

社会・環境を考慮した都市間交通ネットワークの運用に関する研究*

A Study on Operation of Inter-Regional Transportation Networks Considering Social and Environmental Changes *

下原祥平**・長谷部知行***・金子雄一郎****・島崎敏一*****

By Shohei SHIMOHARA**・Tomoyuki HASEBE・Yuichiro KANEKO****・Toshikazu SHIMAZAKI*****

1. はじめに

我が国の都市間の公共交通ネットワークは、これまで航空や新幹線等の幹線鉄道、高速バスといった交通機関毎に計画が策定され、発展してきている。このうち高速バスについては、高速道路の整備とともに路線数が着実に増加しており¹⁾、地域によっては主要な公共交通サービスの一つとして定着しつつある。

一方で我が国の社会情勢を鑑みると、人口の減少化や高齢化が進展しており、この動向は都市間移動の需要に少なからず負の影響を与えるものと考えられる。既に交通事業者間あるいは交通機関間において、旅客獲得のためのはげしい競争が行われている地域もみられる。しかし、今後の人口減少や地球温暖化の防止の観点からは、交通機関間で連携することで、利便性を維持しつつ環境負荷を低減するような効率的なネットワークの運用について検討する必要がある。

本研究ではこのような視点に基づく一手法として、消費者余剰を最大化するような運行頻度を決定する最適化モデルを提案し、具体的な地域を対象にケーススタディを行う。

2. 研究の目的と方法

本研究では、交通機関間の効率的なネットワークの運用を検討する前段として、高速バス路線の運行頻度を変化させ、ネットワーク内の利用者便益を最大化する高速バスの運行頻度決定モデルを構築することを目的とする。モデルの構築は、都市間における幹線鉄道、高速バスの移動に着目し、遺伝的アルゴリズム (Genetic Algorithm: GA) を用いて高速バスの運行頻度を求める。また、交通事業者の運行コストを考慮するため、各路線

*Key words: 都市間交通, 高速バス, 交通計画評価

** 正会員 修 (工) 日本大学理工学部土木工学科
(〒101-8308 東京都千代田区神田駿河台 1-8-14,
TEL&FAX:03-3259-0989)

*** 正会員 修 (工) 東京都

**** 正会員 博 (工) 日本大学理工学部土木工学科

***** フェロー員 工博 日本大学理工学部土木工学科

の運行距離の和が、ネットワーク全体の高速バスの運行距離を上回らないことを制約とする。

3. 高速バス路線の運行頻度設定モデルの構築

(1) 分析の対象と用いるデータ

本研究は九州地方の幹線鉄道、高速バスを対象とし分析を行う。幹線鉄道の対象路線は JR が運行する九州の県庁所在地間を結ぶ新幹線および特急列車とし、高速バス路線も同様に県庁所在地間を結ぶ路線とした。分析に用いるデータは、全国幹線旅客純流動調査 (以下純流動調査と表記) の第 4 回 (2005 年実施) の生活圈間流動表、個票データを用いた。また、交通サービス水準 (Level of Service : 以降 LOS と表記) の算出に、国土交通省により開発、提供されている総合交通分析システム (National Integrated Transport Analysis System, 以降 NITAS と表記)、JTB 時刻表²⁾、高速バス時刻表³⁾を用いた。

(2) 分析の前提条件

各高速バス路線の運行本数最適化の前提条件を以下に示す。

- ① ネットワーク内の高速バスの総運行距離を上回らないよう、各路線に往復距離の運行距離を配分する
- ② 鉄道の交通サービス水準は所与とする
- ③ 高速バス路線が減便・撤退した際には、旅客の積み残しが発生することがあるが、この旅客については、鉄道を利用するものとする
- ④ OD 間交通量は 2005 年の OD 表を用い、高速バスの増減便による誘発交通は考慮しない
- ⑤ 高速バスの新規参入、および撤退 (運行本数 0 本) は認める。新規参入の際の所要時間、運賃は未知であるため、所要時間は NITAS の自動車での OD 間の所要時間を用い、運賃は、高速バスの路線距離と運賃の関係 (図 1) より(1)式にて求める。その際、運賃は 50 円単位で四捨五入をした。

$$C_{ijb} = 17.9L_{ij} + 446 \quad (1)$$

C_{ijb} : 路線 ij の運賃, L_{ij} : ij 間の路線距離

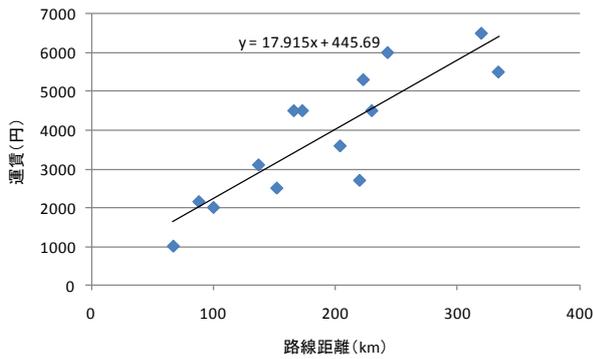


図 1 九州の県庁所在地間を結ぶ高速バスの運賃と路線距離の関係

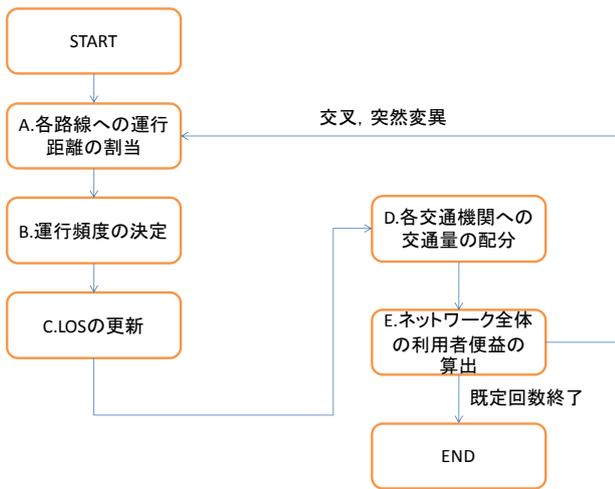


図 2 高速バスの運行頻度決定のフロー

(3) 高速バスの運行頻度の決定

GA による、高速バスの運行頻度決定の過程を示したものが図 2 である。各処理の詳細について説明をする。

A. 各高速バスへの運行距離の割当

各高速バスの運行距離は、総運行距離の各路線への配分比を 8bit の個体で表現し算出する^{4) 5)}。対象とする高速バスのリンク数は 21 リンクであるため、1 つの染色体は 20 個の遺伝子からなる。初期設定において 20 個の路線距離の配分案をランダムに作成し、評価を行う。これらの評価結果に基づき、交叉率 0.7、突然変異確立 0.01、上位 4 つの染色体を残すエリート戦略を用いた。

B. 運行頻度の決定

各路線に割当られた運行距離より、運行頻度を(2)式より算出する。

$$f_1 = TL_1/L_1 \quad (2)$$

f_1 : 路線 1 の運行本数

TL_1 : 路線に割当てた運行距離

L_1 : 路線 1 の路線距離

C. LOS の設定、および更新

高速バスの運行頻度より、平均待ち時間を(3)式により求める。その際、1 日の運行本数が少ない路線では、待ち時間が過大な値となるため、待ち時間の最大値は 60 分とした。

$$T_{W_{ijm}} = \frac{T_{S_{ijm}}}{f_{ijm}} \cdot \frac{1}{2} \quad (3)$$

$$s.t. \quad T_{W_{ijm}} \leq 60min$$

$T_{W_{ijm}}$: ij 間の交通機関 m の平均待ち時間

$T_{S_{ijm}}$: ij 間の交通機関 m の総運行時間

f_{ijm} : ij 間の交通機関 m の運行本数

D. 各交通機関への交通量の配分

各交通機関への配分交通量は、2005 年の第 4 回幹線旅客純流動調査の個票データを用いて推計した利用目的別の非集計ロジットモデルを用いて算出する⁴⁾。その結果を示したものが表 2 である。

表 2 利用目的別の機関選択モデル推計結果

	仕事	観光	私用
所要時間(分)	-0.0243 (-4.94)	-0.0255 (-5.99)	-0.0265 (-8.74)
運賃(円)	-0.00034 (-2.99)	-0.000448 (-3.13)	-0.000845 (-6.40)
運行頻度(本)	0.0132 (2.41)		0.0058 (1.35)
定数項	-2.22 (-4.23)	-1.52 (-3.90)	-2.2 (-4.85)
尤度比	0.135	0.140	0.176
時間価値(円/分)	71.5	56.9	31.4

※括弧内はt値

E. ネットワーク全体の利用者便益の算出

ネットワーク全体の利用者便益の推計は、マーシャルの消費者余剰理論を用い、式(4)にて行う。これは、高速バスの運行頻度が変化する前の代表一般化費用の総和から、変化する場合の代表一般化費用の総和を差し引いたものに相当する。各交通機関の OD 間の一般化費用は式(6)で算出し、代表一般化費用は各交通機関の OD 間の一般化費用を各交通機関の交通量で加重平均する式(5)にて求める。

$$UB = \sum_{ij} \frac{1}{2} (Q_{ij}^b + Q_{ij}^a) (GC_{ij}^b - GC_{ij}^a) \quad (4)$$

UB : 利用者便益

Q_{ij}^b : 2005 年の ij 間の交通量

Q_{ij}^a : 運行頻度変更後の ij 間の交通量

GC_{ij}^b : 2005 年の ij 間の代表一般化費用

GC_{ij}^a : 運行頻度変更後の ij 間の代表一般化費用

$$GC_{ij} = \frac{Q_{ijb}}{\sum_m Q_{ijm}} GC_{ijb} + \frac{Q_{ijr}}{\sum_m Q_{ijm}} GC_{ijr} \quad (5)$$

GC_{ij} : ij 間の代表一般化費用
 Q_{ijb} : ij 間的高速バスの交通量
 Q_{ijr} : ij 間の鉄道の交通量

$$GC_{ijm} = (T_{Lijm} + T_{Wijm})T_v + C_{ijm} \quad (6)$$

GC_{ijm} : ij 間の交通機関 m の一般化費用
 T_v : 時間価値
 T_{Wijm} : ij 間の交通機関 m の平均待ち時間
 T_{Lijm} : ij 間の交通機関 m の所要時間
 C_{ijm} : 交通機関 m の ij 間の運賃

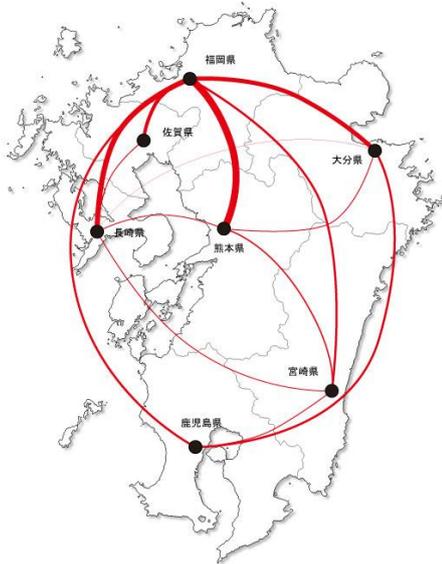


図3 2005年時点の県庁間を結ぶ高速バス路線図と運行頻度

表3 2005年時点の高速バスの路線のサービス水準

発着地	所要時間	運行頻度	平均待ち時間	運賃	
福岡	佐賀	67	44	12	1000
福岡	長崎	152	62	10	2500
福岡	熊本	100	80	8	2000
福岡	大分	137	52	11	3100
福岡	宮崎	243	24	26	6000
福岡	鹿児島	223	23	25	5300
佐賀	長崎	88	9	53	2150
佐賀	熊本	102	-	-	2300
佐賀	大分	161	-	-	3350
佐賀	宮崎	244	-	-	4850
佐賀	鹿児島	250	-	-	4950
長崎	熊本	204	9	49	3590
長崎	大分	230	7	60	4500
長崎	宮崎	320	2	60	6500
長崎	鹿児島	303	-	-	5900
熊本	大分	220	10	46	2700
熊本	宮崎	173	14	34	4500
熊本	鹿児島	176	-	-	3600
大分	宮崎	330	-	-	6400
大分	鹿児島	334	1	60	5500
宮崎	鹿児島	166	8	60	4500

注：表中“-”は運行していない県庁間路線、赤字は推計値

4. 分析結果と考察

第4回純流動調査時の2005年の九州の県庁所在地間を結ぶ幹線鉄道、高速バス路線図を示したものが図3, 4, 運行頻度, 所要時間, 運賃を示したものが表3, 4である。なお、鉄道の運行頻度は、乗換えが必要な経路においては、経路内で最も運行頻度の少ない路線の値を用いた。2005年時点の高速バス路線は福岡県を中心に九州地方の各県へ路線が高頻度で運行しており、鉄道については、九州の西側に南北を結ぶ路線が高頻度で運行しているのが特徴である。対象とする県庁所在地間を結ぶ高速バスの1日の総運行距離は10.9万kmであり、この距離を制約とし各路線の運行頻度を決定する。

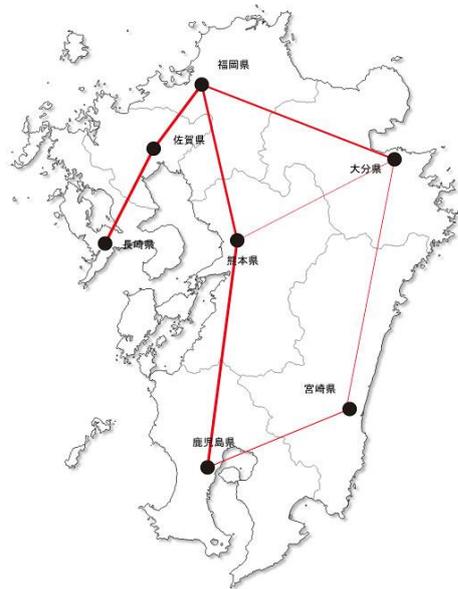


図4 2005年時点の県庁間を結ぶ幹線鉄道路線図と運行頻度

表4 2005年時点の幹線鉄道のサービス水準

発着地	所要時間	運行頻度	平均待ち時間	運賃	
福岡	佐賀	43	25	21	2500
福岡	長崎	131	25	21	5010
福岡	熊本	99	41	13	4440
福岡	大分	102	29	18	6950
福岡	宮崎	318	3	60	10730
福岡	鹿児島	167	27	20	9580
佐賀	長崎	88	27	20	4040
佐賀	熊本	91	25	21	4790
佐賀	大分	137	25	21	9360
佐賀	宮崎	267	3	60	13520
佐賀	鹿児島	159	25	21	10130
長崎	熊本	181	25	21	7740
長崎	大分	227	25	21	11650
長崎	宮崎	357	25	21	16050
長崎	鹿児島	249	25	21	12660
熊本	大分	166	4	60	4750
熊本	宮崎	208	7	60	11700
熊本	鹿児島	100	27	20	7470
大分	宮崎	196	12	45	6270
大分	鹿児島	249	4	60	11130
宮崎	鹿児島	146	7	60	4450

運行頻度設定モデルより得られた、高速バスネットワークと LOS を示したものが図 5、表 5 である。この結果より増加する利用者便益は、平日 1 日当たり 151.0 万円となり、年間で 30 億円との結果になった。高速バス路線の運行頻度に着目すると、多くの路線が撤退する結果となった。撤退した路線に着目すると、鉄道と比較し、運賃は高速バスの方が安価であるが、所要時間が長いいため運行頻度の増加による待ち時間の減少のみでは、利用者便益を増加させる結果には至らなかった。

一方、高速バス路線の運行頻度が増加している福岡ー熊本、佐賀ー長崎は、鉄道と高速バスの所要時間が均衡しており、運行頻度の増加により利用者便益が増加する結果となった。また、九州地方の東西を結ぶ、熊本ー宮崎、長崎ー大分といった高速バス路線が増便している。このことは九州の東西を結ぶ幹線鉄道は、南北に比べ運行頻度が少なく、高速バスはこのような鉄道不便地域を補完することが有効であると考えられる。

5. 結論

本研究では、利用者便益が最大となる高速バス路線の運行頻度の決定モデルを構築した。計算結果は、幹線鉄道が充実している地域の多くの高速バス路線が撤退し、そうでない地域に高速バス路線を増加させるとの結果と

なった。しかしながらこの運行計画は、利用者便益のみに着目した結果であり、事業者の採算性を考慮する必要がある。そこで今後の課題は、鉄道、高速バスの乗車率など、事業者の採算性を含めたモデルを構築する必要性が挙げられる。また、都市間の交通は自動車の分担率が高く自動車を含めた評価を行う必要もある。

参考文献

- 1) 下原祥平, 金子雄一郎, 島崎敏一: 幹線旅客純流動データを用いた近距離高速バスの特性分析, 土木計画学研究・講演集, No.37, CD-ROM, 2008.
- 2) JTB 時刻表: JTB パブリッシング, 1990/10 月号, 2005/10 月号
- 3) 高速バス時刻表: 弘済出版社, 1990 春・夏号, 2005 夏・秋号
- 4) 村上直樹, 竹内太郎, 奥村誠, 塚井誠人: 航空との補完的サービスを考慮した最適鉄道運行計画, 土木計画学研究・論文集, No.23, pp.629-634, 2006
- 5) 伊庭斉志: 「遺伝的アルゴリズムの基礎」, オーム社, 1994
- 6) 下原祥平, 金子雄一郎, 島崎敏一: 高速バスを考慮した都市間交通ネットワークの評価, 土木計画学研究・講演集, No.40, CD-ROM, 2009

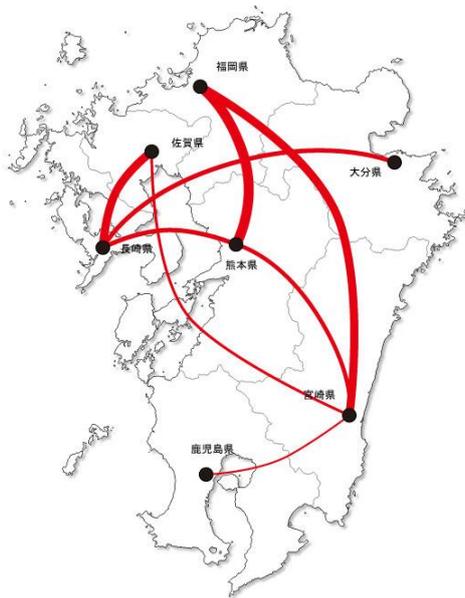


図 5 高速バス路線図と運行頻度の結果

表 5 高速バスの路線のサービス水準の結果

発着地	所要時間	運行頻度	平均待ち時間	運賃	鉄道利用者数	高速バス利用者数	利用者便益の増減(千円)
福岡	佐賀	-	-	-	2523	1045	-982
福岡	長崎	-	-	-	2456	1139	-5,060
福岡	熊本	100	108	5	2000	2636	16,946
福岡	大分	-	-	-	2535	756	-4,348
福岡	宮崎	243	90	6	6000	184	3,886
福岡	鹿児島	-	-	-	2154	262	-1,213
佐賀	長崎	88	42	13	2150	291	1,833
佐賀	熊本	-	-	-	163	1	-10
佐賀	大分	-	-	-	27	22	-514
佐賀	宮崎	244	30	18	4850	6	93
佐賀	鹿児島	-	-	-	144	0	0
長崎	熊本	204	54	10	3590	142	1,392
長崎	大分	230	49	11	4500	165	1,985
長崎	宮崎	-	-	-	21	1	-231
長崎	鹿児島	-	-	-	61	0	-27
熊本	大分	-	-	-	135	49	25
熊本	宮崎	173	45	12	4500	161	1,893
熊本	鹿児島	-	-	-	1092	0	0
大分	宮崎	-	-	-	213	12	-324
大分	鹿児島	-	-	-	59	23	-38
宮崎	鹿児島	166	22	25	4500	390	55
合計							15,361