

鉄道利用者の損失時間縮減に対する支払意志額の推定*

Study of Willingness to Pay for Reducing Lost Time of Railway Users *

藤生慎**・高田和幸***

By Makoto FUJII**・Kazuyuki TAKADA***

1. はじめに

これまでの鉄道整備は混雑緩和・相互直通運転・速達性向上など輸送能力の改善つまりハード面の整備に主眼を置き整備が進められてきた。しかし、首都圏ではその目標は概ね達成されており、今後の鉄道整備は、さらなるハード面の整備に加えて、ソフト面の充実も考えられる。今後の鉄道整備において必要であると考えられるソフト面改善は、所要時間の信頼性向上であると考えられる。今後の鉄道整備において特に所要時間信頼性を考慮する必要性は、近年、首都圏では鉄道運転事故等による慢性的な遅延が生じていることや所要時間の見積もり方法に他の交通手段と異なる特徴があるためである。

まず、鉄道運転事故の発生件数が近年増加傾向にあることから所要時間に影響を与え、鉄道利用者の損失時間が増大している可能性が高い(図 1)。

次に、自動車交通では、道路環境(混雑状況、交通規制など)や過去の経験を踏まえてドライバー自身が所要時間を見積もるのに対し、軌道系交通では時刻表に従って所要時間が決定する。したがって、時刻表と実際の運行時刻の差が交通行動に影響を与えている可能性が考えられる。

今後、「所要時間信頼性」を考慮した鉄道整備を進めるためには、鉄道利用者が被っている損失時間を縮減した際の利用者便益を把握する必要がある。さらに、鉄道利用者の支払意志額は、同じ1時間の損失時間の縮減であっても、現在被っている損失時間や遅延に遭遇して被っている不利益など様々な条件によって異なっている可能性が考えられる。

以上のような背景を踏まえ、本研究では、所要時間信頼性を現在鉄道利用者が被っている損失時間の縮減と捉

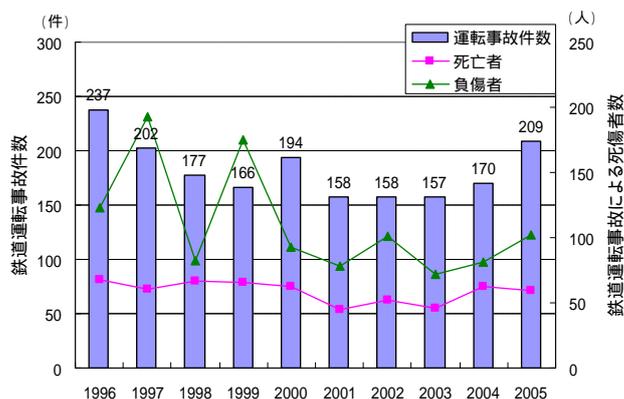


図 1 首都圏の鉄道事故発生件数

え、損失時間縮減に対する支払意志額の分析を行うことを目的とした。

2. 既往研究

日本では鉄道を対象とした研究は古くから数多く行なわれ、特に鉄道輸送サービスに関する研究の蓄積は数多くある。しかし、信頼性の観点から鉄道を対象とした既往研究は数が少ない。例えば Small ら¹⁾、Carey ら²⁾、Higgins ら³⁾、Reitveld ら⁴⁾などがあり、Small らは、予定した時刻に到着できるという鉄道サービスの信頼性についての研究が定性的な評価に留まっている点を指摘して、旅客は到着時刻の信頼性が増すことに対し金銭的な支払い意志を有しており、鉄道整備プロジェクトを評価する際に、この効果を便益に含めることも可能であるとしている研究がある。その他の既往研究は、高田ら⁵⁾が詳細にまとめている。

これら4編^{1)~4)}の既往研究は、通常時のサービスの信頼性向上を念頭においた研究であり、本研究が対象とする運行停止時間が比較的長時間に及び鉄道事故の発生に対応することを目的としたものではない。

一方、高田ら⁶⁾が、鉄道輸送障害の分析を行い、鉄道事故統計を用いて、鉄道輸送障害に伴う事象の確率分布を特定化し、シミュレーションによって乗客の損失時間を推計する手法を構築している。

自動車交通を対象とした時間信頼性に関する研究成果

*キーワード：支払意志額，所要時間信頼性，利用者便益

** 正員，修士（工学），東京大学大学院学際情報学府学際情報学専攻（東京都文京区本郷7-3-1
03-5841-6118 mail: fujii@iis.u-tokyo.ac.jp）

*** 正員，博士（工学），東京電機大学理工学部建築・環境都市学系（埼玉県比企郡鳩山町石坂 049-296-5708 mail: takada@g.dendai.ac.jp）

Q. ある統計を用いて分析した結果、鉄道旅客1人当たり1年間に合計6時間の到着時間の遅れが生じていることが明らかになりました。つまり、あなたの時間が6時間失われていることとなります。この時、以下の(問A)、(問B)にお答えください。

(問A) 鉄道の整備により、あなたの損失時間を6時間から3時間に減らすことができます。あなたは、この鉄道整備にいくらまで支援することができますか？なお支援は1度限りです。
円までなら支援できる (回答用ハガキに金額をご記入ください。)

(問B) 鉄道の整備により、あなたの損失時間を6時間から0時間に減らすことができます。あなたは、この鉄道整備にいくらまで支援することができますか？なお支援は1度限りです。
円までなら支援できる (回答用ハガキに金額をご記入ください。)

図 2 アンケート調査票

には数多くの蓄積がある。例えば、Asakura ら⁷⁾が、阪神高速道路を対象として、ルートによって所要時間が異なることに着目して、平均と標準偏差を用いた所要時間指標を提案したものがある。

所要時間の不確実性の経済的価値を評価した既往研究に今長ら⁸⁾、浅見⁹⁾、越智ら¹⁰⁾の研究がある。今長らは、道路交通混雑による損失を所要時間の遅れに加えて、所要時間の不確実性によっても発生すると考えた際に必要となる不確実性を評価している。浅見は、東海道新幹線が長期不通になった際の社会的損失を定量的に把握している。越智らは、平常時・非常時において最適な道路ネットワーク整備をする際の指標として、ネットワーク全体の消費者余剰を指標として提案し、数値計算を行っている。

以上、鉄道・自動車交通の信頼性評価及び所要時間の不確実性の経済価値の分析を行っている既往研究について整理したが、鉄道を対象とし日常的に発生している所要時間信頼性に関する分析を行った既往研究はこれまでにない。

3. 使用データ

本研究では、鉄道利用者に対してアンケート調査を行い、輸送障害が発生した際の乗客の選好意識データを収集した。アンケート調査は平成18年1月に実施した。調査票の配布は、川口駅・大宮駅・武蔵小金井駅・志木駅の駅前行なされた。なお配布場所は以下の過程を経て選定した。はじめに他の路線に比べて輸送障害が多発している路線を抽出し、その後、輸送障害が生じた際に代替経路が確保できる駅とできない駅の双方を選んだ。

アンケート票の配布対象者は、各駅の改札から出てきたと考えられる者から無作為に抽出し、「調査票」ならびに「回答用はがき」を手渡しにより配布した。なお予め調査依頼時に協力が得られないと判明した場合には、調査票の配布は行なわなかった。総計1418枚の調査票を配布し、196枚(約14%)の有効回答を得た。

表 1 アンケートの条件設定

パターン	条件設定			
	縮減割合 (%)	現在の損失時間 (hr)	縮減時間 (hr)	改善後の損失時間(hr)
A	50	2	1	1
	100	2	2	0
B	50	6	3	3
	100	6	6	0
C	50	12	6	6
	100	12	12	0

表 2 アンケートデータの基礎特性

共変量	単位	平均	標準偏差
利用回数	回/月	16.8	8.0
遅延回数	回/月	3.0	2.8
損失時間	時間	6.7	4.3
縮減時間	時間	5.0	3.8
遅延遭遇率	-	0.2	0.3
年収	百万円	2.6	2.9
年齢	歳	4.5	1.5
性別	-	男性:31.3%,女性:68.7%	
サンプル数	-	233	

回収率が約14%に留まった理由には、調査票の配布を街頭での手渡しで実施したこと、回答結果を郵送で回収したことなど、回収率が高くはならない方法を採用したためだと考えられる。

アンケートの質問項目は、鉄道の利用頻度、鉄道サービスに関する満足度、サービスの改善要望度、遅延に遭遇する頻度、運行停止時の選好意識調査、所要時間の信頼性向上に対する支払意思額の5項目である。本研究では、アンケート調査の所要時間信頼性向上に対する支払意思額データを利用する。アンケート票の支払意思額調査のフォーマットを図3に示す。本研究ではCVMを用いて支払意思額を把握した。はじめに被験者に毎年一定時間の損失を被っていることをアンケート調査票上で認識させた上で支払意思額を問うた。

支払意思額は、現在被っている損失時間と縮減時間の関係に依存していると考えられるため、表1に示すように、鉄道利用者が現在被っている損失時間を2時間、6時間、12時間の3パターンを設定した。さらに、それぞれの損失時間が50%、100%縮減する2パターンを設定し、合計6パターンの質問を行った。

4. 支払意思額の基礎特性

損失時間1時間あたりの支払意思額を図4に示す。支払意思額の平均は1,958円、標準偏差は4,300円となった。また、支払意思額が0円である場合を除くと、平均

表 3 比例ハザードモデルの推定結果

		Model 1		Model 2	
共変量	単位	係数	t 値	係数	t 値
利用回数	回/月	-0.043	-3.91	-0.036	-4.00
遅延回数	回/月	0.028	0.85	-	-
損失時間	分	0.061	2.10	0.061	2.10
縮減時間	分	-0.11	-3.24	-0.112	-3.29
遅延遭遇率	-	-0.878	-3.00	-0.685	-3.31
年収	百万円	0.014	0.52	-	-
年齢	歳	-0.116	-2.52	-0.108	-2.45
性別	-	0.252	1.58	0.216	1.52
スケールパラメータ	-	0.859	17.53	0.856	17.47
形状メータ	-	0.0017	16.25	0.0016	16.82
AIC	-	4195		4192	

は3,286円, 標準偏差は5,178円となった。

アンケート調査で得られたデータには, 支払意志額を0円と回答したデータも含まれていたが, 本研究では0円データを除いて分析を行った。支払意志額が0円のデータを除いた理由には, 現在, 鉄道利用者が被っている損失時間が減少し, 鉄道サービスが向上するにも関わらず, その改善に要する費用の一部を負担する意思がないことや合理的な回答ではないと判断されるため分析データから除くこととした。

損失時間毎の支払意志額の平均を図 6 に示す。この図から2つの特徴が明らかとなった。1つ目は, 損失時間1時間当たりの支払意志額の平均値は, 損失時間の増加とともに減少することである。2つ目は, 損失時間1時間当たりの支払意志額の平均値は, 縮減している時間にほとんど関係していないということである。以上の結果から, 後に推定する支払意志額関数の共変量として損失時間や縮減時間を考慮することとした。また, 被説明変数である支払意志額は, 損失時間の間において1時間あたりの平均支払意志額に違いがなかったことから, 1時間あたりの支払意志額とした。

5. 支払意志額に関する分析

(1) 生存分析モデル

本研究では, 損失時間1時間当たりの支払意思額を生存時間と考え生存時間モデルを適用し分析を行った。生存時間モデルは式(1)で示される。

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

$h(t)$: ハザード関数, $h_0(t)$: 基準ハザード関数,
 λ : 形状パラメータ, γ : スケールパラメータ,
 β : 共変量のパラメータ

式(1)よりハザード関数は式(2)で表される。

$$h(t) = \gamma \lambda t^{\gamma-1} \exp(\beta x_i) \quad \dots (2)$$

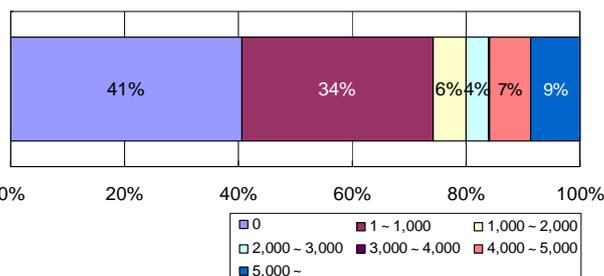


図 3 損失時間 1 時間あたりの支払意志額 (n=392)

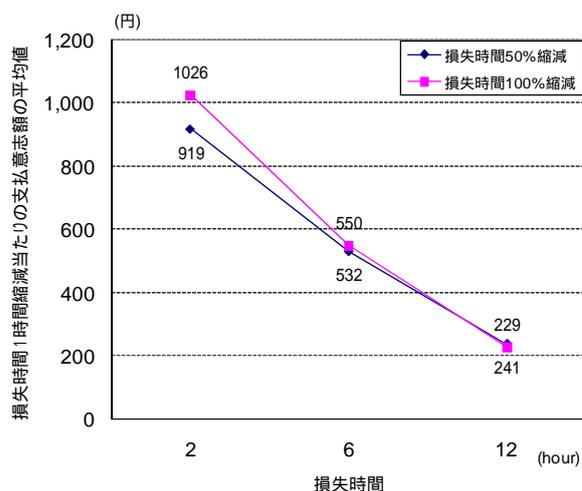


図 4 損失時間毎の支払意志額の平均値

式(2)より生存関数 $S(t)$ を導くと式(3)になる。

$$S(t) = \exp(-\lambda t^\gamma) \exp(\beta x_i) \quad \dots (3)$$

また, 支払意志額の期待値は式(4)で表わされる。

$$E(T) = \int_0^\infty t \left(\frac{dS(t)}{dt} \right) dt = -[tS(t)]_0^\infty + \int_0^\infty S(t) dt = \int_0^\infty S(t) dt \quad \dots (4)$$

(2) 支払意志額モデル

本研究では, 生存時間つまり被説明変数は, 図 5 に示した通り損失時間間で1時間当たりの平均支払意思額に違いがなかったことから, 1時間当たりの支払意思額とした。また, 式(1)の共変量は, 利用回数, 遅延回数, 損失時間, 縮減時間, 遅延遭遇率, 年収, 年齢, 性別の8つを採用した。利用回数は鉄道利用者が1カ月間に鉄道を利用した回数, 遅延回数は, 鉄道利用者が1カ月間に遅延に遭遇したと認識した回数, 遅延遭遇率は, 遅延回数を利用回数で除した値である。

(3) 分析結果

本研究では, 表 1 に示す共変量を用いて式(3)に示す比例ハザードモデルを推定した。また, 共変量を変化させ複数のモデルを構築した。モデルのあてはまり

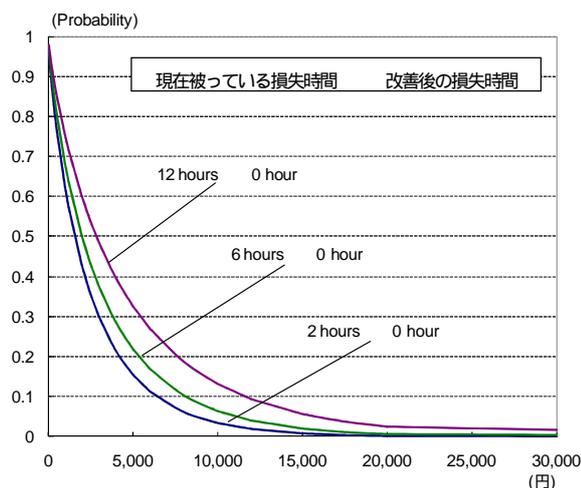


図 6 生存関数の分布

の良さについては AIC を用いて評価した。はじめに，すべての共変量を用いて推定を行い，その後，AIC が小さくなるよう共変量を変化させモデルの推定を行なった。推定結果を表 1 に示す。その結果，遅延回数と年収以外の共変量を採用したモデルを構築した。

図 6 に推定された生存関数の分布を示す。3つの生存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。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。

図 7 に推定されたモデルから算出した支払意志額の期待値の分布を示す。この時，損失時間と縮減時間以外の共変量は，平均値を用いた。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。

6. おわりに

本研究では、アンケート調査を実施し、鉄道サービスの遅延を原因とする損失時間を縮減するためのデータを収集した。また，生存時間分析を用いて支払意志額モデルを推定した。その結果，共変量を考慮した支払意志額モデルを推定した。さらに推定された支払意志額モデルを用いて損失時間の縮減に対する支払意志額の期待値を算出した。その結果，利用回数，損失時間，縮減時間，遅延遭遇率が支払意志額の期待値に影響を与えていることが明らかとなった。さらに，支払意志額の期待値は，現在，鉄道利用者が被っている損失時間と縮減時間に大きく影響していることも明らかとなった。

今後は，筆者らが構築した損失時間推計シミュレーションシステム¹¹⁾に本研究の研究成果を反映させ，所要時間信頼性が向上した場合の利用者便益の算出を試みる。

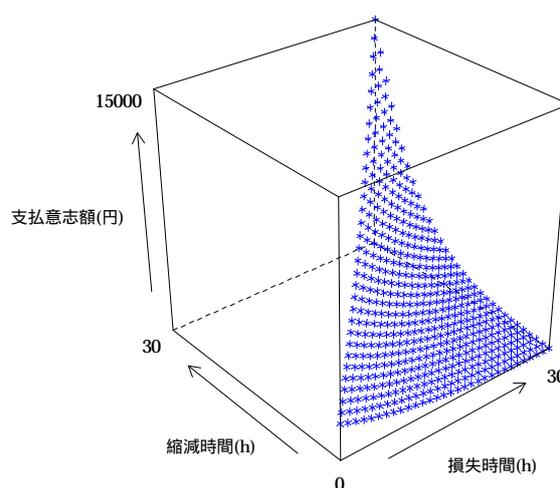


図 7 支払意志額の期待値分布

参考文献

- 1) Terence C. Lam and Kenneth A. Small : The value of time and reliability: measurement from a value pricing experiment, *Transportation Research Part E*, 37, pp.231-251, 2001
- 2) Terence C. Lam and Kenneth A. Small and Carey, M : Reliability of Interconnected scheduled service, *European Journal of Operations Research*, 79, pp.51-72, 1994.
- 3) Higgins, A., Kozan, E. : Modeling train delays in urban networks, *Transportation Science*, 32, pp.346-357, 1998.
- 4) Rietveld, P., Bruinsma, F.R. and Van Vuuren, D.J. : Coping with unreliability in public transport chains: A case study for Netherlands, *Transportation Research Part A*, 35, pp.539-559, 2001.
- 5) 高田和幸，吉澤智幸：鉄道事故に伴う旅客の損失時間の推計手法に関する研究，*土木計画学研究・論文集*，Vol. 22, pp. 863-868, 2005.
- 6) Takada, K., Yoshizawa, T., and M., Fujiu : Reliability evaluation of the railway network in the Tokyo metropolitan area , *Proceedings of 2nd Inter-national Symposium on Transportation Network Reliability*, pp.104-108, 2004.
- 7) R., Chalumuri, T., Kitazawa, J., Tanabe, Y., Suga, Y., and Asakura : Examine Travel Time Reliability on Hanshin Expressway Network, *Journal of the East Asia Society for Transportation Studies*, Vol 7, pp.2274-2288, 2007.
- 8) 今長久，鹿島茂，過田浩：道路交通混雑による所要時間不確実性の損失評価法に関する研究，*交通工学*，Vol. 42, No. 4, pp. 81 88, 2007.
- 9) 浅見均：代替ルート構築によるリンク途絶時の社会的損失緩和，*運輸政策研究* Vol. 7, No. 2, pp. 30 36, 2004.
- 10) 越智大介，朝倉康夫，粕谷増男：平常時と災害時における最適道路ネットワーク構成の比較，*土木計画学研究・講演集* No. 21(1), pp.339-342, 1998.
- 11) 高田和幸，小林蘭美：鉄道輸送障害発生時の乗客の選択行動に関する分析，*土木計画学研究・論文集*，Vol. 25, No. 3, pp. 763-768, 2008.