

A-002

電荷モデルを利用した競合共進化アルゴリズムによる詰碁の解獲得

Competitive Coevolutionary Algorithm with Electric Charge Model for the *Tsumego* game大島 真[†] 山田 孝治[‡] 遠藤 聡志[‡]

Makoto Oshima Koji Yamada Satoshi Endo

1. はじめに

自然界において、他の繁殖集団の生物と関わり、その影響で集団の遺伝子が増え、個体の性質が進化していく過程を共進化という[1],[2]。特に競合関係にある生物同士が他の生物に対して優位に立とうとする結果、相互作用に関連している性質が互いに進化する現象を競合共進化という。

競合共進化アルゴリズムとは、その様な生物種間の闘争による進化プロセスから着想を得た適応型探索アルゴリズムである。このアルゴリズムは、相反する目的を持つ競合集団が、相乗的に互いの進化を促進するという特徴を持つ[3]。この特徴に着目し、「競合相手に対する適応」を「問題に対する最適化」と捉えることにより、競合共進化アルゴリズムを最適化問題へ適用する研究が行われている[4],[5],[6]。特に Fitness landscape が明示的に決定できない種々の問題に対して、集団中の個体評価を集団間の競合結果として与えることで、有効に解を獲得することが示されている[4],[5],[6]。

しかしながら、競合共進化アルゴリズムにおける探索試行は、他の遺伝的アルゴリズム同様、交叉、突然変異といった確率的探索に基づいたものである為、染色体の長さや遺伝子座に収まり得る値の数など、その構成要素の増加に伴い探索空間が累乗的に拡大する。特に異種間同士の相互作用が進化の重要な要素となる競合共進化アルゴリズムでは、一方の集団における進化の遅れ、および局所解への陥りが、共進化全体の停滞を引き起こす要因となる。競合共進化アルゴリズムの機構を活かし、有効な最適解獲得の手法とするには、如何に探索空間の拡大を抑え、各集団の探索試行回数を一定範囲内に収めるかが課題となる。

筆者らは、競合共進化アルゴリズムの対象問題として詰碁を採用し、正解手順の獲得、および効率化・安定化を与える拡張機能を提案し、その有効性を検証している[4]。本稿では、先の研究と同じく対象問題を詰碁として、また別の新たな拡張機能として、碁石を電荷と見立てた拡張機能について提案し、その有効性を検証する。

囲碁においては、より強いコンピュータ囲碁の実現方法の一つとして、電荷モデルを用いた局面解析の研究が行われているが[7]、本研究では同様に電荷モデルを用いることで、競合共進化アルゴリズムの拡張機能を実現する。碁石を電荷と見立てたとき、その詰碁問題が持つ局面独自の電荷分布(または電荷の変化量)が盤上の交点に生じる。その強度を基に、交点(遺伝子座に収まり得る値)の選別を行い、染色体の構成要素を削減する。その手順によって探索空間の拡大を抑えることを旨として、効率的で安定した競合共進化アルゴリズムの実現を目指した。

2. 電荷モデルの実装

電荷モデルの実装方法を以下に示す。本実験での電荷モデルは、実験の試行に則した形式で実装しており、必ずしも一般的な電荷モデルと一致するものではない。

2.1 電荷および電位の実装

本実験での、電荷および電位の定義を以下に示す。

1. 黒石を+極の電荷、白石を一極の電荷とする。
2. 電荷は交点にかかる。
3. 電荷は基本電位 b を持つと設定する。基本電位は、電荷が周囲に与える電位の計算に用いられる。
4. 電荷が置かれた交点からの市街地距離を d として、周囲の各交点にかかる電位 v の算出式を式(1)とする。隣接する交点間を市街地距離 $d=1$ とする。電位の絶対値が1以下となる場合は切り捨てとする。

$$v = b/2^d \quad (1)$$

5. 一つの交点に対し複数の電荷から電位を与えられる場合、その交点にかかる電位は各電位の総和とする。

黒石の基本電位 $b_i=8$ 、白石の基本電位 $b_p=-8$ とした場合の例を図1に示す。

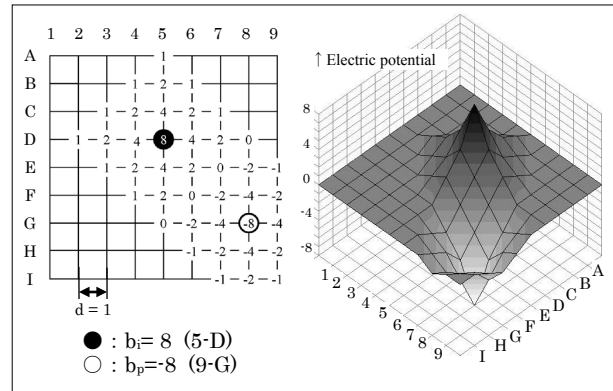


図1 電位の実装例

2.2 電荷密度の実装

本実験での、電荷密度の定義を以下に定義する。

1. 電荷密度は、+極の電荷に基づく cd_i と、-極の電荷に基づく cd_p を個別に設定する。 cd_i は+極の電荷に由来する電位のみによって算出する。対して cd_p は-極の電荷に由来する電位のみによって算出する。
2. 同極の電位の総和を v_sum 、同極の電位がかかる領域を v_area として、電荷密度 cd は式(2)で求められる。

$$cd = v_sum / v_area \quad (2)$$

電荷密度 (+) の例を図2に示す。左図と比べて、右図の方が2点の黒石間の距離が近い為、結果として電荷密度 cd_{i1} より cd_{i2} が大きくなる。

[†] 琉球大学 University of Ryukyus

[‡] 琉球大学 University of Ryukyus

2.3 電位分布の実装

後に扱う問題 1 の電位分布を図 3 に示す。左下図は、電位 v の高低を示したものである。また右下図は、その電位 v の変化量 v' を示したものである。分布図においては配色が濃い程、高い値を示す。

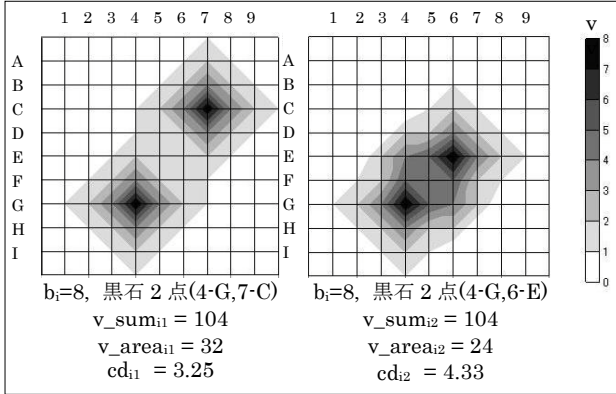


図2 電荷密度の例

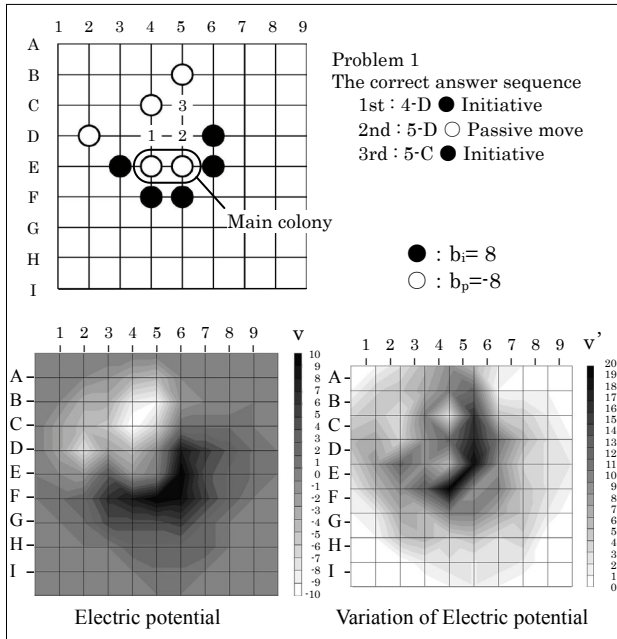


図3 問題 1 とその数値的特徴

3. 詰碁への適用実験

3.1 詰碁

詰碁は碁盤と碁石を使って先手と後手が交互に自分の色の石を碁盤の上に置いていく一人用パズルゲームである。各局面の最善手によって最適戦略が構成される。

詰碁の目的は二種類に分けられる。一つは黒石が白石を仕留める「白死」、もう一つは黒石が生き残る「黒活」である。今回、競合共進化の適用にあたっては、「白が死んだ」と、規定回数で結果が明示される理由から、白死のタイプの問題を対象とした。また、今回は各問題共通して 9×9 (交点 81 個) の盤において実験する。

3.2 詰碁問題に対するモデル設計

- ・ 個体：戦略を個体とする
- ・ 戦略：手の系列を戦略とする
- ・ 集団： P_1 を先手戦略集団 (黒石)、 P_2 を後手戦略集団 (白石) とする
- ・ 個体のコーディング：1 戦略は、優先順位順に並んだ手の系列によって構成されている (置石パターン総数 81)。図 4 に個体 (戦略) のコーディング例を示す。第 0~80 遺伝子座の並びは 1 手目における動作の優先順位を示しており、各遺伝子座に格納されている値は、その優先順位における置き石の位置 (交点) を示している。

対戦時は、優先順位順に動作を選択する。先手 (黒石) ならば白を囲む手を実行手とし、後手 (白石) ならば、黒石から逃げる手を実行手と決定する。このコーディングにより、ゲームが常に実行可能となる。

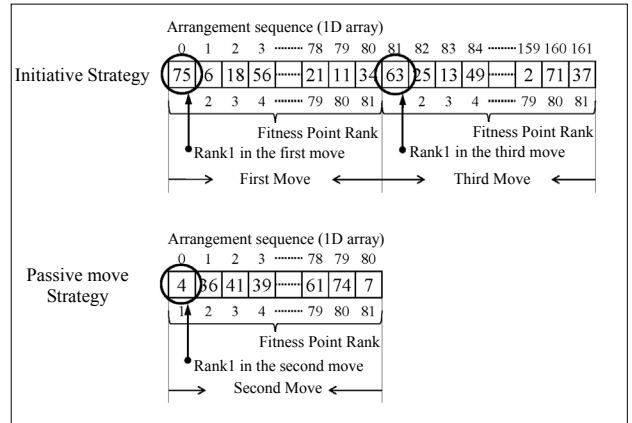


図4 個体 (戦略) のコーディング

3.3 提案手法の拡張

提案する拡張機能の内容を以下に示す。

3.3.1 電位分布による遺伝子座に収まり得る値 (交点) の選別

原則、遺伝子座がとり得る値は盤の交点 (0~80) である。その 81 種の交点について、局面ごとに現れる数値的特徴 (電位分布または電位の変化量) を用い、正解手順の候補となる交点の選別を行う。

本実験で扱う選別方式は以下の 3 種とした。

- ・ 方式 1. 正電位を帯びた交点を残す。
- ・ 方式 2. 負電位を帯びた交点を残す。
- ・ 方式 3. 電位の変化量が大きい交点を残す。但し閾値はそのときの電位分布がとるスケールの 50% を超えるラインとする。

除外された交点は着手不可能手としてマスキングし、後の探索試行には使用しないものとする (図 5)。具体的な処理は以下の通りである。

1. 除外された値 (交点) は、適応値算出時に用いない。
2. 除外された値 (交点) は、遺伝子操作 (突然変異) の対象としない。

3.3.2 適応度

先手戦略の適応度 F_1 の算出式および後手戦略の適応度 F_p の算出式は次の通りである。(但し、 k_1, k_2 は定数、主コ

ロニーとは取られた時点で白の負けが確定する石の集まりと定義する。)

$$F_i = -(k_1(2 * (\text{主コロニーの白石の電位の総和}) + (\text{主コロニー以外の白石の電位の総和})) / v_p_area + k_2(\text{白石獲得数})) \quad (3)$$

$$F_p = -F_i \quad (4)$$

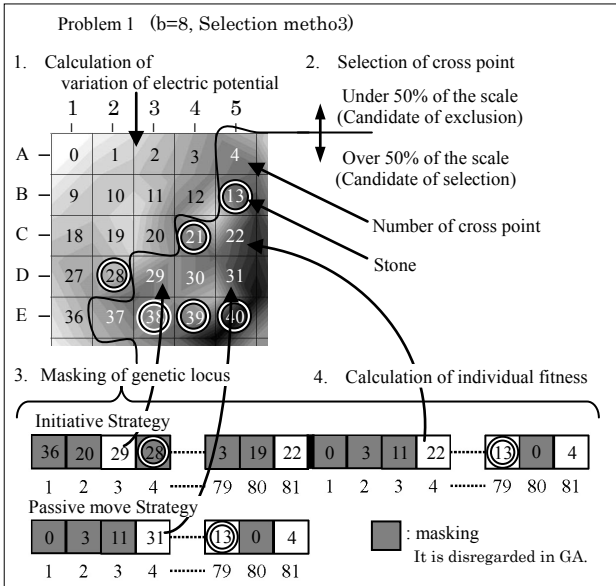


図5 遺伝子座のマスキング

3.4 GA オペレータ

GA オペレータは、個体コーディングに応じたオペレータを採用する。

- 一点交叉：一手毎の染色体を交叉させる。
- 突然変異：一つの染色体内において、2つの遺伝子座をランダムに選び、其々の位置を交換する。

3.5 問題設定

詰碁問題の中から、白死3手詰め問題を採用する。本実験で用いる問題は、問題1(図3)である。この問題では、交点4-Eと5-Eに置かれた白石を獲得(白石の周囲の交点全てに黒石を置く)することが目的である。(正解手順：
●4-D ○5-D ●5-C)

なお、本実験で用いた競合共進化アルゴリズムのパラメータを表1に示す。

表1 パラメータ

一集団個体数	16
サンプリング数	10
交叉率	0.2
突然変異率	0.2
GAオペレータ最大適用回数	10×T(競合世代数)

4. 結果と考察

実験結果を基に、競合共進化によって最適解が得られるまでのプロセスを説明する。グラフ(図6)の値は、先手戦略の適応度を示す。プラス方向の値は先手戦略の適応値

の高さを示し、マイナス方向の値は、後手戦略の適応度の高さを示す。

- (A) 後手(2手目)が交点4-Dを獲得。後手優勢。
 - (B) 先手(1手目)が4-Dを獲得。(1手目最適)
 - (C) 先手(3手目)が5-Dを獲得。先手優勢。
 - (D) 後手(2手目)が5-Dを獲得。(2手目最適)
 - (E) 先手(3手目)が5-Cを獲得。(3手目最適)
- 以上で詰碁の完成となる。

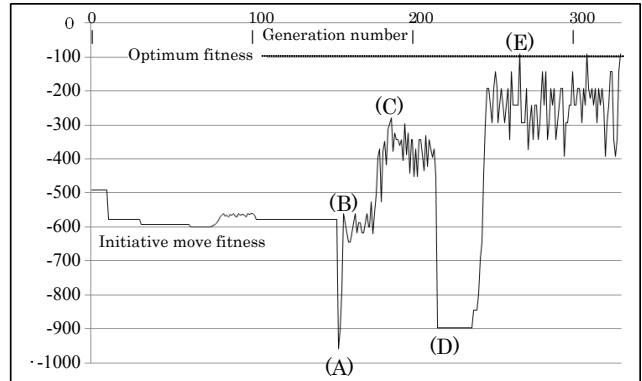


図6 問題1における先手戦略の適応値の推移

4.1 拡張機能による、平均探索試行回数の推移

遺伝子座に収まり得る値の選別方式と、着手可能な交点(選別された交点で、なおかつまだ石が置かれていない交点)の個数、それらに対応する最適解獲得にかかる平均探索試行回数の関連性を表2に示した。

表2 問題1における平均試行回数の推移

	着手可能な手の数	平均試行回数(標準偏差)
従来手法	71手	1639(1029)
方式1	27手	-*
方式2	23手	666(539)
方式3	12手	249(157)

※最適解の獲得が不可能

方式2と方式3においては、着手可能な交点の削減により、従来手法と比較し、最適解獲得までの平均試行回数が減少している。しかし方式1に限っては、探索試行によって最適解の獲得に至らなかった。

注視すべき点は、着手可能な交点の数と、それらに正解手順の要素となる交点が含まれているか否かである。

問題1のような白死の問題では、一般的に先手と後手共に白石付近への置き石が有効となる傾向にある。つまり最適解の候補となる交点は負の電荷の周辺に集中することになる。その為、負の電荷を持つ交点を選定する方式2が問題1の傾向に適合し、平均試行回数の減少に至ったと考えられる。逆に方式1は正の電荷を持つ交点を選定する為、最適解の候補となる交点を除外してしまうことになり、結果として最適解の獲得の妨げに働いたと考えられる。

一方、方式3は電位の変化量による選別である。つまり選別される交点は黒石と白石がより混在した付近に集中する(等電位線と言えば、線が密になる箇所)。その為、方式3は詰碁問題自体が持つ性質(黒石と白石の対立)に適合し、平均試行回数が減少したと考えられる。

ここで、他の問題への有効性を検討する為、特に問題 1 とは傾向が異なる黒活の問題に対して拡張機能を考えた例を、図 7 および表 3 に示す。

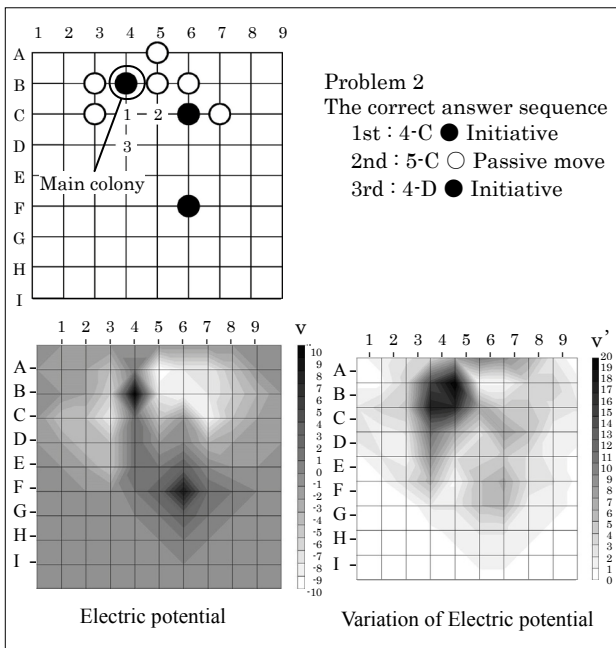


図7 問題 2 とその数値的特徴

各選別方式によって、着手可能な交点の数と、それらに正解手順の要素が含まれているか否かに注目する。

黒活の問題では、一般的に先手と後手共に黒石付近への置き石が有効となる傾向にある。白死の問題とは逆に、正の電荷を持つ交点を選定する方式 1 が問題 2 の傾向に適合し、正解手順の要素となる交点を残しつつ、着手可能手が削減されている。

対して、方式 2 を用いた場合は、正解手順の要素を除外してしまい、最適解の獲得が不可能になる。問題 2 の傾向と、方式 2 の傾向が適合しなかったと考えられる。

一方、方式 3 においては、問題 1 の場合と同様、詰碁問題自身が持つ性質に適合し、正解手順の要素を残しつつ交点の選別が行われ、平均試行回数が減少したと考えられる。本実験に限っては、白死の問題（問題 1）と黒活の問題（問題 2）といった両問題の傾向の違いに関わらず、方式 3 による交点の選別が両方で有効に機能し、また両方で着手可能手の数が一番減少している。

確率的な探索試行である競合共進化アルゴリズムでは、着手可能手の減少は、直接的に探索試行回数の削減を意味する。問題 2 の様な黒活の問題に対しても、適応値の設定を適切に行えば、拡張機能を備えた競合共進化アルゴリズムが有効に機能し、最適解の獲得が可能だと推測される。

表3 問題 2 における着手可能手数推移

	着手可能手の数	正解となる交点
従来手法	72 手	含む
方式 1	22 手	含む
方式 2	23 手	含まない
方式 3	6 手	含む

6. 結論

本稿では競合共進化アルゴリズムの対象問題とした詰碁問題に対して電荷モデルを利用することにより、従来手法と比べ、効率的で安定した競合共進化アルゴリズムによる最適解獲得の手法を目指した。

詰碁問題の局面を構成する黒石と白石を対極の電荷と見立てることで、電位分布または電位の変化量として、その局面が持つ固有の数値的な特徴が導き出される。その結果を基にして、遺伝子座に収まり得る値（交点）の選別を行う。交点の選別は、染色体長の削減の意と等しく、探索空間の狭窄を生じ、平均試行回数の減少に繋がったと考えられる。しかしながら、選別方法によっては最適解の獲得が不可能になる場合もあり、問題の傾向と選別方式の傾向の適合度合いが、効率的な探索試行を実現する為の重要な要素と伺える。

今後は、電荷モデルを用いた拡張機能の実験を更に多くの白死問題に対して行い、数値的な特徴において、その意義を捉えつつ、抽出方法を検討し、選別の精度を高めていくと共に、更に難易度の高い問題に取り組んでいく。併せて問題 2 として取り上げた、白死とは異なる傾向を持つ問題、黒活問題についても電荷モデルを用いた拡張機能の有効性を証明していく。

また、電荷モデルは簡潔な一般則であり、他の分野への応用が容易である。同様に詰碁は簡潔で単純な構造のゲームでありながら、その探索空間は非常に広い。その構造の簡潔さを応用の容易さ、探索空間の広さを表現の幅と捉えると、今回の競合共進化アルゴリズムの実験結果を他の分野（複数の同質（異質）の物体や力の集合体を要素にする問題など）へ応用する事も考え得る。

競合共進化アルゴリズムにおいて、対象問題（詰碁）に則した形で数値的な特徴を導き出し、その有効性を検討する一方、その実験結果の応用性も検討していく所存である。

参考文献

- [1] Futuyma, D.J. And D. Jablonski, "Co evolution", Sinauer, (1983).
- [2] 河田 雅圭, "進化論の見方", 紀伊国屋書店(1989)
- [3] 伊庭齊志: 進化論的計算の方法, 東京大学出版, (1999).
- [4] W.D. Hillis, "Co-evolution parasites improve simulated evolution as an optimization procedure", Artificial Life II, Addison Wesley pp.313-323(1991).
- [5] M. Nerome, K. Yamada, S. Endo and H.Miyagi, "Competitive Co-evolution Model on the Acquisition of Game Strategy", Lecture Notes in Artificial Intelligence, Springer, pp224-231(1997).
- [6] M. Oshima, K. Yamada, S. Endo and M. Nerome, "APPLICATION OF COMPETITIVE CO-EVOLUTION ALGORITHM WITH DIRECTION OF EVOLUTIONAL PROCESSES TO TSUME-GO GAME", Intelligent Engineering Systems Through Artificial Neural Networks, volume 14 by Cihan H. Dagli PP.229-234(2004).
- [7] 中村克彦, 木戸間周平, "数値的な特徴に基づく囲碁局面パターンの解析", 情報学会論文誌, vol.43, No.10(2002).