

アクセス交通手段のサービス水準を考慮した 低炭素交通システムの導入効果の推計

畠山 晃穂¹・福田 敦²・石坂 哲宏³・
マーライタム・サティター⁴・増島 哲二⁵

¹学生非会員 日本大学大学院 理工学研究科社会交通工学専攻

(〒274-8501 千葉県船橋市習志野台7-24-1)

E-mail:csak15009@g.nihon-u.ac.jp

²正会員 日本大学教授 理工学部交通システム工学科 (〒274-8501 千葉県船橋市習志野台7-24-1)

E-mail:fukuda.atsushi@nihon-u.ac.jp

³正会員 日本大学准教授 理工学部交通システム工学科 (〒274-8501 千葉県船橋市習志野台7-24-1)

E-mail: malaitham.sathita @nihon-u.ac.jp

⁴正会員 日本大学助手 理工学部交通システム工学科 (〒274-8501 千葉県船橋市習志野台7-24-1)

E-mail:ishizaka.tetsuhiro@nihon-u.ac.jp

⁵非会員 株式会社アルメックVPI

近年、開発途上国の中・小規模都市においても、モータリゼーションが進展しており、温室効果ガス排出量の増加が危惧されており、低炭素交通システムの在り方が多数検討されるようになってきている。それらの多くは、Bus Rapid Transit (以下、BRT) の導入を軸として交通回廊を形成することで、コンパクトな市街地を形成することを提案している。しかし、これらの都市では自動車や自動二輪車に対する依存度が高いことから、BRTへの転換を図るためにはアクセス交通の整備を行う必要が強く求められている。

そこで本研究では、ベトナム・ダナン市を対象に、低炭素交通システム実現の観点から、現在検討されているBRT沿線におけるアクセス交通の在り方を検討する。具体的には、アクセス交通のサービス水準を設定したうえで、利用意向調査のアンケートを行い、得られた結果より、Nested Logitモデルを構築する。このモデルを適用して、BRTの導入と合わせてアクセス交通の整備による、将来のCO₂排出削減量を推計し、その在り方を示す

Key Words : BRT, CO₂, DaNang, Modal share, Level of service, Nested Logit Model

1. はじめに

近年、開発途上国の中・小規模都市においてもモータリゼーションの進展による温室効果ガス排出量の増加が問題となっている。とくに、これらの国では今後も、自動二輪車、乗用車の保有台数が増加すると想定されており、都市の拡大に先行して、低炭素交通システムを導入し、温室効果ガス排出量の少ない都市を作っていく必要がある。このような観点から、多くの中・小規模都市において、低炭素交通システム導入の在り方が検討されるようになっており、その多くで財政的に可能なBus Rapid Transit (以下、BRT) を導入し、交通回廊を形成することで、低炭素交通システムを実現する案が提案されている。しかし、これらの都市では自動車への依存度が高く、歩行への抵抗が大きいため、BRTを導入しても、利用へ転換が進まないことが懸念されている。

この問題へ対応するためには、BRTなどの基幹的な公共交通へのアクセス交通手段を整備する必要があると考えられる。

そこで、本研究ではBRTの導入が計画がされているベトナム、ダナン市を対象に、アクセス交通手段のサービス水準を考慮した選択モデルを構築し、アクセス交通手段の提供がBRTを含む代表交通手段の需要へ与える影響を推計する。また、このような施策を実施することで、ダナン市におけるCO₂の排出量がどの程度削減するか推計し、政策の評価を行うことを目的とする。

2. ダナン市低炭素交通システム導入計画

ダナン市はベトナム5つの中央政府直轄都市でありベトナム中部にある経済・文化の中心地であり中規模都市である。人口は2009年時には約890,000人、

2025年には約2,100,000人まで増加すると予測されている。また現在の車両保有率では自動二輪車が84.6%、自動車が1.6%となっている。しかし2025年までには経済成長とともに、自動車の保有率は69.9%となっており、自動車増加の抑制のために、早急に代替交通手段として低炭素交通システムの導入が必要となっている。しかし低炭素交通システムが導入されたとしても、東南アジアの各都市において公共交通まで徒歩でアクセスすることに抵抗があり、ドアツードアの移動手段が好まれるため、アクセス交通の導入及び整備が必要だと考えられる。アクセス交通手段のサービス水準を上げることによって、今までの既存の交通手段と差別化し、低炭素交通システムの利用促進をしなければならない。

3. 既往研究の整理

低炭素交通システム導入効果については開発途上国において様々な検討がされている。また新交通システムが導入されたときの選択確率においてはアンケートを用い、需要予測が行われている。

中村らは、Dalkmanらの提唱に基づき、低炭素都市実現のための交通システムをAVOID（交通需要の抑制）、SHIFT（低炭素交通機関の促進）、IMPROVE（技術進歩）の3つの戦略シナリオを踏まえてアプローチを提案した。中でもSHIFTの戦略シナリオにおいては、都市構造と交通ネットワークの詳細設計としては公共交通サービスレベルを上げるには幹線システムだけでなく端末交通システムを含めた階層的な交通システムが重要であり、モード間の乗換抵抗をより下げるような総合的なサービス圏や運賃設計が必要ということがわかった。また

またTUANはベトナム、ハノイ市を対象にBRTを導入したシナリオ、MRTを導入したシナリオにおいて多項ロジットモデルを用いて将来の交通手段選択確率を求めた。MRTのサービス水準を上げることで自動二輪車と自動車利用者がMRTへモーダルシフトするということが分かった。またハノイ市民においては移動時間短縮のために、高い料金水準であっても、旅行時間が短い交通手段を選択することがわかった。

低炭素交通システムがCO₂削減に貢献していることが既存研究からわかった。しかし、アクセス交通は代表交通手段を選択するうえで考慮しなくてはならない。しかし既存の研究をみても、アクセス交通手段を考慮したうえでの低炭素交通システムの導入評価は明らかにされていない。そこで本研究においては、アクセス交通手段を考慮したうえでの推計を行い、需要予測をおこなう必要があるといえる。

本章では、ベトナム、ダナン市の概要と、アクセス交通のサービス水準と代表交通手段のサービス水準を設定し、アンケート調査を行った。

4. 研究の方法

(1) アンケート作成

RP調査においては、現在の交通手段を把握するため性別、年齢、自動二輪車、自動車の免許の所有、自動二輪車、自動車の保有、年収、職業を回答していただき、SP調査においては、BRT導入後選好する交通手段を回答していただいた。目的地を都心部のHAGL Plazaホテルと仮定したときの、旅行時間と移動にかかる料金を提示した。また、交通手段の組み合わせとしては①自動二輪車（MC）②自動車（CAR）③バス（BUS）④徒歩とBRT（BRT+WALK）⑤自動二輪車とBRT（MC+BRT）、⑥フィーダーバスとBRT（FD+BRT）の6つの交通手段を選択していただいた。アンケートに関しての各交通手段のサービス水準はLevel 2を平均値としてLevel 1は最もサービス水準が高いとき、Level 3はサービス水準が低いときと設定した。以下の表-1に示し、実験計画法のL₈₁（3¹³）直行配列表に従い14属性3水準の組み合わせを27パターンに設定した。乱数表を用いて3パターンを無作為に抽出し、1人3回選好を回答していただくアンケートを作成した。

表-1 各交通手段サービス水準

自動二輪車			自動車		
速度 (km/h)	level 1	25	速度 (km/h)	level 1	20
	level 2	20		level 2	15
	level 3	15		level 3	10
駐車場料金 (VND)	level 1	3,000	駐車場料金 (VND)	level 1	10,000
	level 2	4,000		level 2	12,500
	level 3	5,000		level 3	15,000
1kmあたりの料金 (VND)	level 1	1,000	1kmあたりの料金 (VND)	level 1	12,000
	level 2	1,500		level 2	13,000
	level 3	2,000		level 3	14,000
バス			BRT		
速度 (km/h)	level 1	25	速度 (km/h)	level 1	35
	level 2	20		level 2	30
	level 3	15		level 3	25
待ち時間 (分)	level 1	5	BRT・フィーダーバス待ち時間 (分)	level 1	3
	level 2	10		level 2	5
	level 3	15		level 3	10
運賃 (VND)	level 1	3,000	運賃 (VND)	level 1	5,000
	level 2	4,000		level 2	10,000
	level 3	5,000		level 3	15,000
			自動二輪車駐車場 (VND)	level 1	0
				level 2	2,000
				level 3	3,000
			フィーダー運賃 (VND)	level 1	0
				level 2	3,000
				level 3	4,000

(2) 調査概要

ダナン市は合計5kmのBRT路線を導入を計画している。導入計画路線を図-1に示す。また調査対象範囲としてはBRT路線から0.1kmから0.5km以内の近距離、0.7kmから1.5km以内の中距離、2.0kmから3.0km以内の中距離、3.5kmから5.5km以内の長距離の範囲内において23,274サンプルのアンケートを配布した。



図-1 BRT導入計画路線と調査場所

(3) NLモデルの構築

本章では、非集計分析を用いアクセス交通を反映するために、Nested Logit モデル（以下、NLモデル）の同時推定を適応する。下位レベルにアクセス交通手段徒歩、自動二輪車、フィーダーバス、上位のレベルには代表交通手段とし自動二輪車、自動車バス、BRTとする。またBRTにおいてはアクセス手段は徒歩と徒歩以外でわけた。構築した手段選択ツリーを図-2に示す。

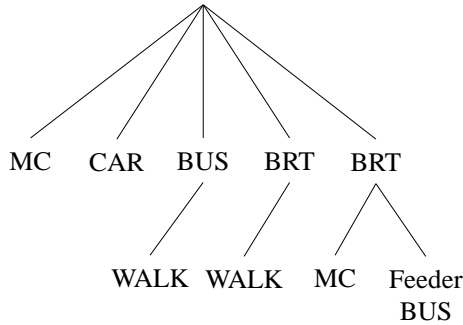


図-2 手段選択ツリー

(4) NLモデル式

NLモデルに関しては以下の式を用いて下位レベルを(1)を用いて確率を求め、(2)式を用い合成変数を算出する。上位レベルにおいては(3)式を用いて算出し、(4)式を用いて下位レベルと上位レベルを乗じ選択確率を算出する。また、上位レベルに関しては社会経済変数を選択肢へ含めた。

$$P_{ni|B_k} = \frac{\exp(V_{ni} / \lambda_k)}{\sum_{j \in B_k} \exp(V_{nj} / \lambda_k)} \quad (1)$$

$$IV_{nk} = \ln \sum_{j \in B_k} \exp(V_{nj} / \lambda_k) \quad (2)$$

$$P_{n,B_k} = \frac{\exp(Z_{nk}' \alpha + \lambda_k IV_{nk})}{\sum_l \exp(Z_{nl}' \alpha + \lambda_l IV_{nl})} \quad (3)$$

$$P_{ni} = P_{ni|B_k} P_{n,B_k} \quad (4)$$

ここで P_{ni} :選択確率、 $P_{ni|B_k}$:上位モデル、 P_{n,B_k} :下位レベル、 IV_{nk} :ログサム変数とする。

(5) NLモデル推定結果

NLモデルを用いて算出したパラメータの結果、尤度比、的中率を表-2、表-3、表-4に示す。表-2に関しては、共通変数の乗車料金、待ち時間に関する合成変数がt値1.96以上を満たしていない。しかし、満たしている乗車時間と駐車料金を含めてすべての変数のパラメータの符号条件が負となっているため、料金が安く旅行時間が短い手段を選択していることがわかった。乗車料金に関しては符号条件がプラスであるが、既存研究から分かるように、料金に関しては価格が高い値であっても選択されることがわかった。しかし λ (ログサム変数) が0に極めて近いため下位のモデルの変化が上位のモデルの選択にほとんど影響しないことがわかる。これは現状の機関分担率を見てわかる通り、バイクによるドアツート

ドアの移動が大半であり、アクセス交通に関する認識が薄く、起終点のトータルなコストと時間で選択が行われたためであると推察できる。

表-3に関してはすべての説明変数に関して符号条件がマイナスである。上位レベルに関しては料金が安く、旅行時間が速い交通手段を選択することがわかった。

表-4においてはアンケートで現状として提示された被験者の社会経済指標に関して、MCのパラメータを0と基準化し表現した。上位レベルを選択するにあたり、どのような人が交通手段を選択しているか把握するためである。自動車においては20才以上、高収入の人が選択し、バスを選択した人は低所得かつ、若者が選択する結果となった。BRTに関してはアクセスまで徒歩で移動する手段、アクセスに交通手段を選択する人それぞれ高所得の人が選択していることがわかった。現状の社会経済指標に関する条件であり、仮定の条件下の選択結果と必ずしも想定が一致していない可能性があるため、尤度比は0.2以上が好ましく、的中率においては70%が必要とされるが本推計結果は満たしていないことも鑑み、状況を示す参考値として頂きたい。

表-2 下位レベルパラメータ

	MC V_1	CAR V_2	BUS V_3	BRT V_4	未知 パラメータ	t値
乗車時間	乗車時間 (分)	乗車時間 (分)	乗車時間 (分)	乗車時間 (分)	$\theta_1 =$ -0.000112	-2.538442
乗車料金	乗車料金 (DON)	乗車料金 (DON)	乗車料金 (DON)	乗車料金 (DON)	$\theta_2 =$ -0.000351	-1.448050
駐車料金	駐車料金 (DON)	駐車料金 (DON)	0	0	$\theta_3 =$ -0.000015	-4.941320
待ち時間	0	0	乗車 待ち時間 (分)	乗車 待ち時間 (分)	$\theta_4 =$ -0.000247	-0.232586
	λ_1				0.0747474	1.234095

表-3 上位レベルパラメータ

	WALK	MC	FD	未知 パラメータ	t値	
WALK 変数	所要時間 所有時間 (分)	0	0	$\beta_1 =$ -0.014099	-5.017953	
MC 変数	乗車時間	0	MCの 乗車時間 (分)	$\beta_2 =$ -0.039108	-1.719205	
	駐車料金	0	MCの 駐車料金 (DON)	$\beta_3 =$ -0.000056	-1.226212	
FD 変数	乗車時間	0	0	FDの 乗車時間 (分)	$\beta_4 =$ -0.005709	-0.762395
BUS 変数	所要時間	所要時間 (分)	0	0	$\beta_5 =$ -0.012599	-3.645474
乗車料金	0	乗車コスト (DON)	乗車コスト (DON)	$\beta_6 =$ 0.003542	1.528953	

表-4 社会経済変数パラメータ

	MC	CAR	BUS	BRT	BRT
MC免許	0	-1.249	0.688	-0.240	0.321
CAR免許	0	-3.165	-1.279	-0.627	-0.788
年齢	0	2.821	-0.823	0.222	-0.025
収入	0	0.149	-0.161	0.212	0.330
尤度比	0.18				
的中率	11.70%				

5. 交通需要予測の推計

本章では、低炭素交通システムの導入効果を把握するために、アクセス交通手段が整備されていないケースとサービス水準を考慮したアクセス交通手段を整備したケースの需要予測を行い、CO₂の排出量

の推計を行った。また将来のトリップOD、ネットワークに関しては2025年を想定してJICAで提供されたデータを用いて推計を行った。

(1) 将来の交通機関分担

NLモデル式で用いた式へパラメータを代入し、効用として各説明変数のインピーダンスを作成し、確率を求める。機関分担後のモデル適用結果を表-5に示す。将来のOD表はJICA PT調査のデータを用いて推計を行い、将来の機関分担率はNLモデルのパラメータを用いて推計を行った。結果から分かるように低炭素交通システムが導入されアクセス交通手段の整備をすることによって、自動車二輪車利用者と自動車利用者がBRTに転換したことがわかる。

表-5 BRT導入計画路線と調査場所

	MC	CAR	BUS	BRT	BRT+MC	BRT+FD
将来OD	1,399,071	582,009	1,374,853			
機関分担後OD	961,624	8,265	793,863	718,297	495,954	378,194

(2) CO₂排出推計について

式(5)より配分結果から CO₂排出量の算出を求めた。ベトナム・ダナン市でのCO₂排出係数は求められていないため、同じ東南アジアであるタイで推計された排出係数を用いて算出を行った。

$$E_{k,i} = D_k \times Q_{k,i} \times Ef_{k,i}(v_{k,i}) \quad (5)$$

$$Ef_{k,i}(v_{k,i}) = a_i v^2 + b_i v + c_i \quad (6)$$

ここでE:排出量(g)、D:距離(km)、Q:交通量(台/時)、Ef:速度の時の排出係数、(g/km)a,b,c:排出係数パラメータ、k:リンク、i:車種、v:均衡速度(km/)とする。アクセス交通手段を整備した結果、アクセス交通未整備時からCO₂は18%削減されたことが分かった。アクセス交通未整備時では自動二輪車が最もCO₂排出していることが分かった。を図-3へ示す。

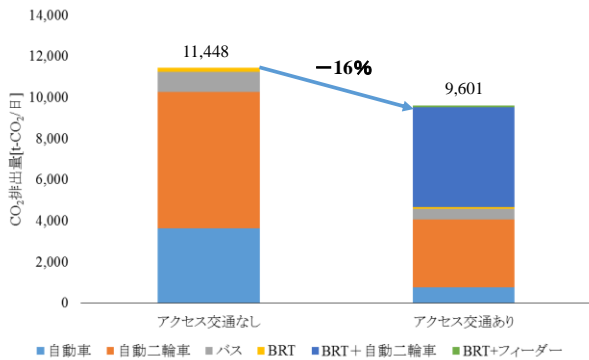


図-3 CO₂排出量

7. おわりに

本研究においてはBRTへのアクセス交通のサービス水準を含むSP調査を行い、NLモデルを作成し、アクセス交通を含む交通機関分担を求めた上で、CO₂の削減効果を推計した。

推計結果の詳細については、発表当日に詳述する。

参考文献

1) Economic Research Institute for ASEAN and East Asia : Study on Energy Efficiency Improvement in the Transport Sector through Transport improvement and Smart Community Development in the Urban Area

2) 中村一樹, 林良嗣, 加藤博和, 福田敦, 中村文彦, 花岡伸也: アジア開発途上国都市における低炭素交通システム実現戦略の導出, 土木学会論文集 D3(土木計画学), Vol.68, pp.L_857-1866, 2012.