

ICカードシステムによる改札通過データを活用した乗車列車推定方法の開発*

Estimation of Passenger Route Choice in Railway Network with IC Card Ticket System*

日下部貴彦**・高木勇弥***・井料隆雅****・朝倉康夫****

By Takahiko KUSAKABE**・Yuya TAKAGI***・Takamasa IRYO****・Yasuo ASAKURA****

1. はじめに

近年、都市圏を中心としたJRや各私鉄などでは、ICカード乗車券の普及がみられる。これらの交通系ICカードの利用履歴データ(ICデータ)の特徴として、①ICカード(利用者)毎の利用履歴が記録されていること、②改札通過時刻を1分単位という詳細な時間解像度で記録していること、③長期にわたる改札通過の観測データが収集できること、④入出場記録が完結されなければ利用者は継続利用できないためデータの欠損が少ないことがあげられる。これらの特徴からICデータは、時刻毎の利用者の鉄道利用の状況の分析や、利用者行動の長期にわたる変動を分析するのに適したデータであるといえよう。

これまでの鉄道利用者の行動を推定する研究では、大都市交通センサスによるデータを用いる方法が主流であった¹⁾²⁾。しかし、センサスを用いた方法では、都市全体の鉄道旅客流動を把握することが可能である半面、日々の変動をとらえることはできない。近年、技術の向上により、各車両の応荷重の履歴データや自動改札機の通過履歴によるデータを用いることで日々の旅客の変動をとらえることも可能になってきている³⁾⁴⁾⁵⁾。応荷重データを用いた方法では、個々の車両の乗客数を推定することは可能であるが、乗客の乗降駅を把握することは難しい。一方、自動改札機のデータを用いた場合には、乗降駅を把握することは容易であり、個々の車両の乗客数は乗降駅及び乗降時刻から推定することになる。しかし、自動改札機のデータを用いたこれまでの推定方法では、1分単位という時間解像度の高いデータを用いられてはおらず、また、乗客は必ず旅行時間が最短となる列車を選択するという強い仮定がされているなど、実際の乗客の行動に即したものは必ずしもなっていない。また、これらのデータを用いた方法では、利用者行動の長期にわたる詳細な変動を捉えることはできない。

*キーワード: ICカード, 列車選択, 交通量推定

**学生員, 工修, 神戸大学大学院工学研究科

(神戸市灘区六甲台町1-1,

TEL078-803-6360, FAX078-803-6360)

***学生員, 学士, 神戸大学大学院工学研究科

****正会員, 工博, 神戸大学大学院工学研究科

ICデータについて基礎的な分析を行った高木らの研究⁶⁾では、鉄道利用者の行動には、列車の出発時刻にあわせて駅に入場する傾向があり、列車到着後すぐに出場する傾向が強いことが示されている。このことから列車ダイヤデータと1分単位で観測されたICデータによる入出場記録の双方を用いることで利用者がどの列車に乗車したかを推定できることが示唆されている。したがって、ICデータを用いることで時間解像度が高い入出場データから把握できる乗客の行動をベースとした列車選択の推定モデルを構築できることが期待できる。

そこで本研究では、ICデータと列車時刻表データの双方を用いることで、鉄道利用者が選択した乗車列車を推定する方法を構築することを目的とする。

2. 対象データ

本研究では、ICデータと列車ダイヤデータを用いて鉄道利用者の乗車列車を推定する。本研究で想定しているICデータのレコードは、利用者の鉄道利用毎に記録されており、各レコードには「使用年月日, 入場駅, 入場時刻, 出場駅, 出場時刻, 利用者のカードID」が記録されているものである。また、入場時刻及び出場時刻は、1分単位で記録されているものとする。

列車ダイヤデータは各列車の駅到着時刻と出発時刻が1分単位で記録されているものを想定する。列車ダイヤデータのレコードは、列車識別番号, 出発駅, 出発時刻, 到着駅, 到着時刻が記録されているものとする。列車識別番号とは、列車を識別するために列車毎に割り当てられる番号である。各データの例を図-1に示す。

3. 乗車列車推定方法の構築

本研究では、ICデータの各レコードに記録された情報を元に、ダイヤデータ上のどの列車を利用したかを推定する方法を構築する。

本章では、はじめにICデータから得られた知見に基づいて乗客の行動についての仮定を行う。次に、仮定による行動を記述するために、列車ダイヤを有向グラフとして記述する(以下、これを乗換ネットワークと呼ぶ)。

ICデータ					
使用年月日	入場駅	入場時刻	出場駅	出場時刻	カードID
2007年10月13日	A駅	7:10	C駅	7:23	A25687DK
2007年10月13日	A駅	7:11	C駅	7:23	B68677DS
2007年10月13日	A駅	7:11	B駅	7:18	B67732RR
⋮					
2007年10月13日	B駅	17:57	A駅	18:09	B67732RR
2007年10月13日	C駅	18:00	A駅	18:17	B89751RR
⋮					

列車ダイヤデータ				
列車識別番号	出発駅	出発時刻	到着駅	到着時刻
1	A駅	7:12	B駅	7:17
1	B駅	7:19	C駅	7:22
1	C駅	7:25	D駅	7:30
2	A駅	7:22	B駅	7:27
2	B駅	7:29	C駅	7:32
⋮				

図-1 ICデータ・列車ダイヤデータの例

乗換ネットワークを用いて、仮定による行動で利用される経路を記述する。その後、推定に用いるアルゴリズムについて述べる。

(1) 乗客行動の仮定

本研究では、高木らの研究⁶⁾で示された知見を元に鉄道利用者の行動を仮定する。高木らの研究では、図-2のように、1分単位で観測されたICデータによる利用者の入出場時刻をプロットし、ダイヤを重ね合わせることで分析を行っている。この分析から、鉄道利用者は、列車の出発時刻にあわせて駅に入場する傾向があり、列車到着後すぐに出場する傾向があることが示されている。このことから、本研究では、鉄道利用者の列車選択行動に対して次のような仮定を行う。

乗客は、入場直後の列車待ち時間と出場の時間ロスの和が最小となるように行動している。

①の満たす列車選択パターンが複数ある場合には、乗り換え回数を最小にするような行動を行っている。

①と②双方を満たす複数の列車選択パターンがある場合には、それらを等確率で選択する。

仮定①～③を満たす列車選択行動を記述するためには、仮定①②を満たす経路をすべて列挙した上で、その中から確率的に選択することになる。そこで以降では、鉄道利用毎に仮定①②を満たす経路をすべて列挙する手法を構築する。

(2) 乗換ネットワークの構築

入出場駅及び入出場時刻に応じて利用者が利用し得る列車の組合せを列挙する必要がある。このために、まず列車ダイヤを時刻と駅の属性を持った図-3のような有向グラフとして記述し、これを乗換ネットワークと呼ぶ

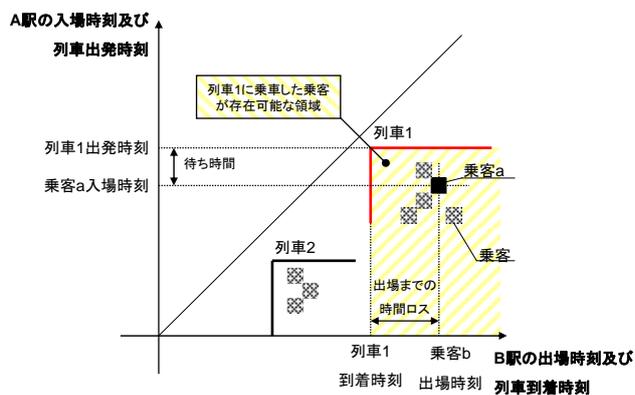


図-2 利用者の入出場時刻と列車ダイヤ

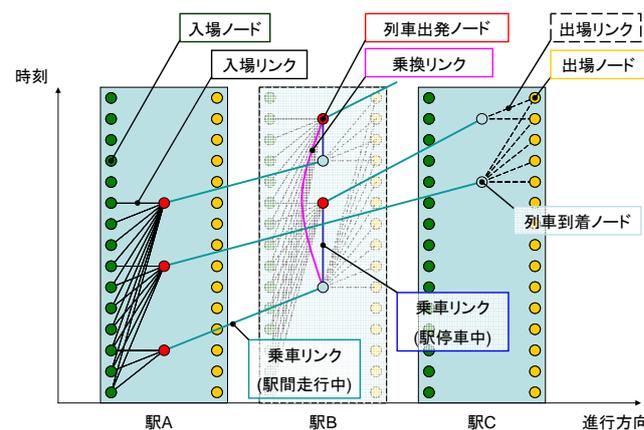


図-3 乗換ネットワークの例

こととする。乗換ネットワークを用いることで、利用者が乗車した列車及び乗換駅の組合せはネットワーク上での「経路」して記述することができる。以降では、乗換ネットワークのノード及びリンクの定義を行う。

乗換ネットワークでのノード(v)は、入場ノード、出場ノード、列車到着ノード、列車出発ノードの4種類で構成される。各ノード集合をそれぞれ、 V_s 、 V_t 、 V_a 、 V_d とあらわす。入場ノードと出場ノードは、各駅の時刻毎に定義する。各ノードが示す駅は $Station(v)$ で表し、時刻は $Time(v)$ であらわすこととする。また、それぞれの入場ノードと出場ノードは、それぞれ $Station(v)$ と $Time(v)$ の組合せで一意に特定できる。

列車到着ノードと列車出発ノードは列車ダイヤデータから作成するものである。列車到着ノードは各列車の各駅への到着時刻に対応する。また、列車出発ノードは各駅からの出発時刻に対応する。それぞれのノードは、入場ノードなど同様に時刻及び駅を属性値として持つ。また、どの列車の到着及び出発を表すのかを示すために列車毎に割り当てられた列車識別番号を属性値として持つ。各ノードの列車識別番号は、 $Train(v)$ とする。

乗換ネットワークでのリンク(a)は、入場リンク、出場リンク、乗車リンク、乗換リンクの4種類のリンクで構成する。それぞれのリンク集合は、 A_s 、 A_t 、 A_r 、 A_c と記述し、リンク集合全体を A とする。また、各

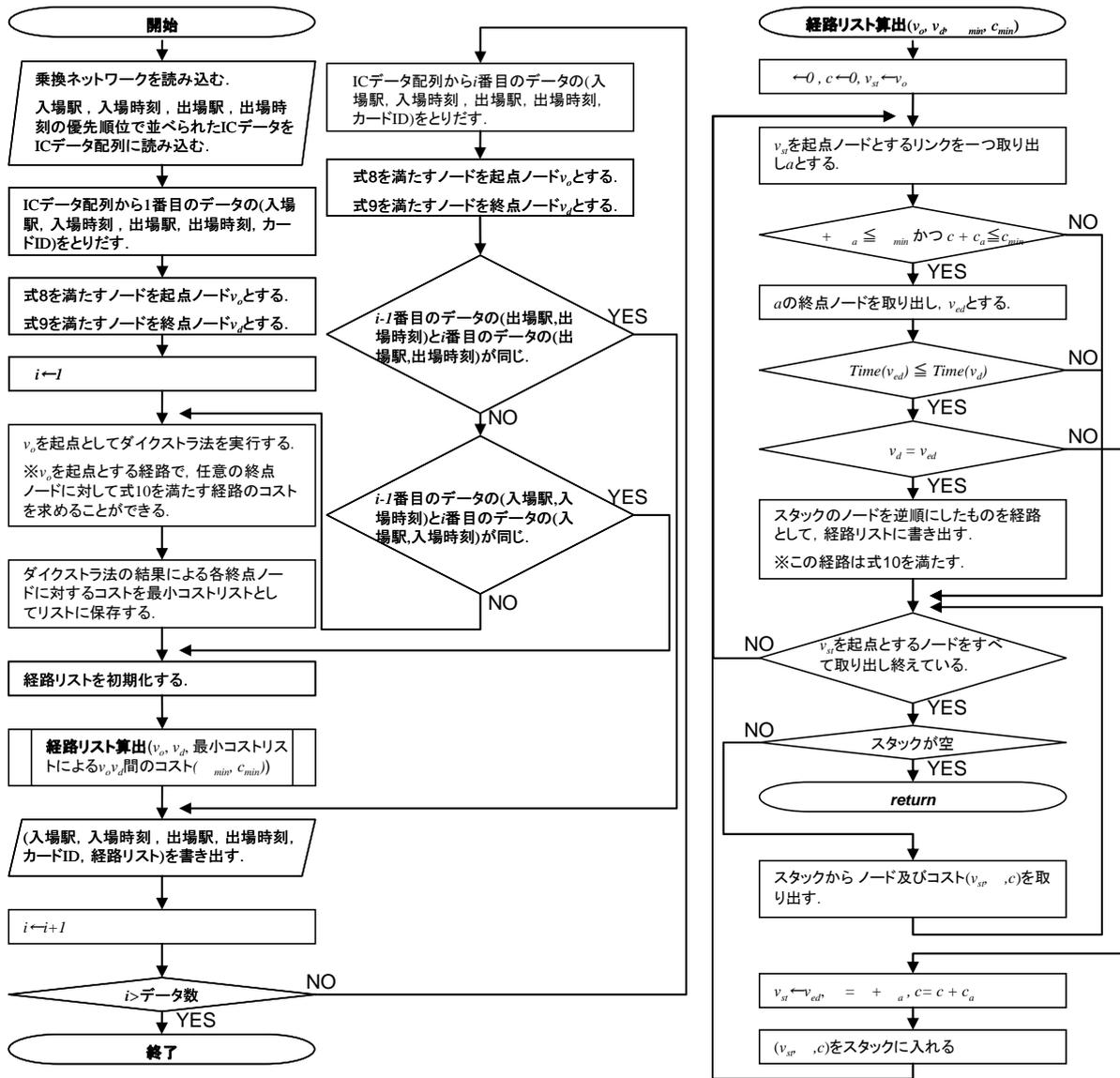


図-4 乗車列車推定のためのアルゴリズム

リンクの起点ノード及び終点ノードは、それぞれ $V_{st}(a)$, $V_{ed}(a)$ で表す。すべてのリンクに共通する条件は、

$$Time(V_{ed}(a)) - Time(V_{st}(a)) \geq 0 \quad a \in A \quad \dots \text{式1}$$

である。この条件により乗換ネットワークは自己ループのないグラフになる。また、単線又は複線の路線の列車ダイヤを用いる場合には、単純グラフとなる。

入場リンクは、入場ノードから列車出発ノードへの有向リンクであり、出場リンクは、列車到着ノードから出場ノードへの有向リンクである。入場リンク及び出場リンクは、式1の条件と

$$Station(V_{st}(a)) = Station(V_{ed}(a)) \quad a \in A_s \cup A_t \quad \dots \text{式2}$$

を満たす。

乗車リンクは、列車を表すリンクであり、列車ダイヤデータから作成する。駅間を走行中の列車と駅に停車中の列車の双方をリンクとして表す。駅間を走行中の列車を表す乗車リンク a は、起点ノードは列車出発ノード、

終点ノードは列車到着ノードであり、式1と

$$\begin{aligned} Station(V_{st}(a)) &\neq Station(V_{ed}(a)) \text{ かつ} \\ Train(V_{st}(a)) &= Train(V_{ed}(a)) \end{aligned} \quad \dots \text{式3}$$

を満たす。停車中の列車を表す乗車リンク a は、起点ノードは列車到着ノード、終点ノードは列車出発ノードであり、式1と

$$\begin{aligned} Station(V_{st}(a)) &= Station(V_{ed}(a)) \text{ かつ} \\ Train(V_{st}(a)) &= Train(V_{ed}(a)) \end{aligned} \quad \dots \text{式4}$$

を満たす。

乗換リンクは、各駅で異なる列車への乗換を示すリンクである。起点ノードは列車到着ノード、終点ノードは列車出発ノードであり、式1と、

$$\begin{aligned} Station(V_{st}(a)) &= Station(V_{ed}(a)) \text{ かつ} \\ Train(V_{st}(a)) &\neq Train(V_{ed}(a)) \quad a \in A_c \end{aligned} \quad \dots \text{式5}$$

を満たす。

(1)に示した仮定 を満たす乗客流を推定するために各リンクのコストを2次元ベクトルで定義する. リンク a のコストは,

$$C(a) = (\tau_a, c_a) \quad \dots \text{式6}$$

ただし,

τ_a : 入場から乗車または, 降車から出場までにかかる時間

$$c_a: \text{乗換を示す離散変数. } c_a = \begin{cases} 1 & a \in A_c \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

とする. これより, それぞれのリンクのコストは,

$$C(a) = \begin{cases} (\text{Time}(V_{ed}(a)) - \text{Time}(V_{st}(a)), 0) & \text{if } a \in A_s \cup A_t \\ (0, 0) & \text{if } a \in A_r \\ (0, 1) & \text{if } a \in A_c \end{cases} \quad \dots \text{式7}$$

となる.

(3) 乗客行動の仮定を満たす経路

ICデータのレコードから, 各鉄道利用に関する入場駅 s_o , 入場時刻 t_o , 出場駅 s_d , 出場時刻 t_d が得られたとき, 経路の起点ノードは,

$$(s_o, t_o) = (\text{Station}(v_o), \text{Time}(v_o)) \quad v_o \in V_s \quad \dots \text{式8}$$

を満たす出発ノード v_o あり, 終点ノードは

$$(s_d, t_d) = (\text{Station}(v_d), \text{Time}(v_d)) \quad v_d \in V_t \quad \dots \text{式9}$$

である. v_o, v_d を起終点とする経路の集合を R_{od} とする. R_{od} のうち, (1)で示した仮定をみたすものは,

$$R_c = \left\{ r_c \mid r_c \in R_0, \sum_{a \in A(r_c)} c_a \leq \sum_{a \in A(r_0)} c_a \text{ for } \forall r_0 \in R_0 \right\} \quad \dots \text{式10}$$

ただし,

$A(r)$: 経路 r に含まれるリンクの集合

R_0 : 仮定 を満たす経路集合であり,

$$R_0 = \left\{ r_0 \mid r_0 \in R_{od}, \sum_{a \in A(r_0)} \tau_a \leq \sum_{a \in A(r)} \tau_a \text{ for } \forall r \in R_{od} \right\}$$

である.

(4) アルゴリズム

本節では, ICデータに含まれるすべての鉄道利用について, 乗車列車を推定のためのアルゴリズムについて述べる. 図-4に推定アルゴリズムの流れ図である. 図のアルゴリズムでは, まず, ダイクストラ法を用いて, 式10を満たす経路のコストを求め, 「経路コスト算出サ

ブルーチン」では, 式10を満たす経路すべてを列挙している. 経路コスト算出サブブルーチンでは, 時刻が入場時刻と出場時刻の間で, かつ入場ノードを起点とした経路のコストがダイクストラ法で求めたコスト以下である乗換ネットワークのサブネットワークを探索することで計算時間を短縮している. また, ICデータを並べ替えて入力することで, 一度算出した結果の再利用をし, 推定時間を短縮する工夫を行っている.

4. おわりに

本研究では, ICデータに記録された利用者の乗車した列車を推定する方法を構築した. 本研究の方法では, 3章で示した仮定①②を満たす複数の経路を列挙する方法である. 列挙される経路数は, 仮定①を満たす乗換パターンのうち乗換回数が最小のもののみになることから通常1~5個の経路が列挙されることが想定される. 仮定により利用者はこれらの経路から等確率で経路を選択することを想定していたが, 等確率が適当な方法であるかどうかは今後の検討課題である. 今後, 長期間に渡って観測されたICデータを用いることで, 利用者の日々の列車選択行動なども分析することも可能となると考えられる. このような分析を通じてダイヤ改正等の影響分析などが可能になると期待できる. また, ICカードの利用率が上昇すれば, 本研究の手法でも乗客流を推定することも可能となると考えられる.

参考文献

- 1) 家田仁, 赤松隆, 高木淳, 畠中秀人: 利用者均衡配分による通勤列車運行計画の利用者便益評価, 土木計画学研究・論文集, No.6, pp.177-184, 1988.
- 2) 田口東: 首都圏電車ネットワークに対する時間依存通勤交通配分モデル, 日本オペレーションズ・リサーチ学会和文論文誌, Vol.48, pp. 85-108, 2005.
- 3) 森田泰智, 太田雅文, 窪田崇斗, 家田仁: 車両荷重データを用いた都市鉄道の時間帯別・車両交雑率の分析 - 東急田園都市線を対象として -, 土木計画学研究・講演集, Vol.36, 2007.
- 4) 明星秀一: 自動改札機データを活用した旅客流動推定手法, 鉄道総研報告, Vol.20, No.2, pp.23 -28, 2006.
- 5) 窪田崇斗, 古谷聡, 家田仁, 自動改札機・車両応荷重データを用いた都市鉄道の混雑率推定手法に関する研究, 土木計画学研究・講演集, Vol.36, 2007.
- 6) 高木勇弥, 日下部貴彦, 井料隆雅, 中島良樹, 朝倉康夫, ICカード乗車券システムから得られる改札通過データを用いた鉄道旅客流動の分析, 土木計画学研究・講演集, Vol.36, 2007.