

3506 都市間優等列車におけるフレキシブルな座席種別設定の効果に関する一考察

○ [土] 柴田 宗典 (鉄道総研)

[土] 寺部慎太郎 (東京理科大学)

[土] 内山 久雄 (東京理科大学)

A Prospect of the Effectiveness of Flexible Seat Class Assignment on Trunk Line Trains

Munenori SHIBATA, Railway Technical Research Institute 2-8-38, Hikari-cho, Kokubunji City, Tokyo

Shintaro TERABE, Tokyo University of Science

Hisao UCHIYAMA, Tokyo University of Science

Most of inter-city trunk line trains in Japan supply different seat classes, (1) reserved seat, where passengers are completely guaranteed to have seating, (2) non-reserved seat, where passengers can sit anywhere if it is available. The number of respective seat class is usually fixed. The flexible seat class assignment simulation system is developed by the authors through some case studies. The study examines the differences of the effectiveness of this flexible assignment approach between those 2 cases (1) seat load factor is maximized as the objective function (2) revenue is maximized as the objective function.

Keyword: inter-city trunk line train, seat class assignment, revenue management

1. はじめに

我が国は成熟社会を迎え、都市間幹線旅客鉄道に関しても大規模なインフラ整備への投資が困難になってきており、幹線旅客鉄道の運営におけるサービス供給のコントロール等のソフト施策により、蓄積されてきたインフラを有効に活用していく視点が重要となってきた。従って、需要予測や施策の効果計測に関しても、ソフト施策の検討に的確に対応できる技術を開発する必要がある。

さて、我が国の幹線旅客鉄道で運行される優等列車の普通車では、多くの場合において指定席と自由席の2種類の座席が供給されているが、指定席や自由席などの座席種別(以下、席種と称す)毎の供給量や料金設定が過去の実績等により予め固定的に決められている。鈴木ら¹⁾によるJR予讃線の特急列車におけるノリホ(乗車人員報告)データ分析によれば、指定席と自由席の乗車率に顕著な差異が認められる不均衡列車が数多く存在する。この事実、固定的な席種設定により、例えば、自由席が混雑している一方で指定席が空いているといった需要と供給の乖離が生じ、インフラの有効活用が阻害されている可能性を示唆していると考えられる。そこで本研究では、各列車における席種の設定を需要に応じてフレキシブルに変化させることにより幹線旅客鉄道インフラの有効活用をめざす。

本研究で提案する施策は、収益管理と呼ばれている手法の一施策と捉えることができる。ここで収益管理とは、多様なニーズを持つ顧客に対して、価格や容量を様々な商品やサービスを提供する事によって得られる収益を最大にすることである。この考え方は、1980年代のアメリカにおいて航空分野の規制緩和により航空会社間の競争が熾烈になったことから研究が進められた²⁾。

一方、鉄道は始発駅から終着駅までの間に駅に停車し

ていくことから、基本的に1つのODを考えればよい航空機と異なり、複数のODにおける需要を考慮する必要がある。このようなsingle-line, multiple-stops systemにおいて、予約の割り当てを適切にコントロールするための数理計画的な手法の構築が、幹線旅客鉄道分野における収益管理研究の主な命題であった³⁾。これらの先行研究では、複数の運賃クラスを考慮した例はあるものの、席種は一種類であると仮定される場合が大半である。一方寺部ら⁴⁾は、幹線鉄道の収益管理のために、複数の運賃クラスを選択肢とした航空機と幹線鉄道の交通機関選択モデルを構築している。このクラス選択肢に自由席を取り入れることで複数の席種を考慮しているが、席種配分は指定席需要を対象とした指定席の割り当てに留まっている。このように、複数の席種におけるフレキシブルな席種設定の施策効果を分析した研究例はない。

そこで筆者らは、フレキシブルな席種設定施策を数理最適化問題(資源配分問題)として定式化した上で、幹線鉄道旅客から収集したトリップデータにより構築した席種選択行動モデル⁵⁾を需要予測モデルとして適用した席種設定シミュレーションシステムを開発した⁶⁾。本稿では開発したシミュレーションシステムを用いて、「①座席利用率(ロードファクタ)の最大化」、「②鉄道事業者の運輸収入最大化」の2ケースに関するケーススタディを行ない、目的関数の設定が施策効果に与える影響を考察して、今後の研究課題を抽出することを目的とする。

2. 席種設定シミュレーションシステムの概要^{5),6)}

2.1 フレキシブルな席種設定の考え方

筆者らは既に、幹線鉄道旅客を対象としたトリップ調査を実施し、多指標多因子モデル(MIMICモデル)と非集計選択行動モデルによる旅客の席種選択行動のモデル化

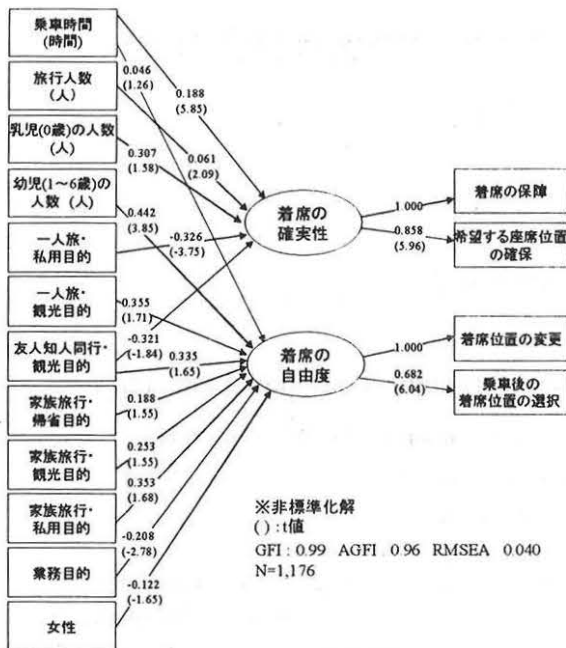


図1 席種選択意識因子モデルのパラメータ推定結果⁵⁾

表1 席種選択行動モデルのパラメータ推定結果⁵⁾

説明変数		モデル1	モデル2
選択肢共通変数	交通費用(万円)	α_1	-2.89 (-1.46)
	乗車時間(時間)	α_2	0.727 (7.98)
選択肢固有変数	着席の確実性	α_3	***
	着席の自由度	α_4	0.894 (10.3)
尤度比(自由度調整済)		0.220	0.342
的中率(%)		75.1	79.1
サンプル数		1,176	1,176

(): t値

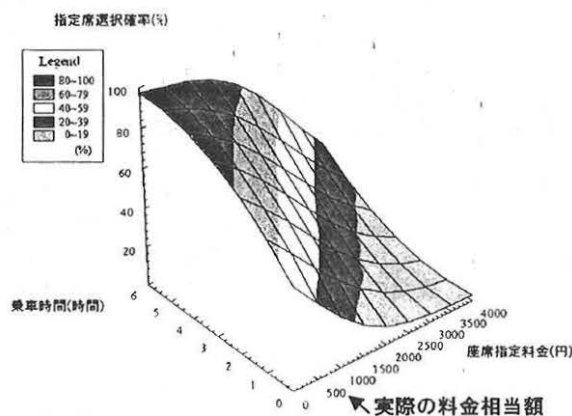


図2 感度分析結果(モデル2)⁵⁾

を行なっている(図1, 表1)^{5), 7)}. その結果によると, 旅客の席種選択行動には乗車時間の長短に加え, 選択行動の背後に存在すると想定した意識因子である「着席の確実性」因子と「着席の自由度」因子が影響を与えていることが判明している. また, これらの意識因子を効用関数に取り入れた席種選択行動モデル(モデル2)の感度分析(図2)を行なったところ, 座席指定料金(指定席利用の場合と自由席利用の場合の交通費用差)の感度は, 乗車時間に応じて変化することから, OD毎に座席指定料金を変動させることにより指定席選択確率をコントロールすることが可能であると考えられる. そこで, 本研究で提

案するフレキシブルな席種設定施策においては, 席種毎の供給量と座席指定料金を同時に変動させることにより, 幹線旅客鉄道インフラの有効活用を目指すこととし, 座席指定料金を変動させた場合の需要予測に席種選択モデル(モデル2)を適用する.

2.2 資源配分問題としての定式化⁶⁾

本施策は予め容量が決定されている座席の配分問題であり, 有限の資源を適切に配分する資源配分問題と考えられるため, 数理最適化問題として定式化する.

まず, 表1に示した非集計ロジット型の席種選択モデル(モデル2)より, 旅客があるOD i においてある席種 j (1:指定席, 2:自由席)を選択する確率が推定される(式(1)~(3)). ここで, ある列車におけるODの総需要量を OD_i とすると, 式(4)により, あるODにおける席種別需要量 OD_{ij} が推計される.

$$P_{ij} = \frac{\exp(U_{ij})}{\exp(U_{i1}) + \exp(U_{i2})} \quad (1)$$

$$U_{i1} = \alpha_1 \times \text{cost}_{i1} + \alpha_2 \times \text{time}_i + \alpha_3 \times \text{lat}1_i \quad (2)$$

$$U_{i2} = \alpha_1 \times \text{cost}_{i2} + \alpha_4 \times \text{lat}2_i \quad (3)$$

$$OD_{ij} = P_{ij} \times OD_i \quad (4)$$

where

cost_{ij} : あるOD i における席種 j 利用時の交通費用

time_i : あるOD i における乗車時間

$\text{lat}1_i$: あるOD i における「着席の確実性」の推計値

$\text{lat}2_i$: あるOD i における「着席の自由度」の推計値

次に, 乗車時間の長短が混在する指定席需要に対して適切に指定席を割り当てるため, 文献8)を参考にOD毎に指定席販売係数 β_i を設定し, 指定席需要に乗じて, あるODに対する指定席販売量 SOD_i とする. また, 式(6)により, SOD_i を各停車駅間断面における指定席販売数 $SDSEC_k$ に変換する.

$$SOD_i = \beta_i \times OD_{i1} \quad (5)$$

$$SDSEC_k = \sum_i \delta_{ik} \times OD_{i1} \quad (6)$$

where

δ_{ik} : OD i の利用旅客が駅間断面 k を通過する場合=1
それ以外=0

ここで, 座席供給量設定については, ある駅間断面における指定席座席供給量を SUP_k , 列車の全座席数(列車定員)を一定値の CAP とする. 座席利用率の最大化を目的関数とする場合は, 一定の容量制約条件のもとで平均指定席ロードファクタ mLF を最大化させる最適化問題として定式化する(式(7)).

$$\max mLF = \sum_k LF_k / k = \sum_k (SDSEC_k / SUP_k) / k \quad (7)$$

$$s.t. SUP_k \leq CAP$$

$$SDSEC_k \leq SUP_k$$

一方, 鉄道事業者の運輸収入最大化を目的関数とする場合は, 各ODにおける自由席販売量は総需要量と指定

席販売量の差分 $OD_i - SOD_{i1}$ であると想定し、指定席販売量と指定席利用の場合の交通費用(運賃・料金)を乗じた指定席運輸収入と、自由席販売量と自由席利用の場合の交通費用(運賃・料金)を乗じた自由席運輸収入の和である総運輸収入 REV を一定の容量制約条件のもとで最大化させる最適化問題として定式化する(式(8)).

$$\max REV = \sum_i (SOD_{i1} \times \text{cost}_{i1} + (OD_i - SOD_{i1}) \times \text{cost}_{i2}) \quad (8)$$

$$s.t. SUP_k \leq CAP$$

$$SDSEC_k \leq SUP_k$$

2.3 GAによる席種設定シミュレーションシステム⁹⁾

2.2で定式化した数理最適化問題において制御する変数は、あるOD i における交通費用(座席指定料金)である cost_{ij} 、指定席販売係数 β_i 、および、ある駅間断面 k における指定座席供給量 SUP_k である。特に座席指定料金の設定によって、席種別の需要量(席種別OD)が変動する複雑な最適化問題であるため、解析的に解くことは非常に困難であると考えられる。そこで、遺伝的アルゴリズム(GA)による席種設定シミュレーションシステムを開発し、実用解の探索を行なう。

席種設定シミュレーションシステムにおける処理フローを図3に示す。具体的には、上述の制御変数に関する染色体に対して遺伝的操作(2点交叉・反転突然変異)を行なって作成された染色体集団について、染色体毎に評価値 mLF, REV を算出して、ルーレット選択によって、染色体の選択・淘汰を行なう。なお、探索能力の向上の

ためエリート保存戦略を採用するとともに、解の多様性を確保するために、各染色体の遺伝子は2進法によるバイナリコードによって表現している。

3. フレキシブルな席種設定施策の効果に関する考察

3.1 分析対象

今後、開通が想定される整備新幹線区間では、東海道新幹線等の大動脈路線よりも輸送密度が比較的に小さいと想定されており、その需要量に見合うように2~4両編成といった短編成の新幹線が運行される可能性がある。また、地方都市間を結ぶ比較的に輸送密度が低い在来線の特急列車においては、編成自体が短いことから、既に車両1両の中に指定席と自由席とを混在させている事例が見られる。そこで本研究では、ある新幹線区間において仮想的に4両編成相当(定員:300人)の短い編成の新幹線列車が運行されていることを想定し、「ケース①:指定席平均ロードファクタ最大化」、「ケース②:運輸収入最大化」の2ケースをシミュレートする。

シミュレーション分析に用いる需要データは、文献9)における4駅間(A駅→D駅)を結ぶ新幹線の14列車のODデータである。ただし、当該データは指定席需要ODデータであり、自由席需要を含むデータではない。そのため、指定席需要ODを席種選択モデル(モデル2)によりOD毎に推定される指定席選択確率で除することにより、指定席と自由席を合わせた総需要ODを逆推計し、これをシミュレーションの入力値とする。

3.2 席種設定シミュレーションの前提条件

フレキシブルな席種設定(Flexible)における座席指定料金については、現状の優等列車では¥310(閑散期)、¥510(通常期)、¥710(繁忙期)の3種が設定されていることから、鉄道旅客に許容される座席指定料金の上限が¥710であり、それ以上の額に設定すると、対抗交通機関への旅客流出などの可能性があることを考慮し、¥310~¥710の幅で変動させている。また、フレキシブルな席種設定の効果を検証するためには、4両編成相当の短い編成の新幹線において、現行と同等の固定的な席種設定を行なった場合の評価指標を比較対象として算定する必要がある。本研究では、これを固定的席種設定(Fix)と称し、指定席と自由席がともに2両ずつ(各定員:150人)であり、座席指定料金が現行の通常期の料金である¥510に固定された状況を想定する。各列車について指定席旅客をランダムに発生させ、乗車区間に応じて指定席を順次割り当てることで、現行の指定席販売システムとほぼ同等なFirst Come First Serve(FCFS)ルールによる座席販売状況をシミュレートする。

3.3 施策効果に関する比較考察

「ケース①:指定席平均ロードファクタ最大化」における施策効果算定結果を表2に、「ケース②:運輸収入最大化」における施策効果算定結果を表3に示す。

旅客にとっての不効用が大きいとされる予約謝絶⁸⁾については、ケース①では各列車で予約謝絶数が0、ケース②でもほぼ皆無となっており、予約謝絶による旅客不効用の発生が回避される効果については、ケース①、②の間に相違はほとんどないことが分かる。ロードファクタについては、ケース②では指定席供給量が指定席需要量に対して適切に決定されないことから、指定席ロードファクタが多く列車で低下している。この影響を受け、

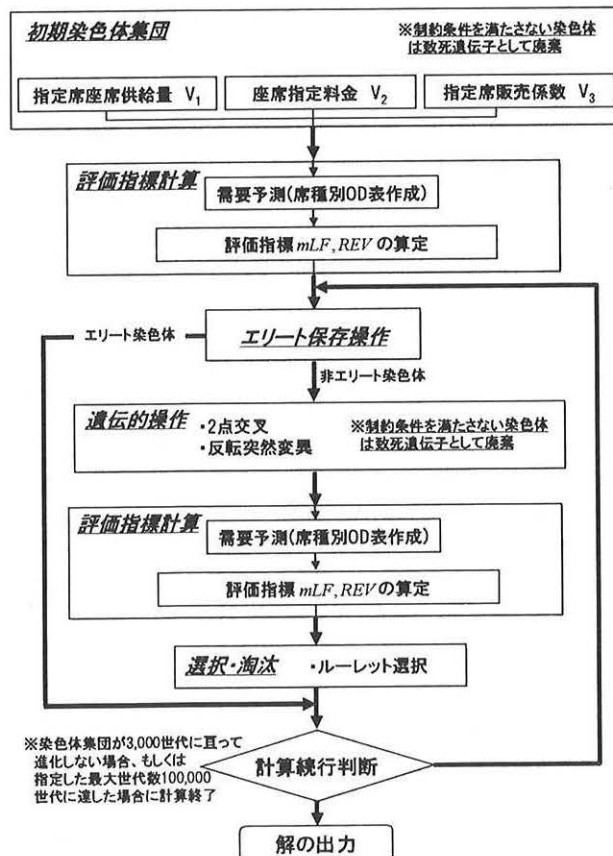


図3 シミュレーションシステムの処理フロー

表2 フレキシブルな席種設定の効果(ケース①: 指定席平均ロードファクタ最大化)

列車 番号	需要量 (人)	平均指定席ロードファクタ			平均自由席ロードファクタ			予約謝絶数(人)			運輸収入(万円)		
		Flexible①	Fix②	①-②	Flexible①	Fix②	①-②	Flexible①	Fix②	①-②	Flexible①	Fix②	①-②
1	503	99.7%	92.9%	6.9%	162.65%	116.00%	46.6%	0	108	-108	520.75	519.80	0.94
2	548	100.0%	85.6%	14.4%	136.53%	118.67%	17.9%	0	105	-105	489.27	483.92	5.34
3	431	100.0%	99.8%	0.2%	167.45%	123.11%	44.3%	0	110	-110	511.32	508.06	3.25
4	461	100.0%	95.6%	4.4%	142.38%	116.44%	25.9%	0	101	-101	491.24	489.38	1.87
5	450	100.0%	89.6%	10.4%	174.70%	117.78%	56.9%	0	106	-106	469.60	468.02	1.58
6	498	100.0%	92.4%	7.6%	341.31%	141.11%	200.2%	0	135	-135	532.64	529.24	3.40
7	427	100.0%	97.6%	2.4%	167.97%	119.78%	48.2%	0	106	-106	490.85	490.08	0.77
8	333	99.8%	94.9%	4.9%	55.06%	68.67%	-13.6%	0	36	-36	382.19	382.69	-0.51
9	283	100.0%	90.0%	10.0%	45.67%	58.44%	-12.8%	0	30	-30	345.35	344.69	0.66
10	306	99.7%	92.0%	7.7%	40.72%	45.11%	-4.4%	0	4	-4	328.87	328.83	0.04
11	290	99.8%	83.8%	16.0%	35.45%	39.56%	-4.1%	0	0	0	297.71	296.69	1.01
12	390	99.1%	92.2%	6.9%	66.74%	73.78%	-7.0%	0	44	-44	389.50	388.85	0.65
13	372	100.0%	74.9%	25.1%	61.36%	71.56%	-10.2%	0	53	-53	340.41	339.13	1.28
14	258	100.0%	77.1%	22.9%	30.89%	35.33%	-4.4%	0	0	0	262.70	261.67	1.03

注) Flexible: フレキシブルな席種設定 Fix: 固定の席種設定

表3 フレキシブルな席種設定の効果(ケース②: 運輸収入最大化)

列車 番号	需要量 (人)	平均指定席ロードファクタ			平均自由席ロードファクタ			予約謝絶数(人)			運輸収入(万円)		
		Flexible①	Fix②	①-②	Flexible①	Fix②	①-②	Flexible①	Fix②	①-②	Flexible①	Fix②	①-②
1	503	86.4%	93.3%	-6.9%	176.22%	115.56%	60.7%	0	106	-106	529.24	519.91	9.34
2	548	68.8%	87.1%	-18.3%	554.40%	117.11%	437.3%	0	110	-110	493.33	483.67	9.66
3	431	88.8%	99.8%	-11.0%	269.81%	123.11%	146.7%	2	104	-102	517.63	508.37	9.26
4	461	76.9%	94.9%	-18.0%	491.21%	117.11%	374.1%	0	98	-98	498.45	489.53	8.93
5	450	74.6%	90.0%	-15.4%	2372.65%	117.33%	2255.3%	0	109	-109	477.42	467.86	9.56
6	498	91.4%	90.7%	0.7%	1245.07%	142.89%	1102.2%	0	139	-139	539.70	529.03	10.66
7	427	76.4%	97.1%	-20.7%	2068.52%	120.22%	1948.3%	2	113	-111	499.32	489.72	9.60
8	333	63.7%	95.6%	-31.8%	438.11%	68.00%	370.1%	0	34	-34	387.71	382.80	4.92
9	283	67.5%	90.4%	-22.9%	343.57%	58.00%	285.6%	0	30	-30	349.02	344.69	4.33
10	306	62.1%	92.0%	-29.9%	163.49%	45.11%	118.4%	0	4	-4	331.73	328.83	2.91
11	290	67.9%	83.8%	-15.9%	70.97%	39.56%	31.4%	0	0	0	299.19	296.69	2.50
12	390	94.2%	92.7%	1.6%	73.24%	73.33%	-0.1%	0	41	-41	394.55	389.00	5.55
13	372	51.0%	73.1%	-22.1%	284.71%	73.33%	211.4%	0	53	-53	344.96	339.13	5.83
14	258	58.1%	77.1%	-19.0%	68.76%	35.33%	33.4%	0	0	0	264.02	261.67	2.35

注) Flexible: フレキシブルな席種設定 Fix: 固定の席種設定

自由席への乗車率(自由席の混雑率)が高まり、多くの列車で自由席ロードファクタが異常に高い値を示しており、需要構造に適切に対応している座席供給とはいえないことが分かる。一方のケース①では、指定席の利用効率がほぼ100%にまで向上した結果、自由席の供給数もある程度確保されることから、自由席における異常な混雑の発生が概ね回避され、自由席のロードファクタはケース②と比べて適切な値となっている。運輸収入(収益)については、ケース①、②の両者において運輸収入が増加する結果となったが、運輸収入増加額は、ケース①で約21万円/日(約7,783万円/年)、ケース②で約95万円/日(約3億4,818万円/年)であり、ケース②の増収効果は高い。なお、この結果はあくまでも4両編成の新幹線を想定した場合の結果であり、ケース②で見られる自由席の異常な混雑を回避するためには、需要量に見合うように車両数を増やすことを検討する必要がある。

4. おわりに

本研究は、幹線優等列車におけるフレキシブルな席種設定施策を数理最適化問題として定式化し、「ケース①: 座席利用率(ロードファクタ)の最大化」、「ケース②: 鉄道事業者の運輸収入最大化」の2ケースに関して4両編成の新幹線を想定したケーススタディを行ない、目的関数の設定が施策効果に与える影響を考察した。ケース②の増収効果は高いものの、指定席需要量に対して適切に指定席供給量が決定されないことから、指定席ロードファクタが多くの列車で低下し、その影響により自由席への乗車率(自由席の混雑率)が異常に高まる等の旅客の不効用が発生する可能性があることが示された。自由席の混雑による旅客不効用の発生を回避し、列車全体の利用状況を最適な状態に近づけるためには、目的関数の設定と編成車両数とのバランスを適切に考慮する必要があると考える。

編成車両数の最適化等についても考慮するためには、

自由席の混雑率推定の精度を高める必要があり、予約謝絶時の出発日・列車選択行動等のモデル化、自由席における混雑不効用の推定等に関する研究を進める必要もあると考えられる。

参考文献

- 1) 鈴木浩明, 黒部久名: 旅客の特急列車における指定席・自由席選択行動の分析, 鉄道総研報告, Vol.7, No.1, pp.59-66, 1993
- 2) 寺部慎太郎: 航空・鉄道業界における収益管理, 運輸政策研究 Vol.4, No.4, pp.37-39, 2002
- 3) 例えば Ciancimino, A., Inzerillo, G., Lucidi, S. and Palagi, L.: A mathematical programming approach for the solution of the railway yield management problem, Transportation Science, Vol.33, No.2, pp.168-181, 1999
- 4) Shintaro TERABE, Saratchai Ongprasert: Effect of Discounted fare and Seat Allocation: Modeling Passenger Behavior on Inter-City Rail, Proceedings of the 11th World Conference on Transport Research, 2007
- 5) 柴田宗典, 寺部慎太郎, 内山久雄: 幹線鉄道旅客における座席種別選択行動のモデル化に関する研究, 土木計画学研究・講演集, Vol.39, CD-ROM, 2009
- 6) 柴田宗典, 寺部慎太郎, 内山久雄: 都市間優等列車におけるフレキシブルな座席種別設定の乗車効率向上効果, 土木計画学研究・講演集, Vol.40, CD-ROM, 2009
- 7) 森川高行, 佐々木邦明: 主観的要因を考慮した非集計離散型選択モデル, 土木学会論文集, No.470/□-20, pp.115-124, 1993
- 8) 南邦毅, 寺部慎太郎, 家田仁, 水口昌彦: 幹線鉄道における座席配分最適化の研究, 土木計画学研究・講演集, Vol.27, CD-ROM, 2003
- 9) Saratchai Ongprasert: Passenger Behavior on Revenue Management Systems of Inter-city Transportation, PhD Dissertation, Kochi University of Technology, pp.47-51, 2006