

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思額関数の推定

藤生 慎¹・高田 和幸²

¹学生会員 東京大学大学院学際情報学府学際情報学専攻（〒153-8505 東京都目黒区駒場4-6-1）
E-mail:fujju@iis.u-tokyo.ac.jp

²正会員 東京電機大学理工学部建築・都市環境学系（〒350-0394 埼玉県比企郡鳩山町石坂）
E-mail:takada@g.dendai.ac.jp

首都圏の鉄道サービスはこれまで、移動の利便性向上や速達性向上に主眼を置いて整備が進められてきた。首都圏の鉄道整備は、2008年の東京メトロ副都心線の開業により概ね完了した。今後は、時間通りに目的地に到着することが可能となる所要時間信頼性を考慮した整備が必要となる。例えば、ホームドアの整備、踏切の立体交差化、リダンダンシー性の向上などである。

これらの整備の社会経済的妥当性を検討するためには、所要時間信頼性向上のための便益を算出する必要がある。そこで、本研究では、リダンダンシー性指標を考慮した所要時間信頼性に対する支払意思額関数を推定した。

Key Words : リダンダンシー、所要時間信頼性、支払意思額

1. はじめに

首都圏の鉄道サービスは、移動の利便性、移動の速達性に主眼を置いて、整備が進められてきた。その一つとして、複数の事業者が連携し、路線の乗り入れを行う相互直通運転方式がある。2008年の東京メトロ副都心線の開業により、東武東上線、西武有楽町線・池袋線と相互直通運転が導入された。その導入により交通サービスの向上を図ってきた。この方式の利点は、乗り換え回数の減少、ターミナル駅の混雑緩和であるが、一つの路線で遅延が発生すると、他の路線にまで遅延の影響が及ぶという問題がある。実際に、国土交通省によれば、首都圏における鉄道事故発生件数は増加傾向にあると報告されており（図1）、鉄道事故統計によると、2009年度の首都圏の鉄道の遅延本数は年間4万600本に達している（図2）。そのため、鉄道利用者は出発時刻を早める必要が出てくるため、所要時間信頼性が低下していると推測される。

以上のように、首都圏の鉄道建設は、概ね完了し、成熟した鉄道ネットワークを形成している。この現状から、今後の鉄道整備は、所要時間信頼性向上を整備目標の1つにすることも必要と考えられる。所要時間信頼性向上

(件)

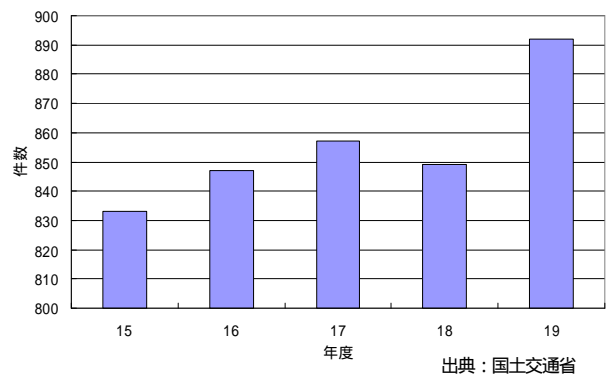


図1 鉄道事故発生件数

施策には、ハードとソフトの両方からのアプローチが考えられる。ハード系の施策として、所要時間に最も影響を与えている¹⁾人身事故を削減することを目標に、踏切の立体交差化やホームドアの整備、リダンダンシーの高い鉄道ネットワークの整備などが挙げられる。ソフト系の施策として、運行停止時における正確な利用者への情報提供などが挙げられる。

リダンダンシー性の高いネットワーク整備が、所要時間信頼性を向上させることは自明である。その整備のた

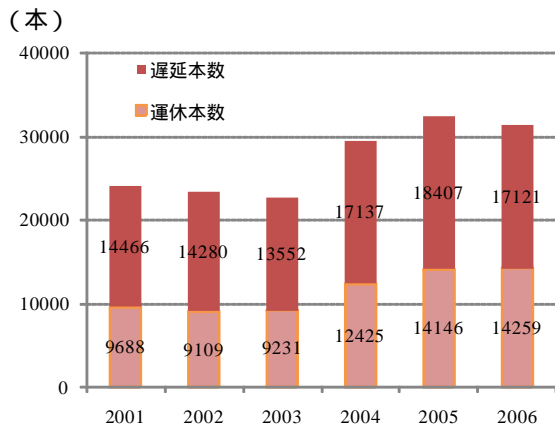


図2 首都圏における鉄道遅延本数・運休本数

めには、その社会経済的妥当性を検証する必要がある。しかし、その効果を検証するためには、便益を算出するための原単位を同定する必要がある。

そこで本研究では、リダンダンシー性を考慮した所要時間信頼性に関する原単位を同定することを目的として、所要時間信頼性向上に対する支払い意思額関数の推定することとした。

2. 既往研究

高田らは、鉄道旅客の移動余裕時間に関する出発時刻選択モデルの構築をしている。鉄道利用者は、電車が遅延などを起こした場合などに対処するために余裕時間を見積もっている。この余裕時間や所要時間、認知確率分布、考慮した見積もり所要時間確率を特定化する。このような特定化を関数化したのが出発時刻選択モデルであり、このモデルから余裕時間の決定要因を推定する。

加藤らは、首都圏の14の通勤鉄道駅を対象に通勤者の駅到着時刻の観測とアンケート調査によって得たデータを用い、鉄道利用者の通勤行動における出発時刻選択行動についてMNLに基づく時刻選択モデルの構築を行っている。また、このモデルを用いて、通勤者が列車待ち時間を意識しているか否かを、列車待ち時間のパラメータの統計的有意性から判定し、列車待ち時間の意識限界を設定している。

比護らは、荒川線を廃線と仮定した上で荒川路線の存続のための対する支払い意思額をCVMにより調査し、利用頻度や各価値との関係を調べている。

所要時間信頼性、出発時刻選択、路面電車に関する支払い意思額に関する主要な研究事例を整理した。

このように、鉄道利用者の所要時間信頼性を考慮した出発時刻選択、単一路線の支払い意思額を考慮した分析は見受けられるが、路線別でネットワークを考慮した所要時間信頼性を説明した支払い意思額の分析は行われて

表1 調査項目

| | 通常時 | 節電運行時 |
|------|-------------------------|--|
| | 鉄道データ | - 出発駅・到着駅 - 乗換駅 - 出発時刻 - 認知所要時間 |
| 個人属性 | - 性別 - 年齢 - 婚姻の有無 | - 子供の有無 - 居住地 - 職業 - 年収 |

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3 調査画面の抜粋

いない。そこで本研究では、リダンダンシー性を考慮した所要時間信頼性を分析対象とし、所要時間信頼性向上に対する支払い意思額関数の推定する事を目的とする。

3. 使用データ

(1) 支払意思額調査データ

総務省¹⁾によると、インターネット調査は、インターネット利用者の普及により、性別間、世代間で利用の差はなく、信頼できる調査手法として確立されつつある。

そこで本研究では、インターネット調査会社の株式会社マクロミルに委託し、鉄道利用状況に関するアンケート調査を実施した。調査対象は、首都圏の1都3県(東京・神奈川・千葉・埼玉)の居住者であり、15歳以上の有職者(パート、アルバイトを含む)の鉄道利用者を対象とした。調査は、平成21年7月11、12日の2日間にわたって実施し、それぞれ515サンプルずつ、総計1030サンプルの回答を得た。そのうち、合理的な説明をすることのできないサンプルを覗いて、分析に使用したデータは724サンプルであった。

なお、分析データから除いたサンプルは、駅名の判断がつかない、未回答がある、支払い意思額意思のない回答(支払い意思額が0であるサンプル)である。今回、支払い意思額のない(支払い意思額0円)サンプルを覗

いた理由として、何らかの施策により現状よりも通勤環境が改善するにもかかわらず、支払意思を持たないサンプルは、合理的な説明ができないため分析対象から外した。詳細な質問項目を表1に示す。また、調査票の抜粋を図3に示す。

また、鉄道利用者の鉄道施設整備に対する支払意思額の質問方法は、「ダブルバウンド式自由回答方式」を採用した。この方式は、図3-2に示すように、高田らの研究¹⁾で以前に実施した同様のアンケート調査結果²⁾で得たWTPの平均値3000円を最初に提示し、その金額まで寄付できるかの有無を回答してもらう。この結果を踏まえ、寄付可能な金額を自由に回答してもらう方式である。

(2) 鉄道事故統計データ

鉄道事故統計データは、各鉄道事業者から毎月報告されている事故件数や事故内容、事故の影響等の情報を取りまとめたものである。この統計データは、国土交通省関東運輸局が取りまとめている。対象期間については、平成14年4月～平成20年3月までとした。

記載項目は、発生日時(月・日・時・分)、事故等種類(運転事故、インシデント、輸送障害等)、場所(路線・事故発生駅・区間)、都道府県(注)事故が発生した都道府県、原因(自殺・ホーム上で接触・火災等の事故原因、列車影響(運休本数・遅延本数・最大遅延時間*)、死傷者数(乗客、旅客、係員、公衆の死者数及び負傷者数とその合計)、その他(衝撃物、踏切道名、踏切種別、再発防止対策、備考)、事故により最も長く停車した列車が、再び運行を開始するまでの時間。

なお、本論文では以下に示す事業者の鉄道事故統計を分析対象とした。東日本旅客鉄道(以下JR東日本)(東京支社、大宮支社、横浜支社、高崎支社、八王子支社、千葉支社、水戸支社)、東武鉄道、西武鉄道、東京メトロ(旧帝都高速鉄道営団)、東京都交通局、埼玉高速鉄道、小田急電鉄、東京急行電鉄、京王電鉄、京成電鉄。このデータから、平成15年から平成19年までの路線別の事故確率を算出した結果を表2に示す。

| 路線名 | H15 | H16 | H17 | H18 | H19 | 総計 | 事故確率 |
|--------------|-----|-----|-----|-----|-----|------|-------|
| 1 東海道本線 | 15 | 25 | 10 | 22 | 22 | 94 | 0.033 |
| 2 中央本線 | 50 | 35 | 9 | 35 | 33 | 162 | 0.058 |
| 3 東北本線(宇都宮線) | 19 | 12 | 2 | 24 | 23 | 80 | 0.028 |
| 4 京浜東北・根岸線 | 40 | 50 | 63 | 65 | 46 | 264 | 0.094 |
| 5 常磐線快速 | 19 | 20 | 2 | 19 | 14 | 74 | 0.026 |
| 6 常磐線各駅停車 | 4 | 6 | 2 | 17 | 11 | 40 | 0.014 |
| 7 総武線各駅停車 | 10 | 11 | 30 | 14 | 12 | 77 | 0.027 |
| 8 総武本線 | 20 | 20 | 20 | 22 | 22 | 104 | 0.037 |
| 9 山手線 | 29 | 39 | 4 | 24 | 26 | 122 | 0.043 |
| 10 南武線 | 13 | 15 | 14 | 15 | 5 | 62 | 0.022 |
| 11 鶴見線 | 3 | 2 | 3 | 2 | 2 | 12 | 0.004 |
| 12 武蔵野線 | 24 | 11 | 2 | 20 | 16 | 73 | 0.026 |
| 13 横濱線 | 15 | 13 | 20 | 16 | 15 | 79 | 0.028 |
| 14 八高線 | 7 | 7 | 12 | 8 | 5 | 39 | 0.014 |
| 15 横須賀線 | 20 | 17 | 4 | 16 | 16 | 73 | 0.026 |
| 16 相模線 | 9 | 5 | 6 | 2 | 3 | 25 | 0.009 |
| 17 青梅線 | 8 | 10 | 12 | 8 | 11 | 49 | 0.017 |
| 18 五日市線 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 7 | 0.002 |
| 19 川越線 | 8 | 10 | 9 | 12 | 7 | 46 | 0.016 |
| 20 高崎線 | 15 | 9 | 13 | 12 | 8 | 57 | 0.020 |
| 21 成田線 | 8 | 8 | 10 | 10 | 11 | 47 | 0.017 |
| 22 外房線 | 5 | 6 | 6 | 7 | 7 | 31 | 0.011 |
| 23 内房線 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0.000 |
| 24 埼京線 | 16 | 14 | 3 | 9 | 10 | 52 | 0.018 |
| 25 京葉線 | 9 | 12 | 3 | 13 | 17 | 54 | 0.019 |
| 26 都営浅草線 | 5 | 5 | 4 | 8 | 4 | 26 | 0.009 |
| 27 都営三田線 | 4 | 2 | 6 | 0 | 3 | 15 | 0.005 |
| 28 都営新宿線 | 6 | 9 | 8 | 6 | 3 | 32 | 0.011 |
| 29 都営大江戸線 | 4 | 8 | 6 | 6 | 9 | 33 | 0.012 |
| 30 銀座線 | 5 | 2 | 11 | 8 | 3 | 29 | 0.010 |
| 31 丸の内線 | 5 | 18 | 12 | 4 | 10 | 49 | 0.017 |
| 32 日比谷線 | 5 | 6 | 5 | 6 | 4 | 26 | 0.009 |
| 33 東西線 | 4 | 22 | 12 | 14 | 11 | 63 | 0.022 |
| 34 千代田線 | 7 | 8 | 6 | 4 | 9 | 34 | 0.012 |
| 35 有楽町線 | 7 | 9 | 8 | 5 | 8 | 37 | 0.013 |
| 36 半蔵門線 | 1 | 5 | 0 | 3 | 0 | 9 | 0.003 |
| 37 南北線 | 0 | 2 | 1 | 2 | 1 | 6 | 0.002 |
| 38 小田原線 | 12 | 9 | 25 | 22 | 20 | 88 | 0.031 |
| 39 江ノ島線 | 4 | 5 | 6 | 5 | 9 | 29 | 0.010 |
| 40 京王線 | 2 | 9 | 10 | 16 | 10 | 47 | 0.017 |
| 41 相模原線 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 2 | 0.001 |
| 42 東急井の頭線 | 0 | 0 | 5 | 0 | 0 | 5 | 0.002 |
| 43 東急東横線 | 1 | 5 | 4 | 12 | 9 | 31 | 0.011 |
| 44 目黒線 | 0 | 1 | 0 | 2 | 1 | 4 | 0.001 |
| 45 池上線 | 1 | 0 | 2 | 1 | 0 | 4 | 0.001 |
| 46 大井町線 | 1 | 0 | 1 | 3 | 5 | 10 | 0.004 |
| 47 世田谷線 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 2 | 0.001 |
| 48 田園都市線 | 3 | 2 | 7 | 20 | 10 | 42 | 0.015 |
| 49 東急多摩川線 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | 3 | 0.001 |
| 50 西武新宿線 | 13 | 4 | 18 | 16 | 12 | 63 | 0.022 |
| 51 西武池袋線 | 5 | 4 | 12 | 15 | 17 | 53 | 0.019 |
| 52 西武拝島線 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0.000 |
| 53 伊勢崎線 | 3 | 11 | 14 | 12 | 9 | 49 | 0.017 |
| 54 日光線 | 0 | 1 | 1 | 2 | 0 | 4 | 0.001 |
| 55 野田線 | 4 | 4 | 8 | 7 | 14 | 37 | 0.013 |
| 56 東武東上線 | 11 | 22 | 22 | 19 | 22 | 96 | 0.034 |
| 57 越生線 | 3 | 0 | 6 | 1 | 1 | 11 | 0.004 |
| 58 京成本線 | 5 | 11 | 9 | 11 | 11 | 47 | 0.017 |
| 59 押上線 | 0 | 1 | 1 | 2 | 1 | 5 | 0.002 |
| 60 千葉線 | 3 | 1 | 0 | 0 | 0 | 4 | 0.001 |
| 61 千原線 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0.000 |
| 62 根岸線 | 0 | 8 | 18 | 10 | 9 | 45 | 0.016 |
| 総計 | 504 | 555 | 520 | 655 | 578 | 2812 | |

4. アンケート調査の基礎分析

(1) アンケート回答者属性

アンケートの回答者属性を示す。図4は、分析サンプルの性別割合である。男性が約60%を占めている。

図5にサンプルの年齢割合を示す。30～40歳未満の回答者の割合が一番高かった。この理由は、インターネットモニターのサンプル分布とも一致しており、通勤者の中で、インターネットによるアンケート調査によるサンプル母数が大きいためと考えられる。

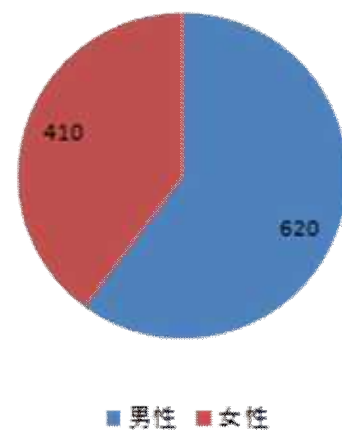


図4 性別割合

表2 路線別の事故確率



図5 年齢割合

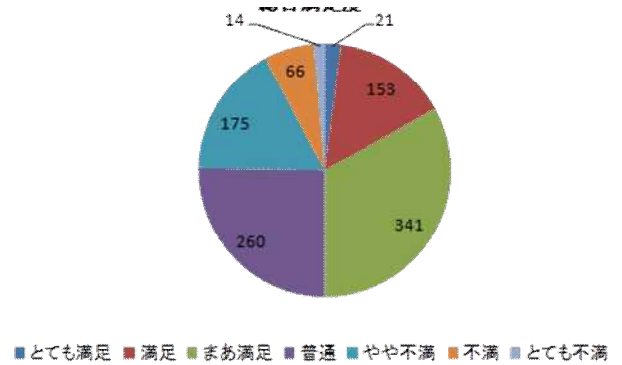


図7 鉄道利用総合満足度

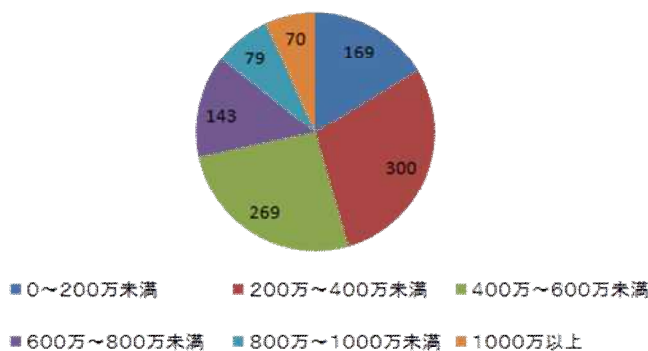


図6 年収の割合

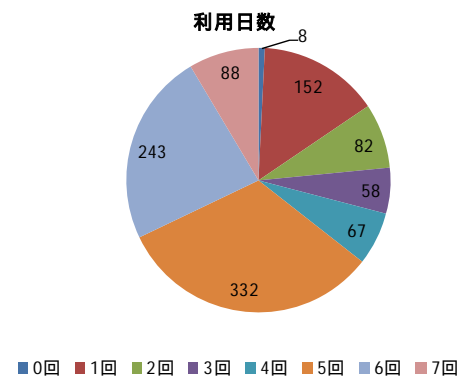


図7 1週間の鉄道利用日数

図6に年収の割合を示す。年収が200万～600万円未満の割合が約半分を占めている。今回のアンケート調査では、一般的な通勤者をサンプリングできたと考えられる。

図7に鉄道利用に関する総合満足度を示す。調査の結果、鉄道の総合サービスについてまあ満足している人の割合が多かった。一方、不満や、やや不満を感じているサンプルも少なくなかった。このことから、鉄道利用者はなんらかの不満を感じて鉄道を利用していることが明らかとなった。

図7に1週間の鉄道利用日数を示す。1週間の利用日数が5回の人割合として一番多かった。このことから、ほぼ毎日鉄道を利用して通勤しているサンプルを得ることができたと考えられる。

図8に乗換回数の集計結果を示す。本研究で対象としたサンプルは、乗換回数が1回以下が約80%を占めている。このことから、相互直通運転により目的地に到達できることや、1つの路線で通勤可能なエリアに居住し通勤していることが明らかとなった。したがって、相互直通運転による利便性を享受している鉄道利用者は、他路線の遅延した場合には、その影響を大きく受けて通勤している可能性がある。

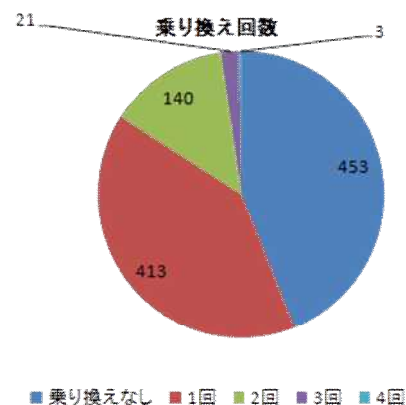


図8 乗換回数

(2) 認知所要時間に関する集計

認知所要時間とは、実際の経路に対する所要時間ではなく、回答者が、経路を移動する際に必要と考えている時間のことである。認知所要時間は、通勤する上での遅延を体感的に考慮している時間を仮定することが可能である。認知所要時間と時刻表から算出される所要時間の差の分だけ余裕を取って通勤者は移動行動をとっていることになる。この認知所要時間が大きいサンプルほど、

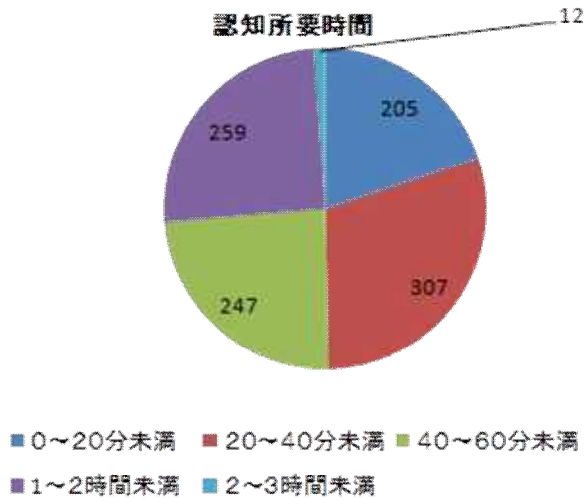


図9 認知所要時間割合

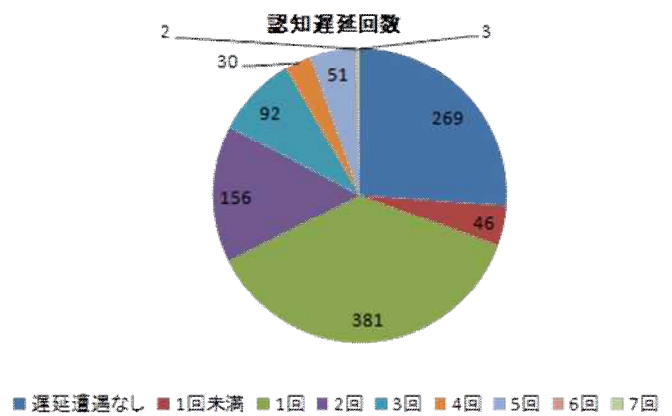


図10 認知遅延回数割合

鉄道ネットワークの所要時間信頼性が低いということもできる。

図9に認知所要時間の割合を示す。所要時間が20～40分未満の人が割合として多いことがわかる。

図10に認知遅延回数を示す。認知遅延回数とは、1週間の鉄道利用のうち、遅延していると認知している回数を示す。この回数が多いほど、鉄道利用者は、遅延を被っていると考えていることになる。

図11に認知遅延時間を示す。認知遅延時間とは、1週間の鉄道利用のうち、遅延していると認知している時間を示す。この時間が大きいほど、大規模な遅延と認識していることになる。

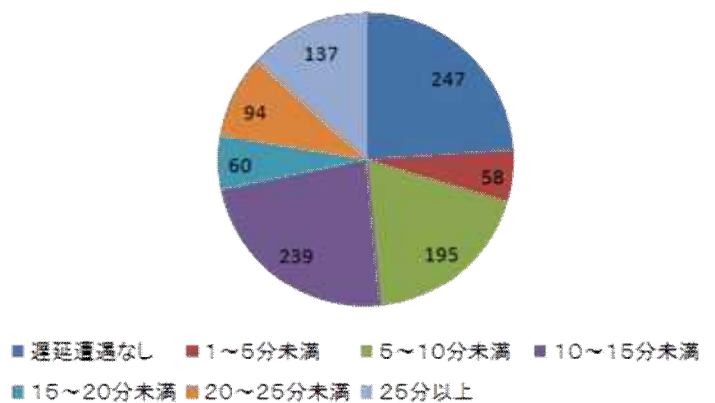


図11 認知遅延時間割合

(3) 遅延改善に対する支払意思額の割合

図12に遅延改善に対する支払意思額の割合を示す。この支払意思額は、遅延していると考えているサンプルの場合には、遅延を改善するために支払っても良いと考えている金額である。そのため、遅延改善のための原単位と考えることが可能である。本研究では、この遅延改善に対する支払意思額を用いて支払意思額関数を推定することになる。

遅延改善のための支払意思額は、4000円未満が全体の約80%を占めている。もちろん0円と回答したサンプルを除けば、約60%が4000円未満と回答している。しかし、ここで注意しなければならないのは、年間の金額であることである。

しかし、図12の結果から、少なからず首都圏の鉄道利用者は、遅延改善のためのハード系もしくは、ソフト系の鉄道整備に対しての支払意思を有していることが明らかとなった。

本研究では、この遅延改善のための支払意思額に与える要因を同定することも1つの目的である。

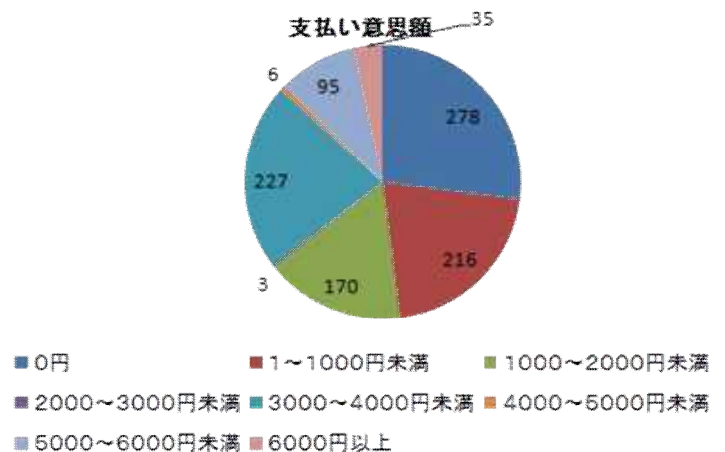


図12 遅延改善のための支払意思額割合

5. 所要時間信頼性向上に関する基礎分析

前章では、アンケート調査の基礎的属性について考察を行った。本章では、所要時間信頼性向上に伴う支払意

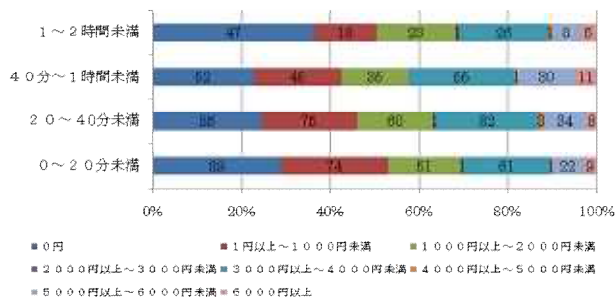


図 13 時刻表所要時間別支払意思額

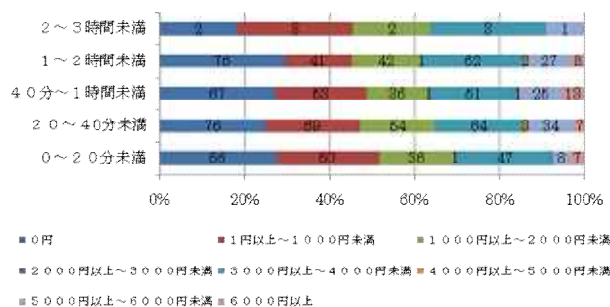


図 15 認知所要時間別支払意思額

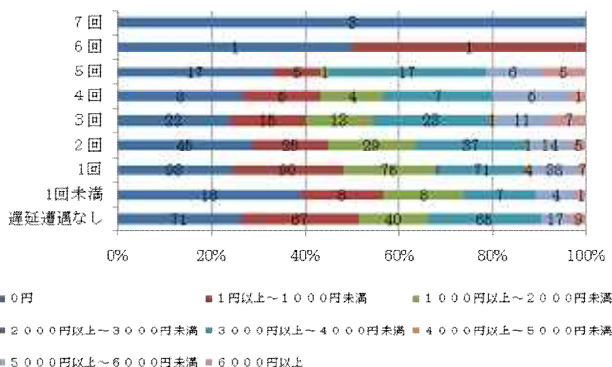


図 14 遅延回数別支払意思額

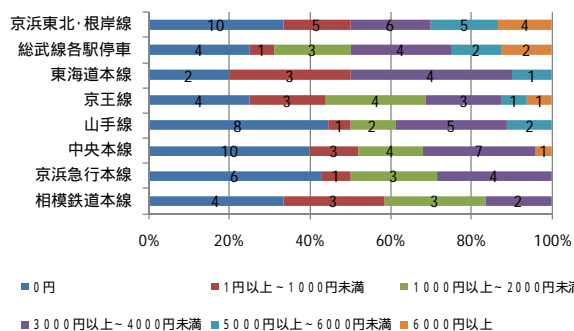


図 16 路線別支払意思額

思額に影響を与えている事項について集計した結果を考察する。

図 13 に、時刻表所要時間別支払意思額を示す。所要時間が長くなれば、支払意思額が高くなる傾向があることがわかる。この理由は、所要時間が長くなると、所要時間に対する信頼性を高く求めている可能性がある。つまり、所要時間が長くなれば、乗車時間が長いので、時刻表通りに目的地に到達する必要が高まることを示している。

図 14 に、遅延回数別支払意思額を示す。遅延回数が多くなるにつれて、支払意思額を高くなっていることが明らかである。これは当然の結果であり、遅延している鉄道利用者ほど、遅延を少なく、所要時間に対する信頼性を求めていることがわかる。この結果からも、所要時間信頼性の確保が必要であることが明らかである。

図 15 に、認知所要時間別支払意思額を示す。認知所要時間、つまり所要時間の信頼度が低下した状態を認知している状態での支払意思額である。認知所要時間が大きいほど、鉄道の運行に対する信頼度が低い。そのため、それを大きく感じている鉄道利用者は、当然、いくらか支払ことで、遅延、つまり所要時間の信頼性が向上するのであれば、その費用を負担するということになる。その結果が、図 15 に集計されている。具体的には、認知所要時間が 40 分から 1 時間以上の鉄道利用者に関して

支払意思額の支払割合が増加していることがわかる。

図 16 に利用している路線別の支払意思額割合を示す。鉄道利用者が普段利用している路線によっては、鉄道事故が多発している場合がある。京浜東北・根岸線・総武線・中央線などでその傾向が大きい。そのため、鉄道利用者が利用する路線によって支払意思額が異なるのかについて集計した。鉄道事故により遅延が多い、京浜東北・根岸線や総武線では、3000円以上4000円未満と回答した鉄道利用者が約50%を占めた。このことから、鉄道事故により頻繁に遅延する鉄道利用者の所要時間信頼性は低く、その向上に対する支払意思は高いことが明らかとなった。

6. 支払意思額関数の推定

(1) 生存分析

生存時間モデルとは、ある基準の時刻から、ある事象が生起、あるいは終了するまでの時間を解析の対象とするモデルであり、期間モデルとも呼ばれている。主に、医学分野や機械工学分野において用いられてきた分析手法であるが、近年では交通行動分析の分野でもいくつかの行動を対象とした生存時間モデルが適用されるようになってきている。図 17 に生存分析の概念を示す。

生存時間モデルの特徴として、解析対象となる事象が生起するまでの時間は必ず正の値をとり、多くの場合、

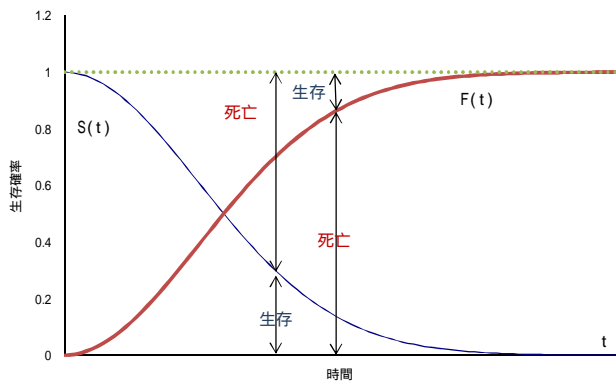


図 17 生存分析の概念

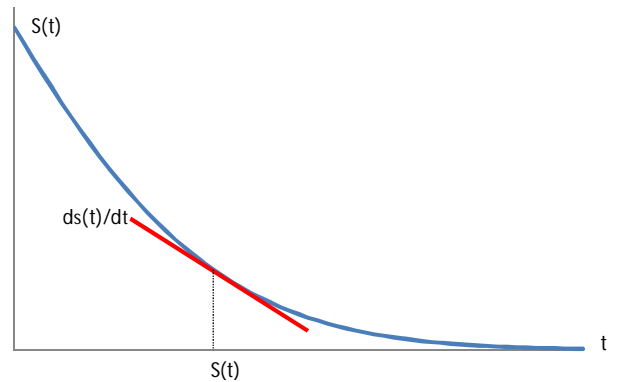


図 18 ハザード関数と生存関数の関係

時間の分布の裾が右に長くなるということが挙げられている。よって、分布の正規性を仮定することが適切ではない場合が多く、より適切な確率分布を用いた分析手法が用いられる。生存分析では、対象とする事象が生起するまでの時間Tの分布を生存関数S(t)、およびハザード関数h(t)で表わすことが多い。

生存関数S(t)は、対象とする事象がある時点tにおいて生存している確率を表す関数である。F(t)とは、通常の累積分布関数を表し、死亡している個体の累積比率を表す。

また、ハザード関数h(t)は、対象とする事象がある時点tにおいてまだ生起していない確率を表す関数である。このハザード関数は、対象とする事象がある時点tまでに生起していないという条件の下で、次の瞬間に事象が生起するという条件付き確率密度である。ハザード関数tが増加すると事象の生起する確率が高くなることを示している。tに関して、一定の場合には事象の生起が時間の経過に依存しないことを示す。図18に示すように、ハザード関数は時点tのS(t)を1としたときのS(t)の傾きの絶対値となる。

そこで、本研究では、所要時間改善に対する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 h₀(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。

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

式(2)より生存関数S(t)を導くと式(3)になる。

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

(2) 説明変数の選定

本研究では、支払い意思額の分析において共変量となりうる変数を基礎集計から選択した。その結果、利用日数、乗り換え回数、認知所要時間、認知遅延回数、認知遅延時間、余裕時間/総所要時間、余裕時間、路線ダミー1(1:京浜東北・根岸線, 0:他の路線), 路線ダミー2(1:山手線, 0:他の路線), 路線ダミー3(1:中央線, 0:他の路線), 路線ダミー4(1:総武線各駅停車, 0:他の路線), 路線ダミー5(1:京王線0:他の路線)の変数で支払い意思額関数の説明を行うこととした。なお、共変量の路線ダミーは、路線別に乗り換えせずに移動を行ったサンプルを1とし他のサンプルを0とした変数である。

(3) 支払意思額関数の推定結果

全変数を用いたモデルの推定結果と最も説明力のある変数を用いて推定を行ったAICモデルの推定結果を表3に示す。また、以上の結果を用いた生存関数を図19に示す。

全共変量を用いて全変数モデルを推定した。その結果、利用日数、認知遅延時間、認知遅延回数、認知遅延時間、余裕時間/総所要時間、余裕時間などは回数、時間の経過とともに支払い意思額を上げる要因となったがt値の値が低いため支払い意思額を増加させる説明力がない結果となった。

また、路線ダミーは事故件数や遅延回数が多い路線がt値の値が高く、支払い意思額を上げる要因と結果が導かれた。

さらに、支払い意思額を説明する要因として乗り換え回数は回数が増える毎に支払い意思額を下げる要因と結果が導かれた。この変数に関しては、説明がつかないた

| 共変量 | | 単位 | 全変数モデル | | AICモデル | |
|-----------------|------------|----------------------|--------|-------|--------|------|
| | | | 係数 | t値 | 係数 | t値 |
| X ₁ | 年収 | 百万 | 0.067 | 4.79 | 0.068 | 4.86 |
| X ₂ | 利用日数 | (回/週) | 0.044 | 2.00 | 0.041 | 1.95 |
| X ₃ | 乗り換え回数 | (回/日) | -0.026 | -0.42 | - | - |
| X ₄ | 認知所要時間 | (分/週) | 0.003 | 1.50 | - | - |
| X ₅ | 認知遅延回数 | (回/週) | 0.064 | 1.73 | 0.061 | 1.97 |
| X ₆ | 認知遅延時間 | (分/週) | 0.002 | 0.50 | - | - |
| X ₇ | 余裕時間/総所要時間 | - | 0.009 | 0.31 | - | - |
| X ₈ | 余裕時間 | 分 | 0.004 | 0.01 | - | - |
| X ₉ | 路線ダミー1 | 1:京浜東北・根岸線 0:他の路線 | 0.525 | 2.04 | 0.478 | 1.88 |
| X ₁₀ | 路線ダミー2 | 1:山手線 0:他の路線 | 0.208 | 0.71 | - | - |
| X ₁₁ | 路線ダミー3 | 1:中央線 0:他の路線 | 0.057 | 0.23 | - | - |
| X ₁₃ | 路線ダミー4 | 1:総武線各駅停車 0:他の路線 | 0.466 | 1.44 | - | - |
| X ₁₃ | 路線ダミー5 | 1:京王線 0:他の路線 | 0.244 | 0.82 | - | - |
| | スケールパラメータ | - | 7.057 | 66.58 | 7.147 | 76.8 |
| | 形状メータ | - | 0.174 | 5.80 | 0.170 | 5.7 |

図19 支払意思額関数のパラメータの推定結果

め、課題が残された。

さらにAIC基準を用いて、より説明力があるAICモデルを推定した。その結果、年収、利用日数、遅延回数、路線ダミー(京浜東北・根岸線)のパラメータは有意な結果となった。

共変量の係数が共変量の係数の符号について説明する。符号のプラスは、支払い意思額を増加させる要因である事を意味している。一方、符号のマイナスは、支払い意思額を減少させる要因であることを意味している。

全変数モデルでは、利用日数、認知所要時間、認知遅延回数、認知遅延時間、余裕時間/総所要時間が増加すると支払い意思額を増加させる要因であることを示している。

一方、路線ダミーなどは、各路線を使用している事が支払い意思額を増加させている要因となる。一方、乗り換え回数は係数の符号がマイナスであることから乗り換え回数が増加するたびに支払い意思額を下げていることが分かる。

次に全変数からよりAIC基準より説明力の高いAICモデルを推定したAICモデルについての説明をする。

AICモデルの推定結果は、年収、利用日数、遅延回数、路線ダミー(京浜東北・根岸線)となった。パラメータはt値が高いことにより統計的に有意であることが確認された。AICモデルの説明を表4に示す。

表3 AICモデルで採用された変数の根拠

| 共変量 | 単位 | 符号 | 考察 |
|--------|----------------------|----|---|
| 年収 | 百万 | + | 符号が+であったことから年収が高くなればなるほど支払い意思額が高くなる事が分かる。 |
| 利用日数 | (回/週) | + | 符号が+であったことから一週間の利用日数が増加すればするほど支払い意思額が高くなる事が分かる。その要因として利用日数が高いほど遅延に遭遇する確率が高い事が挙げられる。 |
| 認知遅延回数 | (回/週) | + | 認知遅延回数が増加すればするほど支払い意思額が高くなる。その要因として遅延を解消するための支払い意思額のために高くなると考えられる。 |
| 路線ダミー1 | 1:京浜東北・根岸線 0:他の路線 | + | 符号が+であったことから京浜東北線を使用する人ほど支払い意思額が高い事が分かる。その要因として京浜東北・根岸線は事故件数が一番多いため、遅延を遭遇する確率が多いため支払い意思額が高くなる事が考えられる。 |

これまでの分析結果を踏まえて、図20に認知遅延回数別の支払い意思額関数を示す。

AICモデルの結果の場合、遅延回数が増加すればするほど支払い意思額が高くなる事が分かる。このグラフは認知遅延回数が増加するにつれて分布の傾きが緩くなっている事が分かる。特に認知遅延回数が5回の傾きが緩やかになっているため支払い意思額が高い事が分かる。

一方、認知遅延回数が0回の傾きは急になっているため支払い意思額が低い事が分かる。したがって、認知遅延回数が増加するにつれて支払い意思額が高くなっている事が分かる。

probability

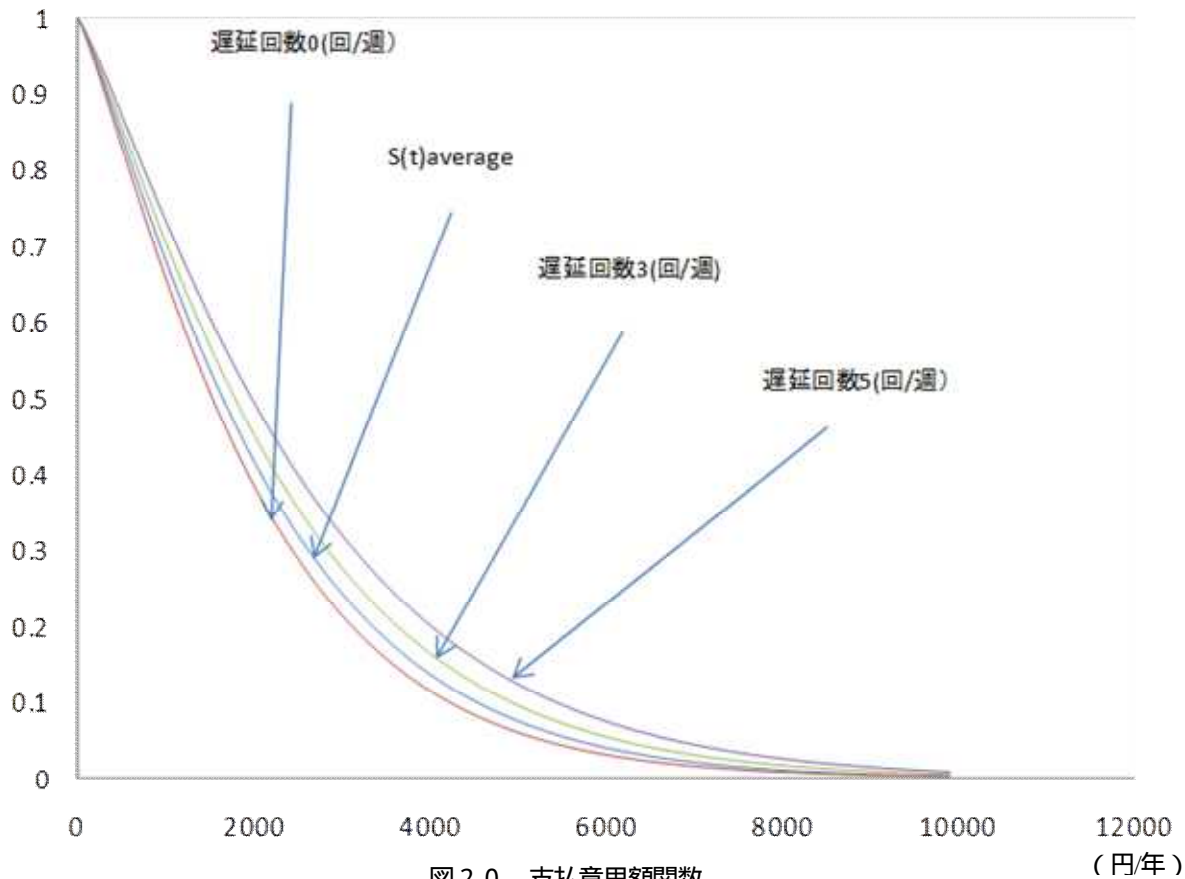


図20 支払意思額関数

7. リダンダンシー性を考慮した支払意思額関数の推定

(1) リダンダンシー性の定義

都内などでは事故発生時に他の路線を利用し、遅延を回避できる場合が多いが、郊外では、他の経路を利用できないため遅延を回避できない可能性が高いと考えられる。本研究では、リダンダンシー性を、経路代替性と定義した。

(2) 提案するリダンダンシー指標

【指標1】

評価指標 = 第一経路の事故率

概要：利用路線の事故で止まってしまいう路線信頼性を示している指標。

改善点：第二経路の性質が考慮されていない。

【指標2】

評価指標 = 第一経路の到着確率

概要：利用路線の事故で止まってしまいう路線信頼性を示している指標。

改善点：第二経路の性質が考慮されていない。

【指標3】

評価指標 = |第二経路の距離 - 第一経路の距離|

概要：第二経路と第一経路の距離差をみて、差が少ない方が第一経路が事故で止まってしまった時に第二経路を利用して目的値に到達しやすいためリダンダンシー性が高い、また差が大きいと第二経路を使用しにくいので目的地に到着しにくい、よって、リダンダンシー性が低い。

改善点：第三経路の信頼性や所要時間、鉄道事故確率が考慮されていない。

【指標4】

評価指標 = |第二経路の所要時間 -

第一経路の所要時間|

概要：第二経路と第一経路の時間差をみて、差が少ない方が第一経路が事故で止まってしまった時に第二経路を利用して目的値に到達しやすいためリ

ダンダンシー性が高い、また差が大きいと第二経路を使用しにくいので目的地に到着しにくい、よって、リダンダンシー性が低い。

改善点：第三経路の信頼性や距離、鉄道事故確率が考慮されていない。

【指標5】

評価指標 = $\frac{\text{第二経路と第三経路の距離平均} - \text{第一経路の距離}}{\text{第一経路の距離}}$

内容：第二経路と第三経路の距離の平均と第一経路の距離差をみて、差が少ない方が第一経路が事故で止まった時に第二経路、第三経路を利用して目的値に到達しやすいためリダンダンシー性が高い、また差が大きいと第二経路を使用しにくいので目的地に到着しにくい、よって、リダンダンシー性が低い。

改善点：鉄道路線の距離や事故確率が考慮されていない。

【指標6】

評価指標 = $\frac{\text{第二経路と第三経路の所要時間平均} - \text{第一経路の所要時間}}{\text{第一経路の所要時間}}$

概要：第二経路と第三経路の距離の平均と第一経路の時間差をみて、差が少ない方が第一経路が事故で止まった時に第二経路、第三経路を利用して目的値に到達しやすいためリダンダンシー性が高い、また差が大きいと第二経路、第三経路を使用しにくいので目的地に到着しにくい、よって、リダンダンシー性が低い。

改善点：：鉄道路線の距離や事故確率が考慮されていない。

【指標7】

評価指標 =

$$\frac{1}{\frac{\text{第二経路(距離 or 所要時間)} \times A - \text{第一経路(距離 or 所要時間)} \times A}{\text{第一経路(距離 or 所要時間)} \times A}}$$

A:事故確率，事故本数，遅延本数，利用者数，運行本数

概要：

内容：第一経路と第二経路の所要時間，距離に事故確率，事故本数，遅延本数，利用者数，運行本数などの路線の説明を加えて差を取り，路線の説明力を高めて比較する事により，より説明力のある指標を考えた．指標の式で逆数を取っているのは，第二経路がない時の指標の値を0と置くためである．

改善点：第三経路の性質が考慮されていない．代替経路数が考慮されていない。

(3) リダンダンシー指標を用いた推定結果

本研究では，分析に使用した指標は指標1の第一路線の事故確率を用い，その路線の信頼性を表現し，リダンダンシー性を表わし，分析をおこなっていった．複数の路線を使用している場合は，一番事故確率が高い路線の事故確率を使用し分析を行った．

指標2では第一路線の到着確率を使い，その路線の信頼性を表現し，リダンダンシー性を表わし，分析をおこなっていった．出発地から到着地の事故確率を使用し，到着確率=(1-事故確率)の式により出発地から到着地までの路線別到着率を導き，出発駅から到着駅の路線の到着確率を掛け合わせ，1つの路線の到着確率とした．

指標1での分析結果を表4に示す．分析は全変数でパラメータ推定を行い，パラメータの中からt値の高い変数を組み合わせ，指標1のモデルを作成した．

結果から，年収，利用日数，リダンダンシーの変数がプラスの係数が出ていたので支払い意思額を増加させる要因である事が分かった．なお，リダンダンシーの係数が高くなればなるほど事故確率が高くなり，路線の信頼性が低くなる．よって支払い意思額も高くなる傾向がみられた．次に，図2-1 支払い意思額の生存関数分布(指標1)を示す．図より事故確率が高くなればなるほど，支払い意思額が高くなる傾向がある．

指標2の分析結果を表5に示す．指標1と同様に，全変数でパラメータ推定を行い，パラメータの中からt値の高い変数を組み合わせ，指標2のモデルを作成した．

結果から，年収，利用日数の変数がプラスの係数が出ていたので支払い意思額を増加させる要因である事が分かった．なお，リダンダンシーの係数は，マイナスで出てきており，変数の値が高くなればなるほど到着確率が高くなり，路線の信頼性が高くなる．よって支払い意思額も低くなる傾向がみられた．次に，図2-2に支払い意思額の生存関数分布(指標2)を示す．図より到着確率が低いと支払い意思額が高くなる傾向がある．

(4) リダンダンシー変数採用の課題

リダンダンシー指標採用の課題は，単一路線のリダンダンシー性であった．そして，第二経路や第三経路の路線を考慮していないので，今後，考慮していきたい．そして，リダンダンシー指標1と指標2では，t値が低く，説明力のない変数であったので説明力のあるリダンダンシー変数を作る事が課題として挙げられる．

表4 リダンダンシー考慮モデル(全変数)指標1

| 共変量 | 単位 | 全変数モデル | | |
|-----------------|---------------|----------------------|--------|-------|
| | | 係数 | t値 | |
| X ₁ | 年収 | 百万 | 0.044 | 1.91 |
| X ₂ | 利用日数 | (回/週) | 0.029 | 0.41 |
| X ₃ | 乗り換え回数 | (回/日) | 0.001 | 0.50 |
| X ₄ | 認知所要時間 | (分/週) | 0.051 | 1.28 |
| X ₅ | 認知遅延回数 | (回/週) | -0.002 | -0.50 |
| X ₆ | 認知遅延時間 | (分/週) | 0.003 | 0.10 |
| X ₇ | 余裕時間/総所要時間 | - | 0.066 | 4.40 |
| X ₈ | 余裕時間 | 分 | 0.087 | 0.29 |
| X ₉ | 路線ダミー1 | 1:京浜東北・根岸線 0:他の路線 | 0.5 | 1.69 |
| X ₁₀ | 路線ダミー2 | 1:山手線 0:他の路線 | 0.217 | 0.72 |
| X ₁₁ | 路線ダミー3 | 1:中央線 0:他の路線 | 0.067 | 0.26 |
| X ₁₂ | 路線ダミー4 | 1:総武線各駅停車 0:他の路線 | 0.498 | 1.54 |
| X ₁₃ | 路線ダミー5 | 1:京王線 0:他の路線 | 0.258 | 0.87 |
| X ₁₄ | リダンダンシー(事故確率) | - | 0.644 | 0.32 |
| | スケールパラメータ | - | 7.061 | 57.88 |
| | 形状メータ | - | 0.163 | 5.09 |

表5 リダンダンシー考慮モデル(全変数)指標2

| 共変量 | 単位 | 全変数モデル | | |
|-----------------|---------------|----------------------|-------|-------|
| | | 係数 | t値 | |
| X ₁ | 年収 | 百万 | 0.044 | 1.91 |
| X ₂ | 利用日数 | (回/週) | 0.032 | 0.44 |
| X ₃ | 乗り換え回数 | (回/日) | 0.001 | 0.50 |
| X ₄ | 認知所要時間 | (分/週) | 0.051 | 1.28 |
| X ₅ | 認知遅延回数 | (回/週) | 0.002 | -0.50 |
| X ₆ | 認知遅延時間 | (分/週) | 0.003 | 0.10 |
| X ₇ | 余裕時間/総所要時間 | - | 0.066 | 4.40 |
| X ₈ | 余裕時間 | 分 | 0.088 | -0.30 |
| X ₉ | 路線ダミー1 | 1:京浜東北・根岸線 0:他の路線 | 0.548 | 1.96 |
| X ₁₀ | 路線ダミー2 | 1:山手線 0:他の路線 | 0.232 | 0.78 |
| X ₁₁ | 路線ダミー3 | 1:中央線 0:他の路線 | 0.09 | 0.36 |
| X ₁₂ | 路線ダミー4 | 1:総武線各駅停車 0:他の路線 | 0.501 | 1.55 |
| X ₁₃ | 路線ダミー5 | 1:京王線 0:他の路線 | 0.254 | 0.86 |
| X ₁₄ | リダンダンシー(到着確率) | - | 0.037 | 0.02 |
| | スケールパラメータ | - | 7.042 | 5.47 |
| | 形状メータ | - | 0.163 | 5.09 |

表6 リダンダンシー(事故確率)考慮モデル指標1

| 共変量 | 単位 | リダンダンシーモデル1 | | |
|----------------|---------------|-------------|-------|-------|
| | | 係数 | t値 | |
| X ₁ | 年収 | 百万 | 0.068 | 4.53 |
| X ₂ | 利用日数 | (回/週) | 0.056 | 2.66 |
| X ₅ | リダンダンシー(事故確率) | - | 2.34 | 1.39 |
| | スケールパラメータ | - | 7.088 | 63.90 |
| | 形状メータ | - | 0.157 | 4.91 |

表7 リダンダンシー考慮モデル(到着率)指標2

| 共変量 | 単位 | リダンダンシーモデル2 | | |
|----------------|--------------|-------------|--------|-------|
| | | 係数 | t値 | |
| X ₁ | 年収 | 百万 | 0.067 | 4.47 |
| X ₂ | 利用日数 | (回/週) | 0.055 | 2.62 |
| X ₅ | リダンダンシー(到着率) | - | -1.127 | -0.84 |
| | スケールパラメータ | - | 8.079 | 7.22 |
| | 形状メータ | - | 0.156 | 4.86 |

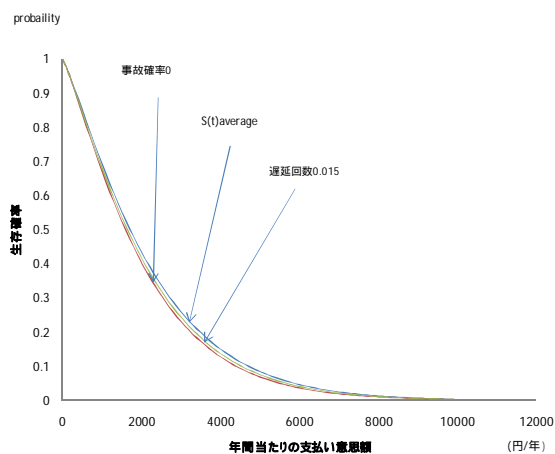


図2.1 支払意思額関数(指標1)

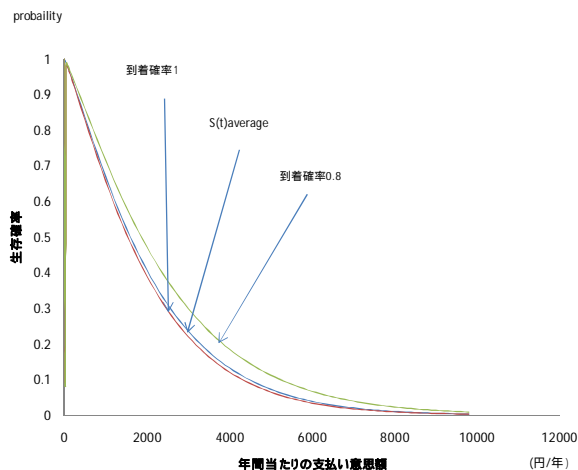


図2.2 支払意思額関数(指標2)

8.まとめと今後の展望

本研究では、鉄道ネットワークを考慮した所要時間信頼性を分析対象とし、所要時間信頼性向上に対する支払い

意思額関数を推定した。その結果、路線ダミーでは事故件数の多い路線が支払い意思額を増加させる要因である事がわかった。認知遅延回数などは認知遅延回数が増加すればするほど支払い意思額を増加することから支払い

意思額を増加させる要因である事を明らかにした。

本研究では、説明力のあるリダンダンシーの変数を用いて支払意思額関数を推定することができなかった。

今後は、鉄道ネットワークのリダンダンシー性を説明する指標を、グラフ理論、トポロジー理論、ダイクストラ法を用いて、リダンダンシー性をより説明できる指標を完成し、支払い意思額関数に説明変数として考慮する必要がある。

参考文献

- 1)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.
- 2)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.
- 3)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.
- 4)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.
- 5)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.

(2011.8.5 受付)

STUDY OF WILLINGNESS TO PAY CONSIDERING REDUNDANCY INDEX FOR IMPROVEMENT OF TRAVEL TIME RELIABILITY OF RAILWAY USERS

Makoto FUJIU, Keiichi OKADA and Kazuyuki TAKADA

The railway service in Tokyo metropolitan area has aimed on a convenience improvement and direct thorough operation up to now and maintenance has been advanced recently. The railway maintenance in Tokyo metropolitan area was roughly completed by starting operation Tokyo Metro Fukutoshin line in 2008. It will be possible to reach his/her destination according to time table. For example, the platform door is maintained, the railroad crossing is made an overpass, and the improvement of the redundancy, etc. It is necessary to calculate the convenience for the time required reliability improvement to examine social economy validity of this maintenance. Then, the WTP function of the time required reliability to consider a redundancy index was examined in this research.