

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

A Study on the effect on Co-operative delivery system based on the location of delivery hub

飯岡 幸大 (東京海洋大学大学院)、石川 友保 (東京大学大学院)
苦瀬 博仁 (東京海洋大学)、岩尾 詠一郎 (㈱日通総合研究所)
Koudai IIOKA (Tokyo University of Marine Science and Technology)
Tomoyasu ISHIKAWA (Tokyo University)
Hirohito KUSE (Tokyo University of Marine Science and Technology)
Eiichiro IWAO (Nittsu Research Institute and Consulting, Inc)

要旨

環境改善や物流コスト削減のため、直送から中継地を経由する配送に変更しても、中継地の位置によっては、走行距離や走行台キロの合計が増加し環境改善や物流コスト削減の効果が見込めない場合もある。このため、直送から中継地を経由する配送に変更する場合、中継地の位置の違いを考慮した総走行距離や総走行台キロの変化を算出するための方法が求められている。

本研究では、直送の場合と中継地を経由する配送の場合での総走行距離と総走行台キロの変化を算出するための算出方法を示す。さらに、中継地の位置の違いによる、総走行距離と総走行台キロの変化を明らかにすることを目的とする。

Abstract

Co-operative delivery system is one of the many ways to reduce logistics cost and pollution. However, the positive effect of the co-operative delivery system is not guaranteed because the effect is dependant on the location of the delivery hub.

This paper aims to clarify the formula on co-operative delivery that calculates the total distance and total vehicle-km. Also, the changes in the total distance and total vehicle-km are examined on the introduction of co-operative delivery system.

1. はじめに

発地から着地に貨物を配送するとき、直接配送（以下直送）する場合もあれば、流通センターや配送センター（以下中継地）を経由して配送する場合もある。

このとき、都市内配送が原因となって生じている社会的な問題（交通混雑問題、環境問題）や企業の問題（物流コストの増加）を解決するために、直送から中継地を経由する配送に変更する場合もある。

しかしながら、中継地を経由する配送の場合、積載率や中継地の位置によっては、直送に比べ走行距離の合計（総走行距離）や走行台キロの合計（以下総走行台キロ）が増加する場合もある。このような場合、環境改善や物流コスト削減の効果は見込めない。

このため、中継地の位置の違いを考慮した総走行距離や総走行台キロの変化を算出するための方法が求められている。

2. 本研究の目的と方法

2. 1 研究の目的

本研究では、直送の場合と中継地を経由して配送する場合の総走行距離と総走行台キロの変化を算出するための方法を示す。

また、中継地の位置の違いによる、総走行距離と総走行台キロの変化の分析方法を示すことを目的とする。

2. 2 研究の方法

本研究は、以下の手順で進める。

①中継地の配置計画の考え方、用語の定義と本研究における効果の考え方、および分析の対象とする配送方法について本研究の考え方を示す。

さらに、総走行距離と総走行台キロの2つの指標を用いる必要性を述べる。(3章)

②総走行距離と総走行台キロの算出における仮定にもとづき、総走行距離と総走行台キロの算出方法を設定する。(4章)

③中継地を経由する配送の代表的な事例として、共同配送をとりあげ、事例分析として発着地の位置と走行台数を仮定する。

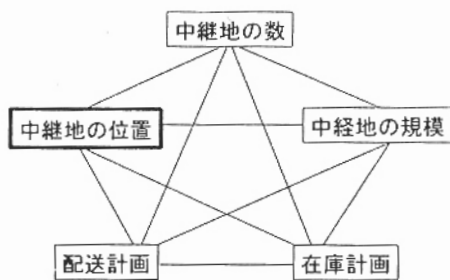
そして、中継地の位置の違いにもとづく共同配送の効果として、総走行距離と総走行台キロの変化を算出する。(5章)

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、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、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り、本研究は③に含まれる。

共同配送の効果を定量的に明らかにしている研究には、共同配送の事例から、中継地での貨物積合わせ後、貨物車が走行するエリア内での交通量の削減効果を明らかにしている研究、共同配送による費用を算出している研究がある。しかしながら、中継地の位置の違いによる、走行距離や走行台キロの変化に着目している研究は非常に少ない。

このことから、本研究は中継地の位置の違



太枠: 分析の対象

図1 中継地の配置計画の基本的な概念

いによる走行距離の変化を算出し、総走行距離と総走行台キロが削減する中継地の位置を明らかにしている点に特徴がある。

3. 本研究の考え方

3. 1 中継地の配置計画の考え方

中継地の配置計画は、中継地の位置・中継地の数・中継地の規模・配送計画・在庫計画で構成されると考えられる。そして、5つから、中継地の最適な配置を決定する。

しかし、5つを同時に考慮し中継地の最適な配置を決定することは困難であり、実際に中継地の配置計画を立てる際も、それぞれを順序立てて計画していくことが多い。

そこで本研究では、中継地の配置計画の第一歩として、中継地の位置に着目する。(図1)

3. 2 用語の定義と本研究における効果の考え方

(1) 中継地を経由する配送と総走行台キロの定義

本研究では、中継地を経由する配送を「複数の発地(○)から配送する貨物を中継地(△)で積み換え、着地(■)へ配送すること」とする。

また、2地点間の距離を走行距離(km)とし、各2地点間の走行距離の合計を総走行距離(km)とする。2地点間を走行する貨物車の台数(走行台数)と、2地点間の走行距離の積を走行台キロ(台km)とし、走行台キロの合計を総走行台キロ(台km)とする。

表2 中継地を経由する配送の種類と本研究の対象

		発地から中継地への配送		
		ピストン配送	ルート配送	ピストン配送とルート配送の混合
中継地から着地への配送	ピストン配送			
	ルート配送			
	ピストン配送とルート配送の混合			

(注) ○:発地、■:着地、△:中継地、太枠:分析の対象

(2) 中継地の位置と中継地を経由する配送の効果の考え方

表1の①のように、中継地が発地と着地の中間にあるとき、直送に比べ中継地を経由する配送の総走行距離は減少する。また、発地での貨物車の積載率が低積載率の場合、総走行台キロも減少する。しかし②のように中継地が遠隔地にあれば、総走行距離は増加し、総走行台キロも積載率にかかわらず増加する。

よって本研究では、走行距離と走行台キロから共同配送の効果を分析するので、総走行距離や総走行台キロが減少するとき、直送に比べ中継地を経由する配送に効果があるものとする。

なお、表1の①と②のように、着地での貨物車の到着台数の減少を、効果があるとする考え方もあるが、本研究では扱わない。(表1)

3. 3 中継地を経由する配送の場合の配送方法の組み合わせ

中継地を経由する配送は、発地から中継地までと、中継地から着地までの2つの配送で

表1 中継地を経由する配送の効果と本研究の対象

中継地の位置の違い	中継地を経由する配送の効果の種類		
	総走行距離	総走行台キロ	着地への到着台数
①	減少	減少	減少
②	増加	増加	減少

(注) ---▶:直送、—▶:中継地を経由する配送
○:発地、■:着地、△:中継地、太枠:分析の対象

構成される。また配送方法には、2地点間を往復するピストン配送と、複数の地点を回るルート配送の2つがある。

このとき、貨物の積載量や納品時刻によっては、中継地から着地への配送をピストン配送とルート配送の両方でおこなう場合(ピストン配送とルート配送の混合)がある。そして、発地から中継地への配送もピストン配送とルート配送の混合がある。

この結果、中継地を経由する配送の種類は、表2に示すように、9つに分類することができる。(表2)

ルート配送の場合、ルート構築のための配送計画を必要とする。本研究では、配送計画を分析の対象としていないことから、発地から中継地、中継地から着地ともにピストン配送の場合を分析する。

3. 4 総走行距離と総走行台キロの算出の必要性

貨物車の走行台数は、積載率によって変化する。そして、積載率は貨物車へ積載する商品個数によって変化する。

貨物車へ積載する商品個数は、変動することが一般的である。そのため、積載率が高くなる場合もあれば、低くなる場合もあり、積載率の計量が困難である。結果、走行台キロの計量も困難となる。

一方走行距離は、発着地の位置と中継地の位置によって決定し、発着地の位置は、積載する商品個数のように頻繁に変化することは無い。そのため、走行距離の計量は走行台キロに比べ容易である。

以上のことから、配送時の積載率が計量できる場合は総走行台キロを用い、配送時の積載率が計量できない場合は、総走行距離を用いることが良いと考える。

4. 総走行距離と総走行台キロの算出方法

4. 1 総走行距離と総走行台キロの算出における仮定

本研究では、以下の2つを仮定し、総走行台キロの算出式を設定する。

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 中継地は1ヶ所とする。

4. 2 総走行距離と総走行台キロの算出式

(1) 総走行距離の算出式

発地が n ヶ所、着地が m ヶ所の場合の直送の総走行距離は、各発着地間の走行距離の合

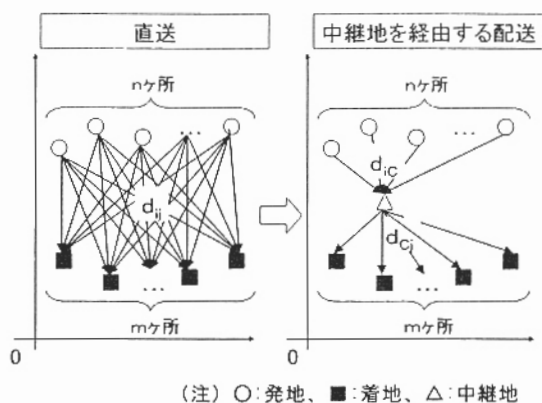


図2 直送と中継地を経由する配送での走行距離

計である。(式1)

中継地を経由する配送での総走行距離は、ピストン配送とルート配送で算出式が異なる。

発地から中継地までの配送がピストン配送の場合の走行距離は、各発地から中継地までの走行距離の合計である。(式2)

ルート配送での走行距離は、中継地から始めに到着する発地までの走行距離と、各発地間の走行距離と、最後に到着する発地から中継地までの走行距離の合計である。(式3)

中継地から着地までの配送が、ピストン配送での走行距離は、中継地から各着地までの走行距離の合計である。(式4)

ルート配送での走行距離は、中継地から始めに到着する着地までの走行距離と、各着地間の走行距離と、最後に到着する着地から中継地までの走行距離の合計である。(式5)

そして、中継地を経由する配送では、式2、式3、式4、式5の組み合わせで算出することができる。本研究では、ピストン配送の場合を対象としていることから、式2と式4の組み合わせで総走行距離を算出する。(図2)

(2) 総走行台キロの算出式

総走行台キロの算出式は、総走行距離と同様に直送と中継地を経由する配送で異なる。また中継地を経由する配送では、ピストン配送とルート配送で異なる。(式6、式7、式8、

式9、式10)

中継地を経由する配送は、式7、式9の組み合わせで総走行台キロを算出する。

$$D_{\text{発着}} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (\sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2})$$

$$= \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m d_{ij} \quad \dots \text{式1}$$

$$D_{\text{ピ・発中}} = \sum_{i=1}^n d_{iC} \quad \dots \text{式2}$$

$$D_{\text{ル・発中}} = d_{C1} + \sum_{i=1}^{n-1} d_{i+1} + d_{nC} \quad \dots \text{式3}$$

$$D_{\text{ピ・中着}} = \sum_{j=1}^m d_{Cj} \quad \dots \text{式4}$$

$$D_{\text{ル・中着}} = d_{Cj} + \sum_{j=1}^{m-1} d_{j+1} + d_{mC} \quad \dots \text{式5}$$

$$Vk_{\text{発着}} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (d_{ij} \times \alpha_{ij}) \quad \dots \text{式6}$$

$$Vk_{\text{ピ・発中}} = \sum_{i=1}^n (d_{iC} \times \beta_{iC}) \quad \dots \text{式7}$$

$$Vk_{\text{ル・発中}} = (d_{C1} + \sum_{i=1}^{n-1} d_{i+1} + d_{nC}) \times \gamma \quad \dots \text{式8}$$

$$Vk_{\text{ピ・中着}} = \sum_{j=1}^m (d_{Cj} \times \delta_{jC}) \quad \dots \text{式9}$$

$$Vk_{\text{ル・中着}} = (d_{Cj} + \sum_{j=1}^{m-1} d_{j+1} + d_{mC}) \times \varepsilon \quad \dots \text{式10}$$

- $D_{\text{発着}}$: 直送での総走行距離
- $D_{\text{ピ・発中}}$: 発地から中継地までがピストン配送の場合の総走行距離
- $D_{\text{ル・発中}}$: 発地から中継地までがルート配送の場合の総走行距離
- $D_{\text{ピ・中着}}$: 中継地から着地までがピストン配送の場合の総走行距離
- $D_{\text{ル・中着}}$: 中継地から着地までがルート配送の場合の総走行距離
- $Vk_{\text{発着}}$: 直送での総走行台キロ
- $Vk_{\text{ピ・発中}}$: 発地から中継地までがピストン配送の場合の総走行距離

$Vk_{\text{ル・発中}}$: 発地から中継地までがルート配送の場合の総走行台キロ

$Vk_{\text{ピ・中着}}$: 中継地から着地までがピストン配送の場合の総走行台キロ

$Vk_{\text{ル・中着}}$: 中継地から着地までがルート配送の場合の総走行台キロ

- n : 発地の数
- m : 着地の数
- x_j : 発地の x 座標
- x_j : 着地の x 座標
- y_i : 発地の y 座標
- y_j : 着地の y 座標
- d_{ij} : 各発着地間の走行距離
- d_{iC} : 各発地と中継地間の走行距離
- d_{C1} : 中継地から始めに到着する発地までの走行距離
- $d_{i,i-1}$: 発地間の走行距離
- d_{nC} : 最後に到着する発地から中継地までの走行距離
- d_{Cj} : 中継地と各着地間の走行距離
- d_{Cj} : 中継地から始めに到着する着地までの走行距離
- $d_{j,j-1}$: 着地間の走行距離
- α_{ij} : 各発着地間の走行台数
- β_{iC} : ピストン配送での各発地と中継地間の走行台数
- γ : ルート配送での各発地と中継地間の走行台数
- δ_{jC} : ピストン配送での中継地と各着地間の走行台数
- ε : ルート配送での中継地と各着地間の走行台数

5. 共同配送の効果の事例分析

5.1 事例分析のための仮定

(1) 発着地の位置の仮定

本研究では、直送と中継地を経由する配送(以下共同配送)を比較して分析をすすめる。走行台キロを算出するためには、走行距離と走行台数が必要となる。そして、走行距離

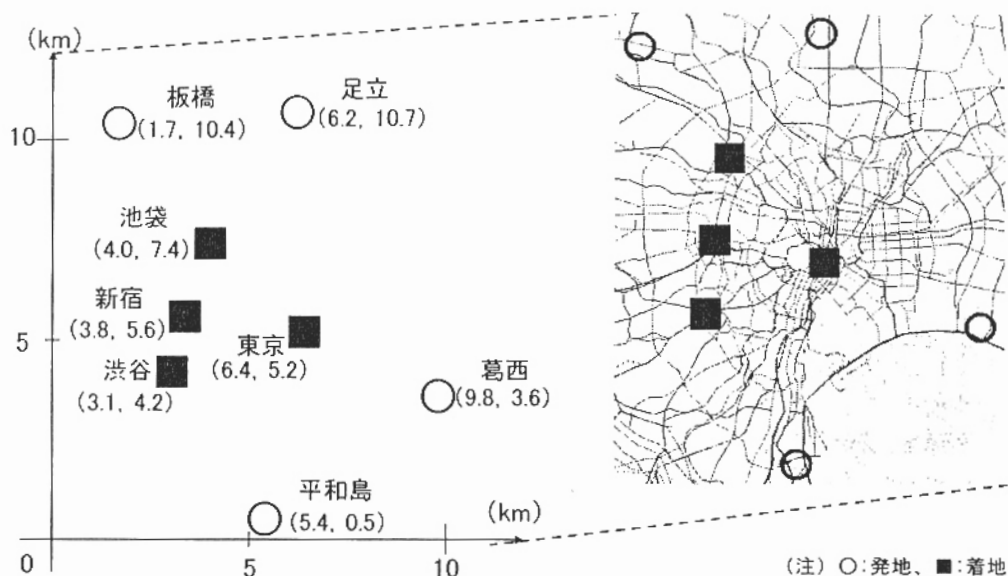


図3 分析に用いる発着地の位置と座標

は発着地の位置によって決定する。そこで本研究では、東京都区内に仮想の発着地を設けて分析する。

発地は、東京都区内の流通業務団地の4ヶ所(板橋、足立、葛西、平和島)と仮定する。着地は、東京駅、新宿駅、渋谷駅、池袋駅付近の4ヶ所と仮定する。(図3)

(2) 走行台数と積載率の設定

共同配送の走行台数は、直送の場合の積載率によって変化する。なぜなら、共同配送によって、発地と中継地で貨物の積み合わせが可能となるからである。そこで本研究では、直送と共同配送で、貨物車のサイズは変わらないと仮定し、直送と共同配送の走行台数と積載率を、以下のように設定する。

直送での発地(4ヶ所)から着地(4ヶ所)への走行台数は、各発地から各着地に1台ずつとする。これにより、総走行台数は16台となる。

直送での貨物車の積載率は、25%、50%、75%、100%の4つのケースを想定する。このとき、発地から配送する貨物車ごとの積載率は、すべて等しいと仮定する。

共同配送では、発地からの貨物を

表2 事例分析における走行台数と積載率

積載率	直送	共同配送	
	発地から着地への走行台数	発地から中継地への走行台数	中継地から着地への走行台数
25%	16台	4台	4台
50%	16台	8台	8台
75%	16台	12台	12台
100%	16台	16台	16台

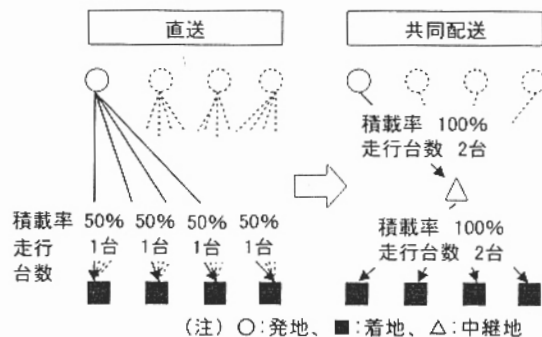


図4 直送と共同配送の走行台数と積載率
(直送での積載率が50%の場合)

積み換えてから、着地へ配送する。発地では、1カ所の中継地へ配送することから、貨物を積み合わせる。また、中継地でも貨物を積み合わせる。本研究では、発地、中継地ともに積載率が100%になるように貨物を積み合わせると仮定する。(表2)

たとえば、50%で発地から配送するケースにおいては、直送時に積載率50%の4台の貨物車が、4つの着地に配送する。共同配送によって、各発地から中継地と、中継地から各着地へ、それぞれ積載率100%の2台の貨物車で配送する。

この結果、発地から中継地までと、中継地から着地までは各8台、合計16台で配送することとなる。(図4)

5. 2 中継地の位置と総走行距離の関係

(1) 中継地の位置による総走行距離の変化

直送での総走行距離は、90.0kmとなった。

次に共同配送の、総走行距離と、総走行距離の削減率(直送の総走行距離に比較して、共同配送の総走行距離が削減された割合)を検討する。

共同配送の総走行距離は、中継地が座標(4.5, 5.8)の地点に立地したとき最も低く、28.2km(削減率68.7%)となった。

また総走行距離の削減率が、0%、20%、40%、60%となる中継地の位置をプロットすると、楕円状を描くことが明らかとなった。(図5)

(2) 中継地の位置による共同配送の効果

共同配送の総走行距離が、直送と等しい(削減率0%)中継地の位置は、図5の実線となった。つまり実線の内側に中継地が立地したとき、総走行距離が減少し、共同配送の効果がある。

また、総走行距離の等しい中継地の位置を示す曲線(等総走行距離線)も破線のようになった。この等総走行距離線が描くエリアは、削減率が高いほど小さくなることが明らかとなった。

5. 3 中継地の位置と総走行台キロの関係

(1) 中継地の位置の違いによる総走行台キロの変化

直送の総走行台キロは、90.0台kmとなった。

共同配送の総走行台キロが最も低い中継地の位置は、積載率にかかわらず、総走行距離

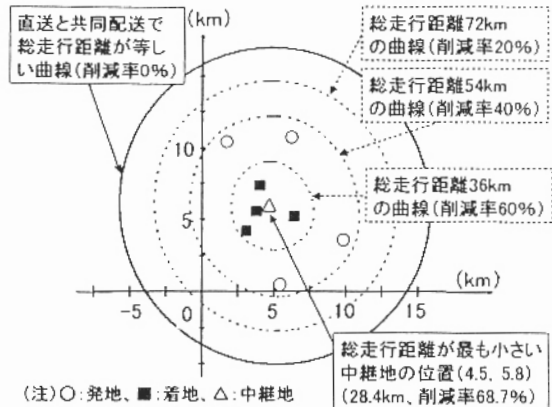


図5 直送と共同配送の総走行距離が等しい中継地の位置を示す曲線

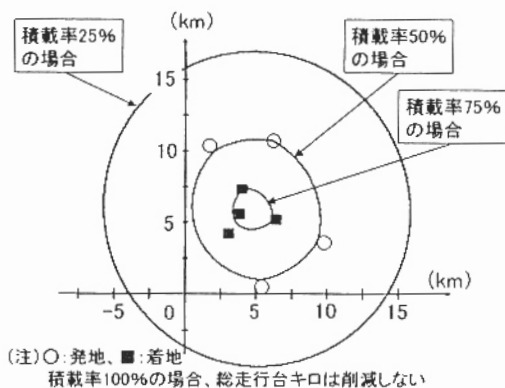


図6 直送と共同配送の総走行台キロが等しい中継地の位置を示す曲線

から算出した中継地の位置と同じであった。これは、各発地から出発する走行台数と、各着地への到着台数が同数となるように仮定したためである。

なお、共同配送の総走行台キロは、直送の場合の積載率が25%のとき28.2台km(削減率68.7%)、50%のとき56.4台km(削減率37.3%)、75%のとき84.6台km(削減率6.0%)となった。すなわち、総走行台キロは、直送の場合の積載率が低いほど減少する。

そして、積載率100%の場合は、129.5台kmとなり、中継地の位置に関わらず総走行台キロは増加する結果となった。

(2) 中継地の位置による共同配送の効果

共同配送の総走行台キロが、直送の場合と

等しい（削減率 0%）中継地の位置は、積載率ごとに図 6 の曲線となった。

この曲線の外側に中継地が立地したとき、総走行台キロが増加し、共同配送の効果が無い。また、内側に中継地が立地したとき、総走行台キロが減少し、共同配送の効果がある。

さらに、実線が描くエリアは、積載率が高いほど、小さくなり積載率が低いほど大きくなることが明らかとなった。（図 6）

6. 結論と今後の課題

6. 1 結論

本研究では、直送の場合と中継地を経由して配送する場合の総走行距離と走行台キロの変化を算出するための方法を示した。

さらに、共同配送を事例として総走行距離の等しい中継地の位置を示す曲線（等総走行距離線）描き、等総走行距離線が描くエリアは、削減率が高いほど小さくなることが明らかとした。

また、積載率別に直送の場合と総走行台キロが等しい中継地の位置を示した。そして、中継地の位置を示す線は、総走行距離同様曲線を描き、積載率が高いほど、曲線の描くエリアは小さくなることが明らかとした。

6. 2 今後の課題

今後は、中継地の数、中継地の規模、配送計画、在庫計画も考慮した中継地の配置計画を分析する必要がある。

また、発着地の分布の違いによる共同配送の効果も分析する必要がある。

このとき、ピストン配送の場合だけでなくルート配送の場合の分析方法の検討をしていきたい。さらに、走行台キロだけでなく、配送費用、中継地での施設費用と積み替え費用などを考慮した分析方法を検討していきたい。

参考文献

(1) 苦瀬博仁：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)、pp1-4、1992

(2) 高橋洋二：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)、pp15-16、1992

(3) 高田邦道：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)、pp17-18、1992

(4) 根本敏則：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、pp349-354、1992

(5) 家田仁、佐野可寸志、常山修治：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、pp247-254、1992

(6) 苦瀬博仁・久保幹雄・二階堂亮・管智彦：配送コストと施設コストにもとづく物流施設の最適数と最適位置のモデル分析、日本物流学会誌、No. 5、pp12-20、1996

(7) 高橋洋二・苦瀬博仁・兵藤哲朗・清水真人：物資流動調査にもとづく物流施設の整備効果に関するシミュレーション分析、国際交通安全学会誌、Vol. 21、No. 4、pp24-35、1996

(8) 岡部篤行・鈴木敦夫：最適配置の数理、朝倉書店、pp9-79、1992

(9) 苦瀬博仁：付加価値創造ロジスティクス、税務経理協会、pp190-194、1999