

家庭ごみ収集トラックの運行計画に関する研究

杉本 勇哉 (沼田 一道 助教授)

1. はじめに

家庭から出されるごみは地域(市町村)ごとに収集、処分されているが、その量は年々増加の一途をたどっている。家庭から出るごみの収集は通常トラックで行われており、地域内に広がった各所に発生するごみを能率よく収集する必要がある。ごみ収集費用や所要時間は、トラックに対する収集地区の割り当てや、収集の経路によって変わってくる可能性がある。現状では、これらを人間の経験や直感によって決めているが、本研究では数理計画問題として扱うことを試みる。ごみの収集は週に何回か拠点から出る複数台のトラックが地域内を巡回して行っている。収集したごみは、トラックがそのまま焼却施設である清掃工場へ運んで行く。ここで、1台のトラックが受け持つ地区をどのように分け、その地区をどのように回るかが問題となる。

本研究では、ごみ収集単位を、平均的にトラック1台分のごみを出す地区とし、対象地域を多数の地区に分割する。そして m 台のトラックがこれらの地区のごみを最小の総走行距離で収集する問題を(m 人)巡回セールスマン問題に帰着させる。各トラックの経路は、この巡回路を分割して導出する。実際に、東京都多摩市におけるごみ収集を例として1回分の運行計画を求め、現状と比較検討する。

2. ごみ収集トラック経路割当て問題

平均的にトラック1台分のごみの量(2トン)を出す地区を1つのごみ収集単位として、対象地域を分割する。この収集単位をステーションと呼ぶ。ここで、各ステーションと清掃工場の往復回数は1回を越えないと仮定する。 n をステーションの数、点0を拠点、点 $n+1$ を清掃工場、点1~点 n をステーションとし、ステーション i, j 間の距離を、 $d_{i,j}(=d_{j,i})$ で表す。

また、この問題における前提条件は以下の通りである。

- ・ 収集拠点は1箇所である。トラックは拠点を出発し、最後にこの拠点へ帰ってくる。
- ・ トラックの積載量は2tである。
- ・ 作業はごみの収集のみで、その時間は全て等しい。
- ・ 積載量が満杯になり次第、ごみ焼却施設である清掃工場へごみを運ぶ。

3. 定式化

各ステーションでのトラックの動きは①(清掃工場へ行く)、②(次のステーションへ行く)の2通りである。①は、あるステーションでごみを収集し、そのステーションでのごみがまだ残っているが、積載量が満杯になったので清掃工場へ行き、ごみを降ろしてきてから再び戻ってきて収集を行う動きである。②は、ステーションで全てのごみの収集を行ったが、積載量にまだ余裕があるので、次のステーションでも続けてごみを収集する動きである。ステーションを区分けする際、1ステーションのごみの量が平均的にトラック1台分となるようにしているのので、ステーションから清掃工場へ移動する回数を近似的に0か1と考え、清掃工場へ移動する確率を α とおくと、その期待回数は α となる。以上を図示すると次のようになる。

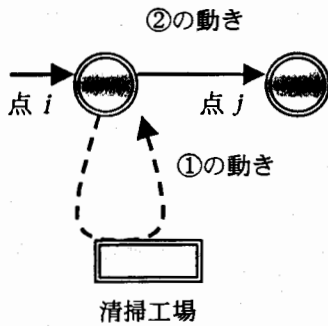


図1. トラックの動き

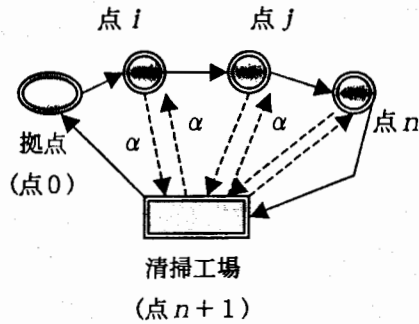


図2. ごみ収集経路モデル

図1, 図2に従ってトラックの走行距離を表現する. ここで, 次の記号を導入する.

$$x_{ijk} = \begin{cases} 1 & : \text{トラック } k \text{ がステーション } i \text{ の直後に ステーション } j \text{ を訪れる.} \\ 0 & : \text{それ以外.} \end{cases}$$

$$y_{ik} = \begin{cases} 1 & : \text{トラック } k \text{ がステーション } i \text{ を訪れる.} \\ 0 & : \text{それ以外.} \end{cases}$$

トラックの走行は図2の矢線で全て表されている. 定式化の準備として図3のようにトラックの走行経路を3つにわけ, それぞれの走行距離を表す.

$$\text{I} : \sum_k \sum_{i=1}^{n-1} (d_{0,i} + \alpha d_{i,n+1}) x_{oik}$$

$$\text{II} : \sum_k \sum_{\substack{i,j \\ i=0 \\ j=n+1}} (d_{i,j} + \alpha d_{i,n+1} + \alpha d_{j,n+1}) x_{ijk}$$

$$\text{III} : \sum_k \sum_{j=2}^n (d_{j,n+1} + \alpha d_{j,n+1}) x_{jn+1k}$$

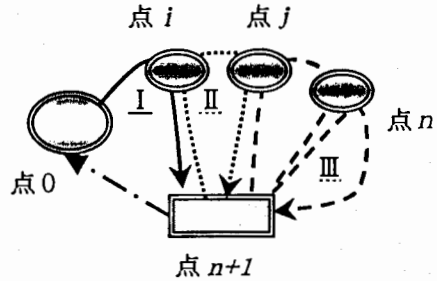


図3. 定式化のためのごみ収集経路の区分け

Iは, 点*i*についてトラック*k*が拠点から移動する距離と, 清掃工場へ移動する距離をまとめた式である. IIは, 点*i*, *j*間のトラック*k*の走行距離をまとめた式である. IIIは, 点*j*, *n+1*間のトラック*k*の走行距離をまとめた式である. I, II, IIIに含まれない清掃工場と拠点間の走行距離は, 全てのトラックについて一定であるから, 定数として目的関数に加える.

全てのステーションのごみを, もれなく, 重複することなく収集し, その総走行距離を最小化する問題は次のように定式化される.

Minimize

$$\sum_k \sum_{i,j} x_{ijk} d_{i,j} + 2\alpha \sum_{i=1}^n d_{i,n+1} + m d_{n+1,0} \quad (1)$$

Subject to

$$\sum_{i=0} x_{ijk} = y_{jk} \quad j = 1, 2, \dots, n+1 \quad k = 1, 2, \dots, m \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^{n+1} x_{ijk} = y_{jk} \quad i = 1, 2, \dots, n+1 \quad k = 1, 2, \dots, m \quad (3)$$

$$\sum_{i,j \in S} x_{ijk} \leq |S| - 1 \quad \forall S \subseteq \{1, \dots, n\} \quad k = 1, 2, \dots, m \quad (4)$$

$$x_{ijk} \in \{0, 1\} \quad i, j = 1, 2, \dots, n \quad k = 1, 2, \dots, m \quad (5-A)$$

$$y_{jk} \in \{0, 1\} \quad i = 1, 2, \dots, n \quad k = 1, 2, \dots, m \quad (5-B)$$

(1) はトラックが走る総走行距離を最小化する目的関数で、I、II、IIIを加え合わせて整理し、清掃工場と拠点間の距離の m 倍を加えたものである。また、制約式 (2)、(3) は、各ステーションには必ずあるトラックが訪れることを示し、(4) は部分巡回路を禁止するものである。

4. 本研究で試みる解法

まず始めに、総走行距離のみを考える。総走行距離は m 台のトラックが各々どのような順序でステーションを訪れるかによって変化する。全てのステーションは、必ず m 台トラックよってまんべんなく訪問されるので、どのような順序でステーションを訪れたとしても、各ステーションと清掃工場間を m 台のトラックが往復する距離は一定である。つまり、(1) の係数 2α をもつ第2項は定数である。よって、(1) の最小化を考えた場合、第1項、トラックの動きでいうと図1の②の動きの総走行距離を最小化すればよい。実際、第1項と定数である第3項の和を (2) ~ (5) の制約条件の下で最小化する問題は、各セールスマンが清掃工場 ($n+1$) から拠点 (0) への枝を必ず通る m 人巡回セールスマン問題となる。この m 人巡回セールスマン問題を1つの枝が固定された1人巡回セールスマン問題とみなして、近似的に解く。本研究では 2-opt 法を基本的解法とした多スタート局所探索法で準最適巡回路を求める。次に、得られた準最適巡回路を m 個に分割する。分割するときは、第2項を考慮して総走行距離を計算し、その距離が出来るだけ均等になるように、 m 台のトラックへ割り当てる。

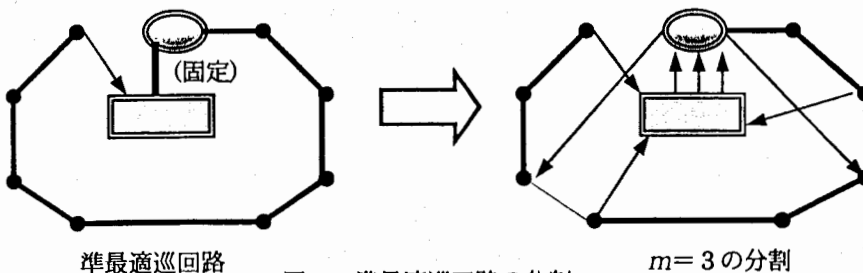


図4. 準最適巡回路の分割

5. 数値実験

多摩市の燃えるごみの収集は、民間業社2社に委託されている。本実験ではそのうちの1社であるT興運の燃えるごみの収集の担当地域から、拠点、清掃工場と97個のステーションを設定した。各点の座標データを地図から求め、プログラムを作成してトラックの総走行距離が最小となるような準最適巡回路を求めた。次に、実際T興運が12台のトラックでごみ収集を行っているので、 $m=12$ 、 $\alpha=0.8$ として各トラックの走行距離が、できるだけ均等になるように巡回路の分割を行った。プログラムは、borland社のDelphi3.1を用いて作成した。

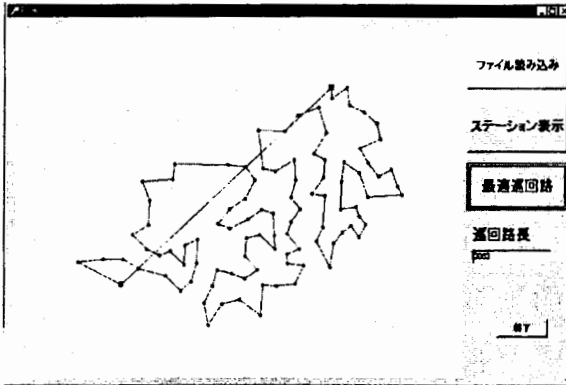


図5. 実行画面

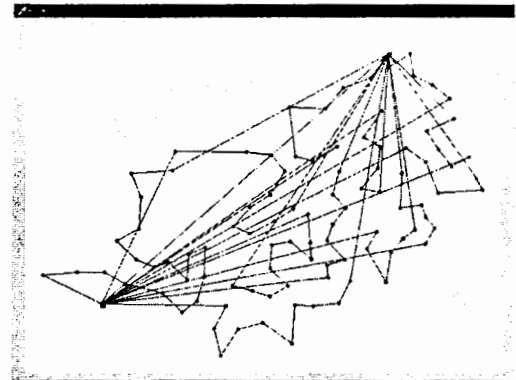


図6. 分割画面

6. 結果及び考察

総走行距離の最小化は、2-opt法(2000回)を用いて近似的に行った。準最適巡回路長は、3063~3158の範囲で変動した。このばらつきはステーションが密に存在する場所では、その長さがわずかに異なる何通りかの経路が選べるためであるが、実際の走行距離にすると1km程なので許容範囲といえる。分割に用いた準最適巡回路は長さ3063の巡回路を用いた。分割した経路の総走行距離は約470kmで1台平均約39kmであった。この結果は現状と比べて充分満足できるものに思われる。T興運の収集方式と本研究の結果を比較すると、担当地区が清掃工場に近くなった時の割り当てステーション数が異なっている。T興運は収集地区(落合、豊ヶ丘等)を割り当て、地区ごとにごみ収集を行っている(その中での具体的な動きは指示していない)が、本研究はトラックの動きを指示した上で、清掃工場に近いところでステーション数を多く割り当てている。これは総走行距離の短縮と平準化を目指す上で、効果的な割り当て方と思われる。

7. おわりに

本研究では、人間の経験や直感による判断ではなく、数理計画問題として、ごみの収集トラック運行計画モデルを構築した。これにより広い地区を割り当てられても図6のように経路を示すことで、経験等に頼らないごみ収集計画を立てることができる。また、 m 人巡回セールスマン問題を介して近似的に解く方法を試みた。今回は走行距離にのみ着目したが、ごみの収集時間はステーション数やごみの量に関係すると思われる。このような時間を考慮したモデルの構築は今後の課題である。

参考文献

- [1] 山本 芳嗣, 久保 幹雄:「巡回セールスマン問題への招待」 朝倉書店(1997年)
- [2] 多摩市一般廃棄物処理基本計画(1997年)