

Saving 手法組込み型 GA による輸送経路の最適化

The Optimization of Transportation course by GA incorporated with Saving-Method.

相浦 宣徳**、佐藤 馨一***、唐澤 豊****、嘉松 孝友*****

Nobunori AIURA, Keiichi SATOH, Yutaka KARASAWA and Takatomo KAMATSU

1. はじめに

戦後の経済成長に伴い、我が国においては都市部への人口の集中が進み、都市化が進展してきた。労働の場、居住地を都市またはその近郊地に求め人々が集まり、商的な財の輸送及び人々の生活に伴う通勤、通学または私的な輸送が盛んになり、それが過度化し様々な「都市交通問題」が発生した。

近年においては、CO₂、NO_x 等による環境破壊が社会的問題として大きく取り上げられ、貨物輸送車による非効率的な財の移動がその最たる発生原因とされている。それに対し、国、自治体単位での様々な施策が検討、実施されている。同様に企業においても施策の遵守と共に企業努力として、輸・配送の効率化が進められ、それに伴い輸・配送の効率化を支援するツールの開発が各ソフトウェアメーカーによって盛んに展開されている。

本研究では、「配送計画支援ソフト」等様々な名称で市場に出荷されているツールの心臓部ともいえる輸送経路の探索ロジックに着目し、より効率的で且つ現実的な探索ロジックを構築、提案することを目的としている。

現在は研究の初期段階として、巡回セールスマン問題 n 人 M 都市(以下 TSP(n/M))をベースとした探索ロジックの有効性を検討中であり、その効率的な探索方法を本論文において提案する。

2. 問題設定

TSP(n/M)の定義は、ある都市を出発した n 人のセールスマンが M 都市を分担して訪問し出発点に戻る巡回路で、 n 人の中で最大の巡回距離をもつセールスマンの巡回距離を最小にするものを求める問題である。本研究では、セールスマンを輸送車両として捉え探索ロジックの構築の基礎とする。

しかしながら、TSP(n/M)は NP 完全問題であることが確認されており[1]、GA(遺伝的アルゴリズム)、ボルツマン・マシン等の最適化技法による解法が提案されているが、本研究における調査では実用面において満足できる結果は得られてはいなかった。

そこで本研究では、TSP(n/M)において質の高い近似解を高速に得ることを課題として、以下のアプローチによりTSP(n/M)の解法を行う。

- (1)多親組換え法のGA交叉操作への適応。
- (2)セービング手法[3]のGAへの組み込み。

3. GAによるTSP(n/M)へのアプローチ

(1) GAとTSP(n/M)の歴史

GAにおいて、染色体の組換えにより新しい個体を生成する交叉は、最も重要な役割を果たす遺伝的オペレータである。そこでここでは、すでに提案されているTSP(n/M)を対象にしたGAの代表的なコード化と交叉手法を挙げ考察を行う。都市名を遺伝子として、巡回する順番に都市名を列挙した文字列を染色体とするコード化をパス表現という。このパス表現と最も原始的であるといわれる一点交叉を用いた場合、「すべての都市を一回ずつ訪問する」という制約を満たしていない「致死遺伝子」を生成してしまう可能性が非常に高い。

*キーワード 経路選択、最適化技法

**学生員 修(工) 北海道大学大学院工学研究科都市環境工学専攻
(札幌市北区北13条西8丁目、Tel 090-4729-2228、Fax 011-706-2296)

***フェロー 工博 北海道大学大学院工学研究科都市環境工学専攻
(札幌市北区北13条西8丁目、Tel 011-706-6209、Fax 011-706-2296)

****正員 工博 神奈川大学大学院工学研究科経営工学専攻
(横浜市神奈川区六角橋三丁目 27 番 1 号、Tel 045-481-5661、Fax 045-413-6565)

*****正員 修(工) コンパックコンピュータ(株)
(東京都杉並区上荻 1-2-1、Tel 03-5349-7301、Fax 03-5349-7473)

この致死遺伝子の生成を抑制するために提案されたのが、順序表現を用いた一点交叉、パス表現と用いた部分写像交叉である。しかし、どちらも致死遺伝子を生成しないことは保証されているが、「親の形質を適切に子に継承する」という“形質遺伝性”を重視していないため、突然変異のみからなるランダムサーチと同程度の性能しか示さないことが知られている。

そこで致死遺伝子の生成を抑制し、形質遺伝性を重視したパス表現を用いたサブツアー交換交叉が山村ら[2]によって提案されている。サブツアー交換交叉とは、子孫に遺伝すべき“有用な部分的に成功しているサブツアー”を破壊せずに次世代に伝えるという交叉法である。しかしこれは、遺伝子の集合が一致する範囲の検索に多くの計算量を必要とするという問題を抱えている。

そこで、これまでに挙げた問題点を解決するために本研究で提案する手法が、パス表現を用いた多親組換え法である。

(2) 多親組換え法の適用

多親組換え法は、2つのプロセスによって構成されている。まず選択された複数の親の構造から可能な限りの情報を継承した子、つまり形質遺伝性を重視した子を生成するために“リンク行列表”という表を作成する。そして、この作成されたリンク行列表を用いて“多親組換えアルゴリズム”によって1つの子を生成する。以下に、リンク行列表と多親組換えアルゴリズムについて具体的に述べる。

(a) リンク行列表

多親組換え法では、親の構造から得られる有用な情報とは「どの都市とどの都市とが結合しているか」と考え、リンク行列表を作成する。これは、ある都市に来る前にはどの都市にいたのかという情報と、その次に行く都市はどの都市なのかという情報である。たとえば、以下のような染色体構造をもつ4つの親から作成されるリンク行列表は表1になる。行列の要素の値が大きいくほど、その行番号の都市と列番号の都市のリンクが強いことを示している。

親1: E B D A C F
 親2: E B C A F D
 親3: F E D B C A
 親4: A B E C F D

表1 リンク行列表

| 都市 | A | B | C | D | E | F |
|----|---|---|---|---|---|---|
| A | 0 | 1 | 3 | 2 | 0 | 2 |
| B | 1 | 0 | 2 | 1 | 4 | 0 |
| C | 3 | 2 | 0 | 0 | 1 | 2 |
| D | 2 | 1 | 0 | 0 | 2 | 3 |
| E | 0 | 4 | 1 | 2 | 0 | 1 |
| F | 2 | 0 | 2 | 3 | 1 | 0 |

(b) 多親組換えアルゴリズム

このリンク行列表を用い、1つの子を生成する多親組換えアルゴリズムを示す。

- Step.1. リンク行列表の最も大きい値をもつ要素の行番号を“出発点”とし巡回リストの先頭に入れ、列番号を“現在の都市”とする（同じ値の要素が複数存在する場合はランダムに選択される）。
- Step.2. リンク行列表から、巡回リスト中の都市の行列を削除する。
- Step.3. 現在の都市を巡回リストに加え、現在の都市の行の最も大きい値をもつ列番号を現在の都市とする（同じ値の要素が複数存在する場合は、行要素の値の和が小さい方を現在の都市とする）。
- Step.4. 未訪問の都市が存在すればStep2に戻る。未訪問の都市が存在しなければ終了し、巡回リストが新しく生成された個体となる。

Step3において、すでに選択されている都市とのリンクが強い都市を優先的に選択することによって、のちにそのような都市が弱いリンク先と結合することを確率的に防いでいる。表1のリンク行列表から生成される子は以下ようになる。

子: E B D A C F

また、多親組換えアルゴリズムは、アルゴリズム中にランダム性を含んだ確率アルゴリズム (Random Algorithm) であるため、必ずしも同じ子が生成され

るとは限らないことに注意されたい。

(3) セービング手法のGAへの組み込み

(a) セービング手法

輸送計画において、様々な輸送経路の中から近似的に最適な経路を選び出す実用的な手法として、セービングが挙げられる。セービング手法は、輸送経路探索ロジックの類型として考えられる代表的な①ルート型、②ダイアグラム型、③ヒューリスティック型の中の③に分類され、前述の“輸・配送の効率化を支援するツール”の多くがこの手法をベースとし、改良を加え使用している。

セービング手法は、2カ所の配送先に対し別々に配送するのではなく、1つのルートとして配送することにより効率の向上を図ることにその原理がある。

図1に示すネットワークに対し、各ノードを2つ選び図2の様に、別々に配送した場合の距離(または費用)と1つのルートとして配送した場合の距離(または費用)の差をセービング値として算出する。これを全てのノードの組合せについて行った後、セービング値の大きいノードの組合せに対しリンクを行い、最終的に配送ネットワークを作成するものである。通常、配送物量と輸送手段の積載制限により、各ルートの長さを制限する。

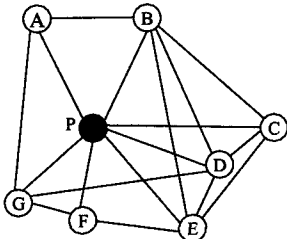
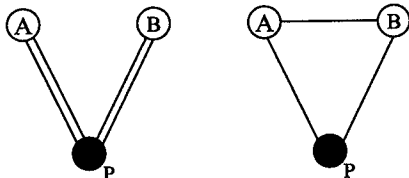


図1 全ネットワーク図



個別に配送した際の輸送距離 $= 2 \times \text{dis}(P,A) + 2 \times \text{dis}(P,B)$ ルート配送した際の輸送距離 $= \text{dis}(P,A) + \text{dis}(A,B) + \text{dis}(P,B)$

$$\text{セービング値} = \text{dis}(P,A) + \text{dis}(P,B) - \text{dis}(A,B)$$

図2 セービング値の算出

(b) セービング手法のGAへの組み込み

図4をGAによる探索途中のネットワークと仮定する。これを前述のパス表現に従い表現すると次の様に表すことが出来る。

$P \ A \ B \ P \ C \ E \ D \ F \ P \ G \ P$

基準都市Pを出発し、都市A,Bを巡回後都市Pに戻る。これをルート1とし、同様に都市Pを出発し、都市C,E,D,Fを巡回後都市Pに戻るルート2、都市Pを出発し都市Gを巡回後都市Pに戻るルート3が表現されている。

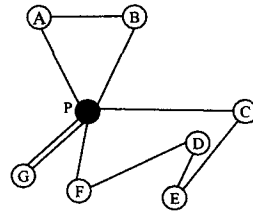


図3 探索途中のネットワーク

る。

都市Pを出発し、都市C,E,D,Fを巡回後都市Pに戻るルート2においてE,Dの巡回順序を入れ替えることにより、巡回距離の短縮及び現実的なルートの作

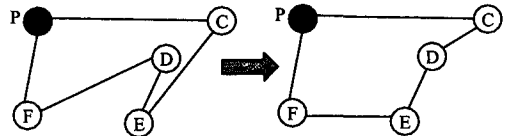


図4 セービングによるルート補正

成が期待できることは明らかである(図4参照)。

そこで本論文では、GA操作による探索中に作成されるルートに対するセービング手法による補正を取り入れ、探索効率の向上、現実的な解の算出等における導入効果の検証を行う。

また、導入検討段階において、GA操作のどのタイミングで補正を行うかについて議論がなされ、最終的に①全ての遺伝子への処理、②突然変異としての扱いの2点についてシミュレーションをした結果、交叉後に全ての遺伝子に対し処理を行うことがより有効であることが確認された。

4. シミュレーション結果と考察

(1) シミュレーション条件

本論文で提案する解法の有効性を検証するため

に表2-4に示す条件により、TSP(n/M)を多親組換え法の使用を前提とした①セービング無し、②セービング有りの両者により解き、得られた結果について比較する。

また、多親組換え法のサブツアー交換交叉に対する優位性が嘉松[1]により明らかにされているため、①②共に多親組替法を採用し、多親組換え法自体についての有効性の検証は省略する。

表2 GA のコーディング方法

| | |
|---------|-----------------------------|
| コード化 | パス表現(都市数+巡回者数+1) |
| 初期集団の発生 | 指数分布を適用したランダム発生(初期遺伝子数:300) |
| 適応度 | 目的関数+ペナルティ |
| 交叉 | 多親組換え法(50対50) |
| 突然変異 | 突然変異率によるビット交換 |
| 終了判定 | 最大世代数を設定(3,000世代) |

表3 シミュレーションパターン

| 要因 | 水準 |
|-------|-----------------|
| 都市数 | 30,40,50 |
| 巡回者数 | 3,4,5 |
| 淘汰率 | 0.2,0.3,0.4,0.5 |
| 突然変異率 | 0.03,0.04,0.06 |

表4 他条件

| 要因 | 条件 |
|-------|---------------|
| 都市座標 | 0.0-1.0間の乱数発生 |
| 都市間距離 | 都市座標による直線距離 |

(2) 結果

都市数、巡回者数の各組合せに対し、淘汰率4通り×突然変異率3通りの12通りを10回づつ試行した際の、n人の巡回者中で最大となる巡回距離の平均値を組合せ毎に表5に示す。

表5 シミュレーション結果

| 都市数 | 巡回者数 | 最長巡回距離 | |
|-----|------|--------|--------|
| | | セービング無 | セービング有 |
| 50 | 5 | 2.2108 | 2.1724 |
| | 4 | 2.4298 | 2.3594 |
| | 3 | 2.9782 | 2.9338 |
| 40 | 5 | 2.0149 | 1.9663 |
| | 4 | 2.1783 | 2.1228 |
| | 3 | 2.6356 | 2.6341 |
| 30 | 5 | 1.7345 | 1.6651 |
| | 4 | 1.9241 | 1.8751 |
| | 3 | 2.2486 | 2.2010 |

また、探索面で最も困難であると思われる都市数50、巡回者数5人の組合せにおいて最も優良な結果となった巡回経路を図4に示す。

(3) 考察

表5において、TSP(n/M)の探索指標となるn人の巡回者中最大の巡回距離が、②セービング有りにおいて明らかに小さくなっていることから、GAへのセービング手法の組み込みによる効果があったものといえる。また、図5に示す巡回経路は実用面からも十分耐えうるものと判断できる。

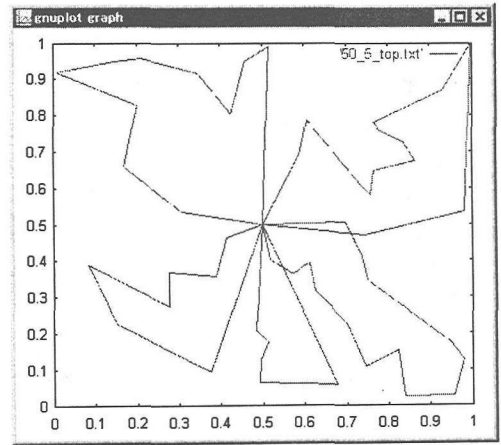


図5 求められた巡回経路(例)

5. おわりに

輸送経路のより効率的で且つ現実的な解を得るための探索ロジックの構築を目的とする研究の初期段階として、本論文では多親組換え法及びセービング手法を組み込んだGAによるTSP(n/M)の解法を提案し、その有効性を示した。

今後は、TSP(n/M)の各巡回都市における車両制限、車両の積載条件等を考慮したモデルへの発展とその解法の構築を進める。

参考文献

- [1] Y. KARASAWA, Y. MATUSDA, N. AIURA and T. KAMATSU, "A Solution Method for The Traveling Salesman n Person M Town Problem (TSP(n/M)) Using The Genetic Algorithm", Technical Proceedings of Transportation Research Forum, pp.778~786
- [2] 山村 雅幸, 小野 貴久, 小林 重信, "形質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, Vol.7, No.6, 1992
- [3] 唐澤豊, "物流概論", 1989, 有斐閣ブックス