

地域間貨物輸送における輸送手段選択の分析*

An Analysis of Modal Choice in Intercity Freight Transport

谷口 栄一** 関 宏志*** 飯田 恭敬**** 倉内 文孝*****

By Eiichi TANIGUCHI, Hongzhi GUAN, Yasunori IIDA, Fumitaka KURAUCHI

1. はじめに

物流ニーズの高度化、多様化によって、交通混雑、環境問題、輸送能率低下などが問題となっている。これらの問題を解決する施策を提案するために、荷主の輸送手段選択のメカニズムを解明することが重要である。貨物輸送における手段選択に影響を及ぼす要因は、荷主属性、輸送手段属性、貨物属性およびその他の属性から成っていると考えられる。これらの属性には量的な要因のみならず、質的な要因（例：品目、荷姿など）も数多く含まれている。そのため、輸送手段選択を分析する際に、質的な要因も取り込んだモデルを構築する必要があると考えられる。

本研究では、荷主の輸送手段選択を分析するため、まず、貨物属性と手段属性が輸送手段選択へ及ぼす影響を調べる。最初に、数量化理論Ⅲ類を用いて、貨物の類似度を調べ、その類似度によって貨物を幾つかのグループに分類する。この分類を1つの要因として、数量化理論Ⅱ類による輸送手段選択モデルを構築し、地域間の貨物輸送における品目グループの特性が手段選択に及ぼす影響を分析する。

輸送手段選択において、O-D間の距離は重要な要因であると考えられる。さらに、O-Dが、北海道と本州の都府県間のように、海を渡るものや、本州内の都府県間のように海を渡らないものなど、その

O-D間の地理的条件によっても、手段選択の基準は異なる可能性がある。そのため、本研究においては、各O-Dによって手段選択要因は異なると考え、個別に分析することとする。本州と他島とのO-Dの代表例として、大阪～北海道間のO-Dを、そして、本州内の輸送の代表例として、大阪～東京間を取り上げ、この2つのO-D間の手段選択を分析し、更に、O-D間の比較を行った。

本研究で用いるデータは昭和60～62年にわたり実施された「第2回京阪神都市圏物資流動調査」¹⁾で得られたものである。この調査は2.87%の抽出率で、京阪神都市圏における一般事業所や建設事業所など計28,800事業所を抽出し、調査期間に全国からそれらの事業所に発着した貨物流動を観測している。

2. 従来の研究

従来、地域間の輸送手段選択に関する代表的な研究は2つの手法を用いて行われている。1つは計量経済学理論を基礎として、手段選択モデルを構築したものである^{2,3,4)}。これらの研究においては、輸送コスト最小化、あるいは、荷主の効用最大化を目的関数としてモデルを構築している。もう1つは、荷主に対する実態調査に基づき、荷主属性が手段選択へ及ぼす影響を分析したものである。その代表として、Jeffs等⁵⁾によって行われた研究がある。この研究では、企業の物流管理者に対する調査より、従来の研究は「経済的コスト要素(Economic cost factor)が過大に重視されていて、行動の要素(Behavioral factors)が軽視されている」という傾向があることを指摘している。そして、企業を意思決定の基本単位として、その意思決定のメカニズムについてファクター・アナリシスを用いて分析している。彼等は自分の輸送子会社(Own fleets)を擁する商社の輸送手段選択について分析した結果、「現実では、コストは

* キーワード 貨物輸送、手段選択、貨物属性
** 正会員 工博 京都大学大学院工学研究科土木工学専攻
(〒606-01京都市左京区吉田本町、
Tel:075-753-5125、Fax:075-753-5907)
*** 学生員 工修 京都大学大学院工学研究科土木工学専攻
(住所同上、Tel:075-753-5126、Fax 同上)
**** 正会員 工博 京都大学大学院工学研究科土木工学専攻
(住所同上、Tel:075-753-5124、Fax 同上)
***** 正会員 工修 京都大学大学院工学研究科土木工学専攻
(住所同上、Tel:075-753-5126、Fax 同上)

輸送手段選択には必ずしも最も重要な要因とは限らない」という結論を得ている。

上記の研究では、それぞれ所要時間や輸送コストのような輸送手段属性の側面や、企業の輸送手段選択における意思決定の構造のような荷主属性の側面から輸送手段選択について分析している。一方、輸送手段選択には、上記の要因だけではなく、貨物属性も影響を及ぼすと考えられる。しかし、上記の研究において、貨物属性が輸送手段に及ぼす影響について詳細に分析されていない。本研究では、特に貨物属性に着目し、貨物属性及びその他の属性が輸送手段に及ぼす影響を調べることにする。

3. 数量化理論Ⅲ類による貨物の分類

先に示した物資流動調査では、輸送手段は11に分類されていたが、地域間の輸送手段選択の傾向を把握するため、これらの手段を4つ（自動車、鉄道、船舶、飛行機）の代表交通手段にまとめた。上記の輸送手段と各属性間のクロス集計を通じて輸送手段選択に影響を及ぼすと考えられる要因を表-1のように抽出した。

貨物の属性の中では、輸送手段選択に影響を及ぼすのは品目のみならず、例えば、形状、荷姿、重量なども考えられる。なおかつ、貨物属性の諸要因は独立ではなく、様々な属性が絡みあった結果として、手段選択に影響を及ぼしていると考えられる。すなわち、貨物輸送市場では、ある品目及びその品目が常に持っている特性（例えば、価格など）によって、貨物は、幾つかのタイプに分類されると考えられる。これらの影響要因は手段選択に影響があるにも関わらず、品目との相関性が高いため、影響要因間の相関性の問題から手段選択分析には同時にそれらを取り込むのが困難である。そこで、本研究では、数量化理論Ⅲ類を用いて、品目、荷姿及び金額重量換算率に影響要因として、貨物の類似度を調べ、グループ分けをし、その結果を輸送手段選択モデルに反映させる。

数量化理論Ⅲ類の適用結果を図-1に示す。

図-1によると、貨物を4つのグループに分類することが可能である。Ⅰ軸では、カテゴリースコアが大きいほど、貨物の金額重量換算率が高いことが確認できる。Ⅱ軸について見れば、第2～4グループ

表- 1抽出要因

要因	カテゴリー数	説明
品目	53	貨物の小分類による ^{1),6)}
重量	11	(単位: キログラム) ^{※1}
危険品	2	危険品か否か
種類	3	原材料、中間製品、完成品
荷姿	3	コンテナ、箱詰、その他
形状	2	小量物、その他
宅配送	3	宅配送、郵便小包、その他
商取引	2	伴うか否か
所要時間	5	(単位: 時間)
金額重量換算率 ^{※2}	4	(単位: 円/トン)

※1: 各カテゴリーのサンプル数によってカテゴリー化した。

※2: 貨物の価格は品目により、統一の単位で表示することが非常に困難であるために、価格のかわりに、金額重量換算率を用いることにする。この金額重量換算率は参考文献 6)による。これを用いて、次のようにカテゴリー化した。

- 1～1,000 (円/トン)⇒記号: A
- 1,001～5,000 (円/トン)⇒記号: B
- 5,001～10,000 (円/トン)⇒記号: C
- 10,001～ (円/トン)⇒記号: D

のカテゴリースコアは、比較的近い値をとっているが、第1グループのみが若干大きな値をとっている。第1グループに属する品目を見ると、原木、砂、石材等、貨物1件当たりの重量が大きい荷物が多いことがわかる。Ⅱ軸の上方に位置する第1グループに属する貨物に着目すると、未加工品、原材料のような品目が多数見られるのに対して、Ⅱ軸の下方に位置する第2グループでは比較的付加価値の低い加工品や生活用品のような貨物が多い。Ⅱ軸では上記の2つのグループの中間に位置する第3、4グループは製造品から成っている。そのため、第1～4グループをそれぞれ、「原材料と低加工品グループ」、「生活用品と中間製品グループ」、「比較的重量当たりの価値の低い完成品グループ」、「付加価値の高い完成品グループ」と名付けることとする。

また、原材料と低加工品グループと付加価値の高い完成品グループはその他のグループとの類似性が比較的強く、生活用品と中間製品グループと、比較的重量当たりの価値の低い完成品グループについては、類似性が比較的高いことが図-1より確認できる。

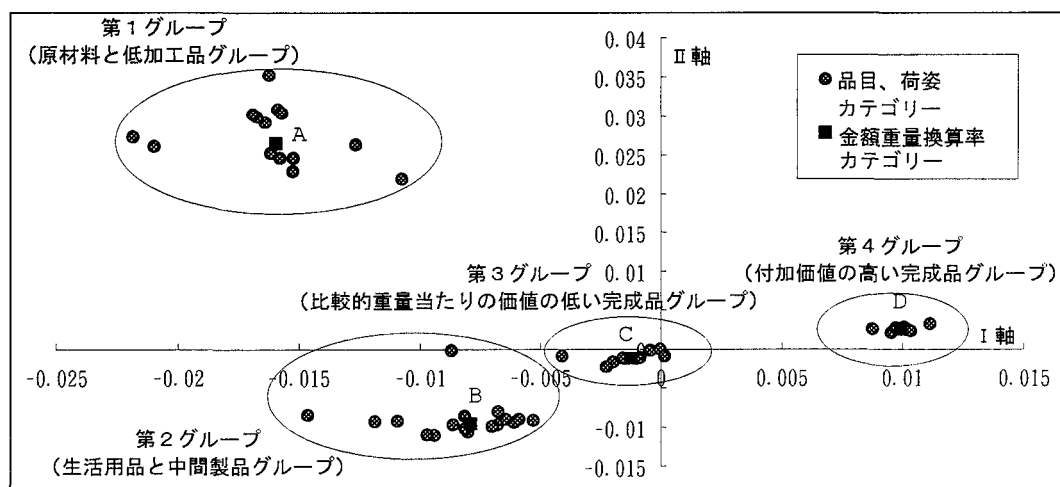


図- 1 数量化理論Ⅲ類による品目の分類

但し、それぞれのグループに属する品目は次の通りである。

- 第1グループ：その他の農産品、原木、製材、その他の林産品、砂利、砂、石材、その他の非金属鉱、鋼鉄、セメント製品、その他の窯業品、重油、その他の石油、その他の石油製品、石炭製品、化学薬品、化学肥料。
- 第2グループ：穀物、野菜、果実、畜産品、水産品、薪炭、金属鉱、金属製品、ガラス、ガラス製品、発揮油、染料、顔料、塗料、合成樹脂、動植物性油脂、パルプ、紙、紙製品、製造食品、飲料、出版物。
- 第3グループ：非鉄金属、自動車、輸送機械、糸、ゴム、革、皮革製品、木製品、その他の製造工業品、金属屑。
- 第4グループ：一般産業機械、電気機械、精密機械、その他の化学工業品、織物、衣服、身の回り品、家具、装備品。

4. 手段選択の影響要因の分析

次に、上記の数量化理論Ⅲ類の分類結果により得られた品目グループを要因の1つとして、貨物属性が手段選択へ及ぼす影響について分析を行う。ここでは、数量化理論Ⅱ類を用いた手段選択モデルの構築を試みる。

モデル作成のための予備検討として、説明要因間の相関分析を行った結果、大阪～北海道間のO-Dについては、品目グループと重量の相関性が高いことが明らかになった。この2つ要因を同時に選択モデルに導入すると、多重共線性の問題が生じるため、表-2のように、2つのケースを設定した。さらに、大阪～東京間については、時間と商取引の有無の2つの説明変数によるモデル化を行った。

表- 2 方面別に検討可能なケース

区間	ケース	要因
大阪～北海道	1	品目グループ、時間、宅配送、商取引
	2	時間、重量、宅配送
大阪～東京	3	時間、商取引

(1) 大阪～北海道の輸送手段選択

ケース1：

ケース1の結果を表-3及び図-2、3に示す。

表-3についてみると、レンジと偏相関係数より、I軸については所要時間、商取引、II軸については宅配送と品目グループが大きな影響を及ぼしていることがわかる。また、図-2(a)についてみると、I軸のカテゴリースコアより、所要時間の増加に伴って、I軸の値が正から負へ遷移していることがわかる。図-2(b)のII軸のカテゴリースコアより、宅配送を「利用する」場合はII軸の値が正の値で、「利用しない」場合は負の値となっている。図-2(c)についてみると、商取引の「ある」場合では、I軸に関しては、負の値をとり、逆にII軸については正の値をとる。図-2(d)についてみると、II軸に関しては、品目グループの影響も比較強く、付加価値の高い完成品グループ（第4グループ）に対して正の値で、他のグループは負の値を取っていることがわかる。

また、図-3より、I軸は、（自動車、船舶、鉄道）と飛行機の判別軸、II軸は自動車と（鉄道、船舶）の判別軸と考えられる。

表- 3 ケース1の結果（大阪～北海道）

要因	カテゴリー	No.	サンプル数	Ⅰ軸		Ⅱ軸	
				スコア	レンジ (偏相関係数)	スコア	レンジ (偏相関係数)
所要時間 (時間)	～24	1	180	1.67	2.281	0.44	0.983
	25～36	2	154	-0.50	(0.465)	0.23	(0.116)
	37～48	3	158	-0.59		0.04	
	49～60	4	62	-0.61		-0.54	
	60～	5	199	-0.46		-0.44	
宅配送 利用か	はい	1	48	-0.58	0.615	2.495	2.665
	いいえ	2	705	0.04	(0.084)	-0.17	(0.206)
商取引	あり	1	682	-0.08	0.802	0.08	0.872
	なし	2	71	0.73	(0.130)	-0.79	(0.082)
品目 グループ		1	66	-0.23	0.301	-0.32	1.291
		2	309	0.01	(0.048)	-0.52	(0.192)
		3	89	-0.08		-0.43	
		4	289	0.07		0.768	
相関比				0.235		0.095	

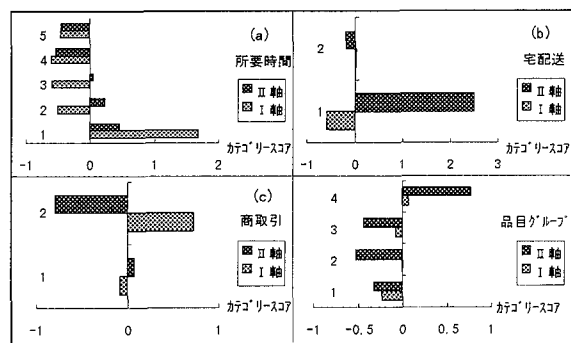


図-2 ケース1のカテゴリースコア図

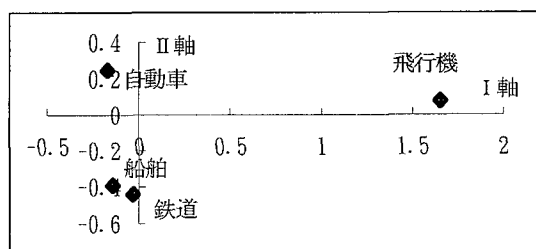


図-3 ケース1のサンプルスコアの手段別平均値

以上より、大阪～北海道間の輸送手段については、所要時間が24時間以下の場合、飛行機の利用傾向が強く、所要時間の増加に伴って輸送手段は船舶と鉄道へシフトする傾向がある。宅配送を利用するなら、自動車が利用されやすく、そして付加価値の高い完成品グループに属するような貨物は飛行機、もしくは

は自動車を利用する傾向が強いことがわかった。商取引のある貨物は飛行機を利用しない傾向がある。また、原材料グループや比較的価値の低い完成品グループは船舶、鉄道の利用傾向が強いようである。

ケース2：

ケース2の結果を表-4 および図-4、5に示す。

表-4についてみると、レンジ及び偏相関係数より、Ⅰ軸に関しては所要時間と重量が、Ⅱ軸に関しては、重量が大きな影響を及ぼしていることがわかる。また、図-4(a)より、Ⅰ軸についてのカテゴリースコアを見ると、軽量ほど負の小さな値を取り、重量が増加するに伴って、ほぼ単調に増加していることがわかる。一方、重量のⅡ軸についても、軽量ほど負の値を取ることがわかる。さらに、図-4(b)の所要時間に関しても、Ⅰ軸については、所要時間が大きくなるにつれて、スコアの値が負から正へほぼ単調に増加している。つまり、重量が大きくなればなるほど、また所要時間が長くなればなるほどⅠ軸の値は大きくなることがわかる。図-4(c)のⅡ軸についてみると、宅配送を利用する場合、負の値を取ることがわかる。

図-5の手段別のサンプルスコアの平均値図より、Ⅰ軸は飛行機とその他の交通機関、Ⅱ軸は自動車と他の交通機関の判別軸と考えられる。

以上より、重量が軽く（20kg以下）、所要時間が非常に短い（24時間以下）貨物の場合には、飛行機の利用傾向が高く、逆に重量が重く、所要時間が長い場合には鉄道、船舶の利用傾向が強いことがわかる。また、宅配送を利用する場合、自動車の利用傾向が強いことも確認できる。これらの結果はケース1の場合と一致する。

(2) 大阪～東京の輸送手段選択

ケース3：

このケースの結果は表-5と図-6、7の通りである。

表-5のレンジ及び偏相関係数を見ると、Ⅰ軸に関しては、所要時間が非常に大きな要因となっていることがわかる。また、商取引についても比較的大きな値を取っている。Ⅱ軸に関しては相関比が非常に小さく、説明力が乏しい。図-6(a)の所要時間のⅠ軸についてのカテゴリースコアを見ると、若干の変動はあるが、所要時間が短いほど、負の値を取る傾向

表- 4 ケース 2 の結果（大阪～北海道）

要因	カテゴリー	No.	サンプル数	Ⅰ 軸		Ⅱ 軸	
				スコア	レンジ (偏相関係数)	スコア	レンジ (偏相関係数)
重量 (kg)	～20	1	180	-0.72	1.613	-0.42	2.178
	21～40	2	65	-0.48	(0.380)	-0.05	(0.274)
	41～60	3	42	-0.45		-0.47	
	61～80	4	30	-0.53		-0.63	
	81～100	5	29	-0.33		-0.75	
	101～200	6	60	-0.06		-0.88	
	201～500	7	50	-0.19		-0.21	
	501～1000	8	56	0.42		-0.31	
	1001～3000	9	65	0.67		1.01	
	3001～6000	10	70	0.83		1.29	
	6001～	11	106	0.88		0.61	
所要時間 (時間)	～24	1	180	-1.28	1.769	0.92	1.388
	25～36	2	154	0.35	(0.430)	-0.47	(0.221)
	37～48	3	158	0.34		-0.40	
	49～60	4	62	0.41		-0.21	
	60～	5	199	0.48		-0.08	
宅配送 利用か	はい	1	48	0.29	0.314	-1.71	1.830
	いいえ	2	705	-0.02	(0.050)	0.11	(0.185)
相関比				0.306		0.153	

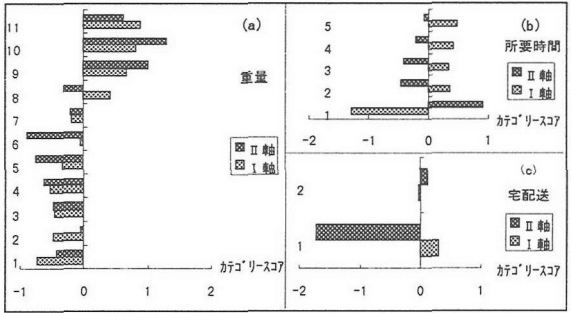


図-4 ケース 2 のカテゴリースコア図

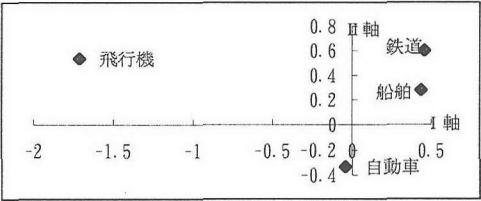


図-5 ケース 2 のサンプルスコアの手段別平均値

にあると思われる。また、図-6(b)の商取引については、「なし」の場合に負の値を取る傾向にあるようである。

表- 5 ケース 3 の結果（大阪～東京）

要因	カテゴリー	No.	サンプル数	Ⅰ 軸		Ⅱ 軸	
				スコア	レンジ (偏相関係数)	スコア	レンジ (偏相関係数)
所要時間 (時間)	～9	1	201	-1.76	6.351	-0.37	4.616
	10～12	2	1700	0.12	(0.303)	0.69	(0.303)
	13～15	3	610	-0.47		0.53	
	16～18	4	686	-0.58		-0.18	
	19～21	5	330	0.25		0.59	
	22～24	6	698	0.56		-1.68	
	25～36	7	57	1.29		-1.29	
	36～	8	63	4.59		-3.92	
商取引	あり	1	3732	0.23	1.632	0.09	0.641
	なし	2	613	-1.40	(0.185)	-0.55	(0.036)
相関比				0.112		0.033	

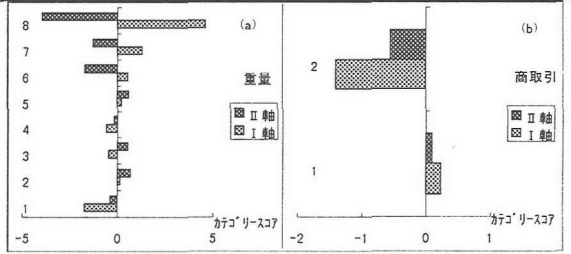


図-6 ケース 3 のカテゴリースコア図

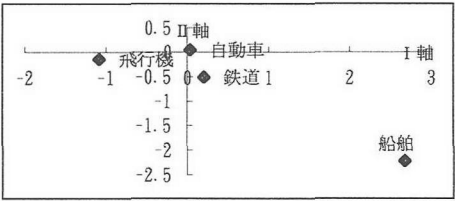


図-7 ケース 3 のサンプルスコアの手段別平均値

図-7の手段別サンプルスコアの平均値図より、Ⅰ軸は飛行機と船舶の判別軸と考えられ、正の大きな値を取れば船舶を利用する傾向が強く、逆に負の小さい値を取れば、飛行機の利用傾向が強い。

以上より、大阪～東京間の輸送手段については、所要時間が短く、商取引がないような場合には、飛行機の利用傾向が強く、所要時間が長い場合には、船舶の利用傾向が強いことがわかった。なお、品目グループについては他の要因との相関性が高いため、東京～大阪間においては、アイテムに加えることができなかった。

(3) O-D別の比較

表-2からもわかるように、輸送手段と相関が高い要因同士の相関性がO-Dによって異なる。本研究においては、大阪～北海道間では、各組合わせの要因数が3～4であるのに対して、大阪～東京間では、所要時間と商取引のみが有効であった。なお、大阪～東京間の手段選択においては、90%以上のサンプルが自動車を利用しており、このような自動車に偏重した選択となるような要因が、特定できなかった。

次に、表-3と表-5を比較してみると、両方面ともに所要時間が手段選択に及ぼす影響が強いことがわかる。これより、所要時間はO-Dの違いにもかかわらず、輸送手段選択に対して及ぼす影響の強い要因として重要な役割を演じていると考えられる。

さらに、サンプルスコアの平均値に着目する。図-3、5によると、北海道方面では、自動車と飛行機とは比較的明かに判別されるが、船舶と鉄道とはサンプルスコアの平均値が類似しており、十分に判別されていない。一方、図-7によると、東京方面では、船舶と飛行機とは、比較的明かに判別されているが、自動車と鉄道は十分に判別されていない。これより、所要時間の影響によって、北海道方面では、船舶と鉄道が選択肢として類似性が高く、東京方面では、自動車と鉄道が選択肢として類似性が高い可能性があると考えられる。

5. おわりに

上記のように大阪～北海道と大阪～東京と2つの方面の貨物輸送を例として、分析した結果、次の結論が得られた。

- 1) 輸送の所要時間と貨物の重量は手段選択に大きな影響を及ぼす。特に、前者の影響はより強い。所要時間が短ければ、飛行機を選択する傾向が非常に強く、飛行機を選ぶ決定的な理由と言える。
- 2) 重量が20kg以下の貨物は、飛行機を利用する傾向にあり、重量の増加に伴って、自動車、鉄道、船舶と遷移していく。
- 3) 貨物の品目、金額重量換算率の輸送手段選択への影響は、所要時間と重量ほど強くない。しかし、金額重量換算率の低い原材料、低加工品のような貨物が輸送される際には、鉄道、船舶が利用される傾向があるのに対して、付加価値が高く、軽量

な完成品は飛行機を利用する傾向がある。

- 4) 宅配送を「利用する」、或いは商取引の「ある」貨物輸送では、飛行機を利用しない傾向がある。
- 5) 手段選択特性は、O-Dによって多少異なるが、所要時間の影響力はここで行った2つの方面ではともに強い。大阪～北海道方面では、飛行機を選択と他の手段の相違が目立つのに対して、大阪～東京では船舶と他の手段の相違が顕著である。

この分析によって、貨物属性の1つである重量の輸送手段選択に及ぼす影響は品目グループの影響より大きいと考えられる。しかし、上記の結論は2ペアのO-Dを代表例とし、貨物属性と手段属性の手段選択に及ぼす影響について分析を行うことによって得られたものであるため、さらに、他のO-D間の分析を行った上で、モデルの汎用性を高めるよう改良していく必要があるだろう。また、データの制限で、手段選択に重要な影響を与える要因である輸送コストと荷主属性を同時に分析することができなかった。この点に関しても、今後の課題とする。

最後に、アドバイスを頂いた京都大学工学部宇野伸宏助手に感謝の意を表す。

【参考文献】

- 1)京阪神都市圏交通計画協議会、京阪神都市圏物資流動調査報告書、昭和62年3月。
- 2)Boyer KD, Minimum rate regulation, modal split sensitivities and the railroad problem, Journal of Political Economy 85(3) June:493-512, 1977.
- 3)Miklius W, Casavant KL & Garrod PV, Estimation of demand for transportation of agricultural commodities. American Journal of Agricultural Economics 58(2) May:217-223,1976.
- 4)Julian Bejamin, An Analysis of Mode Choice for Shippers in A Constrained Network With Applications to Just-in-Time Inventory, Transpn. Res.-B, Vol. 24B, No.3, pp229-245, 1990.
- 5)Vivien P Jeffs & Peter J Hills, Determinants of Modal Choice in Freight Transport, Transportation, 17, pp 29-47,1990.
- 6)運輸経済研究センター、21世紀のわが国の交通需要、pp.85-86、平成3年3月。

摘 要

物流ニーズの高度化、多様化によって、交通混雑、環境問題、輸送能率低下などが問題となっている。これらの問題を解決する施策を提案するために、荷主の輸送手段選択のメカニズムを解明することが重要である。本研究では、荷主の輸送手段選択を分析するために、まず、数量化理論Ⅲ類を用いて、貨物の類似度を調べ、貨物を幾つかのグループ分類する。次に、この分類を1つの要因として、数量化理論Ⅱ類による輸送手段選択モデルに代入し、地域間の貨物輸送における品目グループの特性、所要時間、貨物重量など影響要因が手段選択に及ぼす影響を分析する。

An Analysis of Modal Choice in Intercity Freight Transport

By Eiichi TANIGUCHI, Hongzhi GUAN, Yasunori IIDA, Fumitaka KURAUCHI

ABSTRACT

Recently the freight transportation has brought many problems such as congestion, air pollution etc. It is important to clarify the mechanism of modal choice of shippers in freight transportation. In this paper, we developed a model of modal choice of intercity freight transportation. Goods were classified in terms of the products type, handling characteristics and its value by quantification theory type Ⅲ. Then the result and other alternative specific variables which affect modal choice were used together in the study of modal choice by quantification theory type Ⅱ.
