

都市内物流における貨物車交通量変換モデル

Trip Conversion Model for Urban Goods Movement

佐野 可寸志*、小根山 裕之**

by Kazushi SANO and Hiroyuki ONEYAMA

1. はじめに

貨物車分布交通量の予測は、図-1に示すように、まず最初に、貨物ベースで総発生・総集中貨物量から輸送手段別貨物量を四段階推定法の手順に従って求める。次にフレート重量からカートリップに変換し、最終的にゾーン間の貨物車分布交通量を求める手順をとることが多い。

出発地と到着地の間を往復するピストン輸送を除いては、物資の動きと貨物車の動きは大きく異なる場合が多い(図-2)。実際の都市内の輸送においては、1回の配送において、多数の配送先を回る巡回型の輸送が多いため、物資の動きと貨物車の動きはかなり異なっている。そのために、物資流動量から貨物車交通量への変換を、高い精度で行う必要性は高いと考えられる。そこで、本論文では物資流動量から貨物車交通量への変換を行う貨物車交通量変換モデルを提案する。

既存の物資流動量を貨物車交通量へ変換する方法は、2通りの手法に大別される。一つは、広島、東京、京阪神、仙台都市圏で実施された方法で、貨物の動きから直接、貨物車分布交通量を予測せず、貨物の発生集中量を貨物車交通量の発生集中貨物車交通量に変換し、それから分布貨物車交通量を予測するものである^{1) 2) 3)}。

他方は、中京、北部九州、道央都市圏で実施された方法で、輸送をピストン輸送と巡回型輸送の2種類に分け、ピストン型輸送には物資流動量のODパターンを利用し、巡回型輸送は、基本的には前者の方法を利用するものである。

貨物の持つ情報としては、品目、発地、着地等が挙げられるが、第一の方法は、発着地のつながりの情

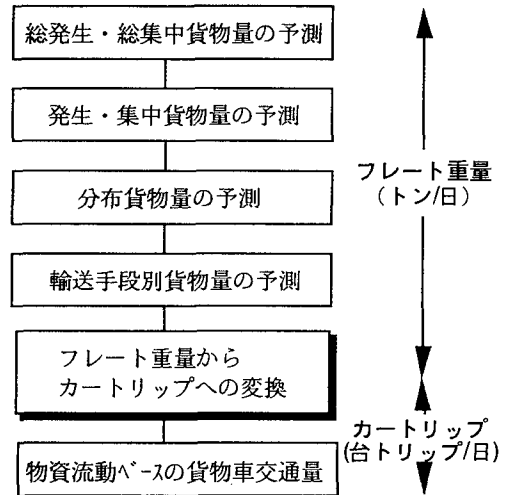


図-1 将来貨物車交通量の予測プロセス¹⁾

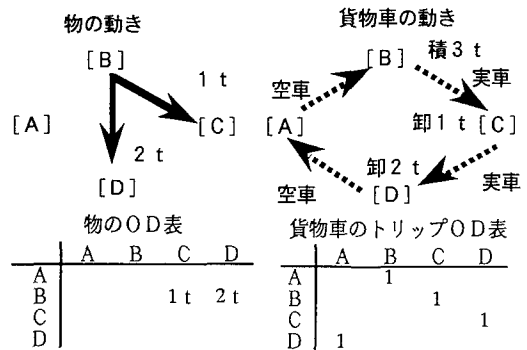


図-2 物と貨物車の動きの対応図

報を全く無視したものである。第二の方法もピストン型輸送は貨物輸送の情報を利用しているが、巡回型輸送が卓越している都市内貨物輸送に関しては、必ずしも望ましい結果は得られていない。

また、貨物輸送量を貨物車交通量に変換しなくても、最初から発生集中原単位を貨物車交通量で求めておけばよいという考え方もある。しかし、実際の物流調査において貨物車の動きを正確に把握することは、荷物の発着量を把握することに比べて、非常に難しく精度も低い。

Key Words : 物資流動、分布交通

* 正会員 工博 長岡技術科学大学建設系 助教授
〒940-21 新潟県長岡市上富岡町1603-1

Tel 0258-46-6000 ext.6114 Fax 0258-47-0019

** 正会員 工修 建設省土木研究所

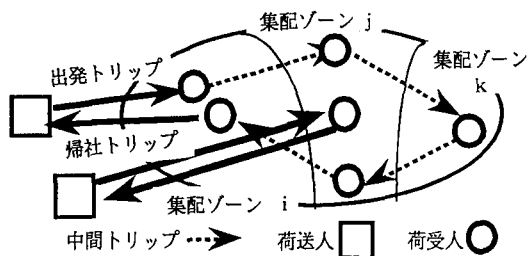


図-3 トリップのイメージ

そのため、データの信頼性が低いという欠点を持っており、一般には貨物量から貨物車交通量を求める方法が採用されている。

2. 貨物車交通量変換モデル

本論文で提案する貨物交通量変換モデルの基本的な考え方は、①貨物車のトリップを出発トリップ、中間トリップ、帰社トリップの3種類のトリップに分解する。次に、②各々のトリップについて貨物車交通量変換モデルを構築し、各々のトリップOD表を作成する。最後に、③出発・帰社トリップOD表と中間トリップOD表を加算して、トリップOD表を作成する。

ここで、出発トリップとは、貨物車の出発地から最初の用務地までのトリップ、帰社トリップとは最後の用務地から出発地に戻るトリップとする。また中間トリップとは巡回途中の用務地から次の用務地までのトリップとする。（図-3）

トリップ変換を出発・帰社トリップと中間トリップに分けて行う理由は以下の通りである。

- ・出発・帰社トリップは、ピストン輸送、巡回型輸送ともに含まれるが、中間トリップは巡回型輸送のみに含まれる。
- ・出発・帰社トリップは貨物車の出発地をODのどちらかに含むトリップであるため、貨物量ODとトリップODの対応関係が比較的明快であるのに対し、中間トリップは貨物車の出発地をODに含まない場合が多く、対応関係が複雑である。従って、それぞれに適した方法を適用することで、より推定精度を上げることが可能となる。
- ・出発トリップ、帰社トリップ、中間トリップそれぞれについて貨物車の出発ゾーン毎に貨物車台数、

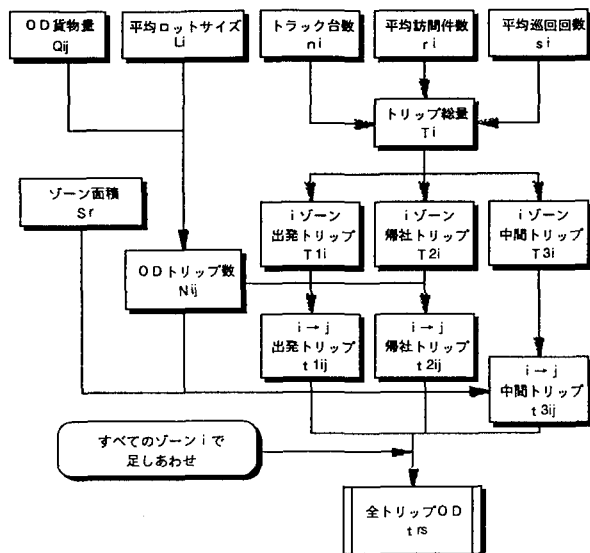


図-4 貨物車トリップ変換の流れ

平均訪問先数、巡回回数から総量を求めることが、可能となる。

なお、巡回回数（回/日）とは、トラックが拠点を出発する1日あたりの回数であり、平均訪問先数（件/巡回）とは、1巡回当たりの訪問用務地の数である。

(1) ゾーン別トリップ総量の推定

ゾーンiを出発する貨物車による総トリップ数 T_i は貨物車台数 n_i 、平均訪問件数 r_i 、巡回回数 s_i を用いると次のように表現できる。

$$T_i = n_i * s_i * (r_i + 1) \quad \dots (1)$$

各ゾーンを出発した貨物車の巡回方向に、偏りはないと考える。よって、iゾーンから出発する出発トリップの総量 T_{1i} とiゾーンに到着する帰社トリップの総量 T_{2i} は、ともに等しくなり、 $T_{1i} = T_{2i} = n_i * s_i$ と計算される。また、iゾーンを拠点とする貨物車の中間トリップの総量 T_{3i} は、以下のように計算される。

$$T_{3i} = T_i - T_{1i} - T_{2i} = n_i * s_i * (r_i - 1) \quad \dots (2)$$

(2) 出発・帰社トリップOD表の作成

前節で求めた出発・帰社トリップ総量を各ODに配分して、出発・帰社トリップOD表を作成する。iゾーンを出発した貨物車によるゾーンiからゾーン

j への出発トリップ数を $t1_{ij}$, またゾーン j からゾーン i への帰社トリップ数を $t2_{ji}$ とおく。

ここで配分比率について考えるためにピストン輸送と巡回型輸送に分けて出発・帰社トリップとゾーン i からゾーン j への貨物件数 N_{ij} の関係を見る。

$$N_{ij} = Q_{ij} / L_i \quad \dots (3)$$

ただし, Q_{ij} はゾーン i からゾーン j への総貨物量, L_i はゾーン i から発生する平均流動ロットサイズである。

まず, ピストン輸送の場合は出発・帰社トリップのみで構成され, 貨物車の出発ゾーンを i, 到着ゾーンを j とすると, 出発トリップ $t1_{ij}$, 帰社トリップ $t2_{ji}$ は貨物件数 N_{ij} に比例すると考えられる。次に, 巡回型輸送の場合であるが, 出発トリップ $t1_{ij}$ への配分比率はゾーン i を出発した貨物車がゾーン j に 1 件目に立ち寄る確率として表現できる。ここで, ゾーン j に立ち寄る確率は貨物件数 N_{ij} に比例する。また, ゾーン j を 1 件目として選択する確率は, ゾーン i とゾーン j の間の距離や道路ネットワーク条件などにより多少異なることも考えられる。しかし, 1 つのゾーンに多数の荷主がいる状況では, 集計的に考えると荷主の行動のバイアスは相殺され, どのゾーンでもほぼ等しいと仮定できる。従って, 出発トリップ $t1_{ij}$ との配分比率は, N_{ij} に比例すると考えられ, 同様に帰社トリップ $t2_{ji}$ も N_{ij} に比例すると考えられる。

これらより, 貨物車出発ゾーン i と対象ゾーン j との出発トリップ $t1_{ij}$ と帰社トリップ $t2_{ji}$ は, ピストン型・巡回型ともに, 貨物件数 N_{ij} に比例して配分できると考えられ, 以下の式で表される。

$$\begin{aligned} t1_{ij} &= \frac{N_{ij}}{\sum_j N_{ij}} * T1_i = \frac{N_{ij}}{\sum_j N_{ij}} * n_i * s_i \\ t2_{ji} &= \frac{N_{ij}}{\sum_j N_{ij}} * T2_i = \frac{N_{ij}}{\sum_j N_{ij}} * n_i * s_i \end{aligned} \quad \dots (4)$$

後述の中間トリップとの整合をはかるため, 出発トリップ $t1_{ij}$ と帰社トリップ $t2_{ji}$ を, 同じ表現方法に置き換える。ゾーン i を拠点とする貨物車によるゾーン r からゾーン s までの出発トリップ $t1_i^{rs}$ と帰社トリップ $t2_i^{rs}$ は, 次式のようになる。

$$t1_i^{rs} = \frac{N_{is}}{\sum_s N_{is}} * n_i * s_i \quad (r = i)$$

$$\begin{aligned} t1_i^{rs} &= 0 & (r \neq i) \\ t1_i^{rs} &= \frac{N_{ir}}{\sum_r N_{ir}} * n_i * s_i & (s = i) \\ t2_i^{rs} &= 0 & (s \neq i) \end{aligned} \quad \dots (5)$$

(3) 中間トリップ OD 表の作成

中間トリップについては, 貨物 OD とトリップ OD は一致しないため, トリップ OD を求めるために, 貨物車の出発ゾーン i, 中間トリップの発地となる用務地のゾーン r, 中間トリップの着地となる用務地のゾーン s の 3 ゾーン間の関係を捉え, その情報を有効に利用したモデル式を定式化することが必要となる。本研究ではゾーン間の関係を重力モデルを用いて表現する。基本的には, ①ゾーン i から出発トリップを始める貨物車の中間トリップの発ゾーン r からの発生中間トリップ数 P_{ir} と着ゾーン s への集中中間トリップ数 Q_{is} を推定し, ② P_{ir} , Q_{is} と中間トリップの発着ゾーン間 r s の平均所要時間 d^{rs} を用いて, ゾーン i から出発トリップを始める貨物車のゾーン r からゾーン s への中間トリップ数 $t3_i^{rs}$ を次式を用いて計算する。

$$t3_i^{rs} = f \frac{(P_{ir})^a * (Q_{is})^b}{(d^{rs})^g} \quad \dots (6)$$

ただし, a, b, f, g は未知パラメータ

また, ゾーン内々の中間トリップは, ゾーン間の平均的な所要時間 d^{rs} を定義できないため, 式 (c) の重力モデルを適用することができない。用務先密度が一定であり, トリップ長の分布が等しい場合, 面積が大きいほどゾーン内々の中間トリップ数は多くなる。従って, ゾーン i から出発した貨物車のゾーン r の内々中間トリップ $t3_i^{rr}$ は, ゾーン i からゾーン r へ中間トリップによって輸送される貨物の件数 $(N_{ir} - t1_i^{ir})$ とゾーン r の面積 S_r を用いて次のように表す。

$$t3_i^{rr} = f' * (N_{ir} - t1_i^{ir})^{a'} * (S_r)^{b'} \quad \dots (7)$$

ただし, a', b', f' は未知パラメータ

これらをまとめると, 中間トリップは次の手順により推定される。

①まず, ゾーン内々中間トリップを式 (7) により推定する。但し, 貨物件数 N_{ir} は式 (3) より与えられる。またゾーン i からゾーン r への出発トリップ

$t1_i^{rs}$ は、式 (5) を用いる。

- ②ゾーン i を拠点とする貨物車による中間トリップの内、ゾーン内々トリップ数を除いた総計 $T3_i'$ を次式を用いて計算する。

$$T3_i' = T3_i - \sum_r t3_i^{rs} \quad \dots (8)$$

- ③ゾーン i を拠点とする貨物車のゾーン r からの発生中間トリップ数 P_{ir} は、ゾーン i からゾーン r までの貨物件数に比例すると仮定し、発生中間トリップを求める。

$$P_{ir} = T3_i' * \frac{N_{ir}}{\sum_j N_{ij}} \quad \dots (9)$$

- ④ゾーン i を拠点とする貨物車によるゾーン s への集中中間トリップ数 Q_{is} についても発生中間トリップと同様に考え、次のように求める。

$$Q_{is} = T3_i' * \frac{N_{is}}{\sum_j N_{ij}} \quad \dots (10)$$

- ⑤③と④で求めた P_{ir} 、 Q_{is} と、所与のゾーン間平均所要時間 d^{rs} を式 (6) の重力モデル式に代入して、中間トリップ $t3_i^{rs}$ ($r \neq s$) を推定する。

(4) 全トリップOD表の作成

全トリップのOD表は、出発・帰社・中間トリップODを全てのゾーンについて足しあわせたものである。従って、全トリップOD t^{rs} は、次式より計算される。

$$t^{rs} = \sum_i (t1_i^{rs} + t2_i^{rs} + t3_i^{rs}) \quad \dots (11)$$

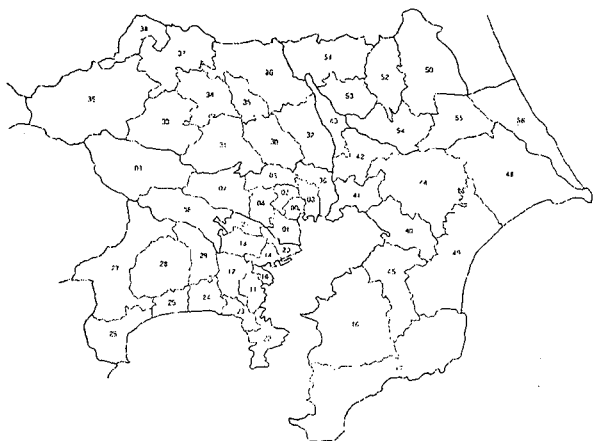


図-5 東京都市圏物資流動調査大ゾーン

3. パラメータ推定と適用結果

ここでは、前章で述べたモデルの挙動と再現性を評価するために、昭和57年東京都市圏物資流動調査の貨物車の運行に関する調査（B票）の結果を用いて、モデルのパラメータ推定と再現性を確認した。

本研究では上記の物資流動調査で取り扱われている50品目小分類のうち、データ数の多い食料工業品と衣服身回品を分析対象とした。また、本来、貨物車のトリップODを推定し貨物車交通量推計に用いる際には、貨物車の種類と自家用・営業用の区別が重要な要因となるが、今回はデータ数の制約からこれらの区別は考慮に入れず、全てを合わせた貨物車トリップを推定した。また、本モデルを綿密な交通計画の立案に用いるためにはゾーン単位をなるべく小さくとることが望ましいが、これもデータ数の制約により、物資流動調査の大ゾーン（東京・神奈川・千

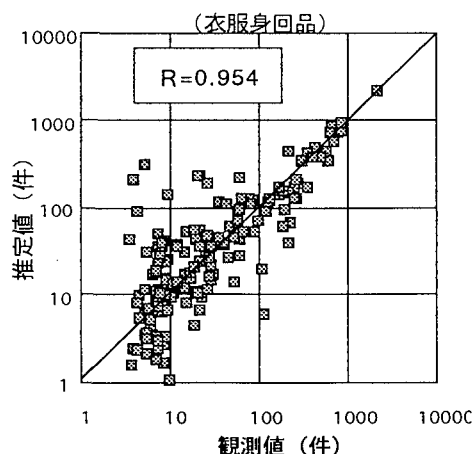
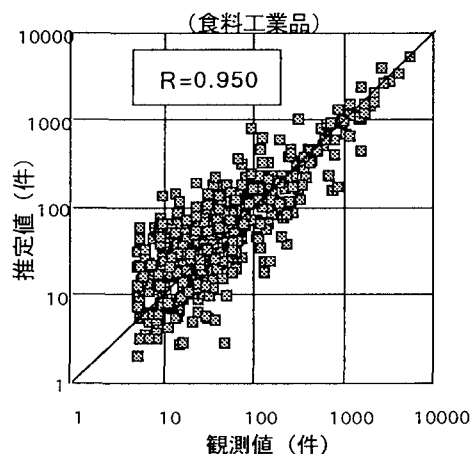


図-6 出発トリップの推定結果

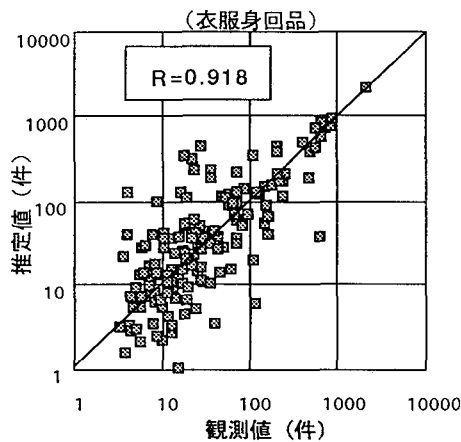
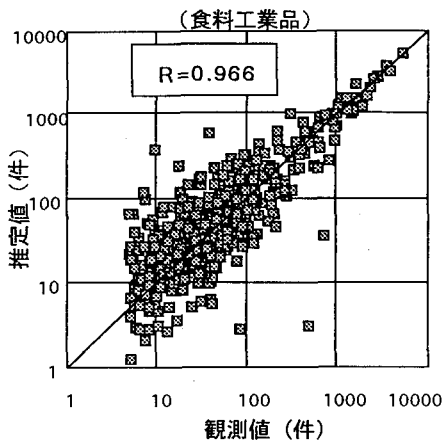


図-7 帰社トリップの推定結果

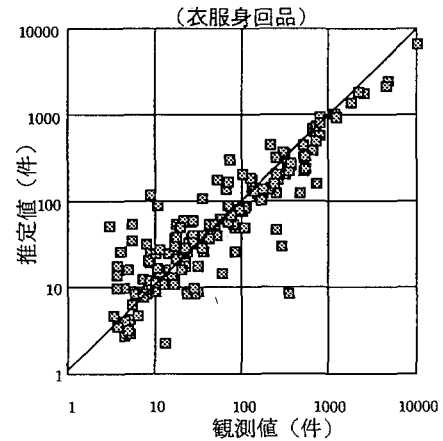
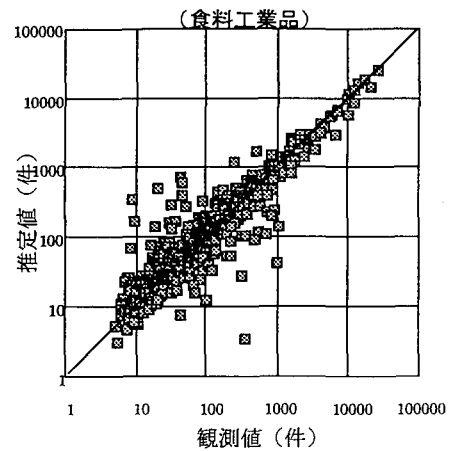


図-8 ゾーン内々中間トリップの推定結果

葉・埼玉・茨城の一部を全52ゾーンに分割)を集計単位とした(図-5)。

ここでは、貨物件数 N_{ij} 、総トリップ数 T_i 等、貨物トリップと貨物車トリップに関するデータは全て物資流動調査のB票を加工して作成した。また、ゾーン間の平均所要時間はB票におけるゾーン間の所要時間をODゾーンペアごとに平均したものである。各データとも、サンプル数が少ないものは、信頼性が低いデータである可能性が高いと考え、分析の対象から除いた。

なお、推定値の観測値に対する再現性を表した図は、点1につき1組のODトリップが対応する。

(1) 出発・帰社トリップの推定結果

出発トリップの推定結果を図-6に、帰社トリップの推定結果を図-7に示す。ともに適合性は高く、特に件数が大きくなるに従ってよく適合していることが分かる。

(2) ゾーン内々中間トリップの推定結果

両品目のパラメータの推定結果を表-1と図-8に示す。

表-1 ゾーン内々中間トリップの推定結果

品目名	観測値数	パラメータ推定値			相関係数 R
		f (t値)	a (t値)	b (t値)	
食料工業品	467	-0.64 (-10.58)	1.12 (87.62)	0.09 (3.74)	0.971
衣服身回品	138	-0.28 (-2.58)	0.98 (43.50)	0.09 (1.89)	0.966

表-2 中間トリップ(ゾーン内々を除く)のパラメータ推定結果

品目名	観測値数	パラメータ推定値				相関係数 R
		f (t値)	a (t値)	b (t値)	g (t値)	
食料工業品	86	2.30 (4.35)	0.31 (6.47)	0.32 (6.38)	1.10 (3.21)	0.640
衣服身回品	117	1.91 (3.08)	0.25 (5.00)	0.28 (5.45)	0.89 (2.41)	0.637

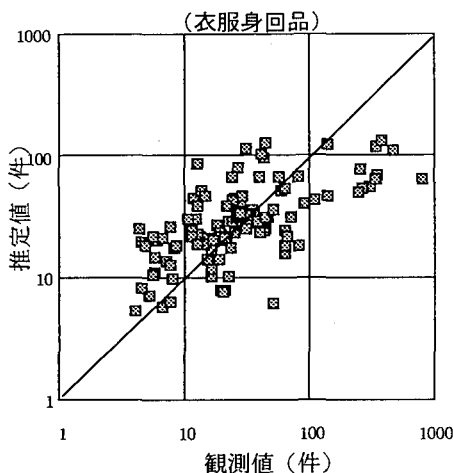
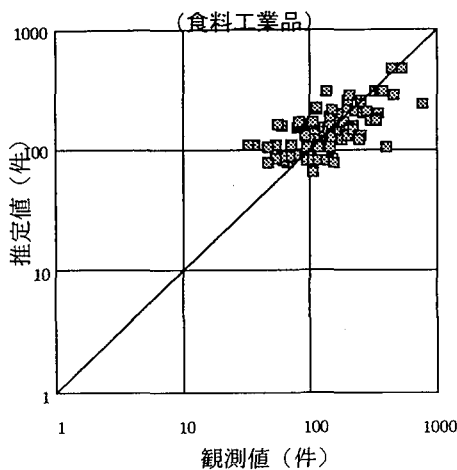


図-9 中間トリップ（ゾーン内々以外）推定結果

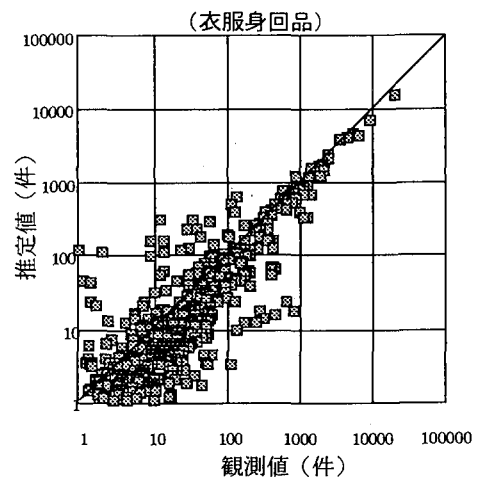
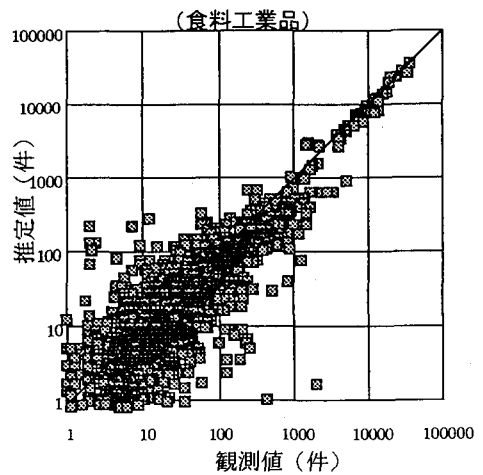


図-10 トリップ変換モデル推定結果

食料品・衣服身回品ともに面積のパラメータ b' が正であり、 t 値も高いことから、モデルの構築部分で述べた仮定が現実と適合していることを示している。

(3) 中間トリップ（ゾーン内々を除いた部分）の推定結果

両品目のパラメータ推定結果を表-2と図-9に示す。 t 値が大きく、符号も仮定と適合している。また、品目間の関係を見ると、係数 f が異なる他は、両品目とも似たような値を示している。この2品目だけでは断定的なことは言えないが、係数 a 、 b 、 g は品目間の差は小さくなく、係数 f で品目間の違いが表されていると考えられる。ただし、表-2を見てもわかるとおり、相関係数はあまり高くない。また、図-9より、観測値が大きい範囲では過小に推定され、

観測値が小さい範囲では過大に推定されている。

(4) トリップ変換モデル（全体）の推定結果

出発トリップ、中間トリップ、帰社トリップを足しあわせた全体の推定結果を図-10に示す。特に観測値が大きい範囲では推定値が観測値をよく再現している。

(5) 従来モデルとの比較

中京、北部九州、道央都市圏で実施された、「輸送をピストン輸送と巡回型輸送の2種類に分け、ピストン型輸送は物資流動量のODパターンを利用し、巡回型輸送は、貨物の発生集中量を貨物車交通量の発生集中貨物車交通量に変換し、発生集中貨物車交通量からさらに分布貨物車交通量を予測する方法」と、

今回提案したモデルの再現性を比較した。本モデルにより、決定係数 R^2 が0.69から0.72へと、若干ではあるが精度の改善が、はかられた。

(6) 今後の課題

本論文で提案したトリップ変換モデルの問題点を以下に述べる。

- ・本モデルは、4つのモデル（出発トリップ推定、帰社トリップ推定、ゾーン内々中間トリップ推定、ゾーン間中間トリップ推定）の和として表すことにより、推定精度を向上させている。しかし、モデルごとの誤差も累積して最終結果に反映されることになる。しかもモデル間の関係は独立ではない（例えば、ゾーン内々中間トリップの推定には推定した出発トリップの値を利用している等）ので、誤差がモデル間で伝播する。従って、誤差が非常に大きくなる可能性がある。
- ・今回は2品目のみについて全貨物車種を統一して、1時点のみの分析をおこなった。本モデルを実務に適用するには、本モデルで用いられる各パラ

メータの品目別・時間的・車種別移転性を検討する。

- ・今回は、品目ごとにトリップ変換モデルを推定したが、品目の違いをパラメトリックに取り扱えるようにする。
- ・道路交通センサス等の他のリンク観測交通量との整合性を確認する。また、それらのデータを用いた補正方法を考慮する。
- ・今回は、流動ロットサイズ、平均訪問件数等の貨物車の運行に関する変数を外生的に与えたが、これらの変数の内生化をはかる。

【参考文献】

- (1) 仙台都市圏総合交通計画協議会：平成元年度総合都市交通体系調査 仙台都市圏物資流動調査報告書4，将来予測編，1990.3
- (2) 広島都市交通研究会：広島都市圏物資流動調査（V．推計・計画） Technical Report No.14，1973.7
- (3) 東京都市圏交通計画協議会：東京都市圏総合都市交通体系調査報告書4 物資流動調査予測編，1985.3

都市内物流における貨物車交通量変換モデル

佐野 可寸志、小根山 裕之

貨物車交通量の予測においては、予測のベースは重量を単位とする物資流動量であるが、計画立案のために直接必要な情報はトリップを単位とした貨物車交通量である。そのため、物資流動量から貨物車交通量への変換が必要となる。

本研究では、物資流動量から貨物車交通量への変換を行うモデルを提案した。貨物車のトリップを出発トリップ、中間トリップ、帰社トリップの3つに分割し、それぞれのトリップに関してモデルを作成し、その結果を集計して貨物車分布交通量を求めた。近年実施された中では最も大規模な物流調査である昭和57年東京都市圏物資流動調査を用いて、食料工業品と衣料品に関してモデルの推定を行ったが、既存の方法に比べると高い精度のものが得られた。

Trip Conversion Model for Urban Goods Movement

by Kazushi SANO and Hiroyuki ONEYAMA

It is necessary to convert commodity flow into the truck trips in transportation planning. In this paper we have proposed a trip conversion model for urban goods movement. We divide the trips into three types ; first trip, middle trip, and last trip. Then we apply the gravity model for each trip and sum up by OD pairs. The models are estimated for foods products and clothes using a 1982 commodity flow survey in the Tokyo metropolitan area. we get improved results over previous surveys.