

東京大学(生研) 正員 鹿島 茂
東京工業大学 学生員 森川 優

1. 研究の概要

1-1 研究の目的

現在、都市内貨物輸送効率化対策として共同輸送を始めいくつかの対策が提案され、一部既に実行されているが、これらの諸対策がどの程度の効果を持っているのかは現在の処、明らかではない。この主な原因の1つに貨物の機関選択構造が明確にされていないことが挙げられる。一般に貨物の機関選択には次の3つのレベルが考えられる。オ1は、鉄道—自動車—船の機関選択、オ2は、自動車輸送の自家用—営業用の選択、オ3は、営業用間の選択である。貨物の機関選択に関しては、これまでの処、研究例は少ないが、いくつかある研究の大部分は、オ1の鉄—自—船の機関選択に関するものである。しかし、都市内貨物輸送の効率化を議論するためには、都市内貨物輸送の大半を占めるトラック輸送の自・営の機関選択構造を明らかにすることが必要不可欠である。

本研究では、以上の様な問題意識に基づき、都市内貨物自動車輸送の自・営の選択構造を表わすモデルを経路特性(費用・時間等)と事業所特性(従業員数等)とを組み込んで作成することを試みる。

1-2 研究の手順

本研究の手順の概要は次の通りである。まず最初に東京都市圏の事業所に対するアンケート調査とその事業所への電話調査により、事業所の自・営の輸送割合及び輸送特性に関するデータを得る。次にそのデータに対してクロス分析を行い、自・営の分担構造に影響を与える要因を抽出する。抽出された要因の中で自動車利用が自家用から営業用へ転換が起こった時、輸送時間と費用は変化するが、他の要因は変化しない。従って転換が起こった時の時間・費用を求める必要がある。これらは、直接アンケートデータから得ることはできないので推定を行う必要がある。本研究では、この推定を数量化Ⅰ類を用いて行った。次に、選択構造を表わすモデル式を作成する。この時、モデルに組み込む変数とし

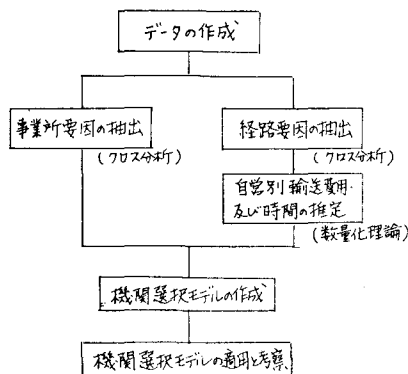


図1. 研究の手順

モデルのタイプ	モデルの概要
回帰分析モデル (線型回帰モデル)	$R(X_{ij}) = a_0 + a_1 X_{i1} + a_2 X_{i2} + \dots + a_n X_{in}$ $R(X_{ij})$: 経路についてモードkの選択確率 $X_1, \dots, X_n$: モードの選択要因 $a_0, \dots, a_n$: パラメータ
ロジックモデル	$R_k(X_{ij}) = \frac{e^{U_k(X_{ij})}}{\sum_k e^{U_k(X_{ij})}}$ $U_k(X_{ij}) = a_0 + a_1 X_{i1} + \dots + a_n X_{in}$ $X_{i1}, \dots, X_{in}$: 選択要因 $a_0, \dots, a_n$: パラメータ
プロビットモデル	$R_k(X_{ij}) = F\left(\frac{V_k}{\sqrt{2\pi}}\right) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{V_k} e^{-\frac{t^2}{2}} dt$ $V_k = \sum_k b_k X_k$ X_k : 選択要因 b_k : パラメータ V_k : V_k を標準化した値
代表通機確率モデル (B-Qモデル)	$R_k(X_{ij}) = \alpha_k R_k^0 T_k^{\beta_k} W_k^{\gamma_k}$ R_k : モードの信頼性 C_k : モードkの料金/一番安いモードの料金 T_k : モードkの時間/一番短いモードの時間 F_k : モードkの速度/一番速いモードの速度 $\alpha_k, \beta_k, \gamma_k$: パラメータ
数理計量モデル (線型計画モデル)	目的関数 $Min Z = \sum_{ij} (T_{ij} + T_{ij}^* + T_{ij}^* + T_{ij}^*)$ 制約条件 $\sum_{ij} T_{ij} = X_{ij} \dots \dots \dots$ 需要制約 $T_{ij} \leq Y_{ij} \dots \dots \dots$ 容量制約 $T_{ij} + T_{ij}^* + T_{ij}^* \geq W_{ij} \dots \dots \dots$ システム制約
経路理論型モデル	$C_{ijk} = V_k X_{ij} + U_k X_{ij} + \frac{W_k}{2} + \frac{W_k X_{ij}}{2\sqrt{1+e^k}} + \dots$ C_{ijk} : 経路kからモードkへの単位輸送費用 V_k : モードkの単位輸送費用 X_{ij} : 経路kへの輸送量 U_k : 時間係数 T_k : モードkの輸送時間 W_k : 経路kに必要となる費用 S : 輸送距離 W : 輸送費用 $k\sqrt{1+e^k}$: 平衡化係数

表1. 従来の研究

ては、経路特性を表わす変数と事業所特性を表わす変数
を考える。最後に、このモデル式にアンケートデータ
を適用してモデルに対する考察を行う。

1-3 従来の研究

これまで貨物輸送に関して開発された機関分担率の推
定モデル式を要約したものが表1である。人の場合の
機関選択モデルとはほぼ同様のモデルが開発されている。

これらのモデルが適用された対象機関はほとんどが、鉄
道・自動車・船であり、地域は、都市間である。用い
られている変数は大きく分けると、荷主特性、市場特性、
経路特性の4つが用いられている。(表2参照)

いる。

2. データの概要

分析に用いたデータは、昭和53年に日本道路公団が
東京都市圏に立地している事業所に対して行なった「物資
輸送機関選択理由調査」からのものである。この調査
は東京湾岸道路の供用による東京都市内の物資輸送の変
化を予測するために行われたものであり、回収率は74.5
%(98/事業所)であった。調査内容は事業所の入
・出品目についての輸送特性に関するものである。具
体的な項目は表3に示してある。本研究では、研究対
象が都市内貨物であるため、この調査の中から発着事業
所が共に東京都市圏(神奈川、東京、埼玉、千葉)に存
在する貨物及び自・営の判別ができない貨物を除いた貨
物を取扱っている事業所を抽出し、その事業所に対して
電話調査を行う。この調査は、まず事業所が現在行っ
ている自家用と営業用の輸送割合を尋ね、次にアンケー
ト品目が自・営のどちらかで輸送を行なったのを尋ねた
ものである。これらの結果、得られたサンプル数は、
146であった。

3. 選択要因の抽出と推定

ここではまず、自家用・営業用の選択に影響を与えて
いる経路要因・事業所要因を抽出し、その中で、自・営
の選択が変化した時変化する要因(輸送時間、輸送費用)
の推定を行う。

3-1 選択要因の抽出

本研究で作成した自・営別の貨物輸送状況に関するデ
ータに対してクロス分析を行い、経路要因と事業所要因
を抽出する。クロス分析に用いた変数は、荷姿、重量、
従業員数、輸送費用、輸送時間、距離、品目、輸送手段

要因タイプ	主な変数
荷主の属性	生産量、施設数、位置、施設の大きさ
市場の属性	商品に対する需要(製品の消費量と販売量)
商品の属性	商品のタイプ、商品の単位価値、腐敗日数
輸送システムの属性	輸送時間、確実性、付随費用、輸送距離

表2. 主な機関選択要因

調査種類	機関選択項目	電話調査
調査期間	昭和53年12月	昭和54年8月
調査対象	横浜、川崎、大田区、品川区、港区、中野区、江東区、江戸川区	
調査項目	出荷品目 出荷先 輸送手段の車種 輸送時間 輸送重量 輸送費用 輸送手段決定者 荷の種類 従業員数 業種 輸送手段決定理由	各事業所が行って いる自・営の輸送割合 調査品目の自・営
調査方法	訪問留置	電話インタビュー

表3. データの概要

	荷 姿						
	ダボール	木箱	パレット	袋物	裸	金箔	その他
自家用	24	1	3	4	34	3	6
営業用	36	5	0	1	21	1	7

	重 量			
	~1t	~2t	~5t	5.1t~
自家用	35	12	19	9
営業用	18	13	17	23

決定者、手段選択理由、車種、荷の種類である。自・営業別のクロス分析の結果を示したのが表4である。この表より交通手段の選択理由としては、自・営業、安い、が1番目であり、自家用では、2番目として、距離が短いことが挙げられるのに対し、営業用では、輸送単位が適当であることが挙げられることがわかる。さらに従業員、輸送費用、輸送時間が大きくなるほど営業用を利用する割合が増えていることがわかる。以上の様な検討から、下に示す様に選択要因を決定した。

経路要因 — 輸送時間、輸送費用、荷の重量、距離、荷姿

事業所要因 — 従業員数

機関選択モデルを作成するためには、ある貨物が自家用貨物車を選択した場合の各要因の値と営業用貨物車を選択した場合の各要因の値が同時に知られていることが必要である。本研究で抽出した要因のうちで、ある貨物が自家用貨物車を用いるか、営業用貨物車を用いるかで差がある要因は、輸送時間及び輸送費用である。これら2要因については、調査データからは直接には求めることができないため、3-2で述べる様な方法により推定を行う。

3-2 代替機関（自・営）における経路要因の推定

選択機関により値が変化する要因としては、本研究で取り挙げたもののうちでは、輸送時間と輸送費用がある。これらの要因の値は、調査データからは現行利用している形態、言い換えるなら自家用の営業用のいずれかの値しか求めることができません。代替手段については知ることはできない。このため、自営の分担構造を表わす主要因と考えられることから2要因を機関選択モデルへ導入するためには、代替手段の要因値を推定することが必要不可欠となる。

そこで本研究では、この2要因を他の経路要因で説明することを試みた。もしこれが可能であれば、機関選択モデルには経路要因としてはこの2要因のみを導入すればよいからである。今回、この2要因を説明するために用いた経路要因は、3-1で述べたクロス分析の結果及び、既存の研究を参考にして選んだ、輸送距離、輸送重量、荷姿の3要因である。

調査データから明らかに記入ミスと思われるデータを除いた130サンプルを用いて推定した結果を表5に示

	従業員数				
	~13人	~30人	~70人	~100人	101人~
自家用	31	23	12	9	0
営業用	8	13	19	12	19

	輸送費用				
	~2 ⁺	~5 ⁺	~10 ⁺	~20 ⁺	21 ⁺
自家用	20	21	19	10	5
営業用	4	17	16	24	10

	輸送時間				
	~30 ^分	~60 ^分	~120 ^分	~480 ^分	481 ^分 ~
自家用	20	27	15	13	0
営業用	10	15	24	20	2

	輸送距離					
	~9 ^{km}	~19 ^{km}	~29 ^{km}	~49 ^{km}	~79 ^{km}	80 ^{km} ~
自家用	26	22	5	9	8	5
営業用	15	16	11	14	6	9

	出荷品目					
	農林水産品	金属工業品	化学工業品	軽難工業品	特殊品	その他
自家用	10	21	7	31	4	2
営業用	8	27	11	25	0	0

	手段決定者			
	発送者	荷受人	運送業者	その他
自家用	57	11	3	4
営業用	57	9	5	0

す。推定精度を示す重相関係数で見ると、輸送時間よりも輸送費用の方が、又、営業用よりも自家用の方が推定精度が高いと言えるが、最も推定精度が高いのが自家用の輸送費用で、0.84、最も推定精度が悪いのが営業用の輸送時間で、0.73であり、それほど差もないため、本研究では、貨物の輸送距離、輸送重量、荷姿の3要因により、自営業に、輸送時間及び輸送費用が推定可能であると判断した。

推定された結果を見ると、輸送費用に最も強く利いているのは自・営業荷姿であり、重量、距離に比べ、約2倍のウエイトを占めている。又、輸送時間について見ると、自家用では、距離、荷姿、重量の順で利いており、その程度は、約5:3:1であり、営業用では、3要因がほぼ同程度の利き方を示している。

表5に示す係数を用いて輸送費用及び輸送時間は次の式より推定できる。

$$Y_i = \sum X(j_k) \delta_i(j_k)$$

Y_i : iテナの輸送費用、輸送時間

$X(j_k)$: jアイテム、kカテゴリのスコア

$\delta_i(j_k)$: iテナがjアイテム、kカテゴリに反応する時1、そうでない時0とする変数

4. 自営業選択構造のモデルの作成

4-1 モデルの基本的考え方

本研究で作成したモデルは、下記に示す様な経路特性と事業所特性を組み込んだ効用に基づく配分型のモデルである。

$$P_i = \frac{U_i^\beta}{\sum_j (U_j)^\beta}$$

$$U_i = \sum_j \alpha_j X_j^i + \alpha_k \sum_r b_r y_r^i$$

X_j^i : i機関における経路要因jの値

y_r^i : 事業所要因rの値

U_i : i機関の効用関数

P_i : i機関の選択比率

α_j : 経路要因jに係るパラメータ

α_k : i機関に係るパラメータ

b_r : 事業所要因rに係るパラメータ

β : 効用関数に係るパラメータ

本研究では、経路要因としては、輸送時間及び輸送費用も、事業所要因としては、従業員数を用いている。

	手段選択理由						
	安い	近所 だし	破壊 少	短い	単位が 適当	その他	無回答
自家用	21	5	9	20	7	4	9
営業用	27	4	5	5	18	9	3

	車 種				
	小貨 車	大型 (5t)	トラ クタ	ダンプ カー	タン ク車
自家用	64	8	0	2	1
営業用	41	29	1	0	0

	荷 の 種 類			
	原材料	半製品	製品	その他
自家用	9	10	51	5
営業用	4	11	56	0

表4. フロス分析結果

説明変数		輸送費用	輸送時間
荷 姿	ダンボール	4.64	1.66
	木箱	-178.81	-8.08
	袋物	-14.17	0.73
	裸	6.93	-0.90
	金属容器	-25.58	2.33
	その他	-6.50	-1.12
重 量	0t ~ 1t	-24.22	0.21
	1.1t ~ 2t	1.81	1.07
	2.1t ~ 5t	-3.60	0.23
	5.1t ~	98.80	-2.60
距 離	0km ~ 4km	-7.95	-5.11
	5km ~ 10km	12.84	-0.93
	11km ~ 24km	-10.69	-1.46
	25km ~ 49km	-9.09	3.94
	50km ~ 79km	5.37	5.88
	80km ~	78.28	8.97
重相関係数		0.84	0.77

表5-(1) 自家用貨物車における推定結果

4-2 モデルの作成

4-1で示したモデル式に用いられている諸係数を実データより推定した。この時、経路要因である輸送費用及び輸送時間の値は 3-2で作成したモデル式を用いて推定した値を用いた。モデル式の作成に用いた各要因は具体的には、次の通りである。

X_1^i : i機関における輸送費用の推定値(単位:100円)

X_2^i : i機関における輸送時間の推定値(単位:10分)

Y_i : 事業所の従業員数(人)

P_i : 事業所のi機関の輸送割合(%)

i : 1-自家用, 2-営業用

X_1^i と X_2^i は、推定値を用いたため、推定値が0, あるいは負になるものが存在した。この要因は、実際にはこの様な値を採るとは考えられないので、要因のいずれかが0又は負の値であるデータについては、モデルの係数の推定対象データから除くことにした。その結果、データ数は、108となった。この時の各係数の推定結果を表6及び図2に示す。

実測値と推定値の相関係数は0.45と非常に悪く、このままでは機関選択モデルとしては採用しがたい。そこで本研究では、係数の推定に用いた108のデータのうち、輸送費用、及び輸送時間の推定が充分でないために、実測値と推定値が大きく開いてしまうデータを除去し、再度、係数の推定を試みた。この時用いたデータ数は91である。推定結果を表7及び図3に示す。

実測値と推定値の相関係数は0.69とかなり改善されたが、必ずしも充分と言える精度ではない。そこで本研究では、この原因を探るため、改善されたモデル構造では説明しきれないデータに対して、さらに詳細な検討を4-3で行う。

4-3 考察

機関選択モデルの推定精度は0.69と満足できるものではないため、ここでは、この原因を探るため、次の2つの視点より検討を行う。

① 輸送費用及び輸送時間の推定精度、

② 1-0のデータ(営業用, 自家用のいずれか)

100%で他が0%という貨物)とそうでない

データの一括分析、

図4は、データ数91の場合の誤差(実測値-推定値)

説明変数		輸送費用	輸送時間
荷姿	ダンボール	2.17	4.76
	木箱	141.75	-0.52
	袋物	55.17	0.81
	裸	-10.26	-4.57
	金属容器	16.63	-0.34
	その他	-74.31	-8.46
重量	0 ^t ~1 ^t	-60.14	-2.54
	1.1 ^t ~2 ^t	-42.04	-5.35
	2.1 ^t ~5 ^t	31.33	7.00
	5.1 ^t ~	44.49	0.12
距離	0 ^{km} ~9 ^{km}	-31.78	-2.40
	10 ^{km} ~19 ^{km}	-0.26	-5.39
	20 ^{km} ~29 ^{km}	-20.62	0.42
	30 ^{km} ~49 ^{km}	6.16	1.97
	50 ^{km} ~79 ^{km}	17.20	7.88
	80 ^{km} ~	78.21	7.0
重相関係数		0.80	0.73

表5-(2) 営業用貨物車についての推定結果

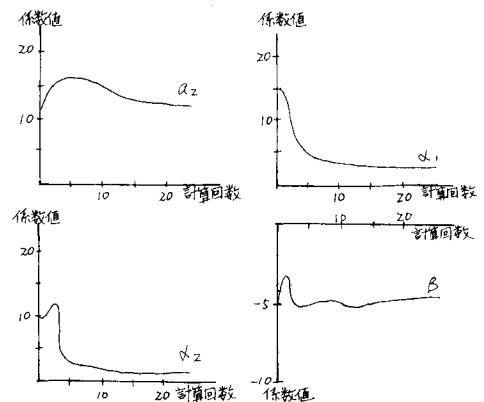


図2 係数の推定結果(108データの場合)

係数	α_1	α_2	b_1	α_3	α_4	β	実測値と推定値との相関係数
推定結果	1.0	13.385	1.0	3.430	1.635	-5.324	0.4472

表6 係数の推定結果(108データの場合)

の頻度分布である。この図より、データ数91の場合には、大部分が誤差50%以下であるが、50%以上のもの、言い換えるなら実測値と推定値が全く逆になっているものが約12%（11データ）存在することがわかる。誤差が50%以上であるこれら11データについて調査表まで逆登って調べると、11のうち7つが輸送費用又は、輸送時間の推定が不十分なデータであり、モデルで全く説明できないと考えられるデータは、わずか4データである。このことは、輸送費用及び輸送時間の推定がより精度良く行うことが可能になれば、機関選択モデルの精度もかなり向上するであろうことを示していると言える。

表8は、1-0データについて、自家用が1であるのか営業用が1であるのかと、誤差が50%以上か、以下に分けて示したものである。この表から判断する限り、1-0データについては、自家用、営業用共に適中率（誤差が50%以下である割合）は、80%以上で、比較的良好な推定結果が得られるものと考えられる。

図5は、1-0データ以外のデータを、現在、主に使っている機関が自家用であるのか、営業用であるのか別に実測値と推定値を比較したものである。自家用・営業用を区別しない時の実測値と推定値の相関係数が0.39であり、自家用貨物車についてが0.36、営業用貨物車についてが0.44であることを考えると、自家用、営業用共1-0データに比べては著しく推定精度が悪いことがわかる。以上より、今後は、1-0データとそれ以外に分けて分析していく必要があると考えられる。

5. おわりに

本研究で得られた主な結論を要約すると、次の通りである。

- (1) 従来、代替経路に関する要因の値を知ることができないために、ほとんど分析されることがなかった都市内貨物の貨物車選択構造を表わすモデルを、経路値推定モデルと従来の機関分担モデルを組み合わせることにより作成することができた。
- (2) 本研究で作成した貨物車選択モデルの係数を見ると $a_1, a_2, b_1, \alpha_1, \alpha_2$ が正、 β が負である。これは P_i の式 $P_i = 1 + (\frac{U_i}{U_j})^\beta$ と変化することができるので、 U_i が増加するに従って P_i が減ることを示している。つまり、輸送時間、輸送費用、従業員数が

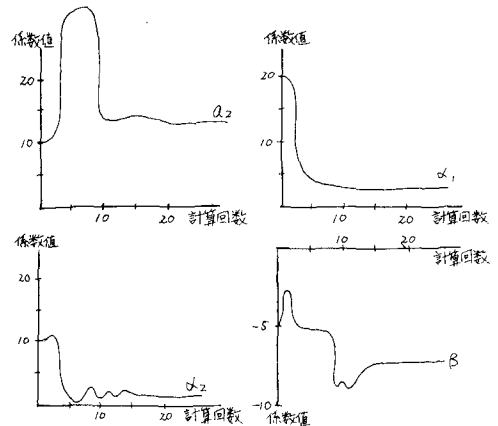


図3. 係数の推定結果（91データの場合）

係数	a_1	a_2	b_1	α_1	α_2	β	実測値と推定値との相関係数
推定結果	1.0	13.858	1.0	4.134	2.224	-7.662	0.6896

表7. 係数の推定結果（91データの場合）

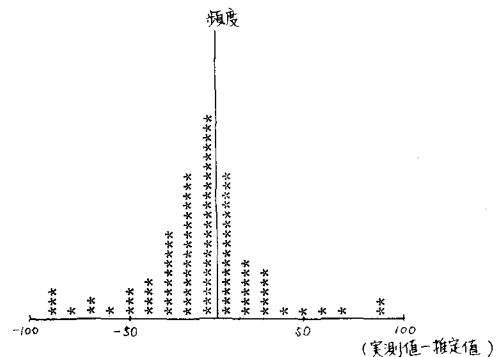


図4. 誤差の頻度分布

データの誤差の分類	50%以下	50%以上	合計
自家用100%のデータ	20	4	24
営業用100%のデータ	19	2	21

表8. 0-1データについての検討結果

増加するに従って、自家用貨物車の輸送割合が減少することを意味している。従って、本研究で作成したモデルは論理的には妥当であると言える。

(3) モデルの精度は、相関係数 0.69 と満足すべきものでなかったが、これはモデルの推定に用いた輸送時間及び輸送費用の推定精度をよくすることにより、モデルの精度も向上するものと考えられる。

(4) 本モデルから、輸送時間、輸送費用が常識的な値であれば、従業員数が 80 人を越える様な事務所で取扱われる貨物は、大部分営業用貨物車によって運ばれることがわかる。

(5) 輸送時間及び輸送費用の推定モデルについては、データ数に問題はあるものの、少ない要因(荷姿、重量、距離)で比較的高い説明力の高いものが作成できた。今後は、さらにデータを収集して詳細な検討を進めると同時に、本研究では検討しなかった営業用貨物車相互の共同化の可能性を検討するための営業用貨物車の分担モデルの検討を行ってみたいと考えている。

最後に、本研究のためにデータを快く提供して下さい、た日本道路公団横断道路調査室に感謝いたします。

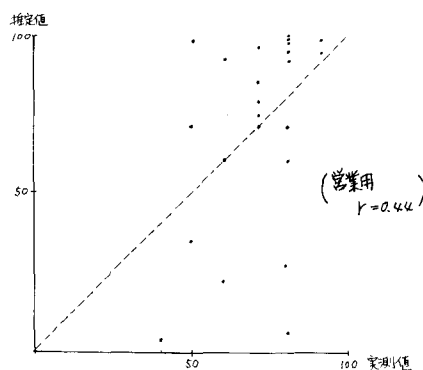
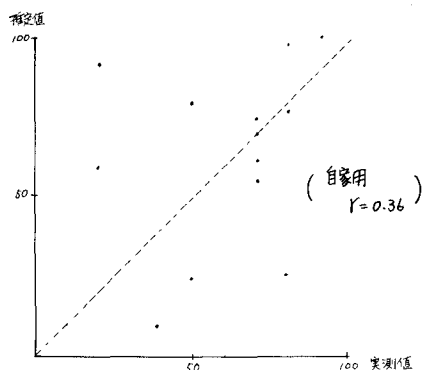


図5. 非1-0データについての検討結果

参考文献

- ① W.J. BAUHOFF, H.D. VINOD AN INVENTORY THEORETIC MODEL OF FREIGHT TRANSPORT DEMAND
Management Science vol.16, No 7 1970
- ② V.H. SURTI, A. EBRAHIMI MODAL SPLIT OF FREIGHT TRAFFIC
Traffic Quarterly 1972-10
- ③ A. KOMATSU FACTORS INFLUENCING FREIGHT TRANSPORT MODE CHOICE
International Conference on Transportation Research 1973
- ④ T. van. ES, C.T. RUIJGROK MODAL CHOICE IN FREIGHT TRANSPORT
International Conference on Transportation Research 1973
- ⑤ ROUND TABLE 20 DEMAND FOR FREIGHT TRANSPORT
ECMT 1973
- ⑥ NATIONAL RESEARCH COUNCIL FREIGHT DATA REQUIREMENTS FOR STATE WIDE TRANSPORTATION SYSTEMS PLANNING (APPENDIX C)
TRB 177, 1977
- ⑦ MARKS, JELAVICH DETERMINANTS OF FREIGHT MODAL CHOICE
TRB 668, 1978