組合せゲーム理論を用いた囲碁の攻合い解析システム

二井 洋平 † 中村 貞吾 ††

† 九州工業大学大学院 情報工学研究科 情報科学専攻
†† 九州工業大学 情報工学部 知能情報工学科

概要

組合せゲーム理論は、全体局面が独立な部分局面の和に分割できるようなゲームの解析に力を発揮してきた。その例として部分性が非常に顕著に現れる囲碁のヨセ局面解析が行われてきた。また、ヨセ局面と同様に部分性があり、重要な局面である攻合い局面に適用し相手の石のダメを埋めるのにかかる手数を組合せゲーム理論のスコアと対応させることにより、ヨセ局面と同様に計算でその勝敗の判定ができるとされた。本論文では、組合せゲーム理論を用い、ユーザが囲碁の攻合い局面を解析するのをサポートをするシステムを紹介する.

A System for Analysing Semeais using Combinatorial Game Theory

Youhei NII† and Teigo NAKAMURA††

† Graduate School of Computer Science and Systems Engineering, Kyushu Institute of Technology
†† Department of Artificial Intelligence, Kyushu Institute of Technology

Abstract

Combinational game theory (CGT) is used for analysis of game positions that can be divided into some independent sub-positions. In case of the game of Go, it has been used for analysis of endgames because they usually can be divided into sub-positions. Besides, it also can be applied to analysis of capturing races, and it is possible to calculate which player wins the race regarding the number of each player's liberties as a score in CGT. In this paper, we introduce a tool which helps users to analyze a capturing race by using CGT.

1 はじめに

組合せゲーム理論 [1] は，全体局面が独立な部分局面の和として分割できるゲームの解析に非常に有効である． 囲碁はこのような部分局面に分けやすい性質がある。このことから囲碁の解析にこの理論を適用した研究がなされてきた．そのうちの一つで，囲碁の最終盤局面であるヨセ局面に組合せゲーム理論を適用し，解析を行った研究がある．ヨセ局面とは，双方の着手で囲碁の最終的なスコアである地を直接的に増減させるという重要な局面である．この研究は，地を組合せゲーム理論のゲームのスコアと対応させて解析を行うという研究であった．これまでに囲碁の最終盤のヨセ局面に適用し，プロ棋士でも難しいとされる局面に対しても正解を与えるといった成果が報告されている．近年では囲碁の攻合い局面 [2] にも組合せゲーム理論の有効性が確認されている [3]．本研究では，囲碁の攻合い局面を入力して，ユーザが着手点を指定することでスコアを算出し，組合せゲーム理論による解析を行い，攻合いの勝敗判定を行うシステムを作成する．

2　組合せゲーム理論

ここでは，本論文で必要になる組合せゲーム理論の基本的な概念とゲームの表現法について説明する．組合せゲーム理論では，２人のプレイヤーを仮定し一方を Left，もう一方を Right と呼ぶ．また，ゲーム局面を $G = \{G_1^L, G_2^L, \ldots | G_1^R, G_2^R, \ldots\}$ と表す．G_i^L は Left が着手してできる局面またはスコア，G_i^R は Right が着手してできる局面またはスコアを表している．組合せゲーム理論では，ゲーム木の表現がこれまでの minmax 木と異なり，ノードから左にのびる枝は Left の着手，右にのびる枝は Right の着手を表している (図 1)．また，ゲーム局面を特徴づける指標として，平均値と温度と呼ばれる２つの値を用いることがある．ゲーム局面の平均値とはその局面においてどちらがどれだけ有利かを表した値である．また，ゲーム局面の温度とはその局面に対する次の一手の大きさを表した値である．

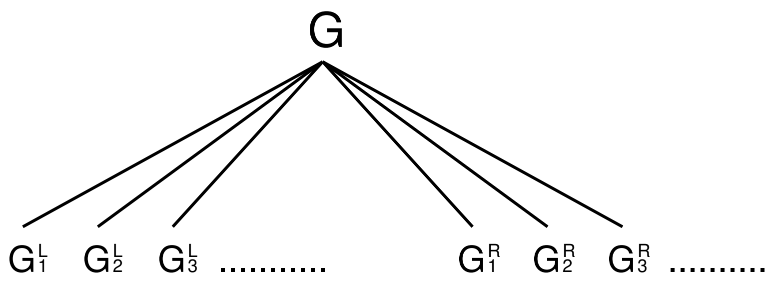

図 1: ゲーム木の表現法

3　囲碁の攻合い局面の解析

本研究で対象としている囲碁の攻合い局面について例を示し説明する．囲碁の攻合い局面はヨセ局面と違い，囲碁のスコアである地に直接作用するものではないが，中盤以降に現れる局面で相手の石を取ることで間接的に地に作用する重要な局面である．攻合い局面では，攻合いの対象になっている石に隣接している空点を埋められるとその石は取られてしまう．この空点をダメと呼ぶ．また、対象となっている石を対象ブロック (essential block) と呼ぶ．ダメを全て埋めるのに費す着手の回数を「手数」と呼び，この「手数」を攻合い局面のスコアと考える．攻合い局面では相手の対象となっている石のダメを何手かけて全て奪うかが攻合い局面の勝敗を決める．ここでは白が黒石のダメを埋めるのに費す着手の回数を正の数，黒が白石のダメを埋めるのに費す着手の回数を負の数で表現する．図 2 の局面は，攻合い局面の例である．この局面での攻合いの対象は e のついた黒石と白石である．図 2 の攻合い局面は３つの部分局面に分割することができる．図 3 は図 2 の右上部分の部分局面である．図 3 では黒が 1 に着手を行うと手数が 4 になり，白が 1 に着手を行うと手数が 0 になる．この部分局面は組合せゲーム理論で $\{4|0\}$ と表される．図 4 は図 2 の右下部分の部分局面である．図 4 では黒が 2 に着手を行うと手数が 6 になる．また白が 2 に着手を行った後，黒が 3 に着手を行うと手数が 4 になり，白がたてつづけに 2，3 に着手を行うと手数が 0 になる．この部分局面は $\{6|\{4|0\}\}$ と表される．図 5 は図 2 の左部分の部分局面である．図 5 では 1 つのダメを埋めるのに必要な着手が 1 手であるので手数が -7 になる．

攻合い局面を組合せゲーム理論で表現するためには，対象ブロックの手数を数える必要があるが，対象ブロックの手数を数える上で考えなければならないことがある．攻合い局面においては，攻撃側

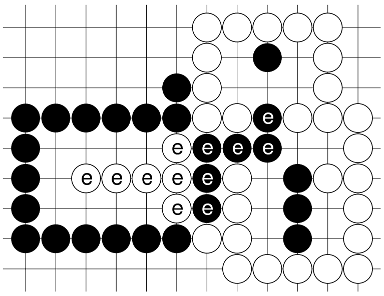

図 2: 攻合い局面の例

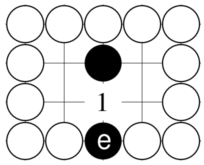

図 3: 部分局面 1

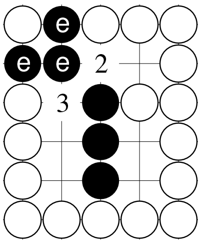

図 4: 部分局面 2

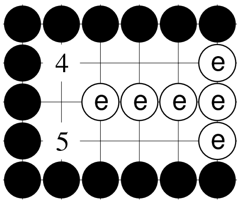

図 5: 部分局面 3

（対象ブロックを取る側）は，1 手の着手を行うことで相手の手数を最低でも 1 手は縮めることができる．つまり，1 手の着手で得られる最小スコア（温度）は 1 となる．また防御側（対象ブロックを守る側）は 1 手の着手を行うことで自分の手数を 1 手以上伸ばすことができなくても相手の手数を最低でも 1 手は縮めることができるので，1 手の着手で得られる最小スコア（温度）は 1 となる．よって，1 手の着手で得られるスコアが 1 未満の着手つまり，温度が 1 未満の着手は行われない．このことから，手数を表現するゲーム木に対して枝刈りを行って，温度が 1 未満の着手を持たないゲーム木に変換したものを解析の対象にする必要がある．ゲーム木変換手順 [3] は以下に記述する．

ゲーム木の変換

ゲーム木を葉ノードから根ノードに向かって以下に示す変形操作を順に行う

- ノードの温度が 1 未満である場合，そのノードから出ている対象ブロック側のプレイヤーの着手を枝刈りする．
- 枝刈りしたあとに，一方のプレイヤーの着手のみを持つノードの値を以下の形に置換する．

$$\{\ |\ n\} \to n + 1$$
$$\{-n\ |\ \} \to -n - 1$$

そして変換したゲーム木を文献 [3] にある攻合いゲームの勝敗の判定に当てはめることで勝敗判定を行う．判定方法は以下の通りである．

攻合い局面の勝敗判定

それぞれの部分局面を組合せゲーム理論で表現する．それをゲーム G としたときに G を 2 度冷却した値を g とする．すなわち $g = Cool(G, 2)$ とする．

1. g が整数になる場合

   $g > 0$ ならば　黒勝
   $g < 0$ ならば　白勝
   $g = 0$ ならば　先着した側の勝

2. $n < g < n+1$（n は整数）である場合

   黒が先着する　ならば　$g = n+1,$
   白が先着する　ならば　$g = n$

   として，得られた値を 1. の方法で判定する．

3. $g <> n$（g と整数 n が比較不能）である場合

   黒が先着する　ならば　$g = n+1,$
   白が先着する　ならば　$g = n-1$

   として，得られた値を 1. の方法で判定する．
   上の 2．および 3．で得られた値のことを「g の調整値」と呼ぶ．

4　攻合い解析システム

本システムではユーザが石の配置を入力し，石の属性を指定する (石の属性については 4.1 節で説明する)．そしてシステムは入力された局面を分割する．ユーザは手数が確定していない局面に対して着手点を指定する．ユーザが着手点を指定することで，システムは指定された点に双方の着手が行なわれたとして，手数を算出しゲーム木の展開を行う．手数が確定しない着手が行われた場合は，システムがその着手が行われた局面まで進めてユーザが再度着手点を指定する．手数が確定したらゲーム木展開を終了し，システムがゲーム木変換 (3 節) を行う．全ての部分局面の手数が確定したら，展開されたゲーム木を組合せゲーム理論で解析し，入力として与えられた攻合い局面の勝敗判定をユーザに表示する．以上の流れをまとめて図にしたものが図 6 である．

4.1　局面の入力と局面分割

本システムでは，ユーザは解析したい局面を GUI を使って入力する．その際には石の配置の入力だけでなく，石の属性もユーザが指定する．石の属性は以下のとおりである．

- *essential block*:　攻合いの対象となっている連
- *safe block*:　以降の着手で取られることのない連
- *unknown block*:　上の 2 つのグループのどちらにも該当しない連

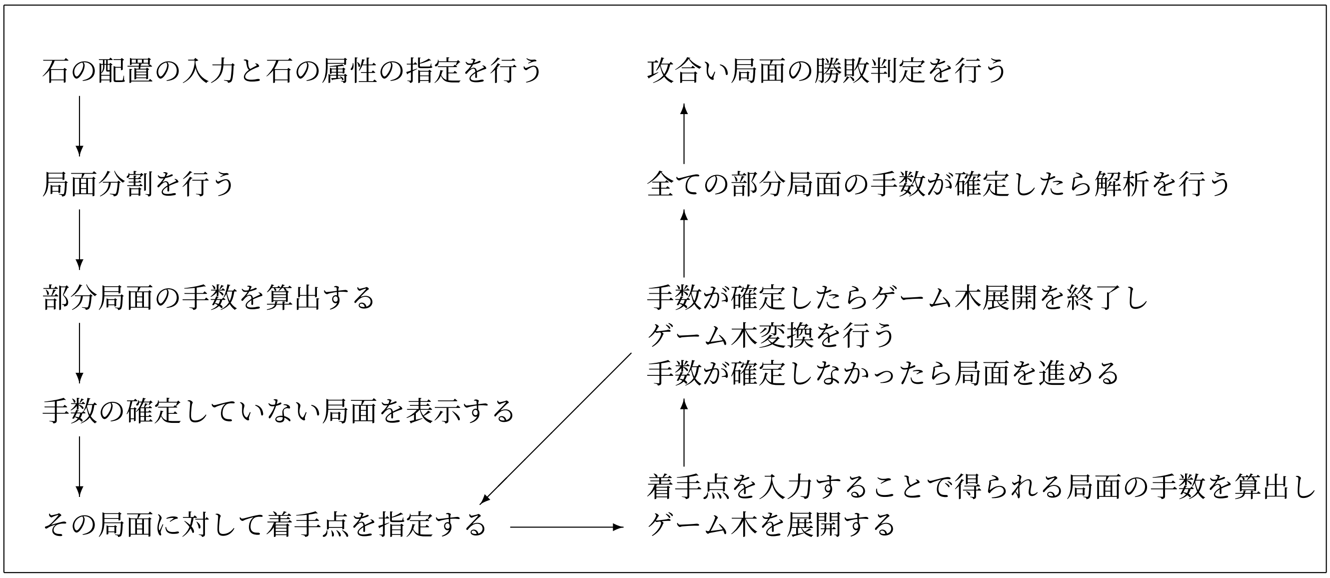

図 6: 解析手順

以下の図では，e がついている石は essential block，u がついている石は unknown block であり，何もついていない石は safe block である．これらの石の属性情報を用いてシステムが局面分割を行う．本研究では，部分局面は essential block および safe block によって囲まれる閉じた領域とする．内部は空点及び unknown block で構成され，その境界をつくる essential block 及び safe block も部分局面に含む．また本研究では部分局面内に黒，白両方の対象ブロックを含まない攻合い局面を対象にする．図 7，8 は部分局面の例である．切断されている石が境界をつくる石である．

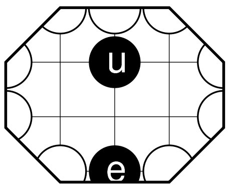

図 7: 部分局面の例 1

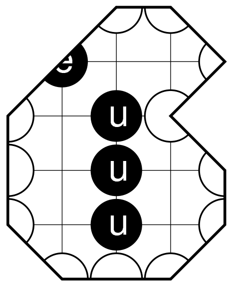

図 8: 部分局面の例 2

4.2　空点の属性

局面分割をした後，システムは部分局面の全ての空点が何に隣接しているのかを調べる．そのことで石の連絡・切断などで手数が変動するかどうかが分かる．例えば図 5 の部分局面に白 4 や白 5 と着手を行っても、白の対象ブロックと連結しないので手数は変化しない．また黒 4 や黒 5 と着手を行っても空点 4 や空点 5 は白のダメではないので手数は変化しない．よって空点 4 や空点 5 に着手を行う意味はない．このように手数の変動に関係していない空点にシステムが無用属性を与え，手数の変動に関係している空点には有用属性を与える．有用属性を持つ空点は以下の通りである．

- 2 個以上の essential block and/or unknown block と隣接している空点
- 1 個の essential block and/or unknown block と 2 個以上の空点と隣接している空点
- 3 個以上の空点と隣接している空点

無用属性を持つ空点は上記に当てはまらない空点である．図 9，10 の局面では無用属性を持つ空点は 0 がついている空点であり，それ以外の空点が有用属性を持つ空点である．

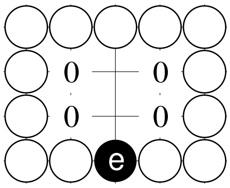

図 9: 有用・無用属性を持つ空点領域の例 1

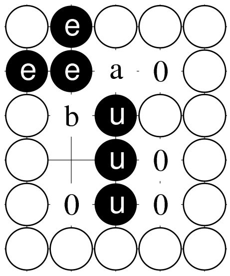

図 10: 有用・無用属性を持つ空点領域の例 2

部分局面内のダメが safe block か無用な空点としか隣接していない場合はその部分局面は防御側の手数を 1 手以上増やす着手が存在しないと言えるので部分局面の手数は確定する．またシステムは空点の属性を利用して探索領域の切断を行う．有用属性を持つ空点によって囲まれている場合は，システムは領域を切断しないが，無用属性を持つ空点によって囲まれている場合は，無用属性を持つ空点の外側の領域を切断する．例えば図 11 の場合，空点 a，b，c の右側に有用な空点や unknown block があったとしたら，空点 a，b，c はいずれも 3 個以上の空点と隣接しているので有用属性を持つため，システムは右部の領域も探索を行うので，手数は確定しないが，図 12 の場合は右部の領域に有用な空点や unknown block があったとしても空点 a は無用の属性を持つのでシステムは右部の領域を切断する．よって図 12 の場合は手数が確定する．

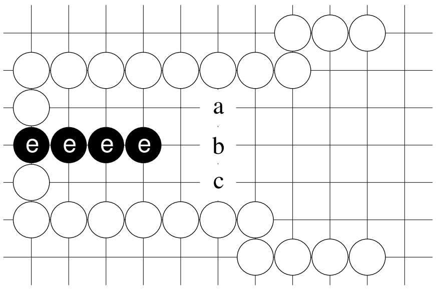

図 11: 領域が切断されない例

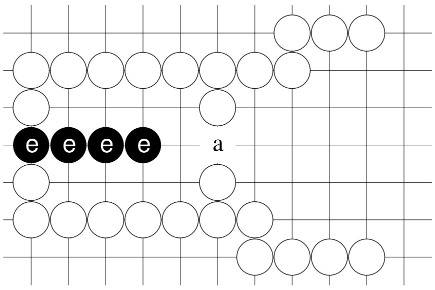

図 12: 領域が切断される例

4.3 着手点の指定

本システムでは，手数の確定していない部分局面に対してユーザに着手点を指定してもらい，指定された点に双方の着手が行なわれたとしてゲーム木の展開を行い，手数を算出する．手数が確定していないときの値はここでは nil と表示する．

図 10 の部分局面はダメが unknown block と隣接しているため手数は確定していない．そのため着手点を指定する必要がある．図 10 の部分局面に対して a および b を着手点に指定すると，システムが入力された攻合い局面に対して黒 a と打たれた場合，黒 b と打たれた場合，白 a と打たれた場合，白 b と打たれた場合の 4 パターンの着手が行われたとしてゲーム木を展開して，手数を算出する．黒 a

と打たれた場合，essential block と unknown block が連結し，ダメが safe block としか隣接しなくなるので黒の手数が確定し 6 となる．黒 b と打たれた場合も同様にダメが safe block としか隣接しなくなるので黒の手数が確定し 5 となる．しかし白 a と打たれた場合はダメ b が unknown block と隣接しているため黒の手数が確定しないのでそのノードの値は nil となり，白 b と打たれた場合もダメ a が unknown block と隣接しているため手数が確定せずノードの値は nil となるので，図 13 のようにゲーム木が展開される．
展開されたゲーム木に値が nil のノードがある場合は，システムは手数が確定しない着手が打たれた局面まで状態を進めて，ユーザに再度着手点を指定するように指示を出す．図 13 のゲーム木には値が nil のノードがあるので再度着手点を指定する必要がある．まずシステムは図 10 に白 a と打たれた局面まで進めて，ユーザに着手点を指定するように指示を出す．図 10 に白 a と打たれた局面に対して b を着手点に指定したら黒 b と打たれた場合，essential block と unknown block が連結し，ダメが safe block としか隣接しなくなるので黒の手数が確定し 4 となる．白 b と打たれた場合はダメが埋まり黒の手数が 0 になるので，図 14 のようにゲーム木が展開される．図 14 のゲーム木にも値が nil のノードがあるのでシステムは図 10 に白 b と打たれた局面まで進めてユーザに着手点を指定するように指示を出す．図 10 に白 b と打たれた局面に対して a を着手点に指定したら黒 a と打たれた場合，ダメが safe block としか隣接しなくなるので黒の手数が確定し 5 となる．白 a と打たれた場合はダメが埋まり黒の手数が 0 になるので，図 15 のようにゲーム木が展開される．
図 15 のゲーム木は値が nil のノードを持っていないのでシステムはゲーム木展開を終了し，展開されたゲーム木に 3 節のゲーム木の変換の操作を行う．

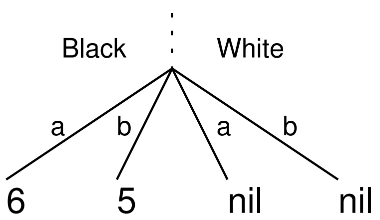

図 13: 図 4 の部分局面を展開したゲーム木

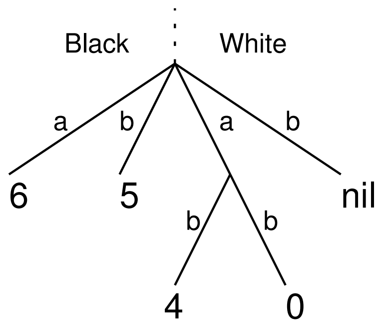

図 14: 図 13 をさらに展開したゲーム木

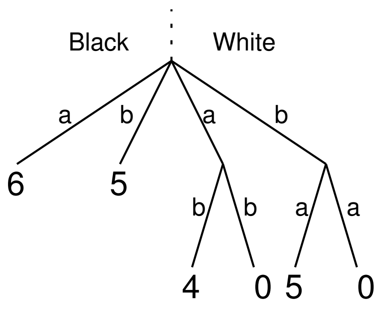

図 15: 図 14 をさらに展開したゲーム木

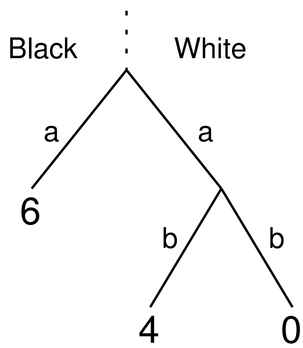

図 16: 正準形に変換されたゲーム木

4.4 解析結果表示

ゲーム木を枝刈りしたら cg-suite[4] というツールを使って枝刈りされたゲーム木を正準形 [1] へ変換する．cg-suite は組合せゲーム理論における冷却，加熱，平均値や温度の算出などの操作をメソッドとして実現しているツールである．図 15 のゲーム木を正準形に変換したものが図 16 のゲーム木である．正準形に変換したゲーム木に 3 節の攻合い局面の勝敗判定を適用してその結果をユーザに表示する．

例えば図 2 の攻合い局面の場合は各部分局面の手数を合わせると，$G = \{4|0\} + \{6|\{4|0\}\} - 7$ となる．この結果を攻合い局面の勝敗判定に当てはめると g の調整値は 0 となるのでシステムは先着した方が勝てるということをユーザに表示する．

5 おわりに

本研究では以上で述べたような，組合せゲーム理論を用いユーザが囲碁の攻合い局面を解析するのをサポートをするシステムを作成した．ユーザは入力した攻合い局面に対して着手を試したい点を指定するだけで，攻合い局面の勝敗判定を行うことができるので，組合せゲーム理論の研究者だけでなく，組合せゲーム理論を知らない囲碁学習者にも貢献することができる．

6 謝辞

本研究の一部は，中山隼雄科学技術文化財団による助成 (平成 17 年度研究開発助成 A-7) を受けた．

参考文献

[1] Elwyn Berlekamp,John H.Conway and Richard K.Guy:"Winning Ways -for your Mathmatical Plays-", Academic Press,New York,(1982).

[2] M.Muller:"Race to capture:Analyzing semeai in Go",In Game Programming Workshop in Japan '99, volume 99(14) of IPSJ Symposium Series, pp.61-68,(1999).

[3] 中村貞吾:"組合せゲーム理論を用いた囲碁の攻合い解析", ゲーム情報学研究会, 03-GI-9-5,(2003).

[4] http://cgsuite.sourceforge.net