

将棋の認知科学的研究(2)——次の一手実験からの考察

伊藤 毅 志^{†1} 松原 仁^{†2,†4} ライエル グリンベルゲン^{†3}

人間の問題解決の認知過程については数多くの研究が行われてきた。ゲームやゲーム理論は昔から人間の問題解決行動の研究において重要な役割を果たしてきた。なかでもチェスを題材にした認知科学的研究では、エキスパートのプレーヤーは、記憶課題において非常に卓越した認識能力を示した。Simon と Chase は、このエキスパートの優れた記憶能力をチャンクという概念を用いて説明した。本論文では、将棋を題材に次の一手問題を様々な棋力の被験者に提示して、指し手を決定するまでの思考過程を発話プロトコルとアイカメラデータとして記録する実験を行った。その結果、将棋の上級者以上のプレーヤーでは、単に局面に対する駒の配置に関する知識が形成されるだけでなく、局面をその前後関係からとらえられる知識が獲得されることが分かってきた。また、従来の研究から、チェスの上級者では、必ずしも強くなるにつれて量において多く先読みをしないことが知られていたが、将棋では上級者になるにつれ、深く大量に先読みすることが分かった。これらの結果は、従来のチェスの研究で見られたような「空間的チャンク」だけでなく、時間的な前後関係を含んだ「時間的チャンク」の存在の可能性を示唆している。

A Cognitive Science Approach to Shogi Playing Processes (2) ——Some Results on Next Move Test Experiments

TAKESHI ITO,^{†1} HITOSHI MATSUBARA^{†2,†4} and REIJER GRIMBERGEN^{†3}

In the past, there have been numerous studies into the cognitive processes involved in human problem solving. From the start, games and game theory have played an important role in the study of human problem solving behavior. In chess, several cognitive experiments have been performed and those experiments have shown that expert chess players can memorize positions very quickly and accurately. Simon and Chase introduced the theory of chunking to explain why expert chess players perform so well in memory tasks. Chunking is the process of dividing a chess position into smaller parts that have meaning. In this paper we performed experiments on some next move problems of Shogi with verbal protocol data and eye movement data. Our experiments have shown that expert Shogi players can not only memorize the pattern of the positions but also recognize move sequences before and after the position. Chess research showed expert chess players did search as wide and deep as non-expert players, but our experiments show that expert Shogi players search wider and deeper than non-expert players. The result suggests that other than the perceptual spatial chunks introduced in chess research, there are also chunks of meaningful move sequences. We call these chunks “temporal chunk”. Our research suggests that Shogi players become stronger by acquiring these temporal chunks.

1. はじめに

ゲームを題材にした熟達化の研究は、認知科学の研

究分野で数多く行われてきた。なかでも de Groot によるチェスの研究は有名である。彼はチェスを題材にして、エキスパートの記憶に関する研究を行った。その研究の中で、エキスパートのプレーヤーは盤面を非常に短い時間(5秒の制限時間)見ただけで、正確に駒の配置を記憶して再現できることを示した。また、経験的発見として、チェスのトップクラスのエキスパート(グランドマスタ)は、それより弱いエキスパートのプレーヤーより、数においても深さにおいても、必ずしも多く先読みをしないということも示した¹⁾。

この研究を継いだ Simon らは、チャンクという概念を用いて、エキスパートの認知能力の説明を行った。

†1 電気通信大学情報工学科

Department of Computer Science, University of Electro-Communications

†2 はこだて未来大学システム情報科学部

Department of Media Architecture, Future University-Hakodate

†3 山形大学情報科学科

Department of Informatics, Yamagata University

†4 さきがけ 21

PRESTO

彼らが示した重要な考えは、チェスにおける専門知識というものは、チェス盤上の典型的な駒の空間的配置パターンを1つのかたまりとして保持するということであった²⁾。彼らはこれをチャンクと呼んで、熟達するにつれて、保持しうるチャンクの大きさも量も増えたと考えた。ここで彼らが想定するチャンクの内容は、駒の位置的な配置を知覚的、空間的なまとまりとしてとらえたものである。

我々も、将棋を題材にチェスで行われてきた記憶に関する追実験を行って、このチャンクの内容を確認してきた。我々は、このチャンクを「空間的チャンク」と呼ぶことにする^{3),4)}。実験の結果を詳細に調べると、中級者(アマチュア有段者)の記憶能力と上級者(トッププロ棋士)の記憶能力の間に、差異が観察された。中級者は、序盤の定跡的な局面では、上級者と変わらない程度の記憶能力を発揮するが、中盤から終盤の局面では大幅に記憶力が落ちた。それに対して、上級者は、あまり記憶力が落ちなかった。局面を静止画のように空間的なチャンクとして記憶しているのであれば、序盤のようなよく現れる局面を記憶していることは理解できるが、中盤以降のその将棋固有の局面まで容易に記憶できるというのは、「空間的チャンク」の概念だけでは説明が難しい。

我々は、上級者以上の被験者がある局面を認識するとき、しばしばその局面に至るまでの過程やその後の局面の展開などに言及する現象に着目した。すなわち、局面を理解するのに、その局面だけを静止画のように認識しているのではなく、その局面を一局の将棋の流れの中でとらえているのではないかと考えた。

本研究では、チェスなどの過去の関連研究では行われなかった「次の一手課題」を行って、局面の記憶過程だけでなく、認知的思考過程を調べた。具体的には、レベルの違う被験者に対して、同じ問題を提示して、アイカメラによる視線の動きと発話プロトコルデータを同時にとることで、どのように思考過程に違いが見られるのかを詳細に調べ、認知的な違いを考察した。

2. 次の一手実験

2.1 目的

伊藤は、将棋における人間の指し手の決定過程は、「局面の認識」「候補手の生成」「先読み」「評価」「決定」の過程からなることを示した⁵⁾。この過程は対局者スクリプトと呼ばれ、将棋をプレーする人は、習い始めの初級者の段階から、この対局者スクリプトを獲得して、このスクリプトに沿って思考を進めていくことが分かっている。

本実験では、将棋のある局面における指し手の決定過程を一種の問題解決過程としてとらえることにした。その中で、特に「局面の認識」から「候補手の生成」過程において、棋力の違う被験者(初級者からトッププロ棋士)がどのように局面を見ているのかを調べることにした。そして、トッププロ棋士が有している卓越した認識能力について考察していく。

2.2 方法

実験では、次の一手問題を提示して、被験者が思考している過程を発話とアイカメラ(ナック社のアイマークレコーダ EMR-8)の両面から調べていく。しかし、ここで使用する問題には注意を払った。将棋の専門書などでよく見かける次の一手問題は、妙手発見的なものが多く、実戦の局面では現れ難い創作的な問題になっている場合が多い。そこで、我々はアマチュアの高段者に「実戦に現れそうな局面であること」「有望な候補手が複数存在するような局面であること」の2つの条件を出して様々なオリジナルの問題を作成するように依頼した。その結果、付録のような問題が得られた。

これらの問題をアマチュア初級者(アマチュア5級以下)2名、中級者(アマチュア初段前後)3名、上級者(アマチュア四段以上)2名、トッププロ棋士(プロ八段以上)3名の合計10名の被験者に提示して、自分なら次の指し手をどうするのかを自由に思考させ、指し手を決定するまでの思考過程を発話させ記録した。発話させる際には、事後報告にならないように、現在考えていることをそのまま発話すること、実験者が聞き手にならないように注意することなど、認知科学的な発話プロトコルデータをとる環境を整えて、発話行動が別の思考過程に影響を与えないように注意した。また、思考の際に観察される視線の動きも同時にアイカメラで記録した。問題解決における思考時間には制限時間は設けず、被験者には最終的に指し手が決まるまで無制限に考えてよい旨指示した。問題は付録にある問題番号順に提示し、アイカメラを装着したままで実験を行った。被験者にとっては長時間にわたる実験になる可能性があるため、各問題の前で、自由に休憩を申し出ることを許したが、中級者の1名と上級者の1名が小休止をとった以外は、休憩をとることはなく全問題を連続して回答した。

分析では、まず、本実験で得られた思考時間、読み手の数や広さ深さなどの基礎的な数値的データを示す。そして、発話データ単独の分析から、各棋力の思考過程を調べた結果を示す。さらに、局面認識を行っている際の各棋力の思考過程をアイカメラのデータと発話

表 1 各被験者の回答

Table 1 Answer of each subject.

| | 問題1 | 問題2 | 問題3 | 問題4 | 問題5 | 問題6 | 問題7 | 問題8 | 問題9 | 問題10 |
|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|
| P1 | 2五飛 | 4五歩 | 3七桂 | 4六銀 | 2二歩 | 2四飛 | 9四歩 | 7八玉 | 8六角 | 4八銀直 |
| P2 | 7七歩 | 4五歩 | 3七桂 | 6八金 | 2二歩 | 2四飛 | 9四歩 | 6六金 | 8六角 | 4八銀直 |
| P3 | 9五歩 | 5五歩 | 4五歩 | 4六歩 | 2二歩 | 8三角 | 9四歩 | 6七金 | 8六角 | 4八銀直 |
| E1 | 4七金 | 4五歩 | 9六歩 | 6八金 | 4五歩 | 2四飛 | 9四歩 | 6七金 | 8六角 | 4八銀直 |
| E2 | 9五歩 | 4五歩 | 8六角 | 4六銀 | 4五歩 | 2四飛 | 9四歩 | 3八金 | 8六角 | 4八銀直 |
| M1 | 2六飛 | 4五歩 | 4五歩 | 3五歩 | 4一飛 | 3六飛 | 9七歩 | 4八金 | 3三飛成 | 4八銀直 |
| M2 | 4五歩 | 4三歩 | 4五歩 | 3七銀 | 2二歩 | 3六飛 | 4六銀 | 4八金 | 9五同歩 | 4八銀直 |
| M3 | 9五歩 | 4五歩 | 9六歩 | 4六歩 | 2八飛 | 3八金 | 9七歩 | 3八金 | 5三角成 | 4八銀直 |
| N1 | 4五歩 | 4五歩 | 4五歩 | 6八金 | 2二歩 | 3六飛 | 9四歩 | 7八金 | 9五同歩 | 4八銀直 |
| N2 | 4五歩 | 4五歩 | 3七桂 | 3七銀 | 4五歩 | 2四歩 | 9九歩 | 1六歩 | 2四歩 | 2二金 |

表 2 各被験者の回答時間

Table 2 Answer time of each subject.

| | 問題1 | 問題2 | 問題3 | 問題4 | 問題5 | 問題6 | 問題7 | 問題8 | 問題9 | 問題10 |
|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| P1 | 345 | 336 | 269 | 134 | 229 | 410 | 170 | 296 | 146 | 196 |
| P2 | 63 | 102 | 188 | 41 | 78 | 95 | 135 | 91 | 184 | 272 |
| P3 | 39 | 30 | 36 | 50 | 60 | 214 | 20 | 35 | 77 | 97 |
| E1 | 191 | 143 | 189 | 77 | 112 | 256 | 68 | 142 | 139 | 265 |
| E2 | 135 | 210 | 275 | 128 | 220 | 113 | 113 | 220 | 167 | 237 |
| M1 | 254 | 133 | 377 | 104 | 192 | 147 | 210 | 149 | 207 | 544 |
| M2 | 367 | 379 | 281 | 56 | 322 | 207 | 365 | 186 | 115 | 155 |
| M3 | 672 | 143 | 502 | 72 | 332 | 825 | 100 | 255 | 56 | 330 |
| N1 | 574 | 121 | 127 | 56 | 124 | 115 | 151 | 112 | 154 | 141 |
| N2 | 157 | 157 | 124 | 92 | 98 | 69 | 122 | 131 | 89 | 168 |

※単位は秒

データを同期させたものを示し考察していく。

2.3 結果 1: 数値的データ

ここでは、本実験で得られた数値的なデータを示す。表 1 は、全被験者の付録の問題に対する全回答である。N1, N2 は初級者の 2 名, M1~M3 は中級者の 3 名, E1, E2 は上級者の 2 名, P1~P3 はプロ棋士の 3 名をそれぞれ表している。これを見ると、問題 1 や問題 4 のように必ずしもプロ棋士でも回答が一意に定まらないような問題となっていて、容易に次の一手が決まるような問題ではなかったことが分かる。

全被験者の各問題に対する回答時間を表にしたものが、表 2 である。回答時間とは、問題が提示されて、最終的な指手を決定するまでの時間のことである。この表を見ると、被験者によって、回答時間にかなり個人差が見られた。

図 1 は、表 2 から各問題について各被験者の平均回答時間を求めグラフにしたものである。表 2 のような個人差を棋力で平均化して、問題による回答時間の差を調べた。問題 4 は、定跡形の序盤の問題で指し手の候補は多いが、どう指してもこれからの将棋であるので、回答時間が短くなっているものと思われる。また、

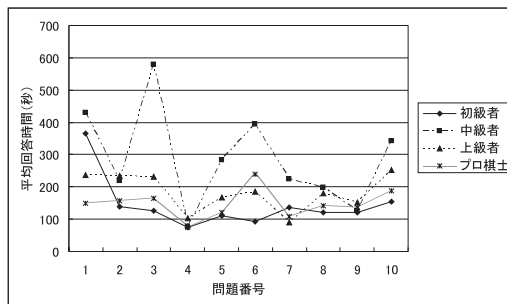


図 1 各問題に対する平均回答時間

Fig. 1 Average answer time for each problem.

問題 7 も、角換わり棒銀の定跡形からの変化で、表 1 を見ると上級者以上の見解は一致していて、9 四歩と指するのが最も有望とされている局面であり、それを知っているプロ棋士と上級者の回答時間が短くなったものと思われる。

個人差、問題差はあるものの中級者が最も長く思考しているように思われたので、被験者ごとの全問題に対する平均回答時間も図にしてみた。それが図 2 である。これを見ると、中級者が次の一手を決定するまでに最も長く思考していることが見てとれる。

表 3 各被験者の読みの広さと深さ
Table 3 Width and depth of searching for each subject.

| | | 問題1 | 問題2 | 問題3 | 問題4 | 問題5 | 問題6 | 問題7 | 問題8 | 問題9 | 問題10 |
|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| P1 | 深さ | 10 | 14 | 15 | 25 | 12 | 15 | 16 | 17 | 12 | 20 |
| | 広さ | 3 | 2 | 3 | 3 | 2 | 2 | 3 | 4 | 2 | 1 |
| P2 | 深さ | 4 | 7 | 7 | 4 | 6 | 12 | 5 | 7 | 6 | 8 |
| | 広さ | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 |
| P3 | 深さ | 3 | 2 | 3 | 1 | 1 | 21 | 1 | 1 | 8 | 8 |
| | 広さ | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 |
| E1 | 深さ | 7 | 8 | 8 | 3 | 5 | 14 | 5 | 5 | 8 | 9 |
| | 広さ | 3 | 1 | 5 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 3 |
| E2 | 深さ | 9 | 12 | 11 | 9 | 13 | 9 | 5 | 4 | 11 | 10 |
| | 広さ | 5 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 3 | 1 |
| M1 | 深さ | 7 | 7 | 5 | 6 | 7 | 3 | 9 | 7 | 9 | 9 |
| | 広さ | 4 | 3 | 1 | 2 | 1 | 2 | 3 | 3 | 4 | 2 |
| M2 | 深さ | 9 | 3 | 6 | 1 | 5 | 4 | 4 | 7 | 5 | 5 |
| | 広さ | 3 | 4 | 3 | 3 | 3 | 6 | 5 | 2 | 2 | 2 |
| M3 | 深さ | 8 | 5 | 7 | 1 | 8 | 11 | 3 | 5 | 5 | 6 |
| | 広さ | 5 | 2 | 3 | 4 | 4 | 8 | 1 | 2 | 2 | 4 |
| N1 | 深さ | 3 | 5 | 5 | 1 | 9 | 2 | 4 | 4 | 5 | 2 |
| | 広さ | 4 | 2 | 1 | 2 | 3 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 |
| N2 | 深さ | 7 | 5 | 5 | 1 | 5 | 2 | 4 | 1 | 3 | 6 |
| | 広さ | 2 | 5 | 3 | 2 | 1 | 3 | 2 | 2 | 1 | 1 |

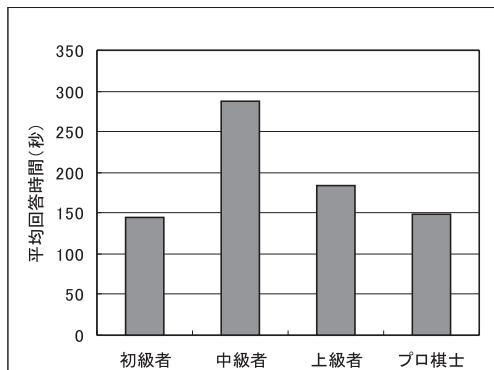


図 2 各棋力の平均回答時間

Fig.2 Average answer time of the strength on Shogi.

さらに、我々は、思考過程の先読みを発話データの中から分析して、どれだけの候補手をあげ、どれだけ深く（何手先まで）読んでいるのかを調べた。問題の局面において次の指し手の候補としてあげた手の数を読みの「広さ」、先読みの中で、最も先まで読んだ最長手数「深さ」として、各被験者の読みの広さと深さを表で表したものが、表 3 である。

この結果の中で、特に棋力による差をより分かりやすく図にしたものが図 3 である。この図は、表 3 の結果の広さと深さを棋力で平均化して図で表したものである。これを見ると、棋力が高くなるにつれて深く読み、中級者が各棋力の中で最も広く読む傾向が見られる。

また、棋力に対する先読みの量を比較してみた。こ

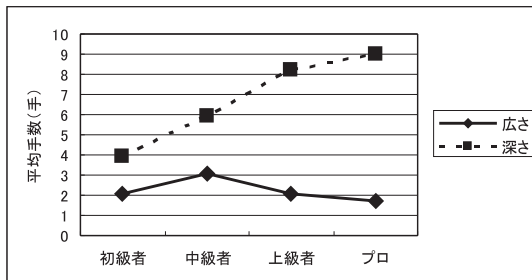


図 3 棋力による読みの広さと深さ

Fig.3 Width and depth of searching for the strength on Shogi.

こでは、量を計る尺度として、先読みの数と速さをあげる。先読みの「数」とは、回答までの間の思考の中で、発話された具体的な指し手の総数とする。また、先読みの「速さ」とは、数を回答時間（分）で割ったものとする。その結果を図にしたものが、図 4 である。

これを見ると、数においても深さにおいても、棋力が高くなるにつれてたくさん読むことが分かった。また、単位時間に読むことができる量も棋力に比例していることが示された。

2.4 結果 2：発話データ

各棋力の発話例を示して、各棋力の被験者の思考パターンを示す。<>内は、発話に対する実験者の説明を、.....は、省略を示す。

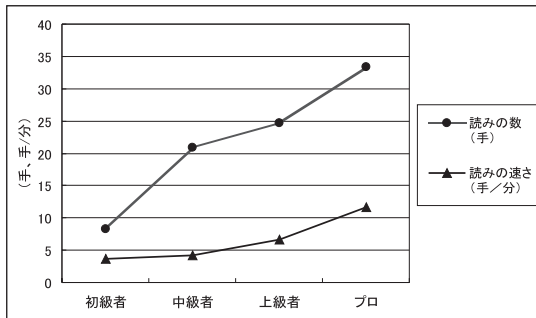


図 4 棋力による読みの数と速さ

Fig. 4 Number and speed of searching for the strength on Shogi.

問題 1, 初級者 (N2) の発話例

4 四飛車まで。

うーん、どういふ局面なんだろう。

えーと、飛車がいて、向こうの飛車が 4 四で、角が相手の持ち駒で、……

<局面を理解するための発話が、40 秒程度続く>
4 八飛車？ 4 八飛車で取られないけど、そしたら、こっち、2 四飛車にいかれる。……

4 五歩、んーと、どこに逃げよう。……

<直接的な手に対する候補手がいくつか浮かぶ>
 7 四飛車、あ、それもない。……

うーん、まあ、んー？ こんな 4 五歩ぐらいかな。じゃ、4 五歩でいきます。

<短い先読みと消去法で悪くならない手を選択する>

初級者の発話で特徴的なのは、まず、局面認識のための発話が長いということである。このデータでは、55 秒ぐらいまで、局面を理解するための発話が続いている。初級者は、およそ 40 秒から 70 秒ぐらい局面を理解するための発話を行っていた。これを、図 1, 2 の結果をあわせて見ると、平均 150 秒の回答時間のうち、平均 50 秒ぐらい局面理解のための発話が続くことになり、およそ 3 分の 1 は、局面理解に費やされていることになる。

この局面理解のための発話の中身を見てみると、問題局面の駒の位置を符号で表現して(ここでは、「向こうの飛車が 4 四で」「角が相手の持ち駒で」など)、その局面を説明するような発話が続いているのが特徴で、駒を 1 つ 1 つ見ながら局面を理解していく過程が観察される。

先読みの過程では、直接的な手(ここでは、4 六の歩を取られないための「4 八飛車」とか「4 五歩」などの手)を中心に発話が進んでいく過程が見られた。

直接手が多いので、深い先読みはあまり見られず、評価の基準も「駒損をしない」などの直接的な基準で、かなり簡単に指し手が決定されていた。

問題 1, 中級者 (M3) の発話例

うーんと、なんだか、乱戦気味ですね。

こちらは 5 六に角を手放している、

うん、

うーん。つらそうですね。……

<局面を理解するための発話が 25 秒程度続く>

9 五歩から、うーんと、……

なんか、9 五歩、同歩、9 二歩みたいになれば、話がうまいんですけど。……

ちょっと気になるのが、3 六歩、同歩、4 六飛車みたいにこられても大丈夫かなあと、……

4 五歩とかいっちゃうとどうなのかなあと。……

<次々と候補手が思いついては、先読みを行う>

そうですね。2 五飛車があまり嬉しくなさそうなので、

最初の 9 五歩にしたいと思います。

<やはり消去法で評価して、指し手を選択する>

中級者になると、初級者に比べて局面理解にかかる時間が短くなる。この問題では約 25 秒、一般に 20 秒から 40 秒程度で局面を把握して、候補手を生成し始める。

中級者になると、いろいろな候補手が次々と想起されるようになる。しかし、局面全体の状況に基づいて生成されるというよりは、部分的な局面から、局所的な手筋などの知識をもとに指し手の候補が導かれている。この問題では「9 五歩、同歩、9 二歩」は、端歩の突き捨ての手筋であり、「3 六歩、同歩、4 六飛車」は、歩の突き捨てから十字飛車という手筋に基づいた候補手である。初級者が直接的な 4 六歩の損を回避するための候補手の生成だったことに比べると明らかな違いといえる。

問題 1, 上級者 (E1) の発話例

んー、相掛かりですね。

先手が歩損して、るわけじゃないですね。

ちゃんと歩はありますね。

と、これは普通は先後逆なんですね。

4 四飛まで、……

<局面理解のための発話が短い。局面理解のための知識がすでにある>

4 七金もかなり気のかかない指し手なんで……

2 六飛車はいかにも薄い感じ ……

となると, 4 七金 ……

どっかで, 7 七歩の合わせがやりたいです ……

< 評価を持った候補手をあげて, 先読みを行う >

4 五歩も 2 六歩も, ちょっと考え, やりたくないです .

4 七金もやりたくない .

仕方ないんで, 4 七金ですか .

< 先読みに基づいた指し手の評価から決定する >

上級者になると局面認識は, 非常に早くなる傾向が見られた . 一般に上級者は, 10 秒前後で局面認識が可能で, 認識に関する発話もおおむねその時間内に収まっていた . しかも, 戦型やその局面に至る道筋, あるいは局面全体の前後関係も含んだ発言が現れるのが特徴である . この問題では「相掛かり」という発話が戦型に関する言及で, 「これは普通は先後逆なんですね」というのはこの局面について, あらかじめ知識を有していたことを示す内容となっている .

候補手の生成の過程では, その候補手がこの局面全体としてどういう印象の手なのかという評価が付いてくるのが特徴的で, 局面の流れの中で候補手がどういう位置づけになるのかという時間的な認識が見られる . この問題では「4 七金もかなり気のきかない指し手」「2 六飛車はいかにも薄い感じ」などにあたる . これらの言及は, 局面をその後の展開なども考慮に入れて, 認識していることを示している .

問題 1, プロ棋士 (P1) の発話例

これはなんか, 僕, やったことあるような将棋 のような気がしますが,

えー, そうですね ……

< 局面の理解は一瞬で, 既有知識とすぐ照合される >

んー, 第一感は 9 五歩と突く手が第一感 ですけども, あ, これなんかありますね,

9 五歩に 6 四銀と引く手があるわけですね .

9 五歩に 3 六歩, 同歩, 4 六飛車もあるわけですか .

……

ま, 4 五歩と突く手は, 3 四飛車と寄られて, それはマイナスになるか と思いましたけど, ……

3 六歩, 同歩, 4 六角がありますから,

やはりちょっと 4 五歩は比較的指しにくいですね .

……

< 候補手とともにその後の展開も言及する >

問題 1, プロ棋士 (P2) の発話例

そうですね . これは, んー

どっかで見たことあるような将棋ですね .

経験のある局面 ですね . これは,

< 局面の理解は一瞬で, 既有知識とすぐ照合される >

あの一, まあ, 先手の, 手前の方が, やや受け身なんで,

4 六の歩, 取られそうですけど,

4 七金とか 4 八飛車とか 守るわけにもいかない んで,

また, 4 五歩とつくのも, ちょっと味が悪い格好 になるかもしれないですね .

< 悪くなりそうな手は最初から読まない >

だから, 壁銀が 8 八銀の形なんで, 7 七歩と合わせ るか, 合わせていくんですかね ?

あ, これは, 7 七歩, 4 六飛車の後を, ただ読まなくてはいけませんかね ?

7 七歩, 4 六飛車, ならば, 7 六歩と取って,

7 七歩, 同歩成り, 同銀, 4 六飛車,

うーん, そういう展開もあります ね .

< すぐに候補手が浮かび, 見通しのある先読みをする >

プロ棋士の局面認識の過程では, 経験的な知識と照合するような発言が見られるのが特徴で, しばしば, その局面の前後の局面についての評価やその局面についての過去の経験に関する言及が見られる . この問題では「見たことあるような将棋」「やったことあるような将棋」などの言及にあたる . 他の発話の中では, その局面に至るまでの直前に起こったことを説明することもあった . これは, 提示された局面が独立した 1 つの局面として認識されているのではなく, 前後関係や経験的な知識と照合されて認識されていることを示している .

また, 候補手の生成の過程では, 候補手に評価の付いた発言を多く行うのがプロ棋士の発話の特徴である . 先読みをする前に, 見通しとして良さそうな手なのか, あまり良さそうでない手なのかという「評価」が入っていて, 具体的な先読みではそれを裏付ける確認の作業になっている . 先読みをする前に候補手をあげる段階で評価ができるということは, 局面に対する前後関係の知識を有しているだけでなく, さらにその前後関係に見通しとしての「評価」の知識も有していることを示している .

2.5 結果 3: アイカメラデータ

結果 2 から, 問題提示後長くても 60 秒程度までを調べれば, 局面認識から最初の候補手生成までの思考過程が調べられることが分かってきた . ここでは, アイカメラデータと発話データを並列に提示して, 局面

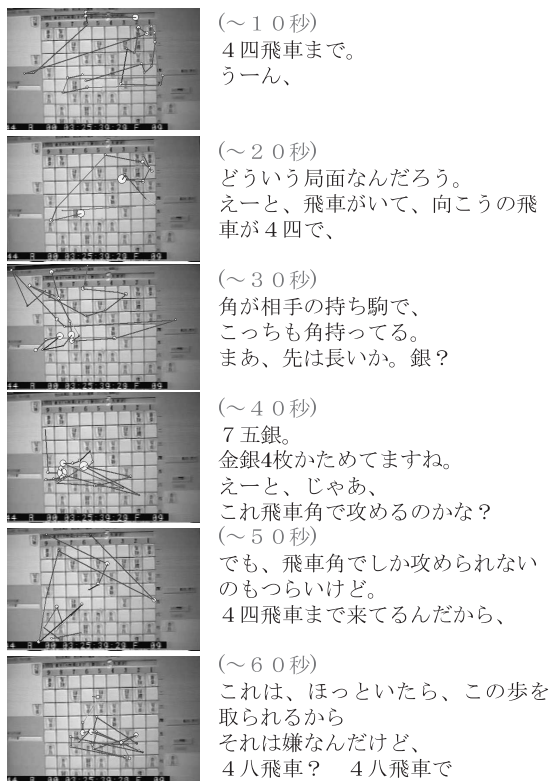


図5 初級者(N2)の発話内容とアイカメラデータ

Fig. 5 Verbal data and eye tracking diagrams of novice (N2).

認識過程から、どのように候補手の生成に至るのかという過程に絞って思考過程を調査した。

図5は、問題1に対する初級者(N2)の発話内容とアイカメラデータを並列に示したものである。ここでのアイカメラデータは、視線の停留点の軌跡を用いている。停留点の軌跡とは、視線の動きが止まった点(停留点)を○で表し、その軌跡を結んだものである。今回の分析では、0.2秒以上視線が停止した点を検出されるようになっていて、○の大きさが大きいほど長時間停留していることを表している。

このデータを見ると、初級者は、問題局面をかなり広い範囲を見て認識していることが分かる。問題上部に書かれている直前の後手の指し手「4 四飛車」を視線で追いながら、発話していることも分かる。問題の局面を見て、その場で見た駒の配置を確認しながら、その局面を理解しようとしているので、理解に非常に時間がかかっている。

(~60秒)のデータから、直接的に歩を取られ、飛車が進出される手に気づき、それに対する直接的な対処として4 八飛車という直接的な受けの手を候補手としてあげている過程が観察された。直接的な駒の損得

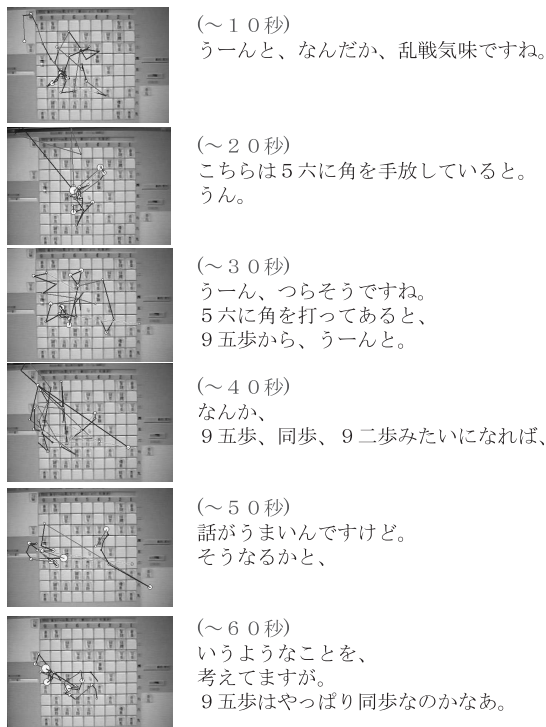


図6 中級者(M3)の発話内容とアイカメラデータ

Fig. 6 Verbal data and eye tracking diagrams of middle level player (M3).

などの利得から、それに対処するための手を選択していく過程が見られ、深い先読みはほとんど行われぬ。

図6は、同じ問題1に対する中級者(M3)の発話内容とアイカメラデータを並列に示したものである。初級者に比べると、局面を見る範囲が狭くなり、局面認識にかかる時間が短くなっている。この問題では見られなかったが、局面の認識では、戦型や囲いについての言及も見られるようになり、駒のかたまりの単位で認識が可能になっていることを示している。また、候補手を生成するときには、手筋に基づいた指し手が現れるようになってくる。この問題の中の「9 五歩、同歩、9 二歩」という手順は、端歩の突き捨てからの端攻めの手筋で、この局面の9筋と5 六角の組合せから、3手一組の手筋が想起されていることが(~40秒)の視線の動きからも読み取れる。

図7は、同じ問題1に対する上級者(E1)の発話内容とアイカメラデータを並列に示したものである。上級者の局面認識の特徴は、局面の戦型はもとより、局面に至った棋譜も理解したうえで局面を認識している点である。ここでは、「これは普通は、先後逆なんですね」という発話は、この局面までの指し手を熟知していないとできない発言であり、この局面を駒の配置

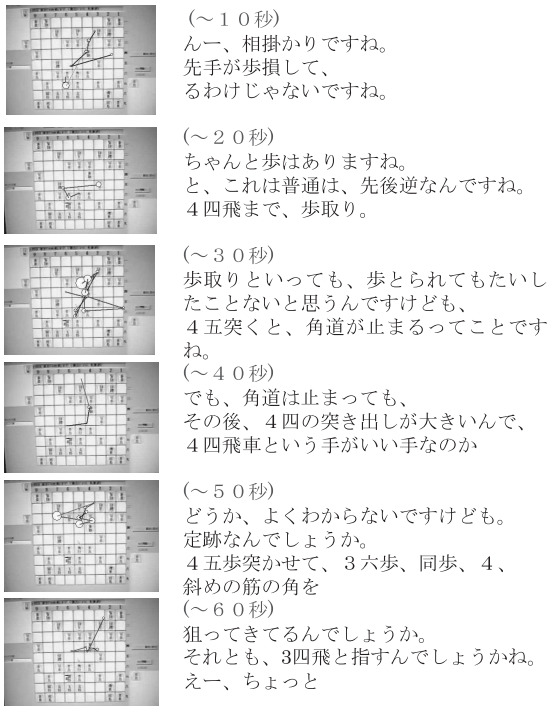


図7 上級者(E1)の発話内容とアイカメラデータ

Fig.7 Verbal data and eye tracking diagrams of club player (E3).

から理解するというよりは、一局の流れの中でどうい
う位置にあるのかという認識が可能であることを示し
ている。局面認識の際のアイカメラデータを見ると、
中級者よりも、さらに見る範囲が狭くなり、停留点も
少なくなっている。10秒前後で局面の認識が完了し
たと思われる発話が観察される。

候補手を生成する段階では、提示された局面だけの
指し手というよりは、指し手に意味(評価)を含んだ
候補手の生成が見られるようになる。この問題で、た
えば、4五歩という指し手は、単に4六歩を取られ
ないという意味だけでなく、将来の4四の突き出しと
いう手の将来的な手の価値まで考慮に入れている。ま
た、逆に4五歩を突いたことによって、4六にスペ
ースが生まれ、相手が4六に角を打ってくるという弱
点が生じるという意味まで考慮に入れていることが分
かる。

視線と発話の分析を進めていて、気がついたことは、
上級者以上になると、必ずしも言及している符号と同
じ箇所を見ていないということである。たとえば(～
40秒)では、4五歩、4四歩の発話をしながら、相手
玉を見ている。これは、4五歩という指し手が将来相
手玉へ影響してくることを考えながら発話しているこ
とを表している。いずれにしても「言及している符号

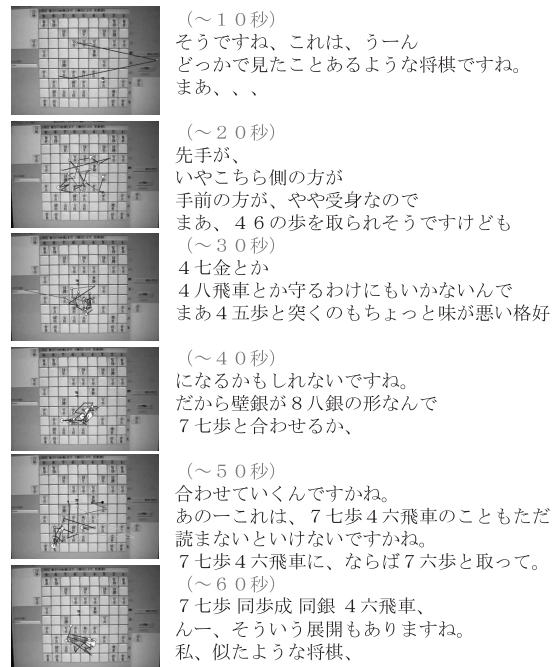


図8 プロ棋士(P2)の発話内容とアイカメラデータ

Fig.8 Verbal data and eye tracking diagrams of professional player (P2).

の箇所とは別の位置を見る」という現象は上級者以上
でしか見られなかった現象であるので、興味深い。

図8は、同じ問題1に対するプロ棋士(P2)の発話
内容とアイカメラデータを並列に示したものである。
上級者の局面の認識は一瞬で、しかも、過去の経験や
知識に結び付いた発言がすぐに現れるのが特徴である。
この問題では「どっかで見たことのあるような将棋」
という発話が見られたが、問題5では「これは、序盤
から飛車交換になって大変激しい戦い」とか、問題6
では「定跡にあるような横歩取りの将棋ですかね」な
どの局面を一局の将棋の一場面としてとらえる発言が
現れている。駒を1つ1つ見たり、囲いや戦型をもと
に局面を理解しようとしたりすることはなく、ほとん
ど見た瞬間に知識との照合がなされ、しかも、その局
面がどういう流れの将棋がどのように変化したものな
のかということが理解されている(～10秒)のアイ
カメラデータは、この問題に見るように、ほとんど数
力所の停留点しかなく、局面の中央部分をさっと見る
だけの視線の動きだけである。

局面が理解された後は、その後の展開をあらかじめ
承知しているかのような発話とともに候補手があげら
れている。ここで見られる「4七金とか4八飛車とか
守るわけにもいかない」「4五歩と突くのちょっと
味が悪い」などの発話は、その局面の先の局面も見通

した候補手の発話例である。この後、プロ棋士(P2)は、この問題で、先手玉の壁銀という悪形(8八の銀が邪魔になって、玉の逃げ道が狭くなっている形)が将来終盤になって影響してくることを予見して、壁銀の解消を目指す候補手「7七歩」を中心に読みを進めていた。

2.6 結果のまとめ

ここまでデータをもとに詳細に結果を述べてきたが、ここで、結果をまとめると以下ようになる。

<結果1: 数値的データから>

- 中級者ほど、思考時間が長い。
- 中級者ほど、広く読む(候補手が多い)。
- 上級者になるほど、多く深く読む。

<結果2: 発話データから>

- 初級者は、局面理解のための発話が長い。
- 初級者は、直接的な手を中心に読む。
- 中級者以上になると、手筋に基づいた先読みができる。
- 上級者以上になると、その局面に至るまでの経過の言及が見られる。
- 上級者以上になると、候補手に評価が付いた表現が現れる。

<結果3: アイカメラデータから>

- 初級者は、局面認識のために盤面全体に視線が動く。
- 中級者以上、上級者になるにつれて、局面認識のために見る盤面の範囲は狭くなる。
- 上級者以上になると、見ている部分と違う部分に関する言及が観察されるようになる。

3. 考 察

結果1から思考時間に関しては、図2で見られるように、中級者が最も長く思考する傾向が見られた。このことは、図3で中級者が最も広く先読みを行っていたことと関連しているように思われる。将棋では、初級者から棋力が上がるにつれて、様々な戦型や手筋を学習する。それともなって、少しでも似た局面が現れると、多くの手筋や候補手が見えるようになってくると考えられる。そして、幅広く読むようになり、先読みの正確さも増してくるから、ある程度深く読むようになってくる。その結果として、考える内容が多くなり思考時間が長くなるものと思われる。しかし、上級者からトッププロ棋士になると、徐々にそれらの知識が経験に基づいて体系化され、見通しを持った知識としてとらえられるようになってくる。すなわち、ある局面を見ると、その局面がどういう経緯でその状

態になり、その後、どういう展開になるのかということが分かるようになってくる。その局面でどう指したら良くなるのか、悪くなるのか、ということが察知できるようになり、読むべき手の候補手が絞られて、狭く深く読めるようになってくると考えられる。

図4は、棋力が高くなるにつれて先読みの数も深さも増加したことを示している。このデータは、発話データに基づいた読みの数と速さを調べたものである。発話に表しきれない無意識の思考や、発話することによる制約にともなって、実際の速さより遅くなっていることなどが予想されるが、発話環境の中で先読みの数と速さのデータとしては、意味があると考えている。特に、棋力に比例して、先読みの数や速さが単調に増加していることが示されたことは、データとして興味深い。

結果2と結果3の局面認識の際の発話内容と視線を動かす範囲の違いから、初級者からプロ棋士に至る棋力の異なる被験者の局面認識の仕方が明らかになってきた。初級者は、駒を1つまたは数個の単位で見ながら局面全体を認識していく過程が観察された。中級者になると、戦型や囲いのような局面中の部分の「空間的チャンク」を組み合わせて局面全体を理解していく過程が見られた。また、短い手筋などを使えるようになり、数手の時系列的な知識を用いた局面の認識が可能になる。さらに、上級者からプロ棋士になるとその局面に至った手順が示されるようになり、より長い時間的な流れの中で局面の認識が可能になってくると考えられる。すなわち、上級者は「空間的チャンク」だけでなく、局面を時間的な流れの中でとらえていると思われる。上級者の持っている知識の塊には「空間的チャンク」だけでなく、時間軸に広がった「時間的チャンク」もあると仮定すると、上級者のこの認知過程が理解しやすいと考える。

トッププロ棋士(P2)が、問題1において、壁銀の悪形が将来不利を招くという展開を予測して、7七歩という壁銀を解消するという手を中心に先読みを行ったのは、この局面における「時間的チャンク」が働いたからと考えると説明できる。

「時間的チャンク」は、中級者ぐらいから、手筋や定跡的な手順という形で学習されると考えられるが、上級者以上になるとその手順の結果どういう将棋の流れになったのかという評価的な判断をともなったものへと変化していくのでないかと考えられる。その結果として、中級者では、単にいろいろな候補手が見えるだけなのに対して、上級者以上になると見通しを持った候補手が浮かぶようになり、狭く深い探索ができる

ようになっていると考えられる。

4. おわりに

本研究の様々な結果から、将棋の熟達化の過程では、「空間的チャンク」だけでなく、時間軸へ広がった知識を有していることが示唆された。また、上級者やプロ棋士では候補手をあげる際に、先読み以前にその指し手の結果どうなるのかという見通しに関する言及が見られ、局面を因果的な関係でとらえる過程も観察された。

「時間的チャンク」の存在を明確に示すための客観的な証明は難しいが、我々の今回の実験結果は、「時間的チャンク」の存在を示唆するものとする。今後は、これらの結果をもとにして「時間的チャンク」の存在の状況証拠を積み重ねていきたい。

この考え方が将棋固有のものなのか、それとも将棋以外の他のゲームや問題解決の一般的な熟達化の過程に適用できるのかについても、調べていきたい。たとえば、他のチェスライクゲームや囲碁などのゲームにおいても同様の実験を企画して、比較実験を行っていく予定である。

また、実験で用いたアイカメラの視線データについても、その解釈をめぐって、さらに基礎的なデータをとる必要がある。たとえば、被験者の注視点は画面上で点として表されるが、実際の人間には視野があり、注視点の周辺も「周辺視」として見ていることが知られている。注視点以外の部分をどれぐらいの範囲で見ているのか、その周辺視の広さと棋力の関係はどうなっているのかについても、今後調査していきたい。また、視線の先を本当にどれぐらい意識的に見ているのか、無意識的に見ているだけなのかという視線の軌跡の意味に関しても、より深い調査をしていくつもりである。

本実験で用いた問題集についても議論の余地がある。表1の結果を見ると、問題2と問題10で回答に偏りのあるものの、回答にばらつきが見られ「候補手が複数ある問題」という点ではその意に添った問題であったといえる。しかし、定量的な実験結果の主張をするためには、実験に用いた問題数、被験者数ともに十分であったとはいえない。トッププロ棋士に実験を依頼した関係上、これ以上の問題数、被験者数を準備することは困難であるが、アマチュア上級者までの範囲で、もう少しデータ数を増やして、定量的分析を行ってきたい。また、質的にも難易度にばらつきがあり、戦形にも若干の偏りが見られた。難易度を評価する何らかの指標や問題の偏りをなくするために問題数を増やす

などの工夫をしていきたい。

今回の実験結果から、将棋ではトッププロ棋士であっても、有力な候補手が一意に定まらない局面が多く存在し、局面の理解の仕方や次の一手を決めるまでの思考過程に違いが見られた。このことは、将棋というゲームの自由度の高さを示している、ゲームとしての奥深さや幅の広さを演出しているように思われる。ゲームとしての奥深さや面白さを表現する尺度として、エキスパートが思考過程で考えうる「広さ」や「深さ」というものは、1つの認知的な指標になるのではないかと我々は考えている。これらの指標を用いたゲームの面白さに関する考察についても今後行っていきたい。

謝辞 実験に協力していただいた数多くの被験者に感謝します。特に無償でボランティアとして協力していただき、貴重な実験データを提供してくださったプロ棋士の方々にこの場を借りて深く御礼申し上げます。また、有益なコメントをいただいた査読者にも感謝いたします。

参考文献

- 1) de Groot, A.D. and Gobet, F.: Perception and Memory in Chess, *Assen: Van Gorcum* (1996).
- 2) Simon, H.A. and Chase, W.G.: Skill in Chess, *American Scientist*, Vol.61, pp.393-403 (1973).
- 3) Ito, T., Matsubara, H. and Grimbergen, R.: The Use of Memory and Causal Chunking in the Game of Shogi, *The 3rd International Conference on Cognitive Science*, pp.134-140 (2001).
- 4) 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).
- 5) 伊藤毅志: 将棋における人間の認知過程, *Game Programming Workshop in Japan '99*, pp.177-184 (1999).

(平成 15 年 2 月 27 日受付)

(平成 16 年 3 月 5 日採録)



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。人間の問題解決、学習支援等の教育工学、協調学習、自然言語処理等の研究に従事。現在は、特にゲームを題材にした認知科学的研究に興味を持つ。著書に『認知心理学 4 思考』(東京大学出版会、共著)ほか。日本認知科学会、人工知能学会、電子情報通信学会等各会員。



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修了。工学博士。同年より通産省工業技術院電子技術総合研究所勤務。1993 年～1994 年米国スタンフォード大学言語情報研究センター滞在研究員。2000 年から公立はこだて未来大学教授。1998 年～2001 年科学技術振興事業団さきがけ 21「情報と知」領域研究員兼任。画像理解、知識表現、フレーム問題、機械学習、マルチエージェントシステム等の研究に従事。現在はゲーム情報学に興味を持つ。人工知能学会、日本認知科学会、日本ロボット学会等会員。NPO ロボカップ日本委員会専務理事。



Reijer Grimbergen (正会員)

Reijer Grimbergen is an associate professor at the department of informatics at Yamagata University. His research interests are search, game playing and the cognitive modeling of human problem solving. Grimbergen received his M.S. in computer science from Nijmegen University (Holland) in 1989 and his Ph.D. in cognitive science from the Nijmegen Institute of Cognitive Science and Information Technology (NICI) in 1994.