

IV-21

多目的GAによる交通ネットワーク整備のシナリオ分析

室蘭工業大学大学院 学生員 ○有村幹治
室蘭工業大学 正員 田村亨

1. はじめに

交通ネットワーク整備における多目的性の考慮は、バスや航空事業における事業者と利用者の目的最適化にみられるように、その必要性が数多く挙げられている。

ところで、筆者らはこれまでGAを用いて、予算制約付き最適配置問題¹⁾や工事順番最適化問題²⁾等の研究を既に行ってきた。これらの適用例は、予算制約下での利用者サービスを目的関数とする単一目的の最適化問題のみを扱ってきたといつてよい。土木計画において、複数代替案の組み合わせを一意にモデリングできるGAを多目的最適化問題に拡張できる意義は大きく、これにより、例えばn人協力ゲームとして表現できるコンフリクトな市場において、各プレイヤー(企業)の利得を最大化する戦略組み合わせを、パレート最良解として得ることで、多くの整備シナリオを把握することができる。

本研究の目的は、交通ネットワーク整備のシナリオ分析における多目的GAの適用可能性と課題をモデリング手法としてまとめることである。本稿の構成は2章で多目的最適化問題、及び人工生命論的適応システムの観点から土木計画におけるGAの課題を述べる。次に3章で2つの分析手法の違いを航空ネットワークの生成過程の分析を例に取り説明し、4章でまとめる。

2. 遺伝的アルゴリズム

(1) 土木計画におけるGAの課題

土木計画においては、GAは最適化手法の一つとして扱われることが多い。最適化手法としてのGAでは、価値があるのは結果として得られる解であり、その解探索過程における各遺伝子線列(プロジェクトにおける代替案の組み合わせ案)の動向に注目し、なんらかの意味を見出そうという行為は余り意味が無い。しかし、土木計画には「過程

についての分析が重要となることも多い。都市の成長過程の分析や合意形成プロセス等がこれにあたるであろう。

そもそも、GAはその名前が表わすように、生物の進化における遺伝的な学習をベースとしたアルゴリズムという側面を持つ。生物にみられる「目標の認識」・「環境との相互作用」・「記憶保存」の性質を複合的に組み合わせたときに生じる「自己組織化」という学習に基づく適応のアルゴリズムであり、その情報の基盤を遺伝に置いたものである³⁾。しかし土木計画においては、このようなGAの持つアルゴリズム的ダイナミズムはあまり注目されていない。

計算工学の分野における、GAの今後の応用分野は大まかに①組み合わせ最適化問題及び非線型最適化問題の近似解法②生物進化のモデル及び検証ツール③適応システムまたは自律分散システムの制御アルゴリズム④ニューラルネット、オートマトンなどのハイブリットシステム⑤免疫システムの基本アルゴリズム⑥人工生命の基本アルゴリズム、と分類されている。工学の応用分野として密接に関係してくるのは主に①、③、④である。②は生物学的応用分野であり、⑤、⑥は境界領域の分野となる⁴⁾。

土木計画では、特に①についてのみ研究されているといつてもよい。この分野では適用対象を組み合わせ問題としてモデル化し、遺伝子線列として記号化することで、GAが容易に適応できることが応用事例を多く生む理由の一つであろう。しかし、③の適応・自律分散システム及び、⑥の人工生命(A-Life)の観点から研究を行った例はまだ無い。これはこの研究分野が新しいということと、特にA-Lifeにいたってはその定義も人によって様々であることが挙げられる。現実社会では、例えば企業が自己の置かれる環境により適応する(より多くの利益を上げる)ために組織形態を変化させることや、時間の経過と共にそれが新しい環境となり、他の企業形態に相互作用を及ぼすことは

多々ある。このような、組織の適応・進化システム構築の観点からのシステム構築は、新しい研究分野となることが指摘されている。

土木計画における GA の課題は、①最適化手法として一層 GA の適用方法を純化させていくこと②現状再現ツールとして適応システムの見地からモデリングを行うこと、の2点である(①の議論が②においても重要になることはいうまでもない)。

(2) 最適化手法としての GA

最適化手法としての GA は例えば以下のような問題について解くことができる。

○目的関数： $f(\{I\}) \rightarrow \min$

○制約条件： $g(\{I\}) \leq 0$

○設計変数： $\{I\} = \{I_1, I_2, I_3, \dots, I_n\}$

土木計画においては、①資源配分②スケジュール問題③最適配置問題、等が挙げられる。いずれも GA を適用しやすい問題であるが、効果的に適用する為には、まず、対象とする問題を説明する構成要素を抽出し、その組み合わせを遺伝子線列として上手に記号化することが、全体のモデル像を少ない情報量で表現する意味において大切である。

GA の基本プロセスは、①遺伝子線列の生成②各遺伝子線列について目的関数値の算出③淘汰④繁殖⑤交叉⑥突然変異によって構成されている。他のヒューリスティック手法と同様に、より良好な組み合わせ解を得るためには、GA を対象とする問題に単純に適用するだけではなく、問題の構造を GA の各プロセスの中に反映させることが、効率的な解探索に繋がる。その為に様々な工夫が GA の各プロセスに対して行われている。それは例えば、初期世代の計算段階では近似的な目的関数を用い、収束が進むに従ってより精密な目的関数を用いることで計算を効率化させたり、大局的解探索を GA で行い、その後 NN やタブ・サーチ等の他の手法に移行させるハイブリット化手法等となる。

(3) 適応システムとしての GA

ここでは適応・自律分散システムや人工生命的な観点からの GA を考えてみよう。北野⁹⁾によると、A-Life に関する研究はサイエンス指向とエンジニア指向に分けられ、前者は進化のメカニズム、生命システムの解明の計算論的側面が中心となり、後者は進化のメカニズム、生命システムの解明に着想を得た計算機構をマシン上に実装して、進化・適応システム構築手法を確立することを主眼とする。土木計画学における A-Life のアプローチはあくまでエンジニア指向となり、人間個人や団体・

企業を構成要素とする進化・適応システム構築による現状再現、分析が主たる目的となるであろう。

GA は A-Life 研究における基本的アルゴリズムになるといわれているが、人工生命研究そのものの定義はいまだなされていない。しかし、おおむね同意がなされている A-Life システムの特色は次のように示される。それは、①単純なプログラムの集合からなる、②他の構成要素全てに指示を出す構成要素は存在しない、③個々の要素は局所的な環境で反応する定義を持っている、④システム全体の挙動を決定するルールは保持していない、⑤全体の振る舞いは明示的ではなく創発する、の5点である。

A-Life の基本思想はコレクションニズム(Collectionism)とも呼ばれる。コレクションニズムでは、構成要素間の局所的な相互作用を通して、大局的な秩序や挙動が生成されるというボトムアップ的な創発と創発された大局的な秩序や挙動が構成要素の振る舞いや相互作用に影響し変化をもたらすというトップダウンとの双方向の機構を考える。そのためシステムを構成する要素の集団と、要素同士がお互いに影響(相互作用)しあう仕組みを考える⁹⁾。

合理的経済人を最少構成要素とした場合も同様に考えられる。合理的経済人は過去の経験を学習しながら、自己が置かれた環境の中で認識できる範囲で最大の効用を得ようと行動するルールを持つ。その場合であれ、環境との相互作用により行動戦略を変化させ、その結果、企業・家計・政府といった社会的な組織が創り出される。

3. 最適化手法と適応システムとの違い

本章では、例として、航空会社間の競争下におけるネットワークの生成過程を考える。有限な交通需要を複数の企業の複数路線で奪い合う場合、競合する企業は相互に依存しあったり、時間・空間的に住み分ける場合がある。この生態系のように複雑に組織化された現象を、GA を用いて再現する方法を順に説明する。

複数の競合する企業がある限られた年数の中でそれぞれの利益を最大化するように航空路線を設定する場合、問題のとらえかたによって GA の適用方法は2つ考えられる。それは、①均衡分析としての多目的最適化ツール、②不均衡分析としての現状再現ツール、である。これら2つのアプローチの違いを、次節より順に具体的に述べる。

(1) 多目的最適化問題によるネットワーク生成

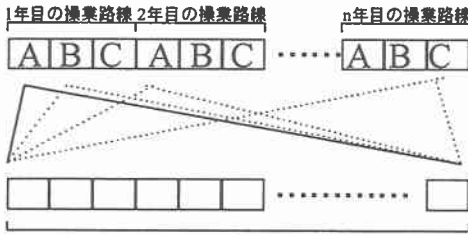
多目的最適化手法としてのGAの適用を考えよう。

この場合、問題は以下ようになる。

○目的関数： $f_i(\{I\}) \rightarrow \max$ ($i=1-N, n$:企業数)

○制約条件： $g_j(\{I\}) \leq 0$ (予算等)

○設計変数： $\{I\}_i = \{I_1, I_2, I_3, \dots, I_k\}$
 ($i=1-n, k=1-M, |n$:企業数 k :路線数)



i社のj年目の操業路線情報($i=\{A,B,C\}, j=1-N$)
 図-1 遺伝子線列の構成

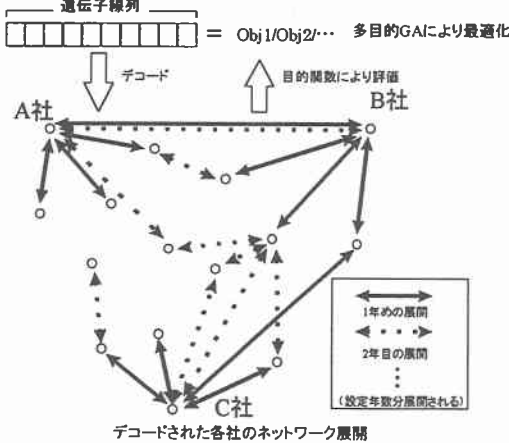


図-2 遺伝子線列のデコード結果

遺伝子線列で記述されるのは、年次毎の各企業の乗り入れ路線である。つまり、1つの遺伝子線列が数年分の全ての企業の路線設定を意味する(図-1)。遺伝子線列をデコードすることで期間内の全ての企業の路線戦略が表現される。路線の組み合わせ候補数は莫大となるので、GAを用いる効果が期待できる(図-2)。

設定年数における各企業の乗り入れ路線の選択の経過を評価するために各企業毎になんらかの目的関数を設定する。各企業は利益を優先するようにネットワークを構成し、利用者は享受するサービスが最大になるように行動する。その結果、多目的GAにより最適化されたパレート解には、限られた企業が利益を受けるシナリオが含まれるであ

ろうし、各企業が協調した結果生じる妥協解としてのネットワーク構造を獲得できる可能性もある。

最適化アプローチでは、遺伝子線列に時間の概念をスライス状に導入し、ネットワークの成長過程のシナリオをあらかじめ生成して評価している。よって、このアプローチは多目的問題における最適スケジューリング問題となる。

なお多目的GAの計算方法はSuhafferの方法、Goldbergの方法、Fonsecaらの方法、Hornらの方法、玉置らの方法、荒川らの方法等が既に提案されている。

(2) 適応システムによるネットワーク生成

現状再現的な適応・学習システムとして同じ問題をとらえてみよう。ここでは、トレードオフの関係にある企業として、①航空会社A②航空会社B③航空会社C、をそれぞれ設定する(実際には、これに空港を建設・運営する政府と環境としての利用者が加わる)。これらの各企業はそれぞれに複数の戦略を持つ。この関係は、単一の企業としてのGAと、細かい構成要素(戦略)の集合としての遺伝子線列と考えるとよい。

適応・学習アプローチでは、複数の企業間の相互作用を表現する為に、複数のGAを連結して並列処理を行う。企業は、周囲の企業の活動(路線設定)と交通需要の分布変化に従って、より多くの利益をあげるために内部構造を変化させる。つまり企業の目的関数は環境や他の企業との関係を変数とするので、常に状況に応じた最適戦略を自己編集可能なシステムにより決定することになる。これは利用者を含めてモデリングした場合も同様である。企業の路線設定は環境変化の要因となり、その環境に適応するため、自ら行動規範を変化させる。



図-3 システム構成要素としてのGA

図-3はシステムを構成するユニットとしてのGAの概念図である。これは①内部的相互作用(自己編集機能)、②他の要素との間での機械的に記述可能な相互作用、の2点を持つ⁹⁾。構成要素は互いにネットワークを形成するが、要素間の相互関係は外側から定義されるものではなく、環境の変化にしたがって間接的に生じる。これらのネットワーク要素が他の要素と相互作用を持つことにより新たな構造が創発される(図-4)。

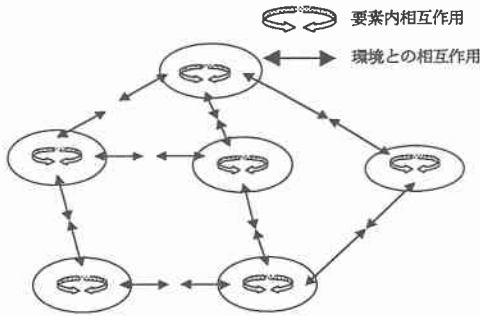
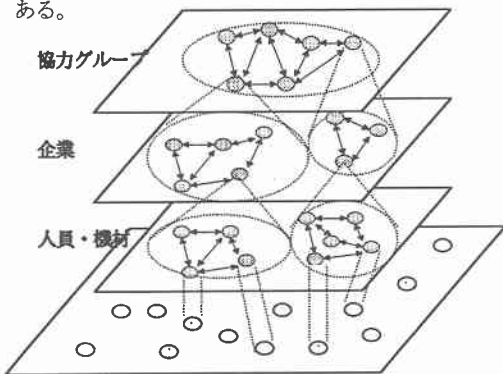


図-4 要素の内部変化と相互作用

図-5は企業を構成する部分、部分を構成する人員や機材等の、階層毎に分けた概念図である。企業の構成要素は他の企業や需要の変化による新しい環境に適応するために、内部構造を新しく編集する。他の企業と協力して、それぞれの内部構造を結合して新しい企業形態を組織する可能性がある。



物理世界 図-5 構成要素による「創発」

単純 GA は進化という現象を大幅に抽象化してモデリングしたものであり、淘汰・交叉は計算プロセスの一つに過ぎない。この単純 GA が上述のモデルにおける格子の構成要素として動作することになるが、複数の GA が連結されて、同期的に並列処理されることで、適応・学習的システムの構成が可能となる。これは離散的動力学系の適応アプローチであるセル・オートマトン⁷⁾において、セルが局所ルールを環境に応じ自ら編集する学習効果を考慮できることを意味している。

計算過程では、例えば、環境に適応できない企業の淘汰が観察される。淘汰された企業の構成要素は、新しい環境に適応するように内部構造を変化させ、場合によっては他の企業の構成要素となる。また企業の構成要素である就航路線が淘汰された場合は、他の構成要素である利用者に環境変化が起こり、利用者は他の路線へ乗り換えるよう

に適応するであろう。これらの構成要素間のフィードバックはシステムの構成要素間に新しい相互関係を生み、新たなネットワークを獲得する過程を分析できる可能性を持つ。

なお、A-Life における新しいモデル論は、①発生・発達モデル (Developmental Models) ②創発計算論 (Emergent Computation) ③進化計算論 (Evolutional Computation) ④適応行動 (Adaptive Behavior) の4つのグループからなる⁶⁾。

4. おわりに

多目的最適化手法として GA を用いた研究例は計画学においては少なく、これからの研究蓄積が望まれる。適応システムとしての GA は、これからの課題であるが、ある意味では既に GA ではなく、メタ GA といえるかもしれない。計画学での適用方向性を考えると、決して現実世界のようなマクロなモデルを構築していくのではなく、明確な関係性のある対象を現実から切り出し、モデリングを行っていくことが重要である。本稿は GA の土木計画への適用方法と課題を整理したものであり、具体的なケーススタディは示されていない。具体的な事例は講演時に説明する。

<参考文献>

- 1) 田村亨・樹谷有三・斎藤和夫：「遺伝的アルゴリズムによる駐車場の最適配置」, 第 29 回日本都市計画学会学術研究論文集, No52, pp. 307-312, 1994 年.
- 2) 田村亨・杉本博之・上前孝之：「遺伝的アルゴリズムの道路整備順位決定問題への応用」, 土木学会論文集, No. 482/IV-22, pp. 37-46, 1993 年.
- 3) 米澤保雄：遺伝的アルゴリズム-進化的理論の情報科学, 森北出版, 1993 年 10 月.
- 4) 和田健之介・田中真一：「GA は生き残れるか?」, 計測と制御, 第 32 巻, 第 1 号, pp. 17-23, 1993 年 1 月.
- 5) 北野宏明：「人工生命の進化・発生・学習の統合」, 数理科学, NO. 353, pp24-31, 1992 年 11 月.
- 6) 上田宗次・下原勝意・伊庭斉志「人工生命の方法—そのパラダイムと研究最前線—」日本情報処理開発協会監修 1995 年.
- 7) 加藤恭義・光成友孝・築山洋：セルオートマトン法-複雑性の自己組織化と超並列処理-, 森北出版, 1998 年 10 月.
- 8) 柴山悦哉・米澤明憲「計算のモデル, ソフトウェアのモデル」, 数理科学, NO. 423, pp48-55, 1998 年 9 月.