

コンピュータ将棋の開発

塚本隆三^{*1}, 高田 実^{*2}

近年, 人工知能が急激に成長している. 将棋はその影響を受けている競技の一つである. コンピュータ将棋は最近では評価関数の機械学習手法が大幅に進化し, 探索部はチェスソフトの stockfish を参考にすることで現在も強くなり続けている. その中で将棋プログラム「読み太」の開発を行い, 大会で好成績を収めることができたので紹介する.

Keywords : 機械学習, 評価関数, $\alpha\beta$ 法, Bonanza, NineDayFever, stockfish.

1. 緒言

筆者は将棋のプロ棋士育成機関である「奨励会」に属していたことがある. 当時から強い将棋を指すコンピュータ将棋に注目しており, 奨励会を退会してからはコンピュータ将棋を開発することに興味を持った.

そこで将棋プログラム「読み太」の開発を行い, 各種大会で好成績を収めることができた. 本稿ではコンピュータ将棋の仕組みと機械学習の用いられ方や, 「読み太」に搭載した手法を紹介する.

2. コンピュータ将棋の大会

コンピュータ将棋の大会は, 世界コンピュータ将棋選手権と将棋電王トーナメントの二つが開催されており, 2016年度にこの二つの大会に出場した.

2.1 第26回世界コンピュータ将棋選手権 2016年5月3日~5日にかけて行われた. 持ち時間は全対局持ち時間10分, 加算時間10秒. これはフィッシャールールと呼ばれ, 持ち時間が切れたら負けだが, 一手着手するごとに持ち時間が10秒増えるというルールである.

一次予選リーグ, 二次予選リーグ, 決勝リーグがあり, 一次予選は9チーム, 二次予選は8チームが通過

表1 世界コンピュータ将棋選手権
二次予選の結果

◎二次予選

変形スイス式トーナメント9回戦. 持ち時間10分・加算時間10秒. 上位8チームが決勝へ

プログラム名	1	2	3	4	5	6	7	8	9	勝負分	SOLC	SB	MD	順位		
1 Bonanza	24○	12○	2○	18○	18×	17○	20○	23○	16○	8	1	0	48.5	30.5	20.0	2
2 NineDayFever	23△	11○	1×	9○	19○	4○	16×	5○	17○	6	2	1	50.0	28.0	19.5	3
3 AWAKE	22○	10○	16×	4×	5×	13○	8×	7×	11○	4	5	0	41.5	13.0	6.5	14
4 Apery	21○	8×	10○	3○	23△	2×	22○	17○	18×	5	3	1	48.0	21.5	12.5	6
5 GPS将棋	20×	8○	7×	14○	3○	18×	19○	2×	17×	4	5	0	39.5	13.0	7.0	15
6 YSS	19×	7×	8○	2×	10○	24○	3○	20○	1×	5	4	0	44.0	19.5	12.0	10
7 激指	18×	6○	5○	9○	17×	20×	12○	3○	2×	5	4	0	44.5	23.0	13.0	9
8 ひまわり	17×	5×	6×	13○	14○	19×	24×	15○	12×	3	6	0	31.0	4.0	1.0	20
9 大将軍	16×	4○	22○	7×	19○	12○	18×	21○	23○	6	3	0	47.5	27.5	18.0	5
10 ののは	15○	3×	4×	21×	6×	11△	14○	24○	13○	4	4	1	29.0	8.0	3.0	12
11 柿木将棋	14×	2×	13○	20×	24×	10△	15○	18×	3×	2	6	1	32.0	3.0	0.0	21
12 おから饅頭	13○	1×	14○	23×	21○	9×	7×	22×	8○	4	5	0	38.0	10.0	5.0	17
13 雲のあ行棋	12×	24×	11×	8×	15○	3×	21×	14○	10×	2	7	0	28.0	2.0	0.0	22
14 芝浦将棋 Jr.	11○	23×	12×	5×	8×	15×	10×	13×	21×	1	8	0	30.0	2.5	0.0	23
15 無明?	10×	22×	21×	19×	13×	14○	11×	9×	24×	1	8	0	30.0	1.0	0.0	24
16 技巧	9○	21○	3○	17○	1○	23○	2○	18○	4○	9	0	0	50.0	50.0	38.0	1
17 読み太	8○	20○	19○	16×	7○	1×	23×	4×	5○	5	4	0	48.5	21.0	13.0	8
18 大合神クワちゃん	7○	19○	20○	1×	2×	5○	9○	16×	22○	6	3	0	51.5	28.0	18.0	4
19 たぬきのもり	6○	18×	17×	15○	9×	8○	5×	11○	20○	5	4	0	38.5	15.5	9.5	11
20 Qhapaq	5○	17×	18×	11○	22○	7○	1×	6×	19×	4	5	0	44.5	15.5	8.0	13
21 名人コブラ	4×	16×	15○	10○	12×	22×	13○	9×	14○	4	5	0	37.0	8.5	3.0	18
22 たこっと	3×	15○	9×	24○	20×	21○	4×	12○	18×	4	5	0	38.5	13.0	8.0	16
23 ぶひよん2	2△	14○	24○	12○	4△	16×	17○	1×	9×	4	3	2	48.0	14.0	8.0	7
24 智鞋	1×	13○	23×	22×	11○	6×	8○	10×	15○	4	5	0	35.0	8.5	4.5	19

で17位以下だったチームが出場し, 二次予選には一次予選を突破したチームと去年の二次予選で16位以上だったチームが出場する. パソコンは出場チームが各自で持ち込む.

第26回世界コンピュータ将棋選手権の出場チームは51チーム. プログラム名は「読み太」で, ノートパソコンで出場し, 一次予選は36チーム中2位, 二次予選は24チーム中8位, 決勝リーグは8チーム中6位となった. 二次予選, 決勝のリーグ表を表1, 表2に示す[1].

表2 世界コンピュータ将棋選手権 決勝の結果
◎決勝(総当たり7回戦. 持ち時間10分・加算時間10秒)

プログラム名	1	2	3	4	5	6	7	勝負分	SB	MD	順位		
1 技巧	5○	6○	7○	8○	3○	4○	2×	6	1	0	15.0	10.0	2
2 Bonanza	8○	7○	6○	4○	5○	8○	1○	7	0	0	21.0	15.0	1
3 NineDayFever	7○	5×	8○	6×	1×	2×	4×	2	5	0	1.0	0.0	5
4 大合神クワちゃん	6×	8○	5×	2×	7○	1×	3○	3	4	0	3.0	1.0	-
5 大将軍	1×	3○	4○	7○	2×	8○	6○	5	2	0	10.0	6.0	3
6 Apery	4○	1×	2×	3○	8○	7○	5×	4	3	0	6.0	3.0	4
7 ぶひよん2	3×	2×	1×	5×	4×	6×	8×	0	7	0	0.0	0.0	7
8 読み太	2×	4×	3×	1×	6×	5×	7○	1	6	0	0.0	0.0	6

他のチームのパソコンのスペックの差がある状況で上位に食い込めはしたが, 6位という結果は細かいチューニングの差や, この時点ではまだ機械学習を行っていなかったことが原因であり, 上位チームとの差を感じる結果となった.

2.2 第4回将棋電王トーナメント 2016年10月8日~10日にかけて行われた. 予選リーグと決勝トーナメントがあり, 予選リーグは持ち時間10分の秒読み10秒, 決勝トーナメントは持ち時間2時間切れ負けで行われる.

出場チームはすべて予選リーグから参加し, 上位12チームが通過する. 出場チームは35チーム. プログラム名は「読み太」で出場し, 予選リーグは3位, 決勝トーナメントは4位となった. 予選リーグ表, 決勝トーナメント表を表3, 表4に示す[2].

本大会で驚いたのは, 第26回世界コンピュータ将棋選手権2位の「技巧」が予選リーグで敗退したことだった.

予選リーグ3位, 決勝トーナメント4位という結果

*1 生産電子情報システム技術科学生

*2 生産電子情報システム技術科

(現 北陸職業能力開発大学校 生産電子情報システム技術科)

表3 電王トーナメント 予選リーグ結果

順位	ソフト名	1回戦	2回戦	3回戦	4回戦	5回戦	6回戦	7回戦	8回戦	勝	分	負		
1	Ponanza	読み太	浮か七瀬	大村軍	たごつと	技巧	1白美神†	nozomi	真やねうら王	8	0	0		
2	浮か七瀬	scienze	Ponanza	Selece	大村軍	真やねうら王	技巧	たごつと	1白美神†	7	0	1		
3	読み太	Ponanza	○	メカ女子特選	ツツカナ	Selece	○	名人コブラ	○	6	0	2		
4	たごつと	Noxex	○	shog05	Qhapaq	Ponanza	○	智恵	nozomi	浮か七瀬	うさびよん2	5	0	3
5	真やねうら王	三浦将棋士	○	技巧	1白美神†	なのは	浮か七瀬	セルシウス	○	智恵	Ponanza	5	0	3
6	大村軍	nozomi	○	HoneyKiller	Ponanza	浮か七瀬	なのは	shog05	セルシウス	○	技巧	5	0	3
7	1白美神†	にこみ将棋	セルシウス	真やねうら王	きのあ将棋	Qhapaq	Ponanza	○	技巧	○	○	5	0	3
8	Selece	Qhapaq	○	おから顔面	浮か七瀬	Labyrinth+β	shog05	読み太	三浦将棋士	○	なのは	5	0	3
9	nozomi	大村軍	○	さふらわべ	Noxex	scienze	三浦将棋士	たごつと	読み太	○	○	5	0	3
10	Qhapaq	Selece	Labyrinth+β	たごつと	shog05	1白美神†	なのは	うさびよん2	○	名人コブラ	○	5	0	3
11	智恵	真駒UMA	メカ女子特選	なのは	技巧	たごつと	ツツカナ	真やねうら王	○	CDP	○	5	0	3
12	うさびよん2	技巧	SilverKiller	さふらわべ	カツ将棋士	おから顔面	三浦将棋士	Qhapaq	○	たごつと	○	5	0	3
13	おから顔面	名人コブラ	Selece	○	にこみ将棋	うさびよん2	Raymont	真駒UMA	SilverKiller	○	○	5	0	3
14	ツツカナ	Sepent	○	カブ将棋士	○	読み太	セルシウス	○	智恵	なのは	きのあ将棋	4	1	3
15	セルシウス	○	CDP	1白美神†	Labyrinth+β	名人コブラ	ツツカナ	真やねうら王	○	大村軍	三浦将棋士	4	1	3
16	技巧	うさびよん2	真やねうら王	ツツカナ	○	智恵	Ponanza	浮か七瀬	○	1白美神†	大村軍	4	0	4

表4 電王トーナメント 決勝トーナメント結果



は、組み合わせの運も大いにあったが、5月のコンピュータ将棋選手権から評価関数の機械学習を行ったことで大幅に強くなったのが要因だと思う。

3. 将棋プログラムの強さを決める2大要素

将棋プログラムは主に「探索部」と「評価関数」で構成され、この二つをいかに高速に、効果的に作るかによって将棋プログラムの強さが決まる。

- ・ **評価関数** 局面の評価値を求める役割を持つ。評価値とは、局面が先手側から見てどれくらい勝ちやすいかを点数化したものである。評価値は局面に置かれている駒の位置・数などだけから算出した値であり、先読みは行っていないものとする。

- ・ **探索部** 先読みを行う役割を持つ。

3.1 探索の必要性 将棋はゲーム木で表すことができる。例を図1に示す。局面はノードと呼ばれ、特に一番上のノードはルートノードと呼ばれる。

ゲーム木から最善の手順を選択するためには先読みを行う必要があるが、評価関数は先読みを行わないの

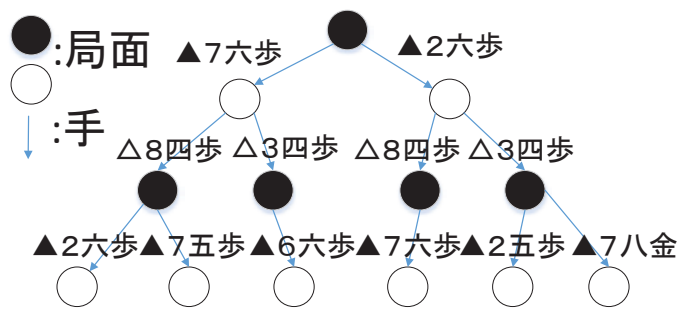


図1 ゲーム木の例

で正確な局面評価を行うことはできない。探索部は先読みを実現するものである。

基本的な探索アルゴリズムとしてミニマックス法があり、探索部と評価関数にどのような関係があるかがよくわかると思うので紹介する。

3.2 ミニマックス法 ゲーム木をしらみつぶしに調べる、最も基本的な探索アルゴリズムである。例を図2に示す。

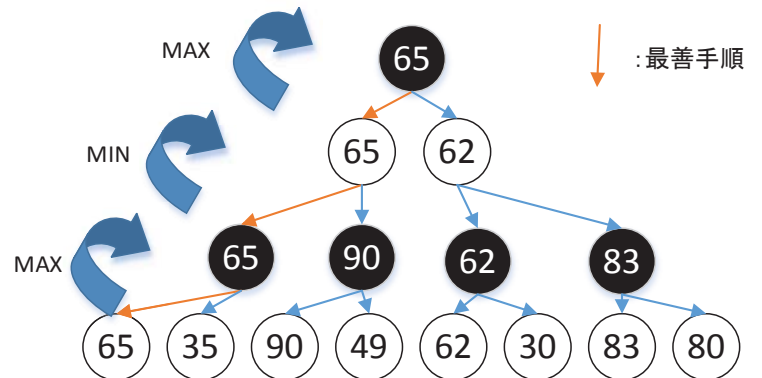


図2 ミニマックス法の例

ルートノードから着手によってノードを展開し、末端ノードで評価関数を呼び出し、後手番であれば最小の評価値を、先手番であれば最大の評価値を選ぶようにルートノード方向に伝播することで最善手順を得ることができる。

4. 評価関数

4.1 評価値の求め方 局面に現れている特徴の値に重みをかけたものの線形和を評価値としているプログラムが多い。局面に現れている特徴を f 、重みを w としたときの評価値 e は

$$e = \sum_i^N w_i f_i \quad (1)$$

と表せる。

4.2 特徴選択 2006年に世界コンピュータ将棋選手権で優勝した Bonanza が採用していた三駒関係と呼ばれる特徴が少し前まで主流であった。三駒関係とは玉を含む三駒の位置関係すべてを特徴とするもので、King Piece Piece (KPP) と呼ばれている。三駒関係の例を図3に示す。図3は、「8八玉, 9九香, 6九金, 6七銀」という4つの駒配置は、「8八玉, 9九香, 6九金」「8八玉, 6七銀, 6九金」「8八玉, 9九香, 6七銀」という三つの特徴で構成されていることを表しており、これを40枚の駒配置に拡張したものがKPPである。この特徴に重みを掛けることで評価値を求めることができる。

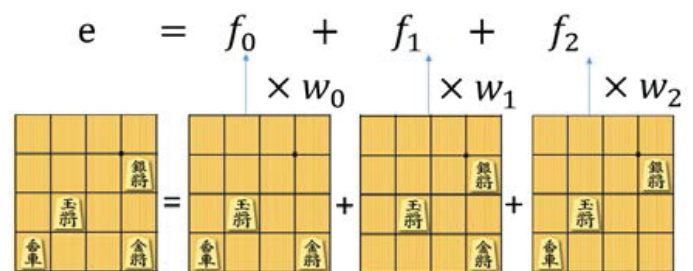


図3 三駒関係の例と評価値の計算方法の例

最近ではこの特徴にさらに現局面の手番(Turn)を含めた「KPPT」が有効なことがわかっており、読み太はこの「KPPT」を採用している。また、KPPTでない特

徴を用いている強豪ソフトも多く、例えば第4回電王トーナメント1位の「Ponanza」は「KKPT(King King Piece Turn)」と呼ばれる特徴、第26回世界コンピュータ将棋選手権2位の「技巧」は「KPE(Effect:駒の利き)」と呼ばれる特徴、第1回電王トーナメント2位の「ツツカナ」は「PP(Piece Piece)」と呼ばれる特徴を用いており、どの特徴を用いるのが良いかについてはさまざまな議論がある。

4.3 重みの決定方法 三駒関係やその派生の特徴が出現する以前は、人間が特徴に対する重み(図3の w_0, w_1, w_2)を決定していたが、Bonanzaの出現以降、三駒関係が主流となってからは特徴量が膨大(三駒関係の特徴数は約4億個)になり、手調整が難しくなった。初めて3駒関係を採用したBonanzaは「ボナンザメソッド」と呼ばれる機械学習法を用いて重みの自動調整を行っていたが、現在ではボナンザメソッドではなく、「NineDayFever」というプログラムで初めて採用された「雑巾絞りメソッド」と呼ばれる機械学習が大流行している。また、機械学習時の教師データの少なさを補うための「次元下げ」という技術も生まれた。

4.4 ボナンザメソッド 教師つき学習に分類され、プロ棋士やアマチュア強豪の棋譜からの学習を行う。Bonanzaが用いたことで有名になった。この機械学習方法の特徴は「指し手」をベースとしていることである。教師の指し手で進めた局面に現れる特徴の重みを増やし、棋譜以外の指し手で進めた局面に現れる特徴の重みを減らすことで、教師と同じ手を選択できるようにする。このように機械学習を用いて評価関数を学習させることは当時としては画期的であり、2006年以降ほとんどの将棋プログラムはボナンザメソッドにより評価関数のパラメータ調整を行うようになった。しかし、三駒関係の特徴量に対して、プロ棋士、アマチュア強豪の棋譜だけでは教師の数が少なすぎるという問題点があり、次元下げや雑巾絞りメソッドが出現するまでこの問題点はさほど重要視されていなかった。また誤解されやすいが、棋譜データは評価関数の重みを調整するためだけに使われるのであり、プログラムは実際の対局中に棋譜データを参照して指し手を決めているわけではない。

4.5 次元下げ 教師棋譜の少なさを補う技術である。NineDayFeverが初めて採用した。ボナンザメソッドでは局面に現れている3駒の位置関係から学習を行っているが、この位置関係を盤上で上下反転、左右反転させたり、盤上のどこかに平行移動させて教師に加えてしまうような処理のことを言う。例を図4に示す。

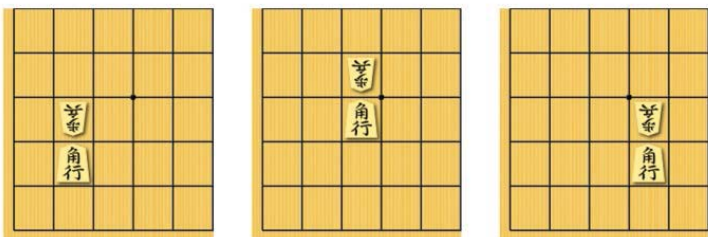


図4 角-歩の次元下げの例

図4では8八角に対する8七歩という位置関係は、7七角に対する7六歩や6八角に対する6七歩といった

ように、角が盤面上のどこにいても有効な位置関係であることを示している。なので、これらすべての位置関係を学習対象に含めることで学習の効果を上げることができる。この技術は現在でも使われているが、過度にやるとプログラムが非常に煩雑になり、特徴を新たに追加するときに苦勞することが問題点としてあげられる。

4.6 雑巾絞りメソッド 強化学習に分類され、「評価値」をベースとして学習を行う。NineDayFeverが用いたことで有名となり[3]、現在の主流の機械学習法となっている。教師データは局面と評価値であり、教師局面に対して、現在の評価関数の出力値と教師の評価値の誤差を取り、勾配降下法により重みを調整する。こうすることで浅い探索でも教師と同じ評価値が求められるようになり、ボナンザメソッドと比べて教師から学習できる情報量がより多くなった。この手法の大きな特徴は、「自分自身が深く探索した結果を教師として利用することができる」という点で、現在の評価関数で深く探索させて教師を作り、その教師を用いて雑巾絞りメソッドで学習させ、さらにその評価関数を用いて教師を作るというフィードバックループを回すことができる。これにより、教師棋譜の数を格段に増やすことが可能となった。

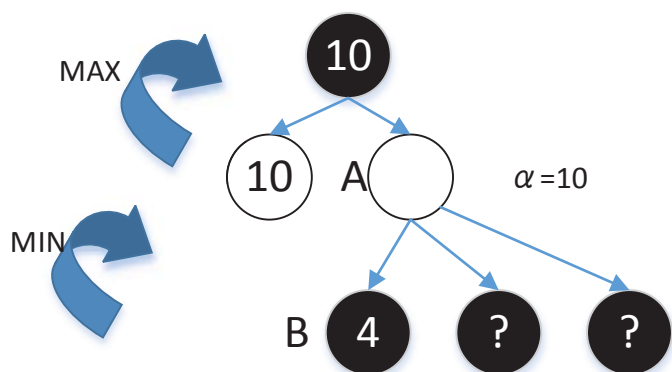
「雑巾絞り」という名前の由来は、このフィードバックループを何回も回すにつれて強くなる幅がどんどん狭くなっていく様子を表したものである。重みのついていない特徴を減らすためには、特定の戦型に偏らないように教師棋譜を生成する処理が必要である。

5. 探索部

ミニマックス法は理論的にはゲーム木を完全に読み解くことができるアルゴリズムだが、深く読むにつれて評価しなければならぬノード数が膨大になるので、深さに制限を設けなければならない。この制限された深さのことを探索深さといい、局面の平均分岐数を b 、探索深さを d とすると、評価しなければならないノード数は b^d である。局面の平均分岐数は将棋では80手と言われているので、例えば探索深さ6で探索結果を得ようとした場合、 $80^6 \approx 2600$ 億ノードを評価しなければならない。これでは計算量があまりにも多く、実用的ではない。

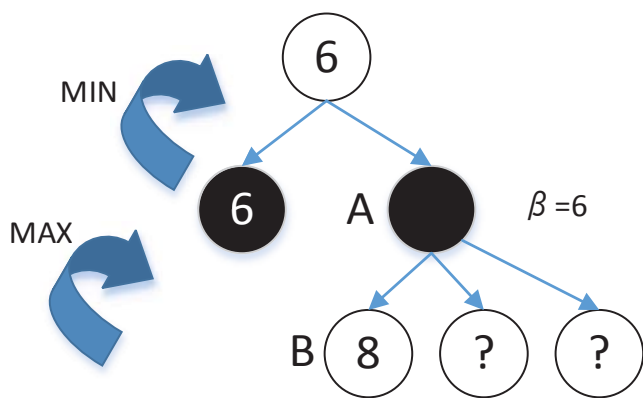
ミニマックス法には計算しなくてもよいノードが存在し、そのようなノードの計算を省いたものが $\alpha\beta$ 法である。

5.1 $\alpha\beta$ 法 あるノードAにおいて α 値、または β 値という境界値(window)を決め、 α 値、 β 値の範囲内にはないノードBが現れた時点でAの探索を打ち切ることができ、それぞれ α カット、 β カットという。 α カット、 β カットの例を図5、図6に示す。



Bが4だとわかった時点でAは4以下であることが確定し、10を上回らないことがわかるので、これ以上探索する必要がない

図5 α カットの例



Bが8だとわかった時点でAは8以上であることが確定し、6を下回らないことがわかるので、これ以上探索する必要がない。

図6 β カットの例

探索を途中で打ち切ることを枝刈りという。このように探索結果に全く影響しない枝刈りを「後ろ向き枝刈り」といい、探索結果に影響を与えるが、ある程度の見積もりで枝刈りしてしまうことを「前向き枝刈り」という。ミニマックス法で訪れるノード数は b^d であったが、 $\alpha\beta$ 法でもっとも条件の良い場合は $b^{\frac{d}{2}} + b^{\frac{d}{2}} - 1$ であり[4]、ミニマックスと比較して同じ時間で2倍の探索深さまで探索することができる。もっとも条件の良い場合とは、評価値の良い順にノードが並んでいた場合、つまり良い手の順に探索した場合である。なの

で、良いと思われる順番に指し手を並び替える「オーダーリング」も $\alpha\beta$ 法では重要な技術である。

5.2 stockfish 現在も開発が行われているオープンソースのチェスプログラムである。アメリカの4人チームがメインで開発を行っており、約500人のフリーユーザが少なくとも一回はコード変更にかかわっている。fishtestというテストのフレームワークが用意されており、加えた変更によって統計的に有意に強くなっているかどうかをfishtestによって知ることができる。このような枠組みの中で開発されてきたstockfishのソースは非常に洗練されており、特に探索部が優秀であるといわれている。将棋においてもstockfishの探索部は参考にすべきと考える開発者が多く、「読み太」も大いに参考にしている。

6. 結言

コンピュータ将棋で用いられている技術を紹介した。これらの技術はほんの一部でしかなく、コンピュータ将棋を強くするには自分で新しい手法を見つけていかなければならない。

最後に、コンピュータ将棋を作らなければ機械学習を学ぶこともなく、プログラミング技術も向上しなかったと思う。コンピュータ将棋を作ることで、大きく成長することができた。今後は、どのような特徴を用いればより良い評価が行えるようになるかを実験していきたい。

なお、第27回世界コンピュータ将棋選手権が2017年5月3日～5日にかけて行われ、「読み太」は二次予選24チーム中4位、決勝リーグ8チーム中6位となった。2年連続優勝の「ponanza」が2位となる波乱があり、初参加の「elmo」が優勝するなど日々進歩している。

文献

- [1] <http://www2.computer-shogi.org/wcsc26/> 参照：2017.1.10
- [2] <http://denou.jp/tournament2016/> 参照：2017.1.10
- [3] <http://www2.computer-shogi.org/wcsc23/appeal/NineDayFever/NineDayFever.txt> 参照：2017.1.10
- [4] 池泰弘：“コンピュータ将棋のアルゴリズム C++対応” pp.76-83

(2017年08月04日提出)