

数値的な特徴に基づく囲碁局面パタンの解析

中村 克彦[†] 木戸間 周平[†]

強いコンピュータ囲碁を実現するためには、静的な局面の解析およびパタン認識法を理論と実際の両面から発展させることが必要である。この論文では、パタンマッチングによらずに数値的な特徴に基づいた局面解析を行うための2つの方法、すなわち盤上の交点の集合に対する演算によって表され計算される特徴によって死活を判定する方式、および電荷モデルに基づくグループおよびその強度の判定方式について述べる。1手ごとの差分計算によってこの2種類の解析を高速化する方式が示されている。

Analyzing Go Board Patterns Based on Numerical Features

KATSUHIKO NAKAMURA[†] and SYUHEI KITOMA[†]

It is essential for realizing powerful computer Go to develop static analysis and pattern recognition of the board phases in both theoretical and practical aspects. This paper describes methods of analyzing Go board patterns based on numerical features, not on pattern matching. The methods include both deterministic decision of life and death for the groups with fixed territories and estimation of groups and their strength having no clearly determined territories. The numerical features for the deterministic decision are represented and computed by set operations on the sets of intersections on the board and those for estimating groups by potential values based on an electric charge model. The differential computation for these two methods is discussed for improving the efficiency of the analyses.

1. ま え が き

囲碁のルールは簡潔であり一見コンピュータ向きであると思われるにもかかわらず、強いコンピュータ囲碁を実現することは非常に難しいことが知られている。コンピュータ・チェスが人間のチャンピオンを破るまでに発展したにもかかわらず、コンピュータ囲碁はまだ初心者レベルにとどまっているのが現状である。この第1の理由として、コンピュータ囲碁においてはゲーム木の探索空間がきわめて大きいため、チェスで成功した簡単な局面の評価と深い先読み探索を結合した方式が有効でないことがあげられよう。囲碁においては局面の静的な解析およびパタン認識に基づく着手決定方式が不可欠であるが、人間の持つ盤面上の石の空間的な配置パタンを認識する能力をコンピュータ上で実現することが難しい。強い囲碁プログラムを実現するためには局面上の各種のパタン認識を高速に行う

ような局面の静的解析を理論と実際の両側面から発展させることが最も重要である。

この論文では、数値的な特徴に基づいた次のような囲碁局面の解析およびパタン認識の方式について述べる。

- 決定的な死活判定：境界が明確な石のグループに対する数値的な特徴による死活判定。
- グループおよびその強度の判定：石の密度が低い場合の石のグループに対する、電荷モデルに基づく数値（電位）に基づいたグループの判定とその強度の推定。

いずれの解析もゲームの進行において1手ごとに繰り返されるだけでなく、先読みにおいてははるかに多く繰り返す必要がある。さらに、先読みにおいては1手ごとの変化を解析するだけでなく、後戻り（バックトラッキング）において結果を元の状態に戻すことも必要となる。したがって、局面解析を効率高く行うためには、解析を全面的にやり直すのではなく、1手による変化分だけを効率良く求める差分計算が重要となる。差分計算は囲碁だけでなくチェスにおいても使われているが⁴⁾、複雑な局面の解析を行う囲碁ではより重要である。しかし、これまで囲碁における差分計算

[†] 東京電機大学理工学部
College of Science and Engineering, Tokyo Denki University
現在、株式会社アクト・ツー
Presently with act2 Inc.

についてはほとんど議論されていない。

静的解析の各種のアプローチのなかで、パタンマッチングは代表的な手法であり、多くの囲碁プログラムに採用されている。しかし、抽象化した特徴によらない直接的な2次元パタンマッチングは一般に、死活に関する規則を表す膨大な数のパタンと登録されたパタンと局面との適合性を走査によって調べる必要があること、パタンが持つ対称性を高速化のために利用することが難しいことなどの問題点のために処理のコストが大きい。

我々の目的は、数値的な特徴によるパタン認識によってこれらの問題を解決し、これまでパタンマッチングを必要とすると考えられていた囲碁局面上のパタン認識を数値的な特徴に基づいて行えるようにすることである。グループの死活に関係する数値的特徴としてさまざまのものが考えられが、そのなかで、石のグループのダメ数は最も重要なものである。Tajimaら⁸⁾は、ダメ数を拡張した n -次ダメと呼ばれる特徴に基づいて“手抜き可能回数”(PON)によって評価されるグループの強度を判定する方式を示している。Chenら¹⁾は、一定の閉領域を持つグループの死活判定において領域の“周囲長”を用いる方式を示した。我々の方式では周囲長(外縁のサイズ)のほかにさまざまな数値的な特徴によって各種の死活判定を可能としている。

コンピュータ囲碁研究の当初から、局面のようすを把握するために石の周囲への影響力を数値化して表すさまざまな方式が用いられている。Zobrist¹¹⁾は白石が正、黒石が負の一定の電圧を持つという電位分布のモデルを用いて盤面の解析を行った。これと同様な方法によって石の影響力を表し、勢力分布を判定する方式は吉川のGREAT¹⁰⁾やYanらのJIMMY 5.0⁹⁾など、多くの囲碁プログラムで実際に用いられている。しかし、従来の方法ではいずれも影響力の意味が明らかではなく、また差分計算についても考慮されていない。これに対して、この論文で述べる方式では電位が石の包囲度を表しており、差分計算を考慮した計算法が採用されている。

2. 囲碁盤上の集合演算

2.1 定数と基本演算

囲碁盤は交点の集合 $\text{Board} = \{(i, j) \mid 1 \leq i, j \leq N\}$ である。ただし、通常は $N = 19$ である。領域とは Board の部分集合である。ある局面は白石および黒石の占める交点の領域、それぞれ $B \subseteq \text{Board}$ および $W \subseteq \text{Board}$, $B \cap W \neq \emptyset$ によって表される。このとき、空点の占める領域は $E = \text{Board} - B - W$

である。領域のクラスに対して、通常の集合演算に加えて次のような定数と演算が定義される。

2.1.1 定数

定数として、全交点の集合 Board および空集合 \emptyset のほかに、盤の端を表す定数 \square が次の式によって定義される。

$$\square \triangleq \{(i, j) \mid i = 1, i = N, j = 1 \text{ or } j = N\}$$

2.1.2 基本演算

基本演算として、一般の集合演算、和集合 $X \cup Y$ 、共通集合 $X \cap Y$ 、差集合 $X - Y$ のほかにシフト演算がある。シフト演算は集合に含まれる各交点を4方向の1つに1だけシフトした交点の集合を結果とする。このとき行または列の端の交点は消去される。左シフト演算 \overleftarrow{A} は次のように定義される。

$$\overleftarrow{A} \triangleq \{(i-1, j) \mid (i, j) \in A, i \geq 2\}$$

右シフト \overrightarrow{A} , 下シフト $A \downarrow$, 上シフト $A \uparrow$ などの演算も同様に定義される。式を簡単にするため、補集合およびシフトなどの単項演算は最大の優先順位を持ち、論理演算は算術演算(+)より高い優先順位を持つものとする。さらに共通集合(\cap)は論理和(\cup)と差集合($-$)の演算より高い優先順位を持つ。

2.2 拡張演算

白黒の石の集合 X, Y に対して、次のような拡張演算が定義される。これらは後に述べる死活判定に用いられる。

- 拡大 (X と X に隣接する交点の集合)

$$\text{thicken}(X) \triangleq X \cup \overrightarrow{X} \cup \overleftarrow{X} \cup X \uparrow \cup X \downarrow$$

- 外縁 (X に隣接する交点の集合)

$$\text{exterier}(X) \triangleq \text{thicken}(X) - X$$

- 石の集合 X のダメ(相手側の石の集合を Y とする)

$$\text{liberty}(X, Y) \triangleq \text{exterier}(X) - Y$$

- 隣接関係の数

$$\#\text{adjacent}(X) \triangleq |X \cap \overrightarrow{X}| + |X \cap X \downarrow|$$

- 1点についての最大隣接数

$$\#\text{max_neighbor}(X) \triangleq \max_{P \subseteq X, |P|=1} |X \cap (P \uparrow \cup P \downarrow \cup \overrightarrow{P} \cup \overleftarrow{P})|$$

これらの演算の例を図1に示す。図1(a)の局面は(b)と(c)の2つの配列を表す集合、それ

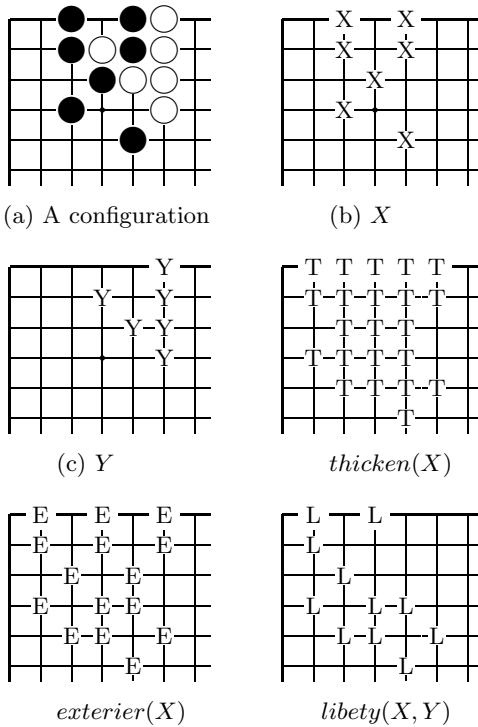


図 1 拡張演算の例

Fig. 1 Examples of extended operations.

それぞれ X と Y によって表される。 $\#adjacent(X)$ の値は 2, $\#adjacent(Y)$ の値は 4 である。また, $\#max_neighbor(X) = 1$, $\#max_neighbor(Y) = 3$ である。

2.3 ブロックとグループ

黒(または白)のブロックとは互いに隣接している 1 つ以上の同じ色の石の極大集合である。すなわち, 黒(または白)石の集合 $B \subseteq Board$ のなかでブロックは次の集合である。

$$\{X \mid X = thicken(X) \cap B\}.$$

空領域とは互いに接続している 1 つ以上の空点の極大集合である。グループは「動的に接続された(相手によって切られない)同色のブロックの極大集合である」と定義される。ブロックが相互にコスマの関係によって接続されている場合のように, 静的に容易に識別できる場合もあるが, 一般には静的な判定は不確定性をともない, 厳密な判定は動的な判定を必要とする。閉領域(closed region)とは, あるグループに囲まれた点(相手の石が占めるかまたは空点)の集合である。閉領域が相手の石だけで占められることはないので, 閉領域はかならず空点を含む。

3. 差分計算

この章ではこれまでに定義された演算に対する差分演算の方法を示す。白(または黒)石の占める交点の集合 Y に 1 つの要素だけ付け加えられた集合を $Y \cup A$ によって表す。ここで, $Y \cap A = \emptyset$ かつ $|A| = 1$ である。集合 $Y \cup A$ に関する演算の差分計算とは, Y についてのこの演算の結果に A とそれに隣接する値の変化分のみを与えることによって求めることである。 A は 1 要素のみなので, 変化分の計算のコストは小さい。基本演算についての差分計算を次に示す。

$$\begin{aligned} X \cup (Y \cup A) &= (X \cup Y) \cup A \\ X \cap (Y \cup A) &= (X \cap Y) \cup (X \cap A) \\ X - (Y \cup A) &= (X - Y) - A \\ (Y \cup A) - X &= (Y - X) \cup (A - X) \\ \overrightarrow{Y \cup A} &= \overrightarrow{Y} \cup \overrightarrow{A} \end{aligned}$$

他のシフト演算についても同様に差分演算が定義される。いずれも右辺の第 2 の項が差分を表している。差分の値は, A そのものか, またはその近傍の要素について集合の所属関係を調べることによって決定される。 $A = \{p\}$ とするとき, たとえば $A - X$ は $p \in X$ ならば \emptyset , それ以外は A となる。

拡張演算についての差分計算を次に示す。

$$\begin{aligned} thicken(Y \cup A) &= thicken(Y) \cup thicken(A) \\ exterier(Y \cup A) &= thicken(Y) \cup thicken(A) - (Y \cup A) \\ &= (exterier(Y) - A) \cup (exterier(A) - Y) \\ \#ajacent(Y \cup A) &= |(Y \cup A) \cap (\overrightarrow{Y} \cup \overrightarrow{A})| \\ &\quad + |(Y \cup A) \cap (Y \downarrow \cup A \downarrow)| \\ &= \#ajacent(Y) + |Y \cap exterier(A)| \end{aligned}$$

4. オイラーの公式に基づく眼の数の推定

我々はすでにグループを持つ眼の個数の推定にオイラーの公式を適用できることを示した⁵⁾。ここでは集合演算によってこの方式に必要な数値が明確に定義され, また差分演算によって効率良く求められることを示す。

連結した平面グラフにおいて, 辺に囲まれた領域(または最小ループ)の個数 N は, 辺の個数 n および頂点の個数 k からオイラーの公式 $N = n - k + 1$

平面グラフに対するオイラーの公式に基づくオイラー数と呼ばれるパラメータを用いて, 0 と 1 の配列によって表されたデジタル図形を含むループの数を求める方式が知られている。

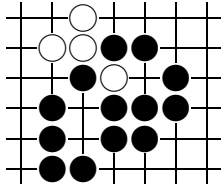


図 2 2つの眼を持つグループ
Fig.2 A group with two eyes.

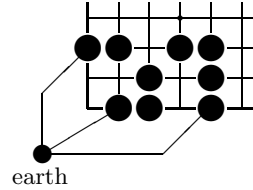



図 3 隅のグループ
Fig.3 A group in the corner.

によって与えられる．この公式を眼の個数の推定に適用するため，石を頂点に，石の間のリンクと呼ばれる接続関係を辺と見なす．リンクは2つの石が隣接しているか，または次のコスミの関係である．



グループ G のリンクの個数 $\#link(G)$ は次の式で与えられる．

$$\#link(G) = \#adjacent(G) + \frac{|G \cap (\vec{G} \downarrow \cap (\vec{G} \cup G \downarrow)) \cup \vec{G} \downarrow \cap (\vec{G} \cup G \downarrow)|}{2}$$

この方式では閉ループ  の個数を全体の最小ループ数から差し引く必要がある．閉ループの個数は式，

$$\#closed_loop(G) = |G \cap \vec{G} \cap G \downarrow \cap \vec{G} \downarrow|$$

で与えられるので，グループ G の眼の個数を与える開ループ数は次の式で与えられる．

$$\#openloop(G) = \#link(G) - |G| - \#closed_loop(G) + 1$$

開ループ数の差分演算は，着手点 A と G の石との間のリンク数の増加および最小ループ数の増加を調べることによって求められる．図2の黒のグループは15個のリンク(5個はコスミ形)，13個の石，1個の開ループを持つので，開ループの個数は $15 - 13 - 1 + 1 = 2$ となる．

盤面の辺やスミにおいては，図3のように盤の端にある石と仮想的な石(earthと呼ぶ)との間にリンクがあると見なして開ループ数を求める．連結している複数の端の石があるときにも earth とのリンクは1つとするため，まず端の石を表すビット配列を変数 X に置く．

$$X \leftarrow G \cap \square$$

リンク数 $\#link$ に加える仮想的なリンク数は次式で与えられる．

$$\#virtual_link(X) = |X| - |X \cap X \downarrow| - |X \cap \vec{X}|$$

増分 A が端にあるときの差分の式は次に与えられる．

$$\begin{aligned} \#virtual_link(X \cup A) &= \#virtual_link(X) + 1 - |X \cap \vec{A}| \\ &\quad - |X \cap \vec{A}| - |X \cap A \uparrow| - |X \cap A \downarrow| \end{aligned}$$

図3のグループは仮想リンク3を含む11個のリンクと earth を含む10個の石を持つので，開ループの個数は $N = 11 - 10 + 1 = 2$ となる．

この方式は開ループの個数を判定するため，欠け眼を誤って眼と判定したり，大きな領域を1つの眼と数えてしまうなどの問題点がある．このうち，欠け眼は局所的なパターンとして識別できる．また，敵石のグループを含む大きな開ループについては，次章で述べる方法や攻め合いの解析法⁶⁾による死活判定を必要とする．

5. 閉領域を持つグループの死活

閉領域を含むグループの決定的な死活の判定は，先読み探索でも判定できるが，死グループを盤から取り去るまでの探索は一般に多くの探索時間を要する．この死活判定においては，閉領域の形状とそこにある相手の石の配置が問題になる．グループとそれが含む閉領域を2つのビット配列 W と R によって表すとき，閉領域の形状を識別するための特徴には，大きさ $|R|$ ，領域中の各点間の隣接数 $\#adjacent(R)$ ，一点についての最大隣接数 $\#max_neighbor(R)$ などがある．これらによって曲り四目，自動車(5目)，花六目などと呼ばれている形状を含む大きさが7目以下の形状を識別できる．

グループの死活を，L：無条件生き，D：無条件死，S：セキ(生き)，K：コウなどの記号で表し，これらを組み合わせると，LD：先手無条件生き・後手死，などを表す．他の記号の組合せLS，SD，LK，KD，SK，KSも同様に定義される．

図4の4種類の閉領域は空領域の隣接数と最大隣接数の2つの属性によって識別できる．すなわち，各

Chenら¹⁾は閉領域の持つ眼の数を1, 1.5, 2などの数値で表している．2がLまたはLS, 1.5がLDに対応する．しかし，この数値ではコウとセキの区別はできない．

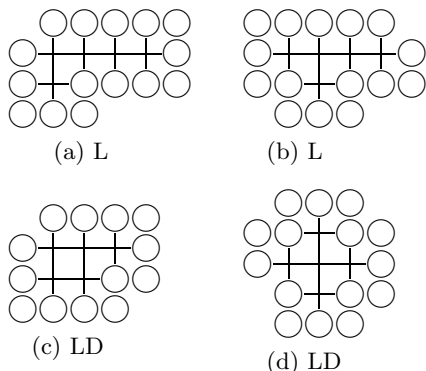


図 4 大きさ 5 の閉領域とその死活

Fig. 4 Closed regions with the size five and their life and death.

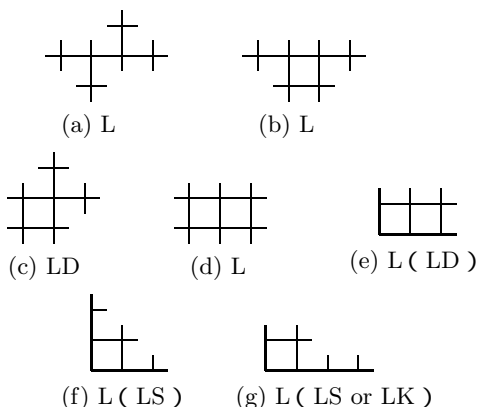


図 5 大きさ 6 の主な閉領域とその死活

Fig. 5 Typical closed regions with the size six and their life and death.

パターン (a), (b), (c), (d) に対して 2 つの属性値はそれぞれ 4 と 2, 4 と 3, 5 と 3, 4 と 4 を持つ。

図 5 は大きさ 6 の代表的な閉領域の形を空領域を囲む石を省略して示している。カッコ内は外ダメが 0 のときの死活である。これらは、閉領域の隣接数と最大隣接数に加えて、領域中の端点の個数 $|R \cap \square|$ および領域の外縁の個数 $|exterior(R) \cap W|$ から識別される。隅の領域 (e), (f), (g) は端の点を 4 または 5 個含むことで識別され、また (f) は外縁の個数が 4 であることから識別される。これらの形は、これを含むグループの外ダメの数 $(liberty(W) - R)$ が 0 のときには活きとはならないので、区別が必要である。

閉領域が敵石を含む場合の死活は、敵石の数、その最大ダメ数などの数値的特徴によって判定できる。さらにセキやコウが関係しているときにはグループの外ダメも必要となる。これらの数値的特徴によって、大きさ $|R|$ が 6~7 目の、敵石を含む閉領域 (辺と隅を

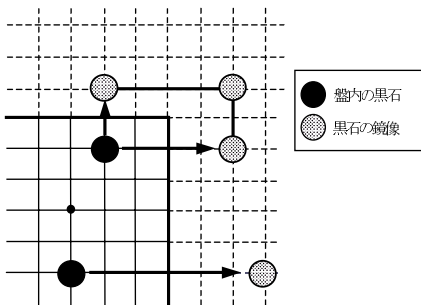


図 6 鏡像

Fig. 6 Mirror images.

含む) のセキおよびコウを含む多くの死活パターンを識別できることが明らかになった。

この死活判定方式は最初、2次元ビット配列上のビット演算によって死活判定の特徴を求める方式として考案され、Prolog によって実装されてテストされた³⁾。その後、差分計算を導入することによって、増分の交点の近傍だけを調べることですべての演算が行えることになり、実際には大きな領域のシフトなどのビット演算は必要のないことが判明した。我々はさらに、この方式を拡張した完全には閉じていない閉領域を含むグループの死活判定、および死活以外のパタンの認識、および詰め碁プログラムを用いた死活パタンの自動収集方式などについて検討と実現を進めている。

6. 電荷モデルと電位

この章では、電荷モデルにおける電位の定義およびその性質について述べる。このモデルでは、盤上の石が電荷を持つと見なし、それによって決定される各点の電位によって石の包囲度を表す。

6.1 電位の定義

与えられた局面に対して各点の電位が以下のように定義される。

- (1) 各白石および黒石は周辺の点にこの石からの市街地距離 d の逆数 $1/d$ で求められる電位を与える。各点の電位はそれぞれ周辺にある同色の石からの電位の和である。白および黒の電位は個別に計算される。
- (2) 辺および隅にある石は、盤外の対称的な位置に鏡像を持つと仮定して電位が計算される(図 6)。これにより辺および隅に近い石は周囲に高い電位を与える。
- (3) 2 つの石の電位は互いに一方の石の影の部分では小さくなる。すなわち、図 7 に与えられる値が距離に加えられて電位が計算される。味方の石の影のみの影響がある場合と敵と味方の両方

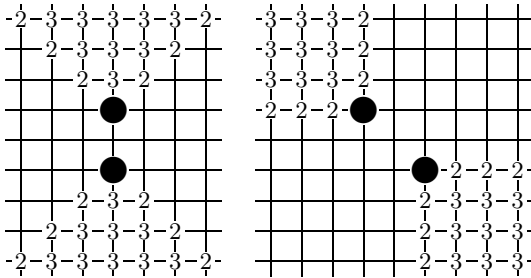


図 7 石の影の点に加えられる値

Fig. 7 Values added to the points in shadows of stones.

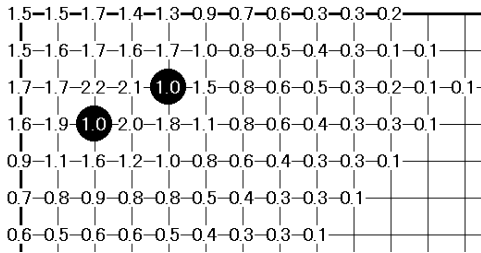


図 8 小ゲイマシマリの電位分布

Fig. 8 The potential distribution for a small-knight's corner enclosure.

の石の影の影響がある場合との 2 通りがあり、それぞれ異なった電位分布が得られる。これらは用途に応じて使い分けられる。

実際の電位の計算では高速化のために、次のような方式が採用される。

- (1) 各石の影響の及ぶ最大の距離を D_{max} とし、石が D_{max} を超えた点に与える電位は 0 とする。以下の例では、 $D_{max} = 8$ として計算している。
- (2) 鏡像は第 5 線までに置かれた石に対してのみ作られる。
- (3) 影が重なった部分の計算はかなり複雑であるため、実際には次節で述べる近似計算によって一重の影による減少分のみを差し引くことよって求めている。

図 8 は小ゲイマシマリの局面の電位分布を示している。隅の石は鏡像を持つため、隅の空点は一般に高い電位を持つ。

6.2 差分計算

石の影響力を数値化して表す場合、石からの距離の逆数や指数関数の値 (e^{-d}) を影響力とするだけでなく、一般に他の石の配置を考慮して影響力を変化させる。もし、他の石の影響を考慮しなければ、石の追加

とその後戻りの差分計算は容易に行えるが、この方式では石の影響力の表現は十分でない。しかし、他の石の配置も考慮した影響力の計算では、石が追加されると、相互の石の影響力が変化するため、一般に差分計算が難しくなる。

我々は次のような電位分布の近似計算によって差分計算を実現している。

- (1) ある石を追加するとき、この石の影響範囲 (D_{max}) 内にある交点に対して、追加する石との距離によって決まる電位の加算分を加える。
- (2) この石の影響範囲内にある各石に対して、これらの 2 つの石の相互の影による電位の減少分を差し引く。このとき 1 つの石が与える電位が影によって負の値になる場合にも、後戻りに備えてこの値を残しておく (負の電位は 0 と見なされる)。
- (3) 後戻り時に石を取り除くときは、この逆の操作を行う。

この方法では 2 重の影の部分は実際より小さな値をとるなどの誤差がでるが、その部分の電位の値は小さいのでこの誤差は無視できる。また、この方式においても周囲の石の影響を再計算する必要があるが、この計算は影響範囲以内の石の数に比例した時間で計算できるという意味での線形性を持っている。もし、影の重なる部分の電位を定義に従って距離に影による一定値を加える方式で行うと、この計算は線形ではなくなる。

6.3 電荷モデルによる電位分布の性質

- 各点に与えられた電位はその点が白または黒の石によって囲まれた度合いを表す。同石によって囲まれた領域の各点の電位は領域の大きさや敵石に関係なく約 4~6 となる。
- 差分計算が線形性を持ち、高速に行える。
- 黑白独立に電位を計算するため、白黒の石に二重に囲まれている状態も判別できる。
- 影についての 2 つの計算方法 (同色の石のみによる影とすべての石の影) による電位分布を使い分けることによってグループの強さの判定のためなどの情報を得ることができる。

7. 電位によるグループの判別と強さの判定

7.1 グループの判別

盤上の点 (x, y) の黒石による電位を $B(x, y)$ 、白石

この方式でもかなりの精度でグループの判定は行うことができた³⁾。

による電位を $W(x, y)$ とする．電位分布に基づいて次のように黒（白についても同様）のグループを判別する．グループを判別する際には，敵味方両方の石の影を考慮した電位分布を用いる．

- (1) 与えられた局面のすべての黒石が占める点はグループ候補点である．空点 (x, y) は条件

$$B(x, y) \geq v_1,$$

$$B(x, y) - W(x, y) \geq v_2$$

をとともに満たすならば黒石のグループ候補点である．ここで， v_1, v_2 は判別に用いる閾値である．

- (2) グループ候補点の集合から，互いに接続している候補点のブロックを決定する．各候補点ブロック中の黒石の集合が黒石のグループである．また，候補点ブロックから黒石のグループを取り除いた領域を勢力範囲と呼ぶ．
- (3) これだけではコスミで接続されたグループが判別されないことがあるので，コスミの関係で接続された2つのグループを1つのグループとする．

多くの例に対して検討した結果， $v_1 = 1.0, v_2 = 0.55$ と決定した．

図9はプロ棋士のゲームの局面（本因坊戦²⁾，趙治勲-黒番，柳時熏-白番）を上の方法でグループ判別した結果である．ここで薄い色の部分が黒のグループ候補点，濃い色の部分が白のグループ候補点を表している．右下の白のグループはコスミによって接続されている．この図は文献6)において人手で判別したグループと一致する．

7.2 グループ強度の推定

グループの強度とは，そのグループが活きる可能性の度合いである．強度は，自分のグループ内で二眼を持って活きる可能性，および他の活きているグループにつながる可能性の2つから判定される．

7.2.1 二眼を持って活きる可能性の評価

盤上の点 (x, y) の黒石による味方の石の影のみを考慮した場合の電位を $B(x, y)$ ，敵味方両方の石の影を考慮した場合の電位を $B'(x, y)$ とする．同様に白石による電位をそれぞれ $W(x, y)$ ， $W'(x, y)$ とする．点 (x, y) を含む黒（白についても同様）のグループ G が活きる可能性を表す得点は，次の項目の点数に10～50の係数をかけて加え合わせることによって求められる（カッコ内は点数の計算法を示す）．

- 勢力範囲が広いグループほど強度は高い（グループ G が持つ空点の個数）．
- 黒と白の電位の差が大きい空点は眼と見なせる

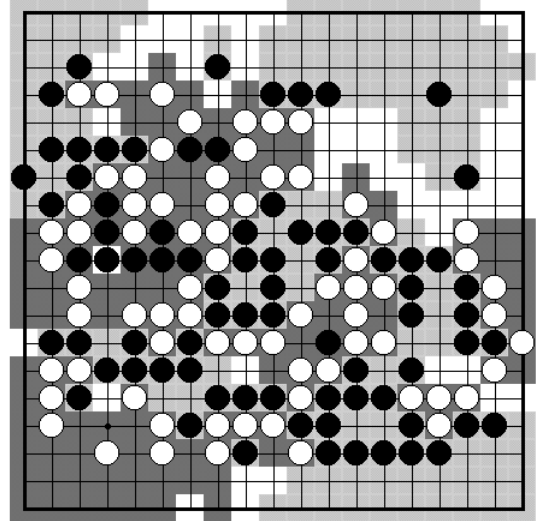


図9 グループ判別の例（本因坊戦²⁾）

Fig. 9 An example of determining groups.

（ $B'(x, y) - W'(x, y) \geq 3.0$ を満たす空点の個数）．

- 黒と白の電位の差が大きい空点を持つグループほど強度は高い（ $B(x, y) - W(x, y) \geq 0$ かつ $B(x, y) - W(x, y) < 3.0$ を満たす空点の電位差の平均値）．
- 黒と白の電位の差がある程度以上の空点を多く持つグループほど強度は高い（ $B(x, y) \geq 1.1$ を満たす空点の個数）．

7.2.2 他のグループにつながる可能性の評価

他の生きグループにつながる可能性を評価するために，評価対象となっているグループが他のどのグループとつながるかを次の手順で調べる．

- (1) グループ判別に使用する閾値 v_1, v_2 を下げてグループ判別を行い，拡張したグループを取得する．こうして得た拡張したグループを接続可能領域と呼ぶ．
- (2) 同一の接続可能領域 L に含まれる2つのグループ A, B の接続可能性を， L から他のグループの勢力範囲を除いても L に A, B の勢力範囲が含まれているか否かによって判定する．互いに接続可能なグループ A, B の得点をそれぞれ $S(A), S(B)$ とするとき，接続によって補正された得点を $S_{AB} = (S(A) + S(B))/2$ とする．この操作を繰り返し， L に含まれるその他のグループが A と接続可能かどうかを判別し，接続可能であれば同様に補正された得点を求める．互いに接続可能なグループの組合せに対して得られた補正後の得点の平均値を $S'(A)$

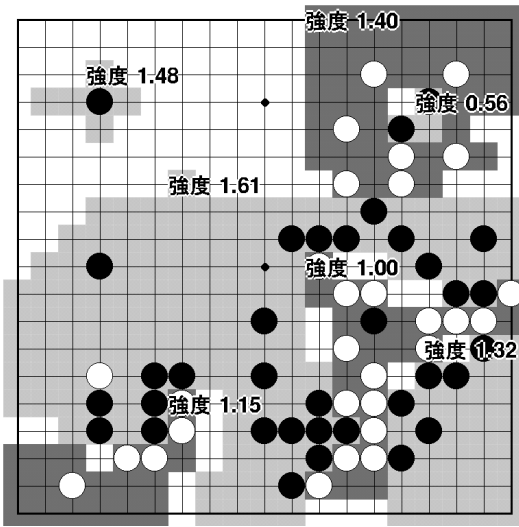


図 10 グループの勢力範囲と強度判定の例
Fig. 10 An example of estimation of territories and strengths of groups.

として、 $S'(A) > S(A)$ ならば $S'(A)$ をグループ A の新しい得点とする。

- (3) 上のステップを繰り返し、 L に含まれるすべてのグループの組合せに関して新しいグループの得点 S を求める。グループ強度は $(\log_{10} S)/2$ である。

グループ強度が 0 に近いグループは、死んだグループと見なされる。このようなグループを無効なものとしてグループを再判断することによって、局面の評価をより正確に行うことができる。無効グループに含まれる石は、電位の再計算の際に周囲に与える電位を大きく下げる。

7.3 グループ強度判定の評価

Tajima ら⁸⁾ による例題に対してグループの強度を判定したところ、生きと判定されるグループに対しては強度 1.0 以上の値を、また死と判定されるグループに対しては 1.0 より小さな値が与えられた(図 10)。また、Yan ら⁹⁾ で例題に対して、同様の石の勢力範囲はグループの強度の判定結果が得られた。これらの方式と比べた本方式の特長は、各項目の係数を調整して判定の精度を上げることができることである。

8. む す び

この報告では、数値的な特徴を用いて 2 次元パタンマッチングによらずに囲碁局面上のパタンを認識する方法およびそれらの差分計算について述べた。いずれ

も数理的な意味づけを明らかにし、差分計算による計算コストを考慮した方式である。ここで述べた方式は数値的特徴に基づく判別・認識であるため、これらに一般のパタン認識・学習の方式が採用できると考えられる。

囲碁盤上の集合計算に対しては、数学的定義から実際の差分計算による計算法を導くことができた。この差分計算は加えられた石の近傍点だけを調べるだけですむため高速に行える。きわめて難しい問題であると考えられているコンピュータ囲碁の分野において、このように数理的な記述と実際の計算法を関連づけることには意義があると考えられる。

電荷モデルによるグループの強度の判定法では、鏡像の導入やグループの眼を持つ可能性と他のグループに接続できる可能性などを別に評価することによって、活きの可能性をより正確に判定する方法が示された。石の影響力(電位)の差分計算は、影響力の及ぶ石について再計算を行う必要があるため、上記の集合演算の場合に比べて大きな計算コストを要する。電荷モデルでは、石による影響力(電位)と他の石との相互作用(影)の影響力を加算するだけで求められる(線形性を持つ)ため、差分計算が容易になっている。しかし、グループとその強度の判定法についての有効な差分計算の方式については明らかではない。石のグループとその強度の判定の有効性と、差分計算を考慮した計算コストとの関連は今後の重要な課題である。

現在、これらの方式を Prolog および C 言語によって詰め碁プログラムにおいて実装し、実際的な評価を行っており、次の課題の検討を進めている。

- 実際の囲碁プログラムへの応用。
- 定石データベースや候補手の抽出規則の表現などこれまで主にパタンマッチングに基づいていた分野への集合演算に基づく方式の適用。
- グループおよび死活判別(グループの強度の推定)のための規則の自動生成。

謝辞 実装と実験に共同して参加された古谷修、前田典男、宮下知己の諸君に感謝する。本研究は東京電機大学総合研究所の援助を受けた。

参 考 文 献

- 1) Chen, K. and Chen, Z.: Static analysis of life and death in the game of Go, *Information Sciences* 121, pp.113-134 (1999).
- 2) 毎日新聞学芸部(編): 第 51 回本因坊戦—本因坊・趙治勲 VS 天元・柳時勲, 毎日新聞社 (1996).
- 3) 木戸間周平, 前田典男, 中村克彦: 数値的な特徴にもとづく囲碁局面の解析, *The 6th Game Pro-*

同様な方式は JIMMY 5.0⁹⁾ でも採用されている。

- gramming Workshop (GPW 2001), pp.124–131 (2001).
- 4) Levy, D. and Newborn, M.: *How Computers Play Chess* (1990). 小谷 (監訳): コンピュータチェス, サイエンス社 (1994).
 - 5) Nakamura, K.: Graph theoretic analyses of Go board phases, *Games in AI Research*, van den Herik, H.J. and Iida, H. (Eds.), ISBN 90-621-6416-1 (2000).
 - 6) Nakamura, K.: Analyzing Capturing Races and Seki Situations, *Advances in Computer Games 9*, van den Herik, H.J. and Iida, H. (Eds.), pp.295–311, ISBN 90-6216-5664 (2001).
 - 7) 斉藤: コンピュータ囲碁研究, 人工知能学会誌, Vol.10, No.6, pp.860–870 (1995).
 - 8) Tajima, M. and Sanechika, N.: Estimating and Utilizing the Possible Omission Number for Groups in Go, *CG'98*, LNCS 1558, pp.265–281 (1998).
 - 9) Yan, S-J. and Hu, S-C.: A Positional-Judgement System For Computer GO, *Advances in Computer Games 9*, van den Herik, H.J. and Iida, H. (eds.), pp.313–326, ISBN 90-6216-5664 (2001).
 - 10) 吉川竹四郎: コンピュータ囲碁 GREAT—プログラムの作り方とネット対局の実際, SIB アクセス (2001).
 - 11) Zobrist, A.L.: A Model of Visual Organisa-

tion for the Game of Go, *Proc. AFIPS Spring Joint Computer Conference*, Vol.34, pp.103–112 (1969).

(平成 14 年 2 月 21 日受付)

(平成 14 年 5 月 15 日採録)



中村 克彦 (正会員)

1943 年生 . 1969 年東京電機大学大学院工学研究科修士課程修了 . 工学博士 . セルオートマトン , 論理プログラミング , コンピュータ囲碁等の研究に従事 . 現東京電機大学理工学部情報システム工学科教授 . 電子情報通信学会 , 人工知能学会 , ACM , IEEE 各会員 .



木戸間周平

1977 年生 . 2000 年東京電機大学理工学部経営工学科卒業 . 2002 年同大学院理工学研究科修士課程修了 . 在学中 , RoboCup およびコンピュータ囲碁に関する研究に参加 . 現在 , (株)アクト・ツーにおいてシステム・インテグレーションに従事 .