

コンピュータ囲碁フォーラム会誌

CGF ジャーナル



第 10 号 増刊号

CGF Journal Vol.10 増刊号（2015年5月～2020年12月）目次

人工知能学会誌から転載

- 2015年 9月 UEC杯コンピュータ囲碁大会と電聖戦2015, 伊藤毅志, pp.671-677
プロ棋士が見た第8回UEC 杯コンピュータ囲碁
ー次なるブレイクスルーは何か？ー, 大橋拓文, pp.678-681
解説者から見た第3回電聖戦, 吉原由香里, pp.682-685
- 2016年 5月 AlphaGoの技術と対戦, 伊藤毅志, 松原仁, pp.441-443
- 2016年 9月 小特集「コンピュータ囲碁の新展開」にあたって, 伊藤毅志, pp.718
UEC杯コンピュータ囲碁大会と電聖戦2016, 伊藤毅志, pp.719-725
自戦記 ー第9回UEC杯と第4回電聖戦ー, 加藤英樹, pp.726-730
プロ棋士から見たUEC杯と電聖戦, 酒井猛, pp.731-736
- 2016年11月 公開イベント「コンピュータ囲碁はどこまで人間に迫れるか」, 松原仁, pp.869
- 2017年 3月 "Master"の衝撃, 大橋拓文, 伊藤毅志, pp.160-163
- 2017年 9月 特集「人間を超えるコンピュータ囲碁」にあたって, 伊藤毅志, pp.748
第10回UEC杯コンピュータ囲碁大会, 第5回電聖戦 ー10年を振り返ってー,
伊藤毅志, pp.749-755
Zenの技術と自戦記 ー2017年UEC杯と電聖戦, ワールド碁チャンピオンシップ
加藤英樹, pp.756-764
Raynの技術と自戦記 ーUEC杯3位への歩みー, 小林祐樹, 松崎憲介, pp.765-768
第10回UEC杯観戦記 ー人間とAIの共存の可能性を探るー, 大橋拓文, pp.769-772
第5回電聖戦でコンピュータと対戦して, 一力遼, pp.773-775
ワールド碁チャンピオンシップ観戦記, 王銘エン, pp.776-779
Future of Go Summit報告, 小林千寿, pp.780-782

情報処理学会誌から転載

- 2016年 4月 ディープラーニングを用いたコンピュータ囲碁,
伊藤毅志, 村松正和, pp.335-337
- 2016年 6月 速報 AlphaGoの勝利, 松原仁, pp.502-503
- 2017年 3月 Masterの登場, 松原仁, pp.172-173
- 2017年 8月 AlphaGoの置き土産, 松原仁, pp.668-669
- 2019年 9月 人間×AI 人を超えた先にあるもの, 大橋拓文, pp.818-819

日本ロボット学会誌から転載

- 2017年 4月 コンピュータ囲碁の進歩, 松原仁, pp.191-194

編集後記

※表紙の写真は2019年12月のAWS ロフトで行われた第11回 UEC 杯より

小特集 「コンピュータ囲碁の最前線」

UEC 杯コンピュータ囲碁大会と電聖戦 2015

The UEC-Cup Computer Go Tournament and the Densei-sen in 2015

伊藤 毅志
Takeshi Ito

電気通信大学
The University of Electro-Communications.
ito@cs.uec.ac.jp, <http://minerva.cs.uec.ac.jp/~itolab-web/wiki.cgi>

Keywords: computer go, competition, human vs. computer.

1. UEC 杯コンピュータ囲碁大会

チェスをはじめとするさまざまな二人完全情報確定ゼロ和ゲームの中でも囲碁は、合法手の数が非常に多いばかりではなく、局面の評価関数を表現することが極めて困難であったため、従来のゲーム木探索の手法では強いコンピュータプログラムをつくることができず、21世紀に入っても長い低迷期を抜けられずにいた。2006年頃に現れたモンテカルロアプローチが一つの大きなブレークスルーをもたらして、それまでの遅れを取り戻すかの勢いで、コンピュータ囲碁はここ10年ほど急速な発展を遂げてきた。

UEC 杯コンピュータ囲碁大会は、このモンテカルロアプローチが登場した2007年に第1回の大会が行われ、その後、ほぼ毎年開催されている。すなわち、UEC 杯の歴史がそのままモンテカルロアプローチによる進歩と重なる [伊藤 14]。

2007年から今年の大会までの優勝プログラムと参加プログラムの推移を表にしたものが表1である。モンテカルロアプローチの手法をコンピュータ囲碁界に導入し、革命をもたらした Rémi Coulom 氏の Crazy Stone が第1回で優勝し、その後も本大会を牽引している。

2009～11年に Crazy Stone の参加しない期間があっ

たが、その間に現れた Zen が、Crazy Stone を猛追するレベルになり、2011年以降は、この2強の時代となり、交互に優勝している。Zen は、メインプログラムの尾島陽児氏と並列分散計算の加藤英樹氏がタッグを組んだチーム Deep Zen によるプログラムである。

この2強を追いかける存在としては、山下宏氏の Aya、カナダの Martin Müller 氏による MP-Fuego、北陸先端大学院大学の池田研究室の Nomitan、ネット棋戦では好成績を収めている韓国の Lim Jeabum 氏の DolBaram などもあり、2015年の UEC 杯は目の離せない大会になった。

UEC 杯は、2日間の日程で開催される。1日目は全チームによる変形スイス方式で行われる予選で、2日目の決勝に進出する上位16チームを決めると同時に、決勝トーナメントの山の位置を争う。予選上位になるほど、トーナメントでは有利な位置からスタートできる仕組みになっている [UEC 杯]。

2014年は、2007年に開催して以来はじめて、参加プログラム数が16チームに落ち込んだが、今年は、22チーム（うち1チームは招待参加）と、参加者数の回復が見られた。

囲碁は、将棋に比べると明らかにプレイヤー人口が少なく、大学でも将棋のルールは知っているが、囲碁のルールは知らないという学生が多く、コンピュータ囲碁のプ

表1 UEC 杯コンピュータ囲碁大会の歴史

回	開催日	参加数	優勝	準優勝	第3位	エキシビション	ハンデ	COM
1	2007年12月1, 2日	28	Crazy Stone	勝也	MoGo	佐川 央 (5d) vs. Crazy Stone	互先	Lose
2	2008年12月13, 14日	29	Crazy Stone	不動碁	Many Faces of Go	青葉かおり (4p) vs. Crazy Stone	7子	Win
3	2009年11月28, 29日	32	KCC 囲碁	勝也	Zen	青葉かおり (4p) vs. Zen	6子	Lose
						鄭 銘理 (9p) vs. KCC 囲碁	6子	Lose
4	2010年11月27, 28日	28	Fuego	Zen	Erica	青葉かおり (4p) vs. Zen	6子	Win
						鄭 銘理 (9p) vs. Fuego	6子	Lose
5	2011年12月3, 4日	24	Zen	Erica	Aya	小林千寿 (5p) vs. Erica	6子	Lose
						鄭 銘理 (9p) vs. Zen	6子	Win
6	2013年3月16, 17日	22	Crazy Stone	Zen	Aya	多賀文吾 (アマトップ) vs. Crazy Stone	互先	Lose
7	2014年3月15, 16日	16	Zen	Crazy Stone	Aya	田中義国 (6d) vs. Zen	互先	Win
8	2015年3月14, 15日	22	Crazy Stone	DolBaram	Aya	榊原昌人 (7d) vs. Crazy Stone	互先	Lose

プログラムの開発のハードル自体が高いという点がある。しかし、モンテカルロ木探索の登場により、囲碁の棋力がコンピュータ囲碁の開発能力に与える影響はかなり低くなっている。コンピュータ囲碁の仕組みを多くの人に知っていただき、開発者が増えることがこの分野の発展につながると考えている。本年は、電気通信大学で「コンピュータ囲碁の講習会」を企画しており、大会の発展に寄与していきたいと考えている [講習会]。

予選の結果は、表2のとおりである。Crazy StoneとZenが安定した強さを見せ、6回戦で全勝対戦となり、Crazy StoneがZenに勝利して、予選を全勝の1位で通過した。3位に初出場のDolBaram、4位にAyaが入り、

下馬評どおりの好成績で決勝に進出した。

5位、6位のMC_ark, Rayは、電気通信大学の大学院生、荒木伸夫氏、小林祐樹氏のプログラムで学生開発のプログラムとしては健闘している。7位のMP-Fuegoは、カナダのMartin Müller氏がメインプログラムの開発チームによるもので、優勝経験もある有力プログラムの一つである。初出場で8位に入ったGoTrendは、Trend Micro社が出資した台湾のチームで、コンピュータゲームの開発で有名なShi-Jim Yen氏が中心の開発チームである。プロ棋士の王銘琬九段がアドバイザーとして加入したことで話題になった。銘琬九段は、実質今年のプログラムの開発にはほとんど関わっていないそうだが、来年

表2 第8回 UEC 杯初日(予選)の結果

プログラム名	1回戦	2回戦	3回戦	4回戦	5回戦	6回戦	7回戦	勝敗分	ソル	順位
Crazy Stone	GoTr	Ray	DolB	GNUG	MP-f	Zen	Nomi	7-0-0	32	1
	○	先○	○	○	○	先○	先○			
Zen	MC_a	迷い	叶音	MP-f	Aya	Craz	Cold	6-1-0	29	2
	先○	○	先○	○	先○	×	○			
DolBaram	care	Igop	Craz	Aya	stor	MP-f	Ray	6-1-0	27	3
	先○	○	先×	○	先○	先○	先○			
Aya	勝也	Nomi	stor	DolB	Zen	Cold	GoTr	5-2-0	30	4
	先○	○	○	先×	×	○	先○			
MC_ark	Zen	GoTr	Nomi	ball	HI 囲	Ray	RunG	5-2-0	27	5
	×	先○	先○	○	先○	×	先○			
Ray	迷い	Craz	GNUG	HI 囲	叶音	MC_a	DolB	5-2-0	27	6
	先○	×	先○	○	先○	先○	×			
MP-Fuego	Qino	RunG	Cold	Zen	Craz	DolB	GNUG	4-3-0	31	7
	先○	○	○	先×	先×	×	先○			
GoTrend	Craz	MC_a	care	RunG	勝也	HI 囲	Aya	4-3-0	28	8
	×	×	先○	○	先○	先○	×			
Coldmilk	RunG	Qino	MP-f	stor	GNUG	Aya	Zen	4-3-0	26	9
	先○	○	先×	○	○	先×	先×			
Nomitan	HI 囲	Aya	MC_a	叶音	迷い	stor	Craz	4-3-0	26	10
	先○	先×	×	○	○	先○	×			
GNU Go *1	Igop	care	Ray	Craz	Cold	迷い	MP-f	3-4-0	26	11
	先○	○	×	先×	先×	○	×			
RunGo	Cold	MP-f	Qino	GoTr	ball	care	MC_a	3-4-0	25	12
	×	先×	○	先×	先○	○	×			
storm	ball	ILIS	Aya	Cold	DolB	Nomi	Qino	3-4-0	25	13
	○	先○	先×	先×	×	×	○			
迷い子	Ray	Zen	ILIS	Igop	Nomi	GNUG	叶音	3-4-0	20	14
	×	先×	○	先○	先×	先×	先○			
caren	DolB	GNUG	GoTr	ILIS	Qino	RunG	Igop	3-4-0	19	15
	×	先×	×	○	先○	先×	○			
勝也	Aya	HI 囲	ball	Qino	GoTr	叶音	ILIS	3-4-0	18	16
	×	×	先○	先×	×	先○	○			
ballade	stor	叶音	勝也	MC_a	RunG	Igop	HI 囲	3-4-0	17	17
	先×	○	×	先×	×	先○	○			
HI 囲碁	Nomi	勝也	Igop	Ray	MC_a	GoTr	ball	2-5-0	24	18
	×	先○	先○	先×	×	×	先×			
Qino Igo	MP-f	Cold	RunG	勝也	care	ILIS	stor	2-5-0	21	19
	×	先×	先×	○	×	先○	先×			
叶音	ILIS	ball	Zen	Nomi	Ray	勝也	迷い	1-6-0	25	20
	先○	先×	×	先×	×	×	×			
ILISA	叶音	storm	迷い	care	Igop	Qino	勝也	1-6-0	15	21
	×	×	先×	先×	○	×	先×			
Igoppy	GNUG	DolB	HI 囲	迷い	ILIS	ball	care	0-7-0	21	22
	×	先×	×	×	先×	×	先×			

* 1 は招待参加のため決勝には進出しない。

以降は、プロ棋士の視点から、改良のアイデアを積極的に提案していくとのことで、銘腕九段がコンピュータ囲碁に造詣が深いだけに、今後の展開から目が離せない。このプログラムの開発自体は実質数か月とのことであるが、初出場での順位はさすがである。

決勝は、図1のように予選の順位に応じてトーナメントの山に割り振られる。決勝トーナメントでは、1回戦でMP-Fuegoに勝利したNomitanが、準々決勝でZenと対戦し、Zenを破る活躍を魅せた。Nomitanは、北陸先端科学技術大学院大学の池田 心氏とSimon

Viennot氏が中心に開発しているプログラムで、実力は認められているものの、トッププログラムとは若干のレベル差があるといわれていただけに、大きな波乱となった。DolBaramは、ネット棋戦での好調そのままに、Nomitanにも勝利し、決勝に進出した。もう一方の山では、もう一つの優勝候補 Crazy Stoneが順調に勝ち上がり、準決勝でAyaにも勝利し、貫禄で決勝に進出した。決勝戦は、予選でも顔を合わせた Crazy StoneとDolBaramの対戦となったが、Crazy Stoneが危なげない強さを見せて、2年ぶり4回目の優勝を果たした。

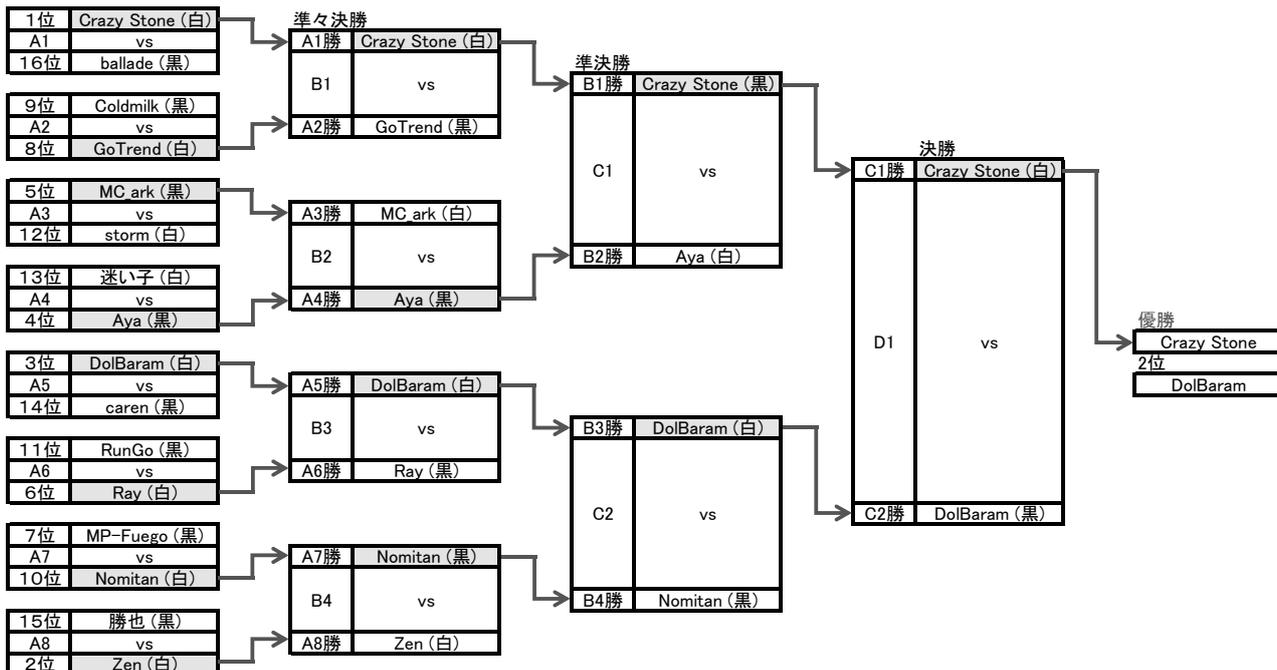


図1 第8回UEC杯2日目(決勝)メイントーナメント

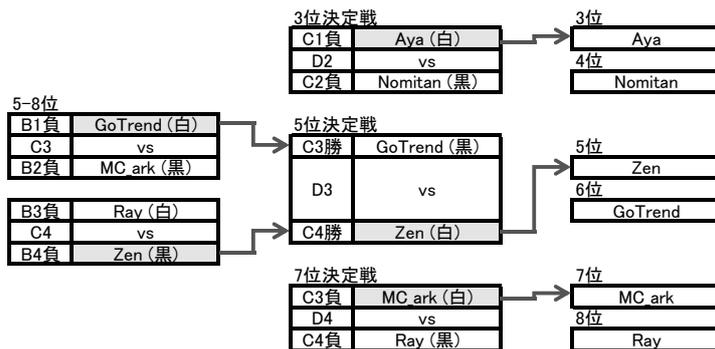


図2 第8回UEC杯2日目3位～8位決定戦

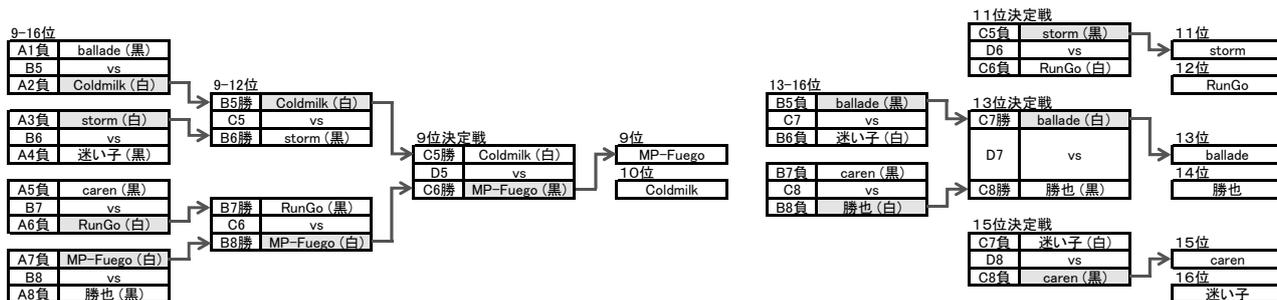


図3 第8回UEC杯2日目9位～16位決定戦

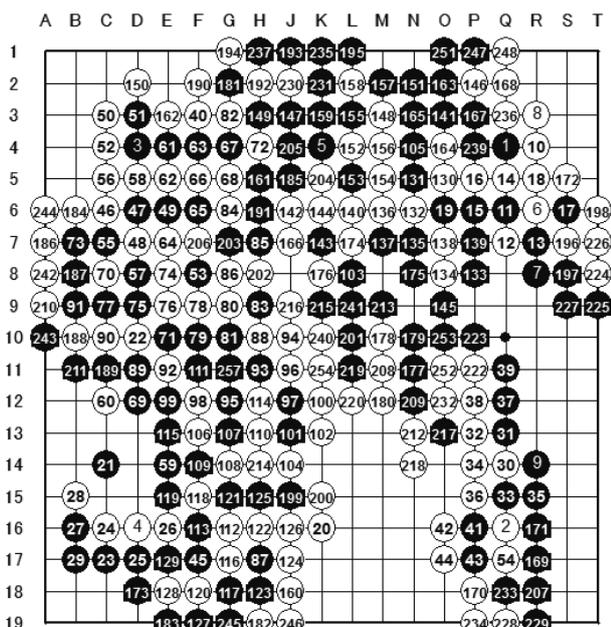
決勝トーナメントでは、メイントーナメントで敗れても、順位決定戦に回り、1位から16位まで順位を決めるべく対戦が続く。3位以降のトーナメントは、図2、図3のとおりである。NomitanとGoTrendの活躍が目立った。

詳細な棋譜の解説は、大橋拓文先生の解説記事に譲るが、ここでは、注目局の総譜だけ列挙しておく。予選の注目局としては、Crazy Stoneと対戦したDolBaram戦(図4)とZen戦(図5)、DolBaramと対戦したAya戦

(図6)をあけておく。

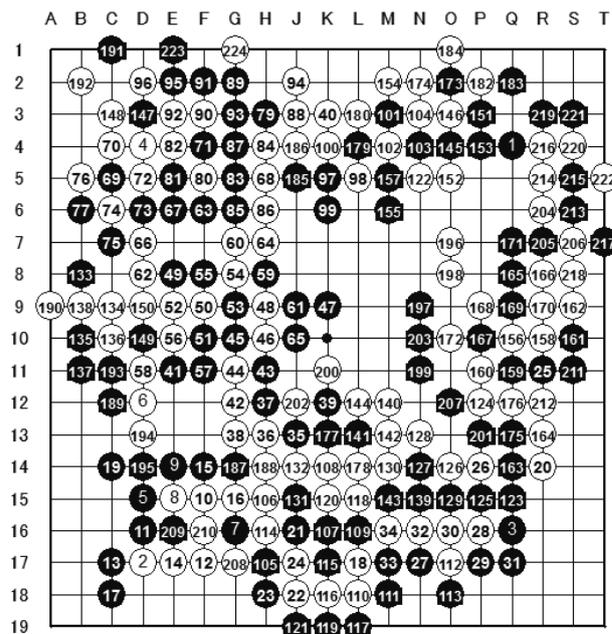
決勝トーナメントの注目局は、2回戦でNomitanがZenに勝った総譜(図7)と、決勝戦でCrazy StoneにDolBaramが挑んだ総譜(図8)を紹介しておく。棋譜の詳細の解説は、大橋先生の解説記事を読んでいただきたい。

UEC杯では、少なくとも開発者の一人が現地に来ることが義務付けられている。対戦が始まると、プログラ



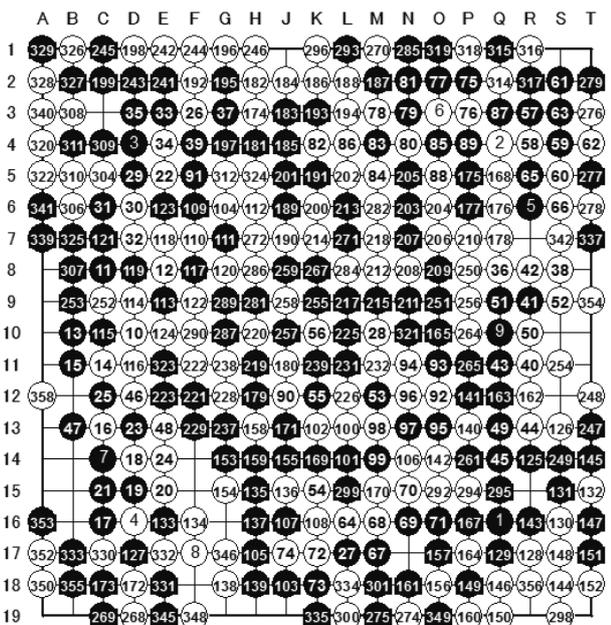
221(F15) 238(G4) 249(G2) 250(H2) 255(J2) 256(G2)

図4 予選3回戦DolBaram(黒)対Crazy Stone(白)
白Crazy Stoneの4.5目勝ち



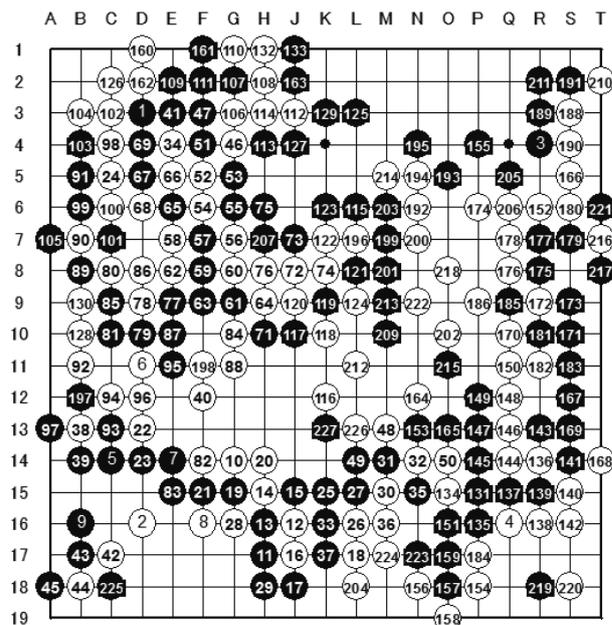
78(C5) 181(M4)

図6 予選4回戦Aya(黒)対DolBaram(白)
白中押し勝ち



166(P18) 216(M4) 224(C13) 227(D13) 230(C13) 233(D13) 234(P3) 235(C13) 236(O3)
240(H13) 260(K10) 262(O13) 263(J10) 266(K10) 273(J10) 280(T15) 283(T16)
288(H11) 291(J9) 297(M1) 302(T17) 303(T15) 305(T15) 313(C4) 336(B1) 338(N5)
343(E4) 344(D16) 347(D18) 351(N19) 357(H12) 359(H13) 360(P4)

図5 予選6回戦Crazy Stone(黒)対Zen(白)
黒勝ち



70(E6) 187(R9) 208(K9)

図7 決勝2回戦Nomitan(黒)対Zen(白)
黒中押し勝ち

マはコンピュータに触れることはできず、ただ対戦の成り行きを見守るだけとなる。その間に、プログラマ同士は雑談を交わしながら、技術的な情報を交換できる場と

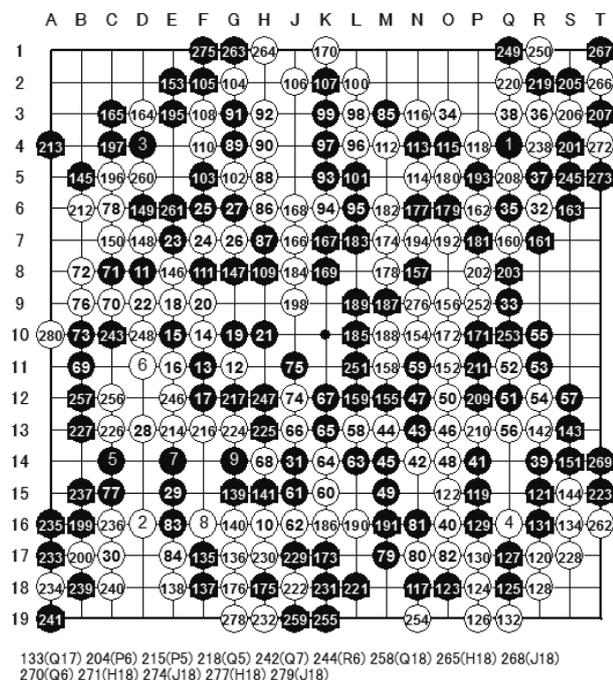


図 8 決勝戦 DolBaram (黒) 対 Crazy Stone (白) 白中押し勝ち



図 9 雑談をする開発者達

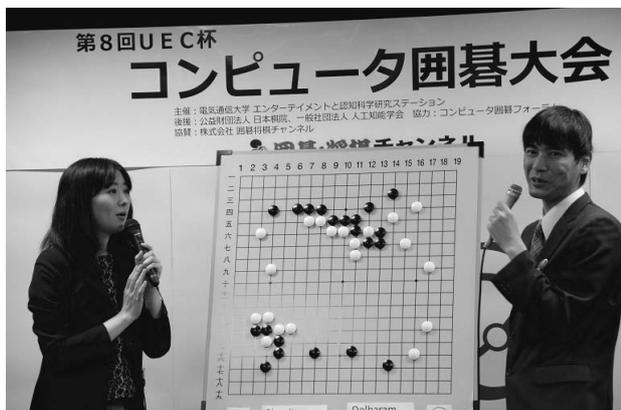


図 10 解説会の様子 金澤秀男七段 (右), 矢代久美子六段 (左)

なる。実際、図 9 に見られるような、国際的な交流の場面が会場のあちこちで見られる。図 9 は、左から優勝 Crazy Stone の開発者、Rémi Coulom 氏 (仏)、中央は 3 位 Aya の開発者、山下 宏氏 (日)、右は準優勝の DolBaram の Lim Jeabum 氏 (韓) である。コンピュータ同士は熱戦を繰り広げていても、開発者同士は和気あいあいと談笑しているという光景はよく見られ、それもまた UEC 杯の楽しみの一つでもある。

2 日目の午後からは、解説会が行われ、金澤-矢代のご夫妻が息の合った解説で会場を沸かせた (図 10)。解説の様子は、ニコニコの竜星囲碁チャンネルで観ることができる [UEC 杯解説]。

決勝戦終了後、優勝プログラムとアマチュア高段者との互先によるエキシビション対局が行われた (図 11)。この対戦も、表 1 のように、第 1 回から行われてきたイベントで、電聖戦が始まった 2013 年からは、アマチュアとの互先という形が続いている。2013 年の多賀文吾氏は、アマチュアトップクラスのプレーヤーでさすがに格の違いを見せつける人間側の圧勝となった。2014 年は電気通信大学の現役囲碁部の学生で、東洋囲碁 6 段の実力者の田中義国君であったが、序盤のミスなどもあり敗れてしまった。

今年は、電通大囲碁部に、OB も含めて田中君よりも強い実力者を出してほしいとお願いして、OB で東洋囲碁 7 段の榊原昌人君が紹介された。昨年のリベンジを果たすべく対戦し、しっかりと勝ち切ることができた。総譜は、図 11 のとおりである。対局終了後、プロ棋士の先生の方から十分アマチュア 7 段レベルはあるとの評をいただいた。

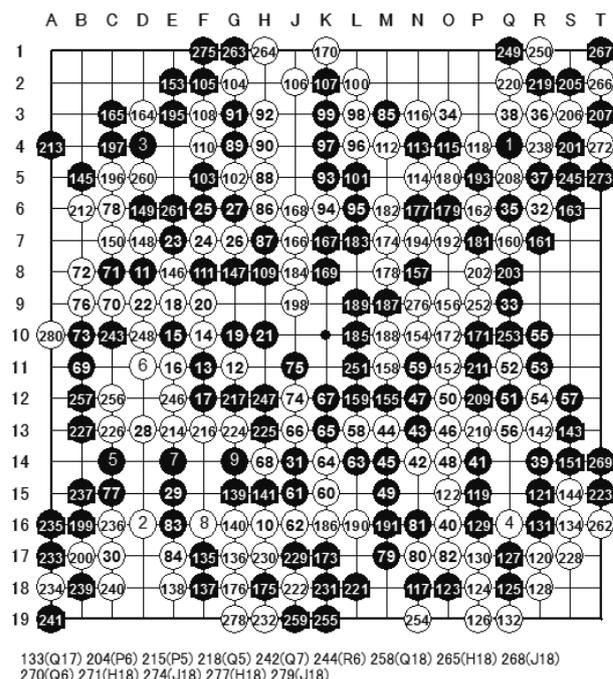


図 11 エキシビションマッチ 榊原昌人氏 (黒) 対 Crazy Stone (黒) / 黒中押し勝ち

2. 電 聖 戦

電聖戦は、2012年の日本棋院と電気通信大学のコンピュータ囲碁に関わる提携を受けて開催されているプロ棋士とコンピュータ囲碁による置碁の定期戦で、コンピュータ囲碁の棋力を測るべく、毎年開催されている[電聖戦]。表3は電聖戦の一年前に開催されたプレマッチも含めた対戦の歴史である。今年の電聖戦は、UEC杯の2日後の3月17日に電気通信大学で開催された。

UEC杯の優勝、準優勝のプログラムは、電聖戦に出場する権利を得る。UEC杯で優勝、準優勝したCrazy StoneとDolBaramが、電聖戦に出場することとなった。

対するプロ棋士は、日本棋院から推薦された趙治勲九段(25世本因坊治勲、マスターズ)になった。趙治勲九段は、囲碁七大タイトル獲得42期、歴代1位であるばかりか、史上初となる大三冠、グランドスラム達成や本因坊戦10連覇など、数々の偉業を成し遂げた日本棋院史上最強のプロ棋士である。また、その愛すべきキャラクターから棋界でも有数の人気を誇る。日本棋院は、惜しげもなく、次々とスーパスターを投入していただき、3月17日は平日にもかかわらず、約200名入る解説会場は立ち見が出るほどの盛況であった。

手合割は、優勝のCrazy Stoneは過去2年間4子で勝利していることを鑑みて「3子」、DolBaramは電聖戦初出場ということもあり「4子」で挑むこととなった。

対戦に向けて、趙九段には、事前に過去のCrazy StoneやZenなどのコンピュータ囲碁の棋譜を数局送付して、事前に学習していただく予定だったが、著者が送った総譜の図面が小さかったこともあり、完全には手を追えなかったとのことであった。

昨年の依田紀基九段がZenの商品版と何局も対戦して準備していたことに比べると、趙九段の準備は軽いものであったといえるだろう。

また、事前に趙治勲先生から伺ったお話の中で、「4子は指導碁、3子は勝負」という言葉があり、4子と3

子の置碁に対する心構えの違いも感じられた。実際、プロ棋士の多くも、4子と3子では「景色が違う」と表現される先生も多く、隅が一つ欠けているこの1子の違いは、他の1子の違いに比べて格段に差が大きいという印象があるようだ。

第1局は、準優勝のDolBaramが趙治勲九段に4子で挑んだ(図12)。開発者の韓国のLim氏は、韓国出身で日本囲碁界の英雄でもある趙治勲九段との対局ということもあり、ちょっと緊張気味であった。対局前には、



図12 第3回電聖戦第1局対局の様子
(左:Lim Jeabum氏, 右:趙治勲九段)



図13 第3回電聖戦第2局対局の様子
(左:Rémi Coulom氏, 右:趙治勲九段)

表3 過去の電聖戦とプレマッチ

回	開催日	対戦プロ棋士	対戦コンピュータ (作者・チーム)	手合割	勝敗
プレマッチ	2012年3月17日	武宮正樹九段	Zen (Team Deep Zen)	5子	Zen 10点勝ち
		武宮正樹九段	Zen (Team Deep Zen)	4子	Zen 19点勝ち
第1回	2013年3月20日	石田芳夫九段 (24世本因坊秀芳)	Zen (Team Deep Zen)	4子	石田芳夫九段 中押し勝ち
		石田芳夫九段 (24世本因坊秀芳)	Crazy Stone (Rémi Coulom)	4子	Crazy Stone 3目勝ち
第2回	2014年3月21日	依田紀基九段	Crazy Stone (Rémi Coulom)	4子	Crazy Stone 2目半勝ち
		依田紀基九段	Zen (Team Deep Zen)	4子	依田紀基九段 中押し勝ち
第3回	2015年3月17日	25世本因坊治勲	DolBaram (Lim Jaebun)	4子	DolBaram 中押し勝ち
		25世本因坊治勲	Crazy Stone (Rémi Coulom)	3子	25世本因坊治勲 中押し勝ち



図 14 第 3 回電聖戦解説会場の様子



図 15 解説会場で感想を話す趙 治勲九段

「対局できるだけで光栄です」という控えめなコメントであったが、対局自体は堂々たる内容で、4子のハンディを生かし、しっかり勝ち切った。対局の詳細と総譜は、吉原先生の記事を参照していただきたい。

第2局は、優勝の Crazy Stone が趙 治勲九段に挑むこととなった (図 13)。Crazy Stone は、すでに電聖戦で2回プロ棋士に4子で勝利している。その点も考慮して、電聖戦史上初の3子での挑戦となった。

多くのプロ棋士が指摘していたように、3子ではさすがにプロ棋士の壁は厚く、危なげなく趙先生が勝ち切った。結果こそ、大差となったが、プロ棋士に3子で挑んだ功績は大きい。これによって、コンピュータ囲碁の多くの課題が突きつけられた。棋譜の詳細な解説は、吉原由香里先生の記事に譲るが、現状のコンピュータ囲碁の抱える問題点が浮き彫りとなった対戦であった (pp. 682-685)。

モンテカルロ木探索を用いている現在のコンピュータ囲碁では、厳密な地の計算や直線的で精緻な読みが難しい。3年前、武宮九段に4子で勝利したコンピュータであるが、Crazy Stone の Rémi 氏も Zen の加藤氏も述べているように、ここ数年伸び悩んでいるのは、この問題に対する明確な解が見つからないからかもしれない。

コンピュータ囲碁がトッププロ棋士に互先で勝つためには、やはりもう一つブレークスルーが必要であろう。

解説会は、昨年電聖戦で対戦した依田紀基九段による解説と吉原由香里六段の聞き手で行われた。今年は日程の都合で平日開催となったが、ビックネームの対戦ということもあり、200名近い大講義室で立ち見が出るほどの聴衆を集めた (図 14)。依田先生の歯に衣着せぬ解説と吉原先生の巧みな話術で、会場を沸かせた。この解説会の模様も、ニコニコ電聖戦チャンネルで観ることができる [電聖戦解説]。

対局終了後には、趙 治勲先生と開発者達が壇上に上がり、インタビューを受けたが、趙先生のサービス精神あふれる軽妙なトークは冴えわたり、会場は爆笑の渦に包まれた (図 15)。

3. ま と め

コンピュータ囲碁は、少しずつではあるが着実に進歩しており、4子の壁を超えつつある。今年5月31日に開催された人工知能学会全国大会のイベントでは、Zen が下坂美織二段に3子で挑戦して敗れた [イベント]。3子の壁はかなり高く、ここから先に進むためには、何らかのブレークスルーが必要であることを痛感させられた。

今年は、7月から電気通信大学で「コンピュータ囲碁の講習会」を開催する。また、中国や韓国でもコンピュータ囲碁の大会の動きが見られる [講習会]。開発者の裾野が広がることで、新しいアプローチが導入される環境を支援していきたい。

◇ 参 考 文 献 ◇

- [電聖戦] <http://entcog.c.ooco.jp/entcog/densei/>
- [電聖戦解説] <http://www.nicovideo.jp/watch/1427418313>
- [伊藤 14] 伊藤毅志ほか：特集コンピュータ囲碁，人工知能，Vol. 29, No. 4, pp. 311-325 (2014)
- [イベント] <http://www.ai-gakkai.or.jp/jsai2015/archives/752>
- [講習会] http://entcog.c.ooco.jp/entcog/cg_koushu.html
- [UEC 杯] <http://jsb.cs.uec.ac.jp/~igo/>
- [UEC 杯解説] <http://www.nicovideo.jp/watch/1427333895>

2015年7月1日 受理

著 者 紹 介



伊藤 毅志 (正会員)

1994年名古屋大学工学研究科情報工学専攻修了 (博士 (工学))。同年より電気通信大学助手。2007年より同助教。2010年改組により情報・通信工学専攻助教。ゲームを題材とした認知科学的研究に従事。コンピュータ囲碁フォーラム (CGF) 理事。エンターテインメントと認知科学研究ステーション代表。UEC 杯コンピュータ囲碁大会、電聖戦の実行委員長。

小特集 「コンピュータ囲碁の最前線」

プロ棋士が見た第8回UEC杯コンピュータ囲碁 — 次なるブレイクスルーは何か? —

The 8th UEC-Cup Computer Go Tournament from Professional Player's Viewpoint — What is Next Breakthrough? —

大橋 拓文
Hirofumi Ohashi

日本棋院東京本院
Nihonkiin Tokyo.
<http://www.nihonkiin.or.jp/player/htm/ki000382.htm>

Keywords: computer Go, Monte Carlo method, UEC-cup.

1. コンピュータ囲碁の現状：UEC 杯前夜

モンテカルロ法でコンピュータ囲碁に革命を起こした Crazy Stone の登場から、早いものでもうすぐ 10 年が経とうとしている。囲碁プログラムは飛躍的に強くなり、プロ棋士に 4 子で打てるまでになった。これはいわゆるアマチュア 6 段程度であり、街の碁会所に行けば、間違いなくトップグループに入るであろう。ただし、4 子で打てるようになって 3 年が経つが、3 子の壁を突破できる気配はあまり感じられない。また、層の厚さでいえば、Crazy Stone と Zen が双壁でありアマ 6 段、少し離れて Aya が四段、他のソフトは初段ぐらいという状況で第 8 回 UEC 杯を迎えた。Crazy Stone と Zen を破るソフトは登場するのか？ 4 子の壁を突破する手掛かりは何か？

という視点から今大会を振り返る。

2. Zen 敗れる：複雑な攻め合いに課題

3 月 15 日に行われた決勝トーナメントで Zen が敗れた。Zen に勝ったのは Nomitan。Nomitan は最近急激に強くなっているという情報があったが、Zen に勝ったのはやはり衝撃的であった。碁の内容は二転三転する乱戦であった。いくつかの場面を見てみよう。

図 1 は 21 手目の局面である。序盤早々左下で面白い形が登場した。ここで白 a に切れば、難解だが白が有利な展開が予想される。しかし Zen はあっさりと左下を捨ててしまう。ちなみにこういう場面で人間であれば、「とりあえず切る」、「切って損はない」などと考え、他の手はあまり考えない。

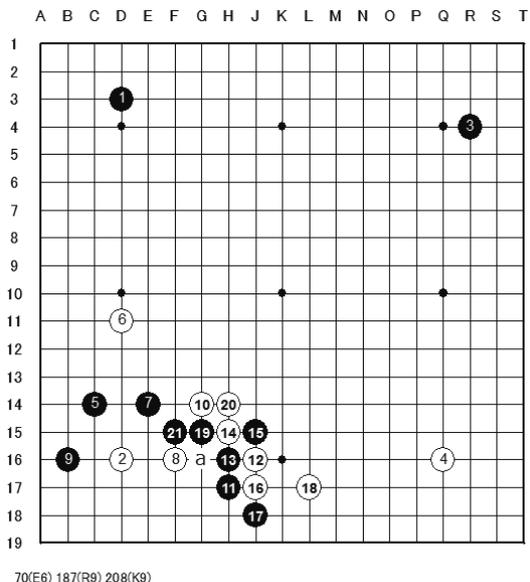


図 1 決勝 2 回戦 Zen (白) vs. Nomitan (黒) より 21 手目の局面：意外な捨て石

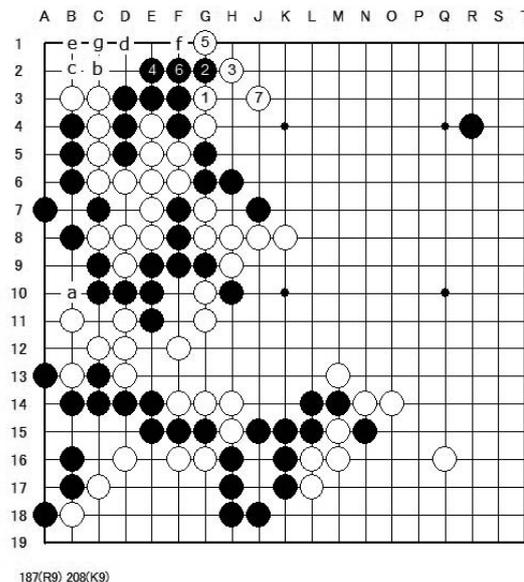
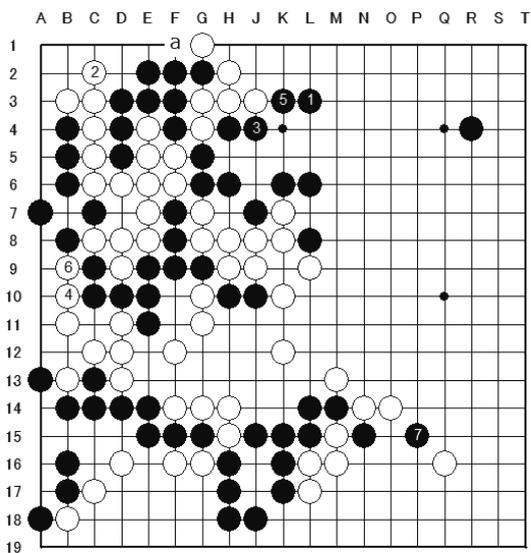


図 2 決勝 2 回戦 Zen (白) vs. Nomitan (黒) より 112 手目の局面：Zen 逆転、……しかし

図2は、図1から進んだ中盤の局面である。左下から下辺にかけては、図1と見比べていただければおわかりと思うが、白が大損であった。しかし左辺の戦いでZenが本領を発揮し、黒は半潰れである。白1~7は実戦の進行であるが、黒は苦しい。

この碁は二転三転したと先に述べたが、その理由はこの左上に起因すると思われる。一見するとどちらがaに先着するかが左辺の死活の必争点、しかしどちらも、しばらくaを放置した。その理由は左上にある。左上は黒から正しく打つとb以下符号順に黒不利な寄せ劫(劫を解消するために、一方がダメを詰める必要があるもの)になる。よって白aと打たれても黒b以下、寄せ劫を仕掛ければ、黒は死んでいるわけではない。実はこの劫はプロレベルのプレーヤーであれば、白が有利で、たいした狙いではないことは一目でわかる。しかし、モンテカルロ法のプログラムであると、隠れた劫にマシンパワーを割かなければならず、結果、この後の着手に乱れが生じることとなる。事実、この場面でZenの勝率パラメータはそれほど高くなかったようだ。

少し進んで上の仮説を裏付ける場面が現れる。図3はさらに進んだ131手目の局面である。黒1と上辺に迫ったときに白の最善手は白4であろう。上辺の攻め合いは前述の白有利な劫である。その変化ならば白優勢であった。白は2としたが、上辺の攻め合いに関して白2はあまり役立たない。黒3のときに白4と打ったのは、左上隅の変化が少なくなったため白4が浮かび上がったと推察される。結果、黒は3,5と連打し、左辺と上辺の振り変わりとなった。形勢はやや黒良しとなった。白2の局面で上辺の攻め合いを打つのであれば、白aと打つのが正着であった。それならば、黒は4と打ち左辺を生きることができる。白は先手で上辺右よりの黒が薄いので、白がやや優勢であった。この後本局は、黒7から勢いつ



187(R9) 208(K9)
図3 決勝2回戦Zen(白) vs. Nomitan(黒)より
131手目の局面：劫の変化を内包する死活

き黒中押し勝ちとなった。

このように、いくつかの石が絡み合う攻め合いや、劫の変化を内包する形の死活は複雑さを極め、最善を尽くすことは難しいようだ。接近戦が強みであるZenにしては、ミスが多いようにも感じられるかもしれないが、これはNomitanが強くなったと解釈することもできる。一般的に、碁は互いの実力が近ければ近いほど、難解になる傾向がある。その中で安定した勝率を収めるのは、また別の難しさがあるようだ。モンテカルロ法の碁を見ていると置き碁や、勝率が少し良い状況(55~60%ぐらい)のときにプロをうならせる手が出ることが多い。逆に勝率が低く(40%前後)になってしまうと、モンテカルロ特有の問題なのか、筋の悪い手が多くなるように思える。またこの碁のようにどっちつかずの勝率(50%近辺)で推移する複雑な状況のときにも課題は多いようだ。

3. DolBaramの登場：モンテカルロの長所

韓国から颯爽と現れた、DolBaramが旋風を巻き起こした。Dolは李世ドル九段のDol、Baramは風を意味するようだが、その棋風がまさにその名のとおりだった。予選4局目のAyaとDolBaramの碁でいくつか興味深い攻防があったので見てみよう。

図4は48手目の局面。Ayaの黒1からの攻防が秀逸。ちょっと人間では思いつきにくい手だ。特に黒7,9が面白い手である。不即不離とはこのような手のことか。これはモンテカルロ法の良いところが出た場面だと思う。競り合っている部分をフラットに捉えられるということがモンテカルロ特有の感覚だ。

図5はさらに進んだ62手目の局面。続いて白は強引に切断を決行した。白△の2子を捨ててしまうのは驚愕だが、左上の戦いを有利に運べば採算が取れるというこ

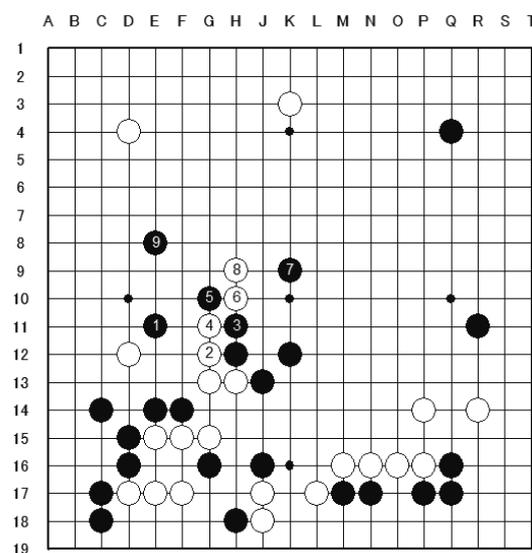


図4 DolBaram(白) vs. Aya(黒)
49手目の局面：躍動するAya

とだろうか. この辺り, なんとなく李世ドル九段の棋風を感じた. 李世ドル九段の棋譜を学習しているのでは? と思ってしまったが穿ちすぎであろうか?

図6は, そこからさらに進んだ96手目の局面. 黒2では白3に切れば, 黒に生きがあった. ところが, 実戦は7まで黒が死んでしまった. これは, 後日明らかになったことだが, 黒aに対して, 白bと欠け目にする手筋がはっきりわからないとのことだった.

これは現在のコンピュータ囲碁の実力からすると意外に感じられる. なお, 左辺の黒2子にまだ味があり, 左上から左辺を絡めて手にしに行くのと, 実はかなり際どい変化があるのだが, 簡単な死活を見逃した裏には, 図2で紹介したのと同様の理由があったかもしれない.

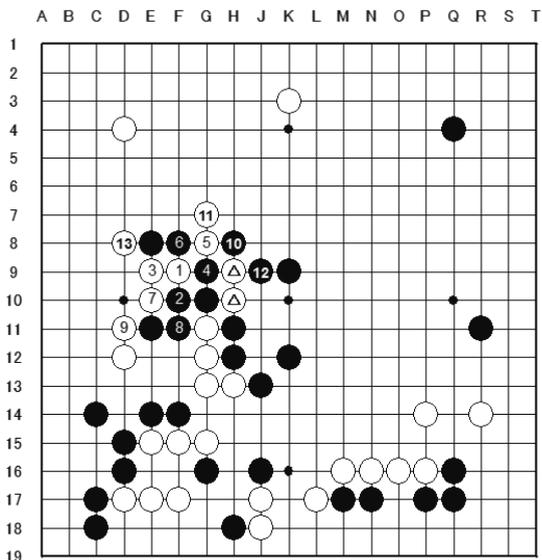


図5 DolBaram (白) vs. Aya (黒)
62手目の局面: 力技で対向する DolBaram

4. 抜群の安定感 Crazy Stone : ローカルサーチとグローバルサーチ

Zen が敗れ, Nomitan, DolBaram が台頭する中で存在感を發揮したのはやはり Crazy Stone だった. Zen, DolBaram など, 接近戦を重視したソフトが目立つ中, 部分と全局のバランスをとりながら, 巧みに局面をコントロールした.

図7は, 予選の3回戦, Carzy Stone (白) と DolBaram (黒) の対戦から左下の定石形が進行中の場面である. 普通は白aとつなぐところだが, 白△の背景があるので白bの可能性もないわけではない. ここで Crazy Stone はなんと右下を白1からさらに3と行った. 右辺は黒

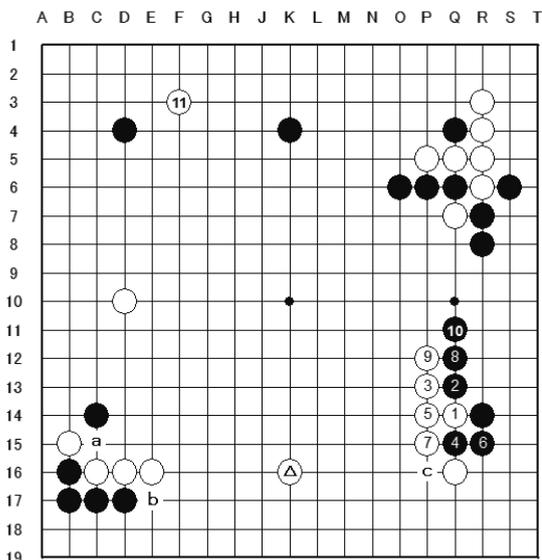


図7 Crazy Stone (白) vs. DolBaram (黒)
40手目の局面: 手抜き作戦

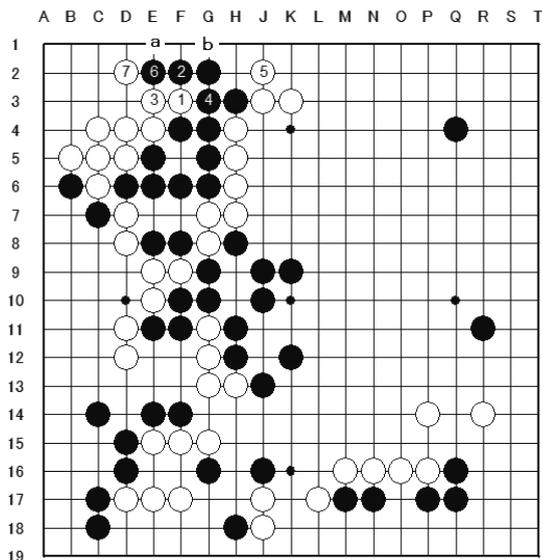


図6 DolBaram (白) vs. Aya (黒)
96手目の局面: やはり死活が課題

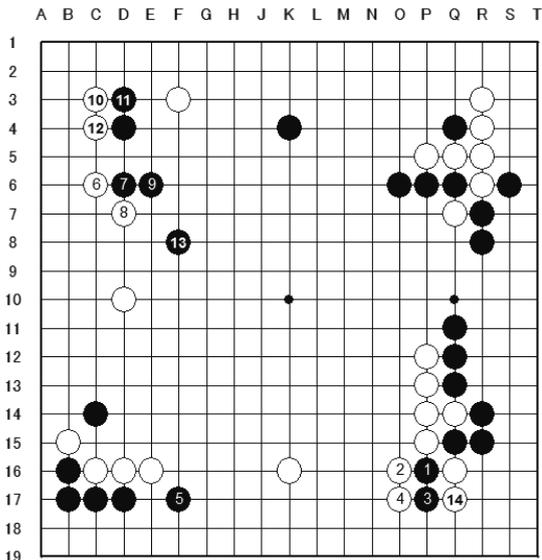


図8 Crazy Stone (白) vs. DolBaram (黒)
54手目の局面: その後の展開

10 までの形となったが、先手で中央を制圧し、白としては目的を達した。c の断点も気になるところではあるが、ここでまた白は 11 と左上に展開していく。これで全局のバランスは取れているようだ。

図 8 は、図 7 以降の進行である。黒 5 がやや意外な一手で、白 14 と絶好のタイミングで右下を取られてしまった。こうなると黒 1, 3 がただで取られていることになってしまい、白が一本取った形だ。Crazy Stone はローカルサーチが強いタイプのソフトを相手に、グローバルサーチで焦点を絞らせない傾向が見られる。

5. 決勝戦 再戦：Crazy Stone vs. DolBaram

予選 1 位の Crazy Stone と 3 位の DolBaram は、決勝トーナメントを順調に勝ち上がり、Zen が準々決勝で敗れる波乱もあり、決勝で Crazy Stone と Dolbaram が再び相見えることとなった。

図 9 は序盤の 15 手目までの局面。開始早々黒 13, 15 と切断を決行した。DolBaram は多少無理気味に見える場面でも、石を切ることが多かったように思う。

図 10 は中盤の局面。ここでも同様の切断が見られた。これも多少強引な手だが、成否はどうだろうか？

白は 4, 5 と、こちら側を突破し不満のない形になる。結果として、右辺の黒が働きの悪い石になってしまった。白の 10, 12 もちょうど良い手筋である。白 16 となって、中央の黒の形も不十分である。

図 9, 図 10 で DolBaram は「石の切断」と「中央の勢力」の二つを重視したように見えるが、いずれも周囲の黒への悪影響があり、損をしてしまった。

白の Crazy Stone はその後もうまく打ち回し、中押し勝ちに持ち込んだ。

6. 総括

今大会では Crazy Stone と Zen に迫るソフトが現れるか注目していたが、DolBaram, Nomitan, Aya が良い内容の碁を見せたと思う。そこで浮き彫りになった課題の一つは攻め合いである。強いソフトが多くなれば、必然的に碁の内容が複雑になるので、攻め合いの読みの精度はこれからますます重要になるだろう。そんな中 Crazy Stone が 1 日の長を見せて優勝したが、勝因の一つはグローバルサーチとローカルサーチのバランスの良さにあると思われる。部分戦に強いソフトに対して、手広い局面をつくり出すことで、巧みに局面をコントロールした。

さて、もう一つ上の段階に行くためのブレイクスルーは何だろうか。正直な話、これは皆目見当がつかないのであるが、地道に読みの精度を上げることで伸びしろはまだまだあるようにも感じられた。そして、今回著者が注目したのがグローバルサーチとローカルサーチだ

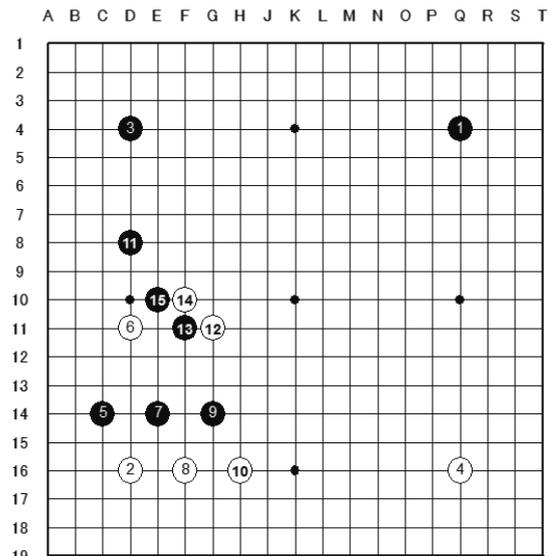


図 9 Crazy Stone (白) vs. DolBaram (黒)
15 手目の局面：切断を決行

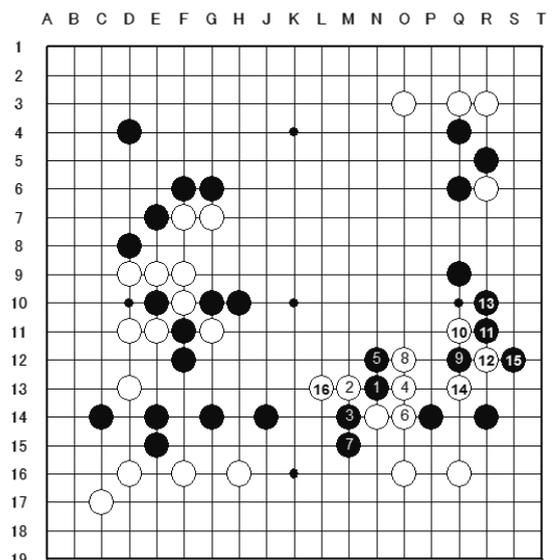


図 10 Crazy Stone (白) vs. DolBaram (黒)
58 手目の局面：再度切断

が、本来この二つは一致することが望ましいのである。全局的視点と局所的視点の奇跡的な邂逅を期待したい。

2015 年 6 月 8 日 受理

著者紹介



大橋 拓文

1984 年 5 月 25 日生まれ。東京都出身。菊池康郎氏（緑星囲碁学園）に師事。2002 年入段、同年二段、2003 年三段、2006 年四段、2011 年五段、2013 年六段、現在に至る。日本棋院東京本院所属。著書に「なるほど！ひかる手筋」（日本棋院）、「パワーアップ詰碁 400」、「爽快！勝ち筋さがし」（マイナビ）。

小特集 「コンピュータ囲碁の最前線」

解説者から見た第3回電聖戦

The 3rd Densei-sen from Commentator's Viewpoint

吉原 由香里
Yukari Yoshihara

日本棋院東京本院
Nihonkiin Tokyo.

<http://www.nihonkiin.or.jp/player/htm/ki000346.htm>

Keywords: computer Go, competition, human vs. computer.

1. 第3回電聖戦に向けて

今年も第3回となる「電聖戦」が電気通信大学にて行われた。ここ数年、コンピュータソフトと人が戦う大会がチェスや将棋の世界で盛り上がっているのを密かに羨ましく思っていたので、このような大会が囲碁でも始まったと聞いたときはとても嬉しかった。

チェスや将棋の世界ではコンピュータ側が大善戦しているようで、一見これはその世界にとってデメリットのように思われるかもしれないが、このような対戦によってチェスや将棋の人气が衰えていることはなく、むしろ注目度は高まっているようにすら感じる。これはぜひうちの業界でもと考えると考えるのは、似た世界にいる者なら誰もが考えることであろう。

しかし、囲碁は盤も広いうえ、着手の一手を理屈ではなく感性で決めているところが多いゲームである。これをコンピュータが得意とする数学的な思考で戦わせるのは極めて難しいのでは、とプログラミングに疎い著者は考えていた。ところがここ数年、有段者、しかも高段者のソフトが出てきたと聞いて驚いた。まだまだそこまで強いソフトが出現するのは先だと思っていたからだ。

棋士の間でも少しずつ話題になっていた。「○○というソフトに棋士の○○ちゃんが9路盤で負けたいよ!」、「気合入れないと9路盤なら普通に負けるよ」、「詰碁は人より完璧なソフトが出たらいいよ」などなど。

そんな矢先、あの武宮正樹九段がソフトに4子で負けた、石田芳夫九段も、昨年は依田紀基九段も負けたなんて話を聞いたものだから、「ソフトと打ちたくない……」と思うようになってしまった。

実はこの大会の数日前、張 栩九段・小林泉美六段のご自宅に遊びに行った際、iPadの対局アプリを紹介されて、「これやってごらん」と言われた。そして、九路盤でコンピュータと対局するはめになった。張先生が見ている前で打つのは嫌だな、まして九路盤は強いと聞いているし、などと思いつつ戦ったところ……。案の定負けてしまった。かっこ悪いと思うのと同時に悔しかった著者

は、家に帰って改めてリベンジ対局をした。なんとか勝利することができて、少しすっきりしたが、コンピュータソフトが強いということをもっと痛感した出来事だった。

今回プロ側の対局者は二十五世本因坊治勲（趙 治勲九段）。囲碁界では誰もが知る超有名棋士だ。6歳のときに韓国から来日。木谷 実九段の内弟子となり、木谷九段の自宅に住込みで修業し、兄弟子達と切磋琢磨しながら強くなり、11歳で入段。その後はおびただしい数のタイトルを獲得。史上初の七大タイトルすべて制覇をし、グランドスラムを達成した。

その趙先生が今年の対局者に選ばれたということで、ソフトを制作するプログラマ達は気合いが入り、対局できることをとても楽しみにしていたらしい。対局するためにはUEC杯で2位以上になることが必要。趙先生と対局できるかもしれない、ということもソフトを開発するうえでの大きなモチベーションになったと思う。

電聖戦に出場が決まったのは、UEC杯優勝の Crazy Stone（仏）と準優勝の DolBaram（韓国）であった。この二つのプログラムについての詳しい紹介は大橋拓文六段や伊藤毅志先生の記事に譲るが、Crazy Stoneはこの電聖戦でも武宮先生や依田先生を4子で負かしてきたプロにも強いソフトだ。一方の DolBaram は初出場ながら大善戦の準優勝。これまでのデータがない分、どんな強さをもったプログラムなのか、プロ側からすれば気味が悪いともいえる。

解説は昨年電聖戦に出場した依田先生が務めた。依田先生は昨年対局をした経験があり、ソフトの強さも弱さも知り尽くしていた。お話によると、昨年対局者と決まってから、優勝候補のソフトを取り寄せ、勝つための対策を練ったらしい。人間代表としてしっかり戦っておきたいという心構えだったとか。結果、Zen（日本）には4子で勝ったものの、Crazy Stoneには4子で負け。相当悔しかったようで、打上げの席でリベンジ戦を申し出、翌日対戦を果たし、しっかりと負かしたという。さすがだ。このことは、昨年の特集でも書かれている [伊藤 14]。

その依田先生と聞き手を務めた著者は、大会が始まる数時間前に集合していた。リハーサルや打合せなどを終え雑談していると依田先生が「おかしいな、趙先生来ているはずなのに僕に話を聞きに来ない。大丈夫かな」と話していた。どうやら対局前に作戦を聞きに来たほうがよいのに、と心配していたのだ。人間代表で対局する趙先生に勝ってほしいという気持ちがあったのだろう。



図1 解説会の様子
右：依田紀基九段、左：著者

会場に行くと、平日にもかかわらず客席は満員で立ち見も出るほどの盛況ぶりだった。コンピュータ囲碁の戦いぶりをこれほどのファンの方が注目しているのかと驚いた。中にはユーモアあふれるコメントでも有名な趙先生の姿を一目見ようと集まった人もいたのかもしれないが、それにしても大勢の人が訪れていた。そしていよいよ電聖戦が開幕した。

対局の前にインタビューが行われた。趙先生は特に緊張しているそぶりもなく「最近人間に勝てないものだから、ソフトと打つのが楽しみ。コンピュータキラーの治勲をお見せします!」といつもどおり言いたい放題。会場からは大きな笑い声が上がった。事前にソフトの研究をしたかと聞かれると「少し並べたんだけど、いただいた棋譜の文字が小さくてね……」と頼りないお返事。実を言うと著者もいただいた棋譜の文字が小さく、棋譜並べの途中で断念していたもので少しその気持ちがわかった。

2. 第1局：趙 治勲先生 vs. DolBaram

そしていよいよ対局。解説の依田先生は解説会場から二十五世の姿が見えなくなると「あれはね、ソフトを甘く見ている……」と会場の笑いを誘った。「だって対局前に僕に作戦を聞きに来ないのはおかしい」、著者が「教えてあげなかったのですか?」と尋ねると「そこまでの人間関係じゃないよ」と依田先生も答え、会場はわっと沸いた。もちろんこれは、依田先生のリップサービスであるが、著者は解説会場がますます対局への期待を高まらせている雰囲気を感じた。

一局目はDolBaramと4子局で対局。依田九段曰く、

コンピュータはヨミやヨセでは間違えないので、勝つためには序盤でリードすることが大切とのこと。ただし、隅の星をすべて占めている4子局での序盤はあまり変化がないので白としても積極的に仕掛けていく必要がある。

白3から5, 7といったのはまさに積極策。対局前はあまり研究したそぶりを見せなかった趙先生だが、この進行を見るとある程度作戦を立ててきた様子がかがえる。黒21まで双方まずまずの進行だ。白25とは厳しい。置き碁でしかもコンピュータ相手でなければここまでいくことはなく、とにかく難解な局面にしようという手だ。白27, 29のとき、黒30がミスだった。黒32からアテるのが正しく、実戦は黒32に対して白33と反撃され白37までとなっては隅の地が大きく白が一本取った。

とはいえ、このあとの黒の打ち方は素晴らしかった。続く黒38が解説の依田先生が絶賛した一手。この手は大局を観て打たれた手で、左上隅の白への攻めを見ながら上辺の厚みを生かして地にしていこうという作戦。こういった感性あふれる手に触れて、著者もコンピュータの強さを改めて感じた。

白は単に45と守るのは癪とみて、白39, 41とあくまで複雑な局面に誘導する。しかし黒42が痛烈! 「ここに石が来れば黒の勝ち」と解説していたところにピタリと石が向かった。解説会で話していたとおりに石がいくとなんとも気持ちが良い。会場もますますヒートアップしてきた。白は44とアタリにツグのは愚形でありにつらい恰好なので、白43から捨てていく。白45のアテにも惑わされず黒46とじっとノビた手も素晴らしい。数字で表すのが難しい戦いの場面でもコンピュータが的確に手を進めていたことがこの数手からも感じ取れる。

白49から新天地だ。下手なら一度は悩んだことのあるこの手にもコンピュータは冷静に対応。黒64は一見頑張りすぎだが、黒66, 68という手段が打てるなら十分だ。

黒72からの戦いぶりも素晴らしかった。上辺の白一団に徹底的にねらいを定め厳しく攻める。決め手は黒100。これほど大きな石の攻め合いも「読み切った」という手である。白107に対しても黒108から危なげなく決め、黒118までで黒の一手勝ち。こんな大石が死んでしまっただけは勝負あった。一般的な対局なら白投了の場面である。

ところが……。ここからコンピュータが突如乱れはじめるのである。通常、人間同士の対局の場合、形勢が良いと思ってからが危険で、勝ちを目の前にすると冷静な判断力が失われることが多い。逆転が起きる経緯には形勢不利側の頑張りもあるが、有利な側の手堅く勝ちたいという心理の問題もあるのである。

ここからコンピュータが勝利を目前にした人間のように乱れ始めた。その第一歩が黒124からの頑張り。ここは白から上辺との攻め合いの具合があって先手で利い

ているところなので、本来あまり触りたくない場所。黒126, 128で白4子が取れていればよいが、実戦のように脱出されてどうやっても取れない。となれば、明らかな失敗である。

これに趙先生はチャンスを感じたようだ。コンピュータに弱点ありと見た趙先生は、ここからミスを期待した(?)打ち方を始める。まずは白147。ここは本来160の場所にツナいでおくほうが後の利き味が一手違うため有利なのだが、もしかしたら他の部分を戦っているうちに白155のところの石が来て、攻め合いと13の六の両アタリの双方をにらまれる手段があることを忘れてくれるかもしれない、という期待を含んだ手である。果たして実戦では、図2のように進行し、黒160に手が回ったときは、趙先生はさぞがっかりされたことだろう(笑)。このあたりの心理状態は依田九段が解説中にピタリと言いついてもらっていて、会場は笑いに包まれた。

続く白161も、174のところの打っていたら黒の左下隅が死んでおり、形勢には影響がないにしてもだいぶ接近していた。実戦の打ち方は、右下でひと仕事してから左下に回ろうという作戦。ところが黒174と手が回ってしまい、白はチャンスを逃してしまった。このあたりの趙先生の心理状態も依田先生は解説の中でお話されていた。それに呼応するように、会場では対局姿がモニタに映されて、趙先生はタイトル戦で以前よく見られたハンカチをくわえたり、ぼやいたりする姿を見せていた。

このあと劫争いになって、コンピュータは劫材を二回立ててしまうなど、やや損をする場面も見られたが、前半で大石を仕留めた戦果はあまりに大きく、ついに白の投了。結果としては、黒の完勝となった。見事な内容であり、また打ち方も人間が打っているといわれてもおか

しくないほど違和感がなく、会場一杯に集まったファンの方からも感嘆の声が上がった。

対局が終わった後、会場に現れた趙先生は依田先生の予想どおり「ミスを期待していた」ことを告白され、会場は爆笑の渦に巻き込まれた。

控室に戻られても「いやー俺はアホだなー。なんといっても根性が悪い。相手のミスを期待するなんて人間ができていないよなー。そう思いながら打っていたんだ」とユーモアたっぷりに話すので、依田先生も著者もつい笑ってしまった。

ここで依田先生から作戦が伝授された。「コンピュータは、広く地を囲うと打ち込んでこない。そこは相手の地だと認識するらしい。だからとにかく広げることが大切」と。昨年依田先生が立てていた作戦とは、このことだったようだ。それを聞き、趙先生は改めて気合を入れ直した様子だった。

その休憩中、立会いの王銘琬九段が顔を出した。「来年は立会いはやらないよ」と言う。何のことかと思ったら「来年は僕が対局者になるんだ」と言い出した。趙先生のようにプロ棋士の立場としてコンピュータと対局すると言うのかと思ったら、コンピュータのソフト側としてプロと打つことを指していたらしい。なんと、今年王先生は6位に入賞したGoTrend(台)のアドバイザーとして、UEC杯に出場していたのだ。王先生は、プロ棋士の視点からコンピュータ囲碁の開発に加わったとのこと。来年のUEC杯、電聖戦が今から楽しみになってきた。

3. 第2局：趙治勲先生 vs. Crazy Stone

第2局目 Crazy Stone との対局が始まった。Crazy Stone は電聖戦でこれまでプロに4子で2連勝しているという実績から、今回から3子の手合割になった。3子ではプロ側も負けられない。

ひと隅あくつとだいぶ景色が違う。白はアキ隅を星から打ち始めた。白5に対して黒6は簡明な作戦。ところが黒10とハネたため白21まで白がやや得をした格好だ。

白27に対し、黒28, 30は割と少ない打ち方だが、昨年の電聖戦で依田先生が打った手だ。ただし、この局面は左上に白の厚みがあり、黒は発展性がなく方向が今一つ。白31から隅をえぐっていった恰好が大きい。依田九段曰く、この時点でハンデは2子に近づいているというから、序盤の数字は恐ろしい。

白39から新天地。よくある定石に似た進行となったが、白53に対し黒54とノビたのが疑問で、白55と切られて一気に地が甘くなった。白59から辺を荒らし、続く黒66にも白67, 69と地を稼ぐ手と交換したのが機敏。黒は白77と守っても手を抜かれて攻め合い負け。ここが読み切れなかったことがCrazy Stone 開発者のレミさんにとって一番悔やまれるところだったようだ。

すでに地合いは苦しいので黒は70, 72と厳しく追っ

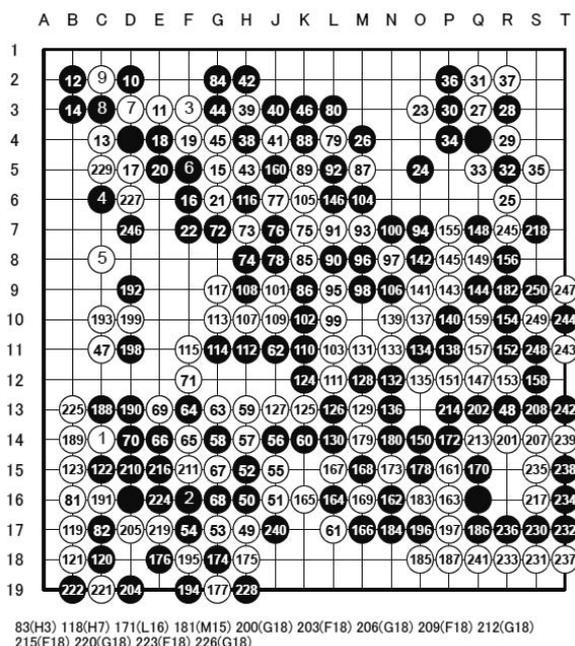


図2 第1局の総譜
白番：第25世本因坊治勲，黒番：DolBaram (4子局)

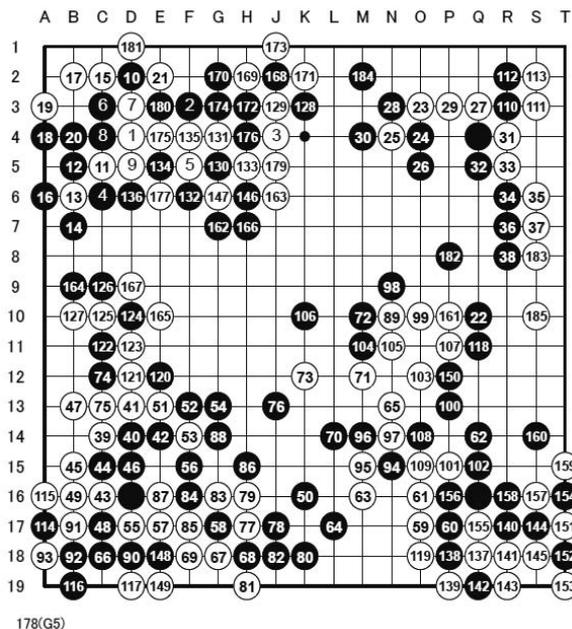


図3 第2局の総譜
白番:第25世本因坊治勲, 黒番:Crazy Stone (3子局)

て勝機を見だしにいく。しかしシノギを得意とする趙先生の石を取るのは至難の業。黒76にも、まだこの石は大丈夫と見て、地を稼ぎに白77。ここで黒は後手をひいてしまい、白が89という手が回ってはどんどん差がつく展開となった。

しかし、前の対局でソフトの読みの強さを痛感していた趙先生は「また取られるのではないかと怖さを感じていたらしい。白107と丁寧に守り着実に勝利へと近づいていく。このあとは打つごとに差が開いていった。依田先生曰く、コンピュータは形勢が苦しくなるとやや無謀な手を打ってしまう傾向があるのだそうだ。この碁での終盤はそういった手が多く見られ、最後はソフトが着手を示していたものの開発者のレミさんが勝利のチャンスなしと判断し、操作者による投了となった。

4. 電聖戦の感想と期待すること

電聖戦の結果はコンピュータ側から見て4子で勝利、3子では敗戦となった。3子の碁は完敗であったが、何とんでも一局目の4子局の内容が素晴らしく、対局をした趙先生も解説の依田先生も絶賛であった。ソフトの

戦いぶりを間近で見守った著者もここまで「人間らしく」強いということに驚いた。

これから一体どこまで強くなるのか……。プロ側としては負かされたくないという気持ちもあるが、反面自宅で打ちたいときに自分より少し強いレベルのソフトがあれば、非常に勉強になってありがたいという気もする。打ちたいときに打てない育児中の著者にとってはこれほどありがたいものはない。

棋力の高いソフトを望むのはもちろんだが、囲碁普及という観点からすると、対局相手のレベルを見て「絶妙に負けてくれる」ソフトというものもほしい。碁は強くなるプロセスの中でどうしても「負ける」という経験をしてしまい、これが続くと辛い。その辛さは時に挫折の原因にもなってしまう。囲碁はこれほどまでに面白く奥深く、超一流プロ同士の対局を見ているとそのヨミの深さや判断力に感動すら感じられる。しかし、覚えて間もないうちに「負ける」という理由で楽しみを見いだせずやめてしまうことは非常に惜しい。余計なお世話かもしれないが、人生の楽しみを一つ失っているようなものだ。ぜひ「相手を喜ばせるソフト」がほしいと思うしだいである。

いずれにしても、ソフトの今後が楽しみだ。これからの電聖戦も末長く注目していきたい。

◇ 参 考 文 献 ◇

[伊藤 14] 伊藤毅志, 村松正和: UEC杯コンピュータ囲碁大会と電聖戦 2014, 人工知能, Vol. 29, No. 4, pp. 311-315 (2014)

2015年6月4日 受理

著 者 紹 介



吉原 由香里

1973年生まれ。東京都出身。加藤正夫名誉王座門下。1996年入段、1998年二段、1999年三段、2000年四段、2002年五段、2013年六段。2002年女流最強戦準優勝、2003年女流鶴聖戦準優勝、2007年女流棋聖位獲得、2008年、2009年防衛、2011年女流棋聖戦挑戦者。2008年5月国際囲碁連盟理事。2007年4月東邦大学理学部客員教授。2008年12月東京大学特任准教授。2010年4月～2015年3月慶應義塾大学特別招聘講師。

Article AlphaGo の技術と対戦

Technology and Games of AlphaGo

伊藤 毅志
Takeshi Ito

電気通信大学
The University of Electro-Communications.
ito@cs.uec.ac.jp, <http://minerva.cs.uec.ac.jp/~itolab-web/wiki.cgi>

松原 仁
Hitoshi Matsubara

公立はこだて未来大学
Future University Hakodate.
matsubar@fun.ac.jp

Keywords: computer go, deep learning, Monte-Carlo tree search, reinforcement learning.

1. ゲーム情報学から見た囲碁

囲碁は、ゲーム情報学的に見ると、“二人零和有限完全情報確定ゲーム”と分類される。これは、二人でプレイする、一方が勝てばもう一方は負ける（あるいは引き分けになる）、ルール上いつか勝負がつく、相互にお互いの合法手（ルール上許される手）がすべて明らかにされている、サイコロのような不確定な要素を含まないゲームであるということの意味する。このようなゲームは、世界中にたくさんあり、チェス、将棋、中国象棋のようなチェスライクゲームだけでなく、オセロやチェッカーなどのゲームも存在する。ゲームの複雑さを、平均合法手と平均終了手数（初手からゲーム終了までの平均手数）から探索量という単位で計算すると、比較的プレーヤ人口の多いゲームは、以下のように概算される（例えば将棋は平均合法手が約 80 で平均終了手数が約 115 なので、80 の 115 乗ということではほぼ 10 の 220 乗になる）。

表 1 ゲームとその探索量

ゲーム	探索量
チェッカー	10^{30}
オセロ	10^{60}
チェス	10^{120}
将棋	10^{220}
囲碁	10^{360}

この表を見ると、囲碁は、この種のゲームの中で群を抜いて複雑なゲームであるといえる。チェッカーは、2007 年にカナダの研究グループが完全解（先後が最善を尽くすと引き分けになる）

を示しており [Shaeffer 07]、オセロ、チェスは、1997 年に人間のトップに勝利している [Buro 97, Pandolfi 98]。将棋は、2015 年に情報処理学会が人間のトップに勝つコンピュータ将棋プロジェクトの終了宣言を行っている [松原 15]。しかし、囲碁だけは、2015 年の時点で、人間のトップにはほど遠く、まだアマチュア 6 段程度であった。これが、囲碁がゲーム AI 研究の最後の砦といわれてきた所以である。

チェスや将棋などのゲームは、ゲーム木探索と呼ばれる手法で強い AI を実現してきたという歴史があるが、囲碁は、他のゲームに比べて圧倒的に平均合法手が多いだけでなく、ゲーム木探索の末端ノードで必要とされる評価関数（先後後手どちらがどれくらい優勢なのかを数値的に表現する関数）の設計が絶望的に難しいとされており、ゲーム木探索の手法が全く使えないというネックがあった。

コンピュータ囲碁の歴史を見ると、1960 年代には研究が始められ、1970 年代には局面を評価するためのさまざまな手法が考えられ、開発者のもっている囲碁の知識を総動員して、何とかコンピュータ上で表現しようと試みられた。その後、1980～90 年代には、ニューラルネットワークや組合せゲーム理論、認知科学的アプローチなどさまざまな情報処理技術の適用が試みられたが、2006 年にモンテカルロ木探索 (MCTS) の手法が現れるまでは、長い冬の時代が続いていた。アマチュア初段も厳しいほどであった。

2006 年に現れた MCTS は、それまでの手法を一掃する画期的な手法で、コンピュータ囲碁はそれまでの遅れを取り戻す勢いで、急激な進歩を遂げた [美添 12]。2008 年に初めてプロ棋士を相手に 9 子局（九つの石をあらかじめ置いて始めるハンデ戦）で勝利を取めると、その年のうちに 8 子局、7 子局でも勝利を取ってしまう。2011 年には 6 子局、2012 年には 5 子、4 子で次々とプロ棋士を破った。その後、2013～15 年の間は 4 子で勝ったり負けたりを繰り返す状態が続き、MCTS による手法も頭打ちを見せ始めており、次のブレークスルーが求められていた。

2. AlphaGo の発表と技術

そんな中、2016 年 1 月 28 日に、ディープラーニングを用いたコンピュータ囲碁の人工知能に関する発表が世界を駆け巡った。Google の研究グループが Nature にコンピュータ囲碁に関する論文を発表し [Silver 16]、記者会見を行ったのだ。それによると、ディープラーニングと強化学習を組み合わせた新しい手法を用いて、既存のコンピュータ囲碁プログラムに対して 99.8% の勝率を実現し、さらにヨーロッパチャンピオンのプロ棋士（二段）に対して、互先（ハンデなしの対局）で 5 連勝する強さを実現したというものであった。前章にも書いたように、モンテカルロ木探索の手法はやや行詰まりを見せていただけに、コンピュータ囲碁関係者に衝撃が走った。

予兆はあった。2014 年から強い

プレーヤーの棋譜を教師データにしたディープラーニングを用いることで、プロ棋士の手を予測する手法が提案された論文が出始めており、それまでの手法では 40% 程度しか予想できなかったものが、57% の予測率を実現する論文が発表されていた [Clark 14, Maddison 14]。この予測率はかなり高い値で、多くの開発者はこの手法を模倣しようとしていた。しかし、これを実現したハードウェアの構成は、GPU を非常に多く使ったものであり、一般の開発者が容易に模倣できなかった。それでも、多くの開発者は導入を試み始めていた。

そんな中、本年 1 月のあの論文が突然発表された。AlphaGo は、以下の三つの段階から構築されている（以下はあくまで 1 月の Nature の論文の時点での話であり、3 月のイ・セドルの対戦のときにはさらに進んだものになっていた可能性があることに注意されたい）。

〈第 1 段階〉

13 層の Deep Convolutional Neural Network (DCNN) を使い、インターネット囲碁道場 KGS の 6 ~ 9 段（これはかなり強いレベルの人間である）の棋譜 16 万局（約 3 000 万局面）を用いて、教師あり学習 (Supervised Learning) を行い、次の一手の予測器を作成した。ある局面でその人間が打った手を正解として、それを予測するプログラムである。

50 個の GPU で 3 週間かけて学習を行い、これによって予測率 57% の高確率の予測器を実現した。この DCNN は SL Policy Network と呼ばれる。

〈第 2 段階〉

上述の SL Policy Network を初期値とし、「自己対戦によるゲームの勝利」を報酬として強化学習 (Reinforcement Learning) を行った。ゲームにおける強化学習は例えばバックギャモンを対象とした研究が有名である。

第 1 段階のものと対戦させた場合に 80% 以上の勝率をあげる DCNN を実現した。この DCNN は RL Policy Network と呼ばれる。なお、この学習は 1 日で行われた。

〈第 3 段階〉

自動生成したデータから、局面の勝率を計算する DCNN である Value Network を作成した。

はじめに、途中まで SL Policy Network で自己対局させて、一手ランダムに打ち（ここがポイントである）、その後は RL Policy Network に勝負がつくまで打たせるということを繰り返し、3 000 万局面のデータを自動的に生成した。ここでデータといているのは、ランダムに打った直後の局面とその結果としての勝敗である。このデータから教師あり学習を行って、RL Policy Network によって局面の勝率を計算する Value Network を形成する。この学習には 50 個の GPU が用いられて 1 週間が費やされた。この Value Network が事実上の囲碁の評価関数であり、AlphaGo の強さの根源である。

〈第 4 段階〉

このようにして作成された第 1 段階の SL Policy Network と第 3 段階の Value Network と、従来の手法である MCTS を組み合わせて AlphaGo は構成されている。第 2 段階の RL Policy Network は、第 3 段階の Value Network を形成するためにだけに使われており、実際の対局では使われていないのは興味深い。

第 1 段階までは、2014 年までに発表された技術であり、すでにいくつかのコンピュータ囲碁プログラムも規模は違うものの導入が試みられていた。

第 2 段階以降が AlphaGo の新しい技術である。ここが AlphaGo の強さの秘密であるように思われる。特に不可能と思われていた囲碁の盤面評価関数を Value Network という形で勝率という形で表現できるようになったことは驚きである。

これを実現したのは、Google という大企業による潤沢なリソースがあることはいうまでもない。個人レベルで高価な GPU を 50 個もそろえることは容易ではないし、プロ棋士と対戦した AlphaGo は 1 000 個以上の CPU と 176 個もの GPU を使用しており、膨大なマシンパワーが費やされたことは事実である。さらに論文の著者は 20 名にも

上り、これだけの優秀な人材をたくさん集めたこともこの成功を支えている。

3. AlphaGo の達成したことと課題

Nature の時点での AlphaGo は確かにこれまでのコンピュータ囲碁よりも格段に強かったものの、まだ二段という弱いプロ棋士に勝っただけであり、トップレベルのプロ棋士とはかなりの実力差があったと思われる。2016 年 3 月 9 日から 15 日にかけて韓国のソウルで囲碁のプロ棋士のイ・セドルとコンピュータ囲碁 AlphaGo が 5 局互先（ハンディなし）で戦うというニュースが流れたときは、ほとんどのプロ棋士およびコンピュータ囲碁の関係者はイ・セドルが 5 連勝すると思っていた。しかし蓋を開けてみると AlphaGo が 4 勝 1 敗で勝利をした。Nature の時点からはるかに強くなっていたのである。しかもイ・セドルが明らかなミスをして勝ったというのではなく、AlphaGo が実力でイ・セドルを圧倒していた。AlphaGo は序盤でイ・セドルや解説のプロ棋士が理解できない手を打った。人間の常識からすると悪手に見えたのだが、対局が進んでみるとその手は良い手であることがわかった（人間がそれに気付いた時点ですでに手遅れで勝負は決まっていた）。これは、人間には見えない未来がコンピュータだけに見えていたことを意味している。大きな驚きであった。

AlphaGo が実現したことをまとめると、以下のようなことがあげられる。

- 1) DCNN を用いて、膨大な棋譜データからの学習でトッププロ棋士の直観的な手の生成に匹敵するほどの予測器をつくり上げた。
- 2) 自動生成したデータから、囲碁のような複雑な局面の優劣を理解する評価関数のようなものを Value Network という形で実現した。
- 3) 潤沢なハードウェアを用いて従来の MCTS の手法を組み合わせることで、トッププロ棋士に勝ち越すほどの囲碁のパフォーマンスを実現できることを示した。囲碁の局面認識のような複雑な問題

をディープラーニングの手法でうまく実現できることを示したことは、正直、大きな成果であったといえるだろう。これまでにディープラーニングが成功してきたのは画像認識や音声認識というパターン認識の分野であった。意思決定や問題解決という従来は主に記号処理で行ってきた対象についてはそれほどうまくいっていなかった。囲碁という対象はパターン認識と記号処理のちょうど中間に存在すると考えられる。囲碁は局面が(19×19=361か所)非常に広いので、人間も局面をパターンとして認識していると考えられる。パターン認識の結果に基づいて記号処理を(も)行って次の一手を考えるという問題解決を行っている。今回のAlphaGoの成功は、ディープラーニングがパターン認識から記号処理へと適用範囲を広げる走りとなることが期待される。

しかし、AlphaGoが実現できなかった問題も残されている。イ・セドルとの4局目では、思わぬ弱点をさらすこととなった。ここで露呈した問題は、MCTSを使っている以上避けられない問題であることは、実は対戦以前から指摘されていた。局面の直観的な認識能力は格段に上がったが、AlphaGoの探索部分は、相変わらずMCTSを使っている。モンテカルロアプローチの問題点として、探索の過程で乱数を使っている点があげられる。乱数を使って勝率の計算を行う以上、必然手の応酬のような直線的な先読みが困難であるという問題点が残っているのである。AlphaGoが間違えた局面も複雑で正確な先読みが必要とされる局面であった。AlphaGoはこういった複雑で正確な先読みの能力においては、まだプロ棋士には及ばないように見える。

2012年に狭い盤面で争う九路盤の囲碁において、プロ棋士3名と当時の世界チャンピオンプログラムZenが対戦

したが、実は6戦全敗している[伊藤13]。十九路盤よりかなり狭い九路盤では、読みの精度がクリティカルに影響し、MCTSの弱点がより露骨に現れる。正確な読みができるプロ棋士は、コンピュータの弱点を見切ったために、このような一方的な展開になったと思われる。AlphaGoもおそらく同じ弱点を抱えている。

人間のプレーや囲碁という問題を多角的に捉えることができる。局面全体を見て直観的に捉えることもできるし、局面を分割して部分的な石の死活や石の強弱を認識することも可能である。もっと言えば、九路盤という盤の大きさにも対応して、ゲームを認識して問題を解くことができる。AlphaGoは、教えられた枠組みの中で人間を超える直観的認識を身に付けた。ただ、局面を別の視点で切り分けて考えたり、囲碁という問題をどうやって解いたらよいかを自ら導いたりすることはできない。また、DCNNによって獲得した知識をかみ砕いて、人間の理解しやすい形で説明することもできない。

こういった課題は、多くの人工知能がこれから人間の社会に入っていく際の軋轢を生み出す可能性がある。AlphaGoのような囲碁という例題をもとに、人と知的システムとの新しい関係を考えていく契機になるかもしれない。

◇ 参 考 文 献 ◇

- [Buro 97] Buro, M.: The othello match of the year: Takeshi Murakami vs. Logistello, *ICCA J.*, Vol. 20, No. 3, pp. 189-193 (1997)
- [Clark 14] Clark, C. and Storkey, A.: Teaching Deep Convolutional Neural Networks to Play Go, arXiv:1412.3409 (2014)
- [伊藤 13] 伊藤毅志 ほか: ミニ特集「コンピュータ囲碁の最前線〜九路盤囲碁のイベントから〜」, 情報処理, Vol. 54, No. 3, pp. 232-250 (2013)
- [Maddison 14] Maddison, C. J., Huang, A., Sutskever, I. and Silver, D.: Move Evaluation in Go Using Deep

Convolutional Neural Networks, arXiv:1412.6564 (2014)

- [松原 15] 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 (2015)
- [Shaeffer 07] Schaeffer, J., Burch, N., Björnsson, Y., Kishimoto, A., Müller, M., Lake, R., Lu, P. and Sutphen, S.: Checkers is solved, *Science*, Vol. 317, pp. 1518-1522 (2007)
- [Silver 16] Silver, D., Huang, A., Maddison, C. J., Guez, A., Sifre, L., Drissi, G. v. d., Schrittwieser, J., Antonoglou, I., Panneershelvam, V., Lanctot, M., Dieleman, S., Grewe, D., Nham, J., Kalchbrenner, N., Sutskever, I., Lillicrap, T., Leach, M., Kavukcuoglu, K., Graepel, T. and Hassabis, D.: Mastering the game of go with deep neural networks and tree search, *Nature*, Vol. 529, pp. 445-446 (2016)
- [バンドルフィーニ 98] ブルース・バンドルフィーニ: ディープブルー vs. カスパロフ, 河出書房新社 (1998)
- [美添 12] 美添一樹, 山下宏著, 松原仁編: コンピュータ囲碁—モンテカルロ法の理論と実践, 共立出版 (2012)

2016年4月7日 受理

—— 著 者 紹 介 ——



伊藤 毅志 (正会員)

1994年名古屋大学大学院工学研究科情報工学専攻修士(工学博士)。同年より、電気通信大学助手。2007年より同助教。2010年改組により情報・通信工学専攻助教。ゲームを

題材とした認知科学的研究に従事。コンピュータ囲碁フォーラム(CGF)理事。エンターテイメントと認知科学研究ステーション代表。UEC杯コンピュータ囲碁大会および、電聖戦実行委員長。



松原 仁 (正会員)

1986年東京大学大学院工学系研究科情報工学専攻博士課程修了(工学博士)。同年、通商産業省工業技術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

て未来大学教授。2016年同副理事長。人工知能、ゲーム情報学などに従事。本学会会長。情報処理学会理事。コンピュータ囲碁フォーラム会長。

小特集「コンピュータ囲碁の新展開」にあたって

伊藤 毅志

(電気通信大学)

今年初めのアルファ碁の登場は、コンピュータ囲碁の世界を一変させた。2006年に現れたモンテカルロアプローチは、それまでアマチュア級位者レベルだったコンピュータ囲碁を数年の間にアマチュア有段者レベルに引き上げ、これもモンテカルロ革命と呼ばれるほどの大きな変革をもたらしたが、それを上回るぐらいのインパクトはあった。一昨年前ぐらいから現れたコンピュータ囲碁にディープラーニングを応用する手法は、もしかすると一つのブレークスルーになるかもしれないという期待はあったが、まさかこれほどまでに大きなブレークスルーになろうとは思わなかった。というのも、ディープラーニングは、あくまでモンテカルロ法と組み合わせることで効果の出る手法であり、モンテカルロ木探索の本質的な欠陥である「直線の先読みが難しい」という問題が残ると思われてきたからである。

しかし、アルファ碁は、Googleによる潤沢なハードウェアを背景に、次の手を予測する「ポリシーネットワーク」だけでなく、局面の評価関数に相当する「バリューネットワーク」までディープラーニングを使って実現してしまった。囲碁は、非常に感覚的な局面評価能力を必要とするゲームである。これは、高度に習熟した人間のみが獲得し得る能力であると思われてきた。しかし、ディープラーニングの手法はこの困難な課題に対して人間を上回るほど高度なレベルで実現してしまった。その結果として、モンテカルロ木探索の弱点も見えにくくしてしまうほどに成長してしまったように見える。

今回の小特集は、このような大きな流れの中で、開催されたUEC杯、電聖戦のそれぞれのイベントの報告である。そして、アルファ碁ほどではないにせよ、ディープラーニングという手法を取り入れつつあるコンピュータ囲碁プログラムがこの二つの大会でやはり存在感を示していることは、これらの記事からも読み取れる。

最初の著者の報告では、UEC杯、電聖戦がどのような状況下で行われたのか、活躍したZen(優勝)、

darkforest(準優勝)、CGI Go Intelligence(予選全勝)などのプログラムの棋譜を中心に紹介していく。

二つ目の加藤英樹氏には、優勝したZenの開発者代表の立場から、UEC杯、電聖戦で印象に残った棋譜をコンピュータの思考ログなどを交えてご解説いただいた。特に、Zenとdarkforestの対戦のログでは、序盤と中終盤のそれぞれのプログラムの特徴を交えつつ、興味深い分析が述べられている。

三つ目の酒井猛氏には、立会人としてこれらの対戦を見守っていただいたプロ棋士の立場から、注目の対局の2局を解説していただいた。やや専門的な解説になっているので、囲碁の知識の全くない読者には難しい内容かもしれないが、UEC杯決勝のZenとdarkforestの解説は、加藤氏の分析と比較して読むと非常に興味深い。ネット上の大会のページから[第9回UEC杯コンピュータ囲碁大会]、決勝の棋譜をたどることができる。この棋譜を再生しながら、これらの解説を読まれるとより一層理解が深まることと思う。

コンピュータ囲碁は、アルファ碁の登場で、一気にレベルが上がっている。来年は、UEC杯は第10回、電聖戦は第5回を迎える。コンピュータの棋力を人間の尺度で測る電聖戦は、来年で最後になるのではないかと考えている。

囲碁は、チェスや将棋のようなチェスライクゲームとは明らかに異なる技術で人知を超えていこうとしている。ディープラーニングによって得られた超人的な感覚の手を、人間はどのように咀嚼して理解していくのだろうか。非常に興味深い世界が、もうすぐそこに来ている。

◇ 参考文献 ◇

[第9回UEC杯コンピュータ囲碁大会] 第9回UEC杯コンピュータ囲碁大会2日目の結果: <http://jsb.cs.uec.ac.jp/~igo/result2.html>

小特集 「コンピュータ囲碁の新展開」

UEC 杯コンピュータ囲碁大会と電聖戦 2016

The UEC-Cup Computer Go Tournament and the Densei-Sen in 2016

伊藤 毅志
Takeshi Ito

電気通信大学
The University of Electro-Communications.
ito@cs.uec.ac.jp, <http://minerva.cs.uec.ac.jp/~itolab-web/wiki.cgi>

Keywords: computer go, competition, human vs. computer.

1. アルファ碁の登場と影響

UEC 杯と電聖戦は、毎年 3 月下旬に開催されてきた。この報告は、本学会誌でこれまでも報告させていただいてきた [伊藤 13, 伊藤 14, 伊藤 15]。今年 1 月にコンピュータ囲碁界を揺るがす衝撃的な論文が発表され [Silver 16]、3 月上旬には、ご存じのようにアルファ碁が世界トップレベルの棋士であるイ・セドル氏を相手に、4 勝 1 敗という鮮烈な対戦結果を残した [伊藤 16]。

アルファ碁が示したことは、大規模なマシンスペックを用いて、大規模な適切なディープラーニングの手法を用いれば、囲碁のような高度に専門的な局面認識能力を必要とするゲームでも、その能力を機械学習により獲得できる可能性があるということである。

いずれにしても、論文発表の影響は大きく、1 月後半の時点で、UEC 杯コンピュータ囲碁大会や電聖戦をどうするのかということが問題となった。

まず、論文が発表された時点で、アルファ碁の UEC 杯への参加申込みはなかった。すでに参加申込みは打ち切っていたので、UEC 杯に特別枠で参加する気はないかということ、アルファ碁の開発者の一人にメールで打診した。しかし、そのメールには反応はなく、UEC 杯への参加の可能性はないことを確認した。この期に及んで、UEC 杯をやらないという選択肢はないと思われ、UEC 杯は開催する方針がすぐに決まった。残るは、プロ棋士との置碁の定期戦である「電聖戦」をどうするかという点に絞られた。日本棋院を通して、すでに対戦が決まっていた小林光一名誉棋聖と連絡を取り合うとともに、協賛していただいている囲碁将棋チャンネルともギリギリの協議を重ねることとなった。

懸念材料としては、アルファ碁がイ・セドルと互先（ハンデなし）で対戦するのに、電聖戦は、置碁で対戦している場合なのか？ 対戦が白けてしまわないか？ 小林名誉棋聖に失礼にならないか？ など、考慮すべき問題は多々あった。何度も関係各方面と協議を重ね、ともあれ、3 月上旬の時点で、「UEC 杯の結果を見極めて、最

大でも二子の置碁での対戦とする」という方向で調整することになった。

2. 第 9 回 UEC 杯大会

UEC 杯コンピュータ囲碁大会は、モンテカルロアプローチが登場した 2007 年より、ほぼ毎年開催されている。第 1 回大会から今年の優勝プログラムと参加プログラム数の推移を表にしたものが、表 1 である。

第 1 回からモンテカルロ法の歴史とともにこの分野を牽引してきた Rémi Coulom 氏の「Crazy Stone」と国産のコンピュータプログラムであるチーム DeepZen の「Zen」が、ここ数年優勝を分け合っているのがわかる。また、今年は、2009 年の過去最多参加チーム数と同じ 32 チームの参加を集めた。なぜ参加チームが増えたのかはよくわからないが、昨年、電気通信大学で「コンピュータ囲碁講習会」を開催したことも影響しているのかもしれない [講習会]。

初日の予選の結果は、表 2 のとおりである。下馬評では、毎年優勝を争っている「Zen」と「Crazy Stone」に、初出場でアルファ碁と同様早くからディープラーニングの手法を取り入れていた Facebook AI research チームによる「darkforest」がどこまでこの優勝争いに食い込んで来るのか？ とのことであった。しかし、予選では、初出場のダークホース「CGI Go Intelligence（以下、CGI）」が「Zen」も破り全勝で予選を通過した。このプログラムは、台湾のゲーム研究者である I-Chen Wu 先生の研究室で開発されたプログラムで、ディープラーニングの手法も取り入れて、約 6 か月の開発期間でここまでのプログラムを開発してきた。ディープラーニングの手法の優秀性を示す結果となった。

メインプログラムは学生であったこともあり、このプログラムが、学生賞を受賞した。予選 2 位、3 位、4 位は、6 勝 1 敗で「Crazy Stone」、「Zen」、山下 宏氏の「AYA」が入った。いずれも規模は小さいもののディープラーニングの手法を導入して、昨年よりネット上で 1～2 段ほど強くなっているとのことであった。

表1 UEC杯コンピュータ囲碁大会の歴史

回	開催日	参加数	優勝	準優勝	第3位	エキシビジョン	ハンデ	COM
1	2007年12月1, 2日	28	Crazy Stone	勝也	MoGo	佐川央 (5d) vs. Crazy Stone	互先	Lose
2	2008年12月13, 14日	29	Crazy Stone	不動碁	Many Faces of Go	青葉かおり (4p) vs. Crazy Stone	七子	Win
3	2009年11月28, 29日	32	KCC 囲碁	勝也	Zen	青葉かおり (4p) vs. Zen	六子	Lose
						鄭銘理 (9p) vs. KCC 囲碁	六子	Lose
4	2010年11月27, 28日	28	Fuego	Zen	Erica	青葉かおり (4p) vs. Zen	六子	Win
						鄭銘理 (9p) vs. Fuego	六子	Lose
5	2011年12月3, 4日	24	Zen	Erica	Aya	小林千寿 (5p) vs. Erica	六子	Lose
						鄭銘理 (9p) vs. Zen	六子	Win
6	2013年3月16, 17日	22	Crazy Stone	Zen	Aya	多賀文吾 (アマトップ) vs. Crazy Stone	互先	Lose
7	2014年3月15, 16日	16	Zen	Crazy Stone	Aya	田中義国 (6d) vs. Zen	互先	Win
8	2015年3月14, 15日	22	Crazy Stone	DolBaram	Aya	榑原昌人 (7d) vs. Crazy Stone	互先	Lose
9	2016年3月19, 20日	32	Zen	darkforest	Crazy Stone	吉崎久博 (6d) vs. Zen	互先	Win

表2 第8回 UEC杯初日 (予選) の結果

プログラム名	1回戦	2回戦	3回戦	4回戦	5回戦	6回戦	7回戦	勝敗分	ソル	SB/MD	順位
CGI GO Intelligence	nlp	Juli	stor	Ray	Gota	DolB	Zen	7-0-0	31	31.0/22	1
	○	先○	○	先○	先○	○	先○				
Crazy Stone	Gona	Aya	Pueg	MFG	迷い	Zen	dark	6-1-0	32	26.0/18	2
	先○	○	○	先○	先○	先×	○				
Zen	MC_a	勝也	dark	迷い	MFG	Craz	CGI	6-1-0	31	24.0/16	3
	先○	○	○	先○	先○	○	×				
Aya	Holm	Craz	迷い	MC_a	Qino	Pueg	Gona	6-1-0	28	22.0/15	4
	○	先×	○	先○	○	先○	先○				
Gonzanza	Craz	Holm	Nomi	勝也	Pueg	MFG	Aya	5-2-0	31	19/11	5
	×	先○	○	先○	先○	○	×				
Ray	care	shri	GNU	CGI	DolB	dark	Gota	5-2-0	30	18.0/11	6
	○	先○	○	×	先○	×	先○				
DolBaram	Juli	nlp	ball	Gota	Ray	CGI	stor	5-2-0	30	18.0/11	7
	○	先○	先○	○	×	先×	先○				
darkforest	Kugu	Nomi	Zen	Igop	MC_a	Ray	Craz	5-2-0	19	17.0/10	8
	○	先○	先×	○	先○	先○	先×				
Holmes	Aya	Gona	Deep	Kugu	勝也	迷い	shri	5-2-0	25	14.0/8	9
	先×	×	先○	先○	○	○	先○				
GoTaiji	shri	care	Igop	DolB	CGI	stor	Ray	4-3-0	29	12.0/6	10
	先○	先○	先○	先×	×	先○	×				
Puego *1	Nomi	Kugu	Craz	GNU	Gona	Aya	Deep	4-3-0	28	11.0/6	11
	先○	○	先×	先○	×	×	○				
MC_ark	Zen	Qino	Kugu	Aya	dark	Igop	ball	4-3-0	27	10.0/5	12
	×	先○	先○	×	×	先○	先○				
Many faces of Go	碁理	Deep	勝也	Craz	Zen	Gona	Nomi	4-3-0	26	9.0/5	13
	先○	先○	○	×	×	先×	先○				
shrike	Gota	Ray	きふ	Juli	nlp	GNU	Holm	4-3-0	25	11.0/6	14
	×	×	○	○	○	先○	×				
storm *2	L.O.	Wing	CGI	ball	GNU	Gota	DolB	4-3-0	24	8.0/5	15
	○	先○	先×	○	先○	×	×				
nlp *2	CGI	DolB	L.O.	care	shri	ball	Juli	4-3-0	24	8.0/5	16
	先×	×	先○	○	先×	○	○				
勝也 *3	Qino	Zen	MFG	Gona	Holm	トリ	Wing	3-4-0	26	6.0/2	17
	○	先×	先×	×	先×	○	○				
Julie *3	DolB	CGI	Wing	shri	care	Qino	nlp	3-4-0	26	6.0/2	18
	先×	×	○	先×	先○	○	先×				
Nomitan	Pueg	dark	Gona	Qino	トリ	Wing	MFG	3-4-0	24	6.0/2	19
	×	×	先×	先○	先○	○	×				
GNU GO	トリ	きふ	Ray	Pueg	stor	shri	Igop	3-4-0	22	5.0/2	20
	先○	○	先×	×	×	×	先○				
Kugutsu	dark	Pueg	MC_a	Holm	きふ	碁理	care	3-4-0	22	4.0/1	21
	先×	先×	×	○	○	先○	先○				
ballade	Wing	L.O.	DolB	stor	Igop	nlp	MC_a	3-4-0	21	4.0/2	22
	先○	先○	×	先×	○	先×	×				
迷い碁	Deep	碁理	Aya	Zen	Craz	Holm	トリ	2-5-0	28	3.0/0	23
	○	先○	先×	×	×	先×	×				
caren	Ray	Gota	トリ	nlp	Juli	Deep	Kugu	2-5-0	23	4.0/0	24
	先×	×	○	先×	×	先○	×				
Igoppy	きふ	トリ	Gota	dark	ball	MC_a	GNU	2-5-0	22	3.0/0	25
	先○	○	×	先×	先×	×	×				
QinoIgo	勝也	MC_a	碁理	Nomi	Aya	Juli	きふ	2-5-0	21	2.0/0	26
	先×	×	○	×	先×	先×	○				
Deep Esper	迷い	MFG	Holm	きふ	L.O.	care	Pueg	2-5-0	18	1.0/0	27
	先×	×	×	○	先○	×	先×				
Wingo	ball	stor	Juli	L.O.	碁理	Nomi	勝也	2-5-0	17	1.0/0	28
	×	×	先×	○	先○	先×	先×				
トリプルアイズ	GNU	Igop	care	碁理	Nomi	勝也	迷い	2-5-0	16	3.0/0	29
	×	先×	先×	○	×	先×	先○				
きふわらべ	Igop	GNU	shri	Deep	Kugu	L.O.	Qino	1-6-0	16	0.0/0	30
	×	先×	先×	先×	先×	○	先×				
碁理夢中	MFG	迷い	Qino	トリ	Wing	Kugu	L.O.	1-6-0	15	0.0/0	31
	×	×	先×	先×	×	×	先○				
L.O.C Gig	stor	ball	nlp	Wing	Deep	きふ	碁理	0-7-0	17	0.0/6	32
	先×	×	×	先×	×	先×	×				

* 1 の Puego は、カテゴリー B のため予選のみ * 2、* 3 は勝敗、ソルコフ、SB 値もすべて同点だったため、くじ引きで順位を決定した

そして、5～9位までに2敗勢がひしめき合った。コンピュータ将棋「Bonanza」の作者で有名な保木邦仁氏はディープラーニングの手法を用いた「Gonanza」というプログラムで、初出場ながら5位に食い込む活躍を見せて注目を集めた。6位には、電気通信大学の大学院生 M2 の小林佑樹氏の「Ray」, 7位には昨年準優勝した韓国の Lim Jaebum 氏の「DolBaram」, 8位には Facebook AI Research の「darkforest」, 9位にはアメリカから初参加の Peter Jin 氏の「Holmes」がそれぞれ入った。

アルファ碁とは規模は違うものの、多くのプログラムがディープラーニングの手法を取り入れて、確実にレベルが上がっていることは、素人目にも明らかであった。

図1は「CGI Go Intelligence」が「Zen」に勝利した総譜である。昨年までは、「Zen」, 「Crazy Stone」の2強プラス「DolBaram」, 「Aya」の優勝争いであったが、

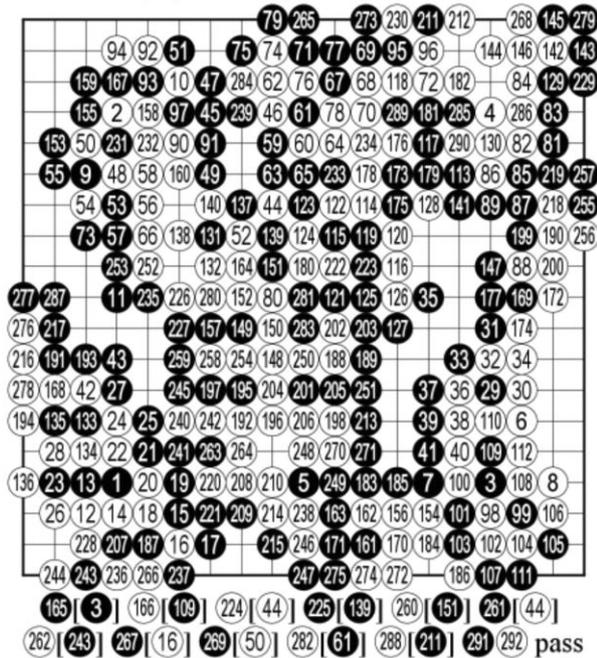


図1 予選7回戦 Zen(黒)対 CGI Go Intelligence(白). オペレータ投了により白の勝ち



図2 予選全勝で旋風を起こした CGI 開発チーム. 左は I-Chen Wu 先生, 右はのぞき込む王 銘琬九段

今年は、ディープラーニングを取り入れたプログラムの躍進が目立ち、2敗ぐらいまで(上位9位まで)は、どのプログラムも優勝争いに絡んでもおかしくないぐらいにレベルが上がっていた。ディープラーニングという新しい技術が、この分野の勢力図を大きく塗り替えたといえる。

予選の活躍から CGI 開発チームは、多くの注目を集め、図2のように、対局中には、多くの観戦者を集めた。観戦に来た王 銘琬先生も興味深く戦況を見つめていた。

翌日の決勝は、図4～図6のように予選の順位に応じてトーナメントの山に割り振られる。予選で、「Crazy Stone」と「Zen」が2位、3位となったため、両者が勝ち進めば準決勝で当たる山に入った。一方の山には、「CGI」と「Aya」が入り、どちらが決勝に進出するのにも注目が集まった。

「Zen」と「Crazy Stone」が順調に勝ち進み、準決勝で対戦し「Zen」が予選に続いて「Crazy Stone」に勝ち決勝に駒を進めた。一方、「CGI」は準々決勝で「darkforest」に敗れ、優勝争いから早々に姿を消した。「darkforest」はその勢いのまま、「Aya」にも勝ち決勝に進出した。「darkforest」のメインプログラマである Yuandong Tian 氏は、予選での不具合を修正して決勝に臨んだとのことで、それが功を奏した形となった。

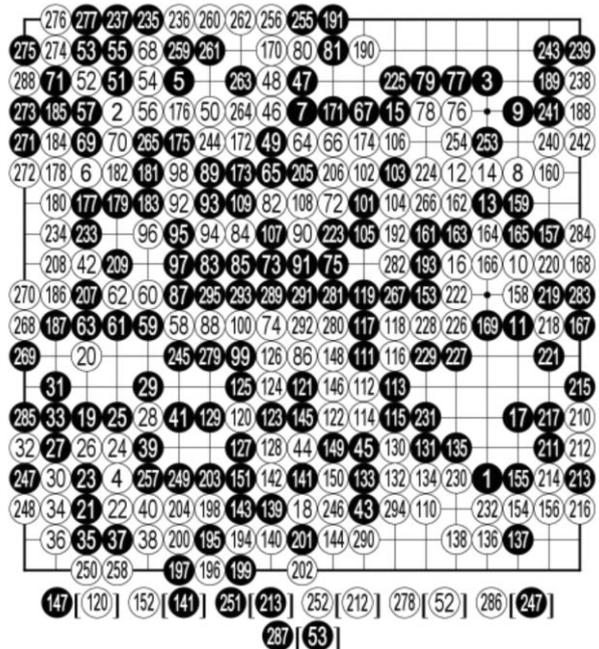


図3 決勝戦 darkforest(黒)対 Zen(白). オペレータ投了により白 Zen の勝ち

決勝は、図3のように初出場の「darkforest」と優勝候補の「Zen」の顔合わせとなった。詳細は、加藤氏の自戦記と酒井先生の解説に任せるが、序盤の「darkforest」の打回しは、「Zen」を上回り、解説のプロ棋士も唸る良い手を連発していた。ディープラーニングを採用すると、序盤から中盤の手がかなり洗練される傾向にある。これ

は、ディープラーニングによって、人間らしい大局的な判断能力を獲得できるためと推察される。「Zen」もディープラーニングを取り入れているが、より本格的に取り入れている「darkforest」のほうが、序盤に関してはうまく打っていた印象がある。しかし、中盤以降の攻め合いでは「Zen」が盛り返し、最終的には、「Zen」が「darkforest」を破り、2年ぶり3度目の優勝を飾った。

初出場で準優勝に輝き、決勝トーナメントを大いにわかせた「darkforest」は、図7である。

決勝の午後には、解説は神田英九段、聞き手は桑原陽子六段による解説会が行われたが、「darkforest」の序盤の感覚の良さを見て、解説のお二人も、「今までのコンピュータ囲碁プログラムとはひと味違う」との驚きの声を上げていた。図8は、解説会の様子である。

3. 電 聖 戦

電聖戦は、2012年に日本棋院と電気通信大学との間

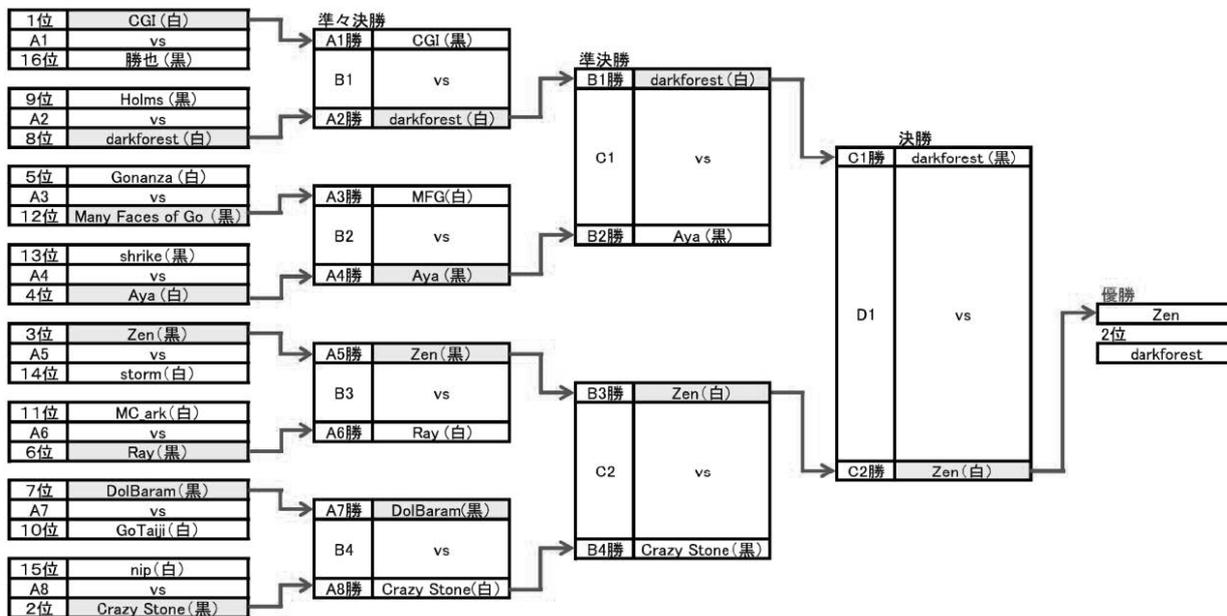


図4 第9回 UEC 杯二日目 (決勝) メイントーナメント

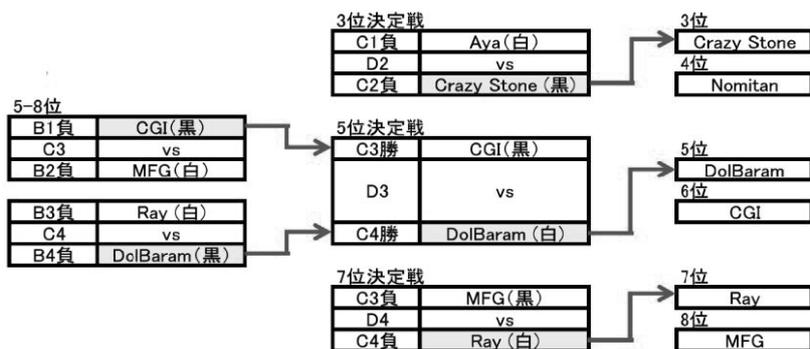


図5 第9回 UEC 杯二日目 (決勝) 3～8位決定トーナメント

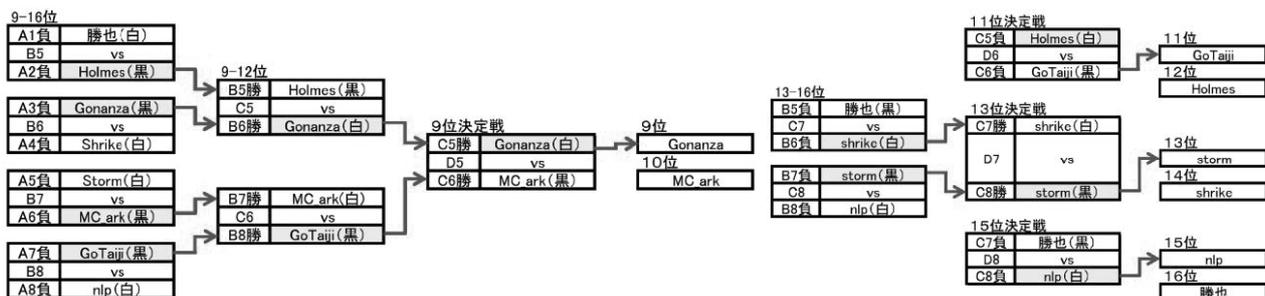


図6 第9回 UEC 杯二日目 (決勝) 9～16位決定トーナメント



図7 大活躍した「darkforest」開発チーム。
左：Yuandong Tian 氏



図8 UEC 杯 2 日目午後解説会の様子。
左：桑原陽子六段，右：神田英九段

で結ばれた「コンピュータ囲碁の発展に関する覚書」に基づいた活動で、2013 年よりほぼ毎年開催されている。

過去に行われた電聖戦のプロ棋士と出場プログラム、そして過去の対戦結果を表にまとめたものが、表 3 である。

ここ数年、棋士とコンピュータ囲碁との手合では、四子と三子の間に大きな壁があるように見える。実際、モンテカルロ法の出現以降、順調に伸びていた棋力もここ数年、その進歩に陰りが見えていた。今年の UEC 杯は、ディープラーニングの登場で、アルファ碁ほどではないにせよ、大きなレベルアップが見られた。

今年は、小林光一名誉棋聖をお迎えして、準優勝、優勝プログラムがプロ棋士に挑む形となった。UEC 杯の結果を受けて、直ちに関係者で議論して、最終的に、以下のような手合割に落ち着いた。

- 第 1 局：小林光一名誉棋聖 対 darkforest
⇒手合割：三子
- 第 2 局：小林光一名誉棋聖 対 Zen
⇒手合割：第 1 局で小林先生が勝った場合は三子、darkforest が勝った場合は二子

電聖戦は、今年から、電気通信大学の東地区の大人数を収容できる講義室において行われた。「darkforest」の Yuandong Tian 氏も緊張の面持ちで対局に向けた(図 9)。



図 9 電聖戦第 1 局対局前の様子。
左：Yuandong Tian 氏 (darkforest) 右：小林光一名誉棋聖

解説場では、昨年電聖戦で対戦した趙 治勲 25 世本因坊と聞き手に万波奈穂三段を迎え行われた。治勲節が炸裂し、笑いの渦が巻き起こっていた(図 10)。



図 10 電聖戦解説会の様子

第 1 局の対局は、「darkforest」が序盤、三子のハンデとは思えない見事な打回しで、優勢を維持する。趙 治勲九段も「darkforest」優勢と解説していた。ところが

表 3 過去の電聖戦とその結果

回	開催日	対戦プロ棋士	対戦コンピュータ(作者・チーム)	手合割	勝敗
プレマッチ	2012 年 3 月 17 日	武宮正樹九段	Zen (Team Deep Zen)	五子	Zen 10 点勝ち
		武宮正樹九段	Zen (Team Deep Zen)	四子	Zen 19 点勝ち
第 1 回	2013 年 3 月 20 日	石田芳夫九段 (24 世本因坊秀芳)	Zen (Team Deep Zen)	四子	石田芳夫九段 中押し勝ち
		石田芳夫九段 (24 世本因坊秀芳)	Crazy Stone (Rémi Coulom)	四子	Crazy Stone 3 目勝ち
第 2 回	2014 年 3 月 21 日	依田紀基九段	Crazy Stone (Rémi Coulom)	四子	Crazy Stone 2 目半勝ち
		依田紀基九段	Zen (Team Deep Zen)	四子	依田紀基九段 中押し勝ち
第 3 回	2015 年 3 月 17 日	25 世本因坊治勲	DolBaram (Lim Jaebun)	四子	DolBaram 中押し勝ち
		25 世本因坊治勲	Crazy Stone (Rémi Coulom)	三子	25 世本因坊治勲中押し勝ち

中盤で「darkforest」がミスを連発し、形勢を損ね始める。231手の局面で、オペレータが投了の意思を告げ、白の勝ちとなった。総譜は、図11のとおりである。終局の局面であるが、対局を観戦していた複数のプロ棋士の見解では、白がかなり追いつけてはいるものの、この後正確に打てば、黒が有利の局面とのことであった。そのため、なぜ、この局面で投了したのかに疑問が集まった。

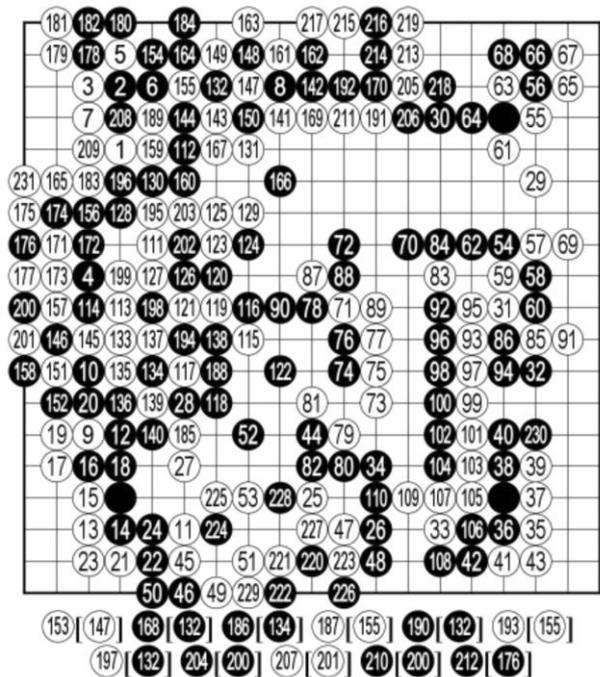


図11 電聖戦第1局総譜。
小林光一名誉棋聖 (白) 対 darkforest (黒)
オペレータ投了により白の勝ち

対局後、詳細を Tian 氏に尋ねると、Tian 氏自身は、それほど強くなく、この局面でどちらが優勢かはわからなかったが、コンピュータが死活をいくつか大きく誤って認識していて、この局面ではすでにコンピュータの勝率がかなり低くなっていたこと、ネットで本局を見ていた囲碁の強い共同開発者がこれ以上対局しても勝てる見込みがないと判断し、投了を示唆したことで、投了という判断になったとのことであった。観戦していた人達か



図12 電聖戦第2局対局前の様子。
左：加藤英樹氏 (Zen)，右：小林光一名誉棋聖

らすると、早すぎる投了のようには見えましたが、プログラムからすると、妥当な判断だったようだ。

第1局の結果を受けて、第2局も三子というハンデ戦になった(図12)。第2局の対局は、第1局とは対照的な展開となった。「Zen」の序盤の打ち手に対する趙治勲九段の評判はかなり悪かった。悪いながらも、決定的な差がつくことなく僅差で対局は進行する。終盤に入り、盤面を数えてみると、どうも「Zen」が若干余していることが判明し、人間から見ると不思議な対局となった。総譜は図13である。

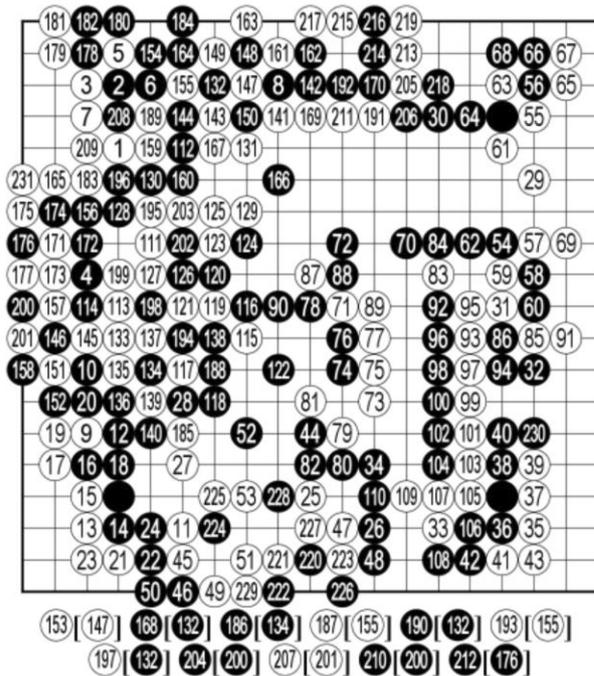


図13 電聖戦第2局総譜。
小林光一名誉棋聖 (白) 対 Zen (黒)
4目半差で黒の勝ち

4. まとめと展望

第10回 UEC 杯は、アルファ碁の影響もあり、結果として注目を集める大会となった。アルファ碁には及ばないものの、多くのプログラムがディープラーニングの手法を取り入れており、その結果、序盤で非常に人間らしい感覚の良い手が選ばれることが示された。

電聖戦でもその傾向は見られた。ディープラーニングで強くなった「darkforest」は、序盤でプロ棋士も感心する良い手を連発していた反面、中終盤に難が見られた。一方、「Zen」もディープラーニングの手法を取り入れて序盤が大幅に改善したものの、中終盤はモンテカルロの比較的正確な読みの力を見せつけた。モンテカルロ木探索の手法は、直線的な先読みや複数の部分で正確な読みが必要とされる局面では、その乱数を用いた手法のせいで弱点を見せる。その問題は残されているものの、ディープラーニングの圧倒的な能力は、その弱点を感じさせな

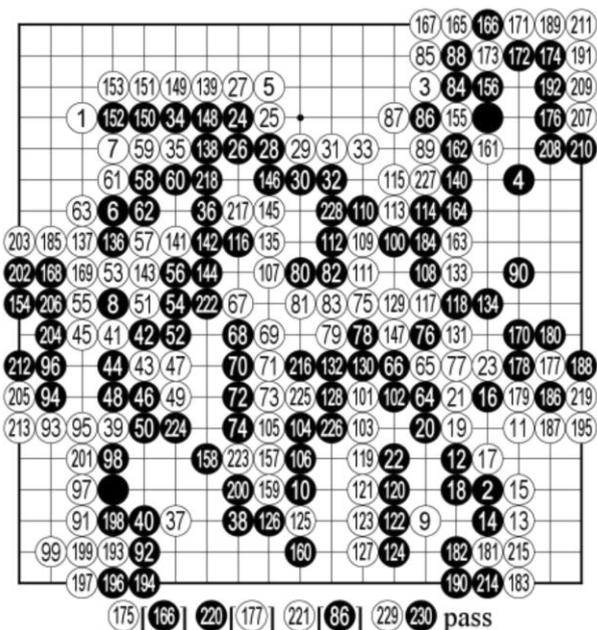


図 14 人工知能学会全国大会特別セッション.
武宮陽光六段 (白) vs Zen (黒) (二子)
黒 9 目半勝ち

いようなパフォーマンスを生んでいる可能性がある。

「Zen」は、電聖戦に先立って、栢森情報技術科学財団の 20 周年事業で、2 月 4 日に伊田篤史十段 (当時) と四子で対戦し、勝利を収めている。また、電聖戦終了後には、6 月 7 日に本学会の全国大会において、武宮陽光六段と二子で対戦し、こちらも勝利を収めている (図 14)。

昨年までは、プロ棋士を相手に四子勝つのも難しかったことを考えると、着実にステップアップをしている印象がある。そして、それを支えている技術がディープラーニングである。

「Zen」の開発グループは、ドワンゴの支援を得て、今年の 3 月 1 日に「Deep Zen Go プロジェクト」を発表し、本格的な開発を進めているが、6 月の本学会全国大会のイベントでは、まだこのプロジェクトのプログラムではない。このプロジェクトのプログラムがヴェールを脱ぐときには、どのようなパフォーマンスを見せるのかは楽しみである。

一方、アルファ碁もさらに進化を続けているらしい。こちら、近いうちに何らかの発表があるのではないかと噂されている。

おそらく来年の UEC 杯では、ディープラーニングを搭載していることが決勝に残るための最低限の技術になっている可能性もある。

コンピュータ囲碁は、アルファ碁の登場以降、昨年までの予想とは大きく変わる展開を見せている。一気に人間のトップを凌駕するレベルに到達することが予想される。コンピュータ囲碁の進化は、囲碁界に新たな視点と革新をもたらすことであろう。

◇ 参 考 文 献 ◇

[伊藤 13] 伊藤毅志 編著：UEC 杯と電聖戦 2013 速報 (特集)，人工知能学会誌，Vol. 28, No. 5, pp. 754-784 (2013)
 [伊藤 14] 伊藤毅志，村松正和：UEC 杯コンピュータ囲碁大会と電聖戦 2014 (特集)，人工知能，Vol. 29, No. 4, pp. 311-315 (2014)
 [伊藤 15] 伊藤毅志：UEC 杯コンピュータ囲碁大会と電聖戦 2015 (小特集)，人工知能，Vol. 30, No. 5, pp. 671-677 (2015)
 [伊藤 16] 伊藤毅志，松原 仁：Alpha Go の技術と対戦，人工知能，Vol. 31, No. 3, pp. 441-443 (2016)
 [講習会] http://entcog.c.ooco.jp/entcog/cg_koushu.html
 [Silver 16] Silver, D., Huang, A., Maddison, C. J., Guez, A., Sifre, L., Driessche, G. v. d., Schrittwieser, J., Antonoglou, I., Panneershelvam, V., Lanctot, M., Dieleman, S., Grewe, D., Nham, J., Kalchbrenner, N., Sutskever, I., Lillicrap, T., Leach, M., Kavukcuoglu, K., Graepel, T. and Hassabis, D.: Mastering the game of go with deep neural networks and tree search, *Nature*, Vol. 529, pp. 445-446 (2016)

2016 年 8 月 6 日 受理

著 者 紹 介



伊藤 毅志 (正会員)

1994 年名古屋大学大学院工学研究科情報工学専攻博士課程修了。博士 (工学)。同年より電気通信大学助手。2007 年より同助教。2010 年改組により情報・通信工学専攻助教。ゲームを題材とした認知科学的研究に従事。コンピュータ囲碁フォーラム (CGF) 理事。エンターテイメントと認知科学研究ステーション代表。UEC 杯コンピュータ囲碁大会、電聖戦の実行委員長。

小特集 「コンピュータ囲碁の新展開」

自戦記

—第9回 UEC 杯と第4回電聖戦—

Zen on the 9th UEC Cup and the 4th DENSEI-SEN

加藤 英樹
Hideki Kato

チーム DeepZen
Team DeepZen
hideki.kato@ybb.ne.jp, <http://www.gggo.jp/>

Keywords: computer go, Monte-Carlo go, deep learning.

第9回 UEC 杯コンピュータ囲碁大会と第4回電聖戦での Zen の対局を振り返り、コンピュータ囲碁ソフトの現状と今後について考察する。

1. はじめに

2016年3月19・20日の両日、東京・調布の電気通信大学で第9回 UEC 杯コンピュータ囲碁大会（以下、UEC 杯）^{*1}が開かれました。この大会の優勝・準優勝ソフトは、同月23日に同大学で行われる第4回電聖戦（以下、電聖戦）^{*2}で、小林光一名誉棋聖^{*3}と対局することができます。本稿では、UEC 杯と電聖戦を Zen の対局を通じて振り返ります。以下、2章で UEC 杯の予選と決勝を、3章で電聖戦をおのおの分析し、4章で課題などをまとめます。

2. 第9回 UEC 杯

昨年までは Zen と Crazy Stone の二強が優勝を争っていましたが、今年は darkforest や CGI など、ディープラーニングを応用して急速に強くなったプログラムがどの程度のパフォーマンスを示すかに興味が集まりました。もちろん Crazy Stone や Zen もディープラーニングを使った版で参加しています。

Zen は、昨年決勝の2回戦で伏兵の Nomitan に負けてしまったので、今年はぜひとも雪辱を果たしたいところですが、新顔が多いため予想ができません。一日目の予選、二日目の決勝を通して、すべての対局は19路、日本ルール、コミ6目半、30分切れ負けで行われました。

2.1 一日目・予選ラウンド

一日目の予選は、Zen と CGI が最終（第7）ラウンドで全勝同士で当たり、2目半差で CGI が勝ち（図1）、1位で予選を通過しました。以下、2位 Crazy Stone、3位 Zen、4～8位は Aya、Gonanza、Ray、DolBaram、darkforest と、3回以上参加しているのは3チームだけというフレッシュな顔ぶれになりました^{*4}。この結果、Zen と Crazy Stone は翌日の決勝トーナメントで同じ山になるので、どちらか片方しか決勝に進めません。詳細は公式結果^{*5}をご覧ください。

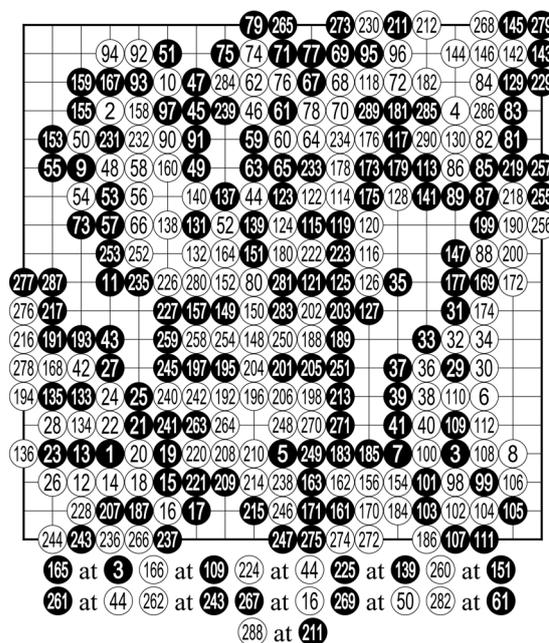


図1 今大会唯一の Zen の黒星、UEC 杯予選最終ラウンド、CGI (黒) 対 Zen の総譜。290手完、黒2目半勝。Zen の上辺の打ち方に問題があったようで、黒167で二子を飲み込まれてしまっは足りないようです

*1 <http://jsb.cs.uec.ac.jp/~igo/>

*2 <http://entcog.c.ooco.jp/entcog/densei/densei4/index.html>

*3 <http://www.nihonkiin.or.jp/player/htm/ki000001.htm>

*4 Zen と Crazy Stone 以外のプログラムが予選1位になったのは2008年12月の第2回大会以来です。

*5 <http://jsb.cs.uec.ac.jp/~igo/result1.html>

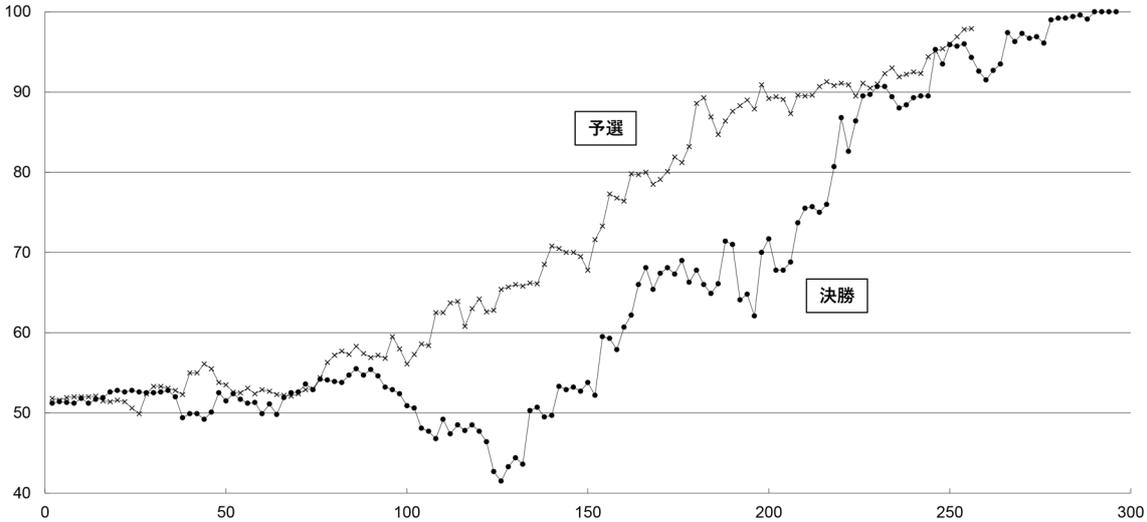


図2 UEC杯のZenとdarkforestの対局2局の勝率の推移。
横軸は手番、縦軸は勝率

2・2 二日目・決勝トーナメント

予選トップの CGI が予選 8 位の darkforest に敗れ、Zen は宿敵 Crazy Stone に連勝したので、決勝戦は Zen 対 darkforest という組合せになりました。図 2 は、予選と決勝の対 darkforest 2 局の Zen から見た勝率の推移です。

Zen は予選で darkforest に勝っている (図 3) ので、私としては CGI が来るよりありがたいという気持ちでした。中盤、かなり危ない局面もあって冷や冷やさせられました。相手のミスもあって何とか勝つことができました。

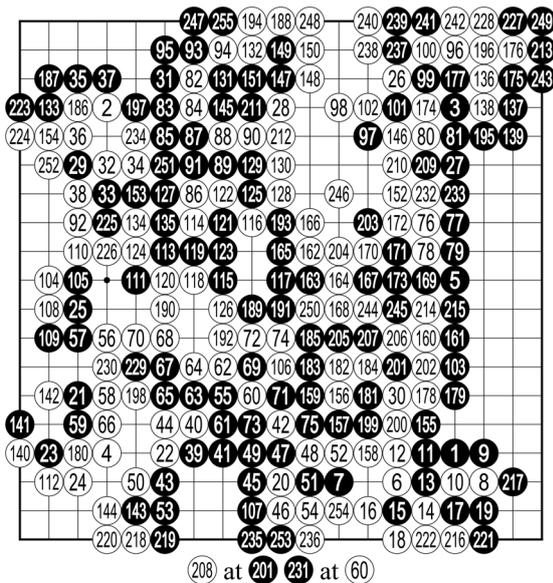


図3 UEC杯予選第3ラウンド、darkforest (黒) 対 Zen の総譜。
255 手完、白 12 目半勝。勝率 (図 2 の「予選」) が 60% を超えたのが白 108 で、左辺の黒石の死を見ている。白 150 では二子を取られたために若干下がっているが、その後は形が決まってきたために大きく上昇している

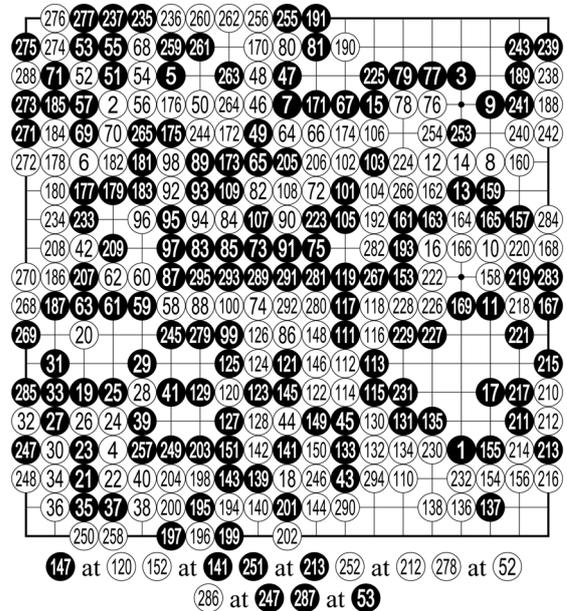


図4 UEC杯決勝、darkforest (黒) 対 Zen の総譜。
295 手完、白中押し勝

決勝戦は、握りで予選と同じく Zen が白、darkforest が黒と決まりました (図 4)。大体どんな相手でも序盤は Zen のほうが下手で、中盤で逆転するのが基本的な流れなのですが、この碁の場合白 76 までの勝率は予選と似た推移をした後、120 ~ 130 手目辺りで大きく下がっており、Zen が苦しいことがわかります。

白 104 で 50% を切り、白 122 から黒を強引に切断したものの、白 126 では 41.5% まで下がっており、中央の白がかなり危いようです。白 134 で何とか 50% に戻したところに、darkforest に何か誤算があったのでしょうか、黒 141 のハネコミが悪く、逆転ムード。白 142 で一息ついた後の白 154 が非常に大きく、勝率が 60% 近くまで上がりました。

黒 157 からの折衝は黒の大損で、ここも何か誤算が

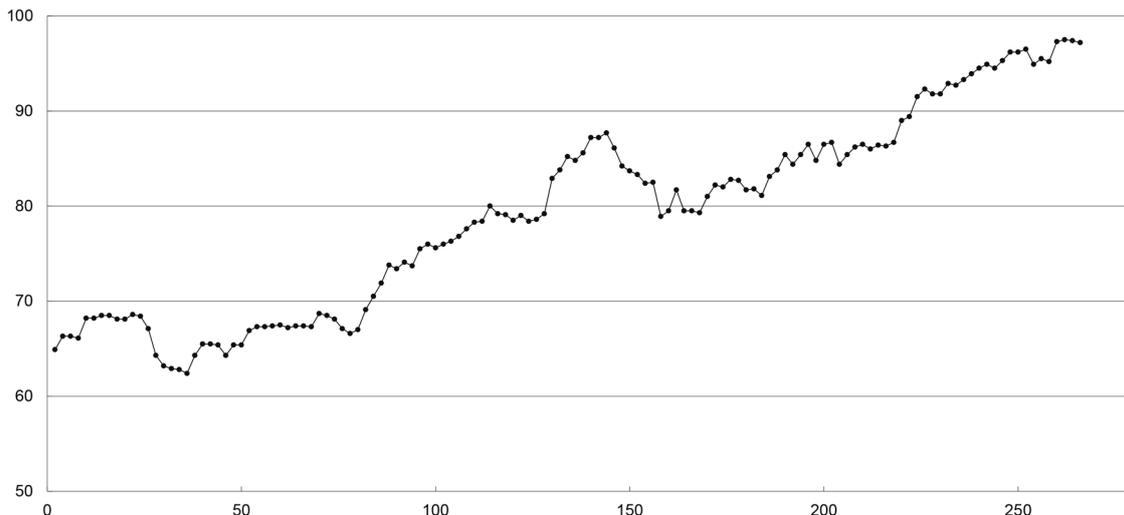


図5 電聖戦のZen(黒)対小林光一九段の三子局の勝率の推移。
横軸は手番, 縦軸は勝率。

あったのでしょうか。また、白196に対する黒197は明らかなミスで、黙って白198にツイておくほうが優りました。この辺りはDCNNでは対応できない接近戦でのモンテカルロ(MC)シミュレーションの質の差が現れているようです。

結局、この対局のポイントは中央の攻め合いです。MC碁の場合、最終的に手を決定するのはシミュレーションです。強い人間の手を学習したDCNNで探索時にバイアスを与えることで、筋・形の良い手だけを重点的に探索することができるようになりましたが、DCNNでは対応できない攻め合いや死活はシミュレーション次第なので、やはりシミュレーションの出来は重要です*6。

3. 第2回電聖戦

電聖戦はプロ棋士と対局できる数少ない機会なので、嬉しい反面、対局中にトラブルが起きないように気を遣います。プロ棋士側の時間計測には対局時計を使い、秒読みは時計係りの学生が行いますが、Zenの消費時間は実際の盤への着手やパソコンとの入出力を行う際の遅延が影響しないようにコンピュータの内部時計による計測を用います。総譜を図6に、勝率の推移を図5に載せました。

Zenは2月に伊田十段(当時)と四子で対局して勝っており、今回は満を持しての三子局になります。開発者としては五分五分と考えていましたが、何とか4目半残すことができました。

図5の開始時の勝率が65%近辺なのは、置き石三子

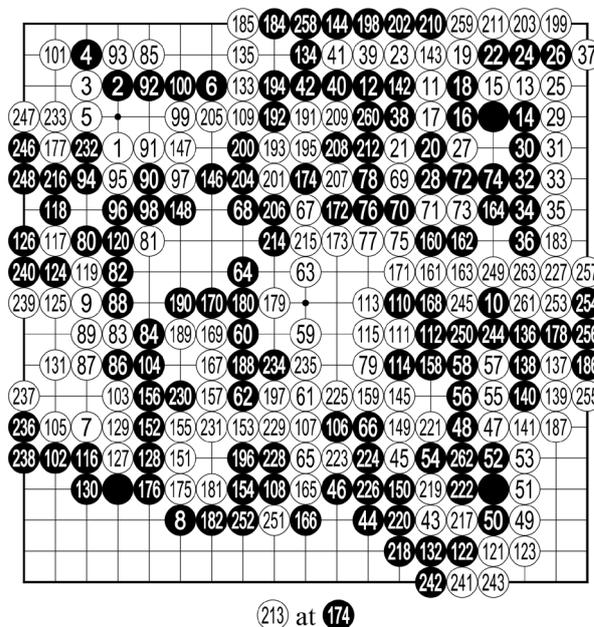


図6 電聖戦2局目,Zen(黒)対小林光一名誉棋聖(三子)の総譜。
263手完, 黒4目半勝

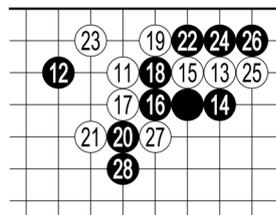


図7 手順前後。
黒20では、白21のハネを防ぐために、
白11の上にキリを入れなければならない

分です。序盤、黒26から黒28の二手(図7)で勝率が5%以上下がっていますが、これは黒20が原因です。黒22に切って隅を取る場合は、先に白11の上に切るのが正しい手順で、白は白21にハネることができません。

*6 アルファ碁 [Silver 16] が導入した value network はこの問題を改善する一つの方法ですが、碁の局面数の多さに DCNN だけで対応できるか否かはまだはっきりしません。

- [加藤 13b] 加藤英樹：自戦記—第6回 UEC 杯と第1回電聖戦—, 人工知能学会誌, Vol. 28, No. 5, pp. 771-774 (2013)
- [加藤 14] 加藤英樹：自戦記—第7回 UEC 杯と第2回電聖戦—, 人工知能, Vol. 29, No. 4, pp. 318-321 (2014)
- [Silver 16] Silver, D., Huang, A., Maddison, C. J., Guez, A., Sifre, L., Driessche, van den G., Schrittwieser, J., Antonoglou, I., Panneershelvam, V., Lanctot, M., Dieleman, S., Grewe, D., Nham, J., Kalchbrenner, N., Sutskever, I., Lillicrap, T., Leach, M., Kavukcuoglu, K., Graepel, T. and Hassabis, D.: Mastering the game of go with deep neural networks and tree search, *Nature*, Vol. 529, pp. 484-503 (2016)

2016年8月6日 受理

著者紹介



加藤 英樹

1953年生まれ。1980年東京工業大学大学院理工学研究科情報工学専攻修士課程修了。同年、東京工業大学工学部助手。1982～2001年株式会社富士通研究所で応用人工知能、Lisp処理系、人工神経回路網などの研究開発に従事。2006～10年東京大学大学院情報理工学系研究科創造情報学専攻博士課程でコンピュータ囲碁を研究。IPSJ, IEICJ, JNNS, ICGA 各会員。CGF 理事。チーム DeepZen 代表。

小特集 「コンピュータ囲碁の新展開」

プロ棋士から見た UEC 杯と電聖戦

The UEC Cup and the Densei-Sen from Professional Viewpoint

酒井 猛
Takeshi Sakai

日本棋院棋士
Nihonkiin.

<http://www.nihonkiin.or.jp/player/htm/ki000039.htm>

Keywords: computer go, Monte-Carlo go, deep learning.

1. 前年度からの大きな飛躍

昨年の UEC 杯から王 銘琬さんに替わり、今年は電聖戦を含めて立会いを務めさせていただいたが、その第一の印象は、前年度から大きなレベルアップがあったということである。

これまでは、優勝候補チームであっても実力の割にかなり違和感のある着手がときどき見られ、これがコンピュータ囲碁と人間の相違であると感じていたが、今回は上位 10 チームでも、そのような不協和音的な着手がかなり少なく、特に布石、中盤で人間の感性にぐっと近づき、碁の次元が 1 段階どころか 2 段階ほど上がり、親しみすら感じるほどになっていた。

その実力もかなり向上し、昨年度の電聖戦では四子局で勝っても三子局では碁の形を為していない惨憺たる状態であったが、今年の電聖戦では二局とも三子局でありながら、優勝チームの Zen は勝ち切り、準優勝チームの darkforest でも敗れたとはいえ、後半までは圧勝と思われる見事な内容を見せていた。

これは、多くの参加チームが昨年頃から登場したディープラーニングの手法を短期間で取り入れたことにあるが、さらに驚かせられたのは、初出場の CGI と darkforest の活躍である。CGI は初日予選を全勝の一位通過、darkforest は決勝トーナメントで準優勝となったが、その両チームはいずれもディープラーニングがもてになったプログラムとのことであった。特に darkforest は今大会の参加時点で、開発からわずか 1 年にも満たないとのことである。

これと対照的だったのが昨年に準優勝し、電聖戦でも四子とはいえず、趙 治勲名誉本因坊に見事に勝利した DolBaram である。決勝トーナメントで五位、初日の予選では何と八位と出遅れた。聞けば、DolBaram はあえてディープラーニングを取り入れなかったとのことであった。このことから、コンピュータ囲碁においてディープラーニングの手法がいかに適し重要であるかを改めて感じさせられた。

2. UEC 杯決勝戦: Zen (白) 対 darkforest (黒)

この碁は黒の darkforest の長短が如実に出て、前半から後半に入る直前まで、ほぼ見事で完勝と思いきや、詰めの段階でやりすぎによる損害を重ねて惜敗した。優勝した Zen も、昨年までとは大違いで、碁がかなりきれいになり、また大局的な急所も良く捉えて立派な内容であったが、中盤折衝で darkforest の筋の良さに遅れを取って苦戦を強いられた。しかし、darkforest との大きな違いは後半の詰めの段階が安定しており、結局その差で勝利を手に入れた。

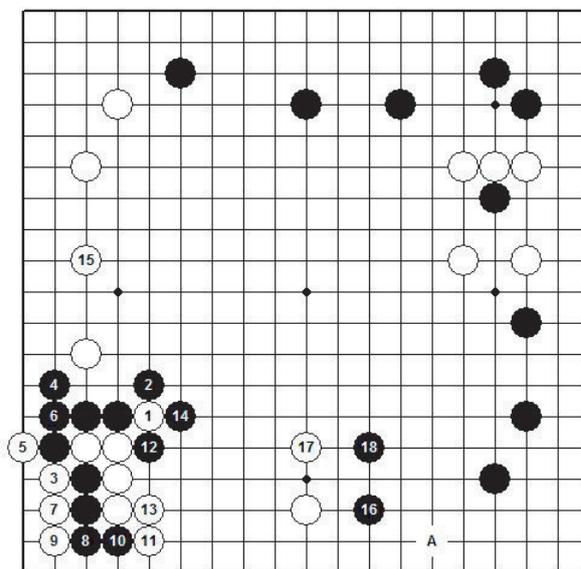


図 1 UEC 杯決勝戦。
「Zen (白) 対 darkforest (黒)」第 1 譜

図 1 の第 1 譜の白 1 は手順前後の悪手とされ、やはり黒 14 による中央ボン抜きは絶大であるが、Zen はなぜかほぼ同形で電聖戦でも打っている。

黒 16 ~ 18 は、そのボン抜きを生かす絶好点。白 A のオキ筋が気になるが、些細なことは気にしない。

図 2 で、白 1 は、この一手と思えるが、Zen は的確に

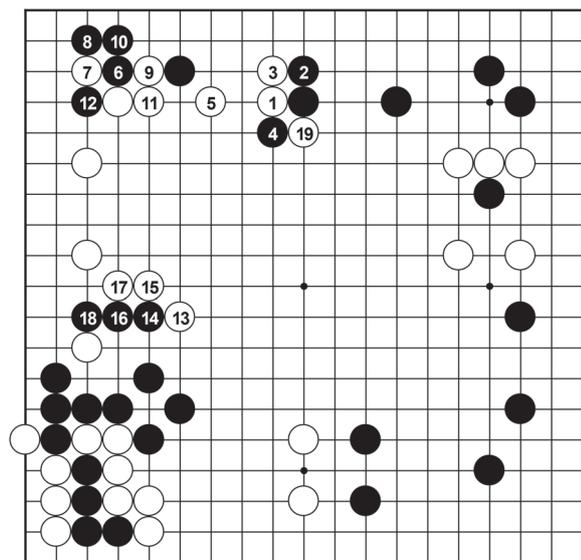


図2 UEC杯決勝戦。「Zen (白) 対 darkforest (黒)」第2譜

捉えている。ここで、黒2は疑問。白3の押さえ込みが好着で、右辺の黒地が軟弱にされたからであるが、この手にZenの底力を感じる。

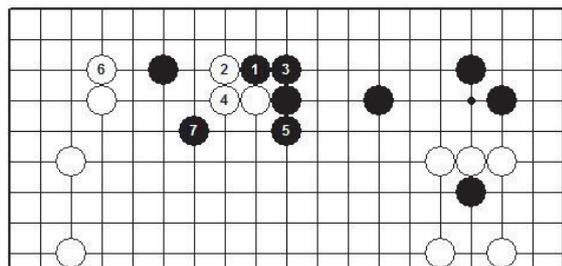


図3 UEC杯決勝戦。「Zen (白) 対 darkforest (黒)」第2譜の変化図1

図3は、第2譜の変化図で、黒は上辺の地を大切にすべく、黒1～3であるべきで、白4に、さらに5に伸び切り、白6であれば黒7という感じはいかがか？

続いて、黒4も疑問。白5により、白19の厳しい切りを残したからである。

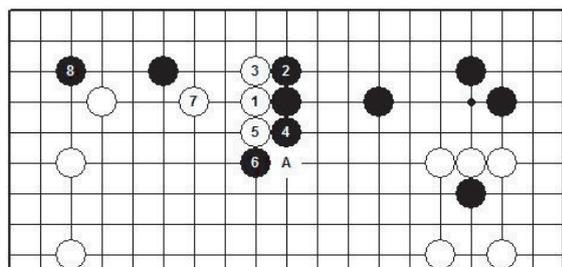


図4 UEC杯決勝戦。「Zen (白) 対 darkforest (黒)」第2譜変化図2

図4のように、黒は4～8であれば、白Aが緩和されている。

図2に戻るが、隅が一段落して、白13は、19の切りを見た事前工作であり、このZenの発想は素晴らしい。しかし、その事前工作は必要だったのかは疑問であり、また、果たして本当に利いたのかも疑問は残る。

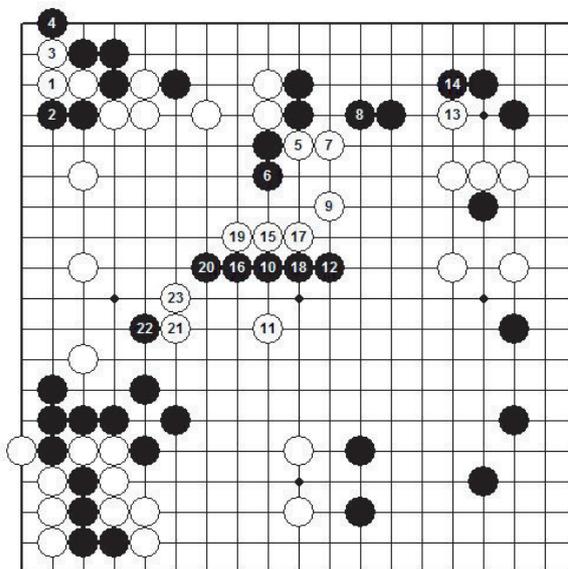


図5 UEC杯決勝戦。「Zen (白) 対 darkforest (黒)」第2譜の変化図3

図5のように、白は1～4を先に決めて、直ちに大急所である5の切りで何の問題もなく、以下11まで、ここで黒が左辺連絡を計ればかえって危険の可能性大である。そこで黒が実戦同様の12であれば、白13を決めて白15が形崩し筋で、以下21～23となれば、かえって実戦より優れる。

黒14～18の治まりは情けないが、どうやらdarkforestは攻めの効果を過大評価していると思われ、したがって、攻められることを避ける傾向がある。

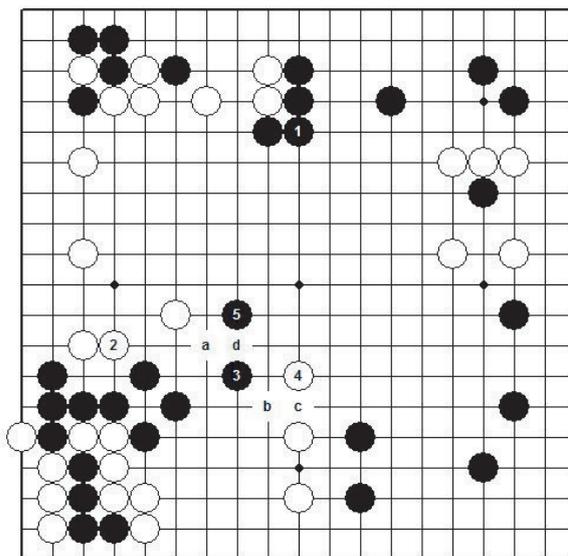


図6 UEC杯決勝戦。「Zen (白) 対 darkforest (黒)」第2譜の変化図4

図6で、黒は放置して、1のツナギが大急所であった。白2には黒3～5で何の問題もない。なお、白aには黒b～dが良い。

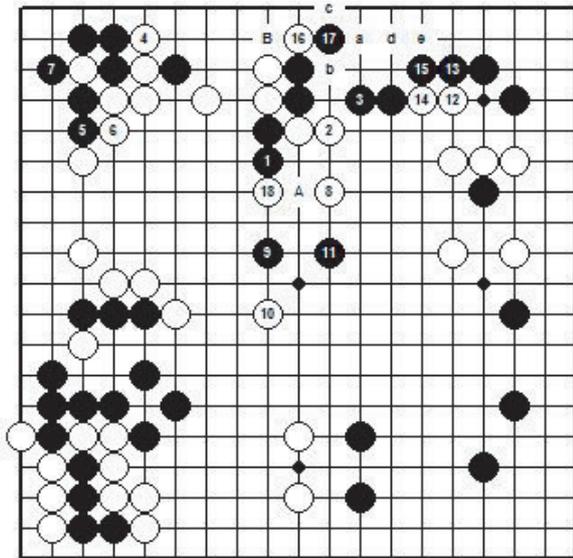


図7 UEC杯決勝戦。
「Zen(白)対darkforest(黒)」第3譜

図7の黒1～3は当然で、白8も穏当。黒9に白10で白好調。黒11も、次にAのコスミツケを見て良い感じ。ここで、白12～17の決めは、白18を前提とする支度と思われるが、疑問。白Bにつないだ後の白aは、黒b～dで止まっているが、白12～15がなければ、黒dに白eがうるさいからである。

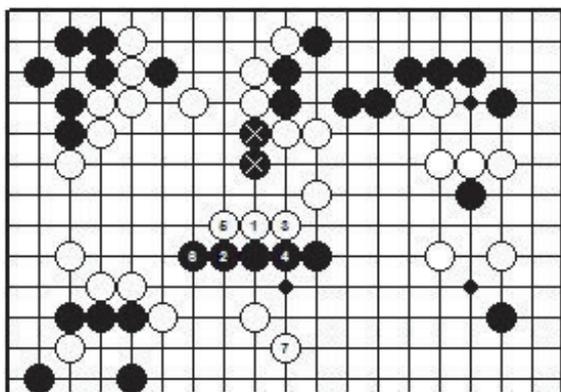


図8 UEC杯決勝戦。
「Zen(白)対darkforest(黒)」第3譜の変化図

図8のように、白1が黒の形崩し筋であり、黒2に白3、5を決めてから、実戦の7であれば、黒×を味良く取り込めることから、大事な中央の黒五子への攻めが大いに期待できる。

この図のように進んでいけば、形勢は白有望であったと思われる。

図9から、darkforestの見事な手づくりが展開される。まず、黒1の飛びが、単なる切り筋だけでなく、捕獲さ

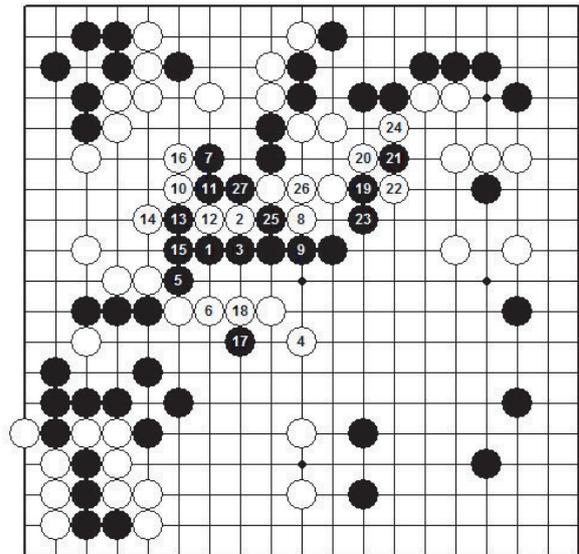


図9 UEC杯決勝戦。
「Zen(白)対darkforest(黒)」第4譜

れつつある黒二子を生かす機を待つ感じが素晴らしいセンス。これに対する白2～4も、実践的な強手であり、Zenの良さが出ている。そこで、黒は5の切りを決めてから7の飛びが、ひとまずの捨て石筋。

白は8を決めて以下16までひとまず黒を捕獲するのも必然。そこで、黒19～21が鮮やかな手筋。以下27まで、黒は捕獲された石が見事に生還し、何よりも中央の黒が安泰となり、この攻防は黒の大戦果で終わり、同時にこの碁も終わったと思われた。

ただし、この大戦果は白22の失着の加担もある。

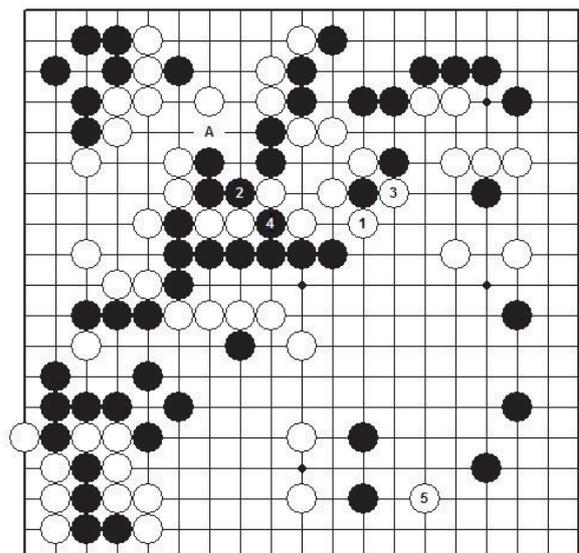


図10 UEC杯決勝戦。
「Zen(白)対darkforest(黒)」第4譜の変化図

図10の白1～4までであれば、右辺の白地が大違い。後に味の良い白Aが利く可能性もある。それでも黒の成功に変わりはなく、形勢も黒が良いが、白5に入ってま

だ戦える碁である。Zenがこのような単純ミスをするとは意外であった。

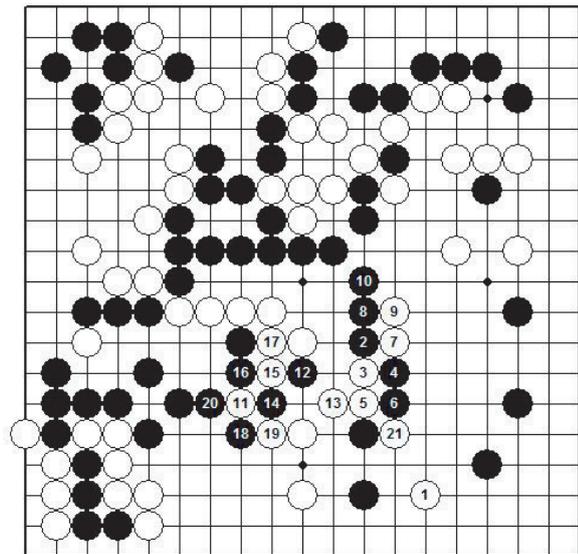


図 11 UEC 杯決勝戦。「Zen (白) 対 darkforest (黒)」第 5 譜

図 11 の黒 2 に対する白 3～11 は、局面打開を図る必至の対応で、ここにも Zen の実戦的な強さが見て取れる。

ここで、黒 12 は良いとして、黒 14～20 が信じがたいほどの大失着であり、白 21 に切られて下辺が破綻状態。黒 14 は、21 の切りに備えれば、碁は大勝。

darkforest は攻めの方に意識が行っており、守りを忘れていた傾向があり、形勢判断による選択も全くできていない可能性もある。

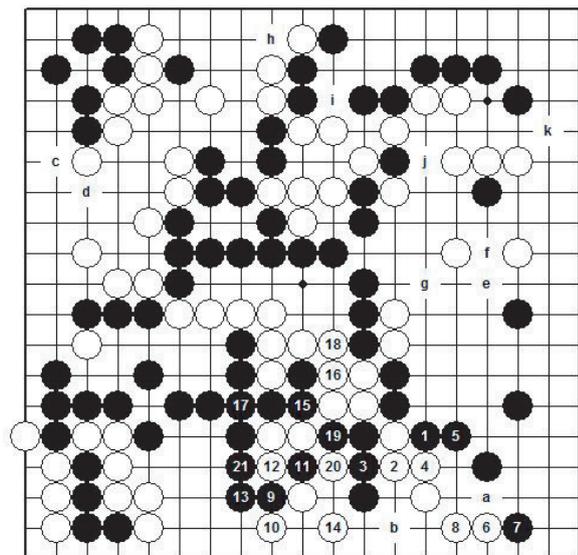


図 12 UEC 杯決勝戦。「Zen (白) 対 darkforest (黒)」第 6 譜

図 12 で、白 6 に対して、黒が直ちに 7 を決めたのが味消しで、これではすでに取られている。

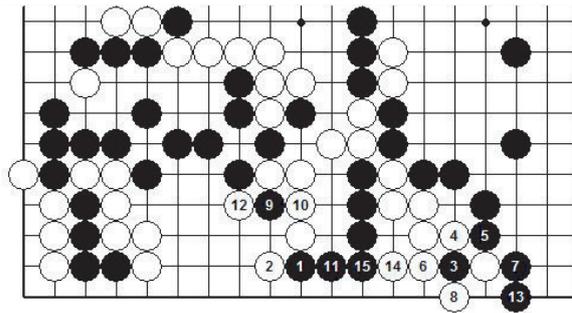


図 13 UEC 杯決勝戦。「Zen (白) 対 darkforest (黒)」第 6 譜の変化図

図 13 で、黒 1 を決めてから 3～8 の決めが手順。そこで、黒 9～11 が好手順で、以下 15 まで劫になり、これであればまだ黒が大分良い。

図 12 に戻って、さらに、黒 9～14 まで交換したことにより、大事な黒 a が利かなくなり、大損して、碁もこの時点で怪しくなった。黒 11 では、a～k であれば、まだ黒が良い。

darkforest は、中盤戦の攻防では見事な石さばきであるが、詰めの段階での折衝ではかなりおかしくなる。

3. 電聖戦第 1 局 (小林名誉棋聖 対 darkforest)

図 14 で白 1 は珍しい手だが、これに黒 2 はほど良いヒラキであり、プロ感覚の見事な対応である。白 3 の掛かりに黒 4 の挟み、白 5～7 に黒 8 も適切だが、黒 10～14 では黒▲が凝って甘く、白 19 の絶好点を許しては、やはりまだまだかと思われた。黒 10 は単に 12 が良く、白 13 に黒 19 の大場を占めるべきであり、そこで白 a は黒 14、白 b に黒 15、白 17、黒 21 で、黒▲が輝いて白は全くいけな。したがって白は、実戦同様に、白 15 以下 21 が相場であり、そこで黒 A になるところ。

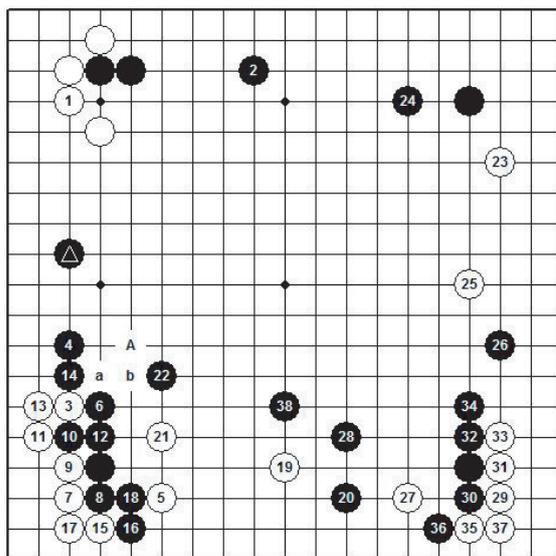


図 14 電聖戦第 1 局 (三子局)。「小林名誉棋聖 (白) 対 darkforest (黒)」第 1 譜

黒 20～22 は、それでも左隅の厚みを生かすべく肉薄している感じは、遅ればせながら好感で、このプログラムの特徴が感じられる。さらに白 29～31 に対する黒 32 は部分的に不合理な観音開きであるが、それにかかわらず大局的な厚みで押すディープラーニングの特徴が感じられ、その最たるものが白 35～37 のハネツナギを放置した、対局上の好点である 38 の桂馬止めである。小林名誉棋聖も、下辺に開かせた黒の甘さから、このハネツナギ放置は予想外であったと思われる。

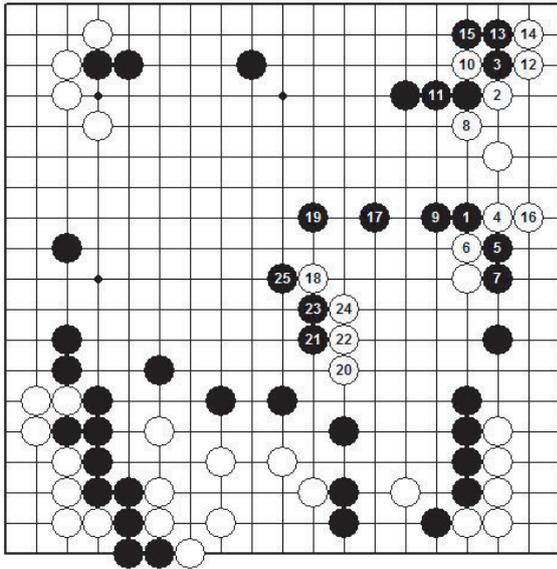


図 15 電聖戦第 1 局 (三子局)
「小林名誉棋聖 (白) 対 darkforest (黒)」第 2 譜

図 15 で、黒は先手で下辺を封じ込めた後、黒 1 の高打込みが、まさに「この一手」ともいえる確かな痛打である。しかし黒は、下辺の白は好形で治められ、右下隅は観音開きにより地がはなはだ甘く、下辺からの模様も決して厚くはないので、この時点で碁は二子程度と思われるが、全局で押すこのプログラムの特徴が顕著である。

さて、ここで白は 2 以下 16 まで収まったが、黒 17 により、白 6 の二子が弱いことから、薄い面もあった下辺黒模様が充実し、さらに上辺模様もかなり見込めることから、これまでの黒の一貫した模様構想が最大に活かされ、この時点で黒の必勝形と思われる。

そこで、小林名誉棋聖の着手で恐縮だが、実戦白 2 で、図 16 変化図の白□を重視して白△を軽く見て、1～5 はどうか？

下方からの広大な黒模様であるが、薄い面もあることから、白□がしっかりすれば、白 A からの寄りつきも期待できるので、三子局として黒も勝つまでいまだ大変であると思うが？

白 18 以降に対する黒 19～25 まで、あくまでも外回りで勝率が高く盤石。

図 17 において、白は 1～3 の支度から、当初の狙い

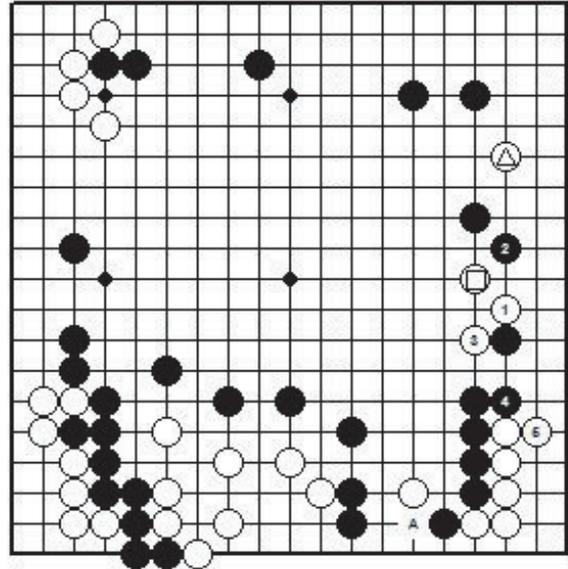


図 16 電聖戦第 1 局 (三子局)
「小林名誉棋聖 (白) 対 darkforest (黒)」第 2 譜変化図

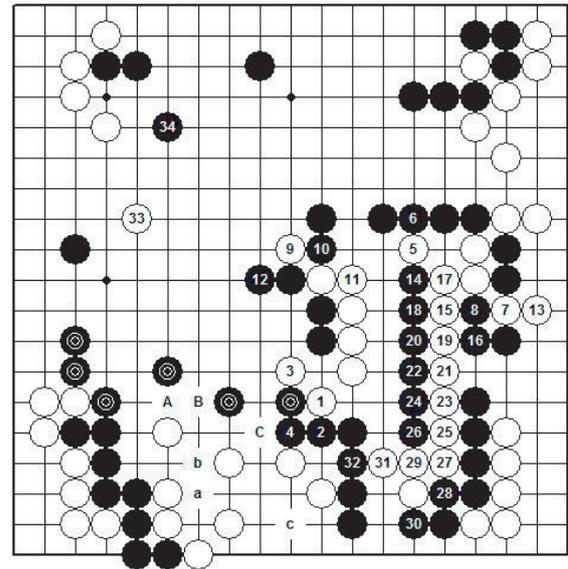


図 17 電聖戦第 1 局 (三子局)
「小林名誉棋聖 (白) 対 darkforest (黒)」第 3 譜

筋である 5～7 の決行であるが、これに黒は 8～14 の急所により、以下 32 までの対応も見事。しかも、黒 2, 4 に石が来たことから、下辺の白はかなり薄く、白は A, B, C のいずれかが利かなければ黒 a～c で死んでしまう。つまり黒◎の外壁は、見た目は薄いですが、実際には黒石が一つ追加されるに等しいので極めて頑強であり、それを黒が認識しているかどうか、今後の黒の応手になる。

その意味からも、白 33 の消しに対する黒 34 の絶好点による反発は当然ながら素晴らしい。

図 18 の第 4 譜で、白は 1 を決めて 3 に踏み込み、黒 4 に白 5 を決めて 9 まで利かせて中央下方の削減に成功したが、実際には黒 6 に石が来たことから、下辺白は、黒 a～k で頓死であった。小林名誉棋聖も下辺の危険は感じていたと思われるが、三子局でもあり、それを心配

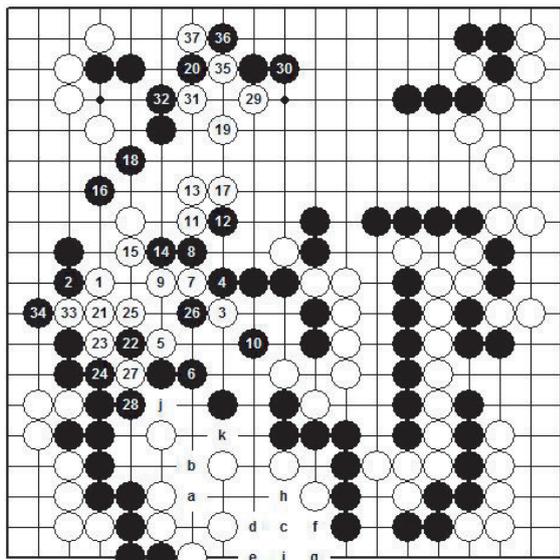


図18 電聖戦第1局 (三子局).
「小林名誉棋聖 (白) 対 darkforest (黒)」第4譜

してられる状況ではないからである。しかし、黒は下辺の死活が分かっていなかったが、これだけの実力者としてはかなりお粗末である。

黒16は筋の良い好着だが、さらなる黒18に、このプログラムの特徴が感じられる。此の手は白を遮断して自ら連絡する厚い手ではあるが、いわば駄目の手であり、白19の絶好点からの上辺進出を与えて大損である。

黒18は、図19変化図の1に構えて、白に2の駄目を打たせ、以下5までであれば大勝。これがプロ棋士の選択であり、また、これまでのプログラムの選択であると思われる。

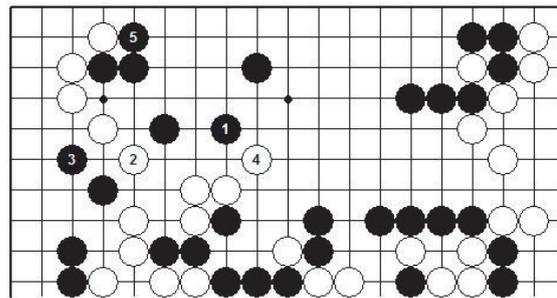


図19 電聖戦第1局 (三子局).
「小林名誉棋聖 (白) 対 darkforest (黒)」第4譜変化図

図18に戻り、黒20は一見、形だが連絡が薄く、これは31が厚い連絡。白29, 31でその弱点を突かれ、以下37までの大きな劫に持ち込まれてから混乱を来たし、1年未満という開発期間の浅さが露呈した後半であったが、それでも最後の投了時点で黒が残っていたとは驚きであった。

2016年8月6日 受理

—— 著 者 紹 介 ——



酒井 猛

1948年1月2日生まれ。東京都墨田区出身。1960年故中岡二郎七段に入門。1964年入段、1965年二段、同年三段、1967年四段、1968年五段、1970年六段、1973年七段、1978年八段、1981年九段。1985年訪中普及活動。日本棋院東京本院所属。

特集 「2016 年度人工知能学会全国大会（第 30 回）」

公開イベント「コンピュータ囲碁はどこまで人間に迫れるか」

松原 仁（公立はこだて未来大学）

人工知能学会全国大会では4年前から人間とコンピュータ囲碁の公開対局を行っている。その目的は、

1. 人工知能のグランドチャレンジの一つとされるコンピュータ囲碁がどれくらい強くなったかを知ってもらう。
2. コンピュータ囲碁を通じて一般の方々に人工知能の現状を知ってもらう。

である。そのため、この公開対局は全国大会の参加者だけでなく、広く地元の方々（主に囲碁ファン）に無償で見せていただいている。今年 Google が開発した AlphaGo が韓国のトッププロ棋士のイ・セドルに勝ったことによってコンピュータ囲碁への関心がさらに高まっている状況での開催となった。

今回は人間としてプロ棋士の武宮陽光六段を日本棋院から紹介していただいた。コンピュータ側は昨年のコンピュータ囲碁イベントの実績から日本一と判断した Zen である。解説は日本棋院の武宮正樹九段（陽光六段の父親）をお願いした。司会進行は例年同様に伊藤毅志氏（電気通信大学）。聞き手は荒木伸夫氏（電気通信大学）をお願いした。地元の中村貞吾氏（九州工業大学）にサポートいただいた。

毎年ハンディについては悩ましい。今年の春にコンピュータの Zen が三子のハンディをもらって小林光一九段に勝ったことを受けて、二子のハンディ（黒半目コミ出し）で挑戦することにした。プロ棋士に二子のハンディでコンピュータ囲碁が対戦するのは国内では初めてのことだと思われる。

6月7日に行われた武宮陽光六段と Zen の囲碁の対戦は Zen が9目半差で勝利した（以下に棋譜を示す）。

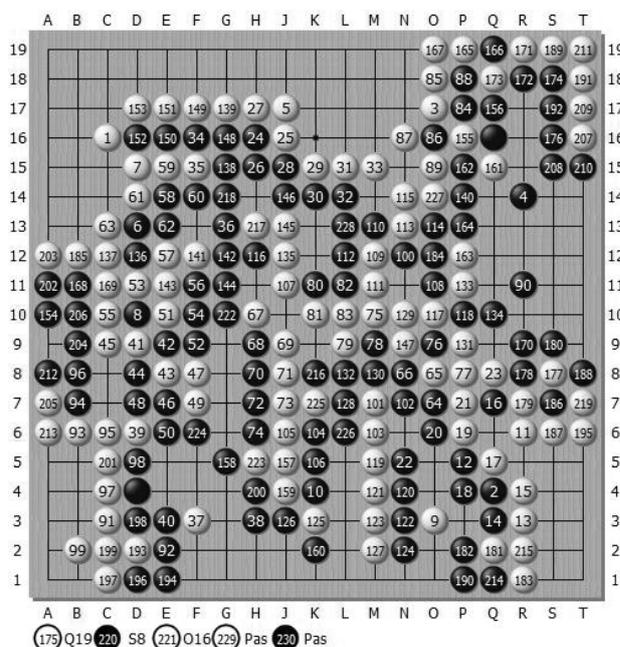


図1 棋譜

大会参加者だけでなく、地元の多くの囲碁ファンに観戦していただいた。また、地元の新聞やテレビにも対戦が取り上げられた。AlphaGo だけでなく日本の Zen も強いことが人工知能関係者ならびに囲碁ファンにわかっていただけたものと思っている。結果として前記の目的を果たすことができたものと考えている。対戦していただいた武宮陽光六段、DeepZen の加藤英樹氏を始め協力していただいた方々に深く感謝する。

Article “Master” の衝撃

Impact of “Master”

大橋 拓文
Hirofumi Ohashi

日本棋院棋士六段
Nihon Ki-in, Tokyo Hon-in.
xsp7top@yahoo.co.jp

伊藤 毅志
Takeshi Ito

電気通信大学情報理工学研究所
The University of Electro-Communications.
taito@mbc.nifty.com

Keywords: computer Go, Master, AlphaGo, reinforcement learning.

1. Master の登場と衝撃

2016 年 12 月 29 日、インターネット囲碁対局場「東洋囲碁」に Master なる打ち手が現れ、2016 年大晦日まで世界トップ棋士を含む相手に 30 連勝。2017 年元日から所を変え、インターネット対局場「野狐囲碁」で世界タイトルおよび各国タイトル経験者に 30 連勝、合わせて 60 連勝となった。一部対戦相手が不明な対局や複数回対戦した棋士もいるが、名前が判明しているだけで 35 人の日・中・韓・台のトップ棋士が対戦していることを確認している。その後、1 月 5 日の日本時間 0 時過ぎ、DeepMind の CEO デミス・ハサビス氏が Twitter で Master は AlphaGo の改良版であることを公表した。2016 年 3

月に李世ドル九段に 4 勝 1 敗と勝ち越した AlphaGo が 1 年足らずで 60 勝無敗へ。対局条件が 1 手 20 秒、30 秒の早碁という人間にはやや不利な条件とはいえ、この差は圧倒的であり、囲碁界を震撼させるには十分であった。60 勝無敗という戦績だけではなく、その打ち方もこれまでの囲碁 AI (2016 年 3 月の AlphaGo も含めて) から格段の進歩が見られた。Master に見られた顕著な特長をあげてみた。

Master の特長

- ①人間の常識を覆すような革命的な打ち方が、序中盤に見られた。
- ②攻め合い、死活、コウ、左右の石を組み合わせた手筋など、これまでの囲碁 AI が苦手としていた分野すべて

において向上が見られた (これまで、著者らが調べた範囲ではほぼ完璧であるように見える。棋譜から推察するに、1 手 30 秒の条件では、人間の世界トップ棋士の誰よりも、正確に打てると言ってよいだろう)。

一方でこれまでの傾向と変わらない点も垣間見えた。優勢になると、緩む手が出るという点である。しかし、これまでのものと異なり、緩む手が出る段階が、プロの目から見てもほぼ勝敗が確定した段階になっていた。つまり、勝ちを失わない技術に磨きがかかっているということもできる。

これらの特長について、実際の棋譜から見てみよう。

2. 棋譜に見る Master の進歩

①人間の常識と異なる革命的な打ち方について

ここでは、かなり人間の常識とは異なる手が現れたので、著者らが感じたその手に対する驚き度を 100 点満点で数値化した「驚きレベル」を付記しておく。

図 1 は、今回の Master 60 局の中でも最大の驚きの対局であった。序盤早々の三々は人類の誰もが想到しなかった。類似形における三々^{*1}入りはほかにもう一局確認している。

図 2 のこのノゾキ^{*2}は、ごくまれに

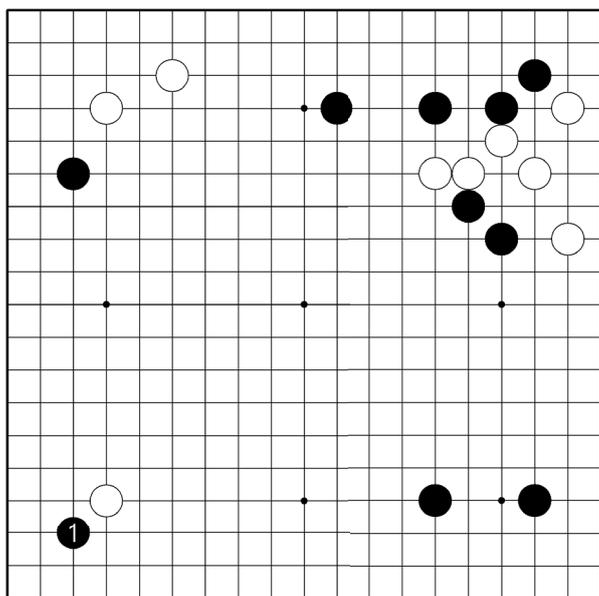


図 1 (黒) Master vs (白) 金庭賢六段 (韓国) より
驚きレベル 100 序盤早々の三々入り

*1 三々とは、碁盤の位置を表す囲碁用語。盤の隅から数えて (3,3) の地点を指す。隅への侵入手段として打たれることが多い。

*2 ノゾキは、囲碁用語の一つで、1 間に離れた石を分断しようとする着手である。

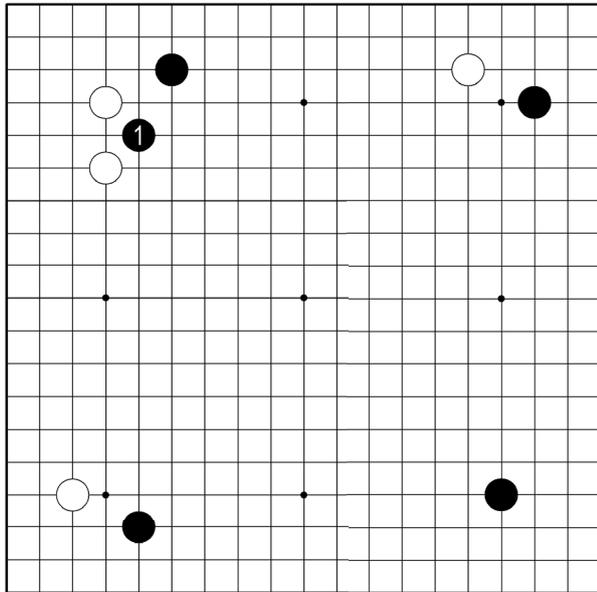


図2 (黒) Master vs (白) 申真諱プロ (韓国ランキング2位) より
驚きレベル 80 いきなりノゾキ

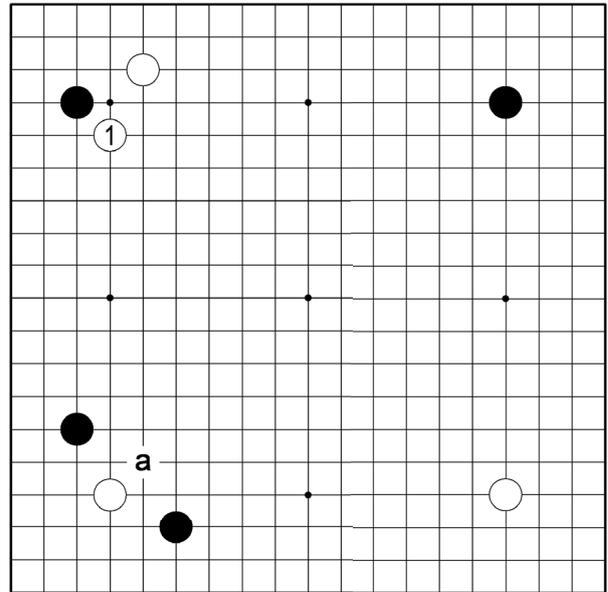


図3 (白) Master vs (黒) 対局者不明より
驚きレベル 80 aを放置!

打たれるが99%の棋士は打たない手である。これを用いたことがある棋士は20世紀の棋聖呉清源九段と平成四天王筆頭の張栩九段である。歴代屈指の打ち手二人が見いだそうとした世界とこのMasterに共通の感覚があるとすれば、興味深い。

図3は、白の手番で、黒からのaを放置した局面である。ここで放置するというのはプロレベルの打ち手では見たことがなかった。そこで白1である。このカケ*3 (囲碁AIに部分の認識はないはずだが、この左上隅の3手の位置関係)がMasterは好きなようで多く見られた。このカケ自体は江戸時代最強の呼び声高き本因坊道策も多用した手である。

逆に黒から1と同じ場所にコスむ*4手は「秀策のコスミ」といわれ、幕末の棋聖、本因坊秀策が「いかに碁が進歩しようとしてもこれが悪手になることはない」と断言したと伝えられている。ここをいかに重視していたかがうかがえる。

図4の白1, 7, 11すべてが肩ツキと呼ばれる手である。これは呉清源九

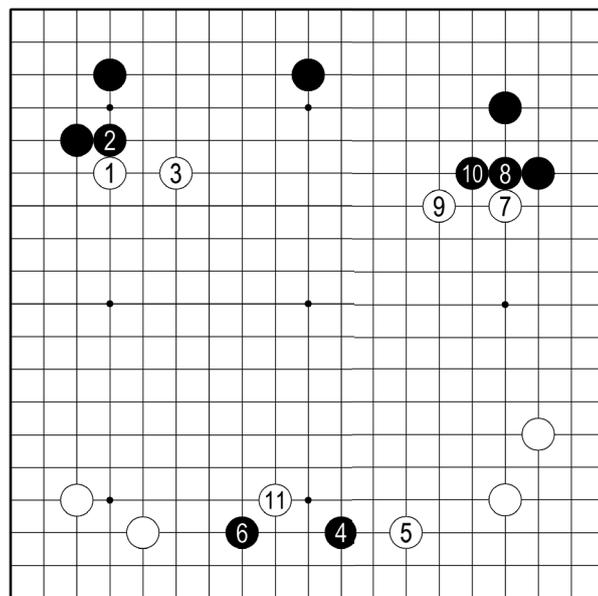


図4 (白) Master vs (黒) 対局者不明より
驚きレベル 60 肩ツキが大好き

段が推奨していた手であるが、まねする棋士は少なかった。しかしMasterの序盤ではこの肩ツキがかなり多く用いられていたのが印象的であった。良く見れば、図2～図4はどれも肩ツキの親戚のような形である。図1も上下が違うが位置関係は共通している。

Google チャレンジマッチ李世石九段 vs AlphaGoの解説を担当したマイケル・レッドモンド九段はインタビューの中で、「囲碁の第一の革命は本因坊道策によって第二の革命は呉清源九段に

よってもたらされた。そして囲碁AIが第三の革命を起こすかもしれない」と述べたが、筆者らも同意見である。上記、図1～図4にも現れたように、本因坊道策と呉清源九段、Masterには多くの共通点が見られる。

この歴代巨匠の偉大な点は、強さもさることながら、囲碁に新たな考え方を提示したことにある。本因坊道策は「手割り」という手の効率を分析する方法を発見し、石を最大限に働かせる打ち方を好んだ。これを凡庸なプロがま

*3 カケは囲碁用語の一つで、相手の石よりも高い位置から被せるように打つ手のことである。

*4 コスむ (コスミ) は囲碁用語の一つで、自分の石から斜めの位置に打つ手のことである。

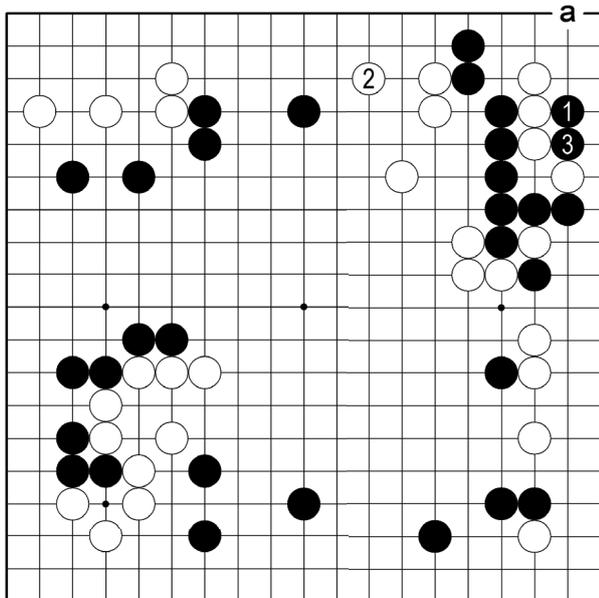


図5 (黒) Master vs (白) 聶衛平九段 (中国)
コウ、攻め合い含みの死活

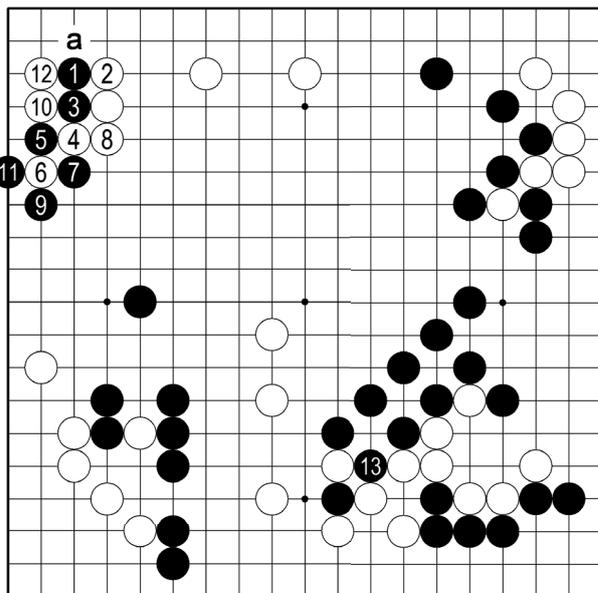


図6 (黒) Master vs (白) 趙漢乘九段 (韓国)
コウをにらんだコウ材づくり

ねしようとする (つまり著者らのことであるが)、バランスを保てなくて崩壊してしまうことがよくある。

呉清源九段も石の効率を重視する棋風であったが、それをさらに発展させ、盟友木谷実九段とともに「新布石」を編み出し、中央の価値を世に問うことで、近代～現代囲碁の礎を築いた。囲碁AIが中央感覚に秀でていとよく指摘されるが、Masterもその傾向が見られた。図4のような茫漠とした中央の価値がわかる (少なくとも人間よりは) ために早い段階で肩ツキを打ち、中央付近に石を配置するのだと推察される。

一方で図1のような三々入りは今までの人間、そして近年の進歩が目覚ましい囲碁AIのどれもが打たなかった手である。Masterは人間よりも中央経営がうまいが、他の囲碁AIの強豪 [DeepZenGo (日本), 絶芸 (中国) など] よりもバランスの取れた棋風であると思う。60局の中で人間が意識して中央を取ろうとすると、柔軟に隅、辺を取る戦いを見せた。これは隅、辺の評価や計算が正確になったことと関係があるのではないかと著者らは見ている。

②攻め合い、死活、コウ、左右の石を組み合わせさせた手筋の向上について

著者らはこの対戦をリアルタイムで観戦していたが、図5の局面で黒1がほぼノータイムで打たれて驚嘆した。

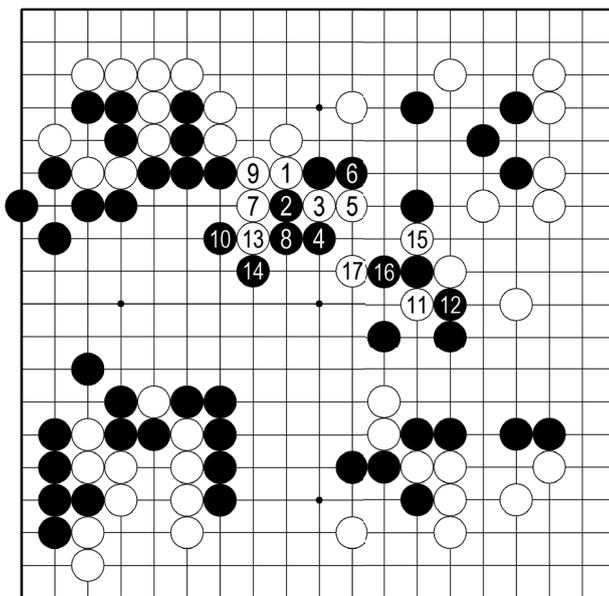


図7 (白) Master vs (黒) 古力九段 (中国)
左右の石を組み合わせさせた手筋

ここは部分死活に限れば黒aが最善であるが、周囲の黒が完全に生きていないため、この場合は黒1のほうが勝る。また、白は次にaと打てば生きるが、黒が厚くなり周囲の白に悪影響を及ぼす。実戦は白2と外周を補強、黒もすぐに3と手入れし、完全に右上隅を黒地化した。

図6において、左上黒1からは定石形であるが、実は黒13からのコウにもピッタリだった。左上a以下複数のコウ材を確保し、コウに勝って勝利を決

定的にした。

図7では、中央の黒模様がまとまるかが勝負どころの場面である。着々と準備を整え、白17が唯一突破できる手筋である。これもほぼノータイムの連続で打っていたと記憶している。印象的には李世ドル九段との第4局に似ており、上達ぶりが見て取れた。

3. 総括

Masterは歴代名人の良いところ取りをしたような棋風だった。Masterは60

連勝と圧倒的すぎる成績を取めたが、囲碁界はそれを歓迎しているかのような雰囲気を感じる。多くの人間プレイヤーの理想としているスタイルを合体させたような棋風であることが、好かれている原因かもしれない。また時折見せる常識外の手が神秘的であり、多くのプレイヤーを魅了している。中終盤も格段に向上し、図5～図7のような勝ち碁の決め方が美しいところも親近感を抱かせている要因の一つだと思う。

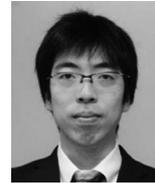
この60局を見ると、布石では好みのパターンがあるように感じられ、ランダム性は少ない。中盤で優勢になった後も決めどころをピシッと決めている。中盤で石の強弱が解決し、目数を争う終盤戦になり余裕があるときだけ、緩む手が見られた。私見だが、モンテカルロの影響が少なくなっているのではないかと感じた。2016年3月に李世ドル九段と対戦したAlphaGoは人間の考え得る手の中から最適の手を打っている印象だったが、Masterは人間の考え得る手の範疇から脱却しつつあり、独

創的な手が増えた。推測ではあるが、これが実現できた背景には、自己対戦による強化学習が進んだ影響ではないかと思う。

現在の囲碁界では世界中のプロ棋士がMasterのまねをし始めている。著者らの周りでも、それでやけどした棋士が数多くいる。Masterにとっては計算に裏打ちされた手なのかもしれないが、その結果だけを見て理由もわからずまねをしても、うまくいかない。囲碁AIはバージョンアップを繰り返し、打つ手も変わりつつある。すなわち、進化の途上であって、完全ではない。しかし人間よりかなり強そうなので扱いが難しい。人間とは異なる形で高速に計算を繰り返し、その結果として新たな手を打ち出してくる囲碁AIに対して、その結果だけを盲目的に模倣するのではなく、なぜその手そしやくが選ばれるのかを人間なりに咀嚼して、活用していくスタイルを発見していくことが、人間に求められていることであると考え。

2017年1月27日 受理

著者紹介



大橋 拓文

1984年5月25日生まれ。東京都出身。菊池康郎氏（緑星囲碁学園）に師事。2002年入段、2013年六段。2012年、コンピュータ囲碁ソフト「Zen」と九路盤で対戦。それ以来、コ

ンピュータ囲碁を研究に活用。日本棋院の月刊誌「碁ワールド」にてコンピュータ囲碁の連載「IGOサイエンス」を執筆中。著書に「なるほど！ひかる手筋」（日本棋院、2006）、「大橋流パワーアップ詰碁400」（マイナビ、2012）、「爽快！勝ち筋さがし」（マイナビ、2015）。



伊藤 毅志（正会員）

1994年名古屋大学大学院工学研究科情報工学専攻博士課程修了、博士（工学）。同年より電気通信大学電気通信学部情報工学科助手、2007年より助教。UEC杯コンピュータ

囲碁大会、電聖戦、実行委員長。囲碁や将棋などの複雑なゲームの思考過程に関する認知科学研究に従事。著書に「先を読む頭脳」（新潮社、2009）ほか。

特集「人間を超えるコンピュータ囲碁」にあたって

伊藤 毅志

(電気通信大学)

2017年5月下旬に中国浙江省烏鎮で開催されたGoogleによる“Future of Go Summit”は、中国当局の報道規制などが入り、昨年李世ドル九段戦ほど報道されなかった。しかし、世界トップ棋士の柯潔九段がAlphaGoに圧倒されて3連敗するという結果は、世界の囲碁ファンに衝撃を与えた。ディープラーニングを用いた強化学習の力をまざまざと見せつけることとなった。

これまで、本誌で毎年この時期にコンピュータ囲碁の特集を書かせていただく機会を与えていただいていたが、この1年半ぐらいの間にこの分野に起こったことは、正直、我々の想像をはるかに超えた進化であった。

2016年1月、とある会合でコンピュータ囲碁について講演させていただいたのだが、そのときに著者は「コンピュータ囲碁が人間を超えるのは、あと10年はないか」と語っていた。この時点でディープラーニングの研究については聞き及んでいたが、まさかここまで急激な進化をもたらすとは思っていなかった。自分の不明を恥じるばかりである。

Googleの発表にUEC杯も電聖戦も大いに翻弄され、開催を危ぶむ声も聞かれる中、ともあれ、昨年、今年とその時点でのベストの選択で開催できたのではないかと考えている。人間を確実に超えたといえる今年、第10回となるUEC杯、第5回となる電聖戦は、確実に一つの役割を終えたと感じ、一区切りとさせていただくことにした。今年、World Go Championship (WGC) が電聖戦の日程に被せるように開催されることが知らされ、ギリギリまで電聖戦の日程に頭を悩ませた。

しかし、一力遼七段という新進気鋭のトップ棋士にご登場いただき、電聖戦Finalとしてこの上ない先生にご協力いただけたことは望外の幸せであった。一力先生には、結果として切れ役のような形になってしまったことに申し訳ない気持ちがあった。しかし、一力先生の対局風景からは、対局に前向きに取り組み、全力を尽くされ、その結果に対しては、悔しさをにじませながらも真摯に受け止め、コンピュータ囲碁からも吸収していこうという姿勢が感じられ、深く感銘した。著者もこの分野に携わり、コンピュータ囲碁からも貪欲に学ぼうとする若手プロ棋士の何人かに触れ、囲碁界の今後のますますの発展を肌で感じている。

ともあれ、UEC杯、電聖戦は一区切りとなり、このイベントを支えてくださった多くの方々に、この場を借りて感謝申し上げたい。人工知能学会には、UEC杯、

電聖戦に毎年ご後援いただくとともに、全国大会では、2016年まで、毎年「コンピュータ囲碁はどこまで人間に迫れるか」という企画を開催していただいていた。深く御礼申し上げる。

チェッカーやチェス、将棋など人間のトップとの対戦が過ぎると、その分野の研究者の多くは離れていった。囲碁においても、ご多分に漏れず、この1年の間に潮を引くように多くの研究者が離れていく現状がある。人工知能は、人と対峙することが目的ではなく、人と共存することが目的であるはずだ。ゲーム情報学の分野でも、強くする研究の先には、共存する研究も残されており、これからは、賢くなったAIとの共存を考える時代に来ているだろう。電気通信大学では、今年6月末に日本棋院と次の5年に向けた新たな提携を結んだ。「競争から協調へ」という内容に大きくシフトしている。

今回の特集では、まず著者がUEC杯と電聖戦のこの10年の歴史を振り返り総括する。そして、UEC杯、電聖戦、WGCに出場するなど大活躍のDeepZenGoの技術と自戦記を加藤英樹氏にお願いした。さらに、UEC杯で3位入賞したRaynの開発者、小林祐樹、松崎憲介両氏に自戦記をお願いした。また、長きにわたってコンピュータ囲碁大会を観戦して下さってきたプロ棋士大橋拓文六段に、UEC杯を中心にコンピュータ囲碁の進化について書いていただいた。電聖戦については、対戦していただいたプロ棋士一力遼七段に自戦記という形で原稿を依頼し、WGCについては、コンピュータ囲碁に造詣が深く、独自の目線で囲碁を捉えていらっしゃるプロ棋士の王銘琬九段に書いていただいた。そして、中国で行われたFuture of Go Summitでは、日本人で唯一対局場に入るパスをもち、柯潔九段とAlphaGoの対戦を間近で観戦されてきたプロ棋士小林千寿六段に、肌で感じた対戦の様子とこれまでのコンピュータ囲碁開発者との交遊録について語っていただいた。

今、まさにすべての原稿がそろい、目を通したが、それぞれのお立場から、コンピュータ囲碁の技術から囲碁の専門的な内容まで、かなり深く語ってくださっている。

昨年の特集のときにも書いたが、コンピュータ囲碁の研究は、これであくまで一区切りであって、終わりではないと思っている。コンピュータ囲碁が示してくれる新しい道は、我々に多くの示唆を与えてくれている。この特集記事を読んで、新たにこの分野に興味をもってくださる人がいれば幸いである。

特集 「人間を超えるコンピュータ囲碁」

第10回 UEC 杯コンピュータ囲碁大会, 第5回電聖戦

—10年を振り返って—

The 10 th UEC Cup Computer Go Tournament and the 5 th Densei-sen
— Look Back for 10 Years —

伊藤 毅志
Takeshi Ito

電気通信大学
The University of Electro-Communications.

ito@cs.uec.ac.jp, <http://minerva.cs.uec.ac.jp/~itolab-web/wiki.cgi>

Keywords: computer Go, competition, human vs. computer.

1. FINAL を迎えて

電気通信大学でコンピュータ囲碁の大会を開催することになったのは、2007年。折しも、モンテカルロ木探索という新しい手法が現れ、コンピュータ囲碁界に大きなブレークスルーがもたらされた時期でもあった。前年まで岐阜で開催されてきたコンピュータ囲碁の大会が諸般の事情で行われなことがわかり、この時期に大会が開催されないのは、コンピュータ囲碁の分野にとって大きな損失であると思われる。そこで、岐阜の大会を引き受ける形で、UEC 杯コンピュータ囲碁大会を開催することにした [伊藤 08]。

大会を引き受けるにあたっては、本学の村松正和氏の多大な協力があつたことは、ここに記しておきたい。また、大会の継続にあたっては、東進ハイスクールから2年、その後、囲碁将棋チャンネルから4年協賛をいただく幸運に恵まれた。良い時期に良い出会いや支援に恵まれて、この大会が維持できたと思っている。

電聖戦は、2012年に日本棋院と本学の間で結ばれた「コンピュータ囲碁の発展に関する5年間の提携」に基づいて、コンピュータ囲碁の強さを測る目的で開催されてきた。日本棋院はこの5年間、石田芳夫九段、依田紀基九段、趙治勲九段、小林光一九段、一力遼七段と錚々たるメンバを惜しげもなくこの棋戦に送り込んで下さった。電聖戦が権威あるものになったのもひとえに日本棋院の協力の賜物と感謝している。

今回、UEC 杯が10回目、電聖戦が5回目という節目の年を迎えるにあたって、AlphaGo という人間のトップを超えるコンピュータ囲碁が現れたことも何かの縁のようなものを感じる。AlphaGo の登場は、囲碁界だけでなく、AI 業界にも大きな影響を与えた。コンピュータ囲

碁を強くするという研究を行っていた国内の研究グループの多くがコンピュータ囲碁の開発研究を辞め、逆にこれまであまり興味をもっていなかった新たな研究開発グループがこの分野に興味をもち始めている。

ゲーム AI の研究の大きな一つの目標は、「人間のトッププレーヤーに勝つ AI をつくること」であり、二人完全情報確定ゼロ和ゲームの最後の砦といわれた「囲碁」において、AlphaGo が示した脅威の進化は、この大目標を達成したことを示すうえで十分過ぎる成果を見せつけることとなった。本年は日本棋院との提携期限の5年目でもあり、これを一つの区切りに UEC 杯も電聖戦も FINAL とすることにした。

2. コンピュータ囲碁の歩み

図1に、コンピュータ囲碁の棋力の進歩のイメージを描いてみた。

初めてのコンピュータ囲碁プログラムは、1968年のZobristによるものとされる。1970年代には、その後の

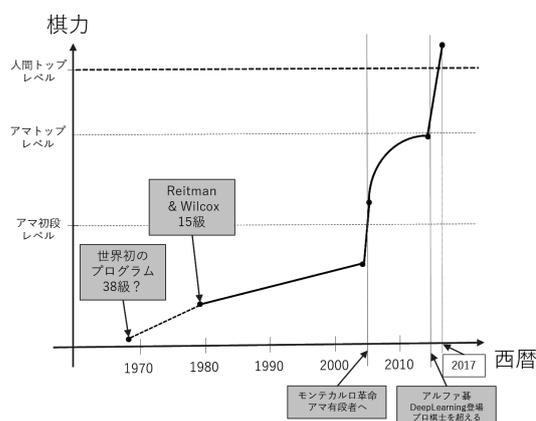


図1 コンピュータ碁の進歩のイメージ

コンピュータ囲碁の基礎となる知識ベースに基づいたプログラムがつくられ、それから約30年の間、コンピュータ囲碁は長きにわたる低迷期を迎える。

チェスライクゲームを始めとした二人完全情報確定ゼロ和ゲームは、ゲーム木探索と呼ばれる手法で、プログラムを強化してきた。この手法では、評価関数とゲーム木に基づくミニマックス探索を組み合わせることで、そのゲームの問題解決空間を表現する。評価関数を洗練させ、探索技術を進歩させ、探索を支えるハードウェアが高速化することで強くなってきた。しかし、囲碁はこのゲーム木探索の手法を全く受け付けなかった。その理由としては、以下の二つがあげられる。

一つは、他のチェスライクゲームなどと比べて、合法手（ルール上選べる手）が圧倒的に多いという点である。将棋も終盤には合法手が100手を超える場合があるが、囲碁の初手は19×19マスのどこに打ってもよいので、361手（厳密には、パスしてもよいので362手）もある。1手打つごとに打つ場所は減るものの、中終盤まで200手もの合法手があり、探索を難しくしている。

もう一つは、局面の良し悪しを数値化する静的評価関数の設計が絶望的に難しいという点である。囲碁は、石一つ一つには意味がなく、それがつながって意味を生じる。石のつながり方は、千変万化であり、その意味を理解するためには、人間プレーヤのような経験的知識が必要である。人間のもつこの経験的知識をコンピュータに教えることが難しかったのである。そのため、コンピュータに経験的知識を知識ベースで記述する方法で強くするしかなかったのである。

しかし、2006年に現れたモンテカルロ木探索は、大きなブレイクスルーをもたらすことになる[伊藤12]。この手法は、コンピュータに乱数を用いた対戦を膨大な回数行わせて、勝率を求めることで、評価関数の代わりにしようとするものであった。評価関数の設計を諦めるこの手法が、結果としてコンピュータ囲碁を大きく進化させた。2005年頃までは、アマチュア級位者レベルだったコンピュータを、あっという間にアマチュア高段者レベルに引き上げたのだ。2010年を過ぎる頃には、プロ棋士と六子～四子で対戦できるレベルにまでなっていた。

電聖戦は、ちょうどこの頃に始められた。モンテカルロの手法で、徐々に強くなっていったが、2014年頃には、行き詰まりも見え始めていた。乱数を用いたシミュレーションでは、プロ棋士のような厳密な局面評価や精密な読みが難しく、人間のトップを超えるには、さらなるブレイクスルーが必要であるといわれ始めていたのだ[伊藤15]。

そして、昨年（2016年）のAlphaGoの登場に至る。この手法は、ディープラーニングを用いてプロ棋士の手の予測の精度を高めるpolicy networkとその精度の高い手の予測によるシミュレーションを繰り返し局面の勝率を学習するvalue networkの二つの学習結果を使ってモンテカル

ロ木探索を行うことでコンピュータ囲碁の棋力の向上を測ったものである。value networkこそ、まさにこれまで絶望的に困難であると思われていた評価関数に近いものであり、強化学習を行うことでこの精度を高めて、人間を超えるレベルのAIを実現したのである[伊藤16]。

UEC杯以降の10年間を振り返ると、囲碁AIの二度の大きなブレイクスルーとともに歩いた道であったことがわかる。この激動の10年間、コンピュータ囲碁の進化の歴史を間近で見ることができた幸運に感謝しつつ、まとめとなる本報告を書かせていただく。

3. UEC杯コンピュータ囲碁大会

UEC杯コンピュータ囲碁大会は、これまで10回開催された。全10回の記録を表1にまとめた。

対戦の歴史を振り返ると、「Crazy Stone」が最多の4回の優勝を果たしている。モンテカルロ木探索の創始者でもあるフランスのRémi Coulom氏が本大会を牽引してきたことが見て取れる。

次いで「Zen」が3回の優勝を果たしている。Zenは、尾島陽児氏と加藤英樹氏による国産のプログラムで、Crazy Stoneのライバルとして、優勝を分け合ってきた。Crazy Stoneが参加しなかった年もあり、最多勝は、Zenで通算77勝（9敗）と多くの勝ち星を重ねた。

ほかに、その間隙を縫う形で「KCC 囲碁」と「Fuego」と、Tencent社による「絶芸（Fine Art）」（今年初出場）がそれぞれ1回ずつ優勝している。

大会初期には、「勝也」がモンテカルロ木探索の手法を使わずに二度の準優勝を果たしているが、その後、モンテカルロを使わない同プログラムは下位に沈むこととなった。

第2回に準優勝した「不動碁」の作者は加藤英樹氏で、その後「Zen」と合流して、チームDeepZenを結成することとなった。

第4回、第5回で活躍した「Erica」の開発者であるAja Huang氏は、後にAlphaGoの開発者の一員として、李世ドル、柯潔戦でオペレータとして対戦していた人物である。

最多3位記録をもつ「Aya」の開発者は、山下宏氏でコンピュータ将棋「YSS」の開発でも有名な国内屈指のプログラマーである。

第8回で準優勝した「DolBaram」の開発者は、韓国のLim Jaebum氏で、韓国のプログラマーとして初めて電聖戦にも出場した。

第9回で準優勝した「darkforest」はFacebook AI ResearchチームのプログラムでAlphaGoとともに大企業が力を入れてつくったプログラムということで大変注目を集めた。

第10回は、海外勢が最多の9チームが参加する国際的な大会へと成長したことがわかる。

表1 UEC 杯全10回の記録

回	開催日	参加数 (海外)	優勝	準優勝	第3位	エキシビジョン	ハンデ	COM
1	2007年12月1日, 2日	28 (3)	Crazy Stone	勝也	MoGo	佐川 央 (5d) vs. Crazy Stone	互先	Lose
2	2008年12月13日, 14日	29 (4)	Crazy Stone	不動碁	Many Faces of Go	青葉かおり (4p) vs. Crazy Stone	七子	Win
3	2009年11月28日, 29日	32 (4)	KCC 囲碁	勝也	Zen	青葉かおり (4p) vs. Zen	六子	Lose
						鄭 銘瑄 (9p) vs. KCC 囲碁	六子	Lose
4	2010年11月27日, 28日	28 (4)	Fuego	Zen	Erica	青葉かおり (4p) vs. Zen	六子	Win
						鄭 銘瑄 (9p) vs. Fuego	六子	Lose
5	2011年12月3日, 4日	24 (4)	Zen	Erica	Aya	小林千寿 (5p) vs. Erica	六子	Lose
						鄭 銘瑄 (9p) vs. Zen	六子	Win
6	2013年3月16日, 17日	22 (4)	Crazy Stone	Zen	Aya	多賀文吾 (アマトップ) vs. Crazy Stone	互先	Lose
7	2014年3月15日, 16日	16 (4)	Zen	Crazy Stone	Aya	田中義国 (6d) vs. Zen	互先	Win
8	2015年3月14日, 15日	22 (5)	Crazy Stone	DolBaram	Aya	榊原昌人 (7d) vs. Crazy Stone	互先	Lose
9	2016年3月19日, 20日	32 (6)	Zen	darkforest	Crazy Stone	吉崎久博 (6d) vs. Zen	互先	Win
10	2017年3月18日, 19日	29 (9)	絶芸 (Fine Art)	DeepZenGo	Rayn			

「AlphaGo」は、結局 UEC 杯には参加しなかった。昨年非公式なルートで参加の打診は試みたが、回答が得られず、UEC 杯のようなコンピュータ同士の大会への参加の方針がないことがわかったのは、少し残念であった。「AlphaGo」がオープンなコンピュータ囲碁のイベントなどで、他のコンピュータプログラムとどのような対戦をしたのかを見るができなかったのは、この分野にとって大きな損失であると思う。

4. 第10回 UEC 杯

第10回大会は、2017年3月18・19日、電気通信大学において開催された。第9回の大会から、いくつかのプログラムがディープラーニングの手法を用いて、旋風を巻き起こしていた。AlphaGo から1年、多くのプログラムがディープラーニングの手法を実装していることが事前から予測されていたので、どれぐらいレベルアップしているのかに大きな注目が集まった。

初日の予選は全プログラムによる変形スイス式による対戦が行われ、表2のような結果となり、16位までが翌日の決勝トーナメントへ進出した。

下馬評どおり、中国の Tencent 社開発の「絶芸」と日本のドワンゴの協力を得た「DeepZenGo」の2強が強さを見せつけ、初日の前哨戦では「絶芸」が勝利し、全勝で通過した。

ディープラーニングの実装に消極的であった「Crazy Stone」も自力を見せ3位通過、ソースコードを公開した「Ray」をベースにディープラーニングを導入して開発した「rn」が大会直前に合体した「Rayn」が4位で通過した。初出場ながら、独学でディープラーニングの手法を導入した「AQ」。上位常連になってきている「Aya」、さらには、台湾の有力プログラムである「CGI Go Intelligence」などが、順当に上位通過して、これら7チームによる優勝争いが翌日の決勝での見どころとなっていた。

そして、翌日の決勝の結果は、図2～図4のとおりで

表2 初日予選の結果

プログラム名	1回戦	2回戦	3回戦	4回戦	5回戦	6回戦	7回戦	勝敗分	ソル	SB/MD	順位
Fine Art (絶芸)	Juli	naiv	CS	MARU	AQ	Rayn	DZG	7-0-0	34	34.0/25	1
DeepZenGo	naiv	Juli	nlp	AQ	Rayn	Kugu	絶芸	6-1-0	32	25.0/17	2
Crazy Stone	Igop	Yi	絶芸	NS	Kugu	CGI	Aya	6-1-0	31	24.0/16	3
Rayn	MFG	CGI	DolB	akir	DZG	絶芸	勝也	5-2-0	33	20.0/12	4
Aya	CGI	DolB	MFG	Yi	勝也	nlp	CS	5-2-0	31	20.0/12	5
AQ	GNU	MC_a	MARU	DZG	絶芸	勝也	NS	5-2-0	30	17.0/11	6
CGI Go Intelligence	Aya	Rayn	akir	TARO	Qino	CS	MARU	5-2-0	27	16.0/9	7
Julie	絶芸	DZG	Igop	迷い	神の	Qino	Yi	5-2-0	26	13.0/8	8
DolBaram	コオ	Aya	Rayn	MFG	Igop	TARO	MC_a	5-2-0	24	14.0/9	9
Negative Sleeper	DE	EG	MC_a	CS	nlp	akir	AQ	4-3-0	25	10.0/5	10
nlp	Kugu	勝也	DZG	Qino	NS	Aya	GNU	4-3-0	25	10.0/5	11
Yi	きふ	CS	迷い	Aya	akir	神の	Julie	4-3-0	25	9.0/5	12
MARU	ACIG	神の	AQ	絶芸	TARO	きふ	CGI	4-3-0	25	8.0/4	13
MC_ark	TARO	AQ	NS	Kugu	きふ	GNU	DolB	4-3-0	23	10.0/4	14
Many Faces of Go	Rayn	コオ	Aya	DolB	GNU	ACIG	Kugu	4-3-0	22	7.0/3	15
Kugutsu	nlp	迷い	naiv	MC_a	CS	DZG	MFG	3-4-0	28	8.0/3	16
勝也	迷い	nlp	Qino	Igop	Aya	AQ	Rayn	3-4-0	25	6.0/2	17
akira	神の	ACIG	CGI	Rayn	Yi	NS	きふ	3-4-0	24	6.0/2	18
Igopyy	CS	きふ	Juli	勝也	DolB	コオ	DE	3-4-0	23	4.0/1	19
naiver1	DZG	絶芸	Kugu	コオ	ACIG	EG	Qino	3-4-0	22	5.0/2	20
神の一手	akir	MARU	コオ	ACIG	Juli	Yi	TARO	3-4-0	20	4.0/1	21
TAROGO	MC_a	GNU	DE	CGI	MARU	DolB	神の	2-5-0	24	3.0/0	22
Qinoalgo	EG	DE	勝也	nlp	CGI	Juli	naiv	2-5-0	23	3.0/0	23
GNU Go	AQ	TARO	ACIG	EG	MFG	MC_a	nlp	2-5-0	22	3.0/0	24
きふわらべ	Yi	Igop	EG	DE	MC_a	MARU	akir	2-5-0	21	3.0/0	25
Esperanza Go	Qino	NS	きふ	GNU	迷い	naiv	コオ	2-5-0	15	2.0/0	26
コオロギ	DolB	MFG	神の	naiv	DE	Igop	EG	1-6-0	21	3.0/0	27
ArgoCorse IchiGo	MARU	akir	GNU	神の	naiv	MFG	迷い	1-6-0	20	1.0/0	28
迷い碁	勝也	Kugu	Yi	Juli	EG	DE	ACIG	1-6-0	19	1.0/0	29
DeepEsper	NS	Qino	TARO	きふ	コオ	迷い	Igop	1-6-0	15	1.0/0	30

なお、GUN_Goは、参加チームが奇数チームであったため、招待プログラムとして参加

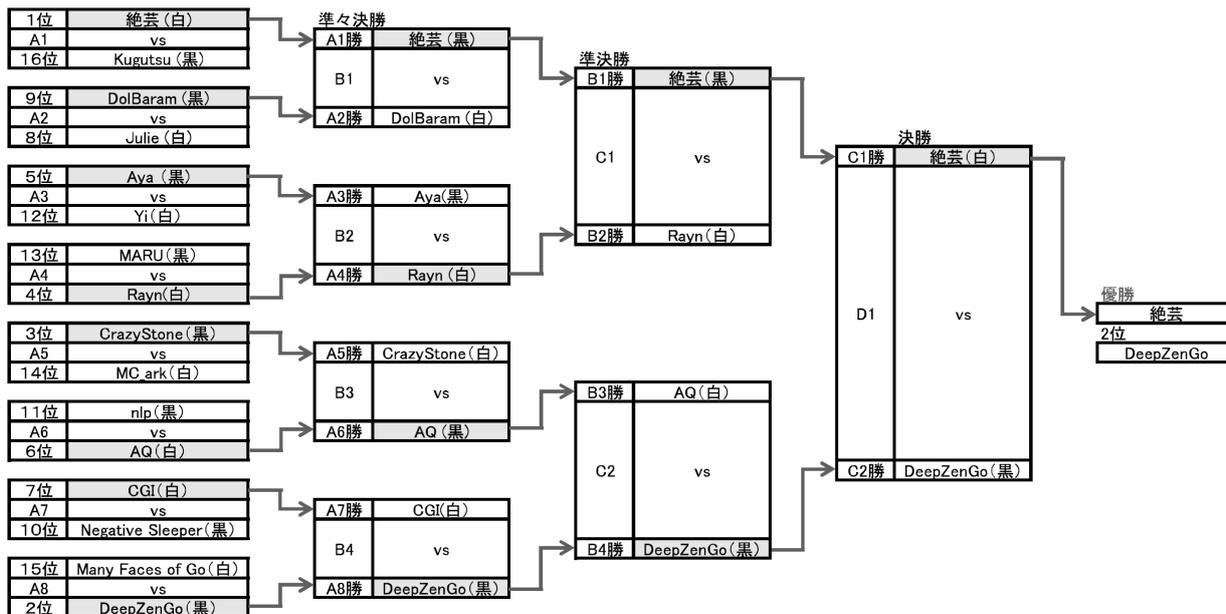


図2 第10回UEC杯2日目(決勝)メイントーナメント

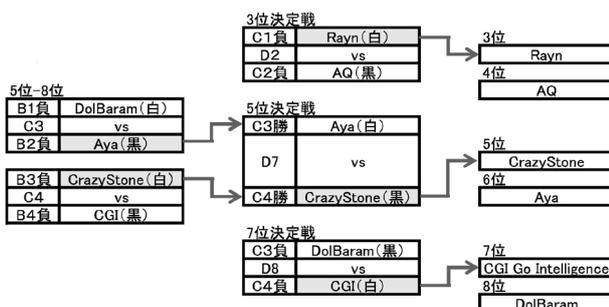


図3 第10回UEC杯2日目(決勝)3~8位決定トーナメント

ある。

図2のように、優勝争いは、下馬評どおり、絶芸とDeepZenGoが順当に勝ち上がり、決勝で激突。決勝戦の絶芸対DeepZenGoの対戦の詳細は、大橋拓文六段の解説と加藤英樹さんの自戦記をご覧ください。

準決勝でDeepZenGoに善戦したAQのポイントの解説は大橋先生の記事に譲るが、非常に良い勝負だったので、総譜を図5に載せておく。

今回Tencent社の絶芸は、中国から大量の取材陣を引き連れてやってきた。取材申請の半数以上が中国からの

取材陣という状況であった。図6は、決勝における対戦の様子であるが、これまでにない取材の多さに、現場では取材陣の対応に追われることとなった。

絶芸やDeepZenGoのように、企業の後ろ盾を得て開発するプログラムもあるが、3位、4位に入ったRaynやAQの開発者は、個人レベルでディープラーニングを実装し、比較的短期間に非常に強いプログラムを実現しており、この手法の広がりも感じられた。

5. 第5回電聖戦

第5回電聖戦は、3月上旬にWGC(ワールド基チャンピオンシップ)が開催されることになったため、日程が重ならないように、UEC杯から1週間後の3月26日に開催されることとなった。年度末ということで、大学内で会場を確保することが難しい時期であったため、やむを得ず初めて学外に会場を移し、「バルサール飯田橋ファースト」で開催された。絶芸の取材陣は、電聖戦でも大挙して押し寄せたので、広い会場で開催したのは結果としては良かった。

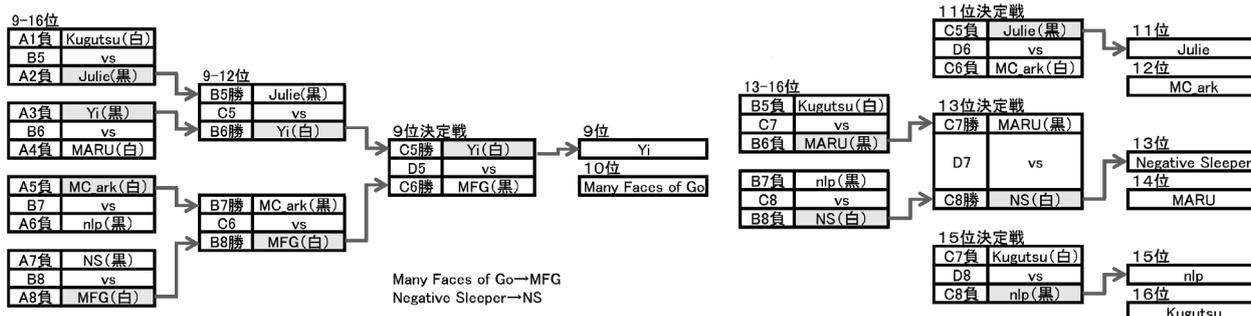


図4 第10回UEC杯2日目(決勝)9位~16位決定トーナメント

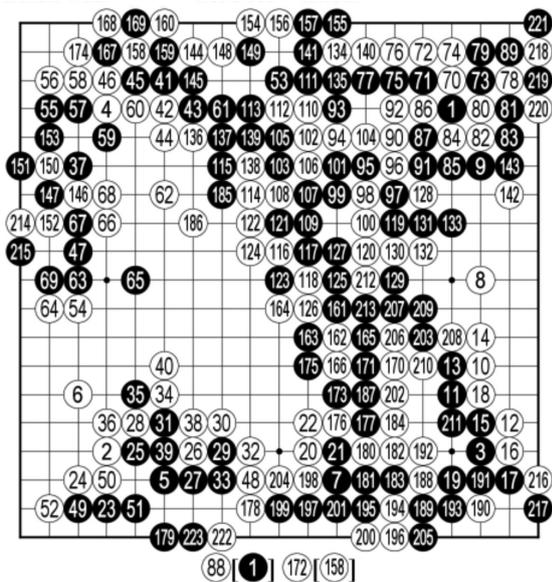


図5 準決勝: DeepZenGo (黒) 対 AQ (白)



図6 絶芸とZenの会場の様子

表3 全電聖戦と結果

回	開催日	対戦プロ棋士	対戦コンピュータ (作者・チーム)	手合割	勝敗
プレマッチ	2012年 3月17日	武宮正樹九段	Zen (Team Deep Zen)	五子	Zen 10点勝ち
		武宮正樹九段	Zen (Team Deep Zen)	四子	Zen 19点勝ち
第1回	2013年 3月20日	石田芳夫九段 (24世本因坊秀芳)	Zen (Team Deep Zen)	四子	石田芳夫九段 中押し勝ち
		石田芳夫九段 (24世本因坊秀芳)	Crazy Stone (Rémi Coulom)	四子	Crazy Stone 3目勝ち
第2回	2014年 3月21日	依田紀基九段	Crazy Stone (Rémi Coulom)	四子	Crazy Stone 2目半勝ち
		依田紀基九段	Zen (Team Deep Zen)	四子	依田紀基九段 中押し勝ち
第3回	2015年 3月17日	25世本因坊治勲	DolBaram (Lim Jaebun)	四子	DolBaram 中押し勝ち
		25世本因坊治勲	Crazy Stone (Rémi Coulom)	三子	25世本因坊治勲 中押し勝ち
第4回	2016年 3月23日	小林光一名誉棋聖	darkforest (Facebook AI Research)	三子	小林光一九段 オペレータ 投了
		小林光一名誉棋聖	Zen (Team Deep Zen)	三子	Zen 4目半勝ち
第5回	2017年 3月26日	一力遼七段	Zen (Team Deep Zen)	互先	Zen 中押し勝ち
		一力遼七段	絶芸 (Tencent AI Platform Department)	互先	絶芸 中押し勝ち



図7 第5回電聖戦解説会の様子

参考のため、これまでの電聖戦とその結果を表3にまとめてみた。

2012年に、電聖戦のプレイメントとして、武宮正樹九段とZenが五子、四子で対戦し2勝して、世間を驚かせた。その後、電聖戦という形式になって、2014年まで四子で1勝1敗が続き、2015年には、初めてCrazy Stoneが三子で趙治勲九段に挑むも敗退する。2016年ディーブラーニングの手法を取り入れ始めていたdarkforestとZenが小林光一九段に挑み、三子で1勝1敗という成績を残している。

プロ棋士の先生方の見方では、四子と三子では全く世界が違うとのこと。趙治勲九段も「四子までは指導碁だが、三子となると勝負碁である」と対局に向かう心境を語っておられた。四子は、下手がすべての隅に1手先着しているのが大きい、三子は、上手が一つの隅に先着できるので、景色が違うようだ。

ディーブラーニングの手法で三子のハンデを一気に抜き去ったわけであるが、五子→四子と四子→三子では意味が大きく違うということだけは、伝えておきたい。

対戦プロ棋士は、一力遼七段。19歳と若い、史上

最年少の16歳9か月という若さで棋聖戦リーグ入りを果たすなど、数々の記録を打ち立て、竜星戦ではあの井山裕太棋聖を破り優勝するなど、新進気鋭のプロ棋士である。電聖戦最後を飾るにふさわしいプロ棋士にご登場いただくことができた。

手合割も、互先(ハンディなし)と決まり、持ち時間は、第1局はこれまでと同じく30分で、切れたら1手30秒の秒読み、第2局は1時間で、切れたら1手1分の秒読みとなった。AlphaGo登場以降、AlphaGo以外のプログラムが、互先でトッププロ棋士に勝利できるかという意味でも、非常に注目を集める対戦となった。

今回は、2局ほぼ1日中の長丁場であるため、第2回電聖戦でも解説を務められた小林覚九段とコンピュータ囲碁を長年観戦されてきた大橋拓文六段にダブル解説という形で交代しながら解説していただいた。聞き手は井澤秋乃四段が努めた。解説会場もほぼ満席となり、この対局への関心の高さが感じられた(図7)。

対局前に一力先生と絶芸の代表者によるニギリが行われ、絶芸の黒番と決まった。一力先生には、先手番、後手番の両方行っていただきたいということもあり、1局目

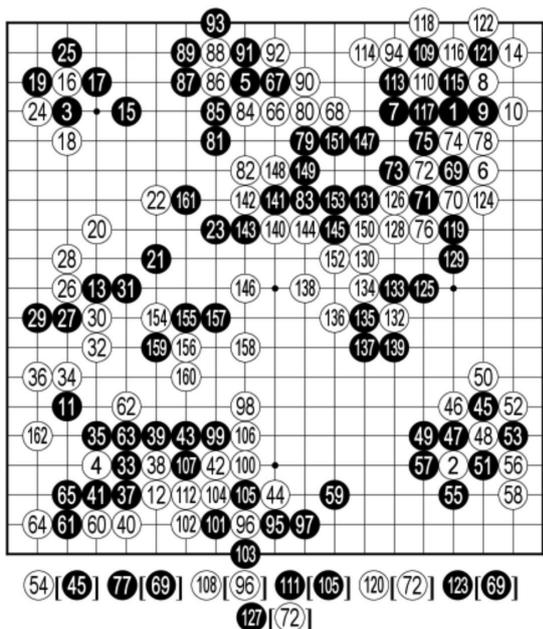


図8 電聖戦第1局総譜。
一力 遼七段 (黒) 対 DeepZenGo (白) : 白中押し勝ち



図9 電聖戦第2局対戦の様子。
左: 絶芸のオペレータ 右: 一力 遼七段

は、DeepZenGoは自動的に白番ということに決まった。
第1局の棋譜の詳細は、一力先生と加藤英樹さんの記事をご覧ください。図8に総譜を掲載しておく。一力先生のミスもあったようだが、内容的にはDeepZenGoが圧勝ともいべき対局となった。1年前は、小林光一九段を相手に三子で対局していたことを考えると、この1年の進歩は劇的なものであったといえる。

お昼休みを挟んで、第2局絶芸との対戦が行われた。対戦の様子を図9に示す。

持ち時間を少し長くした影響もあるかもしれないが、一力先生の内容がかなり良く、中盤まで、均衡の保たれた形勢で推移する。こちらの解説も一力先生の自戦記に委ねるが、総譜だけは、図10に示しておく。

第5回電聖戦は、コンピュータ側の2連勝という結果で終わった。AlphaGoだけでなく、絶芸やDeepZenGoという他のプログラムでもトッププロ棋士に対して、勝つようなプログラムが現れたということは、非常に大きな意義がある。ディープラーニングの手法の有効性が示

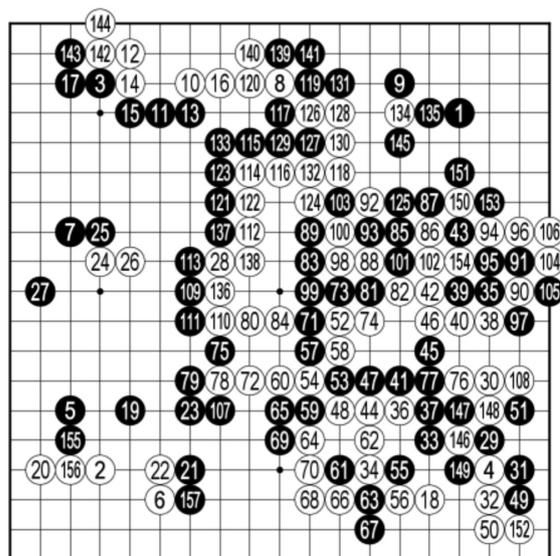


図10 電聖戦第2局総譜。
一力 遼七段 (白) 対 絶芸 (黒) : 黒中押し勝ち

されたとともに、囲碁AIが人間のトップを超えるという一つの大きな目標は達成されたといっていよう。

6. まとめと展望

今回のUEC杯では、実に多くのプログラムがディープラーニングの手法を取り入れて、強化を計っていた。特にAQの作者山口 祐さんは、一般社会人の技術者とのことであるが、個人で、しかもかなり短期間にこれだけの強さのAIがつかれるようになったということには驚かされた。AlphaGoがディープラーニングで囲碁というゲームAIを強化できることを示した功績は非常に大きい。

見つかるかわからない森の中で宝箱を探すのは途方もなく大変な作業であるが、AlphaGoが宝箱の地図を示してくれたことで後の探検者に大きな指針になった。ディープラーニングという深い森の中に宝箱があることがわかって、その見つけ方も示されたので、多くの開発者がもっと大きな宝を求めて探索を始めたのだ。

囲碁というゲームは非常に奥が深く、人知を超えた

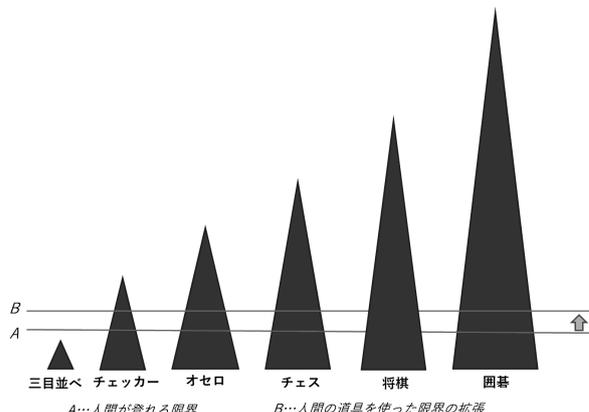


図11 ゲームの複雑さと人知の及ぶ世界の関係

先の伸び代が非常に高いように思う。ゲームの複雑さと人間の理解の及ぶ範囲を著者なりにイメージ化したものを、図11のように示してみる。

ゲームの複雑さが三角の高さで表現され、三角の頂点はそのゲームの完全解の位置を表すとする。

ゲームの探索量の多いゲームほど、一般に計算的にゲームを解く(完全解を見つける)ことは難しいと考えられる。例えば、三目並べならば、誰しも「引き分け」になるゲームであることがわかるので三角は低い。

一般に、人間同士で長く親しまれているようなゲームは、おおむね人知だけでは解くことが困難な十分に複雑なゲームであるので、対戦して楽しく多くのプレーヤが存在する。

チェッカーは、2007年にコンピュータを使って完全解析されたが、人間同士ではその完全解を相互に理解してプレイすることはほとんどできないので人間同士のゲームとしては成立している。ただ、コンピュータを使って勉強すれば、きっとそのゲームの頂点(完全プレイ)に近づけることは可能であろう。オセロ→チェス→将棋→囲碁の順で完全解を見つけるための探索空間が広いことが知られていて、当然人間の理解し得る探索の範囲には限りがある。

これらのゲームも、すでに人間を超えるAIが登場したが、だからといって、人間同士のゲームがつまらないものにはなっていない。それは、人間が処理し得る情報量には限界があり、それを越えたレベルのプレイをすることができないからだと考えられる。AIを使って人間は知を拡張し、図に示すように $A \Rightarrow B$ のように知を拡張することはある程度は可能であろう。ゲームの複雑さに応じて、ゲームAIが見つける人知を超えた世界の広さには、差があると考えられる。

囲碁は、この中で、最も難しいゲームであるがゆえに、頂点は恐らく最も高く、人間を超えたAIの伸び代は最も大きいのではないかと著者は考える。したがって、AIの進化が進むと、他のゲームに比べて人間が想像もつかなかった手がより多く生まれる可能性がある。AlphaGoは柯潔との対戦の後で50局の自己対戦棋譜を公開したが、それらの対局はすでに人間の理解を超えた手が多数含まれているともいわれている。AlphaGoを超えたAI同士の対戦では、もっと新しい囲碁の世界を見せてくれる可能性があるのだ。

ありがたいことに、囲碁将棋チャンネルがUEC杯を引き継いでくれることになり、今年12月から次の新しい大会が継続されることとなった。主催は囲碁将棋チャンネルに代わるが、本学もこの新しい大会を支援していくことを約束している。人知を超えたコンピュータ同士



図12 日本棋院と電気通信大学の調印式の様子

がどのような棋譜を見せてくれるのか楽しみである。

一方で、日本棋院と本学の間で、新たに5年間の提携を結ぶことになった。コンピュータ囲碁は人間と競う時代から共存する時代へとシフトしており、提携にもその内容が色濃く盛り込まれた。コンピュータ囲碁が教育支援や学習支援ツールとして活用され、新たな人間の可能性を広げるために、6月29日に調印式が執り行われた(図12)。AIのシンギュラリティの問題を考えるうえで、コンピュータ囲碁が新たなマイルストーンになることを祈念している。

◇ 参 考 文 献 ◇

- [伊藤 08] 伊藤毅志: 第1回 UEC 杯コンピュータ囲碁大会報告, 情報処理, Vol. 49, No. 6, pp. 43-48 (2008)
- [伊藤 12] 伊藤毅志: コンピュータ囲碁研究の歩み(特集「コンピュータ囲碁」), 人工知能学会誌, Vol. 27, No. 5, pp. 497-500 (2012)
- [伊藤 13] 伊藤毅志 編著: UEC 杯と電聖戦 2013 速報(特集), 人工知能学会誌, Vol. 28, No. 5, pp. 754-784 (2013)
- [伊藤 15] 伊藤毅志: UEC 杯コンピュータ囲碁大会と電聖戦 2015 (小特集「コンピュータ囲碁の最新線」), 人工知能, Vol. 30, No. 5, pp. 671-677 (2015)
- [伊藤 16] 伊藤毅志, 村松正和: ディープラーニングを用いたコンピュータ囲碁~AlphaGoの技術と展望~, 情報処理, Vol. 57, No. 4, pp. 335-337 (2016)

2017年7月8日 受理

著 者 紹 介



伊藤 毅志 (正会員)

1994年名古屋大学大学院工学研究科情報工学専攻修了。工学博士。同年より電気通信大学助手。2007年より同助教。2010年改組により情報・通信工学専攻助教。ゲームを題材とした認知科学的研究に従事。コンピュータ囲碁フォーラム(CGF)副会長。電気通信大学エンターテインメントと認知科学研究ステーション代表。UEC杯コンピュータ囲碁大会、電聖戦の実行委員長。

特集 「人間を超えるコンピュータ囲碁」

Zen の技術と自戦記

— 2017年 UEC 杯と電聖戦, ワールド碁チャンピオンシップ —

Zen on The 10th UEC Cup, The 5th DENSEI-SEN and The 1st World Go Championship

加藤 英樹
Hideki Kato

チーム DeepZen
Team DeepZen.
hideki_katoh@ybb.ne.jp, <http://www.ggo.jp/>

Keywords: computer Go, Monte-Carlo Go, MCTS, DCNN, Zen, UEC cup, DENSEI-SEN.

1. はじめに

2017年3月18・19日の両日、東京・調布の電気通信大学で第10回 UEC 杯コンピュータ囲碁大会（以下、UEC 杯）^{*1}が開かれました。この大会の優勝・準優勝ソフトは、同月26日に行われる第5回電聖戦（以下、電聖戦）^{*2}で、一力遼七段^{*3}と対局することができます。今年はさらに、両大会に挟まれた21～23日に第1回ワールド碁チャンピオンシップ（以下、WGC）^{*4}が大阪で開かれました。この大会は、日・中・韓のトップクラスの棋士と囲碁 AI の四者の総当たりで世界一を決めようという主旨です。

本稿では、UEC 杯と電聖戦そして WGC を、Zen^{*5} の対局を通じて振り返ります。

なお、全対局を通じて Zen は、CPU: 2×Intel Xeon E5-2699v4 (44 cores/2.2 GHz), GPU: 4×nVidia Titan X (Pascal), RAM: 128 GB のサーバ1台で動いています。

以下、2章で UEC 杯の予選と決勝を、3章で電聖戦を、5章で WGC の3局をおのおの分析し、6章で今の囲碁 AI の技術と課題について考察します。最後に、7章でまとめます。

2. 第10回 UEC 杯

今年の大会はこれまでと大きく様変わりしました。言うまでもなく AlphaGo [Silver 16] の影響です。今年の

注目は初参加、中国の Tencent 社が約1年間で開発した Fine Art がどこまでやるかに集まり、大方の関係者は Zen と Fine Art の優勝争いになると予想していました。

1日目の予選、2日目の決勝ラウンドを通して、すべての対局は19路、日本ルール、6日半コミ出し、30分切れ負けで行われました。

予選と決勝の Zen 対 Fine Art 2局の、Zen の勝率^{*6}の推移を、紙幅を節約するために図1（次頁）にまとめて載せました。

2・1 1日目・予選ラウンド

1日目の予選、Zen と Fine Art は第6ラウンドで全勝同士で当たり、Fine Art が Zen に勝って1位で予選を通過しました。3位以下は Rayn, AQ, Crazy Stone, Aya, CGI Go Intelligence, DolBaram の順でしたが、Rayn と AQ は初出場^{*7}ながら、Rayn は Aya (前回4位) を、AQ は Crazy Stone (前回3位) を、おのおの破っての上位進出です。また、決勝トーナメントに進出した8チームは、7位の DolBaram (前回5位) 以外、すべて value network (後述) を使っています。AlphaGo の論文から約1年で、value network がないと決勝トーナメントに残るのも難しくなりました。詳細は公式結果^{*8}を見てください。

Zen と Fine Art の対局 (図2) は、序盤の下辺の戦いで Zen に見損じがあったようで、図1を見ると91手目から勝率が急降下しています。ここで勝負が着きました。

*1 <http://jsb.cs.uec.ac.jp/~igo/>

*2 <http://entcog.c.ooco.jp/entcog/densei/densei5/>

*3 <http://www.nihonkiin.or.jp/player/html/ki000435.htm>

*4 <http://www.worldgochampionship.net/>

*5 これらの大会では DeepZenGo の名前が使われていますが、これは現在 Zen が「DeepZenGo プロジェクト」のもとで開発されているため、本稿では過去の記事との連続性も考慮して Zen を用います。

*6 手の探索中に行った全シミュレーション結果の、勝ちを1、負けを0とした平均値。

*7 Rayn は前回7位だった Ray を、松崎憲介氏がディープラーニングを使って強化したもので、今回は Ray の作者の小林祐樹氏とチームを組んでの参加です。

*8 http://www.computer-go.jp/uec/public_html/result1.shtml

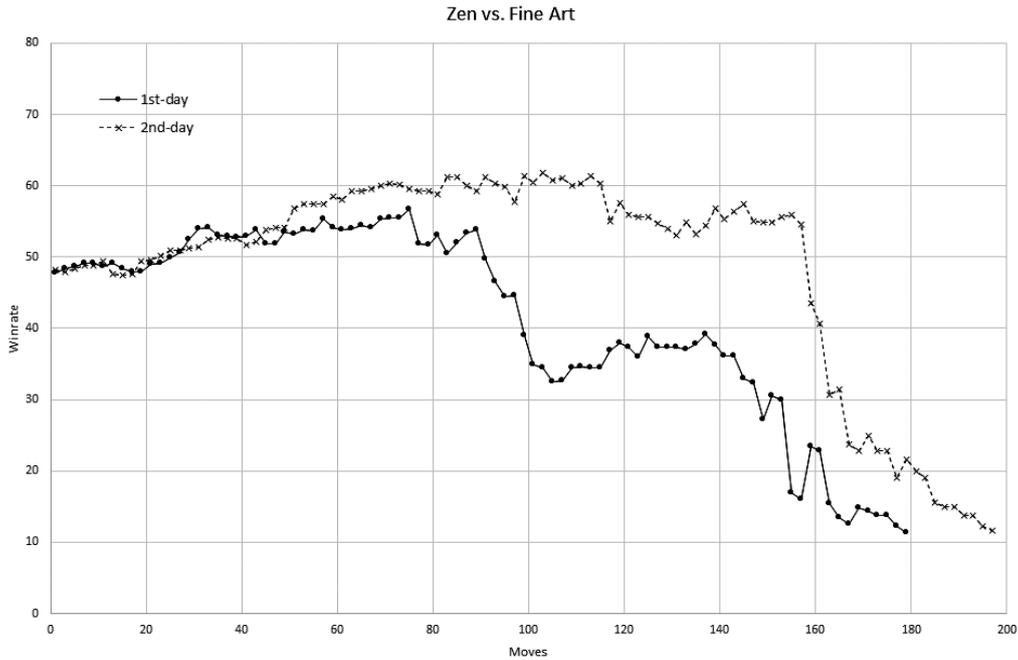


図1 UEC杯のZenとFine Artの対局2局の勝率の推移。横軸は手数、縦軸は勝率

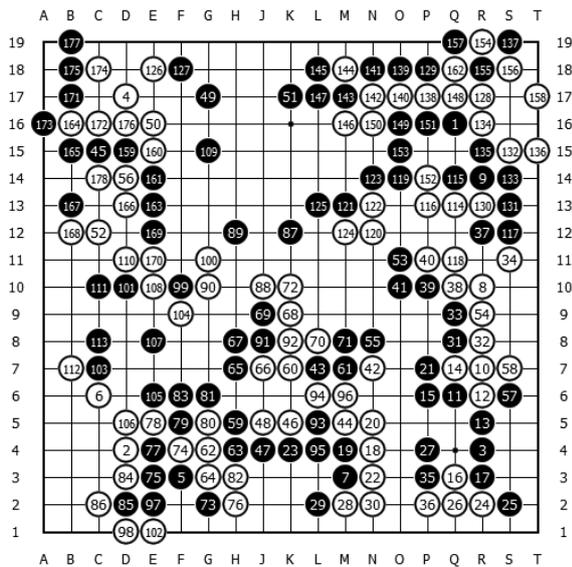


図2 UEC杯予選第6ラウンド, Zen(黒)対Fine Artの終局図。178手完, 白中押し勝ち

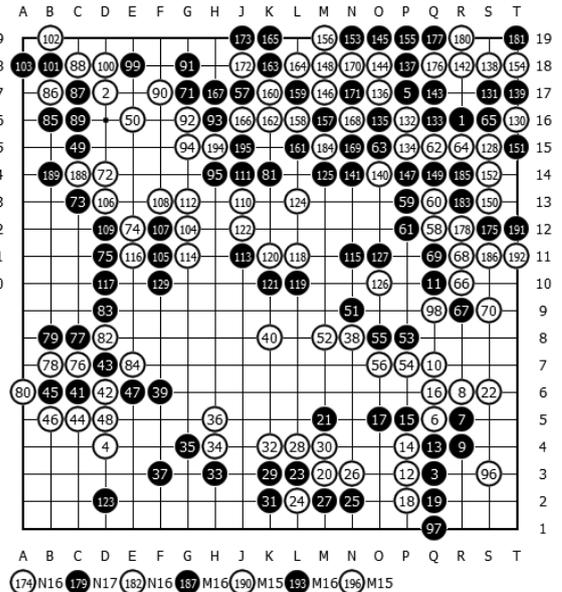


図3 UEC杯決勝, Zen(黒)対Fine Artの終局図。196手完, 白中押し勝ち

2・2 二日目・決勝トーナメント

ZenとFine Artは予選の2位と1位だったので決勝トーナメントの別の山になり、どちらも順当に勝ち上がって決勝で当たりましたが、Zenは予選の借りを返すことができず、Fine Artが優勝しました。図3が終局図です。

ニギリで、Zenが予選と同じ黒になりました。決勝は予選よりもつれ、ほぼ互角で中盤戦に入りましたが、ここで右上隅の130手目からのFine Artの仕掛けが鋭く、Zenは抵抗できません。最終的にZenが間違えて*9勝

負が決まったようです。

この2局を通じて、Fine Artが読みの深さでZenを凌駕しており、本来Zenが得意なはずの接近戦*10で負けてしまいました。

Value networkを使っている囲碁AI同士の対局では、定性的には両者とも似た手を打つので、探索の深さ(=ハードウェアの実行速度)が重要になる傾向は以前からありましたが、それが現れたように思われます。

*9 155手目のツギが問題だったようですが、よくわかりません。

*10 Value networkの影響で、接近戦が以前より弱くなっているようです。

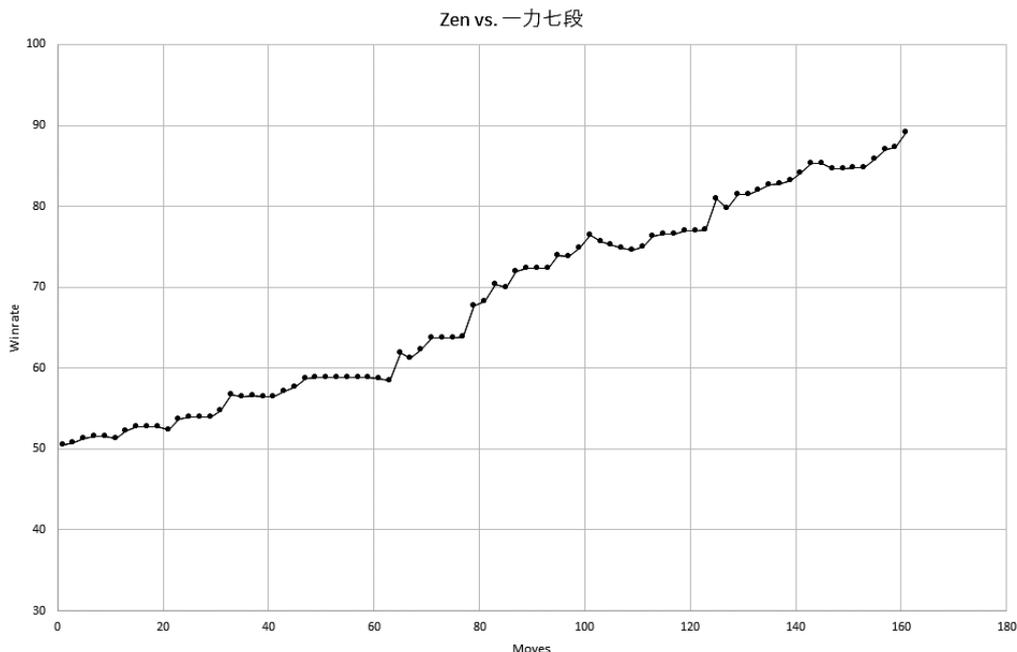


図4 電聖戦のZen (黒) 対一力七段の勝率の推移。
横軸は手数、縦軸は勝率

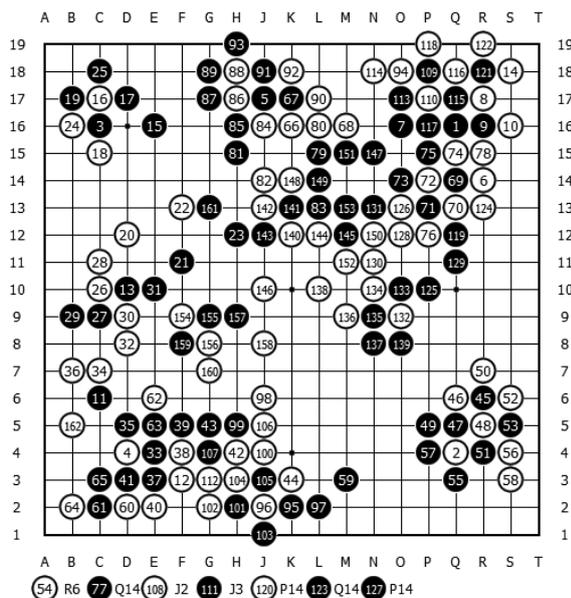


図5 電聖戦1局目,Zen (白) 対一力七段の終局図。
162手完, 白中押し勝ち

3. 第5回電聖戦

今年の相手は若手のホープ、一力遼七段*11ですが、たった1年で置石が四子からゼロになりました。これだけでもAlphaGoがコンピュータ囲碁界に与えた影響の大きさがわかります。

時間計測には対局時計を使い、秒読みは時計係りが行

います*12が、Zenの消費時間に関しては、盤に石を置いたり相手の着手を入力する時間を除外するため、その間時計を止めます。終局図を図5に、勝率の推移を図4に載せました。序盤から勝率が順調に上がっており、特に波乱もなくZenが勝ちました。

黒35手目のコスミツケがややソッポで、機敏に要の二子(27, 29)を制されて勝ちにくくなったようです。その後も徐々に差が広がりました。人間が非勢を意識して無理気味な手を打つと、逆に差を広げられてしまうようです。

UEC杯でFine Artに負けた対局ではZenが弱く見えました。この対局で、やはり人間よりかなり強いということを確認できました。

4. 第3回日中竜聖戦のエキシビション

若干紙幅に余裕があったので、第3回日中竜聖戦*13のエキシビション・マッチ、今や女流最強といわれている藤沢里菜三段(女流四冠)*14とZenの対局を紹介します。

図6が勝率の推移で、図7が終局図です。

30手近くまで、勝率が50%近辺なのは頑張っていますが、28手目(C7)があまり良くなく(Zenの読みはE6)、D8に逆襲されてしまいました。その後も黒D7に先着*15されてつらい形です。36(H8)も、素直に一間

*11 <http://www.nihonkiin.or.jp/player/htm/ki000435.htm>

*12 今年は放送の画面を意識して、両者の消費時間を対局時計で測ることになりました。

*13 http://www.igoshogi.net/igo/special/japanchina_ryusei2017.html

*14 <http://www.nihonkiin.or.jp/player/htm/ki000434.html>

*15 Zenの読みは白D7黒E8白D9黒E6でした。

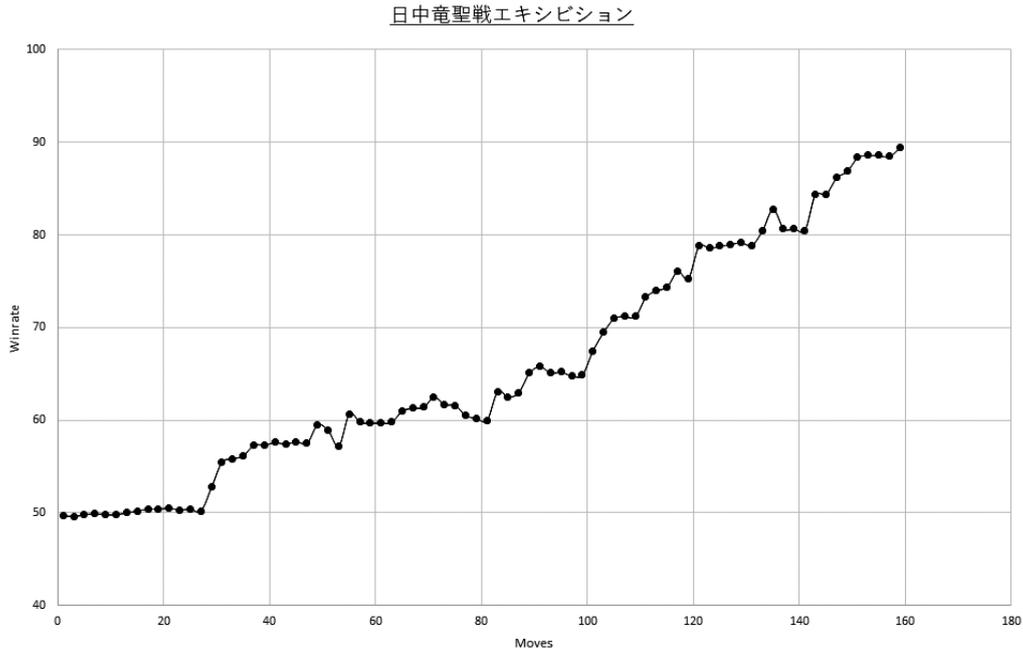


図6 第3回日中電聖戦のエキシビジョン, Zen (黒) 対藤沢三段の勝率の推移。
横軸は手数, 縦軸は勝率

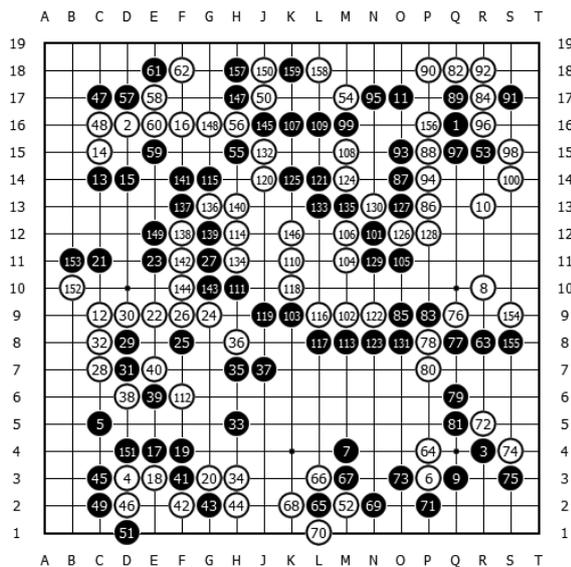


図7 第3回日中電聖戦のエキシビジョン,
Zen (黒) 対藤沢三段の終局図。
159手完, 黒中押し勝ち

に飛んでいたほうが良かったようです^{*16}。

この後, Zen が下辺の白の眼を取るのにこだわっていますが, これは間接的に下辺右側の白石を牽制していたようです。

白は52手目(M2)から下辺の左側を活きましたが, 黒に良い形で渡られて, P3とP4の白石が危なくなりました。72(R5)からサバこうとしましたが, 成功したとはいえません。

白82(Q18)は勝負手ですが, 黒は相手をせずに83

(P9)にキリました。このキリは非常に厳しく, 白も打ちようがありません。勢い三三に侵入して隅の黒を根こそぎ攻めようとしたのですが, 綺麗にサバかれて万事窮す。

白102(M9)からの中央の侵略も, 黒は取ろうとせずに中で生かして十分と判断しています。黒の159手目を見て投了となりました。

5. 第1回ワールド碁チャンピオンシップ

これも AlphaGo の影響といってよいでしょう。今年から新しいイベント棋戦「ワールド碁チャンピオンシップ」^{*17}が創設されました。これは, 副題に「世界最強碁士決定戦」とあるように, 日・中・韓3か国のトップ碁士に囲碁 AI を加えた四者の総当たりで最強を決めようという主旨の大会です。これまでのコンピュータ囲碁の大会と大きく異なるのは主催者が日本棋院という点で, 非公式戦ながら正式な囲碁の大会ですし, 賞金総額も5,000万円と2桁違います。

日本代表は文句なく最強の井山裕太九段(六冠)^{*18}, 中国代表は国内予選を勝ち抜いたランキング2位の聿昱廷(ミ・イクテイ)九段^{*19}, 韓国代表はランキング1位の朴廷桓(パク・ジョンファン)九段^{*20}, 囲碁 AI 代表は Zen^{*21}が, おのおの選ばれました。

大会は大阪の日本棋院関西総本部と周辺のホテルを使

*17 <http://www.worldgochampionship.net/>

*18 <http://www.nihonkiin.or.jp/player/html/ki000385.htm>

*19 https://en.wikipedia.org/wiki/Mi_Yuting

*20 https://en.wikipedia.org/wiki/Park_Junghwan

*21 AlphaGo には断られたそうです。

*16 By 山城宏九段

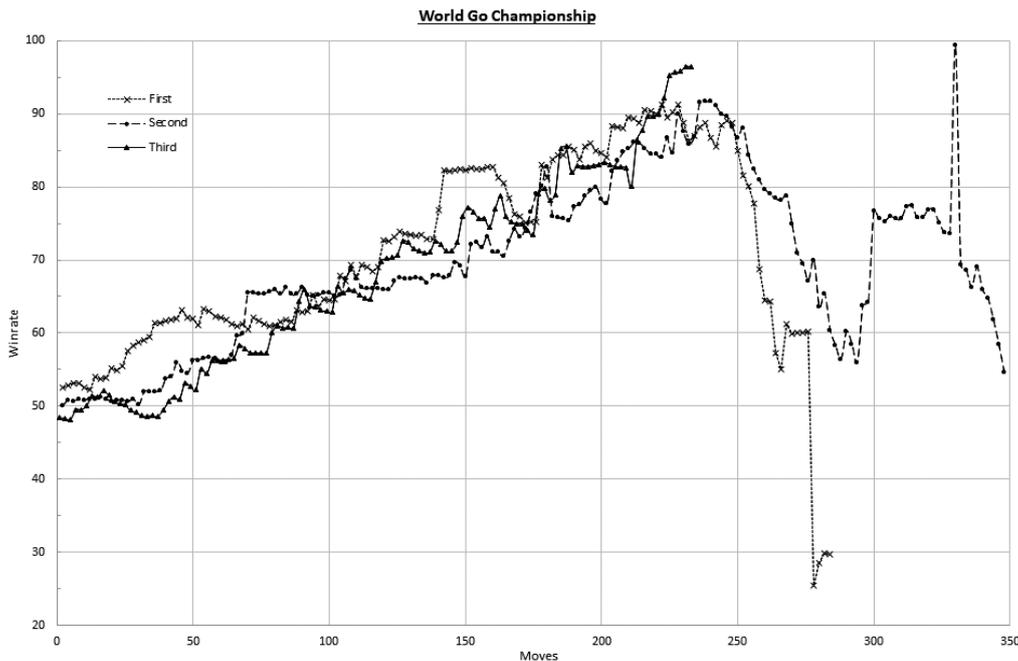


図8 WGCのZenの対局3局の勝率の推移。
横軸は手数、縦軸は勝率

い、3月21～23日の3日にわたり*22行われました。

対局は四者の総当たりですべて互先（黒の6目半コミ出し）、日本ルール、持ち時間は3時間+1分の秒読みという条件で行われ、3戦全勝の朴廷桓九段が優勝、2勝1敗の聿昱廷九段が2位、1勝2敗のZenが3位、井山九段は全敗で4位でした。

Zenの対局3局の勝率は図8にまとめて、棋譜は図9から図11に示しました。

Zenは2敗しましたが、3局とも200手過ぎまでは大きくリード（図8）していました。

聿九段との第1局（図9）は、終盤、実際は半目負けているのに、Zenは半目勝っていると判断するという現象が起きました。これを引き起こしたのは、コミの違い、および日本ルールと中国ルールの微妙な差でした。

まず複数のコミへの対応です。AlphaGoのvalue networkは中国ルール、コミ7目半という設定で訓練されており、どちらを変えるにも訓練用データをつくり直して訓練し直す必要があります。そこでZenは、value networkの出力を複数（必要なコミ分）用意し、value networkの訓練用データをつくるときに、複数のコミ設定でスコアリングすることで、一つのvalue networkを複数のコミに対応*23させていました。ところが、スコアリングの都合上、2目刻みでしか対応できなかったため、この対局時は6目半のコミを7目半の評価値で代用しており、これが敗因の一端になりました。今は5目半と7目半の出力を平均したものを使っています。なお、

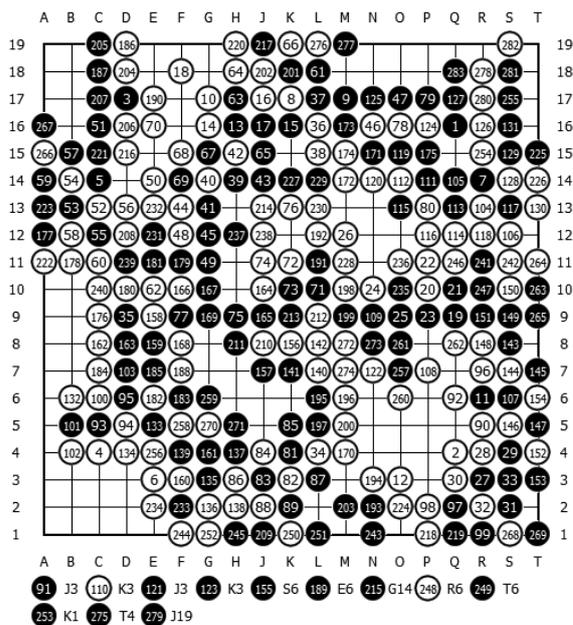


図9 WGC 1局目、Zen（黒）対聿九段（中国）の終局図。
162手完、白中押し勝ち

Zenのと類似した手法 [Wu 17] が最近提案されています。

次はルールによる差です。技術的な理由から、囲碁AIは中国ルールで動いており、日本ルールへの対応は何かの補正を加える形で実装されます。両ルールの基本的な相違は、中国ルール（エリア・スコアリング）は石もスコアとして数えるのに対し、日本ルール（テリトリー・スコアリング）は数えないことです。そのため、中国ルールで黒の手番で終局すると（初手は黒）、黒のスコアが日本ルールと比べて1増えます。

この問題はモンテカルロ碁の初期から認識されてお

*22 20日に組合せ抽選、24日はプレイオフのための予備。
*23 この方法はvalue networkに近似させる関数が複雑になるので、精度が下がる可能性があります。

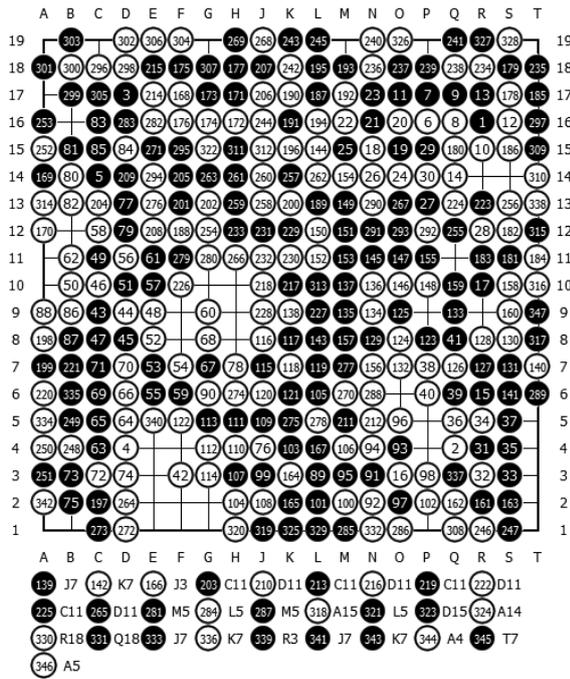


図10 WGC 2局目, Zen (黒) 対朴九段 (韓国) の終局図。162手完, 白中押し勝ち

り, 各 rollout^{*24} の結果をスコアリングするとき (プログラムで動的に) 補正していますが, value network にも同様の補正が必要です。

中国ルールで訓練された value network を日本ルールに対応させるには, 最後に黒が打つ (ダメを詰める) ときに黒のスコアを 1 減らさなければなりません, value network 内部のスコアを直接いじることはできませんし, 最後に黒が打つことを正確に検出するのも難しくそうです。もろもろの理由から, Zen の value network ではこの補正は行っていません。

さて, value network の内部表現を見ると, 内部でスコアを計算^{*25} し, それをシグモイド関数に通して勝率として出力しているように見えます。各点のスコアの合計の誤差を半目 (0.5) 未満に収めるには, 19路の交点は 361 か所なので, 1点あたり 10^{-3} 以下でなければなりません, 連続値で動いている DCNN (deep convolutional neural network) でこの精度を達成するのはかなり大変なのです。

朴九段との第2局 (図10) は, 終盤, 死活 (正確にはセキ) の見損じが生じました。234手目の右上のキリがそのスタートで, 終局図の左上隅が, 部分的には (そ

*24 これまでモンテカルロシミュレーションやランダムシミュレーションと呼ばれてきたものですが, AlphaGo の論文では—恐らく無用な混乱を避けるためでしょう— rollout という新しい言葉を使っているので, 本稿もこれにならうことにしました。サイコロを転がすイメージでしょうか。

*25 人間のように黒と白の地を個別に計算して最後に差を取るのではなく, 例えば黒石と白石が隣接しているとその場でまとめてゼロにするというように, できるだけ局所的に計算しているようです。

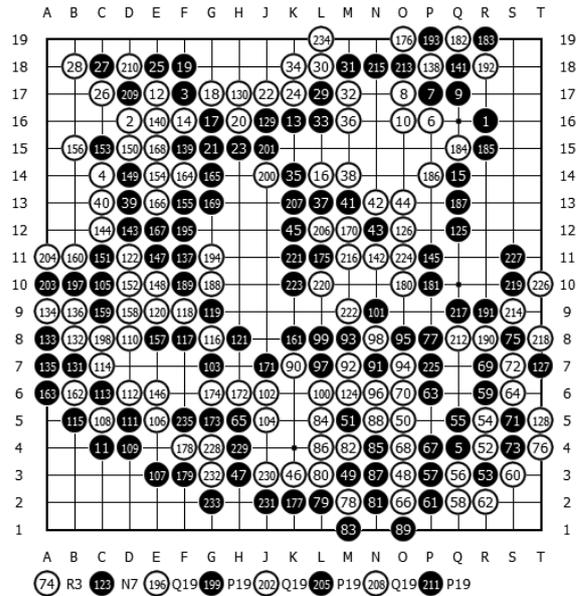


図11 WGC 3局目, Zen (黒) 対井山九段の終局図。162手完, 白中押し勝ち

こだけ見ると) 黒から押す手なしのセキになっています。しかし, 黒は右上隅から順に白を打ち上げていけば白を取ることができます。これは value network の限界を表しています。ニューラルネットワークは静的な「形」から出力を計算しますし, DCNN は局所的な窓を積み重ねることで徐々に視野を広くしていますから, このように 19路の幅を全部使うような大きな死活は, 13層程度の DCNN では, 「右上の白を打ち上げることができるから, 左上隅の一見セキに見える形は, 本当はセキではない (セキ崩れ)」ことはわかりません。Value network の段数を深くして「見える」範囲を広げることが有効な可能性はあります^{*26} が, 訓練時間が非常に長くなるために簡単に実験することはできず, どこまで改善できるかは未知数です。

Value network で無理なら rollout はどうでしょう? 残念ながら, rollout はこのように手順が長く, しかも順序が重要な場合には (やはり) うまく機能しません。

残る可能性は木探索ですが, ここまで手順が長いと, 実際に白が打ち上げられるまで探索するのは事実上無理^{*27} でしょう。また, 探索の途中で正しく手を選ぶかも問題です。

結局, このように大きな形で (石が打ち上がるまでの) 手順が長い形は, value network を使っても, 正しく判断するのは難しいのです。これらの問題は 6章でさらに検討します。

なお, 井山九段との第3局 (図11) は Zen が勝ちま

*26 Master (半年ほど前に現れた AlphaGo の新しい版) は 40 層であることが明らかになっていますが, これが理由かは不明です。ハードウェアとの関係など, 他の理由も考えられます。

*27 TPU v2 の計算速度なら, ひょっとするとこのくらいは読めるかもしれません。

したが、図8では他の2局と大きな差がないように見えます。しかしこれは図8が勝率で表されているため、スコアではもう少し差が開いています。結局、中・韓の強豪は非勢でも差を広げないように粘るのに対し、(碁形にもよりますが)本局はある程度以上差が開いてしまったため、Zenのミスが起きずにそのまま勝てたものと思われま。なお、Zenの勝率で見ると、序盤は井山九段が一番上手に打っています。これは電聖戦の一方七段や日中竜聖戦エキシビジョンの藤沢三段の序盤にもいえることで、総じて日本の棋士の序盤は中・韓の棋士よりうまいようです。

6. 今の囲碁AIの課題

ディープラーニング導入以降のモンテカルロ碁の技術について、現時点でわかっていることを、著者の推測を交えて^{*28}説明します。

Policy network [Clark 15, Maddison 15, Tian 15] は、19路のような大きな盤では必須な、探索前に各合法手を評価する既存の手法 [Coulom 07] の予測率を大きく改善しましたが、実行速度が10倍以上遅いという課題がありました。しかしこれは、最近のGPUの高速化やTPU/TPU v2^{*29}などのハードウェアの改良で(消費電力と価格以外は)ほとんど問題にならなくなりました。これにより、[Coulom 07] で使っているパターン(石の配置)がデジタルでかつ完全な一致を要求していたために、隅は何とかなっても辺や中央では大きなパターンがマッチする頻度が非常に低くなってしまいう問題が克服されたといつてよいでしょう。

AlphaGo以降の囲碁AIの強さにより大きく寄与しているvalue networkに関してわかっていることはそれほど多くありません。基本的なアイデアは、これまで対局中に行っていたrolloutを事前に行い、その結果をDCNNに覚えさせるというものです。

Rolloutには、できるだけ高い精度で実際の対局を近似することが要求され、その精度がプログラムの強さに直結します。これまでの、実行時間の制約から複雑な処理はできませんでしたが、オフラインになれば木探索を行うことも(原理的には)できます。AlphaGoの論文では、棋譜から教師あり学習でつくったpolicy network

を若干強化したものを使ってスコアリング(ある局面を最後までシミュレートして最終結果を得る)していますが、(処理時間さえ許せば)もっと強いプレーヤ、例えばAlphaGo自身を使うこともできます。

事前に行うのでrolloutの回数もいくらかでも増やせますが、実際にはvalue networkの訓練に掛けられる時間の上限もありますし、その結果をvalue networkがどれだけ正確に覚えられるかも問題です。以下、value networkに与えることができる訓練データの数と、実際に入力として現れ得る局面の数を見積もります。

AlphaGoでは、訓練データ(局面と最終結果の対)を 3×10^7 個使っており、これはpolicy networkの学習に使っている局面の数とほとんど同じです。Value networkの構造もpolicy networkとほとんど同じで、訓練時にpolicy networkをコピーして初期化しています。これは、より良い汎化を期待しての処理^{*30}と考えられます。

19路の合法的な局面は少し前に厳密な数が明らかになって[Tromp 16]おり、 10^{170} のオーダーです。これから推測して、実戦で現れ得る局面数のオーダーが 10^{30} より小さいとは考えにくく、 10^8 とは 10^{20} 以上違います。つまり、実戦で現れ得る局面の評価値の非常に粗い近似しかできません。これはつまり、非常に滑らかな近似になることを意味し、細かい凹凸(例えば石の位置が少し違うと勝敗が変わるような局面の評価値)は近似できないこととなります。もちろん、うまい汎化方法があれば近似精度は上がりますが、囲碁の石の死活や攻め合いに都合の良い汎化が実現される可能性は事実上ゼロでしょう。

では、value networkでどのような関数を近似するのが良いか? AlphaGoの方法は巧妙です。与えられるデータが対象の空間に比べて非常に少ないということは、関数の細かな凹凸が表現できないということですから、value networkは滑らかな曲面を実現し、細かな変化はrolloutに任せて、両者を適当な割合^{*31}で混合しています。

これにより、静かな局面の評価精度が格段に向上し、人間を上回るようになったことが、AlphaGoがトップクラスの棋士に勝てた理由だと思われます。しかしこれでは、死活や複雑な攻め合いが解けないというこれまでの囲碁AIの弱点は解決していません。にもかかわらず、AlphaGoは安定して勝っています。

この理由は、value networkの訓練用の棋譜のスコアリング時のちょっとした工夫にあると思われます。AlphaGoは、value networkの訓練データとして使う局面を選ぶとき、全合法手から一様ランダムに選んだ1手を打った後の局面を選んでスコアリングしています。こ

*28 若干イレギュラーですが、value network関連は、AlphaGoの論文の追試に必要なリソースが膨大であること、論文の公表以後大学の研究室など研究機関のほとんどが囲碁AIの開発を止めてしまったことなどから、公表されている実験データがほとんどなく、またAlphaGoを開発したDeepMindの実質的な親会社であるGoogleが、論文以外の情報をほとんど公開しない(論文の著者に訊ねても、秘密保持契約があるので話せないといわれる)ため、情報が圧倒的に足りません。他方、囲碁の静的評価関数が実現されたからMCTSはもういらぬなど、value networkに関する誤解もいくつか見られ、できるだけ早くその実体を明らかにする必要があります。

*29 <https://cloud.google.com/tpu/>

*30 Value networkの訓練データは「局面とその最終結果の対」と、非常にシンプルなので、収束先の自由度が非常に高い。

*31 適切な割合は局面に依存します。AlphaGoの論文の時点では1対1でしたが、その後value networkの割合を増やしているようです。

の意味に多くの開発者が悩んでいます*32が、ここでは著者の解釈を説明します。今の囲碁AIは死活や攻め合いがそれほどうまくなく、「際どい」局面になると人間に負ける可能性が高くなるので、そういう局面はできるだけ避けたいとします。また、ランダムな1手を打った局面が、元の局面や普通に手を選んで打った局面を代表します。つまり、ランダムな手を打った局面の最終スコアがこれらの局面の評価値になります。これはお互いに距離が1しか違わず、またこの局面の集合から複数の局面が訓練データに含まれる可能性はゼロだからです。

まず、これはほぼ1手パスと等価*33です。このときの手番はランダムですから、あり得るケースは、(a) 黒白どちらの手番でも勝ち、(b) どちらでも負け、そして(c) 片方だけ負けです。プログラムにとって最も都合が良いのは(a)で、黒白どちらも、1手パスをしても勝てるという、その手番のプレーヤに非常に有利な局面です。しかしこのような局面は実際には存在しない可能性が高いでしょう。

(c)は、その手番側に1手パスをしても勝てるほど大きなマージンがあれば勝ちに、そうでなければ負けという訓練データになります。このマージンは、終盤なら数目、中盤では1手の余裕、序盤ではそれほど大きくない差に相当すると考えられます。

重要なのは(b)で、これは両者が拮抗していて、どちらにとっても1手のミスが勝敗に直結する「際どい」局面です。通常、片方の勝率と相手の勝率の和は100%になりますが、この局面は、黒白どちらの勝率も0%という本来存在しない局面です。AlphaGoは、ランダムな1手を挿入することで、「際どい」局面を、黒白どちらも負ける局面*34という訓練データにしたわけです。

結果、AlphaGoは(空の碁盤から始めた場合)このような「際どい」局面を避けるように手を進めるはずですが、これがAlphaGoが、上記の弱点が残っているにもかかわらず、安定して勝てる理由だろうと推測しています。しかし例えば9路では、ほとんどの局面は(b)に属し、(c)が終盤に若干あるかどうかということになりそうで、19路のようにうまく機能するかは不明です。

いずれにせよ、この手法を使うと苦手な際どい局面を避ける方向に手を進めるので、安定して勝つことができるようになると考えられますが、死活や攻め合いが(人間に比べて)下手という根本的な問題は解決していませんから、これで本当に強くなったといえるかどうかは微妙です。

*32 ランダムな1手には大きな違いがあるそうです。http://www.yss-aya.com/bbs_log/bbs2017.html

*33 パスでは石の個数が変わり、ほかに影響が出る可能性があります。

*34 AlphaGoのvalue networkは、policy networkの入力に手番を追加したものなので、このような関数も学習できるはずですが。

なお、Zenは、value networkの訓練データをつくる時、ランダムな1手の挿入は行っていません。小規模なvalue networkで実験した範囲では、有望な結果が得られなかったためです。

7. ま と め

シミュレーションで一番重要なのは、死活を正しく判断する(結論を出す)ことです。これは、他の手がスコアに与える影響は連続的で小さいのに対し、死活は不連続でスコアが大きく動くからです。

MCTSは確率のかつボトムアップなため、人間の強豪(あるいは古典的囲碁ソフト)には簡単にわかるような死活が解けない、もしくは、解けても一定の誤差を伴う、また複雑な攻め合いは組合せ爆発のために解けない、という原理的な問題があります[加藤13a, 加藤13b, 加藤14]。

AlphaGoは、value networkによって静かな局面の評価精度が大幅に向上し、序盤や終盤を人間よりうまく打てるようになりました。また、value networkをオフラインで訓練することで実行時間の制約を大きく緩和し、これまでよりはるかに高性能なシミュレーションで局面を評価(スコアリング)することができるようになりました。これが苦手な局面を避ける工夫と相まって、安定して人間に勝てるようになった理由と考えられます。

しかし、value networkの訓練に使えるデータ数が、入力され得る局面の数に対して圧倒的に少ないため、評価値の細かな凹凸は近似できず、難しい局面には対応できません。結局、そういう局面には動的に対応せざるを得ず、相変わらずrolloutが必要です。

著者は、ここから先は、人間のように、ある石の死活に注目した深い読みや、現在のボトムアップな手法では組合せ爆発のために解決できない複数(三つ以上)の石が相互に絡んだ複雑な攻め合いを解くための仮説推論を実現する、トップダウンな処理を組み合わせることができ、より強力な枠組みが必要だと考えています。そしてこれはまた、人工知能のより広い実用化のためにも必要でしょう。

◇ 参 考 文 献 ◇

- [Clark 15] Clark, C. and Storkey, A.: Training deep convolutional neural networks to play Go, in Bach, F. and Blei, D., eds., *Proc. 32nd Int. Conf. on Machine Learning*, Vol. 37 of *Proc. Machine Learning Research*, pp. 1766-1774, Lille, France, PMLR (2015)
- [Coulom 07] Coulom, R.: Computing Elo ratings of move patterns in the game of Go, *ICGA Journal*, Vol. 30, No. 4, pp. 198-208, <http://remi.coulom.free.fr/Amsterdam2007/MMGoPatterns.pdf> (2007)
- [加藤13a] 加藤英樹: 自戦記—Zen かく戦えり—, 情報処理, Vol. 54, No. 3, pp. 245-250 (2013)
- [加藤13b] 加藤英樹: 自戦記—第6回UEC杯と第1回電聖戦—, 人工知能学会誌, Vol. 28, No. 5, pp. 771-774 (2013)
- [加藤14] 加藤英樹: 自戦記—第7回UEC杯と第2回電聖戦—,

人工知能, Vol. 29, No. 4, pp. 318-321 (2014)

- [Maddison 15] Maddison, C. J., Huang, A., Sutskever, I. and Silver, D.: Move evaluation in Go using deep convolutional neural networks, *Int. Conf. on Learning Representations* (2015)
- [Silver 16] Silver, D., Huang, A., Maddison, C. J., Guez, A., Sifre, L., Driessche, van den G., Schrittwieser, J., Antonoglou, I., Panneershelvam, V., Lanctot, M., Dieleman, S., Grewe, D., Nham, J., Kalchbrenner, N., Sutskever, I., Lillicrap, T., Leach, M., Kavukcuoglu, K., Graepel, T. and Hassabis, D.: Mastering the game of Go with deep neural networks and tree search, *Nature*, Vol. 529, No. 7587, pp. 484-489 (2016)
- [Tian 15] Tian, Y. and Zhu, Y.: Better computer Go player with neural network and long-term prediction, *CoRR*, Vol. abs/1511.06410 (2015)
- [Tromp 16] Tromp, J.: *The Number of Legal Go Positions*, pp. 183-190, Springer International Publishing, Cham, <https://tromp.github.io/go/legal.html> (2016)
- [Wu 17] Wu, T., Wu, I., Chen, G., Wei, T., Lai, T., Wu, H. and Lan, L.: Multi-labelled value networks for computer Go, *CoRR*, Vol. abs/1705.10701 (2017)

2017年7月4日 受理

著者紹介



加藤 英樹

1953年生まれ。1980年東京工業大学大学院理工学研究科情報工学専攻修士課程修了。同年、東京工業大学工学部助手。1982～2001年株式会社富士通研究所で応用人工知能、Lisp処理系、人工神経回路網などの研究開発に従事。2006～10年東京大学大学院情報理工学系研究科創造情報学専攻博士課程でコンピュータ囲碁を研究。IPSJ, IEICJ, JNNS, ICGA各会員。CGF理事。チームDeepZen, DeepZenGoプロジェクト各代表。

特集 「人間を超えるコンピュータ囲碁」

Rayn の技術と自戦記

— UEC 杯 3 位への歩み—

Rayn: State-of-the-Art Go Program

小林 祐樹
Yuki Kobayashi

株式会社日立製作所
Hitachi, Ltd.
yuki.kobayashi.je@hitachi.com

松崎 憲介
Kensuke Matsuzaki

株式会社ケイ・アイ・テック
KITec, Inc.
knsk.mtzk@gmail.com

Keywords: computer Go, deep learning.

1. はじめに

第 10 回 UEC 杯コンピュータ囲碁大会で幸運にも 3 位になった Rayn の技術と自戦記について記述します。今大会は最後の UEC 杯であり、著者自身過去最高の成績を残せたので、非常に思い出に残る大会になりました。

2. 囲碁プログラム Rayn

Rayn は小林の開発しているプログラム「Ray」と松崎の開発しているプログラム「Rn」を合体させたプログラムになります。プログラム名に関しましては、Ray と Rn を合わせてシンプルに Rayn としました。「レイン」と読みます。

2.1 Ray について

Ray [小林 16] は小林が開発した囲碁プログラムです。2 条項 BSD ライセンスで公開しています*1, *2。探索部には MCTS (Monte Carlo Tree Search) を採用し、Crazy Stone と同様に、Coulom の手法 [Coulom 07] を使って学習させた確率分布を使いシミュレーションを行います。木探索部の着手評価には Latent Factor Ranking アルゴリズム [Wistuba 13] を用いています。また Ownership と Criticality [Coulom 09] に基づいて、着手評価を動的に調整して、重要な着手を重点的に評価する工夫をしています。4 コアの CPU を使って、15 秒 9 回の考慮時間で KGS で 2d の強さです。

*1 こちらで公開しています。 <http://computer-go-ray.com/>

*2 Ray の GitHub Repository : <https://github.com/kobanium/Ray>

2.2 Rn について

Rn は Ray を元に松崎が改良を加えたプログラムです*3。Ray に Deep Learning を導入しており、Ray よりは五子以上強くなっています。技術に関する詳細は「Rayn の技術」に記述します。

3. Rayn の技術

Rayn は AlphaGo の手法を模倣して、policy network と value network を使った Asynchronous policy and value MCTS (APV-MCTS) を実装しています。AlphaGo [Silver 16] をまねして Value network を学習させようとすると強化学習が必要であり、また棋譜生成に大量のリソースを要求されるため、個人で再現することは難しいものとなっています。

そこで、地の大小で勝敗が決まる囲碁のルールから、終局時にある地点が黒地か白地かの概念 (Ownership) と勝敗を表現する特徴量は共通項目が多いと考えました。また darkforest [Tian 15] では 3 手先まで予測することで安定して学習できるということを踏まえて、ある局面を入力として

- (1) 次の 1 手の予測 policy network
- (2) 勝敗の予測 value network
- (3) 各座標の地の予測 ownership network

を一部パラメータを共有させて同時に学習させました。Ownership の同時学習によって過学習を抑制できると考え、一つの棋譜からすべての局面を学習データとして利用しました。対局時には policy network と value network のみを利用し、ownership network は利用していません。

*3 Rn の GitHub Repository : <https://github.com/zakki/Ray>

3.1 ネットワークの構造

深いネットワークで学習するために ResNet [He 16] を利用しています。また Batch Normalization を導入することで学習が安定して収束するようになりました。3層のボトルネック ResNet, SqueezeNet, Densely Connected Convolutional Networks を試してみたものの、同程度パラメータ数で学習させた結果、速度低下に見合う効果は得られませんでした。調整不足の可能性もあるので、これらのネットワークの採用で何らかの改善が期待できるかもしれません。

Rayn のネットワークの構造を図 1 に示します。図中の「Res Layer」は図 2 で、添字は畳込み層のカーネルの個数を表しています。

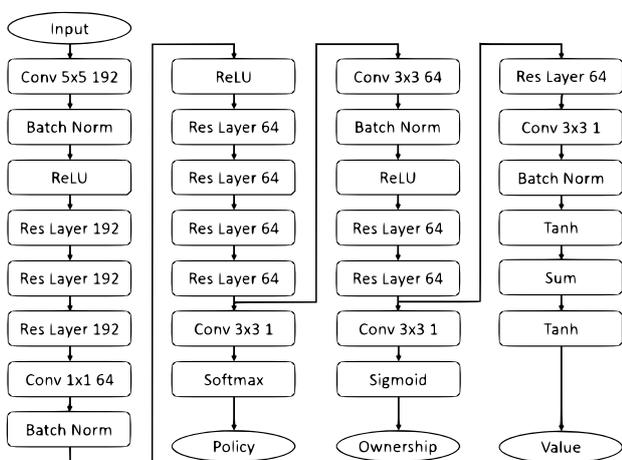


図 1 ネットワークの構造

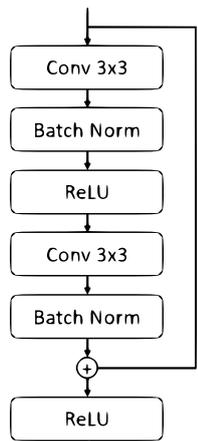


図 2 Residual Layer

3.2 入力の特徴

Ray の実装では盤面のコピーが非常に重く、AlphaGo の入力特徴を計算するのに時間がかかるため、シミュレーションに用いているトリやアタリなどの戦術的特徴をそのまま流用しています。その結果として、入力は盤面、経過手数、シミュレーション用の特徴の合計 52 面となっています。

3.3 学 習

インターネット碁会所「KGS」の 5d 以上の棋譜と囲碁のプロ棋士の有料棋譜データベース「GoGoD」の棋譜からコミ 5.5 ~ 7.5 目の棋譜を 35 万局、約 7300 万局面を教師データとしました。学習環境として Intel Core i7-6700K と NVIDIA TITAN X (Pascal) を用いました。棋譜からの学習データ生成に 1 週間、生成したデータからの学習に 1 週間かかっています。また、Deep Learnig のフレームワークとして Microsoft の CNTK を利用しています。

3.4 課 題

現状、以下のような課題があります。

- (1) 数目差の勝負のとき、value network の評価と実際の勝敗が一致しないことがある。
- (2) 明らかに死んでいるがダメがたくさんある大石、1 眼と欠け眼をもつ大石を生きていると誤認する。
- (3) 現行のニューラルネットワークのアーキテクチャに改善の余地がある。
- (4) ネット上でコンピュータ囲碁同士が対戦できる囲碁サーバ「CGOS^{*4}」のレーティングを基準に開発しているため、対コンピュータ・互先・早碁に特化した部分がある。

また有志の方が Dragon Go Server^{*5} で対局を行っているようですが、その対戦成績を見ると五子以上の置き碁の成績が悪いため、依然として置き碁は苦手なようです。

4. UEC 杯での対局について

4.1 対局に使った環境

大会当日は IDCF クラウド GPU BOOST タイプ Tesla P100 を利用しました。構成としては 2.5 GHz 相当の 56 仮想 CPU と 1GPU (Tesla P100) となります。56 スレッドで探索を行うと GPU の計算が追い付かず、policy network と value network の評価キューがあふれてしまうため、探索には 28 スレッド使いました。しかし、それでもネットワークの評価が追い付かずに探索スレッドがブロックされていました。

4.2 予 選

初日の予選で印象に残っている CGI Go Intelligence と DeepZenGo、絶芸 (Fine Art, 以下本稿では Fine Art と記す) との対局について書きます。CGI Go Intelligence との対局は中盤からじわじわと CGI Go

*4 <http://www.yss-aya.com/cgos/19x19/standings.html>

*5 RayonBot : <http://www.dragongoserver.net/userinfo.php?uid=97868>

Intelligence が優勢になっていたのですが、CGI Go Intelligence 側でネットワークトラブルが発生して、Rayn の勝ちとなりました。NNGS サーバから接続が切れてしまった原因を CGI Go Intelligence のメンバと一緒に探ってみたのですが、プログラムが動いているサーバと NNGS サーバの接続が切れてしまったらしいということがわかっただけで、原因がよくわかりませんでした。大会のルールに従った結果、勝ちとなりましたが、おそらく勝つのは厳しい対局だったので、ここで勝ちを拾ったことが決勝トーナメントの 3 位入賞につながったといえます。運も実力のうちといいますが、いたたまれない気持ちになりました。

DeepZenGo はやはり Zen らしさを残しており、積極的に石を取りに来る感じで、序盤の Rayn の失敗もあり、ポロポロにされて敗けました。AQ が DeepZenGo を苦しめたことを考えると、Rayn の value network の完成度はまだまだ低いようです。裏を返せば、それだけ伸び代があるということです。

Fine Art は「野狐囲碁」で世界の名だたるトップ棋士に大きく勝ち超しているだけあって、序盤早々に勝負を決められてしまいました。囲碁についてはよくわからないのですが、なぜかこちらの石が非常に窮屈な形になっていて、正直何度やっても勝てる気がしませんでした。DeepZenGo とは 1000 回戦えば一発は入りそうな気がしましたが、Fine Art 相手には一発も入る雰囲気がありません。

4.3 決 勝

1 回戦の MARU は今大会独創賞を受賞したプログラムでアルゴリズムも非常に興味深いものでした。棋力としては差がありましたが、コンピュータにとって、囲碁の終局を判断させるのは非常に難しいので、実用上も役立つものだと思います。

準決勝は Aya との対局になりました。Aya とはすでに CGOS でかなりの対局数をこなしており、あまり相性が良くないことは対局前にわかっていました。中盤から非常に厄介な攻め合いが出現しましたが、何とか勝ち切りました。通常の MCTS のみだと着手が不安定になるような局面でも、value network によって着手が安定しているように見えました。

準決勝は Fine Art ということで、予選ですでに戦った相手なので、対局が始まる前からほとんど勝ち目が無いのはわかっていました。対局の内容は序盤早々に潰されてしまった予選と比較すると、良く戦えたと思います。しかし、明らかに棋力の差が大きく、順当に敗けてしまいました。

3 位決定戦は今回初出場の AQ でした。対局の内容としては序盤から中盤にかけてリードされていましたが、中盤から五分五分に戻し、そのまま勝ち切ったという感じでした。Value network の精度が非常に高い一方で、

ロールアウト部分はそこまで作り込んでいないようで、その部分で勝てたようです。準決勝でも Zen 相手に非常に良い戦いをしていたので、ロールアウト部分をつくり込むと、さらに強くなりそうです。今回の AQ の躍進は、value network がいかに重要な要素であるかを如実に示していたと思います。

5. ま と め

今大会で 3 位入賞というのは幸運に恵まれた結果でした。3～7 位に入賞した Rayn, AQ, Crazy Stone, Aya, CGI Go Intelligence の 5 プログラムは実力が拮抗しており、順当に 3 位になったというよりは、運良く 3 位になったというのが率直な感想です。

著者自身も電気通信大学村松研究室に在籍しているときには大会実行委員として大会運営に携わらせていただきましたが、準備もさることながら、大会当日何が起こるか分からない緊張感があり、大会運営は非常に大変なものでした。今年については、Fine Art が非常に多くの人を連れてきていたり、2 日目の解説会にたくさんの方が来場したりで、最後の UEC 杯にふさわしい大変さがあったと思います。

6. 今後の展望

囲碁プログラムの開発に着手しようとしている方々の役に立てればと思います。2016 年 5 月に Ray を公開しました。そのおかげで、Ray を参考に囲碁プログラムの開発に携わる人が少しずつ現れてきています。

一方で、Ray は一つの思考エンジンとしてある程度出来上がったものなので、Ray をベースに自分で試行錯誤して強くするのが大変なのも事実です。その問題を解決するために、Ray のシミュレーション部分に使っている学習プログラムを 2017 年中に公開する予定です。

また、今後開催される大会で、「自作のプログラムでないと参加不可」というルールがないとも限らないので、Ray のデータ構造をそのままに、思考部を最低限にしたモンテカルロ木探索の囲碁プログラムのひな型も公開します。

囲碁プログラムに興味をもたれ、開発に着手する方々が増えることを期待しています。また、そのような方々と大会でお会いできることを心よりお待ちしております。

謝 辞

このような貴重な機会を設けていただけたことに深く感謝いたします。また、UEC 杯の実行委員長の伊藤毅志先生はじめ、大会実行委員の皆様、大会参加者の皆様、プロの先生方、観客の皆様、素晴らしい大会になりましたことを深く感謝申し上げます。陰ながら大会運営を支

えてくださった電気通信大学村松研究室、伊藤研究室の学生の皆様にも深く感謝申し上げます。

◇ 参 考 文 献 ◇

- [Coulom 07] Coulom, R.: Computing Elo ratings of move patterns in the game of Go, *ICGA Journal*, Vol.30, No.4, pp.198-208 (2007)
- [Coulom 09] Coulom, R.: Criticality: A Monte-Carlo heuristic for Go programs, Invited talk at the University of Electro-Communications, Tokyo, Japan (2009), <http://www.remi-coulom.fr/Criticality/Criticality.pdf> (2009)
- [He 16] He, K., Zhang, X., Ren, S. and Sun, J.: Deep residual learning for image recognition, *CVPR* (2016)
- [小林 16] 小林祐樹：モンテカルロ木探索を用いた強い囲碁プログラムの設計と開発，電気通信大学情報・通信工学専攻情報数理工学コース修士論文 (2016)
- [Silver 16] Silver, D., Huang, A., Maddison, C. J., Guez, A., Sifre, L., Driessche van den G., Schrittwieser, J., Antonoglou, I., Panneershelvam, V., Marc Lanctot, M., Dieleman, S., Grewe, D., Nham, J., Kalchbrenner, N., Sutskever, I., Lillicrap, T., Leach, M., Kavukcuoglu, K., Graepel T. and Hassabis, D.: Mastering the game of Go with deep neural networks and tree search, *Nature*, Vol. 529, pp. 484-503 (2016)
- [Tian 15] Tian, Y. and Zhu, Y.: Better Computer Go Player with Neural Network and Long-term Prediction, arXiv preprint arXiv:1511.06410, <https://arxiv.org/abs/1511.06410> (2015)

[Wistuba 13] Wistuba, M., Schmidt-Thieme, L.: Move prediction in Go - Modelling feature interactions using latent factors, *KI 2013: Advances in Artificial Intelligence*, Vol. 8077, pp. 260-271 (2013)

2017年7月4日 受理

————— 著 者 紹 介 —————



小林 祐樹

1991年生まれ。2016年電気通信大学情報理工学研究科情報・通信工学専攻博士前期課程修了。



松崎 憲介

1981年生まれ。2004年東京大学工学部中退。

特集 「人間を超えるコンピュータ囲碁」

第10回 UEC 杯観戦記

—人間と AI の共存の可能性を探る—

Report of the 10 th UEC Cup
— Search for the Coexistence between Human and AI —

大橋 拓文
Hirofumi Ohashi

日本棋院東京本院
Nihonkiin.
xsp7top@yahoo.co.jp, <http://www.nihonkiin.or.jp/player/htm/ki000382.html>

Keywords: computer Go, competition, human vs. computer.

1. 第10回を迎えた UEC 杯

UEC 杯は第10回を迎えた。長らくコンピュータ囲碁界を牽引してきた本大会だが今回で一区切り。AlphaGo の出現により、人間トップを超えるという一つの目標が果たされたことがきっかけであることは想像に難くない。AlphaGo の母体となったと考えられる Erica も本大会出身であることは記憶されるべきだろう。

さて、AlphaGo の出現から1年が経ち、囲碁プログラマ達は AlphaGo の論文を研究した。本大会でトップクラスの囲碁 AI は人間プロ棋士と同レベル程度には実力が向上していることが予想された。AlphaGo が出てこないのは残念だが、多数の強豪 AI がエントリーし期待が高まった。大会前に筆者が見どころと思った点を挙げてみる。

- ① DeepZenGo プロジェクトでの「DeepZenGo」の成長
- ② 中国 Tencent 社開発の「絶芸 (Fine Art)」の真の実力
- ③ その他ダークホースや新手的強豪は出現するか
- ④ 個人プログラマでプロレベルの囲碁 AI がつくれるのか (学習にかかる資金をアイデアでカバーできるのか)
- ⑤ プロレベル囲碁 AI 同士の初公式戦がどのような展開になるか
- ⑥ AlphaGo の開発以前と以後で変わったことはあるか

DeepZenGo プロジェクトのさらなる進化により趙治勲名誉名人から1勝を上げた「DeepZenGo」と連日ネット対局でトッププロに勝率80%を上げていた中国 Tencent 社開発の「絶芸」の二強の争いが軸となって進行することが予想された。そして、この二つに比肩する強豪が現れることも期待された。④～⑥は碁の内容や

システムについて、筆者が注目していた点である。

2. UEC 杯の概観と成績

ふたを開けてみれば、やはり DeepZenGo、絶芸が連勝街道を突き進んだ。Crazy Stone, DolBaram, CGI Go Intelligence, Aya などのベテラン勢の実力向上も見られたが、二強に対しては、やや苦戦の感じは否めなかった。棋力的には DeepZenGo、絶芸がトッププロ級で、Crazy Stone などの第2グループはアマトップレベルぐらいに見えた。去年の電聖戦が三子で1勝1敗であったことを考えれば、アマトップというレベルでも十分すごいのであるが。

予選の何局かが終わり新勢力の中から注目株が現れた。AQ である。AQ は個人での開発で、期間が1年足らずにもかかわらず、DeepZenGo、絶芸に善戦した。一瞬だが勝ちを引き寄せた場面もあったのだ。

また、本大会は開発開始が AlphaGo 以前 vs. 以後の戦いという視点でも注目された。前者の代表格が DeepZenGo であり後者が絶芸である。これらのプログラムは企業のバックアップがついているが、そうでない Aya や AQ などもディープラーニングの効果は大きかったようだ。3位になった Rayn は大会直前に Ray と Rn が合体したようで、異色の存在感を見せていた。

3. 対戦棋譜から

3-1 初日 (予選) の対局から

それでは、いくつか注目の局面をあげてみよう。

予選第4ラウンドの「DeepZenGo (白)」vs. 「AQ (黒)」から、中盤の囲碁 AI らしい攻防から見てみよう。

図1は、AQ が DeepZenGo と互角に渡り合って、注目されるきっかけになった碁である。白1が AI らしい中央感覚。AQ は黒2、4と踏み込んだが、白5でわず

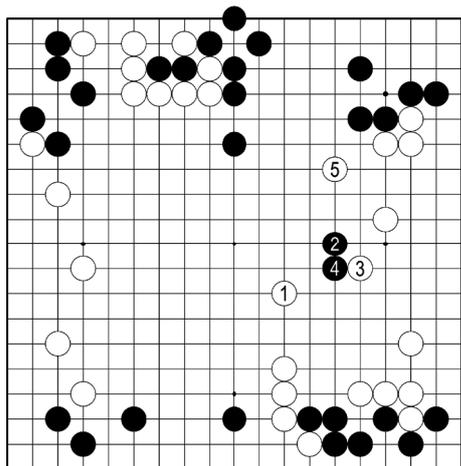


図1 初日第4ラウンド DeepZenGo (白) vs. AQ (黒).
“囲碁 AIらしい中央の攻防”

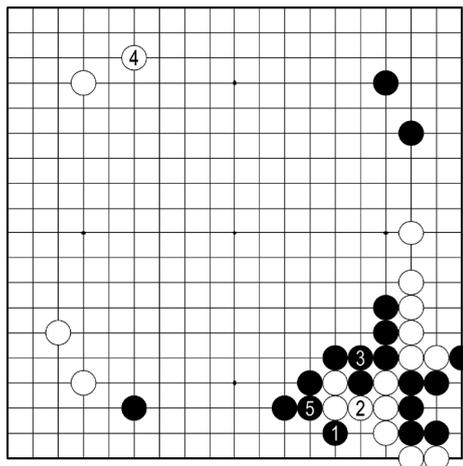


図3 図2から数手進んだ局面

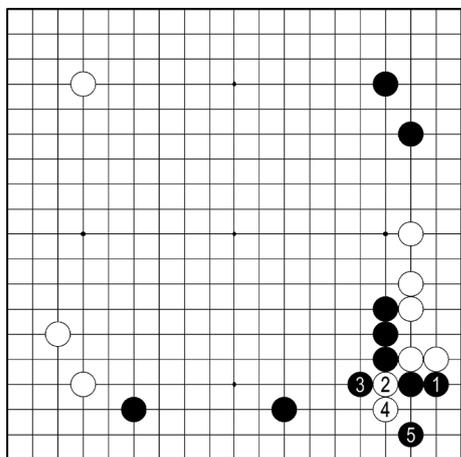


図2 初日第5ラウンド Rayn (白) vs. DeepZenGo (黒).
“人間の流行形”

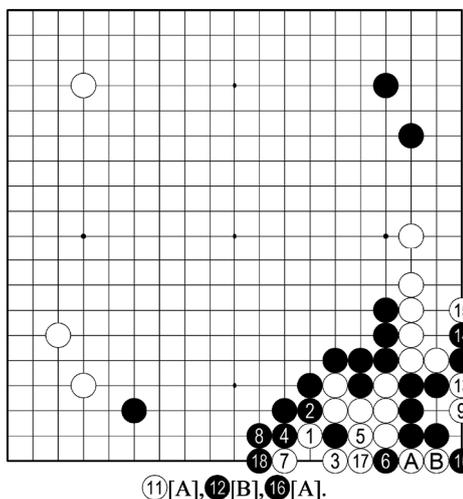


図4 図3の変化図.
“AIには長手数 の正確な読みが難しい”

かに白が打ちやすくなったのではないだろうか？ 黒2, 4の二子がかえって白模様に取り残され、お荷物である。黒4では5と打っていたら形勢はどうだったろうか？ このあたりの中央感覚で勝率1%程度の変化を感じられるように訓練する、というのがこれからの棋士の課題になるかもしれない。ちなみに筆者の見るところ、現在の人間トップの形勢判断センサは勝率5%の動きぐらいから感知できる程度だろう。リアルタイムで観戦していたときはこの後も互角に見えたが、つぶさに見てみるとDeepZenGoが少しのリードをしっかりと守り切って勝利したようだ。この碁はDeepZenGoの大局観に1日の長が見られた。

図2は、予選第5ラウンドのRayn(白)とDeepZenGo(黒)の序盤である。この図は、人間の間でもよく打たれる流行形で、Zenは黒1と押さえた。これは人間が一番好む手である。Raynは白2と切って攻め合いとなる。この図は後述する絶芸の手と比較するのでご留意されたい。

図3は、前図から数手進んだ局面である。黒1~3と打ったところで、Raynは白4と転戦。Zenは黒5と手

入れして取り切った。この瞬間に黒が優勢になったと思われる。

図3の白4では、図4のように白1と打つべきところだった。複雑だがコウになり、コウを仕掛けるタイミングをにらんだ中盤戦になることが予想される。しかしこのような攻め合いはAIが苦手とするところだ。人間プロならば、白1を読めば18までは少し考えればわかるが、この図を評価することは難しい。探索は人間が、評価はAIで共同作業すると良い局面だったのではないだろうか？

図5は、電聖戦第2局の一局面である。詳しい解説は一方 遼七段の自戦記を参照されたい。図2と向きは違うが白Aの位置が一路違う以外は同じである。絶芸はここで黒1と打つ。インターネット対局でも何度も黒1と打つのを確認しているの、Aの位置はの場合大きな影響はないだろう。絶芸はこの手が好きなようだ。図2~図4の変化もシミュレーションの中にも含まれたうえで黒1と打っているのか興味深いところである。

図6(a)は、予選のファイナルラウンドで絶芸と

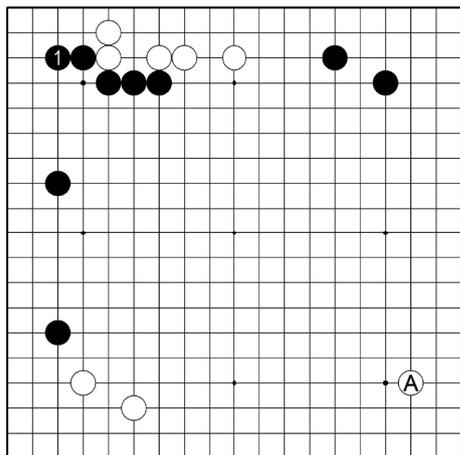


図 5 電聖戦第 2 局:一力 遼 (白) vs. 絶芸 (黒). “絶芸が好む手”

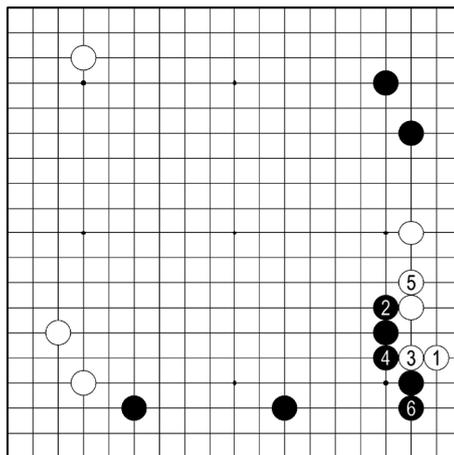
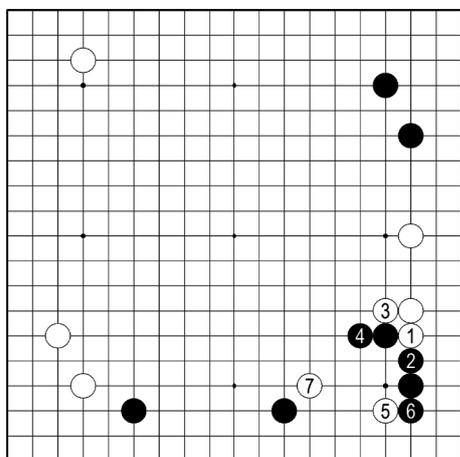
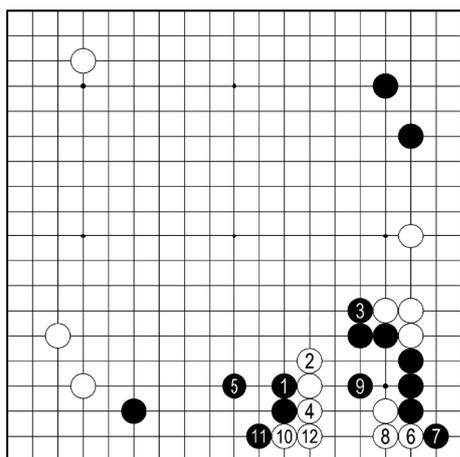


図 7 図 6 の検証



(a) 絶芸の鋭い踏み込み



(b) 踏み込み成功

図 6 予選第 7 ラウンド: 絶芸 (白) vs. DeepZenGo (黒)

DeepZenGo が全勝同士で対戦した対局である。絶芸はここで白 1 と打った。人間の場合、少数派の打ち方であるが、白 5, 7 の踏み込みを見ていた。これが成立するならば白 1, 3 は首肯できる。

この後、図 6 (b) のような展開となり、力強い Zen も

この白を攻める手が見つからず、ほどなく白優勢となり絶芸が押し切った。

図 6 (a) の白 1 で人間の一番人気は図 7 白 1 だが、絶芸は黒 6 を警戒したのだろう。図 5 と同じ形であり、絶芸の判断には一本筋が通っているようだ。そして小目周辺の打ち方に敏感なのは Master (AlphaGo の進化版) とも共通しているように見受けられる。

図 2 ~ 図 7 は 3 局の碁だが、囲碁 AI の判断を通してフィードバックが可能な良い例だろう。囲碁を探索する方法も人間と囲碁 AI の関係を考える時期に来ていると思う。

3.2 二日目 (決勝) の対局から

1 日目の成績から、Zen と絶芸の決勝は確実かと思われたが、Zen には準決勝でピンチだった場面があったので紹介しよう。

図 8 は準決勝の AQ (白) vs. DeepZenGo (黒) の対戦である。ここで、右上隅から延々と取りかけが続き、Zen が黒 1 とかけた場面で AQ は白 2 と出たことで大魚を逸した。黒 5 となれば黒の取りかけが成功した格好だ。

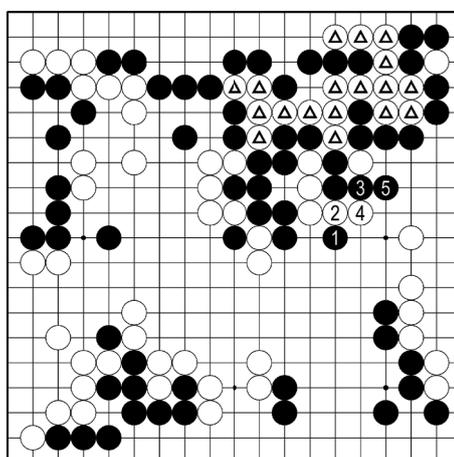


図 8 準決勝 AQ (白) vs. DeepZenGo (黒)

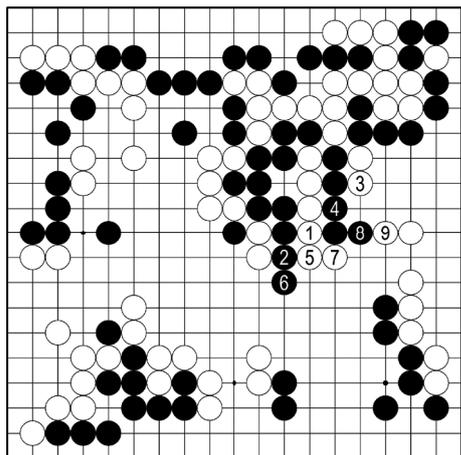


図9 図8における白の正着

この局面では、白1から3と打てば、種石が取れて、白の大石は復活し白が勝ただろう。Zenは勝ったとはいえ、強引さが気になる展開だった。やはり手数長い読みではAIを信じすぎるのも危うく、人間による検証も有効だろう。

図10は本命同士の決勝戦。図(a)までの進行はやや絶芸の白が優勢と見られるが、中盤以降Zenもよく戦い、形勢はまだ勝負の圏内である。ここで白1という秘手が絶芸が繰り出した。

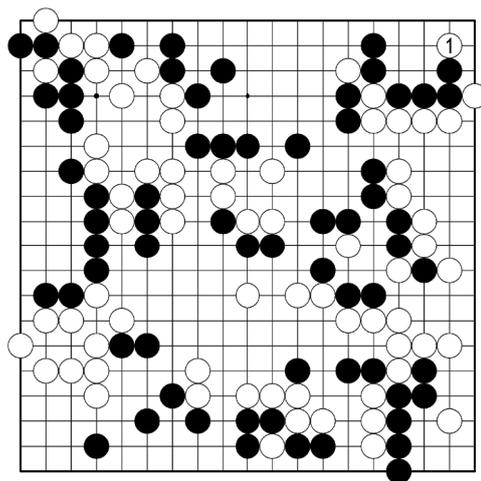
図10(b)の黒18までとなって、白の勝ちが濃厚となった。黒17ではAもしくはBが有力であった。その後の展開を調べてみたところ、白が正確に打てば、上辺が手になり白が優勢になるが、黒17で最強に抵抗した場合どのような結末を迎えたか非常に興味のあるところだ。絶芸の探索の正確さを見てみたかった。図10(b)の後、ほどなくZenが投了し、絶芸の優勝が決まった。

4. UEC杯から見たこと

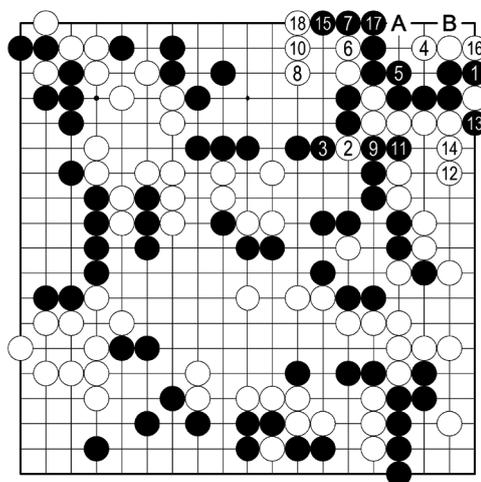
本大会はAlphaGo以降の囲碁AIの進化を見る意味で非常に貴重な大会だった。囲碁AIの急速な進歩に対し、我々人間の力が改めて試されているといえるだろう。囲碁AIはvalue networkを開発したことにより、形勢判断力が大幅に進化している。その反面、探索の正確さはまだ不完全なところが見られた。

今回の紹介した場面からわかったことは、AIが得意な全体の判断と人間が推察し細部を突き詰めて検証する論理力を組み合わせると、囲碁はさらに進化するのではないかということだ。人間とAIの共存を考えるうえでも、お互いの長所、短所を知ることは非常に大切なことだと思う。

大会結果に目を向けると、優勝「絶芸」、2位「DeepZenGo」、3位「Rayn」、4位「AQ」となった。AlphaGo以降に開発したグループが活発だった印象があり、筆者としてはディープラーニングの威力を感じた。そして囲碁AIの



(a) 絶芸の秘手



(b) それ以降の展開

図10 決勝戦 DeepZenGo (黒) vs. 絶芸 (白)

棋譜を見ると、囲碁は人間が思うよりはるかに深かったということに改めて実感させられた。第10回という節目の大会で人間トップに追い付いたといえるだろう。

ここまで発展させた関係者の皆様に感謝するとともに、囲碁の深さを追求する旅は始まったばかりで、人間に追い付いた後も、囲碁AIをツールとして使い、囲碁と囲碁AI、双方の研究が続くことを願っている。

2017年7月4日 受理

著者紹介



大橋 拓文

公益財団法人日本棋院棋士(六段)。1984年生まれ。東京都出身。菊池康郎氏(緑星囲碁学園)に師事。2002年入段。第1回おかげ杯準優勝。2013年六段。2012年にZenと9路盤で対戦。以来、コンピュータ囲碁を活用した研究を日本棋院月刊誌「碁ワールド」に「IGOサイエンス」として連載中。著書に「AI時代の新布石法」(マイナビ、2017)ほか多数。

特集 「人間を超えるコンピュータ囲碁」

第5回電聖戦でコンピュータと対戦して

Playing Against AI in the 5 th Densei-sen

一力 遼
Ryo Ichiriki

日本棋院東京本院
Nihonkiin.

cosmosnow93@yahoo.co.jp, <http://www.nihonkiin.or.jp/player/htm/ki000435.htm>

Keywords: computer Go, human vs. computer.

1. 対戦に向けて

囲碁の世界において、2016年は大きな時代の転換期であったといえるであろう。

Google・Deepmind社のAI「AlphaGo」がトップ棋士・李世ドル九段を相手に4勝1敗と圧倒したのである。このAlphaGoで採用された「ディープラーニング（深層学習）」が他のAIにも取り入れられ、プロ棋士を凌駕する実力をもったAIが登場するようになった。その代表例が、今回著者が電聖戦で対戦した、日本の「DeepZenGo」や中国の「絶芸」である。

AIと公開の場で対局するのは今回が初めて（注：2012年に「Zen」と9路盤での対戦はあるが、19路盤では初めて）だったので、今回の対戦は非常に楽しみであった。しかし、結果は2連敗。内容的にもあまり良いところがなく、AIの強さを再認識することになった。

ここでは、実際に対局した中で印象に残った場面を取り上げ、各場面について感想を交えて解説していきたい。

2. 第1局：対「DeepZenGo」

まず1局目は、「DeepZenGo」との対局。昨年初めまで日本のAI「Zen」とプロ棋士の差は三子程度（黒が先に盤上に三つ石を置くハンデ）あるといわれていたが、AlphaGoの登場を受けて「DeepZenGoプロジェクト」が2016年3月に発足し、ディープラーニングが取り入れられるようになり、実力は飛躍的に向上した。

11月には趙治勲名誉名人相手に1勝2敗という成績を収め、日本のAIが初めてプロ棋士を互先（ハンデなし）で破ったと話題になった。

その後も実力は向上し続け、この電聖戦の数日前に行われたWGC（ワールド碁チャンピオンシップ）では、日本囲碁界の第一人者である井山裕太六冠を破り、その実力を証明した。

ここからは内容について説明する。著者の黒番である。図1において、黒1は○の白二子を攻める調子を求め

た手だが、この手に対して白5などと相手をせずに白2と打ったのが、碁盤全体を見て判断した冷静な好手だった。勢い実戦のような変化になり、黒は左下に地を確保したが、その間に白は△の黒二子を取り込み、左上の白を安定させるとともに少なからぬ実利を得た。この結果、白の弱い石がなくなり、白地のリードがはっきりする展開となり、すでに黒が勝ちづらい形勢となってしまった。

図2は図1から80手ほど進んだ局面。上辺の攻防で黒が失敗し、図2の時点で形勢は白がはっきり優勢である。黒1では相場は黒4と打って右上の黒を強化させる

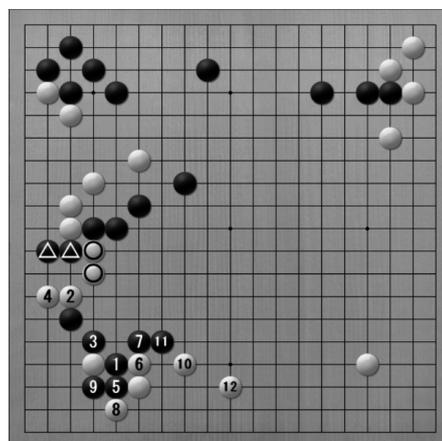


図1 第1局 33～44手目

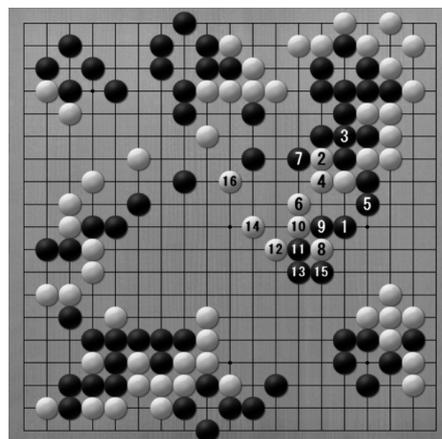


図2 125～140手目

くらいだが、実戦の手は非勢を意識した勝負手である。

黒1に対して白2と4は当然の反発だが、従来のAIでは優勢になると手堅い(必要以上に妥協した)打ち方を選ぶ傾向があったため、実戦の打ち方の正確さは印象に残っている。

白14までと進み、15と16が見合いで右辺・右上のいずれかの黒が危ない格好になっている。この後も的確に打ち進められ、20数手後に黒の投了となった。

DeepZenGoに関しては、WGCで優勢な局面から終盤のミスで逆転される碁が2局あり、そこに付け入る隙があるのではないかと考えていたが、本局では序盤で黒が勝ちにくい碁にしまい、その後も徐々に差を広げられ、最後は勝負手を的確に対処された。DeepZenGoの卓越した大局観や勝負どころでの正確な着手など、総合的な強さを感じさせられた一局だった。

3. 第2局：対「絶芸」

2局目の相手は、中国・Tencent社のAI「絶芸」。去る3月18・19日に開かれた世界一のAIを決める「UEC杯」(プロ棋士に60連勝した「Master」は不参加)では、決勝戦でDeepZenGoを破り優勝を果たした実績のあるAIである。

碁の内容については、Masterの碁は序盤から意表を突かれることが多かったが、絶芸の碁に関しては、序盤は割とオーソドックスな展開になることが多い印象を受けた。1局を通して何回か感心させられる手が出てきて、少しずつリードを広げていき最終的には勝ってしまうイメージである。

絶芸は、インターネット対局場「野狐囲碁」でトップ棋士と数多く対戦しており、高勝率をあげていた。人間の感覚に近い碁でも中国・韓国のトップ棋士相手に8割以上勝てるのは、それだけ全局的な判断力が優れている証明であろう。

それでは内容についての解説をする。著者の白番である。

図3は、17手目の局面。ここまではプロ棋士の実戦例も多い進行だが、ここで黒1と打ったのが「絶芸流」。黒1では少し黒がツライというのが従来の感覚で、黒Aとオサエて隅を目一杯地にしようとし、白がBと切って難解な戦いになることが多かった。しかし絶芸はネット上の対局でも黒1を多く打っており、黒が不満のない進行だと考えているようだ。

図3から30手ほど進んだ局面が図4である。この直前に白は積極的に仕掛けていったが、結果的にはあまり良くなかったようである。

図4で黒1・3と打ったのが頑張った手で、ここでは黒5と打って中央に進出しているのが自然で、それで黒が有望な進行だった。実戦は白4と封鎖されてしまったが、絶芸は黒が戦えると判断していたのであろう。

黒13が手筋で白の形が崩れるため黒が戦えることは

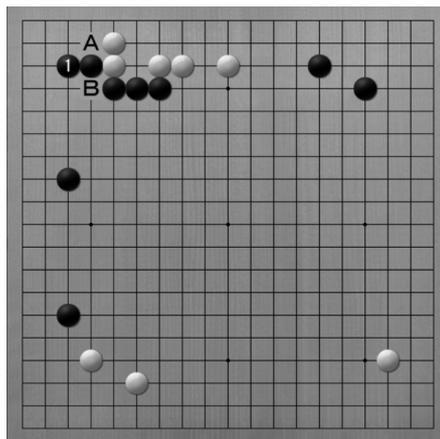


図3 第2局目 17手目

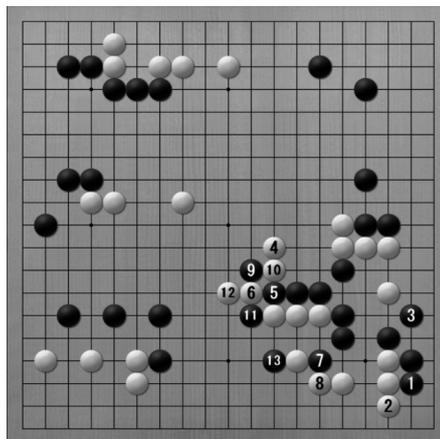


図4 49～61手目

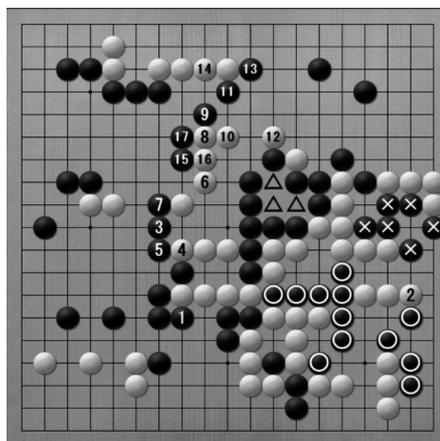


図5 107～123手目

確かだが、難解な展開になるため、人間だと黒1で黒5を選ぶほうが多数派だと思う。この決断もほとんどノータイムだったため、印象に残っている。

図5は中盤の勝負どころである。現状は白が△の三子を犠牲にして×の黒を取り込んだ場面で、黒1では黒2などと打てば○の黒が生きることができ、長期戦となる。

しかし絶芸は○の黒を生きずに黒1と中央に打った。白2と打たれると黒に眼がなく取られてしまう恐れもあるが、絶芸は右下の黒をすべて捨てることも視野に入れて打っていたのである。黒3以下中央の白を攻める間に

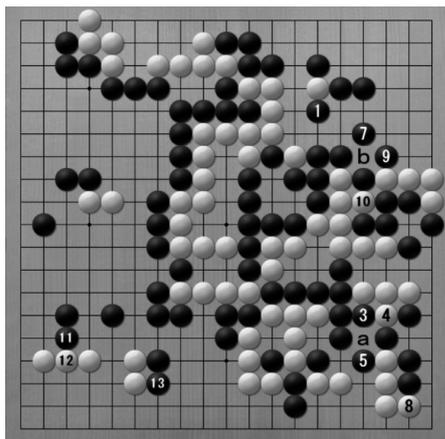


図6 145～157手目. 2 = a, 6 = b

左辺の二子を取り込み巨大な地を形成し、その後も白に寄りつきながら各所で得をした。右下一帯がすべて白地になるのも大きい。捨てるも採算が取れると見た判断力の高さには脱帽である。

図6は図5から20手ほど進んだ場面。白にミスが出てこの時点では黒の勝ちが決定的だが、ここで黒1と打ったのがAIらしい「勝利宣言」。この手でaのツギなど右下に打ってあれば右下の黒と中央の白のセマイ(手数の詰め合い)は黒が勝っており、中央の白の大石は取られていた。

実戦は白を取りにできなかったため、10までとなり右下の黒一帯が逆に取られてしまったが、黒は11を利かして13に回り、地合は盤面で15目ほど離れている。対局時は一瞬チャンスが来たかと思っていたが、地が足りないため黒13を見て投了となった。

ネット上で絶芸の碁を観戦した際は、コウやセキなどが絡んだ複雑な局地戦で弱点が見られたため、本局では序盤から複雑な展開にもち込んでいったが、難しい局面でも的確に対応され苦しい展開になり、最後に緩手があったものの全体的にはチャンスの少ない碁になってしまった。

今回の電聖戦、DeepZenGoと絶芸との対局を通じて感じたことは、決断が早く、全局的な判断力に優れ、局地的な戦いにおいてもミスが少ないということだった。事前研究において見られた弱点を引き出すことができず、AIの強さが際立つ展開にしてしまったことに関しては、実力不足を痛感させられた。

4. 囲碁AIの影響と将来

強いAIの登場は世界中のプロ棋士に多大な影響を与えている。最近では序盤の打ち方はAIの手法を模したものが多く、囲碁界にパラダイムシフトが発生しているといつてよいだろう。今年の5月にはAlphaGoが現在の囲碁界の第一人者である柯潔九段を3戦全勝と圧倒し、AIが人類を超えたという見方が大多数である。

DeepZenGoや絶芸といった他のAIに人間が全く勝てなくなるのも、時間の問題といえるであろう。

将棋界でも似たような状況が起こっている。今年行われた叡王戦ではPonanzaが佐藤天彦名人に2連勝し、さらにそのPonanzaもコンピュータ将棋の大会では他のAIに敗れるなど、AI同士の競争も激しくなっている。囲碁界と同じように、AIが人間を凌駕した今ではAIを研究の対象としている棋士も多い。

今後はAIと人間の対戦は減少するかもしれないが、AIと人間が共存していくことは可能であろう。人間がAIに敵わなくなっても、人間同士が碁を打つ「意味」がなくなることはない。それは、限られた時間の中で人間が知恵を振り絞り、ときには感情に揺さぶられながらも最善を求めていく姿が、見ている人に感動を与えるからである。AIの碁は形勢が離れる(優勢になる)と勝率の高い手を選ぶようになるため、人間から見ると不自然と思えるような譲歩をすることが往々にしてある。この点がAIの碁に対する違和感の一つであり、優勢になったときでも最後まで最善を求められるのは、人間ならではなのかもしれない。

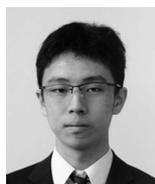
そして、現在AIは革命的な進化を遂げているが、囲碁のすべてを解明することはおそらく不可能であろう。局面の可能性の数が無限に近く存在している囲碁の場合では、コンピュータの計算能力を駆使しても究明するには至らないのである。

しかし、囲碁の奥の深さを我々棋士に再認識させてくれたのはAIであることは事実である。プロ級のAIが登場してからは、棋士同士の対局においても今までの常識では考えられなかった手が多く見られ、従来の考え方が180度変わったといっても過言ではない。そのため、棋士はAIが囲碁の世界に新しい常識を構築してくれることを歓迎しているのである。

今回のAIとの対局は、結果は残念だったが、AIの強さを肌で感じる事ができたのは自身にとっても貴重な経験となった。今後はAIの手法を取り入れながら、少しでも囲碁の真理に近づけるように精進していきたい。そして、AIと人間の共存が囲碁界の発展につながることを、一棋士として強く望んでいる。

2017年7月6日 受理

著者紹介



一力 遼

日本棋院プロ棋士七段。1997年6月10日生まれ。宮城県出身。宋光復九段門下。2010年夏季入段。2012年二段、2013年三段、2014年四段、同年七段。2013年第4回おかげ杯優勝、第8回広島アルミ杯若鯉戦優勝。2014年史上最年少16歳9か月で第39期棋聖戦リーグ入り。第5回おかげ杯優勝(二連覇)、第39期新人王戦優勝。2015年第62回NHK杯準優勝、第1回イベロジャパン杯優勝。2016年第7回おかげ杯優勝、第25期電皇戦で井山裕太棋聖を破りタイトル獲得、など。

特集 「人間を超えるコンピュータ囲碁」

ワールド碁チャンピオンシップ観戦記

Report of World Go Championship

王 銘琬
Wang Ming Wan

日本棋院東京本院
Nihonkiin.

ou_meien@yahoo.co.jp, <http://www.nihonkiin.or.jp/player/htm/ki000066.htm>

Keywords: computer Go, human vs. computer.

1. 大会概要

3月に大阪で開催された「ワールド碁チャンピオンシップ」(World Go Championship)は、日本が久しぶりに主催する早碁以外の世界戦、野球にあやかってか、WGCと呼ばれるようになっていきます。

今回のWGCは、日・中・韓のプロ代表と、碁碁AI「DeepZenGo」の四者によるリーグ戦で行われる棋戦となりました。人間とコンピュータが同じ条件でリーグ戦を行うのは初めてのことなので、大会前ではNHKが特集を組んで紹介したほど、大きな関心を集めました。

日本代表は言うまでもなく、現在の絶対王者井山裕太六冠、中国はトッププロによる予選により、最も勢いのある聿昱廷(ミ・イクテイ)九段、韓国はいまや不動のエース朴廷桓(パク・ジョンファン)九段と、素晴らしいメンバがそろいました。

昨年「Nature」1月号に掲載されたAlphaGoの論文により、碁碁AIにディープラーニングを取り入れる道が開かれ、DeepZenGoもディープラーニングにより、1年で三子ほど強くなっており、3月には、ちょうど世界のトップと互角で打てるのではないかと、「育ち具合」になっていました。この大会はそういう意味で、ちょうど良いタイミングで行われたといえるでしょう。

DeepZenGoの出場で国際的にも関心呼び、外国から大勢な報道陣がかけつけました。著者が会場に行ったとき、一番感心したのはプレスルームの立派さ、いつか国内棋戦もこうなれば良いと願っています。

誰が優勝するかということよりも、DeepZenGoがどのような碁を打つのかに注目が集まり、日本メディアにとって井山さんとDeepZenGoの対戦は目玉中の目玉になっていました。

対局は3日連続、同率の場合4日目はプレイオフということになりました。持ち時間は世界戦としては、最も長い3時間となっているため、体力勝負という側面もありました。AIは疲れを知らないため、早めにDeepZenGoと当たったほうが有利ではないかと著者は

思っていました。

抽選の結果、井山さんは3日目にDeepZenGoと当たることになったので、著者は「くじ運悪し」かと思いましたが、実は井山さんはほかの選手とDeepZenGoの対戦を先に見たいと思っていたようで、3日目の対戦ということには満足していたとのことでした。

対局はリーグ戦ですので、3日間、毎日相手を変えて3局ずつ行われましたが、ここでは、DeepZenGoの戦いぶりを中心に3試合を紹介していくことにします。

2. 1日目：聿昱廷九段戦

1日目、初戦の相手は聿昱廷九段、手番は、DeepZenGoの白番となりました。

図1において、聿さんの黒1に対してDeepZenGoはすぐ白2に「カタツキ」を打ちましたが、このカタツキは最近の碁碁AIが好む打ち方です。相手の石の発展性を一番はつきり制限できる手といえます。しかし、人間はそれによって得られるメリットをなかなか正確に評価できないために、打ちづらい手と考えられてきました。

相手の4線の石にカタツキする手といえば、AlphaGoが李世ドル戦で見せた黒2が思い出されます(図2)。

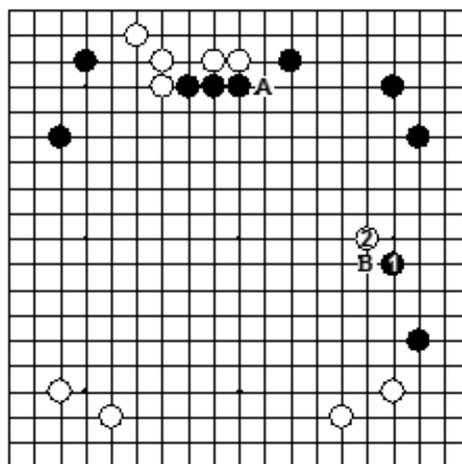


図1 DeepZenGoのカタツキ

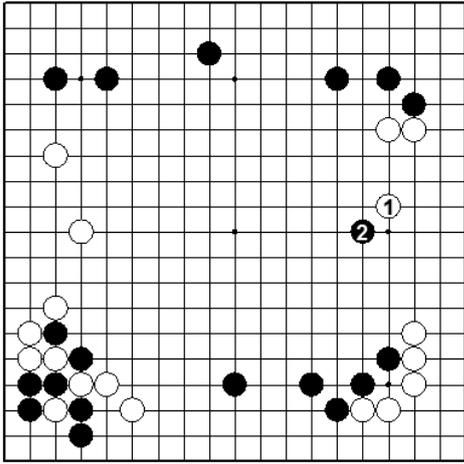


図2 李世ドル（白）vs. AlphaGo（黒）2局目より

AlphaGoの開発責任者デミス・ハサビス氏はこの手が大のお気に入りのようで、講演などで何かにつけてこの手に言及し、「AlphaGoの代表的な一手」として位置付けているようです。

図1の白2は黒模様を制限しながら、Aのところから逆襲していく手を狙っています。そういう意味でDeepZenGoの白2はわかりやすく、「AlphaGoのカタツキ」よりもすぐに「なるほど」と賛同できます。それでもこの碁が打たれる前に、プロにこの局面を出題しても、白2と答える人は少なかったでしょう。それだけ4線にカタツキは心理的に打ちにくい手であるといえます。

白2がぴったりだとしたら、黒1はもしかしてまだ辺に偏っていて、もう一路中央に寄せ、5線の黒Bに打つこともあり得るかもしれません。このようなことまで視野に入ってくるようになったのは、囲碁AIがもたらした刺激であったといえるでしょう。

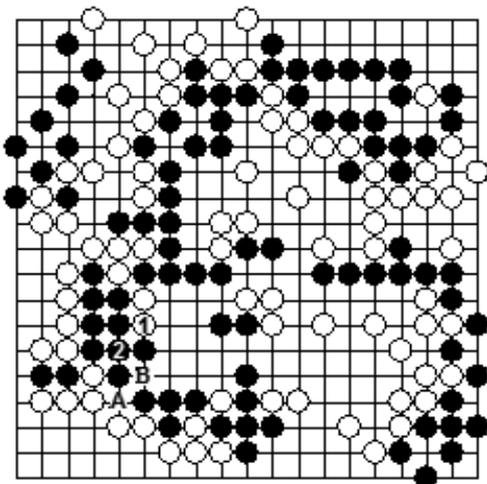


図3 DeepZenGoが優勢か？

この碁はずっと形勢不明のまま戦いが続き、図3でやっとDeepZenGoが少し優勢になったかという局面になります。ここで、白1は人間ならばやらないミス、黒2

と変わって、将来自分からAに打った後、Bに放り込む手段をなくしてしまいました。白1のようなミスは、ディープラーニングが深まれば改善されるかもしれません。

白1はたった「1目損」という手ですが、それ以後微妙な形勢ながら、DeepZenGoにはっきりした勝ちが見えませんでした。結局、最後はヨセ負けして、投了となりました。中国ルールベースの囲碁AIと日本ルールの兼合いの問題もあり、細かい勝負になると、DeepZenGoにはまだ弱点があることがわかりました。

DeepZenGoがこのような舞台に登場するにはまだ早いではないか、という心配もありましたが、この碁の内容を見る限り、DeepZenGoが世界のトップの中に入っても十分に戦えることを示した一戦でもありました。

3. 2日目：朴廷桓九段戦

2日目は、対朴廷桓九段戦。またも、DeepZenGoの白番になりました。

図4、黒1のヒラキに白2といきなりツケたのが、DeepZenGoの話題を呼んだ一着、これは今までプロには考えられない手でした。韓国で中継解説をしていたあの李世ドルさんまで、しばらく口あんぐりとなったそうです。白2の方面に打つのでしたら、Aぐらいに距離をとって打つのが今までの人間の打ち方です。この局面では、著者は今でも白2と打つ気になれませんが、対局者の朴廷桓九段は白2を見て、自分が形勢悪いことを悟ったと話しています。

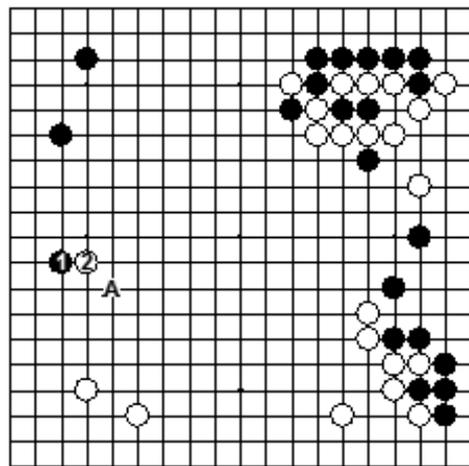


図4 DeepZenGoのツケ

図5はその後の展開。黒5は白8のところに押すなら普通の進行、しかし形勢不利と見た朴さんは5のハサミツケと激しく打ったため、白が8の場所に打つことができました。これでは白が下辺の広さを生かした有利な戦いになっています。図4白2の驚異のツケが、一番良い結果に導きました。

この後DeepZenGoは攻め続け、勝利目前までこぎ着

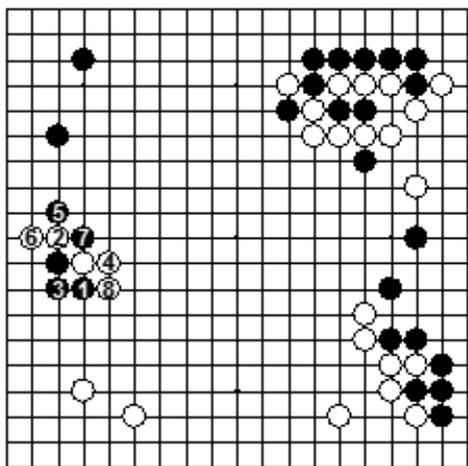


図5 図4以降の展開

けましたが、朴九段がコウの形でねばり、DeepZenGoのミス誘いました。きわどい勝負で正確さを欠くところが再び衝かれ、大変惜しい碁を落とす結果になってしまいました。

この碁の最後のところで珍しい進行が見られましたので紹介します。図6の局面では、人間には白の負けは決定しているとわかりますが、DeepZenGoには白ABCDEF六子が取られていることを認識できていません。かと言ってどうしてよいのかもわからず、白1, 3, 5と相手の地の中に3手続けて「後手死に」を打ちました。

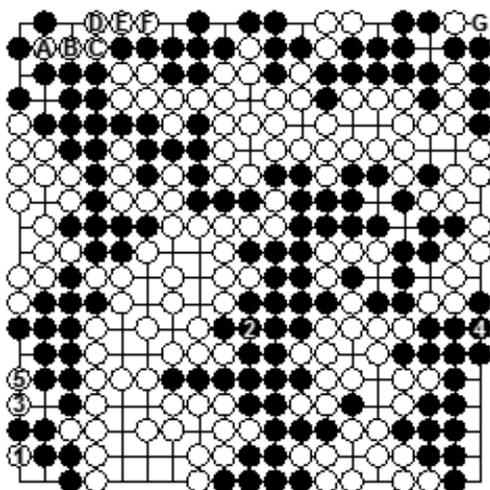


図6 DeepZenGoの珍しい手

黒が白A以下六子を取るためには、なんと遠く離れた右上隅Gのところから取りに行かなければなりません。こんなに離れていると、DeepZenGoの機能では判断できないとのこと。囲碁AIの弱点である「死活判断」と「水平線効果」が上辺の珍型によって、複合症状のような形で出てしまいました。

「後手死に」は全く意味をなさない着手で、碁を打つ人はそれを嫌います。白1, 3, 5の三連打には立会の趙治勲名誉名人までかなりご立腹の様子でした。趙名誉名

人は昨年DeepZenGoと三番勝負を戦い、囲碁AIの特徴にも詳しい棋士です。それでもこのような着手は見たくない気持ちを抑えきれなかったのでしょう。

これからAIが各分野で開発が進み、人類との共存が避けられません。人間とAIの良い関係をつくるため、このようなことも良い経験になるのではないのでしょうか。

2日目を終わって、DeepZenGoは善戦しながら二連敗、つらいことに井山6冠も同じように、押し気味な碁を2局とも落としてしまいました。日本の棋士とAIが最終日で3位争いするというのは、不運としか言いようがない結果となってしまいました。

4. 3日目：井山裕太六冠戦

3日目は、対井山六冠戦。DeepZenGoの黒番となりました。3位決定戦ではありましたが、六冠がAIとの初対局、やはり注目的になりました。

開始早々、DeepZenGoが見せてくれました。図7で、黒1に続き黒3の逃げ出しにはびっくりしました。この手はほとんどのプロがAのところ打つと思います。囲碁は「2目にして捨てよ」という格言がありますが、それは手をかけて取ってもらえるからです。この図では、このまま手つかずで取られてしまいそうなので、なかなか打てる手ではありません。

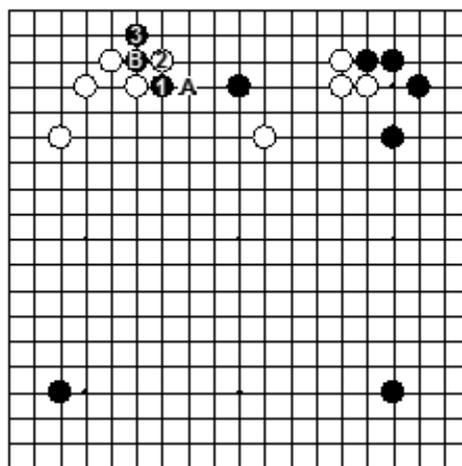


図7 DeepZenGoの序盤の驚愕の手

実戦はその後ほぼ予想されたような進行になり、黒3はそのまま取られました。黒が大きく形勢を損じたかと思いましたが、DeepZenGoはほぼ互角と評価していたようです。形勢判断の能力ではAIが人間よりはるかに優れ、それが一番強力な武器でもあります。

中盤になって、図8の局面で、DeepZenGoが下辺の白石に対して、1, 3以下得意な攻めが決まり、一気に優勢に立ちました。その後井山六冠に疲労が出たのか、ぎりぎりのところで粘れず、DeepZenGoに押し切られ

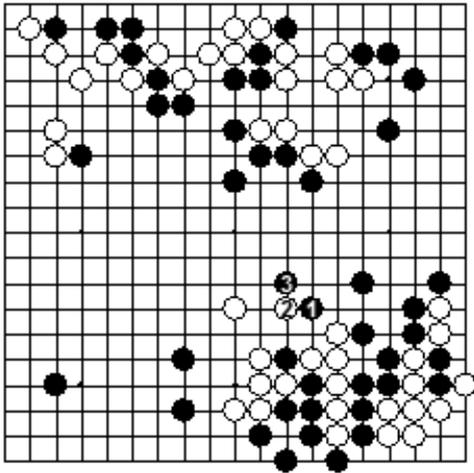


図8 DeepZenGoの攻めが決まる

てしまいました。

井山六冠は中・韓でも高く評価され、世界のトップグループであることは誰もが認めるどころです。「DeepZenGoがついに人間の最高レベルに勝った」という事実は大きな意味をもちます。そして、この1勝によって今回のWGCの意義が示されたといってもよいでしょう。

DeepZenGoは、今でもディープラーニングで強化を続けています。来年の3月には、人間がなかなか勝てない棋力になっていることが予想されます。5月のAlphaGoの柯潔戦で、人間対囲碁AIは決着済みと見る向きもあります。

来年もWGCは行われる予定ですが、今年のような形での開催はちょっと難しいでしょう。2017年のWGCにおいて、DeepZenGoが世界トップ棋士と三連戦したことは、まさに一期一会の素晴らしいイベントであったといえます。

5. 最後 に

最後に、WGCだけでなく囲碁AI全般について思うところがあるので、この機会に書かせてもらいます。昨年のAlphaGo対李世ドル戦の頃から、AIの着手は人間にはわかりにくい、または理解できない、というような報道や分析が多々見られます。

しかし、著者はそうは思いません。5月に公開されたAlphaGo同士の50局の自己対戦を除いて、AIの「着手自体」は人間にとって、非常に理解しやすいものと考えています。

囲碁には「石の形」というものがあります。効率の良い形は、人間の目には「美しい」と映りますし、そのようにもっていく打ち方を「筋が良い」といいます。プロでは「筋が良い」というのは最高のほめ言葉になっていますが、囲碁AIの打ち方は筋が良く、碁形も美しい、人間の感性と一致していて、けっして違和感はありません。

AlphaGoは人間の打ち手に対して、57%の予測一致率を誇ります、逆に人間が囲碁AIの手を予測しても、50%ぐらい的中率になるでしょう。また、ピッタリと当てなくても、理解できる手がほとんどです。人間がにわかになんてできない着手は、水平線効果と終盤のシステムによる緩みを除けば、一局に多くて数手しかないと思っています。

囲碁から離れて普通感覚で考えてみましょう。自分がよく知っているいつもの他人に対して、これだけ予測できたり、理解できたりするものでしょうか。

AIの着手はどのようなシステムによって生成されているのか、主な考え方は公開されています。その生成過程はログで調べることができるし、そこからわかる候補手や、読みなどを紹介した報道や書物もあります。

一方、人間の着手に関する解説についていえば、その内容はこの手がなぜ正しいかを示すものであったり、悪手であればどう打てばよかったかを指摘したりするものがほとんどで、人間の脳がどのように着手を生み出しているのか、それに関する解説はほとんどありません。人間の着手はAIと比べて、むしろブラックボックスになっている部分が多いのではないのでしょうか。

強くなるためには、学ぶ対象を理解するのと同時に、自分のことも知らなければなりません。人間がAIを道具として、進歩を図ろうとするのであれば、AIの着手の研究も大事ですが、人間の着手に対して、一層の考察や解説をする必要があるでしょう。

今まで人間の手に向ける眼差しは「その手が正しいかどうか」という視点に偏っていたと思います。囲碁AIの出現により「なぜそのように打つのか」がより問われるようになってくるのではないのでしょうか。囲碁界が「どのようにしてこの手が選ばれたか」にもっと興味を示すようになれば、それもAIが囲碁界へもたらしたプレゼントの一つになるのではないかと思います。

2017年7月4日 受理

著者紹介



王 銘琬

日本棋院プロ棋士九段。1961年台湾台南市生まれ。1975年来日、77年入段。タイトル歴1989、91年俊英トーナメント、2000～01年本因坊、2002年王座、2007年大和証券杯、2012年マスターズカップ。着手に確率の要素を取り入れる珍しい打ち方、著書「囲碁AI新時代」(マイナビ出版、2017)、「ゾーンプレスパーク」(日本棋院、2003)、「我間違えるゆえに我あり」(毎日コミュニケーションズ、2005)など。コンピュータ囲碁には2007年より興味をもち、2014年囲碁ソフト「GoTrend」のチームに参加、2015年UECカップ6位。

特集 「人間を超えるコンピュータ囲碁」

Future of Go Summit 報告

Report of “Future of Go Summit”

小林 千寿
Chizu Kobayashi

日本棋院東京本院
Nihonkiin.

chizu.kobayashi@gmail.com, <https://www.nihonkiin.or.jp/player/htm/ki000165.htm>

Keywords: computer Go, AlphaGo, X-day.

1. イベント前夜

2017年5月23～27日、場所は中国浙江省の「アジアのヴェネツィア」と呼ばれる桐郷市烏鎮において、Google傘下のDeepMind社の“The Future of Go Summit in Wuzhen”が開催されました。大会は、中国政府の横やりが寸前まで入り開催が危ぶまれる状況で行われました。

著者は、日本棋院の役員枠として、現地に赴くことになり、世界のトップ棋士「柯潔九段」と一段と進化した「AlphaGo」の対決を間近で観戦することになりました。

1年前の2016年3月に韓国で打たれた“李世ドル九段対AlphaGo”では十分な強さを見せながらも4局目で人工知能の碁の不安定さも露呈していました。それを、どのように克服するのが次の課題であったことは囲碁ファンならば、誰もが知るところでした。

そんな中、2016年の年末から2017年の年始にMagisterとMasterというプログラムが忽然とネットサイトに現れました。このプログラムが、世界のトッププロ棋士を相手に早碁とはいえ自由自在に打ち回し、気付けば60連勝してしまったのです。

世界中の囲碁ファンが、その打回しと結果に翻弄され興奮のつばに放り込まれることになります。そして、1月5日に、それが「Alpha Goの進化版」であることが公表されて、納得と畏怖を覚えることになります。

それが判明してから世界の囲碁プレーヤーは我先にと、その棋譜を並べ理解しよう、自分の碁の中に取り入れようという試みが始まります。これほど囲碁界のアドレナリンを刺激した期間は二度とやって来ないと思われる数か月だったのです。

2. AlphaGoの圧勝と柯潔九段

そして、ついに柯潔九段とAlphaGoの3番勝負を迎えます。AlphaGoの内容は、年末年始に見せた「人間の予想外の打ちぶり」は鳴りを潜め、「ただ、やたらに強い」

打ち手になっていました。

人間界で圧勝している柯潔九段を相手に、相撲でいえば、回しに手をかけさせないような余裕の打ちぶりを見せたのです。昨年の李世ドル戦で見せた弱点「複雑な複数の戦い」の2局目も、気付けばあっさりと明晰に判断して抜き去ってしまいました。

著者は日本から唯一、対局場に入室する権利を与えられていました。特に3局目は人間代表の柯潔九段の心の悲鳴、落胆、責任を十分に感じ取れる物理的空間を共有することになりました。まさに、「胃がキリキリ痛む」数十分を過ごすことになりました。

その晩は、疲れていたにもかかわらず長い間眠れませんでした。最後の対局における柯潔九段が、普通の弱者のように、それも子供のように我を忘れて悔しがっている様子を目の当たりに見て衝撃すら覚えていました。

「日本の棋士だったら人前であそこまで乱れただろか？」

それは、責任感なのか悔しさなのか、など思いを馳せているうちに、もし自分が世界一の打ち手だとしたら、一番辛いのは局後に感想戦ができないこと、もう二度と打てない相手であるということに、言い得ない焦燥感のようなものを感じたのではなからうか、という思いに行き当たったのです。実際、AlphaGoは、この三番碁をもって人間との対戦に終止符を打つと発表しました。まるでブラックホールに放り出され、永遠の世界に閉じ込められたような喪失感に辿り着いたのではなからうか、あれほど待ち望んでいたX-dayが、これだったのか、と。

3. 囲碁が紡ぐ人の輪

話は前後しますが、著者と囲碁とコンピュータの関係振り返ってみます。著者は、木谷道場に6歳で入門して、高校2年生のときにプロ試験をパスします。大学受験と棋士生活を始めた頃、旧知の方から早稲田大学理工学部の平山博教授に碁を教えるように依頼されました。

そのご縁は幅広いもので、コンピュータ系の方々とのお付き合いが始まります。そして、1974年に欧州50日

間の囲碁普及の仕事に携わることになり、10 개국 16 都市を回り、英語で碁を教えることや旅の仕方を覚えました。また、それは欧米のコンピュータプログラマと碁を通じた付き合いの始まりにもなりました。

当時から欧米で碁を打つ人達は大半が理系で物理、数学、科学、化学を学ぶ生徒か、卒業生達で、それは今もあまり変わっていません。知らぬうちに世界の理系、それも特に自分の頭脳に自信をもった人達、そんな人が東洋のゲーム『碁』に出会い、思ったように強くなれず、それゆえに夢中になっていく……、そういう若者達に碁を教えるのがライフワークになっていったのです。

そして彼らの一番のトピックは「いつコンピュータ囲碁が人間を負かすか？」ということでした。このテーマで、今までどのくらい多くの国々のプレーヤ達と夜を徹して話をしてきたことでしょうか。

1979 年にアメリカに 3 か月間、国際交流基金の枠で回ったときはミネソタ大学のブルース・ウイルクック氏の研究室を訪ねました。「囲碁ソフト研究をしているが、ソフトはまだ 10 級くらいなのに自分が 5 段になってしまったよ!」と、AI 囲碁のソフト開発者が語ります。

ニューヨークではベル研究所を訪問したときは、そうそうたる（ノーベル賞受賞者）研究者が碁を楽しんでいる様子を見てきました。80 年代の囲碁ソフト「Goliath」の開発者であるマーク・ブーン氏（オランダ 6 段）は、欧州の囲碁大会でよく見掛け、次のステップの模索の話を聞かされたものです。

1990 年代にアマ 2 段くらいで低迷していた囲碁ソフトがモンテカルロ方式を取り入れて 2006 年にフランスの「Crazy Stone」が登場します。当時、フランスに居を移して囲碁指導をしていた著者にもイースター・パリ大会で「MOGO」と打つ依頼が来て 19 路盤・六子局で対戦する機会に恵まれました。切れるところは、必ず切ってくる力戦型の棋風で、それを逆用して「捨て石」作戦で対応しました。

その後、2011 年の UEC 杯では台湾の「Erica」とも対戦しました（その Erica の開発者が後の AlphaGo の開発者の一人になるとは、当時は思ってもみませんでした）。

2012 年に日本棋院の常務理事のときに、海外で普通に身近なコンピュータプログラマが日本では囲碁界と距離があることに気付き、両者の関係が近くなるようにとの願いから「Zen」と棋士との対局に協力します。電気通信大学のイベントでは、Zen は武宮正樹九段に四子、三子で見事に勝利を収めます。その後、年ごとに Zen は実力を伸ばしていくこととなります。

著者の場合は技術的にコンピュータ囲碁と付き合いしてきたのではなく、各国で囲碁普及することが結果的に 45 年もの間、AI の碁を追っていたことになりました。

今回の AlphaGo のチームを知ると、何とも長い縁が凝縮されていることに気付かされます。

AlphaGo の論文にも現れるファン・ファイ二段（中国）

は長くフランスに在住していたので旧知の仲ですし、AlphaGo の代わりにまるでロボットのように微動だにせずに石を置いていたアジャ博士（台湾・アマ 8 段）とは 4 年前にロンドンで碁を打っていました。

ペア碁のときに AlphaGo の代わりに石を置いた青年ウーバール氏（仏・アマ 7 段）とは、彼のお父さんのときからの付き合いです。ペーカー氏（アメリカ・アマ 6 段）は縁があって今や弟子の一人ですし、マネジメントを司るトレー氏（ドイツ・アマ 3 段）も 20 年前に来日されたときからの旧知の仲です。

そして、今回のイベントでお話することができたデミス・ハサビス CEO は初対面でしたが、碁の腕前はアマ 3 段。5 日間の間にお会いする度にお話しさせていただきましたが、その話し振りにすっかり魅了されてしまいました（図 1）。



図 1 会場ではサビス氏と

これから AI がどの方向にどのように進んでいくのか私達人間が決めていくのですが、ハサビス氏のようなリーダーならば、必ず「人間と人工知能」が協力し合う関係を築き上げてくれると確信した次第です。

4. 囲碁の将来

今は囲碁界も、隣の将棋界も人間が負かされるという事象に囚われていますが、それは長い棋道の道のりの途中であることを忘れずに、人間本来の精神をもって今までと変わらずに将来を見据えたいと願っています。

最後に数日前に訪日したアジャ博士の言葉を紹介しておきます。「今の AlphaGo は碁の可能性の 10% くらいしかわかっていないと思う」。

その言葉を聞いて、生前、藤沢秀行九段が「オレは碁の 7% くらいしかわかっていない」と言っていたのを思い出しました。

その数字は、かなり近いのかもしれないと、その場にいた皆が納得したのです。

2017年7月4日 受理

著者紹介



小林 千寿

1954年9月28日生まれ。長野県出身。故 木谷 實九段門下。1972年入段、1973年二段、1974年三段、1976年四段、1978年五段、2016年六段。小林 覚九段、小林健二七段、準棋士小林孝之は実弟。門下に故ハンス・ビーチ六段、アンティ・トルマネン初段。日本棋院東京本院所属。

ディープラーニングを用いた コンピュータ囲碁

～ Alpha Go の技術と展望～

応
専



伊藤 毅志 村松 正和（電気通信大学）

Alpha Go の衝撃

2016年1月28日、日本時間AM 3:00に、そのニュースは発表された。Googleの研究グループがNatureに“Mastering the Game of Go with Deep Neural Networks and Tree Search”という論文を発表した¹⁾。それによると、ディープラーニングと強化学習を用いた手法で囲碁の局面を評価する新しい手法を確立し、その手法と従来のモンテカルロ木探索（MCTS: Monte-Carlo Tree Search）の手法を組み合わせることで、既存のプログラムに99.8%勝つばかりか、囲碁のヨーロッパチャンピオンのプロ棋士に5連勝したというものであった。

コンピュータ囲碁は、2006年頃に発表されたMCTSの手法で、近年めざましく進歩した。2015年3月に開催されたプロ棋士とコンピュータ囲碁の置碁公式戦である電聖戦では、第25世本因坊治勲を相手に、4子では勝利したものの3子では力の差を見せつけられており、プロ棋士とは3子以上の差はあると思われてきた。互先でプロ棋士に勝利するには、まだ10年程度は要するのではないかと考えられてきた。

チェスや将棋と比べ、コンピュータにとって囲碁は、盤面の広さによる探索の困難さもさることながら、局面の評価関数（盤面の優劣を数値化する関数）を作ることが絶望的に難しいとされてきた。囲碁では石1つ1つには意味がなく、それが連なって意味を構成していく。石の繋がり方は千差万別で、石1個の配置が違って意味はガラリと異なることがある。人間はこのような石の繋がりを、石の「強さ」

や「厚み」といった言葉で表現するが、このような感覚的な局面の理解はコンピュータには困難であると考えられてきた。

しかし、今回のGoogleの論文では、ディープラーニングを用いることで、局面を評価できるネットワークを構築したというのだ。これが、コンピュータ囲碁研究者・開発者を驚かせた。

予兆と Alpha Go が実現したもの

実は2014年から2015年にかけて、ディープラーニングをコンピュータ囲碁に応用した研究論文が立て続けに発表されていて、その予兆はあった^{2)～4)}。これらの研究は、プロ棋士の棋譜データを教師データとするディープラーニングを用いることで、プロ棋士の手を予測するシステムを作るというものであった。それによると、これらのシステムが選んだ手は、プロ棋士の選んだ手と非常によく一致して、一致率が57%にも上るものもあった。これらの研究はそれまでの予測器の精度を大きく凌ぐものであり、ディープラーニングのコンピュータ囲碁への応用を期待させるものであった。

しかし、Alpha Goはコンピュータ囲碁研究者の予想を上回る成果を含んでいた。Alpha Goは、以下の3つの段階を経て構築されている。

<第1段階>

13層のDeep Convolutional Neural Network (DCNN) を使い、インターネット囲碁道場KGSの6段～9段の棋譜16万局、約3,000万局面を用いて

教師あり学習 (Supervised Learning) を行い、次の一手の予測器を作成するフェーズ。50 個の GPU で 3 週間かけて学習を行い、これによって予測率 57% の高確率の予測器を実現した。この DCNN を SL Policy Network と呼ぶ。

< 第 2 段階 >

上述の SL Policy Network を初期値とし、「ゲームの勝利」を報酬として自己対戦による強化学習 (Reinforcement Learning) を行うフェーズ。第 1 段階のものと対戦させた場合に 80% 以上の勝率を叩き出す DCNN を実現した。この DCNN を RL Policy Network と呼ぶ。この段階は 1 日で終了する。

< 第 3 段階 >

自動生成したデータから、局面の勝率を計算する DCNN, Value Network を作成するフェーズ。まず、「途中まで SL Policy で自己対局させ、一手だけランダムに打ち、その後は RL Policy に打たせる」ことを繰り返し、3,000 万局面のデータを自動生成する。ランダムに打った直後の局面と勝敗がデータとなる。このデータから教師あり学習により、RL Policy Network によって局面の勝率を計算する Value Network を実現した。この学習には 50 個の GPU を用いて 1 週間で費やしている。

このようにして作成された SL Policy Network と Value Network, それに従来からの技術であるシミュレーションベースの MCTS を組み合わせて Alpha Go は構成されている。第 2 段階で生成された RL Policy は、第 3 段階のデータを生成するのに使用されるだけで、最終的には使われていないところが興味深い。

第 1 段階までは、すでに発表された技術であり、いくつかのコンピュータプログラムでも導入は進められていた。

第 2 段階以降が Alpha Go の新しい技術である。これによって、プロ棋士に匹敵する打ち手を実現していると思われる。特に Value Network は、不可能と言われていた囲碁の盤面評価関数を DCNN により実現したものであり、大きな衝撃である。

システム全体を構築するのに 50 個の GPU と 1 カ

月という期間を要すること、論文¹⁾の筆者が 20 名にのぼること、また、プロと対戦した Alpha Go が 1,202 個の CPU と 176 個の GPU を用いていることは、いずれもこの研究が Google という大企業の豊富なリソースに裏打ちされたものであることを示している。

Alpha Go の強さと今後の展望

Alpha Go の実力について、論文の中では、既存の有力プログラム (Crazy Stone, Zen, Pachi, Fuego, GNU Go) を相手に 495 局中 494 局 (勝率 99.8%) で勝利したとある。これをもって、Zen や Crazy Stone に対して、1,000 程度のレーティングの差があると論じているが、対戦したのは、市販版であり、クラスタ版と純粹に比較するのは、難しい。

また、ヨーロッパチャンピオンの Fan Hui (樊麾) 二段と 5 戦 5 勝し、その棋譜も掲載されている。実際には 10 局打って 8 勝 2 敗だったが、あらかじめ決めておいた「公式対局」5 局においては全部 Alpha Go が勝ったということである。「非公式対局」である 5 局分の棋譜は公開されていない。対局数が少ないこと、棋譜もやや淡白な内容であることなどから、プロ棋士の Alpha Go に対する評価も割れている。

3 月 8 日から 15 日にかけて、トッププロの 1 人である李世乭九段との対戦が予定されている。5 番勝負で賞金は 100 万米ドルのビッグイベントである。囲碁ファンには常識であるが、李世乭九段はまさしく世界のトッププロである。もし、ここで李世乭九段が負けるようだと、たしかにコンピュータが人間を超えたと認めざるを得ない。

しかし少なくとも、論文に書かれている技術を読む限り、これまで MCTS の問題点であった複雑な攻め合いの理解や、両コウを含むような難解な局面における問題が解決されているとは思われない。もちろん Fan Hui 二段との対局のように弱点を見せる暇なく序中盤で圧倒してしまう可能性もあるが、競った相手に難解な攻め合いに持ち込まれると、意外な

弱点が露呈する可能性がある⁵⁾。

人間対コンピュータの対局では、対局の公平性が議論されることが多い。公開されていない棋譜の中には、Alpha Go が負けた対局もある訳で、こういった対局も含め、李世石九段に事前に十分な情報提供がなされ、可能な限り公平な対局が実現されることを願いたい。いずれにしても3月の対戦は大きな注目を集めることだろう。

電気通信大学では、この対戦の直後、UEC 杯コンピュータ囲碁大会が3月19、20日に、その優勝、準優勝プログラムが、小林光一名誉棋聖と対戦する電聖戦が3月23日に開催される。UEC 杯には、Facebook を含め、Crazy Stone, Zen, Dolbaram などの有力プログラムも参戦する。これらのプログラムも一部ディープラーニングを導入して、成果を見せつつあり、にわかにコンピュータ囲碁界は、X デーに向け加速しているように見える。

コンピュータ囲碁の根本的な問題点がこれから露呈してくるのか、それともその弱点を見せずに人間トップを押し切ってしまうのか、目が離せない。

参考文献

- 1) Silver, D., Huang, A., Maddison, C. J., Guez, A., Sifre, L., van den Driessche, G., Schrittwieser, J., Antonoglou, I., Panneershelvam, V., Lanctot, M., Dieleman, S., Grewe, D., Nham, J., Kalchbrenner, N., Sutskever, I., Lillicrap, T., Leach, M., Kavukcuoglu, K., Graepel, T. and Hassabis, D. : Mastering the Game of Go with Deep Neural Networks and Tree Search, Nature 529, pp.445-446 (2016).
- 2) Clark, C. and Storkey, A. : Teaching Deep Convolutional Neural Networks to Play Go, arXiv:1412.3409 (2014).
- 3) Maddison, C. J., Huang, A., Sutskever, I. and Silver, D. : Move Evaluation in Go Using Deep Convolutional Neural Networks, arXiv:1412.6564 (2014).
- 4) Tian, Y. and Zhu, Y. : Better Computer Go Player with Neural Network and Long-term Prediction, arXiv:1511.06210 (2015).
- 5) 伊藤毅志, 村松正和 : UEC 杯コンピュータ囲碁大会と電聖戦 2014, 人工知能学会誌, 特集「コンピュータ囲碁」, Vol.29, No.4, pp.311-315 (2014).

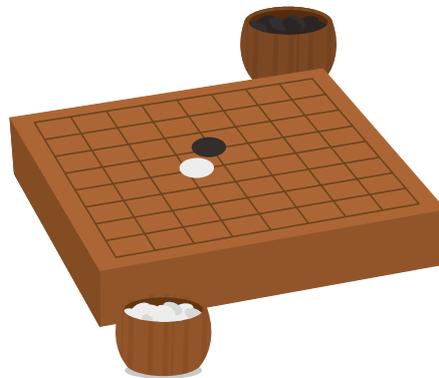
(2016年2月8日受付)

■ 伊藤 毅志 (正会員) ito@cs.uec.ac.jp

1994年名古屋大学大学院工学研究科情報工学専攻博士課程修了。工学博士。同年より電気通信大学情報工学科助手。2007年より同助教。電気通信大学エンターテイメントと認知科学研究ステーション代表。UEC 杯コンピュータ囲碁大会実行委員長。ゲームを題材にした人間の思考過程、熟達化の過程に興味を持つ。著書に『先を読む頭脳』(新潮社, 共著)ほか。コンピュータ囲碁フォーラム理事。

■ 村松 正和 (正会員) MasakazuMuramatsu@uec.ac.jp

1994年総合研究大学院大学数物科学研究科統計科学専攻博士課程修了。博士(学術)。同年上智大学理工学部機械工学科助手。2000年より電気通信大学講師, 2002年助教授, 2008年教授。専門は最適化とゲーム情報学。特にコンピュータ囲碁に興味を持ち、伊藤と協力してUEC 杯コンピュータ囲碁大会を開催してきた。コンピュータ囲碁フォーラム副会長。





速報

AlphaGo の勝利



松原 仁 (公立はこだて未来大学)

2016年3月9日から15日にかけて韓国のソウルで囲碁のプロ棋士のイ・セドルとコンピュータ囲碁AlphaGoが5局互先(ハンディなし)で戦ってAlphaGoが4勝1敗で勝利をした。ここではその速報を行う。技術的な詳細についてはまだ不明の部分もあるため、論文などで正式な情報が出揃ってから機会があれば改めて報告することにした。

2016年1月28日にGoogleの研究グループが『Nature』に“Mastering the Game of Go with Deep Neural Networks and Tree Search”という論文を発表した¹⁾。ディープラーニングを用いて囲碁の強いプログラムAlphaGoを開発してヨーロッパチャンピオンである2段のプロ棋士に互先で5戦5勝したというものであった。それまでのコンピュータ囲碁はモンテカルロ木探索という手法によってようやくアマ6段程度になったところだった。プロ棋士とはハンディ戦で4子(下手が先に4個の石を置いた状態から始めること)で勝ったり負けたりという状況であったので、このAlphaGoの登場は大きな衝撃であった。『Nature』のこの論文については伊藤と村松が本誌のVol.57 No.4に解説を書いているので、AlphaGoの技術的な中身についてはこれを参照していただきたい²⁾。

『Nature』に発表された時点でAlphaGoの実力はコンピュータ囲碁としては画期的なものであった。しかしプロ棋士に勝ったとはいえ、ご本人には失礼ながら2段でそう強くはなく、論文と同時に発表された5局の棋譜を見た囲碁のプロ棋士は、みんな口

を揃えてまだほとんどのプロ棋士よりもAlphaGoは弱いと言っていた。3月にイ・セドルと対局するというニュースを聞いたときにはイ・セドル本人も含めてほとんどのプロ棋士はイ・セドルが簡単に5連勝すると信じていた。イ・セドルはちょっと前の世界チャンピオンで、いまでも世界ランキングの上位に位置するプロ棋士である(日本では井山が圧倒的に強いが、世界的にはイ・セドルの方が井山よりも上位であろう)。その彼が負けるとはプロ棋士もコンピュータ囲碁関係者も思っていなかった。

しかしふたを開けてみるとAlphaGoがイ・セドルを圧倒した。AlphaGoはあきらかに『Nature』の論文のときよりも数段強くなっていた。良い勝負で終盤に人間がミスをしてコンピュータが勝ったというのではなく、力の差を見せつけた実力勝ちであった。囲碁(や将棋)では大局観という言葉が使われる。局面の形勢判断を、感覚的に全体を把握することで行う能力のことである。囲碁(や将棋)の強い人はこの大局観が優れているが、コンピュータ囲碁は研究が始まってから50年近くこの大局観を持つことができていなかった(そのためにモンテカルロ法という統計的な手法を用いているのである)。AlphaGoは序盤でイ・セドルを含めたプロ棋士が理解できない手を連発した。イ・セドルも解説のプロ棋士も当初はその手を悪手だと思っていた。敵が悪手を打ったのであるから、イ・セドルは自分の方が有利に違いないと思っていた。しかし対局が進んでみると序盤のその手に意味があることが分かってきた。それ

に気づいたときにはもうすでに手遅れで勝負は決まっていたのである。これは、人間には見えていない未来がコンピュータ (AlphaGo) には見えていたということになる。これまで先読みではコンピュータに負けていても大局観では圧倒的に人間が優れていると思っていたが、大局観でもコンピュータが人間に優れているのである。それが今回の最大の衝撃である。

ディープラーニングはいま人工知能の領域でブームとなっているが、これまで成功したのは画像認識や音声認識というパターン認識の範疇であった。まだ問題解決や意思決定など人工知能の中心のところ (いわゆる記号処理の対象の範囲) ではあまりうまくいっていなかった。囲碁というのはパターン認識と記号処理の中間に位置すると考えられる。囲碁の局面は複雑なので、人間もパターン認識で局面を捉えている。その上で記号処理を行って次の一手を決定している。ディープラーニングをパターン認識から記号処理へとその範囲を広げていく上で、今回の囲碁の試みはちょうど適切なものであったということができよう。

一方で今回の対戦でディープラーニングが持つ構造的な問題点も改めて浮き彫りになった。ディープラーニングは性能が良くて正解率の高いものの、どうやってその解答にたどり着いたかの筋道は教えてくれないのである。非常に良い手を打っているものの、人間のプロ棋士がするようにその手の意味を解説することができない。画像認識や音声認識では答えさえあっていればその理由は問われないが、問題解決や意思決定の場合は理由が明確に説明できな

ければその判断を信用して採用することはできない。これからの大きな研究課題である。

今回の AlphaGo の勝利で囲碁でもコンピュータが人間を超えたことになる。本会では昨年 (2015 年) に将棋で事実上コンピュータが人間を超えたという宣言をした。その時点では囲碁はあと 10 年はかかると考えていたが、半年で囲碁も超えてしまった。優秀な研究者と潤沢なコンピュータ資源を投下することによって 10 年を半年に縮めたということである。

AlphaGo は勝ち越しはしたものの 1 敗を喫した。このことはまだ AlphaGo も人間に絶対に負けないレベルには達していないことを示している。打倒 AlphaGo のプロジェクトも日本や中国で開始されている。コンピュータ囲碁のさらなる開発を通じて将来我々の生活に役立つ手法が開発されることを期待したい。

参考文献

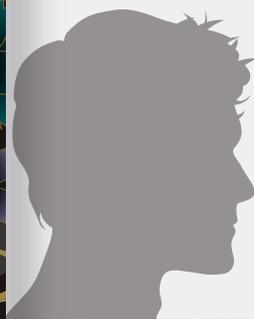
- 1) Silver, D., Huang, A., Maddison, C. J., Guez, A., Sifre, L., van den Driessche, G., Schrittwieser, J., Antonoglou, I., Panneershelvam, V., Lanctot, M., Dieleman, S., Grewe, D., Nham, J., Kalchbrenner, N., Sutskever, I., Lillicrap, T., Leach, M., Kavukcuoglu, K., Graepel, T. and Hassabis, D.: Mastering the Game of Go with Deep Neural Networks and Tree Search, Nature 529, pp.445-446 (2016).
- 2) 伊藤毅志, 村松正和: ディープラーニングを用いたコンピュータ囲碁— AlphaGo の技術と展望—, 情報処理, vol.57, No.4, pp.335-337 (2016).

(2016 年 4 月 7 日受付)

松原 仁 (正会員) matsubar@fun.ac.jp

1986 年東大工学系研究科情報工学専攻博士課程修了 (工学博士)。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。2016 年同副理事長。人工知能、ゲーム情報学などに興味を持つ。著書に「コンピュータ将棋の進歩」, 「先を読む頭脳」など。本会理事, 人工知能学会会長, コンピュータ囲碁フォーラム会長。





Master の登場

専 応

松原 仁（公立はこだて未来大学）

2016年はコンピュータ囲碁の進歩が注目された年であった。1月にNatureという雑誌にGoogleが開発したAlphaGoが2段のプロ棋士に互先（ハンディなし）で5戦して全勝したという論文が載って大きなニュースになった。それまでのコンピュータ囲碁はモンテカルロ木探索という手法ができたことでアマ高段者のレベルにはなっていたのだが、プロ棋士には3子程度のハンディをもらってようやく良い勝負になる程度であった。それが一気に（2段であり強くないプロとはいえ）互先でプロ棋士に勝ったのは大きな進歩であった。技術としては深層学習（ディープラーニング）、強化学習とモンテカルロ木探索を組み合わせたものである。

3月には韓国のイ・セドル9段とAlphaGoが対戦した。AlphaGoはプロ棋士のレベルに達したものの、勝った相手は2段であった。イ・セドルは世界一になったこともあるトップレベルのプロ棋士である（この当時世界ランキングの4位であった）。まだAlphaGoはイ・セドルには勝てないとほとんどの関係者が思っていた。しかしふたを開けてみたら4勝1敗でAlphaGoの圧勝であった。局面を直感的に理解する大局観は人間には持ってもコンピュータには持てないと思われていたが、AlphaGoは優れた大局観を持つまでに至ったのである。囲碁ファンも関係者もびっくりした。

AlphaGoは強くなっていたものの、局面によっては大悪手を打つ（そのために1敗した）とか囲碁の重要な概念を理解できていないなどの短所も指摘された。それらの短所があっても優れた大局観によってイ・セドルに圧勝できたことが脅威であった。

その後AlphaGoはなりを潜めていた。20年前にチェスの世界チャンピオンのKasparovに勝ったIBMのDeepBlueはチェス界から引退してほかの領域に転身したが、AlphaGoは引き続き囲碁界にとどまると噂されていた。囲碁ファンからすると、イ・セドルは負けたものの現在の世界チャンピオンである中国のカ・ケツ9段（19歳）であればAlphaGoに勝てるのではないかという期待があった。

AlphaGoの活躍に刺激を受けて同様のレベルのコンピュータ囲碁を開発する試みがいくつも開始された。AlphaGo登場前の世界一のコンピュータ囲碁であった日本のZenは東京大学から深層学習の技術、ドワンゴからGPU（ディープラーニングを動かすための高性能のコンピュータ）の貸与という協力を得てDeepZenGoという深層学習を用いた改良版を開発した。DeepZenGoは2016年11月に趙治勲9段というトップレベルのプロ棋士と互先で対局し、負け越しはしたものの1勝2敗と初めて互先で勝利することができた。中国では世界最大のゲーム会社のテンセントが絶芸^{ぜつげい}と刑天^{けいてん}というコンピュータ囲碁を開発している。これらも深層学習を用いていると思われる。刑天はインターネット囲碁の野狐^{のこ}囲碁で対局をしており、いろいろなプロ棋士と対戦している。前述のカ・ケツも刑天と何局か打っていて、勝ったり負けたりという結果である。刑天も世界のトップであるカ・ケツと良い勝負ができるほど強いということである。

そのような状況の中で、2016年年末から2017年年初めにかけて大きな出来事があった。インターネット囲碁の東洋囲碁にMagisterというコンピュータ囲碁

が、野狐囲碁に Master というコンピュータ囲碁が登場したのである（その後両方が実質的に同じであると発表されたので、ここでは以後 Master に統一する）。これらのコンピュータ囲碁がとてつもなく強かった。世界中のトップレベルのプロ棋士と対戦してともに 30 勝 0 敗で合計 60 勝 0 敗という結果であった。これらの対局は一手 30 秒以内という早碁であった。人間は短い持ち時間だとミスを犯す危険が高くなるので持ち時間を長くすればもっと高いレベルの囲碁が打てる可能性が増すが、レベルが高くなるのはコンピュータ囲碁も同様である。負けた棋士の中には前述のカ・ケツも日本の井山裕太 6 冠も含まれている。まさに全滅である。図-1 にカ・ケツと Master の対局の棋譜を載せる。両者が何局か戦った（すべて Master が勝った）うちの 1 つで、白の Master が 128 手までで黒のカ・ケツに勝っている。60 戦して全勝というのはかなりの実力差があることを意味する。60 局の内容を調べたプロ棋士の中には、もはやプロ棋士を含めた人間は誰も互先では Master に勝てないだろうと言っている人もいる。プロ棋士が Master から 2 子のハンディ（最初から石を 2 個置いた状態から対局すること）をもらっても勝つのは大変ではないかということである。

Master は当初正体を明かさずに対局していたために、何なのか世界中の囲碁ファンの間で大騒ぎになった。以前外国でもヒットした『ヒカルの碁』という漫画の SAI（インターネット囲碁で活躍する平安時代の最強の棋士の霊）ではないかということもいわれた。正月明けに Google のコンピュータ囲碁のプロジェクトの責任者が Master が AlphaGo の改良版であることを発表して正体が明らかにされた。

コンピュータ囲碁に詳しいプロ棋士の大橋拓文 6 段によれば、AlphaGo は強いことは強いものの、囲碁で重要な死活、攻め合い、正確さが必要な長手順の読み、左右両側から絡めるような複雑な手順、コウ、などにおいてはまだ不十分なところが見受けられていた。Master ではこれらの欠点がほぼ解消されているとのことである。また AlphaGo はプロ棋士が驚くような新手を打ってはいたものの、その回数はそれほど多くなかった。Master は序盤から新手を連発してプロ棋士を圧倒するようになって

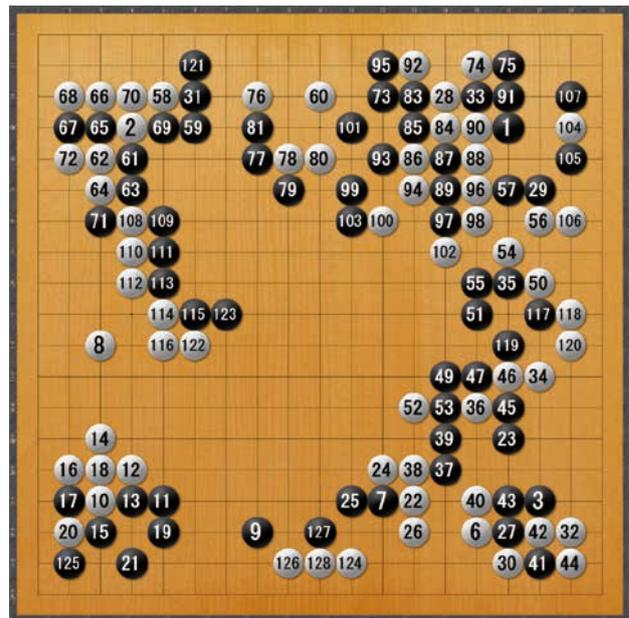


図-1 カ・ケツ（黒）対 Master（白）128 手まで白中押し勝ち

いる。Master が AlphaGo に比べてどのような技術的な工夫がなされているのかまだ明らかではないが、AlphaGo はコンピュータ同士の対局の強化学習で強くしていたので、その強化学習をさらに続けることによって Master までになったと想像される。

Google の発表によれば 2017 年に Master がトップレベルのプロ棋士と正式に（早碁ではない長い持ち時間で）対局するそうなので、楽しみである（正直に言ってプロ棋士が勝つのは大変だと思うが）。

60 連敗を喫した世界中のプロ棋士がみんな楽しそうに Master と対局していることがすばらしい。囲碁はチェスや将棋というゲームに比べてまだ解明されていない部分がたくさんある（「神」と人間との実力差がチェスや将棋より囲碁の方が大きいということである）。彼らは Master との対局を通じて囲碁のさらなる高みを実感することができた。Master との対局を通じて人間ももっともっと強くなれる、囲碁のさらなる高みに到達することができると言っている。人間と人工知能のこれからのあるべき関係を示唆してくれていると思う。

(2017 年 1 月 22 日受付)

松原 仁 (正会員) matsubar@fun.ac.jp

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。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。2016 年公立はこだて未来大学副理事長。人工知能、ゲーム情報学などに興味を持つ。本会理事、コンピュータ囲碁フォーラム会長。

AlphaGoの置き土産

松原 仁（公立はこだて未来大学）

2017年5月に囲碁の世界ランキング1位のカ・ケツ（柯潔）とコンピュータ囲碁のAlphaGoが戦って、AlphaGoが3連勝した。その直後にAlphaGoは自己対戦の50局の棋譜を公開してそれを置き土産に引退を発表した。本稿はその速報である。

コンピュータ囲碁の研究は1960年代に始まった。チェスや将棋はミニマックス法（とその改良アルゴリズムであるアルファベータ法）という探索手法で対応できたが、囲碁は探索空間が 10^{360} とけた違いに広い（チェスが 10^{120} で将棋が 10^{220} ）ためにそれではうまく対応できなかった。さまざまなアイデアが試みられたものの、2000年代まではかなり弱くアマの初段程度にとどまっていた。2000年代の半ばに統計手法のモンテカルロ法を応用したモンテカルロ木探索の手法が提案されてこれがブレークスルーになった。2015年の時点ではアマ高段者のレベルに達してトップレベルのプロ棋士とは3子程度の差になっていた（最初に盤面に石を3個置かせてもらうというハンディである）。かなり強くはなっていたものの、将棋のようにトップレベルのプロ棋士に勝つまでにはまだ10年程度かかるとされていた¹⁾。

2016年1月のNatureの論文でGoogleの子会社であるDeepMindが、AlphaGoがプロ2段と対戦して5戦全勝したことを発表して大きなニュースになった。ハンディなしの互先でコンピュータ囲碁がプロ棋士に勝ったのは初めてのことであった。AlphaGoは最近注目されている深層学習（ディープ・ラーニング）、モンテカルロ木探索、および強化学習（コンピュータ同士の対局で強くする従来からある機械学習の手法の1つ）の3つの技術をうまく組み合わせている。深層学習を加速させるため

に高性能のコンピュータ（GPU（Graphic Processing Unit）という従来はグラフィック用のもの）を使っている。プロに勝ったとはいえ2段相手（プロは初段から9段までで2段は下から2つめである）だったのでトップクラスにはまだ勝てないと思われていたが、2016年3月に韓国のイ・セドルに4勝1敗と圧勝した。イ・セドルはかつての世界チャンピオンで当時も世界ランキング4位であった。トップクラスのプロに勝ったことでさらに大きなニュースになった。これで事実上囲碁においてコンピュータの実力が人間を超えたと言えるが、世界ランキング1位の中国のカ・ケツとは対局していなかったため、その対局が熱望されていた。2017年5月にその対局が実現してAlphaGoが圧勝したのである（イ・セドルに勝った1年前よりAlphaGoはさらに強くなっていた）。今回の結果は人工知能関係者および囲碁関係者にとっては想定内の結果であった。カ・ケツが勝てると思っていた人はほとんどいなかったであろう。早碁（持ち時間が短い対局）ではあったが2016年末から2017年頭にかけてAlphaGo（Masterと名乗っていた）がカ・ケツに連勝していたからである。今回の対局ではカ・ケツが善戦したという感想が多かった（途中まで良い勝負をしていた）。人間のトップはコンピュータ相手に善戦したが最後は負けてしまったということで、両者の間に歴然とした力の差があることが改めて確認された。今回の対戦で囲碁でもコンピュータが人間を追い越したことが明らかになった。

AlphaGoは人間の真似をした手を正確に打つのではなく、人間が思ってもみなかった独自の手を打つようになっている。人間相手の対局でもそのことは分かっていたが、さらにはっきりしたの

が AlphaGo 同士の自己対局である。DeepMind はカ・ケツ戦の勝利のあとに AlphaGo と AlphaGo が対局した 50 局の棋譜を公開した。AlphaGo のカ・ケツ戦の勝利は囲碁関係者にとって想定内であったが、この棋譜は大きな衝撃を与えた。人間の打ち方とまったく違っていたからである（囲碁をご存知の方はぜひ DeepMind の Web ページ^{☆1} にアクセスしてこれらの棋譜を鑑賞していただきたい）。囲碁ではいろいろな場所で小さな戦いが起きる。人間は部分的な戦いの 1 つにそれなりに決着をつけてからほかの戦いに移るのであるが、AlphaGo は同時にたくさんの戦いを進めてまったく気にしない。これまでの囲碁の常識は我々人間に限られた情報処理能力の範囲で得た限定的なものであったことが示されたのである。あるプロ棋士は「同じルールなのに AlphaGo は違うゲームをプレイしているようだ」と表現している。

コンピュータ囲碁に詳しいプロ棋士の大橋拓文 6 段は AlphaGo の自己対戦の棋譜から以下の特徴を指摘している（囲碁の専門用語が出てくることをご容赦願いたい）。

- ① 星に対しては早々に三々入りが多い。
- ② 石を安定させるためのヒラキがほとんど見られない。
- ③ 序盤から石をすぐくっつける。

このうち①の例が図-1 である。星というのは隅から 44 のところ（黒 1 や白 2 など）を指している。三々というのは隅から 33 のところである。この対局では 7 手目に黒が三々に打っている。人間の常識にはない手である。ちなみに AlphaGo は現在の囲碁のルール（7 目半のハンディを後手の白に与えるもの）では後手の白がかなり有利と判断している。実際に

☆1 <https://deepmind.com/research/alphago/alphago-vs-alphago-self-play-games/>

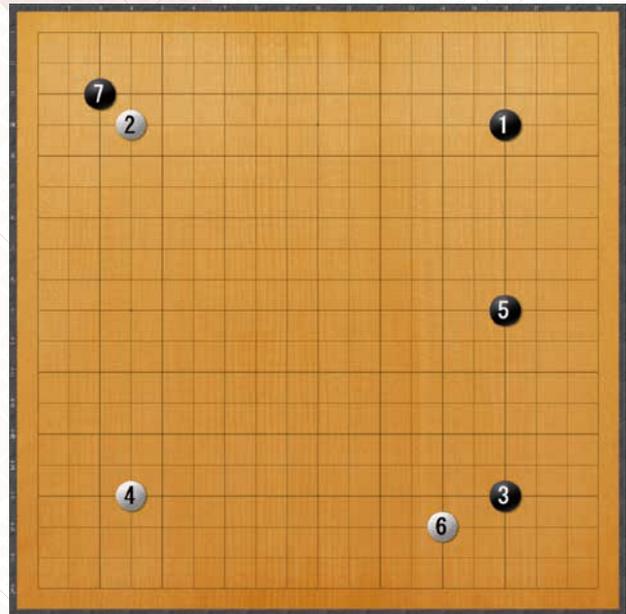


図-1 AlphaGo（黒）対 AlphaGo（白）46 局 7 手目まで

自己対戦では白勝ちが多い。

AlphaGo は人間を超えたことをトップ棋士に勝つことおよびこれまでの囲碁の常識を覆す棋譜を残すことによって証明した。近く 2016 年 1 月に出た Nature の論文以来の論文が発表される予定のことなので、それを読めばどういう工夫によってさらに強くなったのかが分かるであろう。楽しみである。またプロ棋士は AlphaGo の棋譜を研究することによって自分たちがさらに強くなるために頑張っている。これが人間と人工知能のあるべき協調作業の良い例となってくれることを期待している。

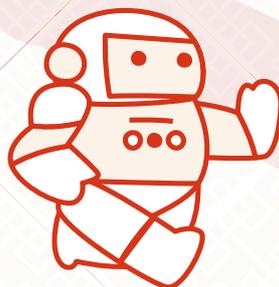
参考文献

- 1) 松原 仁：コンピュータ囲碁の進歩，ロボット学会誌，Vol.35, No.3, pp.191-194 (2017).

(2017 年 6 月 15 日受付)

松原 仁 (正会員) matsubar@fun.ac.jp

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。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。2016 年同大副理事長。人工知能、ゲーム情報学などに興味を持つ。コンピュータ囲碁フォーラム会長。





人間× AI 人を超えた先にあるもの

■ 大橋 拓文



囲碁 AI の進歩が止まらない。「AlphaGo」によって人類超えを果たした後も、Facebook やテンセントといった世界の大企業が開発を続けている。そして囲碁の世界戦は人間× AI の総合力が勝敗を決定づける流れが加速している。特にそれが顕著なのは中国だ。テンセントが「絶芸」という囲碁 AI を開発し中国棋院と提携、中国国家チームの研究に活用されている。AlphaGo が引退した現在、最強の呼び声が高い AI だ。

一方で、日本や韓国の棋士はフリーの AI を使っている。Facebook の「ELF OpenGo」(以下 ELF) やベルギー発で OSS コミュニティが開発した「LeelaZero」だ。これらは、誰でも自由に自分の PC にダウンロードして無料で使うことができる。フリー最強の AI を高スペックの PC で動かせば、人間より強いのである。しかし、それらに対して絶芸は 90% 以上勝つレベルにあり、それを使えるのは中国のトップ棋士だけだ。ELF や LeelaZero で研究した打ち方に対して絶芸で対策を立てられると、勝つのは難しいという現実がある。

AI 登場以前は中国、韓国が互角でトップを争い、日本は三番手だったが、最近は中国の独走態勢になってきている。

また囲碁 AI を開発するには、現状では莫大な計算資源を必要とする。囲碁 AI の開発の多くが企業によるものなのも、それが理由だ。たとえば「AlphaZero」は Google の TPU (Tensor Processing Unit) 5,000 個、Facebook の ELF は GPU (Graphics Processing Unit) Tesla V100 が 2,000 個である。そんな囲碁 AI を普段

■ 大橋 拓文

日本棋院棋士六段 東工大非常勤講師
GLOBIS-AQZ テクニカル・アドバイザー

1984年生。東京都出身。菊池康郎氏（緑星
囲碁学園）に師事。2013年六段。東京工業
大学非常勤講師。GLOBIS-AQZ テクニカル・
アドバイザー。著書に『よくわかる囲碁AI大全』
他多数。



の研究に使う場合は GPU 付きの PC が必要だ。しかし囲碁 AI は発展途上で日々刻々と状況が変わっている。どの PC を買うか、GPU を何枚積むか悩ましい。かくいう私も引越し後に AI 用の PC を導入しようとしたらアンペア数が足りなかったということがあった。そこで、若手棋士の中では AWS（Amazon Web Services）や GCP（Google Cloud Platform）といったクラウドの GPU を使うのが流行だ。AI のバージョンアップに対応しやすいメリットがある。

AI 活用が急速に進む中、日本では「GLOBIS-AQZ」プロジェクトが 2019 年 4 月 18 日に発表された。囲碁 AI で世界一になることと、これを若手棋士の育成に活用することを目指している。

GLOBIS-AQZ は山口祐氏が開発した「AQ」を基盤とし、GLOBIS、トリプルアイズが出資し産総研 ABCI（AI Bridging Cloud Infrastructure）の計算資源で開発を行う。私はテクニカル・アドバイザーとなり囲碁棋士の視点からチェックを行っている。ABCI は最大で 1,088 ノード（4,352 GPU）。国内最高性能で、508.85 テラフロップスは世界 5 位を記録している。日本が世界一を目指す陣容は整った。国際的な競争力を保つために、国産の AI を持つことは重要だ。世界戦で日本棋士は苦戦を強いられているが、日本復活の狼煙となることを期待している。囲碁界にとどまらず、日本に活力を与えるプロジェクトになるよう全力を尽くしたい。

解説

コンピュータ囲碁の進歩

Advances in Computer Go

松原 仁* *公立はこだて未来大学

Hitoshi Matsubara* *Future University Hakodate

1. はじめに

2016年にGoogleのAlphaGoが韓国のトップレベルのプロ棋士のイ・セドル9段に勝って大きなニュースになった。チェス、将棋に続いて囲碁もコンピュータの実力が人間のトップレベルに達したもので、最近の人工知能の進歩を示す例となっている。

本稿ではコンピュータ囲碁がどのようにしてここまで強くなったのかを概観する。

2. ゲームとしての囲碁

囲碁は中国で2000年以上前に生まれたとされるゲームである。発祥国である中国ではいったん廃れたが日本に入ってきて盛んになり、日本から中国、韓国、台湾を含めた世界中に広まった。囲碁は、ほかに似たルールのゲームが存在しない、白と黒の石という親しみやすい道具を使っている、などの理由で世界的に普及している。

(思考)ゲームはルールが明確で勝敗により評価がしやすいなどの理由で人工知能の研究の題材として最初から用いられてきた。中心になったのはチェスである。チェスの場合の数は 10^{120} である。チェスの局面で指し手の候補手は平均35通りである。1局の平均手数は80手である。35の80乗がほぼ 10^{120} ということである。将棋はチェスに似たゲームであるが敵から取った駒を再利用できるという持ち駒制度によって場合の数は 10^{220} である。囲碁の場合の数は 10^{360} にも及ぶ。多くの人間にプレイされているゲームとして世界中で最も場合の数が大きいのが囲碁である。

チェスや将棋は、

- (1) 複数の種類の駒があって駒の能力に違いがあるので駒の損得という明確な評価基準が存在する。
 - (2) 敵の一番重要な駒(チェスならキング、将棋なら玉)を捕まえるというゲームの絶対的な目標が存在する。
- という性質を持っている。一方で囲碁は、

(1) 石は1種類(先手と後手を黒と白の色で区別している)で違いがない。

(2) 最終的に敵よりも陣地を広くすれば勝つという相対的な目標しか存在しない。

という性質を持っている。これらの性質と場合の数の大きさによって囲碁はコンピュータにとって最も難しい思考ゲームとされてきたのである。

3. コンピュータ囲碁の創世記

コンピュータ囲碁の研究が始まったのは1960年代である。チェスは1950年代なのでそれよりも遅いが、将棋は1970年代なのでそれよりは早い。囲碁は似たゲームがほかにないために東洋だけでなく西洋でも広く知られているので日本国内のゲームである将棋よりも早かったものと思われる。

コンピュータ囲碁に関する最初と思われる論文は1962年だった[1]が、最初に動くプログラムが開発されたのは1969年のZobristである[2]。このときはまだ囲碁を打てるというだけで強さを問う段階ではなかった。論文にはアマ38級の実力だったと書かれている。人間が囲碁のルールを覚えて打ち始めると最初からアマ38級よりも上位の級を認定されるので、Zobristはよほど弱かったと推察できる。1979年にはReitmanとWilcoxが作ったプログラムはアマ15級だったと報告されている[3]。この時点でようやく人間の初心者並みになったと言える。

囲碁も最初はチェスのようにミニマックス法の探索によって次の手を決めようとしたが、囲碁の場合の数がチェスよりはるかに大きく、単純な探索では候補手が多すぎて使い物にならなかった。石のつながりやかたまりという概念を導入したり、影響を「場」のような概念で表したり様々なアイデアが提案されたが、強さには結びつかなかった。2000年代前半でもコンピュータ囲碁の強さはアマ初段に届かなかった。日本におけるコンピュータ囲碁の歴史については清の論文[4]に詳しい。日本で最初のコンピュータ囲碁の論文は1981年に出ている。

原稿受付 2017年1月26日

キーワード: Game, Artificial Intelligence, Deep Learning, Reinforcement Learning, Monte Carlo Tree Search

*〒041-8655 函館市亀田中野町116-2

*Hakodate-shi, Hokkaido

4. モンテカルロ木探索

コンピュータ囲碁に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。1993 年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 [5]。モンテカルロ法をそのまま使っても効果はなかったのである。

2006 年になって Coulom が Crazy Stone という囲碁プログラムの中でモンテカルロ法に UCT (UCB applied Tree) 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 [6]。囲碁にモンテカルロ法を適用するという事は、ある局面から白と黒が交互にランダムに勝負がつく終局まで打ち進めるというシミュレーション (そのプロセスをプレイアウトと呼ぶ) 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。この単純なモンテカルロ法を改良して、良さそうな手にたくさんのプレイアウトを割り当てて、そのプレイアウトの回数が一定の閾値を越えるとその一手先まで木を延長して探索するというのがモンテカルロ木探索の考え方である。多腕バンディット (Multi-Armed Bandit) という機械学習の問題を解決するために提案された UCB (Upper Confidence Bound) を木探索に適用したのが UCT である。UCB の値が大きい候補手に多くのプレイアウトを割り当てる。単純なモンテカルロ法は効果がなかったが、UCT を付け加えることによって統計的手法と木探索をうまく結びつけることに成功した。その後の囲碁プログラムはみんなモンテカルロ木探索を取り入れた。それで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 [7]。

最近 (AlphaGo の登場) までは日本の尾島陽児・加藤英樹が開発した Zen が Crazy Stone と並んで最も強い囲碁プログラムであった [8]。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ったが、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) 程度のハンディで勝つまでになっていた。2015 年の時点ではコンピュータ囲碁がトッププロ棋士に勝つのはまだ 10 年かかると考えられていた (コンピュータ将棋の 10 年前の強さに相当すると考えられていた)。

5. AlphaGo の登場

2016 年 1 月に Google の AlphaGo というプログラムが 2 段のプロ棋士に互先で 5 戦 5 勝の成績をあげたことが Nature という雑誌に発表されて大ニュースになった [9]。AlphaGo は、深層学習 (ディープ・ラーニング)、強化学習 [10]、モンテカルロ木探索、という三つの手法をうまく

組み合わせている。ポリシーネットワークとバリューネットワークの二つのネットワークを使っている。大量のプロ棋士の棋譜 (約 3,000 万局面とのことである) をデータとして (教師有り学習で局面を入力としてその局面でのプロ棋士の手を正解の出力とする) ポリシーネットワークを学習させた (その結果 57% プロ棋士の手を予測できるようになった)。そのポリシーネットワーク同士を対戦させて強化学習によってさらに強化した。コンピュータで自動生成した局面を入力としてポリシーネットワークを使って強化学習させることで局面に対して予想勝率を出力するバリューネットワークを作成した。これまでコンピュータ囲碁では優れた評価関数を作ることに失敗してきたが、初めて優れた評価関数をバリューネットワークとして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。これらの三つの手法それぞれは既存の技術であるが、それらをうまく組み合わせたことに AlphaGo の成功の理由がある。また深層学習は複雑なニューラルネットワークなので一般に計算にコンピュータパワーを必要とする。AlphaGo は 13 層のネットワークであり多くの高性能 GPU を使っている。

その後 2016 年 3 月に韓国のイ・セドル 9 段というプロ棋士と AlphaGo が対戦した [11]。1 月の Nature に載った論文では AlphaGo はプロ 2 段の人間に勝ったものの、トップレベルのプロ棋士とはまだ実力差があった (AlphaGo とプロ 2 段との対局の棋譜を分析したプロ棋士がそう判断していた)。イ・セドル 9 段は直前まで世界一のランキングに位置付けられてこの時点でも世界ランキング 4 位のトップのプロ棋士である (当時日本で最強の井山裕太 6 冠よりもランキングは上であった)。プロ棋士もコンピュータ囲碁の関係者も AlphaGo はイ・セドル 9 段にはまだ敵わないという見方が強かった。しかし予想に反して AlphaGo はイ・セドル 9 段に 4 勝 1 敗と圧勝した。図 1 に第一局の

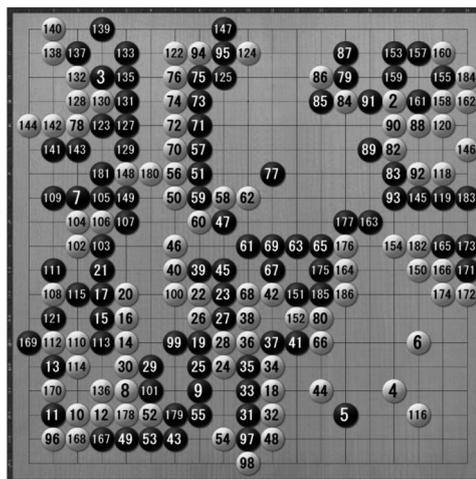


図 1 イ・セドル 9 段 (黒) 対 AlphaGo (白) 第 1 局

棋譜を示す（186手まで白のAlphaGoの中押し勝ちである）。AlphaGoは機械学習によって強くなったプログラムであり、2段に勝ったNatureの論文の時点からイ・セドル9段と対戦するまでに機械学習（特に強化学習）でさらに強くなっていったのである。

イ・セドル9段と対戦したAlphaGoの強さは衝撃的であった[12]。AlphaGoは序盤から対戦相手のイ・セドル9段を含めたプロ棋士に理解不能の手を打った。イ・セドル9段の対局後の感想によれば、イ・セドル9段はその手が打たれたときには意味が分からずAlphaGoが悪手を打ったと思ったそうである。解説をしていたプロ棋士も悪手と断定してイ・セドル9段が有利と判断していた。イ・セドル9段自身の判断も同様であった。イ・セドル9段は中盤で自分が不利であることに気付いた。なぜ不利になってしまったかを考える中で、序盤のAlphaGoの意味不明な手がとてもいい手であることが分かったとのことである（解説のプロ棋士は終盤になるまでそのことに気付くのが遅れた）。囲碁（や将棋）で局面を直感的に把握する能力のことを大局観と言う。これまで優れた大局観は強い人間だけが有していてコンピュータは有していなかった。AlphaGoは機械学習によってトッププロ棋士を越える大局観を獲得したのである。大局観でコンピュータが人間にまさることはないと思われていたので衝撃であったのである。

6. AlphaGo 以降

AlphaGoの登場の前はコンピュータ囲碁がトッププロ棋士に勝つまでにあと10年程度はかかると思われていた。AlphaGoが深層学習を使って一気にそのレベルまで到達したので、ほかでもいくつもの試みがなされるようになった。

日本のZenは、技術は大学から、コンピュータパワーは企業から協力を得て深層学習を導入した。深層学習版のZenであるDeepZenGoは2016年11月に日本の趙治勲9段と3局（互先で）戦って1勝2敗の結果を残した。負け越したもののAlphaGo以外でもハンディなしの対戦でトッププロ棋士に勝利することができた。

2016年末から2017年初めにかけてインターネット上の囲碁対局サイトに相次いで強いコンピュータ囲碁が登場した。中国のゲーム会社テンセントが開発した刑天は現在世界一と言われる中国のプロ棋士のカ・ケツ9段と勝ったり負けたりといった勝負をした。God Moves（現時点では正体不明）はDeepZenGo相手に3連勝した。

AlphaGoの改良版であるMasterおよびMagisterはカ・ケツ9段や日本の井山裕太6冠を含めた世界中のトップクラスのプロ棋士と60局戦って全勝無敗であった。図2がカ・ケツ9段（白）対Master（黒）の棋譜（228手まで黒の5目半勝ち）、図3が井山裕太6冠（白）対Master（黒）の棋譜（135手まで黒の中押し勝ち）である。一手30秒

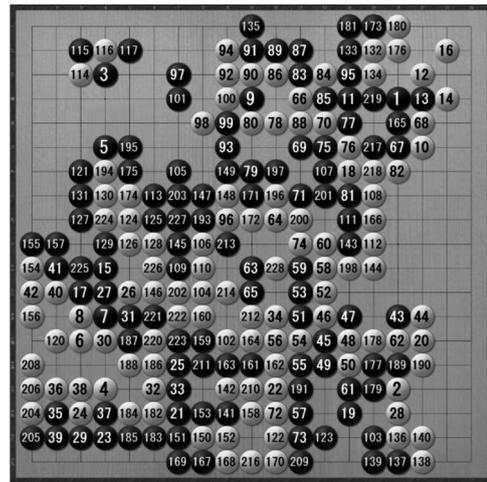


図2 カ・ケツ9段（白）対Master（黒）の棋譜

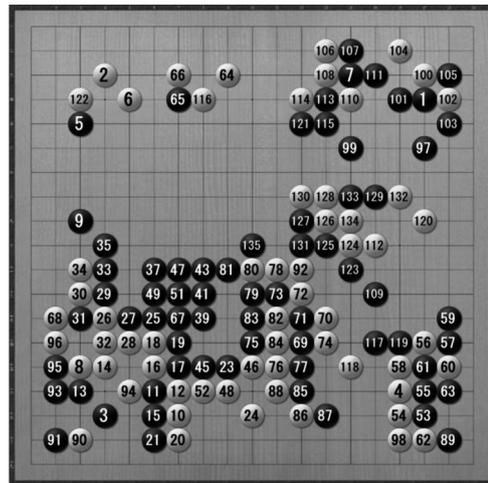


図3 井山裕太6冠（白）対Master（黒）の棋譜

以内という早碁ではあったものの圧倒的な強さであり、コンピュータが人間よりも2子以上強くなったと言われている。AlphaGoは強かったものの死活、攻め合い、長手数を読み、コウ（囲碁用語なので入門書を参照していただきたい）などでまだ問題点があったのだが、Masterではそれらの問題点がほぼ解消されている。Masterは2017年のうちに長い持ち時間でトッププロ棋士と対戦するとのことである。

なお、棋譜の解説は筆者の手には余るので、たとえばプロ棋士の大橋拓文6段のブログを参照されたい。

7. おわりに

コンピュータ囲碁がいかにして人間を超える強さに達したかについて概観した。囲碁を含めたゲームは人工知能の研究の題材として優れているので技術の進歩を評価する目的で強い人間を目標としてきた。コンピュータが人間に追いつき追い越して勝ち誇りたいわけではない。ルールが明

確で閉じた問題であれば、囲碁のように複雑なゲームであってもコンピュータが（人間程度以上に）適切に扱えることが分かったということが成果である。囲碁というゲームをさらに魅力的なものにするために成果を生かすことが期待される。Masterに負けたプロ棋士たちは落ち込むことなく、強くなったコンピュータ囲碁を道具として自分たちがさらに強くなれる（神の領域に近づくことができる）と楽しみにしているそうなので、今後が期待できる。

深層学習はこれまで画像理解や音声理解などのパターン認識で高い性能を発揮してきたが、記号処理での成功例はそう多くなかった。AlphaGo（と Master）は囲碁という記号処理とパターン認識にまたがる対象で深層学習が高い性能を発揮することを示した。また深層学習と強化学習という組み合わせが有効であることを示した。パターン認識、記号処理、強化学習というのはロボットにとってなじみ深い領域なので、AlphaGoの成果はロボットにとって応用可能性が広いと思われる。

参 考 文 献

- [1] H. Remus: "Simulation of a learning machine for playing Go," Information Processing, pp.192-194, 1962.
- [2] A.L. Zobrist: "A model of visual organization for the game of Go," AFIPS Spring Joint Computer Conference, vol.34, pp.103-112, 1969.
- [3] W. Reitman and B. Wilcox: "Modelling Tactical Analysis and Problem Solving in Go," Proc. of the Tenth Annual Pittsburgh Conference on Modelling and Simulation, pp.2133-2148, 1979.
- [4] 清慎一: "日本におけるコンピュータ囲碁のはじめ", 情報処理学会

ゲーム情報学研究会, vol.29, no.9, pp.1-8, 2013.

- [5] B. Brugmann: Monte Carlo Go, Technical Report, Physics Department Syracuse University, 1993.
- [6] R. Coulom: "Computing Elo ratings of move patterns in the game of Go," ICGA Journal, vol.30, no.4, pp.198-208, 2007.
- [7] 松原仁監修, 美添一樹, 山下宏著: コンピュータ囲碁—モンテカルロ法の理論と実践—, 共立出版, 2012.
- [8] 加藤英樹: "Zen のアーキテクチャ", 人工知能学会誌, vol.27, no.5, pp.501-504, 2012.
- [9] D. Silver, A. Huang, C.J. Maddison, A. Guez, L. Sifre, G. van den Driessche, J. Schrittwieser, I. Antonoglou, V. Panneershelvam, M. Lanctot, S. Dieleman, D. Grewe, J. Nham, N. Kalchbrenner, I. Sutskever, T. Lillicrap, M. Leach, K. Kavukcuoglu, T. Graepel and D. Hassabis: "Mastering the Game of Go with Deep Neural Networks and Tree Search," Nature, vol.529, pp.484-489, 2016.
- [10] R. Sutton, A. Barto, 三上貞芳, 皆川雅章訳: 強化学習. 森北出版, 2000.
- [11] 松原仁: "速報 AlphaGo の勝利", 情報処理学会誌, vol.57, no.6, pp.502-503, 2016.
- [12] 斎藤康己: アルファ碁はなぜ人間に勝てたのか, ベストセラーズ, 2016.



松原 仁 (Hitoshi Matsubara)

1981年東京大学理学部情報科学科卒業。1986年同大学大学院工学系研究科情報工学専攻博士課程修了。工学博士。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年公立ほこだて未来大学教授。2016年公立ほこだて未来大学副理事長。人工知能、ゲーム情報学、観光情報学などに興味を持つ。著書に『コンピュータ将棋の進歩』、『鉄腕アトムは実現できるか』、『先を読む頭脳』、『観光情報学入門』など。前人工知能学会会長、情報処理学会理事、観光情報学会理事。（日本ロボット学会正会員）

編集後記

CGF ジャーナル第 10 号増刊号です。第 10 号に掲載しきれなかった人工知能学会誌、情報処理学会誌、日本ロボット学会誌に掲載された記事を転載し、まとめたものとなります。転載に許可を頂いた著者の皆様に感謝いたします。

(編集：清慎一、山下宏)

CGF ジャーナル第 10 号 増刊号

発行日 : 2021 年 04 月 17 日

発行者 : 松原仁

編集者 : 清慎一

発行所 : コンピュータ囲碁フォーラム

事務局連絡先 : 〒182-8585 調布市調布ヶ丘 1-5-1

電気通信大学 エンターテイメントと認知科学研究ステーション内

CGF 事務局

事務局担当者 : 伊藤毅志

本冊子の内容をコピーされる場合にはコンピュータ囲碁フォーラム事務局までご連絡ください。