

運転再開時の旅客数予測手法の開発

輸送情報技術研究部 交通計画
研究室長 武藤 雅威

1. はじめに

大都市圏の鉄道路線で人身事故などの原因により列車運行が一時中断に至った時、その鉄道利用者は平常時の移動とは異なる交通行動を取らざるを得ない。運転再開まで待つ場合もあるし、他路線に乗り換えるなど迂回経路をとる場合もある。また、バスやタクシーなど代替交通機関を利用する場合や、移動そのものを中止する場合もある。一方、鉄道事業者としては、運転再開時にどの程度の旅客数が見込まれるのかを事前に把握することにより、適切な列車本数の確保など、より良い運転整理案を構築することが可能となる。また、運転中断時間の長さに伴う減収規模や、振替輸送の必要量などを想定することも可能となる。それらの施策に対する評価指針とすべく、本研究では、運転中断時における旅客行動調査に基づき経路迂回に関する行動選択モデルを構築し、運転再開時の旅客数を予測する手法の確立を目指す。

2. 運転中断に遭遇した旅客の行動調査

運転中断は突発的で、発生箇所を事前に特定できない不測の事象である。当然、中断に遭遇した旅客への直接的行動観測や調査票配布による調査をしにくいいため、その実行動を把握することは極めて困難である。本研究では、その旅客の記憶ができるだけ新鮮なうちに行動実績データを取得できる調査方法を検討した。特に、運転中断に遭遇した時点で、「運転再開まであと〇分かかるのでは？」という旅客が抱く見込時間のような時間的観念をどのように計測するかが重要であり、「迂回経路をとる」か「運転再開を待つ」のかといった行動選択解明への鍵となると考えた。本研究では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、予め、Web 調査会社のモニタ会員に対して、自身が運転中断に遭遇した場面での即日回答を依頼した。

Web 調査では、首都圏・京阪神圏での JR の駅や電車内（新幹線を除く）で、人身事故や鉄道設備の故障、地震など災害の影響などで、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方から、一人一件限りで回答を得た。

- ①運転が再開されるのを待った ②他の鉄道路線に乗り換えた
- ③徒歩やバスやタクシーなど、鉄道を利用しなかった ④行くことをやめた

調査期間は2005年12月20日から2006年2月24日までで、計3,224サンプルを取得している。

3. 集計分析結果

全サンプルを用いた集計分析の結果、以下の事柄が判明している。

- (1) あくまでも鉄道を利用する「運転再開待ち」と「経路迂回」で90%を占める（図1）。
- (2) そのうち、85%を越える旅客が何らかの「運転再開見込時間」を想定している（図2）。
- (3) 急いでいる人ほど、迂回もしくは他の交通機関を利用する傾向が現れており、目的地までの急ぎ具合がそれらの選択に影響を及ぼす（図3）。

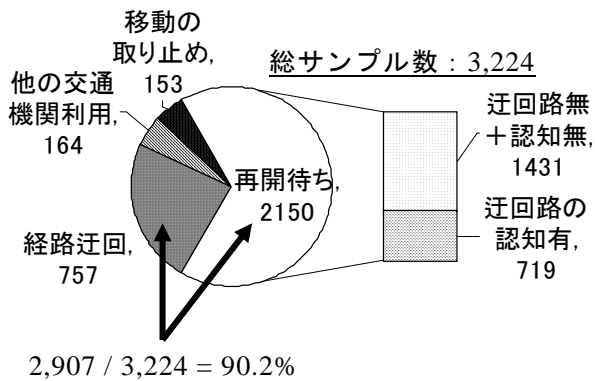


図1 行動結果

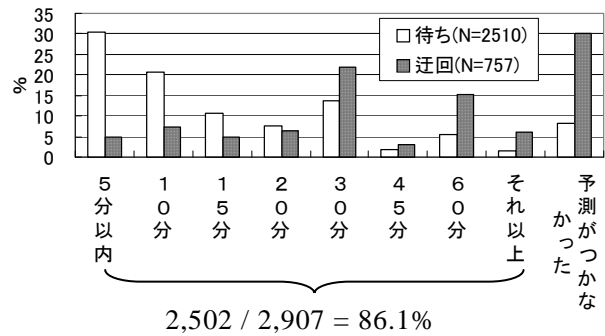


図2 運転再開見込時間と行動結果 (待ちと迂回)

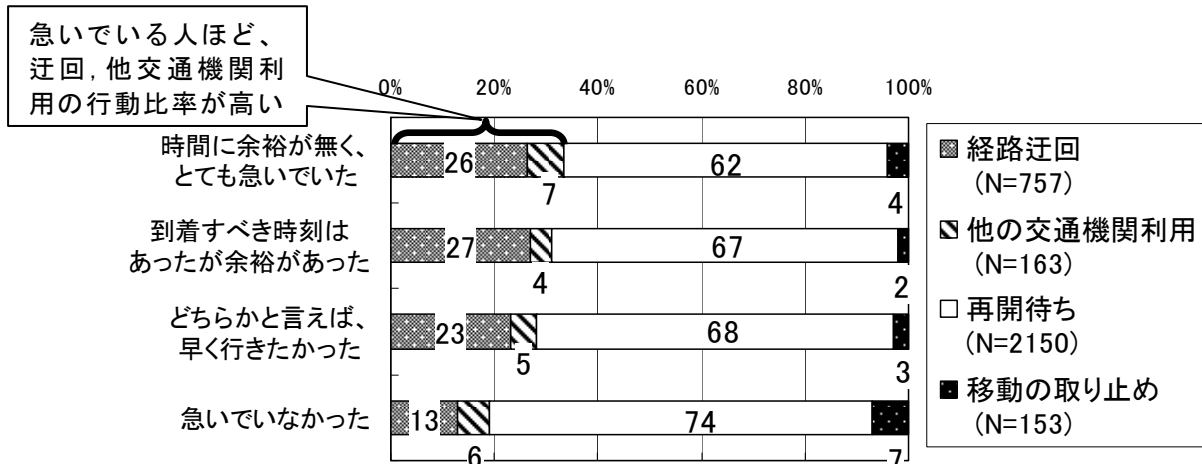


図3 「急ぎ具合」と「行動結果」のクロス集計

4. 「迂回」対「待ち」の行動選択モデル

上記のとおり、運転中断時の旅客の主な行動結果としては、「迂回する」か「運転再開を待つ」かであることが判明した。これを鉄道経路選択問題と見なして、迂回経路を代表的な一経路（最短時間の経路など）に限れば、二者択一型の経路選択モデルが構築できることとなる。そのモデルの説明変数として挿入する所要時間を次のように定義することとする。

・「迂回」の全所要時間＝迂回経路所要時間（乗車時間＋乗換時間）

一方の「運転再開を待つ」の所要時間とは、通常経路での所要時間（乗車時間＋乗換時間）に運転再開までの待ち時間を加えたものと見なすことができる。

運転再開見込時間の情報提供がなかった場合は、次式となる。

・「待ち」の全所要時間＝その旅客による運転再開見込想定時間＋通常経路所要時間

駅の案内放送等で運転再開見込時間の情報提供があった場合は、次式に書き換えられる。

・「待ち」の全所要時間＝情報提供による運転再開見込時間＋通常経路所要時間

この経路選択問題をモデル化するため、「待ち」のサンプルで迂回経路を有するものを抽出し、「迂回」540サンプルと「待ち」462サンプルを用いて、「迂回」対「待ち」の行動選択モデルを構築する。モデル型式としては通常の鉄道経路選択モデルで汎用され、多くの実績を有する非集計ロジットモデルを採用する。モデルの効用関数と選択確率は、式(1)(2)で示すとおりである。

$$U_m = \sum_k \beta_k \cdot X_{km} + \alpha \dots\dots\dots (1)$$

U_m : 経路 m の効用 X_{km} : k 番目の説明変数
 α : 定数項 β_k : 各パラメータ

$$P_1 = \frac{e^{U_1}}{e^{U_1} + e^{U_2}} \dots\dots\dots (2)$$

P_1 : 経路 1 の選択確率

$U_{1,2}$: 経路 1、経路 2 の効用 (e : 自然対数の底)

正常ダイヤ時の経路選択モデルでは、二経路の効用が全く等しい場合には選択確率を 50/50 に計算することが一般的である。しかしながら運転中断時で「迂回」と「待ち」の効用が等しい場合、旅客は“当初から利用予定であった「待ち」経路を選択する”と考えるのが理に適っている。この概念をモデルに反映させるために、「迂回」と「待ち」との効用差に閾値を設定し、この閾値を越えた時に「迂回」経路の選択確率が 50% を越えるというモデル構造 (式(3)) とする。

$$P_a = \frac{e^{U_a}}{e^{U_a} + e^{U_u + \Delta}} \dots\dots\dots (3)$$

P_a : 「迂回」経路の選択確率

U_a, U_u : 「迂回」経路の効用、「待ち」経路の効用 Δ : 閾値

モデルのパラメータ推定計果を表 1 に示す。全所要時間と他社線ダミー (迂回で他社の路線を利用する場合 = 1) を説明変数として挿入しているが、両説明変数の t 値が 2.576 (有意水準 1%) をはるかに上回っていることや、モデルの適合度を示す尤度比で良い目安とされる 0.2~0.3 を上回っていることから、十分な説明力を有するモデルであると判定できる。また、閾値には「運転再開までの待ち時間」(運転再開見込時間) を用いている。感覚的に言えば、“運転再開までの待ち時間が短いほど迂回しない”傾向にあり、閾値が大きくなると考えられる。よって、「運転再開までの待ち時間」の逆数を取り、その閾値分布を図 4 に示すようにした。待ち時間が短いほど閾値が大きくなり、直近ほど急激に大きくなる様子が表現できることがわかる。待ち時間が 0 (平常運転と同じ) の時は閾値が無限大をとるので、「迂回」の選択確率は 0 となる。

表 1 経路選択モデル推定結果

説明変数 (X)		パラメータ (β)
効用 閾値	全所要時間 【共通変数】	-0.053 (**)
	他社線ダミー 【迂回のみ】	-0.929 (**)
	迂回定数項 (α)	0.144 (-)
閾値	運転再開までの 待ち時間の逆数	0.543 (*)
自由度調整済尤度比		0.367

サンプル数 1,002

t 値からみた適合度 **1%有意 *5%有意

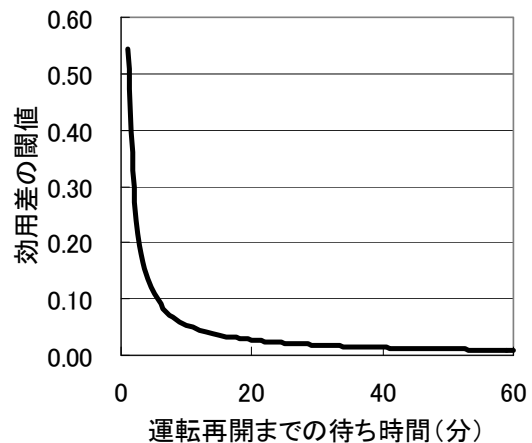


図 4 モデルでの閾値分布

5. モデルを利用したシミュレーション

モデルを利用したシミュレーションで、迂回経路への選択傾向を把握する。ケーススタディは JR の X 駅から同 Y 駅 (JR - a 線直通) へ向かう利用者で、運転中断時には JR - b 線から N 駅乗り換えで、並行会社線へ迂回する (図 5)。シミュレーションでは、X 駅に現れる旅客が迂回経路を選択する確率を 1 分毎に計算する。そのシナリオ (仮想条件) は以下のとおりである。

・シナリオ（仮想条件）

- 15:00 JR-a線で人身事故発生→運転抑止
この後、X駅に現れた旅客は皆、迂回経路を
認知し、16:00に運転再開すると自己予測
- 15:31 「運転再開見込み時刻は15:45」とX駅
でアナウンス開始
- 15:45 運転再開

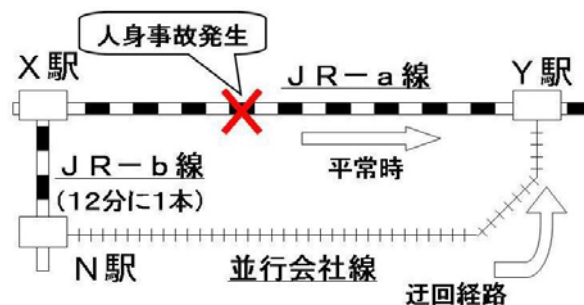


図5 路線図

注) 平常時の所要時間 38分 (a線経由)

迂回の所要時間 40~59分 (b線列車待ち時間を含む)

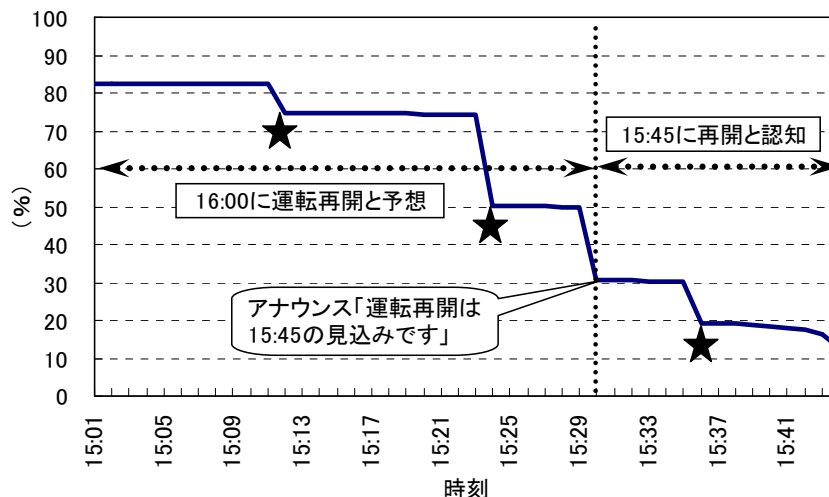


図6 迂回経路選択確率

シミュレーション結果を図6に示す。事故発生直後では“約60分待たされる”という設定から迂回経路の選択確率は80%を越え、高い割合となる。15:31に「運転再開は15:45」とアナウンスされると、旅客が抱く運転再開見込み時間が29分から14分に書き換えられるため、選択確率は一気に下降(約50→30%)する。なお、X駅でのJR-b線列車の発車が12分おきのため、選択確率には段差が生じている(b線列車が発車した直後に選択確率が下がる:図中の★部)。

6. まとめ

- (1) 集計分析により、8割以上の利用者が“運転再開まで、あと〇分はかかる”といった見込時間を自ら想定していることや、行動結果としては「迂回する」か「運転再開を待つ」かという、あくまでも鉄道を利用する者が大勢を占め、その選択行動に対しては、目的地までの急ぎ具合などの要因が影響を及ぼすことなどが判明した。
- (2) 「迂回」対「待ち」の選択モデルを構築したところ、乗車時間と乗換時間に加え、運転再開までの待ち時間を加えた全所要時間を「待ち」側の説明変数として導入すること、両経路の効用差に待ち時間の逆数を用いた閾値を導入することがそれぞれ有効と判明した。
- (3) 実運用のイメージとして、モデルを利用したシミュレーションを行い、運転再開時の旅客数を予測する手法としての目処をたてた。なお、実存のダイヤ乱れ時における旅客数の減少量について試算を行い、各種輸送実績データと比較してモデルの再現性を検証したところ、本モデルによる予測値は特異的な箇所を除いて再現性を有することが別途確認されている。