

1. 背景と目的

乗合バスは、地域内での様々な交通需要に対し、きめ細かく対応できる輸送機関として重要な役割を果たしてきた。しかし、高度経済成長に伴う社会経済構造の変化、特にモータリゼーションの進展に伴う自家用自動車の普及、過疎化の進行による人口の減少等により、乗合バスの利用者は年々減り続けている。このようなバス利用者の減少が、採算性が悪い路線の合理化を招く。さらに、路線の廃止や便数の減少等により利便性が悪化すると、利用者離れに一層拍車がかかるという悪循環が起こり、状況をさらに悪化させているようである。

乗合バスから自家用自動車への過度のシフトは、高齢者、運転のできない児童・生徒や障害者、自動車を購入できない低所得者など、公共交通に依存せざるを得ない人々の移動の自由が奪われるという問題を引き起こす。さらに、身体能力が衰えている高齢者の交通事故が増加している。このような問題から、国や地方自治体は、乗合バス路線の維持を図るため、補助金の交付等の支援を行ってきた。しかし、そのような対応では状況が改善されないケースが多く、これまでとは異なる発想に基づく対策も求められている。小池(2011)¹⁾では AI (Almost Ideal) Demand System モデルを用いて 4 交通機関(乗合バス、自家用乗用車、乗合タクシー、鉄道(JR))における全国レベル、各地域レベルの弾力性を算出することで、長期における乗合バス利用者回復のための政策提言を行っている。しかし既存研究においては、仮説検定においてモデルの妥当性が確認できず、また、交通機関以外の他の財の影響を考慮していないといった課題がある。そこで本研究では、Ramesh Durbarry and M. Thea Sinclair(2003)²⁾を参考に、AI Demand System モデルを動学化した Dynamic AI Demand System モデルを用いる。そして、4 交通機関および財・交通・住居サービスにおける需要関数を推定し、各種弾力性(消費支出弾力性、自己価格弾力性、交差価格弾力性)を算出する。それらの結果から、4 交通機関と財・交通・住居サービスの需要相互関係を明らかにし、乗合バスの利用者回復に関する政策を提言することを目的とする。

2. 分析手法

AI Demand System モデル(以下 AIDS モデル)は 1980 年に Deaton.A.S と J.Mauellbauer によって開発され、海外では家計の消費行動分析に広く利用されている。AIDS 型需要関数では、需要量を消費における固定的なシェアによって表現し、総支出額・価格においては時系列価格指数を用いる。また、需要関数の推定を容易にする制約(加法性・対称性・同次性・負性)と消費者の行動理論を兼ね備えたモデ

ルであることが知られている。各交通機関の需要関数の推定作業にあたり、本研究では、以下のような AI 需要体系を採用している。AI 需要体系の支出関数は以下の Trans-Log 型支出関数に特定化する。

$$\ln E(p; u) = \alpha_0 + \sum \alpha_k \ln p_k + \frac{1}{2} \sum \sum \beta_{kj} \ln p_k \ln p_j + u \gamma_0 \prod p_k^{\gamma_k} \quad (1)$$

ただし、 E : 総支出、 p : 財の価格指数、 u : 効用水準、 α, β, γ : 推定パラメータ、 i, j : 財の種類を表すサフィックス

ここで Shephard (1979)の補題を用いることで、以下の需要関数を得る。

$$S_i = \alpha_i + \sum_j \beta_{ij} \ln p_j + \gamma_i \ln(E/P) \quad (2)$$

ただし、 S : 支出シェアに対する財の需要量、 P : 集計価格指数

P は Stone の近似式により以下のように定義される。

$$\ln P = \sum_i S_i \ln p_i \quad (\text{Stone price index}) \quad (3)$$

AIDS モデルを動学化したモデルが Dynamic AIDS モデルである。Dynamic AIDS モデルは、1 階の差分をとったシェア方程式体系として表される。

$$\Delta S_{it} = \alpha_i^S + \sum_j \beta_{ij}^S \Delta \ln p_{jt} + \gamma_i^S \Delta \ln(E/P)_t - \lambda [S_{it-1} - \alpha_i^L - \sum_j \beta_{ij}^L \ln p_{jt-1} + \gamma_i^L \ln(E/P)_{t-1}] \quad (4)$$

ただし、 L : 長期、 S : 短期

Δ は差分演算子を表しており、任意の変数 x について $\Delta x_t = x_t - x_{t-1}$ である。支出比率の 1 階差分が対数価格と対数実質支出の差分だけでなく角括弧内の値によっても説明される。角括弧内は短期的不均衡、すなわち各財の支出比率に関する長期的均衡からの乖離を表すものと解釈される。Dynamic AIDS モデルは、誤差修正モデルとも呼ばれる。誤差修正モデルではこの短期的不均衡が調整係数 λ を介して修正される短期的調整過程をとらえることができる。短期的不均衡が大きいほど、長期的均衡への修正が強く働くため、調整係数の値は大きくなる。長期的均衡までの調整期間は、 $1/\lambda$ で表すことができる。

また、需要関数に課すことができる制約(加法性、同次性、対称性)については、パラメータを用いて

以下のように表現できる。

1) 加法性： $\sum_i \alpha_i^{term} = 1$
 $\sum_i \beta_{ij}^{term} = 0$ $term = L, S$ (5)
 $\sum_i \gamma_i^{term} = 0$

2) 同次性： $\sum_j \beta_{ij}^{term} = 0$ $term = L, S$ (6)

3) 対称性： $\gamma_{ij}^{term} = \gamma_{ji}^{term}$ $term = L, S$ (7)

これら 3 つの制約は需要関数の推定の際に考慮され、推定の手順として加えられることによって、余分な非線形パラメータ推定を避けることが可能となる。このように多くの制約が課されている Dynamic AIDS モデルにおいては、パラメータ推定法として一般的に SURE 推定法が用いられている。このとき、交通需要の消費支出弾力性、自己価格弾力性、交差価格弾力性はそれぞれ以下のように表せる。

1) 消費支出弾力性：
$$e_i^{term} = 1 + \frac{\gamma_i^{term}}{S_i}$$
 (8)

2) 自己価格弾力性：
$$e_{ii}^{term} = -1 + \frac{\beta_{ij}^{term}}{S_i} - \frac{\gamma_i^{term}}{S_i} (\alpha_j^{term} + \sum_k \beta_{kj}^{term} \ln p_k)$$
 (9)

3) 交差価格弾力性：
$$e_{ij}^{term} = \frac{\beta_{ij}^{term}}{S_i} - \frac{\gamma_i^{term}}{S_i} (\alpha_j^{term} + \sum_k \beta_{kj}^{term} \ln p_k)$$
 (10)

3. 実証分析

3-1. 4 交通機関の分析結果

まず、4 交通機関（乗合バス、自家乗用車、乗合タクシー、鉄道）に関する分析結果について説明する。4 交通機関に関する分析において使用するデータの詳細を表 1 に示す。

表 1 使用するデータの詳細

交通機関	価格データ	需要データ	年次
乗合バス	消費者物価指数	輸送人キロ	S43~H15
自家乗用車			
乗合タクシー			
鉄道			
出典	消費者物価指数年報	自動車輸送統計年報 鉄道統計年報	

(1) パラメータ推定結果

表 2, 3 は Dynamic AIDS モデルにおける需要関数のパラメータ推定結果を示す。各推定結果のパラメータ推定値は Dynamic AIDS モデルの制約（加法性・同次性・対称性）を満たしている。長期に関しては、推定後の適合度テスト・仮説検定において、t 値は一部有意水準 5% を棄却するに満たないパラメータも存在するが、8 割強のパラメータ推定結果において有意な結果を示している。また、自由度修正済み決定係数については、全て 0.7 以上の値をとりモデルのあてはまりが有効であるといえる。さらに、DW 統計値は、各交通需要関数の結果とも非常に小さい値をとるため、誤差項についての 1 次の系列相関の存在を棄却することができない。短期に関しては、t 値、自由度修正済み決定係数、DW 統計値の値が良くないため、信頼性が高いとはいえない結果になった。また、短期的調整過程から長期的均衡までの調整期間は $1/\lambda$ で示されるので、表 3 より約 5 年であることが分かる。

表 2 4 交通機関によるパラメータ推定結果
(長期的均衡)

		定数項	$\log p_i$	$\log p_j$	$\log p_i$	$\log p_j$	$\log E/P$	R2	DW
1. 乗合バス	estimate	-0.2342	-0.0042	-0.0368	0.0240	0.0159	-0.0586	0.8905	1.1000
	SE	0.0408	0.0124	0.0054	0.0083	0.1584	0.0089		
	t-stat	-5.7456	-0.3414	-6.7905	2.8777	0.1002	-6.6088		
2. 自家乗用車	estimate	1.9106		0.2167	-0.1465	-0.1852	0.2457	0.9074	0.5131
	SE	0.1769		0.0235	0.0361	0.0447	0.0385		
	t-stat	10.7990		9.2074	-4.0544	-4.1449	6.3802		
3. 乗合タクシー	estimate	-0.0745		0.0168	0.0144	-0.0196	0.0032	0.9448	1.0135
	SE	0.0148		0.0030	0.0023	0.0032	0.0032		
	t-stat	-5.0330		6.1505	6.3583	-6.0786			
4. 鉄道(JR)	estimate	-0.8925			0.1549	-0.2298			
	SE	0.4845			0.1433	0.1046			
	t-stat	-1.8423			1.0817	-2.1977			

表 3 4 交通機関によるパラメータ推定結果
(短期的調整過程)

		$\Delta \log p_i$	$\Delta \log p_j$	$\Delta \log p_i$	$\Delta \log p_j$	$\Delta \log E/P$	λ	R2	DW
1. 乗合バス	estimate	0.0011	-0.0001	-0.0025	0.0000	-0.0281	0.1955	0.2960	1.2882
	SE	0.0008	0.0002	0.0012	0.0027	0.0195	0.2557		
	t-stat	1.2763	-0.3841	-2.1875	-0.0014	-1.4397	0.7647		
2. 自家乗用車	estimate	0.0011	0.0108	-0.0014	0.0643			0.3270	1.1777
	SE	0.0009	0.0061	0.0011	0.1023				
	t-stat	1.1382	1.7595	-1.2394	0.6282				
3. 乗合タクシー	estimate		-0.0005	0.0004	0.0093			0.4285	1.8964
	SE		0.0005	0.0003	0.0103				
	t-stat		-1.6614	1.5196	-1.0800				
4. 鉄道(JR)	estimate		0.0010	-0.0165					
	SE		0.0030	0.1344					
	t-stat		0.3253	-0.1229					

(2) 弾力性算出結果と考察

表 4, 5 は 4 交通機関の各種弾力性の算出結果を示す。弾力性の値は各年度別に算出が可能であり、表 4, 5 は、年度の平均値で表した表である。消費支出弾力性、自己価格弾力性、交差価格弾力性の算出結果より、以下に特徴的な結果をまとめる。

表 4 4 交通機関による弾力性算出結果
(長期的均衡)

	消費支出弾力性	価格弾力性			
		乗合バス	自家乗用車	乗合タクシー	鉄道(JR)
乗合バス	0.154	-0.944	1.662	-0.447	-0.426
自家乗用車	1.376	0.039	-1.551	0.013	0.123
乗合タクシー	-0.153	-0.984	1.721	-0.266	-0.318
鉄道(JR)	-0.348	-0.081	1.865	-0.031	-1.406

…自己価格弾力性

表 5 4 交通機関による弾力性算出結果
(短期的調整過程)

	消費支出 弾力性	価格弾力性			
		乗合バス	自家用乗用車	乗合タクシー	鉄道(JR)
乗合バス	0.716	-0.990	-0.007	-0.0007	0.282
自家用乗用車	1.021	-0.000	-0.998	-0.000	-0.023
乗合タクシー	1.582	0.001	-0.014	-1.010	-0.558
鉄道(JR)	0.908	-0.000	-0.007	0.002	-0.903

…自己価格弾力性

表 4, 5 より, 長期的均衡と短期的調整過程では弾力性算出結果が異なっていることが分かる. まず, 消費支出弾力性について説明する. 長期では自家用乗用車の値が弾力的であり, 短期では自家用乗用車と乗合タクシーの値が弾力的である. また, 乗合タクシーと鉄道は, 短期・長期の違いにより, 弾力性の値の正負が変化している. 次に, 自己価格弾力性について説明する. 長期では自家用乗用車, 鉄道の値が弾力的であり, 短期では乗合タクシーの値が弾力的である. 最後に, 交差価格弾力性について説明する. 交差価格弾力性の結果をまとめたものを図 1 に示す. 図 1 より, 短期・長期の違いにより, 各交通機関の代替・補完関係が変化していることが分かる. 長期においては, 乗合バス, 乗合タクシー, 鉄道が補完関係, 自家用乗用車と他の 3 交通機関が代替関係である. 短期においては, 交差価格弾力性の値が全体的に小さいため, 代替・補完関係がみられない. よって, 長期では, 自家用乗用車の価格が上昇により他の 3 交通機関の需要が増加するため, 「自家用乗用車への課金政策」, 「補完交通との提携政策」などの政策が乗合バスの利用者回復に有効といえる. しかし, 短期では代替・補完関係がみられないため, これらの政策は有効とはいえない.

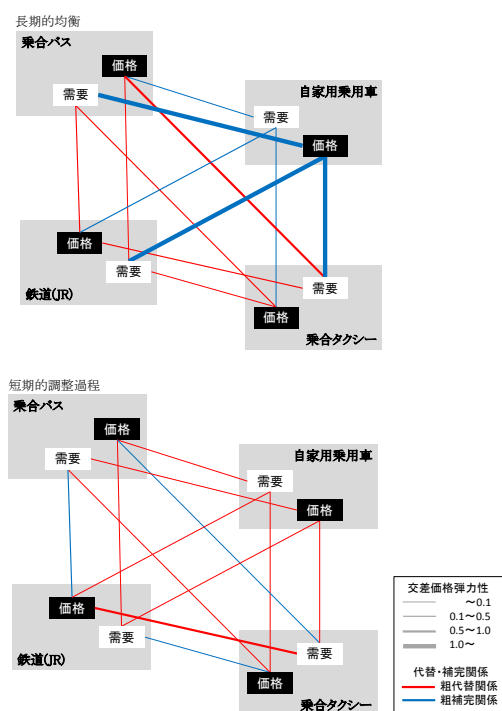


図 1 4 交通機関の代替・補完関係

3-2. 財・交通・住居サービスの分析結果

次に, 財・交通・住居サービスに関する分析結果について説明する. これらの結果より, 各交通機関だけでなく交通を取り巻く財との相互需要関係を明らかにする. 分析において使用するデータの詳細を表 6 に示す.

表 6 需要分析に使用するデータの詳細

	価格データ	需要データ	年次
財	消費者物価指数	支出金額	S55~H22
交通			
住居			
出典	消費者物価指数年報 (総務省統計局)	家計調査年報 (総務省統計局)	

(1) パラメータ推定結果

表 7, 8 は Dynamic AIDS モデルにおける需要関数のパラメータ推定結果を示す. 各推定結果のパラメータ推定値は Dynamic AIDS モデルの制約 (加法性・同次性・対称性) を満たしている. 推定後の適合度テスト・仮説検定において, t 値は長期と短期ともに, 一部有意水準 5% を棄却するに満たないパラメータが存在している. 自由度修正済み決定係数については, 長期において 0.7 以上の値をとりモデルのあてはまりが有効であるといえる. また, DW 統計値は長期と短期ともに, 各交通需要関数の結果とも非常に小さい値をとるため, 誤差項についての 1 次の系列相関の存在を棄却することができない.

表 7 パラメータ推定結果 (長期的均衡)

		定数項	$\log p_i$	$\log p_j$	$\log p_k$	$\log(E/P)$	R2	DW
1.財	estimate	1.0276	0.4369	-0.2145	-0.2224	0.0629	0.9776	0.6327
	SE	0.0600	0.0125	0.0051	0.0109	0.0134		
	t-stat	17.1354	34.9426	-42.3176	-20.4241	4.6952		
2.交通	estimate	0.0362	0.1567	0.0578	-0.0232	-0.0049	0.9832	1.5069
	SE	0.0221	0.0163	0.0146	0.0049	0.0049		
	t-stat	1.6352	9.5958	3.9479	-4.6966	-0.0397		
3.住居	estimate	-0.0638	0.0578	0.1646	-0.0397	0.0117		
	SE	0.0523	0.0162	0.0162	0.0117	0.0117		
	t-stat	-1.2184	10.1554	10.1554	-3.3934	-3.3934		

表 8 パラメータ推定結果 (短期的調整過程)

		$\log p_i$	$\log p_j$	$\log p_k$	$\log(E/P)$	λ	R2	DW
1.財	estimate	0.0002	-0.0001	-0.0001	0.1120	0.4030	0.4010	1.3210
	SE	0.0002	0.0001	0.0002	0.0318	0.1578		
	t-stat	1.0478	-1.6788	-0.7187	3.5178	2.5544		
2.交通	estimate	0.000004	0.0001	-0.0152	0.0085		0.3069	1.2678
	SE	0.0002	0.0002	0.0085	0.0085			
	t-stat	0.0260	0.5313	-1.7975	0.0085			
3.住居	estimate		0.0001	-0.0967	0.0282			
	SE		0.0002	0.0282	0.0282			
	t-stat		0.2487	-3.4274	0.2487			

(2) 弾力性算出結果と考察

表 9, 10 は財・交通・住居サービスの各種弾力性の算出結果を示す. これらの算出結果より以下に特徴的な結果をまとめる.

表 9 財・交通・住居による弾力性算出結果
(長期的均衡)

	消費支出 弾力性	価格弾力性		
		財	交通	住居
財	1.079	-0.536	-0.271	-0.273
交通	0.800	-1.630	0.350	0.479
住居	0.550	-2.039	0.662	0.828

…自己価格弾力性

表 10 財・交通・住居による弾力性算出結果
(短期的調整過程)

	消費支出 弾力性	価格弾力性		
		財	交通	住居
財	1.129	-0.999	-0.004	-0.0050
交通	0.569	-0.000	-1.000	0.002
住居	0.001	-0.130	0.435	0.003

…自己価格弾力性

表 9, 10 より, 長期的均衡と短期的調整過程では弾力性算出結果が異なっていることが分かる。まず, 消費支出弾力性について説明する。長期, 短期ともに財の値が弾力的であり, 交通, 住居サービスの値が非弾力的である。次に, 自己価格弾力性について説明する。長期では全ての値が非弾力的であるが, 短期では交通の値が弾力的である。最後に, 交差価格弾力性について説明する。交差価格弾力性の結果をまとめたものを図 2 に示す。図 2 より, 長期, 短期ともに交通と住居サービスが代替関係, 交通と財が補完関係であることが分かる。よって, 住居サービスの価格上昇, または, 財の価格下降により交通の需要が増加する。これらの結果から, 乗合バスの利用者回復に関する政策を提言する際には, 交通機関以外の他の財の影響も考慮する必要があることが分かる。しかし, 本研究の結果は全国レベルのデータを使用しているため, 地域によっては, 代替・補完関係が変化する可能性がある。

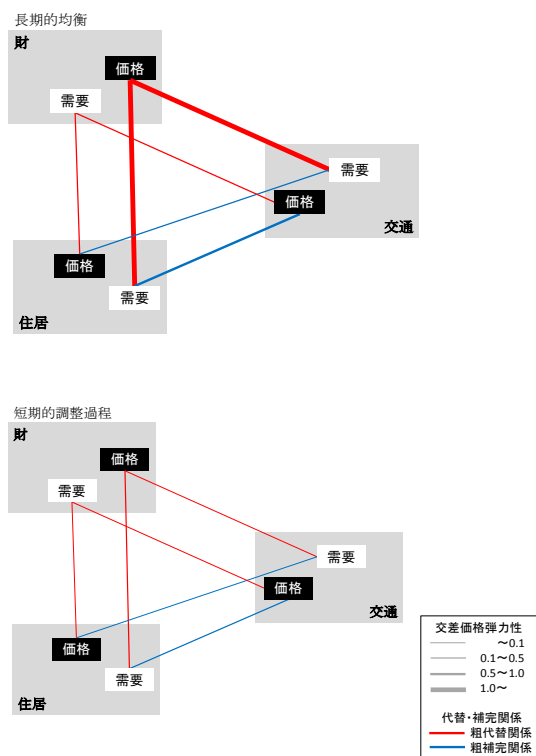


図 2 財・交通・住居サービスの代替・補完関係

4. 結論

本研究では, 日本における各弾力性を推定することで交通機関の相互需要関係を定量的に分析することができた。さらに, 交通機関のみならず, 財・交通・住居の需要相互関係を明らかにした。これらの分析結果より, 以下のようなバス利用者回復の提言を行うことができる。

4-1. 乗合バスの利用者回復に関する提言

本研究の 4 交通機関に関する分析結果より, 短期・長期の違いにより, 各交通機関の代替・補完関係が変化していることが分かる。長期においては, 乗合バス, 乗合タクシー, 鉄道が補完関係, 自家用乗用車と他の 3 交通機関が代替関係である。短期においては, 交差価格弾力性の値が全体的に小さいため, 代替・補完関係がみられない。そのため, 長期では, 自家用乗用車の価格が上昇すると, 他の 3 交通機関の需要が増加するため, 「自家用乗用車への課金政策」, 「補完交通との提携政策」などの政策が乗合バスの回復に有効といえる。しかし, 短期では代替・補完関係がみられないため, これらの政策は有効とはいえない。そのため, 短期, 長期それぞれにおける政策を考える必要がある。また, 財・交通・住居サービスの分析結果より, 交通機関の需要は交通機関以外の他の財の影響を受けることが分かる。また, 長期, 短期ともに交通と住居サービスが代替関係, 交通と財が補完関係であることから, 財の価格下降または住居の価格上昇により交通の需要が増加すると考えられる。

4-2. 本研究の課題

本研究においては, 交通機関の相互関係だけでなく, 交通と他の財との相互関係を明らかにした。しかし, パラメータ推定結果において, 仮説検定における t 値が有意水準 5% を棄却するに満たないパラメータが存在し, 精度が十分であるとはいえない結果となった。今後は推定法を反復 SURE 推定法に変更するなどの精度の向上が必要となる。また, 本研究では交通とその他の財の需要相互関係を明らかにする際, その他の財として財と住居サービスのみを使用した。そのため, 交通に関わる他の財を考慮する必要があるといえる。さらに, 本研究は全国レベルのデータを使用している。地域によっては, 代替・補完関係が変化する可能性があるため, 地域別の分析を行う必要があると考えられる。

【参考文献】

- 1) 小池淳司: AI Demand System モデルによる交通需要弾力性推定による政策分析運輸政策研究, Vol.14, No.3, pp.2-8, 2011
- 2) Ramesh Durbarry, M. Thea Sinclair: Market shares analysis –The case of French tourism demand-, *Annals of tourism research*, Vol.30, No.4, pp.927-941, 2003.