

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年6月10日現在

機関番号：32657

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2010～2012

課題番号：22560536

研究課題名（和文） 都市鉄道の所要時間信頼性向上に起因する利用者便益の計測手法に関する研究

研究課題名（英文） Research on measurement method of user benefit improvement of travel time reliability

研究代表者

高田 和幸（TAKADA KAZUYUKI）

東京電機大学・理工学部・教授

研究者番号：30282867

研究成果の概要（和文）：予め運行スケジュールが確定している都市鉄道の所要時間信頼性に係る便益の推計手法は未だ確立されていない。そこで本研究では、東京首都圏の鉄道利用者に対してアンケート調査を実施し、便益の推計に必要な、所要時間不確実性下における鉄道利用者の出発時刻決定行動モデルと、輸送障害に起因する損失時間の縮減に対する支払意志額関数の推定を行った。

研究成果の概要（英文）：Measurement method of user benefit relevant to travel time reliability of railway service has not yet established. This research conducted a questionnaire survey to collect the data regarding behavior and consciousness of railway users in Tokyo Metropolitan area. In this study the following two necessitate models for measuring the user benefit were estimated by using the survey data. One is a model describing the departure time decision under travel time uncertainty. The other is a function measuring the willingness to pay for improving travel time reliability.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,900,000	570,000	2,470,000
2011年度	900,000	270,000	1,170,000
2012年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学，土木計画学・交通工学

キーワード：所要時間信頼性，都市鉄道，出発時刻決定行動，支払意志額

### 1. 研究開始当初の背景

研究代表者が行ったアンケート調査によると、首都圏の鉄道利用者は、「所要時間の短縮」「新線整備」よりも、「時刻表通りの運行」「運行停止時間の短縮」といった所要時間の信頼性の改善に対する要望が強いことが明らかとなった。これらの利用者ニーズを満たす整備の促進が求められるものの、現行

の「鉄道プロジェクトの評価手法マニュアル2005（国土交通省鉄道局）」においては、所要時間信頼性に関する便益を評価することにはなっていない。そこで事業評価の精度向上を図る上でも、所要時間の信頼性の改善に係わる便益の計測手法を確立することが必要と考えられる。

国内外で開発された交通所要時間信頼性

に関する便益計測手法は、大きく以下の2種に区分される。一つは、所要時間の変動(分散/標準偏差)を経路選択行動や交通手段選択行動の効用を構成する要因と捉えて考慮し評価する、「平均-分散アプローチ」と呼ばれる方法である。他方は、所要時間の不確実性を考慮して鉄道利用者が設定する余裕時間に焦点を当てて、出発時刻決定行動について分析を行う「スケジューリング・アプローチ」である。

しかしながら、これらのアプローチは共に、慢性的に生じている遅延による所要時間変動に対する乗客の行動や意識をモデル化して評価するものであり、稀に生じるような長時間の運行停止に係わる利用者の行動や意識については考慮されていないと考えられる。

一方、研究代表者は既往研究で輸送障害影響評価システムを構築し、また損失時間縮減に対する支払意志額関数の推定を行っている。この評価システムを構成する数理モデルの説明力の向上を図ることで、長時間の運行停止といった稀な現象の影響を考慮した所要時間信頼性の向上による便益を計測する手法が構築可能である。

研究開始当初の本研究の背景は、上記の通りである。

## 2. 研究の目的

予め運行スケジュールが確定している都市鉄道の所要時間信頼性に係る便益の推計手法は未だ確立されていない。そこで本研究では、確定したスケジュールに従ってサービスが提供される鉄道の所要時間信頼性に関する便益計測の手法を構築することを目的とする。

慢性的な所要時間変動については、所要時間変動を考慮した出発時刻決定行動モデルを推定することで推計が可能である。一方、長時間におよぶ運行停止などの稀現象の影響を考慮した所要時間変動については、研究代表者が構築した輸送障害影響評価システムや損失時間の縮減に対する支払意志額関数を適用することで推計が可能である。

具体的には、便益の推計に必要な、所要時間不確実性下における鉄道利用者の出発時刻決定行動に関する数理モデルと、輸送障害に起因する損失時間の縮減に対する支払意志額関数を推定する。

## 3. 研究の方法

### (1) アンケート調査

本研究では、株式会社マクロミルの調査モニターを活用して、鉄道の利用状況に関するアンケート調査を実施した。調査対象者は、首都圏の1都3県(東京・神奈川・千葉・埼玉)に居住する15歳以上の有職者(パート・

アルバイトを含む)とした。本研究の分析に用いたサンプル数は863件である。

調査概要を表-1に示す。

表-1 アンケート調査概要

調査方法	インターネット調査
対象者	<ul style="list-style-type: none"> <li>・1都3県(東京都・神奈川県・千葉県・埼玉県)に居住</li> <li>・鉄道利用者</li> <li>・15歳以上の有職者 (パート・アルバイトを含む)</li> </ul>
個人属性	性別、年齢、未婚、子供の有無、居住地、職業、年収
利用路線	<ul style="list-style-type: none"> <li>・鉄道利用回数</li> <li>・普段乗車している区間情報 乗車駅(鉄道事業者名・路線名・駅名)、降車駅(鉄道事業者名・路線名・駅名)、認知所要時間、</li> </ul>
鉄道遅延遭遇経験	<ul style="list-style-type: none"> <li>・1週間の遅延遭遇回数、</li> <li>・1週間の遅延損失時間</li> </ul>
支払意志額	鉄道遅延改良に対する支払意志額
鉄道サービスの満足度	鉄道のサービス(20項目)に対する満足度(7段階評価)

### (2) 出発時刻決定行動に関する分析

#### ① 余裕時間の算出

出発時刻を決定する際に設定している余裕時間を算出する。

#### ② 余裕時間の特性分析

余裕時間への影響要因を抽出するために、余裕時間の特性分析を行う。

#### ③ 出発時刻決定行動の定式化

出発時刻決定行動を数理最適化問題として定式化する。

#### ④ 出発時刻決定行動モデルの推定

抽出した要因を説明変数に考慮して出発時刻決定行動モデルのパラメータを推定する。推定には、マルコフ連鎖モンテカル法(MCMC)を用いた。

### (3) 所要時間信頼性向上に対する支払意志額の分析

#### ① 支払意志額に関する意識調査

輸送障害等で被っている時間損失が縮減することに対する支払意志額を調査する。

#### ② 支払意志額関数の定式化

生存時間分析の分析方法を援用して、支払意志額関数の定式化する。

#### ③ 支払意志額関数の推定

最尤法により支払意志額関数のパラメータを推定する。

## 4. 研究成果

### (1) 出発時刻決定行動モデルの推定

#### ① 使用データ

本研究では、図-1 に示す調査で得た、普段最もよく利用する移動経路、移動距離、乗換回数、認知所要時間、鉄道利用回数、1 週間の認知遅延回数、認知損失時間を分析に使用した。

なお、認知損失時間とは、遅延によって 1 週間に損失している時間を表している。鉄道利用者が出発時に見積もる余裕時間は、利用者が認識している遅延の遭遇経験や、遅延による損失時間等、様々な条件に依存していると考えられる。そこで本研究では、アンケートで収集した認知所要時間（乗車駅から降車駅までの移動（OD）に要すると認知している時間）と、時刻表に基づく旅行時間との差を「余裕時間」と定義した。時刻表に基づく旅行時間は、回答者の移動経路をインターネット乗換検索サイトで参照して調べた。なお、回答者の OD の旅行時間、乗換回数、移動距離に関するデータは、時刻表(JTB)を参照して作成した。余裕時間の算出フローを図-2 に示す。

### ②余裕時間の特性分析

余裕時間と移動特性との関係を分析した。図 3-は、移動距離と余裕時間（バッファertime）との関係、また図-4 は、乗換回数と余裕時間との関係を示した図である。移動距離が長くなるほど、また乗換回数が増加するほど、余裕時間が長くなる傾向にあることが示されている。

### ③出発時刻決定行動モデルの定式化

本研究では、Fosgerau(2007), Fosgerau et. al (2010)が開発した、「平均-分散アプローチ」と「スケジューリングモデル」を統合した技術（統合アプローチ）を援用する。モデルの概要を以下に記す。

利用者の不効用は、式(5.1)に記すように、「出発時刻が早まることによる不効用（第一項）」、「旅行時間による不効用（第二項）」、および「遅着による不効用（第三項）」により構成される。

$$U(D, T) = \alpha D + \omega T + \beta (T - D)^+ \quad (1)$$

T: 旅行時間

D: 出発時刻

$\alpha, \beta, \omega$ : 未知パラメータ

希望到着時刻を 0 と仮定し、認知している所要時間を D とする。すなわち、出発時刻は -D となる(図-5)。

本研究では、鉄道利用者は遅延時間を認知して出発時刻を決定していると想定し、旅行時間 T が、時刻表に基づく旅行時間  $\mu$  と認知遅延時間  $T_L$  とで構成されると仮定した(式(2))。

$$T = \mu + T_L \quad (2)$$

なお我が国の鉄道輸送の特性から早着は生じないと考えられるため、認知遅延時間  $T_L$  は指数分布に従うと仮定する。認知遅延時間  $T_L$  の確率密度関数を  $f(T_L)$ 、分布関数を  $F(T_L)$

Q1:あなたが普段最もよく利用している鉄道事業者名、路線名・駅名・乗降車区間を教えてください。なお、途中で乗り換える場合は乗り換え駅も教えてください。  
※プライベートや、ビジネスなど、使用の目的は問いません。

**【乗車駅について】**

鉄道事業者名  (必須入力) 例:JR  
 路線名  線(必須入力) 例:山手  
 駅名  駅(必須入力) 例:池袋

Q2:あなたは、Q1で回答した区間を移動する際、乗車駅から降車駅までのどのくらいの時間がかかると想定していますか。

時間  分くらいかかると考えている

図-1 アンケート調査（一部抜粋）

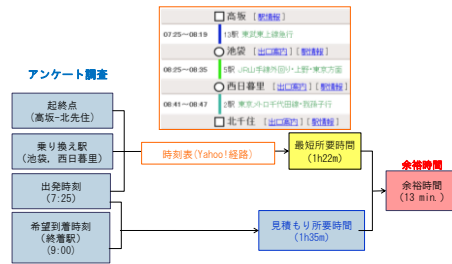


図-2 余裕時間の算出フロー

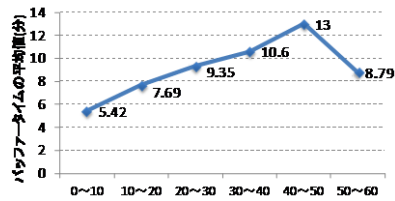


図-3 移動距離と余裕時間の関係

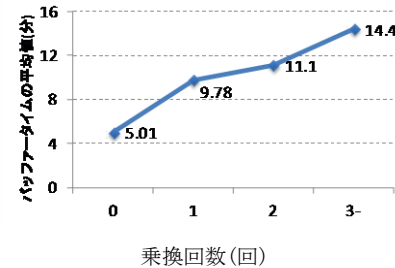


図-4 乗換回数と余裕時間の関係

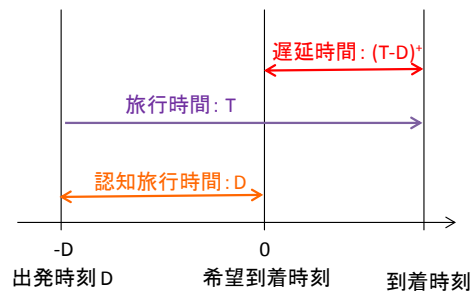


図-5 出発時刻決定行動の概念図

で表現した。また、指数分布のスケールパラメータを  $\lambda$  とする。

旅行時間  $T$  は確率的に変動するため、出発時刻の決定行動は、式(3)の期待不効用の最小化問題として定式化することができる。

$$E(U(D)) = \min [\alpha D + \omega \mu + \beta \int_{0-\mu}^{\infty} (\mu + T_L - D) \phi(x) dx] \quad (3)$$

これを解くことにより最適出発時刻 ( $D^*$ ) が導出される (式(4))。

$$D^* = \mu + F^{-1}\left(1 - \frac{\alpha}{\beta}\right) \quad (4)$$

ここで、 $\alpha/\beta$  は最適出発時刻を決定した際に遅着する確率を表しており、最適遅着確率 (optimal probability of being late) と呼ばれている。また式(4)より、最適出発時刻は、時刻表に基づく旅行時間 ( $\mu$ ) に、遅延時間分布の  $1 - \alpha/\beta$  タイル値を加えた時刻となることが分かる。

一方、遅延時間の確率分布は、鉄道利用者の移動特性によって変動すると考えられる。そこで、移動特性に関する変数 (共変量) を用いて遅延時間を説明するモデルを推定した。詳細を以下に示す。

遅延時間分布が指数分布に従っていると仮定し、移動特性を変数とした採用した式(5)の比例ハザード関数を作成する。

$$h(t) = h_0 \exp(\beta x_i) = h_0 \exp(\sum_{i=1}^n \theta_i x_i) \quad (5)$$

$x_i$ : 共変量,

$\theta_i$ : 共変量のパラメータ。

共変量を用いて表した認知遅延時間の確率密度関数は式(6)となる。

$$f(T_i) = \lambda \exp(\sum_{i=1}^n \theta_i x_i) \cdot \exp\{-\lambda T_i\} \exp(\sum_{i=1}^n \theta_i x_i) \quad (6)$$

そして最適出発時刻は(7)式と求められる。

$$D^* = \mu + \left( -\frac{\ln\left(\frac{\alpha}{\beta}\right)}{\lambda \cdot \exp(\sum_{i=1}^n \theta_i x_i)} \right) \quad (7)$$

Fosgerau(2007):The value of reliability and the distribution of random durations, Proceedings of the European Transport Conference (ETC).

Fosgerau, et. al(2010):The value of reliability, Transportation Research Part B, Vol. 44, No.1, pp. 38-49.

### ③モデルの推定結果

(7)式を、余裕時間を被説明変数とする回帰式に変換し、回帰パラメータの推定を行う。なお推定には、MCMC法を用いた。

本研究では、モデル1~3の3種のモデルを推定した。推定結果を表-2に示す。

モデル1は、鉄道利用者の遅延時間分布の多様性を考慮せずに指数分布のスケールパラメータ  $\lambda$  を推定したモデルである。モデル2とモデル3は、鉄道利用者の遅延時間分布の多様性を考慮して、個々人の  $\lambda$  の分布を特定したモデルである。

なお  $\lambda$  の事前分布については無情報であ

ることを反映させるため、モデル2では一様分布 ( $\lambda \sim U[0, 5]$ )、モデル3では比較的幅の広い正規分布  $\lambda \sim N[1, \Gamma(10, 10)]$  を適用した。

なお早発の不効用に係るパラメータ  $\alpha$  と、遅着の不効用に係るパラメータ  $\beta$  の事前分布については、無情報であり、かつマイナスの値となることが合理的でないことを考慮し、それぞれ一様分布  $\alpha \sim U[0, 5]$ 、 $\beta \sim U[0, 5]$  に従っていると仮定した。また共変量に係るパラメータ  $\theta_i$  の事前分布については、正規分布  $\theta_i \sim N[1, \Gamma(10, 10)]$  を仮定した。

認知遅延時間に対する多様性を考慮して推定したモデル2とモデル3の  $\lambda$  の分布を図-6、7に示す。図-6に示されている通り、事前分布に一様分布を仮定したものの、 $\lambda$  の推定値は、個々人の認知状況が反映されかなり不規則に分布していることが見て取れる。なお事前分布に正規分布を仮定した際には、事後分布も正規分布の形状で推定されていることが図-7に示されている。

表-2 推定結果

	事前分布	モデル1 パラメータ (t値)	モデル2 パラメータ (t値)	モデル3 パラメータ (t値)
早発パラメータ $\alpha$	U[0,5]	0.398 (1.322)	0.023 (1.278)	0.122 (1.768)
遅着パラメータ $\beta$	U[0,5]	0.773 (4.047)	0.458 (1.803)	0.933 (1.948)
スケールパラメータ $\lambda$	U[0,5] N[0.609, $\Gamma(10, 10)$ ]	0.609 (1.400)	図-6 参照	図-7 参照
移動距離 (km) $\theta_1$	N[0.609, $\Gamma(10, 10)$ ]	-0.165 (-4.125)	-0.111 (-3.000)	-0.138 (-4.312)
乗換回数 (回/trip) $\theta_2$	N[0.609, $\Gamma(10, 10)$ ]	-0.202 (-6.061)	-0.226 (-6.278)	-0.220 (-6.471)
鉄道利用回数 (回/週) $\theta_3$	N[0.609, $\Gamma(10, 10)$ ]	-0.039 (-2.438)	-0.025 (-1.389)	-0.017 (-1.308)
DIC		5919.7	4114.0	4439.9
サンプル数		863		

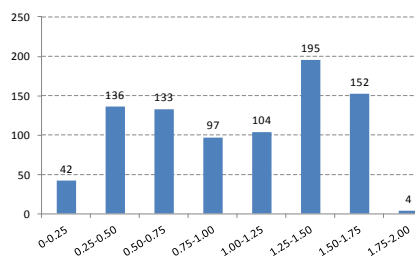


図-6 モデル2のパラメータ  $\lambda$  の分布

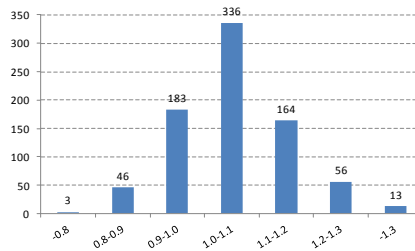


図-7 モデル3のパラメータ  $\lambda$  の分布

図-8は、モデル2の出発時刻の現況再現性を確認した図である。図に示されている通り、個々人の $\lambda$ を推定することで、高い再現性を有するモデルであることが見て取れる。

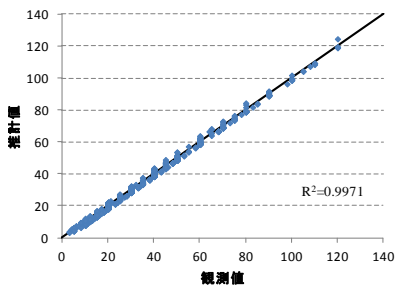


図-8 モデル2の出発時刻の現況再現

(2)所要時間信頼性向上に対する支払意志額の推定方法

① 使用データ

遅延などによって、回答者が被っていると考えている損失時間を予め回答して頂き、その損失時間がすべて解消された際の支払意志額について調査した(図-9)。

なお支払意志額については「ダブルバウンド式自由回答方式」を採用した。初めに提示する金額については、プレ調査の結果を考慮して3,000円に設定した。この額まで基金に寄付可能か否かを回答させ、さらに寄付可能な最高額を自由回答して頂いた。

**Q6:** 鉄道の遅延を改良するには、ホームドアの設置や踏切解消などの整備が必要です。仮に鉄道遅延が完全に解消されるならば、これらの基金に年間3000円を協力することができますか。

1. 協力できる(年間3000円)  
2. 協力できない(年間3000円)

**Q7:** Q6で回答されたことを踏まえてお答えください。それでは、遅延を解消する整備のために基金を年間いくらまで協力することができますか。

年間  円まで協力することができます。

図-9 支払意志額の質問画面

② 支払意志額関数の定式化

損失時間1時間当たりの支払意志額を生存時間と捉え、生存時間モデルを適用して支払意志額関数を推定した。関数式は以下の通りである。生存時間モデルは式(8)である。

$$h(t) = h_0(t) \exp(\beta x_i) = h_0(t) \exp\left(\sum_{i=1}^n \beta_i x_i\right) \quad (8)$$

- $h(t)$  : ハザード関数,
- $h_0(t)$  : 基準ハザード関数,
- $h(t) = \gamma \lambda t^{\gamma-1} \exp(\beta x_i)$
- $\lambda$  : 形状パラメータ,
- $\gamma$  : スケールパラメータ,
- $\beta$  : 共変量のパラメータ

式(8)の共変量には、利用回数、遅延回数、認知損失時間、認知縮減時間、遅延遭遇率、年収、年齢、性別を採用した。

利用回数は、1カ月間の鉄道利用回数、遅延回数は、1カ月間に遅延に遭遇したと認識している回数、遅延遭遇率は、遅延回数を利用回数で除した値である。また認知損失時間は、回答者が運行遅延等によって失っていると認知している時間とした。また認知縮減時間は、所要時間と認知損失時間の差である。つまり、今回の調査では、所要時間と認知損失時間の差である認知縮減時間がすべて解消されることに対する支払意志額を回答させていることになる。

③推定結果

すべての共変量を用いて推定を行い、その後、AICが小さくなるように共変量を変えてパラメータを推定した。

推定結果を表-3に示す。Model-1は、全共変量を用いて推定したモデルであり、Model-2は、説明力のある変数を採用して推定したモデルである。

図-10に推定された生存関数の分布を示す。3つの関数とも損失時間が2, 6, 12時間からそれぞれ0時間になった場合を例示している。現在被っている損失時間により生存関数の形状が異なることがわかる。また、支払意志額の期待値は生存関数を0から無限大まで積分することにより求めることができる。また図-11は、推定したモデルから算出した支払意志額の期待値の分布を示した図である。なお損失時間と縮減時間以外の共変量は、平均値を採用している。その結果、損失時間と縮減時間がともに大きい場合に支払意志額の期待値も大きくなることが検証された。

表-3 支払意志額関数の推定結果

共変量	単位	Model-1		Model-2	
		係数	t 値	係数	t 値
利用回数	回/月	-0.003	-0.50	-	-
遅延回数	回/月	-0.049	-3.50	-0.048	-4.80
認知損失時間	時間	0.011	0.20	-	-
認知縮減時間	時間	0.042	0.62	-	-
遅延遭遇率	-	0.432	2.46	0.446	2.82
年収	百万円	-0.049	-2.98	-0.055	-3.44
年齢	歳	-0.006	-1.50	-	-
性別	-	0.284	3.23	0.29	3.33
スケールパラメータ	-	0.000673	36.2	0.000551	70.8
形状パラメータ	-	1.081	2.8	1.079	2.7
AIC	-	13064		13058	

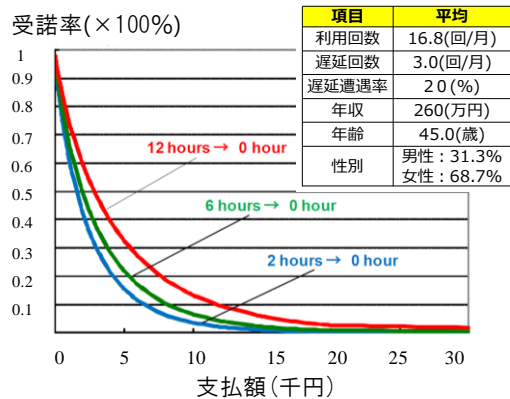


図-10 支払意志額関数の形状

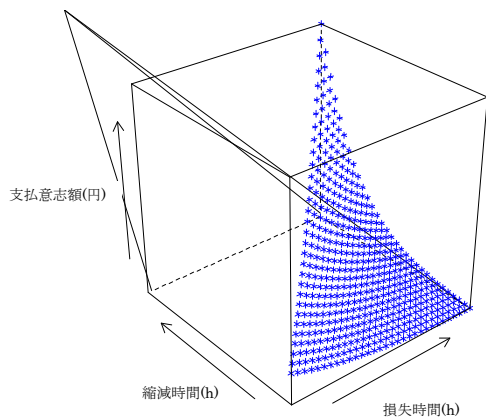


図-11 支払意志額の期待値の分布

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 9 件)

- ①高浪裕三, 杉山茂樹, 藤生慎, 高田和幸: 鉄道利用者の所要時間分布の特性分析, 土木計画学研究発表会・講演集, 査読無, Vol. 46, 2012, CD-ROM ID-P43.
- ②山本貴大, 杉山茂樹, 藤生慎, 高田和幸: 鉄道の所要時間信頼性の経済価値の推計手法に関する研究, 土木計画学研究発表会・講演集, 査読無, Vol. 46, 2012, CD-ROM ID-68.
- ③高田和幸, 鈴木孝典, 藤生慎: 鉄道の遅延時間を考慮した出発時刻決定行動に関するモデル分析, 土木学会論文集D 3 (土木計画学), 査読有, Vol. 68, 2012, pp. 1071-1078.
- ④Kazuyuki TAKADA, Makoto FUJIIU, Shigeki SUGIYAMA: Behavior Analysis of Departure Time Decision considering Redundancy of Railroad Network,

Proceedings of the Second International Conference on Road and Rail Infrastructure- CETRA, 査読無, 2012, pp. 81-87.

- ⑤Kazuyuki TAKADA, Makoto FUJIIU, Shigeki YOKOYAMA, Tomonori SUZUKI: Departure Time Decision of Railway Users under Travel Time Uncertainty, Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, 査読無, Vol. 8, 2011, CD-ROM ID-100227.
- ⑥藤生慎, 高田和幸: リダンダンシー性を考慮した所要時間信頼性向上に伴う鉄道利用者の支払意志額関数の推定, 土木計画学研究・講演集, 査読無, Vol. 44, 2011, CD-ROM ID-P64.
- ⑦Kazuyuki TAKADA: Study of willingness to pay for reducing lost time of railway users, Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, 査読有, Vol. 8, 2010, pp. 1464-1474. DOI: 10.11175/easts.8.1464
- ⑧横山茂樹, 高田和幸: 所要時間不確実性下における出発時刻決定行動に関する分析, 土木計画学研究発表会・講演集, 査読無, Vol. 41, 2010, CD-ROM.
- ⑨Kazuyuki TAKADA, Makoto FUJIIU, Shigeki YOKOYAMA: Perception of the travel time reliability of the urban railway service in Tokyo, Proceedings of the First International Conference on Road and Rail Infrastructure-CETRA, 査読無, 2010, pp. 873-879.

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

高田 和幸 (TAKADA KAZUYUKI)  
東京電機大学・理工学部・教授  
研究者番号: 30282867

### (2) 研究分担者

屋井 鉄雄 (YAI TETSUO)  
東京工業大学・総合理工学研究科・教授  
研究者番号: 10182289

岩倉 成志 (IWAKURA SEIJI)  
芝浦工業大学・工学部・教授  
研究者番号: 20223373