

不確実性を考慮した航空移動スケジュール決定行動モデルの構築*

Scheduling Behavior Models of Air Travel Considering Uncertainties

石川智之**・藤原章正***・杉恵頼寧****・李百鎮*****

By Noriyuki ISHIKAWA, Akimasa FUJIWARA, Yoriyasu SUGIE, Backjin LEE

1. はじめに

わが国では、代表的な都市間交通機関である航空において近年大きな変化が見られ、空港施設の改善や空港へのアクセスの向上、使用機材の大型化が図られている。

例えば広島について見ると¹⁾、1993年10月に広島空港が開港し、B747やB777等の輸送力の大きな機材が発着可能となった。その結果、利用者数は増えつづけ、現在もさらに増加の傾向にある。一方、新幹線ではJR発足以後において新型車両の投入が相次ぎ、高速化・快適性の向上が図られている。このように双方に利便性の向上が見られるが、利用実績について見てみると、新幹線は、1986-1998年の13年間で利用人数が1.3倍に増加したものの、近年は需要の減少も見られる。一方、国内航空は利用人数が2.3倍となりさらに増加の傾向にある²⁾。

また、利用者の意識にも変化が見られる。IT革命と呼ばれる社会の高度化・情報化が進み、人々が持つ時間価値が個人やトリップ目的間で多様化している。特に、時間価値はビジネストリップでは高く、速達性や確実性だけでなく運航の弾力性や柔軟性、つまり運航頻度を考慮し利用する交通機関や便を決定していると考えられる。

一方、航空には速達性が高い特徴を持つ反面、所要時間に対する不確実性、すなわち、遅延の発生確率を有するといった特徴もある。図1は、例として広島空港発東京国際空港着便のフライト時間の分布を示したものである。定刻フライト時間70分に対して、最大93分、最小60分と大きなばらつきがある。また欠航も1.9%存在する。

需要分析の視点からみると、このような所要時間の不確実性に対して、各利用者の認知や反応が異なることが重大な問題となる。例えば、同じ10分の遅延に対しても利用者によってその発生確率やペナルティーの見込みが異なり、それは利用する交通機関や便の決定行動の違いにつながるものとして考えられるからである。

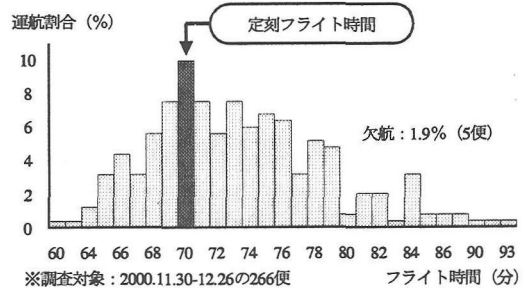


図-1 広島～東京間のフライト時間の分布

そこで本研究では、時間価値の高いと考えられる航空を利用する都市間ビジネストリップ客を主な対象者として、遅延に対する不確実性を考慮したスケジュール決定行動モデルの構築を試みる。

なお、本研究では不確実性³⁾を「将来起こるであろう遅延の発生確率分布が分からない状態」を指すのではなく、「将来起こるであろう遅延の発生確率分布は分かる状態」を指すものとして定義し、それを考慮するために「利用者の各交通機関に対する所要時間認知の不確実性」に着目する。本研究では、各利用者の所要時間認知の不確実性を表現する方法として2種類の変数、①「遅延の主観確率」と空港と目的地での②「安全余裕時間」を定義する。またモデルの定式化において、所要時間に対する個人の認知が一律でないことを表現するため、個人間の異質性を考慮できるMixed Logitモデルの適用を試みる。そして、個人間の異質性を考慮したこのモデルの妥当性を評価するため、異質性を考慮しない従来型のモデル(多項ロジット、以下MNL)の推定も合わせて行い、2つのモデルの比較・検討を行う。

2. 既往の研究と本研究の位置づけ

交通行動分析の視点から、交通機関の遅延を取り扱った研究では、「信頼性」という観点から多くの研究が行なわれている。本研究で取り扱う空港アクセストリップに関しては、Hensher⁴⁾やProussaloglou⁵⁾らの他、国内では山下、黒田らが継続的に研究^{6) 7)}を行っている。これらの研究では、余裕時間の定義や遅刻ペナルティの概念を用いて遅刻回避行動における効用関数を定式化し、「主

*キーワード：交通行動分析

** 学生員、広島大学大学院国際協力研究科

E-mail: n0222@hiroshima-u.ac.jp

*** 正会員、博(工) 広島大学大学院国際協力研究科

E-mail: afujiw@hiroshima-u.ac.jp

**** 正会員、工博 広島大学大学院工学研究科

E-mail: ysugie@hiroshima-u.ac.jp

***** 学生員、修(工) 広島大学大学院国際協力研究科

E-mail: bjlee@hiroshima-u.ac.jp

観的所要時間分布」の必要性を述べている。所要時間認知の不確実性を表現する変数の1つである安全余裕時間 (Safety Margin) の概念としては、Hendrickson and Plank¹³⁾ や W.Hall¹⁴⁾ らが「Safety Margin は到着時刻の遅れに対する余裕の時間」と定義している。加藤¹⁵⁾ は、この安全余裕時間の概念を用いて、所要時間が長いほど安全余裕時間も長く取る傾向を示している。若林¹⁶⁾ や、田中¹⁷⁾ も、通勤時の交通機関選択問題に信頼性の概念を取り込んでいる他、道路施設の信頼性に関する研究では、飯田¹⁹⁾ らが行い、情報提供の信頼性に関する研究として、平井²⁰⁾ や田中¹⁸⁾ は、情報提供と不確実性の関係を分析している。また、小林²¹⁾ は情報による合理的な期待効用の形成を述べている。本研究では、航空利用に関する観点からは、空港アクセスや航空機の利用といった利用者効用の分析に関する研究に属し、信頼性の評価方法として、遅刻ペナルティに代表される各個人の遅れに対する評価値を用いた研究として位置づけられる。

次に、Mixed Logit モデル (以下 MXL) に関する研究を以下に整理する。MXL を用いた研究は、米国を中心とする海外で開発が進められており^{22) 24)}、近年になって、国内の交通計画分野でも紹介されるようになった。MXL の特性である個人の非観測異質性やパラメータの確率変動特性に着目してその汎用性を研究した兵藤・章翔²⁵⁾ の例や、選択肢間の相関を表現するために、構造化プロビットモデルとの特性比較分析を行った清水・屋井²⁶⁾ の例がある。この他にも、その実用範囲の検証として、永易・河上²⁷⁾ の名古屋都心部への通勤交通の手段選択問題を扱った例や、MXL を用いて全国機関選択モデルを構築し、感度分析を通じて幹線交通の将来像について考察した、武藤・内山²⁸⁾ の研究がある。本研究では、MXL の特徴であるパラメータの確率変動や選択肢間の類似性の考慮といった特性を用いて、利用者の所要時間認知に対する不確実性を表現し、更には航空利用を対象としたスケジュール決定行動モデルを構築するため、MXL の実用範囲の検証研究として位置づけられる。

3. 交通機関の遅延とスケジュール決定との関係

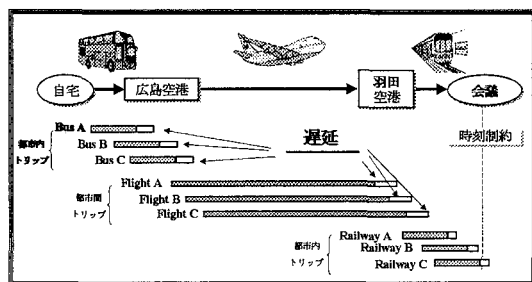


図-2 本研究で取り扱う遅延とスケジュールの概念

従来の都市間トリップ選択に関する研究では、個々の代表交通機関に着目した機関選択モデルを構築する例が多い。本研究では、図2に示すように、航空を対象として、目的地での到着時刻制約がある場合の「航空便」と「空港までのアクセス便（リムジンバス）」の組み合わせの選択を考え、この組み合わせを「スケジュール」として定義する。なお、本研究では目的地が東京であるため、イグレス機関の頻度は高いことから、その遅延は無視できるものとして取り扱うこととする。このようなスケジュール下において、利用者は、航空およびアクセス機関のそれぞれの遅延時間、及び、その遅延発生確率を見込んで、目的地での到着時刻制約を満たすようなスケジュールを選択することになり、結果として、各個人のスケジュールの選択プロセスにおいては、各交通機関に対する所要時間認知の不確実性が発生している。そこで、本研究では利用者のスケジュール選択プロセスを図3のように捉え、この枠組みのもとで、スケジュールモデルの構築を試みる。

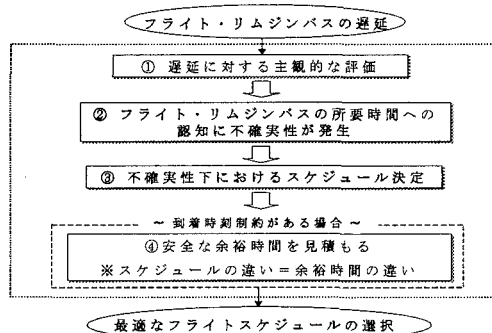


図-3 不確実性下のスケジュールの選択プロセス

本研究では各交通機関の所要時間に対する、「利用者の認知の不確実性」を考慮した航空利用スケジュール選択行動を表現するため、以下の1)、2)の2点に着目する。

- 1) 遅延発生に対する個人の「主観確率」の不均一性
個人の持つ情報（実際の遅延発生確率）に差異があるため、個人の認知している遅延時間が異なる。つまり、個人の認知の不確実性は均一ではない。
- 2) 見込んだ遅延に対する個人の「態度」の異質性
人々の持つ到着時刻に対するペナルティが異なれば、遅延に対する態度が異なる。そのため、認知の不確実性が不均一であることを正確に表現するためには、効用関数の中で個人間の異質性を明示的に考慮する必要がある。

4. 個人の所要時間認知を表現する変数

本研究では、スケジュール選択において、個人の各交

通機関に対する所要時間の認知を表現するために、以下の2つの変数をスケジューリングモデルに取り入れる。

(1) 遅延の主観確率

本研究では、遅延発生分布の主観確率を考える。主観確率の考え方については、Wright and Aytton²⁹⁾らの定義に従い、本研究では、遅延時間をいくつかのカテゴリ分けし、その各カテゴリ k について各利用者 n が各交通機関 j に対して過去の利用経験等から主観的に認知している遅延発生確率を θ_{jnk} とする。図4はその概念図である。x軸に遅延時間 t をとり、y軸に遅延の発生件数をとると、各利用者がそれぞれ異なるこのような遅延発生分布関数を持つことになる。例えば0分から t_1 分までの主観確率 θ_1 は図の斜線部である。ここで、曲線、x軸、y軸に囲まれた部分（主観確率）の総和は1である。

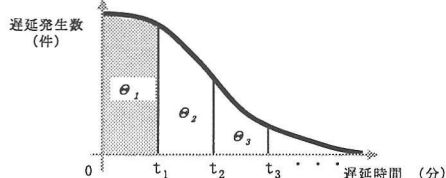


図-4 遅延の主観確率 θ の定義

(2) 安全余裕時間

安全余裕時間 (Safety margin, SM) は、交通の遅延による遅刻を回避するための時間と、次の活動のための準備や余裕のための時間との和であると定義する。本研究ではSMについて、図5に示す空港での安全余裕時間 (SMA) と目的地での安全余裕時間 (SMD) という2つのSMを定義する。また、各利用者は、それぞれ希望 SM (SMA 及び SMD) を持っているとする。この希望 SM は0よりも大きな値であり、実トリップにおける SM がこの希望 SM よりも長くなっても短くなっても、個人の効用の低下が見られるとする。したがって、6節のスケジューリングモデルにおいて“希望 SM と現実ダイヤ上の SM との差”をスケジュールの効用水準を決める説明変数として見なすこととする。

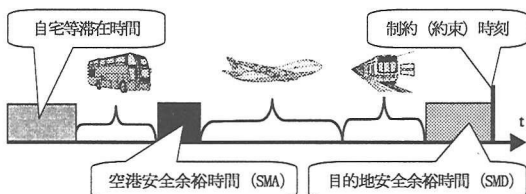


図-5 空港と目的地での安全余裕時間の定義

5. 航空利用スケジューリング行動に関する調査

(1) 調査概要

本研究では、分析のためのデータを収集するために、航空利用評価に関するアンケート調査に加えて、交通機関の遅延とスケジュール行動の間のトレードオフを見るための SP 調査を行った。調査の概要を表1に示す。この調査では、図6に示すような複数スケジュールを提案し、SP 調査法で回答者に選択させている。

表-1 SP 調査の概要

名称	広島空港利用者の航空・空港利用についての調査
対象	広島空港発 東京国際空港着 航空便利用者
形式	利用者記入方式の無記名調査票を配布・郵送回収
期間	2000年9月25日(月)~9月29日(金) 7:00-17:00
場所	広島空港2F国内線出発ロビー及び1F到着ロビー
結果	配布票数: 3371, 回収票数: 1765, 回収率52.4%

提示するスケジュールは、実験計画法を用いて、図6(A)の航空利用スケジュールを7種類、同(B)の新幹線利用スケジュールを2種類の計9種類を設定した。回答者には、その中から、航空機利用スケジュール3本と新幹線利用スケジュール1本の計4本を提示し、望ましい順に数字を記入させた。

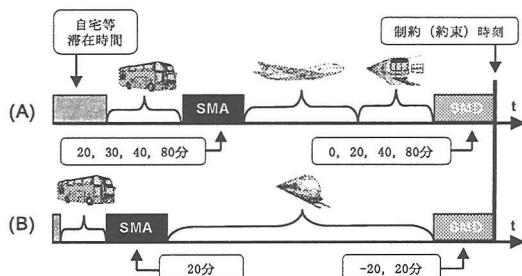


図-6 SP 調査での複数スケジュールの定義と設定

遅延の主観確率については、リムジンバス・航空とも、0分(遅れなし)、10分、30分、60分以上の4段階の遅延時間を設定し、それぞれの遅延の発生確率を記入させた。また、空港と目的地での安全余裕時間である SMA, SMD についてはそれぞれ、調査日当日の希望する空港滞在時間と約束前の目的地滞在時間を記入してもらった。

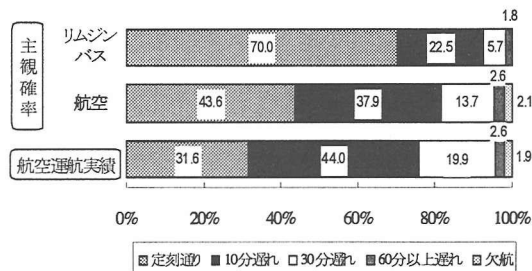


図-7 SP 調査の遅延の主観確率と運航実績値

(2) 調査結果

続いて、図7に、交通機関の遅延に対する主観確率の回答値の集計結果を示す。「リムジンバス」は定刻通りが70%で、10分程度の遅れまで含むと9割以上を占める。一方「航空」は定刻通りが44%であるが、これは実際の運航実績32%より12ポイントも高く、利用者が定時性について過大評価していると言える。なお、航空の運航実績は、2000年11月30日~12月26日の広島発東京(羽田)266便を対象として、各航空会社のホームページで毎日公開している発着情報をもとにしたものである。

次に、図8に、SP調査で回答者900人から得た希望SMAと希望SMDの分布を示す。

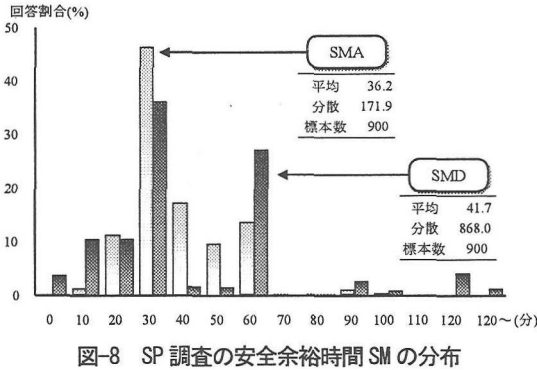


図-8 SP調査の安全余裕時間SMの分布

SMAは30分をピークに分散の小さな分布であり、そのほとんどが60分以下である。一方、SMDは最小0分から最大210分とかなり分散の大きな分布であり、120分という回答も約5%存在する。これは、目的地において会議等の開始前に昼食を取る等、次の活動のための準備の時間が多く含まれたためであると考えられる。

6. スケジューリングモデルの構築

(1) モデルの定式化

従来スケジューリングモデルの構築においては、MNLモデルがしばしば使用されてきた。しかし、このモデルでは変数パラメータが平均値で固定されており、3.4章で述べたような遅延の主観確率や安全余裕時間を用いて、認知の違いさらには態度の違いをモデル上で再現することが難しい。そこで本研究では、MNL一般形であるMixed Logit model (以下、MXL)を用い、変数パラメータに分布を持たせ確率変動を許すことで、この問題を解決することを考える。なお、目的変数はSPアンケート調査におけるスケジュールの選択結果である。

MXLでは、利用者 n の考えるスケジュール i の効用関数は式(1)で表現される。

$$U_{in} = V_{in} + \varepsilon_{in} = V_{in} + \eta_{in} + \varepsilon_{in} \quad (1)$$

$$V_{in} = \sum_K \beta_{is} x_{is} \quad \eta_{in} = \sum_{j \in J} \mu_{ij} Z_{ij} \quad (i \neq j) \quad (3)$$

ただし、

U_{in} : 効用関数、 V_{in} : 確定項、

ε_{in} : 見かけ上の誤差項、 e_{in} : 真の誤差項

$\beta_{is} \sim (\bar{\beta}_{is}, \sigma_{\beta})$: 正規分布するパラメータ s の平均と分散

x_{in} : 説明変数、 η_{in} : 選択肢 i の他の選択肢との類似性指標

μ_{ij} : 平均0の正規分布に従う確率変数ベクトル

Z_{ij} : 選択肢間の類似性を考慮するダミー変数

ここで、上記の式(3)より、MXLではさらに、選択肢間の誤差相関を表すパラメータをモデル内に明示的に組み込むことが出来る。可処分時間を配分した結果であるスケジュールには時間制約という共通の制約条件が存在する。そのため、スケジュールの代替率には相関が発生すると考えるのが妥当であろう。本研究では定式化においてこの特性も活用する。ダミー変数の入れ方については、全てのスケジュールの相関を見るために、あらゆる組み合わせに対して全てダミー変数を入れている。

いま真の誤差項 ε_{in} がガンベル分布に従うとするとスケジュール i の選択確率 P_{in} は式(4)のように表現される。

$$P_{in} = \int \frac{\exp(V_{in} + \eta_{in})}{\sum_{j \in J} \exp(V_{jn} + \eta_{jn})} f(\eta | \Omega) d\eta \quad (4)$$

ただし、 $f(\eta | \Omega)$: η の確率密度分布

この選択確率は、シミュレーション法の乱数発生アルゴリズムによる近似解にて算出される³⁰⁾。

(2) 効用関数の確定項

本研究では、確定項を式(5)のように定義する。説明変数をSP調査で設定したSMと希望SMの差の2乗としている。これは、様々な形状を事前に試した結果であり、これにより、パラメータが有意かつ絶対値が大きいくほど希望SMの制約が強いこととなる。なお、本研究では新幹線には遅れがないと利用者が認知しているものと仮定し、新幹線利用スケジュールの確定項は、 $\theta_{in}^{flight} = 1$ かつ、 $\theta_{2n}^{flight} = \theta_{3n}^{flight} = \theta_{4n}^{flight} = 0$ とする。

$$V_{in} = \beta_{SMA} \times \sum_{k=1}^K \left\{ \theta_{nk}^{bus} \times (SPM^A_i - t_k - SMA_n)^2 \right\} + \beta_{SMD} \times \sum_{l=1}^L \left\{ \theta_{nl}^{flight} \times (SPM^D_i - t_l - SMD_n)^2 \right\} + const_i \quad (5)$$

$$s.t. \quad \sum_{k=1}^K \theta_{nk}^{bus} = 1, \quad \sum_{l=1}^L \theta_{nl}^{flight} = 1$$

ただし、

$\theta_{nk}^{bus}, \theta_{nl}^{flight}$: 個人 n のバス(飛行機)のカテゴリ k (l)の遅延の主観確率回答値

β_{SMA}, β_{SMD} : 空港と目的地での余裕時間に関するパラメータ

SPM^A_i, SPM^D_i : 選択肢 i におけるSP設定上のSMAとSMD

t_k, t_l : バス(飛行機)の $\theta_{nk}^{bus}(\theta_{nl}^{flight})$ に対応する遅れ

SMA_n : 個人 n の希望SMA、 SMD_n : 個人 n の希望SMD

$const_i$: 選択肢 i の定数項

なお、MNL モデルでは、効用関数、選択確率はそれぞれ (1)、(4) 式において η がない式形であり、かつ β の分散は $\sigma_\beta = 0$ に制約してよい。

7. スケジューリングモデルの推定

所要時間認知の不確実性を考慮したモデルとして、個人の異質性を考慮するモデル (MXL) と考慮しないモデル (MNL) の推定結果を表2に示す。なお、異質性を考慮しないモデルの構造はMNLを基本とし、利用者毎のSM値を考慮せず、式(5)中の SMA_m , SMD_m を1つのパラメータとしてモデル内で同時推定し、集団全体の値とする。また、本研究ではパラメータの推定において、両モデル間でのスケールパラメータが同じといった制約を置いていない。そのため、推定値自体を用いたモデル間の比較はできないので、主にt値に着目して考察する。

表2 モデルの推定結果

説明変数	MNL モデル		MXL モデル	
	異質性を考慮しない 推定値	t値	異質性を考慮する 推定値	t値
平均値 β				
空港での安全余裕時間	-0.0019	-3.597 **	-0.0003	-1.282
目的地での安全余裕時間	-0.0005	-7.397 **	-0.0004	-2.121 **
標準偏差 σ				
空港での安全余裕時間			0.012	0.474
目的地での安全余裕時間			0.032	1.672
定数項 $const$				
SP1 (SMA=20, SMD=0)	0.8	10.421 **	1.655	3.396 **
SP2 (SMA=30, SMD=0)	0.858	5.896 **	1.303	1.441
SP3 (SMA=20, SMD=80)	1.959	15.046 **	3.185	1.772
SP4 (SMA=30, SMD=80)	1.161	16.6	2.883	3.795 **
SP5 (SMA=40, SMD=20)	1.614	19.063 **	3.748	1.713
SP6 (SMA=80, SMD=20)	4.336	11.229 **	0.103	0.129
SP7 (SMA=40, SMD=40)	1.415	19.944 **	4.377	3.715 **
選択肢間の相関 ρ				
Nest1 (SP1-SP4)			2.344	1.256
Nest2 (SP1-SP6)			0.658	0.937
Nest3 (SP1-SP7)			0.125	0.358
Nest4 (SP2-SP3)			4.311	3.305 **
Nest5 (SP2-SP5)			1.154	3.805 **
Nest6 (SP2-SP6)			1.081	1.019
Nest7 (SP3-SP5)			2.636	2.04 **
Nest8 (SP3-SP6)			0.318	1.49
Nest9 (SP4-SP6)			0.628	0.573
Nest10 (SP4-SP7)			2.889	1.081
Nest11 (SP5-SP6)			1.318	1.148
Nest12 (SP6-SP7)			1.103	0.647
初期尤度	-1247.7		-1247.7	
最終尤度	-960.00		-917.43	
自由度調整済み尤度比	0.223		0.246	
赤池のAIC	1942		1788	
サンプル数	900		900	

**1%有意, *5%有意

表2の結果より両モデルとも尤度比において妥当な値が得られており、個人の遅延に対する認知を表現する変数として、遅延の主観確率と安全余裕時間を効用関数に取り入れることの有効性が確認できる。また、個人間の異質性を考慮していないモデルでは、定数項のt値が高く、効用の大小为定数項に強く依存する。つまり、換言すれば遅延に関するパラメータの感度が相対的に鈍いと考えられる。これに対して、異質性を考慮したモデルでは定数項のt値は低いものの、相対的に遅延に関するパラメータの値が増している。異質性考慮モデルでは尤度比の値が向上していることや、分散値が安全余裕時間の取得データの特性を反映できていることも踏まえると、空港で

の余裕時間に関するパラメータのt値が低いという課題はあるが、スケジュール選択問題を扱う場合、個人のばらつきを考慮して個人の認知する遅延を効用関数の中に明示的に組み込むことの有効性が示唆されると言える。

8. おわりに

本研究では、航空を利用する都市間交通を対象に、複数の交通機関とその利用便の組み合わせの1トリップを1つのスケジュールとして捉え、MXLを用いて個人の交通機関に対する「所要時間認知の不確実性」に着目したスケジュール決定行動モデルの構築を行った。その結果、航空のような所要時間の不確実性が高い交通機関を含むスケジュール選択問題を扱う場合には、遅延がスケジュールの決定に与える影響を明示的に考慮し、利用者の所要時間認知の非一様性をMXLを用いて考慮することの有効性を確認することができた。今後は、利用者の「安全余裕時間」と「遅延の主観確率」の予測手法の開発と、時間の連続性を表現できるモデル(時刻選択モデル)の構築を行い、現実の運航スケジュールへのモデルの適用とその政策評価を行うことが課題である。

謝辞

調査を実施するにあたり、広島空港事務所、広島県空港港湾局には多大なご協力をいただいた。また、調査の実施及び分析において研究室卒業生(現首都高速道路公団)の遠道康裕氏の貢献が大きい。ここに謝辞を表す。

参考文献

- 1) 広島県空港港湾局：広島空港資料 平成12年8月,p1-3, p8, p16,2000.
- 2) 運輸省運輸政策局情報管理部：運輸経済統計要覧平成11年度版,p14-22,2000.
- 3) 依田高典：不確実性と意思決定の経済学,日本評論社,1997.
- 4) Hensher, D.: The valuation of commuter travel time savings for car drivers: evaluating alternative model specification, Transportation 28, p101-118, 2001.
- 5) Hensher, D., Stopher, P., and Louviere, J.: An exploratory analysis of the effect of numbers of choice sets in designed choice experiments: an airline choice application, Journal of Air Transport Management, Vol. 7, p373-379, 2001.
- 6) Prousaloglou, K., and Koppelman, F.: The choice of air carrier, flight, and fare class, Journal of Air Transport Management, Vol. 5, p193-201, 1999.
- 7) 黒田勝彦,山下智志,加藤裕明：空港アクセストリップにおける遅刻リスク回避行動に関する研究,土木学会第48回年次学術講演会概要集,p.544-545, 1993.
- 8) 山下智志,黒田勝彦：ブートストラップ法によるリスクモデルの安定性に関する研究：大阪空港におけるアクセストリップ行動モデルの構築と検証,土木計画学研究・講演

- 集, No.16(1), p751-758, 1993.
- 9) 黒田勝彦, 山下智志: 時間制約を考慮した観光地周遊行動モデルの開発と道路網整備の評価, 土木計画学研究・講演集, No.16(1), p293-298, 1993.
 - 10) 山下智志, 黒田勝彦: 空港アクセストリップにおけるにおける遅刻回避行動を考慮した交通機関選択モデル, 土木計画学研究・講演集, No.17, p.51-54, 1995.
 - 11) 山下智志, 黒田勝彦: 交通機関の定時性と遅刻回避型効用関数, 土木学会論文集, No.536, IV-31, p.59-68, 1996.
 - 12) 山下智志: 意思決定理論に基づいた所要時間不確実性下における交通行動の研究. 1997.
 - 13) Hendrickson, C., and Plank, E.: The flexibility of departure times for work trips, *Transportation Research*, Vol.18A, No.1, p25-36, 1984.
 - 14) Hall, Randolph W.: Travel outcome and performance: The effect of uncertainty on accessibility, *Transportation Research B*, Vol.17B, No.4, p275-290, 1983.
 - 15) 加藤文教, 門田博和, 浜田信一: 道路の信頼性評価の簡便法, 土木計画学研究・論文集, No.4, p181-188, 1986.
 - 16) 浅岡克彦, 若林拓史, 亀田弘行, 飯田恭敬: 交通手段選択における所要時間の信頼性と出発時刻を考慮した通勤行動分析, 土木計画学研究・講演集, No.19(2), p819-822, 1996.
 - 17) 若林拓史, 浅岡克彦, 亀田弘行, 飯田恭敬: 交通手段選択における所要時間信頼性の影響と交通サービス途絶時の利用者の意識変化に関する研究, 土木学会論文集, No.632, p29-40, 1999.
 - 18) 田中俊祐, 宮城俊彦, 小川圭一: 所要時間情報の精度による経路選択行動への影響の分析, 土木計画学研究・講演集, No.22(1), p327-331, 1999.
 - 19) 飯田恭敬, 内田敬: リスク対応行動を考慮した道路網経路配分, 土木学会論文集, No.464/IV-19, p63-72, 1993.
 - 20) 平井千智, 羽藤英二, 朝倉康夫: 経路選択の不確実性を考慮した逐次的な情報参照モデル, 土木計画学研究・講演集, No.22(1), p319-322, 1999.
 - 21) 小林潔司: 知識社会における交通行動, 課題と展望, 土木計画学研究・論文集, 12, p1, 1995
 - 22) Brownstone, D., and Train, K.: Forecasting new product penetration with flexible substitution patterns, *Journal of Econometrics*, Vol. 89, p109-129, 1999.
 - 23) Revell, D., and Train, K.: Mixed logit with repeated choices: Households' choices of appliance efficiency level, *Review of Economics and Statistics*, Vol. IXXX, No. 4, p647-657, 1998.
 - 24) Algiers, S., Bergstrom P., Dahlberg, M., and Dillen J.L.: Mixed logit estimation of the value of travel time, *Working Paper Series*, Department of Economics, Uppsala University, Sweden, No 1998: p15, 1998.
 - 25) 兵藤哲朗, 章翔: Mixed Logit モデルの汎用性に着目した特性比較分析, 土木学会論文集, No.660, IV-49, p89-99, 2000.
 - 26) 清水哲夫, 屋井鉄雄: Mixed Logit モデルとプロビットモデルの推定特性に関する比較分析, 土木計画学研究・論文集, No.16, p587-590, 1999.
 - 27) 永易雅志, 河上省吾: 交通機関選択への Mixed Logit モデルの適用に関する研究, 土木学会第 55 回年次学術講演会, CD-ROM 版 IV-338, 2000.
 - 28) 武藤雅威, 内山久雄: 新幹線と航空の競合時代を反映した国内旅客幹線交通の現状と展望, 運輸政策研究会, Vol.4, p2-7, No.1, 2001.
 - 29) Wright, G and Ayton, P.: *Subjective Probability*. John Wiley and Sons, Inc., New York, 1994.
 - 30) Bhat, C.R.: Quasi-random maximum simulated likelihood estimation of the mixed multinomial logit model, *Transportation Research Part B*, Vol. 35, p677-693, 2001.

不確実性を考慮した航空移動スケジュール決定行動モデルの構築*

石川智之**・藤原章正***・杉恵頼寧****・李百鎮*****

本論文では、航空を利用するスケジューリング行動モデルの構築を試み、その際に、利用者の交通機関に対する「所要時間認知の不確実性」に着目して不確実性を考慮することを行った。不確実性を表現する変数として、「遅延の主観確率」と空港や目的地における「安全余裕時間」といった2つの変数を定義し、モデルの構築においては、利用者の個人間異質性を考慮できる Mixed Logit モデルの適用を試みた。SP データを用いて推定した結果より、次のことが明らかになっている。①遅延の主観確率と安全余裕時間は、遅延に対する個人の認知を表現できる。②所要時間認知の不確実性を表現する際に Mixed Logit の適用は有意である。

Scheduling Behavior Models of Air Travel Considering Uncertainties*

By Noriyuki ISHIKAWA,**・Akimasa FUJIWARA,***・Yoriyasu SUGIE,****・Backjin LEE*****

This paper attempts to clarify the role of uncertainty by building a scheduling behavior model for air business trips. The two variables used to express the uncertainty are "subjective probability for flight delays", and "safety margin" at both the airport and destination. The mixed logit model was used, which can incorporate both heterogeneity among individuals as well as homogeneity among choices. The following findings were obtained from the results of model: 1. subjective probabilities concerning flight delays and safety margin can express individual recognition of delays, 2. mixed logit model is effective in explaining air travel scheduling behavior.