

顧客分布と共同化形態に着目した都市内共同集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 the Customer Distribution and the System Type

山田忠史**・谷口栄一***

By Tadashi YAMADA**・Eiichi TANIGUCHI***

1. はじめに

個々の荷主・運送業者の貨物を共同で集配送することは、交通混雑や環境汚染などの都市交通問題の改善に有効であると言われている。実際、公共主導のもとに、特定の地区や地域を対象にして、複数の荷主や運送業者が共同で集配送するシステム（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。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明らかにされている^{1),2)}。

筆者ら²⁾は、公共サイド、共同輸配送事業者、荷主・運送業者などの物流関連企業（以下では、これを企業と略す）の3主体をモデル化の対象とし、時間指定付き配送計画問題（VRP-TW）に基づく共同輸配送モデルを構築し、都市内共同配送に焦点を当て、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対象企業の顧客数によっては、共同配送事業の採算性の確保が困難であることが示された。また、共同配送システム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。

本研究では、この共同輸配送モデルを用いて、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。

- i) 顧客の分布がエリア型共同配送システムの効果・成立に及ぼす影響
- ii) 企業が自発的に行う共同配送システム（以下、企業主導型共同配送システムと称する）との効果の相違

2. 共同輸配送モデル

図-1は、共同輸配送モデルの構造を示したものである（なお、モデルの定式化については、参考文献2）を参照されたい）。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（図-1の（a））、配車配送パターン（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（図-1の（b））。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ものとする。自社輸配送に要する費用は、固定費用（車両費（税金、保険を含む）・人件費）、運行費用（運行三費・人件費）、早着・遅刻費用である。共同輸配送システムの利用に要する費用は、固定費用、運行費用、システム利用費用である。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ものである。

各企業の配車配送パターンが決定すると、共同輸配送システムの利用状況を基にして、共同輸配送事業者の配車配送パターンが決定される（図-1の（c））。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り、共同輸配送用物流ターミナルの運営と共同輸配送に関する配車配送行動を計画・管理するものとする。

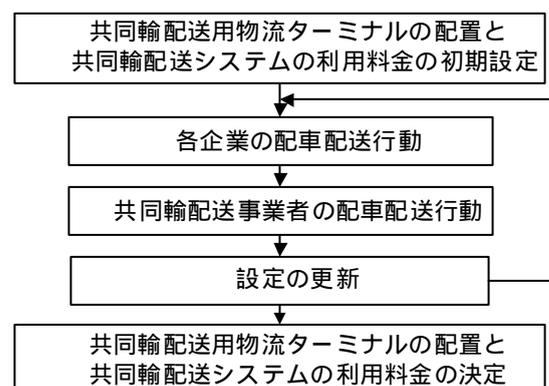


図-1 モデルの構造

*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

各企業と共同輸配送事業者の配車配送行動を基にして、公共サイドは、共同輸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、各企業と共同輸配送事業者の輸配送に要する総走行時間の最小化とする。このとき、共同輸配送システムの利用料金も決定されるものとする（図 - 1 の , ）。システム利用料金は、共同輸配送システムに集まった貨物量、共同輸配送に必要な車両の台数・サイズ、共同輸配送に要する走行時間などに依存する。システム利用料金は、共同輸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。

3. 問題設定

共同輸配送モデルを用いて、都市圏での配送を対象として、上述の i), ii) 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。

(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仮想地域とする。対象地域の大きさは、都市圏を想定して、20km 四方とする。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

共同配送用の物流ターミナルの候補地は 3 箇所とする。図 - 2 に示されるように、物流ターミナル候補地は、郊外部に 2 ヶ所、都心部に 1 ヶ所である。都心部の候補地は、地価が高価となるように設定する。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 / m²）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 / m²）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 / m²）とする。

(3) 企業

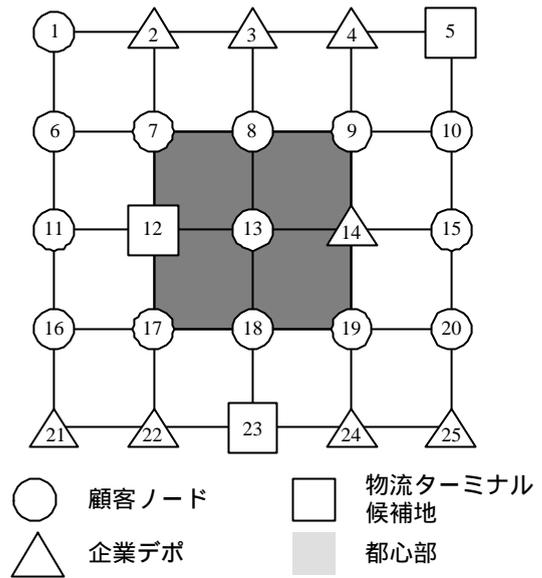


図 - 2 対象地域

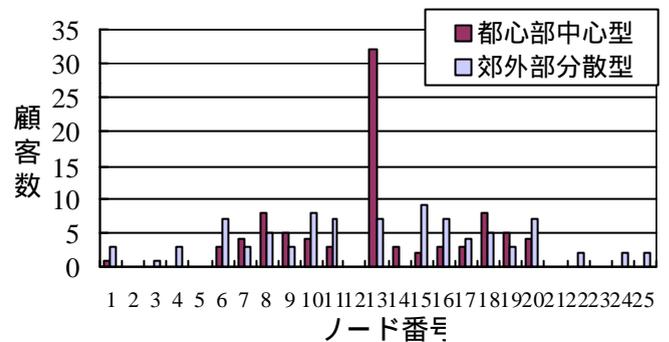


図 - 3 顧客分布の相違（全社合計）

対象地域内の企業は 8 社であり、各企業は、それぞれ自社デポを保有していることとする（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、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、到着指定時刻の許容幅を 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いずれかに設定される。各顧客の時間指定の種類およ

表 - 1 問題設定

| 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 |

び指定時刻・時間帯については、阪神地域における調査に基づいて決定する。

また、訪問先での荷捌き時間については、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)と仮定する。

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、設定2と3の時のみ共同配送システムが成立した(表 - 2)。なお、表 - 2 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、「採算率」は、システム利用料金から得られる収入を共同配送システムに要する費用で除したときの百分率である。「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、総走行時間が削減される割合を示しており、「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。

計算ケース3では、郊外部の企業デポ集積地区に位置

表 - 2 共同配送の効果と成立(エリア型)

| 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(採算を無視した場合)

| 計算ケース | 総走行時間削減率 |
|-------|----------|
| 1 | 42.4% |
| 2 | 42.8% |
| 3 | 35.5% |
| 4 | 6.0% |
| 5 | -17.1% |
| 6 | -56.7% |

する候補地23に物流ターミナルを整備するのが最適となった。しかし、都心部の候補地12に物流ターミナルを整備した場合でも、最適解に近い解が得られた。したがって、都心部周辺の物流ターミナルは、都心部へのアクセスに優れるため、共同配送事業者が委託貨物を効率よく配送できるので、共同配送用物流ターミナルを都心部周辺に整備することが望ましいと言えよう。

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、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、共同配送システムの成立が困難になるものと考えられる。

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。この場合、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、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設定1~3では、現状と比べて、総走行時間が約40%削減される。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、システム利用料金が無料であっても、計算ケース5と6では、システム導入前よりも総走

行時間が増加している。この結果は、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。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よう。

5. 企業主導型共同配送との比較

共同輸配送システムは、エリア型に限定されるものではない。既存の共同輸配送には、公共サイドの関与がない企業主導型の共同輸配送システムも存在する。そこで上述の共同輸配送モデルに改良を加えることにより、都市内共同配送を対象として、エリア型と企業主導型の効果の相違を調べる。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。

エリア型共同配送システムでは、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、企業主導型共同配送システムでは、共同配送に関わる主体は企業のみである。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。

共同配送請負企業は、候補地 5, 12, 23 に新規に物流ターミナルを建設するか、自社デポを使用するかを選択できるものとする。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一定であると仮定するので、共同配送請負企業の配車配送パターンは、自社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。ただし、このとき、この値がシステム導入前の自社貨物配送費用を上回らないことを制約条件とする。また、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。

ケース 1~3 を対象にした計算の結果、いずれの計算ケースにおいても、共同配送が成立した（表 - 4）。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

表 - 4 共同配送の効果と成立（企業主導型）

| 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 | 5500 | 10.5% | 13.7% |
| 3 | 14 | 7000 | 6.5% | 8.7% |

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。物流ターミナルの新規整備に比べて、既存の自社デポを利用すれば、共同配送に要する費用を抑制できる。このことが、エリア型では成立しなかった計算ケース 1 でも、企業主導型では共同配送が成立することに関係している。したがって、エリア型の共同配送でも、企業の自社デポを利用する方が有効であると考えられる。

ケース 2, 3 では、都心部に自社デポを構える企業が共同配送請負企業となっている。このことは、エリア型で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に整合する。表 - 2 と表 - 4 を比較すれば、企業主導型の方が、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。重要なことは、企業主導型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、総走行時間が抑制されていることである。企業主導型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、金銭面での支援や効果の啓蒙などを行うことが、公共サイドの役割となる。

6. おわりに

本研究では、既存の共同輸配送モデルを用いて、都市内共同配送の効果と成立に焦点を当て、顧客分布や共同化形態の影響について検討した。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、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が示された。また、企業主導型の共同配送システムは、総走行時間の抑制に寄与し、エリア型よりも成立する可能性の高いことが示唆された。

【参考文献】

- 1) 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 .
- 2) 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, Vol18, No.3 , pp.409-416 , 2001 .