

# 変形碁盤の類似性と抽出される特徴間の関係についての解析

佐藤 真史<sup>†</sup> 穴田 浩一<sup>††</sup> 堤 正義<sup>†</sup>

佐藤らが提案した戦術写像を利用した局面や着手の持つ特徴の抽出法<sup>4)</sup>は正方碁盤に限らず様々な形状の碁盤に適用可能である。そのため、戦術写像を用いて構成されたコンピュータプレイヤーは、任意の碁盤でプレイすることが出来る。この性質を応用した、同一プレイヤーの各碁盤での勝率を比較する実験<sup>6)</sup>では、碁盤の類似性は、構成要素とする図形よりも端の数やその配置に強い影響を受けることが確認された。今回、類似性が抽出される特徴へどのような影響を与えるかを検証するため、幾つかの変形碁盤からの特徴抽出、およびその比較を行った。

## Relationships of features between similar and different boards

MASAFUMI SATOU,<sup>†</sup> KOICHI ANADA<sup>††</sup> and MASAYOSHI TSUTSUMI<sup>†</sup>

Sato et. al.<sup>4)</sup> researched the effect for features on boards which have different forms. It was determined that the number of corners and its arrangements are important to select good moves. In this paper, we make some features from two different boards consisting of triangles, and analyze them to determine the relationship between board forms and good moves.

### 1. 序 論

囲碁の持つ特徴の一つに碁盤の形状を自由に選べるというものがある。実際に用いられる 19 路, 13 路, 9 路などの正方形の碁盤以外にも三角形や六角形を敷き詰めたものもあり、それらは全て(碁盤の形状を規定するものを除いて)同じルールで行われる。

戦術写像<sup>7)</sup>は、碁盤の形状によらず用いることの出来る数理モデルであり、囲碁というゲームにおいて意味を持つ様々な特徴を同一の形式で表現することが出来る。佐藤<sup>1)~3)</sup>において、グラフでは表現しにくい座標や向き、二眼など高度な特徴の表現も可能なこと

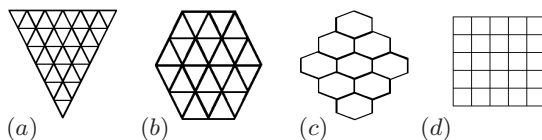


図 1 合同な図形からなる碁盤の例: (a)(b) 三角碁盤. (c) 六角碁盤, (d) 正方碁盤 (6 路盤).

が示されている。

またその定義からランダムに特徴を生成することも可能であり、この特性を用いた特徴の定式化が佐藤<sup>4),5)</sup>により提案されている。その一つとして、戦術写像を用いたプレイヤーの構成、及びその勝率による評価方法が佐藤<sup>6)</sup>により提案された。本手法は、シミュレーションにより碁盤の特徴、複数の碁盤間の類似性や差異を解析する手法である。これにより幾つかの戦術写像により表現された特徴を基準として、碁盤間の類似性が確認された。

本稿では異なる形状の碁盤同士を戦術写像を用いたプレイヤーの勝率及びその順位で比較し、碁盤の持つ特徴のうちどのようなものが類似性、差異として現れるかを解析する手法を提案する。本手法は佐藤<sup>6)</sup>に比べ適用する戦術写像を増やすことで、4種類の碁盤に関して、共通して有用である特徴、また一方でのみ有用な特徴の傾向が解析できた。

また特に勝率に差が生じる 2 碁盤があることが確認でき、類似性が高い碁盤間、差異の大きい碁盤間のそれぞれに関わると思われる特徴の抽出が行えることが確認された。

### 2. 関連研究

#### 2.1 ルール

囲碁は図形的特徴、特に”囲う”という概念を用い

<sup>†</sup> 早稲田大学

Waseda University,  
School of Science and Engineering  
Department of Applied Mathematics

<sup>††</sup> 早稲田大学高等学院

Waseda University Senior High School

たボードゲームである。両プレイヤーは、交互に自身の石（先手は黒石、後手は白石）を置いていき、陣地を取り合う。その際、上下左右に連結した同色の石からなる集合は**連**と呼ばれ、一つの塊として扱われる。また、連に対しその周囲にある石の無い交点（**空点**）を連の**息**と呼び、相手の着手により全ての息を失った連は盤上から取り除かれる。

一般的な正方碁盤では「四隅が陣地にしやすい」、「1つ離して、または斜めに打っていくのが効率が良い」、「石を取る、または防ぐ着手が重要である」などが知られている。石の取りやそれを防ぐ行為が碁盤の形状によらない一方で、四隅や斜めなどは碁盤ごとに意味が異なる。

例えば、隅となる交点は、図1における碁盤(a)には3個、(b)は6個、(d)は4個あり、(c)では隅と端を明確に区別できない。

このように囲碁で意味を持つ特徴には、碁盤の形状によるものと、そうでないものがある。

## 2.2 B-W Graph model

B-W Graph model<sup>4)</sup>は、着手による連及び息の変化を記述する数理モデルである。

B-W Graph modelは、1つの局面が与えられたとき各交点の状態を、  
**黒石集合**  $B$  黒石の置かれている交点の集合  
**白石集合**  $W$  白石の置かれている交点の集合  
**空点集合**  $V$  石の置かれていない交点の集合  
 という3つを用いて表現する。また2交点間の関係として、次の3種類を用いる。

**隣接** 2交点が隣り合っている、または**同一**であること。

**連関係** 2交点が同色の石で埋められ且つ同色の石で繋がっている、または**同一**であること。

**接続** ある交点の組  $x, y$  に対し、 $x$  と連関係にあり、かつ  $y$  と隣接する交点  $z$  が存在すること。

隣接と連関係はそれぞれ二項関係として  $N$  と  $M$  で表現される。またどちらの二項関係も自身に対しても成り立つ（すなわち  $xNx$ ,  $xMx$  が任意の交点  $x$  で成り立つ）。

接続は次で定義される**接続写像**  $F$  を用いて表現される。

$$F(x) = \{y | \exists z \text{ s.t. } xMz, zNy\}$$

定義より、 $y \in F(x)$  と  $x \in F(y)$  は同値ではない。一方で  $x \in F(x)$  は隣接  $N$  や連関係  $M$  と同様に常に成り立つ。

隣接  $N$  は、局面によらず碁盤の形状のみによって決定されるが、連関係  $M$  および接続写像  $F$  は、プレ

イヤーが着手するたびに变化する。

B-W Graph modelでは、着手前の局面  $(B_{i-1}, W_{i-1}, V_{i-1}, F_{i-1})$  と黒の着手  $m_i$  が与えられたとき、着手後の局面  $(B_i, W_i, V_i, F_i)$  を次の式で表現する。

$$B_i = B_{i-1} \cup \{m_i\}, \tag{1}$$

$$W_i = W_{i-1} \setminus D_{i-1}^B(m_i), \tag{2}$$

$$F_i(x) = \begin{cases} F_{i-1}(A_{i-1}^B(m_i)) & x \in A_{i-1}^B(m_i) \\ F_0(x) & x \in D_{i-1}^B(m_i) \\ F_{i-1}(x) & \text{otherwise} \end{cases} \tag{3}$$

ここで、 $H, A^B, D^B$  は次で定義される集合及び写像であり、

$$H = \{z | \#(F(z) \cap V) = 1\}, \tag{4}$$

$$A^B(m) = F^{-1}(m) \cap (B \cup \{m\}), \tag{5}$$

$$D^B(m) = H \cap W \cap F^{-1}(m), \tag{6}$$

それぞれ**アタリ集合**、**新しい連**、**取られる石**と呼ばれる。また手番が白の場合は、上式の  $B$  と  $W$  を交換したもので表される。

B-W Graph modelは、式(1)～(6)からなる漸化式により、局面の変化を数式で表現するモデルである。

## 2.3 戦術写像

戦術写像<sup>5)</sup>は、B-W Graph modelの利用する演算子を用いて、囲碁における様々な特徴の表現を体系化する数理モデルである。

戦術写像は次のような演算子を組み合わせとして構成される

### 0項演算

- $B$  黒石からなる交点の集合
- $W$  白石からなる交点の集合
- $V$  空点からなる交点の集合
- $H$  アタっている交点の集合

### 1項演算

- NOT( $S$ ) 集合  $S$  の補集合
- $F(S)$   $S$  の元が接続する交点の集合
- $F_0(S)$   $S$  の元が隣接する交点の集合
- $P^k(S)$   $k$  個以上の  $S$  の元に接続する交点の集合
- $Q^k(S)$   $k$  個以下の  $S$  の元に接続する交点の集合

### 2項演算

- AND( $S, T$ ) 積集合  $S \cap T$
- OR( $S, T$ ) 和集合  $S \cup T$
- SUB( $S, T$ ) 差集合  $S \setminus T$

0項演算集合  $\mathcal{F}_1$ 、1項演算集合  $\mathcal{G}_1$ 、2項演算集合  $\mathcal{G}_2$  を次のように定義するとき、

$$\begin{aligned}\mathcal{F}_1 &= \{B, W, V, H, \} \\ \mathcal{G}_1 &= \{\text{NOT}, F, F_0, P^k, Q^k\} \\ \mathcal{G}_2 &= \{\text{AND}, \text{OR}, \text{SUB}\}\end{aligned}$$

$d \geq 1$  に対し、

$$\begin{aligned}\mathcal{F}_{d+1}^1 &= \{g_1 f | g_1 \in \mathcal{G}_1, f \in \mathcal{F}_d\} \\ \mathcal{F}_{d+1}^2 &= \{f_1 g_2 f_2 | g_2 \in \mathcal{G}_2, f_1, f_2 \in \mathcal{F}_d\} \\ \mathcal{F}_{d+1} &= \mathcal{F}_{d+1}^1 \cup \mathcal{F}_{d+1}^2 \cup \mathcal{F}_d\end{aligned}$$

$\mathcal{F}_d$  を深度  $d$  以下の戦術写像と呼ぶ。

AND などの集合演算以外は局面に依存して変化するため、局面から何らかの規則に基づいた交点の集合を作る写像となっている。

例えば、演算子  $\text{AND}, B, W, P^3$  を用いて、

$$f = \text{AND}(W, (P^3(B))) \quad (7)$$

という戦術写像 (図 2) を作れば、与えられた局面上での交点集合  $W \cap P^3(B)$  を返す深度 3 の戦術写像となる。これは、「3 つ以上の黒石に囲まれた白石」と読むことが出来る。

距離や向き、座標は、 $F, F_0, P^k, Q^k$  といった隣接や接続を用いて表現される。特に距離はその重ね合わせとなる。例えば、「ある交点  $x$  から 3 路以内の交点」は  $F_0(F_0(F_0(\{x\})))$  となる。そのため、広範囲の交点に関わる特徴ほど深度の深い戦術写像が必要になる。そのため、深度はその特徴の「複雑さ」の 1 つの指標となる。

ランダムに演算子を組み合わせることで生成した戦術写像は、碁盤の形状によらず用いることが出来、1 つ 1 つが何らかの特徴に対応する。この特性を用いて、シミュレーションにより特徴を定式化する手法が、佐藤らの提案した特徴の抽出法<sup>4),5)</sup>である。これは、ランダムに生成した戦術写像の挙動と教師データの一致率を元に、教師データの持つ特徴を定式化する。

また、戦術写像がその構成の仕方から碁盤の形状によらず適用できることを利用し、異なる形状の碁盤における戦術写像から作られたプレイヤーの勝率を指標とした、碁盤間の類似性を確認する手法<sup>6)</sup>も提案された。その際、三角形からなる 2 種類の碁盤が、それぞれ異なる碁盤との間に高い類似性を持つことが確認された。

碁盤の特徴を戦術写像で定式化または抽出すること

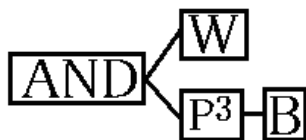


図 2 戦術写像の例

で、深度などによる複雑さや類似性の評価が行える。

### 3. 提案手法

本稿では、複数の戦術写像プレイヤーを用いた、碁盤間の特徴と類似性の評価と解析方法を提案する。

各シミュレーションは、次の設定で行う。

先手 戦術写像プレイヤー 10768 種類

後手 ランダムプレイヤー (1 種類)

碁盤 図 1 の 4 種類

戦術写像深度 最大 6

シミュレーション回数 1000 回

戦術写像プレイヤーとは、与えられた 1 つの戦術写像を元に着手する交点を決めるプレイヤーである。各局面に自身の戦術写像を適用することで得られた交点集合のうち、着手可能なものから等確率で 1 つ選び着手する。ただし、候補となる交点が一つも無い場合は、全ての合法手の中からランダムに 1 つ選ぶ。今回の実験で用いた戦術写像は深度 6 以下のものでランダムに生成したものの 10768 個である。

それに対しランダムプレイヤーは、合法手の中から 1 つランダムに着手を選ぶプレイヤーである。今回、後手番のプレイヤーは、全てランダムプレイヤーに統一した。棋力の評価方法としては、先手後手で勝率が異なる可能性\*が高いため正確性にかけるが、今回の実験は類似性の評価が目的のため同一条件であることを重視し、手番は固定した。

評価方法としては、1 つの戦術写像プレイヤーにつき、100 回の対局を行い、その勝率を用いた。本実験ではどちらか一方の着手可能な交点が無くなったときを終局とし、その時の地と石の数の和が多い方を勝利とした。また予備実験として、ランダムプレイヤー対ランダムプレイヤーで同様に実験し、勝率の標準偏差が 4% 程度であることを確認した。

各戦術写像の評価基準としては、「その碁盤上での対局で何番目に勝率が高いか」を使用し、これを **ランク** と呼ぶことにした。例えば、「碁盤 (a) のランク 3」とは、碁盤 (a) で行ったシミュレーションでの勝率が全 10768 個の戦術写像プレイヤーのうち 3 番目に高かったことを意味する。各戦術写像のランクは碁盤ごとに異なるため、1 つの戦術写像は 4 つのランクを持つ。

\* コミを考慮していないため、全ての碁盤で先手の方が有利であると考えられる。

最高ランク	(a)	(a)	(a)	(b)	(b)	(c)	(c)	(c)
最低ランク	(b)	(c)	(d)	(c)	(d)	(a)	(b)	(d)
個数	4	2	5	34	1	15	33	13

表 1 各碁盤の組み合わせにおけるランク差の大きい戦術写像の数。その他の組み合わせは 0 個。カウント対象はランク差を基準とした上位 10%。

## 4. 結果と考察

### 4.1 結果

各碁盤における戦術写像プレイヤーの勝率をランク順に並べたものが図 3 である。

どのグラフも左上と右下付近まで伸びているという事は、どの碁盤においても、100%に近い勝率の戦術写像、勝率が 20%を下回る戦術写像がそれぞれあったことを意味する。そしてどの碁盤においても 60%から 90%程度の勝率の戦術写像が一番多いことが分かる。また碁盤 (c) は他に比べて勝ちやすく、碁盤 (b) は勝ちにくい傾向も見て取れる。

碁盤間の差異を調べるために、各戦術写像ごとに、4 つのうち

「最も高いランクと最も低いランクの差」

を比較したところ、上位 10% (107 個)、つまり碁盤によって勝率が特に変わりやすいもののうち 3 分の 2 が碁盤 (b) - 碁盤 (c) 間で最大となり、その差は 9000 以上あった。

具体的には

- 碁盤 (b) でのランクが最も高く、碁盤 (c) でのランクが最も低いものが 34 個
- 碁盤 (c) でのランクが最も高く、碁盤 (b) でのランクが最も低いものが 33 個

という結果であった。(表 1)

そこで、次の 3 つの基準で上位 10 個の戦術写像を抜き出し、その構成を解析した。

- (1) 全ての碁盤でのランクが低いもの
- (2) 碁盤 (b) でのランクが最も高く、碁盤 (c) での

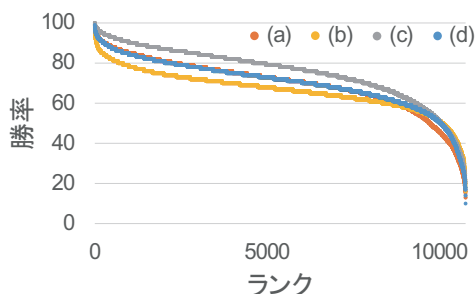


図 3 碁盤ごとのランク順の勝率。

ランクが最も低いもの

- (3) 碁盤 (c) でのランクが最も高く、碁盤 (b) でのランクが最も低いもの

### 4.2 考察

- (1) 全ての碁盤で勝率の高い戦術写像には、「石の近くに打つ」「アタリ石の近くに打つ」「周囲に黒(白)石の少ない交点に打つ」といった石との距離を用いた特徴が多く見られた。
- (2) 碁盤 (b) でランクが高く碁盤 (c) でランクが低いものでは、 $AND(P^2(W), Q^3(W))$  のような周囲の石の数を細かく見るものや、 $Q^3(X)$  ( $X$  は全交点集合) のような接続する交点の多い交点へ着手するものが見られた。
- (3) 碁盤 (c) でランクが高く碁盤 (b) でランクが低いものでは、二交点を繋ぐような着手が多く見られた。

(1) において石との距離が重要視されたのは、それらが碁盤の形状によらず、攻めまたは守りの着手になることが多いからではないかと考える。特にアタリ石の付近は石が取られるかどうかに関わるため、常に重要な着手である。

(2) で周囲の石の数が重要とされたのは、碁盤 (b) は各交点の隣接する交点の数が他に比べ多いからと考えられる。碁盤 (c) は逆に隣接する交点が少なく条件に合う交点がほとんど生じなかったことにより、ランクが下がったのではないかと考える。

(3) で交点同士を繋ぐ着手が多かった理由としては、碁盤 (c) が隣接する交点同様に、2 交点を繋ぐ経路の数が少ないことによると考えられる。六角形で構成されているため、一つのルートが切られた場合大きく迂回することになり、繋げられるときに確実に繋ぐような着手が重要になったものと考えられる。

## 5. まとめ

本論文では戦術写像プレイヤーの勝率による碁盤の特徴づけ、およびそれによる碁盤同士の類似性や差異とその原因となる特徴の解析方法を提案した。本手法により、得られた特徴から共通して有用な特徴と碁盤ごとに価値の大きく変わる特徴を抽出、解析できた。

今回の実験結果としては、石の付近に打つことなどが共通して価値が高いこと、一方で隣接点の数が関わる特徴は、碁盤間、特に六角形で構成される碁盤と三角形で構成される六角形の碁盤の間で、大きく差の出ることが確認された。

本手法を用いることで、具体的にどのような特徴を共通して持つか、また一方で有効な特徴が他方での

程度の価値を持つかが確認できることが示せた。

今後は、類似性や差異となる特徴の自動抽出を考えている。また碁盤からの特徴の抽出だけでなく、指定した特徴を持つ碁盤の生成なども試みる予定である。

### 参 考 文 献

- 1) Masafumi Sato, Koichi Anada, and Masayoshi Tsutsumi. Formulation of nakate by a graph model for the game of go. Proceeding of 3rd International Conference on Applied Computing and Information Technology(ACIT 2015).
  - 2) Masafumi Sato, Koichi Anada, and Masayoshi Tsutsumi. A mathematical formulation based on the connectedness of stones for the game of go. International Journal of Computer and Information Science, Vol.16, No.4, pp. 1-10, 2015.
  - 3) Masafumi Sato, Koichi Anada, and Masayoshi Tsutsumi. A model for the connectedness in the game of go. Proceeding of SNPD2015, pp. 561-566, 2015.
  - 4) 佐藤真史, 穴田浩一, 山口浩太郎, 堤正義. 機械学習を用いた囲碁のある局面における抽出すべき特徴の自動選定について. 情報処理学会第74回全国大会, pp. 2-11-2-12, 名古屋工業大学御器所キャンパス, 2012. 情報処理学会.
  - 5) 佐藤真史, 穴田浩一, 堤正義. グラフに基づく囲碁の静的評価写像系の提案とその検証実験. 第12回情報科学技術フォーラム, pp. 2-291-2-298, 東北大学川内キャンパス, 2013. 情報処理学会, 電子情報通信学会.
  - 6) 佐藤真史, 穴田浩一, 堤正義. 格子型碁盤と特殊な碁盤での有効着手の相違性の解析. 情報処理学会第78回全国大会, pp. 1-33-1-34, 慶応義塾大学矢上キャンパス, 2016. 情報処理学会.
  - 7) 佐藤真史, 堤正義. B-w graph model による棋譜からの着手の機械学習と対局者の思考過程, 着眼点の解析. 情報処理学会第75回全国大会, pp. 2-93-2-94, 東北大学川内キャンパス, 2013. 情報処理学会.
-