

囲碁の中盤における盤面の評価関数に関する検討

平本 直之[†], 成瀬 正[‡]

[†]愛知県立大学 大学院 情報科学研究科, [‡]愛知県立大学 情報科学部

概要

囲碁の中盤に対する評価手法として, 陣地と勢力の2項目を基本とした新たな評価関数を提案し, 評価実験の結果を示す. 陣地の評価では, 制御ブロック及びコスリ数を考慮した距離計算に着目し, 改良した制御ブロックとコスリ数を考慮した距離計算法を組み合わせることにより, 陣地に対する攻めやすさを評価する評価関数を提案する. さらに, 勢力の評価では, 盤面上の位置と方向に依存した勢力源を設定し, 周囲への影響度を評価する評価関数を提案する. これらの評価関数を用いて, 局面評価を行った結果について示す. また, 提案評価関数をさらに改良するための問題点についても述べる.

On a position evaluation in the middle of the game of Go

Naoyuki Hiramoto[†] and Tadashi Naruse[‡]

[†]Graduate School of Information Science and Technology, Aichi Prefectural University

[‡]Faculty of Information Science and Technology, Aichi Prefectural University

abstract

This paper proposes a new evaluation function that evaluates positions based on the territories and influences evaluations in the middle of the game of Go, and shows the results of the evaluation experiments. In the territories evaluation, we modified a control block method and combined it with the distance calculation method based on the kosuri number to make a new evaluation function. In the evaluation of the influences, we propose a new evaluation function that calculates the influence stemmed from the source of power at each point in the neighboring area. The source of power is largely modified from an existing one. With these evaluation functions, we evaluate the positions in the middle of the game of Go and show the experimental results. Moreover, we discuss issues to improve the position evaluation.

1 はじめに

近年のコンピュータ囲碁では, 序盤, 終盤は上級者の域に達しつつある [1]. それに比べ, 中盤はまだ実力不足であることは否めない. これは, 序盤では布石, 定石データをデータベースに登録することにより, 上級者を模した手を打つことができ, 終盤ではヨセの理論が発展しているため, 比較的正確な計算ができるからである. これに対し, 中盤では,

1. 着手可能な点が多い
2. 実利と厚みの適正な評価が困難である

ことにより, 中盤における局面評価の検討は困難に直面しているように思われる. また, 文献 [2] で指摘されているように, 囲碁の中盤の手数はチェスや将棋に比べて長く, 評価関数に頼って着手点を決めなければならない局面が長く続く. したがって, 精度の高い局面評価手法

が求められる.

囲碁では, 実利と厚みのバランスの上になたって着手点が決められる. 実際, 人が囲碁を打つとき, 一連の石の安定を判断した上で, 自陣に安定でない石の一群があれば, それを補強し, 逆に, 敵陣にそのような石の一群があれば, それを攻撃する. そうでなければ, 厚みの程度により, 自陣の厚みを増すか敵陣の厚みを消す着手を選ぶ. したがって, 自陣, 敵陣の安定度の評価, 及び, 厚みの評価が重要な課題となる.

そこで, 筆者らは先行研究 [2, 3] で提案されている種々の評価因子をベースにして, 自陣, 敵陣の弱みを考慮した実利評価の方法と, 盤面上の着手位置に依存した勢力源の設定による厚み評価の方法について検討した. 本稿では, その結果について報告する.

以下では, 2 で本稿における評価項目, 及びその評価項目に対するアプローチの方法を述べ, 3 で提案する評価関数を説明する. 4 では, 提案する評価関数に対する

評価実験と結果、及び結果に対する考察を述べる。そして、最後に5でまとめと今後の課題について述べる。

2 評価項目

一般に、中盤における囲碁の主要な評価項目は、陣地(実利)と勢力(厚み)に分けることができる。

陣地は図1の楕円で囲われた領域、すなわち、一方の石(と盤端)で囲まれた領域であり、勢力は図1の矢印が示す盤面の内側に向かう石の影響である。この影響力は、敵石に対する脅威となり、今後、陣地となる可能性を表す指標と考えることができる。すなわち、陣地は現時点での価値を示し、勢力は将来的に陣地となる価値を示している。

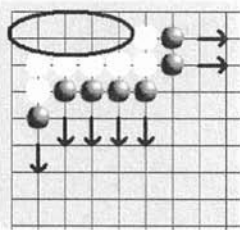


図1 実利と厚み

中盤の局面の評価関数は、少なくともこの2つの価値を反映した評価関数でなければならない。以下では、陣地と勢力について何が重要であると考えているか筆者らの見解を述べる。

2.1 陣地

陣地についてはおおまかに自分と相手の領域を分ける境界線が決められていると考えることができる。ヨセにおいて、この境界線は明確に決定される。そのため、ヨセに入る前から自分側の領域を減らしやすいか、相手側の領域を減らしやすいかが判明していれば、より対局を有利に進められると考えられる。したがって、陣地に対しては攻めやすさの観点から評価することが重要であると考ええる。

2.2 勢力

勢力は、将来、陣地になるものであるため、勢力を評価する上で以下の3点が重要であると考ええる。

- 勢力の向き
- 勢力の強さ
- 勢力の及ぼす先の状況

勢力の向きに関しては、図2のように勢力が及びやすい向きと及びにくい向きが存在する。この図では3つ並んだ黒石は上方向から右方向にかけて勢力が及びやすく、逆に下方向には勢力が及びにくい。

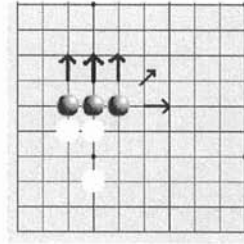


図2 勢力の向き

また、勢力の強さは勢力を構成する石の状況により異なる。図2においても勢力の強さは向きにより異なる。図3において、楕円の領域と四角の領域を考えると、黒3子が横に並んでいる分だけ楕円の領域の方がより黒石の影響を受けていると考えられる。そのため、同じ石による勢力であったとしてもその強さは石の並び方に依存して異なる。

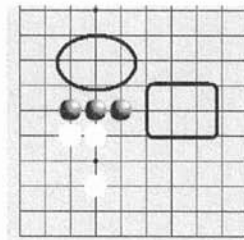


図3 勢力の強さ

3番目の勢力の及ぼす先の状況について説明する。図4、図5のように勢力が及ぼす先に相手石が存在する状況とそうではない状況があったとする。このとき、陣地の作りやすさは異なると考えられる。図4では、黒3子の上部に白石が存在するために黒石の上部に黒の陣地を作りにくくなっているが、図5では、白石が存在しないため、図4に比べ、黒の陣地を作りやすくなっている。

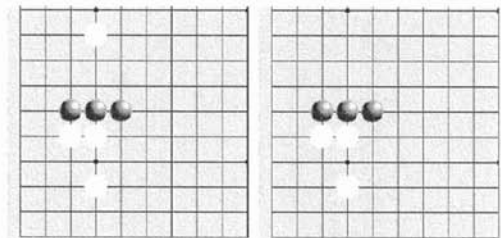


図4 勢力の及ぼす先の状況1 図5 勢力の及ぼす先の状況2

勢力の評価ではこれら3点を考慮した評価関数を構築する必要がある。

3 評価関数

陣地と勢力、それぞれに対してどのように評価を行うかを論ずる。

3.1 陣地の評価

陣地に対しては現在の価値を保持すると説明した、ゆえに、現在、どの程度の価値を保持しているかを正確に評価することが重要である。

文献 [2] では、図 6 のように同色の石同士 (あるいは、石と盤端) の接続をパターンマッチングと捕獲探索を用いて認識し、その後、接続で囲まれた領域 (図 6 における黒い四角形) を陣地として、その領域での格子点の数を数えるという方法を採用している。

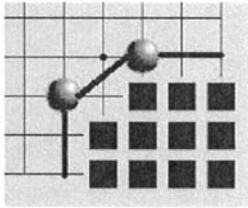


図 6 既存手法での陣地の例

陣地の検出という点で、この手法は有効であると考えられるが、陣地の価値を評価するという観点からは、さらに相手石の配置を考慮した評価関数を検討しなければならない。

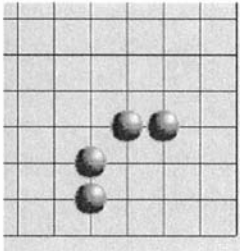


図 7 相手石が
付近に存在しない陣地

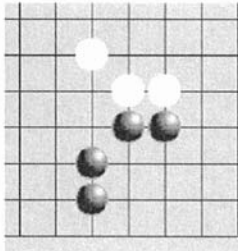


図 8 相手石が
付近に存在する陣地

図 7 では、黒石により陣地が構成されているが、付近に白石が存在しないために黒の陣地を減らしづらくなっている。一方、図 8 では、同様に黒石により陣地が構成されているが、白石が存在するためにその白石付近から黒の陣地を減らしやすくなっている。このように、同じ領域の陣地であったとしても陣地の価値は同じではな

い。そのため、どちらの陣地であるか否かだけでなく、相手石の配置を考慮した陣地評価を行わなければならない。以下では、どのように評価を行うかを説明する。

まず、[2] と同様に捕獲探索とパターンマッチングにより接続を認識し、陣地を取得する。その後、[2] で用いられている制御ブロックを改良したものと [3] で用いられているコスト数の距離への変換による距離測定法を組み合わせることで、現在の各石の位置、距離などからその陣地をどの程度減らしやすいか、すなわち、陣地に対する攻めやすさの評価を行う。

3.1.1 制御ブロック

制御ブロックは石の周辺の領域を表している。[2] では、攻めが利かない石が存在した場合には図 9 のように石を中心とした 5×5 の■印の範囲に制御ブロックを置いている。

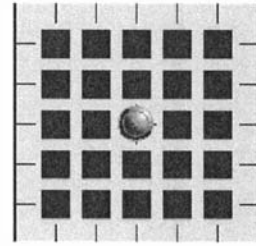


図 9 既存手法での制御ブロック

しかしながら、この制御ブロックを扱う上で一つの問題点が考えられた。それは [2] では、盤面上のどこであったとしても扱う制御ブロックの領域の大きさは変わらないという点である。囲碁においては、中央に存在する石、辺に存在する石、隅に存在する石はどれも同じ価値を持つとは考えにくい。中央から隅に近づくにつれて石の価値は大きくなっていくと考えるのが自然である。そこで、[2] では固定であった制御ブロックの領域の大きさを中央、辺、隅の三種類により変更することとした。すなわち、中央では図 10 のように石を中心とした 3×3 の■印の範囲に制御ブロックを置き、辺では図 11 のように石を中心とした 3×4 の■印の範囲 (ただし、盤端側が最も大きくなるようにする) に制御ブロックを置く。最後に、隅では図 12 のように石を中心とした 4×4 の■印の範囲 (ただし、盤端側が最も大きくなるようにする) に制御ブロックを置く。

次に、相手石が付近に存在する場合の制御ブロックについて検討する。

[2] では基本となる制御ブロックの領域に対して、相手石が 4 近傍で隣接、あるいは、8 近傍で隣接しているかにより、図 13、図 14 の×印の点に存在する制御ブロックを取り除いている。

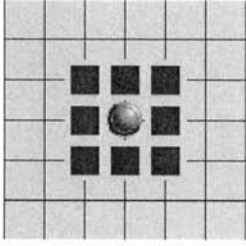


図 10 中央に対する制御ブロックの置き方

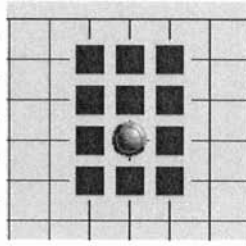


図 11 辺に対する制御ブロックの置き方

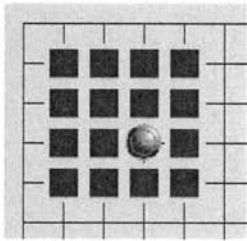


図 12 隅に対する制御ブロックの置き方

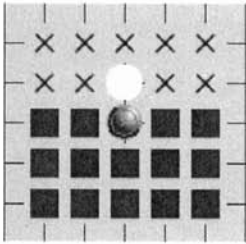


図 13 制御ブロックの除去 1

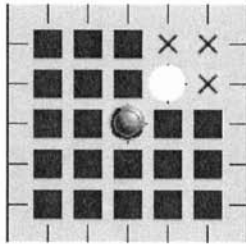


図 14 制御ブロックの除去 2

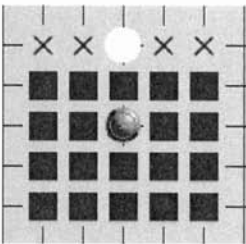


図 15 制御ブロックの除去 3

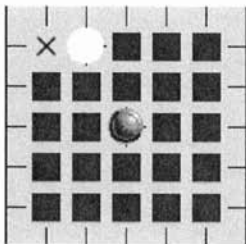


図 16 制御ブロックの除去 4

この2つの除去条件に加え、提案手法では、図 15, 図 16 のような新たに2つの除去条件を追加した。

これらの制御ブロックを用いて、盤面上の各点が攻めにくい点であるか否かの判断を行う。

3.1.2 攻めやすさの尺度

コスリ数の距離への変換による距離測定法 [3] とは、ある空点に対して、石からその点に至る経路を考え、コスリ数^{*1}と呼ばれる量を距離に換算し、経路上での最小距離とコスリ数から変換した距離の和により、距離を測定する手法である。

コスリ数の距離への変換による距離測定法は陣地の攻めやすさの評価因子の計算手法として利用できると考えた。そのため、コスリ点の考え方を拡張し、経路が制御ブロックを通過する場合、通過する各点をコスリ点とした。その理由は、石の影響は制御ブロック内で顕著に現れると考えたからである。そして、この方法により求めた距離を攻めやすさの尺度とした。

具体例として、図 17 のような盤面を考える。この盤面では黒い四角の部分黒石の制御ブロックである。ここで、この考え方を導入することにより、この図で攻めやすさの尺度を計算すると、陣地に対して、図 18 の結果を得る。

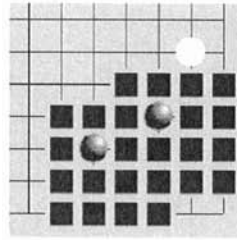


図 17 制御ブロック

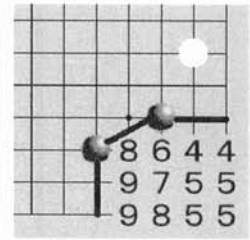


図 18 陣地の攻めやすさ

図 18 では、太線で囲まれている領域を陣地と判断しているが、この陣地内の各点に対して、数字の小さい方が攻めやすい点、数字の大きい方が攻めにくい点と判断される。すなわち、コスリ点の通過回数が少ない、あるいは相手石からの距離が短い点は攻めやすいと認識され、攻撃する点の候補とすることができる。

3.1.3 陣地の強さの評価式

制御ブロックを認識することにより、石の周辺に対する攻めづらい点を認識し、コスリ数の距離への変換による距離測定法を導入することにより陣地に対する攻めやすさを定量化した。そのため、ここまで扱ってきた手法を用いて計算した陣地に対する攻めやすさを G 、ま

*1 相手の石が隣接している空点をコスリ点と呼び、経路上のコスリ点の数をコスリ数と呼んでいる。

た、陣地に対する重み定数を C_{ter} として、これらと盤面の一辺の大きさである N 、陣地であるか否かを示すデルタ関数 δ_{ter} を用いて式 (1) で陣地に対する評価を行う。

$$(\text{陣地}) = \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^N (C_{ter} \times G(i, j) \times \delta_{ter}(i, j)) \quad (1)$$

3.2 勢力の評価

陣地は現在保持している価値であるのに対し、勢力は現在の影響度を用いて、将来的にどの程度の価値になるかを示すものである。その評価は困難であるが、本稿では、[2] にならって、勢力の影響度をもって、価値評価とする。

影響度の計算については [2] で提言されている勢力源を各石ごとに計算し、周囲の点を受ける影響を計算することを基本とするが、以下に述べるような改良を行う。

3.2.1 勢力源の計算

勢力源とは図 19 のように各石が上下左右の 4 方向に持つ力のことである。

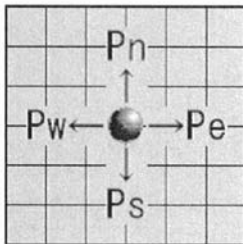


図 19 勢力源

この勢力源は各石ごとに持たせるために必然的に石単位で値が変わるように評価項目を設定する必要がある。そのため、次の 3 つのパラメータに注目した。

- 石の存在する位置
- 石のダメ数
- 付近に存在する石との関係

本稿では、前述の制御ブロックと同じように石の置かれる位置により、勢力源の強さも変わると考える。ここでは、石の存在する位置により勢力源の初期値を次のように定める。すなわち、石が盤面中央に存在する場合は図 20 のように 4 方向とも均等に弱めに設定し、辺に存在する場合は図 21 のように最も盤端に近い方向を強めに、その反対方向を弱めに、それ以外の 2 方向を中間値に設定する。また、隅に存在する場合は図 22 のように盤端に近い 2 方向を強めに、それ以外の 2 方向を中間値に設定する。

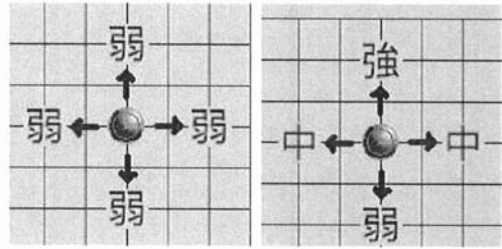


図 20 中央に対する勢力源の初期値

図 21 辺に対する勢力源の初期値

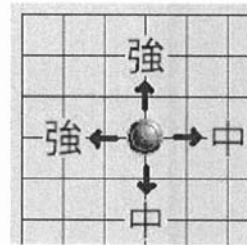


図 22 隅に対する勢力源の初期値

次に、石のダメ数であるが、これは現時点で極端に弱い石 (アタリになっている石など) である場合に強さの制限を行う。

最後に、付近に存在する石との関係では、特定の条件 (ナラビ、コスミ、一間、ケイマ) を満たした場合に特定の方向の勢力源を強くするという [2] で用いられた強化規則を採用する。

このように計算された勢力源を用いて、各石が周囲に対してどの程度影響を及ぼすかを調べる。

3.2.2 勢力の展開

各石の周囲の空点に対して、その点がどの程度影響を受けているかを調べる方法を述べる。

1. 勢力源からみて、水平、垂直方向の影響度を次の式により計算する
2. 上記 1 以外の方向での影響度を次のように計算する

(a) 対象点の水平、垂直方向への射影点の影響度を取得する

(b) 取得した影響度の大きい方を max、小さい方を min とし、対象点における影響度を

$$(\text{影響度}) = \left\lfloor \frac{(\text{max} \times \text{min} - \text{min})}{\text{max}} \right\rfloor \quad (2)$$

とする

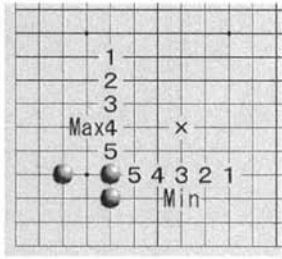


図 23 勢力の展開例

図 23 の例では、高目の黒石は盤面の隅であると判断され、下方向、左方向に強め（ここでは 4）、右方向、上方向に中間値（ここでは 3）に勢力源を初期設定される。これに対し、小目の黒石とは一間の位置関係にあるが、残念ながら強化規則を満たさない。しかしながら、目はずしの黒石とはナラビの関係を満たし、かつ、強化規則を満たすため、右方向、及び左方向の勢力源が強化される（ここでは +1 される）。このため、水平方向、垂直方向への射影点の影響度はそれぞれ 4, 3 となる。すなわち、 $\max=4$ 、 $\min=3$ であるので、影響度は $\lfloor \frac{4 \times 3 - 3}{4} \rfloor = \lfloor \frac{9}{4} \rfloor = 2$ となる。

式 (2) に関して、筆者らは勢力の展開を行う上での理想的な形は等高線であると考えている。しかしながら、囲碁の中盤の評価では大量の計算が行われるので、計算量を削減するために等高線よりもより簡潔に計算できる式 (2) を採用した。

また、勢力の展開において石と対象の点における直線上に相手石が存在する場合はその対象の点に対する勢力の展開を行わない。例えば、図 24 の高目にある黒石から × 印の点に対してはその直線（図における太い直線）上に白石が存在するため、勢力の展開を行わない。

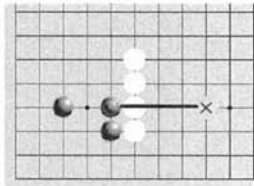


図 24 相手石が間に存在する場合

これらにより、空点に対して、各石がどの程度の影響を及ぼしているかを計算することが可能となる。その結果、各空点に対して、黒、及び白の石からどの程度の影響を受けるかを計算することができる。これは黒側の影響度を +、白側の影響度を - として、すべての石に対しての影響度の総和として計算する。

3.2.3 勢力の強さの評価式

勢力源の計算を行うことで、各石の強さを定め、勢力の展開を行うことで、周囲の点での影響度を計算した。この影響度を H 、陣地と同様に、勢力に対する重み定数を C_{inf} 、盤面の一边の大きさである N 、勢力であるか否かを示すデルタ関数 δ_{inf} を用いて式 (3) で勢力に対する評価を行う。

$$(\text{勢力}) = \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^N (C_{inf} \times H(i, j) \times \delta_{inf}(i, j)) \quad (3)$$

3.3 その他の評価

陣地と勢力以外にも次のような項目を評価パラメータとしている。

- 石ごとの生死
- 同色の石同士の接続・切断
- 群の強弱
- 影響を受けていない空点

これらのパラメータについては紙面の都合で簡単に説明する。まず、石ごとの生死では先手として打ってその石を取り除けるか、後手から打ってその石を取り除けるかを探索により判定を行い、無条件生存、先手生存、後手生存、無条件死の状態の判別をする。そして、その生死状態により評価を行う。すなわち、無条件生存石は評価値を高く、先手生存、後手生存石はこれらの石の評価値よりも低くし、無条件死石はさらに評価値を低くする。したがって、各石における生死状態を r_t 、盤面上の石の総数を M 、石の状態に依存した重み定数を C_{str} (石の生死状態) とすると、次のように表すことができる。

$$(\text{石ごとの生死}) = \sum_{t=1}^M C_{str}(r_t) \quad (4)$$

次に、同色の石同士の接続・切断では、石同士の連絡を 2 石間での影響度の変化を用いて、接続しやすいか否かにより状態を分類し、その状態により評価を行う。すなわち、接続しやすいならば評価値を高く、接続しにくいならば評価値を低くする。したがって、石同士の接続状態を l_t 、盤面上の石同士の接続の総数を K 、接続の状態に依存した重み定数を C_{lim} (石同士の接続状態) とすると、次のように表すことができる。

$$(\text{同色の石同士の接続・切断}) = \sum_{t=1}^K C_{lim}(l_t) \quad (5)$$

また、群の強弱については各群の陣地の状態と群の包囲具合、周囲の群との連絡・攻め合いにより、群の強さを判定し、その群の強さに応じて評価を行う。したがっ

て、盤面に存在する群の総数を L 、群に存在する石の数を Z_t 、群の強さを S_t 、群に対する重み定数を C_{gro} とすると、次のように表すことができる。

$$(\text{群の強弱}) = \sum_{t=1}^L (C_{gro} \times Z_t \times S_t) \quad (6)$$

最後に、影響を受けていない空点はその空点に対して黒石、白石のどちらがどれだけ近くに存在するかにより簡略した評価を行う。影響を受けていない空点がどちらの石にどれだけ近いかを示す W_t 、盤面に存在する影響を受けていない空点の総数を J 、影響を受けていない空点の重み定数を C_n とすると、次のように表すことができる。

$$(\text{影響を受けていない空点}) = \sum_{t=1}^J (W_t \times C_n) \quad (7)$$

これらの和をもって、その他の項目の評価値とする。

$$\begin{aligned} (\text{その他}) = & (\text{石ごとの生死}) \\ & + (\text{同色の石同士の接続・切断}) \\ & + (\text{群の強弱}) \\ & + (\text{影響を受けていない空点}) \quad (8) \end{aligned}$$

3.4 評価関数

盤面に対しての評価値を算出するために、これまでに述べた式 (1)、式 (3)、式 (8) の 3 つを用いて、最終的な提案評価関数を作成する。それが次の式 (9) である。

$$(\text{提案評価関数}) = (\text{陣地}) + (\text{勢力}) + (\text{その他}) \quad (9)$$

4 評価実験

4.1 実験方法

提案評価関数の有効性を調べるために [4] に記載されている問題を用いて、文献 [2, 5] と同様の方法で実験を行った。その方法は次の通りである。

1. 対象とする題目に対して、盤面と最善手の位置を取得する
2. 盤面上の着手可能な位置すべての空点に対して
 - (a) 着手可能位置に石を打つ
 - (b) 評価関数式 (9) を用いて、その評価値を計算する
3. 盤面上の着手可能な位置すべての評価値を下記の法則 1、あるいは法則 2 に基づいてソーティングする
4. 最善手の位置の順位を調べる

法則 1 黒が空点に着手したときの評価値が降順になる

法則 2 黒と白、それぞれが空点に着手したときの評価値の差分が降順になる

なお、前節で述べた各重み定数は実験的に決めている。

4.2 実験結果

提案評価関数における最善手の順位をまとめたものを図 25 に示す。この図においては左側の白いバーが法則 1 における結果、右側の黒いバーが法則 2 における結果を示している。

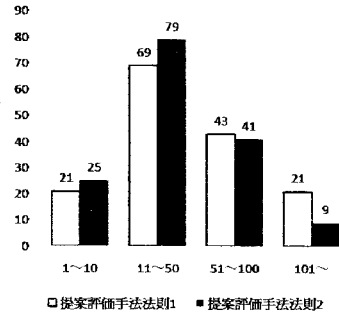


図 25 提案評価関数における最善手の順位

この提案評価関数との比較用に [2] における評価関数での最善手の順位と [5] における評価関数での最善手の順位を示す。

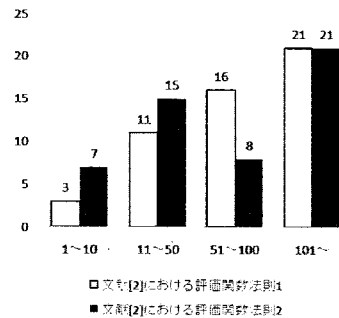


図 26 文献 [2] での評価関数における最善手の順位

これらの 2 つの図においても左側の白いバーが法則 1 における結果、右側の黒いバーが法則 2 における結果を示す。

提案評価関数とこの 2 つの既存評価関数の平均順位を表 1 に示す。

この表から分かるように平均順位に関しては、この実験において [2] の評価関数より大幅に改善されており、また、[5] の評価関数に対しても若干の改善が見られる。

この原因として考えられる理由について順に検討する。

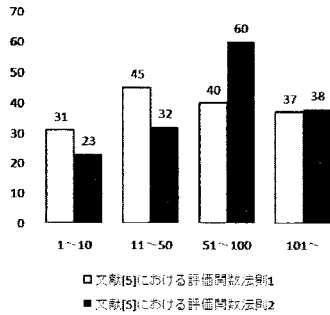


図 27 文献 [5] での評価関数における最善手の順位

表 1 各評価関数での平均順位

| thesis | average(rule1) | average(rule2) |
|--------------|----------------|----------------|
| 提案評価関数 | 51.2 | 49.3 |
| 文献 [2] の評価関数 | 102.8 | 87.0 |
| 文献 [5] の評価関数 | 60.7 | 49.9 |

まず、陣地について、導入した評価関数で改善されたと考えられることは、2つの既存評価関数ではパターンマッチングと捕獲探索による認識のみであるのに対し、提案評価関数では陣地に新たに攻めやすさという評価項目を追加したことが有効に働いたと考えられる。実際に、提案評価関数での陣地の評価結果は法則1では平均56.2位、法則2では平均59.6位であったのに対して、[2]での陣地の評価結果は法則1では平均67.5位、法則2では平均92.1位となっており、この陣地に対する評価精度の向上が図られたものとする^{*2}。

次に、勢力の評価結果を見ると、提案評価関数における勢力の評価結果は法則1では平均62.4位、法則2では平均62.2位となり、[2]の勢力の評価結果は法則1では平均136.4位、法則2では平均131.2位となっており、提案評価関数により、法則1、法則2、どちらも60位以上の改善が行われている^{*3}。

勢力の改善について考察する。次の図28では、黒石の集合と■印の空点と×印の空点が存在する。この2つの空点においては黒石の集合により近い■印の空点の方が×印の空点よりも勢力として高い評価を得るべきだが、既存評価関数では影響の有無の判断に留めているの

に対し、提案評価関数では空点に対する影響度を考慮するので、このような場合でも■印の空点の方が×印の空点よりも高く評価することが可能となる。これにより、勢力の評価精度が向上したのではないかと考えられる。

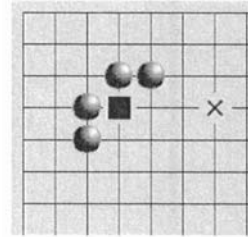


図 28 勢力の改善理由の説明図

5 おわりに

本稿では、囲碁の中盤における評価手法として、陣地と勢力の2点に重点を置いた評価関数について検討を行った。その結果、陣地に対しての攻めやすさ、勢力に対しての影響度を考慮に入れることにより既存評価関数よりも精度の高い評価関数を得ることができたと考える。

本稿では検討はできなかったが、この陣地と勢力以外にも評価項目として重要なものがあると考えられる。それは群の状態判断である。提案評価関数においても群の強弱という評価項目は存在し、まったく考慮していないわけではないが、まだ検討の余地がある。この項目の精度が上がることにより陣地と勢力の評価に対する精度をさらに高めることが可能となると考えられるので、この項目の精度を向上することが重要である。

また、他にも検討すべき課題が存在する。提案評価関数では陣地、勢力などに重み付けを行い、評価を行った。しかしながら、その重みに関しては組織的な決定法を見い出せていない。この重みの決定法に関しては学習アルゴリズムを適用することが考えられる。

参考文献

- [1] 齊藤康己, "囲碁これからは囲碁プログラミングが面白い", bit 別冊ゲームプログラミング, pp.59-72, 1997
- [2] 福井正人, 他, "囲碁の中盤における評価関数", 情報処理学会研究報告 GI-10, pp.47-54, 2003
- [3] 田島守彦, 他, "囲碁における族と領域", 情報処理学会研究報告 GI-10, pp.51-61, 2003
- [4] 春山勇, "布石のベスポジ", 日本棋院, 2002
- [5] 福井正人, 他, "囲碁盤面の評価方法", 情報処理学会研究報告 GI-11, pp.21-26, 2004

^{*2} 本来ならば、[5]との比較も行うべきであるが、[5]では、陣地に対する評価は言及されていないので、ここでは、対象外とした。

^{*3} こちらも陣地と同様に、[5]では、勢力に対する評価は言及されていないので、対象外とした。