

ガソリンスタンドにおける配送コストの最適化

2009SE153 増田悟美 2009SE225 岡本淳佑

指導教員：澤木勝茂

1 はじめに

1.1 背景

自動車は毎日当たり前のように給油をするため、ガソリンスタンドを訪れる。私たちはガソリンスタンドにガソリンがあることを当たり前のことだと思ってしまうかもしれない。しかし、このことを当たり前に行っているのはガソリンを製油所から運んでいる配送システムがあるからである。当然大型自動車を走らせている企業は配送コストを削減することを考えている。本研究ではタンクローリーを使って店舗へガソリンを配送する出光興産の東海地区の配送コストに着目した。ガソリンの配送は各店舗からの注文量でタンクローリーの種類と稼働台数が決まる。この稼働させるタンクローリーを選択することでコストに大きな差が生じ配送コストを削減することができると考えた。この問題を輸送問題と考え、製油所から各店舗への全てのルートに対してモデルを作成した上で、コストだけではなく走行距離の削減もできることを考察する。

1.2 アプローチ

本論文は Excel を用いて愛知県の一部の地域の店舗にガソリンを運ぶタンクローリーの経路を決定して配送コストを最小にする。そのため研究対象地域にある店舗にアンケート調査を行い、そのデータをもとにどの地域にどの大きさのタンクローリーを向かわせるかを考察していく。最終目的は各タンクローリーにかかる交通費と人件費の総和が最小になる配送ルートを求める。

2 モデルの定式化

この節では記号の定義とモデルの定式化を行う。

2.1 記号の定義

- C : 分給の人件費
 l_{abj} : タンクローリー j が店舗 a から店舗 b に行くのにかかる時間
 e : ガソリンの平均価格
 f_j : タンクローリー j の平均燃費
 S_{aj} : 店舗 a でのタンクローリー j の積載量
 r_{abj} : 店舗 a から店舗 b までのタンクローリー j の移動距離
 β_{abj} : 店舗 a から店舗 b までタンクローリー j が移動する場合に 1, 移動しない場合に 0 を返す
 d_a : 店舗 a の需要量
 T_j : タンクローリー j の最大積載量
 J : タンクローリーの台数

- N : 店舗の数
 j : タンクローリーの番号
 a : 出発店舗
 b : 到着店舗
(ただし店舗 $a = 0$, $b = 0$ は製油所を表す)

2.2 目的関数

配送コストは、全タンクローリーに掛かる人件費 + 交通費の総和からなる。これを定式化すると

$$\sum_{j=1}^J \left\{ \sum_{a=0}^{N-1} \sum_{b=a+1}^N Cl_{abj} \beta_{abj} + \sum_{b=0}^{N-1} \sum_{a=b+1}^N Cl_{abj} \beta_{abj} + \frac{e}{f_j} \left\{ \sum_{a=0}^{N-1} \sum_{b=a+1}^N r_{ab} \beta_{abj} + \sum_{b=0}^{N-1} \sum_{a=b+1}^N r_{ab} \beta_{abj} \right\} \right\} \quad (1)$$

となる。高速道路を利用した場合のみ高速料金を加える。交通費はそれぞれのタンクローリーの燃費で燃料費を割った値となっている。式 (1) を最小化することを目的とする。:参考文献 [1]

2.3 制約条件

$$\alpha_{aj} = \sum_{b=1}^N \beta_{abj} \quad (2)$$

$$\alpha_{bj} = \sum_{a=1}^N \beta_{abj} \quad (3)$$

$$\sum_{b=1}^N \beta_{abj} = \sum_{a=1}^N \beta_{abj} \quad (4)$$

$$\sum_{a=1}^N \beta_{abj} \leq 1 \quad (a \geq 1) \quad (5)$$

$$\sum_{b=1}^N \beta_{abj} \leq 1 \quad (a \geq 1) \quad (6)$$

$$\beta_{abj} = 0 \text{ or } 1 \quad (7)$$

$$\sum_{a=1}^N S_{aj} \leq T_j \quad (8)$$

$$\sum_{j=1}^N S_{aj} = d_a \quad (a \geq 1) \quad (9)$$

$$-S_{0j} \alpha_{0j} + d_a \alpha_{aj} = 0 \quad (10)$$

式 (2) の α_{aj} は店舗 a から出発するタンクローリー j を表し、式 (3) の α_{bj} は店舗 b に到着するタンクローリー j を表す。

2.4 前提条件

配送方法について

タンクローリーはすべて製油所のある知多市南浜町から出発する。また、積まれたガソリンはすべて満タンにした状態で製油所を出発する。そして積まれたガソリンが空になるように店舗を回る配送ルートを選定する。各店舗に来るタンクローリーの台数は1台とする。

各店舗の注文方法について

各店舗は偶数量でしか注文できない。(これはタンクローリーの仕組み上偶数量しか配送ができないからである。)

使用するタンクローリーについて

使用するタンクローリーの積載容量は $20kl$, $22kl$, $24kl$, $26kl$, $28kl$, $30kl$ の6種類である。

2.5 対象エリア

本研究の対象エリアは愛知県東部の12の市郡である。愛知郡、岡崎市、安城市、尾張旭市、刈谷市、瀬戸市、豊明市、豊田市、長久手市、名古屋市、日進市、みよし市を対象とする。タンクローリーが出発する製油所は知多市南浜町11にある出光興産の製油所とする。

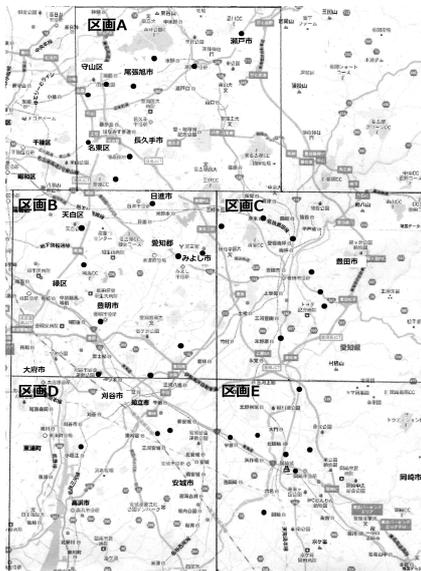


図1 対象スタンド:参考文献 [2]

3 モデル化

タンクローリー3(Track3)を参考に式(10)を図を用いて考える。

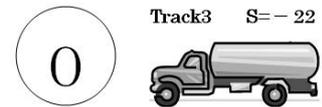


図2 タンクローリーの経路1

この区画0は製油所を表す。タンクローリー3は製油所で $22kl$ のガソリンを積むので $-S_{03} = -22$ となる。図で $-22kl$ と表記されているのはタンクローリーにガソリンを積む時をマイナスと考えるからである。

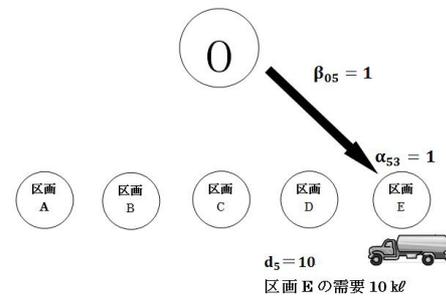


図3 タンクローリーの経路2

次にタンクローリー3は区画Eへ向かう。そこで $10kl$ のガソリンを降ろす。タンクローリーは区画Eへ入ったので $\alpha_{53} = 1$ になる。つまりここで $d_5 \cdot \alpha_{53} = 10 \cdot 1 = 10$ という計算が行われる。

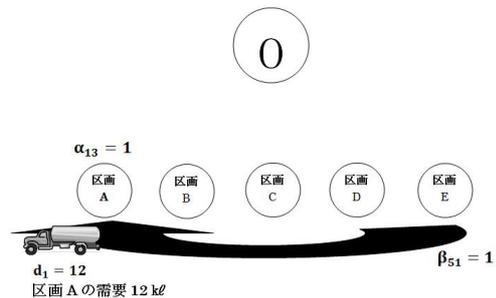


図4 タンクローリーの経路3

次にタンクローリー3は区画Aへ向かう。そこで $12kl$ のガソリンを降ろす。タンクローリーは区画Aへ入ったので $\alpha_{13} = 1$ になる。つまりここで $d_1 \cdot \alpha_{13} = 12 \cdot 1 = 12$ という計算が行われる。

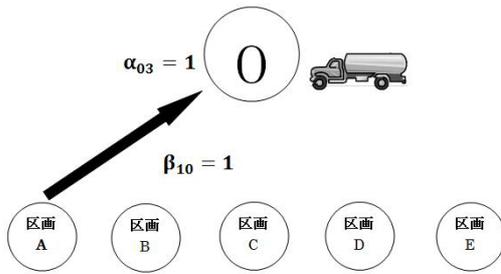


図5 タンクローリーの経路4

最後にタンクローリー3は製油所に戻る。図1でタンクローリーは22klのガソリンを積んだので $-S_{03}=-22$ となる。タンクローリーは製油所に入ったので $\alpha_{03}=1$ になる。つまりここで $S_{0j} \cdot \alpha_{0j} = -22 \cdot 1 = -22$ という計算が行われる。 $-S_{0j} \alpha_{0j} + d_a \alpha_{aj}$ に当てはめると $(-22) \cdot 1 + 10 \cdot 1 + 12 \cdot 1 = 0$ という式を得られる。つまり $-S_{0j} \alpha_{0j} + d_a \alpha_{aj} = 0$ が成り立った事になる。

3.1 実行例

各店舗を対象としているが、Excelで実行する時のみ地図を区画で区切る。各区画ごとに重心点を置き、区画内の店舗需要から平均需要を導き出した。

各対象エリアの需要量は区画Aは12kl、区画Bは12kl、区画Cは20kl、区画Dは8kl、区画Eは10klである。今回配送に使用するタンクローリーの最大積載量はタンクローリー1が20kl、タンクローリー2が20kl、タンクローリー3が22kl、タンクローリー4が30klである。そして一般道路での各種タンクローリーの燃費は参考文献[4]より20klのタンクローリーは2.34km/l、22klのタンクローリーは2.27km/l、30klのタンクローリーは2.01km/lである。

軽油平均価格は127円/lとする。この軽油平均価格は参考文献[6]より2011年4月11日~2012年12月17日までの愛知県の軽油の最高価格と最低価格の平均値である。

表1 各区画間と製油所との距離(一般道路):参考文献[3]

	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
0									
区画A	22.6								
区画B	49.1	16							
区画C	29.9	7.5	2.4						
区画D	30.7	9.9	6	4.3					
区画E	28	7.2	3.9	5	3.8				

表2 各区画間と製油所との時間(一般道路):参考文献[3]

	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA
cost2(円/分)			30						
t(時間)									
0		1000	62	49	66	70	61		
区画A	62	1000	16	21	25	25	17		
区画B	49	16	1000	5	8	8	15		
区画C	66	21	5	1000	4	4	10		
区画D	70	25	8	4	1000	8	8		
区画E	61	17	15	10	8	1000			

各区画間と製油所との距離表と時間表は一切高速道路を利用していないものである。

表3 α, β (一般道路)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Track1										
0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
区画A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
区画B	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
区画C	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
区画D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
区画E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
α	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Track2										
0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
区画A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
区画B	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
区画C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
区画D	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
区画E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
α	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0
Track3										
0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
区画A	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
区画B	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
区画C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
区画D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
区画E	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
α	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1
Track4										
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
区画A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
区画B	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
区画C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
区画D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
区画E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
α	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

制約条件の式(2)から式(10)をソルバー制約などにかけることで上記の α, β という各種タンクローリーの配送経路を得ることができた。

表4 各種タンクローリーにかかる交通費(一般道路)

	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
Track1									
cost * α * β			0	区画A	区画B	区画C	区画D	区画E	
0			0	0	0	1623	0	0	
区画A			0	0	0	0	0	0	
区画B			0	0	0	0	0	0	
区画C			1623	0	0	0	0	0	
区画D			0	0	0	0	0	0	
区画E			0	0	0	0	0	0	
Track2									
cost * α * β			0	区画A	区画B	区画C	区画D	区画E	
0			0	0	1626	0	0	0	
区画A			0	0	0	0	0	0	
区画B			0	0	0	0	326	0	
区画C			0	0	0	0	0	0	
区画D			1666	0	0	0	0	0	
区画E			0	0	0	0	0	0	
Track3									
cost * α * β			0	区画A	区画B	区画C	区画D	区画E	
0			0	0	0	0	0	1567	
区画A			1264	0	0	0	0	0	
区画B			0	0	0	0	0	0	
区画C			0	0	0	0	0	0	
区画D			0	0	0	0	0	0	
区画E			0	0	0	0	0	0	
Track4									
cost * α * β			0	区画A	区画B	区画C	区画D	区画E	
0			0	0	0	0	0	0	
区画A			0	0	0	0	0	0	
区画B			0	0	0	0	0	0	
区画C			0	0	0	0	0	0	
区画D			0	0	0	0	0	0	
区画E			0	0	0	0	0	0	

全てのタンクローリーにかかる交通費の解は(軽油平均価格(円/l))/(各種タンクローリーの燃費(kl/l)) * (表1距離表(km)) * β_{abj} の総和となる。交通費は、
$$\sum_{j=1}^J \left\{ \sum_{a=0}^{N-1} \sum_{b=a+1}^N Cl_{abj} \beta_{abj} \right\} + \sum_{b=0}^{N-1} \sum_{a=b+1}^N Cl_{abj} \beta_{abj}$$
という目的関数の一部より導き出された。

表5 各種タンクローリーにかかる人件費(一般道路)

	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA
28									
29									
30		Track1							
31		cost2×1×β	0	区画A	区画B	区画C	区画D	区画E	0
32		区画A	0	0	0	0	1980	0	0
33		区画B	0	0	0	0	0	0	0
34		区画C	1980	0	0	0	0	0	0
35		区画D	0	0	0	0	0	0	0
36		区画E	0	0	0	0	0	0	0
37									
38									
39		Track2							
40		cost2×1×β	0	区画A	区画B	区画C	区画D	区画E	0
41		区画A	0	0	1470	0	0	0	0
42		区画B	0	0	0	0	0	0	0
43		区画C	0	0	0	0	240	0	0
44		区画D	0	0	0	0	0	0	0
45		区画E	2100	0	0	0	0	0	0
46									
47									
48									
49		Track3							
50		cost2×1×β	0	区画A	区画B	区画C	区画D	区画E	1830
51		区画A	0	1860	0	0	0	0	0
52		区画B	0	0	0	0	0	0	0
53		区画C	0	0	0	0	0	0	0
54		区画D	0	0	0	0	0	0	0
55		区画E	0	0	510	0	0	0	0
56									
57									
58									
59		Track4							
60		cost2×1×β	0	区画A	区画B	区画C	区画D	区画E	0
61		区画A	0	0	0	0	0	0	0
62		区画B	0	0	0	0	0	0	0
63		区画C	0	0	0	0	0	0	0
64		区画D	0	0	0	0	0	0	0
65		区画E	0	0	0	0	0	0	0
66									
67									

全てのタンクローリーにかかる人件費は(表2 時間表(分))・(分給(円/分))・ β_{abj} の総和とする。分給は30円とする人件費は

$$\sum_{j=1}^J \left\{ \sum_{b=0}^{N-1} \sum_{a=b+1}^N Cl_{abj} \beta_{abj} \right\} + \sum_{a=0}^{N-1} \sum_{b=a+1}^N Cl_{abj} \beta_{abj}$$

という目的関数の一部より導き出された。

表6 最適解(一般道路)

	K	L	M	N	O	P	Q
1							
2		Total cost(輸送費)		9,996	total cost		21,966
3		Total cost(人件費)		11,970			
4							

従って一般道路を使用した場合のタンクローリーの最適経路は

- タンクローリー1は製油所→区画C→製油所
- タンクローリー2は製油所→区画B→区画D→製油所
- タンクローリー3は製油所→区画E→区画A→製油所
- タンクローリー4は未使用

交通費が9,996円、人件費が11,970円、総コストが21,966円という結果を得た。

同様の計算で高速道路のみを利用した場合(交通費に高速使用料金も計算上にも含む)のタンクローリーの最適経路は

- タンクローリー1は製油所→区画D→区画B→製油所
- タンクローリー2は製油所→区画C→製油所
- タンクローリー3は製油所→区画A→区画E→製油所
- タンクローリー4は未使用

交通費が17,438円、人件費が11,910円、総コストが29,348円という結果を得た。

製油所から1区画目へ配送する時と製油所へ帰る時のみ高速道路を利用した場合のタンクローリーの最適経路は
 タンクローリー1は製油所→区画C→製油所
 タンクローリー2は製油所→区画D→区画B→製油所
 タンクローリー3は製油所→区画A→区画E→製油所
 タンクローリー4は未使用

交通費が13,811円、人件費が10,140円、総コストが23,951円という結果を得た。

4 おわりに

本論文ではガソリンスタンドへのガソリンの最適な配送計画について考察した。各店舗の需要に対してどのタンクローリーを稼働させ、どのタンクローリーにどの店舗を回らせるかを考慮してモデル化を行い、EXCELのソルバーを用いて全てのルートを見つめなおした。これらを行うことによってコストが最小になるようなルートを探し、コストの削減を目指した。一般道路を利用した場合、高速道路を利用した場合、一般道路と高速道路を両方利用した場合の3パターンを行った。総コストは一般道路と比べると高速道路の場合が高くなってしまったが、人件費だけで考えれば高速道路を利用した方がコストを削減することができることがわかった。高速道路と一般道路を両方利用する場合を考えてみた。一般道路を利用した場合と比べると総コストが少し高くなっているが、高速道路を利用した時ほど大きな差ではない。人件費に関しては一般道路を利用した場合より両方を利用した場合の方がコストを削減することができることがわかった。実行結果より、タンクローリーの種類選択や店舗の経由順がコストに大きく関わっていることがわかった。また、一般道路を利用した方が総コストが低くなったことから高速道路と一般道路を上手く組み合わせて使うことでよりコストを削減することができることがわかった。

5 参考文献

- [1] 西尾 規章, 大橋 将司: 物流センターにおける最適配送計画, 南山大学数情報理工学部情報システム数理学科卒業論文(2010年度).
- [2] SS 検索 出光興産
<http://www.idemitsu.co.jp/ss/search/index.html>
- [3] NAVITIME
<http://www.navitime.co.jp/>
- [4] 石油連盟 流通 石油システム部
<http://www.paj.gr.jp/>
- [5] 尾崎 俊治: 確率モデル入門, 朝倉書店(1966).
- [6] ガソリン・灯油価格情報 NAVI
<http://oil-stat.com/light.html>