度合いを決める方法である。

前者は「5級向け」「初段向け」など対象がはっきりしている場合に固定の強さを発揮できるが、ミスマッチによって一方的な結果になることもある。後者はど

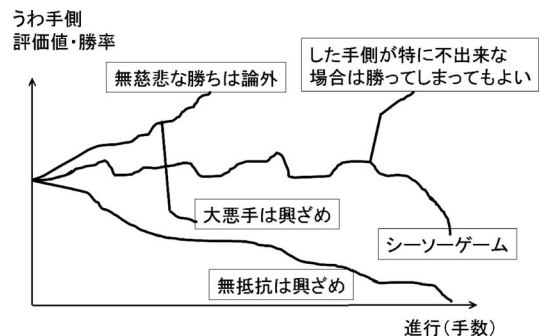


図4 いくつかの手加減のパターン

んな相手にもそれなりの勝負ができるものの、言い換えれば良い手を多く着手した場合も悪い手を多く着手した場合も似たような結果になりやすく「自分の力で勝った」と思わせにくい面がある。これら一長一短により、両者の使い分けや組み合わせが重要となる。

4.3.2 静的な（一定の）手加減

多くのプログラムで行われている静的な手加減方法は、探索量の削減である。探索を浅くしたり、探索時間を短くすることで、本来の探索量のものよりも弱くすることができる。例えば「AI 将棋」（製品名）では、10級用から五段用まで、探索の深さや詰め将棋ルーチンを使うかなどを見合った棋力になるよう個別に定め、1段級差で勝率が7割～8割になるように調整している [5]。特に詰め将棋ルーチンは三段以上のものでしか使わないという点が重要だとのことである。ほかには「初心者と同じコマを連続して動かしやすい」という特徴も取り入れている。

ゲームや元プログラムによっては、探索を浅くしても十分弱くできない場合もある [11]。そのような場合には一位の手との評価値の差が一定程度になるように“いつも同じくらい悪い手”を選ぶようなことも行われる [2]。

4.3.3 動的な（形勢に応じた）手加減

「激指」（製品名）には、固定の強さの AI が用意されている一方、動的な手加減を行う指導対局モードも搭載されており、ここでは形勢が良くなると探索を浅くしてシーソーゲームを演出することが試みられている [16]。

先行論文 [11] では、形勢の調整と、着手の自然さを両立するための以下のような着手決定アルゴリズムが提案されている。

- [大悪手の抑制] 一位の手と二位の手が勝率 10% 以上離れている場合は一位の手を打つ
- [無抵抗の回避] 勝率 30% 未満の場合は一位の手を打つ
- [自然な手の優先] 勝率 30～50% の場合は、一位の手との勝率差が 3% 以下の中で一番自然な手（選択確率の高い手、4.2.1 節参照）を打つ
- [無慈悲勝ちの回避] 勝率 50% 以上の場合は、ぎりぎり自然な手の中で一番悪い手を打つ

図 5 は有段レベルのプログラム Nomitan が 8 級のプレイヤー相手に打った碁の例であり、特に（有段者から見て）不自然な手がないにもかかわらず負けに持っていくことができていることがわかる。

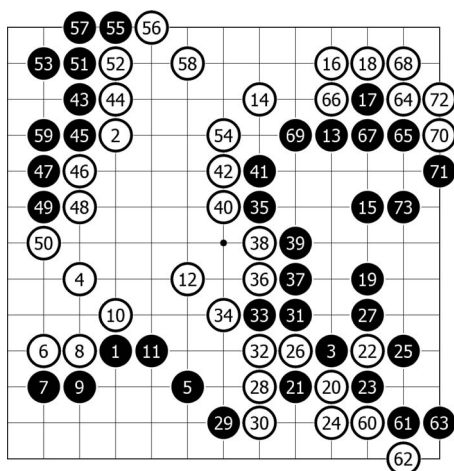


図 5 手加減 AI（白）vs 8 級プレイヤー

4.4 多様な戦略

プレイヤーが、ある AI と繰り返し対戦することが想定される状況では、いつも同じような手や傾向・戦略であることは飽きにつながる。これを防ぐため、さまざまな個性を持った AI が用意され、選択できることが望ましい。多様な戦略を自動で得るような研究 [2] もあるが、市販製品の多くは特定の個性（棋風）を狙って個別に調整が行われているようである。

将棋では、棋風を最も演出しやすいのは序盤戦法つまり定跡選択であり、「激指」「AI 将棋」にも取り入れられている [5, 16]。さらに、評価値の学習時に特定の棋士の棋譜のみを使うことで中盤以降の棋風を演出する試みも行われている [10, 16]。

囲碁でも、同様に布石選択を行ったり、特定の棋士の棋譜のみを用いることは可能である。さらに、中央志向・地合志向といったよくある棋風は、厚みのポテンシャルの評価係数を操作することでより直接的に再現することができる [17]。ほかにも比較的簡単な方法で楽観派・悲観派、好戦派・厭戦派を演出する方法が提案されている [11]。

4.5 着手や投了のタイミング

ネット碁や碁会所などで、「なかなか投了してくれない相手」にイライラした経験がある人は多いと思う。最近のプログラムはプロ同士の「形づくり」と呼ばれる美しい投了手順にはまだまだ及ばないものの、棋力の向上によって投了してくれない場合は減っている。

一方、楽しませるという意味では、「美しい投了よりも、十分あがいてとどめをさしてもらう」「（将棋で）何手負けなのか、（囲碁で）何目負けなのか、はっきりさせてあげる」といったことも必要であろう。

また着手そのものではなく、プレイヤーが着手してから AI が着手するまでの思考時間というのも楽しさに影響しうる。難しい局面を一瞬で打たれるのは、した手になおざりにされているような感覚を与えるし、当然の一手をすぐに打ってくれないこともストレスになる。例えば「AI 将棋」では、プレイヤーがノータイムで指した場合は AI もノータイムで指しうるが、プレイヤーが 30 秒以上考えた手のあとは、AI 側も必ず 5 秒～10 秒考えるようにしているそうである [5]。“息が合った”対戦のための有力な工夫と言えよう。

4.6 感想戦・検討・おしゃべり

対局開始と終局時に定型的な挨拶をする程度のネット碁が全盛となった昨今では忘れられがちであるが、対局中の発話や局後の検討も“楽しませる”ことの重要な要素である。例えば、うわ手が非明示的に与えたいくつかのチャンスをした手がちゃんとものできた場合に褒める、実際に打った手以外の読み筋を披露するなどのはした手にとって楽しいことである。

4.6.1 アプローチ

発話のきっかけとしては、以下のようなものがあるだろう。

- プレイヤーがコメントを求めた場合
- プレイヤーの着手が最善手より大きく評価値が劣る場合、特にそれが一見良い手の場合
- プレイヤーの着手が、気づきにくい手（浅い探索や、静的評価値の意味で悪い手）なのに最善手だった場合
- プレイヤーや AI の実際の着手とは遠い場所に、有力な手順があった場合

既存のソフトにもこのような工夫はいくつかなされている。「激指」の指導対局ではプレイヤーの悪手は“その場で”指摘する [16] ことで学習を効率化している。「やさしい囲碁」ではキャラクタに口語で喋らせることで擬人化を図り、また“9 の四”のような無機質な座標だけではなく“切りの手で良い手ですね”など形を表現する工夫もされている [17]。

4.7 ゲームソフトとしての工夫

楽しませる囲碁将棋 AI という枠から、楽しませる囲碁将棋ゲームソフトという枠に広げると、ほかにもさまざまな工夫が考えられ、また実際に利用されている。

- [さまざまなモード] 孤立した 1 つの対局だけでなく、リーグ戦、トーナメント、あるいはアドベンチャーゲームと組み合わせたストーリーモード [16] なども提供されている。
- [サブゲーム] 次の一手問題、詰碁詰将棋などは息抜きにも棋力向上にも有益である。その自動生成は AI

研究の重要な領域である。

- [中途局面から] プレイヤー側に有利な局面を自動生成して、AI の最強レベルと対戦できるモードも好評だったそうである [16]。
- [気持ちいい手筋を打たせる] ウツテガエシ、オイトシ、両アタリ、両取り、空き王手など、できると気持ちのよい手筋というのは多い。これらが登場するように故意に局面を誘導することも可能である [17]。
- [画像] AI と画像キャラクタを対応づけ、形勢に応じて表情を変えることはしばしば行われる。
- [効果] 囲碁や将棋で実際に良い石や駒を扱うことは触覚視覚聴覚に気持ち良いものである。最近では「将棋ウォーズ」(製品名) など、着手と同時に派手な効果を持たせることで楽しませるものもある。

5. おわりに

本稿では、多くのプレイヤーにとって十分な強さになりつつある囲碁・将棋 AI の基本的な枠組みを解説したのち、次に必要になる“楽しませる”という目的に焦点を当て、必要になる技術とそのためのアプローチを紹介した。楽しませる技術はその評価が高コストであることもあって学術的な研究は始まったばかりといえるが、主に海外を中心にその重要性和勢いは増している。

わが国は将棋と囲碁という非常に成熟したゲームを文化として持ち、単に競技人口が多いということだけでなく、楽しませること・教えることができる専門家も多い。その意味では日本発の学術研究、競技会、そのほか取り組みを主導的に進めていくことが可能なはずであり、また必要だと考えている。

参考文献

- [1] H. Iida and K. Handa, Tutoring Strategies in Game-Tree Search, *ICGA Journal*, 191–204, 1995.
- [2] 上田陽平, 池田心, 遺伝的アルゴリズムによる人間のレベルに適應する多様なオセロ AI の生成, 第 27 回ゲーム情報学研究会, 2012.
- [3] JAIST 杯囲碁 9 路盤 「接待碁」コンテスト, <http://www.jaist.ac.jp/jaistcup/2012/jc/9ro.html>
- [4] IEEE-CIG Competitions, <http://geneura.ugr.es/cig2012/competitions.html>
- [5] 山下宏, 「AI 将棋」(製品名) について, Personal communication, 2012.
- [6] 米長邦雄永世棋聖, Personal communication, 2012.
- [7] Remi Coulom, Computing Elo Ratings of Move Patterns in the Game of Go, *ICGA Workshop*, 2007.
- [8] JAIST 杯囲碁 9 路盤 チューリングテスト大会, http://www.jaist.ac.jp/jaistcup2011/9x9_details.html
- [9] 前原彰太, 橋本剛, 小林康幸, 局面評価関数を使う新たな UCT 探索法の提案とオセロによる評価, 第 24 回ゲー

ム情報学研究会, 2010.

- [10] 滝瀬竜司, 田中哲朗, 入玉指向の将棋プログラムの作成, 情報処理学会論文誌, **6**, 25–31, 2012.
- [11] 池田心, Simon Viennot, モンテカルロ碁における多様な戦略の演出と形勢の制御～接待碁 AI に向けて, 第 17 回ゲームプログラミングワークショップ, 2012.
- [12] 保木邦仁, 局面評価の学習を目指した探索結果の最適制御, 第 11 回ゲームプログラミングワークショップ, 2006.
- [13] L. Kocsis, C. Szepesvari, Bandit based Monte-Carlo Planning, 17th European conference on Machine Learning, *Lecture Notes in Computer Science*, **4212**, 282–293, 2006.
- [14] S. Gelly, Y. Wang, R. Munos, and O. Teytaud, Modification of UCT with Patterns in Monte-Carlo Go, INRIA, **6260**, 2006.
- [15] Y. Tsuruoka, D. Yokoyama, and T. Chikayama, Game-tree Search Algorithm based on Realization Probability, *ICGA Journal*, 2002.
- [16] 鶴岡慶雅, 「激指」(製品名) について, Personal communication, 2012.
- [17] 清慎一, 「やさしい囲碁」(製品名) 他について, Personal communication, 2012.