

都市内物流の相互依存性の分析

The Analysis of Urban Goods-movement with Reference
to the Interaction among Facilities

鹿島 茂*

by Shigeru KASHIMA

This paper aims at establishing the methodology for the analysis of urban goods movements from a view point of the interaction among urban facilities. The model consists of the input-output table of goods between OD facilities and the goods movement equations of continuity. This methodology is applied to analysis of goods movement in Tokyo Metropolitan Area in 1972 and in 1982. It is found that this methodology is able to identify an indirect effect caused by the additional construction of facilities on urban goods movement. This model is also applied to demand forecast in 1982 by using data in 1972 to clear the direction of improvement of the model.

1. 研究の目的

都市交通の基本構成要素は人と物の移動である。しかし物の移動が一企業の問題としてではなく、都市交通問題として注目され始めたのは昭和42～3年頃からであり、昭和45年に広島都市圏で初めて物資流動調査が実施され、都市の物の移動が本格的に分析され始めた。現在は、東京、京阪神、名古屋、札幌、仙台、北部九州の6大都市圏でほぼ10年毎に調査が実施され、これらの調査を基に、都市における物の移動の実態の解明が進められ、物の移動を体系的に把握・分析するための方法論が提案されてきている。⁽¹⁾⁽²⁾

これまでに開発されてきた方法の大部分は、人の移動に対して開発されてきた手法を物の移動に適用したものである。⁽³⁾しかし2.1で述べる様に、物の移動には人の移動に比べその取り扱いを難しくし

ている性質がある。これらの物の移動独自の性質の存在が、物の移動を人の移動と同様の方法で扱うことを難しくしている。

本研究は、こうした認識のもとに、まず

- ①物の移動は人の移動と比較し、どんな相違点があるのか。
 - ②物の移動を分析する場合の単位としては何が望ましいか。
 - ③都市施設を物の移動を分析するという視点からみた時どの様な分類が適当であるのか。
- を検討し、その成果を踏まえたうえで、
- ④工場から問屋、問屋から小売店、小売店から住居といった移動の相互連鎖性を考慮して物の移動現象を捉えるための方法論を開発する。
 - ⑤開発した方法論を用いて、昭和47年及び57年の2時点の東京都市圏の物の移動現象を分析する。
 - ⑥開発した方法論を予測手法として用いる事の適否を検討する。
- ことを目的としている。

*正会員 工博 中央大学助教授 理工学部土木工学科

(〒112 文京区春日1-13-21)

2. 物の移動の捉え方

2. 1 物の移動特性

物の移動には、次の様な特徴がある。

- ①物の移動を記録するための尺度が複数（例えば重量、容積、長さ、ロット数等）存在し、物の種類に応じて異なる尺度が用いられている。
- ②物の移動は人の移動の様にベイスとなるものがない。（ベイスとは移動する主体が1日の最初の移動を起こすところを指す。）
- ③物の移動の意志決定は多くの立場の人によって行われる。
- ④発生周期が一定しない物の移動が多数存在する。
- ⑤物はその移動過程で分割されたり、加工されたりしてその姿を変化させる。

さらにそれを捉えるという視点から見ると、物の移動は生産、流通、消費、廃棄という連続した過程の中で発生しているということである。言い換えるなら、ある主体が取り扱っている物の量は、その主体の活動水準に依存し、かつ主体の活動水準は相互に依存しある均衡を保っているため、他の主体が取り扱っている物の量と相互依存関係にあるということである。さらにその主体間の移動は、現状の生産技術、商取引や消費習慣等に依存しているため、一定のパターンを示すということである。このため、人の移動の分析で行ってきたように、移動をいくつかに分割し、それぞれを独立に分析しその合計を全移動と考える考え方は適切とは言えない。

2. 2 物の移動の分析単位

都市の物の移動を分析する時考えられる単位としては、都市をいくつかに分割したゾーン、各ゾーンに立地し諸々の活動を営んでいる施設及び施設の中で営まれている活動の3つが考えられる。これらの内どの分析単位を用いるのが適切かは、主に分析の目的に依る。本研究では、以下の理由から施設を分析単位として用いる。

・ゾーンを分析単位とした場合－大部分の分析がゾーンを単位として行われている－分析の内容はゾーンでの発生量やゾーン間の移動量を関連するゾーンの諸活動で説明していくというものになる。この為、

ゾーンを分析単位とした場合には、モデルの作成や予測等への適用が比較的簡単であるが、ゾーン内に立地している施設の構成や活動内容が現状と大きく変化するような場合には対応しきれないという欠点を持っている。

・活動を分析単位とした場合－経済の分析に用いられることが多い－分析がそれぞれ1つの種類の物を生産する1つずつの活動に対して行われるため、非常に詳細な分析が行えるが、その結果を利用するためにはあるゾーンに立地している施設の量に加えそこで営まれている全ての活動内容についての情報が必要となるという欠点がある。⁽⁴⁾

・これに対し、施設を分析単位として用いるという考え方は、ゾーンを分析単位として用いる場合と活動を分析単位とした場合の中間的な考え方である。分析の容易性はゾーンを分析単位とした場合ほどではないにしろ、ゾーン内の施設の量や構成の変化にも対応できるし、分析結果の利用も活動を分析単位とした場合よりも少ない情報で利用できることで優れていると考えられる。

2. 3 物の移動から見た施設分類

ここでは都市の施設を、その施設へ搬出入する物の量の大小関係から、次の3つの施設にまず分類する。

- ① 搬入量<搬出量・・・鉱山・農家等
(一次産品生産施設と定義)
- ② 搬入量=搬出量・・・工場・店舗・倉庫等
(中間物流施設と定義)
- ③ 搬入量>搬出量・・・住居・工事現場等
(最終物流施設と定義)

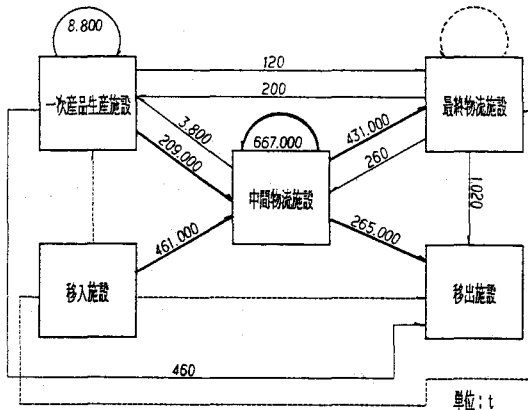
さらに都市を開いた地域として取り扱うため、都市域への物の出入りを行うための移入施設と、移出施設(鉄道貨物駅・港湾・トラックターミナル等)を加える。

この5つの施設間の物の移動量を東京都市圏で行われた物資流動調査を用いて試算した結果を示したのが図1である。

図1より都市における物の移動は、昭和47年、57年共

①中間物流施設相互間の移動
が最も多く、ついで

- ②移入施設から中間物流施設への移動
 ③中間物流施設から最終物流施設への移動
 ④中間物流施設から移出施設への移動
 ⑤一次産品生産施設から中間物流施設への移動
 と続き、この5つの移動で全移動量の昭和47年で99%、昭和57年では若干割合が低下しているものの91%を占めている。都市における物の移動の大部分はこの5つの移動であることが判る。



図・1 施設間移動量の試算値
(昭和47年東京都市圏)

2. 4 施設連関モデルの考え方

施設間の物の移動を表すモデルを作成する場合、施設間の物の取引をどのような現象として理解するかによってモデル式は異なったものになる。

一般的に妥当な見方として

- ①都市では、物の需要量と供給量は一致し在庫は変化しない。各施設では搬出量と搬入量の関係及び取引構造が一定である。

- ②都市では、物の需要量と供給量は一致しているが在庫量は変化する。従って各施設では、搬出量と搬入量の関係には常に一定の関係があるわけではない。しかし施設間の取引構造は一定である。

の2通りの考え方ができる。前者の考え方に立てば代数方程式系により、又後者の考え方に立てば微分方程式系により物の移動現象が記述できる。ここでは物の移動の相互依存性を考慮した分析がこれまでほとんど例もないことから、定式化が簡単でかつ係数等の構造推定も容易な前者の考え方に立って相互依存性を分析できる方法論を作成することにする。

本研究で提案している方法論の基本的考え方は、以下の通りである。

- ①先の5つの施設とその間を流れている5つの移動を、図2に示す様な表－施設連関表－で表す。この表の各要素には、縦列の施設から横列の施設への移動量が記入されている。

搬入	搬出	中間物流施設 1 2 n	最終物流施設 1 2 n ₃	移出施設 1 2 n ₄	合 計
1	2				
中間物流施設		X_{ij}	D_{ij}	N_{ij}	$X_i = \sum X_{ij} + \sum D_{ij} + \sum N_{ij}$
n					
1	2				
一次産品 生産施設		S_{ij}			$X_{ij}, S_{ij}, M_{ij}, D_{ij}, N_{ij}$ は それぞれi(i'またはi'')施設から j(j'またはj'')施設への移動量 X_i はi中間物流施設の搬入量(搬出量)
n ₃					
1	2				
移入施設		M_{ij}			
n ₄					
合 計		$X_j = \sum X_{ij} + \sum S_{ij} + \sum M_{ij}$			

図・2 施設連関表

- ②この施設連関表で、中間物流施設については搬入量＝搬出量であるから、次の関係式が成立する。

$$\begin{aligned} X_{11} + X_{12} + \dots + D_{11} + D_{12} + \dots + N_{11} + N_{12} + \dots &= X_1 \\ \vdots & \\ X_{n1} + X_{n2} + \dots + D_{n1} + D_{n2} + \dots + N_{n1} + N_{n2} + \dots &= X_n \end{aligned}$$

- ③上記の関係式に、次に示す施設相互間の関係を示す3つの係数を導入する。

$$a_{ij} = \frac{X_{ij}}{X_j} \quad \text{中間物流施設相互の関係を示す (搬入係数と定義)}$$

$$s_{ij} = \frac{S_{ij}}{X_j} \quad \text{中間物流施設と一次産品生産施設との相互関係を示す (採取係数と定義)}$$

$$m_{ij} = \frac{M_{ij}}{X_j} \quad \text{中間物流施設と移入施設との相互関係を示す (移入係数と定義)}$$

- ④図で示した関係式を③で定義した係数を用いて表すと次のようになる。

$$\left. \begin{aligned} a_{11} X_1 + a_{12} X_2 + \dots + D_{11} + \dots + N_{11} + \dots &= X_1 \\ a_{21} X_1 + a_{22} X_2 + \dots + D_{21} + \dots + N_{21} + \dots &= X_2 \\ \vdots & \\ a_{n1} X_1 + a_{n2} X_2 + \dots + D_{n1} + \dots + N_{n1} + \dots &= X_n \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

係数 a_{ij} 及び D_{ij} と N_{ij} が与件とすれば(1)式は X_i に関する線形連立方程式となり X_i が求められる。

た。中間物流施設については、調査データより得られる最小の施設分類（施設の種類と業種を組み合わせた689分類）を、搬出入特性、取り扱い品目特性、取引形態特性という物の移動を捉えていくうえで必要な3つの特性が類似している施設は集約する、分類総数は取り扱い可能でかつ一応の精度が見込める50～100とする、を基準に集約し施設分類を決定した。決定した施設分類を図3に示す。

3. 2 施設連関表の作成

昭和47年と57年の東京都市圏物資流動調査データを用いると、図3に示した施設分類での施設連関表の一部ができあがる。一部という意味は、施設連関表を完成させるために必要な物の移動の一部を物資流動調査が捕らえていない、あるいは不十分にしか捕らえていないということである。物資流動調査からでは求められない物の移動としては次のものがある。

①昭和47年については、事業所に搬入される物（昭和57年調査では搬入調査を実施）

②非事業所施設（農家、住居）で搬入及び搬出される物

③事業所で原材料として使用される水、廃棄物として事業所から排出される物、エネルギーとして使用されてしまう石油、石炭等

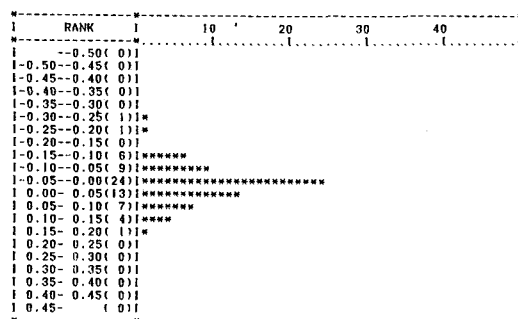
これらについては既存の資料を用いて推定、補完を行った。以下その方法を簡単に説明する。

昭和47年の搬入される物については、基本データとしては昭和45年全国貨物純流動調査を用いた。

非事業所施設である農家及び住居に関連する物の移動は以下の様に補完した。非事業所農家からの搬出量は物財統計（農林省）から、各施設への出荷割合は青果物出荷実態調査から求めた。住居への搬入量のうち、物資流動調査から求まるのは百貨店、スーパー、小売店等の事業所が家庭に直接届けた物だけであり、主婦等が店舗等から住居へ持ち帰った物は調査対象外である。施設連関表では、こうした物の移動量も捕らえることが必要なため、家計調査年報（総理府）の金額を重量換算して家庭での全取り扱い量（流動量）をまず求め、次いで全国消費実態調査の購入先編（総理府）を用いて、どこの施設から購入（搬入）しているのかを求めた。

施設連関モデルの仮説（中間物流施設で搬入量＝搬出量）を実際の施設で成立させるためには原料として用いられる用水量が必要となる。ここではこの量を工業統計表一用地・用水編（通産省）の業種別原料用水使用量から求めた用水使用量単位を用いて推計した。廃棄量・エネルギー消費量は原理的には物資流動調査から求められるはずであるが調査が1日である事、調査の主旨がこうした物の移動まで捉えようとしていない事などを考え、ここでは通産省が実施した調査から求めた値を用いた。

以上の補完を行い施設連関表を作成した。作成した施設連関表の中間物流施設について搬入量と搬出量の関係を見たのが図4である。今回作成した施設連関表では必ずしも全ての中間物流施設についてこの関係が成立しなかったが中間物流施設全体で平均的に見ればほぼ搬入量が搬出量に等しいと考えても良いと判断できたので、ここでは作成した施設連関表にさらに個々の施設について搬入量＝搬出量とするための補正計算は特にせずにそのまま用いた。



図・4 中間物流施設での搬入量と搬出量の関係
（昭和47年東京都市圏）

3. 3 分析結果

（1）最終物流施設での需要量及び中間物流施設の移出量の増加が及ぼす影響

最終物流施設での需要量の増加が、中間物流施設、一次産品生産施設、移入施設の取り扱い量に与える影響は以下の様に求める。

中間物流施設への影響は（1）式の D_{ij} に連関表から得られた D_{ij} と行についての構成比が等しくかつ $\sum_j D_{ij} = 1.0$ になる量を与え（1）式を解い

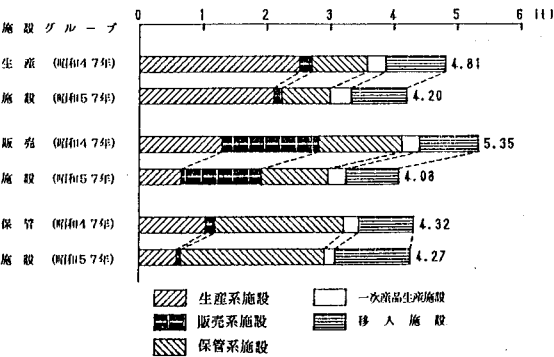
て求める。一次産品生産施設及び移入施設への影響は上で求めた中間物流施設への影響をそれぞれ（２）式及び（３）式に代入して求める。

最終物流施設での取り扱い量が1 t on増加（各中間物流施設からの購入パターンは変化せず）した時の影響（波及効果）を図5に示す。最も波及効果が大きい施設は両時点とも住居であり、次いで事務所飲食店と続き最も波及効果が少ないのは工事現場である。住居が引き起こす波及効果は昭和47年が5.97 t、昭和57年が5.34 tと11%減少している。特に生産系施設、販売系施設への波及効果の減少が著しい（それぞれ28%減、14%減）。保管系施設への波及効果は逆に10%増加している。事務所が引き起こす波及効果は昭和47年が4.74 t、昭和57年が5.17 tと9%上昇している。これは、保管系施設への影響の増加が著しいためである（70%増）。飲食店が引き起こす波及効果は、昭和47年と昭和57年とを比べて全体では2%弱増加した程度でそれほど大きな変化はないが、内容は生産系施設への波及効果がほとんど変化していないのに対し販売系施設（28%減）、保管系施設（26%増）への影響は大きい。工事現場が引き起こす波及効果は、昭和47年の2.64 tから昭和57年の4.05 tと54%も増加している。これは一部の施設のへの波及効果の激増によるものである。具体的には窯業、土石工場（106%増）、トラクターミナル(直送)(75%増)、建築材料店舗倉庫(556%増)等である。しかし工事現場の調査は、2時点で調査方法がかなり違い、これが結果に表れてしまった可能性もある。

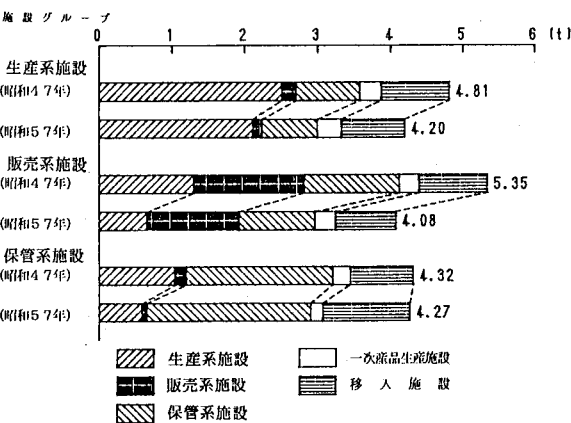
同様にして各中間物流施設の移出量の増加が及ぼす波及効果を見たのが図6である。平均的に言えば生産系施設、販売系施設で波及効果の程度は減少している。これは、昭和57年までの10年間で物の流通の合理化が進んだ事を示していると考えられる。

（２） 最終需要別に見た物の移動

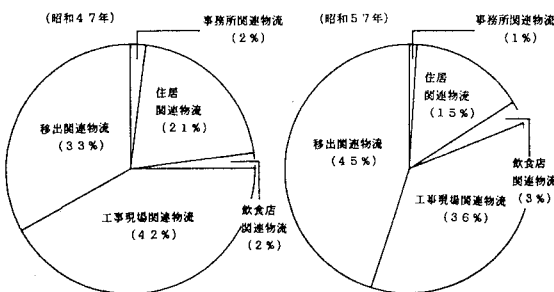
施設連関モデルを用いると各施設が取り扱っている物が、最終的には何に用いられているための物であるかを推定できる。これを全ての施設について合計した結果を示したのが図7である。移出関連物流のシェアが2時点で33%から45%へと増加し



図・5 最終物流施設の需要が1 ton増加した時の波及効果



図・6 移出量が1 ton増加した時の波及効果

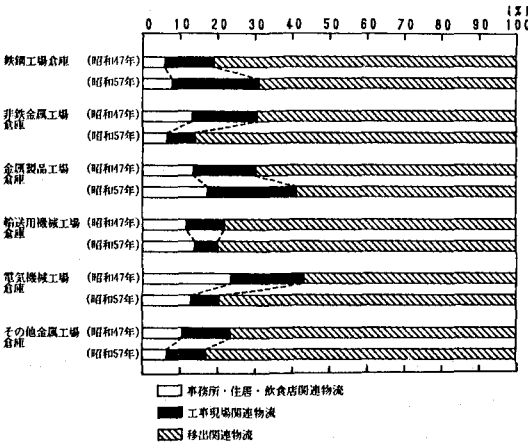


図・7 最終需要別にみた都市の物の移動

ている。これに伴い住居関連物流が21%から15%へ、工事現場関連物流のシェアが42%から36%へと減少している。これは、昭和47年に比べ

57年の東京都市圏からの移出量が絶対量でも増加している事及び住居がもたらす波及効果の程度が低くなってきた事などに依るものと考えられる。

図8は移出関連物流が大きな割合を示す施設を示したものである。これらの施設は、都市の消費活動には直接的関係が弱いので周辺部へ立地を誘導していくことが考えられる。



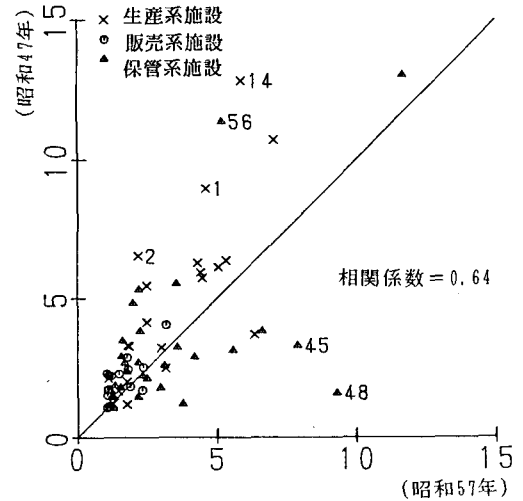
図・8 施設別にみた都市の物の移動

3. 4 予測への適用性

ここでは施設連関モデルが予測モデルとして適用可能であるか否かを検討する。検討はまず昭和47年、57年の2時点の物流誘発係数 $([I-A])^{-1}$ 行列の各要素を言う。ただし I は単位行列、 A は搬入係数行列) の変化を調べる。次いで昭和47年の係数と昭和57年の最終物流施設の需要量を用いて昭和57年の中間物流施設等の取り扱い量を推計し、これと昭和57年の調査結果を比較する。

図9は昭和47年、57年2時点の物流誘発係数の行和(需要量が1単位増加した時、その行の施設が直接・間接に供給すべき量)を示したものである。図中に示された数字は図3に示した施設の番号である。この図より生産系施設では、大部分昭和57年の値の方が昭和47年の値より小さくなっており、その程度は値の大きいものほど大きいという傾向が見られる。これは製品の軽量化現象を反映していると考えられる。保管系施設では、行和の値が大きく

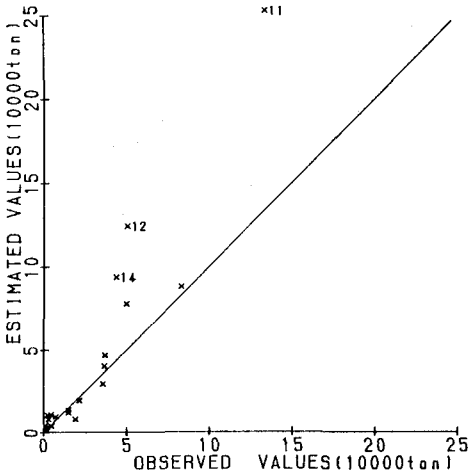
なった施設と小さくなった施設がほぼ半々であるがその変化の幅は他の施設に比べて大きい。大きく増加したのは、石油・石炭製品工場倉庫や鉄鋼工場倉庫であり減少したのは鉱物金属店舗倉庫や医薬品・化粧品・化学店舗倉庫である。販売系施設についてはあまり変化は見られなかった。これらより昭和47年の係数をそのまま用いて昭和57年の物の移動量を推計すると生産系施設では過大推計を保管系施設では推計値と実測値の差がバラツクことが予測される。



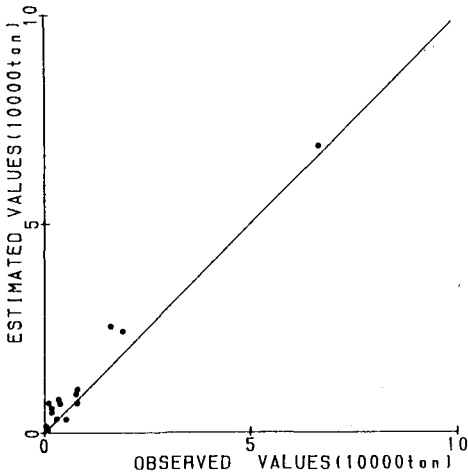
図・9 2時点の物流誘発係数行和の散布図

図10は昭和47年の係数と昭和57年の最終物流施設需要から求めた昭和57年の中間物流施設の推計値と調査より求めた実測値との相関係数を施設グループごとに示したものである。物流誘発係数行列の比較から予想された様に、販売系施設は良い一致を示したが、生産系施設では過大推計した施設が多く、さらに取り扱い量の大きな施設ほど過大推計の程度も大きい。また保管系施設はグループ全体の推計値が比較的良い一致(差は15%程度)を示すが推計値と実測値の相関は0.55と大変悪くなっている。

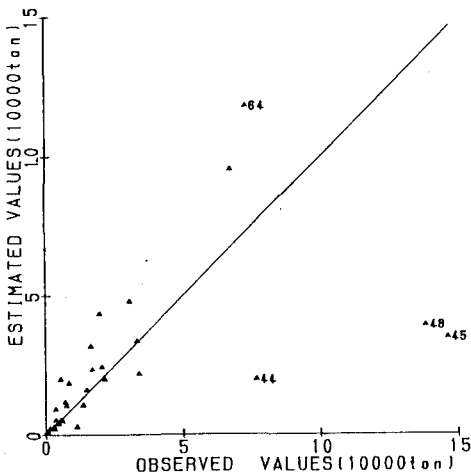
以上の検討結果より、施設連関モデルを予測モデルとして用いる場合には、施設間の物の移動特性を示す諸係数を何らかの形で予測時点で想定される将来の物の取引パターンの変化を反映して変化させる事が、必要であると考えられる。



図・10・1 推定値との相関図(生産系施設)



図・10・2 推定値との相関図(販売系施設)



図・10・3 推定値との相関図(保管系施設)

4 おわりに

本研究では、都市の物の移動現象をその相互依存性を考慮して分析するための1手法—施設連関モデル—を定式化し、これを用いて昭和47年、57年の2時点の東京都市圏の物の移動に適用し、その適用性を明らかにすると共に10年間の物の移動構造の変化を分析した。分析を通して、この10年間に物の移動で生じたいくつかの大きな変化—製品の軽量化、保管機能の効率的な利用、移出・輸出の増加等—がどのような取引の結果として生じたのかをある程度定量的に表し得たと考えている。さらに本研究中で示した都市活動の増加が個々の施設の取扱量に与える波及効果の程度は今後の物流関連の施設計画等への有力な情報を提供できたと考えている。これらの成果は施設連関モデルを用いることによって初めて得られるものである。

さらに2時点のデータを用いて行った予測への適用性の検討から当然の結論とはいえ、予測に施設連関モデルを用いる場合には、物の移動から見た施設間の相互関係を示す係数を適切に変化させる事が望ましく、その方法の開発が今後の課題であることが明らかにできた。これは今後の施設連関モデルを改良していくための研究の方向を示すものとして重要なものと考えている。最後に本研究のために貴重なデータの使用を認めてくださった東京都市群交通計画委員会の皆様と計算に根気よく付き合ってくれた大学院生新井君(現中央復建コンサルタンツ)に深く感謝の意を表したいと思います。

《参考文献》

- (1)東京都市群:昭和59年度 東京都市圏総合交通体系調査報告書 物資流動調査 予備編 p151-210 1985
- (2)P.L.Watson Urban Goods Movement
Lexington Books 1975
- (3)鹿島:都市交通の将来予測その2
交通工学 vol17 No.4 p41-49 1982
- (4)高橋:都市交通計画における物質収支モデルの適用に関する研究 都市計画No.106 p50-55 1979
- (5)鹿島:都市施設と物の移動の関連性の分析
日本都市計画学会論文集 vol.11 p139-144 1970
- (6)鹿島:都市の物の移動に関する研究の発展方向
中央大学100周年記念論文集 p269-287 1985