

# スーパーにおけるロジスティクスネットワーク配置モデル —国産精肉について—

2005MM015 今村 健人 2005MM091 山田 真太郎

指導教員：澤木勝茂

## 1 はじめに

最近，食に関する問題が多く取り上げられている．その中でも特に外国産のものを国産と偽り販売する産地偽装や等級偽装が大きく取り上げられている．これは，原価の安い肉を高級品と偽り，高く売ることによって利益を得ようといった問題である．牛肉は産地により価格は決められているため，各スーパーが牛肉の原価を下げることは難しい．そこで，コストを下げて利益を多く得るために，輸送手段や資源の使用などをいかに無駄なく利用するか考えなければならない．

そこで本研究では，ロジスティクスネットワークについて取り組むことで，総費用の最小化を求める [1]．

現状のロジスティクスネットワークに新たな配送センターを加えた場合に，製品がどこの配送センターを経由するか，どこの配送センターから店舗に配送するか，安全在庫配置をどのようにするかを，総費用が最小になるように求める．そこで本研究では，輸送費用を削減するために新たな配送センターの立地を考える．また，安全在庫配置モデルを作成し，在庫に関する費用の削減についても考える．

## 2 配送センターを1ヶ所立地する場合

配送センター候補地は現状の小牧に加え，広い土地を持つ郊外という条件から選んだ多治見，浜松，春日井，江南，豊川，豊田，瀬戸，一宮の計9ヶ所とする．この中から総輸送距離，総輸送時間が最小となる立地場所を選ぶ [3]．またガソリン代は1kmで20円，そして人件費を分給32円とおき輸送費用を計算する．配送センターと各店舗間の距離はNAVITIMEを用いて算出した [4]．

### 2.1 記号の説明

$J$  : 配送センターの添字集合,  $j \in J$

$K$  : 店舗の添字集合,  $k \in K$

$D_{jk}$  : 配送センター候補地  $j$  から店舗  $k$  までの距離

$M_{jk}$  : 配送センター候補地  $j$  から店舗  $k$  までの輸送時間

### 2.2 決定変数

$y_j$  : 候補地  $j$  に配送センターを立地する場合1, それ以外0

$Q_{jk}$  : 配送センター  $j$  から店舗  $k$  に商品を配送する場合1, それ以外0

### 2.3 目的関数

・ 総輸送距離における目的関数

$$\sum_{j \in J} \sum_{k \in K} D_{jk} Q_{jk} \rightarrow \min \quad (1)$$

・ 総輸送時間における目的関数

$$\sum_{j \in J} \sum_{k \in K} M_{jk} Q_{jk} \rightarrow \min \quad (2)$$

### 2.4 制約条件

$$\sum_{j \in J} y_j = 1 \quad (3)$$

$$Q_{jk} \leq y_j \quad (j \in J, k \in K) \quad (4)$$

$$\sum_{j \in J} Q_{jk} = 1 \quad (k \in K) \quad (5)$$

### 2.5 実行結果

配送センター候補地  $J = 9$ ，店舗数  $K = 27$ ，配送センター立地数を1つとして解いた．各配送センターから店舗までの距離の合計と時間の合計は表1のようになり，距離と時間のみでも現状の小牧が最適な立地場所ということがいえた．そして小牧から各店舗までの往復の輸送でかかる費用は44756円，輸送時間でかかる費用は90304円となった．よって牛肉を各店舗へ配送する時にかかる費用は小牧が最小であり，輸送費用は135060円となった．

表1 各配送センターから店舗への総輸送距離と時間

立地場所	小牧	多治見	浜松	春日井	江南
総輸送距離(km)	1118.9	1477.4	2897.7	1195.0	1245.1
総輸送時間(分)	1411	1805	3055	1755	1901
総輸送費用(円)	135060	174616	311428	160120	171468
立地場所	豊川	豊田	瀬戸	一宮	
総輸送距離(km)	2023.6	1388.1	1130.8	1259.4	
総輸送時間(分)	2183	1757	1732	1565	
総輸送費用(円)	220656	167972	156080	150536	

### 2.6 考察

配送センターの最適な立地場所は，現在配送センターが立地されている小牧が最適な立地場所ということがわかった．総輸送距離と総輸送時間で最小となる候補地を立地場所として選んだが，総輸送距離でみたときの最適な立地場所は，小牧で次に瀬戸，そして春日井という結果になった．しかし総輸送時間でみたときの最適な立地場所は，小牧，一宮，瀬戸という順番になった．これは一宮から高速道路のインターから近いということが理由として挙げられる．総輸送距離と総輸送時間でみたときに最適な立地場所に変化がみられた．そして総輸送費用でみたときの最適な立地場所は小牧，瀬戸，一宮という順になった．よって現状のネットワークでは，配送センターを小牧から変更する必要はないといえる．

### 3 配送センターを2ヶ所立地する場合

現在立地されている小牧に加え、総輸送費用が最小となるような配送センター立地場所を1ヶ所考える。各店舗は1台ずつトラックを保持しているため、各店舗へは1つの配送センターからのみ商品が配送される。

さらに、現状の小牧以外に2ヶ所配送センターを立地した場合に総輸送費用が最小となるような配送センター立地場所があるか考える。

また、本節で扱う記号、目的関数は2節と同じである。

#### 3.1 制約条件

$$\sum_{j \in J} y_j = 2 \quad (6)$$

$$Q_{jk} \leq y_j \quad (j \in J, k \in K) \quad (7)$$

$$\sum_{j \in J} Q_{jk} = 1 \quad (k \in K) \quad (8)$$

#### 3.2 実行結果

配送センター候補地  $J = 9$ 、店舗数  $K = 27$ 、配送センター立地数を2つとして解いた。各配送センターから店舗までの距離の合計は表2のようになり、距離と時間でみても小牧・浜松が最適な立地場所ということがいえ、そして小牧・浜松から各店舗までの往復での輸送でかかる費用は22468円、輸送時間でかかる費用は63232円となった。よって牛肉を各店舗へ配送する時にかかる費用が最小となる輸送費用は85700円となった。

2章の結果と比較すると、小牧と浜松の2ヶ所に立地するほうが総輸送費用が少ないのでこの2ヶ所に立地した場合で考えることとする。配送センターを小牧と浜松に立地すると、宇治田原加工センターから小牧までの距離は130km、時間は154分、宇治田原から浜松までの距離は224.9km、時間は250分となり、輸送費用はそれぞれ15056円、24996円となった。

表2 各配送センターから店舗への総輸送距離と時間

立地場所	小牧・多治見	小牧・浜松	小牧・春日井	小牧・江南
総輸送距離(km)	1035.8	561.7	1039.2	1068.2
総輸送時間(分)	1345	988	1411	1386
総輸送費用(円)	127512	85700	131872	131432
立地場所	小牧・豊川	小牧・豊田	小牧・瀬戸	小牧・一宮
総輸送距離(km)	710.3	863.4	916.5	1071.5
総輸送時間(分)	1128	1262	1336	1381
総輸送費用(円)	100604	115304	122164	131244

#### 3.3 考察

配送センターの最適な立地場所は、小牧と浜松が最適であるという結果になった。小牧・浜松から各店舗にかかる総輸送費用は85700円となった。配送センター1つの場合と比較したとき、浜松に配送センターを増やすことで、49360円の削減をすることができた。これは小牧のみの場合、静岡西部地方に輸送することで距離、時間ともに大幅にコストがかかってしまうためだと考えられる。よって浜松に配送センターを立地することで、静岡県西

部への輸送距離、輸送時間を短縮することができ、輸送費用を削減することができた。しかし、今回は工場設置費用や維持費といった、配送センターを増やしたときにかかる費用を考えなかったためこれらを考えて場合、今回は違う結果を得ることができると考えられる。

### 4 安全在庫配置モデルについて

安全在庫配置モデルは、ロジスティクス・ネットワーク全体での在庫費用が最小になるように、上流の在庫地点(供給地点・加工センター・配送センター)における保証リード時間を決定する。

最終需要地点需要量は各店舗の1回あたりの需要量とし、安全在庫費用を求めるための平均、標準偏差は各店舗の需要データから算出した値を使用する。また、安全在庫係数を1.65、保管比率を0.01と定義する。生産から最終需要までは同じ量の精肉を運搬するものとし、途中で処分、廃棄されることはないものとする。

#### 4.1 記号の説明

$T_r$  : 第  $r$  段階における商品の生産時間(日)。

$L_r$  : 保証リード時間。

$n$  : 段階。最終需要地点を第1段階とする。

$A$  : 製品の破損や保険料などを表す保管比率

$V_r^p$  : 第  $r$  段階における商品  $p$  の単価

$B_r^p$  : 第  $r$  段階における商品  $p$  の安全在庫係数

$\sigma$  : 需要の標準偏差

上流の在庫地点に発注してから商品が届くまでの時間を在庫リード時間といい、その値は上流の在庫地点の保証リード時間と同じである。 $L_{r+1}$  に生産時間  $T_r$  を加えることで、第  $r$  段階が補充の指示をおこなってから生産が完了するまでの時間となる。これを補充リード時間( $L_{r+1} + T_r$ )という。

補充リード時間から保証リード時間を引いた値を正味補充時間( $L_{r+1} + T_r - L_r$ )という。

第  $n+1$  段階に仮想の在庫点を設け、保証リード時間0日で第  $n$  段階に商品を補充できるものとする。また、店舗は商品が無いと、顧客に売れず、品切れ状態になってしまうため、店舗が顧客に対する保証リード時間は0日とする。店舗の生産時間は、商品を受け取ってから店頭と並べるまでの時間を表す。

#### 4.2 目的関数

$$\sum_{r=1}^n AV_r^p B_r^p \sigma \sqrt{L_r} \rightarrow \min \quad (9)$$

#### 4.3 制約条件

$$L_{r+1} + T_r - L_r \geq 0 \quad r = 1, \dots, n \quad (10)$$

$$L_{n+1} = 0 \quad (11)$$

$$L_r \geq 0 \quad r = 2, \dots, n \quad (12)$$

#### 4.4 実行結果

改善前のデータは各在庫地点における保証リード時間を0日として計算をした．Excelのソルバーを使い最適解を求めたところ，図1のように，加工センターから配送センター間における保証リード時間は0.7日，配送センターから店舗間における保証リード時間は1.0日となった．この場合，供給地点に1.0日分，店舗に1.5日分の在庫を持つことになる．総在庫費用は，13963円から11350円となり，2613円費用が削減された．

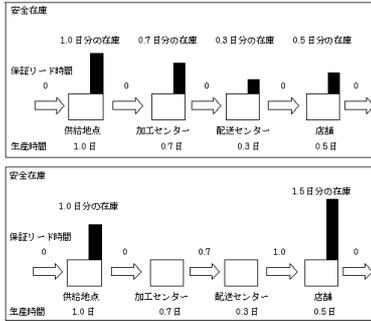


図1 従来(上段)と改善後(下段)の安全在庫配置モデル

#### 4.5 考察

保証リード時間を変えて最適解を求めたところ，直列多段階モデルの場合，各在庫地点が保証リード時間を0日として在庫を管理することよりも，いくつか集めて在庫を持つほうが総在庫費用は安く済むということが求まった．安全在庫配置モデルでは，各在庫地点に在庫を置くことで，発注されたときにすぐ補充できるという利点があるが，ネットワーク全体での費用は多くかかってしまう．在庫を何ヶ所に集中して置き，安全在庫分の商品を保持することで全体での総在庫費用は安く済むことがわかった．

### 5 改善後モデルの概要

第2節～第4節の結果をもとに，ロジスティクスネットワーク全体における総費用の計算をおこなう．

#### 5.1 添字集合

- $S$  : 供給地点の添字集合,  $s \in S$
- $I$  : 加工センターの添字集合,  $i \in I$
- $J$  : 配送センターの添字集合,  $j \in J$
- $K$  : 店舗の添字集合,  $k \in K$
- $L$  : 生産ラインの添字集合,  $l \in L$
- $P$  : 製品の添字集合,  $p \in P$

#### 5.2 記号の説明

- $C_{ij}^p$  : 倉庫  $i$  から  $j$  に製品  $p$  を1単位運搬する費用
- $H_{ij}^p$  : 倉庫  $i$  から  $j$  に製品  $p$  を補充する時の在庫費用
- $T$  : トラック1台あたりの最大積載量
- $D_{ij}$  : 倉庫  $i$  から  $j$  までの距離
- $E_{ij}$  : 倉庫  $i$  から  $j$  まで運ぶ時のトラック運転手の給料(人件費)

- $G_{ij}$  : 倉庫  $i$  から  $j$  まで運ぶ時にかかる1kmあたりのガソリン代
- $M_{ij}$  : 倉庫  $i$  から  $j$  まで運ぶのにかかる時間(分)
- $A$  : 製品の破損や保険料などを表す保管比率
- $V_i^p$  : 倉庫  $i$  で加工された製品  $p$  の単価
- $\hat{H}_l^p$  : 生産ライン  $l$  において製品  $p$  を補充する時の在庫費用
- $C_j$  : 倉庫  $j$  の固定費用
- $O_{ij}^p$  : 倉庫  $i$  から  $j$  に製品  $p$  を1単位補充する時の在庫回転率
- $\hat{O}_{il}^p$  : 倉庫  $i$  の生産ライン  $l$  における製品  $p$  の単位期間あたりの在庫回転率
- $C_l$  : 生産ライン  $l$  を設置するための固定費用
- $R_l^p$  : 生産ライン  $l$  の資源を製品  $p$  の加工に使う費用
- $\hat{V}_l^p$  : 生産ライン  $l$  で加工された製品  $p$  の単価
- $B_i^p$  : 倉庫  $i$  における製品  $p$  の安全在庫係数
- $\hat{B}_l^p$  : 生産ライン  $l$  における製品  $p$  の安全在庫係数
- $\sigma$  : 需要の標準偏差
- $C_s^p$  : 供給地点  $s$  における製品  $p$  の1単位あたりの供給費用
- $C_l^p$  : 生産ライン  $l$  において製品  $p$  を1単位生産するのにかかる費用
- $D_k^p$  : 店舗  $k$  における製品  $p$  の需要量
- $w_{il}$  : 倉庫  $i$  の生産ライン  $l$  における資源使用量
- $LT_{ij}^p$  : 倉庫  $j$  が倉庫  $i$  に製品  $p$  を発注した時のリード時間
- $LTC_l^p$  : 生産ライン  $l$  において製品  $p$  を生産する時のリード時間
- $SUB_s^p$  : 供給地点  $s$  における製品  $p$  の可能供給量の上限
- $PUB_s^p$  : 生産ライン  $l$  における製品  $p$  の生産量の上限
- $RUB_l$  : 生産ライン  $l$  における資源使用量の上限

#### 5.3 決定変数

- $x_{ij}^p$  : 枝  $(i, j)$  上を製品  $p$  が移動する量(店舗からの要求量)
- $w_{il}^p$  : 倉庫  $i$  の生産ライン  $l$  で製品  $p$  を生産する量
- $z_l$  : 生産ライン  $l$  を稼働させるとき1, それ以外0
- $y_j$  : 倉庫  $j$  を利用するとき1, それ以外0
- $Q_{jk}$  : 倉庫  $j$  から店舗  $k$  へ製品を配送するとき1, それ以外0

#### 5.4 評価関数

評価関数を以下(13)から(23)のように設定し，総和が最小となるように変数  $x_{ij}^p, w_{il}^p, z_l, y_j, Q_{jk}$  を決定する．

供給費用：

$$\sum_{s \in S} \sum_{i \in I} C_s^p x_{si}^p \quad (13)$$

倉庫固定費用：

$$\sum_{j \in J} C_j y_j \quad (14)$$

輸送費用：

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} (C_{ij}^p x_{ij}^p + D_{ij} G_{ij} + E_{ij} M_{ij}) \quad (15)$$

サイクル在庫費用：

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} H_{ij}^p \frac{x_{ij}^p}{O_{ij}^p} \quad (16)$$

生産ライン固定費用：

$$\sum_{l \in L} C_l z_l \quad (17)$$

生産変動費用：

$$\sum_{i \in I} \sum_{l \in L} C_l^p w_{il}^p \quad (18)$$

資源費用：

$$\sum_{i \in I} \sum_{l \in L} R_l^p w_{il} \quad (19)$$

生産ラインサイクル在庫費用：

$$\sum_{i \in I} \sum_{l \in L} \hat{H}_l^p \frac{w_{il}^p}{\hat{O}_{il}^p} \quad (20)$$

生産ライン安全在庫費用：

$$\sum_{i \in I} \sum_{l \in L} A \hat{V}_l^p \hat{B}_l^p \sigma \sqrt{LTC_l^p} \quad (21)$$

倉庫安全在庫費用：

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} A V_j^p B_j^p \sigma \sqrt{LT_{ij}^p} \quad (22)$$

品切れ損失費用：

$$\sum_{j \in J} \sum_{k \in K} V_k^p (D_k^p - x_{ij}^p) \quad (23)$$

## 5.5 制約条件

製品供給量上下限：

$$0 \leq \sum_{i \in I} x_{si}^p \leq SUB_s^p \quad (s \in S) \quad (24)$$

倉庫におけるフロー整合条件：

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} x_{ij}^p = \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} x_{jk}^p \quad (25)$$

生産ラインの資源使用量上限：

$$w_{il} \leq RUB_l z_l \quad (i \in I, l \in L) \quad (26)$$

生産ラインの生産量上限：

$$w_{il}^p \leq PUB_l^p z_l \quad (i \in I, l \in L) \quad (27)$$

- $w_{il}^p \leq PUB_l^p$  のとき 生産ラインは1つ．
- $w_{il}^p > PUB_l^p$  のとき 生産ラインは複数設置する．

生産ライン・工場設置のつなぎ条件：

$$z_l \leq y_i \quad (i \in I, l \in L) \quad (28)$$

トラックの積載量における条件：

$$x_{ij}^p \leq T \quad (i \in I, j \in J) \quad (29)$$

非負条件：

$$x_{ij}^p \geq 0, w_{il}^p \geq 0 \quad (i \in I, j \in J, l \in L) \quad (30)$$

## 5.6 実行結果

計算に必要なデータをスーパーマーケットからいただき、数値を代入してシステム全体の費用を計算した．1kgあたりの運搬量を5円、1kgあたりの供給費用を3円、1kgあたりの生産費用を10円、1kgあたりの単価を供給地点では1700円、加工センターで1800円、店舗では2580円、リード時間を1.5日とした．

それぞれの計算をしたところ、現状のネットワークでの合計費用は170683円になったことに対して、第2節～第4節で求めたネットワークでの合計費用は148228円となり、22455円費用を削減することができた．

## 5.7 考察

配送センターを2ヶ所立地し、安全在庫配置を変更した結果、費用が削減された．しかし、配送センターや生産ラインの固定費用については考えなかったため、新たに配送センターを立地した場合にかかる固定費用と輸送費用との数値比較が必要になる．また、要求量を変数とし、品切れ損失についても考える必要がある．

## 6 おわりに

本研究では、配送センターの最適立地場所、配送計画、安全在庫配置の最適化について考察した [1], [2] ．

現状の店舗における配送センターの最適立地場所は、現状の小牧が最適であるという結果となった．これは愛知県尾張地方や岐阜県美濃地方や静岡県西部に集中して展開しており、その中心付近である小牧が最適だったと考えられる．近年、愛知県三河地方や静岡県浜松市付近に新店舗が展開され始めているので、配送センターを2ヶ所立地する場合は現状の小牧に加え、浜松に立地することが最適であるという結果となった．

安全在庫配置モデルでは、各在庫地点に在庫を置くことで、発注されたときにすぐ補充できるという利点があるが、在庫を何ヶ所かに集中して置くほうが全体にかかる費用は安くなった．

本研究では、生産ラインについて詳しく触れなかったので、今後の課題として生産ラインでの生産量上限などの制約や要求量を変動させることを加味して、より現実に近いロジスティクスネットワーク全体での総費用を削減するモデルに取り組む必要がある．

## 参考文献

- [1] 久保幹雄：『サプライチェーン最適化ハンドブック』．朝倉書店，2007．
- [2] 白旗慎吾：『統計解析入門』．共立出版株式会社，1992．
- [3] 杉下 多栄，鷲見 彩子：スーパーチェーン店の最適配送計画，南山大学数理情報学部数理科学科卒業論文（2005年度）
- [4] NAVITIME：http://www.navitime.co.jp/