

次の一手問題を用いた囲碁プレイヤーの 局面認識についての分析

高橋 克吉^{†1} 伊藤 毅志^{†2}
村松 正和^{†2} 松原 仁^{†1}

囲碁は完全情報ゼロ和ゲームとして多くのチェスライクゲームと同様に分類されるが、ゲームの性質は大きく違うと考えられる。本研究は、囲碁における人の思考過程について調べ、将棋との比較を行った。被験者に次の一手問題を提示し、発話プロトコルと視線の記録をもとに思考過程を分析した。上級者は盤面全体を見ており、先読みよりも石の形によって手を決めていた。囲碁の上級者は主に石の形から情報を得ていると考えられる。将棋の上級者は視線を中央からほとんど動かさず、深い先読みを行って次の手を決定しており、囲碁と将棋で上級者の思考過程に差異があった。これは、囲碁と将棋のゲームとしての性質の違いを示していると考えられる。

Analysis on Go Players' Recognition when they are Thinking Next Moves

KATSUYOSHI TAKAHASHI,^{†1} TAKESHI ITO,^{†2}
MASAKAZU MURAMATSU^{†2} and HITOSHI MATSUBARA^{†1}

The game of Go is classified according to a chess-like game, but it is thought that there are many difference as games exists. We analyze the human thought process in thinking Go problems with verbal protocol data and eye movement data. Strong players gaze at the stones on the whole board widely. This indicates that expert Go players acquire information by seeing formations of stones. In contrast to the previous cognitive research on shogi, the expert shogi players see only the center of the board vacantly. This shows the difference in the characteristics as games between Go and Shogi.

1. はじめに

広く普及している二人完全情報確定零和ゲームの中で囲碁は際立って合法手が多い。ゲーム情報学的に見ると、将棋と囲碁は探索における場合の数に大きな違いがある。将棋は平均合法手が80手程度といわれるのに対して、囲碁は、合法手は最大で361手もあり、対局が進むにつれて合法手は減っていくものの、将棋に比べてかなり多くの合法手が存在する。平均終了手数も将棋に比べてかなり長く、将棋の探索空間が10の220乗程度であるのに対して、囲碁の探索空間は10の360乗もあるといわれている。また、チェスライクゲームのように駒の損得や玉の危険度といった比較的明確な評価基準がなく、厚みや石の死活など感覚的な局面評価が必要なことから、他の二人完全情報確定零和ゲームのように、評価関数の設計とゲーム木探索を組み合わせた手法では強いコンピュータプログラムを作ることが困難であった。

近年モンテカルロ法とUCT (Upper Confidence bound for Tree search) を組み合わせた新しい手法が登場し、1つの大きなブレイクスルーとなっているが、まだ人間のトップ棋士には遠く及ばない。そもそも、囲碁と多くのチェスライクゲームには、ゲームとしての差があるのではないかと考えられる。

本研究では、囲碁における人間の思考過程を認知科学的視点からその違いについて分析を試みる。先行研究で将棋を題材とした人間の思考過程に関する認知科学的研究があるが、この知見と比較することで、囲碁の思考過程の特徴について考察していく。

2. 関連研究

ゲームを題材とする認知科学的研究は古くはチェスの分野でさかんに行われてきた。Chaseらは、チェスプレイヤーに対して駒の配置を提示し記憶させ、隣に置かれたチェス盤に記憶した配置を再現させる局面記憶実験を行った¹⁾。この実験結果から、上級者は局所的な駒の並びを駒を1つのチャンクとするだけでなく、小さなチャンクを階層的に統合させて、最終的には局面全体を1つのチャンクとして認識することができることを示した。このような上級者の認識能力は、ランダムな駒の配置に対しては働かなかったことから、チャンクはチェ

^{†1} 公立はこだて未来大学
Future University Hakodate

^{†2} 電気通信大学
University of Electro-Communications

スの経験的知識に裏付けられた能力であることを確認した。

伊藤らは、将棋を題材として、初級者からトッププロ棋士までの幅広い棋力の被験者に対して、将棋の実戦譜の途中の局面を提示し、その局面を記憶し、再現させる実験を行った²⁾。被験者にはアイカメラを装着させ、視線の動きも計測した。初級者は盤上の駒を1つずつ確認するように視線を動かしたのに対して、トッププロ棋士は盤の中央部分だけをさっと眺めるだけで局面の細部まで再現できることを示した。伊藤らはさらに、対局が進み駒の配置が複雑になった局面について同様の実験を行った。アマチュアプレイヤーの正解率は顕著に低下したのに対して、トッププロ棋士の正解率はさほど下がらなかった。トッププロ棋士は、局面を空間的な位置関係だけからとらえているのではなく、一局の将棋の流れの中でとらえられることを示し、時間的チャンクの重要性を示唆した。

伊藤らはさらに、提示した局面における次の一手を決めさせる思考過程をアイカメラと発話プロトコル分析を同時に計測する手法で調べた³⁾。将棋においてはトッププロ棋士が深い先読みを行っていることを示した。また、上級者になるほど、局面を流れでとらえる発言が増えることが示され、時間的チャンクの重要性がさらに強く示唆される結果となった。視線の動きでは、初級者が局面を広く見て局面を理解しようとするのに対して、上級者になるほど局面を見る視線の動きは狭くなり、トッププロ棋士は局面を提示して数秒後には、ポイントとなる部分を漠然と見る視線の動きになることが分かってきた。これは、初級者ほど局面を理解するために1つ1つの駒を見て理解しようとするのに対して、上級者は見た瞬間に局面を理解して、後は頭の中だけで局面を進めることができるからと考えられる。

Reitman は、囲碁を対象にして Chase らのチェスの実験に似た局面記憶の実験を行った⁴⁾。囲碁の盤面は19×19と広いため、Reitman は局面を4分の1に切って、隅の石の配置の問題のみを対象とすることにした。囲碁においても、上級者ほど正解率は上がり、チャンクが存在を支持する結果が得られたが、特定の石の配置に区切られたチャンクは見られなかった。詳細な聞き取り調査の結果、囲碁においては、1つの石が複数のチャンクに属することが多く、オーバーラップした形でチャンクが形成されている可能性について言及している。

齊藤らは、アイカメラと発話プロトコル分析を組み合わせた手法で、囲碁の対局時における思考過程の認知科学的研究を行った⁵⁾。対局中のプレイヤーはごく少ない候補手をすばやく列挙し、囲碁の専門用語を多用して、手の意図や形勢判断を行って次の一手を決定していると主張した。また、彼らは詰碁問題を短時間のみ提示する実験も行い、その視線のデータから、囲碁プレイヤーは局所的でごく小さい石の配置パターンを知識として保持していて、それを囲碁用語による抽象的な概念と結び付けることで素早い候補手の生成を可能にしている

と説明した⁶⁾。小島らは、囲碁の局面を時系列情報と静的情報に分けて提示することによって、囲碁において時間的チャンクと空間的チャンクのどちらが重要であるかを検討した⁷⁾。プロ棋士の対局棋譜を時系列順に提示し、つねに最新の一手のみ表示する条件と、最新の一手に加えてその周囲の石も表示する条件でそれぞれ再現させる実験を行った。実験の結果、周囲の石を合わせて表示する条件の成績が良かったことから、囲碁においては石の配置の情報から空間的チャンクを作ることが重要であると主張している。

プロ棋士は、持ち時間の少ない早碁でも鑑賞に値する質の高い対局を行うことができるが、将棋のように探索によって手の評価を行っているとは考えにくい。何らかの感覚的な評価基準によって、手の評価が行われているのではないかと考えられる。本研究では、伊藤らの次の一手実験を参考にして、囲碁において次の一手問題を用意して、同様の実験を行い、その結果を比較することで将棋と囲碁の認知的な思考過程の違いを明確にしていきたい。

3. 次の一手実験

3.1 実験の目的

本実験では、囲碁プレイヤーに様々な次の一手問題を提示して、どのような思考過程で次の一手を導くのかを明らかにすることを目的とする。また、この思考過程が、プレイヤーの棋力の違いによってどのように変化するのかについて調べた。本実験の実験結果をもとに、先行研究である将棋の認知研究と比較することで、囲碁というゲームの特質について考察していく。

3.2 実験方法

被験者は、初級者(アマチュア10級前後)2名、中級者(アマチュア3級前後)2名、上級者(アマチュア5段程度)5名、プロ棋士2名(二段および六段)の合計11名である。

被験者に与える問題として、プロ棋士の実戦棋譜から問題10問を用意した。問題として使用した局面は付録に示す。問題1~2, 問題3~5, 問題6~8, 問題9~10は、同じ棋譜から抜き出した問題となっている。問題の画像には、その局面における最後の一手に印を付けた。被験者はその印を見ることによって、直前の手が打たれた場所と、問題の局面が白と黒のどちらの手番であるかを判断する。

各被験者には、付録に示す順にモニタ上に問題局面を提示して、次の一手を決定するよう教示した。局面を見てから手を決定し報告するまでの間、考えていることをすべて口に出して発話するよう教示し、その発話を録音した。手を決定するまでの思考時間には制限を設けず、回答までの時間を記録した。また、課題中はNAC社製アイカメラEMR-8NLを用い

3798 次の一手問題を用いた囲碁プレイヤーの局面認識についての分析

表 1 各被験者の回答
Table 1 Answer of each subject.

	問 1	問 2	問 3	問 4	問 5	問 6	問 7	問 8	問 9	問 10
初級者 1	E13	M15	F3	F3	O6	R11	R8	D17	K17	R6
初級者 2	E14	K16	Q10	C9	M5	R11	Q9	D17	Q10	Q5
中級者 1	E13	D9	R3	L6	G6	R10	R9	D17	K17	R7
中級者 2	E13	O14	D11	M11	N16	R11	K5	D17	R10	N6
上級者 1	E7	L14	D11	F3	O9	R11	M3	D17	R10	R6
上級者 2	B14	O14	Q14	M6	M4	R11	K5	D17	Q10	R6
上級者 3	F13	N14	F3	Q14	M4	R11	M3	D17	R10	R6
上級者 4	B14	F13	D11	G8	M11	R11	M3	D17	R10	R6
上級者 5	F12	N14	K6	L8	O9	R11	M3	D17	R10	R6
プロ二段	C14	M14	D11	M6	O9	R11	M3	D17	R10	R6
プロ六段	M3	M14	D11	M6	M4	R11	M3	D17	R10	R6

表 2 各被験者の思考時間 (単位は秒)
Table 2 Answer time of each subject.

	問 1	問 2	問 3	問 4	問 5	問 6	問 7	問 8	問 9	問 10
初級者 1	77	145	90	131	87	56	97	81	39	78
初級者 2	45	22	34	38	17	25	27	11	8	16
中級者 1	32	138	140	125	102	38	74	118	64	90
中級者 2	247	413	275	165	277	222	170	26	20	205
上級者 1	76	95	104	134	46	19	22	25	49	34
上級者 2	50	48	36	62	42	14	35	12	47	14
上級者 3	109	33	32	28	93	12	32	39	8	7
上級者 4	180	237	78	119	134	24	68	8	69	11
上級者 5	198	121	72	54	71	16	34	10	28	55
プロ二段	54	32	25	36	16	27	20	29	32	18
プロ六段	15	44	24	10	22	4	9	4	5	3

て、被験者がモニタのどの部分を見ているかを記録した。

このように記録した発話データと視線データを同時に分析することで、思考過程を明らかにしていく。

3.3 被験者の回答結果

表 1 に、各被験者の回答を示す。問題 1 から問題 5 までは、被験者ごとに回答が異なるのに対して、問題 6 以降は、各被験者の回答はほぼ同じになった。これは、問題が対局序盤の布石の局面だったため、定石などの知識でそのまま回答できる問題だったことが理由として考えられる。

上級者の発話から、1 つの候補手が、別の石のグループに与える影響について考慮している様子を観察することができた。

<問題 1 に対する発話：上級者 2>

今白番ですね、んー… そうですね、地合としては… いい勝負ですか… 下の黒は結構黒地が大きいですが、それを、消したいんだけど… やっぱり左上の黒を攻めながら、黒地を消すそうですね… OK, B14

この発話では、左上の黒を攻めることと、その後の展開で下辺の黒の陣地を小さくする戦略を両立させる手を考えていることが分かる。

<問題 3 に対する発話：上級者 1>

これは一白番なんか曲げる一手あー曲げる必要もないのかやはりここまで来ると、ちょっと曲げは手が遅れそうです
えーと まあ焦点は左辺ですね 一応白は左下を厚みにかけてるので左辺の黒石を

表 3 発話に現れた候補手の数

Table 3 Width of searching of each subject.

	問 1	問 2	問 3	問 4	問 5	問 6	問 7	問 8	問 9	問 10
初級者 1	2	3	2	2	2	2	2	2	1	1
初級者 2	1	1	1	1	1	3	2	1	1	1
中級者 1	1	2	4	2	3	2	2	2	2	2
中級者 2	5	3	4	3	3	3	4	1	1	3
上級者 1	2	1	2	3	3	1	1	1	1	2
上級者 2	1	1	1	2	1	1	2	1	2	1
上級者 3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
上級者 4	3	6	2	3	4	1	2	1	2	1
上級者 5	4	3	2	1	2	1	4	1	2	2
プロ二段	1	2	1	2	2	1	2	1	2	1
プロ六段	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1

攻めたいですね どう攻めるのが良いかな、ぴったりした手がこれは攻めるべきかな、一子 えーとまあこの石を攻めると、左上の黒の眼もまあ最悪 18 の B にマゲると生きてますけど おそらくスベって捨て、まあこの黒石を捨てると結構でかいんで、トンで逃げると乱戦ですね 左辺、これは D11

この発話の後半において、D11 の一手がその下側の石を攻める手となっている一方で、上側の石にもどう影響するかについて思考していることが分かる。

表 2 に、各問題が提示されてから手を決定するまでにかけた思考時間の一覧を示す。中級者 2 がほとんどの問題において、他の被験者よりも長考していた。

次に、発話に現れた候補手の数および、先読みの手数について調べた。表 3 に、各問題

表 4 候補手に現れた先読みの最大深さ
Table 4 Depth of searching of each subject.

	問 1	問 2	問 3	問 4	問 5	問 6	問 7	問 8	問 9	問 10
初級者 1	1	2	1	1	3	1	1	1	1	1
初級者 2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
中級者 1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1
中級者 2	3	7	4	3	3	2	2	1	1	3
上級者 1	1	1	2	7	2	1	1	1	1	1
上級者 2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
上級者 3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
上級者 4	1	3	1	1	1	1	3	1	1	1
上級者 5	2	2	1	3	2	1	1	1	1	1
プロ二段	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
プロ六段	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

について発話に現れた候補手の一覧を、表 4 に発話に現れた先読みの最大深さを示す。

表 3 と表 4 から、中級者 2 が長考していたのは、他の被験者よりも広く、深く読もうと試みていたためであると考えられる。全体的に見ると、中級者 2 以外の被験者は、多くの問題に対して長くても 3 手程度しか先読みを行っていないことが分かった。その中で、上級者 1 の問題 4 は突出して深く読んでいる。発話内容を見ると、局所戦に関する先読みであることが分かった。局所的に一直線で読める部分以外については、次の一手の決定においてほとんど先読みを行っていないことが示される結果となった。

3.4 先読みについての発話データ

被験者の発話データから、思考過程の特徴について分析を進める。前節で示したとおり、発話データには長手数先読みが現れることが少ない。その中で、長手数先読みが現れた例は特徴的な性質を示していると考えられる。そこで、以下に長手数先読みが現れた上級者の発話ログを示す。

<問題 4 に対する発話：上級者 1>

白番ですね … これ … 一見 M11 に追った方がよさそうにも見えますけど … ああ M11 に追う方がいいのかな … ここカギマカリされるとちょっとうるさい … ただ左下もそろそろ心配になってきましたんで … 個人的には M6 にトビたいですが … ただ中央の飛んでる石をノゾキたくはないですね … 封鎖されるとやっぱ、L6 から打たれて封鎖されると困るので何とかしたいですね、先手を取る方法はあるのかな？

4F からデてツギを打たせて … んー難解な … デて … 3F デて、2F 黒打って … ここで、白が 2G キった時に 2H に取るとそれは手を抜かれて一気にトばれて黒がつらいので … ツグ、下アテ、アタリにしてハネる … えーと 3F

発話の前半部は、問題 4 の中央部分についての言及である。この部分については、1 手先の局面についてのみ状況の評価を行っている。一方、後半部分は左下部分において白が F3 と出た場合の展開についての発言である。この部分では、最大 7 手先までの局面について言及している。F3 に対しては互いに手抜きにくい局所的な手が続く局面であり、ある程度直線的に先読みを行うことができる。ここで、先読みの分岐はバックトラックによる 1 回のみであり、直線的な先読みが行われている。

同じ形に対する先読みについて、初級者の発話を以下に示す。

<問題 3 に対する発話：初級者 2>

ほー 今度は白の番か んー … なるほど なるほど 他だいたい あー … んんー 左がやたらあれだな ま そこだから … そこを 行く 止める えーと … あどっちが好きかって話かな 右 右 … 上にしても意味なくなるからな

えー下打つと どうなる … そうなると後がわからないな

辺に出られるのはいやだ けど 殺せばそんなに … えー … ふん ふん なんかにこっちがいいな 下 えー F3 で …

問題 3 と問題 4 では、左下 F3 付近の形はほぼ同じである。その部分に関して、一手先の時点で「そうなると後が分からない」と、先読みを試みるがうまくいかないことを示している。それにもかかわらず、回答として選んだ手は F3 であり、ほとんど先読みができないまま手を選んでいることが分かった。

一方、プロになると先読みの発話が見れなくなる。

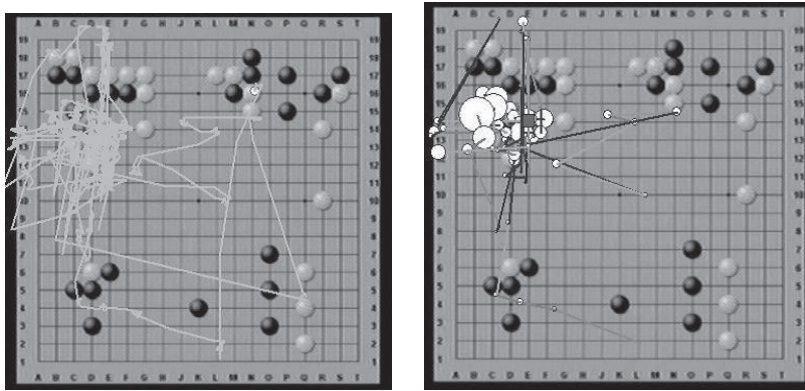
<問題 5 に対する発話：プロ六段>

今度これですか、んー、まあ中央に逃げるか、下辺の地を稼ぐかですけど、まあちと断点が気になるので僕なら M4 にうけるかな

この発話中で、「断点が気になるので」という部分が F3 についての言及である。しかし、この部分について先読みの発話は現れなかった。

3.5 視線データ

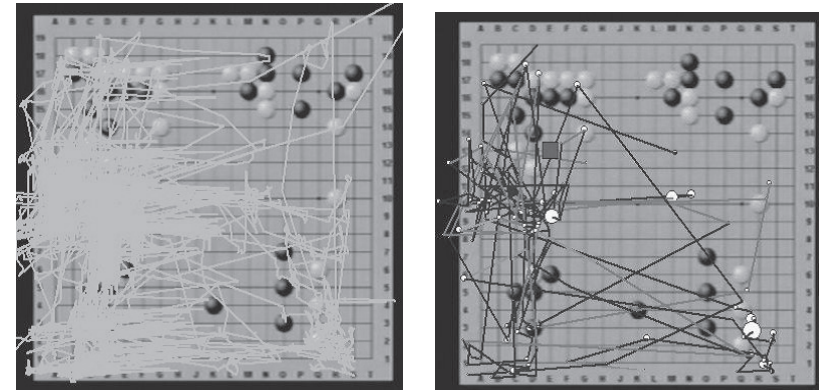
視線データについては、問題 2 は問題 1 の続きであり、同様に問題 4 および 5 は問題 3



初級者 2 (記録時間 45 秒)

図 1 問題 1 に対する初級者の視線

Fig. 1 Eye tracking data of novice player for problem number 1.



中級者 2 (記録時間 247 秒)

図 2 問題 1 に対する中級者の視線

Fig. 2 Eye tracking data of intermediate player for problem number 1.

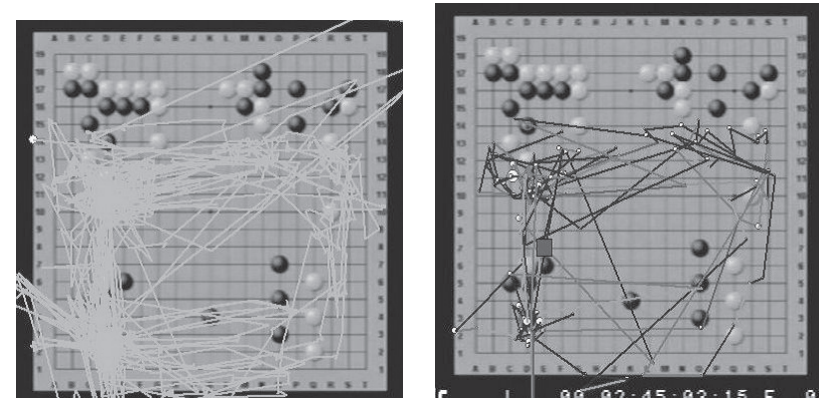
の続きにあたるため、前の問題に回答した際に、すでに視覚的な情報を手に入れている可能性がある。また、問題 6～10 は序盤の布石や定石にかかわる簡単すぎる問題であったため、上級者の回答が早く、比較に適さない。したがって、初めて提示される局面で、かつ適度な難しさを持つ問題 1 と問題 3 に焦点を当てることにする。

視線データは、視線軌跡の記録と停留点の 2 種類がある。停留点は、その点に 100 ms 以上視線がとどまった部分を円で示したものであり、をつなぐ線は現れた停留点を順に結んだものである。円が大きいほど、その点での停留時間が長いことを示す。また、停留点の画像中にある印は、その被験者が最終的に回答した着手の位置を示している。

図 1、図 2、図 3、図 4 に、問題 1 の思考中に記録された視線の軌跡および停留点を棋力別に示す。左側の図が回答時間を通した視線の軌跡であり、右側の図は同様の時間内における停留点を示している。

初級者 2 における視線の軌跡は、直前に打たれた左上の手 (D14) 周辺を集中的に見ており、他の部分にはわずかに視線が移動している程度であることが分かった。停留点も同様に、直前に打たれた手の付近に密集している。停留点は左上の密集した部分で大きな円が複数観察され、長い時間視線が停留していることが分かった。また、回答 (E13) も停留点の集中している位置と重なった。

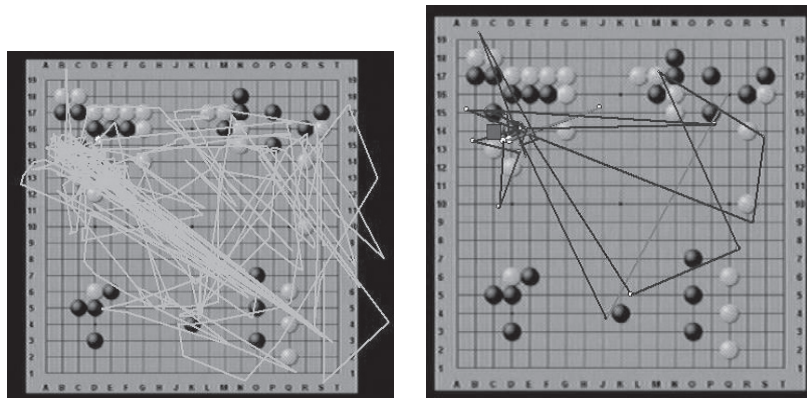
中級者 2 の視線は、左側の半分程度を覆うように記録されている。また、右下の白石周辺



上級者 1 (記録時間 76 秒)

図 3 問題 1 に対する上級者の視線

Fig. 3 Eye tracking data of master player for problem number 1.



プロ二段 (記録時間 54 秒)

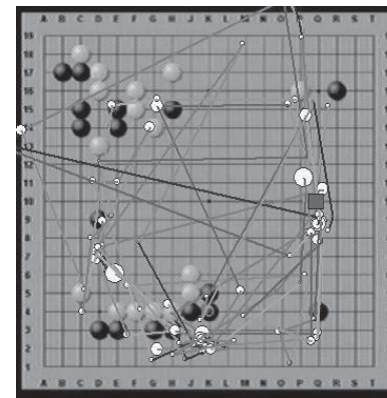
図 4 問題 1 に対するプロ棋士の視線

Fig. 4 Eye tracking data of professional player for problem number 1.

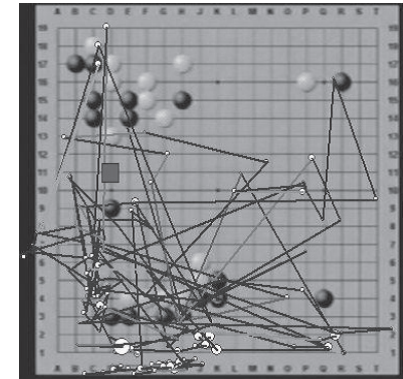
にも視線の記録がある．右上はわずかに視線が通過した程度であった．停留点は，D14 および回答 (E13) よりもやや下側に小さな停留点が密集している．右下にやや大きな停留点が観察されたほか，左右を往復するように停留点が移動している．また，円の大きさは初級者よりも小さく，停留時間が短くなっているが，左辺や右下など数カ所に少し大きめの円が見られた．

上級者 1 の視線は，中央を囲むようにして，四角い軌跡が記録された．左下および左辺の中央よりやや上の部分に多くの視線が記録されている．上辺の石には視線がそれほど向かっていない．停留点も視線と同様の四角い形をしている．停留点の分布は初級者や中級者と比較して均等になっているが，左下と左辺 (D11 ~ D12) にやや停留点の集まっている部分がある．回答の E7 はその 2 カ所の間にある．円の大きさは，中級者と同じ程度であるが，大きめの円は見られなくなっている．

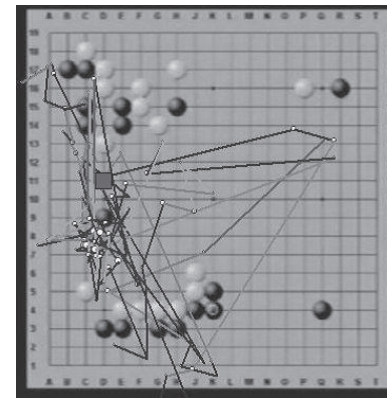
プロ二段の視線は，左上から右下にかけて斜めに動く軌跡が目立つ．そのほかに，右辺と上辺に沿った視線の移動が観察でき，三角形の視線が観察された．左下にはほとんど視線が向いていなかった．停留点は回答の手 (C14) 付近に集まっており，他の部分には停留点がごく少ないことが分かった．停留時間を示す円はほとんど見えず，ごく短い時間の停留であることが分かった．



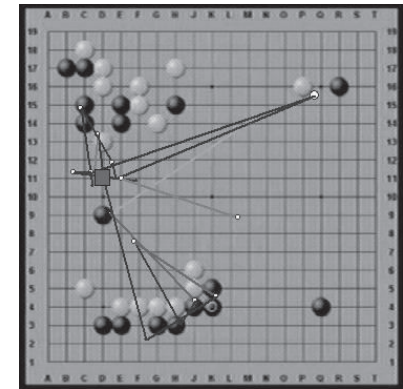
初級者 2 (記録時間 34 秒)



中級者 2 (記録時間 275 秒)



上級者 1 (記録時間 104 秒)



プロ二段 (記録時間 25 秒)

図 5 問題 3 に対する視線記録の比較

Fig. 5 Eye tracking data for the strength of Go on problem number 3.

問題 1 の結果から，視線の軌跡と停留点の移動はほぼ同じ形になることが分かった．視線の集中している場所を見るためには，盤面を覆い隠してしまう視線の軌跡よりも停留点のほうが都合が良いので，問題 3 では停留点を観察する．図 5 に，問題 3 の思考中に記録された停留点を棋力別に示す．

初級者 2 の停留点は，直前の相手の手 (L7)，右辺中央 (Q10)，右下の白石の上 (D7)

の周辺に集まっている。そのほかに、集中はしていないが、左上の石などにも停留点が分布していた。この問題に対する回答は Q10 であり、視線が停留した場所のうちの 1 カ所であった。停留時間は問題 1 と比較して短くなっていた。

中級者 2 の停留点は、主に左下の部分に集まっており、特に辺に沿うような形で密集している。左下以外の部分に対する停留は少ない。回答の D11 の部分には停留点がなく、その周囲を囲むように停留点が存在している。停留時間は問題 1 のときと同程度であることが観察できた。

上級者 1 の停留点は上辺の黒一子 (D9) のすぐ下に密集している。また、左上の石のグループにも停留点がある。上級者 1 の回答は D11 であり、下辺の白石を利用して D9 の黒石を攻める意図と、その手を打つことによる左上への影響が発話に記録されている。この停留点の分布は発話に合致する自然なものであるといえる。

プロ二段の停留点は、回答である D11 に集まっている。ほかには下辺および左上の石のグループにいくつかの停留点がある。プロ二段の発話も上級者 1 と同様に、下辺の白石を利用した黒一子への攻めと、それによる左上への影響についてのものである。停留点の数は上級者よりも少なく、停留時間も短かった。

3.6 結果のまとめ

データから得られた結果をまとめると以下のとおりである。

- ほとんどの局面において、棋力に関係なく、発話に現れる候補手の数は少なかった。ただし、上級者の発話から、必要な場面では深く直線的な先読みをしている様子が観察できた。初級者は同じ候補手について、先読みができないままその手を選択した。プロの発話からは、先読みの様子が現れなかった。
- 上級者の発話に、1 つの手に複数の効果を持たせることを狙う発話が現れた。これは初級者の発話からは見られなかった。
- 初級者の視線は、相手の直前の手の付近に集中するか、石のない広い場所に停留していた。停留時間を表す円も大きく、長い時間の停留が見られた。棋力が上がるにつれて、停留点が石のグループの上に現れるようになり、また局面全体を見るような視線の移動が見られるようになった。停留時間は棋力が上がるにつれて短くなった。

4. 考 察

4.1 結果からの考察

実験の結果、中級者のうち 1 人が広く深い探索によって候補手を決めようとした。中級者

は初級者に比べて囲碁に関する知識をより多く持っていると考えられる。初級者に比べて候補手の数が多いのは、持っている知識を利用して候補手を選んだことによるものであると考えられる。また、発話に現れたように、初級者は先読みをすることがほとんどできないのに対して、中級者になるとある程度の先読みが可能になる。このため、候補手の評価を行うためにある程度の先読みを行うようになり、その結果として先読みの量が増え、思考時間も長くなると考えることができる。

上級者になると候補手の数は少なく、先読みの量も少なくなった。発話データに示したように、必要なときには深く直線的な先読みができることを考慮すると、先読みをせずに候補手を評価する際には別の点に着目している可能性が高い。視線データにおいて、石のグループに視線が向いていることから、上級者は石の形を見ることによって局面の評価を行っていると考えられる。

上級者が石の形に着目して局面の評価を行っているという点は、斉藤と吉川による先行研究との関連を見ることが出来る。斉藤と吉川の研究では、局地的な形の認識について、上級者は小さなサイズのパターンとして石の形を知識化しており、そのパターンを階層的なつながりや言語と組み合わせられたハイブリッドな情報として多数持っているとした⁶⁾。上級者がこのような情報を効果的に利用するためには、視覚情報を積極的に利用して、盤面上の石の形を見ることにより、局面についての情報を得ることが必要になる。このため、上級者ほど石の形に目が行くようになると考えられる。上級者の、1 つの手に複数の目的を持たせるような発話もこのことに関連すると考えられる。

局面認識において、局所的なグループの多様なつながりとしてとらえることが重要であるとすると、次の手を選択することは、グループの形とそのつながり方をどのように変化させるかを選択することに相当するととらえることができる。上級者が手を選択するために必ずしも深い先読みを必要としないのは、石の形に関する知識を駆使して、石の形およびグループどうしのつながり方を変化させる、いわば「形で打つ」ことを重視する局面が対局中に多く現れることによるものであると考えられる。

4.2 囲碁と将棋の違いについて

囲碁では次の一手を決定する際に先読みをほとんど行わなかったのに対して、将棋では棋力が上がるほど、深く直線的に多くの手を読むようになったという違いが現れた。また、囲碁においては初級者が局面認識時に局地的な場所を見るのに対して、上級者は盤面全体を見るという結果も、将棋の次の一手実験とは反対の結果となった。

将棋においては、初級者は駒を 1 つ 1 つ確認するようにして盤面全体を見ていくのに対

して、強いプレイヤーは盤面の中心付近をなんとなく見るだけであった。伊藤らは、将棋の上級者は現在の局面について駒の配置を細かく見ていくのではなく、上級者が持っている記憶や経験を現在見ている局面と照合して、どのような流れでその局面に至ったのかを認識するために、局面認識時には中央のみを見ればよく、強いプレイヤーほど対局の流れを情報化した時間的なチャンクを利用できるとした。また、この時間的なチャンクを利用できることが、上級者の直線的で深い先読みを可能にする要因であると考えた。

これに対して囲碁は、前節で述べたように現在の局面がどのような形であるかが最も重要であり、そのため上級者ほど形の評価に重点を置き、深い先読みを行わないのではないかと考えられる。

囲碁と将棋の上級者がそれぞれどのような思考を行っているかを比較することによって、囲碁と将棋のゲームとしての性質の違いについて一定の推察を行うことができる。将棋を「流れ」の良し悪しを競うゲームであると見ると、囲碁は「形」の良し悪しを競うゲームであると見ることができる。

5. おわりに

本研究では、次の一手実験によって、囲碁の対局者が局面を認識し、手を選択するまでの思考過程について知見を得ることができた。特に、上級者の思考過程については、将棋における実験との違いが明確となり、ゲームとしての性質の違いについて考察することができた。囲碁の上級者が局面を石の形とそのつながりとしてとらえ、次の一手を「形で打つ」ものとして考えることは、囲碁というゲームの特徴をよくあらわしているものであるといえる。本研究で行った実験では、アイカメラや発話プロトコルなどのデータを得ることができたものの、数値データについては定量的な結果を述べるために十分な人数を揃えたとはいえず、被験者数を増やして、より確実な定量的分析を行っていきたい。また、形で打つ場面ばかりではなく、先読みが必要な局面も対局中には現れる。初級者はほとんど先読みをすることができなかったが、上級者の先読みについては今回の実験手法では確認することは難しかった。今後は出題する問題を工夫するなどして、囲碁における先読みに焦点を当てた実験も行っていきたい。本研究ではプロ棋士の協力を得ることができたが、形で打つという点に関して上級者とプロの間で大きな差を見ることはできなかった。

これは、今回提示した問題が上級者とプロの棋力の差を明確に弁別しうるような難易度の問題ではなかったという理由が考えられる。また、形に基づいた思考と先読みに基づいた思考の関連についてもより深い考察が必要であると考えている。将棋と違い、囲碁では、答え

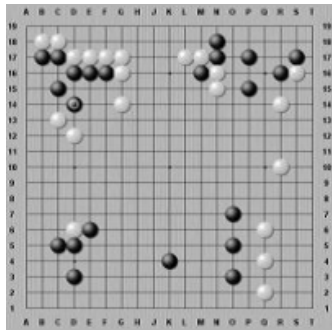
が必ずしも一意に決まらない局面も多く、本研究でも問題の策定にかなり苦慮した。次回は本研究の知見を活かして、可能であればプロ棋士の協力を得てより棋力差が現れやすい問題を策定し、実験を試みたい。

参 考 文 献

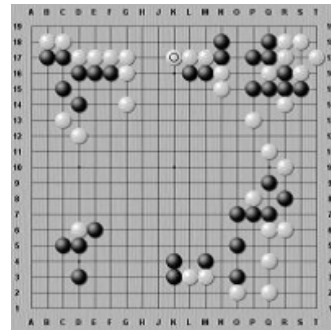
- 1) Chase, W.G. and Simon, H.A.: Perception in Chess, *Cognitive Psychology*, Vol.4, pp.55-81 (1973).
- 2) 伊藤毅志, 松原 仁, ライエル・グリーンベルゲン: 将棋の認知科学的研究(1) — 記憶実験からの考察, 情報処理学会論文誌, Vol.43, No.10, pp.2998-3011 (2002).
- 3) 伊藤毅志, 松原 仁, ライエル・グリーンベルゲン: 将棋の認知科学的研究(2) — 次の一手実験からの考察, 情報処理学会論文誌, Vol.45, No.5, pp.1481-1492 (2004).
- 4) Reitman, J.S.: Skilled Preception in Go: Deducing memory structures from inter-response times, *Cognitive Psychology*, Vol.8, pp.336-356 (1976).
- 5) 齊藤康己, 吉川 厚: 囲碁に関する認知的研究, ゲームプログラミングワークショップ'95, pp.44-55 (1995).
- 6) 吉川 厚, 齊藤康己: 先読みをしないと詰碁は解けない?, ゲームプログラミングワークショップ'96, pp.76-83 (1996).
- 7) 小島琢也, 吉川 厚: 囲碁における空間的チャンクと時間的チャンク, 技術報告 GI-002, 情報処理学会ゲーム情報学研究会 (2000).

付 録

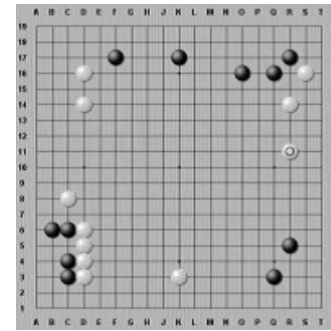
本実験で提示した 10 問の局面を示す。盤面は数字とアルファベットによる座標が示されている。縦の座標は下から上へ向かって 1 から 19 まで、横の座標は左から右へ向かって A から T までの組合せで座標を示している。ただし I (アイ) は 1 との混同を避けるために省かれており, (...F, G, H, J, K...) となっている。



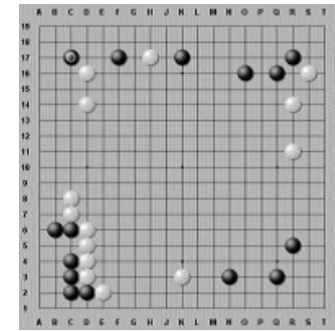
問題 1



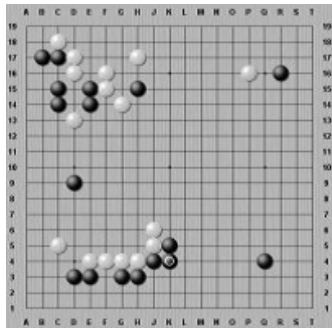
問題 2



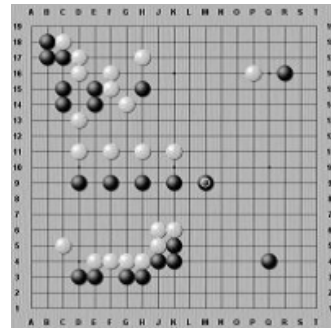
問題 7



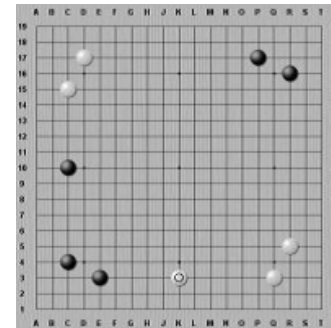
問題 8



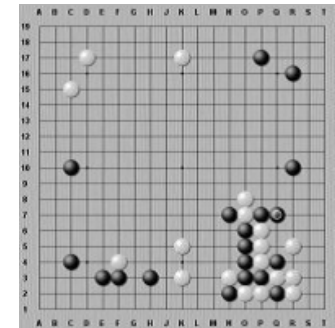
問題 3



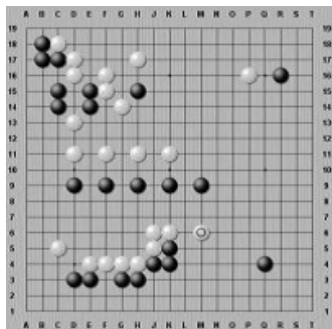
問題 4



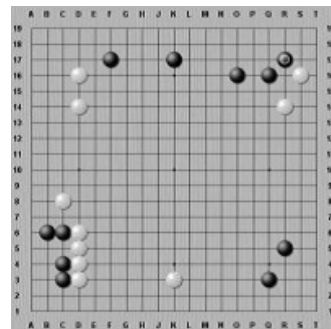
問題 9



問題 10



問題 5



問題 6

(平成 23 年 6 月 27 日受付)

(平成 23 年 9 月 12 日採録)



高橋 克吉 (学生会員)

2004 年横浜国立大学工学部電子情報工学科卒業。現在、公立はこだて未来大学大学院情報システム科学研究科知能情報領域博士後期課程在籍。ゲーム情報学，認知科学に興味を持つ。



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、電気通信大学情報工学科助手。2007年より、同助教。2010年より、電気通信大学情報理工学研究科助教。人間の思考過程、学習過程に関する研究に従事。現在は特に思考ゲーム等を題材にした認知科学的研究に興味を持つ。著書に『先を読む頭脳』(新潮社、共著)ほか。日本認知科学会、人工知能学会等会員。コンピュータ将棋協会、コンピュータ囲碁フォーラム各理事。



村松 正和 (正会員)

1989年東京大学工学部計数工学科卒業、1991年同大学大学院工学系研究科情報工学専攻修士課程修了、1994年総合研究大学院大学数物科学研究科統計科学専攻修了。その後上智大学助手を経て、2000年電気通信大学講師、2008年教授。専門は最適化。ゲーム情報学、コンピュータ囲碁にも興味を持つ。



松原 仁 (正会員)

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。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。ゲーム情報学、エンタテインメントコンピューティング等に興味を持つ。NPO観光情報学会会長。著書に『将棋とコンピュータ』、『鉄腕アトムは実現できるか』、『先を読む頭脳』(共著)等。