

# 交通系ICカードを利用した 鉄道輸送障害時の影響を定量化する方法の研究

角田 史記<sup>1,a)</sup> 加藤 学<sup>2</sup> 大塚 理恵子<sup>3</sup> 助田 浩子<sup>3</sup> 大関 一博<sup>4</sup>

受付日 2012年12月20日, 採録日 2013年4月5日

**概要:** 鉄道で輸送障害が発生すると多くの利用者に影響を及ぼすため, 鉄道事業者はその影響を最小化すべく様々なオペレーションを行う。このとき, 利用者が実際に受けた影響から輸送障害を定量的に評価できれば, 利用者視点でオペレーション改善を検討できる。しかしこれまで, 鉄道事業者において輸送障害を評価する方法としては, 運休した列車本数や運転再開時刻等オペレーションにおいて直接把握できるデータが一般的であり, 利用者が受けた影響を確度高く定量化して把握することは困難であった。一方, 急速に普及した交通系ICカードのログデータにより, 利用者の鉄道空間における所要時間を測定することが可能である。本研究では, 交通系ICカードのデータを利用して, 各区間, 各時間帯の利用者群の所要時間を集約して解析することで, 鉄道輸送障害時に利用者群が実際に受けた影響を定量化する方法および鉄道事業者におけるオペレーション改善のための応用を検討した。

**キーワード:** データベース, 交通系ICカード, データマイニング, 鉄道, 運行管理

## A Study for Quantification Method of Passenger's Influence by Railway Accident with Transport IC Card

FUMINORI TSUNODA<sup>1,a)</sup> MANABU KATO<sup>2</sup> RIEKO OTSUKA<sup>3</sup> HIROKO SUKEDA<sup>3</sup>  
KAZUHIRO OZEKI<sup>4</sup>

Received: December 20, 2012, Accepted: April 5, 2013

**Abstract:** When a transport accident occurs, the railway operator performs to minimize the impact of the accident. At this time, if we can quantitatively evaluate the accident influences based on the actual passenger movements, it is possible to improve operations in the user perspective. In these days, transport IC card spread rapidly, railway operators become to get and analyze the log data of the IC card system. In this study, we develop the quantification method of passenger's influence by railway accident and show the application of the indices for improving the rail operation.

**Keywords:** database, transport IC card, data mining, railway, operation

<sup>1</sup> 東日本旅客鉄道株式会社  
East Japan Railway Company, Shibuya, Tokyo 151-8578, Japan  
<sup>2</sup> 株式会社日立製作所日立研究所  
Hitachi Research Laboratory, Hitachi, Ltd., Hitachi, Ibaraki 319-1292, Japan  
<sup>3</sup> 株式会社日立製作所中央研究所  
Hitachi Central Research Laboratory, Hitachi, Ltd., Kokubunji, Tokyo 185-8601, Japan  
<sup>4</sup> 株式会社日立製作所情報・通信システム社  
Information and Telecommunication Systems Company, Hitachi, Ltd., Shinagawa, Tokyo 140-8572, Japan  
a) f-tsunoda@jreast.co.jp

## 1. はじめに

鉄道で輸送障害(自然災害や人身事故等)が発生すると, 鉄道事業者はその影響を最小化すべく様々なオペレーション(時間調整や列車運休の手配等)を行う。特に昨今では, 運転本数の増加や直通運転の実施により, ひとたび発生した輸送障害の影響は大きくなる傾向にあるため[1], これまで以上にオペレーションの工夫が求められている。オペレーションを改善するためには, 輸送障害により利用者が被った影響を定量化して評価し, 時系列的なトレースや過

表 1 確度に関する比較表

Table 1 Comparative Table for Reliability.

手法等	例	データ取得頻度	データ精度	データ量	その他
公的調査	大都市交通センサス	5年に1回	△	△	アンケートベース
鉄道事業者の既存調査	交通量調査	1年に1回	○	×	限られた区間のみ
POINT 手法	論文 [3]	1年に1回	△	×	本研究と目的は同一、手法は異なる
SCORE	本研究	毎日	○	○	分単位で個々の利用者影響を把握

去の同様の事例と比較することで改善点を発見することが重要である。しかし、従来から鉄道事業者において輸送障害を評価する方法としては、運休した列車本数や運転再開時刻等オペレーションにおいて直接把握できるデータが一般的であり、本来ならば最も重視する項目である利用者が受けた影響を確度高く定量化して把握することは困難であった。

交通系 IC カードの利用履歴のうち一部は、ID 管理サーバにデータが蓄積される [2]。このデータログには交通系 IC カードの ID と自動改札機を利用した時刻、駅が記録されているため、利用者の鉄道空間における所要時間を算出することが可能である。したがって、輸送障害発生時の利用者の所要時間と平常時（輸送障害が発生していないとき）の所要時間を比較することで、利用者が通常より余計に要した時間を算出できる。本研究では、各区間、各時間帯の利用者群の所要時間を集約して解析することで、鉄道輸送障害時に利用者群が実際に受けた影響を定量化する方法を導いた。また、この一連の処理により得られる定量的指標を大局的な視点で SCORE (Scale for Customer-Oriented Railway Evaluation, 以下 SCORE) と名付けた。今回対象となる輸送障害発生時だけでなく、提案手法を応用して所要時間等を移動サービスとして定量化可能であり、今後は平常時を含めて鉄道の輸送機関としての能力を評価する手法として発展させることを見込んでいる。

これまでの関連研究として、文献 [3] は輸送障害時の利用者影響を定量化する方向性が同じであるが、影響を受けた利用者数や時間を列車単位でとらえるため、個々の列車の利用者数や運行結果の正確な把握が難しいことから精度が高くない。また、ベースとなる列車乗車人数のデータも 1 年に 1 度の調査データを代表させているにとどまる。文献 [4] には、様々なオペレーション手法が紹介されているが、より良いオペレーションのためには定量的な輸送障害の評価が今後の課題であると記述されている。また文献 [5] は、事故損失時間の評価手法を、高速道路を対象として検討している。文献 [6] は本研究と同様に交通系 IC カードのデータを利用しているが、首都圏のバス利用について検討されており、鉄道に適用はできない。さらに文献 [7], [8] は、交通系 IC カードの利用履歴を解析しているが、利用者の行動解析の議論であり、輸送障害の定量化およびオペレーション改善までの指摘はない。文献 [9] のサーベイ論

文によれば、交通系 IC カードデータの分析により交通機関の移動手段サービス提供能力を測定したものがあがるが、鉄道事業者のオペレーションの評価や改善までの言及や、数十の路線を有するような複雑な鉄道ネットワークを対象にしたものはない。

本研究の使用データの特性に関する優位点を表 1 に示す。質と量ともに高いデータを利用したうえで、推測部分が少なく、様々な入手可能データを組み合わせることで、確度高く輸送障害時における利用者影響の定量化手法を実現した。

本研究の特徴は、以下の 3 点である。1 点目は、交通系 IC カードが導入されている鉄道ネットワーク環境において、交通系 IC カードのログデータを利用して輸送障害時の影響を利用者視点で定量化する手法を確立したことである。これにより、複数の線区を使う利用者が多い大都市圏においても、日々の流動に応じて客観的に輸送障害を比較・評価可能となった。2 点目は、定量化する項目を複数定めたことや時系列で定量化項目をトレースできるようにしたことである。輸送障害の数値化を単なるオペレーションの結果（運休本数、遅れ時間等）だけではなく、実態に合った定量化項目や時系列トレース方法を定めたことで、より実地的なオペレーション改善に資する分析を行うことが期待できる。3 点目は、オペレーション改善に役立てるため、路線や区間、時間帯ごとに過去の輸送障害時のオペレーションと比較するビジュアル分析ツールを作成したことである。実際には、輸送障害は時間的、鉄道空間的に分散して発生し、種類も非常に多様であるため過去との比較がこれまで困難であったが、様々な角度から条件を絞って比較・検討できるツールを実現した。

## 2. 利用者視点での輸送障害の定量化指標

### 2.1 定量的指標 SCORE

#### 2.1.1 SCORE の定義

ある輸送障害の定量的指標 SCORE を以下のように定義する。

$$SCORE = \log \left\{ \sum_{tz=tzs}^{tze} [T_{loss}(tz)] \right\} \quad (1)$$

ここで、 $tz$  は単位時間（たとえば 15 分）ごとのある時間帯、 $T_{loss}(tz)$  はある時間帯  $tz$  における総損失時間、 $tzs$

は影響発生時間帯,  $tze$  は影響終了時間帯である.

### 2.1.2 SCORE の導出

ある輸送障害が発生したとき, 発着駅間  $k$  ( $k = 1, 2, \dots$ ) におけるある時間帯  $tz$  の損失時間  $t_{loss}(k, tz)$  は, 以下である.

$$t_{loss}(k, tz) = pn(k, tz) * [tm(k, tz) - st(k, tz)] \quad (2)$$

ここで, 発着駅間  $k$  におけるある時間帯  $tz$  に入場時刻が含まれる利用者群において,  $pn(k, tz)$  は利用者数,  $tm(k, tz)$  は所要時間分布の中央値,  $st(k, tz)$  は基準時間 (平常時の所要時間分布の中央値) である. 中央値を基準時間とした理由は, 極端に所要時間が短い (たとえば優等列車の利用者), もしくは長い (たとえば駅構内での買い物のための滞在時間が長い) 等の異常なデータの影響を抑えることができるためである.

次に, 輸送障害の影響を受けた可能性のあるすべての発着駅間において, その発着駅間数を  $n$  とすると, ある時間帯  $tz$  に入場時刻が含まれる利用者群のすべての損失時間を合計した総損失時間  $T_{loss}(tz)$  は以下である.

$$T_{loss}(tz) = \sum_{k=1}^n [t_{loss}(k, tz)] \quad (3)$$

さらに, 輸送障害の影響がある時間帯を求める. ある時間帯において輸送障害が発生または終了すると, 前の時間帯と比較して総損失時間が変化する. 一方で, 時間帯によって利用者数は変化する. そこで, 総損失時間  $T_{loss}(tz)$  を, ある時間帯  $tz$  に入場時刻が含まれる総利用者数  $pn(tz)$  で除算した値すなわち 1 人あたりの損失時間  $t_{loss}(tz)_{pp}$  を基準として変化をとらえる.

$$t_{loss}(tz)_{pp} = T_{loss}(tz) / pn(tz) \quad (4)$$

影響発生時間帯  $tzs$  は, 輸送障害発生時刻より前のある時間帯  $tz$  における, 1 人あたりの損失時間  $t_{loss}(tz)_{pp}$  の 1 つ前の時間帯との差  $dt = t_{loss}(tz)_{pp} - t_{loss}(tz-1)_{pp}$  がある閾値を超えた時間帯とした.

影響終了時間帯  $tze$  は, 輸送障害発生時刻より後のある時間帯  $tz$  における, 1 人あたりの損失時間  $t_{loss}(tz)_{pp}$  の前の時間帯との差  $dt = t_{loss}(tz-1)_{pp} - t_{loss}(tz)_{pp}$  がある閾値の範囲内に一定時間以上連続した場合の, 連続した最初の時間帯とした.

これより, ある輸送障害の延べ損失時間  $Total\_T_{loss}$  は以下で求まる.

$$Total\_T_{loss} = \sum_{tz=tzs}^{tze} [T_{loss}(tz)] \quad (5)$$

最後に, 延べ損失時間は数値が大きいため, 地震震度のように 1 桁にすることで大きさを直感的に表現できることをねらい, 対数をとることで  $SCORE$  が導出される.

### 2.1.3 Sub SCORE の定義

$SCORE$  は, 輸送障害の影響を 1 つの数値として示す. しかしオペレーション改善に役立てるためには, 状況に応じてさらに粒度の細かい指標が必要となる. たとえば, 輸送障害が発生した時刻から運転再開時刻までを対象として, ある区間で運行不可であっても他区間で運転を継続できたか等, 限定された状況のもとでもオペレーションの適切さを評価することが求められる. つまり, 異なったオペレーションが求められる運行の時間的な節目で  $SCORE$  を切り分けることで, 問題発見や対策立案に役に立つ可能性がある. ここでは, 運転再開時刻を節目として以下の 2 つの Sub  $SCORE$  を定義した.

#### • Sub $SCORE I$

影響発生時間帯から運転再開時刻までの延べ障害損失時間の対数値で, 発生した時刻から運転再開までのオペレーションが適切であったか判断する目安となる.

$$Sub\ SCORE\ I = \log \left\{ \sum_{tz=tzs}^{tze} [T_{loss}(tz)] \right\} \quad (6)$$

ただし,  $tze$  は, 運転再開時刻を含む時間帯である. これにより輸送障害が発生した路線において, 運転再開時刻までに, たとえば運転を全面的に中止した場合と運転中止区間を除いて折り返し運転を継続するオペレーションのどちらが良いのか評価ができる.

#### • Sub $SCORE II$

運転再開時刻から影響終了時間帯までの延べ障害損失時間の対数値で, 運転再開後から利用者の流動が通常時同様に戻るまでのオペレーションが適切であったか判断する目安となる.

$$Sub\ SCORE\ II = \log \left\{ \sum_{tz=tze}^{tze} [T_{loss}(tz)] \right\} \quad (7)$$

## 2.2 振替輸送に関する考察

ある路線に復旧まで時間を要する輸送障害が発生すると, 特に代替経路となるような路線を運営をしている他の鉄道会社が存在する場合には振替輸送が実施される. したがって, 輸送障害を厳密に定量化するためには振替輸送の影響を算入することが望ましい. しかし, 以下 2 点にあるようにデータ取得範囲の限界と可能な限り推測を避けるため, 振替輸送を含めた影響把握は今後の課題とする.

- 本研究の趣旨は, 現状の取得可能なデータの範囲で輸送障害発生時の影響を定量化することである. 振替輸送が実施された場合, 目的地を変更する等振替乗車票の発行枚数や交通系 IC カードのログデータには表れない流動が発生するので, 振替輸送を利用した利用者数を正確には把握できない.
- 一方で, 振替輸送の影響時間と影響人数は, 平常時と輸送障害発生時の利用者数, 所要時間を比較すること

で算出する方法が考えられる。このとき、影響時間の定量化については本論文中で平常時と輸送障害発生時の比較手法を定義しているが、影響人数については可能な限り推測を避けるため、あくまで取得可能なログデータより利用者数を算出している。

### 3. 定量的指標の具体的な算出方法

#### 3.1 データの整備

##### 3.1.1 移動ログ

利用者が交通系 IC カードを使用した際に改札機で運賃を受受する場合（以下減算処理という）、入場時と出場時の各駅から個別にログがネットワーク経由で ID 管理サーバに蓄積される。まず、利用者の鉄道空間における所要時間を求めるために、ID 管理サーバから改札ログ（カード ID、駅名、時刻、日付、入出場判別）のデータを抽出する。次に、午前 3 時から翌午前 2 時 59 分までを 1 日とした日付ごとに同じカード ID の入場と直近の出場を組み合わせ入出場ログ（移動ログと呼ぶ）を作成した（図 1）。これにより抽出された移動ログは、ある平日 1 日（2011 年 7 月 29 日）の場合、対象鉄道会社の大都市圏ネットワークにおいて約 290 万件（2,861,296 件）となった。なお、ID 管理サーバからデータを抽出した際、前処理としてカード ID についてはデータをハッシュ化して不可逆とした。

##### 3.1.2 乗換マスターデータ

移動ログは入出場駅のデータは含まれるが途中の経路が不明であるため、輸送障害により影響を受けた路線を実際に利用者が通過したか把握できない。そこですべての発着駅間ごとに、所要時間や乗換回数から最も妥当な経路（利用路線の組合せ）を定義しておき、必要に応じて該当データを取り出すこととした。定義した乗換マスターデータは、経路検索エンジンの検索条件として対象鉄道会社のみの経路になり、かつ、待ち時間を含めた平均的な所要時間が最短になるように設定したうえで抽出・加工したデータである（図 2）。

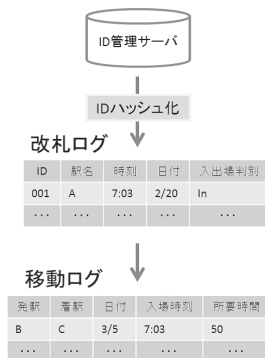


図 1 移動ログの生成

Fig. 1 Generating transfer log.

##### 3.1.3 直通・並行路線マスターデータ

ある路線で輸送障害が発生した場合、相互に乗り入れる他の路線や並行して隣を走る路線にも影響が及ぶことがあるため、その関係を定義したマスターデータ（表 2）を作成した。

##### 3.1.4 基準時間マスターデータ

輸送障害時の所要時間との差分をとる対象として、平常時の利用者群の所要時間分布の中央値を基準時間と名付けた。すべての発着駅間について基準時間を、曜日、月、時間、区間ごとの分類で算出した。具体的には、2010 年 4 月から 2011 年 9 月の期間で全体的に輸送が安定していた日を 150 日選別し、該当日の移動ログから平日と休日別、1 カ月ごと、1 時間ごと、区間ごと（約 20 万区間）に所要時間を集計、その中央値を基準時間としたものを含む基準時間マスターデータを作成した（表 3）。なお、交通系 IC カードで取得できる所要時間分布の中央値と、利用者全体の所要時間分布の中央値は同一であるものと推定している。また、このデータはつねに更新するものではなく、前後 1 年程度は本マスターデータを使用できると考えている。

##### 3.1.5 人数補正マスターデータ

交通系 IC カードのログデータのうち、改札機から ID 管理サーバにアップロードされるのは減算処理をとらなうデータのみである。たとえば定期券の有効区間内での入場や出場等、改札機で減算処理を行わない場合は、そのログが利用できない。したがって全体の影響を推定するためには、取得可能な交通系 IC カードのデータの使用割合を求め、割り戻す操作が必要となる。そこで基準時マスターデータ同様に、約 20 万区間の自動改札機ログから得られた券種の割合データをベースに、区間、時間帯ごとに交通系 IC カード利用者数と全利用者数の割合である人数補正データ



図 2 乗換マスターデータ

Fig. 2 Transfer master data.

表 2 直通・並行路線マスターデータ  
Table 2 Direct and parallel line master data.

路線	直通・並行路線
AAA	BBB
...	...

表 3 基準時間マスターデータ

Table 3 Standard time master data.

月	平・休	発駅	着駅	入場時間帯	基準時間 (分)
9	平	B	C	7:00-8:00	34
...	...	...	...	...	...

を算出した (表 4).

### 3.1.6 輸送障害情報の入力

輸送障害の発生路線, 発生日時, 運転再開時刻は, 鉄道事業者によって手入力で情報として付与される (表 5). なお, 本研究で示す輸送障害を定量化する処理を応用すれば, 障害発生箇所や発生時刻等もデータから推測可能と期待される. しかし, 輸送障害事象を発見することは目的ではないため, 分析する輸送障害は鉄道事業者が指定するものを対象とした. その内容は, 一般的には 30 分以上の遅れが発生, 列車の運休や順序変更等のオペレーションが発生する輸送障害事象であった.

## 3.2 定量的指標 (SCORE) の算出フロー

SCORE 算出処理フローを図 3 に示す.

### (1) 輸送障害情報の入力

発生路線, 発生日時, 運転再開時刻を入力する.

### (2) 輸送障害の空間的な影響範囲である区間情報の出力

直通・並行路線マスターデータを参照して発生路線と関係のある路線をすべて抽出する. 抽出した路線群を乗換マスターデータにある利用路線に突き合わせ, 輸送障害の影響を受けた可能性のある発駅・着駅の組合せを

表 4 人数補正マスターデータ

Table 4 Correcting value for the number of passengers master data.

4 時台	5 時台	...	2 時台
25%	30%	...	20%
...	...	...	...

表 5 手入力による輸送障害情報

Table 5 Railway accident data by railway operator input.

発生路線	発生日時	運転再開時刻
AAA	22:10	23:10
...	...	...

すべて抽出する.

### (3) 影響範囲の移動ログ抽出

輸送障害の時間的な影響範囲については, 交通系 IC カードが利用できる範囲を考慮し, 輸送障害発生日時より 3 時間前から終電後午前 3 時までの入場時刻を持つ移動ログを対象とする. 3 時間前である理由は, 入場時刻を代表として利用者の所要時間データを見る際に 3 時間前からの入場時刻の利用者を見れば, 大都市圏においてもある輸送障害の影響を受ける利用者はほぼカバーできると考えたためである. この時間的な条件と, (2) で抽出した発駅・着駅の組合せを条件として対象の移動ログを ID 管理サーバから抽出する. なお, 実際には移動ログは輸送障害の有無にかかわらずバッチ処理ですでに生成されている.

### (4) 単位時間ごとに集約, 各々の所要時間データ分布から利用者数と中央値を算出

前項の移動ログを入場時刻で単位時間ごとに区切り, 該当人数を計算し, その所要時間分布データの中央値 (中心時間) を算出する. また, 基準時間マスターデータから, それぞれの単位時間ごとに, 該当する発着駅間, 月や平日・休日の区別等輸送障害の日時に対応する基準時間を抽出する.

### (5) 損失時間集計

発着駅や時間帯の組合せ条件をもとに, 前項の移動ログから算出した中央値と基準時間の差から時間帯ごとの損失時間を得る. また, すべての発着駅間の損失時間を加算し総損失時間を得る. このとき利用者数も算出しておくことで, 1 人あたりの損失時間を求める. 2010 年 4 月から 2011 年 9 月までの輸送障害の中から, 首都圏の主要線区において線区内の中央部分で朝と昼に発生した代表的と思われる 4 事例をピックアップして検討した結果, 影響発生時間帯  $tzs$  の算出に利用する閾値は, 1 人あたりの損失時間が 5 分かつ 20% 変化した場合とした. また, 影響終了時間帯  $tze$  は, 1 人あたりの損失時間が, プラスマイナス 5 分かつ 20% 以内の変化が 1 時間以上ない場合とした.

### (6) 全体人数推計処理

前項で算出した総損失時間に対して, 人数補正マスターデータを参照して該当の発駅・着駅の組合せや入場時間帯における割戻し処理を行い, ある時間帯における利用者全体の損失時間を推計する.

### (7) 損失時間集計処理と結果出力

前項で補正した総損失時間を影響発生時間帯から影響終了時間帯まで集計し, 延べ損失時間を求める. さらに対数をとる.

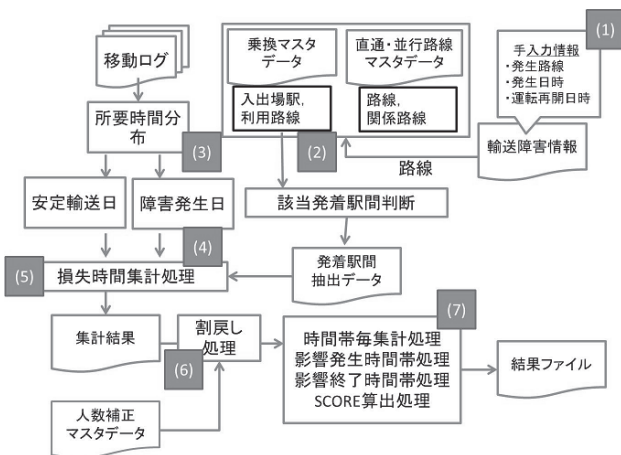


図 3 データ算出処理フロー

Fig. 3 Data calculation process flow.

## 3.3 その他の定量的指標とそのメリット

SCORE や 2 つの Sub SCORE だけでなく, 計算過程に

において算出される数値も輸送障害を把握するうえで重要な要素となる。図4にまとめた。

(ア) 延べ損失時間の時間変化

延べ損失時間の時系列データは、輸送障害の影響の大きさの推移を見ることができるため、オペレーションとの比較でその効果を分析できる可能性がある。図4の左のグラフよりこの輸送障害事例では、延べ障害損失時間が、障害発生時から立ち上がり、ほぼ運転再開時刻でピークを迎えていることが読み取れる。

(イ) 影響人数の時間変化

輸送障害の影響があると判定された駅の組合せのうち、影響発生時間帯から影響終了時刻時間帯の間に入場時刻があるすべての利用者数を単位時間ごとに集計し、割り戻す係数を掛けた時系列データ(図4中)。人数の観点で、輸送障害を分析できる。

(ウ) 1人あたりの損失時間の時間変化

すべての利用者の損失時間を利用者の人数で除算した値の時系列データ(図4右)。利用者数にかかわらず損失時間の推移を見ることができるため、1日の中で時間帯を変えて輸送障害を比較・分析できる。グラフより影響発生時間帯が障害発生時刻の1時間15分以上前であり、かなり前に改札機を通り入場した利用者が、輸送障害の影響を受けていることが分かる。

(エ) 影響発生時間帯

輸送障害発生時刻より、どのくらい前に入場した利用者から影響があったのか把握できる。

(オ) 影響終了時間帯

運転再開後にどれだけ通常の流動に戻るまで時間がかかったのか推定できる。特に列車本数が多い路線に関しては、輸送障害が発生した後でも列車本数が確保され一定の間隔で運転すれば、必ずしも列車が遅れることが利用者に損失を及ぼすことにならないため、ダイヤ回復にこだわらない新たな視点のオペレーション検討を期待できる。

3.4 SCOREによるオペレーション向上の視点

SCOREは、損失時間に人数を乗ずることによって求められるため、損失時間と人数をどのように見てオペレーションを向上させるべきかは、今後も輸送障害に関する視

点、判断軸として議論のポイントとなる。本研究では[人・分]の単位で輸送障害を把握、1人あたりの損失時間や影響人数等複数の視点による分析法を提供する位置づけである。

4. 具体的事例とその考察

鉄道事業者が30分以上の列車の遅れが発生するような比較的大きな輸送障害として記録した2010年4月から2011年9月までの354件の事例についてSCOREを算出し、処理フローの機能を確認した。算出したSCOREの分布を図5に示す。総損失時間10万人・分から100万人・分の間に相当するSCOREが5以上6未満の頻度が高いことが分かる。

また、本研究がオペレーション改善評価や分析に資するか議論するために、線区や時間帯、発生場所等がなるべく同じ条件で、違うオペレーションを行った対照的な事例を用いて、比較、検証を行った。具体的には、首都圏の主要線区の1つで線区内の中央部分で発生した平日の輸送障害について、朝と昼間の2件ずつ事例を示す。表6に具体的な輸送障害の事例、図6に関係線区の路線図、表7に評価指標の計算結果、図7が評価指標の時系列グラフである。

以下のような考察が可能となる。ただし、時系列の軸が入場時刻ベースになっているため、その点を注意しながら見る必要がある。

- 日中時間帯の事例1と2における1人あたりの損失時間を比較すると、事例2の方が損失時間が圧倒的

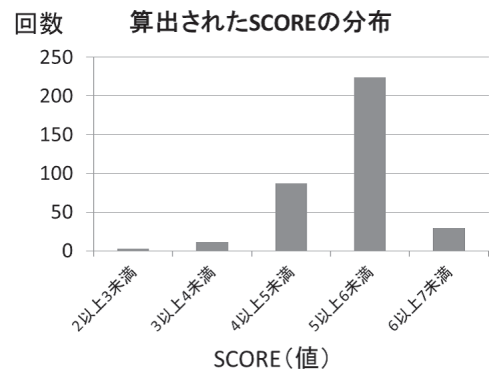


図5 算出されたSCOREの分布

Fig. 5 Distribution for the calculated results of SCOREs.

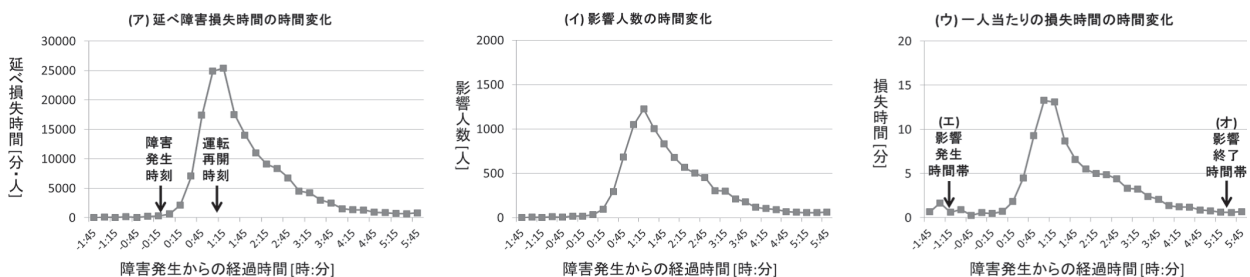


図4 各評価指標の例

Fig. 4 Examples for evaluation indices.

表 6 輸送障害の事例

Table 6 Examples of traffic accident.

事例	発生日	発生時刻	運転再開時刻	線区	概況	オペレーション
1	2010年 2月4日(木)	10:30	11:50	A線	K駅~O2駅間で 人身事故	全線で全面ストップ(折り返し運転無し)
2	2011年 7月15日(金)	13:34	14:32	A線 B線	T駅で人身事故	・折返し運転をK駅(7本), I駅(2本)で行った. ・B線はS2~Y間をD線経由で運転を行った.(8本) ・H1~S1間はC線からの直通運転で輸送力を確保した. ・ダイヤ回復は15:45
3	2011年 5月23日(月)	7:12	8:17	A線	A駅で人身事故	全線で全面ストップ(折り返し運転無し)
4	2011年 6月21日(火)	6:22	7:48	A線 B線 C線	K駅~O2駅間で 人身事故	A線K駅(4本), H2駅(6本), B線O1駅(1本)で折返し運転 H2より北行出区6本, Kより南行出区4本の運転を実施

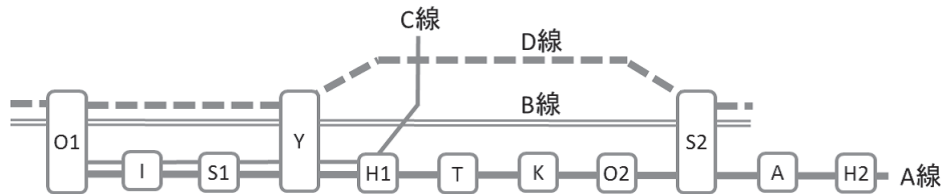


図 6 線区地図

Fig. 6 Line map.

表 7 具体例による評価指標の計算結果

Table 7 Calculation results of evaluation indices for the examples.

事例	影響発生時刻	流動正常化時刻	Total SCORE	Sub SCORE I	Sub SCORE II
1	-0:45	3:30	5.47	5.34	4.91
2	0:00	2:30	5.12	5.10	3.88
3	-1:45	3:30	5.53	5.43	4.84
4	-1:15	5:45	5.80	5.40	5.58

に小さい。これは、B線の8本をD線経由で運転を行ったことにより輸送力を確保できたことによる効果が出ていると考えられる。つまり、オペレーションを行ったことが定量的指標に反映されている例である。運転再開までにオペレーションを積極的に行うと、運転再開後に列車間隔がまばらになり列車ダイヤや流動を正常化することは難しい面もあるが、本事例はSub SCORE IIを見ても運転再開後の輸送障害の影響を小さくできていることが分かる。

- 事例1と3における延べ損失時間、影響人数、1人あたりの損失時間の時間的推移は似た形のグラフとなっている。つまり、列車が全面ストップすると損失時間が急に大きくなり、一方で運転再開後には比較的急に利用者の流動が回復に向かうことが分かる。

- 事例3と4のSub SCORE IIを比較すると、事例4の値の方が大きい。つまり、事例4の方が流動正常化までの時間が長かったことを示す。実際に発生から2時間程度経過して影響人数が事例3と同等になっても、1人あたりの損失時間は事例4が多く残っている。オペレーションを工夫したにもかかわらず、運転再開後はかえって流動が回復しにくかった可能性がある。以上のように、輸送障害の影響をとらえて、オペレーションの評価、改善につながる考察を得ることが可能となった。

### 5. 可視化ツールの開発

算出したSCOREをベースに過去の輸送障害を一覧、比較できるビジュアルツール(図8)を開発した。

開発環境は以下のとおりである。

- CPU: Intel Core2 Duo 3.33 GHz
  - Memory: 2 GB
  - OS: Windows XP Professional SP3
- 操作手順は、以下のとおりである。

- 路線を選択する。
- 選択路線の輸送障害一覧表示から分析したい輸送障害を選択する。
- (1)で選択した路線の他の輸送障害と合わせて、(2)で選択した輸送障害のデータが右上の6つのグラフ上に●で大きくプロットされる。また、下部には1人あ

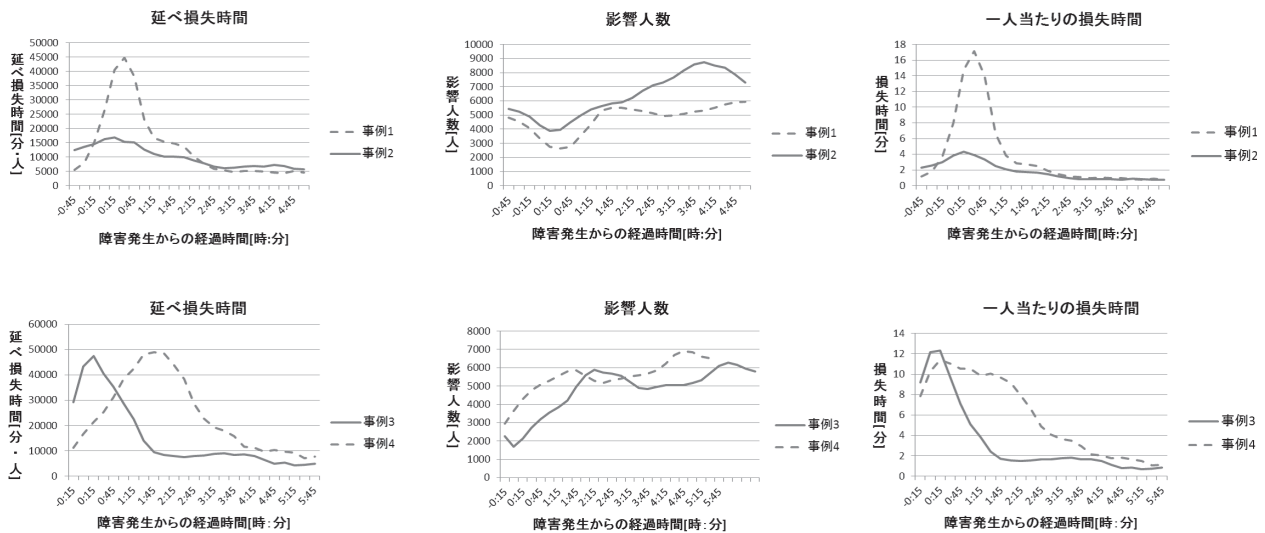


図 7 具体例による各評価指標

Fig. 7 Evaluation indices for the examples.

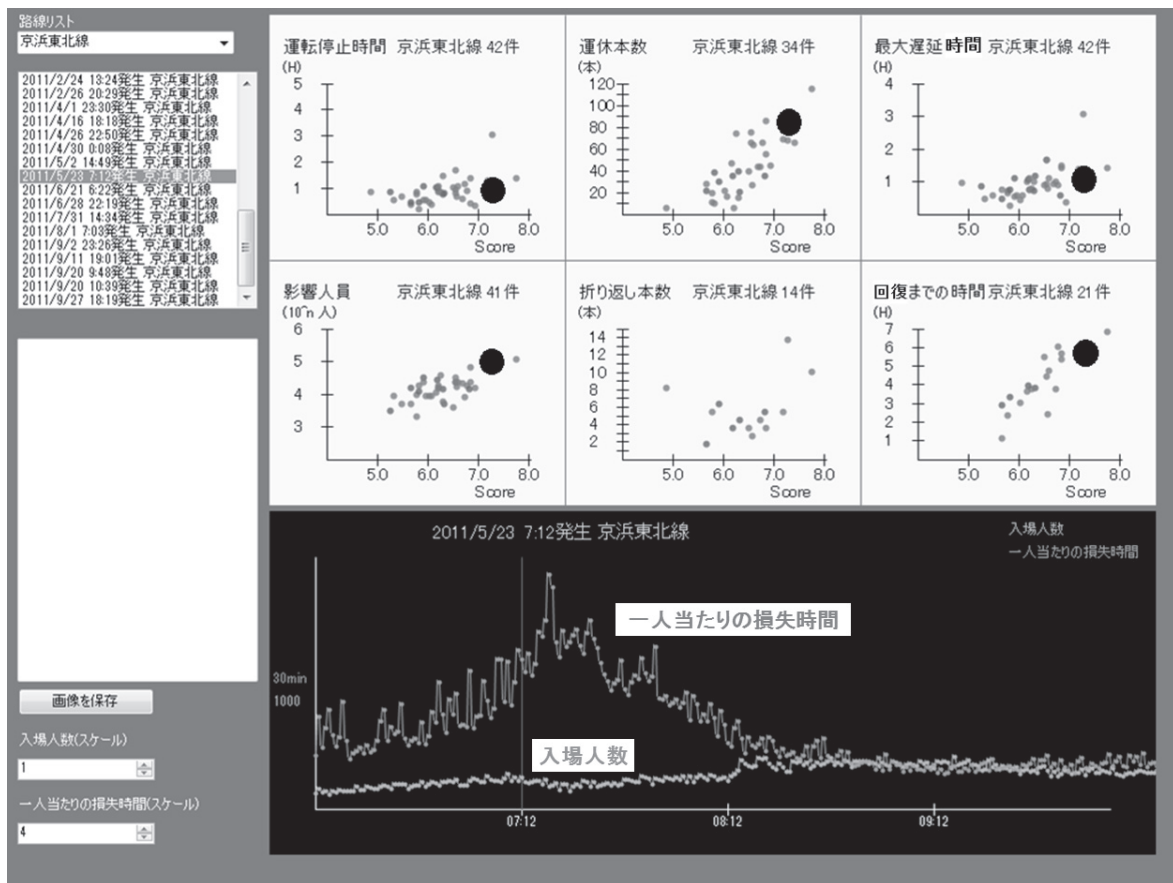


図 8 可視化ツール

Fig. 8 Visualization tool.

りの損失時間と影響人数が時系列で表示される。  
 右上の各グラフの内容を以下を示す。SCORE 以外は鉄  
 道会社が輸送障害把握のために記録している項目である。  
 (左上) SCORE と運転停止時間 (運転再開時刻 - 発生  
 時刻)  
 (中上) SCORE と運休本数

(右上) SCORE と最大遅延時間  
 (左下) SCORE と影響人員  
 (中下) SCORE と折り返し本数  
 (右下) SCORE と回復までの時間 (ダイヤが平常に戻っ  
 た時刻 - 運転再開時刻)  
 このツールにより、過去の同じ路線で発生した事例と比



較することや時系列で利用者影響の推移を把握することができるため、効果的に、理解しやすく輸送障害を把握可能となった。また、SCOREとオペレーションを様々な角度から比較できるので、SCOREが低いものに共通するオペレーションを発見する等改善につなげる検討を行ったり、輸送障害の対応後にオペレーションが適切であったかを細かく検討するためのツールとして利用することが期待できる。

## 6. むすび

交通系ICカードを利用して、輸送障害の影響を利用者視点で定量化する手法を示した。また、その手法をほぼ自動的に算出処理できるシステムを開発した。さらに、得られたSCORE等の指標が鉄道事業者のオペレーション改善検討に具体的に役立つ可能性を示した。可視化ツールと合わせて、輸送障害時のオペレーションを改善するために本成果を利用することが期待できる。

今後の課題としては、まず本研究で提案した定量的指標を用いた場合に路線ごとの利用者数の偏りが、そのまま指標として反映される点があげられる。SCOREの値をベースに優先順位を付け、オペレーションの検討を行う場合は路線ごとに利用者数に応じてSCOREの値を補正する等の手法を検討する必要がある。また、課題にあげたように、場所によっては影響が大きいと思われる振替輸送等で迂回した利用者の影響を把握していない。今後、平常時の流動と比較するなどして、振替輸送の影響を取り入れることを検討したい。さらには、同時に複数の輸送障害が発生した場合の切り分け方法の検討もすべきと考えている。

公共交通機関にとって輸送障害は多くの利用者に影響を与えるため、その原因排除とともに発生した場合は影響を最小限に抑える使命が事業者課せられている。今後も、効率的、実際にオペレーションを磨き上げるツールを提供していきたい。

## 参考文献

- [1] 国土交通省：首都圏鉄道輸送障害対策会議資料 (online), 入手先 (<http://www.mlit.go.jp/common/000055543.pdf>) (2009).
- [2] 椎橋章夫：交通インフラから社会インフラへの発展—自律分散型ICカード乗車券システム“Suica”の開発・導入と社会インフラ化, 情報処理学会デジタルプラクティス, Vol.1, No.3, pp.114-120 (2010).
- [3] 館 雅憲：輸送安定度指標「POINT」の開発と全社展開, 鉄道サイバネ・シンポジウム論文集, Vol.44, 論文番号 101 (2007).
- [4] 電気学会・鉄道における運行計画・運行管理業務高度化に関する調査専門委員会 (編集)：鉄道ダイヤ回復の技術, オーム社 (2010).
- [5] 岩崎興治：首都高速道路における事故損失時間評価手法の検討, 交通工学研究発表会論文報告集, Vol.10 (2006).
- [6] Fuse, T., Makimura, K. and Nakamura, T.: Observation of Travel Behavior by IC Card Data and Application to

Transportation Planning, A special joint symposium of ISPRS Technical Commission IV & AutoCarto in conjunction with ASPRS/CaGIS 2010 Fall Specialty Conference (2010).

- [7] Trepanier, M., Morency, C. and Agard, B.: Calculation of Transit Performance Measures Using Smartcard Data, *Journal of Public Transportation*, Vol.12, No.1 (2009).
- [8] Wonjae, J.: Travel Time and Transfer Analysis Using Transit Smart Card Data, *Transit 2010*, Vol.2, pp.142-149 (2010).
- [9] Pelletier, M., Trepanier, M. and Morency, M.: Smart Card Data Use in Public Transit: A Literature Review, *Transportation Research Part C*, pp.557-568 (2011).



角田 史記 (正会員)

1998年3月慶應義塾大学理工学部管理工学科卒業。同年4月、東日本旅客鉄道(株)入社。同社運輸車両部にて、鉄道データの活用研究とICT戦略の策定、ICTツールの導入業務に従事。



加藤 学 (正会員)

1997年3月京都大学大学院工学研究科精密工学専攻卒業。同年4月、(株)日立製作所入社。同社日立研究所にて、鉄道システム等輸送システムに関する研究開発に従事。



大塚 理恵子

2003年3月お茶の水女子大学大学院人間文化研究科卒業。同年4月、(株)日立製作所入社。同社中央研究所にて、ヒューマンインタラクション、情報可視化等の研究開発に従事。



助田 浩子 (正会員)

1989年筑波大学第三学群情報学類卒業。同年4月、(株)日立製作所入社。同社中央研究所にて、実業データからの価値創生の研究に従事。



大関 一博

1991年3月東海大学工学部制御工学科卒業。同年4月、(株)日立製作所入社。同社情報・通信システム社にて、新事業プロジェクトマネージメントに従事。

(担当編集委員 高山 毅)