

複数企業を考慮した物流施設配置に関する研究*

*A Study of Locating Distribution Centers Considering Plural Companies**

渡辺 研也**・徳永 幸之***

By Kenya WATANABE**・Yoshiyuki TOKUNAGA***

1. はじめに

物流サービスの高度化や、交通状況の悪化から物流のコストは増大している。その結果、企業は非効率的な集配活動を改善し、物流コストを削減しようとする。その一つに物流施設の郊外移転・拡張などがある。しかし、企業がそのような行動をとった場合に社会全体としてのコストはどうなっているか、またその都市や地域にとってどのような影響があるか、例えば排気ガスや交通渋滞等を検討する必要があるといえる。

既存の研究においては単独の意志決定者が物流拠点等の配置計画を行うものとしてとらえがちである。しかし、実際には複数の主体(企業)が存在し、物流施設を建設するのである。そこで本研究では、複数の企業を設定し、物流拠点内外の企業間の取引や都市への配送等を考慮し、仮想都市において企業が輸送のために物流施設の配置を行うものとする。そこで、企業が費用最小化を求めていった結果、どのような物流施設の配置形態になるのか、また、トラックの輸送にかかる移動距離を交通渋滞や排気ガスの排出の影響の代理指標ととらえ、総輸送距離がどのような値になるのかを考察し、物流の効率化のために物流拠点の整備等をどうとらえていけばよいか検討する。

2. 配置決定モデルの設定

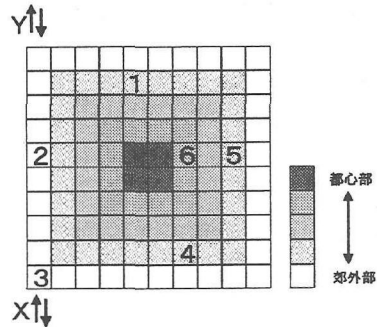
*キーワード: 物資流動, ターミナル計画

**学生会員, 東北大学大学院 情報科学研究科

***正会員, 工博, 東北大学助教授 情報科学研究科

(〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 06,

TEL 022-217-7502, FAX 022-217-7500)



1～6は物流施設配置候補地

X, Yは地域外との結節点

図-1 仮想都市の設定

(1) 仮想都市の設定

図-1のように仮想都市を設定する。都市は10×10のゾーンで構成されているとする。1つのゾーンは750m四方程度とする。物流施設配置候補地を1～6の6地点とし、企業は候補地のいずれか1ヶ所にのみ自社の物流施設を配置するものとする。地域外との輸送の結節点をX, Yの2点とする。地域外との輸送を行う場合には、このX, Yまで輸送することを考える。企業における輸送の形態として、次の3つの形態があるものとする。

- ・都市内輸送: 物流施設と都市内のゾーンとの輸送 (小型トラックで行う)
- ・地域外輸送: 物流施設と地域外の輸送 (大型トラックで行う)
- ・施設間輸送: 物流施設と他企業の物流施設との輸送 (小型トラックで行う)

物流施設では、例えば地域外輸送から都市内輸送へといった貨物の積み替えが行われる。

(2) 企業の設定

今回のシミュレーションでは30の企業を設定し、

表-1 企業の設定

	企業 1	企業 2	企業 3	企業 4	企業 5	企業 6	企業 7	企業 8	企業 9	企業 10
都市内輸送	3倍	2倍	1倍	無	2倍	1倍	1倍	無	無	無
地域外輸送	無	1倍	2倍	3倍	無	1倍	無	2倍	1倍	無
施設間輸送	無	無	無	無	1倍	1倍	2倍	1倍	2倍	3倍

それぞれの輸送形態、取り扱い輸送量を異なるものとする。それぞれの輸送形態の基本輸送量を次のように設定する。

- ・都市内輸送台数を小型トラック2台。
- ・地域外輸送台数を大型トラック1台。
- ・施設間輸送台数を小型トラック2台。

この輸送量をもとにして、企業の輸送量を決める。表-1のように輸送形態の割合を変えて10種類の企業を設定する。数字はそれぞれの基本輸送量の倍数である。また、この10の企業のそれぞれの輸送量の0.5倍の企業、2倍の企業を設定し、合計30の企業の輸送量を決める。

(3) 配置モデル

本研究では、設定した全企業の費用の合計、輸送距離の合計を最小にする配置形態を求める。費用は輸送距離に比例する輸送費と物流施設の配置や荷役費などの施設費を合計したものである。その際、候補地に面積の制約を設ける。

まず、都市内輸送距離を以下のように算出する。

$$\sum_i \sum_j a_j b_{ij}(x_i) u_i \quad (1)$$

x_i : 企業 i の物流施設配置位置 (1~6)

a_j : ゾーン j の輸送量割合

$b_{ij}(x_i)$: 企業 i からゾーン j への距離 (km)

u_i : 企業 i の都市内輸送のトラック台数

a_j は、都市内輸送量を 1 としたとき、それに対するのゾーン j の割合。都心ほど高く (0.08)、都市の外側ほど低い (0.0001)。

地域外輸送距離は以下のように算出する。

$$\sum_i \sum_k c_k d_{ik}(x_i) v_i \quad (2)$$

c_k : 地域外 k の輸送量割合

$d_{ik}(x_i)$: 企業 i から地域外 k への距離 (km)

v_i : 企業 i の地域外輸送のトラック台数

c_k は、地域外輸送量を 1 としたとき、それに対するの地域外との結節点 k の割合。今回は、X、Y との輸送量は等しいものとした。

施設間の輸送距離については以下のように算出した。

$$\sum_i \sum_l e_l f_{il}(x_i) w_i \quad (3)$$

e_l : 企業 l への輸送量割合

$f_{il}(x)$: 企業 i から企業 l への距離 (km)

w_i : 企業 i の企業間輸送のトラック台数

総輸送距離 D は (1) ~ (3) の合計である。

$$D = \sum_i \sum_j a_j b_{ij}(x_i) u_i + \sum_i \sum_k c_k d_{ik}(x_i) v_i + \sum_i \sum_l e_l f_{il}(x_i) w_i \quad (4)$$

物流施設の面積 G_i は、仙台都市圏物資流動調査報告書より、次のように設定した。

- ・表-1の 1 ~ 10 の企業の面積を 540 m²
- ・表-1の 0.5 倍の輸送量の企業の面積を 270 m²
- ・表-1の 2 倍の輸送量の企業の面積を 1,080 m²

用地取得費、建築物建設費、減価償却費、固定資産税、荷役費を設定し、物流施設の施設費 S_i とする。

$$S_i = (O_{xi} G_i + P G_i + Q_i + R_i) / 365 + s_i \quad (5)$$

ここで、

O_{xi} : 単位面積当たり用地費

P : 単位面積当たり建築物建設費

Q_i : 減価償却費

R_i : 固定資産税

S_i : 荷役費

輸送時間 (1) ~ (3) を費用に換算したものと、物流施設の配置費用 (5) とを全企業分足しあわせ、総費用 C を求める。

$$C = m \sum_i \sum_j a_j b_{ij}(x_i) u_i + n \sum_i \sum_k c_k d_{ik}(x_i) v_i + m \sum_i \sum_l e_l f_{il}(x_i) w_i + \sum_i S_i \quad (6)$$

m : 単位距離あたり小型輸送車費用 (円/km)

n : 単位距離あたり大型輸送車費用 (円/km)

費用の算出の際には、以下のように設定した。

- ・ 荷役費 $s = 7,800$ (円)
- ・ 用地費 $O_1 = 3,240$ (円/㎡/年)
 $O_2 = 2,680$ (円/㎡/年)
 $O_3 = 2,320$ (円/㎡/年)
 $O_4 = 1,680$ (円/㎡/年)
 $O_5 = 1,760$ (円/㎡/年)
 $O_6 = 3,880$ (円/㎡/年)
- ・ 建設・舗装費 $P = 443$ (円/㎡/年)
- ・ 輸送費用 $n = 100$ (円/㎞)
 $m = 200$ (円/㎞)

固定資産税課税評価額は、土地の場合は価格の50%、建物の場合は建設コストの70%とみなし、税率は0.015とした。減価償却費は、建設費の90%をそれぞれ耐用年数(建物45年)で除した。

全企業の総輸送費用は(6)式、総輸送距離は(4)式となる。企業は自社の物流施設を候補地1～6のどこか1つに必ずに配置するものとする。この最小化問題は組み合わせ最適化問題となり、その求解法として遺伝的アルゴリズムを用いた。各企業の物流施設の配置を遺伝子とみなし、適応度として、総費用及び総輸送距離の逆数を用いた。初期個体として50個体を与え、50世代まで計算するものとした。

また、最適化する際に面積の制約を与えた。1つの候補地に配置できる企業の物流施設の面積の合計を4,000㎡、6,000㎡、8,000㎡、10,000㎡、制約無しの場合を想定し、最適解を求めた。

subject to

$$Z_y > \sum_i \delta_{yi} D_i \quad y = 1 \sim 6 \quad (7)$$

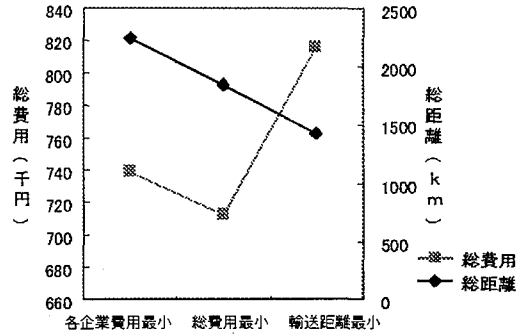
Z_y : 候補地 y に配置できる物流施設の面積の和の最大値

δ_{ij} : 以下のような記号(クロネッカーのデルタ)

$$\delta_{ij} = \begin{cases} 1 & (i=j) \\ 0 & (i \neq j) \end{cases}$$

制約面積を侵した場合には、ペナルティーを課すペナルティー法を用いた。

3. 計算結果



図－2 各最小化の総費用と総距離

表－2 各最小化の選択候補地の数

	候補地					
	1	2	3	4	5	6
各企業費用最小	0	7	9	6	8	0
総費用最小	0	0	5	25	0	0
総輸送距離最小	0	2	0	0	0	28

(1) 各最小化の比較(面積制約無し)

総費用が最小の配置と総輸送距離が最小の配置、各企業が費用が最小になるように配置した場合、について比較する。各企業費用最小の場合、30の企業がランダムな順番に物流施設を配置するものとした。施設間輸送に関しては各企業は自らが物流施設を配置する際に、それまで立地した施設との輸送のみを考え、各費用、総距離の値は、全企業が立地した時点で後から配置された企業への取引分も合わせて計算した値である。図－2は各最小化の総費用、総距離を、表－2は選択候補地を示したものである。なお、各企業最小化の値は10回行った場合の平均値とした。総費用最小配置は各企業費用最小配置より総費用、総距離ともに小さくなり、総距離最小配置は各企業費用最小化より費用は高くなった。各企業費用最小の配置では、物流施設が分散しているのに対し、総費用最小配置では候補地4に、総距離最小配置では、候補地6に集中した配置となった。

(2) 面積制約のある場合

図－3は、物流施設の面積制約のもとで、総費用最小化を行ったときの、総費用、総輸送距離の変化を示したものである。表－3は選択された物流施設候補地の数を示したものである。面積制約が厳しいときは、分散した配置になり、総費用、総距離がと

もに大きくなっている。面積制約が緩やかになって行くにつれ集中した配置になっていき、総費用、総距離がともに小さくなっていくのが分かる。面積制約が 4,000 m²から 6,000 m²に変化したときに総費用が大きく減少している。これは、施設費の高い候補地 6 のためである。また、面積制約がなくなったときに総距離の減少が大きい、これは候補地 4 に大多数の企業が集積したことにより、施設間の輸送が減ったためである。流通団地のような物流施設の集約的な配置が可能な物流拠点を整備することで、費用、輸送距離の節約になると考えられる。

(3) 1カ所制約を外す場合

いま面積の制約条件が厳しい場合 (4,000 m²) を想定し、どこかの候補地で物流施設を多数配置できる物流拠点等の整備が可能になったとする。すなわち候補地うち 1カ所の制約が極めて大きくなったものとする。それぞれの候補地の面積制約をはずすことにより計算を行った。候補地 2, 3, 5 の制約を外すことにより総費用が小さくなる配置が得られた。図-3にそれを示す (候補地 4 の制約を外した場合、制約無しの場合の最適解と一致した。)。また、制約付きで 1カ所の物流施設の面積が 10,000 m²以下の場合と比べて見ても、総費用、総距離ともに同等もしくはそれ以下になっているのがわかる。1つの箇所のみを改善することでも、大きな効果をあげることができる可能性があると考えられる。一方、候補地 1や 6などの物流施設の施設費 (地価) の高い候補地の制約を外しても、制約を外さない場合の総費用より低い費用となる配置は得られなかった。このことから地価の高い場所では総費用が大きくなってしまい、物流施設が立地しないため、物流拠点を整備してもあまり効果がないことがわかる。

4. まとめ

本研究では、1つの都市レベルにおいて複数の企業を設定し企業間の取引などを考慮し、1つ1つの企業の物流施設配置や輸送から効率的な施設配置について検討した結果、以下のことが明らかになった。

- 1) 個々の企業が独自に物流施設を配置すると分散し、総費用も輸送距離も大きくなってしまう。

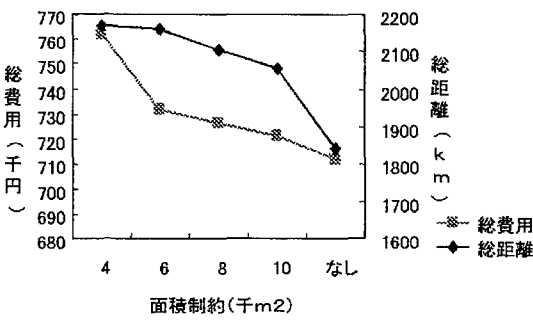


図-3 面積制約のある場合の総費用と総距離

表-3 面積制約のある場合の選択候補地の数

		候補地					
		1	2	3	4	5	6
面積制約	4000 m ²	0	8	6	4	6	6
	6000 m ²	0	6	10	11	3	0
	8000 m ²	0	1	14	13	2	0
	10000 m ²	0	0	15	15	0	0
	無し	0	0	5	25	0	0

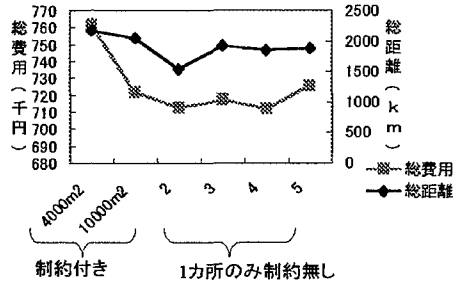


図-4 1カ所制約無しの場合の総費用と総距離

- 2) 集約的な物流施設配置を行うことで、施設間の輸送が減り、費用や輸送距離が抑えられる。
- 3) 地価の高い場所に物流拠点等の整備をおこなっても総費用は高くなり企業が集らず、物流は効率化されない。

今後、物資の輸送量、輸送経路、地価などが物流にどのような影響を与えているのか検討していきたい。また、物流施設の集中によるデメリット (交通渋滞など) を考慮していく必要がある。

参考文献

1) 谷口, 則武, 山田, 泉谷: 物流ターミナルの最適規模および配置の決定法に関する研究, 土木学会論文集, No. 58 3, pp. 71-81, 1998. 1