

バンコクにおける軌道系公共交通機関との連携を考慮したバスネットワークの再編計画

インフラ計画研究室 藤本 恵司
 指導教官 佐野 可寸志
 指導教官 松本 昌二

1. はじめに

交通は日常生活において最も重要な活動と考えられている。交通問題は、先進国、発展途上国を問わず、ほとんどの主要都市で発生している。

本研究で採り上げるタイ国首都バンコクも深刻な交通渋滞とその関連問題を抱える大都市の一つである。この問題の主たる原因としては、自動車の急激な普及、不適切な空間開発、急速な都市化の進展、交通インフラ整備、交通信号の制御などが挙げられる。本研究では、その原因の一つである公共交通インフラ整備のサービスレベルの低さに着目して行った。

バンコクの公共交通は、高架鉄道 BTS スカイトレインとバスが代表的であるが、BTS はまだ新しく、当初見込んでいた乗客数には程遠いのが現実であり、公共交通の 90% 以上をバスが占めている。しかし、現状のバス路線は、計画的、効率的な輸送形態をとっているとは言い難い。そこで本研究では、バンコクの地域特性、個人属性をふまえた交通手段選択モデルの構築、軌道系公共交通機関との連携を考慮したバスネットワーク再編による利用者便益を主眼とした効用の最大化を目的とした。

性(性別、年齢、職種、収入、自家用車の有無)と行動データ(利用交通機関、乗車時間、乗車外時間、バス停・BTS 駅までの徒歩時間)、意識データ(バス・BTS について不便な要因、交通手段選択要因)である。

それらの調査データについて基礎集計分析を行い、バンコクの個人属性・地域特性を把握することによって、交通手段選択モデルの構築の手がかりとした。図 2 にバンコク中心市街地路線図を示す。また、利用交通機関に関する基礎集計結果の中でも、特に顕著な特性が表れたものを図 3～図 6 に示す。

2. 研究の流れ

本研究における研究フローを図 1 に示す。

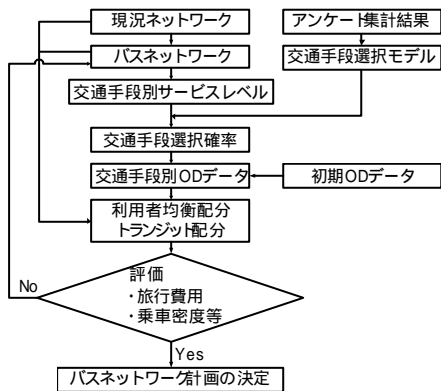


図 1 研究フロー

3. 交通行動に関するアンケート調査データ

バンコクの交通行動に関するアンケート調査は、公共交通機関(エアコンバス、赤バス[エアコン無バス]、BTS)と自動車を対象として、2003年9月、バンコクの中心市街地である SIAM にて路上アンケート形式で行い、有効なもので 465 サンプル得られた。調査内容は、個人属

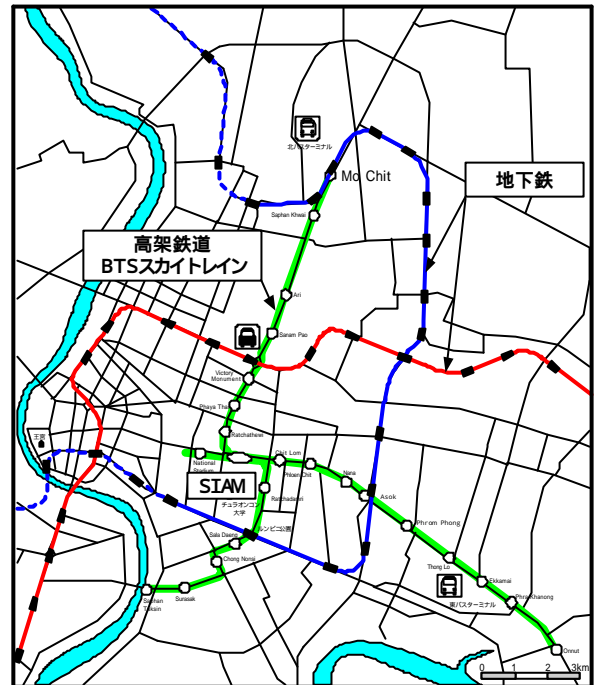


図 2 バンコク中心市街地路線図

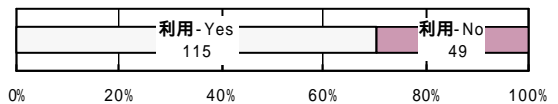


図 3 自家用車有りと答えた人の自家用車利用

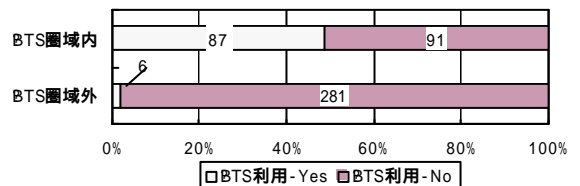


図 4 BTS 利用圏域別 BTS 利用

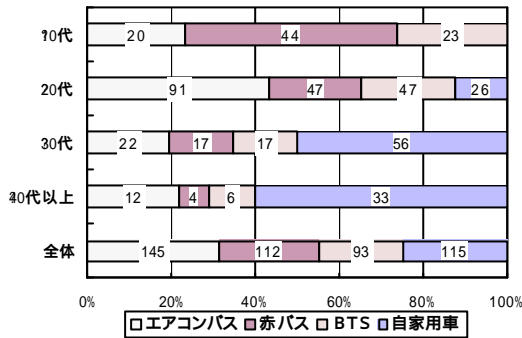


図5 年代別利用交通機関割合

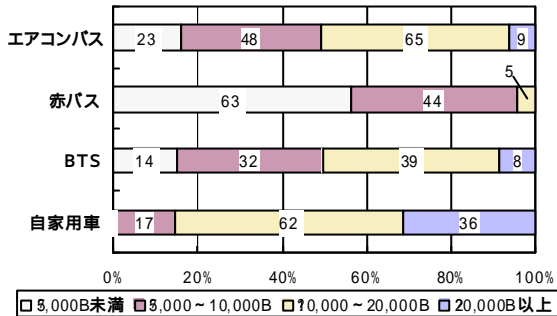


図6 利用交通機関別収入割合

図表には示していないが、バスとBTSについて、それぞれ不便だと思うことをまとめた結果、バスについては、「乗車時間がかかる」、「運行回数、頻度が少ない」という声が多く、BTSについては、「料金が安い」、「駅まで遠い」という声が多かった。

これらの基礎集計結果より得られたことをまとめると以下ようになった。

- 交通手段選択において、性別、年齢、所得階級などの個人属性は、重要な要因である。
- 自家用車への依存性が高い。
- BTS利用は、BTS圏域(徒歩10分未満)が重要な要因である。
- バスは乗車時間の短縮や運行頻度、BTSは料金値下げが、利用を促す要因である。

4. 交通手段選択モデルの構築

基礎集計結果を基に、バンコクの地域特性・個人属性をふまえた交通手段選択モデルを構築した。本研究の交通手段選択モデルには、パラメータ推定の結果、非集計多項ロジットモデルを採用した。式1に多項ロジットモデル式、表1に本研究で設定した説明変数を示す。

$$P_{in} = \frac{\exp(V_i)}{\sum_j \exp(V_j)}$$

$$V_i = \beta_1 Z_{i1} + \beta_2 Z_{i2} + \dots + \beta_k Z_{ki}$$

$$P_{in} = \Pr[V_{in} \geq V_{jn}, \text{for } j, i \neq j]$$

式 1

P_{in} : 個人nが選択肢iを選択する確率
 V_i : 選択肢iの効用の確定項
 V_{jn} : 選択肢i以外の選択肢の確定項

表1 説明変数の概略

個人属性	性別	Sex	女性	1 男性	0
年齢層	Age10	10代	1	その他	0
	Age20	20代	1	その他	0
	Age30	30代	1	その他	0
	Age40	40代以上	1	その他	0
収入(1月当たり)	Income1	5,000B未満	1	その他	0
	Income2	5,000~10,000B	1	その他	0
	Income3	10,000~20,000B	1	その他	0
	Income4	20,000以上	1	その他	0
自家用車の有無	My Car	有り	1	無し	0
BTS圏域	BTS Area	圏域内	1	圏域外	0
Bus圏域	Bus Area	圏域内	1	圏域外	0
交通行動	総旅行時間(分)	T-Time	乗車時間+乗車外時間(待ち時間+徒歩時間)		
	総旅行費用(B)	Cost	旅行にかかった料金(1B=3円)		

本研究では、非集計ロジットモデル推定ソフトHIELOWを使用し、説明変数の各パラメータ、各交通手段の効用、選択確率を求めた。表2にパラメータ推定結果、表3に的中率、表4に的中表を示す。

パラメータ推定結果をみると、収入の多い人は自動車を利用しやすいということやBTS圏域がBTS利用の重要な要因であることなどの特性が顕著に表れ、尤度比も0.482と高く、うまく表現できたモデルといえる。

しかし、的中率をみると、全体で約70%と判断基準とされる80%にあと少し及ばない結果となった。的中表の推定結果より、的中率を下げた原因は、エアコンバスと赤バスとの誤推定が多いためであると考えられる。この双方のバスの誤推定は、旅行費用以外のサービスレベルが近似しているために起こったと考えられ、この誤推定を修正するためには、エアコンの有無など車内快適性に関するダミー変数を設定する必要があると考えられる。しかし、バス全体で約55%、自動車・公共交通と考えると90%以上の的中率であるので、現況をうまく表現できたとし、この結果を用いて、バスネットワークの再編計画を行った。

表2 パラメータ推定結果

説明変数	パラメータ	t値
Cost	-0.06986	-1.829
T-Time	-0.133	-2.881
Age10-Bus2	0.371	0.9953
Age10-BTS	1.822	2.92
Age30-Bus2	1.143	2.538
Age30-BTS	1.455	2.801
Age40-BTS	1.203	1.705
Income1-Bus2	1.321	3.696
Income1-BTS	-0.5361	-0.8599
Income3-Bus2	-2.566	-4.797
Income3-Car	1.215	2.262
Income4-BTS	0.6923	0.9649
Income4-Car	3.345	4.255
BTSArea-BTS	6.136	5.808
BTSArea-Car	2.796	4.647
BusArea-BTS	-3.472	-3.148
BusArea-Car	-2.982	-4.627
Sex-Bus2	-0.5405	-1.744
Sex-Car	-1.396	-2.899
MyCar-Bus2	-0.8535	-1.835
Dummy-Bus2	-0.1135	-0.2884
Dummy-BTS	-1.611	-2.572
Dummy-Car	3.811	4.539

表3 的中率

エアコンバス	赤バス	BTS	自家用車	Total
48.3%	65.2%	78.5%	93.0%	69.5%

表4 的中表

	モデル	モデル				Total
		エアコンバス	赤バス	BTS	自動車	
実選択	エアコンバス	70	36	25	14	145
	赤バス	29	73	9	1	112
	BTS	6	3	73	11	93
	自動車	5	0	3	107	115
Total		110	112	110	133	465

5. バスネットワークの再編計画

本研究で構築した交通手段選択モデルを用いて、軌道系公共交通機関との連携を考慮したバスネットワークの再編計画を行った。バスネットワーク再編計画には、交通需要予測ソフト JICA STRADA(JICA System for Traffic Demand Analysis)を利用した。

まず、各データを用いてバンコクの現況交通を再現し、その再現性の評価・検討を行った。図7に本研究で作成したネットワーク図、表5に均衡配分から得られた各評価指標を示す。図8は、主要な幹線道路の断面交通量(67サンプル)から配分結果の再現性について推定を行ったものである。

表5をみると、平均走行速度が時速 8.7km となっており、あまりに遅い走行速度と考えるかもしれないが、日本土木学会で発表されているデータ¹⁾にも、バンコクの幹線道路における平均走行速度が時速 8km と示されているので、配分結果にある平均速度時速 8.7km という値は妥当であるといえる。また、平均混雑度が 2.28 となり、慢性的な交通渋滞をうまく表現できたといえる。

次に、断面交通量からも配分結果の再現性をみると、R²が 0.8743 と高い値となっており、現況をうまく再現できたといえる。

表5 均衡配分結果

	配分結果
総走行台キロ(PCU km)	109,424,383
総走行台時間(PCU Hour)	12,483,514
総容量キロ(PCU km)	47,535,486
総リンク長(km)	3,500
平均混雑度	2.28
平均速度(km/h)	8.7
ピーク速度(km/h)	5.0



図7 ネットワーク図

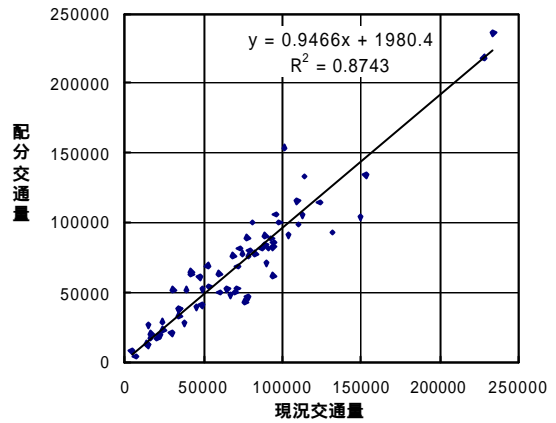


図8 断面交通量散布図

また、ここには示していないが、STRADA を用いて視覚的に交通流、平均速度等を表した結果、北部や南東部の人口集積地からの交通流や中心部の幹線道路における交通麻痺などもうまく表現できた。

次に、トランジット配分から得られた公共交通機関の各評価指標と交通流図、希望線図、バスの重複路線図等を用いて、公共交通の現況と問題点を把握し、新規バスネットワーク計画の手がかりとした。以下に各評価指標を示す。

表6 トランジット配分結果

モード	総ライン距離	台時間	台キロ	平均混雑率	乗客数	料金収入
自動車	347	921	20,791	-	1,879,742	-
エアコンバス	6,291	15,868	269,757	1.24	6,253,822	101,801,608
赤バス	7,424	23,657	307,547	0.66	7,716,451	30,865,804
BTS	44	44	880	0.30	161,969	1,945,277
Total	14,105	40,491	598,976	0.73	16,011,984	134,612,689

表7 モード間乗り換え客数

From	To				TOTAL
	自動車	エアコンバス	赤バス	BTS	
自動車	37738	410245	521407	0	969390
エアコンバス	481188	1597166	2117651	14786	4210791
赤バス	439627	2235158	2236905	76575	4988265
BTS	0	12861	59243	0	72104
Total	958553	4255430	4935206	91361	10240550

エアコンバスの平均混雑度をみると、1.24 と 1.00 を超過している。混雑度 1.00 とは、座席とつり革を入れた人数を容量としたもの

表8 乗り換え回数

乗り換え回数	トリップ数	%
0	616,915	10.69
1	1,680,689	29.12
2	1,861,629	32.26
3	1,612,201	27.93
総トリップ数	5,771,434	
平均乗り換え回数	1.77	

で、1.24 ということは、車内混雑が相当激しい状況であるといえる。

モード間の乗り換え客数をみると、双方のバス間の乗り換え客数は、赤バスからの乗り換え客数がエアコンバスからの乗り換え客数より多い結果となった。また、BTS・バス間の乗り換え客数も赤バスとの乗り換え客数がエアコンバスとの乗り換え客数より多い結果となった。共通して赤バスからの乗り換え客数が多いのは、赤バスは一律 4B と他の公共交通機関より格段に安い料金で運行しており、エアコンを完備していないが、短距離であれば車内快適性の悪さがある程度我慢できるので、短距離は赤バス、長距離は別の公共交通機関と利用者が使い分けていると考えられる。

次に、乗り換え回数をみると、乗り換え回数 0 回という利用者は約 1 割であり、平均乗り換え回数が 1.77 ということからほとんどの人が 1 回ないし 2 回の乗り換えが必要となっていることが分かる。

以下に示した図 9 交通流図(乗客数)をみると、北部と南東部からの乗客数が多いことが分かる。しかし、図 10 交通流図(台数)をみると、南東部からの台数は少なく、需要と合っていない状態である。逆に、南西部では、需要が少ないのに台数が多いという不均衡が起こっている。

北部と中心部を結ぶ幹線道路をみると、乗客数、台数ともに多く、均衡がとれているように思えるが、表 6 の乗客数からも分かるように、ほとんどの利用がバスであり、BTS への利用転換が行われれば、台数は少なくすみ、交通量を減らすことができると考えられる。

また、中心部より少し西部の王宮周辺をみると、この辺りも台数が過大となっているのが分かる。これは、チャオプラヤー川に架かる橋梁による交通混雑であると考えられる。

これらの結果を総合的にみると、現状では、需要に合った路線や頻度が設定されているとは考えられない。また、バスの利用体系では、長距離はエアコンバスを利用し、短距離は赤バスを利用するというような傾向が見られた。

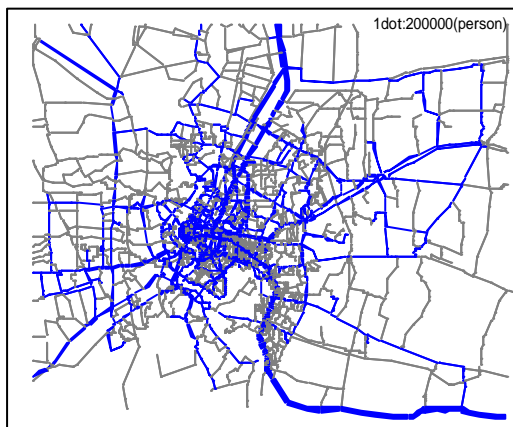


図 9 交通流図(乗客数)

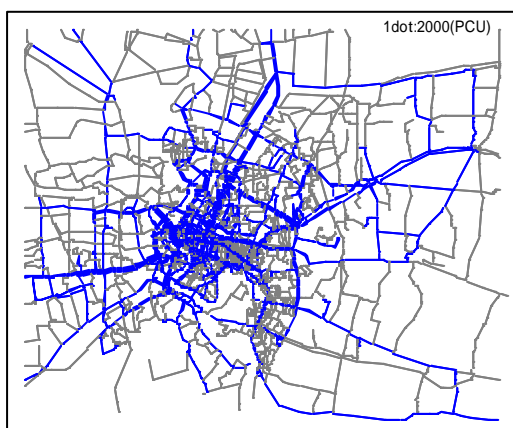


図 10 交通流図(台数)

次に、ここでは図表として示すことができなかったが、希望線図、重複路線図から得られた現況と問題点を以下に示す。

希望線図より得られたこと

- ・ 中心部への発生集中が多い。
- ・ 中心部間の発生集中は少ない。
- ・ 郊外部・域外からの発生集中が多い。
- ・ 郊外部間の発生集中も比較的多い。
- ・ 北部・南東部からの発生集中が、特に多い。

中心部への発生集中の中で特に多いのが、商業集積地や王宮、寺院のある地域であった。また、中心部間の発生集中が少ないことや郊外部・域外からの発生集中が多いこと、郊外部間の発生集中が多いことなどから、中心部の人口は相対的にみると郊外部より少ないと考えられ、郊外都市化が起こっていることが表現された。

交通流図にも表されているように、北部・南東部からの発生集中が多い原因としては、この二地域に住宅地・大学・工業地等が集積しているためであると考えられる。

重複路線図から得られたこと

- ・ 北部中心部間の重複は過剰であり、各方向から幹線道路に路線が集中し過ぎている。
- ・ 王宮周辺の路線の重複は、橋梁によるものであり、ある程度の重複は仕方がないといえる。
- ・ 南東部の路線は、路線数と需要が適当ではない。

北部と中心部を結んでいる幹線道路(Phahon Yonthin 通り)では、路線が 40 以上も重複しており、これらは、北部と中心部を結ぶ路線だけでなく、北西部・東部から入ってくる路線も多い。なぜ、この幹線道路に路線が集中するかというと、BTS 駅の北部始発駅である Mo Chit 駅があることやその先にある VM バスターミナルにほとんどの路線が向かっているためである。

中心部から少し西部寄りの地域(王宮周辺)でも、路線の重複が多い。これは、チャオプラヤー川に架かる橋梁による重複であると考えられ、ある程度の重複は仕方がないように思える。逆に、南東部では、配分結果や希望線図ではトリップ数が多いのに対して、路線数が足りていないように思える。

以上のように配分結果、希望線図、重複路線図等から現況と問題点を把握し、それらを総合的に評価したうえで、本研究での新規バスネットワークを計画した。新規バスネットワーク計画の方向性を次ページに示す。計画の際の制約条件として、「現状のバス停を利用できない人が出ないように、現状のバス停を通るバスラインを計画すること」、「新規路線はサービスレベルの高いエアコンバスとすること」、「事業者側の収入を確保すること」とする。また、赤バスからエアコンバスへの利用転換を進めるため、赤バスの料金を一律 4B から一律 5B とした。

新規バスネットワーク計画の方向性

- ・ 郊外部間を結ぶ路線を計画することにより、外々・通過交通を外側に回す。
- ・ 既存のバスターミナルを使用し、中心部は循環型、郊外部は放射型とゾーンバスターミナル化することにより、中心部に入ってくる交通を制御する。
- ・ 需要・混雑度にあった路線数、運行頻度を設定する。
- ・ BTS料金のパスカード化

以上の計画をもって、本研究での新規バスネットワーク計画とした。路線計画だけでなく、BTSへの利用転換を進めるため、BTS料金をパスカード化し、各料金設定について検討、評価を行った。新規路線を基に、BTSの現状料金で設定を行ったものを新規計画0、一律18Bを新規計画1、一律15Bを新規計画2、一律12Bを新規計画3、一律8Bを新規計画4とした。他のパラメータ設定については、現状のバスネットワークのトランジット配分と同じ設定とした。以下の図11に新規路線の概略図を示す。

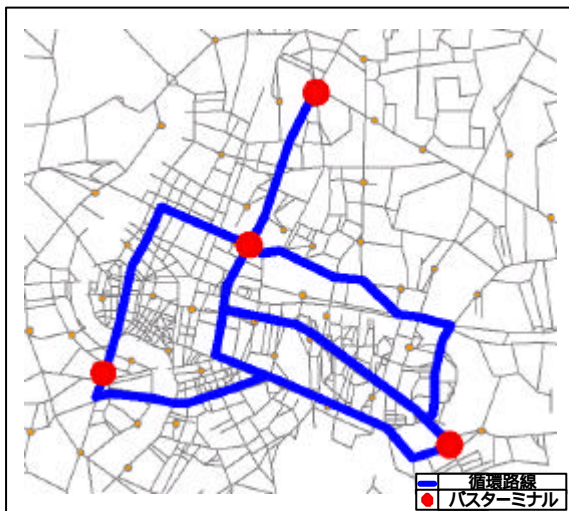


図11 新規路線(中心部)

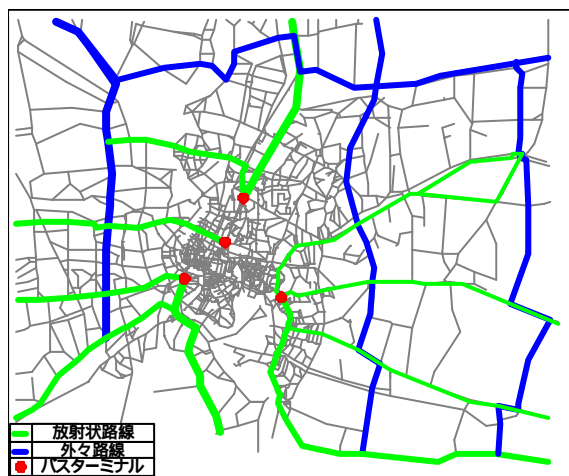


図12 新規路線(広域部)

現況と各新規計画の配分結果を以下に示し、本研究での最も望ましい新規バスネットワーク計画を検討する。

表9 現況と新規計画の配分結果

	現況	新規0	新規1	新規2	新規3	新規4
総走行台キロPCU km	109,424,383	106,985,341	106,869,606	106,705,269	106,372,049	105,901,221
総走行台時間PCU Ho	12,483,514	12,093,683	12,080,532	12,061,857	12,023,992	11,970,490
総容量キロPCU *km	47,535,486	47,535,486	47,535,486	47,535,486	47,535,486	47,535,486
総リンク長(km)	3,500	3,500	3,500	3,500	3,500	3,500
平均混雑度	2.28	2.22	2.22	2.22	2.21	2.2
平均速度(km/h)	8.7	8.8	8.8	8.8	8.8	8.8
ピーク速度(km/h)	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0

表10 モード別走行台キロ

	台キロ					
	現況	新規0	新規1	新規2	新規3	新規4
自動車	108,269,775	105,664,257	105,548,522	105,384,185	105,050,965	104,580,137
エアコンバス	539,514	834,638	834,638	834,638	834,638	834,638
赤バス	615,094	486,446	486,446	486,446	486,446	486,446
Total	109,424,383	106,985,341	106,869,606	106,705,269	106,372,049	105,901,221

表11 モード別走行台時間

	台時間					
	現況	新規0	新規1	新規2	新規3	新規4
自動車	12,404,464	12,007,045	11,993,894	11,975,219	11,937,354	11,883,852
エアコンバス	31,736	49,220	49,220	49,220	49,220	49,220
赤バス	47,314	37,418	37,418	37,418	37,418	37,418
Total	12,483,514	12,093,683	12,080,532	12,061,857	12,023,992	11,970,490

現状と新規計画を比較すると、自動車から公共交通機関への利用転換は、路線を再計画し、料金設定を現状のままとした新規計画0で約2%転換され、BTS料金を最も低く設定した新規計画4で約3%転換された。また、総走行台キロでは、新規計画0で約2.2%、新規計画4で約3.2%減少し、総走行台時間では、新規計画0で約3.1%、新規計画4で約4.1%減少した。

新規路線により、自動車から公共交通への利用転換は若干であるが進み、その結果、自動車の走行台キロ・走行台時間も若干減少した。新規路線の計画だけでなくBTSの料金値下げを行うと、料金値下げを行っただけ利用転換は進んだが、相対的にBTS利用はバス利用に比べて規模が小さいため、新規路線の計画ほど利用転換は進まなかった。

新規路線の計画において、赤バスは路線・頻度等の低減を行ったが、エアコンバスは需要に合わせるため、路線・頻度等の強化を行った。その結果、赤バスの走行台キロ・走行台時間は減少したが、エアコンバスの走行台キロ・走行台時間が増大したため、バス全体(エアコンバス、赤バス)としてみると、走行台キロ・走行台時間が増大する結果となった。

平均速度、平均混雑度等の指標については、ほとんど現況と変わらない結果となった。自動車から公共交通機関への利用転換があまり進まなかったということは、ネットワーク上の交通量に大きな変化が起きなかったということになる。これが平均速度等に変化の起きなかった原因と考えられる。

現況と各新規計画のモード別乗客数(図13)、モード別料金収入(図14)、モード別平均混雑度(図15)を次ページに示す。

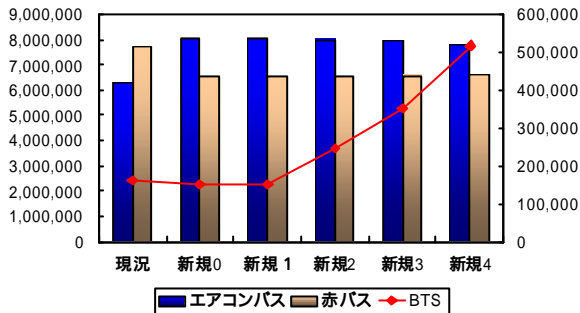


図 13 乗客数

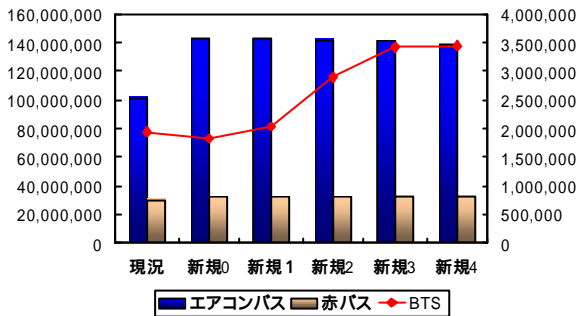


図 14 料金収入

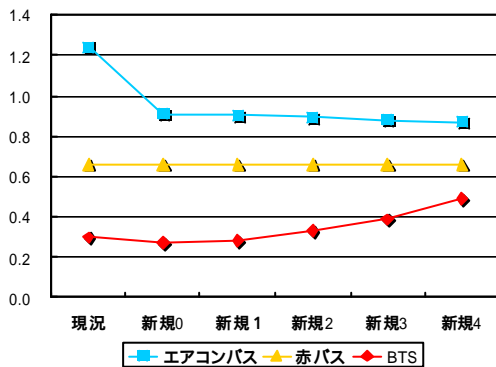


図 15 平均混雑度

自動車から公共交通機関への利用転換はあまり進まなかったが、公共交通機関内での利用転換は進んだといえる。乗客数をみると、現況では赤バスの方がエアコンバスより多いが、新規計画を行った場合、エアコンバスの方が赤バスより多くなった。利用転換が進んだ原因として、アクセス性が良くなったことなどが考えられる。路線を再計画し、料金設定を現状のままとした新規計画 0 の場合、BTS からエアコンバスに利用転換が行われた。エアコンバスのサービスレベルが上がったことにより、BTS よりも料金の安いエアコンバスに利用転換が行われるのは、当然の結果といえる。新規計画 1~4 のように路線を再計画し、かつ、料金の値下げを行った場合、料金値下げに比例するように BTS の乗客数が増加した。BTS 料金の値下げが、最も BTS 利用を促す要因であることが証明できた。

料金収入では、新規計画によりエアコンバスの料金収入が増加した。BTS の場合は料金値下げを行った方が、料金収入が増加する結果となったが、新規計画 3 がピー

クであり、新規計画 4 からは横ばい状態になっているので、これ以上の料金収入は見込めないと思われる。

平均混雑度をみると、新規計画によりエアコンバスの平均混雑度は、約 1.2 から約 0.9 に減少した。平均混雑度が 1.0 を下回ったことによって、エアコンバスの車内快適性は上がったといえ、かつ、平均混雑度 0.9 ということは効率的な運行状態であるといえる。BTS の平均混雑度は、どの計画においても 0.6 を下回っているので、車内快適性は保たれているといえる。

図表として示していないが、乗客数等と同じように BTS 料金の値下がりに比例して、BTS への乗り換え乗客数が増加した。また、平均乗り換え回数も新規計画により減少した。

これらの結果をふまえると、BTS 料金を最も低く設定した新規計画 4 が、自動車からの利用転換が最も多く、かつ、BTS の乗客数・料金収入が最大、平均混雑度・乗り換え回数等が小さいなどといった評価から、本研究において最も望ましい計画であるといえる。

6. まとめ

本研究で構築した交通手段選択モデルでは、自動車への依存性の高さなどがうまく表現できた。

バスネットワークの再編計画では、路線の再計画を基に、BTS 料金を段階的に値下げした新規計画を 5 つ計画し、各新規計画を総合的に評価することによって、最も望ましいバスネットワーク計画を提案することができた。結果としては、最も BTS 料金を値下げした新規計画 4 が本研究において、最も望ましい計画となった。また、この結果より、バンコクの人々の時間価値は低く、旅行費用が交通手段選択の大きな要因であることや公共交通機関のサービスレベルを上げたとしても自動車から公共交通機関への利用転換はあまり進まないということが分かった。

今後の課題としては、より計画的、効率的なバスネットワークを計画すること、特性をより細分化したより精度の高い交通手段選択モデルを構築することなどがあげられる。

【参考文献】

- 1) Tuenjai Fukuda, Atsushi Fukuda, Kumropluk Surasawadee, and Padet Praditphet:
PRELIMINARY DEVELOPMENT OF INTELLIGENT TRANSPORTATION SYSTEM (ITS) IN THAILAND:
JSCE: (Japan Society of Civil Engineers),
The Sixth International Summer Symposium, 2004
- 2) 杉田浩・鈴木紀一・趙勝川:
バンコクにおける軌道系公共交通機関導入の経緯とその現状:
IBS Annual Report 研究活動報告, 2001