

# 知っておきたいキーワード

## 遺伝的アルゴリズム

(正会員) 高橋 裕樹†

† 電気通信大学 大学院情報理工学研究所

"GA (Genetic Algorithm)" by Hiroki Takahashi (Graduate School of Informatics and Engineering, the University of Electro-Communications, Tokyo)

キーワード: 遺伝子, 遺伝子コーディング, 遺伝的操作, 巡回セールスマン問題, 繰り返し囚人のジレンマゲーム

### 遺伝的アルゴリズムとは

遺伝的アルゴリズム (GA: Genetic Algorithm)<sup>1)</sup>は、1960年代から研究されてきた手法であり、ミシガン大学のJohn Henry Hollandが1975年に "Adaptation in Natural and Artificial Systems", University of Michigan Press/MIT Pressで書籍としてまとめた、生物進化の原理をもとにした多点の確率的探索手法、最適化手法の一手法である。GAは、CG (Computer

Graphics) のライティングデザイン、音声・画像処理や検索などにも応用されており<sup>2)</sup>、最近では、新型新幹線N700系の先頭形状の設計にも利用されている<sup>3)</sup>。

GAにおいては、数字やアルファベットで表された遺伝子 (Gene) が染色体 (Chromosome) 上にコーディングされる。それぞれの遺伝子の組合せを遺伝子型 (Genotype) といい、その遺伝子型によって表現される個体 (Individual) を、表現型 (Phenotype)

という。この染色体に対して、個体の優劣を決定するための評価基準となる適応度関数 (Fitness Function) を定義する。そして個体の適応度に応じて淘汰 (Selection) を行う。また、交叉 (Crossover)、突然変異 (Mutation) などの遺伝的操作を行い、新しい個体を生成する。このような遺伝的操作を繰り返すことで、適応度関数を最大化する個体が生成される。

### 遺伝的アルゴリズムの代表的な考え方

GAの代表的な処理の流れを図1に示す。まず、与えられた問題に対して、その問題を解決するために適した遺伝子コーディングと適応度関数を決める。決定した遺伝子コーディングに基づいて、乱数を用いてある個体数 (Population Size) を持つ初期個体の集団を生成する。次に、その初期集団に対して適応度関数を用いて個体の適応度を求める。この適応度によって、淘

汰を行う。淘汰には、比例淘汰、エリート淘汰などさまざまな淘汰の方法がある。淘汰を生き残った集団に対して交叉を行う個体対を決定し、図2に示すような一点交叉 (One-point Crossover)、複数点交叉 (Multi-points Crossover)、一様交叉 (Uniform Crossover) のいずれかを行う。交叉によって二つの親個体から新しい遺伝子型を持つ子個体が生成される。一点交叉は染色体のある一箇所で二つの親の遺伝子列を交換する交叉で、複数点交叉は複数の場所で

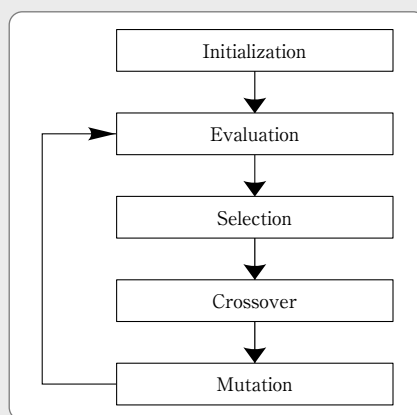


図1 GAの計算手順

🔍 遺伝子列を交換する。図2では、二点交叉の例を示している。一様交叉は、交叉の際にマスクをかけ、それぞれどちらかの親の遺伝子を継承する子を作成する方法である。さらに、ある確率で遺伝子の一部の値を変える突然変異を行う。このような操作で新しい世代の集団が生成され、再び適応度評価を行う。ある世代数に達するか、優秀な個体の適応度がある値になるかなどの終了条件にしたがって、GAの処理を終了する。

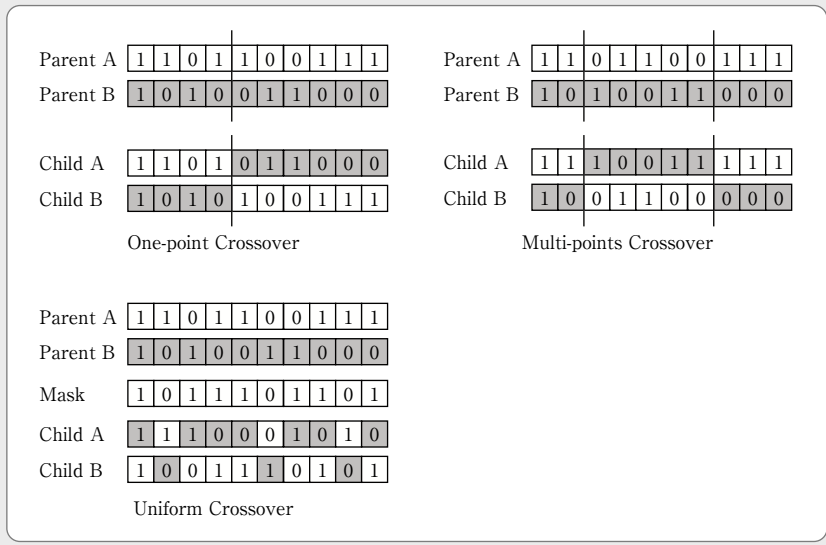


図2 代表的な交叉

### コード化—交叉問題

GAにおいては、与えられた問題に対してどのようにコーディングを行い、どのように交叉を行うかで、問題解決能力が決定される<sup>4)</sup>。対象となる最適化問題は、その問題の解候補全体から構成される問題空間を持つ。解を求める際に、解の類似性や部分解を利用することで、各解候補の求め易さの構造が定義される。一方、GAでは、

ある遺伝子型で表された個体がある交叉を施されることで、設定された適応関数を最大化する個体が解として得られる。この解を求める空間をGA空間と呼ぶ。GA空間では、遷移に必要な淘汰や交叉の種類によって各個体の遷移のしやすさが異なる。また、問題空間とGA空間の対応をコード化と呼び、コード化の違いによってもGA空間における進化のしやすさが異なる。交叉とコード化が適切であれば、GA空間

で適切に繁殖できることが、問題空間においても適切に解を求めることと同値になる。逆に、コード化が不適切な場合、解探索に意味を持たない個体である、致死遺伝子を多く生成してしまう可能性がある。GAでは、与えられた問題に対してどのようにコーディングをするか、どのように交叉するかを適切に決定することが重要である。

### 遺伝的アルゴリズムとその周辺領域

遺伝的アルゴリズムに関連して、生物の進化に基づいた計算手法が多数提案され研究されている<sup>5)</sup>。人工生命(AL: Artificial Life)は、生命現象の普遍的な特質や現象の本質を、主に計算機を使った構成的アプローチで解明しようとする研究分野である。特に、部分的な性質の単純和では表せない性質が全体に現れる「創発」という現象を探ろうとするものである。1980年代から盛んに研究され、1987年にChristopher LangtonがLos Alamos National Laboratoryで“Workshop

on the Synthesis and Simulation of Living System”を開催した。

進化的戦略(ES: Evolution Strategies)は、GAとは独立に、1960年代からヨーロッパを中心にベルリン工科大学のIngo Rechenbergと Hans-Paul Schwefelらによって研究が進められた。生物の進化に基づいた考え方はGAと同じであるが、主にn次元連続関数の最適化を行うことを目的に始められた。進化的プログラミング(EP: Evolutionary Programming)は、Lawrence J.Fogelが1960年に提案した確率的最適化手法である。GAに比べ親と子の交叉よりも突然変異に重点をおいて個体を生成する。

遺伝的プログラミング(GP: Genetic Programming)の基本概念は、1977年にDouglas Lenatによる素数や数学の概念発見システムが提案された頃に遡るといわれ、Stanford大学のJohn Kozaによって“Genetic Programming, on the Programming of Computers by means of Natural Selection”の大著によってまとめられた<sup>6)</sup>。GPは、GAの遺伝子型に木構造を採り入れたもので、知識処理も扱える点で、人工知能(AI: Artificial Intelligence)に近いと言える。

GA, GP, ES, EPを総称して、進化的計算(EC: Evolutionary Computation)や進化的アルゴリズム(EA: Evolutionary Algorithm)と呼んでいる。

### 遺伝的アルゴリズムの適用例

GAの具体的な応用例として、巡回セールスマン問題 (TSP: Travelling Salesman Problem) と繰り返し囚人のジレンマゲーム (Iterated Prisoner's Dilemma Game) への応用について簡単に述べる。

巡回セールスマン問題は、地図に配置された複数の都市をすべて一回ずつまわった時に、移動する距離が最も短い巡回経路を求める問題である。巡回する都市数が増えると問題を解く時間は莫大になる。図3に示すように、TSP問題における基本的な遺伝子のコーディング方法として、パス表現 (Path Representation)、隣接表現 (Adjacent Representation) と順序表現 (Ordinal Representation) がある。パス表現は、起点とする都市から巡回する都市名を順に文字列に置き換え染色体とする方法である。都市A, D, C, B, Eの経路で巡回する場合、(ADCBE) というリストで表現される。パス表現で記述された染色体を一点交叉すると同じ都市を2回訪問するという致死遺伝子が多く生じる欠点がある。隣接表現は、都市iから都市jに移動する場合、リストのi番目に都市jを配置する表現である。この場合、都市Aから都市Dに移動するので最初にDが配置され、都市Bから都市Eに移動するのでEが配置される。以下同様に考えると、都市A, D, C, B, Eの順で巡回するリストは (DEBCA) と表現される。順序表現では、基準の都市リストを持ち、次に巡

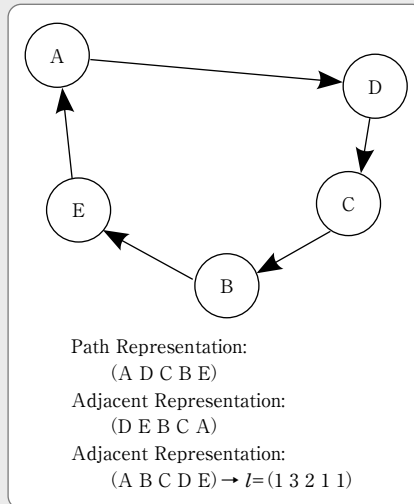


図3 TSP問題における遺伝子コーディング

回る都市が未訪問都市の何番目であるかを表す。基準の都市リストとして (ABCDE) を定め、A, D, C, B, Eの順で巡回すると、リストは (13211) で表される。最初に都市Aを訪れるので、基準都市リストのAの順番である1がリストの最初の値となる。次に、基準都市リストからすでに訪れた都市Aを削除した都市リスト (BCDE) を作成し、この都市リストに対し同じ方法でリストの要素を決定する。2番目に訪れる都市はDで、都市リストの3番目にあるので、リストの2番目の要素は3になる。順序表現では、一点交叉を施しても親から子には部分的な部分巡路 (Subtour) しか遺伝されない。

巡回セールスマン問題では、同一都市を訪問しないことが制約条件であり、得られた遺伝子が同一都市を訪問する経路は、問題の制約条件を満たさ

ない致死遺伝子となる。致死遺伝子を多数生成してしまうことは、解探索に無意味な個体を生成することになり、解探索能力を低下させてしまう。コーディングと同時に、交叉の方法が最適値探索能力に大きな影響を与える。そのため、パス表現では、部分写像交叉、順序交叉や循環交叉などさまざまな交叉方法が提案されている。特に、致死遺伝子を生成せず形質遺伝を重視した交叉方法として部分巡路交換交叉がある。パス表現された染色体に対して二つの個体間で都市集合が一致する部分巡路を交換する。これによって、適応度に大きな影響を及ぼす部分巡路の形質を子に遺伝することができる。

繰り返し囚人のジレンマゲームは、二人の対戦相手が相手を裏切るか協調するかで得点が与えられるゲームである。裏切り対協調では、裏切り側が高得点で、協調側は得点がない。協調し合った場合、お互いに得点し、裏切り合った場合にはそれより低い点をお互いに得点する。繰り返し囚人のジレンマゲームでは、ゲームを何度か繰り返し行った場合、総得点が高くなる戦略を求める。このゲームにおいては、「しっぺ返し」という戦略がよく知られている。これは、ゲームの最初は相手に協調しつづけ、その後相手の前回の手の真似をするという戦略である。GAを用いてこのゲームの戦略を進化させると「しっぺ返し」と同じ戦略や定常的に協力的な戦略を行う戦略が進化するようになる。(2012年1月19日受付)

### 参考文献

- 1) 北野宏明：“遺伝的アルゴリズム”，人工知能学会誌，7，1，pp.26-37，(1992)
- 2) 高木英行，畝見達夫，寺野隆雄：“対話型進化計算法の研究動向”，人工知能学会誌，13，5，pp.692-703 (1998)
- 3) “新型新幹線「N700系」の「顔」を生んだ「遺伝的アルゴリズム」の秘密【その1】”，日経トレンドネット，<http://trendy.nikkeibp.co.jp/article/column/20070620/1001047/> (2007)
- 4) 山村雅幸，小野貴久，小林重信：“形質の遺伝を重視した遺伝的アルゴリズムに基づく巡回セールスマン問題の解法”，人工知能学会誌，7，6，pp.1049-1059 (1992)
- 5) 喜多一：“遺伝的アルゴリズムによる最適化の現状”，科研費特定領域研究「確率的情報処理への統計力学的アプローチ (smapip)」，確率的アルゴリズムによる情報処理講義ノート，p.10 (2003)
- 6) 伊庭齊志：“GPの過去，現在，未来”，進化計算学誌，1，1，pp.23-31 (2010)



**高橋 裕樹** 1990年，東京工業大学工学部制御工学科卒業。1992年，同大学院博士前期課程 (物理情報工学専攻) 了。1994年，同大学院博士後期課程中退。1994年，同大工学部情報工学科助手。同大学院情報理工学研究所助手を経て，現在，電気通信大学大学院情報理工学研究所総合情報学専攻准教授。画像処理，パターン認識，CGなどの研究に従事。博士 (工学)，正会員。