

ボロノイ図と遺伝的アルゴリズムを用いた 焼却施設の領域割当と立地の多目的最適化

千葉県北西湾岸地域の事例について

05001203 早稲田大学
01508174 早稲田大学

*上川 武人
蓮池 隆

KAMIKAWA Taketo
HASUIKE Takashi

1. はじめに

一般廃棄物処理は地域住民の生活と密接に関係しており、焼却によって発生した熱エネルギーを効果的に利用することは地球温暖化防止に役立ち、地域住民への大きな還元となる。従って、焼却処理で発生する熱量はできるだけ大きいことが望ましい。また、可燃ごみはごみ収集車や各事業所のトラックで焼却施設まで運ばれるため、運搬による環境負荷はできるだけ小さいことが望ましい。その一方で、焼却施設は、ごみ焼却により有害物質が発生するため、どんなに安心安全のための対策を行っても、迷惑施設のイメージを完全に一掃することは困難である。そのため、施設を人口密集地域にできる限り近づけないことも考慮する必要がある。以上のことから、本研究では、ボロノイ図と遺伝的アルゴリズム(GA)を組み合わせた多目的最適化手法を提案し、千葉県北西湾岸地域(市川市、船橋市、習志野市、浦安市)を事例として、以下の2つの目的を満たすための、焼却施設の領域割当と立地場所を決定する。

- ① 焼却処理により発生する熱エネルギー量を最大にするための施設領域の割当
- ② 可燃ごみの輸送加重距離(トンキロ値)を最小にするための施設の立地場所の決定(但し、人口密集地域からできる限り近づけない)

2. 研究方法

2.1 目的の定式化

本研究の2つの目的を定式化したものを式(1)(2)に示す。式(1)は可燃ごみの焼却によって発生する熱エネルギー量を予測する回帰式からなっている。表1にその回帰式の係数の値を示す。これらの値は、一般廃棄物実態調査の千葉県全体のデータ[1]を使用して重回帰分析を行って算出した値である。式(1)は、焼却施設の領域の割り当てによって $Comp_{ik}$ の割合が変わるため、回帰式で予測する発生熱量を最大に

するための集合分割問題とみなすことができる。一方、式(2)は、複数の施設を扱う多点ウェーバー問題とみなすことができる。一般的にウェーバー問題は、施設と需要点との間の距離に需要量(重み)を掛けた値の合計値を最小にする問題である。式(2)で、需要量は $Waste_i$ に相当するが、この $Waste_i$ を人口密度の $Density_i$ で割った値を重みとしている。その理由は、人口密度が高い地域からできるだけ施設を遠ざけるためである。なお、各小地域の家庭系ごみは、2015年の家庭系ごみの量[1]を2015年の小地域の人口[2]で比例配分して算出し、事業系ごみは、2015年の事業系ごみの量[1]を2014年の小地域の事務所数[3]で比例配分して算出した。

$$\max \sum_{j=1}^n (\beta_0 + \sum_{k=1}^5 \beta_k \ln \sum_{i=1}^m Comp_{ik} \cdot Zone_{ij}) \quad (1)$$

$$\min \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m \frac{Waste_i}{Density_i} \cdot Distance_{ij} \cdot Zone_{ij} \quad (2)$$

s. t.

$$\sum_{j=1}^n Zone_{ij} = 1, i = 1, 2, \dots, m \quad (3)$$

$$Zone_{ij} = \{0, 1\}, j = 1, 2, \dots, n \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^m Waste_i \cdot Zone_{ij} < Capa_j \cdot 365 \cdot \eta \quad (5)$$

$$\sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} \leq Distance_{ij} \quad (6)$$

m : 国勢調査の対象地域の小地域の数[2]

n : 対象地域の焼却施設の数

β_0 : 熱量を予測するための回帰式の切片 (= 16.684)

β_k : 熱量を予測するための回帰式の係数 (表1参照)

$Comp_{ik}$: 小地域内可燃ごみの五組成 (注(1))年間量

$Zone_{ij}$: 領域フラグ (1: 含まれる, 0: 含まれない)

$Waste_j$: 小地域内可燃ごみの六組成 (注(1))年間量

$Density_i$: 小地域の人口密度 (人口密度が0の小地域は他の小地域の最も人口密度が低い値とする)

$Capa_j$: 焼却施設の1日の処理能力

η : 利用率 (= 0.7)

x_i, y_i : 焼却施設の重心の平面直角座標系[4]XY 座標
 x_j, y_j : 小地域の重心の平面直角座標系[4]XY 座標
 $Distance_{ij}$: 焼却施設の重心と小地域の重心との間のユークリッド距離

表 1 回帰式の係数の値

| | 紙類 | プラスチック類 | 木材類 | 厨芥類 | その他 |
|-----------|-------|---------|-------|-------|-------|
| β_k | 0.538 | 0.402 | 0.053 | 0.106 | 0.049 |

2.2 多目的最適化の方法

式(1)(2)は、ともに小地域がどの施設に属するかを決定付ける $Zone_{ij}$ で領域を割り当てる必要があるため、0-1 整数計画問題に属し、この問題は NP 困難であることが知られている。0-1 整数計画問題の解法として、分枝限定法、遺伝的アルゴリズム(GA)などがあるが、これらの解法は、 $Zone_{ij}$ 同士の位置関係が考慮されていないため、施設領域の割当を決定する場合、施設領域の割当が飛び地になる場合がある。また、施設の立地場所を決定する場合、複数の施設が互いに近い位置に集約したり、施設の立地場所が当該施設領域外になったりする場合がある。この場合、ごみ収集効率の低下や、施設の対象領域の複雑化といった収集時の問題や、施設と直接関係のない住民の近くが立地場所になるという問題が生じ、現実的な解とは言い難い。そこで、本研究では、ボロノイ図をGAと組み合わせた多目的最適化の方法を提案する。本方法のGAは、ボロノイ図の母点のXY座標を遺伝子とした実数型GAである。図1に1世代の個体群のイメージを、図2にボロノイ図の母点を遺伝子とした領域割当方法を示す。図1のように、1つの個体は施設数分のXY座標の組からなる遺伝子を持ち、その個体を1世代で100個生成する。遺伝子のXY座標は、図2に示すように、母点のX座標の範囲を対象地域における小地域の重心の東西最端点の間、Y座標の範囲を南北最端点の間とし、その範囲内で乱数を生成する。その遺伝子のXY座標を母点とするボロノイ図を作成し、ボロノイ線で区切られた範囲を施設領域とし、小地域の重心が属する施設領域の $Zone_{ij}$ を1とする。このように小地域を施設領域に割り当てた後、式(1)(2)を用いて適応度を計算し、その適応度に従ってGAで最適解を導く。適応度の計算方法の詳細については当日報告する。

本研究の対象地域の焼却施設は現状5施設あるが、本研究で提案した多目的最適化の方法により、5施設、

4施設、3施設の場合について最適化を行い、その結果について、実際の焼却処理の発生熱量と比較する。

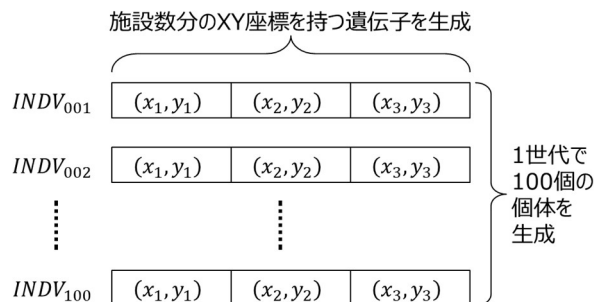


図1 1世代の個体群のイメージ

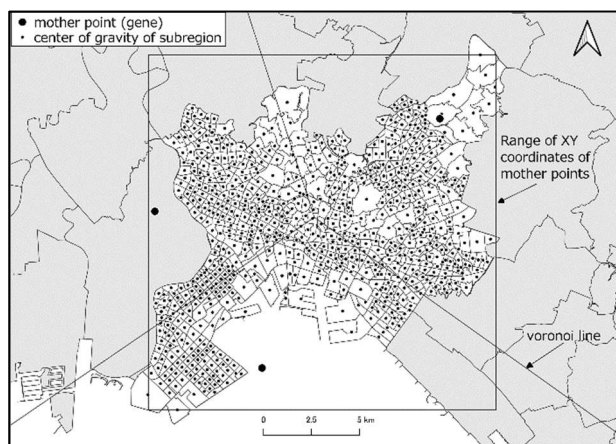


図2 ボロノイ図の母点を遺伝子とした領域割当方法

3. 研究結果

本研究で提案した多目的最適化の手法による結果は当日報告する。

注

(1) 可燃ごみは六組成(紙類, プラスチック類, 木材類, 厨芥類, 不燃物類, その他)に分類される[1]. 不燃物類は焼却しないため、本研究では六組成から不燃物類を除いたものを五組成と呼ぶ。

参考文献

- [1] 環境省：一般廃棄物処理実態調査結果，平成17, 22, 27年度調査結果
- [2] 総務省統計局：国勢調査，平成17, 22, 27年度
- [3] 総務省統計局：経済センサス 基礎調査，平成21, 26年
- [4] 国土交通省：分かりやすい平面直角座標系，<http://www.gsi.go.jp/sokuchikijun/jpc.html>，(2019/02/22 閲覧)