

II-490 ごみ収集車の走行経路の選択に関する研究

八千代エンジニアリング 正員 ○堤 暢彦
 東京都立大学工学部 正員 小泉 明
 東京都立大学工学部 正員 川口士郎

1、はじめに

筆者等は前回、都市ごみの収集輸送計画における費用削減を目的とした研究の一環として、ごみ処理施設の数、位置、規模を決定するロケーション問題の事例研究を発表した。今回はそれに継続するものとして、ごみ収集車の走行経路を決定するルーチング問題についての手法と事例研究について述べる。本研究においては、ルーチング問題を一台のごみ収集車が収集区域の中に含まれるごみ発生地点（ごみステーション）を全て巡回する効率的な「収集ルート」を決定する問題として定式化する。ただし、各ごみステーションのごみの発生量が一定であること、そしてその合計量は収集車両の容量よりも少ないことを前提としている。

2、収集ルートの定義

対象地域は、ごみステーションをノード（点）、ステーション間の道路をリンク（線）で示すことによってネットワークとしてモデル化できるので、「グラフ理論」を基礎として手法を考案した¹⁾。その理論中で用いられる「閉路」とは、連続な列を作りその両端が一致するリンクの集合として、また「木」とは、連結で閉路を作らないリンクの集合として定義されている。

ネットワーク上の「収集ルート」の定義は、「ネットワークに両端のノードが等しいリンクを加えたり、あるリンクを除くことによって、全てのノードの次数（そのノードを端点にするリンクの数）が2以上の偶数である連結なグラフ構造」とする。

ネットワークGにおける収集ルートの例を図-1に示す。ここで、収集ルートは、いくつかの閉路を一巡する「閉路」と、閉路に含まれないノードと閉路を往復する「枝」に分けられる。閉路をさらに一つのノードとして表すことによってネットワークを書き換えると図-2のようになる。ここで示される「木」は、もし収集ルートが最小距離であるとすればこの木はG'を張る最小の木（リンクの総距離が最小）であることが言える。すなわち、ネットワークにおける最小距離の収集ルートは、ある閉路の組合せについて最小の木を張ったものであると言える。

3、モデルケースによる解法

図-3の9ノードのネットワークをモデルにして、収集ルートを決定する手法を説明する。このネットワークより得られる閉路基底行列は、次のようになる。行列の要素は2値変数でありリンクが閉路に含まれるとき1、そうでないとき0が示される。なお $c_i, (i=1,2,3,4)$ は閉路を示し、 $e_j, (j=1,2,\dots,12)$ はリンクを示す。この行列の行ベクトルの任意の一次結合によって閉路の組合せが得られる。ただし、この一次結合における演算は $1+1=0, 0+1=1, 0+0=0$ とする。

例えば、 C_1+C_2 によって得られる行ベクトルのうち1が現れ

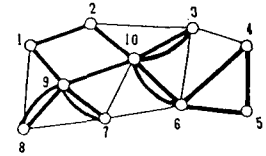


図-1 ネットワークGにおける収集ルート

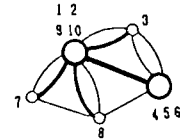
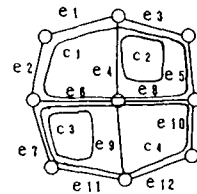


図-2 ネットワークG'における木



	c_1	c_2	c_3	c_4	e_5	e_6	e_7	e_8	e_9	e_{10}	e_{11}	e_{12}
c_1	1	1	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0
c_2	0	0	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0
c_3	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	1	0
c_4	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1

図-3 ネットワークと閉路基底行列

$$c_1 + c_2 = (1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0)$$

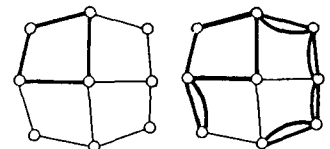


図-4 閉路より収集ルートを得る一例

るリンクを太線で示すことによって図-4のような閉路が得られる。そしてこの閉路をノードとして得られるネットワークに、最小の木を張ることによって収集ルートが得られる。閉路基底ベクトルの一次結合は15通り得られる。それぞれの閉路の組合わせのパターンを図-5に示す。そして、それぞれ木を張ったときの収集ルートの総距離を算出する。それらの中で総距離が最小であることを最適である収集ルートとして決定する。

4、事例研究

図-6は、対象とする地域の道路図を示す。3、で示した解法により計算した結果、図-7のようなネットワークによる最適収集ルートの解が示された。また、図-8に示すようにネットワークのリンクに方向が制約される場合には、方向に逆らうことを防ぐ条件文を加えることにより、同様の手法が使える。例えば図-8の道路図では矢印による一方通行を設定している。この設定のもとでは図-9のような最適収集ルートの解を得ることができた。なお、これらの計算は16ビットのパーソナルコンピューター（384kバイト）で処理可能であり、グラフィックは（640×400ドット）で示されている。

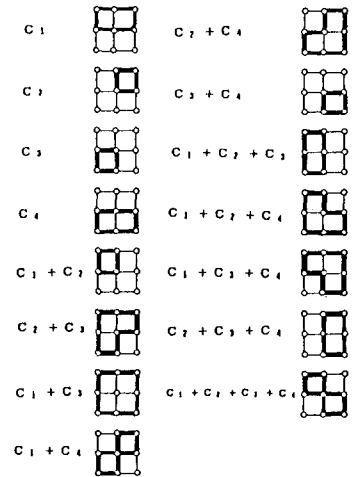


図-5 閉路の組合せの全てのケース

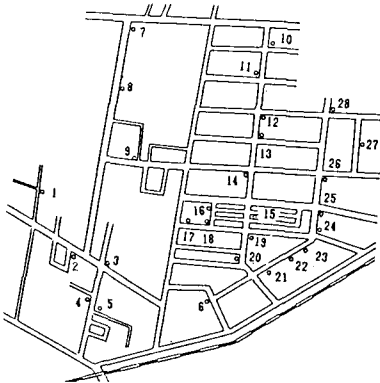


図-6 対象地域の道路図

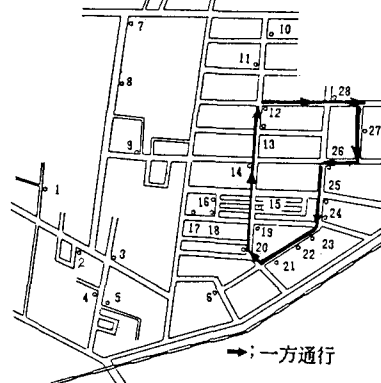


図-8 道路図における通行の制約

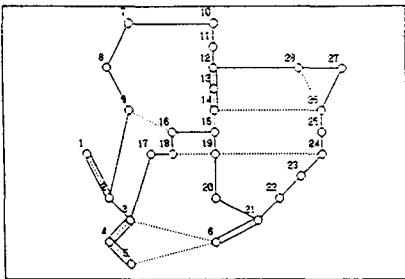


図-7 最適収集ルート

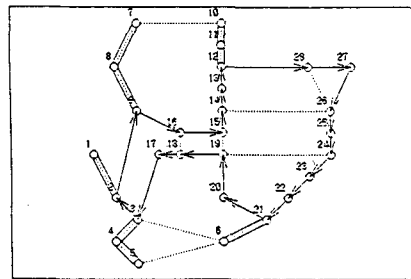


図-9 通行制約を考慮した最適収集ルート

5、おわりに

ルーティング問題はごみの収集輸送計画時点のみならず日常業務のレベルで絶えず問題となるものである。今回提案する解法は、一度得られた解を計算機に記憶させ、日々刻々と変化する道路状況（渋滞、道路工事等）による制約を入力することによって、修正された収集ルートを出力させることに利用価値がある。16ビットのパーソナルコンピューター（いわゆるパソコン）を用いることによりディスプレイに手軽に画像出力を描かせることができ、これをもとにごみの収集ルートを検討することが可能となった。

〔参考文献〕1) R.G.ハッサカ、T.L.サティ：グラフ理論とネットワーク基礎と応用、培風館、1965