

# 羽田空港リムジンバスを対象とした 旅行時間信頼性の評価

荻原 貴之<sup>1</sup>・岩倉 成志<sup>2</sup>・野中 康弘<sup>3</sup>・小山 真弘<sup>4</sup>

<sup>1</sup>正会員 首都高速道路株式会社 (〒100-8930 東京都千代田区霞が関1-4-1 日土地ビル)  
E-mail: me12018@shibaaura-it.ac.jp

<sup>2</sup>正会員 芝浦工業大学教授 (〒135-8548 東京都江東区豊洲3-7-5-09c32)  
E-mail: iwakura@sic.shibaaura-it.ac.jp

<sup>3</sup>正会員 株式会社道路計画 (〒170-0013 東京都豊島区東池袋2丁目13-14 マルヤス機械ビル)  
E-mail: y\_nonaka@doro.co.jp

<sup>4</sup>学生会員 芝浦工業大学大学院 (〒135-8548 東京都江東区豊洲3-7-5-09c32)  
E-mail: me14035@shibaaura-it.ac.jp

旅行時間信頼性の評価は、平均分散アプローチに代表されるように、所要時間の標準偏差を代表的な信頼性指標として選択モデルに導入されることが一般的である。一方で、道路の所要時間信頼性指標は数多くの指標が提案されている。これらの複数の指標と道路利用者の行動との整合性を考察した論文は少ない。

本研究では、この現状を踏まえ、時間信頼性を重要視する旅客が多い羽田空港アクセスにおける交通機関の顯示選好と、羽田空港リムジンバスの年間での実績所要時間データを用いた各種時間信頼性指標との整合性を平均分散アプローチによって把握し、さらに各指標の旅行時間信頼性価値の相違を把握する。

**Key Words :** Haneda airport access bus services , travel time reliability, probe data

## 1. はじめに

羽田空港の再拡張等空港容量の拡大による利用者数の増加に伴い、空港アクセス交通機関についても更なる利便性向上が求められている。そうした中、乗り換えなしで着席できるといった特徴を有した空港リムジンバスの需要が近年高まっており、羽田空港と首都圏各地を結ぶ新規路線がここ数十年で急増している。一方で、多くの路線で往路（空港着）の利用者数が復路（空港発）に比べて少なく、道路交通状況による所要時間の変動が利用者へ不安を与えていることが一因であるという指摘がある<sup>1)</sup>。言い換えれば、旅行時間信頼性が高まれば、往路でのリムジンバスの潜在需要は高いと言える。

綾城ら<sup>1)</sup>の研究は、旅行時間の標準偏差を導入した交通機関選択モデルを構築した早い時期の研究成果である。業務トリップの往路の信頼性比1.86、復路の信頼性比1.62を得ている。Tam et al.<sup>2)</sup>は香港国際空港へのアクセス交通機関選択モデルにSP調査で得られた旅行時間変動による搭乗時刻リスクを組み込み、RP/SPモデルを構築している。この結果、空港アクセスバスの旅行時間変動

の縮小によって大きな転換交通が期待できるとしている。Koster et al.<sup>3)</sup>はスキポール空港からの国際航空旅客を対象にアクセス鉄道の旅行時間信頼性のWTPをSP調査にもとづくスケジューリングモデルで推計し、総アクセスコストに旅行時間変動コストが占める割合は、業務トリップで0~30%、非業務トリップで0~25%と評価できることを示した。以上のように、空港アクセスバスの所要時間変動の問題と需要に与える影響を分析した論文は複数あるが、空港リムジンバスの所要時間信頼性を路線別・便別に分析し、複数提案されている所要時間信頼性指標の利用者評価との関係性に着目した事例はない。

これまで表-1に示すように、複数の所要時間信頼性指標が提案されている<sup>4)9)</sup>。管理者と利用者の双方で評価の異なることが報告され、また、信頼性指標間の順位が、必ずしも整合しないという指摘もある。

本研究では、この現状を踏まえ、時間信頼性を重要視する旅客が多い羽田空港アクセスにおける交通機関の顯示選好と、羽田空港リムジンバスの年間での実績所要時間データを用いた各種時間信頼性指標との整合性を平均分散アプローチによって把握し、さらに各指標の旅行時

表-1 路線別所要時間変動

	評価指標	定義式
基準化指標	PII	$TT95/Tmin.$
	BII	$(TT95 - Tave.) / Tave.$
	Index(normal)	$(Tave. - Tmin.) / Tmin. \text{ or } (TT50 - T規制) / T規制$
	Index(ubnormal)	$(Tmax - Tmin.) / Tmin. \text{ or } (TT95 - T規制) / T規制$
	$\lambda skew$	$(TT90 - TT50) / (TT50 - TT10)$
	$\lambda var$	$(TT90 - TT10) / TT50$
	WRT <sub>A</sub> -I	$\sqrt{TT5^2 + TT50^2 + TT95^2} / (TT5)\sqrt{3}$
WRT <sub>B</sub> -I	$\sqrt[3]{TT5 * TT50 * TT95 / TT5}$	
非基準化指標	PT	TT95
	BT	TT95 - Tave.
	ITV	TT90 - TT10
	TI80-TI20	TT80 - TT20
	TI70-TI30	TT70 - TT30
備考	P(Tave+ATTV)	$\chi^2 / ITx(Tave + ATTV)$ , ATTV: 許容旅行時間変動
	P(Tave+DTTR)	$\chi^2 / ITx(Tave + DTTR)$ , DTTR: 希望旅行時間変動
	ITx : $\chi^2$ タイル旅行時間, Tave.: 平均旅行時間, Tmax: 最大旅行時間, Tmin.: 最小旅行時間, T規制: 規制速度走行時の所要時間	

間信頼性価値の相違を考察する。

## 2. 羽田空港リムジンバスの所要時間変動

### (1) 実所要時間データ

東京空港交通株式会社が運行する全ての空港リムジンバスにはGPS端末が搭載されており、運行管理者はリアルタイムで走行状況を把握することが可能となっている。これと既存の道路交通情報を活用することで、インシデント発生時には迂回路へ経路変更を指示する等の定時性確保に向けた運行管理を行っている。

本研究では、この運行GPSデータをバスプローブデータとして、所要時間の算出と利用経路の特定に使用する。データは、時系列位置座標情報（時刻、緯度・経度）、出発・到着時刻、走行速度等である。対象期間は平成23年1月1日～同年12月31日の1年間分の平日とし、3月11日～5月8日（GW明けまで）については震災の影響期間として除いた。

### (2) 所要時間に関する基礎的分析

リムジンバスのGPSログから算出した年間所要時間データを基に、便別に所要時間のヒストグラムを作成し、その分布形状から各路線、各走行時間帯における所要時間の傾向や特徴を述べる。

図-1は、道路混雑の激しい朝のピーク時間帯に首都高速5号線を利用する埼玉方面と羽田空港を結ぶ3路線とT-CATの計4路線の所要時間のヒストグラムである。同じ時間帯に同一路線を走行するリムジンバスにおいても所要時間の分布形状が異なっており、走行区間により所要時間のばらつきが生じていることが分かる。また、各便とも既存の時間信頼性指標として基準化されて路線間の比較が可能なPII, BII, var, skew, WRT<sub>A</sub>-I, WRT<sub>B</sub>-Iを算出した。各指標とも運行時間が1時間程度早い大宮線を除き、所要時間のばらつきが大きい便で時間信頼性

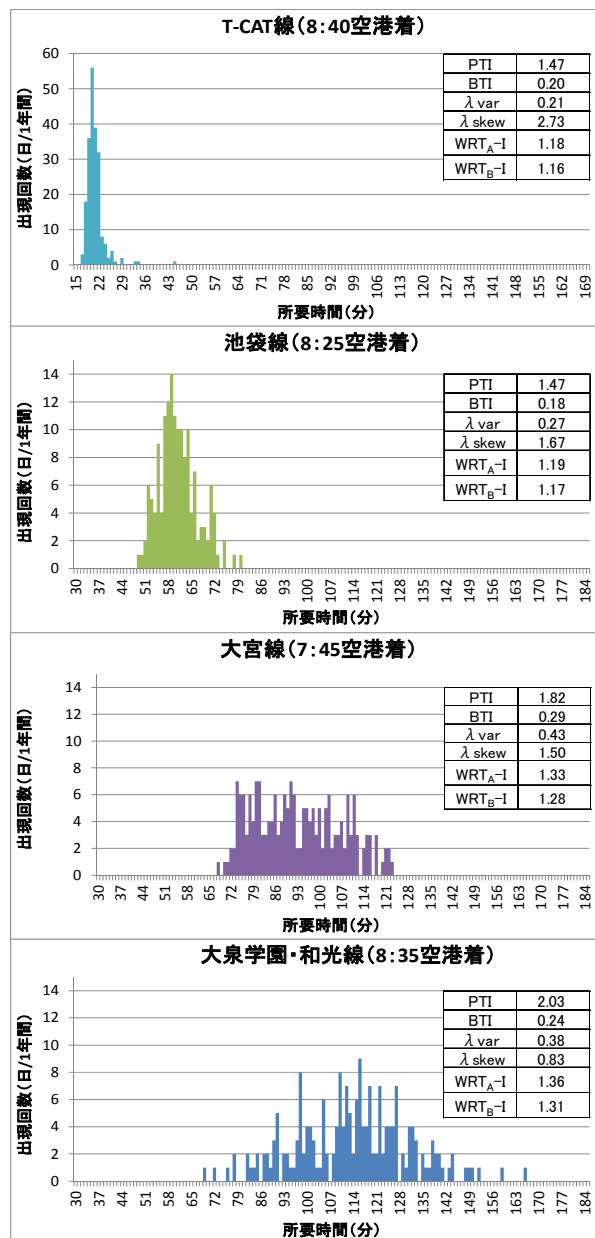


図-1 路線別所要時間変動

が低いという結果となり、所要時間分布と指標値間で整合的な結果を示した。

## 3. 顕示選好と整合的な旅行時間信頼性指標

### (1) アンケート調査

往路（空港着）の空港アクセス公共交通の利用実績データを得るために、2013年11月14日と19日に復路（空港発）のリムジンバス利用者を対象に、リムジンバス車内でアンケート調査を配布した。アンケートの設問は、羽田空港に向かう往路の交通機関および利用経路、交通機関選択理由、過去の空港アクセス交通機関利用頻度、個人属性等の設問とした。また、調査票はバスの座席配置・郵送回収として平日2日間で3445票を配布し、

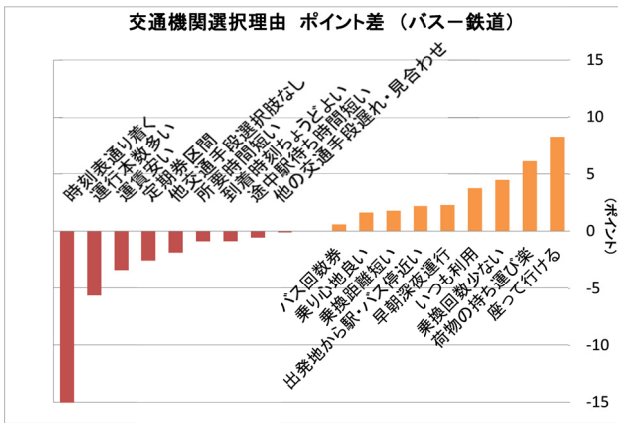


図-2 鉄道およびリムジンバスの選択理由

454票（回収率13%）が収集できた。

(2) 調査結果

羽田空港に向かう往路の利用交通機関選択理由を図-2に示す。バスでは「着席性」や「直行性」，「運行時間帯」に関連する回答が多くみられ，鉄道では「定時性」や「運行本数」で多くの回答を得た。鉄道で「時刻表通り着く」を選択した利用者が多く存在したことから，バスの定時性に不安を感じたため，往路はバスではなく鉄道を利用した利用者が多くいたためと考えられる。

図-3はリムジンバス利用者が個々の希望到着時刻や航空機出発時刻をもとに被験者が乗車した時刻のバスの年間での延着確率（遅着確率）である。希望到着時刻の延着リスクの定義は，アンケート票で回答した「遅くとも航空機の出発時刻の何分前に空港に着いておきたいか」から算出したものであり，自分が空港に着きたいと希望した時刻に対して，年間で何%延着する可能性があるかを示す確率である。一方，搭乗時刻の延着リスクの定義は，アンケートから得られた「搭乗した航空機の出発時刻（もしくは出発便）」の回答結果から，最終搭乗時刻（チェックインタイム）+カープサイトからチェックインカウンターまでの移動時間5分を加えた搭乗便出発時刻20分前までに，空港に到着できない可能性があるを示す確率である。

8割の被験者が搭乗時刻延着リスクが0%であり，6割の被験者が希望到着時刻延着リスクが0%の結果となった。希望到着時刻を超過する可能性のある延着確率は広く分布するが，搭乗便自体に間に合わない確率は概ね2%未満となっている。

(3) モデルの定式化

本研究では，時間信頼性を行動モデルに組み込む手法の一つである平均分散アプローチを用いて，羽田空港アクセス交通における「リムジンバス」と「鉄道」利用者を対象とする交通機関選択モデルを2項ロジットモデル

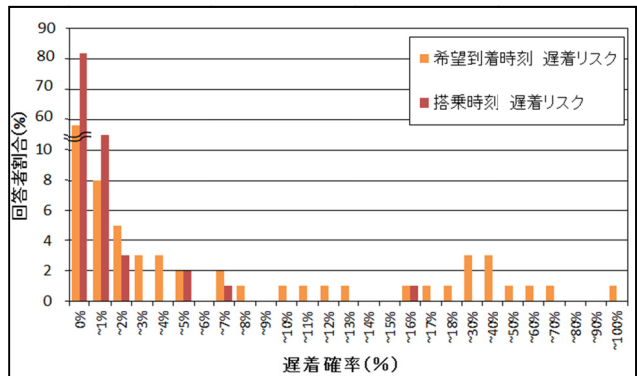


図-3 被験者の延着リスク分布

により定式化した。モデル推定には，羽田空港アクセス時の交通行動アンケート調査から得られた個票のうち，鉄道やバスのキャプティブ層を除いた，業務目的トリップの126サンプルを用いた。

リムジンバスと鉄道の効用関数を以下に示す。変数選択に際しては，図-2に示した選択要因を参考とした。時間信頼性のパラメータは，福田ら<sup>10</sup>を参考に，時刻表所要時間，過去1年間の往路でのリムジンバス利用回数の変数で構造化したモデルとした。時刻表上の所要時間は，乗車距離が長いほど時間信頼性に対して高い感度となると仮定して設定した。また，リムジンバスのリピーター客は利用経験に応じて所要時間変動の目安を持っており，一方で，初回利用者は時刻表を参考に利用を検討している面があり，需要量と時間信頼性との関係は過去の利用頻度で異なることが経験的に知られている。それを反映する変数として過去のリムジンバス年間利用回数を時間信頼性に関わる変数として導入した。また，路線ダミーとして津田沼線，所沢線を導入したが，この地区発の被験者がリムジンバス利用者のみであったため導入した。

VTには「標準偏差」以外にも各種時間信頼性指標を個別に組み込み，どの指標が利用者の交通機関選択行動と整合性が高いのかを分析する。

$$V_{bus} = [\kappa_1 RT + \kappa_2 NU + \kappa_3 DL_1 + \kappa_4 DL_2 + \kappa_5 DL_3] VT_{bus} + \theta_1 ET_{bus} + \theta_2 C_{bus} + \theta_3 NT_{bus} + \theta_4 Fr_{bus}$$

$$V_{rail} = \theta_1 ET_{rail} + \theta_2 C_{rail} + \theta_3 NT_{rail} + const.$$

V: 効用関数，ET: 所要時間期待値(分)，RT: 時刻表上所要時間

NU: リムジンバス利用回数(回過去1年間)，VT: 時間信頼性指標

C: 費用(円)，NT: 乗り換え回数(回)，Fr: 運行本数(1本)

DL<sub>1</sub>: 津田沼線ダミー，DL<sub>2</sub>: 所沢線ダミー，DL<sub>3</sub>: 南大沢線ダミー

κ: 時間信頼性に係るパラメータ，θ: パラメータ

(4) パラメータ推定結果

VTに各種指標をそれぞれ組み込んだモデルの推定結果を表-2に示す。尤度比をみれば概ね良好なモデルが構築できたと考えられる。

表-2 各種時間信頼性指標を組み込んだ平均分散モデル

(表中の上段：パラメータ，下段( )内：t値)

変数	標準偏差	PT	BT	PTI	BTI	$\lambda$ var	$\lambda$ skew	WRTA-I	WRTB-I	TTV	TT80-TT20	TT70-TT30
$\kappa$ 1 時刻表時間 (分)	-0.00218 (-2.21)	0.00008 (0.15)	-0.00114 (-1.87)	-0.00745 (-1.02)	-0.06685 (-1.85)	-0.04771 (-1.51)	-0.00944 (-1.03)	-0.00592 (-0.51)	-0.00517 (-0.42)	-0.00098 (-1.22)	-0.00144 (-1.72)	-0.00212 (-1.87)
$\kappa$ 2 バス利用頻度 (回/年)	0.0322 (4.05)	0.0039 (4.28)	0.0179 (4.19)	0.0806 (4.07)	0.5509 (3.66)	0.4429 (3.68)	0.0850 (3.54)	0.1322 (4.24)	0.1380 (4.26)	0.0133 (3.46)	0.0200 (3.74)	0.0290 (4.08)
$\kappa$ 3 津田沼 dummy	0.2056 (1.62)	0.0205 (1.37)	0.1019 (1.56)	1.0641 (1.74)	5.9566 (1.67)	4.8858 (1.68)	1.1849 (1.56)	1.4180 (1.65)	1.4780 (1.64)	0.0949 (1.67)	0.1449 (1.72)	0.2297 (1.68)
$\kappa$ 4 所沢 dummy	0.5334 (4.05)	0.0416 (2.45)	0.3124 (4.21)	2.8872 (3.11)	21.2188 (3.22)	14.3455 (3.18)	3.5383 (2.91)	4.0536 (3.03)	4.1862 (3.02)	0.2344 (3.81)	0.3313 (3.83)	0.4893 (3.92)
$\kappa$ 5 南大沢 dummy	1.3162 (0.02)	0.0442 (0.69)	0.3780 (0.76)	5.7473 (0.26)	20.4792 (1.88)	26.8050 (0.58)	4.3378 (0.37)	8.6555 (0.29)	8.8060 (0.30)	0.2902 (0.59)	0.5501 (0.58)	1.1238 (0.50)
$\theta$ 1 平均所要時間 (分)	-0.1218 (-4.37)	-0.1271 (-1.85)	-0.1175 (-4.30)	-0.0904 (-4.13)	-0.0887 (-4.19)	-0.0880 (-3.99)	-0.0757 (-3.83)	-0.0944 (-4.15)	-0.0948 (-4.15)	-0.1151 (-3.58)	-0.1145 (-4.00)	-0.1083 (-4.11)
$\theta$ 2 費用 (円)	-0.0041 (-2.40)	-0.0068 (-1.61)	-0.0045 (-2.48)	-0.0036 (-2.28)	-0.0032 (-2.11)	-0.0034 (-2.24)	-0.0036 (-2.38)	-0.0042 (-2.46)	-0.0043 (-2.48)	-0.0044 (-2.19)	-0.0043 (-2.48)	-0.0041 (-2.55)
$\theta$ 3 乗り換え回数 (回)	-1.65 (-3.43)	-1.66 (-3.32)	-1.66 (-3.50)	-1.70 (-3.60)	-1.62 (-3.63)	-1.58 (-3.59)	-1.59 (-3.58)	-1.85 (-3.62)	-1.86 (-3.60)	-1.60 (-3.15)	-1.55 (-3.27)	-1.43 (-3.30)
$\theta$ 4 運行本数 (1/本*100)	-0.22 (-1.82)	-0.41 (-2.01)	-0.22 (-1.81)	-0.16 (-1.51)	-0.12 (-1.27)	-0.14 (-1.34)	-0.14 (-1.49)	-0.19 (-1.75)	-0.20 (-1.79)	-0.22 (-1.75)	-0.23 (-1.79)	-0.20 (-1.69)
$\theta$ 5 定数項(鉄道)	-0.582 (-0.52)	-1.343 (-0.98)	-0.734 (-0.66)	-0.200 (-0.20)	-0.268 (-0.28)	-0.364 (-0.37)	-0.503 (-0.46)	-0.049 (-0.05)	-0.023 (-0.02)	-0.801 (-0.67)	-0.810 (-0.72)	-0.844 (-0.79)
調整尤度比	0.536	0.550	0.529	0.453	0.443	0.447	0.449	0.480	0.482	0.528	0.521	0.498
サンプル数	126	126	126	126	126	126	126	126	126	126	126	126
時間価値	29.6	18.7	26.3	25.3	27.7	25.6	20.9	22.4	22.1	26.2	26.5	26.2

VTに標準偏差を組み込んだモデルの旅行時間の信頼性を表-3に示す。モデルは時刻表所要時間と過去1年間のリムジンバス利用頻度によってパラメータが変動するが、所要時間が長いほど信頼性が高く、リピート利用が多いほど信頼性が低下する結果となっている。リムジンバスの利用経験によって、利用者が当初過大に認知していた旅行時間変動が実績に近似していくこととなり、結果として旅行時間変動のパラメータが小さくなる結果となっており、経験上も妥当な結果となっている。

表-3 信頼性比(標準偏差モデル)の推計結果

所要時間\バス利用頻度	0	1	2	3	4	5
30	0.54	0.27	0.01			
60	1.07	0.81	0.54	0.28	0.02	
90	1.61	1.34	1.08	0.82	0.55	0.29
120	2.15	1.88	1.62	1.35	1.09	0.82

表-4 池袋線の標準偏差1分改善時の便益と選択確率の変化

バス利用回数	便益 (円/人)	バス選択確率		信頼性指標値	
		without	with	without	with
標準偏差	18.2	65%	67%	5.56	4.56
PTI	5.9	58%	58%	1.49	1.39
BTI	18.4	63%	65%	0.15	0.12
$\lambda$ var	14.6	60%	62%	0.23	0.20
$\lambda$ skew	---	---	---	---	---
PT	---	---	---	---	---
BT	14.0	65%	67%	8.97	7.36
WRTA-I	1.6	55%	55%	1.18	1.14
WRTB-I	1.1	55%	55%	1.16	1.13
TTV	14.5	61%	64%	14.00	12.00
TT80-TT20	21.6	61%	64%	10.00	8.00
TT70-TT30	34.3	61%	66%	6.00	4.00

(5) 顕示選好と各種時間信頼性指標との整合性

尤度比のみであればPT指標が最も高いが、パラメータ1の標準誤差が大きい。VTに標準偏差を組み込んだモデルに比べて尤度比の若干の低下はあるが、BT, TT80-TT20, TT70-TT30,  $\lambda$ varなどはパラメータの有意性、尤度比からみて本データでの適合性は相対的に高い。結果的には従来の一般的な標準偏差や分散で旅行時間信頼性を評価することが良い結果となった。

(6) 時間信頼性改善時の各指標の評価値の比較

池袋線のサンシャインシティ7:25発、羽田空港8:25着の便の所要時間の平均値と標準偏差を参考に、正規分布を仮定して、標準偏差が1分縮小した場合の一人当たり便益をログサム変数で算定した結果を表-4に示す。

真値が不明なため、どの指標が適しているかの判断はできないが、指標によって大きな変動があることがわかる。なお、 $\lambda$ skewは正規分布を仮定したため指標値の変化がないこと、PTは正のパラメータ符号で推定されて

いるため、計算していない。

4. おわりに

リムジンバスの所要時間変動の実績値およびRPデータを用いて平均分散モデルを構築して、旅行時間信頼性の評価をおこなった。その結果、所要時間とリムジンバスの利用頻度によって信頼性比が概ね1.0前後で変動す

る結果が得られた。リムジンバスの乗車時間が長ければ旅行時間信頼性の影響が強くなり、リピート回数が多ければ、所要時間変動の認知が高まり、交通機関選択への相対的影響が低下することを示した。

また、これまで複数提案されてきた時間信頼性指標と利用者選好との関係を尤度比から検討した結果、本研究においては旅行時間信頼性を標準偏差で評価することが妥当な結果と考えられる。指標によって便益計測値の変動が大きいことから、どのような時間信頼性指標を用いることがより適当なのかの議論は必要であろう。

謝辞：本研究は科学研究費基盤研究B（課題番号25289160、代表：福田大輔東京工業大学准教授）および日本交通政策研究会（代表：福田大輔）の研究助成を得て実施している。ここに感謝の意を表する。

#### 参考文献

- 1) 綾城本祐，久保田勤，小島建太，齋藤潤：羽田空港アクセス交通需要予測モデルの構築と改善施策の検討に関する調査研究，運輸政策研究，Vol.9, No.3, pp.2-13, 2006.
- 2) Tam, M.L., Lam, W.H.K. and Lo, H.P. : The Impact of Travel Time Reliability and Perceived Service Quality on Airport Ground Access Mode Choice, Journal of Choice Modeling, 4, 2, pp.49-69, 2011.
- 3) Koster Paul, Eric Kroes, Erik Verhoef : Travel Time variability and airport accessibility, Transportation Research Part B45, pp.1545-1559, 2011.
- 4) 中山晶一郎：道路の時間信頼性に関する研究レビュー，土木学会論文集 D3（土木計画学），Vol.67, No.1, pp.95-114, 2011
- 5) 若林拓史，松本幸正，鈴木温，鈴木忠英：都市間高速道路の旅行時間の変動と管理者・利用者からみた旅行時間信頼性指標との関係，土木計画学研究・講演集，Vol.39, No.310, 2009.
- 6) 若林拓史：各種旅行時間信頼性指標の比較と課題，土木計画学研究・講演集，No.39, CD-ROM(No.118), 2008.
- 7) 梶原一夫，中本浩志，石田貴志，野中康弘：所要時間信頼性に関する指標の提案と適用事例，土木計画学研究・講演集，Vol.39, No.321, 2009.
- 8) 宗像恵子，割田博，岡田知朗：首都高速道路における所要時間の信頼性指標を用いた事業評価事例，土木計画学研究・講演集，Vol.37, No.123, 2008.
- 9) 割田博，坪井隆宏，船岡直樹，宗像恵子：都市高速道路を対象とした旅行時間信頼性による新たな評価手法の研究，土木計画学研究・講演集，Vol.39, No.331, 2009.
- 10) 高橋茜，福田大輔：選好意識調査と統合モデルに基づく旅行時間変動価値の推計の試み，土木計画学研究・講演集，Vol.41, 2010.

## EVALUATION OF TRAVEL TIME RELIABILITY ON HANEDA AIRPORT ACCESS BUS SERVICES

Takayuki OGIHARA, Seiji IWAKURA, Yasuhiro NONAKA and Masahiro KOYAMA