

# 積合せ場所の位置の違いに基づく 共同配送の効果の空間的分析

東京大学大学院医学系研究科客員助教 石川 友保  
東京海洋大学海洋工学部流通情報工学科教授 苦瀬 博仁  
国分株式会社 飯岡 幸大

## Abstract

A cooperative delivery system is one of the effective ways to reduce pollution and the logistics cost through the reduction of the total transport distance. However, the effect of a cooperative delivery system is not clarified because this effect depends on the location of the distribution center.

In order to describe this effect, an "iso-effect curve" is introduced in this paper to show the effect of a cooperative delivery system. Moreover, three case studies are analyzed.

Finally, this paper explains the methodology for clarifying the effect of a cooperative delivery system. (Tomoyasu Ishikawa, Hirohito Kuse, Kodai Iioka)

---

*Key words:* Cooperative delivery system, Distribution center, Freight transport, Logistics

---

## 1. はじめに

近年、交通渋滞に起因する環境問題の解消と、配送活動の効率化のために、都市内の共同配送が注目されている。

共同配送とは、複数の発地の貨物を配送センターなど（以下、積合せ場所と称する）で積み合わせて、積載率を上げてから最終届け先に届けることである。これにより発地から着地に貨物を直送する場合に比較して走行距離が短縮できれば、交通渋滞や環境負荷の削減と、企業の物流の効率化や物流コストの削減にもつながる可能性がある。

しかし、走行距離の短縮を目的とする共同配送であっても、積合せ場所の位置によっては、かえって走行距離が直送時に比べて増加することも考えられる。このため、共同配送の効果を考えるためには、積合せ場所の位置に基づく走行距離の変化を示す方法が求められている。

## 2. 研究の目的と方法

### 2.1 研究の目的

本研究では、共同配送を行うときの、積合せ場所の位置の違いに基づく走行距離の変化を示す算出方法を導き出す。そしてこの算出方法をもとに、従前の直送時と比べたときの共同配送の効果を求める方法を明らかにすることを目的とする。

### 2.2 研究の方法

本研究は、以下の手順を進める。

- ① 本研究における共同配送と総走行距離、総走行距離の等減少率曲線の考え方を示す（3章）。
- ② 次に、積合せ場所の位置の違いによる総走行距離の変化を定式化し、等減少率曲線の特徴を明らかにする（4章）。
- ③ ②で定式化した等減少率曲線を用い、発地2カ所から着地1カ所への共同配送、複数の発地から着地1カ所への共同配送、発地と着地が複数の共同配送の3ケースについて、事例分析

---

2007年3月28日受付, 2007年9月21日受理

を行う(5章)。

- ④ 最後に、本研究の結論と今後の課題を述べる(6章)。

### 2.3 本研究の特徴

共同配送に着目した研究には、①共同配送の課題を明らかにしている研究<sup>1)</sup>、②共同化の促進策を施設整備の面から提言している研究<sup>2,3)</sup>、③共同配送の効果を定量的に明らかにしている研究がある。

とくに③については、共同配送の事例から、共同配送の対象地区内での貨物車の走行距離の削減効果の研究<sup>4)</sup>や、共同配送の費用を算出している研究<sup>5,6)</sup>がある。ただし、これらは、積合せ場所の位置の変化には言及しておらず、一般的な効果の算出方法とは言い難い。

また、飯岡ら<sup>7)</sup>は、積合せ場所の位置の違いによる共同配送の効果の分析を試みており、積合せ場所の位置の違いによる走行距離の変化と、積載率の変化を考慮したうえで、走行距離の減少率の等しい積合せ場所の位置が一定の閉じた曲線(閉曲線)であることを示している。しかし、減少率の等しい閉曲線の定式化、本研究の利用方法などは、解明途上である。

前述の既存文献より、共同配送の効果を表す指標としては、走行距離、環境負荷、配送コストが挙げられる。この中で、環境負荷や配送コストは、走行距離に原単位を乗じることにより算出されるため、走行距離に依存する。そこで本研究では、原単位に左右されない走行距離を代表的な指標として用いることとする。本研究では、積合せ場所の位置に基づく共同配送の効果を求める方法を明らかにするために、走行距離の減少率が等しい閉曲線である等減少率曲線の定式化を行う。これに基づき複数の事例分析を行うことで実用可能性を明らかにし、さらに実際に共同配送を行う場合の積合せ場所の選定方法の考え方を明らかにしたい。

## 3. 共同配送による効果の算出方法の考え方

### 3.1 共同配送と総走行距離

#### (1) 共同配送の考え方

本研究では、共同配送を「複数の荷主の貨物を、積合せ場所で積み合わせて、最終届け先まで配送すること」と定義する。本研究で扱う共同配送では、積合せ場所は1カ所とする。

なお、直送とは「複数の発地から配送する貨物を

積み替えず、直接着地へ配送すること」である。

#### (2) 配送方法の考え方

一般的に、配送方法には、2地点間を往復する「ピストン配送」と、複数の地点を巡回する「ルート配送」の2つがある。

そして共同配送は、「発地から積合せ場所までの配送」と「積合せ場所から着地までの配送」で構成される。ピストン配送はルート配送に比べ総走行距離が長くなると考えられるが、本研究では、単純化のため2つの配送ともピストン配送と仮定する。

#### (3) 総走行距離

発地から積合せ場所までの距離と、積合せ場所から着地までの距離を、走行距離とする。

共同配送では積み合わせて配送するため、すべての貨物車が着地に向かうことはない。そのため共同配送では、すべての貨物車の走行距離の合計が、直送時よりも減少すれば、効果があるとみなす。

そこで、本研究では、すべての貨物車の走行距離の総和を「総走行距離」として、共同配送の効果を示す指標とする。

なお本研究では、貨物車の走行距離を2点間の直線距離とする。これは、大まかに傾向を把握するためには、道路に沿った経路距離ではなく、直線距離でも問題ないと判断できるからである。

### 3.2 共同配送時における総走行距離の変化

#### (1) 共同配送時の総走行距離の考え方

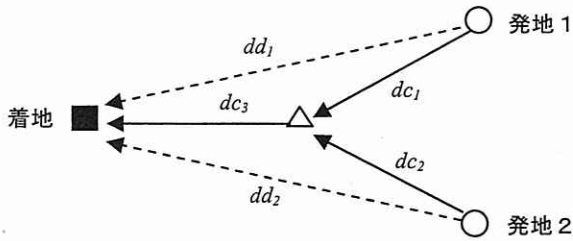
共同配送の基本的な考え方を整理するために、最も単純な共同配送として、発地2カ所と着地1カ所で、積合せ場所1カ所のケースを分析対象とする。

共同配送前において、発地2カ所から着地1カ所にそれぞれ直送しているとすれば、2台の貨物車の走行距離の合計が総走行距離となる。一方で、共同配送のときは、発地2カ所から積合せ場所までの2台の貨物車の走行距離と、積み合わせた後の1台の貨物車の走行距離の合計が総走行距離となる(図-1)。

なお、共同配送によって総走行距離が減少する割合は、発地や着地の数が増えるほど大きく変動することが予想できる。そこで、発地2カ所で着地1カ所の場合について検討を加えたのちに、等減少率曲線の一般化を目的として、発地と着地が複数の共同配送について、定式化を進める。当然のことながら、定式化された等減少率曲線は発地2カ所で着地1カ所の場合にも適用できる(表-1)。

(2) 積合せ場所の位置の違いによる総走行距離の変化

発地と着地の間に積合せ場所があるときは、表-2の1)のように、共同配送時の総走行距離が、直送時の総走行距離を下回る。しかし、表-2の3)のように、かえって総走行距離が増加することや、表-2の2)のように総走行距離が変わらないこともある(表-2)。



(凡例) --▶: 直送   ▶: 共同配送  
○: 発地、■: 着地、△: 積合せ場所  
直送時の総走行距離  $DD = dd_1 + dd_2$   
共同配送時の総走行距離  $DC = dc_1 + dc_2 + dc_3$

図-1 発地2カ所で着地1カ所の場合の共同配送

表-1 発地と着地の数の異なる直送と共同配送のパターン

	発地2カ所 着地1カ所	発地と着地が複数
直送		
共同配送		

(注) ○: 発地、■: 着地、△: 積合せ場所

表-2 積合せ場所の位置の違いによる総走行距離の変化

	積合せ場所の位置	総走行距離の変化
1)		直送時の総走行距離 > 共同配送時の総走行距離
2)		直送時の総走行距離 = 共同配送時の総走行距離
3)		直送時の総走行距離 < 共同配送時の総走行距離

(注) --▶: 直送   ▶: 共同配送  
○: 発地、■: 着地、△: 積合せ場所

3.3 総走行距離の等減少率曲線の考え方

(1) 共同配送時の総走行距離の等減少率曲線

共同配送時の積合せ場所の位置の違いによる総走行距離の変化を表現するため、総走行距離の等減少率曲線を導く。

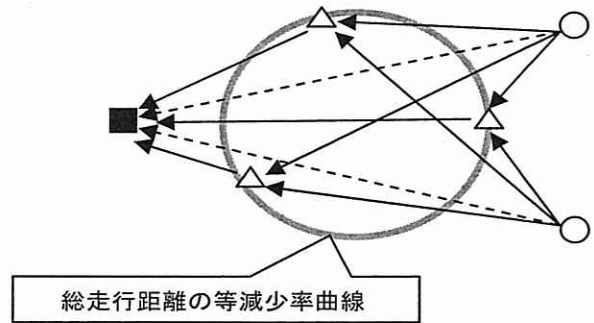
この総走行距離の等減少率曲線とは、共同配送時の総走行距離の減少率  $r$  が等しくなる積合せ場所の座標  $(x, y)$  を連ねた曲線である(図-2)。

(2) 等高線で示される等減少率曲線

減少率  $r$  が等しい積合せ場所の座標  $(x, y)$  を示すことによって、等減少率曲線を求めることができる。

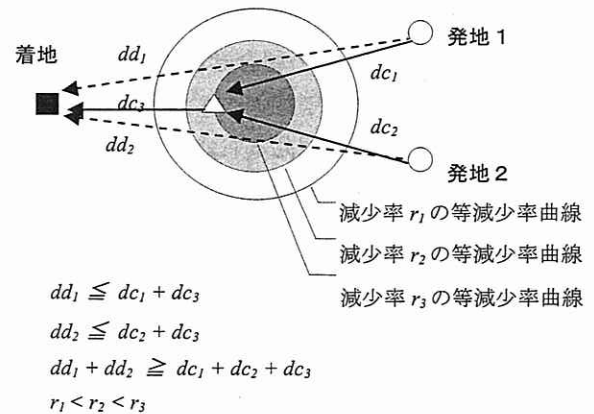
さらに、減少率  $r$  を変化させることで、減少率  $r$  に対応した複数の等減少率曲線を同じ座標平面上に描くことができる。これにより、等高線のような曲線群を描くことができる(図-3)。

これらの曲線を求めることにより、想定する総走行距離の減少率  $r$  に対応した積合せ場所の座標  $(x, y)$  を抽出することができる。



(凡例) --▶: 直送   ▶: 共同配送  
○: 発地、■: 着地、△: 積合せ場所

図-2 共同配送時の総走行距離の等減少率曲線の例



(凡例) --▶: 直送   ▶: 共同配送  
○: 発地、■: 着地、△: 積合せ場所

図-3 減少率の異なる複数の等減少率曲線

## 4. 等減少率曲線の定式化と曲線の特性分析

### 4.1 等減少率曲線の定式化

#### (1) 定式化のための仮定

積合せ場所の位置の違いによる総走行距離の変化を定量的に示すため、等減少率曲線を定式化する。

ここでは、等減少率曲線の式を求めるために、以下の6つの仮定をおくこととする。

[仮定1]：貨物車の走行距離は、2地点間の直線距離とする。

[仮定2]：積合せ場所は1カ所とする。

[仮定3]：発地・着地は、ともに複数箇所とする。

[仮定4]：発地、積合せ場所、着地は、すべて座標平面上に配置された所与の点とする。

[仮定5]：すべての発地からすべての着地に届ける貨物があることとする。

[仮定6]：各着地への貨物の量の合計は、貨物車1台に積載できる量とする。

#### (2) 定式化の際の目的関数

積合せ場所の位置の違いによる総走行距離の変化の算出方法を明らかにするため、定式化にあたっては、総走行距離の減少率  $r$  を任意に設定したときに、積合せ場所の座標  $(x, y)$  を求める式を想定する。

また、発地の座標  $(x_i, y_i)$  と着地の座標  $(x_j, y_j)$  は、与えられているものとする。

#### (3) 定式化

等減少率曲線は、総走行距離の減少率  $r$  が等しい積合せ場所の位置を連ねた曲線である。ゆえに、等減少率曲線は、直送時の総走行距離  $DD$  と、共同配送時の総走行距離  $DC$ 、総走行距離の減少率  $r$  ( $0 \leq r < 1$ ) のとき、式(1)の関係を満たす曲線となる。

$$\frac{DD-DC}{DD} = r \quad (1)$$

$$DC = (1-r) \times DD \quad (1)'$$

この式(1)'に、積合せ場所の座標  $(x, y)$ 、発地の座標  $(x_i, y_i)$ 、着地の座標  $(x_j, y_j)$  を代入すると、三平方の定理より、式(2)のように変形できる。

$$\sum_i \sqrt{(x_i-x)^2 + (y_i-y)^2}$$

$$+ \sum_j \sqrt{(x-x_j)^2 + (y-y_j)^2} \\ = (1-r) \times \sum_i \sum_j \sqrt{(x_i-x_j)^2 + (y_i-y_j)^2} \quad (2)$$

ただし、

$(x, y)$ ：積合せ場所の座標 (未知数)

$r$ ：総走行距離の減少率 ( $0 \leq r < 1$  の間で、任意に設定できる)

$(x_i, y_i)$ ：発地  $i$  の座標 (所与)

$(x_j, y_j)$ ：着地  $j$  の座標 (所与)

以上の定式化により導き出された式(2)が、等減少率曲線の式である。

以降の事例分析では、この式を用いて、等減少率曲線を算出する。

### 4.2 等減少率曲線の式の特徴

等減少率曲線の式は、以下の4つの特徴をもっている。

- 1) 積合せ場所の座標  $(x, y)$  を未知数とする方程式である。発地の座標  $(x_i, y_i)$  と着地の座標  $(x_j, y_j)$  は、実際のデータを与えるものである。減少率  $r$  は任意に設定することができる。
- 2) 等減少率曲線は閉じた曲線であるため、 $x$  と  $y$  の範囲は決まっている。
- 3) 2)と同じく、閉曲線であるため、ある  $x$  に対し  $y$  は2つの解をもつ。また、ある  $y$  に対し  $x$  は2つの解をもつ。
- 4) なお、この曲線は、円や楕円のようななめらかなではない可能性がある。

## 5. 等減少率曲線を適用した事例分析

### 5.1 事例分析の対象

定式化した等減少率曲線について、以下の3種類の事例分析を行う。

- 1) 発地2カ所から着地1カ所への共同配送 (最も単純な共同配送)
- 2) 複数の発地から着地1カ所への共同配送 (スーパーの統合納品を想定している)
- 3) 発地と着地が複数の共同配送 (一般的な共同配送を想定している)

### 5.2 発地2カ所から着地1カ所の共同配送の事例分析

- (1) 等減少率曲線の算出のための仮定と算出結果  
発地2カ所から着地1カ所への共同配送を、最も

単純な共同配送として想定する。

事例分析では、発地の座標  $(x_i, y_i)$  と着地の座標  $(x_j, y_j)$  を仮定し、これを算出式に代入して、等減少率曲線を求める。なお、座標は単純化のため、着地を  $(0,0)$  とし、発地を  $x$  軸と  $y$  軸それぞれ 10 離れた位置とした (表-3)。

以上の結果、得られた等減少率曲線は、図-4 のとおりとなる。

図-4 の  $x$  方向は北、 $y$  方向は東であり、“○” は発地の位置、“■” は着地の位置を表わしている。

等減少率曲線は、積合せ場所の位置の違いによる総走行距離の変化を表すものであるが、ここでは、説明のため、図-4 の“△” に積合せ場所を設けたとする。

直送時は、点線の矢印に示すように、発地 1 と発地 2 から直接着地に配送されることとする。また、共同配送時は、実線の矢印に示すように、発地 1 と発地 2 から積合せ場所へ配送され、積合せ場所から着地に配送されることとする。

図-4 では、積合せ場所 (△) が減少率 0% の等減少率曲線上にあるため、共同配送時の総走行距離は、直送時と等しくなる。このことは、積合せ場所 (△) が同じ曲線のいずれに位置したとしても同様

表-3 発地 2 カ所・着地 1 カ所の事例の位置の仮定

発地 [2カ所]		着地 [1カ所]	
名称	座標	名称	座標
発地 1	(10,-10)	着地	(0,0)
発地 2	(10,10)		

(注) 表中の ( ) 内は座標。

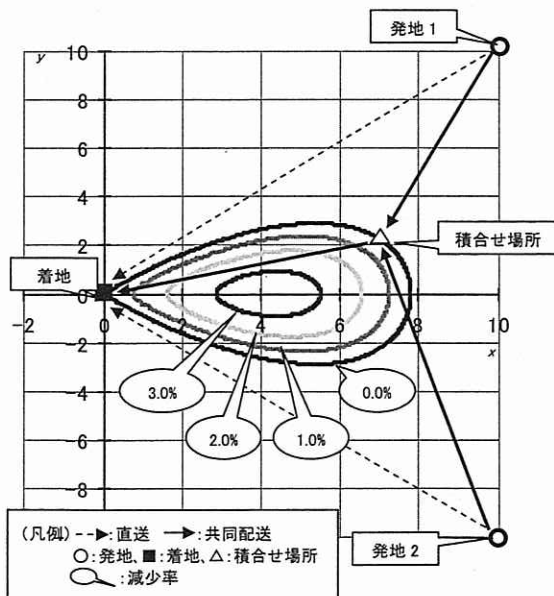


図-4 発地 2 カ所・着地 1 カ所の事例の等減少率曲線

となる。

なお、図に示されている 4 本の等減少率曲線は、外側より、減少率 0% ( $r=0$ )、1% ( $r=0.01$ )、2% ( $r=0.02$ )、3% ( $r=0.03$ ) の場合である。

### (2) 等減少率曲線の算出結果に基づく考察

事例分析により、以下の 3 つのことが明らかとなった。

- 1) 減少率 0% の等減少率曲線上で積み合わせたとき、共同配送時の総走行距離は、直送時と等しくなる。また、同曲線の内側で積み合わせたときは、総走行距離は減少し、外側で積み合わせたときは、総走行距離は減少する。
- 2) 等減少率曲線の内側で積み合わせるほど、総走行距離は減少する。他方、外側にいくほど、総走行距離は減少しなくなる。
- 3) 着地は、減少率 0% の等減少率曲線と交わるが、減少率 0% 超の等減少率曲線とは交わらない。

### 5.3 複数の発地から着地 1 カ所の共同配送の事例分析

(1) 等減少率曲線の算出のための仮定と算出結果  
事例分析にあたっては首都圏を対象とし、郊外の複数の地点を発地とし、都心の 1 カ所の地点を着地とする。

このとき、発地 4 カ所は、東扇島北出入口、岩槻 IC、柏 IC、船橋 IC と仮定する。また着地 1 カ所は、中央区銀座と仮定する (表-4)。

以上の結果、得られた等減少率曲線は、図-5 のとおりとなる。

### (2) 等減少率曲線の算出結果に基づく考察

事例分析により、以下の 3 つのことが明らかとなった。

- 1) 減少率 0% の等減少率曲線は、南北に約 30km、東西に約 20km の範囲を囲んでいる。発地 4 カ所のうち、東扇島北出入口、岩槻 IC、柏 IC は、減少率 0% の等減少率曲線の外側に位置してい

表-4 発地が複数・着地 1 カ所の事例の位置の設定

発地 [4カ所]		着地 [1カ所]	
名称	座標	名称	座標
東扇島北出入口	(13.1, 4.0)	中央区銀座	(13.0, 22.8)
岩槻 IC	(5.9, 52.4)		
柏 IC	(28.7, 49.1)		
船橋 IC	(31.3, 25.9)		

(注) 表中の ( ) 内は、JR 横浜駅を原点  $(0,0)$  とし、北を  $y$  方向、東を  $x$  方向とする座標 (単位: km)。

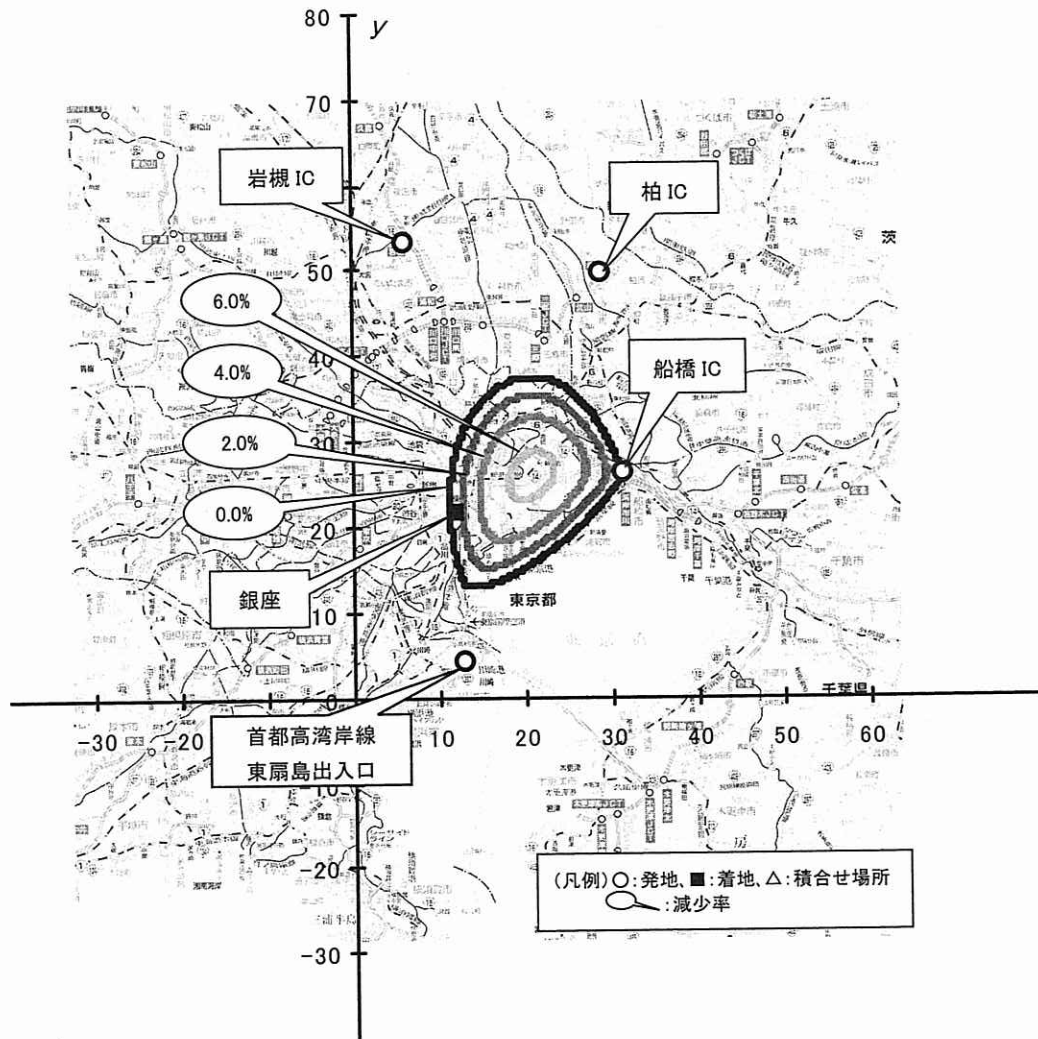


図-5 発地が複数・着地1カ所の事例の等減少曲線（発地4カ所・着地1カ所の場合）

る。そのため、仮に、これらの地点で積み合わせるとしたら、直送時よりも総走行距離は増加する。

- 2) 減少率は最大でも10%に満たない。それゆえ、いずれの位置で積み合わせたとしても、直送時に比べ、総走行距離の減少率は10%未満である。
- 3) 直送時と比べて総走行距離が減少する積合せ場所の位置は、すべて着地以東である。これは、第一に着地は減少率0%の等減少率曲線上であること、第二に発地4カ所を結ぶ四角形の重心点が着地より東側であることが理由と考えられる。

#### 5.4 複数の発地から複数の着地の共同配送の事例分析

(1) 等減少率曲線の算出のための仮定と算出結果  
事例分析にあたっては、首都圏を対象とし、郊外にある複数の地点を発地とし、都心の複数の地点を着地とする。

このとき、発地は5.3と同様とし、着地3カ所は、

表-5 発地と着地が複数の事例の位置の設定

発地 [4カ所]		着地 [3カ所]	
名称	座標	名称	座標
東扇島北出入口	(13.1, 4.0)	中央区銀座	(13.0, 22.8)
岩槻 IC	(5.9, 52.4)	新宿区歌舞伎町	(7.2, 25.3)
柏 IC	(28.7, 49.1)	台東区上野	(13.9, 27.0)
船橋 IC	(31.3, 25.9)		

(注) 表中の( )内は、JR 横浜駅を原点(0,0)とし、北をy方向、東をx方向とする座標(単位: km)。

中央区銀座に加え、新宿区歌舞伎町、台東区上野と仮定する(表-5)。

以上の結果、得られた等減少率曲線は、図-6のとおりとなる。

#### (2) 等減少率曲線の算出結果に基づく考察

事例分析により、以下の3つのことが明らかとなった。

- 1) 減少率0%の等減少率曲線は、南北、東西ともに約100kmの範囲を囲んでいる。発地4カ所のすべてが、減少率0%の等減少率曲線の内側に位

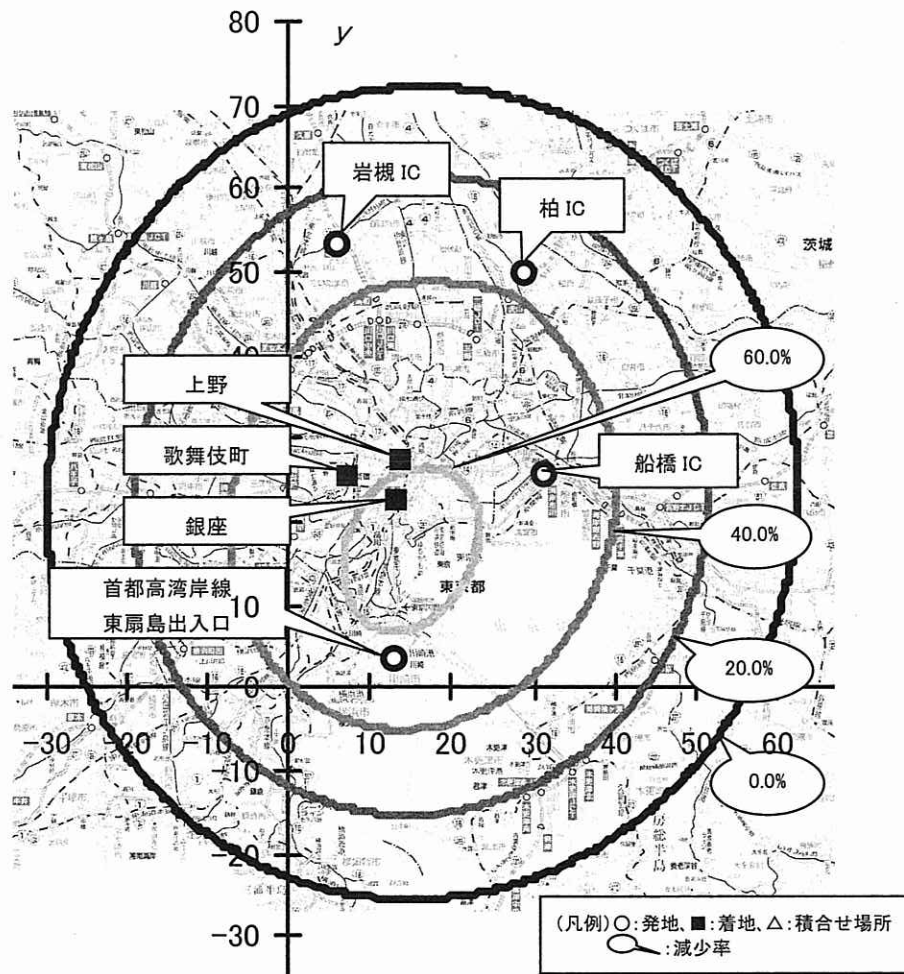


図-6 発地と着地が複数の事例の等減少率曲線（発地4カ所・着地3カ所の場合）

置している。そのため、仮に、これらの地点で積み合わせるとしたら、直送時よりも総走行距離は減少する。

- 2) 減少率は最大 60%を超えている。それゆえ、減少率 60%の等減少率曲線の内側で積み合わせたとしたら、直送時に比べ、総走行距離の減少率は60%以上である。
- 3) 着地3カ所はすべて減少率 0%の等減少率曲線の内側に位置し、曲線と交わらない。

## 6. 結論と今後の課題

### 6.1 結論

本研究では、共同配送の効果を表す指標の中から総走行距離に着目し、積合せ場所の位置の違いに基づく共同配送時の総走行距離の変化を、等減少率曲線を用いて明らかにした。

その結果、以下の3つが明らかとなった。

- 1) 図-4～図-6を比較すると、発地・着地の数が多くなれば、総走行距離を減少する積合せ場所の位置は広がる。このため、発地・着地の数が多く

なれば、積合せ場所の選択が容易となる。

- 2) また、発地・着地の数が多くなれば、総走行距離の減少率は高くなる。
- 3) 着地が1カ所の場合、着地は減少率 0%の等減少率曲線と必ず交わる。このことは、仮に着地で貨物を積み合わせるとしたら、直送時と同じ配送となるためである。ただし、着地で積み合わせれば、直送時には得られない、建物内の縦持ち搬送による効率化を期待できる。

### 6.2 本研究の利用方法

本研究で示した積合せ場所の位置の違いに基づく、総走行距離の算出方法は、以下の3つの方法で用いることができる。

- 1) 共同配送時の総走行距離の減少率に応じて、積合せ場所の位置を選定することができる。たとえば、共同配送により総走行距離を50%以上減少したい場合、減少率50%の等減少率曲線を算出し、その曲線の内側で積合せ場所を選定すればよい。民間事業者では総走行距離が短くなることに

より配送コストや労働時間の短縮などにつながる  
と考えられる。

- 2) 等減少率曲線は曲線であるため、地図上では離れていても同じ減少率をもつ候補地を抽出できるため、複数の候補地から、積合せ場所の位置を選定することができる。たとえば、東北方面で候補地を探したが適地が見つからなかった場合でも、同じ総走行距離の減少を期待できる他の候補地を抽出することができる。
- 3) 本研究では都市内への共同配送を事例としたが、得られた成果は、工場から倉庫などへの配送にも適用できる。
- 4) 行政においては、流通業務市街地の候補地の選定や、土地利用計画において民間物流施設を立地誘導する際の候補地の選定に利用できる。

### 6.3 今後の課題

本研究では総走行距離に焦点をあてており、すべての貨物車が積合せを行うという条件で分析を行った。

等減少率曲線の定式化にあたり、積合せ場所は1カ所と仮定した。今後、積合せ場所を複数とした場合を分析することが考えられる。

また、実際には、積載率が高ければ、積合せを行わない場合が想定される。さらに本研究ではピストン配送を仮定したが、実際にはルート配送も行われ

ている。今後、積載率やルート配送を含めて方法論を明らかにし、より現実に近い方法論に拡張したい。さらに本研究では共同配送の効果を表す指標を総走行距離としたが、配送コスト、労働時間、貨物車の台数、環境負荷なども指標として考えたい。

### —— 参考文献 ——

- 1) 苦瀬博仁 (1992) 「都市内物流における共同化の考え方と課題」『土木計画学研究』 No.15(2) pp.1～4
- 2) 高橋洋二 (1992) 「共同化推進のための民間施設整備と施策」『土木計画学研究』 No.15(2) pp.15～16
- 3) 高田邦道 (1992) 「共同化推進のための公共施設整備」『土木計画学研究』 No.15(2) pp.17～18
- 4) 家田仁・佐野可寸志・常山修治 (1992) 「マクロ集配計画モデルの構築とその「地区型共同集配」評価への適用」『土木計画学研究・論文集』 No.10 pp.247～254
- 5) 根本敏則 (1992) 「都市内物流の共同化の効果とその促進施策—福岡天神地区共同集配事業をケーススタディとして—」『日本都市計画学会論文集』 No.27 pp.349～354
- 6) 山田忠志・谷口栄一・伊藤裕 (2001) 「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
- 7) 飯岡幸大・石川友保・苦瀬博仁・岩尾詠一郎 (2006) 「中継地の位置の違いを考慮した走行距離と走行台キロの変化に関する共同配送の事例分析」『日本物流学会誌』 第14号 pp.157～164