

GAを用いた静脈物流計画の最適化に関する一考察

東京都立大学大学院 ○正会員 荒井 康裕
 東京都立大学大学院 フェロー 小泉 明
 東京都立大学大学院 正会員 稲員 とよの

1. はじめに

循環型社会の実現に向け、廃棄物の処理やリサイクルを支える「静脈物流」に関心が寄せられている。静脈物流の最適化を検討する際、しばしば数理的アプローチが用いられるが、ここで扱う数理問題の多くは「組合せ最適化問題」に属するため、一般に問題の規模が大きくなると、対象とすべき解の組合せが爆発的に増加し、最適解の探索が困難となる。そこで本稿では、線形計画法を内在化させた遺伝的アルゴリズムを提案し、組合せ最適化問題に対する提案解法の有用性を明らかにする。以下では、家電リサイクルにおける回収システムを取り上げ、東京都を対象としたケーススタディの結果を示す。

2. ネットワークモデル及び定式化

家電リサイクルの回収システムに関する施設配置問題及び輸送問題を数理的なアプローチにより解決するため、**図-1**に示すネットワークモデルを考える。ここで、一次輸送と二次輸送の要となる指定引取場所（中継ノード）の最適配置に着目し、混合整数計画問題としての定式化を試みる¹⁾。指定引取場所の設置候補地に対し、いくつ、どこに設置すれば、輸送コスト及び施設での管理コストから成る総費用を最小化できるかという問題を対象にする。 m ヶ所の発生ノード i に対して、 n ヶ所の候補地に中継ノード j を設置し、 p ヶ所の最終ノード k で再資源化するネットワークモデルでは、(1)式のように定式化される。

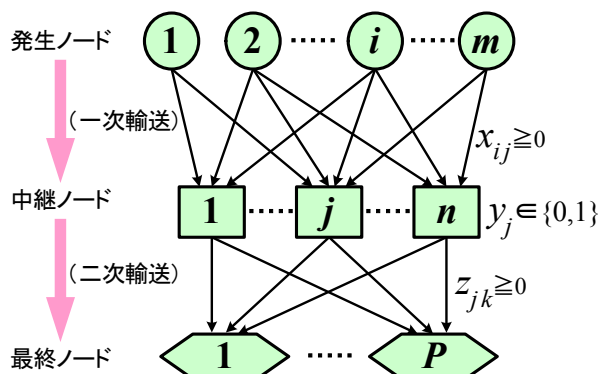


図-1 ネットワークモデル

Minimize

$$TC = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n a_1 l_{ij} x_{ij} + \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^p a_2 l_{jk} z_{jk} + \sum_{j=1}^n b_j y_j$$

Subject to

$$\left. \begin{aligned} \sum_{j=1}^n x_{ij} &= d_i \quad (i=1 \sim m), \quad \sum_{i=1}^m x_{ij} = \sum_{k=1}^p z_{jk} \quad (j=1 \sim n) \\ \sum_{i=1}^m x_{ij} &\leq c_j y_j \quad (j=1 \sim n), \quad \sum_{j=1}^n z_{jk} \leq c_k \quad (k=1 \sim p) \\ x_{ij} &\geq 0, \quad z_{jk} \geq 0, \quad y_j \in \{0,1\} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

ここに、 TC : 年間総費用[円]、 l_{ij} 及び l_{jk} : 一次及び二次輸送距離[km]、 a_{ij} 及び a_{jk} : 一次及び二次輸送単価[円/台・km]、 b_j : 中継ノード j の設置に要する管理コスト[円]を表わす。また、 x_{ij} 及び z_{jk} : 一次及び二次輸送量[台]を意味し、 y_j : 中継ノードを第 j 地点に設置する場合を「1」、設置しない場合を「0」とする0-1の整数変数を表わす。 d_i : 発生ノード i における発生量[台]、 c_j 及び c_k : 中継ノード j 及び最終ノード k における受入れ可能量[台]とする。

3. LP内在型の遺伝的アルゴリズム(GALP)の提案

本稿では、組合せ最適化問題に対する新しい解法として、線形計画法(LP)を内在化させた遺伝的アルゴリズム (Genetic Algorithms with Linear Programming: 以下、GALPと略記する) を提案する。GALPの特徴は、指定引取場所の設置有無に関する組合せを、個体が持つ「遺伝子」により模擬的に表現し、優れた個体を次世代へより多く残す「選択」、個体群の多様性を維持するための「交叉」「突然変異」といった遺伝的操作を繰り返すことで、望ましい個体を効率的に生成・探索しようとする点である。また、生成される各個体の優劣を評価する「適合度」の計算は、各々の遺伝子によって確定される施設配置での輸送問題を解くことで対応し、その時の輸送コスト及び管理コストが適合度に反映される。

GALPでの個体表現は、変数ベクトル $\mathbf{y}=(y_1, \dots, y_n)$ をそのまま長さ n の0-1文字列として変換させるものとし、左から順番に第 j 地点での設置有無に対応したコード化を行った。一方、輸送量を表現する連続的な実数変数 x_{ij}

【キーワード】 家電リサイクル 静脈物流 組合せ最適化問題 遺伝的アルゴリズム

【連絡先】 〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1 東京都立大学大学院工学研究科 TEL.0426-77-2788 FAX.0426-77-2772

及び z_{jk} は、GALPに内在化された線形計画法のサブルーチン（シンプレックス法）によって各組合せの下での輸送問題を並行して解き、各個体が表現する施設配置に対して輸送コストが最小となるような最適輸送量を各変数に割り当てることとした。

今回対象とする最適化問題は、目的関数 $z(x)$ の最小化を扱うため、適合度 f_v の最大化に対応させる $z(x)$ の変換を考え、定数 $C_{\max}$ から $z(x)$ を減ずる適合度関数を用いる($C_{\max} - z(x) > 0$)。また、今回の施設配置問題では指定引取場所を1ヶ所以上設置するという制約条件があるため、この制約を満たさない個体が生成された場合、シンプレックス法による輸送問題の計算は行わず、直ちに対応する適合度 f_v を「0」とするペナルティを与えた。

GALPに組み込まれる遺伝的オペレータは、選択を「ルーレット選択」、交叉を「一点交叉」とし、これに通常の突然変異を加えた構成要素から成るものとする。ただし、より少ない世代数で良好な個体を得る目的から、個体群の中で最も適合度の高い個体を無条件でそのまま次世代へ残す「エリート保存選択」を併用することとした。

図-2に本稿で提案するGALPの計算手順を示す。

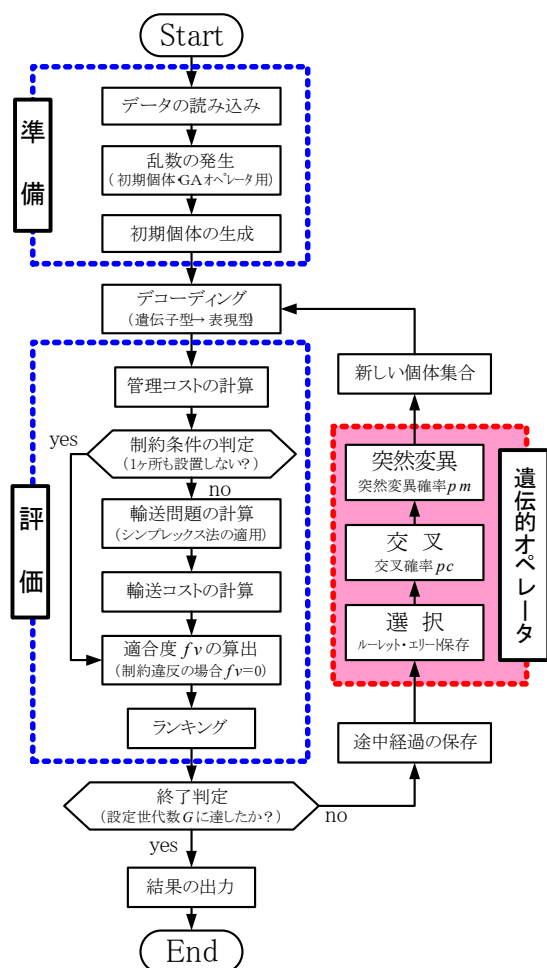
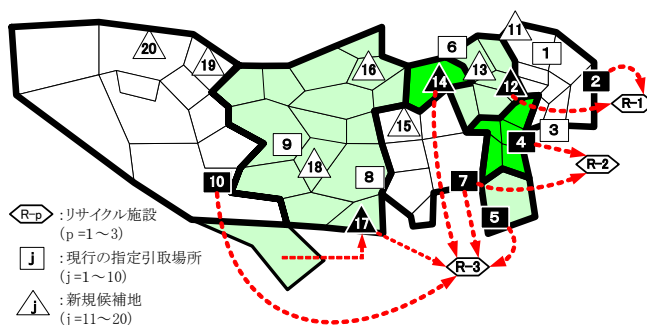


図-2 GALP の計算手順



なお、図中の黒く塗りつぶされた箇所は、選択された候補地を表わす。

図-3 GALP による計算結果

4. ケーススタディ

提案解法の有用性をケーススタディにより示すため、東京都の53区市町村を発生ノードの単位とした最適化計算を試みる²⁾。指定引取場所の設置候補地について、現行の指定引取場所(10ヶ所)の設置箇所を基準に、新規候補地として10ヶ所追加した問題を扱う。指定引取場所の設置有無に関する組合せ数を見ると、約100万($=2^{20}-1$)通りに及ぶ。なお、追加した新規候補地の設定は、東京都の各区市町村の中心点53箇所から乱数を用いて無作為に抽出し、現行の設置間隔を補う配置を想定した。

GALPの適用では、設定世代数を200世代とし、初期個体の生成及び遺伝的オペレータの各アルゴリズムに用いる乱数について、その確率的なゆらぎが及ぼす個体への影響を考慮するため、10組みの乱数パターンを与えて実行することにした。個体数 $N=50$ 、交叉確率 $pc=0.8$ 、突然変異確率 $pm=0.03$ としてGALPを実行した結果、図-3に示す施設配置及び輸送経路が最も適合度の高い解として得られた。この最適計画案から、53の発生ノードを8つのブロックに区分し、20ヶ所の候補地の中から8ヶ所の指定引取場所を選択する組合せが最も望ましいことがわかる。

5. おわりに

本稿では、静脈物流計画の最適化に対し、線形計画法を内在化させた遺伝的アルゴリズム(GALP)を提案した。東京都を対象としたケーススタディにより、提案解法の有用性を示すことができた。なお、本研究の一部は文部科学省の科研費(課題番号:15560709)の助成を得た。

【参考文献】

- 1) 今野浩, 鈴木久敏: 整数計画法と組合せ最適化, 日科技連, 1982
- 2) 荒井康裕, 前田雅史, 小泉明, 稲員とよの: 家電リサイクルを対象とした施設配置・輸送計画の最適化に関する一考察, 第14回廃棄物学会研究発表会講演論文集, pp. 242-244, 2003