

空間的チャンクから因果的チャンクへ

伊藤毅志¹、松原仁²、ライエル・グリンベルゲン³

¹ 電気通信大学、情報工学科 <ito@cs.uec.ac.jp>

² はこだて未来大学、情報アーキテクチャー学科 / さきがけ 2 1 <matsubara@fun.ac.jp>

³ 佐賀大学、知能情報システム学科 <grimbergen@fu.is.saga-u.ac.jp>

概要

ゲームは、人間の認知的知見を得る良い教材となりうる。チェスを始め多くのゲームで、その認知科学的研究が行われ、異なったゲーム間で共通の認知的知見が得られてきている。この論文では、我々が将棋を題材にして行ったアイカメラを用いた2つの記憶実験と1つの問題解決実験の結果を紹介する。そして、その結果、新しい種類のチャンク、すなわち「因果的チャンク」の存在を示すことができた。

From Spatial Chunking to Causal Chunking

Takeshi Ito¹, Hitoshi Matsubara² and Reijer Grimbergen³

¹ Department of Computer Science, University of Electro-Communications <ito@cs.uec.ac.jp>

² Department of Media Architecture, Future University-Hakodate/PRESTO <matsubar@fun.ac.jp>

³ Department of Information Science, Saga University <grimbergen@fu.is.saga-u.ac.jp>

Abstract

Doing cognitive research in games can give new insights into the processes involved in human problem solving. By studying different games, it is possible to compare similar behavior in different domains. In this paper we present the results of cognitive experiments in *shogi*, a Japanese game similar to chess. We have conducted two memory tasks and one problem solving task in *shogi*. In general, we got similar results as in chess, but we also found evidence for a new type of chunking, which we call “causal chunking”.

1. はじめに

ゲームを題材にして人間の問題解決行動を理解しようとする認知科学的研究は、古くから行われている。特にチェスは、世界中で広く行われているゲームであり、人間が行う知的ゲームの代表として、広く認知科学研究が行われてきた。ニューウェルとサイモンの研究は、この分野における初期の研究として有名である(Newell & Simon, 1974)。彼らは、チェスのエキスパートの行動をGPS (General Problem Solver)という認知モデルで説明し、チェスの初めての情報処理モデルをコンピュータ上で構築した。また、記憶に関する認知研究も多く行われ、エキスパートの認知能力に関する新しい知見も得られた(De Groot, 1965; Chase & Simon, 1973; Cooke, 1993)。局面の記憶に関するこれらの研究では、エキスパートの卓越した記憶能力を「チャンク」という概念を用いて説明した。すなわち、プレーヤーは、チェスの局面を駒の配置の集合(チャンク)という形で記憶していて、エキスパートになるほどチャンクの規模が大きくなり、短い時間で局面を認識できるようになると説明した。

囲碁を題材とした研究においても、チェスの研究の追実験という形で様々な研究が行われてきた(Reitman, 1976; Burmeister, 1997; Saito & Yoshikawa, 2000)。吉川らは、アイカメラや発話プロトコル分析を行って、詰め碁の認知活動を精力的に調査した(Saito & Yoshikawa, 1996; 1997)。この中で、棋力の違いによる視線の動きの違いを「ハイブリッドなパターン知識」という概念で説明した。エキスパートは、局面を言葉で表す抽象的な表現と具体的な石の配置を組み合わせたパターンとして捉えることができ、このことが、解答率の向上につながっていることを示した。

しかし、将棋を題材にした認知科学的研究は意外に極めて少ない。将棋は、チェスライクゲームであるが、チェスは持ち駒の使用のルールや駒の色、形などの知覚的な違いがあり、チェスと認知的な違いがある可能性がある。チェスの認知研究などの結果と同様の結果が得られるかどうかを確認する研究は、この手のゲームの認知的結果が一般的な理論であるのかを検証するためにも重要であると考えられる。我々は、これまでに、チェスで行わ

れてきた局面記憶研究や発話プロトコル研究の追実験を行ってきた(Ito, Matsubara & Grimbergen, 2001)。この中で、チェスの結果同様、プロのトップクラスのプレイヤーは非常に卓越した局面記憶能力を有することを確認してきた。

本報告では、まず、これまで行ってきた記憶実験のデータを示す。そして、実際の指し将棋における思考過程を調べるために計画した次の一手課題実験の結果も紹介する。様々な実践局面を棋力の違う被験者に提示して、如何にしてプレイヤーが次の一手を決定していくのかを、アイカメラデータと発話プロトコルデータを同時に分析することで調べていく。

2. 記憶実験 1 (記憶時間無制限)

2.1 実験方法

棋力の違いによって、局面の記憶にかかる時間にはどのように違いがあるだろうか？我々は、初級者（アマチュア 8 級程度）、中級者（アマチュア三段程度）、上級者（プロ八段）各 3 名、計 9 名に対して、実際の指し将棋の一局面を提示して、局面を記憶するのにかかった時間を計測する実験を行った。実験に使った局面は、将棋年鑑 CD-ROM に記録されていた様々な戦型の局面をランダムに選択し、初手から 20 手、30 手、40 手、50 手、60 手進んだ局面を各 2 個ずつ、合計 10 問を用いた。

それぞれの局面は、コンピュータモニター上に表示される。被験者は、十分に局面を記憶したと思ったところで、「OK」ボタンをクリックする。すると、駒が配置されていない盤面が表示されて、被験者は局面の再現を行う。コンピュータは、局面が提示されてから「OK」ボタンがクリックされるまでの時間を自動的に計測して、記憶に要した時間が記録されるようになっている。被験者には、実験中アイカメラを装着させ、局面のどこを見て記憶しているのかを調べた。

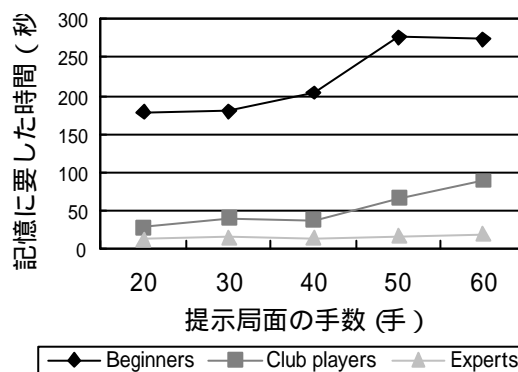


図 1 記憶に要した平均時間（時間制限有り）

2.2 結果

図 1 は、棋力の違いによる問題と記憶に要した平均時間の関係を表にしたものである。これを見るとわかるように、初級者は、局面を記憶するのに非常に時間がかかっていることがわかる。一方、上級者（プロ棋士）は、極端に短い時間で記憶していることも示された。この実験では、殆ど 10 秒以内ですべての局面を記憶し、正確に再現することができた。中級者も、序盤局面（30 手から 40 手ぐらい）までは、かなり早い時間で記憶できたが、中盤以降の局面（50 手以降）では、記憶にかかる時間が長くなる傾向が見られた。上級者が中盤以降局面でもあまり記憶時間に違いがなかったことと対比される。また、再現時の行動を観察したところ、初級者は、再現の際に非常に迷う行動が見られ、対局開始時の初期配置を並べてそこから一つずつ動かしながら再現する過程が観察された。中級者は、局面をいくつかの固まりごとに再現することがあり（たとえば、矢倉囲いや穴熊囲いなどの部分的な再現）、部分的なチャンクを使って記憶している様子が観察された。上級者は、手に付いた駒を盤上にどんどん置いていく傾向がみられ、局面全体を一つの絵のように記憶しているようであった。

2.3 まとめ

上級者は、非常に素早く局面を記憶できることが図 1 の結果からも示唆された。図 2 は上級者が記憶時に局面のどこを見ていたのかを軌跡として表したものである。この問題では、この被験者は記憶するのにおよそ 6 秒ほどしか要していない。視線は、中央部分と右の「OK」ボタンの辺りを動いていることがわかる。このことは、実際には、上級者はもっと早く記憶が完了していて、確認のために何度か見直していることを示している。周辺の駒などには殆ど全く視線が移動していないにも関わらず再生では 100% の再現率であった。図 3 は、初級者

の視線データであるが、違いは明白である。初級者は、盤上の一つ一つの駒を見て記憶していることがわかった。この問題では、記憶するために2分以上の時間がかかっていた。

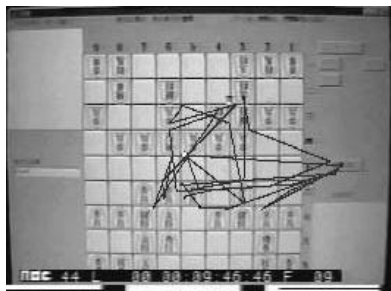


図2 上級者の視線の動き

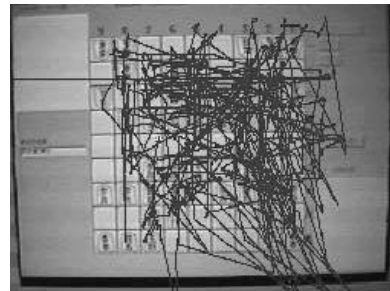


図3 初級者の視線の動き

3. 記憶実験2（記憶時間制限有）

3.1 実験方法

記憶時間無制限の実験では、上級者に見られたように実際はもっと早く記憶しているのに確認のために時間を費やす被験者がいることがわかった。記憶実験1の経験から上級者はおよそ3秒以内で局面が記憶できているように見られたので、3秒の時間制限を設け、開始局面からの手数に応じてどのように正解率が変化するかを調べることにした。また、上級者の記憶に実際に知識としてのチャンクが使われているのかを調べるために、比較実験として、初期配置からランダムに動かしたランダム問題を用意し、その正解率も比較した。

実験方法は、最初に問題局面を3秒間提示し、自動的に再現画面に切り替わるようにして、3秒間で記憶した局面をできるだけ正確に再現するように教示した。被験者は、前回同様、初級者（アマチュア8級程度）中級者（アマチュア三段程度）上級者（プロ八段）各3名、計9名を用い、問題も将棋年鑑CD-ROMに記録されていた前回の実験とは違う様々な種類の局面をランダムに選択し、初手から20手、30手、40手、50手、60手進んだ局面を各2個ずつ、合計10問を用いた。さらに比較実験用に、初手から将棋のルール通りにランダムに20手、30手、40手、50手、60手動かした問題も用意し、同じ被験者に同様の再現実験をさせた。いずれも、被験者にはアイカメラを装着させ、視線の動きを同時に計測した。

3.2 結果

図4は、棋力の違いによる問題と平均正解率の関係を表にしたものである。初級者の平均正解率がかなり低く50～60%の正解率である。これは、たとえば、序盤（20～40手）は初期配置から動いていない駒が平均約20個/全駒数（40個）程度あることを考えると、殆ど数個の駒配置しか記憶できていないことを示している。一方、上級者の記憶力はすばらしく、たった3秒で駒の配置だけでなく持ち駒まで、殆ど正確に記憶可能で、せいぜい数個の駒の配置ミス程度であった。中級者は、序盤に関しては、上級者同様の正確な記憶力を示したが、中盤以降になると、かなり正解率が下がり、記憶が困難であった。

図5は、ランダム問題における同様の実験結果を示したものであるが、初級者～上級者で殆ど結果に差が見られなかった。

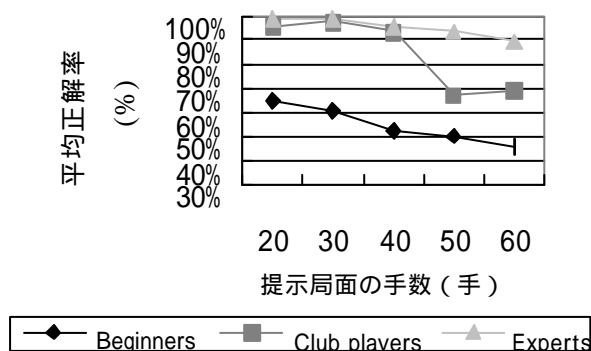


図4 平均正解率（通常局面問題）

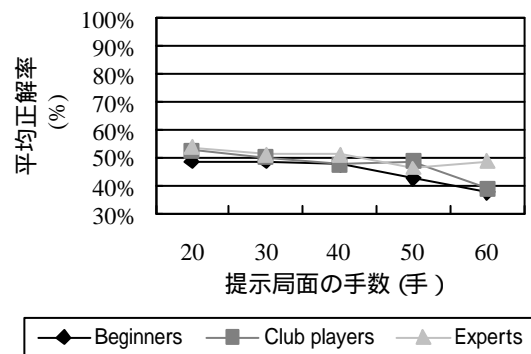


図5 平均正解率（ランダム局面問題）

3.3 まとめ

図6は、通常局面の問題における初級者の視線の軌跡を表したものである。これを見ると、初級者は一つ一つの駒を順々に記憶しようとして視線を走らせているが、時間が足りずに途中で途切れてしまった様子が観察される。実際、再生場面では、殆ど数個の駒の配置しか記憶しておらず、記憶した数個の配置以外は、殆ど適当に配置していく様子が観察された。一方、中上級者は、序盤問題で非常に高い正解率が見られ、アイカメラデータでも、局面の中央部分を漠然と見るだけで、殆ど見ていない部分や持ち駒まで正確に再現している。これは、局面を一つもしくは数個のチャンク単位で捉えることができるからと考えられ、チェスにおける結果を改めて再確認することができた。上級者は、中盤以降でも殆ど正解率が下がらず、序盤よりもバリエーションの豊富な中盤に関してまでもチャンクを有していることを示している。

ランダム局面の実験では、予想通り初級者から上級者まで殆ど差のない低い結果であった。このことから、上級者の非常に高い記憶能力は、将棋に対する知識の量が反映されたチャンクが存在を裏付ける結果であると言える。

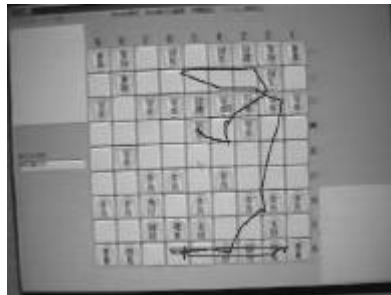


図6 初級者の視線の軌跡（通常局面問題）

4. 次の一手実験

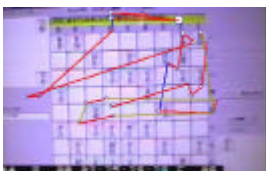
4.1 実験方法

二つの記憶実験を通して、上級者のすぐれた記憶能力が非常に広範なチャンクと将棋の知識に支えられていることはわかってきた。しかし、実際の指し将棋でこれらの能力がどのように働いているのだろうか？我々は、この疑問を確かめるために、アマチュア高段者に依頼して、上級者でも次の一手の候補が複数出てきそうな問題を15題作ってもらった。この問題を記憶実験と同じ9名の被験者に提示して、どこを見て何を考えて次の一手を決定しているのかをアイカメラと発話プロトコルデータを併用することによって分析した。

4.2 結果

各棋力の被験者の典型的なデータをアイカメラによる視線のデータに発話データの分析を加えて示していく。

（初級者データ例）



< 0 ~ 10秒 >

局面の認識のための発話が見られる。

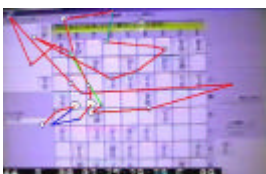
画面上部の後手の前の指し手を確認したり、
局面上の駒の配置を確認する発話が見られる。



< 10 ~ 20秒 >

局面の認識のための発話が続く。

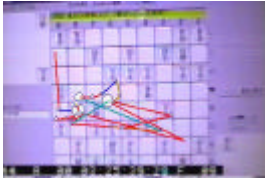
局面が中盤であることを確認する発話が見られる。



< 20 ~ 30秒 >

局面の認識のための発話が続く。

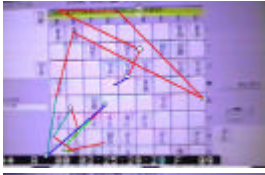
持ち駒の確認、7五の銀の位置などの発話が見られる。



< 30 ~ 40 秒 >

局面の認識のための発話が続く。

7五の銀と先手の玉の堅さについての発話が見られる。

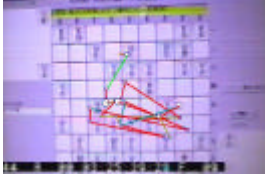


< 40 ~ 50 秒 >

局面の認識から部分的な興味が発話へ。

玉の堅さについての言及から

先手の飛車と角をどう組み合わせるかについての発話。



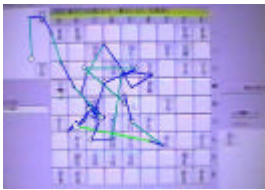
< 50 ~ 60 秒 >

部分的な興味が4六歩に移る。

4五歩が取られないための指し手の言及。

以降、4八飛車、4五歩のような歩を取られないための1, 2手先の興味に基づいた思考過程の発話が続き、明確な判断基準のないまま、4五歩を結論として、発話を終えた。全思考時間は3分25秒であった。一般に、初級者は局面認識のための発話が長く、そこから部分的に気づいた目先の直接手（駒の当たりや王手、ぶつかっている駒など）の周辺から次の一手を決定する傾向が見られた。

（中級者データ例）



< 0 ~ 10 秒 >

局面の認識のための発話が見られる。

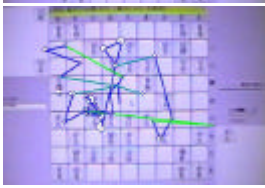
角を5六に手放している点、相手の持ち駒の角について言及。



< 10 ~ 20 秒 >

局面の認識のための発話から局面判断の発話へ。

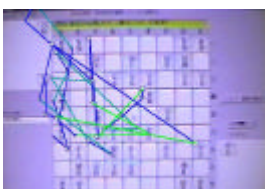
7筋の位と持ち駒の角から先手が苦しそうという局面判断。



< 20 ~ 30 秒 >

局面判断に関する発話が見られる。

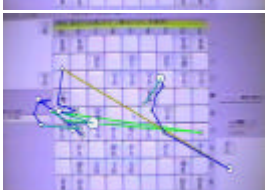
7筋の位と敵玉の広さ



< 30 ~ 40 秒 >

手筋をもとにした候補手についての発話が見られる。

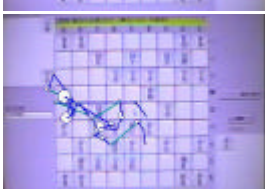
9五歩、同歩、9二歩の手筋についての言及。



< 40 ~ 50 秒 >

手筋をもとにした相手の狙いについての発話が見られる。

3六歩、同歩、4六飛車の手筋についての言及。



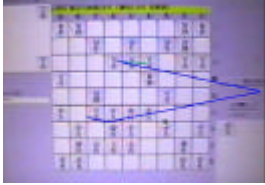
< 50 ~ 60 秒 >

候補手について深く読みを加える。

9五歩を無視された時の変化についての言及。

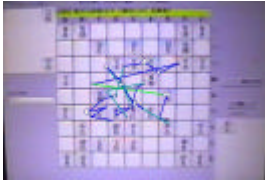
以降、非常に多くの候補手について、それぞれ5～7手ぐらゐの先読みを加えて、長く比較検討が続いた。最終的に9五歩が一番良さそうと判断して、結論として選択された。候補手としては、「9五歩、4七金、7七歩、8六歩、4五歩、2五飛」の6つも挙がった。全思考時間は4分25秒であった。一般に、中級者は初級者に比べて早く局面の認識を早く終え、局面判断を行う傾向が見られる。また、初級者、上級者に比べて最も多く候補手を挙げて、言葉に表れる先読みの量も最も多く、思考時間も最も長い傾向が見られた。

(上級者データ例)



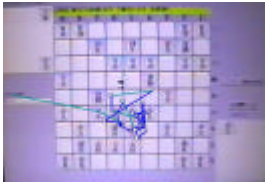
< 0 ～ 10 秒 >

局面の認識は素早く、経験と結びつけた発話が見られる。
経験のある局面で、見覚えがあることに言及。



< 10 ～ 20 秒 >

候補手に評価がついた発話が見られる。
4六の歩を守るための4七金、4八飛車はあり得ない。
4五歩も形が悪い。7七歩と壁銀解消。



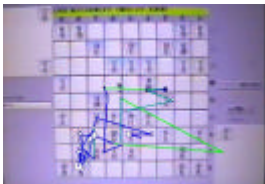
< 20 ～ 30 秒 >

良さそうな候補手の先読みが見られる。
7七歩、4六飛、7六歩の先読み。



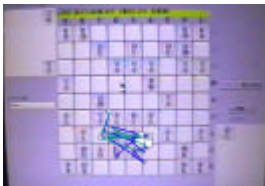
< 30 ～ 40 秒 >

良さそうな候補手を中心にした先読み。
7七歩、同歩成、同銀、4六飛の先読み。



< 40 ～ 50 秒 >

良さそうな候補手を中心にした先読み。
壁銀の悪さ、その後の展開を過去の経験から予想。



< 50 ～ 60 秒 >

良さそうな候補手を中心にした先読み。
過去の経験から壁銀を解消しないと勝負にならないと判断。

以降、7七歩以外の手を全く検討せず結論とした。全思考時間は、1分15秒であった。一般に、上級者は、見た瞬間にその局面を過去の記憶と対比させて、どういう経緯でその局面が現れ、その後どうなるのかという見通しについての言及が見られた。候補手は、良さそうな手、筋の悪そうな手、形の悪そうな手、などの最初から評価がついて言及される傾向があり、殆ど1, 2種類ぐらゐの良さそうな手だけを経験をもとにして深く先読みする傾向が見られた。

4.3 まとめ

初級者は、局面を理解するために、駒を一つずつ見ながら部分的な理解を組み立てていく過程が観察され、部分的な興味から候補手を生成して、もっとも悪くなさそうな手を適当に選択しているように見えた。

中級者は、よほど典型的な定跡形でない限り、部分的なチャンクを組み合わせるように理解している過程が観察されたが、初級者より大きなチャンクを有しているためかかなり早く局面を理解できるようになっていた。また、数手の組み合わせの手筋、ありがちな手順を局面の部分的な理解から候補手として挙げて、先読みをしては、その後の局面を評価して、他の候補手と比較するという過程を繰り返して、最も良くなりそうな候補手を選択す

る過程が見られた。中級者の思考時間が長かったのは、ある程度手筋を知っていて候補手が比較的多く挙げられ、さらにある程度正確な先読みが可能であるため、広い候補手である程度深く読むことが可能であるので、たくさん読んでいからと考えられる。ただ、先読み後の見通しがあまり明確でないので、いちいち全部先読みしてみ、評価を与え、他の候補手と比較するというサイクルを繰り返さなければならない。

一方、上級者は、局面を見た瞬間に経験の中から近い局面をすぐに思い出し、どういう経緯でその局面が現れたか、誰との対局で現れたのかなどの関連する知識が次々と思い出される過程が観察された。候補手も評価がついていて、見通しのある先読みがあるので、見込みのない候補手は殆ど読まれることがなく、非常に狭く深く読むことができる様子が観察された。回答時間が早いのも、かなり正確な見通しを持っているため、非常に狭い候補手を吟味するだけで回答できるからと考えられる。

5. 考察

3つの実験結果から、チェスの研究で観察されたチャンクが、将棋の分野でも確認された。チェスと将棋では、駒の数や形、盤の色、ルール（特に持ち駒のルールなど）の違いがあったが、これらの知覚的違いが認知的結果に殆ど影響を与えていないことがわかった。特に、上級者は、持ち駒も含めて盤面全体を一つのチャンクとして記憶することが可能で、序盤のみならず中盤のようなかなりバリエーションのある局面でも3秒間の提示だけで90%以上の非常に高い正解率を得ることができた。

記憶実験1で見られたように、初級者は、駒を一つ一つ記憶している過程が観察された。初級者は、駒一つ単位のまとまりでしか記憶できないので、盤上全体を記憶するのに非常に時間を要していた。中級者のアイカメラデータ分析から、中級者は幾つかの駒を一つのチャンクとして記憶していて、盤面を数個のチャンクで捉えることが可能であることがわかった。プロトコル実験から、「矢倉」「三七銀型」などの戦型に関する発話が見られ、このことも局面を幾つかのチャンクとして記憶していることを示唆している。

上級者のデータから、盤面を完全に一つのチャンクとして認識することが可能であることが示された。アイカメラデータでは、盤面の中央部分の一部を瞬間的に見るだけで、局面全体を理解していることが示され、発話データからは、局面認識のための発話をすることなく、すぐに評価付きの候補手についての言及が見られた。発話データではさらに、提示局面がどういう経緯で現れたのか、今後どのように推移するのかといった見通しについてまで、言及される傾向が見られた。これは、局面を単に静的な一つのチャンクとして捉えるだけでなく、前後関係を含めた一つの流れの中で捉えることができることを意味している。こうした動的なチャンクのおかげで、上級者は、局面からもっともらしい候補手を非常に効率よく生成することができるのだと考えられる。

	空間レベル	手順レベル	評価レベル
初級者	駒一つ単位		
中級者 (アマ初段)	幾つかの駒 の集合 (囲いや戦型)	簡単な手筋や 代表的な戦法 の手順など	
上級者 (プロ棋士)	盤全体 (戦型)	複雑な手筋から 応用的な戦法、 詳細な変化	正しい予測を導く 見通しのある局 面評価

表1 棋力の違いに対するチャンクの変化

我々は、これらの結果から、表1のように棋力の違いに対するチャンクの変化をまとめてみた。上級者は、盤面のような空間レベルのチャンクのみならず、手順や評価を含んだ言語関係を含んだ時間軸方向のチャンクも可能で、これが効率的な候補手の生成に役立っていることがわかってきた。したがって、上級者の問題解決行動を説明するためには、空間的なチャンクだけでは不十分で、時間的、因果的チャンク概念も必要であると言える。これによって、上級者が問題を見た瞬間に、その局面が現れた経緯がすぐに説明できるばかりか、先の見通しを持った指し手の候補を正確に予測できるのだと説明される。

参考文献

- Burneister, J. (1997). Memory Performance of Master Go Players. *Proceedings of the Workshop on Computer Games (W31) at IJCAI-97*, pp. 75-83.
- Chase, W. G. and Simon, H. A. (1973). Perception in Chess, *Cognitive Psychology*, **4**, pp.55-81.
- Cooke, N. J. (1993). The Role of high-level knowledge in memory for chess positions, *American Journal of Psychology*, **106-3**, pp.321-351.
- De Groot, A. D. (1965). Thought and choice in chess. *The Netherlands: Mouton & Co.*
- Ito, T., Matsubara, H. and Grimbergen, R. (2001). The Use of Memory and Causal Chunking in the Game of Shogi. *The Third International Conference on Cognitive Science*, pp. 134-140.
- Newell, A., and Simon, H. A. (1972). Human problem solving. *Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.*
- Reitman, J. (1976). Skilled Perception in Go: Deducing Memory Structures from Inter-Response Times. *Cognitive Psychology*, **8**, pp.336-356.
- Saito, Y. and Yoshikawa, A. (1996). Can not solve Tsume-Go Problems without looking ahead?. *Game Programming Workshop in Japan '96*, pp.76-83.
- Saito, Y. and Yoshikawa, A. (1997). The Difference of Knowledge for Solving Tsume-Go Problem According to the Skill. *Game Programming Workshop in Japan '97*, pp.87-95.
- Saito, Y. and Yoshikawa, A. (2000). Go as a testbed for cognitive Science studies. In H.J. van den Herik & H. Iida (Eds.), *Games in AI research*, The Netherlands: Van Spijk.