

幹線交通機関の 旅行時間信頼性価値の推計

竹村 九二寿¹・岩倉 成志²・久保田 征志³

¹学生会員 芝浦工業大学 大学院理工学研究科 (〒135-8548 東京都江東区豊洲 3-7-5)
E-mail: ah20059@shibaura-it.ac.jp

²正会員 芝浦工業大学教授 工学部土木工学科 (〒135-8548 東京都江東区豊洲 3-7-5)
E-mail: iwakura@shibaura-it.ac.jp

³非会員 日本能率協会総合研究所 主任研究員 〒105-0011 東京都港区芝公園 3-1-22)
E-mail: Masashi_kubota@jmar.co.jp

都市交通の旅行時間信頼性の経済評価は、国内でも多くの研究がおこなわれてきた。しかし、幹線交通の旅行時間信頼性の経済評価の研究成果はまだ存在しない。気候変動による災害やそれに付随する通行・運行規制が増加し、旅行時間信頼性評価の重要性は向上している。本稿では、東北、北陸地方の高速道路、新幹線、航空を対象に day-to-day の遅延データをもとに幹線交通の旅行時間変動を明らかにしたのち、携帯位置情報データによる冬期を含む日別の幹線交通需要データを組み合わせ、非集計ロジットモデルをもちいて幹線交通の旅行時間信頼性評価値を算出する。

現時点で 2018 年から 2019 年の各幹線交通機関の所要時間変動をエリア別に分析した結果、夏季休暇や冬季の時間信頼性指標値の悪化を確認している。

Key Words: *travel time reliability, delay, intercity transportation, value of travel time variability, modal choice model*

1. はじめに

近年の日本では、温暖化による豪雨や豪雪などの気候変動により移動時間の信頼性が損なわれる機会が増加している。その影響を受け、通行規制や欠航、運休も増加傾向にある。しかし新幹線の定時性は高く、東海道新幹線では、荒天の遅延も含め 1.1[分/1 列車]^{注1)}である。幹線交通の時間信頼性価値を明らかにすることで、冬期の高速道路の交通確保策や新幹線の降雪対策の便益評価が可能になる。

社会経済便益としての時間信頼性価値は Fosgerau(2008)が計測手法を確立して以来、Fosgerau and Fukuda et al.¹⁾や中山²⁾など多くの研究成果があり、高速道路やバイパスにおける時間信頼性向上便益として事業評価で試算され、信頼性比を 1.0 と仮定しているが、その効果は総便益に対して約 3-22%を占めており^{注2)}、大きな便益の一つであるといえる。多くの既存研究は都市交通を対象に時間信頼性価値を評価している。幹線交通で旅行時間信頼性評価を行うことで、都市間交通の時間信頼性改善の便益を計測することができる。幹線交通機関の旅行時間

変動を対象とした既往研究は、高速道路の梅田・桑原ほか³⁾(2021)や航空の坂下・森地ほか⁴⁾(2009)、平田・古田土ほか⁵⁾(2018)の研究成果が存在するが、研究例は少ない。なお幹線鉄道の遅延に対する既往研究はない。

本研究の目的は、平均-分散モデルを用いた幹線交通機関選択モデルの構築を通じて、旅行時間信頼性の経済価値の算出を行うことである。そのため 2. は、旅行時間信頼性に関する既往研究論のレビューから旅行時間信頼性の整理を行い、本研究の新規性をまとめる。3. は、分析対象データを示し、基礎集計の結果と道路の時間信頼性指標を新幹線と航空に用いた際の考察を行う。4. は、3. の結果から交通機関選択モデルの構築を行う。その際、旅行時間の LOS データと旅行者の需要データを組み合わせてモデリングをすることで、データの違いによる影響性を把握し、旅行時間信頼性評価値を明らかにする。最後に 5. は、総括を行い、結論を述べる。

2. 既往研究に対する本研究の位置づけ

本研究と関連のある旅行時間信頼性に関する研究、旅

行時間変動に関する研究についてレビューを行い、本研究の位置づけを明らかにする。

2-1 旅行時間信頼性、旅行時間変動に関する研究

旅行時間信頼性の経済評価として Fosgerau and Fukuda et al.¹⁾は、デンマークの都市交通サービス(鉄道/バス)を対象に、旅行時間信頼性の算出を行った。平均-分散アプローチとスケジューリングアプローチを統合した新しいアプローチ手法を用いてモデル解析を行った。その結果旅行時間信頼性は、個人のスケジューリング選好、早遅着にかかわる時間価値、時間そのものの価値、標準偏差でまとめられた移動時間分布で定義できるとした。また福田²⁾は、旅行時間変動の経済的価値づけに関して行動モデル関連の研究を対象としたレビューとプロジェクト評価に適用するための課題整理を行った。アプローチ手法ごとの特徴と適用する際の問題点を整理し、旅行時間変動価値の推計の事例にの整理も行った。中山³⁾は、交通量や旅行時間の変動特性について整理し、これまでの時間信頼性指標の特徴をまとめた。また時間信頼性を考慮した交通行動モデルを分類し、人々の旅行時間信頼性の価値を考察した。その結果、費用便益分析では、旅行時間のパーセンタイル値指標が妥当であることを示し、信頼性比は約 1.2 が妥当であるとした。

旅行時間の変動分析として高速道路では、梅田・桑原ほか⁴⁾が冬季道路交通にて異常事象が発生した際に交通流に及ぼす影響の軽減を目的として、プローブデータと気象データを融合した危険性を評価する手法の提案を行った。立ち往生が発生した 56 データに適用した結果、多くの事象で異常が発生する前から危険性が高かったとわかった。航空では、坂下・森地ほか⁵⁾が航空遅延の現状把握を目的として、羽田空港の発着データと周辺気象データをもとに分析を行った。結果として、運行ダイヤや搭乗口の設備環境、天候が航空遅延に影響を及ぼしている要因を明らかにした。

新たなデータを用いた研究として、福田・水口ほか⁶⁾は、旅行時間信頼性の評価対象がデータ取得が容易な単一道路区間に限られることに対して、長期観測可能なプローブデータを利用した一般的な時間空間領域での評価へのための信頼性指標を算出する方法の提案を行った。これより、交通規制の有無が信頼性に及ぼす影響性や地域差、経年的な差異を分析し、提案手法の一定程度の妥当性と有用性の確認をしている。鈴木・山口ほか⁷⁾は、携帯電話基地局情報等のビッグデータが都市間の旅客流動を年間を通じて把握できるデータソースとして有用であるが、旅行目的などの把握が難しい現状から、相互補完関係であるアンケートデータと融合した目的別の都市間旅客流動量を推計する手法の提案を行った。その結果、年間の旅行目的構成比は、別途統計調査の結果と概ね整

合するとまとめられている。

道路の時間信頼性指標分析として、若林⁸⁾は、道路の旅行時間信頼性指標の比較と問題提起を行い、アメリカなどで用いられてきた「BT」「PT」、Tuら¹⁰⁾が提案した「TIV」に加え、利用者サイドで考えられた「平均旅行時間の前後 10分」を示す「P(ave±10)」とパーセンタイル値指標の「TT80-TT20」、「TT70-TT30」の提案を行い、東名名古屋 JC-名神吹田 IC 間の交通流動を対象に分析を行った。結果として「PT」「BT」は実態にそぐわない指標値の問題点を示している。これに対して「TIV」「P(ave±10)」と「TT80-TT20」「TT70-TT30」は時間信頼性指標としての性能評価として妥当であることを示した。荻原・岩倉ほか¹¹⁾は、往路リムジンバスの利用割合の向上のため、羽田空港リムジンバスを対象に、旅行時間信頼性が利用者の交通機関選択に与える影響性について、旅行時間信頼性指標と利用者の選択結果との整合性の確認を行った。結果、標準偏差、BT、TT80-TT20、TT70-TT30 の指標が利用者評価との整合性が高いとした。

2-2 本研究の位置づけ

既往研究を踏まえ、異なる 3 つの幹線交通機関(モード)の旅行時間変動・時間信頼性指標値を交通機関別、季節別に算出する。そして旅客純流動データと携帯位置情報データを用いた平均-分散アプローチによる交通機関選択モデルの構築を行い、旅行時間信頼性の経済価値の算出を行う。モデルごとのパラメータの違いから携帯位置情報データのモデルへの適合性を確認する。その際、時間信頼性指標値を明らかにするため、複数の時間信頼性指標を用いて、いくつかのパターンを記載する。

3. 分析データと基礎集計の結果

本研究では東北、北陸地方のデータを季節別、交通機関別に分析した。基礎集計に用いたデータを以下に記載する。加えて、モデル分析に利用した幹線旅客純流動と携帯位置情報データの LOS データの作成方法、詳細情報も併せて記載する。

a) 旅行時間変動データ

1) 新幹線：新幹線遅延データ

運行日時、区間、遅延時間など 5 分毎に記録
遅延時間=(ダイヤ上の走行時間を定時：1 分ごと)
※同一駅間データを含む=最終計測時を採用
(2019/02/10-2020/01/10 290 日間 JR 東日本運行情報)

2) 飛行機：運航記録原簿データ

運航者、出発到着 spot、発着時遅延時間などを記録
発着時遅延時間=(駐機場発着時間を定時：1 便 1 回)
※欠測や欠航を含む=除外して後程考察
(2018/01/01-2018/12/31 365 日間 航空局提供)

3) 高速道路：車両感知器データ(タイムスライス法)

IC間所要時間, 平均旅行時間, 距離など 5 分毎に記録
IC間所要時間=出発ICを固定, 各IC間の所要時間
※正時(1時間おきに抜粋(6時~24時))データを利用
(2018/01/01-2018/12/31 365 日間 (株)道路計画提供)

b) モデル解析に用いたデータ

1) 第 6 回旅客純流動

2015 年の平休日各 1 日を対象とした「第 6 回全国幹線旅客純流動調査」データを用いる。本研究では, 幹線交通を航空・鉄道・車と設定し, 基礎集計との比較が可能なゾーン間の抽出を行った。時間信頼性指標が算出できた総サンプル数は 4143(高速: 487, 鉄道: 1450, 航空: 2206)であり, 発着地 207 ゾーンデータ, 費用, 所要時間, 乗換回数をもとに LOS の作成を行った。

2) 携帯位置情報データ GPS

2018 年の秋季 7 日間, 冬季 7 日間の計 14 日間分の対象エリア内の携帯位置情報データを購入手, 滞在・交通手段判定を行い, LOS データを作成した。滞在・交通手段判定の手順は以下のとおりである。

① point データを個人別に時系列順に並べ, 移動経路を整理する

② 対象地域 (関東, 東北・北陸間) の行動を抽出^{注3)}

2-1) 滞在判定

① 各 point データの緯度経度の観測時間から, 207 ゾーン(対象地域のみ)ごとの滞在時間の算出を行う

② ゾーンごとにゾーンの輪郭があてはまる長方形を設定し, その長辺側の距離を 34kmh^{注4)} で移動した際の所要時間を算出する

③ 実際の移動では小休憩などを含むため, 所要時間に 60 分を上乗せした時間を滞在時間の閾値とし, 閾値以上滞在した人を滞在と判定する

2-1) 手段判定

① 各 point データと空港敷地, 港湾敷地, 鉄道路線でマップマッチングを行い, 交通手段判定を行う。

② 航空, フェリー, 鉄道の判定を行った以外を道路の利用と設定

以上の操作に加えデータのクリーニングを行った。本稿においては分析が完了している秋季についてまとめる, 総サンプル数 1772(高速: 399, 鉄道: 1124, 航空: 249)のデータを取得した。

(201801/10-1/12, 1/17-1/18, 1/25-1/26, 10/15-10/21 14 日間
日本能率協会総合研究所作成)

以上のデータをもとに基礎分析とモデル作成を行う。

3-1 旅行時間変動データの基礎分析結果

旅行時間分布に季節性, 差異があるかを確認するため, a)のデータを用いて交通機関別, 季節別に基礎分析を関東から東北・北陸を対象に行った。本稿では東京から青

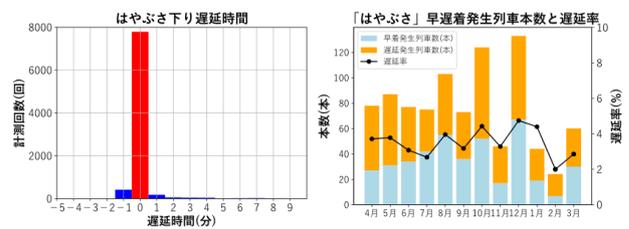


図-1 はやぶさの遅延時間分布と遅延列車の月別分布

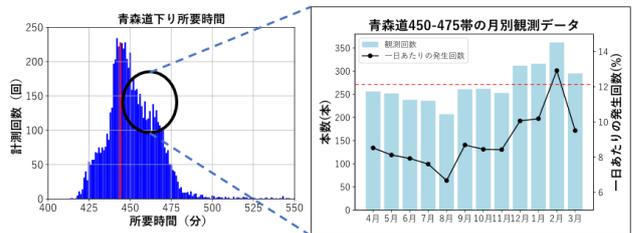


図-2 青森道の所要時間分布と 450-475 分帯月別分布

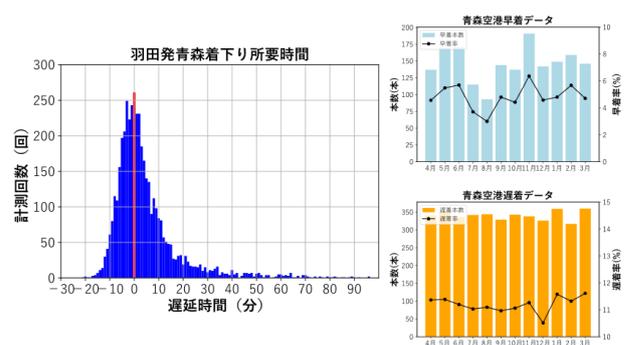


図-3 青森空港早着月別分布 (右上: 6, 右下: 7)

森方面に行動したデータを図-1から図-3に示す。

図-1(左)は, 新幹線の運行データを横軸に遅延時間(分), 縦軸に計測回数を示した図である。定時=0分前後に集中しており, 新幹線の定時性の高さが見て取れる。また図-1(右)は, 図-1(左)から定時=0分であるものを除き, 月別にまとめたものである。冬季に悪化しているように見えるが, 折れ線グラフで示した通り差異は見られない。

図-2(左)は, 青森道の車両データを横軸に所要時間, 縦軸に計測回数を与えたものである。平均所要時間を軸に正規分布のような形状を示すが, 450-475分帯のにかけて左右に異なる分布形が見える。該当部分を抜粋し, 月別にまとめたものが図-2(右)である。冬季に赤破線で示した月別平均本数を上回り, 折れ線グラフでも大きな値を示しており, 高速道路は冬季の影響を受けやすい。図-3(左)は羽田発青森着の航空機データを図-2(左)のように並べたものである。定時を軸にすると分布の広がりが確認でき, 10分の早着や20分近い遅着も散見できる。この図から, 早着と遅着を分け抜粋したものが図-3(右上, 右下)であり, 季節別にみると図-3(右上)では6,11,12月が高い値を示す。これは冬季ダイヤの切り替えが10月末に行われることや連休がないことで安定した運航ができると考える。また図-3(右下)は冬季の折れ線グラフが他の時期に比べ高く, 影響を受けていると判断できる。

表-1 時間信頼性指標を用いたモデルの推定結果(試算値であり、今後検討を深める)

	旅客純流動				携帯位置情報			
	BT	TTV	TT80-20	TT70-30	BT	TTV	TT80-20	TT70-30
θ1 所要時間 (時間)	-2.92 (-25.535)	-0.55 (-6.066)	-0.324 (-4.188)	-1.31 (-18.732)	-0.619 (-6.779)	-0.338 (-5.254)	-0.318 (-5.520)	-0.299 (-5.748)
θ2 費用 (万円)	-1.529 (-9.895)	-0.38 (-2.799)	-0.737 (-5.500)	-0.879 (-6.394)	0.834 (4.205)	0.98 (4.898)	0.925 (4.682)	0.874 (4.419)
θ3 信頼性指標 (公共交通機関)	-0.031 (-1.453)	-0.506 (-18.645)	-0.799 (-19.60)	-0.474 (-12.550)	0.076 (2.074)	-0.113 (-3.673)	-0.091 (-2.338)	-0.17 (-2.888)
θ4 信頼性指標 (高速道路)	1.272 (18.914)	0.132 (4.072)	0.07 (1.707)	0.531 (12.062)	0.243 (5.252)	0.086 (3.571)	0.104 (3.461)	0.125 (3.380)
定数項(鉄道)	17.223 (13.365)	3.81 (3.503)	1.902 (3.503)	4.197 (10.862)	3.694 (5.766)	2.45 (4.332)	1.97 (4.336)	1.486 (4.434)
定数項(航空)	17.757 (19.810)	17.655 (15.286)	14.92 (20.752)	8.562 (15.286)	-1.687 (-1.369)	2.307 (2.537)	0.182 (0.256)	-0.132 (-0.208)
調整尤度比	0.288	0.302	0.298	0.2725	0.216	0.203	0.21	0.209
サンプル数	4143	4143	4143	4143	1772	1772	1772	1772

3-2 道路の時間信頼性指標を用いた分析

基礎分析の結果から、新幹線の定時性の高さ、冬季に影響を受ける可能性が明らかになった。ここでは、道路で用いられているパーセンタイル値とそれをもとにした時間信頼性指標を他の2つのモードに導入し、季節別の影響度を明らかにする。

図-4(左)は、東京(羽田/成田)から小松空港までの2月、図-4(右)は、東京から北陸に向かう新幹線の3月を示すパーセンタイル値である。航空の値は高速道路のパーセンタイル値のような曲線を描くのに対して、新幹線の値は0分を基準に直線を示す。このことから新幹線の定時性の高さがわかる。

以上より今回は、「PT」「BT」「TTV」「TT80-TT20」「TT70-TT30」を分析する。また「BT」は平均所要時間を高速道路では平均所要時間、新幹線、航空はダイヤの定時=0分と定義し、分析に用いる。図-5は時間信頼性指標を用いて横軸は月、縦軸が指標値(単位は分)である。図-5(左)はBT指標であり、新幹線が高速と航空に比べ特に低い値を示している。また高速道路は、航空に比べ概ね信頼性値が高い。しかし8月には値が逆転している。道路特有のお盆の帰省渋滞によるものであると考える。また、図-5(右)は、TTV指標であり、図-5(左)と比べ航空の値はほぼ変わらないが、高速道路は2倍程度の値を示す。つまり道路の「TTV」の遅延幅は、年間を通して一定であり、季節ごとの影響を受けにくい、航空は冬季に悪化するため影響があると考えられる。

4. 秋季の交通機関選択モデルの構築

離散選択モデルのMNLモデルを参考に、時間信頼性を組み込む手法の1つである平均分散アプローチを用いて、交通機関選択モデルの構築を行う。本稿では、旅客純流動を用いたモデルとの比較を行うため秋季データを用い、旅行時間変動の大きい冬季データを用いたモデルは発表時に示す。ゾーン*i*から*j*間の交通機関*k*を用いる効用関数は右のとおりである。

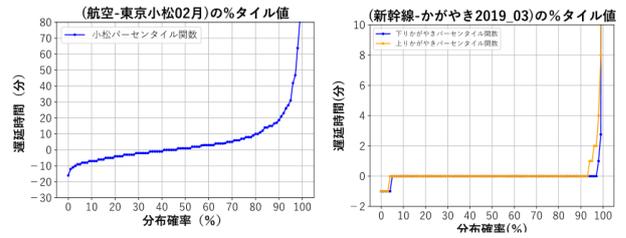


図-4 新幹線と航空のパーセンタイル指標

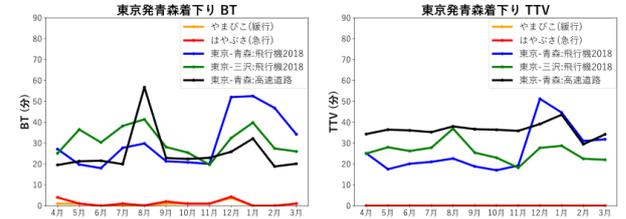


図-5 東京発青森着の月別時間信頼性分布

$$P_{ijk} = \frac{\exp(V_{ijk})}{\sum \exp(V_{ijk})}$$

$$V_{ij(rail)} = \theta_1 * C_{rail} + \theta_2 * T_{rail} + \theta_3 * TTR_{rail} + ASC_1$$

$$V_{ij(car)} = \theta_1 * C_{car} + \theta_2 * T_{car} + \theta_4 * TTR_{car}$$

$$V_{ij(air)} = \theta_1 * C_{air} + \theta_2 * T_{air} + \theta_3 * TTR_{air} + ASC_2$$

C: 費用(国土交通省全国純流動調査集計データ^{注5})
T: 所要時間(国土交通省全国純流動調査集計データ^{注5})
TTR: 旅行時間信頼性指標 (BT, TTV, TT80-20, TT70-30)
ASC: 定数項 $\theta_1 - \theta_4$: パラメータ

4-1 パラメータの推定結果

c) 幹線旅客純流動を用いたモデル

d) 携帯位置情報データを用いたモデル(秋季)

モデルの推定結果は表-1であり、それぞれ推定したモデルの尤度比はc)で、0.27から0.30、d)で0.20から0.21であり、妥当な^{注6}モデルであると判断できる。

推定結果は、t値が5%の有意水準を満たすものが多く、これは標準偏差の値が小さいことに起因すると考える。

c)は、BTモデルを除いたものが比較的よい推定結果になっている。θ1からθ3の指標は負であり、t値も有意であることから、時間信頼性指標が小さければ小さい、

定時性が高いほど利用されることが推計できた。c)の BT モデルは、定数項に依存している結果になった。若林⁹⁾が BT 値に対して、実態に合わないような指標の問題点を示した結果と同様であるといえる。d)は、費用、時間信頼性指標(高速道路)のパラメータが正になることが判明した。これにより旅行時間変動が少ない秋季の携帯位置情報データを用いたモデルでは時間信頼性指標を捉えることができない。冬季データのモデルの構築により時間信頼性の影響を明らかにしたい。

5. おわりに

本論文では、交通機関の時間帯別データを用いた交通機関別、季節別の時間信頼性指標の実態把握を行うとともにこれを活用した平均-分散アプローチによる交通機関選択モデルの構築を行った。

基礎分析から、交通機関ごとの季節別の遅延の影響の受け方の差を明らかにした。モード間のパーセントイル値分布比較から、高速道路と航空の類似性や新幹線の定時性の高さが明らかになった。また幹線交通機関間で複数の時間信頼性指標を用いることで、新幹線の時間信頼性指標が他のモードに比べ低い値を示し、航空と高速道路は似た値を示した。季節別にみると、高速道路は夏季、航空は冬季に特に影響を受けている。

次に時間信頼性を用いた交通機関選択モデルの構築を行い、それぞれ幹線旅客純流動と携帯位置情報データを用いて構築したモデルには、精度に差が見られ、前者のほうが、比較的有意に推計できた。しかし、時間信頼性指標は正を示すため、改善の余地がある。また構築したモデルの精度を向上させることとともに、旅行時間変動の影響が想定される冬季期間の交通機関選択モデルの構築結果を学会発表時に紹介したい。

謝辞： 高速道路所要時間データを作成いただいた道路計画の野中康弘様、石田貴志様、田口愛実様、航空遅延データ提供にご尽力いただいた茨城大学の平田輝満教授、携帯位置情報データの取得・解析にご尽力いただいた日本能率協会総合研究所の西尾和也様に感謝申し上げます。

NOTES

注1) JR 東海, 統合報告書 2023

注2) 福田大輔：「道路の旅行時間信頼性の経済評価：研究到達点と実務化に向けた課題の整理」 pp. 46

注3) 旅客純流動では、東京-青森のような直接の移動、

携帯位置情報データでは東京-仙台-青森など間接的な移動も含む。各々のトリップでは信頼性指標の算出が困難であるためクリーニングを行った。

注4) 国道交通省【「使える」ハイウェイ推進会議】：「2.高速道路の利用状況」

注5) 国道交通省：総合的な交通体系を目指して：全国幹線旅客純流動調査集計データファイル、OD 別交通サービス水準

注6) 鉄道運輸機構：需要予測のパラメータ推定結果。資料中 15 ページ” 尤度比については、0.2 以上を目安に妥当と判断する。”と記載

REFERENCES

- 1) Fosgerau, M. and Fukuda, D. et al. : Travel time variability Definition and valuation, DTU Transport , 2008, 8.
- 2) 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
- 3) 梅田 祥吾，川崎 洋輔，桑原 雅夫，飯星 明：プローブ車両データを用いた冬季道路交通における異常事象の発生危険性評価：土木学会論文集 D3 (土木計画学), 2021.
- 4) 坂下文規，森地茂，日比野直彦：羽田空港における航空遅延に関する研究，土木計画学研究・講演集，2009
- 5) 平田輝満，古田土渉，又吉直樹：国内航空ネットワークにおける波及遅延の解析モデルと費用対効果分析への活用手法，土木学会論文集 D3 (土木計画学), 2018
- 6) 福田大輔：旅行時間変動の価値づけに関する研究展望とプロジェクト評価への適用に向けた課題の整理，土木計画学研究・論文集，Vol. 27, No.3, pp.437-448, 2010
- 7) 福田大輔，水口正教，瀬尾亨，日下部貴彦，朝倉康夫：広域・長期観測プローブ情報を用いたエリアレベルでの旅行時間信頼性評価，土木学会論文集 D3 (土木計画学), Vol.73, No.5 (土木計画学研究・論文集第 34 巻), I_1105-I_1118, 2017.
- 8) 鈴木新，山口裕通，福田大輔：データ融合による日別・旅行目的別都市間旅客流動量推計，学術研究論文，運輸政策研究，vol21, pp.48-59, 2019
- 9) 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.
- 10) Tu, H., van Lint, H. and van Zuylen, H. : The Influence of Road Geometry on Travel Time Variability., Proceedings of The 3rd International Symposium on Transport Network Reliability, Vol.1. Network Design II. 2007
- 11) 荻原貴之，岩倉成志，野中康弘，伊東祐一郎：羽田空港リムジンバスにおける旅行時間信頼性分析，土木学会論文集 D3(土木計画学)，2013

(Received ??, ?)

(Accepted ??, ?)

Estimating Value of Travel Time Variability using Day-to-Day Intercity Travel Reliability Data and Modal Choice Data

Kunitoshi TAKEMURA, Seiji IWAKURA and Masashi KUBOTA