

囲碁におけるポテンシャル領域探索の適用

大 島 真^{†1} 山 田 孝 治^{†2} 遠 藤 聡 志^{†2}

本研究では囲碁のヒューリスティックとして碁石をポテンシャルと見なした静的解析手法の実験を行っている。囲碁の解法に物理モデルを用いた研究は幾つか成されているが、従来研究では群や領域や石の影響度といった局所を構成する要素の評価を目的としているのに対し、本研究では対局序盤での勝敗に関わる碁盤の重要な領域の直接的な抽出を目標としている。実験では計算機同士の対局に提案手法を適用した場合の勝率の変化傾向や、モンテカルロ碁による評価と提案手法が抽出する領域との一致率などを求め、碁盤上の石の配置と勝敗に関わる重要な領域との間に幾何学的な規則性がある事を例証した。

Application of Potential Range Search for Igo

MAKOTO OSHIMA,^{†1} KOJI YAMADA^{†2} and SATOSHI ENDO^{†2}

In this study, as the heuristics of *igo*, we tried the experiments of the static analyses by assuming *go* stone to potentials. There are some researches physical sciences models are used. In earlier studies, a goal is an accurate evaluation of the components of *igo*. In this research, a goal is the extraction of the critical areas, which have high winning percentage from *go* board. In these experiments, we calculated changing trends of winning percentage when the proposed methods were applied, and concordance rates of the high winning percentage distributions and the areas that proposed methods extracted. In the result, we successfully demonstrated the geometric relativeness of the critical areas and stone arrangements on the *go* board.

1. はじめに

本研究の目的は、囲碁の対局序盤において、石の系列を基に碁盤上の重要な領域を直接的に抽出する事である。ここでいう石の系列とは、碁盤上に置かれた碁石の相対的位置関係の事であり、重要な領域とは、先に石を置いておく事で後の勝率上昇に繋がる重要な合法手群の事である。その実現方法としてポテンシャル領域探索というヒューリスティックを構成し、幾つかの実験によってその効果を検証した。

提案手法にはポテンシャルモデルを用いており、石の系列情報をポテンシャルエネルギーの均衡状態へと変換する事で、盤全域の静的解析及び多様な領域を抽出する為の操作を可能とした。

本研究では一部ルールモデルを人間の棋士としているが、人間の思考方法を模倣する事が全ての目標では無く、それを教示の一つとして、先読みがほぼ不可能

とされる序盤において、石の系列と碁盤上の重要な領域との間にある幾何学的規則性を捉える事を目指す。

評価実験では、棋士の注目する領域と提案手法が算出する関数値との比較、計算機同士の対局において先手だけに提案手法を付加したときの勝率の測定、そしてモンテカルロ碁を基準としたポテンシャル領域との一致率を算出し、考察を行った。

2. 提案手法

2.1 ポテンシャル領域探索

ポテンシャルエネルギーの均衡状態を基に抽出した特定の領域をポテンシャル領域とする。同じ石の系列であっても、テーマとする均衡状態によって抽出領域は変化する。そして、その領域に限り実行される探索をポテンシャル領域探索とする。

2.1.1 ポテンシャルモデルの意義

局面の静的解析の際、置石より読み取れる情報は断片的であり、それだけでは盤面を広く見た評価が困難である。その対応策として物理科学に倣った実験のモデルを利用し、置石周辺に対して連続的な数値を補完する手法がある。特に本実験では碁石をポテンシャルと見立て、碁盤上全域にポテンシャルエネルギーとしての関数値を与えた。それにより、石の系列から捉え

^{†1} 琉球大学大学院理工学研究科

The Graduate School of Engineering and Science, University of the Ryukyus

mako10@eva.ie.u-ryukyu.ac.jp

^{†2} 琉球大学工学部情報工学科

The Department of Information Engineering, Faculty of Engineering, University of the Ryukyus

た盤の状態が定量的に表現される為、その状態に着目した領域の抽出が可能となる。

2.1.2 実施手順

ポテンシャル領域探索は以下の手順で実施される。

- (1) 碁石をポテンシャルと仮定し、碁盤上全域に分布するポテンシャルエネルギーを算出する
 - (2) 算出されたポテンシャルエネルギーの均衡状態を基に、特定の領域を抽出する
 - (3) 抽出された領域内で探索を実施する
- (2) の抽出領域は設定 (2.1.4 小節) によって異なる。また (3) での探索手法はモンテカルロ碁 (2.2 節) とする。

2.1.3 ポテンシャルの式

ポテンシャル値は以下の関数群より求める。数式の意味は表 1 に示す。式 2 右辺の正負は黒石と白石に持たせるポテンシャルの極性に従い切り替える。また勾配の算出は地理情報システム¹⁾ の方式に倣う。

$$r = \sqrt{(X - x_i)^2 + (Y - y_i)^2} \quad (1)$$

$$P_i(X, Y) = \pm \frac{1}{2r} \quad (2)$$

$$P_{all}(X, Y) = \sum_{k=1}^n P_i(X, Y) \quad (3)$$

表 1 数式と意味
Table 1 Numerical formulas and those meanings

表記	意味
r	交点 (X, Y) と交点 (x_i, y_i) 間のユークリッド距離
x_i, y_i	ある石 $Stone_i$ が置かれた交点の位置
$P_i(X, Y)$	ある石 $Stone_i$ が交点 (X, Y) に与えるポテンシャル
n	全ての碁石の数
$P_{all}(X, Y)$	全石 $Stone_{1...n}$ が交点 (X, Y) に与えるポテンシャル
$PG(X, Y)$	交点 (X, Y) におけるポテンシャルの勾配値

2.1.4 ポテンシャル領域の設定

ポテンシャル領域の違いがより顕著となる様、ここでの抽出設定は表 2 の通りとした。結果として方式 1 では黒石周辺、方式 2 では白石周辺、方式 3 では置石と隔離した箇所、方式 4 では黒石と白石が近接した間並びに黒石周辺及び白石周辺、方式 5 では黒石周辺及び白石周辺へと其々の偏向が生じる。

2.1.5 従来手法との差異

従来²⁾⁴⁾の研究では、群や領域や石の影響度といった碁石の局所を構成する要素に対し適切な評価を与える為にポテンシャルを始めとした物理モデルが用いられている。それに対して、本研究では対局序盤において盤面から重要な領域を直接的に抽出する為にポテンシャルモデルを用いている。

2.2 モンテカルロ碁

モンテカルロ碁とはモンテカルロ法という乱択アルゴリズムを探索に利用したコンピュータ碁基である。その特徴は人間が積み重ねた経験より獲得される定石や詰めといった碁基の知識を必要としない事である。確率的試行のみを棋力生成の機構としている為、各合法手の評価、並びにその打ち筋には一定して偏りが無い。その為、ヒューリスティックの効果を確認し易いという事で、今回の実験での提案手法を付加させる棋力生成器及び提案手法が抽出する領域との比較要素として採用した。

精度を決める要素としてプレイアウトというシミュレーションの回数があるが、今回用いる全てのモンテカルロ碁ではプレイアウト数を 100 とした。

3. 実験方法

3.1 棋士が注目した領域との比較

研究 5) で調査された対局 (計算機上) における棋士が注目した領域と本実験でのポテンシャルによる表現との比較を行った。

3.2 詰碁の解の抽出

碁基の問題集⁶⁾ より、149 題 (問題テーマ: 黒先白死, 黒先黒活) において、ポテンシャル領域の検証を行った。正解手である合法手に対して各方式が付けた順位の平均を測定した。

3.3 対局における勝率の推移測定

モンテカルロ碁同士の対局 (9 路盤) において、先手のみに提案手法を使用した場合の勝率の平均値を測定した (サンプル数は 1000)。但し毎手番には提案手法を使用せず、残りの合法手の数に関する閾値を設け、初手からその閾値までの間で提案手法を使用する。そうする事で、序盤における提案手法の効果を確認した。

全ての方式で抽出領域は合法手の 50% とした。また方式 3 と方式 4 を組み合わせた方式と、ランダムに合法手の 50% を抽出する方式も同様に測定した。

3.4 勝率分布とポテンシャル領域との一致率

合法手の数が異なる状況 (9 路盤) において、式 4 によって、モンテカルロ碁が選定する上位 50% の合法

表 2 ポテンシャル領域の種別
Table 2 Classes of the potential range searches

	黒/白	対象値	選定条件
方式 1	陽/陰	ポテンシャル値	値の大きい方
方式 2	陽/陰	ポテンシャル値	値の小さい方
方式 3	陽/陰	ポテンシャル値	中間の値
方式 4	陽/陰	ポテンシャル勾配値	値の大きい方
方式 5	陽/陽	ポテンシャル値	値の大きい方

手群 $EMove_m$ と、提案手法が選定する上位 50% の合法手群 $EMove_p$ との一致率 $C.R.$ の平均の値を求めた (サンプル数は 1000)。

$$C.R. = \frac{Num(EMove_m \cap EMove_p)}{Num(EMove_m)} \quad (4)$$

4. 実験結果と考察

4.1 棋士が注目した領域との比較結果

3.1 の実験結果を図 1 に示す。図 1(a) において網掛けの部分が棋士の視線が向けられた領域、■印が手元 (マウスポインタ) が及んだ箇所、○印が実際に選定した手を示す。他の 3 つの図は同局面におけるポテンシャルのグラフである。棋士の注目した領域と比較すると、図 1(d) における正の領域 (方式 5) が最も近似し、以降図 1(c) の正の領域 (方式 4)、図 1(b) の負の領域 (方式 2)、図 1(b) の正の領域 (方式 1) という結果となった。

4.2 詰碁の解の抽出結果

3.2 の実験結果を表 3 に示す。値の低さが、詰碁に関して重要な箇所を抽出する程度を示す。問題テーマを問わない場合、詰碁の解を方式 5、方式 4 の順で的確に抽出した。各問題において置石に隣接する合法手の平均数が約 25 という事を考慮すると、方式 5 の結

果は優れていると判断できる。

方式 4 と方式 5 の抽出領域は近似したが、方式 5 では集積した石の内側に抽出領域が集中するのに対し、方式 4 ではその外側に抽出領域分散した為に効果が低下したと考えられる。

また問題テーマによって方式 1 と方式 2 の結果が明確に異なる事から、これらは局所における戦局の判断指標になり得ると考える

4.3 対局における勝率の推移測定結果

3.3 の実験結果を図 2 と表 4 に示す。基準値とした 57% とは、モンテカルロ同士の対局における先手の勝率である。○印は方式 4 から方式 3 に切り替えた点 (14 手目) である。境界値とは基準値と勝率が交差したときの閾値である。

基準値を上回るのはモンテカルロ碁では判別できなかった重要な合法手群を抽出した為と考えられる。それに対し基準値を下回るのは重要な領域を刈ってしまった為と考えられる。各方式のグラフが其々異なる事、また幾何学的規則を持たないランダムなグラフとも異なる事から、石の系列と重要な領域との間に幾何学的規則性が存在する事を推測できる。また方式を途中で切り替える事で境界値が変化する事からゲームの進行によってその規則は変化する事も推測できる。効果的な方式 5 と異なり、方式 1 と方式 2 が抽出する領域は石の色に制約を受ける。それが勝率を早い段階で下降させた要因だと考えられる。序盤では色を区別せずに置石の周囲に着目した打ち方が有効と考えられる。置石と離れた領域を抽出する方式 3 が序盤で大きく勝率を下げている事がその裏付けになる。また方式 4 は方式 5 と近似した領域を抽出し、勝率の推移も近似したが、方式 4 は黒と白が拮抗する間や石の集まりの外側の領域をより抽出する傾向がある。それが中盤における若干の勝率の差を生んだと考えられる。

対局序盤において提案手法を用いた場合、プレイアウトの回数を削減するも対局勝率は落ちない。通常一局に要するプレイアウト数と比較しても、最大約 22% の削減を可能とした。これは先読みに替わり、石の配置バランスを読む事の重要性を示している。

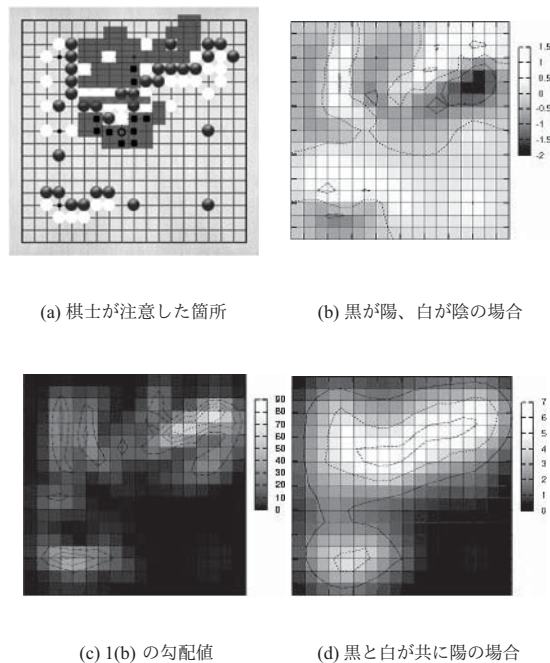


図 1 ある局面における棋士の注意とポテンシャル分布
Fig. 1 A Players Attention and Potential Distributions on the Go board

表 3 ポテンシャル領域の詰碁への適用

Table 3 Appication of Potential Range for Tsume-go Problems

	黒先黒活	黒先白死	平均
方式 1	10.8	67.3	37.3
方式 2	69.9	11.1	42.3
方式 3	65.5	61.5	63.4
方式 4	24.6	17.5	21.4
方式 5	8.3	7.7	7.9

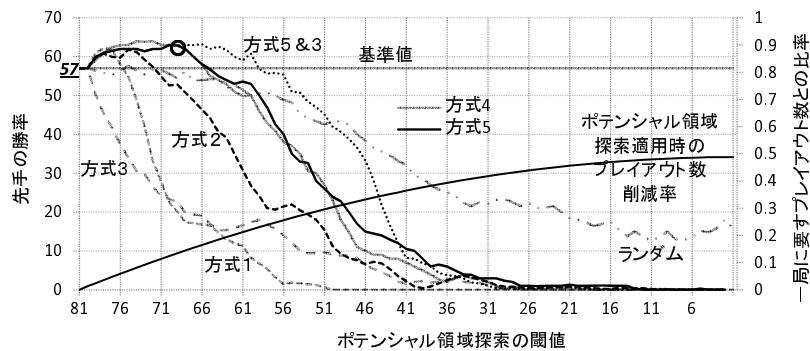


図2 ポテンシャル領域探索を適用した場合の勝率の推移
Fig.2 Winning Rates with Potential Range Search

表4 境界値とプレイアウト数の削減率

Table 4 Border values and reduction rates of playout number

	境界値	削減率 (%)
方式1	6	5.8
方式2	10	10.2
方式3	0	0.0
方式4	16	16.4
方式5	16	16.4
方式5&3	23	22.1
ランダム	0	0.0

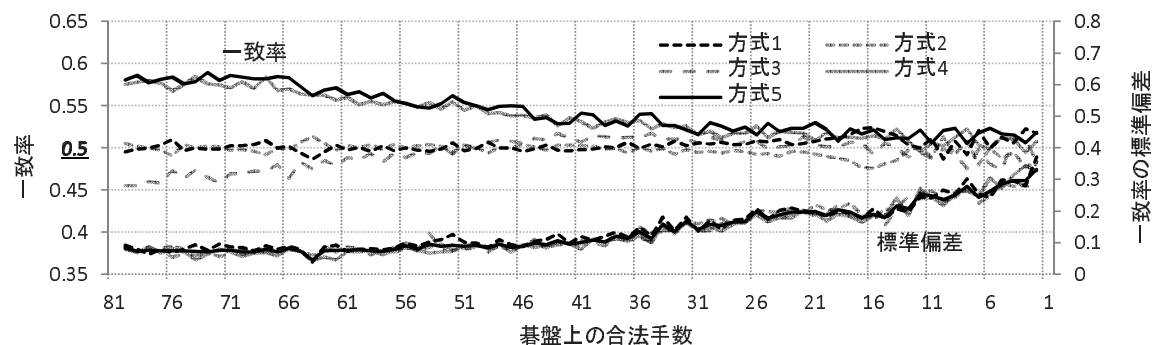


図3 ポテンシャル領域との一致率
Fig.3 Concordance Rates with Potential Ranges

4.4 勝率分布とポテンシャル領域との一致率結果

3.4の実験結果を図3に示す。合法手群選定の設定より、一致率0.5を基準に両者の関連性が推測出来る。4.3の実験において、高い効果を示した方式ほど高い一致率を示した。全ての方式において対局の進行に従い一致率が0.5に収束した事、またその標準偏差が上昇した事は、終盤にかけて石の系列と重要な領域との幾何学的な規則性が減少した為と考えられる。

5. まとめ

本実験ではポテンシャルモデルを用いたヒューリスティックの検証結果から以下の事項を確認した。

- 石の系列と重要な領域の間には幾何学的な規則正が存在する
- 現状は黒白の区別なく、置石周辺の領域が重要となる傾向を確認している。
- その規則性は対局の進行と共に変化する
- その規則性は対局の進行と共に減少する

これらは、棋士の振る舞いと類似性も伺わせる。直感的には了解し易い事を例証する事は、人間の認知能力やその学習プロセスや個人の能力差の研究にも寄与出来ると考える。

また提案手法は囲碁の知識に合わせた特別な調整が為されていない為、碁盤のサイズを拡張した場合を始め、他の相対的位置関係を重要な要件とする問題にも適用が可能と考えている。

参考文献

- 1) Burrough, P.A. and McDonnell, R.A.: *Principles of Geographical Information Systems*, Oxford University Press, 2 edition (1998).
- 2) Zobrist, A.L.: A model of visual organization for the game of GO, *AFIPS '69 (Spring) Proceedings of the May 14-16, 1969, spring joint computer conference*, New York, NY, USA, ACM, pp.103-112 (online), DOI:10.1145/1476793.1476819 (1969).
- 3) 中村克彦, 木戸周平: 数値的な特徴に基づく碁局面パタンの解析, *情報処理学会論文誌*, Vol.43, No.10, pp.3021-3029 (2002).
- 4) 矢島敏雄: 石の働きと盤の効果, *情報処理学会研究報告*, 2009-GI-21, Vol.2004, No.10, pp.41-46 (2009).
- 5) 吉川 厚, 斉藤康己: 碁における盤面状況の認知, *情報処理学会研究報告*, 1993-AI-91, Vol.93, No.103, pp.41-53 (1993).
- 6) 趙 治勲: ひと目の碁, *毎日コミュニケーションズ* (2003).