

---

投稿論文  
**Paper**

## 都市内物流に関するロジスティック費用と 顧客サービスのトレードオフ

### TRADE-OFF BETWEEN LOGISTIC COST AND CUSTOMER SERVICE FOR GOODS DISTRIBUTION IN AN URBAN AREA

松本昌二\*

By Shoji MATSUMOTO

This paper makes an analytical and empirical study of distributing items by trucks from a supplier to many customers located in a surrounding region. The total logistic cost of a supplier and customers is formulated and minimized to determine the optimal time between dispatches. Customer service must be simultaneously considered for logistics management and its factors are represented by both average lead-time and the time between deliveries to each customer. The empirical analysis of trade-off between logistic cost and customer service implies that a supplier tries to guarantee higher level of customer service than that achieved by total cost minimization. This is a feature of Just-in-Time distribution strategies.

*Keywords: urban goods movement, logistics, trade-off analysis*

#### 1. はじめに

本論文は、都市内の物資配送問題を扱っており、1軒の供給者からある圏域に立地する多数の顧客に物資を輸送する方法の決定について報告する。供給者とは卸売業、倉庫業等であり、顧客とは小売業、製造工場等である。

さて、サービス経済の中核は、大量生産方式のもとの大量消費システムから、少量多品種生産方式での選択的な消費パターンへの移行にあると考えられる。消費者のニーズは多様であるけれども、特定の消費者がほしい商品は限定されているので、小売業（本論文での顧客）の在庫が増える。そこで、顧客は「売れた（売れる）商品を、売れた数量だけ、売れた時刻に、売れた場所を持って来る」という Just-in-Time 物流を供給者に要求することになる。顧客サービスを改善することは、供給者にとってより多くの費用が生じることになるのは明白であり、ある水準に維持された顧客サービスを「最小の費用で」提供することが供給者のロジスティックス管理の目的である。

ここで、ロジスティックス (Logistics) とは、供給者から企業を通じて消費者に至るまでの、材料、部品、

完成品の移動・貯蔵を戦略的に管理する過程と定義される。まさに輸送のみならず、工場やデポの立地、在庫水準、資材管理および情報処理システムを対象とするものである。また「顧客サービス」とは、注文の物理的な遂行というかたちで顧客と供給者が接触するすべての点を含んだ概念であり、顧客サービスの諸要素は、リードタイムの長さ、配送の一貫性と信頼性、在庫サービス率、受注時刻の自由性、配送時刻とその柔軟性を含んでいる。企業の物流管理の分野では、1970年代後半より顧客サービスの要素間のトレードオフ、さらには顧客サービスと総費用のトレードオフを分析してロジスティックス管理を行うべきことが提唱されてきた<sup>5)</sup>。たとえば、顧客サービスの向上は市場占有率を増加させ、粗利益を増加させる。しかも、より少ない資産を使用することによって費用を節減し、資本を効率的に運営して資本利益率を上昇させることが、ロジスティックス管理の企業経営に及ぼす効果である。実際の物流機関選択についても、たとえば Bagchi *et al.*<sup>1)</sup>は、輸送時間やその信頼性といった顧客サービスが物流費よりも重要な要因であり、特に Just-in-Time 物流ではその傾向が強いことを明らかにしている。

一方、物資の集荷・配送問題については、1980年代に入り新しい分析モデルがカリフォルニア大学バークレ

\* 正会員 工博 長岡技術科学大学教授 工学部建設系  
(〒940-21 長岡市上富岡町 1603-1)

イのグループによって開発されてきた。Burns, Hall, Blumenfeld and Daganzo<sup>3)</sup>は、すべての顧客から一様に物資を集荷する場合について最適な配車頻度とストップ数を決定する分析モデルを開発した。彼らの開発したロジスティック費用関数を利用して発展させたのがHall<sup>9)</sup>, Daganzo and Newell<sup>8)</sup>, およびDaganzo<sup>6)</sup>らである。これらの研究は、集配送に伴う輸送費用と在庫費用のトレードオフを分析し、その和であるロジスティック費用を最小化することによって最適値を求めている。しかし、彼らは顧客サービスを全く考慮しておらず、ロジスティック費用と顧客サービスのトレードオフを検討していない。さらに、実証的研究を全く行っていない点も問題がある。著者は、すでにロジスティック費用とリードタイムのトレードオフ分析の考え方を提案したが<sup>1)</sup>、本研究は顧客サービスの要素とそのトレードオフ関係を明確にするとともに、実証的検討を行って発展させたものである。

そこで、本論文の目的は、配送問題におけるロジスティック費用と顧客サービスのトレードオフを検討するための方法を開発し、実際の卸売業の配送実績によってモデルの有効性を実証することである。なお本論文では、顧客サービスは、後述するモデル上の制約によりリードタイムと配送間隔の2つの要素で表現されると仮定する。そして、特にリードタイムを短縮するために、配送車はデポ（供給者）を出発後顧客の一部のみを周回して再びデポに戻ってくるという配送方法を導入する。

以下、2. では、供給者のロジスティック費用を定式化する。3. では顧客サービスの要素としてリードタイムと配送間隔を定義し、4. では顧客のロジスティック費用を定式化しうえで、供給者と顧客を含めた総ロジスティック費用を定式化する。5. では卸売業配送についてトレードオフの実証的検討を行い、6. では結論と今後の課題について述べる。

## 2. 供給者のロジスティック費用

1軒の供給者（デポ）から、その圏域に一様に分布する複数の顧客に向けて物資が配送されるものとする。この圏域はFig. 1に示すようにサブ圏域に分割されており、サブ圏域は1台の配送車によって担当される。

まず、Daganzo<sup>6)</sup>によって定義された輸送距離とロジスティック費用関数を導入する。顧客の分布密度を $\Delta_0$  (customers/km<sup>2</sup>)とし、各顧客は平均価額 $\pi$ (yen/item)の物資を受け取る。ここで、アイテムは物資量を表わす単位であり、各顧客が1回に注文する物資量を1アイテムとよび、供給者はすべての顧客へストップごとに、1アイテムの商品を配送するものと仮定する。配送密度 $\lambda$ を、週当たりkm<sup>2</sup>当たりアイテム (item/week・km<sup>2</sup>)

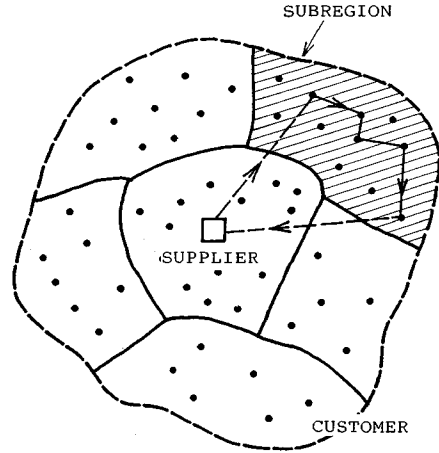


Fig. 1 Delivery region.

で表わすとすれば、顧客当たりの配送量は $\lambda/\Delta_0$  (item/customer・week)となる。

当分の間、配送車は一定の頻度でデポを出発し周回するとし、各サイクルごとに全顧客を訪問するものと仮定する。この配送方法は、配車間隔 $H$  (time between dispatches, weeks)とサブ圏域の面積 $a$  (km<sup>2</sup>)が決定されれば定義できる。そして、配送車の積載量を $L$  (items/cycle)とすれば、次式が成立する。

$$L = \lambda a H \dots\dots\dots (1)$$

配送距離は、顧客の数やその分布に依存するけれども、主として顧客密度 $\Delta_0$ と供給者から顧客までの平均距離 $\rho$  (km)によって決定できる。配送される物資のアイテム当たりの総輸送距離 $d$  (km/item)は次式で表わされる。

$$d = \frac{2\rho}{L} + k \frac{\sqrt{\Delta_0}}{\lambda H} \dots\dots\dots (2)$$

第1項は幹線（ステム走行）の部分であり、第2項は周回（ゾーン走行）の部分である。ゾーン走行部分の $k$ はルート係数とよばれ、Daganzo<sup>7)</sup>によって、顧客間を直線距離でみれば $k=0.57$ 、グリッド状の距離でみれば $k=0.72$ と報告されている。

週当たりkm<sup>2</sup>当たりの供給者のロジスティック費用 (yen/week・km<sup>2</sup>)は、 $H$ と $L$ を変数として次式で表わされる。

$$C_s = \alpha \lambda \left( \frac{2\rho}{L} + \frac{k\sqrt{\Delta_0}}{\lambda H} \right) + \lambda \pi I \frac{H}{2} + \frac{\lambda \pi I L}{2\nu} \left( \frac{2\rho}{L} + \frac{k\sqrt{\Delta_0}}{\lambda H} \right) \dots\dots\dots (3)$$

ここで、 $I$ は物資の価額当たり週当たりの在庫費用 (yen/yen・week)、 $\alpha$ はkm当たりの配送車の走行費用 (yen/km)、 $\nu$ は配送車の走行速度 (km/week)であ

る。

式(3)の第1項は輸送費用である。第2項はデポでの在庫費用である。すなわち、 $(H/2)$ は物資が供給者から出荷される前に待っている平均時間であり、 $(\pi H/2)$ はアイテム当たりの在庫費用である。第3項は配送物資の輸送中在庫費用であり、ここで $(dL/2\nu)$ は輸送に要する平均時間を表わす。

Daganzo<sup>9)</sup>によれば、式(3)の第3項について、人の移動を扱わない問題では $\alpha$ は通常 $(\pi IL/2\nu)$ よりもはるかに大きいので、 $(\pi IL\sqrt{\Delta_0}/2\nu H)$ の項は無視することができるとする。 $C_0$ は配送車の積載量 $L$ の減少関数であり、 $L=L_0$  ( $L_0$ は配送車の容量)のとき最小となるので、式(3)で $L=L_0$ とおき、 $H$ のみの関数として費用最小化を行っている。

しかし、配送車は常に満載しているとは限らず、むしろ積載量 $L$ は配送圏内の顧客需要によって決定されると考える方が現実的である。そこで、 $L$ を内生変数とみなして、圏域決定後に $L$ が容量 $L_0$ 以下にあることをチェックする方法を採用する。式(3)の第3項の $L$ に式(1)を代入すると、変数 $H$ は消去されて、第3項は定数となる。かつ、上述のように $\alpha$ は $(\pi IL/2\nu)$ よりもはるかに大きいので、第3項の値は第1項よりもはるかに小さく、無視することができる。

いままです配送車はデポ出発後サブ圏内の全顧客を周回すると仮定してきた。ここで、配送車はデポ出発後顧客の一部のみを周回し、デポに戻ってくるという配送方法を導入する。すなわち、配送車がデポを出発する時間間隔を配車間隔 $H$  (time between dispatches), 顧客に配送車が到着して物資を届ける時間間隔を配送間隔 $H_c$  (time between deliveries, weeks) とよべば、配送間隔を配車間隔よりも長くするわけであり、配送間隔は配車間隔の整数 $s$ 倍にすると仮定する。顧客からみれば、配送車がデポを出発するたびに物資を受け取るか、2回に1回か、3回に1回か、……、ということになる。この条件は、

$$H_c = sH \quad (s=1, 2, 3, \dots) \dots\dots\dots (4)$$

で表わされ、 $s$ を配送戦略変数とよぶ。

式(4)のもとで、配車、配送が行われる場合、サイクルごとに物資を受け取る顧客の分布密度(すなわち、配送車のストップ密度, customers/km<sup>2</sup>)を $\Delta$ とすれば、次式が成立する。

$$\Delta = \Delta_0 \frac{H}{H_c} = \frac{\Delta_0}{s} \dots\dots\dots (5)$$

この場合、式(3)の $\Delta_0$ をストップ密度 $\Delta$ に置き換え、第2項のみの $H$ は配送間隔 $H_c$ に置き換えて、第3項は無視する。そのうえで式(1)、(4)、(5)を代入すれば、供給者のロジスティック費用は次式で表わさ

れる。

$$C_s = \alpha \left( \frac{2\rho}{a} + k\sqrt{\frac{\Delta_0}{s}} \right) \frac{1}{H} + \lambda \pi I \frac{sH}{2} \dots\dots\dots (6)$$

配車間隔 $H$ と戦略変数 $s$ は相互に独立であるから、 $s$ を与件として $H$ に関して式(6)を微分すれば、最適な配車間隔が求まる。そこで、最適な配車間隔 $H^*$ は式(7)、最小ロジスティック費用 $C_s^*$ は式(8)で表わされる。

$$H^* = \left[ \frac{2\alpha \left( \frac{2\rho}{a} + k\sqrt{\frac{\Delta_0}{s}} \right)}{s\lambda\pi I} \right]^{1/2} \dots\dots\dots (7)$$

$$C_s^* = \left[ 2\alpha s\lambda\pi I \left( \frac{2\rho}{a} + k\sqrt{\frac{\Delta_0}{s}} \right) \right]^{1/2} \dots\dots\dots (8)$$

### 3. 顧客サービスの要素

顧客サービスの水準を表わす要素は、すでに述べたように種々あるが、Button and Pearman<sup>4)</sup>がいうように総合的な指標は平均リードタイムである。リードタイム(Lead-time)とは、顧客が発注してから商品を受け取るまでに必要とする時間である。顧客は、リードタイム中に在庫の品切れが生じないように発注量を決定するであろう。しかし、リードタイム中の商品需要が不確実であるために、供給者のロジスティック費用がたとえ増加するとしても、顧客はリードタイムの短縮を要求するであろう。

さて、前述の定義によるリードタイムを測定するためには、顧客の発注点と商品の配達時刻を知っていることが前提となるが、前者の発注点を調査することは非常に困難である。そのため本モデルにおいては、配車間隔 $H$ の間に一樣な配送需要が生じると仮定して、顧客の平均リードタイムは $H/2$ と中間地点の顧客までの走行時間の和であると近似する。すなわち、2.で述べた $H=H_c$  ( $s=1$ )の場合、顧客の平均リードタイム $T$ (weeks)は次式で定義される。

$$T = \frac{H}{2} + \frac{\rho}{\nu} + \frac{L}{2\nu} \frac{k\sqrt{\Delta_0}}{\lambda H} \dots\dots\dots (9)$$

リードタイム $T$ は、配車間隔、ステム走行時間、およびゾーン走行時間の3要素からなるが、式(9)の第1項が最も影響力の強い要因であり、リードタイムを短くするためには $H$ を小さくすることが必要である。

次に、2.の後半で述べたように、配送間隔 $H_c$ は配車間隔 $H$ の整数倍であり、式(4)が成立するものとする。式(9)の $\Delta_0$ を $\Delta$ に置き換えたうえで、式(1)と(5)を代入すれば、平均リードタイムは次式となる。

$$T = \frac{H}{2} + \frac{\rho}{\nu} + \frac{ak}{2\nu} \sqrt{\frac{\Delta_0}{s}} \dots\dots\dots (10)$$

ここで、 $s$ を2以上の整数とする戦略は、 $H=H_c/s$ で

もあるので、式 (10) の第 1 項と第 3 項が小さくなり、 $T$  を小さくする。しかし、一方では  $H_c$  が大きくなるおそれが生じ、これは顧客サービスの低下を意味するので、 $T$  と  $H_c$  の間にはトレードオフが存在する。したがって、 $H_c$  も顧客サービスを表わす重要な要素である。

結果として、顧客サービスの水準は式 (10) のリードタイム  $T$ 、および式 (4) の配送間隔  $H_c$  の 2 要素によって表現されると仮定する。これは、1. に述べた受注時刻の自由性、配送時刻とその柔軟性といった顧客サービス要素を軽視することを意味するのではない。むしろ、貨物車交通量の推定や流通拠点の配置を計画課題として配送問題をモデル化したとき、これら 2 要素が密接な関係をもってくるとを示している。

#### 4. 総ロジスティック費用とその最小化

##### (1) 顧客のロジスティック費用

供給者と顧客を含んだシステムについて総ロジスティック費用を定式化するために、まず顧客のロジスティック費用を検討する。

顧客へ物資が配送される時間間隔は  $H_c = sH$  であるから、一定の割合で届けられると仮定すれば、週当たり  $\text{km}^2$  当たりの顧客の在庫費用は  $\lambda\pi I (sH/2)$  で表わされる。

需要予測や配送時刻の不確実性を考慮すると、安全在庫費用を含めることが必要であり、Baumol and Vinod<sup>2)</sup> が開発したモデルを利用すると安全在庫費用は以下のように表わされる。まず、安全在庫量を決定する重要な要素はリードタイム中の在庫量の標準偏差であって、顧客の配送需要がポアソン分布に従うと仮定したうえでそれを正規分布で近似し、かつリードタイムも正規分布に従うと仮定すると、安全在庫費用は次式で表わされる。

$$\text{安全在庫費用} = \Delta_0 \pi I \cdot \beta \left[ (sH + T + \gamma\sigma_T) \frac{\lambda}{\Delta_0} \right]^{1/2} \dots\dots\dots(11)$$

ここで、リードタイム  $T$  は正規分布に従うと仮定しており、その標準偏差が  $\sigma_T$  であって、最も遅い 5% を無視できるとすれば、最長のリードタイムは  $(T + 1.96 \sigma_T)$  となることを示している。 $(\lambda/\Delta_0)$  は顧客当たり週当たりの配送量を表わす。 $\beta [ ]^{1/2}$  の部分は、顧客当たりの安全在庫量 (items/customer) を表わしており、もし品切れ確率が 1% になるように安全在庫の水準を設定するとすれば、 $\beta = 2.33$  となる。この安全在庫量に  $\Delta_0 \pi I$  を乗ずると、式 (11) は週当たり  $\text{km}^2$  当たりの顧客の安全在庫費用 (yen/week ·  $\text{km}^2$ ) を表わすことになる。

そこで、在庫費用と安全在庫費用の和として週当たり  $\text{km}^2$  当たりの顧客のロジスティック費用は次式で表わさ

れる。

$$C_c = \lambda\pi I \frac{sH}{2} + \Delta_0 \pi I \beta \left[ \left( \left( s + \frac{1}{2} \right) H + \frac{\rho}{\nu} + \frac{ak}{2\nu} \sqrt{\frac{\Delta_0}{s}} + \gamma\sigma_T \right) \frac{\lambda}{\Delta_0} \right]^{1/2} \dots\dots\dots(12)$$

ポアソン分布の仮定のもとでは  $\sigma_T$  は  $T/2$  であるから、そのように近似できる。しかし、 $\sigma_T$  の項やリードタイムの項は  $H/2$  を除いて無視できるとすれば、顧客のロジスティック費用は次式となる。

$$C_c = \lambda\pi I \frac{sH}{2} + \pi I \beta \left[ \left( s + \frac{1}{2} \right) \lambda \Delta_0 H \right]^{1/2} \dots\dots\dots(13)$$

##### (2) 総ロジスティック費用の最小化

供給者費用と顧客費用を加えた総ロジスティック費用は、式 (6) と (13) の和である。供給者と顧客を含めたシステムにおいて、戦略変数  $s$  を与件として最適な配車間隔  $H^{**}$  を求めるために、総費用関数を  $H$  で微分すると次式が得られる。

$$2\alpha \left( \frac{2\rho}{a} + k\sqrt{\frac{\Delta_0}{s}} \right) \frac{1}{H^{**2}} - \lambda\pi I \left[ 2s - \beta \left\{ \left( s + \frac{1}{2} \right) \frac{\Delta_0}{\lambda H^{**}} \right\}^{1/2} \right] = 0 \dots\dots(14)$$

式(14)より直接的に  $H^{**}$  を求めることができないので、

$$\beta^{**} = \beta \left[ \left( s + \frac{1}{2} \right) \frac{\Delta_0}{\lambda H^{**}} \right]^{1/2} \dots\dots\dots(15)$$

とおけば、式 (14) より次式が得られる。

$$H^{**} = \left[ \frac{2\alpha \left( \frac{2\rho}{a} + k\sqrt{\frac{\Delta_0}{s}} \right)}{\lambda\pi I (2s + \beta^{**})} \right]^{1/2} \dots\dots\dots(16)$$

すなわち、最適な配車間隔  $H^{**}$  を算出するためには、式 (7) の  $H^*$  の値を式 (15) の  $H^{**}$  に代入し、次に式 (16) と (15) を繰り返し使用すればよい。

供給者と顧客の総費用の最小値は、次式となる。

$$C_t^{**} = \left[ 2\alpha\lambda\pi I \left( \frac{2\rho}{a} + k\sqrt{\frac{\Delta_0}{s}} \right) \right]^{1/2} \frac{4s + 3\beta^{**}}{2\sqrt{2s + \beta^{**}}} \dots\dots\dots(17)$$

式 (17) は供給者と顧客の費用を含んでおり、分子のうち供給者分は  $(3s + \beta^{**})$  であり、顧客分は  $(s + 2\beta^{**})$  である。ここで、式 (17) は  $s$  の増加関数であり  $s=1$  のとき最小となる。

以上をまとめると、顧客のサービス水準を表わす要素は、リードタイム  $T$  と配送間隔  $H_c$  の 2 変数であり、 $T$  は式 (10) により、また  $H_c$  は式 (4) により、それぞれ配車間隔  $H$  と配送戦略変数  $s$  ( $s$  は正の整数) の関数として表わされた。一方、ロジスティック総費用  $C_t$  は、式 (6) と式 (13) の和であり、やはり  $H$  と  $s$  の関数である。そして、 $s$  を与件とすれば、式 (16) の最適値  $H^{**}$  において総費用  $C_t$  は式 (17) の最小値に達する。このように、 $C_t$  は陽的に  $T$  と  $H_c$  の関数として

示すことはできず、あくまでも  $H$  と  $s$  を媒介変数として  $T$  と  $H_c$  との関係を表現しているにすぎない。したがって、次節の実証的検討においては、 $H$  と  $s$  を媒介変数として、ロジスティック費用と顧客サービスのトレードオフを分析することとする。

5. 実証的検討

(1) 使用するデータ

貨物車による都市内物流やその旅行時間のデータを収集するために、宮城県仙台市において実態調査を行った<sup>10)</sup>。本論文では、仙台市東部の卸商団地に立地する食料品卸売業1事業所を供給者とみなし、その卸が使用する2トン積貨物車4~5台の4か月間(1984年2月から5月まで)の運行データを利用する。通常はある1日のサンプル調査データを使用するが、本検討のためには1事業所の長期間にわたる調査データが必要である。

卸売業の仙台市および周辺の配送圏域を Fig. 2 に示すが、都心部の圏域 A を南北の2つに分けて、サブ圏域

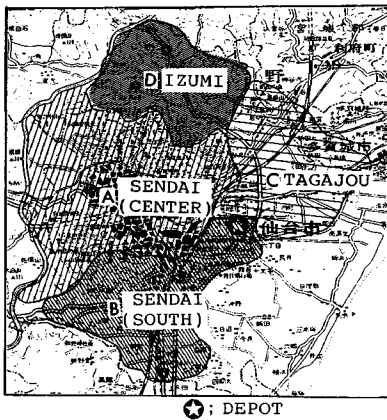


Fig. 2 Delivery region.

は  $A_1, A_2, B, C, D$  の5個とし、4~5台の貨物車が毎日2~3サイクルの配送を行っている。配送物資の平均重量は顧客1軒(1ストップ)当たり350kgであったので、この平均重量が1アイテムに相当する。

実態調査により得られた基礎データを、5個のサブ圏域別に集計したのが Table 1 の上半分である。配送需要(アイテム)は、ストップごとに顧客へ1アイテムの商品を配送したとして計算している。また配車間隔は、貨物車が1週間(7日間)に運行した平均サイクル数の逆数である。全圏域を対象とする平均配送間隔は  $H = 0.058$  週 = 0.41 日であり、これは約半分の手は1日に2サイクル、残り半分の手は1日3サイクルの配送を行ったことを示す。Table 1 の下半分は、サブ圏域ごとに算出した値を示すが、その前提条件は以下のとおりに設定した。

$$\pi = 100\,000 \text{ (yen/item)}$$

$$I = 0.24 \times 7 / 365 = 0.0046 \text{ (yen/yen} \cdot \text{week)}$$

$$\nu = 15 \text{ (km/h)} = 2\,520 \text{ (km/week)}$$

$$k = 0.7$$

$$\alpha = 140 \text{ (yen/km)}$$

$$\beta = 2.33$$

これら前提条件のうちで、物資の平均価額  $\pi$ 、走行費用  $\alpha$  は、ヒアリング調査によって得た実績値である。在庫費用  $I$  は、在庫管理のために年間に要する費用率(在庫商品の金額に対する費用率)が平均24%と公認されているので<sup>12)</sup>、これを週間の費用率に換算している。走行速度  $\nu$  は、週当たりのマクロな平均速度であるので、低めに設定している。ルート係数  $k$  は、すでに述べたように直線では  $k = 0.57$ 、グリッドでは  $k = 0.72$  と報告されており、現実の走行ルートはグリッドに近いので  $k = 0.7$  とする。 $\beta$  は、品切れ確率が1%になるように安全在庫を設定したときの値である。

Table 1 Actual attributes by subregion.

	Subregion $A_1, A_2$	B	C	D
$a$ : Area ( $\text{km}^2$ )	23	40	48	28
$\rho$ : Line-haul Distance (km)	4	4	6	8
Number of Customers	31	20	24	4
Delivery Demand	22	15	11	3
Number of Cycles (items/day)	3.14	1.69	1.27	1.85
(cycles/day)				
$H$ : Time b/w Dispatches (weeks)	0.061	0.061	0.054	0.054
$\Delta_c$ : Density of Customers (customers/ $\text{km}^2$ )	1.36	0.50	0.50	0.14
$\lambda$ : Delivery Density (items/ $\text{week} \cdot \text{km}^2$ )	6.69	2.83	1.93	0.75
$L$ : Size of Load (items/cycle)	6.86	8.86	8.66	1.62
$H_c$ : Time b/w Deliveries (weeks)	0.203	0.190	0.259	0.187
$H_c/H$ : Strategic Variable	3.3	3.1	4.8	3.5
$T$ : Lead-time (weeks)	0.034	0.034	0.032	0.031
$C_{min}$ : Min Total Cost (yen/customers $\cdot$ week)	2,960	3,820	4,060	14,800

Table 1により現実値をみると、配送間隔  $H_c$  は圏域によって多少差がみられるが、リードタイム  $T$  の差は小さい。総費用最小値  $C_{min}$  は、式 (17) で定義される最小値を顧客1軒当りに換算したものであり、圏域  $A_1, A_2$  では最小で、B, C では多少大きく、D ではきわめて大きい。圏域 D では、顧客密度と配送密度が小さいので1軒当たりの費用が大きくなっている。

(2) 配送方法の選択

Fig. 3は、サブ圏域  $A_1$  または  $A_2$  の戦略変数  $s=1$  の場合について、 $H$  と  $s$  を媒介変数として得られるリードタイムとロジスティック費用の関係を表わしている。供給者費用が最小となるのは  $T=0.169$ (weeks) のときであり、顧客費用は供給者費用の約3倍近くになっている。一方、総費用が最小となるのは  $T=0.0752$ (weeks) のときであり、供給者費用最小の点と比較して供給者費用の増加はわずかであるが、顧客費用は約4割減少している。実際の配送は  $T=0.0341$ (weeks)、総費用  $C=4028$ (yen/week  $\cdot$  km<sup>2</sup>) で行われており、供給者は総費用最小化よりも高い顧客サービスを提供しているので、少なくとも供給者費用よりも総費用の最小化を1つの評価基準として意思決定していることがわかる。供給者は、顧客を含めたトータルシステムの最適化を図った方が顧客数を増やし売上高を増加できると、費用対効果のトレードオフを判断していると理解できる。

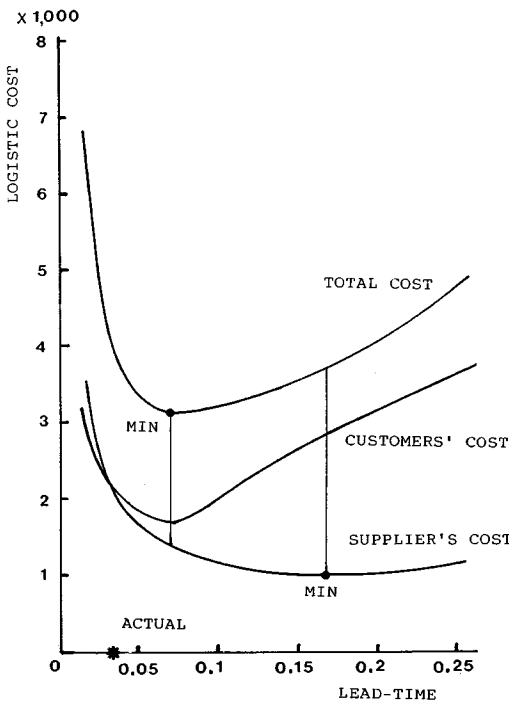


Fig. 3 Lead-time vs. cost.

次に、Fig. 4は、同じサブ圏域  $A_1$  または  $A_2$  の戦略変数  $s=1, \dots, 4$  の場合について、リードタイム  $T$ 、配送間隔  $H_c$ 、および総費用  $C$  の関係を表わす。なお、図を見やすくするために  $T$  のスケールは  $H_c$  のスケールの5倍にしてある。まず、 $s=1$ 一定のもとで  $C$  が最小となる点が存在し、その最小点は  $s=1$  から  $s=4$  へ変化するにつれて  $T \rightarrow$  小,  $H \rightarrow$  小,  $H_c \rightarrow$  大,  $C_{min} \rightarrow$  大と変化する。次に、 $s=1, C_{min}$  の点より  $s=1$  の総費用曲線に沿って  $T \rightarrow$  小 ( $H \rightarrow$  小) と変化すると、 $H_c \rightarrow$  小,  $C \rightarrow$  大と変化する。そこで、 $s=1$  の総費用曲線に沿って  $T \rightarrow$  小と進むと、 $s=2$  の総費用曲線と交わる点があり、 $s=1$  か  $s=2$  の選択決定のためには  $T$  と  $H$  と  $H_c$  のトレードオフを勧奨することが必要である。具体的には、総費用  $C$  は同じであっても、 $T$  は  $s=1$  より  $s=2$  の方が小さく、反対に  $H_c$  は  $s=1$  より  $s=2$  の方が約2倍大きい。

上述の検討を整理すると、 $s=1, C_{min}$  の点よりもさらに  $T$  を減少させるためには、基本的には以下の2つの方法が存在する。

- ①  $s=2, 3, \dots$ と増加させ、総費用最小化をはかる。この場合、 $H \rightarrow$  小,  $T \rightarrow$  小と変化するが、 $H_c \rightarrow$  大,  $C_{min} \rightarrow$  大と変化する。
- ②  $s=1$ 一定のもとで、 $H \rightarrow$  小,  $T \rightarrow$  小とさせる。この場合、 $H_c \rightarrow$  小,  $C \rightarrow$  大と変化する。

いずれの方法を選択するかは、 $T, H_c$ 、および  $C$  のトレードオフを勧奨して決定することになるが、 $s$  はサ

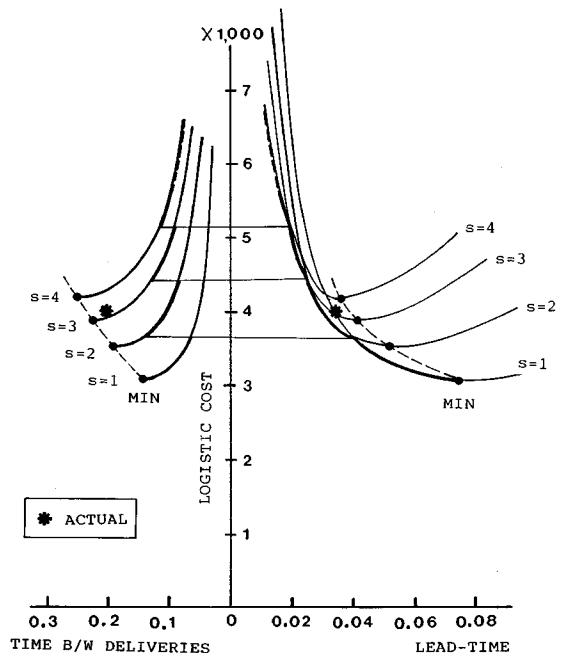


Fig. 4 Customers' service vs. cost.

ブ圏域に立地する顧客数の  $1/s$  ずつに配送することを意味するため、基本的な戦略変数といえよう。また、 $H_c$  や  $C$  にかかわらず  $T$  を最小にする点は、Fig. 4 の太線に示すような包絡線となる。

(3) トレードオフ分析

5 個のサブ圏域について、計算値と現実値に関するトレードオフ比を算出して配送方法決定の分析を試みる。Table 2 の上半分は、 $s=1$ 、および現実の  $s$  に近い  $s=3$  (圏域 C のみは  $s=4$ ) の場合について総ロジスティック費用を最小化した計算値を表わしている。そして、下半分は、3 種類の変化に関するトレードオフ比を表わしており、①は  $s=1$ 、 $C_{min}$  から現実値への変化、②は  $s=1$ 、 $C_{min}$  から  $s=3$  または  $4$ 、 $C_{min}$  への変化、③は  $s=3$  または  $4$ 、 $C_{min}$  から現実値への変化である。すなわち、①の変化を②と③に分解したわけであり、その理由は (2) に述べた配送方法の選択肢と対応させるためである。

①の変化をみると、トレードオフ比の符号が圏域 D とその他で異なっており、圏域 D を除いてもトレードオフ比の値はばらつきが大きい。

②の変化をみると、トレードオフ比の符号は各圏域で同じであり、 $C$  と  $H_c$  の増加を犠牲にして  $T$  の短縮をはかったことになる。トレードオフ比の値は、圏域 D を除いて安定しており、 $\Delta C/\Delta T \approx 17,000$ 、 $\Delta C/\Delta H_c \approx 6,000$  である。変化の幅は、やはり圏域 D を除いて相対的に大きい。

③の変化をみると、トレードオフ比の符号は各圏域で同じであり、 $T$  と  $H_c$  の短縮をはかったことになる。特に、圏域 D ではトレードオフ比と  $\Delta C$  が相対的にきわめて大きく、 $s=3$  とほぼ一定で顧客サービスを維持するために費用を投入したことになる。

以上の分析結果をまとめると、圏域  $A_1$ 、 $A_2$ 、B のよ

うに顧客密度や配送密度が高い場合は、 $s=3$  程度で総費用の最小化をはかることにより、 $H_c$  の多少の増加を犠牲にして  $T$  を短縮させている。一方、圏域 D のように顧客密度や配送密度が低い場合は、 $s=3$  程度で総費用最小化するだけでは顧客サービスを同水準に保つことができないため、 $s$  一定でさらに費用を投入する必要がある。トレードオフ比  $\Delta C/\Delta T$  は、 $\Delta C/\Delta H_c$  よりも安定しており、オーダー的にみて  $\Delta C/\Delta T = 20,000$  (yen/week<sup>2</sup>・customer) が限界的なリードタイムの時間価値として求めたが、本事例に限られたものであり断定することはできないと考える。

(4) 圏域設定の検討

圏域 A を対象として配送圏域や配送方法の設定の仕方によって顧客サービスと費用がどのように変化するかを検討し、トレードオフ分析が圏域設定に利用できることを示す。圏域 A の全顧客に 1 台の貨物車で配送するには貨物車容量が不足するために、前述の分析では 2 つのサブ圏域  $A_1$ 、 $A_2$  に分割したが、この方法を含めて以下のような 3 つの配送方法が考えられる。

- ① 圏域 A を 2 つのサブ圏域  $A_1$ 、 $A_2$  に分割して、それぞれ独立に 2 台の貨物車を運行する。
- ② 圏域 A を分割せずに、貨物車 2 台を用意し、同一の時刻・ルートで運行する。
- ③ 圏域 A を分割せずに、貨物車 2 台を用意するが、各車は異なる時刻・ルートで運行し、均一に分布する 1/2 の顧客を担当する。

各ケースについて戦略変数  $s=3$  として、総費用最小化を行うと Table 3 のとおりである。顧客 1 軒当たりの総費用は①が最小であるので、①を基準としてトレードオフによって他のケースを比較検討してみよう。①と②を比較すると、トレードオフ比の符号は妥当であるが、その値は、Table 2 と比較して非常に大きく、顧客サー

Table 2 Trade-off analysis by subregion.

		Subregion $A_1, A_2$	B	C	D
$s=1$	$H_c$ : Time b/w Deliveries (=H)(weeks)	0.140	0.181	0.214	0.416
	$T$ : Lead-time (weeks)	0.0752	0.0959	0.114	0.213
	$C_{min}$ : Min Total Cost (yen/customer・week)	2,270	2,800	2,550	4,990
$s=3$ or 4	$s$ : Strategic Variable	3	3	4	3
	$H$ : Time b/w Dispatches (weeks)	0.0757	0.0963	0.0990	0.245
	$H_c$ : Time b/w Deliveries (weeks)	0.227	0.289	0.396	0.734
	$T$ : Lead-time (weeks)	0.0415	0.0520	0.0543	0.126
	$C_{min}$ : Min Total Cost (yen/customer・week)	2,870	3,540	3,520	7,060
①	$\Delta C$	690	1,020	1,510	9,810
	$\Delta C/\Delta T$	$\Delta 16,800$	$\Delta 16,600$	$\Delta 18,300$	$\Delta 54,000$
	$\Delta C/\Delta H_c$	11,000	110,000	33,300	$\Delta 42,900$
	$\Delta C$	594	744	968	2,070
②	$\Delta C/\Delta T$	$\Delta 17,800$	$\Delta 16,900$	$\Delta 16,200$	$\Delta 24,000$
	$\Delta C/\Delta H_c$	6,820	6,880	5,310	6,520
③	$\Delta C$	96	280	538	7,740
	$\Delta C/\Delta T$	$\Delta 13,000$	$\Delta 15,800$	$\Delta 23,800$	$\Delta 81,200$
	$\Delta C/\Delta H_c$	$\Delta 4,000$	$\Delta 2,830$	$\Delta 3,920$	$\Delta 14,100$



Table 3 Alternatives for subregion A.

	Alternatives		
	①	②	③
H : Time b/w Dispatches (weeks)	0.0757	0.0657	0.0855
Hc: Time b/w Deliveries (weeks)	0.227	0.197	0.257
T : Lead-time (weeks)	0.0415	0.0387	0.0473
Cmin : Min Total Cost (yen/customer · week)	2,870	5,210	3,120
L : Size of Load (items/cycle)	11.4	9.9	12.9
$\Delta C/\Delta T$	---	$\Delta 834,000$	42,200
$\Delta C/\Delta Hc$	---	$\Delta 77,900$	8,170

ビスの改善が少ないわりには費用増加が著しいことが明白である。次に①と③を比較すると、費用、サービスともに①が優れている。したがって、圏域Aを2つのサブ圏域に分割するケース①が最も望ましい方法といえる。

## 6. 結 論

本論文では、貨物車による都市内物流に関して分析方法の提案とその実証的検討を行ったが、その結果をまとめると以下のとおりである。

(1) 供給者がある圏域に分布する複数の顧客に物資を配送する問題について、供給者と顧客を1つのシステムとみなして両者の総ロジスティック費用を定式化する。一方、顧客サービスの要素は、リードタイムと顧客への配送間隔であり、主にリードタイムを短縮するために配送間隔を配車間隔の整数倍(戦略変数  $s$ )とする方法を導入する。そのうえで、総ロジスティック費用と顧客サービスのトレードオフ分析によって配送圏域や配送方法を決定するというアプローチを提案した。

(2) 上述のトレードオフ分析方法を卸売業の配送実績に適用し、総ロジスティック費用と顧客サービスのトレードオフによって配送方法が決定されていることを実証し、トレードオフ分析の有効性を明らかにした。

(3) 事例として検討した食料品卸売業については、 $s=1$ で総費用最小化をはかっているのではなく、主にリードタイムを短縮するために  $s=3\sim 4$  で総費用最小化をはかり、場合によってはさらに総費用の増加を許して配送間隔の短縮をはかっている。すなわち、総ロジスティック費用の増加をある程度犠牲にしても顧客サービスを重視する配送戦略を選択していることがわかった。

さて、本分析方法は、実証的検討からわかるように、対象は1事業所に限定されている。しかし、都市内事業所をいくつかに類型化し集計することによって、都市内物流全体を取り扱うことも可能であると考え。Just-in-Time物流の普及が貨物車交通量に与える影響を推定する方法、あるいは公共的に整備する流通拠点の圏域設定や配置を検討する方法に発展させることが、今後の課題である。

最後に、本研究は地域学会太平洋大会で発表した論文<sup>11)</sup>を基礎にしている。同論文に対してカリフォルニア大学パークレーのDaganzo教授、Cervero教授のコメントをいただいた。ここに記して謝したい。

## 参 考 文 献

- 1) Bagchi, P. K., Raghunathan, T. S. and Bardi, E. J. : The implications of just-in-time inventory policies on carrier selection, Logistics and Transportation Review, Vol. 23, No. 4, pp. 373~384, 1987.
- 2) Baumol, B. J. and Vinod, H. D. : An inventory theoretic model of freight transport demand, Management Science, Vol. 16, No. 7, pp. 413~421, 1970.
- 3) Burns, L. D., Hall, R. W. and Blumenfeld, D. E. : Distribution strategies that minimize transportation and inventory costs, Operations Research, No. 3, pp. 469~490, 1985.
- 4) Button, K. J. and Pearman, A. D. : The economics of urban freight transport, Macmillan, 1981.
- 5) Christopher, M. (阿保栄司 訳) : ロジスティックス時代の物流戦略, 日本物的流通協会, pp. 12~17, 28, 52~54, 1986.
- 6) Daganzo, C. F. : Supplying a single location from heterogeneous sources, Transportation Research, Vol. 19 B, No. 5, pp. 409~419, 1985.
- 7) Daganzo, C. F. : The distance traveled to visit  $N$  points with a maximum of  $C$  stops per vehicle : An analytic model and an application, Transportation Science, Vol. 18, No. 4, pp. 331~350, 1984.
- 8) Daganzo, C. F. and Newell, G. F. : Physical distribution from a warehouse : Vehicle coverage and inventory levels, Transportation Research, Vol. 19 B, No. 5, pp. 397~407, 1985.
- 9) Hall, R. W. : Determining vehicle dispatch frequency when shipping frequency differs among suppliers, Transportation Research, Vol. 19 B, No. 5, pp. 421~431, 1985.
- 10) 松本昌二 : 到着時刻の指定された都市内交通行動に関する研究, 東京大学学位論文, 1986.
- 11) Matsumoto, S. : Dispatch frequency and reliability of lead-time for goods distribution in urban areas, 10th Pacific Regional Science Conference, 1987.
- 12) 南川利雄 : 倉庫論, 同文館, p. 141, 1980.

(1988. 10. 28 · 受付)