

輸送障害に遭遇した旅客の経済損失評価法

武藤 雅威* 柴田 徹**

An Evaluating Method for an Economic Loss of the Passengers Who Encountered with Rail Transport Disorders

Masai MUTO Toru SHIBATA

This study has focused on an evaluating method for an economic loss of the passengers who encountered with rail transport disorders. We developed a selective model for passenger behaviours, for two major actions taken either an alternative route or patiently waiting for train services to be resumed. The time value at the time of the disorder is calculated by a model parameter ratio between the travel time and the fare. We accordingly proposed a new evaluation index, which indicated the amount of loss as calculated by the product of the time value and the loss time of total passengers.

キーワード：輸送障害，経路迂回，振替輸送，経済損失，時間評価値，非集計ロジットモデル

1. はじめに

人身事故などの発生により鉄道路線に輸送障害が起きると、その列車に乗車中、もしくはこれから乗車する予定の旅客に対して、時間や費用の損失というような影響を少なからず与えることがある。不特定多数の利用者が広域にわたり存在する都市鉄道では、その損失規模の総数は莫大なものとなる。国土交通省の交通政策審議会陸上交通分科会鉄道部会での答申においては、「輸送への影響を最小化することが求められており、効率的な対策を実施すべく、総遅延時分をはじめとする新たな評価指標について、検討をすることが必要である¹⁾」と指摘されており、輸送障害に伴う影響度の定量化についての関心が社会的にも高まっている。

本研究では輸送障害による被害の程度を旅客の経済損失の観点から評価するために、輸送障害に遭遇した旅客の不効用をモデル化し、経済損失を定量化することで、その評価法（評価指標）を確立することを目的とする。

2. 輸送障害遭遇時における不効用のモデル化

輸送障害に遭遇した旅客の不効用値を求めるには、旅客の選択行動を再現できるようなモデルを構築する必要がある。前段の研究「ダイヤ乱れ時の利用者デマンド予測手法²⁾（以下、前研究）にて、輸送障害による運転中断に遭遇した旅客が「経路迂回をする」か「運転再開を待つ」かの選択行動に着目し、その経路選択モデルを非集計ロジットモデル型式にて構築することで、不効用

値の算出を試みている。この研究では、「運転再開を待つ」という選択に関わる所要時間を、“平常運転時の所要時間（乗車時間＋乗換時間）”に、その旅客が想定する“運転再開までの見込み時間”を足し合わせたものと定義している。さらに、実際に発生した輸送障害時に自動改札機で捕捉した時間帯ごとの駅間OD輸送量データを用いて、構築したモデルが運転中断時の選択行動をほぼ忠実に再現できることを検証している。ただし、このモデルに採用した説明変数は所要時間に関する変数のみで、このほかには他社線への迂回時にかかる不効用をダミー変数（迂回で他社線を利用＝1，自社線のみ＝0）として表現するに過ぎなかった。旅客の経済損失を算出するためには、このモデルに迂回に要する運賃を新たに説明変数として加える必要がある。これにより、時間のパラメータ（1/分）を運賃のパラメータ（1/円）で除すること（選好接近法による算出）で輸送障害時の時間評価値（円/分）が算出できる。この評価値を用いて、輸送障害に遭遇した全旅客が待たされた総時間を費用換算することで、経済損失の評価指標としたい考えである。

ここで、輸送障害に遭遇した旅客が損失した時間は、元々行う予定であった労働などに費やされるものであるから、平常運転時の時間評価値を用いて算出しても構わないとの考えもあろう。その一方で、選好接近法で算出される時間評価値とは、時間の節約によって享受し得る便益を貨幣表示したもの³⁾であるから、輸送障害時には、旅客は当初のタイムスケジュールどおりに予定していた行動をとりたいため、平常運転時よりも高い対価を支払う意思を持つことも予期され、時間評価値が同質ではないとの考えもある。よって本研究では、選好接近法により算出された平常運転時と輸送障害時の両者における時間評価値の比較を併せて試みることにする。

* 輸送情報技術研究部（交通計画）

** 人間科学研究部（安全性解析）

特集：輸送情報技術

3. 輸送障害遭遇時の行動を把握するための調査

3.1 調査概要

輸送障害遭遇時に旅客が実際に起こした行動を把握するため、遭遇した当日中に回答できるような調査システムとして、前研究と同様にインターネットを利用したアンケート調査（以下、Web調査）を適用した。その方法は、以下のとおりである。

予めWeb調査会社に登録しているモニタ会員に対して、自身が輸送障害に遭遇した場面での即日回答を依頼しておく。京阪神圏での駅や電車内で、人身事故や鉄道設備の故障、災害の影響などで、5分以上電車が来ない、もしくは電車が動かないというような運転中断に遭遇し、次のような体験をした会員から回答を得た。

- (1) 運転が再開されるのを待った（以下、「待ち」）
- (2) 他の鉄道路線に乗り換えた（以下、「迂回」）
- (3) 徒歩もしくはバスやタクシーに乗り換えるなど、鉄道を利用しなかった（以下、「他機関」）
- (4) 行くことをやめた（以下、「とりやめ」）

Web調査の主な設問を表1に示す。遭遇日時や利用予定の経路（利用路線と乗換駅）、利用券種、輸送障害の原因などの基本的な利用・遭遇状況のほか、運転再開までの見込み時間「運転再開まで何分かかると思ったか（聞いたか）」を尋ねている。振替輸送制度については、認知度や利用経験の有無について尋ねている。また行動結果が「待ち」の人には、経路迂回することも考慮したか、さらに、もし迂回した場合の想定経路までを尋ねている。「迂回」の人には実際に迂回した経路のほか、その時に振替輸送を利用したか、利用しなかった人には支払った追加運賃額を尋ねている。

Web調査での回答期間は2007年11月18日から2008年2月29日までとし、各会員には調査期間内に一度のみ回答を許す方法により、計2,684サンプルを取得した。大都市圏での鉄道利用頻度が比較的多いと思われる20～50歳代の現役世代を中心にサンプルを取得している。目的別では、出勤や登校、私用先へ行く、その帰宅など日常的な利用時が多いことがわかっている（図1）。また、サンプルを多く取得できた輸送障害発生日の原因・状況を調査したところ、人身事故などの発生により多くの運休本数が発生し、数万人以上に影響が及ぶような規模の輸送障害事例を含んでいることがわかっている。

3.2 集計分析結果

まず、行動結果別の集計値を図2に示す。今回調査した京阪神圏では、あくまでも鉄道を利用する「待ち」と「迂回」で全体の92%を占めている。「待ち」は全体の76%で、そのうち迂回経路があると認知していた人は全体の31%程度である。図3に示す首都圏調査（前研究で実施

表1 Web調査での主な設問

遭遇時の状況
日時、移動目的、出発地・到着予定地 利用予定経路、その利用頻度 利用券種（普通券、定期券、回数券、フリーキップ、その他） 輸送障害の原因、輸送障害を知った場所 到着地変更の有無、その時の振替輸送の有無 （自己予測もしくは情報提供による）運転再開までの見込み時間
振替輸送制度
認知度（よく知っている、ある程度、言葉は知っている、全く知らない） 過去の利用経験の有無
行動結果
行動結果（待ち、迂回、他機関、とりやめ） 待ちの追問 迂回考慮の有無、もし迂回した場合の経路 迂回の追問 迂回経路、振替輸送利用の有無、支払追加運賃

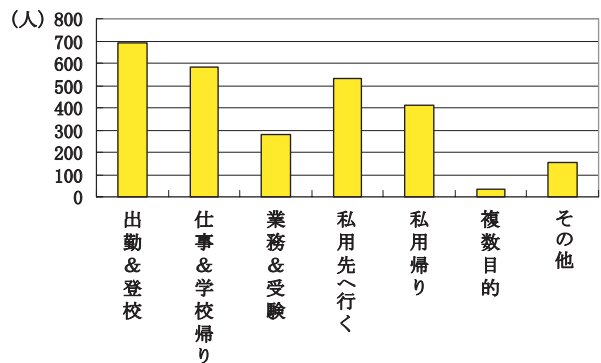


図1 移動目的別サンプル内訳

～2,534サンプル）と比較すると、「待ち」と「迂回」の合計ではともに90%を超えているが、京阪神圏では「迂回」の割合が少ない。ただし、「待ち」の人の中で迂回経路を認知している人を加えると、迂回の可能性を有する人となり、それぞれ47%と49%でほぼ等しい。京阪神圏では迂回経路を認知していながらも、実際に「迂回」する人の割合が少ないことがわかった。鉄道路線が輻輳し、多岐多層の鉄道網を利用して迂回しやすい首都圏に対し、京阪神圏では並行路線への迂回機会が多いため、並行駅へのアクセス性（距離）により迂回行動へ影響が及ぶことなどが理由として考えられる。

また首都圏調査と同様に、京阪神圏でも「他機関」と「とりやめ」は少数派に過ぎないことがわかった。

旅客が想定・入手した運転再開見込み時間と行動結果とのクロス集計結果（図4）では、約9割の人が何らかの時間を自ら予測しているか、もしくは情報を入手しており、15分以内は「待ち」、30分以上は「迂回」の傾向

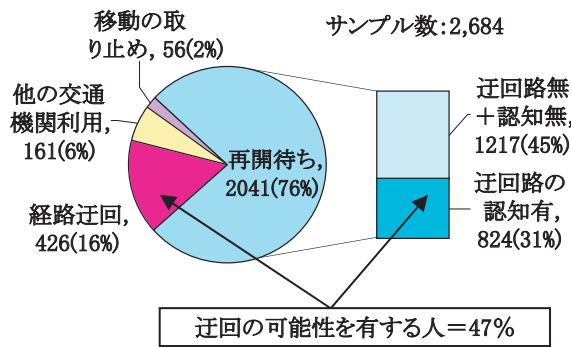


図2 行動結果（京阪神圏）

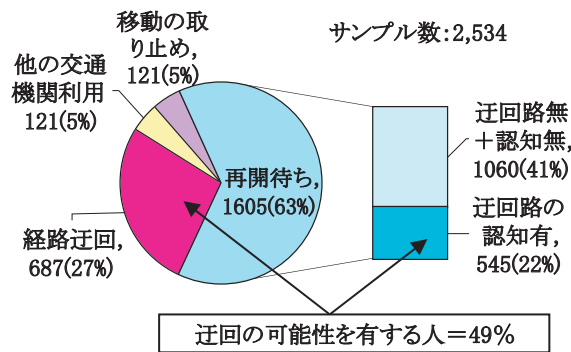


図3 行動結果（首都圏）

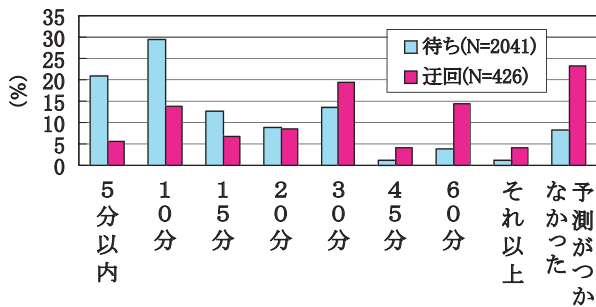


図4 運転再開見込み時間と行動結果

にあることがわかる。

次に、振替輸送制度に関する設問の集計結果を示す。サンプル全体での認知度では、「よく知っている」と「ある程度知っている」を合わせて77%もあり、認知度は高いようである（図5）。また、振替輸送制度を「よく知っている人」では、輸送障害遭遇時において実際に振替輸送を使った人が170人中、105人（62%）も存在しており、認知度が高いほど利用率も高くなる傾向が現れている（図6）。

さらに「迂回」の人に対しては、実際に振替輸送票を利用したかどうか、利用しなかった場合はその追加支払運賃額を尋ねている（図7）。その集計結果によると、65%が振替輸送票を利用（迂回運賃が無料）もしくは利用しなくても追加支払額が0円だったと回答している。言い換えれば、35%が運賃の自己負担を伴いながら迂回をしていることがわかった。また、迂回経路があることを認

知していながらも「待ち」の行動をとった人に対して、“もし迂回をした場合にいくらの追加運賃がかかると思うか”を尋ねた設問では、無料と思った人は36%に過ぎず、48%の人は追加運賃がかかることを予想しているという結果を得ている（図8）。

このように、「迂回」か「待ち」かの行動結果を問わず、迂回することに対して追加支払運賃を考慮している旅客

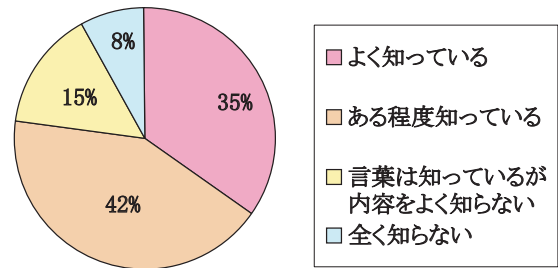


図5 振替輸送制度の認知度

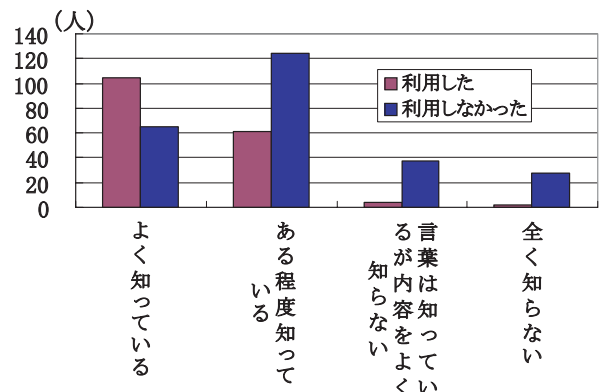


図6 認知度と利用有無（迂回者のみ）

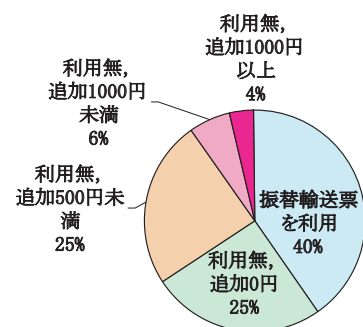


図7 「迂回」の追加運賃支払実績

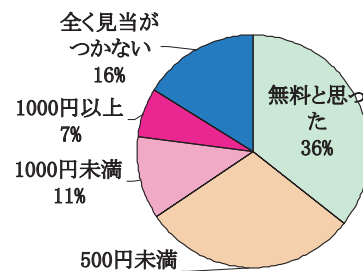


図8 「待ち」の追加運賃予想額

特集：輸送情報技術

が相当数存在していることが判明した。このことは、「迂回」か「待ち」かの行動選択モデルに、新たに迂回に要する運賃を説明変数として加えることが可能であることを示唆しているものと考えられる。

4. モデル構築による時間評価値の算出

集計分析結果を踏まえて、「迂回」対「待ち」の行動選択モデルを構築する。図2で示したように、鉄道への「迂回」は426サンプルであるが、「他機関」の161サンプルのうち、バスなどの公共交通機関を利用して迂回したサンプルをモデル構築用に加えて、迂回側として計587サンプルを抽出した。一方、「待ち」のサンプルのうち、迂回経路を認知しており、迂回の可能性を有するものが824サンプルであり、これを待ち側とした。ただしこの両方で、回答された迂回経路が不明瞭なもの、迂回経路が主として公共交通機関以外（徒歩、二輪車、自動車、タクシー）を利用するもの、幹線を利用した広域な迂回で京阪神圏外の路線での行動結果を回答したものなど、分析対象としてそぐわないサンプルを除外した。

以上の抽出作業により、「迂回」で381サンプル、「待ち」654サンプル、合わせて1,035サンプルを分析対象サンプルとした。これらのサンプルを用いて、「迂回」対「待ち」の行動選択モデルを構築して、時間と運賃のパラメータを算出する。このモデルには、前研究と同じく非集計ロジットモデルを用いた。本研究では、時間評価値をできるだけ正確に算出するため、効用関数の説明変数を所要時間と運賃、定数項のみとし、他の要因からの影響を排除することとした。モデルの効用関数と選択確率式を式(1)、(2)に示す。また、時間評価値(円/分)は式(3)で算出できる。

$$U_m = \sum_k \beta_k \cdot X_{km} + \alpha \tag{1}$$

U_m : 経路 m ($m=1$: 迂回, $m=2$: 待ち) の効用
 X_{km} : k 番目の説明変数 ($k=1$: 時間, $k=2$: 運賃)
 β_k : 各パラメータ
 α : 迂回に係る定数項

$$P_1 = \frac{e^{U_1}}{e^{U_1} + e^{U_2}} \tag{2}$$

P_1 : 迂回の選択確率
 $U_{1,2}$: 迂回, 待ちの効用
 e : 自然対数の底

$$\omega = \beta_1 / \beta_2 \tag{3}$$

ω : 時間評価値 (円/分)
 β_1 : 時間のパラメータ (1/分)
 β_2 : 運賃のパラメータ (1/円)

「待ち」経路の所要時間は前研究と同様に、その平常運転時の所要時間に運転再開見込み時間を足し合わせた時間と定義した。「迂回」経路の所要時間は、その平常運転時の時間である。

一方、迂回に要する追加運賃についての基本的な考え方は、以下のとおりである。

- (1) 自社線内での迂回→無料
 - (2) 自社線から他社線への迂回
 - (a) 振替輸送実施時→無料
 - (b) 振替輸送をしていない時
 - ① 定期券→「迂回」運賃分
 - ② 普通券→「待ち」と「迂回」の運賃差額分
- モデルでは時間と運賃のパラメータが有意性・安定性を保持していなければ、正確な時間評価値を算出できない。非集計モデルの構築経験から言えば、分析サンプルの中に、時間差や運賃差が極端に大きいものや、明らかに逆の選択をしているような特異的なサンプルが多く存在することにより、モデル全体に係るパラメータに影響を及ぼすことが懸念される。本研究では、分析対象の

表2 時間評価値算出モデルのパラメータ算出と検定結果

回目	時間の パラメータ	時間の t値	運賃の パラメータ	運賃の t値	定数項 パラメータ	定数項 t値	時間 評価値	尤度比	t値 検定	トンプソンの 棄却検定
1	-0.043	-9.51	-0.0015	-2.82	-0.89	-8.02	29.3	0.316	○	○
2	-0.047	-9.91	-0.00087	-1.83	-0.84	-7.76	54.5	0.300	×	—
3	-0.043	-9.52	-0.0014	-2.57	-0.83	-7.71	30.9	0.300	○	○
4	-0.044	-9.49	-0.00089	-1.84	-0.84	-7.68	49.3	0.296	×	—
5	-0.046	-9.85	-0.00061	-1.22	-0.95	-8.50	74.5	0.313	×	—
6	-0.049	-9.65	-0.0017	-2.71	-0.82	-7.26	29.2	0.326	○	○
7	-0.050	-10.3	-0.0010	-2.15	-0.89	-8.03	49.6	0.316	○	×
8	-0.044	-9.59	-0.0013	-2.38	-0.83	-7.62	34.5	0.304	○	○
9	-0.047	-9.75	-0.0015	-2.87	-0.77	-7.02	30.3	0.308	○	○
10	-0.046	-10.1	-0.00083	-1.64	-0.92	-8.16	55.7	0.314	×	—

注1) 時間評価値の単位は円/分

注2) 尤度比とは、モデル全体の適合度を示す指標で高いほど良く、通常0.2～0.3以上あれば問題ない

1,035 サンプルから 700 サンプルをランダムに複数回抽出して複数個のモデルを構築し、パラメータの有意性を検定することで安定的なパラメータを得ることを試みた。700 サンプルの内訳は、Web 調査時のサンプル比「迂回」(鉄道+バス)：「待ち」=36:64 から、「迂回」252 サンプル、「待ち」448 サンプルとした。モデル構築回数は 10 回とした。結果を表 2 に示す。

パラメータの有意性を表す t 値をみると、時間パラメータの t 値は全てのモデルにおいて、絶対値で 1.96 (5%水準) を超えており、全てに有意性が認められるが、運賃パラメータでは 6 つのモデルのみに有意性が認められた。このように、時間パラメータは安定性を有するが、運賃パラメータには抽出したサンプルによってバラツキがあることがわかった。

さらに、t 値が有意となった 6 つのモデルで算出した時間評価値に異質性がないかをトンプソンの棄却検定 (Thompson test~異常値かどうかを判断する統計的手法) により判定した。その結果、7 回目モデルの算出値 (49.6 円/分) は他の 5 つのモデル (29.3, 30.9, 29.2, 34.5, 30.3 円/分) とは「同じ母集団では無い」と判定できるため、分析対象から除外することとした。以上より、京阪神圏で鉄道の輸送障害に遭遇した旅客の時間評価値を 30.8 円/分 (5 つのモデルでの平均値) と算出した。

表 3 平常運転時の時間評価値の算出例 (京阪神圏)

	時間評価値
通勤目的	39.2 円/分 (1.000)
通学目的	13.3 円/分 (0.339)
自由目的	22.2 円/分 (0.566)
業務目的	49.1 円/分 (1.253)

() 内は通勤目的を 1 としたときの比率

表 4 平休日時間帯・移動目的別トリップ数構成比 (%)

時間帯		通勤	通学	自由	業務
平日	朝 (3~9 時台)	67.2	20.2	7.6	5.0
	昼 (10~15 時台)	24.9	10.2	40.5	24.4
	夜 (16~26 時台)	42.1	13.4	31.0	13.6
	全 日	48.4	15.4	23.8	12.4
休日	朝 (3~9 時台)	37.0	5.8	53.0	4.2
	昼 (10~15 時台)	10.1	2.4	85.1	2.4
	夜 (16~26 時台)	15.1	2.8	78.7	3.4
	全 日	17.8	3.3	75.8	3.1
通 年*		42.7	13.2	33.5	10.7

*全日のトリップ数比および年間日数 (平日 245 日, 休日 120 日) で加重平均した値

注) パーソントリップ調査ではこのほかに帰宅目的があるが、本表では通勤~業務の 4 目的に按分して加算した

5. 時間評価値を用いた経済損失評価指標の提案

5.1 時間評価値の比較分析

まず、算出した輸送障害時の時間評価値がどの程度の大きさであるのかを評価する。比較対象として、平常運転時における鉄道旅客の時間評価値を鉄道需要予測モデルにて算出した例を紹介する。京阪神圏では、国土交通省の近畿地方交通審議会答申第 8 号 (2004 年) で用いられた需要予測モデル⁴⁾において、選好接近法にて移動目的別の時間評価値を算出した例がある。その時間評価値を表 3 に示す。

また、第 4 回京阪神都市圏パーソントリップ調査 (2000 年) によると、鉄道旅客 (乗車時) における平休日時間帯・移動目的別のトリップ数構成比は表 4 に示すとおりである。この通年の構成比をもとに「近畿地方交通審議会需要予測モデル」の移動目的別時間評価値を加重平均したところ、全目的での時間評価値は 31.2 円/分と算出された。本研究において輸送障害時の時間評価値を 30.8 円/分と算出しているため、平常運転時と輸送障害時の時間評価値はほぼ同等の値をとることとなった。これにより、首都圏などの他地域における輸送障害時の時間評価値についても、平常運転時の評価値を準用できる可能性があると考えられる。

なお、本研究にて算出した時間評価値は、公共交通機関を用いた迂回行動のみを想定した場合での数値であることに留意する必要がある。実際の迂回行動には、タクシーで長距離を移動するなど、時間評価値が特段に高いと考えられる状況も出現するが、本研究では特異的な手段と考え、分析対象外としたためである。

5.2 平休日時間帯別の時間評価値の推定

より精緻な評価指標とするために、時間評価値を平休日時間帯別に細分化する。本研究にて算出した時間評価値 30.8 円/分を平休日全時間帯 (全日) での平均値と見なして、交通審議会需要予測での目的別時間評価値の比率 (表 3)、およびパーソントリップ調査での平休日時間帯・移動目的別トリップ数構成比 (表 4) の各データか

表 5 平休日時間帯別の時間評価値

時間帯		時間評価値
平日	朝 (3~9 時台)	32.8 円/分
	昼 (10~15 時台)	31.7 円/分
	夜 (16~26 時台)	31.5 円/分
休日	朝 (3~9 時台)	28.8 円/分
	昼 (10~15 時台)	24.1 円/分
	夜 (16~26 時台)	25.1 円/分
全日平均		30.8 円/分

表6 総損失額の試算結果

路線・原因	X線人身事故	Y線人身事故
発生時期	2008年夏	2008年秋
遅れ本数	120本	22本
最大遅れ時間	75分	64分
運休本数	53本	19本
影響人員	87千人	28千人
総影響時間	2,384千人・分	557千人・分
発生時間帯	平日昼・夜	平日夜
時間評価値	31.5円/分*	31.5円/分
総損失額	75百万円	18百万円

*平日昼と同夜の評価値を時間帯毎の影響人員数で加重平均

ら、京阪神圏の鉄道旅客が輸送障害に遭遇した時の平日時間帯別の時間評価値を表5に示すように推定した。

5.3 経済損失評価指標の提案と試算例

経済損失の評価指標として、輸送障害に遭遇した全旅客が待たされた総時間（以下、総影響時間、単位：人・分）を時間評価値で費用換算して求めた総損失額（円・人）を提案する。算出方法を式(4)に示す。

$$\text{総損失額 (円・人)} = \text{時間評価値 (円/分)} \times \text{総影響時間 (人・分)} \quad (4)$$

総影響時間については、影響に関わる列車本数を運転再開までとするか、ダイヤ復旧までとするかなど、鉄道事業者により定義や算出方法が異なっているのが実状である。このため本研究では、ダイヤ復旧までの影響人員、運休本数、総遅延時分、遅延本数などのデータを元に輸送障害一件毎に総影響時間を概算し、その一例として用いることとした。

実際に発生した輸送障害一件毎の総損失額の試算結果を表6に示す。このように、列車の運休が数十本に及ぶような輸送障害では、旅客の総損失額が数千万円にのぼることが判明した。

前述のとおり、鉄道事業者により総影響時間の考え方が異なるため、本指標は一事業者において輸送障害の規模を金額的に把握するための部内評価に用いられることを想定している。

6. まとめ

本研究で得た知見と考察を以下に集約する。

- (1) 輸送障害による被害の程度を旅客の経済損失の観点から評価する手法として、輸送障害遭遇時の時間評価値と、乗車中もしくは乗車予定の全旅客が待たされた総影響時間との積で算出される総損失額で示す経済損失の評価指標を提案した。

- (2) 前研究で開発した、輸送障害に遭遇した旅客が経路迂回するか、運転再開まで待つかの行動選択モデルに、迂回運賃の概念を加え、時間と運賃のパラメータ比で計算する選好接近法を用いて、京阪神圏の鉄道旅客における輸送障害時の時間評価値を全時間帯平均で30.8円/分と算出した。

- (3) 平常運転時と輸送障害時の時間評価値はほぼ同等との分析結果を得た。ただし、公共交通機関を用いた迂回行動のみを分析対象とした場合の算出値であることに留意する必要がある。

- (4) パーソントリップ調査などのデータを用いて、平日時間帯別の時間評価値を推定した。これにより、輸送障害で列車運行に影響が及んだ時間帯毎に異なる評価値を用いることで、より精緻に総損失額を算出することができる。

- (5) ある路線で発生した人身事故の影響で列車の運休が数十本に及ぶような輸送障害例において総損失額を試算したところ、その総額は数千万円にのぼることが判明した。

本研究で提案した評価指標は、“お客様にどの程度迷惑をかけたか”という輸送障害の規模を示す指標として用いるほか、例えば、輸送障害対策として施工する設備投資の判断などに活用できると考えられる。

文献

- 1) 国土交通省交通政策審議会陸上交通分科会鉄道部会：環境新時代を切り拓く、鉄道の未来像、www.mlit.go.jp/common/000017980.pdf, 2008
- 2) 武藤雅威：運転再開時における旅客数の予測手法の開発、鉄道総研報告, Vol.22, No.6, pp.17-22, 2008
- 3) 澤喜司郎：交通計量経済学, 成山堂書店, pp.154-158, 1997
- 4) 箕面市北大阪急行線延伸検討委員会：北大阪急行線延伸整備計画策定調査報告書, 2007