

物流センターにおける最適配送計画

2006MI121 西尾規章 2006MI132 大橋将司

指導教員：澤木勝茂

1 はじめに

1.1 背景

物流センターにおいて、取引先の店舗に荷物を配送する際にトラックがどのようなルートを辿るかによって、コストに大きな差が生じる場合が考えられる。この問題を輸送問題として考え、コストの削減を目指す。配送データを基に、最適配送計画を考察する。コストだけでなく、配送トラックが走行する際に排出される二酸化炭素の量も削減できることを期待する。

1.2 アプローチ

本論文の目的は、セービング法 [3] と線形計画法を用いて輸送コストを最小にするようなルートを求め、最適配送計画を考察することである。物量の多い日と少ない日の各配送パターンを考慮し、各パターンのすべてのルートについてのモデルを作成した上で、セービング法を用いて現状の輸送コストを指標としつつ、どのルートが最適かを選択する。

1.3 概要

センターで取り扱っている商品は入荷したその日のうちにすべて配送しなくてはならない日配商品である。輸送コストは、各ルートの人件費に時間を掛けた値と、燃料費に距離を掛けた値と高速費を足した交通費の総計であるものとする。交通費など具体的な数値を扱うことにより、現実的な結果を求めた点は、過去の輸送問題を取り扱った論文 [2] と異なっている。モデル化する新ルートについては、取引先の店舗数とそれに伴う配送ルートが共に膨大な数である。そのため、既存のルートにおいてどのような配送パターンにすればコストを最も抑えられるかということ念頭において考察する。数値計算は、物流センターからいただいたデータと、NAVITIME[1] を用いて調べた値を基に、計算する。

1.4 対象のエリア

対象エリアは主に東海 3 県に静岡、滋賀を加えた 5 県となる。名古屋市を除く愛知県内は 34 店舗、名古屋市内は 14 店舗、岐阜県内は 20 店舗、三重県内は 23 店舗、滋賀県内は 2 店舗、静岡県内は 8 店舗存在する。

2 モデルの定式化

2.1 記号の定義

$c_{1,r}$: 1 時間当たりの人件費用
 $c_{2,r}$: 1 リットル当たりのガソリン費用
 t_r : 1 回の配送にかかる時間
 l_r : 1 回の配送における距離
 e : トラックの平均燃費
 h_r : ルートにおける高速費用

R : 総ルート数
 r : ルート番号
 S : セービング値
 i, j : 結合点の番号
 $c[\bullet]$: 枝の重み
 Q_r : 旧ルートのコスト
 L_r : ルートにおける時間制限
 M : 1 日当たりの制限費用

2.2 目的関数

輸送コストは、人件費と交通費 (燃料費 + 高速料金) の総計であり、これを定式化すると、

$$\sum_{r=1}^R \left(c_{1,r} t_r + \left(\frac{c_{2,r} l_r}{e} + h_r \right) \right) \rightarrow \min \quad (1)$$

となる。ただし、高速費用は高速道路使用時のみ加える。また、一般道路使用時に交通費は燃料費のみを指すものとする。式 (1) を最小化することを目的とする。

2.3 制約条件

2.3.1 新ルートと旧ルートのコスト比較

最適化されたルートは、現行のルート以下の輸送コストになる必要があるため、

$$c_{1,r} t_r + \left(\frac{c_{2,r} l_r}{e} + h_r \right) \leq Q_r \quad (r = 1, 2, 3, \dots, R) \quad (2)$$

とする。制約を超えてしまった場合は、現行ルートを採用する。

2.3.2 制限時間

より早い配送をするに当たり、制限時間が設定されており、配送時間は制限時間を超えてはならないため、

$$t_r \leq L_r \quad (r = 1, 2, 3, \dots, R) \quad (3)$$

取り扱う商品が生ものであることと、取引先店舗の開店時間などを考慮した結果、この制約を設けた。

2.3.3 制限費用

すべてのルートにおける輸送コストの合計には制限があり、1 日当たりの制限費用が決められているため、

$$\sum_{r=1}^R \left(c_{1,r} t_r + \left(\frac{c_{2,r} l_r}{e} + h_r \right) \right) \leq M \quad (4)$$

とする。万一、(1) 式で導いた最小値が (4) 式を満たさない場合は、もう一度全ルートを最初から検討して最小値を見直す。

最適輸送コストとして確定するためには、上記の 3 式を満たす必要がある。

2.4 各種条件

2.4.1 前提条件

使用するトラックについて 1日のトラック配車台数は65台前後である。配送する際に使用するトラックは4tと10tの2種類であり、全車保冷車である。トラックの種類により燃費が変化するため輸送コストを算出する際に考慮する必要がある。そのため、4tトラックの燃費は5km/l、10tトラックの燃費は3km/lと設定する。どちらのトラックも燃料は軽油を使用するものとする。軽油の値段は変動が激しいので、おおまかな平均値をとって100円/lとする。

費用に関する条件 センターで取り扱っている商品は、入荷したその日のうちにすべて配送しなくてはならない日配商品であるので、センター内での在庫費用については考慮しない。トラックの運転手の人数は基本的に1人であり、例外は無い。人件費は個人情報保護の観点などから部外秘であり、詳しいデータを得ることができなかったため、勝手に1200円/時と設定する。1日当たりの制限費用は650000円/日とする。高速道路を利用する際は、ETC割引を適用する。

時間に関する条件 物流センターから各店舗への配送開始時間は一律でAM2:00~AM5:00である。開店時間は店舗ごとに異なるため各ルートの最終経由店舗で考慮する。要望は考慮しない。制限時間は開店の30分前とする。客先に到着し、積み荷を降ろす際にかかる時間は考慮しない。

製品に関する条件 配送する商品は日配商品であるため、賞味期限は考慮しない。

3 モデルの解法

3.1 セービング法の説明

この技法は、2需要地に対してトラックを休みなく往復させ、物を次から次へと送る配送からルート配送に変えることによって生じる走行距離の減少分であるセービング値を算出し、これが最大となるルートの結合を行うことによって解を構築していく技法である。

3.1.1 セービング値

$$S[i, j] = A - B = c[i, 0] + c[0, j] - c[i, j] \quad (5)$$

と定義し、すべての点を通る前に閉路ができたり、点の次数が2を越えないような目安とするための指標となる値のことである。

3.1.2 セービング値の計算例

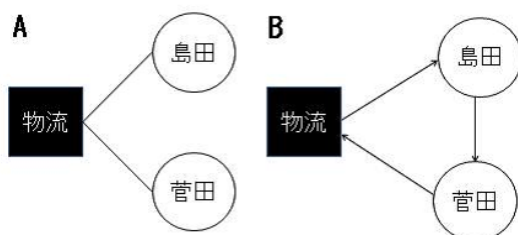


図1 例：物流-島田-菅田間のモデルA，モデルB

$$A = c[0, 1] + c[1, 0] + c[0, 2] + c[2, 0] \quad (6)$$

$$B = c[0, 1] + c[1, 2] + c[2, 0] \quad (7)$$

$$S[1, 2] = c[1, 0] + c[0, 2] - c[1, 2] \quad (8)$$

STEP1 すべての行き先に対して、個別のルートを作成。



図2 STEP1

STEP2 全てのペア (i, j) に対して、セービング値 S[i, j] を計算する。



図3 STEP2

STEP3 実行可能な追加の中で、セービング値が正で最大を取り入れる。

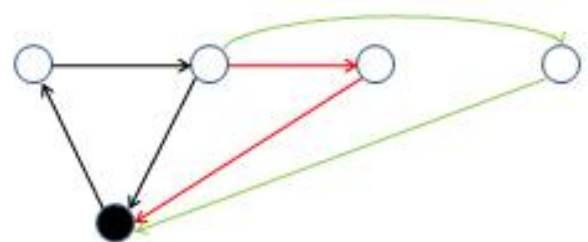


図4 STEP3

STEP4 STEP2, 3を繰り返し、実行可能なセービング値が負になれば終了。

3.2 モデルの説明

取引先の店舗数が100を越え、配送ルートが多数存在するため、物量の多い日と少ない日の2パターンのみを考える。セービング法を用いて、各ルートの全配送パターンを計算する。枝の重みはコストである。ルートを考え

る際に以下の2通りの場合についてを考慮し、コストの比較をする。

case1: 一般道路のみを利用し、高速料金を重視する場合。
 case2: 高速道路をできる限り利用し時間を重視する場合。
 (注) ルートのコストが一般道路と高速道路で同一の場合、一般道路(case1)を選択。

これらの条件から導き出された新ルートと旧ルートと比較し、最適ルートを選択する。

3.2.1 モデル例

(4店舗経由)

物流 - 美濃加茂 - 高富 - 美山 - 武芸川

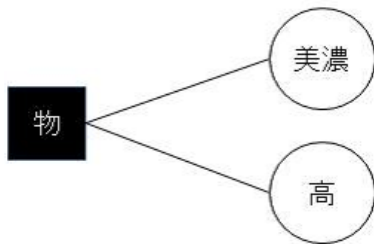


図5 物流-美濃加茂-高富間のモデルA

物流-美濃加茂間において、一般道路のみを利用したルートから算出したコストは2494で、高速道路を優先的に利用したルートから算出したコストは2708である。よって、一般道路のみを利用したルートを選択する。物流-高富間において、一般道路のみを利用したルートから算出したコストは2216で、高速道路を優先的に利用したルートから算出したコストは2332である。よって、一般道路のみを利用したルートを選択する。物流センターと2店舗をそれぞれ往復する場合をモデルAとし、輸送コストは9420となる。

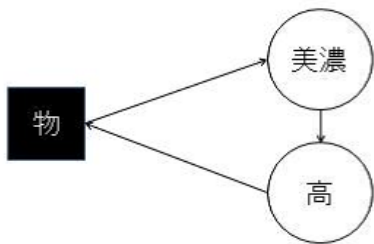


図6 物流-美濃加茂-高富間のモデルB

美濃加茂-高富間において、一般道路のみを利用したルートから算出したコストは1776で、高速道路を優先的に利用したルートから算出したコストは1776である。よって、一般道路のみを利用したルートを選択する。物流センターから美濃加茂を経由し、高富へ向かう場合をモデルBとし、輸送コストは6486となる。この時点でのSはA-Bより2934となるため、次のSTEPへと移る。

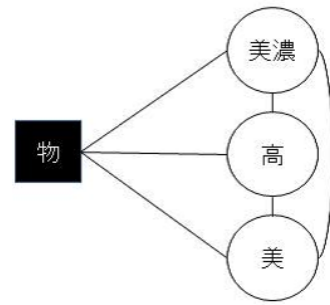


図7 物流-美濃加茂-高富-美山間のSTEP3

物流-美濃加茂-高富ルートに美山を新たに加える。物流-美山間において、一般道路のみを利用したルートから算出したコストは2594で、高速道路を優先的に利用したルートから算出したコストは2884である。よって、一般道路のみを利用したルートを選択する。美濃加茂-美山間において、一般道路のみを利用したルートから算出したコストは1862で、高速道路を優先的に利用したルートから算出したコストは2270である。よって、一般道路のみを利用したルートを選択する。高富-美山間において、一般道路のみを利用したルートから算出したコストは402で、高速道路を優先的に利用したルートから算出したコストは402である。よって、一般道路のみを利用したルートを選択する。そして、モデルBに物流センター-美山間を往復したコストを加え、このルートを基準とする。基準となるルートのコストは11674である。物流-美濃加茂-高富-美山ルートのコストは7266で、 $S = 4408$ となる。物流-美濃加茂-美山-高富ルートのコストは6974で、 $S = 4700$ となる。物流-高富-美濃加茂-美山ルートのコストは8448で、 $S = 3226$ となる。考えられるルートはこの3つとなる。Sが最大値を取るのは、物流-美濃加茂-美山-高富ルートである。この時点で、3ルートとも $S > 0$ となるため、次のSTEPへと移る。

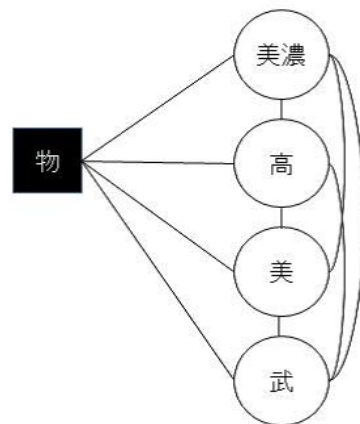


図8 物流-美濃加茂-高富-美山-武芸川間のSTEP3 繰り返し

物流-美濃加茂-高富-美山のルートに武芸川を新たに加える。物流-武芸川間において、一般道路のみを利用したルートから算出したコストは2404で、高速道路を優先的に

に利用したルートから算出したコストは2250である。よって、高速道路を優先的に利用したルートを選択する。美濃加茂-武芸川間において、一般道路のみを利用したルートから算出したコストは1250で、高速道路を優先的に利用したルートから算出したコストは1638である。よって、一般道路のみを利用したルートを選択する。高富-武芸川間において、一般道路のみを利用したルートから算出したコストは726で、高速道路を優先的に利用したルートから算出したコストは726である。よって、一般道路のみを利用したルートを選択する。美山-武芸川間において、一般道路のみを利用したルートから算出したコストは614で、高速道路を優先的に利用したルートから算出したコストは614である。よって、一般道路のみを利用したルートを選択する。そして、物流-美濃加茂-美山-高富ルートに物流-武芸川間を往復するルートを加え、このルートを基準とする。基準ルートのコストは11474である。物流-美濃加茂-高富-美山-武芸川ルートのコストは7536で、 $S=3938$ となる。物流-美濃加茂-高富-武芸川-美山ルートのコストは8204で、 $S=3270$ となる。物流-美濃加茂-美山-高富-武芸川ルートのコストは7734で、 $S=3740$ となる。物流-美濃加茂-美山-武芸川-高富ルートのコストは7912で、 $S=3562$ となる。物流-美濃加茂-武芸川-高富-美山ルートのコストは7466で、 $S=4008$ となる。物流-美濃加茂-武芸川-美山-高富ルートのコストは6976で、 $S=4498$ となる。物流-高富-美山-美濃加茂-武芸川ルートのコストは8718で、 $S=2756$ となる。物流-高富-美濃加茂-武芸川-美山ルートのコストは8450で、 $S=3024$ となる。物流-高富-美山-美濃加茂-武芸川ルートのコストは7980で、 $S=3494$ となる。物流-高富-武芸川-美濃加茂-美山ルートのコストは8648で、 $S=2826$ となる。物流-美山-美濃加茂-高富-武芸川ルートのコストは9208で、 $S=2266$ となる。物流-美山-高富-美濃加茂-武芸川ルートのコストは8272で、 $S=3202$ となる。考えられるルートはこの12個となる。

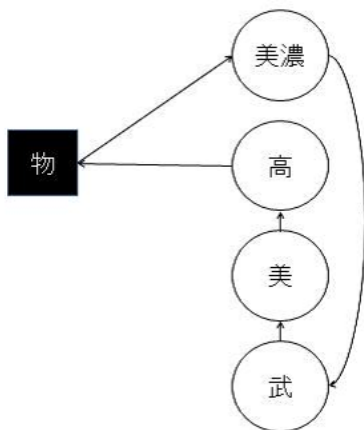


図9 物流センター-美濃加茂-高富-美山-武芸川間の最適輸送ルート

S が最大値をとるのは、物流-美濃加茂-武芸川-美山-高富ルートであり、制約条件も満たしていることが確認できる。すなわち、このルートが最適輸送ルートであり、コストは6976となる。

4 改善結果

4.1 実行結果

表1はパターン1における全ルートの輸送コストを計算した結果、見つけることのできた最適な新ルートのみを表している。同様に、表2ではパターン2における新ルートを表している。

表1 パターン1

| 最適輸送ルート | 新旧ルートのコスト比較 |
|------------------------|---------------------|
| 福岡-付知-落合 | 12188 < 12248 |
| デリカ-坂本-駒場 駒場-デリカ-坂本 | 9482 < 9740 |
| 甚目寺-中根-瑞穂 | 3742 < 3790 |
| たか丘-ゆうとう-萩の原 | 17143.33 < 17956.67 |
| 関-N 本部-西条 | 8572 < 8908 |
| 豊川-吉田方-形原 | 11216 < 11532 |
| ポケット-ライブ-キララ-稲口 | 6744 < 7266 |
| 美濃加茂-武芸川-美山-高富 | 6976 < 7536 |
| 総計差 | 2331.34 |

表2 パターン2

| 最適輸送ルート | 新旧ルートのコスト比較 |
|-------------|---------------|
| 高根-ライブ-ポケット | 7458 < 7684 |
| 甚目寺-中根-瑞穂 | 3742 < 3790 |
| 萩の原-高丘-ゆうとう | 16403 < 16407 |
| 豊川-吉田方-形原 | 11220 < 11532 |
| 志摩- 本部-磯部 | 16934 < 16980 |
| 総計差 | 636 |

5 おわりに

本論文では、物流センターの輸送問題における最適配送計画について考察した。ある物流の多い日と少ない日の2パターンをモデル化し、セービング法を用いて各パターンの全てのルートを見つめなおした。それによりコストが最小になるようなルートを探索し、コストの削減を目指した。高速道路を利用するかしないかで時間に大幅な差が見られたので、それが人件費に与える影響について重点的に考慮した。傾向としては、遠方の店舗への配送においては、高速道路を積極的に利用した方が時間を短縮できコストの最小化に繋がった。一方、近隣の店舗への配送においては、高速道路を利用してもあまり時間が短縮されず、移動距離も増え、高速料金と合わせて交通費がかさむことによりコストの最小化には繋がらなかった。実行結果より、店舗の経由順もコスト削減に大きく関わってくるということがわかった。また、ルートを分割してトラックの台数を増やすよりも、一台で複数の店舗を回る方が、コストがかからないということもわかった。

参考文献

- [1] NAVITIME : <http://www.navitime.co.jp/>
- [2] 水野 彰子:在庫を考慮した輸送ルート決定, 南山大学数理情報学部数理科学科卒業論文 (2007 年度) .
- [3] 伊倉 義郎:OR 特別講義配布資料6「最適手法を使った配車問題の解法」(2010 年度) .