

デポの最適配置

—輸送効率向上を目ざして—

荒 木 勉

1. はじめに

企業にとって物的流通は重要な活動の1つである。生産現場に対して、I Eの手法を駆使して作業効率向上を目ざしてきた企業では、その後領域を広げて、自社の製品を顧客の手までいかにして効率よく運び、経費を節減するかということを重要な経営戦略としてとりあげるようになった。

ところが、最近大都市では交通量が急速に増加し、それが各所で交通渋滞をひきおこし、輸送効率が低下してきている。そのため、大型トラックを昼間だけ通行禁止にする規制さえ行なわれるようになった。しかし、一方では生産システムに合わせた納品体制のために小型トラックの数が増加したということもあって、都市部の交通渋滞はいっこうに解消されない。そのうえ、石油エネルギーの不足問題、自動車の排気ガスや騒音などの公害防止問題などが発生して、輸送の合理化は真剣に考えられなければならない状況である。

このような環境に対して、個別企業の努力だけでは限度があり、その対応策の機能を十分に発揮することはできない。そこで、共同輸送システムが解決策の1つとして考えられ、この導入によって合理化をはかるうということになってきた。

共同輸送システムにはさまざまな方式が考えら

れるが、図1に示すように「荷主共同型」と「運送業者共同型」の2つに大別される。

共同輸送システムを導入することによって、大都市における交錯輸送や重複輸送をなくし、小口貨物をロットにまとめて車両の積載率を向上させ運輸業務の簡略化による経費節減、輸送経路の簡素化によるコストの低減化、社会的にも交通渋滞の解消などが達成できるというメリットがある。

このシステムを導入する場合、多数の顧客への輸配送に対して、最も少ない車両で、効率のよいルートを通り、しかも、サービス水準を満足させるものとすべきである。

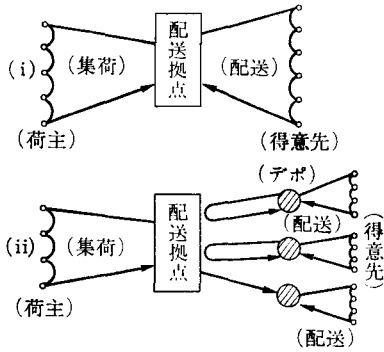
今まで輸配送計画は、デポと顧客の位置さえ与えられれば、そのデポが最適立地点に位置しているか否かにかかわらず、それを前提にして計画が進められることが多かった。言い換えると、輸配送計画とデポの立地計画との相互依存関係を無視し、それぞれ独立したものとして立案されていたように思われる。

そこで、本論文では輸配送計画とデポの立地計画を一体として考え、最も効率的な輸配送が可能となるようなデポの数とその位置、およびそれぞれのデポのテリトリーを決定する方法について検討してみた。

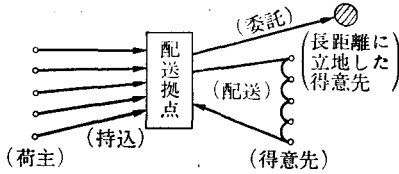
2. デポの最適配置

デポの立地問題について、従来から数多くの研

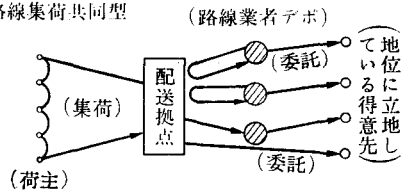
(a) 集荷配送共同型



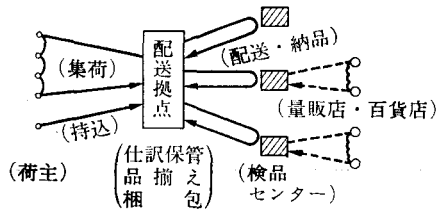
(b) 配送共同型



(c) 路線集荷共同型

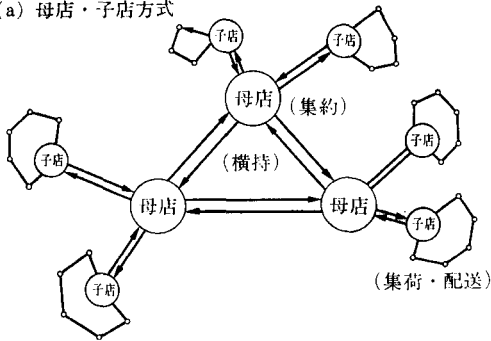


(d) 共同納品代行型

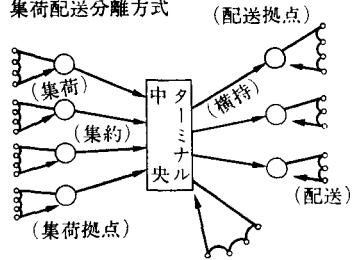


(1) 荷主共同型

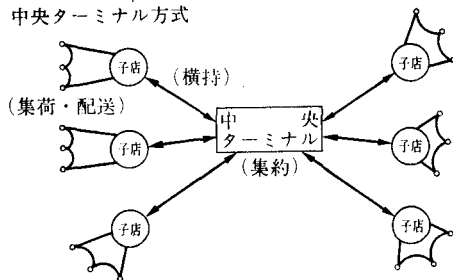
(a) 母店・子店方式



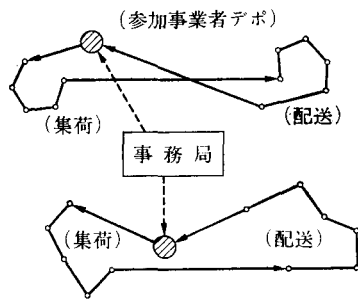
(c) 集荷配送分離方式



(b) 中央ターミナル方式



(d) 共同受注・共同配車方式



(2) 運送業者共同型

図 1 共同輸送システム

究がなされている。対象地域内の任意の地点にデポを立地する場合、重心法の応用が考えられている。また、デポの立地候補地が与えられている場合には、整数計画法やポーモル・ウォルフの方法、反町氏の方法などが適用できる。

ここでは、個々の顧客に対する配送や集荷が最も効率的になるような輸配送計画ができるようにデポを配置するためのアルゴリズムについて論ずる。

輸配送計画とデポの配置を決定することによっ

て最適輸配送計画システムを設計するためのアルゴリズムを図2に示す。

まず、モデルを作成するために、次のような諸条件を設定することが必要である。

- 対象業種
- 対象地域：南北 x ，東西 y (km)
- デポ候補地： $D_j(j=1, 2, \dots, n)$
- 集配先(顧客)： $M_i(i=1, 2, \dots, m)$
- デポの位置： $D_{x,y}$
- 集配先の位置： $M_{x,y}$
- 集配先の物量：
 - a) 総物量： $Q_M(\text{kg})$
 - b) デポ別物量： $Q_{ij}(\text{kg})$
- 使用車両
- 車両の平均走行速度： $V(\text{km/h})$
- 積卸し時間： $T(\text{min/回})$
- 集配時間の制限： $H(\text{hour})$

これらの諸条件を踏まえてシミュレーションを行なって、ヒューリスティックにデポの最適立地点を求めようとするものである。具体的な処理過程について説明する。

- (1) デポの数 r を設定する。
- (2) デポ候補地 n カ所から r カ所を選定する。デポの位置を設定することになるが、それは nCr 通り存在する。
- (3) 取扱い物量 Q_i を設定する。

あらかじめ予測しておいた物量から平均 μ_i と標準偏差 σ_i を算出し、安全係数 a の選定によって各集配先の物量を設定する。

$$Q_i = \mu_i + a \cdot \sigma_i$$

- (4) デポのテリトリーを決定する。

まず、各集配先 M_i と各デポ D_j との距離を計算する。集配先の位置を (x_i, y_i) ，デポの位置を (x_j, y_j) ，集配先からデポまでの距離を d_{ij} とすれば、

$$d_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}$$

となる。この計算結果を次の式に代入して、デポのテリトリーを決定する。

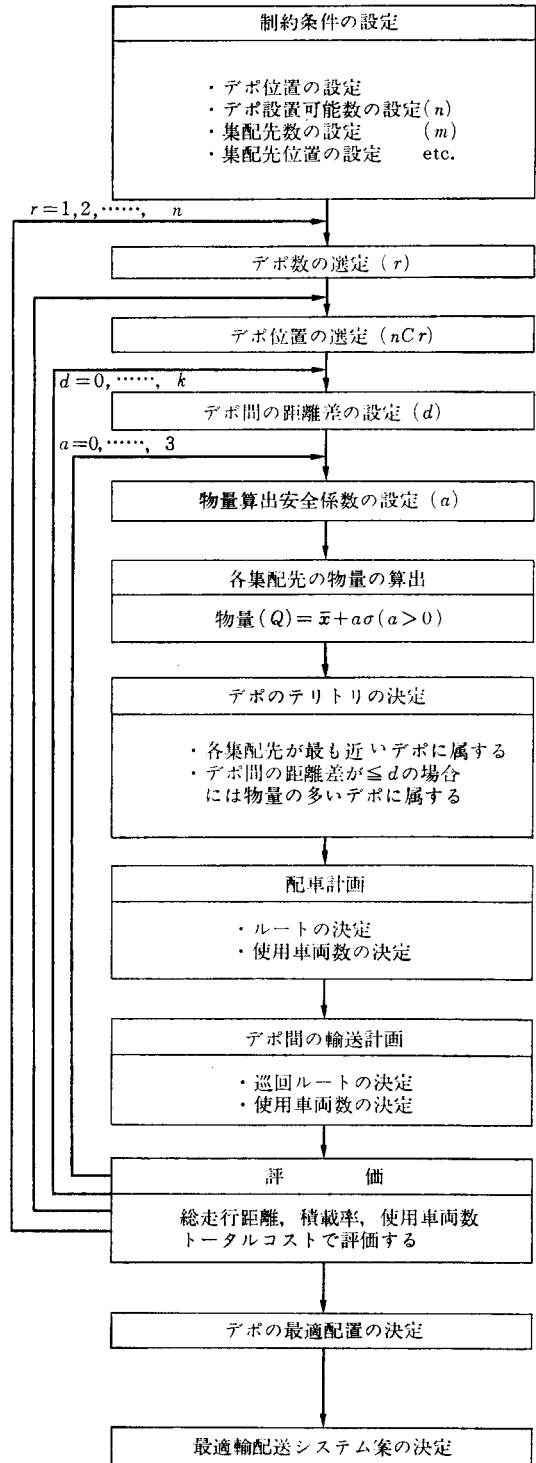


図2 最適輸配送システム設計フロー

$$D_j \ni \{M_i | \text{Min}_{i=1,2,\dots,m} (d_{ij}) \quad j=1,2,\dots,n\}$$

ただし、 d_{ij} の差があらかじめ設定しておいた定数 d よりも小さい場合には、物量の多いデポに属することにする。

$$D_j \ni \{M_i | \text{Max}_{i=1,2,\dots,m} (Q_{ij}) \quad j=1,2,\dots,n\}$$

(5) 配車計画を行なう。

使用可能な車両台数や積卸し時間、車両の走行速度、運行時間の制限を満足して、集配先を巡回するルートに“セービング法”によって求める。この時、使用車種とその台数もあわせて求める。

(6) デポ間輸送計画を行なう。

“ブランチ・アンド・バウンド法”を用いて、すべてのデポを最短距離で巡回するルートを求める。ただし、各デポから発生する物量が異なり、巡回する順序によって車両の積載量が違ってくる。そこで、積載量のバラツキが最も小さくなるような発着順を見つけることが必要となってくる。そのため、次のような処理を行なう。

a) 各デポの処理物量において、デポ x_i からデポ x_j への月平均物量 μ_{ij} と標準偏差 σ_{ij} を用いてデポ間輸送物量 Q_{ij} を算出する。

$$Q_{ij} = \mu_{ij} + a' \cdot \sigma_{ij}$$

b) 巡回ルートの中のデポ x_i から出発した場合に x_i から l 番目のデポへゆく時の積載量 QLu は、

$$QLu = \left\{ \left[\sum_{j=1}^m Q_{ij} - Q_{il} \right]_{i=1,2,\dots,t} \right\}_{l=1,2,\dots,m-1}$$

となる。

c) 各ルートの車両の最大積載量 R_i を求める。

$$R_i \ni \text{Max} \{QLu\}_{l=1,2,\dots,m-1}$$

d) 同様にして逆方向の発着順における車両の最大積載量 R'_i を求める。

e) すべてのデポを出発点として b)~d) を繰返して、車両の最大積載量が最も小さくなるルートを選定する。

$$RR_i \ni \text{Min} \{R_i \cap R'_i\}_{i=1,2,\dots,m}$$

(7) 輸配送システムの評価を行なう。

使用される車両の総台数、総走行距離、平均積載率および総コストを算出する。

(8) 輸配送効率が最も高くなるようなデポの最適配置を決定して、最適輸配送システムを完成させる。

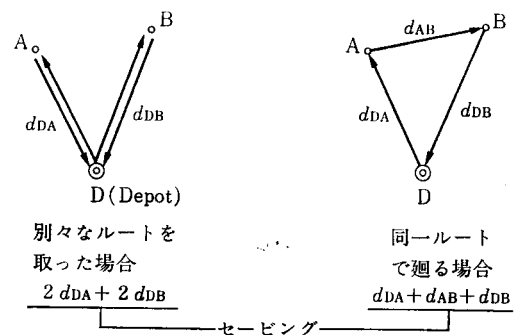
3. セービング法とは

与えられた輸配送ネットワーク内のすべての点を回ってくる最短経路を求めるための手法として、ダイナミック・プログラミング法、セービング法、 r -optimal 法、スウィープ法あるいはブランチ・アンド・バウンド法などがある。この中で、セービング法は IBM 社のプログラム・パッケージである「VSP」として広く世に知られている。そして、たとえば清浄飲料水関係の会社で実用化され、その効果をあげている。

このセービング法は、1946年に G. Clarke と J.W. Wright によって開発された実用上で効果をあげ得る手法である。

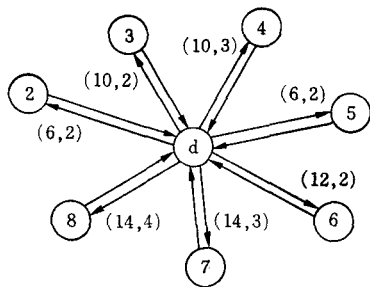
セービング (Saving) とは、ある配送先を回るとき、デポ D から配送先 A にゆき、ついでデポにもどってから配送先 B にゆく方法と、デポから配送先 A と B を続いて巡回してもどってくる方法との間に生ずる距離あるいは時間の差のことである。図 3 のように、配送先 A と B とを別々のルートで回った場合と同一のルートで回った場合に対するセービング $S(A, B)$ は次のように表わされる。

$$S(A, B) = d(D, A) + d(D, B) - d(A, B)$$



$$S(A, B) = d_{DA} + d_{DB} - d_{AB}$$

図 3 セービングの概念



④：デポ
②～⑧：配送先
(配送距離, 配送量(トン))

* ルート数：7
* 総配送距離：72

セービング表

⑦—⑧	11	使用可能車両	10トン車：1台
⑥—⑦	10		8トン車：1台
②—⑧	6		2トン車：1台
⑤—⑥	6		
③—④	6		
⑤—⑦	5		
②—③	4		
④—⑥	2		
④—⑤	1		

図4 初期状態

N 個の配送先を有するネットワークにおいて、このセービングの数 P は、

$$P = N(N+1)/2$$

となる。たとえば、配送先の数が1000であれば、 P の値は500500となる。

セービングによるルートの結合方法を簡単なモデルを用いて説明する。

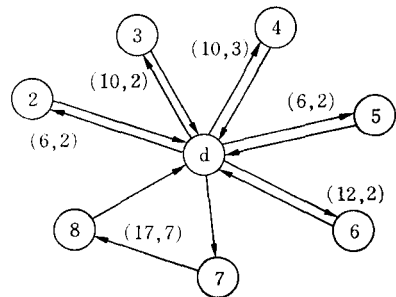
図4に示すようにデポDと配送先が7カ所存在し、セービング・ファイルが用意されているとする。

まず、セービング値の最も大きいものを選び出してルート数を減少する。図5-1)のように、配送先⑦と⑧を結合し、その物量が7トンであるから8トン車で回る。セービング値が次に大きい⑥と⑦を結合する。この場合、物量が9トンとなるために10トン車に変更する。

このような手続きを繰返し、図5-3)のような配送ルートを得る。

コンピュータ・メーカー各社では、このセービング法を用いるためのプログラム・パッケージを用意している。IBM の VSPX (Vehicle Scheduling Program-Extended)、富士通の VSSX

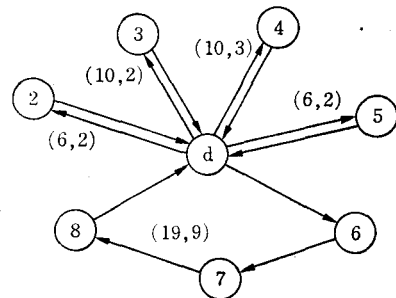
1) 結合1



* ルート数：6
* 総配送距離：61

⑦と⑧を廻るルートの配送距離は次の式から導かれる。
 $14(\text{⑦を廻るルート}) + 14(\text{⑧を廻るルート}) - 11(\text{⑦⑧のセービング値}) = 17$

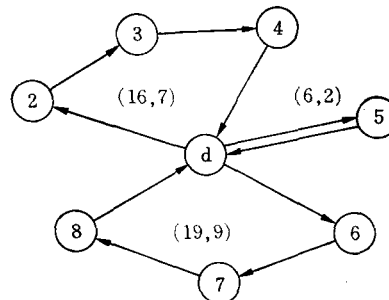
2) 結合2



* ルート数5
* 総配送距離：51

⑥⑦⑧を廻るルートの配送距離は次の式から導かれる。
 $17(\text{⑦⑧を廻るルート}) + 12(\text{⑥を廻るルート}) - 10(\text{⑥⑦のセービング値}) = 19$

3) 最適ルート



* ルート数：3
* 総配送距離：41

④—⑥—⑦—⑧—④のルートには10トン車
 ④—②—③—④—④のルートには7トン車
 ④—⑤—④のルートには2トン車が割り当てられる。

図5 セービングによるルートの結合

(Vehicle Scheduling System-Extended), ユニバックの ROOT(Route Organization and Optimization Technique) などがある. 各社のプログラムの機能は多少異なるが, 基本的には次のような機能を有している.

- 配送先の優先度の指定
- 運行時間の制限の指定
- 車両の平均速度の指定
- 一方通行路の処理
- 最大積載量と車両番号の指定
- 配送先別の到着時刻の指定
- 積載量単位の二重(重量と容量)の指定
- 仕切り車, タンクローリ車などの処理
- ルート毎の最大配送回数の指定
- 配送先の所要作業時間の指定

4. シミュレーション

わが国の代表的な電子・通信機器メーカーであるN社の物流専門会社の集荷システムのデータを用いてシミュレーションを実施した.

シミュレーションに際して, まず, 集荷先の物量を見積る作業から始めた. 共同集荷システムを導入すればそれぞれの集荷先から出荷される物量は平準化され, その分布はほぼ正規分布にしたがうものと考えられる. また, 各集荷先から各デポへの物量の割合は一様分布にしたがうと仮定し, 各集荷先の物量を次のような手順で求めることにした.

- (1) 集荷先の1カ月の平均物量 μ_i と標準偏差 σ を設定する.
- (2) 一様乱数 U_i を使って, 標準正規分布にしたがう n 個の乱数 Z_i を作成する.

$$Z_i = \frac{(\sum_{j=1}^n U_j/n) - 1/2}{\sqrt{1/12 \cdot n}}$$

- (3) 標準正規乱数 Z_i と平均物量 μ_i , 標準偏差 σ_i を用いて, 日々の出荷物量 Q_i を予測する.

$$Q_i = \mu_i + Z_i \cdot \sigma_i$$

- (4) 集荷先 i からデポ k への物量 Q_{ik} は,

$$Q_{ik} = Q_i \cdot (U_k / \sum_{k=1}^m U_k)$$

$$\text{ここで } Q_i = \sum_{k=1}^m Q_{ik}$$

となる.

次に, 必要な諸条件を設定した. 対象地域を関東圏の 50×50 (km) とし, デポを立地することの可能な地点としてN社の6カ所の工場を候補にあげることとした. また, 集荷先の数を50カ所とし, その位置は一様乱数を用いて設定した. さらに, 車両の平均走行速度を20km/時とし, 積卸し時間を10分/回, 運行制限時間を4時間とした.

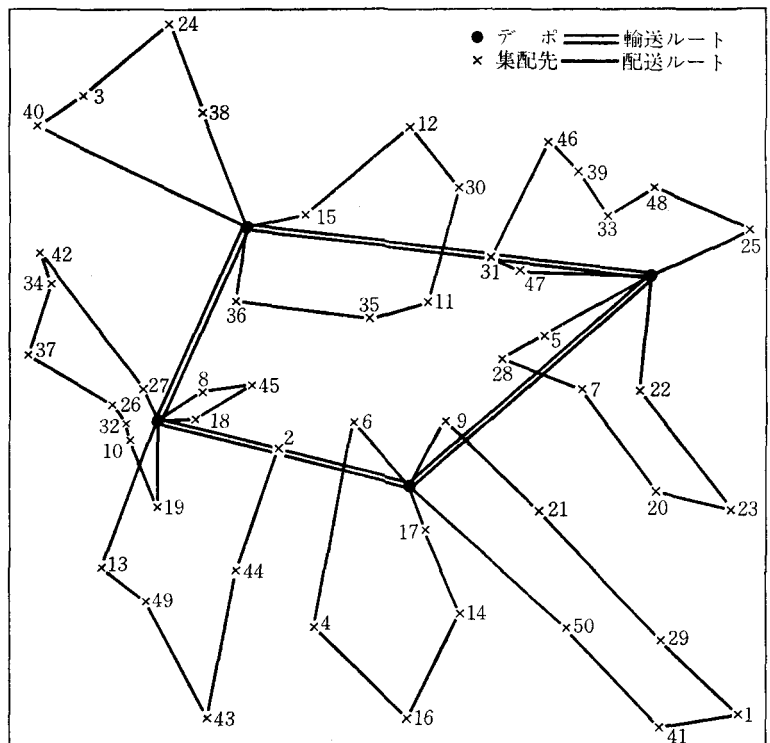


図6 デポ数4の場合(巡回距離最小)

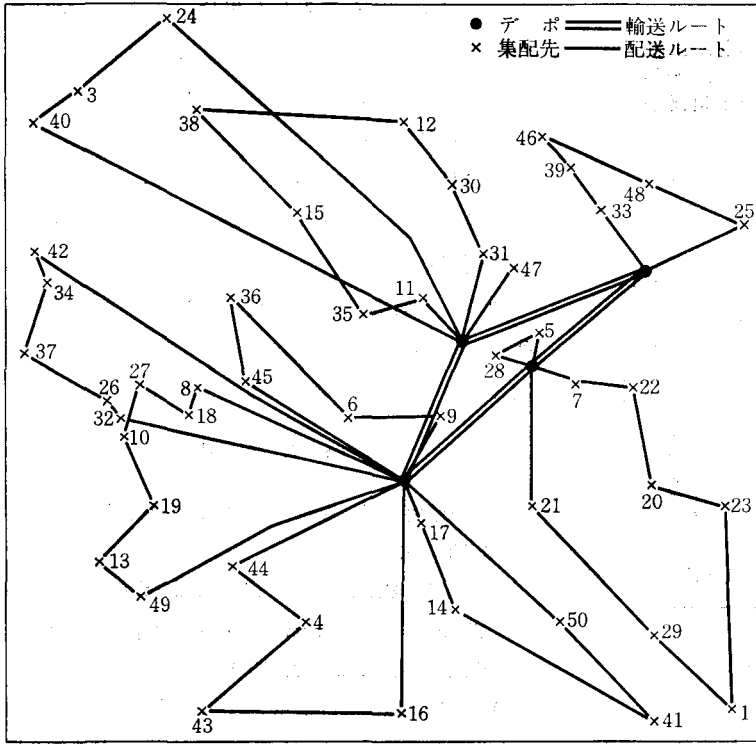


図7 デポ数4の場合(巡回距離最大, 輸送コスト最大)

施した。

デポの数が4カ所の場合において、集荷する巡回距離が最小となる時のデポの配置とそのルートを図6に示した。また、集荷巡回距離が最大であり、しかも、総輸送コストが最大となる時のデポの配置とそのルートを図7に示した。

図8はデポ数が4の場合のシミュレーション結果をまとめたものである。輸送コストが小さければ積載率がよくなることがわかる。しかし、積載率がよくてもコストが下がるとは限らない。ケース8では、積載率が91%であるが、輸送コストが高くなってしまった。これは、小型車を使用したために車両数が多

シミュレーションは、デポ数を3から6まで変化させ、すべてのデポの位置の組合せについて実

なってしまったことが原因と考えられる。

デポの数を3から6まで変化させたときのシ

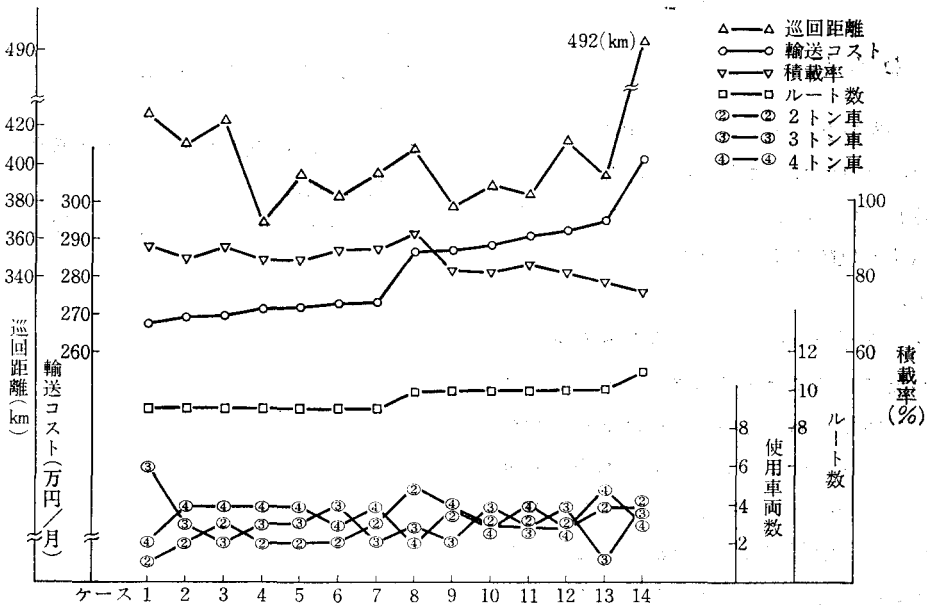


図8 デポ数4のシミュレーション結果

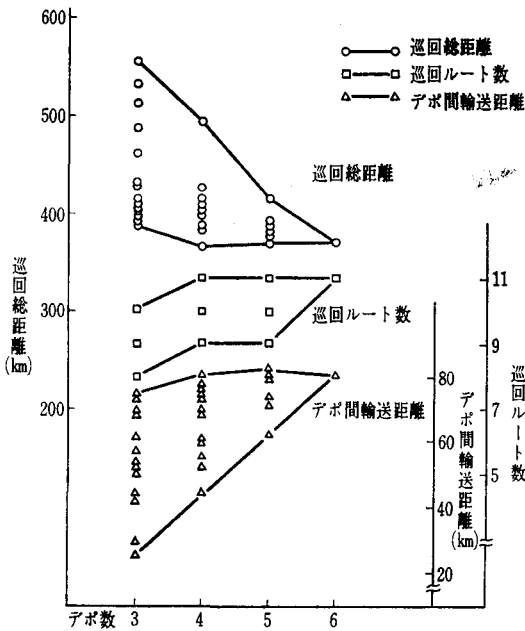


図9 シミュレーション結果

シミュレーション結果を図9に示した。デポ数を増加させれば、当然の結果として、デポ間輸送距離と集荷巡回ルート数は増加するが、巡回距離は減少することがわかる。また、デポの立地位置の違いによって巡回距離の差が大きくなり、デポの配置を論理的に決定することの重要なことがわかる。

5. おわりに

数理的技法を物流システムに導入する方法について論じた。われわれのまわりには、数多くの手法が開発されている。しかし、これらのすぐれた手法も適用する段階で壁に突き当たっているように思われる。

ここにとりあげたセービング法もVSPという名のほうが先に有名になってしまい、セービング法を導入して実績をあげている会社はまだわずかである。セービング法は、システムに参画する企業が多いほどその機能を発揮し、それらの企業をグループ化して一定間隔ごとに納品することになる。ところが、最近ジャスト・イン・タイム方式が検討されており、これを導入した生産システム

とセービング法を導入した集荷システムとを結びつけるインターフェイスによって物流システム全体の良し悪しが決定されると思われる。

われわれが構築しようとするシステムに対して、ORの手法をいかにして導入し、システム全体の機能を向上させればよいかということが今後の課題であろう。

なお、本研究は㈱日電物流センター（鈴木幸雄社長）と呉明德氏（現台湾在住）の協力を得て行なった。ここで両氏に感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 阿保栄司編, 物流ソフトウェアの実際, 日刊工業新聞, 1977.
- 2) R. L. Francis, J. M. Goldstein, Location Theory, A Selective Bibliography, Operations Research, 23, 1975.
- 3) (財)運輸経済研究センター, 運輸省東京陸運局編, 共同輸送システム導入マニュアル, 日本能率協会, 1978.
- 4) IBM Vehicle Scheduling Program-Extended Program Description Manual, SH 19-2304-6, IBM, 1970.
- 5) FACOM VSS/X 解説書, 99AR-0280-1, 富士通(株).
- 6) ROOT 解説書, 0650461, 日本ユニパック(株), 1972.
- 7) 反町洋一, 配送センターの最適配置, 数理科学, Nov. 1970.
- 8) 唐澤豊, 物流システム入門, 現代工学社, 1976.