

道路整備順位決定問題における 遺伝的アルゴリズムの応用と課題

Application and Overview of Genetic Algorithms

to Determining Priority of Urban Road Improvement

田村 亨[＊]、杉本 博之^{＊＊}、長濱 裕朗^{＊＊＊}

By Tohru TAMURA, Hiroyuki SUGIMOTO, Hiroaki NAGAHAMA

1. はじめに

道路整備順位決定問題は、最適ネットワーク計画の中心的課題としてこれまでも多くの研究がある。その中で、最適解の探索に関わる研究課題の一つは、対象ネットワークが大規模になった場合の計算効率の問題である。本研究は、より複雑な離散型組合せ最適問題の解法に優れた方法とされ、近年注目されている遺伝的アルゴリズム (genetic algorithm: 以下、GAと略す) の道路整備決定問題への適用を試みたものであり、実際の道路ネットワークへの適用を通しGAの有効性を検討するとともに、GA適用上の課題を整理することが目的である。

分析の方法は参考文献1)に挙げた著者らの研究に準じているが、分析対象を大幅に拡大し、首都高速道路網への適用を図ったことが、新しい点である。

2. GAの道路整備順位決定問題への応用

(1) 問題の定式化

本研究では、道路区間 (リンク) を整備の基本単位とし、整備の順番について組合せ最適化を図る。整備の前提条件は次のとおりとする。

- ①整備内容として、道路の新設のみを考える、
- ②整備に要する期間はどの区間も1年以内となるように新設リンクを設定する、
- ③1年間に使用できる整備費用はどの年も一定 (4000億円/年) とし、予算の範囲内であれば1年に複数区間の整備が可能とする、
- ④整備費用の繰越は行なわない、

⑤道路区間ごとの整備内容 (整備によるQ-V曲線の変化と整備費用) は与件とする。

分析においては、OD交通量は変化しないこととし、ネットワークへの交通量配分を最短経路への分割配分法で行なうこととする。目的関数 (F) は、以下のとおりであり、この最大化を図った。

また、本研究では、制約条件を明示的に設定していない。この理由は、ここで扱う制約条件の場合、設計変数の与え方で対応できるからである。

n

$$F = \sum_{k=1}^n \{ (\text{整備以前の走行時間費用}) - (k \text{ 年度の走行時間費用}) \} / (\text{総整備費用})$$

ただし、

$$\text{走行時間費用} = \sum_{ij} \{ (ij \text{ リンクの所要時間}) \times (ij \text{ リンクの年交通量}) \times (\text{時間費用}) \},$$

時間費用は1800円/時・台、

kは整備期間(1-n)とした。

(2) GAの定式化

ここでは、本研究のGAへの定式化を、(a)設計変数のコーディング、(b)適応関数と繁殖・淘汰、(c)交叉、(d)突然変異、(e)収束条件の順に説明する。

(a) 設計変数のコーディング

本研究においては、新設リンクに通し番号をつけ、整備の順番を表し、それらの番号の一組の並びを線列とする。設定した線列の長さは、想定される新設リンク箇所分だけ用意する。そして、線列の左側から予算制約を検討し、連続する複数リンクの整備費の和が、1年間の総予算の範囲内であれば、その複数リンクは同一年度内に施工するものとする。

(b) 適応関数と繁殖・淘汰

本研究は、費用便益比の最大化問題であるので、各線列に対応する費用便益比をそのまま適応関数とすることもできるが、参考文献1)と同じ関数を設定

* キーワーズ : 遺伝的アルゴリズム、道路整備優先順位、道路網
** 正員、工博、室蘭工業大学建設システム工学科 (室蘭市水元町27-1)
*** 正員、工博、北海学園大学土木工学科 (札幌市中央区南26西11)
**** 正員、㈱日本工営

し、次世代に残す子線列を決定することとした。

(c) 交叉

交叉では、まず2つの線列(親線列)が任意に選ばれこれらの親線列間でビットを交換して新しい子線列が形成されることになる。本研究では、5種類の交叉法を検討した。

(d) 突然変異

本研究では、切断箇所を任意に2箇所決め、その切断箇所間の数字の並びを入れ替える方法を実施した。紙幅の関係で示さないが、本研究では、ある条件になるとそれまで行なわれていた突然変異の確率(1%)を高い確率(50%)に変化させる方法を提案した。この結果は、従来の初期収束の問題を回避するのに、明らかに有効であった。この議論は3章で改めて行なうが、本分析では、この新たな方法で分析した結果を考察している。

(e) 収束条件

本論文では以下の条件のいずれかを満足したら計算を終了させた。①最大世代数(150世代)に達した場合、②すべての線列が同じになった場合、③費用便益比の最大値が以降の20世代で更新されない場合。

(3) 分析対象と使用データ

分析対象は首都高速道路において、今後整備が予定されている区間であり、分析に用いたデータは、平成2年10月に実施された第20回首都高速道路交通起終点調査報告書(平日)のランプブロック間ODデータを一部集約したものである。

なお、使用したデータは、あくまでも、現在高速道路を使用している人々のODデータであり、道路新設による開発交通量や誘発交通量は全く考えていない。よって、分析の読み取りには十分な注意が必要である。

また、整備によって変化する交通量に対応した速度を求めるためのQV曲線は、公団の配分計算で用いている通常パターンとし、これを各路線の構造ごとに当てはめることとした。

分析対象ネットワークは図1のとおりであり、41ノード、133リンクのネットワーク(図中の実線)に48箇所の整備区間(図中の破線)を設けた。その上で、この整備区間では延長が長すぎて単年度で工事

が終了しないため、一区間をおおよそ1000億円程度にさらに分割した。図中の整備区間ノードにある丸印が細区分のリンクを示し、細区分による整備箇所は96である。分析にあたっては、この細区分のリンクを単位とし、さらに上下線は同時着工を仮定して、GAの設計変数とした。よって、線列は96の区間で構成され、その組合せ最適を求めていることになる。分析結果の表示は、細区分のリンクではなく、実ノードと連結した48箇所のリンクで示すこととした。

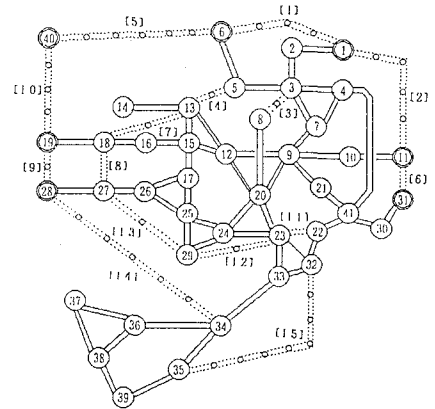


図1 対象ネットワーク

(4) 分析結果

解は、交叉方法、交叉確率、突然変異確率の与え方によって、多少異なっており、表1は、分析において最も解の良かった場合について、開通年度と開通箇所番号(図1参照)を示したものである。計算時間はSUN-4-LXを用いて、約23時間となった。

この結果の良否を明かにするため、ランダムサーチ(モンテカルロ法)との比較を行なった結果を示したものが、図2である。この図は横軸に目的関数を取り、縦軸に10000回、20000回、50000回ごとに、各シミュレーションの出現頻度を示したもので、これより、

表1 整備順位

交叉法: 1	
世代: 141/150	
処理回数: 9798	
処理時間(h): 23.2	
目的関数値: 313621.125	
開通年度	開通箇所番号
2	[10]
8	[5], [13]
9	[3]
11	[12]
12	[8]
14	[9]
18	[4]
22	[1]
24	[11]
28	[15]
33	[6]
35	[2]
36	[7]
37	[14]

50000回の最適解（目的関数値243939）より、GAの最適化解（同313621）の方が良い結果を出していることが分かる。

また、図3は解の収束状態を表わしたもので、横軸に世代数、縦軸に目的関数値を示している。これより、実際の収束打ち切りは141世代となっているが、50世代位から解が安定的に求まっていることが分かる。交叉方法、交叉確率、突然変異確率の与え方による、解の収束状況については、省略するが、突然変異よりも、交叉方法の方が、解の収束に与える影響が大きいことが分かった。

分析結果については、先に示した使用データ上の制約があり、直接結論を導くのは危険であるが、表1と図1から、一般に言われている外郭環状から整備すべきとの結論を導くものとなっている。また、目的関数の設定から当然のことであるが、区間毎の整備効果が最大のものから順に整備されることはなく、ネットワーク全体として最適順位が求まっていることは、確認できた。しかし、部分的には、工事予算の繰越しを認めていないため、予算内に多くの工事ができる順位が選ばれている可能性はある。

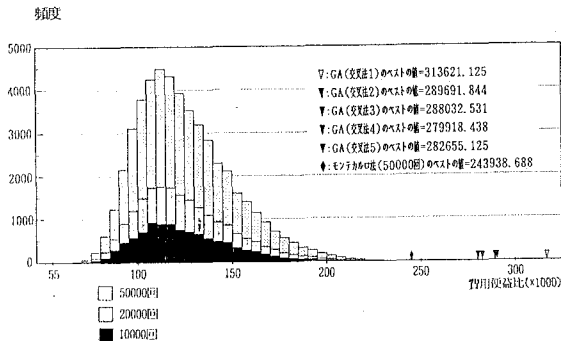


図2 GAとランダムサーチとの解の比較

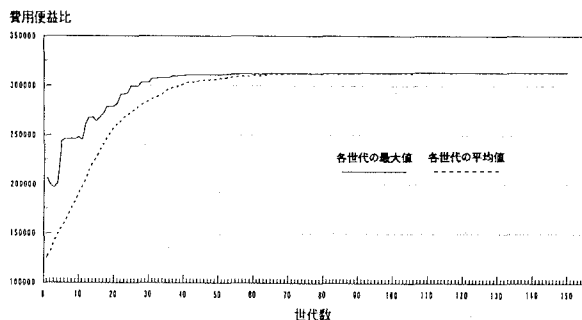


図3 GAの解の収束状況

3. GAの応用上の課題（知識ベースとの結合）

（1）問題の所在

GAは、組合せ最適問題において、比較的良好な解を短時間で見つけることができると考えられている³⁾。これを証明する理論的研究はあまり進んでいないが、一般の最適化と特に異なる点は、①1点探索ではなく、解候補の集団を扱った多点探索であること、②個体の適応度に基づく確率的なプロセスで局所解を回避すること、である⁴⁾。一方、経験的研究の興味も多くは、如何に局所解に陥らないか、あるいは、如何に局所解から脱出するかであり、この様な「解の安定性」に関わる研究方向についても、既に整理がなされている。その方策として有効なもの、次の5つとされている。それは、

- ①集団サイズを十分大きくする、
- ②初期段階で突然変異の確率を大きくとる、
- ③適応度のバラツキを平準化するためスケールン
グを行なう、
- ④適応度を序数的に利用する、
- ⑤世代ギャップを小さくするように制御する、
である⁵⁾。

本研究の位置づけは、この①②③について、事例は少ないが考察できるまでに至っている。しかし、基本的にこれらの方策は全て、GAの特徴である確率的近似解法の枠を出たものでなく、本章で問題提起する事柄は、この枠を出た方策も検討すべきであるという提案である。

ところで、GAを研究する者の多くは、離散的組合せ問題を扱うことの多い交通ネットワーク問題へのGAの適用可能性を指摘している。既存研究の中でも、巡回セールスマン問題などについては、数多くの適用例がある⁶⁾。交通分野への適用に際し、筆者らの研究は、GAが先にあり、その適用を単純な場合について行なっているものであるが、次の二つの点で、GAの問題点を痛感している。

一つは、線列のランダム性である。GAは、定義された空間に全くランダムに初期世代を作成させる。すなわち、最適探索の出発点は、探索空間の全域にほぼ一様分布されていることである。分析対象に関する情報が全くない場合には、やむを得ないことであるが、解の探索過程をみると、最適解から遙かに

遠い部分での探索も多く、線列に含まれる不必要な部分が多過ぎることが分かっている。この場合は、交叉によって良い線列を生成する確率は低く、それまでに生成された良い線列が破壊されてしまうことも多い。

他の一つは、線列中のあるビットから特定の遺伝子が失われる (missing gene と呼ばれる) ことについてである。GA では、進化シミュレーションの開始当初は、線列集団にはまだ明確な方向性がないが、探索が進むにつれて、線列集団が収束に向かいつつある段階では、各線列の中に共通する部分が徐々に多くなっていくために、シミュレーション開始時点とは逆に、より局所探索を行なうことになる。すなわち、淘汰、交叉によって、集団の中に含まれていた無意味な部分を取り除き、線列間の情報も交換しながら、ある方向に向けて、より詳細な局所探索を行なうことである。解の探索過程をみて分かることは、この当然起こるべき missing gene の発生が遅い (早められる可能性がある) ことである。

(2) 課題

一般に GA では、線列の多様性が安定的な解を得るための必須条件、とされている⁷⁾。しかし、(1) で示した様に、経験的には線列の多様性が余りにランダム過ぎて、あるいは、線列の多様性の質が悪くて、良い線列を生成できないとの考えもあろう。

GA の課題を一言でいえば、何らかの情報によって、線列のランダム性を改良することである。すなわち、GA と利用できる知識ベースとの結合である。

道路ネットワークの分析においては、例えば部分分割して解くことや、階層性を持たせて解析することも多く、それらの中には、高等の理論を用いない単純な情報もある。この容易に利用できる知識を GA に導入して、集団の中に含まれた不特定の部分をより早く取り除き、かつ、探索を最適解がありそうな区域に早く移動させることによって、GA の有効性を向上できるものとする。

具体的には、各道路整備箇所網全体への整備効果を分析しておいて、整備箇所をグループ化 (階層化) し、それぞれについて GA を適用するといった単純なもの。あるいは、経験的に適応関数値の下限を設定し、この下限値に達していない線列について

は、繁殖・淘汰の前に線列をある確率で改良するといった方法である。

4. おわりに

本研究は、遺伝的アルゴリズムを道路整備順位決定問題に適用したもので、実際の道路網へと適用の拡大を行なった結果、GA の有効性が確かめられた。本研究で工夫した点と GA の特徴を生かした点は以下のとおりである。①線列の設計変数として工事箇所を考え、その順番を GA により探索したこと、②制約条件である予算を線列を区切る形で設定することにより、GA の中に制約条件式を組み込まずに済んだこと、③適用関数を設定し、解が局所解に陥ることを防げたこと、である。

また、適用を通して、GA の課題について整理し、GA と知識ベースとの融合の必要性を提案した。

本分析を進めるにあたり、首都高速道路公団よりデータの提供を頂いた。ここに、記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 田村、杉本、上前 : 遺伝的アルゴリズムの道路整備順位決定問題への適用、土木学会論文集、NO.482、IV-22、PP37-46、1994.1.
- 2) 首都高速道路公団 : 第20回首都高速道路交通起終点調査報告書、1990.
- 3) 例えば、Hajela, P : Genetic Search-An Approach to the Nonconvex Optimization Problem , AIAA J., Vol.28, No.7, pp1205-1210, 1990.
- 4) Holland J.H.: Adaptation in Natural and Artificial Systems , Univ. Michigan Press , 1975.
- 5) 小林重信 : 遺伝的アルゴリズムの現状と展望、計測自動制御学会第4回知能工学部会特別講演資料、1992.3.
- 6) 須貝康雄、平田広則 : 組合せ最適化アルゴリズムとその応用、計測と制御、Vol.29, No.12, 1990.
- 7) 計測と制御「特集 遺伝的アルゴリズム」、Vol.32, No.1 , 1993.