

顧客分布と共同化形態に着目した都市内共同配送の効果と成立に関する分析*

Investigating the Effects and Profitability of Urban Co-operative Freight Transport Systems Considering Customers Location and Systems Type*

山田忠史**・谷口栄一***・茂里一紘****

By Tadashi YAMADA**・Eiichi TANIGUCHI***・Kazuhiro MORI****

1. はじめに

都市内を走行する貨物車交通に起因する交通・環境問題の緩和・解決に向けて、個々の荷主・運送業者の貨物を共同で集配送すること、すなわち、共同集配送が、有効な施策であると言われている¹⁾。実際に、公共主導のもとに、特定の地区や地域を対象にして、複数の運送業者が共同で集配送するシステム²⁾（以下、エリア型共同集配送システムと称する）が、これまでも国内外において導入されている³⁻⁴⁾。しかし、エリア型共同集配送システムには、共同集配事業者の採算性の確保などの問題が存在しており、その成立は容易ではないことが指摘されている⁵⁻⁷⁾。

筆者ら⁸⁾は、公共主導のエリア型共同集配送に注目し、公共サイド、共同集配送事業者、荷主・運送業者などの集配送業務に携わる企業（以下では、これを企業と略す）の3主体の行動をモデル化した上で、配送業務に焦点を当て、その効果と成立に関して基礎的考察を行った。その結果、共同配送システムの導入により、総走行時間は抑制されるが、対象地域の大きさや顧客数によっては、共同配送事業者の採算性の確保が困難であることが示された。また、共同配送を成立させるために、都心部流入規制を実施することは、総走行時間の抑制面では効果的であるが、企業の配送費用を増加させる可能性のあることが明らかにされた。

これらの知見は、今後のエリア型共同集配送システムの導入に寄与するものと考えられる。しかし、エリア型共同集配送が、都市内交通施策として有効に機能するためには、以下のような疑問を解消しておく必要がある。

- i) 共同集配送システムは、どのような条件下でも効果を提供できるのか？（＝共同集配送を実施すれば必ず、交通・環境問題の緩和・解決へと繋がるのか？）
- ii) 公共主導の共同集配送と、そうではない共同集配送との間で、共同集配送の効果・成立にどのような相違が見られるのか？

*Keywords：物流計画，物資流動，TDM

** 正会員，博士（工学），広島大学大学院工学研究科，（東広島市鏡山1-4-1，TEL/FAX: 0824-24-7812，E-mail: yamada@naoe.hiroshima-u.ac.jp）

*** 正会員，工博，京都大学大学院工学研究科

**** 工博，広島工業大学

これらの疑問の解消に向けて、本研究では、共同輸配送モデル⁹⁾を用いて、エリア型共同配送を対象として、下記の二項目について分析を行う。

- ①顧客分布の相違が、エリア型共同配送の効果・成立に及ぼす影響（上記 i に対応する。）
- ②企業が自発的に行うエリア型共同配送（民間主導のエリア型共同配送）と公共主導のエリア型共同配送の間に見られる、共同配送の効果・成立に関する相違点（上記 ii に対応する。）

2. 共同輸配送モデル

上記二点の分析に際して、筆者らが構築した共同輸配送モデル⁹⁾を使用する。公共サイド、共同輸配送事業者、企業の3主体からなる意思決定モデル（図-1）を2レベル最適化問題の枠組みで定式化する（式(1)～(11)）。下位問題は、企業と共同輸配送事業者の意思決定に、上位問題は公共サイドの意思決定に相当する²⁾（図-1）。

各企業は、提示された共同輸配送用物流ターミナルの配置と共同輸配送システムの利用料金の下で、自社の顧客の到着時刻指定や貨物需要を考慮しながら配車配送行動を行う（すなわち、使用車両台数・サイズ、デポや訪問先の出発時刻、訪問順序を決定する）。このとき各企業は、費用最小化を目的関数として、自社輸配送を行うか共同輸配送事業者に委託するかを選択する。自社輸配送に要する費用は、固定費用（車両費（税金・保険含む）・人件費）、運行費用（運行三費・人件費）、早着・遅刻費用から構成される。また、共同輸配送システ

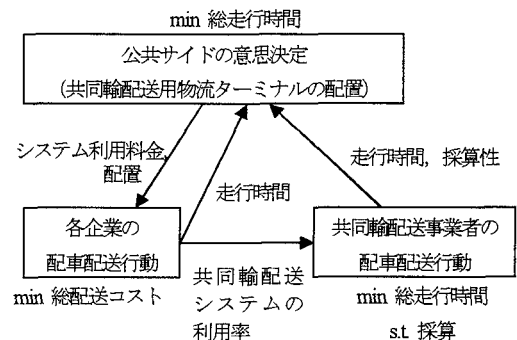


図-1 共同輸配送モデルの構造（公共主導型）

ムの利用に要する費用は、固定費用、運行費用、システム利用費用から構成されるものとする。後者の固定費用と運行費用は、自社デポから共同輸配送用物流ターミナルまで輸送する際に生じる。

このような意思決定は、Forecasted VRPTW (Vehicle Routing Problem with Time Windows) モデル⁹⁾に、共同輸配送システムの利用の有無を組み込むことで、数理計画問題として定式化できる(式(1)～(8))。

$$\begin{aligned} \min \quad & TC(\mathbf{X}, T^d, T^a, \mathbf{a}) \\ & = \sum_l \{a_l \times SC_l + (1-a_l) \times CC_l\} \end{aligned} \quad (1)$$

ただし、

$$\begin{aligned} SC_l = & FC_l(c_l^f, \mathbf{x}_l) + RC_l(c_l^t, D_{n(i)}, \mathbf{x}_l, t_l^d, t_l^a) \\ & + PC_l(c_l^p, t_{n(i)}^s, t_{n(i)}^e, \mathbf{x}_l, t_l^d, t_l^a) \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} CC_l = & FC_l(c_l^f, \mathbf{x}_l) + RC_l(c_l^t, D_{n(i)}, \mathbf{x}_l, \mathbf{y}, t_l^d, t_l^a) \\ & + UC_l(D_{n(i)}, \mathbf{x}_l, \mathbf{y}, \mathbf{p}) \end{aligned} \quad (3)$$

subject to

$$W_l(\mathbf{x}_l) / W_l^c \leq r \quad (4)$$

$$\sum_i \sum_j n_i(i) = \sum_j n_j \quad (5)$$

$$\sum_i W_l(\mathbf{x}_i) = \sum_j D_j \quad (6)$$

$$t^d \leq t_{l,n(i)}^d \quad (7)$$

$$t_{l,n(i)}^a \leq t^a \quad (8)$$

ここに、

TC : 総輸配送費用 (円)

l : 輸配送車両の識別番号 ; given

m : 使用可能な車両台数 ; given

$n_l(i)$: 車両 l が i 番目に訪問する顧客の番号
($n_l(i) = 0$ はデポを表す。 $n_l(0) = n_l(N_l) = 0$)

N_l : 車両 l が訪問する総顧客 (デポ含む) 数

$\mathbf{X}$: 顧客の割当と訪問順序を示す数列

$$\mathbf{X} = \{\mathbf{x}_l | l = 1, m\}$$

$\mathbf{x}_l$: 車両 l の顧客割当と訪問順序を示す数列 ;

$$\mathbf{x}_l = \{n_l(i) | i = 0, N_l\}$$

T^d : 出発時刻ベクトル ; $T^d = \{t_l^d | l = 1, m\}$

t_l^d : 車両 l の各訪問先での出発時刻 ;

$$t_l^d = \{t_{l,n(i)}^d | i = 0, N_l\}$$

T^a : 到着時刻ベクトル ; $T^a = \{t_l^a | l = 1, m\}$

t_l^a : 車両 l の各訪問先への到着時刻 ;

$$t_l^a = \{t_{l,n(i)}^a | i = 0, N_l\}$$

$\mathbf{a}$: 共同輸配送システムの利用を表すベクトル

$$; \mathbf{a} = \{a_l | l = 1, m\}$$

a_l : 車両 l が自社輸配送する場合は 1, 共同輸配送システムを利用する場合は 0 の 0-1 変数

SC_l : 各車両の自社輸配送に要する費用 (円)

CC_l : 各車両の共同輸配送システム利用に要する費用 (円)

FC_l : 車両 l の固定費用 (円)

RC_l : 車両 l の運行費用 (円)

PC_l : 車両 l の早着・遅刻費用 (円)

UC_l : 車両 l のシステム利用費用 (円)

c_l^f : 車両 l の単位固定費用 (円/台・日) ;
given

c_l^t : 車両 l の単位運行費用 (円/台・分) ;
given

c_l^p : 車両 l の単位ペナルティ費用 (円/台・分) ;
given

$t_{n(i)}^s$: 顧客 $n(i)$ の到着指定時間帯の最早時刻 ;
given

$t_{n(i)}^e$: 顧客 $n(i)$ の到着指定時間帯の最遅時刻 ;
given

$D_{n(i)}$: 顧客 $n(i)$ の貨物量 (t) ; given

D_j : 顧客 j の貨物量 (t) ; given

$\mathbf{y}$: 共同輸配送用物流ターミナルの配置パターン ; $\mathbf{y} = \{y_k | k = 1, J\}$

y_k : 共同輸配送用物流ターミナルが候補地 k に立地すれば 1, そうでなければ 0 の 0-1 変数

$\mathbf{p}$: 共同輸配送システム利用料金 (円/t) ;
 $\mathbf{p} = \{p_k | k = 1, J\}$

p_k : 候補地 k のシステム利用料金 (円/t)

J : 共同輸配送用物流ターミナルの候補地数 ;
given

$W_l(\mathbf{x}_l)$: 車両 l の積載量 (t)

W_l^c : 車両 l の積載容量 (t) ; given

r : 積載率の上限値 (=0.32)

n_j : 顧客 j の顧客番号 ; given

t^d : 輸配送活動の開始可能時刻 ; given

t^a : 輸配送活動の終了限界時刻 ; given

式(4)の r は、実際の都市内配送が多頻度・小口化の傾向にあり、積載率が30%前後であることを考慮して設けられた制約式である。このような方法で、現状の都市内配送の多頻度・小口の傾向を概ね再現できるとの知見が得られている⁹⁾。

共同輸配送事業者は、各企業の共同輸配送システムの利用状況を基にして、配車配送計画を決定する。共同輸配送事業者は、共同輸配送事業の採算が確保される範囲内で共同輸配送に要する総走行時間の最小化を図る。共同輸配送事業者の意思決定もForecasted VRPTWの枠組みで、以下のように定式化できる。なお、添字copは、共

同輪配送事業者に関連することを意味する。

$$\begin{aligned} \min \quad & TT^{cop}(\mathbf{x}^{cop}, T^{d,cop}, T^{a,cop}) \\ & = \sum_{l'} RT_{l'}^{cop}(\mathbf{x}_{l'}, \mathbf{y}, t_{l'}^{d,cop}, t_{l'}^{a,cop}) \end{aligned} \quad (9)$$

ここに、

TT : 総走行時間 (分)

RT_l : 車両 l の走行時間 (分)

l' : 共同輪配送車両の識別番号 ; given

制約条件は、式(4)~(8)と同様である。これらに、共同輪配送事業者の採算性確保を表す式(10)が付加される。

$$\sum_r (FC_r^{cop} + RC_r^{cop} + PC_r^{cop}) + LC(\mathbf{y}, \mathbf{a}) \leq \sum_u \sum_l UC_l^u \quad (10)$$

ここに、

LC : 物流ターミナル費用 (円)

u : 各企業の識別番号 ; given

物流ターミナル費用は、建設費・運営費・管理費を含み、候補地の地価や取扱貨物量に比例する。取扱貨物量とターミナル面積との関係については、既存の物流ターミナルのデータを用いて線形回帰分析により決定した。共同輪配送システムの導入により、積載率が向上することが予想されるので、式(4)の r の値を1とする。

公共サイドは、各企業と共同輪配送事業者の配車配送行動を基にして、共同輪配送に必要な物流ターミナルの最適配置を決定する。公共サイドの目的関数は、各企業と共同輪配送事業者の総走行時間の最小化とする。共同輪配送システム利用料金は、共同輪配送事業者によって決定されるものであるが、解法アルゴリズムの簡略化のために、モデル上では、物流ターミナル配置とシステム利用料金を同時決定している。公共サイドの目的関数は、次のように表される。

$$\begin{aligned} \min \quad & TT(\mathbf{y}, \mathbf{p}) = \sum_u \sum_l RT_l^u(\mathbf{x}_l, \mathbf{y}, \mathbf{p}, \mathbf{a}, t_l^d, t_l^a) \\ & + \sum_{l'} RT_{l'}^{cop}(\mathbf{x}_{l'}, \mathbf{y}, t_{l'}^{d,cop}, t_{l'}^{a,cop}) \end{aligned} \quad (11)$$

これらの数理計画問題は、いずれもNP-困難な組み合わせ最適化問題となり、厳密解を求めることは容易ではない。そのため、本研究では、遺伝的アルゴリズムを用いて近似解を算定⁹⁾する。

3. 問題設定

このような共同輪配送モデルを用いて、都市圏での配送業務を対象として、上述の①と②について検討する。その際の問題設定は、下記の通りである。なお、以下の設定に際しては、基本的に阪神地域の配送事例¹⁰⁾を参照している。

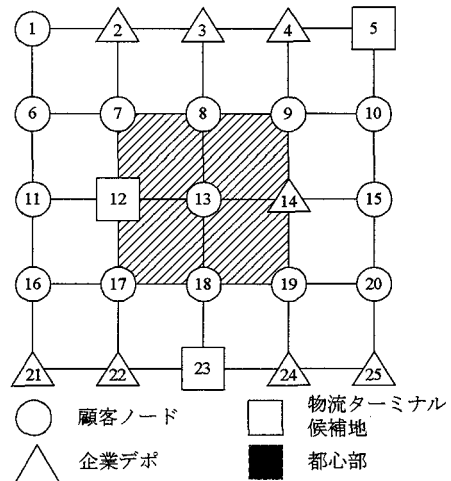


図-2 対象地域

(1) 対象地域

対象地域は、図-2のような格子状の道路網を有する20km四方の仮想地域とする。道路網上の各リンクの走行時間は、時間帯（朝夕の道路混雑時、昼間のオフピーク時、夜間・早朝）により変化するものとし、各時間帯内では一定値をとるものとする。また、都心部（図-2の斜線部）のリンクでは、交通混雑を考慮して、比較的大きな走行時間を設定する。

(2) 共同配送用物流ターミナル

共同配送用物流ターミナルの候補地は3箇所とする（図-2）。候補地は、郊外部に2ヶ所、都心部に1ヶ所である。郊外部に位置する候補地5（ノード番号5）については、地価を10（万円/㎡）とする。都心部周辺に位置する候補地12（ノード番号12）については、地価を20（万円/㎡）と設定する。郊外部の企業デポ集積地区に位置する候補地23（ノード番号23）については、候補地5と同じく、地価を10（万円/㎡）とする。

(3) 企業

対象地域内の企業数を8社とし、各企業はそれぞれ自社デポを保有しているものとする（図-2）。顧客数の相違による影響を調べるために、各企業の顧客数を5, 11, 20の3通り設定する。なお、計算対象期間は1日である。すなわち、1日分の配送を計算対象とする。

(4) 顧客

顧客の分布は、都心部中心型と郊外部分散型の2通り設定する。顧客分布の相違を図-3に示す。いずれの顧客分布においても、都心部に近い顧客ほど取扱貨物量が大きくなるように、貨物需要を設定する。したがって、表-1に示すように、顧客分布と顧客数の相違によって

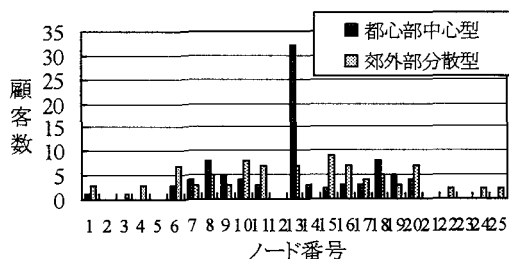


図-3 顧客分布の相違

表-1 計算ケース

計算ケース	顧客分布	顧客数
1	都心部中心	5
2		11
3		20
4	郊外部分散	5
5		11
6		20

のべ6通りの計算ケースが設定される。

到着時刻制約は、顧客によって相違するものとし、時刻指定・時間帯指定・指定なしの3つに分類される。時刻指定の場合、到着指定時間帯を2時間に設定する。また、時間帯指定の場合、指定時間帯が午前か午後のいずれかに設定する。

訪問先での荷役時間については、各顧客の取扱貨物量に比例するものとし、実際のトラックターミナルでの実測値から求められた関係式¹¹⁾を用いて計算する。

(5) 配送車両

各企業は、配送に2tトラックを使用するものとし、共同配送事業者は、2tトラックと4tトラックが使用できるものとする。ある大手の運送業者へのヒアリング調査結果などを基にして、単位固定費用については、2tトラックが10418(円/台・日)、4tトラックが11523(円/台・日)、単位運行費用については、2tトラックが14.0(円/台・分)、4tトラックが17.5(円/台・分)と設定する。各トラックの単位ペナルティ費用は、早着と遅刻で区別することとし、早着ペナルティは上述の単位運行費用に等しいものと仮定する。一方、遅刻ペナルティについては、87.7(円/台・分)⁹⁾とする。

4. 顧客分布の影響

表-1に示された各計算ケースについて、上述の問題を対象としてモデルを適用した。その結果、計算ケース2と3の時のみ共同配送が成立した(表-2)。なお、表中の「最適配置」は、左から候補地5, 12, 23を表し、物流ターミナルが立地する場合を1とする。また、「利用料金」は、共同配送システムの利用料金を表しており、

表-2 共同配送の効果と成立(公共主導型)

計算ケース	最適配置	利用料金(円/t)	採算率	総走行時間削減率	システム利用率
2	0,1,0	7000	101.8%	15.4%	33.8%
3	0,0,1	7000	108.7%	15.1%	17.3%

表-3 総走行時間削減率

(共同配送事業者の採算性を無視した場合)

計算ケース	総走行時間削減率
1	42.4%
2	42.8%
3	35.5%
4	18.1%
5	1.1%
6	0%

「採算率」は、共同配送システム利用料金から得られる収入を共同配送に要する費用で除したときの百分率である。「システム利用率」は、企業の総配送貨物量に対する共同配送システム利用貨物量の比率を示したものである。また、「総走行時間削減率」は、共同配送システムが存在しない場合と比較して、システム導入後に総走行時間が削減される割合を示している。

共同配送システムが存在しない場合の配車配送行動については、 a_i を1にしたForecasted VRPTW(式(1)-(8))を用いて表現する。このとき、実際の都市内配送が多頻度・小口化の傾向にあり、積載率が30%前後であることを考慮して、 r は0.32とする⁹⁾。

ケース2, 3以外の計算ケースでは、共同配送事業の採算性が確保されるようなシステム利用料金下では、いずれの企業も共同配送システムを利用しなかった。顧客数が少ない場合や、顧客が郊外に分散している場合には、共同配送に要する走行時間や車両数の増大が原因で、システム利用料金が高価となり、自社配送の方が配送費用を抑制できるため、共同配送の成立が困難になる。

採算性確保の障害がなければ、共同配送が総走行時間の削減に必ず寄与するのかどうかを確かめるために、共同配送事業者の採算性を考慮せずに計算を行った。都心部中心型の顧客分布の場合、いずれの計算ケースにおいても、物流ターミナルが3箇所の候補地すべてに整備され、共同配送システム利用料金を無料とするのが最適となった。システム利用率は100%、すなわち、各企業はすべての顧客への配送を共同配送事業者に委託する。

表-3は、各計算ケースの総走行時間削減率を示している。顧客が都心部中心に分布する計算ケース1~3では、総走行時間が約40%にも及ぶ。システム利用料金が無料という設定は非現実的であるが、共同配送システムは本質的に総走行時間を削減する可能性を有していると推察される。

一方、顧客分布が郊外部分散型の場合、顧客数が増大するにつれて、共同配送事業者の採算性を無視しても、総走行時間抑制効果がさほど得られないことが窺える。特に、計算ケース 6 では、いかなる料金設定や物流ターミナル配置においても、システム導入前よりも総走行時間が減少することはなかった。

ただし、この計算においては、都心部に近い顧客ほど取扱貨物量が大きくなるように、貨物需要を設定しているので、顧客分布が郊外部分散型の場合、都心部中心型に比べて、対象地域内の総貨物需要が小さい。そこで、顧客分布は図-3 と同じであるが、郊外部分散型の総貨物需要を都心部中心型と等しくすることにより（すなわち、郊外部の各顧客の貨物需要を 3～5 倍に増加させることにより）、顧客分布が郊外部分散型の場合における、共同配送の効果を検討した（計算ケース 7～9 とする。）。その結果、上述の計算ケース 4～6 と同様の結果が得られた。すなわち、顧客数が増大するにつれて総走行時間抑制効果は低減し（計算ケース 7：8.1%、ケース 8：4.7%、ケース 9：0%）、20 顧客の場合（ケース 9）には、どのような料金設定や物流ターミナル配置においても、システム導入前よりも総走行時間が改善されることはなかった。

これらの結果は、共同配送が必ずしも総走行時間削減に結びつかない可能性を示唆している。特に、多数の顧客が遠距離に分散していれば、共同配送は総走行時間抑制の面で必ずしも効果的ではないと言える。

5. 民間主導型共同配送との比較

エリア型共同集配システムは、公共主導に限定されるものではない。既存の共同集配システムには、公共サイドの関与がない民間主導型システムも存在する。上述の共同配送モデルに改良を加えることにより（図-4）、エリア型都市内共同配送を対象として、公共主導型共同配送と民間主導型共同配送の効果・成立に関する相違を調べる。なお、顧客分布が郊外部分散型の場合には、共同配送が必ずしも効果的でないとの知見から、計算ケースは、表-1 の 1～3 に限定する。

公共主導の場合、共同配送に関わる主体として、公共サイド、共同配送事業者、企業の 3 主体を想定していたが、民間主導の場合^[4]には、共同配送に関わる行動主体は企業のみである。このとき、問題設定に示した対象企業 8 社のうちの 1 社が共同配送を担当することとし（以下、共同配送請負企業と称する）、それ以外の 7 社は、自社配送するか配送を委託するかを選択できるものとする。共同配送請負企業は、自社貨物と委託貨物の双方を配送する。したがって、共同配送請負企業以外の 7 社の意思決定は、式(1)-(8)を用いて表現できる。

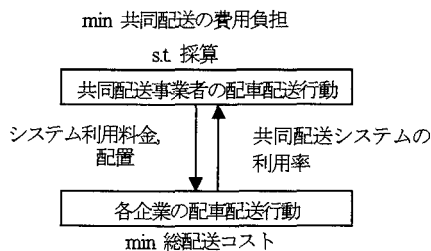


図-4 共同配送モデルの構造（民間主導型）

一方、共同配送請負企業の自社貨物の配送から得られる運賃収入は、システム導入前後で不変であると仮定すれば、共同配送請負企業の配車配送行動は、自社貨物および委託貨物の配送に要する費用の総和からシステム利用料金から得られる総収入を減じた値の最小化を目的関数として決定される。自社貨物と委託貨物の双方を共同配送請負企業の全自社配送貨物と捉えれば、共同配送請負企業の目的関数は次のように表現できる。

$$\min \sum_{l'} SC_{l'} + LC(\mathbf{y}, \mathbf{a}) - \sum_{u'} \sum_l UC_l^u \quad (12)$$

ただし、

$$\begin{aligned} SC_{l'} = & FC_{l'}(c_{l'}^f, \mathbf{x}_{l'}, \mathbf{y}, \mathbf{p}) + \\ & + RC_{l'}(c_{l'}^t, D_{n(i)}, \mathbf{x}_{l'}, t_{l'}^d, t_{l'}^a, \mathbf{y}, \mathbf{p}) \\ & + PC_{l'}(c_{l'}^p, t_{n(i)}^s, t_{n(i)}^e, \mathbf{x}_{l'}, t_{l'}^d, t_{l'}^a, \mathbf{y}, \mathbf{p}) \end{aligned} \quad (13)$$

ここに、

l' : 共同配送請負企業の車両識別番号 ; given
 u' : 共同配送請負企業以外の企業の識別番号 ; given

制約条件は、式(4)-(8)と同じであるが（ただし、 $r=1$ ）、式(12)の値がシステムを導入しない場合の自社貨物配送費用を上回らないことも制約条件となる（共同配送事業の採算性確保）。

$$\sum_{l'} SC_{l'} + LC(\mathbf{y}, \mathbf{a}) - \sum_{u'} \sum_l UC_l^u \leq \sum_l SC_l^* \quad (14)$$

ここに、

SC_l^* : 共同配送システムを導入しない場合の各車両の配送費用（円）

共同配送システムを導入しない場合の自社配送費用は、 a_l を1にした Forecasted VRPTW（式(1)-(8)。ただし、 $r=0.32$ 。）を用いて算定できる。

なお、総走行時間に関する制約条件は設けない。したがって、総走行時間の抑制の有無に拘わらず、費用面での条件を満たしさえすれば、共同配送が成立することになる。また、共同配送請負企業は、自社デポを使用するか、候補地 5, 12, 23 に新規に物流ターミナルを建設するかを選択できるものとする。

ケース 1～3 を対象にした計算の結果、いずれの計算

表－4 共同配送の効果と成立（民間主導型）

計算 ケース	物流 ターミナル	利用料金 (円/t)	総走行時間 削減率	システム 利用率
1	3	4500	11.2%	11.7%
2	14	7000	11.8%	33.9%
3	14	7000	6.5%	8.7%

ケースにおいても、共同配送が成立した（表－4）。いずれの企業も共同配送請負企業に成り得るので、それぞれの企業が請負企業になった場合について計算し、共同配送請負企業の採算性が最も大きい場合の結果を、表－4に示している。

表－4の「物流ターミナル」は、ターミナルのノード番号を表している。すなわち、いずれの計算ケースについても、ターミナルは一箇所のみ設けられ、当該ノードに自社デポを有する企業が共同配送を請け負い、新規にターミナルを建設するのではなく、自社デポを利用することを表している。共同配送用物流ターミナルの候補地の拡大と費用最小化を評価基準としたことが、公共主導の場合には成立しなかった計算ケース1でも、民間主導の場合では共同配送が成立することに関係している。

ケース2、3では、都心部に自社デポを有する企業が共同配送請負企業となっている⁵⁾。このことは、公共主導の共同配送システムにおいて、共同配送用物流ターミナルを都心部の候補地に設置するのが効果的との知見⁸⁾に整合する。表－2と表－4を比較すれば、民間主導型の方が、総走行時間の削減率が小さい。この結果には、目的関数の違いが影響している。民間主導の共同配送システムにおいて、総走行時間の抑制を目的とせずとも、総走行時間が結果的に抑制されていることは、注目に値する結果である。

6. おわりに

本研究では、都市内のエリア型共同配送の効果と成立に焦点を当て、顧客分布や共同配送形態の影響について検討した。検討内容と得られた成果を整理すると、以下ようになる。

顧客分布の影響分析においては、既存の共同輸配送モデルを適用し、都心部中心型と郊外部分散型の顧客分布を比較した。その結果、採算性の確保の点からは、顧客は都心部中心に分布していることが望ましく、多数の顧客が郊外に分散している場合には、共同配送は総走行時間を抑制できない可能性のあることを示した。このことは、都市圏の貨物車交通対策として、共同配送システムの導入を検討する場合に、顧客条件を考慮することの必要性を示唆している。

顧客分布が郊外部分散型の場合には共同配送の成立が

比較的困難であることと、都心部中心型の場合には共同配送の成立要因が自社配送に要する走行時間の増加にある⁸⁾ことを勘案すれば、共同配送は、自社配送に要する走行時間が過小であっても過大であっても成立せず、適度の走行時間を要する場合に成立可能であることが推察される。

共同配送形態の影響については、共同配送の効果と成立を公共主導と民間主導の場合とで比較した。これらは、既存の共同輸配送モデルに改良を加えることによって、分析可能となった。民間主導のエリア型共同配送システムは、公共主導の場合よりも成立する可能性が高く、総走行時間の抑制にも寄与することが示された。

民間主導の共同配送システムの場合、共同配送を実現させるために、共同配送の効果の啓発を行うことが、公共サイドの重要な役割となろう。

なお、提示したモデルを用いた共同集配送に関する今後の検討課題として、実際に共同配送を実施しているエリアにモデルを適用し、本論文での結論の妥当性を高めることや、荷主の意思決定の考慮、都市圏外の流通経路の考慮などが考えられる。

【補注】

- [1] 本研究では、公共サイドが共同輸配送用の物流ターミナルを整備し、共同輸配送事業者として第三セクターのような企業体を想定している。公共サイドが共同輸配送用の物流ターミナルを準備し、第三セクターの企業体が共同輸配送事業を運営し、運送業者がこれに参加する方式については、相当する事例²⁴⁾が国内外にいくつか見られる。この場合、共同輸配送事業の採算性確保と公共サイドの目的達成の双方に配慮すべきであろう。ただし、公共主導の共同輸配送システムの全てが、必ずしも上記の考え方に基づくわけではない。例えば、採算性が小さくとも、社会的意義が大きければ、公共主導で共同輸配送システムを導入することも考えられる。
- [2] 公共サイドが共同輸配送に関与する場合、必ずしも「共同輸配送用物流ターミナルを配置する」わけではない。共同輸配送用物流ターミナルをあえて整備せず、特定の地区や地域内の複数の運送業者が共同輸配送システムを確立するよう誘導・啓発するだけの場合もあることに留意されたい。
- [3] この制約により、特に貨物需要が大きい場合、自社配送では多頻度・小口の配送形態が表現されることになる。したがって、自明の結果として、共同配送の方が、配送効率が高くなる。
- [4] 総走行時間最小化に基づく意思決定と、共同輸配送事業者の導入が、本研究の公共主導型の主たる特色である。それに対比して、地域全体の総走行

時間に配慮せず総費用の抑制のみに留意し、新たな事業者（＝共同輸配送事業者）を導入しない共同輸配送形式を、本研究では民間主導型と呼んでいる。ただし、当然ながら、公共サイドが、特定の地区や地域内の複数の運送業者が共同輸配送システムを確立するよう、誘導・啓発するだけの場合（＝公共「誘導」型）もあり得る。この場合のモデル構造は、結果的に本研究では民間主導型のもと同じになる。

- [5] 本研究では、企業の自社デポの規模に上限制約を設けていない。ただし、都心部のデポは、用地確保が困難なことから、拡張が容易ではない。今後は、施設面積等の上限制約を設定して計算を実行すべきであろう。

参考文献

- 1) 例えば、ITを活用した効率的かつ環境に優しい都市圏物流システムに関する研究小委員会編：効率的で環境にやさしい物流システム，土木計画学研究委員会ワンデイセミナーシリーズ31，土木学会，2002.
- 2) 根本敏則：都市内物流の共同化の効果とその促進策—福岡天神地区共同集配配送事業をケーススタディとして—，第27回日本都市計画学会学術研究論文集，pp.349-354，1992.
- 3) Kohler, U. : An innovating concept for City-Logistics, 4th World Congress on Intelligent Transport Systems, CD-ROM, 1997.
- 4) 谷口栄一，根本敏則：シティロジスティクス，森北出版，2000.
- 5) 苦瀬博仁：都市内物流における共同化の課題，土木計画学研究・講演集，No.15(2)，pp.1-4，1992.
- 6) 山田忠史，谷口栄一，則武通彦，堀江淳嗣：貨物共同輸送の促進策に関する一考察，土木計画学研究・論文集，Vol.16，pp.717-724，1999.
- 7) Ieda, H., Kimura, A and Yi, Y. : Why don't multi-carrier joint delivery services in urban areas become popular? —A gaming simulation of carriers' behaviour—, City Logistics II, E. Taniguchi and R.G. Thompson (Eds.), Institute for city logistics, pp.155-167, 2001.
- 8) 山田忠史，谷口栄一，伊藤裕：貨物共同輸配送のモデル化と効果および成立に関する一考察，土木計画学研究・論文集，Vol.18，No.3，pp.409-416，2001.
- 9) 谷口栄一，山田忠史，細川貴志：都市内集配送トラックの配車配送計画の高度化・共同化による道路交通への影響分析，土木学会論文集，No.625，IV-44，pp.149-159，1999.
- 10) 例えば，京阪神都市圏交通計画協議会：京阪神都市圏総合都市交通体系調査，1997.
- 11) 谷口栄一，則武通彦，山田忠史，泉谷透：トラックターミナルの最適バース数決定法に関する研究，土木学会論文集，No.548，IV-33，pp.23-33，1996.

顧客分布と共同化形態に着目した都市内共同配送の効果と成立に関する分析*

山田忠史**・谷口栄一***・茂里一紘****

本研究では、都市内の貨物車交通対策の一つであるエリア型共同配送システムに注目し、Forecasted VRPTW モデルを基礎とした共同輸配送モデルを用いて、共同配送に関連する複数の主体の行動を表現した上で、顧客分布や共同配送形態の相違が共同配送の効果・成立に及ぼす影響を検討した。その結果、採算性確保の観点からは、顧客は都心部中心に分布していることが望ましく、多数の顧客が郊外に分散している場合には、共同配送が総走行時間を抑制できない可能性のあることが示された。また、民間主導のエリア型共同配送システムは、総走行時間の抑制に寄与し、公共主導の場合よりも成立する可能性の高いことが示唆された。

Investigating the Effects and Profitability of Urban Co-operative Freight Transport Systems Considering Customers Location and Systems Type*

By Tadashi YAMADA**・Eiichi TANIGUCHI***・Kazuhiro MORI****

This paper focuses on the effects and profitability of urban co-operative freight transport systems. Forecasted VRPTW based mathematical models were used for investigating the influence of the location of customers and different types of co-operative freight transport systems on the effects and financial viability of such systems. Applications of the models to an urban goods delivery revealed that co-operative freight transport systems cannot be profitable if the location of customers is widely dispersed within urban areas and considerable benefits can be gained by implementing carriers-led co-operative freight transport systems without the leadership of public sector.