利用者の視点からみた鉄道線区重要度評価とその適用に関する事例研究*

A Study on importance evaluation method of railway network on the point of users*

荒川 英司**・井上 晋一***

By ARAKAWA Eiji, INOUE Shinichi

1. はじめに

近年、社会・経済情勢の変化等の要因もあり、社会資本整備の重点は、フローからストックへと変化している。鉄道事業者の設備投資をめぐる状況も同様であり、既存ストックの有効活用が強く求められているところである。一方、安全・安定輸送に対する社会的ニーズの高まりや輸送障害への批判等もあり、利用者利便を確保する意味でも安定輸送の必要性・重要性は高く、今後もより重要になってくると考えられる。

しかし、これらの投資については明確なキャッシュフローの増大が期待できないことから、これまで、定量的な評価及び判断が行われていないのが現状である。しかし、上述したような投資環境を踏まえると、キャッシュフローに影響しないと考えられる設備投資についても、明確な優先順位をつける必要性は高い。

一方、公共事業においては、効率性・客観性が強く求められており、公共投資の各分野で費用対効果分析等の社会経済評価手法を用いた評価が、事業採択の必須要件となっている。このような状況下、運輸分野においても「鉄道プロジェクトの費用対効果分析マニュアル¹⁾」がまとめられ、手法の標準化が図られているところである。

本研究では、以上のような背景を踏まえ、利用者の視点から鉄道リンクの重要度を適切に評価する手法を提案するとともに、輸送障害対策として立案された具体的施策を対象としてプロジェクトの客観的評価に関する事例研究を行うものである。

交通ネットワークの信頼性評価に関する既往の研究事例としては、全国幹線道路ネットワークを対象とした耐震信頼性の評価分析例²⁾や認知被害特性や損失の増幅効果を考慮した耐震要求性能の分析例^{3,4)}、地震発生確率の経過時間依存特性を考慮した

耐震性評価事例⁵⁾等がある。一方、鉄道ネットワークを対象とした事例としては、東海道新幹線の不通時の社会的損出の評価例^{6,7)}等がある。これらの研究事例は、幹線ネットワークを対象として大規模な地震災害等による長期不通時を想定しているものであり、本研究のように都市圏鉄道ネットワークを対象として評価を行った事例は少ない。また、本研究では、事象として日常的に生じている鉄道輸送障害を想定している点、鉄道事業者として行うプロジェクト評価への適用を意図している点が既往の研究事例と大きく異なる点である。

2. 利用者便益を用いた線区重要度評価

従来、鉄道事業者として線区重要度を評価する場合、利用者数(断面交通量)の大小で評価する場合が多い。しかし、利用者の視点に立った場合、線区の重要度は、ネットワークが分断された場合の影響の大小によって評価すべきものであり、これは必ずしも利用者数によってのみ決定されるものではない。

本章では、以上の点に着目し、需要予測モデルによりその影響を定量的に計測し、かつ時間による旅客数の変動を考慮して、利用者の視点からみた重要度の比較・評価を行うものである。

(1) 分析対象

分析対象は、都心に直通する、いわゆる「5 方面」線区とする。

東京圏においては、東京都心に向けて JR を中心に 5 方面の放射状ネットワークが形成されている。これらのネットワークは、周辺環境(周辺の開発動向や沿線居住者の個人属性等)や民鉄・地下鉄との結節や競合等の面でそれぞれ特色を有している。したがって、同一の前提条件の基で比較考察を行うに当たり、事例として適切であると判断し、今回、分析対象とすることとした。

これらの線区については、いずれも朝ラッシュ時を中心に、従来から混雑率の高さが指摘されている。

*Key Words: 鉄道計画, 整備効果計測法, 防災計画

**正会員 工修 東日本旅客鉄道株式会社 東京工事事務所

***フェロー 東日本旅客鉄道株式会社 東京工事事務所

(〒151-8512 渋谷区代々木 2-2-6 Tel 03-3299-7962)

特に、東京 23 区への入り口付近における断面交通量が大きい⁸⁾のが特徴である。今回、5 方面線区を表 1 のとおり定義した。

表1 5方面線区の定義と現状

方面	対象路線	ピーク時の混雑状況	
		区間	混雑率
東海道	東海道	川崎→品川	229%
	横須賀	新川崎→品川	202%
	京浜東北	大井町→品川	237%
中央	中央快速	中野→新宿	225%
	中央緩行	代々木→千駄ヶ谷	99%
東北	東北	土呂→大宮	192%
	京浜東北	上野→御徒町	239%
	埼京	池袋→新宿	212%
常磐	常磐快速	松戸→北千住	216%
	常磐緩行	亀有→綾瀬	229%
総武	総武快速	新小岩→錦糸町	202%
	総武緩行	錦糸町→両国	233%

(2) 分析手法

a) 分析フロー

分析フローを図1に示した。

図1 分析フロー

評価方法としては、需要予測モデルを活用し、ネットワークのある箇所が分断された場合に、利用者に与える影響（転じて、分断が回避された場合に利用者には生じる便益（利用者便益）を定量化し、従来の評価との比較を行う。

需要予測モデルの概要及び利用者便益の計測方法を以下に示す。

① 需要予測モデルの概要

需要予測モデルとしては、一般的な4段階推定法を用いている。このうち、鉄道経路選択モデルは、初乗り・最終降車駅間の鉄道利用経路を目的別（通勤・

通学・私事・業務）に推計する非集計ロジットモデルであり、モデル式は、式(1)に示す通りである。

$$P_{i,rs} = \frac{\exp(V_{i,rs})}{\sum_{j \in J_{rs}} \exp(V_{j,rs})} \quad (1)$$

ここで、

$P_{i,rs}$: 発駅 r から着駅 s への i 番目の経路の選択確率

$V_{i,rs}$: 発駅 r から着駅 s への i 番目の経路の効用

J_{rs} : 発駅 r から着駅 s への利用可能な経路の集合

である。

ここで、効用関数については、説明変数の線形和として平成7年大都市交通センサス調査のトリップデータを用いてパラメータ推計を行ったものである。経路選択モデルパラメータを表2に示した。

表2 経路選択モデルパラメータ

説明変数	単位	パラメータ			
		通勤	通学	私事	業務
乗車時間	分	-0.0943 (-8.09)	-0.0597 (-5.77)	-0.0494 (-2.86)	-0.0499 (-3.29)
アクセス・イグレス時間	分	-0.127 (-11.7)		-0.0583 (-4.30)	-0.0599 (-5.82)
アクセス時間	分		-0.0691 (-6.20)		
イグレス時間	分		-0.0603 (-5.69)		
乗換時間	分	-0.112 (-10.7)	-0.0793 (-8.71)	-0.0722 (-4.15)	-0.0687 (-4.52)
総費用	円	-0.00200 (-3.98)	-0.00388 (-7.14)	-0.00233 (-3.00)	-0.00103 (-1.57)
混雑指標		-0.00869 (-3.34)	-0.00177 (-0.80)		
尤度比		0.390	0.331	0.172	0.156
サンプル数		1218	811	436	357

() は t 検定値

② 利用者便益の計測

利用者便益は、消費者余剰分析法に基づく式(2)の「ショートカット法⁹⁾」により OD ペア毎に計算し、すべて OD ペアについて合算して求める。

$$UB = \sum_z \sum_{rs} \frac{1}{2} (Q_{z,rs}^0 + Q_{z,rs}^1) (C_{z,rs}^0 - C_{z,rs}^1) \quad (2)$$

ここで、

UB : 利用者便益 (円/日)

$Q_{z,rs}^i$: 目的 z の rs 間の流動量 (人/日)

(i は分断なしのときは 1, 分断ありのときは 0)

$C_{z,rs}^i$: 目的 z の rs 間の一般化費用 (円)

である。

なお、OD 間の一般化費用は、経路選択モデルで得られた効用関数を基に、式(3)に示すログサム変数を用いて算定するものとする。また、時間評価値につ

いては、選好接近法の考え方にに基づき、経路選択モデルのパラメータから得られる時間評価値を使用する。

$$LS_{rs} = \frac{1}{\theta} \ln \sum_{j \in J_{rs}} \exp(V_{j,rs}) \quad (3)$$

ここで、

LS_{rs} : 発駅 r と着駅 s との間のログサム変数

$V_{j,rs}$: 発駅 r から着駅 s への j 番目の経路の効用

J_{rs} : 発駅 r から着駅 s への利用可能な経路の集合

θ : 効用関数の費用にかかるパラメータ

である。

本来、ネットワークの分断が回避された場合、その供給者便益を計測すべきである。しかし、現実の輸送障害を想定した場合、不通となる時間が短いケースでは JR と民鉄・地下鉄との間で振替輸送（例えば、JR で輸送障害が起こった場合、JR の定期券や乗車券を所有していれば、その定期券や乗車券によって目的駅まで民鉄・地下鉄を乗り継いで行くことができる制度）を実施するため、実際の輸送量の減少と比較して供給者便益（供給者の収入減少額）は小さくなる。一方、地震災害や降雨災害等によって長期間に亘り不通が継続するケースでは、輸送量の減少に従って供給者の収入も減少となる。

このように供給者便益は、想定する事象及びその場合に適用される運賃制度等に依存しているため、今回は算定対象外とした。

b) 分析方法

(1)で定義した 5 方面線区において、ある区間が分断される場合と通常運行の場合のそれぞれのケースについて、終日の輸送量を予測し、分断が回避される場合に生じる利用者便益（1 日当り）を計測する。今回、対象としたのは、概ね表 1 に示す区間であり、各方面において断面輸送量が最大となる区間とした。なお、それ以外の区間は通常運行と仮定した。

(3) 分析結果

a) 1 日当りの利用者便益と線区重要度評価

1 日当りの断面輸送量（実績）と利用者便益を計測した結果を表 3 に示した。

利用者便益が最大となる方面は、東北方面であり、約 5.6 億円／日と計測された。一方、東海道方面は約 2.4 億円／日であり、両者を比較すると便益比は約

2.4 倍となる。すなわち、あくまで特定区間毎の評価ではあるが、利用者の視点に立った場合、東北方面は東海道方面の 2 倍以上重要であり、その防災強度を上げる必要があると考えることができる。

一方、断面輸送量で単純に重要度を評価した場合、東北方面は、東海道方面の約 1.1 倍重要であると評価できるが、これは利用者便益による比較結果（約 2.4 倍）と比べ、過小評価していることになる。

このような差異が生じる要因としては、線区利用者の旅客流動特性（都心指向、線区内々といった OD 分布の差異）と私鉄等のネットワークによる代替性（リダンダンシー）の有無が考えられる。

表 3 断面輸送量と利用者便益比較

方面	断面輸送量 (人／日・往復)	指数	利用者便益 (百万円／日)	指数
東海道	1,244,009	100	237	100
中央	1,006,825	81	159	67
東北	1,411,457	113	563	237
常磐	987,717	79	186	78
総武	988,304	79	217	91

※指数は、東海道線を 100 とした場合

b) 時間帯別利用者便益と線区重要度評価

次に、時間帯別の利用者便益の評価について考察することとする。各鉄道線区においては、時間帯によって旅客流動やその集中度合いが異なっている。したがって、時間帯別の線区重要度を評価した場合、1 日当りの結果と比較して線区別の大小が変動している可能性がある。また、具体的に輸送障害の復旧や防災計画の立案を考えた場合、時間帯による線区重要度の変化を意識して優先順位づけを行う必要がある。以上のような理由から今回、時間帯別分析を行うこととした。

輸送量の時間帯分布については、ラッシュ率（時間帯毎の終日輸送量の集中率；社内データ）として把握されている。本来、時間帯別に分析を行う場合、旅客流動の時間帯毎の変化（OD トリップの変化）やその時間帯での列車運行ダイヤを考慮した上で需要予測及び便益計測を行うべきであるが、属性や目的を特定した輸送量の時間帯分布を把握することは困難である。

したがって、ここでは、ラッシュ率に比例して利用者便益が変動するものと単純に想定し、時間帯別便益を計測することとした。

以上の前提で、各方面の時間帯別の利用者便益

を計測した結果を表4に示した。

首都圏の場合、各線区別の輸送量の時間分布に大きな差異がないため、時間帯別に利用者便益の大小が大きく異なることはない。しかし、例えば、4:00～7:00における東北線の重要度(東海道の約4.6倍)は、7:00～9:00(約2.5倍)と比較し、相対的に高いといえることができる。

表4 時間帯別利用者便益比較

時間帯	東海道	中央	東北	常磐	総武
4:00～7:00	100	98	462	204	205
7:00～9:00	100	59	248	82	85
9:00～17:00	100	74	206	65	75
17:00～19:00	100	58	260	79	102
19:00～1:00	100	67	237	78	91

※指数表示。指数は、東海道線を100とした場合

(4)まとめ

本章では、利用者の視点から線区の重要度を評価するため、利用者便益を用いた手法の提案とそれを用いた事例分析を行った。ただし、今回の評価結果は、あくまで特定区間の評価である点に注意を要する。

本章の結果及び分析プロセス上で抽出された課題は、以下の点である。

- ・ 分断の事象(地震、踏切事故、人身障害等)を特定した分析と発生確率を考慮する必要がある。
- ・ 事象毎の輸送形態(折返し運転)を考慮する必要がある。

3. プロジェクトへの適用事例

本章では、2(4)に示した課題解消を図り、具体的なプロジェクトへの適用事例を示す。

事例としては、輸送障害が生じた場合の影響を最小限に抑えることを目的とした、折返し設備新設プロジェクトを対象として、その効果を定量的に把握し、代替案の客観的評価を行う。

これまで文献¹⁰⁾等においては、輸送障害発生確率を仮定した費用便益分析を行っているが、評価は発生確率に大きく依存する結果となっている。そのため今回、過去の実績から発生確率を算定して評価を行うこととする。

(1)分析対象

評価対象は、JR 総武・中央緩行線(千葉～三鷹間)の輸送障害対策プロジェクトとする。当路線は、

現在千葉方面への折返し設備が限られており、障害時の不通区間が大きいことを問題視し、新たに分岐器を新設する検討が行われた。代替案は、図2に示した4箇所を候補とした。

- Case1 水道橋駅 Case2 御茶ノ水駅
Case3 秋葉原駅 Case4 錦糸町駅

図2 折返し設備の現状及び検討箇所

(2)分析方法

分析フローを図3に示した。

図3 分析フロー

利用者便益・供給者便益については、輸送障害発生時、投資なしの場合に発生する損失(利用者・供給者)と投資ありの場合に発生する損失との差である。評価は費用便益分析により行うこととし、評価指標は、NPV(Net Present Value; 純現在価値)、CBR(Cost Benefit Ratio; 費用便益比)とする。

(3)前提条件

a) 需要予測

需要予測モデルの概要は以下の通りである。

①予測手法

2(2)a)①に示した4段階推定法による。

②予測年次

基準年次として平成7年の輸送量を予測する。なお、将来の輸送量の変動は考慮しない。

③予測対象範囲

1都3県＋茨城県南部の概ね東京70km圏の鉄道輸送量を予測対象とする。

④ネットワーク

基本となる東京圏の鉄道ネットワークは、平成7年時点とする。

b)費用便益分析

費用便益分析の手法については「鉄道プロジェクトの費用対効果分析マニュアル¹⁾」に準拠する。

①利用者便益の計測

2(2)a)②に示した手法による。

②供給者便益の計測

供給者便益については、以下の式(4)に基づいて算定する。

$$SB = \sum_z \sum_{rs} (F_{z,rs}^1 \cdot Q_{z,rs}^1 - F_{z,rs}^0 \cdot Q_{z,rs}^0) - MC \quad (4)$$

ここで、

SB : 供給者便益(円/日)

$Q_{z,rs}^i$: 目的 z の rs 間の流動量(人/日)

(i は投資ありのときは1, 投資なしのときは0)

$F_{z,rs}^i$: 目的 z の rs 間の運賃(円)

MC : 新たに発生する運営費(円)

である。

今回、供給者便益としてはJRの便益のみを考慮することとし、具体的な便益額の算出については、式(4)の簡便法として投資あり・なしの場合の東京圏全体におけるJRの輸送量(輸送人キロ)変化に運賃率(人キロ当りの収入原単位)を乗じて行う。運賃率については、「有価証券報告書¹¹⁾」により算出した。

供給者便益としてJRの便益のみを計測対象としたのは、鉄道事業者として行うプロジェクト評価への適用を意図したためである。ただし、供給者便益額の想定については2(2)a)②に示した議論を踏まえ、再度検討すべきである。

なお、設備変更としては軽微であるため、運営費変動 $MC=0$ と想定した。

③費用

建設投資額であり、本研究では、簡単のためCase1～4まで一律5億円/箇所とする。

初期費用にあたる建設投資額については、マイナスの供給者便益ではなく、費用として取り扱うこととした。

④計算期間:30年間

⑤社会的割引率:4%

利用者便益・供給者便益については、終日の予測結果から得られる計測値に輸送障害発生確率を乗じることによって得られる年間便益の期待値を用いて評価する。

(4)輸送障害発生確率

輸送障害発生確率については、図2に示した折返し設備の新設予定箇所によって分割した区間毎に輸送障害発生の実績データ(1987～1999年;社内データ)を基に算定した。

東京圏のような列車間隔が密な鉄道線区の場合、ひとつの輸送障害で発生する遅延時間の最大値よりもその影響により遅延した列車運転間隔分の遅延時間の方が大きい場合が多い。そのため今回、当該区間の輸送障害における①最大遅延時分と、②遅延本数から想定される総遅延時分とを比較し、より大きい方を区間の遅延時分として、総サービス時間(21時間/日×11年間)との比率を「輸送障害発生確率」と定義した。

算定した障害発生確率を表4に示した。

表4 輸送障害発生確率

	営業キロ (km)	輸送密度 (千人)	発生確率 (%)
三鷹～中野	9.4	241	0.15
中野～水道橋	11.3	312	0.48
水道橋～御茶ノ水	0.8	479	0.03
御茶ノ水～秋葉原	0.9	721	0.03
秋葉原～錦糸町	3.4	656	0.12
錦糸町～千葉	34.4	343	0.88

対象とした総武緩行線内での輸送障害の発生確率については、市谷～四ツ谷間及びその隣接区間が高くなっていることや起終点駅(千葉・三鷹)と折返し駅(幕張・津田沼・西船橋・中野)の近接区間がそれ以外の区間より高くなっていることが特徴的である。これは分岐器や折返し列車を降車した旅客の滞留等が輸送障害発生に影響しているためと考えられ、このようなことから表4の区間別の輸送障害発生確率に差異が生じている。

(5)分析結果

表4に示した各区間の輸送障害確率を考慮し、各ケースの費用便益分析を行った結果を表5に示した。

表5 費用便益分析結果

ケース	NPV(億円)	CBR
Case1 (水道橋)	153	33.5
Case2(御茶ノ水)	140	30.7
Case3 (秋葉原)	120	26.5
Case4 (錦糸町)	105	23.2

本研究で想定した前提条件の基で総武線における代替案4案を評価すると、Case1の水道橋における折返し設備新設が最も有効であると判断できる。

Case1～Case4を概観した場合、JRを中心としたネットワークを考えるとCase3(秋葉原)等に優位性が想定される。しかし、輸送障害発生確率が高くなっていること、及びCase1(水道橋)についても地下鉄と結節しており、ある程度のターミナル性を有していること等が要因となり、Case1のNPV・CBRが高くなったものと考えられる。

今回は、所与の代替案の中から最適案を選定するということに主眼を置いた。しかし、投資規模とも関連するが、複数の折返し設備を設けた方が、効果が高いという場合もあり得る。また、物理的制約を無視すれば、今回分析対象としなかった代替案が最適という場合もある。

4. おわりに

本研究では、一事例研究ではあるが、線区重要度評価及び具体的輸送障害対策プロジェクトの定量的評価を行うことができた。今後は以下に示す課題を解消し、より精度の高い評価を行っていく必要がある。

- ・通常時と異常時の旅客流動では、その特性が異なることが想定されるため、異常時の発生集中量の変化や旅客流動特性(時間価値、混雑不効用等)の把握とそのモデル化が必要である。
- ・今回は実績値により輸送障害発生確率を算出しているが、より詳細な区間、発生要因等の分析を行い、汎用性の高い災害発生モデルの構築と適用を図る必要がある。
- ・輸送障害発生に関しては、図4に示す通り、時間変動・曜日変動等による特性が明確に生じており、

その場合の旅客の集中率も異なる。そのため、今後は、これらの事象を含めてより精緻な発生確率算定と、分析・評価を行っていく必要がある。さらに、障害発生から通常運行までに生じるタイムラグを考慮した分析も併せて行う必要がある。

- ・鉄道事業者が活用する評価手法という観点から、キャッシュフロー増大を目的とした設備投資の判断手法であるDCF法(Discounted Cash Flow)との整合が必要であり、割引率等の設定に関する議論と評価手法全般の考え方の整理が必要である。

図4 輸送障害の発生特性

参考文献

- (財)運輸政策研究機構「鉄道プロジェクトの費用対効果分析マニュアル 99」,1999.
- 村木・高橋・家田「利用者便益の視点から見た全国幹線交通ネットワークの耐震信頼性評価」,土木計画学研究論文集,1997.
- 村上・家田「人の被害認知特性を考慮した費用便益分析とネットワーク分析に基づくインフラ施設の耐震要求性能決定法の基礎研究」,土木計画学研究講演集,1999.
- 家田・柴崎・加藤・斉藤「損失の増幅効果を考慮した都市内高速道路高架橋の要求耐震性能の試算」,土木計画学研究講演集,2001.
- GONG・高橋・家田「交通ネットワークの耐震性評価における地震発生確率とその経過時間依存特性の取り込み方法」,第4回都市直下地震総合シンポジウム論文集,1999.
- 浅見「東海道新幹線の長期不通時における社会的損失の評価」,土木計画学研究講演集,2000.
- 谷口・安部・清水「新幹線の途絶が潜在的な航空旅客負荷に及ぼす影響」,土木計画学研究講演集,2000.
- 例えば、(財)運輸政策研究機構「平成11年度都市交通年報」,2000.
- 森杉壽芳「社会資本の便益評価」,劉草書房,1997.
- 荒川・森・熊本・坪田・山崎「費用対効果分析を用いた鉄道輸送障害対策プロジェクトの定量的評価について」,土木計画学研究講演集,2000.
- JR 東日本「第14期有価証券報告書」,2000.

近年、社会・経済情勢の変化等の要因もあり、鉄道事業者の設備投資については、既存ストックの有効活用が強く求められている。一方、安全・安定輸送に対する社会的ニーズの高まりや輸送障害への批判等もあり、利用者利便を確保する意味でも安定輸送の必要性・重要性は高い。

しかし、これらの投資については、これまで、定量的な評価及び判断が行われていないのが現状である。しかし、上述したような投資環境を踏まえると、キャッシュフローに影響しないと考えられる設備投資についても、明確な優先順位をつける必要性は高い。そのため、本研究では、線区重要度評価及び具体的輸送障害対策プロジェクトの定量的評価に関する事例研究を行った。

A Study on importance evaluation method of railway network on the point of users*

ARAKAWA Eiji**, INOUE Shinichi***

In recent years, the meaning of the necessity and the importance of stable transportation which a rise of the social needs to safety and stable transportation, the criticism to a transportation obstacle, etc. are meaningful, and secures user convenience is also high.

However, the present condition is that quantitative evaluation and quantitative judgment are not made about these investment until now. Therefore, in this study, the case study about railroad section importance evaluation and quantitative evaluation of a concrete transportation obstacle measure project was performed.