

スーパーチェーン店の最適配送計画

2002MM088 杉下 多栄 2002MM089 鷲見 彩子

指導教員 澤木 勝茂

1 はじめに

某スーパーマーケットの商品輸送を管理する物流センターでの最適配送計画を考える。現在、物流センターは大垣、多治見の2箇所に立地されており、全国各地に存在するメーカーから商品を集め、東海3県を中心に展開する76店舗のチェーン店に向け、行先店舗ごとにまとめて商品輸送を行っている。

そこで、本研究では、まず現在の物流センターの立地場所が最適であるか、新たに3箇所目の物流センター立地を考えた場合どこが最適であるかを考え、その上で物流センターでの最適配車計画、メーカー・物流センター・店舗全体での最適配送計画を考える。

2 物流センターを2箇所立地する場合の最適配置

物流センターの2カ所立地を考えた場合、現在すでに立地されている多治見、大垣の2箇所が最適な位置であるかを考える。多治見、大垣に加え、候補地を7箇所（小牧、一宮、尾張旭、瀬戸、江南、各務原、美濃）選び、合計9箇所の中から物流センターと各店舗間の総輸送距離が最小となる立地場所を2箇所考える。1つの店舗はどちらか一方の物流センターからのみ商品が輸送されるため、各店舗においてどちらの物流センターから商品を輸送したほうが最適であるかの問題も考える。

2.1 定式化

0-1 整数計画法を用いて定式化を行う。0-1 整数計画法とは、変数のとり得る値が0または1に限定された整数計画法であり、ここでは物流センターの立地を行うか否か、各店舗においてどの物流センターから商品輸送を行うかを決定する変数を0-1変数として定式化を行う。

2.1.1 記号の定義

L : 物流センター候補地数

N : 店舗数

P : 物流センター立地数

d_{ln} : 物流センター候補地 l から店舗 n までの距離

$$Z_l = \begin{cases} 1: & \text{候補地 } l \text{ に物流センターを立地するとき} \\ 0: & \text{候補地 } l \text{ に物流センターを立地しないとき} \end{cases}$$

$$y_{ln} = \begin{cases} 1: & \text{候補地 } l \text{ から店舗 } n \text{ へ輸送されるとき} \\ 0: & \text{候補地 } l \text{ から店舗 } n \text{ へ輸送されないとき} \end{cases}$$

2.1.2 目的関数

$$\sum_{l=1}^L \sum_{n=1}^N d_{ln} y_{ln} \rightarrow \min$$

表1 各物流センターの最適店舗割り当て

立地	店舗名				
尾張旭	恵那	南土岐	多治見	明智	
	高蔵寺	陶	根本	土岐	
	春日井西	御嵩	尾張旭	鳴海	
	稲津	瑞浪	光音寺	苗木	
	新瀬戸	多治見南	港東通	瑞穂	
	岩村	三起屋	野並	半田	
	多治見インター	新栄	車道	滝川	
	大樹寺	港栄	安城	一社	
	中津川東	上和田	新城	朝日	
	名古屋みなと	滝ノ水	内田橋	戸田	
	各務原	関緑ヶ丘	広見	萩原	大口
		美濃加茂	高山	西可児	太田
関ひがし		白鳥	今渡	八幡	
芥見		茜部	市橋	領下	
各務原		大垣	長良	正木	
本巣文殊		高富	江南	鏡島	
一宮西		穂積西	大垣南	都通	
岐阜三輪		粟野	岩田	赤坂	
茜部南		神戸	桑名東	島	

2.1.3 制約条件

$$\sum_{l=1}^L Z_l = P \quad (1)$$

$$y_{ln} \leq Z_l \quad (l = 1, \dots, L, n = 1, \dots, N) \quad (2)$$

$$\sum_{l=1}^L y_{ln} = 1 \quad (n = 1, \dots, N) \quad (3)$$

2.2 実行結果

9箇所の候補地と各店舗の距離 d_{ln} をOCNルートマップ [1] を用いて、標準的なルートを走行した場合の距離を求め、 $L=9, N=76, P=2$ として解いた結果、物流センターを尾張旭と各務原の2箇所に立地した場合、総輸送距離が2016.1kmとなり最適となった。また、各物流センターの最適店舗割り当ては表1に示す結果となった。

2.3 考察

現在の立地場所とは2箇所とも異なり、尾張旭と各務原という結果を得た。現在の多治見と大垣に立地の場合の総輸送距離が2221.2kmであるのに対して、尾張旭と各務原に立地の場合は2016.1kmであり、総輸送距離が205.1km短縮される。多治見、大垣周辺に多くの店舗が存在しているが、近年、愛知県の方へも店舗を拡大しているため愛知県方面に対する物流センターとして尾張旭が、岐阜方面に対する物流センターとして各務原が選ばれたためと考えられる。

3 3 箇所目の物流センター立地を考えた場合の最適配置

現在の物流センターが立地されている大垣と多治見に加え、新たに3箇所目の立地を考えた場合の最適立地場所を考える。2.1の定式化において、候補地1を大垣、候補地2を多治見とし、この2箇所には必ず立地するとして上で、残りの候補地7箇所の中で、どこが3箇所目の立地場所として最適であるかを考える。また、第2章と同様に各店舗においてどの物流センターから商品を輸送したほうが最適であるかの問題も考える。

3.1 定式化

3.1.1 記号の定義

L : 物流センター候補地数

N : 店舗数

d_{ln} : 物流センター候補地 l から店舗 n までの距離

$$Z_l = \begin{cases} 1: \text{候補地 } l \text{ に物流センターを立地するとき} \\ 0: \text{候補地 } l \text{ に物流センターを立地しないとき} \end{cases}$$

$$y_{ln} = \begin{cases} 1: \text{候補地 } l \text{ から店舗 } n \text{ へ輸送されるとき} \\ 0: \text{候補地 } l \text{ から店舗 } n \text{ へ輸送されないとき} \end{cases}$$

3.1.2 目的関数

$$\sum_{l=1}^L \sum_{n=1}^N d_{ln} y_{ln} \rightarrow \min$$

3.1.3 制約条件

$$Z_l = 1 \quad (l = 1, 2) \quad (4)$$

$$\sum_{l=3}^L Z_l = 1 \quad (5)$$

$$y_{ln} \leq Z_l \quad (l = 1, \dots, L, n = 1, \dots, N) \quad (6)$$

$$\sum_{l=1}^L y_{ln} = 1 \quad (n = 1, \dots, N) \quad (7)$$

3.2 実行結果

3箇所目として最適な立地場所は尾張旭となり、総輸送距離は1819.3kmとなった。また、各物流センターの最適店舗割り当ては表2に示す結果となった。

3.3 考察

3箇所目の立地場所として、尾張旭が最適であるという結果を得た。愛知県方面に対する物流センターとして尾張旭が選ばれたと考えられる。表2からも多治見物流センターの担当する店舗として多治見周辺の店舗、大垣物流センターの担当する店舗として大垣周辺の店舗、尾張旭の担当する店舗として名古屋市中心とする愛知県内の店舗となっていることがわかり、物流センターを3箇所立地することで、店舗の多く存在する地区をそれぞれ分担することができ、輸送距離をより短縮できたと考えられる。

表2 各物流センターの最適店舗割り当て

立地	店舗名			
多治見	多治見	恵那	明智	広見
	閑緑ヶ丘	南土岐	陶	根本
	萩原	土岐	御嵩	大口
	美濃加茂	西可児	高山	稲津
	多治見南	瑞浪	苗木	太田
	閑ひがし	三起屋	白鳥	岩村
	多治見インター 各務原	中津川東	今渡	八幡
大垣	茜部南	西部	市橋	領下
	桑名東	大垣	長良	正木
	大垣南	高富	江南	鏡島
	一宮西	穂積西	鳥	都通
	神戸	粟野	岩田	赤坂
	岐阜三輪	本巣文殊	芥見	朝日
	尾張旭	春日井西	高蔵寺	鳴海
光音寺		新瀬戸	瑞穂	半田
尾張旭		港東通	新栄	車道
滝川		大樹寺	港栄	安城
名古屋みなと		上和橋	一社	新城
滝ノ水		内田橋	戸田	

4 物流センターでの配車計画

物流センターでの配車計画を考える。現在、多治見物流センターでは4tトラックを8台、10tトラックを22台所有しており、各店舗の需要を満たした上で全トラックの総輸送距離が最小となる配車計画を考える。1店舗への輸送は1台のトラックが担当するものとし、そのトラックが何往復かすることによって各店舗の需要を満たすものとし、1台のトラックが一度に2店舗以上回らないものとする。また、1台のトラックが担当する最大店舗数を3店舗とする。また、商品は輸送される際にすべてかごに入れて輸送されるため、各店舗の需要量はすべてかご数で考える。かごは4tトラックに23個、10tトラックに41個積み込むことができる。

4.1 定式化

4.1.1 記号の定義

N : 店舗数

F : 4tトラックの台数

T : 10tトラックの台数

S : 1台のトラックが担当する最大店舗数

d_n : 物流センターから店舗 n までの距離

q_n : 店舗 n での要求量 (かご数)

A_{fn} : 物流センター・店舗 n 間に f 台目の4tトラックを利用したときの往復回数

($\frac{q_n}{23}$ を最も近い整数に切り上げたもの)

B_{tn} : 物流センター・店舗 n 間に t 台目の10tトラックを利用したときの往復回数

($\frac{q_n}{41}$ を最も近い整数に切り上げたもの)

$$X_{fn} = \begin{cases} 1: f \text{ 台目の } 4t \text{ トラックを物流センター・} \\ \text{店舗 } n \text{ 間に利用するとき} \\ 0: f \text{ 台目の } 4t \text{ トラックを物流センター・} \\ \text{店舗 } n \text{ 間に利用しないとき} \end{cases}$$

$$Y_{tn} = \begin{cases} 1: t \text{ 台目の } 10t \text{ トラックを物流センター・} \\ \text{店舗 } n \text{ 間に利用するとき} \\ 0: t \text{ 台目の } 10t \text{ トラックを物流センター・} \\ \text{店舗 } n \text{ 間に利用しないとき} \end{cases}$$

4.1.2 目的関数

$$\sum_{f=1}^F \sum_{n=1}^N d_n A_{fn} X_{fn} + \sum_{t=1}^T \sum_{n=1}^N d_n B_{tn} Y_{tn} \rightarrow \min$$

4.1.3 制約条件

$$\sum_{f=1}^F X_{fn} + \sum_{t=1}^T Y_{tn} = 1 \quad (n = 1, \dots, N) \quad (8)$$

$$\sum_{n=1}^N X_{fn} \leq S \quad (f = 1, \dots, F) \quad (9)$$

$$\sum_{n=1}^N Y_{tn} \leq S \quad (t = 1, \dots, T) \quad (10)$$

4.2 実行結果

各店舗の要求量はある一日の輸送量のデータを使用し、 $N=74$ (今回は、朝日店と桑名東店のデータを得られなかったため 74 店舗で行った)、 $F=8, T=22, S=3$ として解いた結果、全トラックの総輸送距離は 3149.3km となり、配車計画は表 3 に示す結果となった。店舗名の横のここ内の数字は、その店舗へのトラックの往復回数を示している。

4.3 考察

総輸送距離が最小となるような配車計画を考えた場合、4t トラックを 3 台、10t トラックを 22 台使用し、ほとんどのトラックが 1 台で 3 店舗を担当し、総輸送距離が最小となるよう配車されている。トラック 1 台あたりの総輸送距離に大きな差がでないよう 1 台のトラックが担当する店舗数を 3 店舗以下という制約条件を加えたが、使用するトラックや総輸送距離に偏りが生じたり、4t トラックの容量以下の要求量であっても、10t トラックで輸送する店舗が見られた。これは、今回全トラックの総輸送距離が最小となるよう定式化を行ったため、往復回数が少なくなるよう最大積載量の多い 10t トラックから 1 台につき 3 店舗ずつ配車した後、4t トラックが配車されたためであると考えられる。

5 配送計画

商品が各メーカーから物流センターを経由して各店舗へ輸送される際に、各店舗の需要を満たした上でどれだけの商品をどの物流センターを経由して輸送した場合が最適であるかについて考える。そこで、メーカー・物流センター間、物流センター・店舗間それぞれの距離とその間で用いられるトラック台数との積の和が最小となるような最適な輸送量を考える。今回、メーカーについてのデータは利用できなかったため、位置ができるだけ均等になる

表 3 トラックの配車・輸送距離

配車	店舗名			距離
4t-1	明智 (1)	陶 (1)		68.1
4t-7	萩原 (1)	春日井西 (2)	白鳥 (1)	201.2
4t-8	半田 (2)	八幡 (1)	上和田 (2)	303.5
10t-1	大口 (2)	苗木 (1)	瑞穂 (2)	163.5
10t-2	関緑ヶ丘 (1)	本巢文殊 (3)	高蔵寺 (2)	208.3
10t-3	鳴海 (1)	野並 (1)	車道 (1)	115.2
10t-4	美濃加茂 (2)	瑞浪 (2)	光音寺 (2)	119
10t-5	恵那 (2)	安城 (1)	一社 (1)	162.6
10t-6	尾張旭 (1)	関ひがし (2)	岩村 (1)	112.9
10t-7	稲津 (1)	多治見イン (1)	新栄 (1)	57.9
10t-8	新瀬戸 (1)	滝川 (1)	港栄 (1)	97.2
10t-9	中津川東 (1)	領下 (1)	大垣 (1)	134.3
10t-10	芥見 (1)	茜部 (1)	市橋 (1)	107.1
10t-11	一宮西 (1)	穂積西 (1)	大垣南 (1)	133.1
10t-12	長良 (1)	正木 (1)	島 (1)	121.3
10t-13	高富 (1)	江南 (1)	鏡島 (1)	102.5
10t-14	茜部南 (1)	岐阜三輪 (1)	滝ノ水 (1)	112
10t-15	都通 (1)	神戸 (1)	粟野 (1)	132.6
10t-16	岩田 (1)	内田橋 (1)	赤坂 (1)	123
10t-17	南土岐 (1)	名古屋みな (1)	各務原 (1)	81.2
10t-18	多治見 (2)	広見 (2)	土岐 (1)	34.7
10t-19	御膏 (1)	多治見南 (1)	西可児 (1)	27.9
10t-20	太田 (1)	三起屋 (1)	今渡 (1)	32.4
10t-21	港東通 (1)	大樹寺 (1)	根本 (1)	95
10t-22	高山 (1)	新城 (1)	戸田 (2)	302.8

よう適当な位置を全国から 6 箇所 (新潟, 富山, 和歌山, 鳥取, 高知, 福岡) 選び、それらをメーカーの所在地と考えた。また、各店舗の各メーカーに対する要求量、使用可能なトラック台数、トラックの最大積載量においても適当な値を用いて考えた。

5.1 定式化

5.1.1 記号の定義

M :メーカー数

L :物流センター数

N :店舗数

C :メーカー・物流センター間のトラック最大積載量

c :物流センター・店舗間のトラック最大積載量

T :メーカー・物流センター間で使用可能なトラック台数

t :物流センター・店舗間で使用可能なトラック台数

D_{ml} :メーカー m から物流センター l までの距離

d_{ln} :物流センター l から店舗 n までの距離

q_{mn} :メーカー m に対する店舗 n の要求量

A_{ml} :メーカー m ・センター l 間に必要なトラックの台数
($\frac{\sum_{n=1}^N W_{mnl}}{C}$ を最も近い整数に切り上げたもの)

B_{ln} :物流センター l ・店舗 n 間に必要なトラックの台数
($\frac{\sum_{m=1}^M W_{mnl}}{c}$ を最も近い整数に切り上げたもの)

W_{mnl} :メーカー m から店舗 n へ物流センター l を経由して輸送する量

5.1.2 目的関数

$$\sum_{m=1}^M \sum_{l=1}^L A_{ml} D_{ml} + \sum_{n=1}^N \sum_{l=1}^L B_{ln} d_{ln} \rightarrow \min$$

5.1.3 制約条件

$$\sum_{l=1}^L W_{mnl} \geq q_{mn} \quad (m = 1, \dots, M, n = 1, \dots, N) \quad (11)$$

$$\sum_{n=1}^N W_{mnl} \leq CT \quad (m = 1, \dots, M, l = 1, \dots, L) \quad (12)$$

$$\sum_{m=1}^M W_{mnl} \leq ct \quad (n = 1, \dots, N, l = 1, \dots, L) \quad (13)$$

5.2 実行結果

メーカー・物流センター間の距離を第2章と同様にOCNルートマップを用いて求め、各店舗の各メーカーに対する要求量はEXCELによって0から10までの範囲で一様に分布する整数の乱数を発生させ、その値を各店舗の要求量と考え、 $M=6, L=2, N=76, C=41, c=41, T=6, t=3$ として解いた結果、メーカー・物流センター間、物流センター・店舗間での輸送量と必要なトラック台数は表4、表5に示す結果となり、総輸送距離は31195.2kmとなった。カッコ内の数字はトラック台数を示している。

表4 メーカー・物流センター間の総輸送量, トラック台数

メーカー	物流センター	
	多治見	大垣
新潟	246(6)	124(4)
富山	246(6)	148(4)
和歌山	246(6)	105(3)
鳥取	246(6)	102(3)
高知	246(6)	199(5)
福岡	246(6)	101(3)

5.3 考察

すべての容量制約を満たし、総輸送距離が最小となる輸送量を求めることができた。店舗数76に対して、メーカー数が少なく、全国規模で考えると多治見と大垣は非常に近い。物流センター・店舗間の距離がより優先された結果となったと考えられる。今回、メーカーにおいては自ら作成したデータを用いたが、実際にはメーカー数は約100であり、全国各地に広く存在していると考えられるため、実際のデータを用いた場合にはよりメーカーの位置も考慮された結果になると考えられる。

また、輸送容量に制限を加えたため、総輸送距離の最小化を考えると多治見物流センターの方が最適であるが、容量制約のため大垣物流センターに輸送された商品があると考えられる。今回、トラックの最大積載量や使用可能台数は、適当と思われる値を用いたが、輸送容量において大きな値を用いた場合、より輸送距離を短縮できたと考えられる。

6 おわりに

本研究では、物流センターの最適立地場所、配車計画、配送計画について考察した。

表5 物流センター・店舗間の総輸送量, トラック台数

店舗名	物流センター		店舗名	物流センター	
	多治見	大垣		多治見	大垣
恵那	19(1)	3(1)	車道	10(1)	7(1)
明智	29(1)	5(1)	滝川	25(1)	5(1)
多治見	33(1)	0(0)	大樹寺	39(1)	0(0)
広見	29(1)	6(1)	港栄	6(1)	9(1)
関緑ヶ丘	34(1)	4(1)	安城	26(1)	5(1)
南土岐	36(1)	1(1)	一社	31(1)	3(1)
高蔵寺	13(1)	12(1)	新城	46(2)	0(0)
陶	29(1)	2(1)	上和田	43(2)	0(0)
根本	24(1)	6(1)	中津川東	26(1)	7(1)
萩原	21(1)	8(1)	芥見	29(1)	4(1)
土岐	12(1)	5(1)	茜部	22(1)	7(1)
春日井西	23(1)	5(1)	市橋	24(1)	4(1)
御嵩	29(1)	1(1)	領下	14(1)	10(1)
大口	33(1)	0(0)	朝日	14(1)	8(1)
西可児	14(1)	10(1)	各務原	22(1)	4(1)
鳴海	33(1)	3(1)	大垣	16(1)	13(1)
尾張旭	29(1)	4(1)	長良	25(1)	7(1)
高山	20(1)	1(1)	正木	28(1)	6(1)
稲津	36(1)	1(1)	島	11(1)	19(1)
美濃加茂	33(1)	5(1)	高富	8(1)	9(1)
瑞浪	30(1)	4(1)	江南	8(1)	14(1)
光音寺	14(1)	10(1)	鏡島	21(1)	10(1)
苗木	36(1)	3(1)	一宮西	10(1)	25(1)
新瀬戸	31(1)	4(1)	穂積西	23(1)	27(1)
多治見南	22(1)	8(1)	大垣南	9(1)	4(1)
瑞穂	24(1)	7(1)	都通	8(1)	29(1)
太田	36(1)	4(1)	神戸	0(0)	38(1)
白鳥	14(1)	7(1)	粟野	0(0)	39(1)
港東通	21(1)	3(1)	岩田	0(0)	31(1)
岩村	21(1)	5(1)	赤坂	0(0)	20(1)
三起屋	32(1)	5(1)	茜部南	0(0)	36(1)
名古屋みなと	0(0)	20(1)	関ひがし	16(1)	3(1)
野並	14(1)	6(1)	滝ノ水	0(0)	33(1)
今渡	28(1)	6(1)	岐阜三輪	0(0)	21(1)
半田	18(1)	7(1)	戸田	0(0)	27(1)
多治見インター	7(1)	10(1)	内田橋	0(0)	28(1)
新栄	12(1)	2(1)	本巢文殊	0(0)	42(2)
八幡	27(1)	4(1)	桑名東	0(0)	28(1)

最適立地場所においては、現在の店舗数、位置における最適な結果を得たが、今後店舗数の増加とともに最適立地場所も変化していくと考えられる。配車計画では、今回総輸送距離の最小となる結果を得たが、その一方で使用するトラックやトラック1台当たりの総輸送距離に偏りが生じた。こうした問題を解決するため、時間軸を入れての配車計画が考えられる。また、配送計画では今回自ら作成した架空のデータを用いて行った。今後の課題として、今回の定式化において実際のデータを用いての研究が考えられる。

参考文献

[1] OCN 地図:

<http://map.ocn.ne.jp/bg-bin/index.cgi>.