

囲碁の知識記述言語“爛柯”と “爛柯”を用いた囲碁対局システムの構成

丸山真佐夫, 吉田真, 並木美太郎, 高橋延匡

(東京農工大学 工学部 電子情報工学科)

本報告では, 囲碁の知識記述言語“爛柯”と, “爛柯”を用いた囲碁対局システムの構成について述べる.

“爛柯”は, 人間プレイヤーの囲碁対局の特徴の一つである, 局面に対する注意の集中の過程(“着眼点の絞り込み”)を, 囲碁の知識を利用して処理する, ルールベースの言語である.“爛柯”の特徴は, (1) 後ろ向き推論を行なうプロダクションシステムであること, (2) 複数の, 動的に生成される局面構成要素を扱えること, (3) ルールの条件を着眼点を達成するための先手数の式として表現できること, などである.

LANKA, a language for describing knowledge in the game of Go and the construction of a Go-playing system using LANKA

Masao Maruyama, Makoto Yoshida,
Mitarou Namiki and Nobumasa Takahashi

Department of Computer Science,
Faculty of Technology,
Tokyo University of Agriculture and Technology,
2-24-16, Naka-cho, Koganei-shi, Tokyo, 184 Japan

This paper presents LANKA, a language for describing knowledge in the game of Go and the construction of a Go-playing system using this language.

LANKA is a rule-based modeled language in which processing using knowledge of Go focuses on part of the board, a technique which is one of features of human Go playing.

The principal features of LANKA are :

- (1) it is a production system with depth-first backward reasoning
- (2) it can handle plural, dynamically generated board components
- (3) it can describe the condition of rules in terms of the number of moves required for attaining a certain goal.

1. はじめに

われわれは現在、計算機による囲碁対局システムの実現を目標とした研究を行なっている。

計算機の問題としての囲碁の特徴には、局面あたりの合法手の数が多いこと、局面を評価する基準が複雑であることなどがある。これらの特徴のために、ゲーム木探索を基本とする手法によって、強い囲碁対局システムを実現することは難しいと考える。われわれは、ゲーム木探索中心の手法にかわるものとして、“人間プレイヤーの囲碁対局の方法の模倣”を、囲碁プログラム研究の基本方針としている。

ここで問題になるのは、人間プレイヤーの方法から何を模倣するかである。われわれはこれについて、(1)着手決定までの思考の過程、(2)局面認識の構造、(3)囲碁に関する知識の利用、の3点が重要であると考えられる。

(1)に関して、人間プレイヤーは、着手決定過程における思考のほとんどを、盤面のごく限られた領域に集中して費やすことによって、合法手の多さに対処していると考えられる。われわれは、人間プレイヤーが注目領域を集中してゆく過程を“着眼点の絞り込み”としてモデル化した。“着眼点の絞り込み”は、知識処理的な過程であるという点で、上記(3)にもかかわる。

われわれは“着眼点の絞り込み”を実現するための機構として、ルールベースの知識記述言語“爛柯”を設計、実現した。本報告では、“爛柯”と、“爛柯”を用いて実現する囲碁対局システムの全体構成について述べる。

2. 囲碁対局の方法のモデル化

本節では、1の(1)、(2)に関して、われわれの囲碁対局システム全体の構成を規定する、人間プレイヤーの囲碁対局の方法のモデルを述べる。

2.1 思考過程のモデルと“着眼点の絞り込み”

われわれは、人間プレイヤーの着手決定までの思考過程を、

(a) 局面認識

(b) 局面評価

(c) 着眼

(d) 着手選択

の4フェーズにモデル化した。

われわれが特に重要であると考えたのは、(c)着眼フェーズである。1で述べたように、人間プレイヤーは盤面全体に対して均等に注意を払うのではなく、思考のほとんどを、盤面のごく限られた部分に集中して費やしている。われわれは、人間プレイヤーの注意の集中過程を“着眼点の絞り込み”と呼んでいる。

人間プレイヤーの“着眼点の絞り込み”の特徴は、次の(1)、(2)であると考えられる。

(1) 着眼点によって注目領域・視点を限定する

人間プレイヤーの局面に対する注意は、“何を、どうする”という形で表現できる。たとえば“ある弱い石群を助ける”、“二つの石群の連結経路を分断する”などである。“何を、どうする”、すなわち着手対象と着手目的の組を、着眼点と呼ぶ。

(2) “着眼点の絞り込み”が段階的に行なわれる

たとえば、大石が危険な状態にあるとき、人間プレイヤーは、まずその石群を助けることを考える。その後、逃げる、眼を作る、味方に連絡するなどの、より具体的な手段を検討する。さらに、味方に連絡するための手段として、ワタリなどの手を考える。

このように、人間プレイヤーの“着眼点の絞り込み”は、漠然とした着眼点から具体的なかつ詳細な着眼点へと、段階的に進められる。

2.2 局面認識の構造

人間プレイヤーは、囲碁の局面を、単なる石の配置としてではなく、意味を持った石の集合や、石集合間のつながりとして認識している。囲碁プログラム研究においては、この石集合の単位として、階層的な構造を導入することが多い[1][2]。われわれは、局面認識の構造のモデルとして、次のよ

うな石集合の階層の概念を導入している[3].

- (1) 点：空，黒，白のいずれかである，碁盤上の格子点そのもの
- (2) 連：縦または横に隣接した，同色石の集合。
囲碁のルール上の除去の単位
- (3) 鎖：一つの空点の閉領域を囲む連の集合。眼を持つ単位
- (4) 群：一定以上の強さで連結している連の集合。
攻撃や防御の対象になる単位

さらに，同色の連間の連結の経路として，次の連間結線を定義する。

- (5) 連間結線：二つの同色連を結ぶ経路になっている仮定する，仮想的な線

人間プレイヤーは“地”，“模様”などの，空点の集合にも注目している。われわれは，これら空点の集合は，石集合に付属するものであると考え，局面を構成する要素には含めていない。現在“地”，“模様”は，いずれも群に付属する点領域として扱っている。

3. 囲碁の知識記述言語“爛柯”

2.1 で述べた“着眼点の絞り込み”には，囲碁知識の利用が不可欠である。われわれは，着眼点に関する知識の記述するための枠組みを提供し，またその知識を用いて着眼フェーズを処理するための機構として，知識記述言語“爛柯”を実現した。従来から，定石や手筋などを知識的に処理するシステムが報告されている[1]。着手を抽象化した着眼点を知識として扱う点に，“爛柯”の特徴がある。

本節では，“爛柯”の設計を述べる。

3.1 着眼フェーズの知識表現における問題

ここでは，囲碁の着眼フェーズにおける知識を表現する際の問題を述べる。

(1) 扱う対象は局面構成要素とその状態である

2.2 で述べたように，われわれは局面認識の構造として，群などの局面構成要素を導入している。この局面認識，表現のモデルにしたがって，囲碁局面を扱えることが必要である。

(2) 複数の動的に生成される局面構成要素を扱う必要がある

局面構成要素の実体は，ゲームの進行に応じて動的に生成され，その数も変化する。このような複数の，動的に生成される局面構成要素を一般的に扱える機構が必要である。

(3) 着眼点の達成可能性を，一般の論理値で表現できない

着眼点の知識において，着眼点の達成可能性を {ture, false} の論理値で表現することには問題がある。これを次に例示する。

“ある群 G を包囲することができ，かつ G に 2 眼を作らせないことができるならば，G を殺すことができる”という知識を，次のように表わすものとする。

```
if      可能である(G.包囲する) &  
        可能である(G.2眼を作らせない)  
then    実現できる(G.殺す)
```

このルールを図 1 の局面に適用してみよう。黒からは A に着手することによって，G を包囲できる。また B に着手ことで，G に 2 眼を作らせないことが可能である。しかし，黒 A に対しては白 B，黒 B に対しては白 C と応じることで，G は生きることができる。包囲する，2 眼を作らせないという着眼点を個々には達成できるにもかかわらず，黒から G を殺すことは不可能である。

逆に，図 1 の局面において白から G を生かすための着手は不要である（囲碁の用語でいう“見合い”の状態）。

ここで述べたように，着眼点の達成可能性を論理式によって表現することはできない。

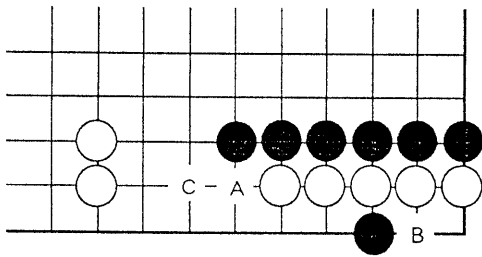


図 1 論理値による評価が適用できない例

3.2 “爛柯”の設計方針

3.1 に示した問題を解決することを目標として、“爛柯”の設計を行なった。“爛柯”の設計方針を次に示す。

(1) プロダクションシステムを採用する

“着眼点の絞り込み”の処理は、着眼点をノードとする木（着眼点木）の探索の過程として表現できる（図 2）。この着眼点木の知識表現、探索のモデルとして、プロダクションシステムを採用する。

われわれが扱おうとしている着眼点の知識は、特定の（部分）局面に対して有効な手段となる着眼点を指示するものである。プロダクションルールによる知識表現は、このような知識の記述に適していると考えて、プロダクションシステムを選択した。

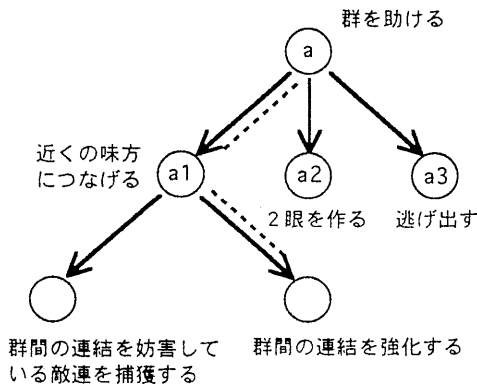


図 2 着眼点木の図

(2) 局面構成要素（の状態）を作業記憶のデータとしてルールに記述できるようにする

われわれは 2.2 で述べたように、局面を連、群などの局面構成要素によって表現している。“爛柯”は、作業記憶内の各データの参照を“対象 + 属性（列）”によって指定する。各局面構成要素を対象に、局面構成要素の状態（色、石数、安全度など）を対象の属性に対応させることによって、これらの局面構成要素を扱うことができる。

(3) 対象変数によって複数の、動的に生成される局面構成要素を扱う機構を提供する

局面構成要素の実体は、局面の変化に応じて動的に生成される。複数の、動的に生成される局面構成要素を一般的に表現するために、“爛柯”は、ルール記述に変数（対象変数と呼ぶ）を用いることを許す。

(4) 着眼点の達成可能性を、ルールの条件として記述できるようにする

3.1 の (3) の問題を解決するために、“爛柯”ではルールの条件部を、着眼点達成に必要な“先手数”の式として表現する。“先手数”の定義は、3.3 で述べる。

3.3 “爛柯”の言語モデル

ここでは、“爛柯”の言語モデルについて述べる。

(1) 推論方式

“着眼点の絞り込み”は、図 2 の着眼点木を根から葉方向にたどるものである。これを実現するために、“爛柯”の推論機構は、深さ優先の後ろ向き推論を行なう。

“爛柯”における、ルール適用の順序は、推論の効率だけではなく、結果として得られる手の質にも影響を与える。この点から、ルールの適用順序をルール中に示すことにした。

(2) 先手数による条件の表現

3.2 で述べたように、着眼点の達成可能性を表現するために、ルールの条件を着眼点達成に必要な先手数の式として記述する。先手数の定義を次に示す。

(a) 先手数の定義

二人の対局者を P_A, P_B, P_A が着眼点 f を達成するために打つ必要がある着手数を m_A , それに対する P_B の応手の数を m_B とする。このとき、 P_A が f を達成するための先手数 M_f を、 $M_f = m_A - m_B$ と定義する。

(b) 先手数に対する \wedge, \vee 演算の定義

f, g を着眼点とする。 $f \wedge g, f \vee g$ に対する先手数 $M_f \wedge g, M_f \vee g$ を、

$$M_f \wedge g = M_f + M_g$$

$$M_f \vee g = \min(M_f, M_g) \quad (M_f \neq 1 \text{ または } M_g \neq 1) \\ = 0 \quad (M_f = M_g = 1 \text{ のとき})$$

と定義する。 $M_f \vee g$ の 2 行目の定義は、“見合い”の概念を実現するためのものである。

(c) 条件部の評価

“爛柯”の推論機構は、上の先手数の定義にしたがって、ルールの条件部を評価する。手抜きがない場合、着眼点を達成するためには、必要な先手数が 1 以下でなくてはならない。したがって、条件の評価結果が 1 以下のときに条件は成立し、2 以上のとき成立しないものとする。先手数が 0 の場合、結論部はすでに達成されていて、これ以上の着手が不要であることを表している。

ルール中には、“同色である ($G1, G2$)”のような、論理値をとるべき条件も存在する。これに対しては、true→先手数 0, false→先手数 ∞ とすることで、先手数と共存させることができる。

3.4 “爛柯”ルールによる知識表現

“爛柯”のルールは、次の (1)~(6) から構成される。

(1) ルール名の宣言

ルールの名前を記述する。単なるラベルであり、“爛柯”の動作には影響しない。

(2) 対象変数の宣言

ルール中で使用される対象変数と型（連、群など）を宣言する。

さらに、対象変数への対象のバインドに関して、“すべての〜に対して”に相当する処理を指示する“and | or vector of”の宣言を含むことができる。この宣言はたとえば、“連 s を構成するすべての石が 6 線以下にあるとき、 s は辺にある”という知識を表現するために必要である。

(3) 目標変数の宣言

(2) で宣言のうちから、ルールが書き換えの対象としている対象変数を指示する。

(4) 条件部

着眼点を達成するための“先手数”の式として表現された、ルール適用の条件を記述する。式の“先手数”が 1 以下のとき、条件が成立するものとして扱う。

(5) 結論部

条件が成立した場合に実行する手続き列を記述する。

(6) 価値部

ルール適用の順序を制御するための、ルールの価値の大きさを記述する (3.3 参照)。

図 3 に、“ある群 $G1$ について、 $G1$ と $G1$ の近くにあるすべての同色の群 $G2$ とを結ぶ結線を切断できるなら、 $G1$ を孤立させることができる”という知識を表わす“爛柯”ルールの例を示す。左の数は、上の (1)~(6) との対応を表わす。

```

1:rule 群を孤立させるルールの例;
2:object G1:群;
      G2:and vector of 群;
      L:連間結線;
3:target G1;
4:if 近くにある(G1,G2) ∧
     同色である(G1,G2) ∧
     結ぶ(L,G1,G2) ∧
     可能である(L,切断する)
5:then 実現できる(G1,孤立させる)
6:value add(G1,石数,G1,危険度)
end;

```

図 3 群を孤立させるルールの記述例

4. “爛柯” 処理系

4.1 “爛柯” 処理系の設計方針

われわれは、前節の設計に基づいて、“爛柯” 処理系を実現した。“爛柯” 処理系の実現にあたって設定した設計方針は、次の (1)~(3) である。

(1) 扱う局面構成要素を容易に拡張できるようにする

(2) 関数（演算操作）の追加，変更を容易に行なえるようにする

これらは、“爛柯”の実験システムとしての性格にかかわる。

われわれが現在定義している局面構成要素は、将来の研究の発展の中で変更される可能性がある。また、関数についても同様である。したがって、“爛柯” 処理系には、これらの修正，拡張が容易に行なえることが求められる。

(3) “爛柯”の外から作業記憶にアクセスしやすくする

“爛柯” 処理系は、単体で動作するプログラムではない。囲碁対局システムの中で、着眼フェーズの中心的な構成要素になることを想定している。“爛柯”の推論によって得た結果を、囲碁対局システムの他の部分が参照したり、逆に他の部分で

得たデータを“爛柯”の作業記憶に反映したりすることが必要になる。そのため、作業記憶へのアクセスは容易であることが求められる。

4.2 “爛柯” 処理系の実現

4.1 の設計方針にしたがって、“爛柯” 処理系を実現した。“爛柯” 処理系の構成を、図 4 に示す。処理系は言語 C で記述した。処理系本体のソースコードサイズは約 13000 行、関数ライブラリなどを含めて全体で約 18000 である。

4.1 の各項目に対応する、“爛柯” 処理系の実現上の特徴を示す。

(1) 局面構成要素，関数を可能な限り処理系本体と独立にすることで，追加や変更の容易性を確保した

(2) 対象の属性値集合に言語 C の構造体などのような構造を持たせることによって，各属性値のアドレスを簡単に得られるようにした

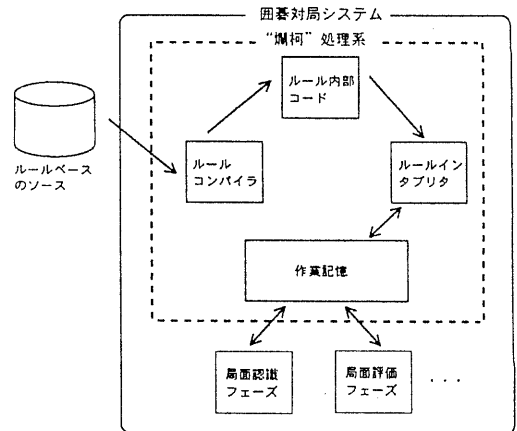


図 4 “爛柯” 処理系の構成

5. “爛柯”を含む囲碁対局システム

本節では、“爛柯”を含む囲碁対局システムの構成について述べる。この囲碁対局システムの中で“爛柯” 処理系は、着眼フェーズの中心的な構

成要素になる。

5.1 対局システムの構成

2.1 に示した思考モデルに基づいて囲碁対局システムを構築する場合、次の (1), (2) を考慮する必要がある。

(1) 思考の後戻り

着手決定の思考過程が、2.1 の (a)~(d) のように一直線に進むのはまれである。多くの場合、思考の後戻りが生ずる。たとえば、“味方の弱い群 g を補強する”という着眼点に基づいて着手選択フェーズを実行したが、その過程で g はすでに死んでいることが判明することもあり得る。この場合、別な着眼点を選出しなおすが必要になる。

(2) 無駄な局面評価の排除

2.1 のままでは、着眼、着手選択フェーズで必要な局面評価結果のすべてを、局面評価フェーズであらかじめ与えておくことになる。局面評価の段階では、後のフェーズでどんな情報が必要になるかを知ることができない。そのため、結局利用されない項目についても、評価を行なうことになる。

(1), (2) を考慮して、実際の囲碁対局システムは、図 5 のように、着眼フェーズが局面評価、着手選択フェーズを制御する構成をとることにした。着眼フェーズと、局面評価、着手選択フェーズとのインタフェースは、“爛柯”ルール中の関数呼出しとして実現される。

5.2 囲碁対局システムにおける戦略のレベル

“爛柯”の処理モデルである“着眼点の絞り込み”は、最初に設定した着眼点に対して、局所的な領域における最善手を得るものである。したがって、“爛柯”の処理の結果として得られた着手が、全局的な観点から見て最善手であることは保証されていない。また、着眼点木の根ノードにあ

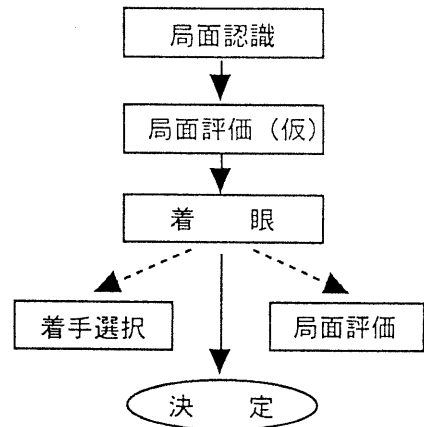


図 5 囲碁対局システムの構成

たる着眼点を決定する方法という問題も存在する。これらは、“着眼点の絞り込み”の上位にくる戦略の扱いという点で、本質的に同じ問題である。

ここでは、“戦略”を着眼点や着手の決定方法という意味で用いる。筆者は、囲碁における戦略を、次の三つの階層に分類できると考える。

(1) 部分局面にだけ注目する戦略

これは、着眼点間の関係を考慮することなしに、最初の着眼点を設定し、以後もそれ以外の着眼点との関係や、他の領域への波及効果を考慮しない戦略である。

(2) 現局面に関して、全局的な観点に立つ戦略

囲碁では、一つの着手が複数の着眼点を満足したり、逆にある着眼点を満足する着手が、別の領域の味方に悪影響を及ぼしたりすることがある。

このような、着眼点や着手の相互干渉に対処するためには、全局的な観点から着眼点の影響をチェックする戦略が必要である。

(3) ゲームが進行しても継続する戦略

アマチュア中級以上の棋力を持つプレイヤーは、敵の石群 A を攻めるために、まず A が逃げてゆく方向の自軍を強くして、それから A に攻撃をかけるというような手順をとることがある。

これを実現するためには、次の手に直接結びつか

ない“Aを攻める”という着眼点を、準備段階（Aが逃げてゆく方向の自軍を強くする）においても、上位の着眼点として継続する戦略が必要になる。

5.3 囲碁対局システム実現の方針

下位のレベルの戦略を実現しないまま、より上位のものを実現するのは不可能である。われわれは、もっとも基本的な(1)のレベルの戦略から実現し、段階的に高度な戦略を扱えるようにしてゆくべきであると考え。

上の方針にしたがって、われわれの囲碁対局システムでは、まず(1)のレベルの戦略を採用することにした。すなわち、(a)着眼点間の関係を考慮しない範囲で、現局面における、もっとも価値の高い着眼点を選出し、(b)その着眼点を満足するもっともよい手を、次の1手として選択することを、システムの目標とする。

(a)に関して、われわれは、“勢力”を用いて計算した石集合の価値、安定度、包囲度などを評価する手法の実験を行なった[4]。これを利用して、着眼点を選出する。(b)に関しては、“爛柯”の処理結果として得られた着手候補を、そのまま次の1手とする。

上述の構成をとる囲碁対局システムの実現、評価を行なった上で、段階的に(2)、(3)の戦略を扱うシステムに発展させてゆく。このとき、戦略の一貫性を保つことなどに、着眼点を利用できると考えている。

6. おわりに

本報告では、囲碁の知識記述言語“爛柯”と、“爛柯”を用いて実現する囲碁対局システムについて述べた。

“爛柯”によって、囲碁対局システムの着眼フェーズを知識処理的に実行するための機構が実現できた。今後の課題は、(1)“爛柯”上に実用規模のルールベースを構築し、その上で“爛柯”の評価を行なうこと、(2)“爛柯”を用いた囲碁対局システムを実現すること、である。

参考文献

- [1] Mano, Y., “An approach to Conquer Difficulties in Developing a Go Playing Program”, Journal of Information Processing, Vol.7, 1984
- [2] 実近, “知識指向型囲碁プログラム GO.1 の戦略”, 情報処理学会記号処理研究会資料, 43-2, 1987
- [3] 丸山, 並木, 高橋, “囲碁対局システムにおける着眼点の選出”, 情報処理学会第46回全国大会講演論文集, 3E-1, 1993
- [4] 丸山, 並木, 高橋, “勢力場モデルに基づく囲碁の局面評価”, 情報処理学会第44回全国大会講演論文集, 1R-5, 1992