

囲碁における注意決定と分節化について

高濱 昌孝 大沢 英一

公立はこだて未来大学

コンピュータ囲碁の難しさの原因は、おもに探索空間の大きさと評価の難しさにある。この二つの要因の組合せにより、ある局面での正しい着手の生成が困難になっている。しかし、限定された局面においては、うまくプレイするプログラムが存在する。もし、プログラムが囲碁の局面を分割し、それぞれの部分的な局面にさまざまな評価要素などの情報を保持させ、その中でもっとも重要な部分的局面に注意を当てることができれば、それは探索空間を有効に限定し、正しい評価を得ることを手助けすることになるだろう。本稿では、囲碁を題材に取り上げ、局面の分節化と注意決定のメカニズムについての提案を行い、注意を実装するアプローチの例を提示する。

Attention and Segmentation in Computer-Go

Masataka Takahama Ei-ichi Osawa

Future University - Hakodate

The main problems in computer-Go are a difficulty of large search space and evaluation of each points. These two factors make it difficult to take the accurate move in some situation. However, the studies which can be have well in some local problem are proposed in recent year. If the programs can simplify a game as several local problems, make them keep various important elements of evaluation and can pay attention to one of most important parts, then we are sure to diminish search space effectively and to result in obtaining the accurate move. In this paper, We propose the mechanism of attention and segmentation in local problem and the examples of approach to realize the attention in computer-Go.

1 はじめに

コンピュータに囲碁をプレイさせることは、人工知能研究の良い題材であるとされ、盛んに研究されている。しかし、現状ではコンピュータを囲碁のエキスパートにすることはできていない。コンピュータに囲碁をプレイさせる上でしばしば問題とされる中に、膨大なゲーム探索空間と、局面の評価の難しさがある。

探索空間の大きさは、チェスや将棋などの他のゲームなどと比較しても相当大きく(表1)、よく知られているような効率の良い探索アルゴリズムを適用しても、良い探索結果を得ることは難しいため、すべての局面で正しい着手を生成するプログラムを作成することはできていない。それでも、ヒューリスティックと正確な評価を組み合わせれば、局面のすべての部分で深い探索を必要としなくても、局面全体を探索することは可能になって

いる[1]。

局面の評価については、以下に述べるように、ある局所的な部分においては探索を用いることでうまくいくが、囲碁では局面を完全に分割することが困難であり[2]、局所的な部分や囲碁特有の評価要因の組合せにより、局面全体の評価は難しくなっている。

| | |
|-------|------------|
| 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} |

表1: ゲームの探索空間の量

現状でも、いくつかの限定された局面においては、ある程度有効な手を生成できるものは存在する。例えば、布石に関しては、定石のデータベー

スを利用した、人間に近い着手が可能となっている [3]。ヨセに関して言えば、Berlekamp らによって組合せゲーム理論を適用して数理的な解析がなされている [4]。さらに、局所的な盤面に関しては、詰め碁を解くプログラム [5] などの探索を主とした方法や、パターン認識による方法 [6] によって有効な手が生成できる。つまり、コンピュータ囲碁のほとんどの問題点は、中盤の探索空間の大きささと、それに伴う評価の難しさにあると言える。もし、この中盤の局面で注目すべき盤面の一部が分かるのならば、探索空間を大幅に削減できるだろう。

本稿では、囲碁を題材に取り上げ、局面の分節化と注意決定のメカニズムについて提案し、さらに注意の手順についての例を提示する。

2 分節化と注意決定

本節では囲碁における局面の分節化の手法と、分節化された各々の部分局面を評価し、着手する部分局面を決定するメカニズムについて述べる。

2.1 概念

本稿で提案する注意決定の流れを説明する。まず、盤面を複数に分節化する。このとき、囲碁では局面を完全に分割できないので [2]、複数の部分盤面で重複する点が存在することになる。次に、各部分盤面ごとに注意決定に必要な要素を計算する。(注意に必要な要素については、次節で例をあげる。)そして、注意決定を行い、その後は注意された部分盤面に着手するか、または、注意を一つの着手決定への目安として扱うことになる。図 1 は、注意の例で、この図では右下の楕円で囲まれた部分に注意を向けている¹。注意決定までの流れを図 2 に示す。

2.2 注意決定までの手順の例

本節では、上記の注意決定を実装するための具体的な方法を提示する。

¹この図の注意は筆者が作成したもので、プログラムから提示された注意決定ではない。

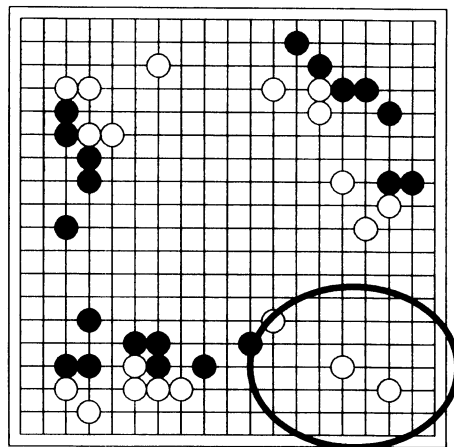


図 1: 注意決定の例

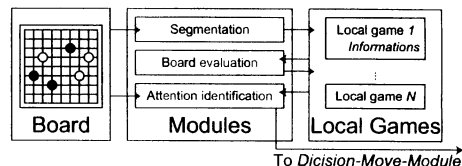


図 2: 注意決定までの流れ

2.2.1 盤面の分節化

ここでは分節化の方法の一つとして「群」と、その「影響力」を基準とした分節化を提案する。ここで言う群とは、コンピュータ囲碁で使われる一般的な意味であり、直接つながっていないが、非常に近くにまとまっている同じ色の石の集合のことである。さらに本稿では、群を、直接つながっていないが、事実上連絡している「連」の集合とする。連とは、直接つながっている同じ色の石の集合のことである。本稿で言う影響力とは、一般的に言うポテンシャルや勢力のことで、石が周りの座標に及ぼす影響のことである。

群を認識するためには、連の他に、石の連絡を表す「結線」を認識しなければならない。結線の認識には、探索や、パターン認識ことが考えられる。また、より簡易的な方法として、下記の影響力 (ポテンシャル) を各石ごとに計算したものから、結線を認識するものも考えられる。現在の主なプログラムでは、結線の認識に、これらのいずれかを用いている [7]。図 3 では、A と書かれた

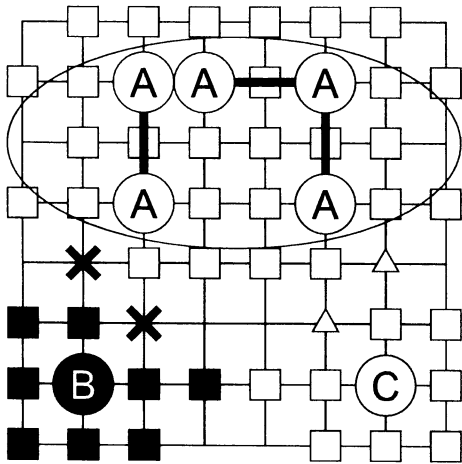


図 3: 分節化に用いる認識の例

白石の結線が太い線で表され、それらが一つの群をなしている（つまり、楕円で囲まれた部分の白石すべてで一つの群となっている）。

群を認識したら、つぎに各群が影響を与える範囲を計算する。影響の計算方法は多数考えられるであろうが、本研究では群の影響力がぶつかり合っている点を用いて群の「関係」を考慮するために、影響力は単純に各石から一定距離の範囲内へと発するものとした。つまり、複数の群の影響力が重なり合う部分があれば、該当する群同士は関係する、ということになる。

また、各石によって発生する影響力の距離が異なることも考えられる。さらに、群の関係は違う色の群の間でしか存在しないものではなく、同じ色の間にも存在することが望ましい。

そして、関係する群同士をひとつの部分盤面として認識する。関係から部分盤面を認識する方法には、(1) 一つの群に対して、それ自身と、関係するすべての群を用いて、一つの部分盤面として認識する方法、(2) 一つの群に対して、それ自身と、関係する（すべてではない）複数の群を用いて、一つの部分盤面として認識する方法、(3) 一つの群に対して、それ自身と、関係する一つの群を用いて、一つの部分盤面として認識する方法、が考えられる。いずれにせよ、この方法を用いると、結果的に前述のように、複数の部分盤面に属する点が存在する可能性がある。図 3 では、黒と白の

それぞれの色の小さな四角形で示された点がそれぞれの色の影響力で、白の三角形で示された点が白の異なる群の影響力がぶつかり合っている点、バツ印で示された点が異なる黒と白の群の影響力がぶつかり合っている点となっている。今、楕円で囲まれた白石の群を基準とすると、(1) の関係から生成される部分盤面は、この図のすべての石と影響力からなる。(3) の関係から生成される部分盤面は、A と書かれた石と B と書かれた石、そしてそれらの影響力からなるものと、A と書かれた石と C と書かれた石、そしてそれらの影響力からなるものが存在する。なお、(2) に該当する部分盤面は、群が 3 つしか存在しないため、この図の例からは生成されない。

すべての群の関係について考慮したならば、最後に、群にも影響にも分類されない空点が残ることになる。これらをどのように認識するかにはいくつかの方法が考えられ、最も単純な方法は、あらかじめ盤面を区切る境界を決めておいて、それらにしたがって、つながった空点同士を一つの部分盤面と認識するものである。ただし、空点だけの部分盤面では、後述する注意決定のための要素の計算に支障が出る恐れがあるため、空点の周りにある群やその一部も部分盤面に含んだ方が良くと考えられる。

2.2.2 部分盤面の注意に必要な要素の計算

分節化され生成された各部分盤面について、注意決定に必要なだと考えられる要素について考察する。

まず、注意すべき場所を決定するということは、着手すべき場所を発見するということであるので、少なくとも着手に必要なクリティカルな要素は計算する必要がある。よって、該当する要素の計算には計算コストをかける価値がある。ここでは、クリティカルな状態を表す要素として、重要度と緊急度を考える。重要度は、その部分（盤面）が全体の中でどれだけ重要であるかを示し、緊急度は、その部分がどれだけ忙しい状態にあるかということを示すものとする。これらを導くために最も重要な要素で、かつ計算コストがかかるものは、生き死にの探索と攻め合いの解析である。しかし、計算コストをなるべく抑えるために、これらを求

めるアルゴリズムは工夫されたものであるべきで、具体的には Benson のアルゴリズム [8] や Muller の手法 [9] が参考になる。その他の計算コストがかからない要素についても、必要なものとして積極的に取り入れていくべきだろう。

各部分盤面ごとに計算した要素から、その部分に着手することが、どのような意味を持つのかを解析することは、注意決定時に役に立つだろう。なぜなら、ある盤面の状況が分かり、その状況に適した戦略や目標が明確にあるならば、その戦略や目標に適した部分盤面に着手するのが自然であり、それには各部分の着手の意味が重要だからである。もしもその状況に適切な部分に注意したのならば、それは目標や戦略に沿っている注意だということになる。その部分盤面が持つ意味と、全体の状況から発生した目標や戦略が一致するかどうかの確認を容易にするために、それらは同じ構造であることが望ましい。

分節化は盤面ごとに異なるものであるが、もし、前の盤面から着手によって生成された現在の盤面について分節化するとき、前の盤面と変化していない部分盤面については、前の盤面で計算した要素を流用することができるだろう。つまり、変化した部分盤面の要素のみを再計算し、変化のない部分盤面については前のデータを保持することで計算コストが削減できる。このように、分節化によって着手に必要な要素の計算の結果を保持することが容易になる。

2.2.3 注意決定

注意は、分節化された部分盤面に対して、何らかの方法で評価値を生成し、それを基準として特定の部分盤面を選び出すという方法で実装される。

注意決定では、全体の状況を判断した結果と、前述した各部分盤面のその部分に着手することの意味、との比較が重要になる。ここで言う状況とは、例えば形勢はどちらに有利か、何目の差があるか、戦いの最中であるか、などである。この状況を認識するには、各部分盤面について計算した結果（要素）を用いることもできるが、新たに計算する要素が存在するかもしれない。もしも状況が正しく認識でき、盤面全体の目標や戦略が決まるのならば、それ以前の盤面で生成された目標や

戦略を考慮することによって、コンピュータ囲碁が抱える問題のひとつである、目標の持続性の問題を解決できる可能性がある。

評価値は、部分盤面ごとの要素に、ある正の実数の係数（パラメータ）を掛け合わせ、それらの和で計算することができる（線形和関数 [10]）。そのとき、クリティカルな要素である重要度や緊急度、またはそれに関わるものには、大きい値のパラメータが設定されるべきである。これらのパラメータの調整については今後の課題であるが、それは製作者の経験や勘で設定されるか、各種学習アルゴリズムによって設定されることになるだろう。また、パラメータが目標や局面の状況によって動的に変化することで、より柔軟な注意決定が実現できることが期待される。パラメータが決まったならば、評価関数が出した評価値に従って注意する部分盤面を決定する。

2.2.4 注意後の着手決定

我々の注意決定の本来の目的は、着手を考慮する部分がある盤面の一部に限定することである。しかし、本研究はいまだ実装・評価中であるため、実際にその目的が達成できる保障はない。よって、注意決定はそのような目的だけではなく、他の着手方法の補助的な評価値として用いることも検討すべきである。このような方法で用いた場合、着手の妥当性の確認を行う機構が増えることによって、現在の囲碁プログラムが生成する誤った着手を抑制できる可能性がある。

3 分節化についての簡易実験

本稿で提案してきた注意決定のための分節化について、プロトタイプを作成し、被験者を使って簡単な実験を行った。この実験の目的は、分節化が適切なものかを評価することである。

実装方法は、結線の認識に石の影響力を使い、群の影響力はすべての群で一定に固定した。部分盤面は、(1) 一つの群に対して、関係する異なる色の群を一つだけ取り出す方法、(2) 一つの群に対して、関係するすべての異なる色の群を取り出す方法、(3) 一つの群に対して、関係するすべて

| 認識方法 | 非常に適切 | 適切 | 不適切 | 非常に不適切 |
|------|-------|-----|-----|--------|
| (1) | 3% | 22% | 48% | 27% |
| (2) | 12% | 28% | 35% | 26% |
| (3) | 29% | 23% | 31% | 17% |

表 2: 簡易実験の結果

の群を取り出す方法、の三通りについて実装し、実験を行った。

手順は、被験者にある盤面を見せ、その中で着手を決定してもらう。その後、その盤面について、上記の3通りの方法で、プログラムが分節化した部分盤面を提示し、すべての部分盤面について、「非常に適切」、「適切」、「不適切」、「非常に不適切」のいずれかで答えてもらった。また、一つの盤面についてのこれらの手順を終えるたびに、被験者に対話によって評価の要因を尋ねた。

被験者は囲碁の中級レベルのプレイヤー2名で、実験した盤面数は6盤面で、それぞれの盤面を上記の3通りの方法で分節化した。

結果を表2に示す。(1)の方法については、非常に適切、適切をあわせても25%で、非常に不適切、不適切をあわせた75%を大きく下回り、不適切であるという評価が多かった。理由としては、考慮している範囲が狭すぎるという意見が多く出た。(2)については、非常に適切、適切をあわせると40%で、非常に不適切、不適切をあわせると60%だった。(3)については、非常に適切、適切をあわせると52%で、48%が非常に不適切、不適切、という結果であり、唯一、適切であるという評価が不適切であるという評価を上回った。

このプログラムが認識した結果に対して、不適切だと判断した理由は、すべての方法でほぼ一致し、以下の3つに大きく分けることができた：

- 必要な石や点が抜けている（範囲が狭い）
- 盤面の切り出し方が中途半端である
- 不要である、関連性が見出せない

3種類の分節化の方法のうち、一番適切な分節化は、関係するすべての群から認識した場合であるという傾向が見られたが、それでもまだまだ適切な認識を行う方法であるとは言えない結果となっ

た。これらを改善するには、本稿で述べた分節化の手法を実装し、さらに評価・改善を繰り返すことが必要である。また、被験者の意見から、無駄な部分盤面を認識し、排除することで分節化、ならびに注意決定の結果が向上するものと考えられる。

4 課題と考察

囲碁において、盤面を分節化してから注意決定を行い、探索空間を削減するには、克服しなければならない様々な問題の発生が予想される。ここでは、それらの課題の詳細をあげ、考察する。

4.1 適切な空間分節化

分節化の適切さを数量的に評価することは難しい。理由として、人間の強いプレイヤーは部分盤面を長期記憶にあるパターンや経験などから捕らえていると考えられており[11]、それは記述することが困難であることがあげられる。また、人間の感覚に合った分節化が、必ずしもコンピュータにとって有効なものとは言えないこともあげられる。しかしながら、もし分節化の段階で適切さを評価しなければならないのならば、現状での基準は人間の感覚に頼らざるを得ない。

分節化に利用する群の影響力は、各群の強さによって影響力のおよぶ範囲を変化させる必要があるかもしれない。また、局面の状態によって影響力の強さを変化させることも、検討するべきである。

4.2 部分盤面の要素の計算

適切な注意決定には、評価関数のパラメータよりも計算された要素の種類や質のほうが大切かもしれない。しかし、我々が欲する要素をすべて計算させることは、コストを考えた上では現実的でない。たとえ部分盤面の要素を時系列に沿って保持したとしても、すべての要素を計算により得ることはできない。囲碁における質の高い着手の要素は、計算コストが高いものが多い。そのようなときには、パターン認識などを用いて効率的に要素の値の近似値を計算するなど、多少の工夫が必要になる。

囲碁の盤面を分節化しても、それぞれの部分盤面にとって、近くのほかの部分盤面の状態は無視できず、完全に独立なものとして考えることはできない。このようなときは、単一の部分盤面にとらわれず、盤面全体を考慮することが望ましい。しかし、そのときの計算コストには気をつける必要がある。

4.3 注意決定の課題

正しい注意決定には、分節化された部分盤面の注意に必要な要素の正しい計算結果のほか、線形関数、およびそれに代わる関数のなかの適切な要素の係数（パラメータ）の設定が必要になる。適切なパラメータを設定するには、プロの棋譜を教師信号とした学習を適用することも視野に入れるべきである。

5 まとめ

本稿では、注意決定と盤面の分節化について提案し、また、盤面の分節化について簡単な実験の結果を提示し、注意決定の利点や問題点について考察した。本稿で述べた内容については、現在、我々が作成している囲碁プログラムに実装中である。今後は、これらの実装を終え、評価・改善を繰り返していく。

参考文献

- [1] Martin Muller. Position Evaluation in Computer Go. *ICGA Journal*, Vol. 25, No. 4, December.
- [2] J.S. Reitman. Skilled Perception in Go. *Cognitive Psychology*, Vol. 8, pp. 336-356, 1976.
- [3] 齊藤康己. 囲碁 これからは囲碁プログラミングが面白い. 松原仁, 竹内郁雄 (編), ゲームプログラミング, pp. 59-72. 共立出版, 1998.
- [4] E. Berlekamp and J. H. Conway. *Winning Ways - for your Mathematical Plays* -. Academic Press, 1982.
- [5] T. Wolf. The Program GoTools and its computer-generated tsumego database. ゲーム・プログラミングワークショップ'94, pp. 84-96, 1994. the 1st Game Programming Workshop, <http://alpha.qmw.ac.uk/ugah006/gotools/>.
- [6] 清慎一, 川嶋俊明. 記憶に基づく推論を使った囲碁プログラム「勝也」の試作. ゲーム・プログラミングワークショップ'96, pp. 115-122, September 1996. the 3rd Game Programming Workshop.
- [7] 清慎一, 佐々木宣介. 囲碁プログラミング講習会 ～マニュアル (その2) ～, 2004. 岐阜チャレンジ 2004 囲碁プログラミング講習会資料 <http://www.linkclub.or.jp/namanama/SGFnote/SGFUserGuide.html>.
- [8] D.B Benson. Life in the Game of Go. *Information Sciences*, Vol. 10, pp. 17-29, 1976.
- [9] Martin Muller. Race to Capture: Analyzing Semeai in Go. *Game Programming Workshop in Japan'99*, Vol. 99, No. 14, 1999.
- [10] Stuart Russell and Peter Norvig. エージェントアプローチ 人工知能. 共立出版, 1997. 古川康一 監訳.
- [11] 吉川厚. ゲームプログラミングと認知科学. 松原仁, 竹内郁雄 (編), ゲームプログラミング, pp. 207-219. 共立出版, 1998.