

A study on search points generating mechanisms in evolutionary computation

大西, 圭

<https://doi.org/10.15017/458554>

出版情報 : Kyushu Institute of Design, 2002, 博士 (芸術工学), 課程博士
バージョン :
権利関係 :

第1章 序論

1.1 本論文の背景

1800年代の半ば頃、イギリスの生物学者ダーウィンは、ガラパゴス諸島にいた鳥類の一種であるフィンチの観察に基づいて進化論を発表した。現在、我々は、この進化論が示す概念を生物が環境に適応するメカニズムとして一般に受け入れている。この進化論は、ダーウィン進化論やダーウィニズムや自然選択説などと呼ばれている。

ダーウィン進化論は、時に適者生存や自然淘汰あるいは自然選択などの言葉で語られるように、環境に適合した形質を持つ個体が生き残り、それらが子孫を繁栄するという過程を繰り返すことで漸進的に生物が変化していく、ということを示している。また、遺伝物質がDNAとして同定されて以来、生物学の分野では生物個体の持つ形質を遺伝物質に還元する作業が進められおり、実際に生物の形質すべてを遺伝物質に還元できるのかは分からないが、ダーウィン進化論を分子レベルから考えることも可能になってきている。

生物進化は、帰納的な過程であり、また基本的に予測と再現ができない過程でもある。そのような過程を説明する概念を利用できる場所は、反復試行が可能な仮想世界だけである。そのような仮想世界を構築する土台を提供したのが1950年代に登場した電子計算機であり、その土台の上に構築される仮想世界とはアルゴリズム [7] である。アルゴリズムとは、有限個の手続き (論理的推論) により何かを行なう術のことであり、この概念は計算機の登場により生まれたものではなく古くからある。計算機は、机上や頭の中で考えられていた手続き (論理的推論) の連鎖を高速に実行可能とする道具である。

計算機登場当初の計算機科学者の中には、計算機を生物の振舞いを理解するための道具として見ていた人もいて、ダーウィン進化論もそれによる理解の対象となった。そして、計算機登場から間もなくしてダーウィン進化論に着想を得たアルゴリズムがいくつか登場した。1966年にアメリカで Fogel により進化的プログラミング (Evolutionary Programming: EP) [17] が発案され、1973年にドイツで Rechenberg によって進化戦略 (Evolution Strategy: ES) [66] が発案され、1975年にアメリカで Holland により遺伝的アルゴリズム (Genetic Algorithm: GA) [23] が発案された。個々の方法論は、発案者の属したコミュニティにおいて独自に発展を遂げていたが、1990年代になってそれらの研究者の間に交流が起り、ダーウィン進化論に着想を得たアルゴリズムを総称する呼び名が生まれた。その呼び名は、進化計算 (Evolutionary Computation: EC) あるいは進化アルゴリズム (Evolutionary Algorithm: EA) である [16][6][4]。

生物進化は因果的かつ帰納的な過程であり、また同時に目的指向的な過程ではない。一見

目的指向的な過程と人が感じる生物の振舞いも、物質の持つ固有の性質を利用して帰納的に獲得されたものである。そして、生物が帰納的に機能や構造を獲得するとき、常に自分と他の個体を含む環境との相対的な優劣関係が作用する。一方、アルゴリズムの実行は、一般に有限個の手続きにより何かの目的を果たそうとする行為であり、それは目的指向的な過程となる。また、アルゴリズムは、固有の性質を自身に内包する自然界の物質のような前提となる構成要素を持たず、全て人間の手によって与えられるルールである。

以上のように、一見相容れないように思われる生物進化とアルゴリズムというものを引き合わせたものが進化計算論である。進化計算論の核となるものは、自然選択(自然淘汰)の考え方である。つまり、自他の相対的な優劣関係から自分が生き残る(環境への適応)能力が決定される、という考え方である。ただし、主体の持つ相対的な適応度は自然界と違って数値化されるので、実のところは絶対的な適応度である。もう一つの決定的な生物進化と進化計算の違いは、現環境に適応していると判断された主体から新たな主体を形成する方法にある。生物進化においては、遺伝物質である DNA が持つ性質を利用した遺伝のメカニズムがそれにあたる。一方、進化計算論では、主体間の適応度に基づく競争を勝ち抜いた主体から新たな主体を形成する手段を用意しなくてはならない。

進化計算は、これまで、様々な最適化問題の解法として改良と応用が行なわれてきた。最適化問題の解法としての進化計算の振舞いは、大まかに言うと、生物の遺伝情報である DNA に相当する文字配列あるいは数値配列を最適化問題の候補解とし、複数の候補解の間の問題への適応度に基づく競争と競争に勝ち抜いた候補解から新たな候補解を生成するという手続きを繰り返すことによってより良い候補解を獲得する、というものである。

この最適化問題を解くアプローチは、最適化問題の持つ性質を予め知ることを基本的には必要としない。対象とする最適化問題の候補解の集合を文字列あるいは数値列の集合として定義できれば基本的にその問題に適用可能となる。しかし、このアプローチは、決められた数の有限個の手続きを実行した後に解が必ず得られることを保証しない。例えば、2次方程式の解を求める手続きのように、決められた手続きを踏めば必ず解が得られるというアルゴリズムではない。求める解が得られるか得られないかは、用意する方法論を対象とする最適化問題に適用した後に分かることである。

以上のような実行結果が不確定である進化計算の方法にこれまで多くの人が魅せられてきた。その理由の一つとして、人類の興味である進化論に着想を得ていることがまず挙げられる。現実的な理由としては、この方法が構成的に結果を獲得できる方法であるからと思われる。例えば、実行結果が不確定であっても、ある最適化問題を解く確定的な方法論が見いだせない場合、進化計算だけに限らず逐次的な方法が唯一の解法であり、その中でも複数の候補解の集合を用いた解探索の方法(多点解探索法)は幅広い問題に対して効率が良いからと思われる。

これまでの最適化問題の解法としての進化計算の改良研究の背景には、幅広い最適化問題

に対してより良い候補解をより少ない計算負荷で得るという目標がある。先に述べたように進化計算手法は、対象とする最適化問題の性質を考慮せずに適用可能であり、その手法の効果は実行した結果として分かることであるが、改良する以上、最適化問題の特徴についての何らかの仮定を必要とする。改良研究は主にある仮定の上に候補解間の適応度に基づく競争のさせ方と競争を勝ち抜いた候補解から新たな候補解を生成する新しい方法を設計するものである。

現在、進化計算が誕生してから約40年が経っているが、実世界で発生する多くの最適化問題に対する応用において有用さが示されている点から進化計算改良研究の目標はかなり達成されてきた感がある。しかし、進化計算改良研究には、その目標が束縛するある傾向があったように思われる。より具体的には、現候補解から新候補解を生成する方法の設計法についての傾向である。

最適化問題としての進化計算を研究する上での基本的な目標から少し離れると、そこにはこれまであまり注目されておらず、かつ解探索に利用できる情報がある。そのような情報を利用できるように進化計算を拡張した手法と従来の進化計算との間の解探索特性の違いを見ることで、これまでの進化計算の方法がどのような点で優れており、またどのような点でまだ改良する余地があるか、などの知見が得られるように思われる。

1.2 本論文の目的

本論文の目的は、(1) 数値最適化問題の解法としての進化計算を候補解(探索点)生成法の点について拡張した手法を提案すること、(2) 提案手法と従来の進化計算手法との探索特性の比較を通じて従来の進化計算手法を深く理解すること、(3) 従来の進化計算手法の理解からこれからの進化計算研究の方向性について考察すること、である。

進化計算手法は、図1.1に示す3つの空間(遺伝子型空間、表現型空間、適応度ランドスケープ)と各空間の間にある写像(遺伝子型空間と表現型空間の間)あるいは関数(表現型空間と適応度ランドスケープの間)を扱い、その3つの空間で得られる情報を利用して解探索を行なう。遺伝子型空間とは、進化計算手法が生成する探索点の全集合であり、個々の探索点は個体とも呼ばれる。表現型空間とは、遺伝子型空間内の探索点(個体)を写像して得られる最適化問題の候補解の全集合である。表現型空間内の各点(候補解)を適応度関数に代入することでその各点(候補解)の写像元になる遺伝子型空間内の探索点(個体)の最適化問題に対する適応度(評価値)が計算される。適応度を与えられた全探索点(全個体)表現が適応度ランドスケープである。これは、遺伝子型空間上の適応度分布と言うこともできる。

これまでの進化計算手法は、遺伝子型空間と表現型空間の間の写像を固定することが多い。例えば、数値最適化問題において、遺伝子型空間をビット空間とし表現型空間を整数空間とすると、その2つの空間の間の写像は固定であり全単射となる。さらに、近年の傾向として

は、遺伝子型空間と表現型空間は同一とすることが多い。このとき、2つの空間の間の写像は恒等写像となり、考える必要がなくなる。次に適応度は、一般的に探索点(個体)の間の競争に用いられる。そして、その適応度に基づく競争に勝ち残った探索点(個体)から新たな探索点(個体)を生成する。つまり、適応度ランドスケープの形状情報を直接利用した新たな探索点生成は一般に行なわない。

本論文で提案する数値最適化問題のための拡張進化計算手法は、より少ない計算負荷でより良い候補解を得るという目標に向けて改良されてきたこれまでの手法があまり用いることのなかった情報を利用する。

第1の拡張の方向は、適応度ランドスケープの形状情報を直接利用した探索点生成法を導入することである。局所探索法は、勾配情報あるいは勾配情報に類似した情報を用い、これも一種の適応度ランドスケープ形状情報を直接利用する方法であるが、ここでの取組みは、それとは異なり、大局的な適応度ランドスケープをモデル化し利用する方法についてである。

第2の拡張の方向は、遺伝子型空間を構成する方法を変更することである。この拡張にはさらに2つの拡張手法がある。

第1の拡張手法は、探索点を生成するメカニズムの構成要素の集合で遺伝子型空間を構成し、構成される探索点生成メカニズムにより直接表現型空間内の点を生成するものである。ここで言う探索点とは、表現型空間内の点のことである。この手法の競争進化の主体は、従来の進化計算手法においては探索点であるのに対し、探索点を生成するメカニズムとなる。

第2の拡張手法は、従来1対1であった遺伝子型空間と表現型空間の間の写像関係を多対1に拡張するものである。これは、遺伝子型空間の広さが表現型空間の広さよりも大きいことを意味する。冗長な遺伝子型空間における探索点の競争進化により、遺伝子型空間から表現型空間への写像を同時に適応させるものである。この写像法の構築には、生物の実際の発生機構(遺伝子型から表現型の形成)を参考にする。

本論文で提案される拡張進化計算手法は、数値最適化問題のための解法であり、それらの手法の比較評価には従来の進化計算手法の一つである実数値遺伝的アルゴリズムを用いる。その比較評価から、提案手法の用いる情報の有用さと冗長さを考え、それを通じて従来の方法が用いる情報の有用さと冗長さを考える。これにより、従来の方法をこれまで以上に深く理解することとこれからの進化計算研究の方向性を論ずる。

1.3 本論文の構成

本論文は、全9章から構成される。本論文の構成を、図1.2に示す。

第1章では、本論文の背景と本論文の目的を示した。

続く第2章では、まず進化計算の枠組みを示し、次にこれまでの進化計算研究を探索点生成法の観点から類別し、それらの研究と本論文の取組みとの違いを示す。進化計算が扱う3

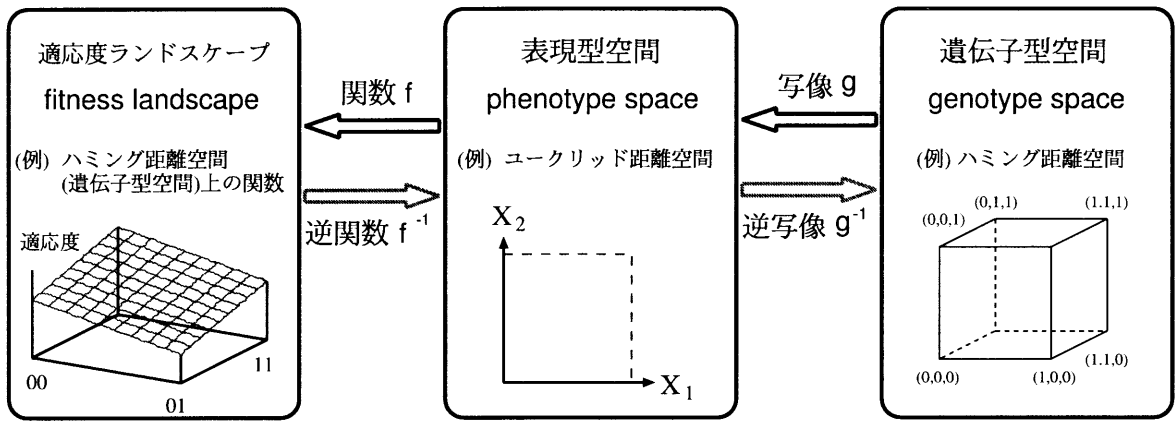


図 1.1: 進化計算手法が扱う空間と写像と関数.

つの空間 (遺伝子型空間, 表現型空間, 適応度ランドスケープ) のうち, 本論文では主に適応度ランドスケープと遺伝子型空間を扱う.

第3章と第4章は, 適応度ランドスケープを扱う手法について示す.

第3章では, 適応度ランドスケープ形状情報を利用した探索点生成法を従来の進化アルゴリズムに補助的に導入した手法の解探索特性を詳しく評価する.

第4章では, 適応度ランドスケープの構造学習に基づく最適化手法を提案し, その解探索特性を調べる.

第5章と第6章と第7章は, 遺伝子型空間を扱う.

第5章では, 表現型空間内の点を生成するメカニズムの構成要素で遺伝子型空間を構成する最適化アプローチを提案し, その解探索特性を調べる. このとき, 従来の方法が探索点を競争進化の主体とするのに対し, 探索点生成メカニズムが競争進化の主体となる.

第6章では, 実際の生物の遺伝子型から表現型空間への写像である発生機構に着想を得た構造生成手法を提案する. これは最適化アプローチの提案ではない.

第7章では, 第5章で提案する最適化アプローチと第6章で提案する構造生成手法を組み合わせた最適化手法を提案し, その解探索特性を調べる. 第6章で提案する生物の発生機構に基づく構造生成手法は, 表現型空間内の点を生成する方法となる. 第5章で提案する探索点生成メカニズムの競争進化に基づく最適化アプローチは, 第6章で提案する手法が構造生成のときに利用するパラメータ値を生成するメカニズムを競争進化させる.

第8章は, 本論文全体の考察部分である. 本研究を通じた進化計算に対する理解とその理解から考えられる今後の進化計算研究の方向性を示す.

第9章は, 本論文の結論である.

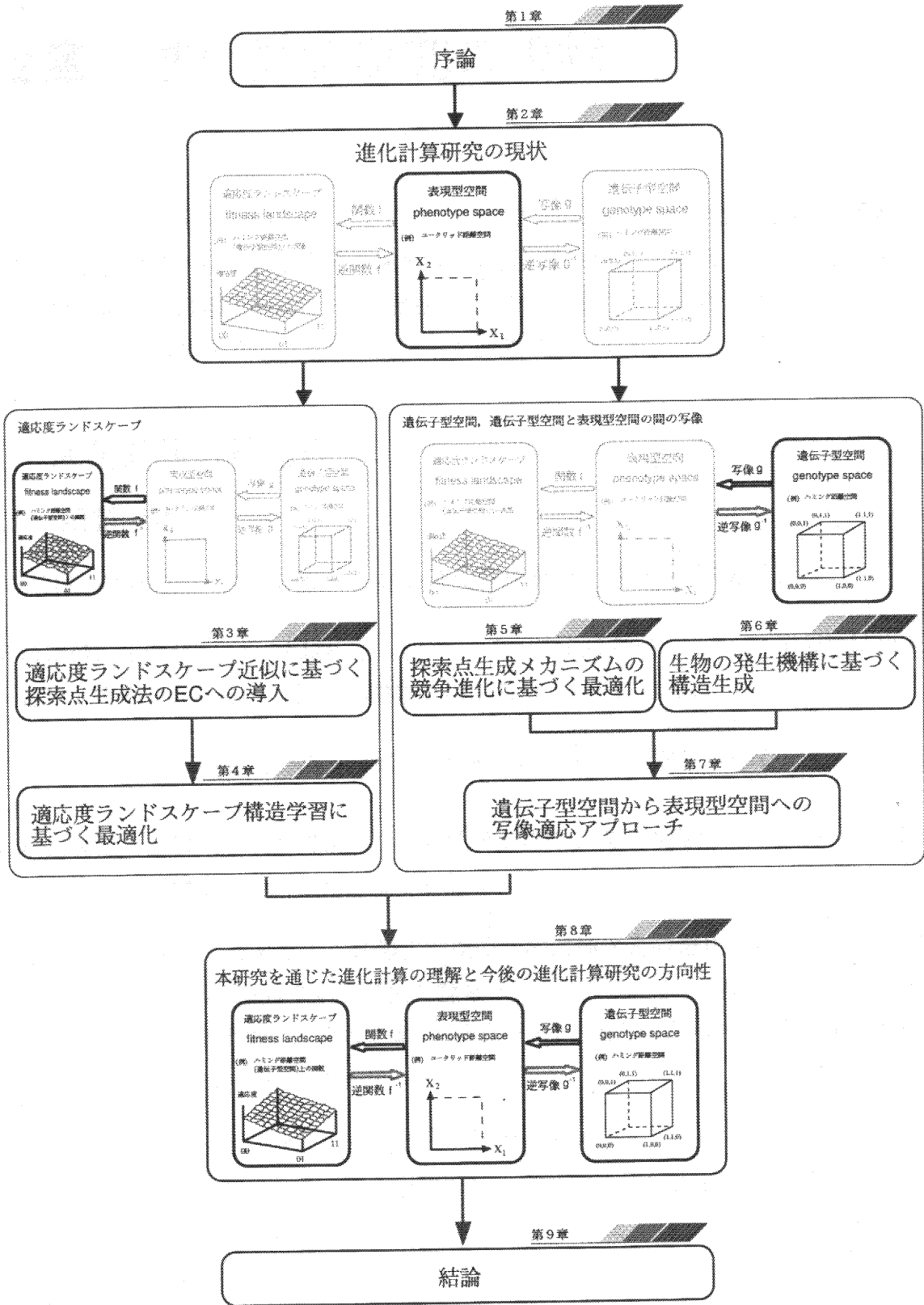


図 1.2: 本論文の構成.