

統合型需要モデルを用いた空港整備に伴う利用者便益の計測法*

Estimation of Passengers' Benefit Accrued by Airport Improvement Projects Using an Integrated Travel Demand Model

高瀬 達夫**, 森川 高行***, 脇 昌央****

By Tatsuo TAKASE, Takayuki MORIKAWA, Masao WAKI

1. はじめに

これからの社会資本整備事業においては、それらの事業が社会に対してどれ程の便益をもたらすのかを明示していく必要がある。実務的に交通施設整備事業に伴う利用者便益の計測は、単に利用者数に節約時間の価値を乗じるという様な方法が取られているものが多く、またその際多くの場合では時間価値が所得接近法によって得られた値を用いている。しかし多様な交通施設整備事業においては個々の事業ごとに利用者の時間価値を設定し、利用手段の変化、目的地の変化、誘発交通の影響など需要構造の変化を考慮すべきと思われる。

そこで本研究は手段選択・目的地選択モデルに発生集中モデルを統合した形の需要モデルを用いた、新たな利用者便益測定法を提案する。この測定法の特徴は単に利用者便益の総計を測定できるだけでなく、既存旅客の便益の増加や誘発需要による効果を個別に測定できることである。さらにこの便益計測法を用いた事例研究として、空港ジェット化事業による所要時間短縮に伴う国内旅客の便益計測を行った。

2. 利用者便益計測に関する従来研究と本研究の位置づけ

交通改善に伴う便益の計測法は森杉¹⁾によると、交通施設整備による効果全体を同時に計測する総合モデル法と様々な効果を個別に計測する個別計測法の二つに大別される。

前者の方法としては森杉、大野ら²⁾の一般均衡アプローチに基づく便益帰着構成表によって求める方法が近年では一般的に知られている。そしてその便益計測を簡便にする方法として森杉ら^{3), 4)}はショートカット理論により測定することを提案している。これらの手

法を用いた事例研究は近年増えてきているが、最近の大規模な交通施設整備の事例研究としては岸ら⁵⁾が青函トンネルプロジェクトの便益計測を行っている。

一方、個別計測法を用いた手法の一つとしてWilliams⁶⁾やSmall and Rosen⁷⁾が交通利用者便益をロジットモデルから得られる間接効用関数と所得の限界効用で表される消費者余剰の和の形で定義できることを示している。わが国でも森地ら⁸⁾や高田・屋井⁹⁾が国際航空サービスの変化等による利用者便益変化の計測を行っている。これらの方法は時間・費用・サービスレベル等の変化を包括して便益計算することができるとが特徴である。またこの便益は個々の項目（移動時間や費用の変化等）ごとに計測が可能¹⁰⁾であり、そのなかで移動時間の変化が総便益の中で大きなウエイトを占めている¹¹⁾ことから、河野・森杉¹²⁾に見られるように時間価値に焦点を当てた研究もなされている。

空港整備事業における便益計測に関する研究は上田・福本¹³⁾や副島ら¹⁴⁾が便益帰着構成表を用いた手法で行っている。また運輸研¹⁵⁾より空港整備の費用便益方法が体系的にまとめられたマニュアルが出されている。

一方で現在実務レベルで用いられている代表的な便益計算法は、移動時間の変化量を所得接近法により算出された時間価値の変化量の総和で表している場合が多い。しかし、現在の航空需要は航空利用料金と他の手段を利用した場合の料金格差が小さくなっていることから、利用者の所得に依存する部分がこれまでより少なくなっているため、需要実態にあわせた時間価値の設定をする必要がある。また、その年々の景気等の経済的背景や労働時間等の減少を進めていこうとしている時代背景等によっても影響を受けてしまうので、必ずしも現実的とはいえないと思われる。

本研究で提案する手法は個別計測法に含まれるものであるが、従来の手法では空港整備に伴う誘発交通を明示的に考慮できないことや地域間旅客需要全体の均衡状態の変化を考えていないこと等の問題点が挙げられる。このような問題点を考慮して、本研究では地域間の旅客需要を包括的に表す統合型モデルを

*キーワード：整備効果計測法、交通手段選択、空港計画

**正員、工修、信州大学工学部社会開発工学科

(長野市若里4-17-1 TEL026-269-5307 FAX026-223-4480)

***正員、Ph. D、名古屋大学大学院環境学専攻都市環境学専攻

(名古屋市中区千種不老町、

TEL052-789-3564 FAX052-789-3738)

**** 工修 四国旅客鉄道株式会社

構築し、そこから得られる便益指標を用いて、空港整備事業による誘発需要を考慮した利用者便益計測法を提案する。

3. 統合型需要モデルにおける利用者便益

本研究で対象としている空港整備事業に伴う利用者便益とは、空港の滑走路並びに関連施設の整備事業を実施することによって、新たに就航可能になる大型の機材導入による輸送可能量の増加、ジェット化による目的地までの飛行時間短縮、飛行時間短縮による運航頻度の増加、など様々な一般化費用の削減に伴う利用者の消費者余剰の増分とする。ここには、一般化費用の減少による手段、目的地、旅行頻度の変化といった転換・誘発需要も考慮されている。

3.1 統合型需要モデル

本研究で用いる統合型需要モデルは、手段選択を下位・目的地選択を上位とするネスティッドロジット (NL) モデルと、この NL モデルのログサム変数を説明変数の一つに持つ時系列線形回帰モデルの発生・集中モデルから構成される。

まずネスティッドロジットモデルの下位レベルの交通手段選択モデルは、所要時間や費用を説明変数として集計ロジットを用いて推定する。そこで得られた効用関数からログサム変数を計算し、それらを説明変数に含む上位レベルの目的地選択モデルは多項集計ロジットを用いてパラメータ推定を行うものとする。ここで得られるログサム変数の係数は下位の手段選択モデルのスケールパラメータ倍となっており手段選択モデルのスケールパラメータを1とおけば、その係数が手段選択段階でのスケールパラメータとなる。

次に、この目的地選択段階において得られたゾーンごとの効用を式 (1) のようなログサム変数にする。

$$\Lambda_i^t = \frac{1}{\mu} \ln \sum_j \exp(\mu V_{ij}^t) \quad (1)$$

Λ_i^t : t 期のゾーン i のログサム変数

μ : 目的地選択レベルのスケールパラメータ

V_{ij}^t : t 期 i-j 間選択の効用の確定項

そしてこのゾーンごとのログサム変数を説明変数の一つとして、式 (2) に示すような発生・集中モデルを構築し、パラメータ推定を行う。ここでは出発地と目的地の区別をしないため、発生量と集中量は等しいものとして推定を行っている。また本モデルでは時系列データを用いているため、誤差項の系列相関が存在する。そのためこのモデルでは GLS 推定を行うこととした。

$$G_i^t = \beta_0 + \beta_1 G_i^{t-1} + \beta_2 \Lambda_i^t + \mu_i^t \quad (2)$$

$$\mu_i^t = \omega_i + \gamma_{i,t} \quad (3)$$

G_i^t : ゾーン i, t 期の発生量

β_0 : 定数項

β_1, β_2 : 係数

μ_i^t : ゾーン i, t 期における誤差項

ω_i : ゾーン i 特有の誤差項

$\gamma_{i,t}$: ゾーン i, t 期における white noise

この発生集中モデルの特徴は旅客の所要時間等の変化がネスティッドロジットモデルを通したログサム変数の変化として表されるため、ログサム変数の変化による発生集中量の変化のみを捉えることが可能となっている。従って空港整備事業に伴い誘発された交通量と他の手段からの転換交通量を考慮した形で表すことができることになる。つまり、誘発・転換交通量はこのログサム変数の変化分に、発生・集中モデルで推定されるログサム変数の係数を乗じたものとして示すことが出来る。

3.2 利用者便益の考え方

図 1 は式 (2) に示すような発生集中量を表す重回帰モデルを式 (1) で示した手段・目的地選択の NL モデルから計算されるログサム変数で表現したものである。ある空港整備事業が 1987 年から 1989 年の間に行われたものとする。そして整備事業前・後の年度におけるログサム値を $\Lambda(1987) \cdot \Lambda(1989)$ とすると、効用の増分 $\Lambda(1989) - \Lambda(1987)$ の内 $\Lambda' - \Lambda(1987)$ を事業によってもたらされる時間短縮効果の効用増と目的地選択モデルに入っているが整備事業とは関係のない県内総生産などの説明変数の変化に伴う効用増 ($\Lambda(1989) - \Lambda'$) に分けることが出来る。さらに、事業の効果による需要増と県内総生産の変化に伴う需要増はそれぞれ図 1 中の β, δ となる。

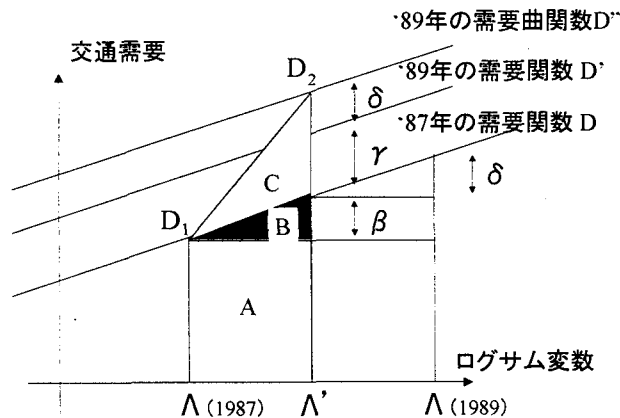


図-1 発生集中モデルを用いた利用者便益の考え方

また発生集中交通量は今回用いたログサム変数だけでなく、様々な要因によって変化する。これは図1の需要関数のシフトとして表され、本発生集中モデルでも式(2)のように一期前の発生集中量を説明変数に含んでいるため、需要関数がγだけシフトされるようになっている。こうしたことから、まず'87年から'89年において一期前の需要量の影響による「自然増」として需要関数はDからD'へとシフトする。次に県内総生産の増加に伴う需要増はδなので、それを需要関数のシフトと考えると最終的な'89年の需要関数はD''となる。

以上より、既存旅客が時間短縮により得られる便益はA、誘発・転換旅客が得られる便益はBとなる。また整備事業以外の影響によって生じる旅客増分(γ+δ)の便益はCで表されるが、ここで問題となってくるのが事業前需要量D₁と事業後需要量D₂間の経路の問題である。一般に、開発型の需要関数では直線的な経路を取らないためショートカット法を用いることが出来ないといわれている。確かに小さな地域内、例えばある町にその町の中での需要が急激に大きく変化するようなショッピングセンターが出来た場合、前述の手法を用いることは困難であろう。しかしながら、本研究ではある地方の特定な事業による影響を国全体というマクロな部分から捉えるため、航空ネットワーク全体に対してそれほど急激な変化をもたらすとは考えにくい。従って、D₁とD₂間の経路を近似的に直線とみなし便益計算を行った。そして以上のように求められた利用者便益は以下のWilliams⁶⁾に準じた方法によって貨幣換算することが出来る。

まず式(1)の目的地選択モデルの効用関数から算出されたログサム変数Λ_iをi-j間の航空費用C_{Aij}で微分すると、式(4)が得られる。

$$\frac{\partial \Lambda_i}{\partial C_{Aij}} = P_i(j)P_{ij}(a)\beta_c = P_i(j,a)\beta_c \tag{4}$$

- P_i(j) : ゾーンiからゾーンjを選択する確率
- P_{ij}(A) : i-j間で航空を選択する確率
- β_c : 手段選択レベルの費用のパラメータ値
- P_i(j,a) : ゾーンiを出発した人がゾーンjに航空で向かう確率

そして、
$$\Delta C_{Aij} = \frac{\Delta \Lambda_i}{P_i(j,a)\beta_c} \tag{5}$$

この式(5)の関係より、効用タームを貨幣換算することができる。

4. モデルの推定結果と便益算出結果

4.1 モデルの推定

モデルの推定に用いたデータは独自に作成した「旅客純流動調査データ」の時系列データ（昭和62年から平成3年の隔年）を利用した。そして目的地選択については3大都市圏をゾーン集約した以外は、基本的に各都道府県毎を一単位とした計39のゾーンを設定し、ゾーン間の交通手段ごとの費用と所要時間を求めた。また手段選択については、航空、鉄道、自家用車、高速バスの4肢選択により分析した。

NLモデル（手段選択・目的地選択レベル）の推定結果を表1、2に、時系列線形回帰型の発生集中モデルの推定結果を表3に示した。

表1において、時間と費用の係数比で表される時間価値は約30円/分となり、妥当な値といえよう。表2の目的地選択レベルではゾーン内総生産という説明変数が入っており、この時系列増加が図1のδのシフトをもたらす。

表-1 NLモデル（交通手段選択レベル）

	推定値	t 値
航空ダミー	-1.09	(-20.9)
自動車ダミー	1.02	(19.6)
高速バスダミー	-2.14	(-28.0)
所要費用 [円]	-0.000108	(-36.5)
所要時間 [分]	-0.00322	(-33.4)
N=6394 R ² = 0.426		

表-2 NLモデル（目的地選択レベル）

	推定値	t 値
ゾーン内総生産 [兆円]	0.0629	(21.4)
ログサム変数 [手段選択レベル]	0.375	(28.8)
N=5183 R ² = 0.215		

表-3 発生集中モデル

	推定値	t 値
定数項	-38058.6	(-2.2)
ログサム変数 [目的地選択レベル]	3974.3	(2.2)
一期前の発生・集中量 [千人]	1.06	(21.6)
N=108 R ² = 0.918		

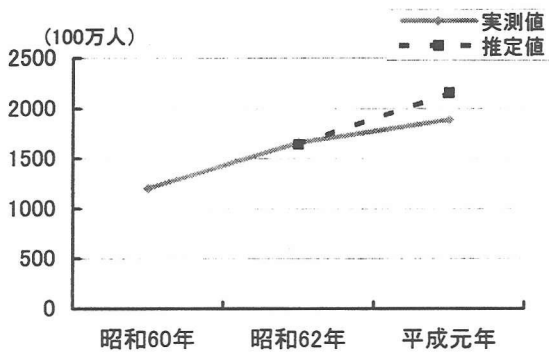


図-2 発生集中量の実測値と推定値の比較

次に表 3 の発生集中モデルの再現性を検討するために、昭和 60 年の実績値を用いて昭和 62 年及び平成元年の発生集中量を推定した。そのうち全ゾーンの発生集中量の総計を示したものが図 2 である。昭和 62 年推定値は実績値とほぼ同じ値であったが、平成元年では実測値の約 1.1 倍という結果となった。

4.2 具体的事例による便益算出結果

次に本モデルを用いて実際の空港整備事業に伴う利用者便益の計測を行い、当該事業の妥当性の検討を行った。ここでは特に昭和 62 年に行われた青森空港ジェット化事業を例として取り上げ、利用者便益の計測を行った。

具体的な便益測定手順は、まず表 1 と表 2 で求められたパラメータ値と、昭和 62 年と平成元年のゾーン間の費用及び時間を用いて式(1)に適用し、各ゾーンごとのログサム変数をそれぞれの年について求めた。これらの値は図 1 における $\Lambda(1987)$ 及び $\Lambda(1989)$ を示している。次に昭和 62 年の時点において、青森空港ジェット化事業後の時間と費用のみを変化させた場合のログサム変数を求める。つまり、青森県とそれ以外のゾーン間のみの時間と費用を変えたログサム変数を求めることにより、図 1 中の Λ' とすることができる。このようにして求められたログサム変数と式(2)で表される需要関数を用いて既存旅客、誘発・転換旅客とその他の影響によって増えた旅客ごとの便益計算を行った。

表 4 は既存旅客、誘発・転換旅客、その他の影響によって生じる旅客ごとの便益を計測した結果である。ログサム変数の事業前後の変化を見ると、ジェット化の影響によるログサム変数の増加量($\Lambda' - \Lambda(1987)$)が青森県では全体の増加量($\Lambda(1989) - \Lambda(1987)$)の 4% (全国平均では 0.2%) であった。これらの値からも分かるように、既存旅客の便益が便益総計の大部分を占め、特に誘発・転換旅客の便益がほとんど表されない結果となった。このことは実際には事業の前後でも利用者数が自然増程度にしか増加していないことや、

増便による待ち時間の減少が期待されていたがほとんど増便されなかった等の理由により、このような結果となったのであろう。

また本整備事業の地域別の効果を知るため、首都圏(東京・神奈川・埼玉・千葉)・中部圏(愛知・岐阜・三重)・近畿圏(大阪・兵庫・京都・奈良)の各圏域ごとに初年度便益を集計した結果を図 3 に示した。これによると本事業の効果は首都圏に比べて遠距離である近畿圏の方に大きな便益を生ずることがわかった結果が得られた。

次に本事業の妥当性を検討するために、長期の便益を算出した結果を表 5 に示す。ここでは社会的割引率を 4% として計算した。

青森空港のジェット化の事業費が約 400 億円であることから、プロジェクトライフを 50 年とすると、事業費の 8 倍以上の利用者便益が発生しており、この整備事業は妥当であるとみなせる。

また事業のネットワーク波及効果として、青森県を発地とも着地ともしない旅行者への便益額は、全国の便益額から青森の便益額の 2 倍(発地側と着地側)を引いた 9 億円の便益が初年度に生じていることも分かる。

表-4 青森空港ジェット化事業による初年度便益

	青森県	全国
既存旅客の事業効果による便益(A)	70.6 億円	150 億円
誘発旅客の便益(B)	0.1 億円	0.1 億円
その他の影響によって増えた旅客の便益(C)	2.1 億円	4.5 億円

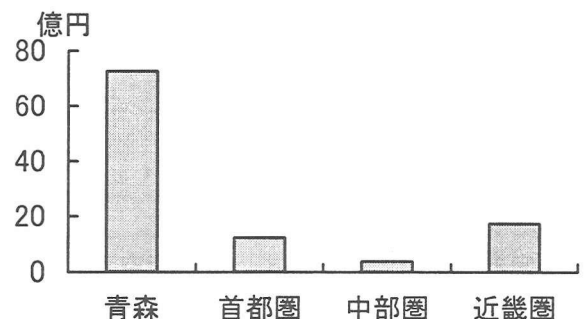


図-3 圏域ごとの初年度便益

表-5 青森空港ジェット化事業の便益現在価値

	青森県	全国
当期	73 億円	155 億円
30 年間	1307 億円	2784 億円
50 年間	1624 億円	3458 億円

5. おわりに

本研究では、空港整備事業に伴う利用者便益を計測するための手段選択・目的地選択モデルに発生集中モデルを統合した形の需要モデルを提案した。このモデルの特徴はプロジェクト前後間の需要関数の変化を考慮することにより、誘発需要の効果や他地域間への波及効果を求めることが出来ることである。そして具体的事例として青森空港のジェット化事業に伴う便益を既存旅客、誘発・転換旅客、その他の影響によって生じる旅客に分けて算出した。その結果から青森県での便益が全体の50%弱であることがわかった。同時に首都・中部・近畿圏域において生ずる便益を示したが、首都圏に比べて近畿圏のほうが大きな便益を生ずる結果が得られた。事業とは無関係な地域間への波及効果として総便益の6%程度の便益がもたらされていることも分かった。そして50年間の利用者便益のみによるB/Cの値も8を超えており、事業の妥当性を示唆することが出来た。

今後の課題として、事例研究を積み重ねてより精度の高い需要モデルを構築するとともに、新規の交通施設整備事業にも適用が容易なモデルへの展開を挙げておく。

参考文献

- (1) 森杉壽芳：社会資本の便益評価，勁草書房，1997
- (2) 森杉壽芳，大野栄治，大宮正浩，杉浦博保：公共交通施設整備の帰着便益連関分析，土木計画学研究講演集 No. 11，pp. 653-660，1986
- (3) 森杉壽芳，林山泰久，小島信二：交通プロジェクトにおける時間便益評価-簡便化手法の実用化と精度の検討-，土木計画学研究論文集 No. 4，pp. 149-156，1986
- (4) 森杉壽芳：プロジェクト評価に関する最近の話題，土木計画学研究論文集 No. 7，pp. 1-33，1989

- (5) 岸邦弘，前田友章，日野智，佐藤馨一：青函トンネルプロジェクトの費用便益分析，土木計画学研究講演集 No. 23(1)，pp. 99-102，2000
- (6) Williams, H.: On the Formation of Travel Demand Models and Economic Evaluation Measures of User Benefit Environment and Planning A, Vol.9, pp.285-344, 1977
- (7) Small, K. and Rosen, H.: Applied Welfare Economics with Discrete Choice Models, Econometrica, Vol.49, pp.105-130, 1981
- (8) 森地茂，屋井鉄雄，兵藤哲朗：わが国の国際航空旅客の需要構造に関する研究：土木学会論文集 No. 482，pp. 27-36，1994
- (9) 高田和幸，屋井鉄雄：国際航空における交通整備効果の分析，土木計画学研究講演集 No. 19(2)，pp. 677-678，1996
- (10) Jara-Diaz, S.: Consumer's Surplus and The Value of Travel Time Savings, Transportation Research, Vol.24B, pp.73-76, 1990
- (11) Small, K.: Urban Transportation Economics, Harwood Academic Publishers, 1992
- (12) 河野達仁，森杉壽芳：時間価値関数に関する理論的考察-私的交通のケース-，土木計画学研究講演集 No. 21(1)，pp. 37-40，1998
- (13) 上田孝行，福本潤也：空港整備の費用分析のための基礎的考察，土木計画学研究講演集 No. 22(1)，pp. 81-84，1999
- (14) 副島広巳，片山礼二郎，外井哲志：新福岡空港開港に伴う経済波及効果測定に関する分析調査，土木計画学研究講演集 No. 22(1)，pp. 85-88，1999
- (15) 運輸政策研究機構：空港整備事業の費用対効果マニュアル，運輸政策研究機構，1999

統合型需要モデルを用いた空港整備に伴う利用者便益の計測法*

高瀬 達夫**，森川 高行***，脇 昌央****

これからの社会資本整備事業においては、アカウントビリティが重要視されつつあり、そのためにはより精度の高い事業効果計測法が必要となってくる。本研究は、従来の手法では空港整備に伴う誘発交通を明示的に考慮できないことや地域間旅客への波及効果を考えていないこと等の問題点を考慮し、手段選択・目的地選択モデルに発生集中モデルを統合した形で、地域間の旅客需要を包括的に表した統合型需要モデルを構築した。そしてそのモデルから得られる便益指標を用いて空港整備事業としてジェット化事業を例にとり利用者便益計測をおこない、事業の妥当性の検討を行った。

Estimation of Passengers' Benefit Accrued by Airport Improvement Projects Using an Integrated Travel Demand Model

By Tatsuo TAKASE, Takayuki MORIKAWA, Masao WAKI

In this paper, we proposed a new passengers' benefit evaluation method. This integrated travel demand model is composed of mode choice and destination choice and trip generation model. The distinction of this model is that we are able to consider the demands induced by the project and a interzonal ripple effect. Then we estimate passengers' benefit accrued by airport improvement projects such as the extension of the runway.
