

列車ダイヤ乱れ時における経路選択支援システムとその受容性評価

土屋 隆 司^{†1} 杉 山 陽 一^{†1} 山 内 香 奈^{†1}
 藤 浪 浩 平^{†1} 有 澤 理 一 郎^{†2} 中 川 剛 志^{†2}

列車運行に支障が生じた場合には、利用者には確かな案内情報を迅速に提供することが求められる。我々は、ダイヤ乱れ時における各目的駅までの推定所要時間に基づいて各駅別に迂回の適否（運転再開を待つべきか、目的地への迂回経路をとるべきか）を判定し、利用者には案内するシステムを開発した。システムの開発にあたり、輸送障害が発生した線区における駅間所要時分の変化を見積もるモデルを考案し、これをダイヤ乱れ時の最短経路計算に応用した。また、システムの開発と並行して実施したダイヤ乱れ時における利用者行動調査の結果に基づいて、システムの要件やその運用のあり方を整理した。開発したシステムを用いて、実際のダイヤ乱れ時において、一般利用者を対象とした実証実験を実施した結果、提示された案内情報に従って移動した利用者の約65%が案内どおり、または案内よりも早めに目的地に到着することができた。システムの有用性については総じて高い評価が得られた。また、不確実性を含む予測情報であっても一定の確度があれば利用者には十分受容されることも確認した。

Route Choice Support System for Passengers during Disruption of Train Operations and Its Acceptability Evaluation

RYUJI TSUCHIYA,^{†1} YOICHI SUGIYAMA,^{†1} KANA YAMAUCHI,^{†1}
 KOHEI FUJINAMI,^{†1} RIICHIRO ARISAWA^{†2} and TAKESHI NAKAGAWA^{†2}

When train operations are disrupted, it is important to provide passengers with information facilitating the rest of their journey. We developed a guidance system for users to determine whether they should wait for service to resume on the disrupted line, or take a detour route to their destination. Our system arrives at decisions after computing estimated travel times to specific stations in the area where train services are disrupted. We devised a model for estimating the amount of time required to travel between stations in the disrupted area. We have carried out a field test in which users use their cell phones to access the system and learn their route options during a disruption in train services. The result of the test has revealed that this system is effective — for example, we have found that approximately 65% of all users taking the advice arrive at their destination at the same time as, or earlier than, the time estimated by the system and approximately 80% of them evaluated the system as useful. We conclude that even though the information represents only possible scenarios, and the degree of certainty is not 100%, it can be accepted and effectively utilized by passengers.

1. はじめに

事故、災害等により列車運行が乱れた場合には、利用者には確かな案内情報を迅速に提供することが強く求められる。今日、平常時においては、鉄道会社や民間の交通情報プロバイダ等による多様な情報提供サービスが展開されているが、ダイヤ乱れ時においては、利

用者による情報ニーズが高まるのと相反して、提供される情報が質、量ともに低下する傾向が顕著である。ダイヤ乱れ時に利用者が求める典型的な情報には、運転再開までの時間や迂回経路選択の適否（運転再開を待つべきか、迂回すべきかの判断）、運転再開後の列車運行の状況（運転本数、所要時間、混雑率等）があるが、いずれも不確実性を含む予測情報であり、予測がはずれるリスクを恐れて、このような情報提供に二の足を踏む鉄道会社が多い。予測がはずれるリスクはあっても、利用者には大きな便益をもたらす可能性のある情報は積極的に提供していくことが社会的な要請と

^{†1} 財団法人鉄道総合技術研究所
 Railway Technical Research Institute

^{†2} 東日本旅客鉄道株式会社
 East Japan Railway Company

なりつつあるが、そのためには、予測精度の向上と提供される情報の受容性の評価が不可欠である。

そこで、我々は、鉄道のダイヤ乱れ時において、運転再開見込み時間および駅間所要時間の予測結果を考慮したうえで、各目的駅までの最適経路を提示するシステムを開発した。このシステムを用いて、実際のダイヤ乱れ時における実証実験を実施し、システムによる案内の妥当性、有効性を評価するとともに、不確実性を含む予測情報が鉄道利用者にどの程度受け入れられる可能性があるかを評価したので報告する。

本論文の構成は以下のとおりである。2章においては、鉄道のダイヤ乱れ時における経路選択行動およびその支援に関する関連研究や実施例について紹介したうえで、本研究の位置付けについて述べる。3章では、開発した経路選択支援システムおよびその実現手法について述べる。4章では、システムの開発と並行して実施したダイヤ乱れ時の利用者行動調査の結果について報告する。この結果をふまえたうえで、システムの要件やシステム運用のあり方について考察する。5章では、本システムを用いて実施した、一般利用者を対象としたダイヤ乱れ時の経路案内の実証実験とその結果について述べる。6章では結論と今後の課題について述べる。

2. 関連研究・事例と本研究の位置付け

鉄道を含む公共交通を用いた移動経路を計算し、利用者に提示する機能を持ったシステムがすでに数多く存在し、活用されているが、ダイヤ乱れ時の移動を的確に支援できるものはほとんどない。数少ない取り組みの1つとして、列車の不通区間を考慮して目的地までの経路を検索するシステムの提案は以前から行われており¹⁾、近年、実用に供されるものも登場している。たとえば、「駅すばあと」²⁾(株式会社ヴァル研究所)では、特定の路線(列車種別ごと)を「不通」に設定することにより、当該路線を回避して目的駅まで移動する経路を提示する機能が提供されている。また、「駅前探険倶楽部」³⁾においても、利用者が事故等による運行支障区間を指定することにより、代替経路を検索するサービスを提供している⁴⁾。しかし、実際の移動場面では、目的地までの最短経路上の路線が不通の場合、運転再開を待って当初の経路で移動するべきか、迂回経路を使って移動すべきか、判断に迷うことが多い。このような場合、運転再開見込みや運転再開後の列車運行を予測したうえで最適な移動経路を提案する機能が求められるが、このような機能の実現例は、研究開発段階のものを含めてまだ存在しない。また、こ

のような不確実性を含む予測情報が利用者にどこまで受け入れられるのか、に関しても確立した知見はない。そこで我々は、ダイヤ乱れ時における迂回経路選択の適否を判定し、利用者に案内するシステムをあらたに開発し、実移動場面を用いた実証実験により、その有用性、受容性を評価することにした。

このシステムでは、事故等により列車運行が支障している場合の運転再開見込みをいかに予測するかが重要な課題の1つである。すでに、鉄道人身事故を対象に、過去の事故実績データに基づいて運転再開時間を統計的に予測する手法が提案されている⁵⁾。しかし、実際には、人身事故以外のケース(設備故障等の発生頻度が低いものも含む)への対応も求められるため、事故種別と運転再開時間の相関を考慮した予測が必要となるほか、鉄道会社から提供される最新の情報に基づくパラメータ更新のしくみ等も必要である。

一方、ダイヤ乱れ時における利用者行動の把握に関しては、これまで確立した調査方法がなく、自動改札機通過データや振替乗車票発行状況等に基づいて旅客流動実態の概略を把握できるとどまっている。ダイヤ乱れ時の旅客行動モデル構築の研究として、乗客固有の代替交通手段情報レベルと提供情報およびその活用度に基づく経路選択モデルが提案されている⁶⁾ものの、利用者による選択行動の調査結果に基づくものではない。我々はすでに、首都圏の鉄道利用者を対象に、集合形式のモニタ調査を実施し、ダイヤ乱れ時の利用者の行動実態を把握するとともに、利用者の経路選択基準を定量化している。この結果の一部はすでに文献7)、8)において報告済みであるが、本論文では、これらの調査結果に基づき、実際のシステムの導入・運用場面を想定したシステム要件とシステム運用のあり方について考察する。

3. 経路選択支援システム

3.1 所要時間変動モデル

公共交通を用いた経路選択の基準としては、目的地までの所要時間、乗り換え回数、運賃等が用いられることが多い。本研究では、最適化指標として目的地までの所要時間を考慮する。また、ダイヤ乱れが発生した線区における駅間所要時間の変化を見積もるためのモデル(以下、所要時間変動モデルと呼ぶ)を考案し、過去のダイヤ乱れ実績データの分析結果に基づいてパラメータ設定を行った。今回採用した所要時間変動モデルでは、ダイヤ乱れ時の駅間所要時間を関数 F で近似している(図1)。 F は、あらかじめ決められた起点となる時刻からの経過時間を入力とし、当該時刻に

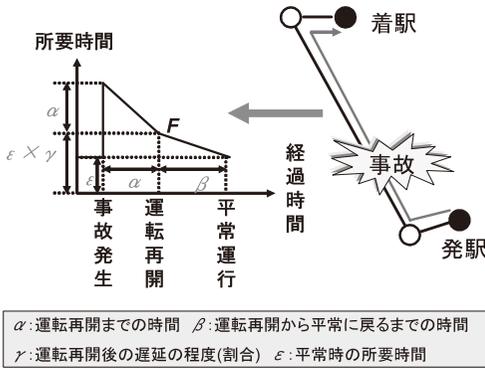


図 1 駅間所要時間変動モデル
Fig. 1 Travel time variation model.

おける駅間所要時間の推定値を出力する関数である。

ここで、 α は事故発生から運転再開までの時間（復旧時間）、 β は運転再開から平常運行に戻るまでの時間とし、 γ は運転再開後の列車遅延の程度を表すパラメータである。 α と β については、過去の事故データに基づいて事故類型別に平均をとった値を用いている。平常運行への復帰時刻としては、振替輸送（輸送障害が発生した路線の事業者が、他の事業者に代替輸送を依頼すること）の終了時刻を採用した。 γ については、過去の運行実績の分析結果に基づき 1.2 とした。これらのパラメータの設定値はあくまでも既定値（デフォルト値）であり、実際の事故発生時に、必要に応じて操作者（システム運用者）が手動で変更することを想定している。

3.2 所要時間変動モデルによる最短経路計算

鉄道の各駅に対応するノードと駅間を結ぶエッジから構成される鉄道ネットワークにおいて、与えられた発ノード（出発駅）から各着ノード（目的駅）までの最短経路をダイクストラ法⁹⁾によって計算する。最短経路の確定ノードと当該ノードから延びるエッジの重みに基づいて隣接ノードの最短所要時間の値を更新することになるが、このとき、用いるエッジ重みは、前節で述べた所要時間変動モデルに基づき動的に変化する。所要時間の計算方法について図 2 に基づいて説明する。

発ノード A_0 から A_i までの最短経路とその総所要時間 S_i とする。このとき、 A_i の隣接ノード A_{i+1} の最短経路所要時間 S_{i+1} を更新するには、

$$S_{i+1} = S_i + F(S_i + t_0)$$

とする（ただし、 $i = 1, 2, \dots, n - 1$ ）。ここで F は図 1 に示したものと同じく、起点となる時刻からの経過時間を入力とし、当該時刻における駅間所要時間の推定値を出力する関数である。また、 t_0 は、起点とな

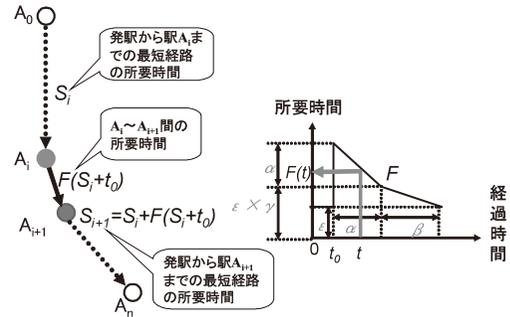


図 2 最短経路所要時間の計算方法
Fig. 2 Calculation method of travel time on the shortest paths.

る時刻から事故発生（運転見合せ）時刻までの経過時間である。すなわち、 $F(S_i + t_0)$ は、運転見合せ時点から時間 S_i が経過した時刻における $A_i \rightarrow A_{i+1}$ 間の所要時間を表している。具体的には、関数 $F(t)$ は以下のように計算する。

- (1) $t < t_0$ もしくは $t_0 + \alpha < t$ の場合（平常運行）
- (2) $t_0 \leq t < t_0 + \alpha$ の場合（列車運転見合せ中）
- (3) $t_0 + \alpha \leq t$ の場合（列車運転再開もダイヤ乱れあり）

$$F(t) = \begin{cases} \varepsilon & (1) \\ -t + t_0 + \alpha + \varepsilon\gamma & (2) \\ \frac{\varepsilon(1-\gamma)}{\beta}t + \frac{\varepsilon(t_0 + \alpha + \beta)(\gamma - 1)}{\beta} + \varepsilon & (3) \end{cases}$$

ここで、 t_0 は起点となる時刻 0 から事故発生時までの経過時間とする。 $\alpha, \beta, \gamma, \varepsilon$ は 3.1 節で定義したパラメータ（定数）である。一方、経路上に支障区間が含まれない場合は、計画ダイヤに基づく平均所要時間を固定的なリンク重みとして用いる。

このように、隣接 2 駅間の所要時間の計算では、発駅から当該駅間に到達するまでの予想所要時間を加味して、当該駅間の所要時間の計算を行う。たとえば、支障区間が発駅から遠方にある場合、当該支障区間に到達する前に、運転再開となったり、平常運行に復帰したりすることもあり、上記方式によればこのような場合でも、妥当な所要時間と最短経路を計算できる。

利用者の経路選択を支援するためには、単に最短経路を示すだけではなく、通常経路（仮に運転障害がなかったとしたときの本来の最短経路）と迂回経路の予想所要時間を合わせて提供し、最終的な経路選択判断を利用者に委ねる方法も考えられる。しかし、ダイクストラ法の単純な適用では、発ノードから各ノードへの最短経路のみしか求めることができない。仮に K shortest path を計算するアルゴリズム¹⁰⁾を用いて複

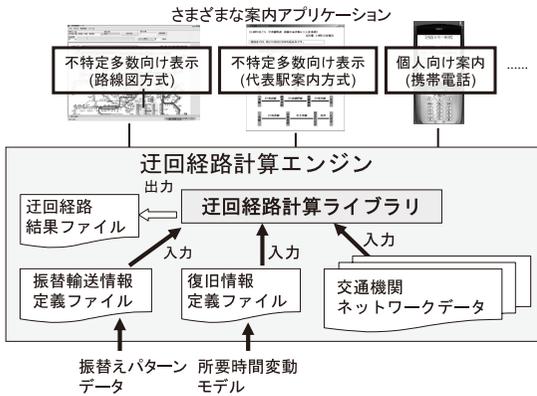


図 3 経路選択支援システムの構成

Fig. 3 Structure of the route choice support system.

数経路候補を出したとしても、必ず通常経路が含まれるという保証はない。たとえば、算出した k 個の経路すべてが迂回経路に該当し、通常経路が含まれないこともありうる。そこで、我々は、以下の 3 種類の最短経路を計算し、その結果に基づいて、通常経路での所要時間と迂回経路（正確には迂回による最短経路）の所要時間を計算することにした。

- (1) 支障区間なしの場合の最短経路（平常時最短経路）
 - (2) 支障区間を排除した（当該区間のエッジ重みを ∞ に設定した）最短経路
 - (3) 駅間所要時間変動モデルにより計算した最短経路
- 単に、その時点での最短経路を示すだけであれば (3) の経路を提示すればよい。しかし、当該最短経路に対する代替案も同時に提示したい場合には以下のようにする。

(1) と (3) が経路として等しい場合は、支障区間の運転再開を待って平常時最短経路（通常経路）を用いて行く方が早いと判定されるケースであり、(2) がそれに対する代替案となる「迂回経路」である。一方、(2) と (3) が経路として等しい場合は、運転再開を待つよりも迂回した方が早いケースであり、この場合は、(1) がそれに対する代替案となる「通常経路」である。

3.3 システムの実装

システムは、迂回経路計算エンジンおよびこれと連携して情報提示を行うアプリケーション群から構成される（図 3）。

典型的なアプリケーションとしては、駅における不特定多数の旅客向けの可変表示装置、旅客案内の業務に携わる駅員向けの支援システム、あるいは利用者の個人用携帯端末を用いた個別案内システム等がある。

迂回経路計算ライブラリは、交通機関ネットワーク

表 1 ネットワークデータの規模

Table 1 Size of network data.

	JR線 (全国) (*1)	振替輸送対 象の民鉄等 (*2)	全体
ノード数	13, 754	683	14, 437
エッジ数	644, 342	2, 536	646, 878

(*1) 航空、空港アクセスバス、徒歩連絡を含む

(*2) JR 中央線東京・高尾間が運転見合せの場合の例

データ、振替輸送情報定義ファイル、復旧情報定義ファイルを入力として、特定の発駅からエリア内全駅への経路検索結果を 3.2 節で述べた方法により計算、出力する。交通機関ネットワークデータは、全国の JR 線と民鉄線を含む。振替輸送情報定義ファイルは、支障区間に応じた振替対象路線を管理するものであり、各社間で共有される振替パターン（特定の支障区間に対応する振替輸送対象線区・区間をあらかじめ定めておいたもの）の情報を反映している。

平常時においては JR 線（全国）のみを含むネットワークデータ上での最短経路検索を行う。一方、JR 線でダイヤ乱れが発生した場合には、振替輸送の対象となる民鉄等の路線をネットワークに組み込むことにより、これらの路線を含めた迂回経路の算出を行う。JR 線のみで構成されるネットワークデータの規模および、典型的なダイヤ乱れの場合（JR 中央線運転見合せの場合）の振替輸送対象路線を追加したネットワークデータの規模を表 1 に示す。

ダイヤ乱れ発生箇所によって振替輸送対象路線が異なるのが一般的である。そこで、振替対象路線の民鉄等のネットワークデータの追加は、ダイヤ乱れ発生箇所の情報（オペレータが入力）と前述の振替輸送情報定義ファイルの内容に基づいてシステムが動的に行うこととした。

本システムでは、指定された発駅からエリア内全駅への最短経路検索を、平常時においては JR 線全路線を対象に、また、ダイヤ乱れ時においては、JR 線全路線および振替輸送対象の民鉄等の路線を対象に行っているが、一般的なオフィス用 PC を用いて 1~3 秒程度で、この計算が可能であることを確認した。駅頭における不特定多数向けの情報提示の場合（3.4 節で述べる）には、エリア内全駅に対する経路情報の更新を、各駅に配置した経路計算用 PC を用いて、最短で 1 分単位で実施することが想定されているが、上記性能はこの要件を十分満足するものであるといえる。



図 4 路線図方式による迂回適否表示方式

Fig. 4 Presenting validity of taking detour route on railway route map.

3.4 不特定多数向けの情報提示

経路選択支援情報の提供手段としては、駅頭等での案内（不特定多数向け）と携帯電話等の個人端末を用いた個別案内とが考えられる。駅頭で、大画面スクリーン等を用いて不特定多数の利用者向けに経路選択支援情報を提供するような場合、表示媒体の制約等のため、最大公約数的な情報提供とならざるをえない。1つの方式として、鉄道路線図上に目的駅別の迂回の適否を色分け表示する手法を考案した（図4）。

ここでは、エリア内の各駅を、発生した輸送障害の影響に応じて4種類のクラスに分類し、色分け表示している。図4は、中央線の人身事故により東京・高尾間が運転見合せしている場合の例である。前述の所要時間変動モデルに従って計算した結果が時々刻々反映され（最短1分ごとの更新）、表示が変化していく。

「迂回推奨」では、通常の経路が支障しているため、迂回経路を用いて移動した方が時間的に有利と判断されるケースである。事故直後で運転再開までに時間を要するケースや通常経路と時間的に大差ない代替経路が存在するケース等がこれに該当する。「迂回不能」は当該駅への迂回経路が存在せず、支障線区の運転再開を待つ以外に方法がないケースである。一方、「通常経路推奨」とは、迂回経路を使うよりも、運転再開を待って通常経路で移動した方が有利なケースである。事故発生からある程度時間が経過し、ほどなく運転再開が見込まれるような状況がこれに該当する。

上記方式では、各目的駅別の迂回の適否自体は提供できるものの、仮に迂回する場合には、具体的にどうい

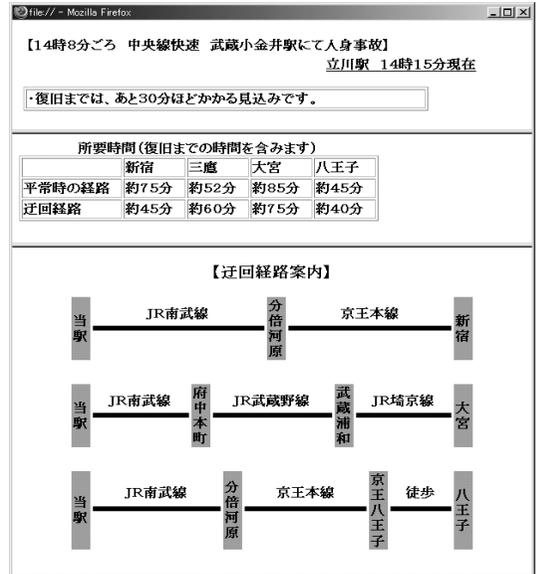


図 5 代表駅案内方式

Fig. 5 Guidance of approximate travel time for passengers going to major stations.

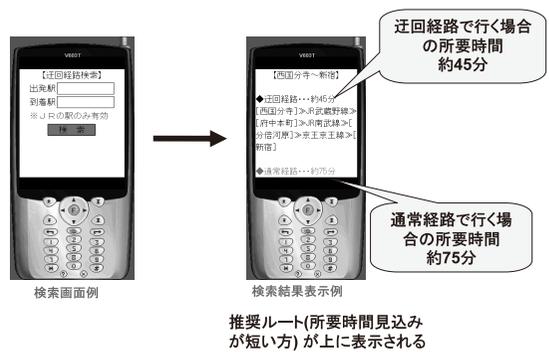


図 6 携帯電話による案内例

Fig. 6 Guidance messages displayed on cellular phone.

い。そこで、主要駅のみ限定して迂回の適否と迂回経路の情報を合わせて表示する方式を実装した（図5）。この方式では、表示されている主要駅以外の駅へ行く利用者は、近傍の主要駅への移動推奨ルートに基づいて自分の目的駅までの最適移動手段を類推する必要があるものの、路線図方式では提供できない迂回経路そのもの（乗り換えパターン）に関する情報が提供できるという利点もある。

3.5 個人端末向けの情報提示

近年のインターネットの急速な浸透や携帯電話等、モバイル機器の普及にとともない、個人用情報機器への個別の情報提供がさかになりつつある。迂回案内情報についても、携帯電話やPCを用いた個人向けサー

ビスとしての展開が期待される。そこで、前述の迂回経路計算エンジンを用いて、個人端末向けの経路選択支援システムを開発した。このシステムは利用者が入力した発駅、着駅に対して、輸送障害の影響を加味した最短経路とその代替案を提示するものであり、PC 向けのシステムと携帯電話向けのシステム（図 6）がある。

4. ダイヤ乱れ時における利用者行動の調査

4.1 不確実性を含む情報に対する利用者の反応

我々は、輸送障害発生時における利用者行動の実態を把握し、本システムが取り扱う、不確実性を含む情報に対する利用者の利用意向を調査するため、首都圏の通勤・通学客を対象とした質問紙調査を実施した⁷⁾。回答者は 1,392 名（男：728 名、女：664 名）であった。調査内容は、① 過去 1 年間に遭遇したダイヤ乱れ時における利用者行動に関するもの、および ② ダイヤ乱れ時に鉄道会社が提供するサービスに関するものの 2 種類である。その結果によると、運転再開見込み情報の提供については、「運転再開までどれくらいかかりそうかという見込みや目処でもよいので、できるだけ早く案内を出してほしい」という利用者が 9 割を超えており、「混乱を避けるため、不正確な時間の情報提供はしない方がよい」という意見を圧倒的に上回った。さらに、前述のシステムが行っている迂回の適否を教えてくれるサービスについても、「外れるリスクはあってもどちらの方が早いかな教えてくれるサービスがあれば役に立つ」との意見が 8 割にのぼった。

このように、たとえ不確実性があっても早い段階での情報提供が総じて好まれる傾向が確認されたが、どの程度の不確実性であれば許容されるのか、あるいは、不確実性を含む情報の提示が、利用者の行動にどのような影響を与えるかについてはこの調査だけでは明らかではない。さらに、利用者に提示する経路に関して、通常経路と迂回経路で、利用者にとっての心理的抵抗感が異なることを考慮したうえでその最適性を議論すべきであろう。一般的には予想所要時間がどちらの経路を使ってもほぼ同じ場合、普段使い慣れていない迂回経路の選択に対して、より高い心理的抵抗感を示す利用者が多いことが想定される。我々は、以上のような点を明らかにすべく、利用者モニタによる詳細調査を実施した⁸⁾のでその結果について次節で述べる。

4.2 情報提供が利用者行動に与える影響

前節で述べた質問紙調査の回答者の中から鉄道利用頻度の高い（週 5 回以上利用する）利用者 133 名を選定し、集合形式の調査（被験者に試験会場に集合してもらい、ダイヤ乱れを想定した仮想的状況設定の下

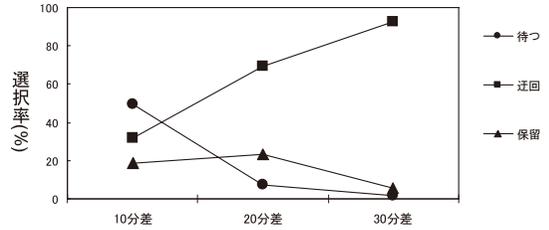


図 7 通常経路と迂回経路の所要時間差と経路選択行動の関係（時間圧が高い場合）

Fig. 7 Relationship between passengers' route choice and the difference of estimated travel time (in imminent situation).

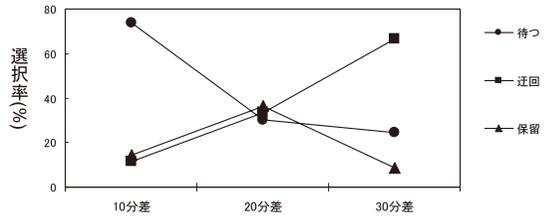


図 8 通常経路と迂回経路の所要時間差と経路選択行動（時間圧が低い場合）

Fig. 8 Relationship between passengers' route choice and the difference of estimated travel time (in non-imminent situation).

で、コンピュータ画面を見せながら質問に回答を求める形式の調査）を実施したので以下に報告する。

(1) 経路ごとの所要時間を提供した場合の経路選択傾向

運転再開を待って通常経路で移動した場合の予想所要時間と迂回経路で移動した場合の所要時間を提示し、利用者がどのような経路選択を行うかを調査した。具体的には、あらかじめ用意した 6 経路対に対して（通常経路所要時間 - 迂回経路所要時間）の値と選択結果の関係を調べた（図 7 および図 8）。図 7 は時間圧が高い場合（目的駅まで早く着きたいという切迫したニーズがある場合）の結果であり、図 8 は時間圧が低い場合（時間的余裕がある状況、目的地への早着ニーズはあまり高くない場合）の結果である。

これらの結果から、時間圧が高い場合は、低い場合に比べて行動選択の傾向がはっきりしており、所要時間差が 20 分差以上になると迂回の選択率が著しく高くなることが分かる。また、時間圧が低い場合は高い場合に比べて、概して「待つ」の選択率が高くなっている。さらに、判断保留（判断に迷う）の割合は、時間圧の高低によらず 20 分差のときに最大となる。これは「20 分早く目的地に着ること」と「わざわざ迂回する手間・心理的負担」がほぼバランスしていることを示している。

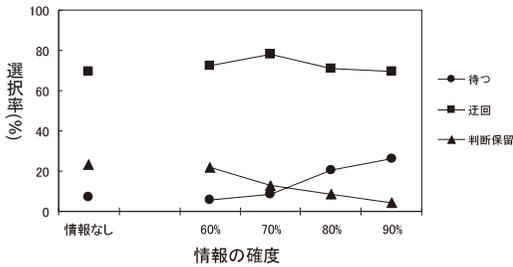


図 9 情報の確度を同時に提供した場合の経路選択傾向 (時間圧が高い場合)

Fig. 9 Passengers' route-choice when confidence level is provided (in imminent situation).

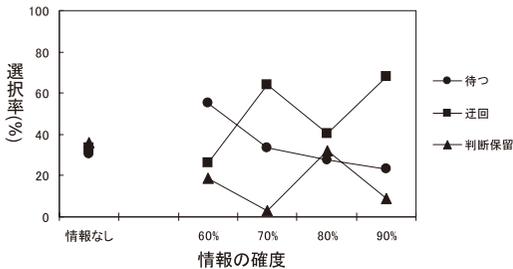


図 10 情報の確度を同時に提供した場合の経路選択傾向 (時間圧が低い場合)

Fig. 10 Passengers' route-choice when confidence level is provided (in non-imminent situation).

(2) 情報の確度を同時に提供した場合の経路選択傾向
次に、通常経路と迂回経路の所要時間差を 20 分 (前項の結果より、「待ち」と「迂回」の間で判断に悩む時間差) に固定したうえで、通常経路の所要時間予測値の確度を変化させ、利用者の経路選択傾向を調べた。ここで情報の確度とは降水確率等と同様の経験確率を表すものとする。たとえば、「発駅から着駅までの総所要時間は 45 分 ± 5 分です。この情報の確度は 70% です」という場合、これと同じ情報提示がされた 10 回のうち 7 回は総所要時間が 45 分 ± 5 分におさまるといふこととする。調査の結果、時間圧が高い場合には、情報の確度によらずほとんど同じ選択結果になった (図 9)。一方、時間圧が低い場合には、情報の確度が低くなるほど「待つ」のような保守的な行動をとりやすくなる傾向があることが確認された (図 10)。

(3) 情報価値があると判断される確度の下限値

提供される情報の確度がどの程度であれば、利用者が当該情報に価値を見出すかを調査した結果を図 11 に示す。70%以上と回答した人の割合が最も高い。

4.3 システムの要件と運用のあり方

次に、前項の調査結果に基づき、ダイヤ乱れ時に

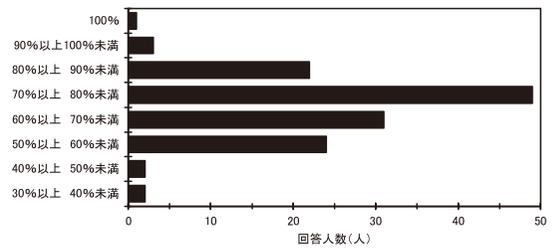


図 11 情報の価値ありと判断する確度の下限

Fig. 11 Lower-bound of confidence level for the information to be valuable to users.

ける経路選択支援システムの要件と運用のあり方を整理する。

(1) 利用者に提示すべき「最適経路」の考え方

通常経路と迂回経路の時間差と迂回経路選択の心理的抵抗感との関係を考慮すると、迂回の適否のみを提示する経路選択支援システム (たとえば図 4) では、単純にその時点での「最短経路」を利用者に提示するのが必ずしも妥当ではないことが予想される。4.2 節 (1) の結果が一般性を有すると仮定すれば、迂回経路が通常経路よりも約 20 分以上短い所要時間の場合にのみ迂回経路を利用者に推奨するという方法も考えられるだろう。

(2) 利用者に情報提供を開始すべきタイミング

情報の確度を提供した場合の利用者の選択行動結果および情報価値があると判断される情報確度の下限値に関する調査結果に基づいて、本システムによる情報提供を開始すべき適切なタイミングを決定することができる。情報の確度が 80%以上になれば、ほとんどの利用者がその情報の価値を認めており、また、時間圧の高い利用者は、60%程度の確度の情報も自身の行動決定に活用可能であることが示唆されている。ただし、提供する情報の確度の求め方については、確立した技術が現時点ではないため、今後の課題となる。

(3) 情報提供を実施した場合の利用者行動の予測

迂回の適否に加えて、通常経路と迂回経路の所要時間を提示するシステム (たとえば図 5 および図 6) では、提示された所要時間の差に応じて利用者がどのような行動選択を行うかを、上記調査結果に基づき、予測することができる。ダイヤ乱れ時には、平常時とは異なる旅客流動が発生し、ときとして大きな混乱を引き起こすことがある。情報提供が旅客流動に及ぼす影響をあらかじめ把握したうえで、混乱、危険を回避するため情報提供内容や提供タイミングを制御する必要もあり、本調査で得られた結果は、そのための知見として活用することができると思う。



図 12 駅員用端末の表示例

Fig. 12 An example of the screen for station staffs.

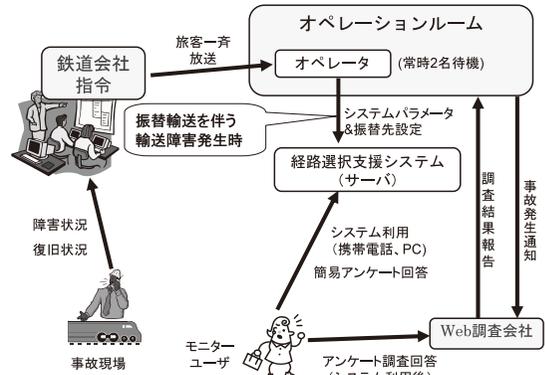


図 13 案内実験の実施体制

Fig. 13 Operational scheme of the field test.

(4) 実用システムで必要とされる機能

ダイヤ乱れ時において、駅構内あるいはプラットフォームが手狭で、大勢の利用者が滞留すると危険なケースでは、意識的に迂回経路側へ誘導する必要が発生する場合がある。このような場合には、システムのパラメータを各駅で適切に調整することにより旅客流動を制御する機能が求められる。そこで駅頭での不特定多数向けの情報提示システムに対して、駅員等による介入を前提とした以下の機能を追加した(図12)。

- ① 駅頭ディスプレイへの表示タイミングを制御する機能
- ② 通常経路と迂回経路の優先度を調整する(一方の所要時間に「下駄をはかせる」)機能

5. 経路選択支援システムの実証実験

5.1 実証実験の目的と実施概要

開発したシステムの有用性、受容性を評価するため、PC版および携帯電話版のシステムを用いて、実際の輸送障害時において、個々の利用者向けに迂回経路の個別案内を行う実証実験を実施した。不特定多数向けの情報提供システムではなく、個人端末向けの個別案内システムで実験を実施したのは、利用者による評価データが得やすいこと、選択候補となる複数経路の所要時間を提示した際の利用者行動を把握できること等による。実験の実施概要を以下に示す。

(1) 利用者モニタ

ある Web 調査会社の会員の中から、首都圏の鉄道(JR線)の利用頻度が比較的高い利用者(鉄道ダイヤ乱れに遭遇する確率の高い利用者)を利用者モニタ候補として選び出し(総数 3,970 名)、実験への協力依頼を行った。その結果、実験への協力の了解を得た 2,188 名に実験に参加してもらった。

(2) 情報提供サービスの運用

輸送障害発生時に鉄道会社の指令所から発信される音声による一斉放送の情報をオペレータが聞き取り、振替輸送をとまなう輸送障害が発生したことが判明すると、システムパラメータ等の入力を行い、システムによる案内情報提供サービスを開始する体制をとった(図13)。前述したように、運転再開見込み時間については事故類型別に過去の実績データの平均値を計算し、それを既定値として自動設定した。一斉放送によって運転再開見込み時間の情報提供があるたびにこの値を手動更新した。

(3) 対象線区

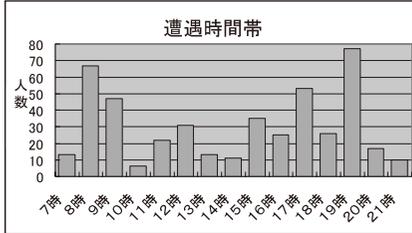
本実験での対象線区は、JR 東日本の東京近郊路線および、それらの JR 路線に対する振替輸送の対象となるすべての民鉄線等である。平常時には JR 線のみでの最短経路検索を行い、JR 線のいずれかでダイヤ乱れが発生した場合に、その振替輸送の対象となる民鉄線等を追加したネットワーク上で、迂回経路等の計算を行う(3.3 節参照)。なお、実験範囲は東京近郊に限定したが、システムの実装上は、全国の JR 線を対象とした検索が可能である。

(4) モニタ利用者による操作イメージ

- ① 上記実験期間中にダイヤ乱れに遭遇した利用者は、携帯電話(もしくは PC)を用いて Web サーバ上の経路選択支援システムにアクセスする。
- ② 利用者が発駅・着駅を入力すると、システムから、通常経路の所要時間(通常の最短経路で行く場合の、運転再開待ち時間込みの予測所要時間)と迂回経路の所要時間(運転支障区間を回避して移動する場合の平均所要時間)が提示される。同時に、より所要時間の短い経路が推奨経路として案内される。
- ③ 利用者はシステムが提供する情報も考慮しつつ、

中央線	88	東海道線	32
京浜東北線	70	常磐線	31
山手線	63	武蔵野線	28
総武線	56	埼京線	22
湘南新宿	35	その他	30

(a) ダイヤ乱れに遭遇した利用者数(路線別)



(b)ダイヤ乱れに遭遇した利用者数(時間帯別)

図 14 実験期間中のダイヤ乱れ発生状況

Fig. 14 Disruption of train operations during the field test period.

自身の判断で経路選択を行い、移動を実行する。

- ④ 利用者は上記操作実施日を含め 3 日以内に、所定のアンケートサイト (Web 調査会社が運営) にアクセスし、アンケートに回答する。
- (5) 実験期間

実験期間は、2006 年 12 月 11 日～27 日および 2007 年 1 月 9 日～19 日 (土日祝日は除く) の 7 時～21 時である。

- (6) 対象とした利用者との輸送障害発生状況

前述のような試験を実施したところ、18 件の振替輸送をとまなう輸送障害が発生し、455 件のアンケート回答が得られた。回答者がダイヤ乱れに遭遇した状況を図 14 に示す。中央線、京浜東北線、山手線、総武線で半数以上を占める。振替輸送は朝 (7 時～10 時) が 7 件、昼間 (10 時～17 時) が 10 件、夕方以降 (17 時～21 時) が 7 件であった。なお、同期間においては上記時間帯以外 (早朝、深夜) におけるダイヤ乱れ、振替輸送をとまなわない軽微なダイヤ乱れが発生しているが、それらは上記の統計には含まれていない。

5.2 実験結果および考察

- (1) システムによる案内の精度, 妥当性

システムにより案内された目的地までの所要時間と実際の所要時間の関係について訊ねた結果を図 15 に示す。回答対象は全利用者であり、この中には、通常経路を選択した人 (運転再開を待って行った人) と迂回経路を選択した人の両方が含まれる。また、すべての利用者がシステムからの案内内容を信用したわけ

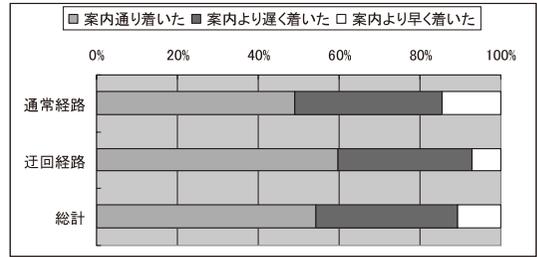


図 15 目的地までの所要時間の妥当性

Fig. 15 Validity of the estimated travel time to destinations.

はなく (後述), 自身の判断で, 案内された推奨経路とは異なる選択をした場合もある。この場合には, 自身の選択した経路での実際の所要時間とシステムによる当該経路 (推奨経路ではない) での所要時間との比較を行ってもらった。

上記結果によれば, ほぼ案内された所要時間どおりに目的地に到達できたケースが 54%, 案内された時間より遅く着いたケースが 35%, 早く着いたケースが 11% という結果であった。選択経路ごとに見ると, 迂回経路を選択した場合の方が, 通常経路を選択した場合よりも, 提示された所要時間は若干正確である。しかし, 本来, 迂回経路側は, 平常運行が行われているはずなので所要時間は, より安定的であってしるべきである。迂回経路側の所要時間の変動要因としては, 平均所要時間に基づく最短経路計算による誤差に加えて, 振替輸送に回った利用者の混雑もたらす列車遅延がその原因として考えられる。実際, 案内より遅く着いた理由として最も多かったのは「混雑による列車遅延」であった。「遅く着いた」と回答した利用者の 5 割弱がその理由として「混雑による列車遅延」をあげており, その半数は迂回経路を選択した利用者であった。

一方, 案内よりも早く着いたケースでは, 半数以上の利用者が「運転再開が (当初見込みより) 早かった」と回答している。

- (2) システムによる案内の信用度

システムにより案内された推奨経路を信用したかどうかについて問うた結果を図 16 に示す。約 8 割が案内された経路を信用したと答えている。

一方, システムが案内した経路と自身が予想した最適経路とが一致したかどうかを訊ねた結果を図 17 に示す。案内された経路が自身の予想と一致したのが 66%, 予想と一致しなかったのが 22%, 予想がつかなかったのが 12% であった。

この結果と上述のシステムの信用度との関係を調べたものが図 18 である。自身の予想した経路がシステ

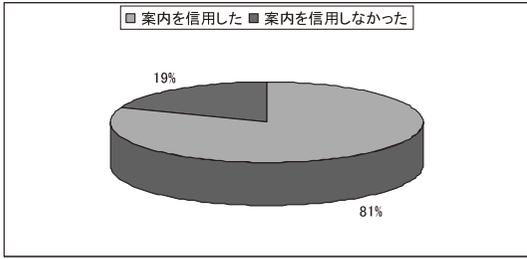


図 16 案内内容の信用度

Fig. 16 Dependability of the guidance information (Users' evaluation).

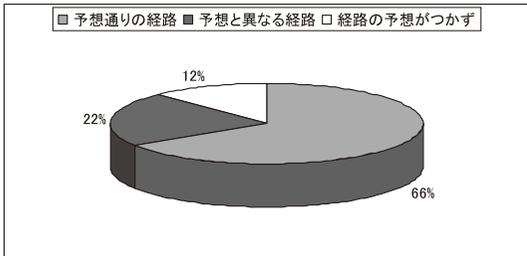


図 17 案内された経路と予想経路の関係

Fig. 17 Difference between the route recommended by the system and that estimated by users.

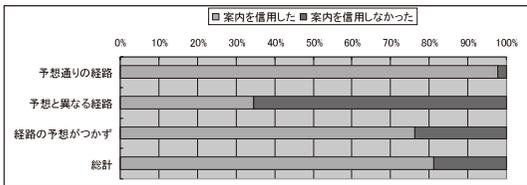


図 18 案内された経路と予想経路の一致度と案内内容の信用度

Fig. 18 Difference between recommended route and users' estimation and its relationship with the dependability of guidance information.

ムからも提案された場合には、案内を信用する割合は非常に高い一方、自身の予想と反する経路が提案されると案内を信用する割合は4割以下となる。また、経路の予想がつかない場合は77%の利用者が案内を信用している。鉄道を定期的に利用する利用者層は、輸送障害時の迂回経路の知識がまったくないわけではなく、迂回経路そのものは経験則からある程度想定しており、自身が想定する経路と一致する経路が案内されるとそれを信用するという状況がうかがえる。このことから迂回の方法そのものは大まかに把握しつつも、所要見込み時間に関しては通常経路・迂回経路ともに確固たる自信や知識を持っていない利用者が多いと考えられる。

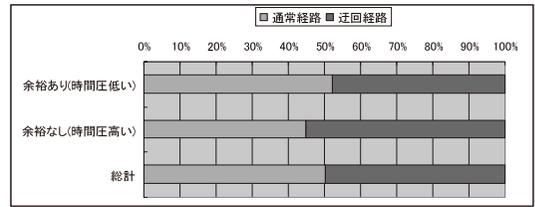


図 19 時間圧と選択経路の関係

Fig. 19 Relationship between users' route choice and the degree of imminence.

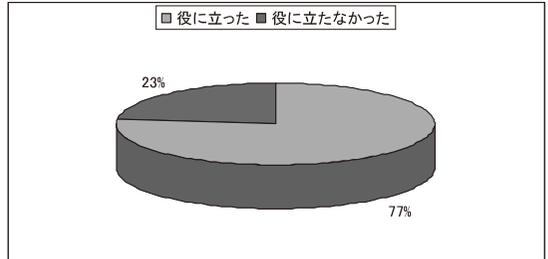


図 20 システムの有用性評価結果

Fig. 20 Evaluation of utility of the system.

(3) 経路選択の実態

ダイヤ乱れ遭遇時における経路選択の実態および時間的な切迫度(時間圧)と選択経路の関係について図19に示す。今回の実験では、全体としては通常経路と迂回経路の選択率がほぼ等しくなっており、先行調査の結果¹¹⁾(通常経路選択率が6割強)と比べて迂回経路選択率が高い。これは対象とした利用者モニタが、通勤客を中心とした鉄道の高頻度利用者であり、前項で述べたように、迂回経路に関するある程度の予備知識を有している利用者が多いことが影響していると考えられる。

なお、実際のシステム利用場面における切迫度は個人や状況への依存性が高く、客観的な指標としては利用しにくいものではある。しかし、利用者のおおまかな行動傾向を探るためには時間圧を考慮することは有益であると考え、4章でのモニタ調査と同様に、時間圧と経路選択結果との関係についても調べた。図19に示されるように、今回の実験では、時間圧が高い利用者の方が、時間圧が低い利用者に比べ、迂回経路選択率がやや高い結果となっている。4章で述べたモニタ調査の結果ほどの顕著な差は観察されなかったものの、大きな矛盾も見られなかった。

(4) システムに対する評価と不確実性を含む情報の受容性

図20に示すように、システムに対する評価は全般的に好意的であり、8割弱の利用者がシステムは有用

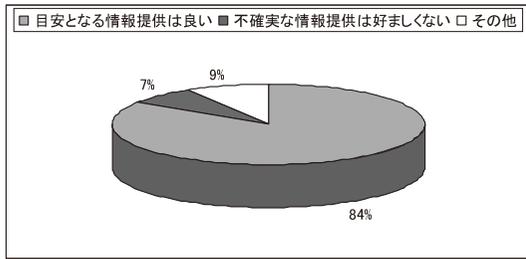


図 21 不確実性を含む迂回経路案内の是非

Fig. 21 Users' attitude toward uncertain information.

であったと回答している。

また、本実験で提供したような不確実性を含む予測情報としての迂回経路案内に対する意見を図 21 に示す。不確実性はあってもおおまかな目安値を提供することへは 84% の利用者が賛成しており、不確実な情報の提供は好ましくないとの回答を大きく上回っている。これについても 4 章で述べたモニタ調査の結果と符合している。

(5) システムによる情報更新・提供に要した時間

振替輸送をとまなう規模の運転見合せ・ダイヤ乱れが発生し、鉄道会社からの第 1 報が入ってから、実際にシステムのサービスを開始できるまでには、平均 5 分程度の時間を要した。これには、オペレータが事故情報（事故原因、発生箇所等）を入力する時間および、振替対象範囲を設定する（システムが提示した内容を確認し、必要に応じて修正する）時間が含まれる。現在、列車運行の乱れに関する情報を XML フォーマットで自動配信するしくみがすでに実現されており、近い将来には本システムで必要なデータがすべて XML フォーマットで入手可能となる見通しである。このように自動配信される電子データを活用すれば、上記の作業に要する時間は大幅に短縮可能である。

また、システムによるサービス開始後は、毎回、PC からインターネット経由でシステムに随時アクセスし、応答性能を確認したが、各検索要求に対して遅くとも 3 秒以内ではレスポンスがあり、目立った応答性能低下は観察されなかった。ただし、アンケートの自由意見欄に、「サイトへのアクセス、レスポンスが遅い」との回答が 5 件寄せられており、携帯電話からのアクセスの場合には、十分な応答性能を提供できないケースもあったと考えられる。

6. 結論および今後の課題

我々は、ダイヤ乱れ時における各目的駅までの推定所要時間に基づいて各駅別に迂回の適否（運転再開を待つべきか、目的地への迂回経路をとるべきか）を判

定し、利用者に案内するシステムを開発した。このシステムを用いて、実際のダイヤ乱れ時において、一般利用者を対象とした実証実験を実施した結果、提示された案内情報に従って移動した利用者の 65% が案内どおり、または案内よりも早めに目的地に到着することができた。提供情報の精度は、まだ十分とはいえず、今後の改良が必要と考えられるものの、現時点においてもシステムの有用性については高い評価が得られた。また、不確実性を含む予測情報であっても一定の確度があれば利用者に十分受容され、活用されうることを確認した。

システムを実用化するために、今後取り組むべき課題を以下にまとめる。

(1) 予測精度の向上

現状では、列車運転見合せ時においてつねに鉄道会社から運転再開見込み情報が公表されるわけではなく、また公表される場合でも、公表されるまでに時間を要するケースもある。そのような場合には、過去の事故実績データ等に基づいて統計的な手法で運転再開時間を判断する必要がある。この分野の検討は、まだ緒に付いたばかりであり⁵⁾、今後、データの蓄積とともに予測手法の洗練化が必要となるだろう。

(2) 情報の確度を測る手法の確立

現在のシステムでは、提供される情報の確度の情報は提示していない。情報の確度が利用者の選択行動を左右しており、実際の情報提供サービスの運用にあたっては、確度情報を同時に提供することが望まれる。しかし、情報の確度を測るための現実的な手法がまだ確立しておらず、今後の検討の深化が必要である。

(3) アクセス集中および旅客行動への影響

本研究で実施した実証実験では、比較的少数のモニタを対象にサービスを実施したが、実運用場面では、列車ダイヤ乱れ時というきわめて短い時間に大量のアクセスが集中することになる。このようなアクセス集中にも耐えうる頑健なシステムの構成と信頼性の確保も重要となるだろう。また、大勢の利用者がシステムの案内を活用することになると特定のルートへの利用者の集中傾向が今以上に強まる可能性もある。4.3 節で述べたような、駅等での的確な誘導案内のしくみの実現とその効果の検証も課題となるだろう。

(4) 情報提供システムの運用スキームの検討

本研究では、鉄道事業者自らが自社路線およびその振替対象路線に関する情報提供を行うという前提で検討を行った。しかし、実際の利用場面では、複数の鉄道事業者にまたがる移動を行う利用者が多いことから、事業者個々の情報提供だけではカバーしきれない

ケースも多い。そこで、事故や列車運行に関する基本情報のみ鉄道事業者が提供し、末端の利用者への情報提供は、第三者の交通情報プロバイダが行うという方法も考えられる。携帯電話等によるサービスの場合はこちらの方が一般的であろう。今後は、このような形態での情報提供の実現スキーム（システムの運用体制、データ交換用フォーマットの策定、情報の責任の所在の明確化等）を検討していく必要があるだろう。

謝辞 システムの実装、実証実験の実施にあたり多大なご協力をいただいた（株）ジェイアール総研情報システム池谷勇一氏、君塚知一氏をはじめとする皆様に謝意を表す。

参 考 文 献

- 1) 野末尚次：ジャストイン・タイム旅行—列車乗り継ぎ案内システム EST の開発, Railway Research Review (1992).
- 2) 株式会社ヴァル研究所：駅すばあと。
<http://ekiworld.net/3>
- 3) 株式会社駅前探険倶楽部。<http://ekitan.com/>
- 4) 大橋, 唐崎：乗換え案内サービスにおける代替経路検索技術について, 電気学会交通・電気鉄道研究会, TER-06 (2006).
- 5) 杉山, 土屋：鉄道人身事故における復旧時間予測に関する研究, 電気学会交通・電気鉄道研究会, TER-07 (2007).
- 6) 源, 高橋, 富井, 武内：異常時における列車運行情報提供と利用者の情報活用度を考慮に入れた経路選択推定モデル, 日本オペレーションズリサーチ学会春季研究発表会, pp.144-145 (2004).
- 7) 土屋, 山内, 杉山, 藤浪, 有澤, 中川：列車ダイヤ乱れ時における経路選択支援システムとその利用者行動への影響把握, FIT2006 第 5 回情報科学技術フォーラム, 情報科学技術レターズ (2006).
- 8) 山内, 藤浪, 土屋, 杉山, 有澤, 中川：輸送障害時の情報提供のあり方が経路選択に与える影響, 日本行動計量学会第 34 回大会 (2006).
- 9) Dijkstra, E.W.: A Note on Two Problems in Connexion with Graphs, Numerische Mathematik, Vol.1, No.296-271 (1959).
- 10) Brander, A.W. and Sinclair, M.C.: A Comparative Study of k-Shortest Path Algorithms, Proc. 11th UK Performance Engineering Workshop for Computer and Telecommunications Systems (1995).
- 11) 土屋, 杉山ほか：事故復旧時間予測に基づく迂回経路案内システム, 鉄道総研報告, Vol.20, No.2 (2006).

(平成 19 年 5 月 24 日受付)

(平成 19 年 11 月 6 日採録)



土屋 隆司 (正会員)

1985 年東京大学理学部情報科学科卒業。同年日本国有鉄道入社。1987 年 (財) 鉄道総合技術研究所入社。故障診断システム, セイフティクリティカルシステムの要求定義技術, 旅客への情報提供等の研究開発に従事。現在, 輸送情報技術研究部旅客システム研究室長。電気学会, 人工知能学会各会員。



杉山 陽一 (正会員)

2004 年大阪大学大学院情報工学研究科バイオ情報工学専攻博士前期課程修了。同年 (財) 鉄道総合技術研究所に入社。輸送情報技術研究部旅客システム研究室研究員。事故復旧時間予測, 輸送障害時の案内等の研究に従事, 現在に至る。



山内 香奈 (正会員)

2000 年東京大学大学院教育学研究科総合教育科学専攻教育心理学コース博士課程修了 (財) 鉄道総合技術研究所に入社。人間科学研究部人間工学研究室にて心理統計学 (心理測定・評価) に関する研究に従事。日本心理学会, 日本行動計量学会, 日本教育心理学会, 日本グループ・ダイナミクス学会, 日本人間工学会各会員。



藤浪 浩平 (正会員)

1991 年早稲田大学人間科学部人間健康科学科卒業。同年 (財) 鉄道総合技術研究所に入社。人間科学研究部人間工学研究室にて, 鉄道におけるユーザビリティ, ユニバーサルデザインの研究に従事。日本人間工学会会員。



有澤理一郎 (正会員)

1998 年早稲田大学理工学研究科応用化学専攻修士課程修了。同年東日本旅客鉄道株式会社に入社。「安心できる駅」実現へ向けた研究, お客様への運行情報案内のあり方に関する研究等に従事。2007 年 7 月よりジェイアール東日本コンサルタンツ株式会社 IT 事業本部 GIS 推進ユニット課長。



中川 剛志（正会員）

1991年東京工業大学理学部情報科学科卒業．同年東日本旅客鉄道株式会社に入社．ユビキタスコンピューティングを活用した駅，鉄道における新しいサービスの創造等に関する研究開発に従事．現在，JR 東日本研究開発センター・フロンティアサービス研究所ユビキタスソリューショングループ課長（社）日本鉄道電気技術協会会員．
