

代替経路を考慮した都市間鉄道・航空機関分担モデル

広島大学大学院 学生員 杵元 淳平
 広島大学大学院 正会員 塚井 誠人
 広島大学大学院 正会員 奥村 誠

1. はじめに

わが国の鉄道・航空網は長年のインフラ整備により稠密なネットワークを形成しており、都市間には最短経路に近い、サービス水準の高い経路（代替経路）が多く存在するようになった。

これらの代替経路は、最短経路と並んで実質的な利用経路としての存在価値がある。しかし従来、代替経路については緊急時の迂回路として考慮されるに留まっている。

本研究では、業務での都市間の鉄道・航空トリップを対象に、説明変数に代替経路のサービス水準を加えた機関分担モデルを構築し、都市間流動への影響を考察する。

2. 代替経路の生成方法

(1) ネットワークデータ

主要路線をリンクとする鉄道ネットワーク、航空ネットワークを設定し、1995年のJR時刻表から各リンクのサービス水準（所要時間、運行本数、距離）を得た。

(2) 第K経路探索法

都市間に存在する複数の経路を列挙するために用いる第K経路探索アルゴリズム¹⁾は、ダイクストラ法、次善経路探索、第K経路探索のサブルーチンからなる。

次善経路探索

最短経路から枝分かれし、最短経路上にないノードを1点以上経由する経路をダイクストラ法を用いて列挙し、最短の経路を第2番目経路として採用する。

第K経路探索

第3番目経路について説明する。最短経路、第2番目経路から枝分かれして第3番目経路になり得る経路は分岐点に着目すると3種類しかない（図1参照）。3種類の経路それぞれについて、探索に必要な始点から分岐点までのノード、リンクを探索対象グラフから

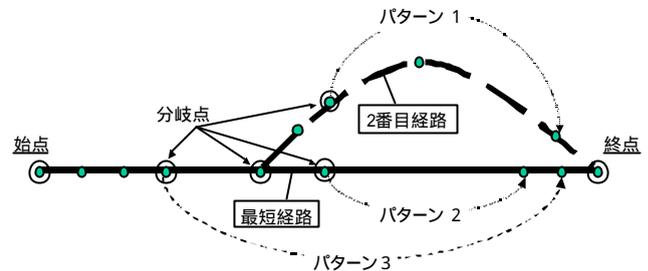


図1 3番目経路候補のパターン

除きながら以降の操作を繰り返し、効率的に探索を行う。このうちで最短の経路が3番目経路となる。第3番目以降の経路も同様に、の次善経路探索の繰り返しによって求める。

(3) 代替経路候補の列挙

所要時間を基準に、前述した第K番目経路探索法を用いて都市間(OD間)の複数の経路を列挙する。探索の上限として1ODにつき20番目以上の経路、最短経路の1.5倍以上の所要時間の経路は除外した。

(4) 経路の分類

列挙した経路にはほとんど重複している経路も多く含まれているが、利用者はそれらを別個の経路として認知していると考えにくい。そのため、本研究では類似した経路をひとまとめにグループ化して、利用者の経路認知を表現する。手順を以下に示す。

ODごとの類似度の計算

$$S_{lm}^{OD} = \frac{L_{lm}^{OD}}{\sqrt{L_l^{OD} \times L_m^{OD}}} \quad (1)$$

ここに、 S_{lm}^{OD} はOD間に存在する経路組 l, m の類似度、 L_{lm}^{OD} は経路組 l, m の重複距離、 L_l^{OD} 、 L_m^{OD} は経路 l, m それぞれの距離を表す。

列挙された経路の分類

以下の手順をアルゴリズム化し複数の経路をグループ化する。

- 1) 初期基準経路を最短経路とする。
- 2) 基準経路と他の全経路の類似度をチェックする。

キーワード：都市間交通、代替経路、鉄道・航空機関分担、第K番目経路探索法

連絡先：〒739-8527 広島県東広島市鏡山 1-4-1 Tel&Fax 0824 24 7827

類似度が基準値（本研究では 0.7 とした）以上であれば、それらは基準経路と同じグループに加える。

3) 類似度が基準値以下の経路のうち最も所要時間の短い経路を基準として 2) を繰り返す。

4) 全経路を分類し終わったら終了する。

代替経路の生成

の方法により、生成したグループ内の最短所要時間経路をその代替経路群のサービス水準（所要時間、運賃、最小運行頻度）を示す代表経路とする。鉄道経路の運賃については、各経路の平均速度と経路距離から回帰し求めた。最小運行頻度とは、経路上の各リンクの運行頻度のうち最小の頻度である。

以上の操作を鉄道ネットワークのみ、および鉄道と航空の両ネットワークの上でそれぞれ行い、鉄道代替経路情報と航空代替経路情報を求めた。

3. 機関分担モデル

鉄道・航空機関分担モデルはロジットモデルを用いた。

$$P^m = \frac{\exp(V_m)}{\sum_{m=1}^2 \exp(V_m)} \quad (2)$$

ここに、 P^m は機関 m の選択確率、 V_m は機関 m の効用を表す。機関 m の効用を以下のように表す。

$$V_m = V_{m1} + \Lambda_m \log(1 + d_{mk} \sum_{k=2}^5 e^{V_{mk}}) \quad (3)$$

$$V_{mk} = b^t T_{mk} + b^c C_{mk} + b^f F_{mk} \quad (4)$$

ここに、 V_{mk} は機関 m の第 k 番目代替経路の効用、 T_{mk} 、 C_{mk} 、 F_{mk} はそれぞれ、第 k 番目経路の所要時間、運賃、最小運行頻度を表す。 Λ_m は機関 m の代替経路パラメータ、 $b^{t,c,f}$ は各サービス水準のパラメータである。ただし、最小運行頻度のパラメータは、鉄道と航空の間に頻度の差が大きいため、機関固有パラメータとした。また OD ごとに生成される代替経路の数が異なるため、経路の有無を表すダミー変数として、 d_{mk} を用いた。

式(3)は代替経路の本数およびサービス水準に関する増加関数で、サービス水準が高い代替経路が多く存在するほど機関の効用が高くなることを表している。第 2 項の代替経路の効用は、1 を加えることによって効用値が正になることを保証している。したがって、 Λ_m の値が正で推定されれば、代替経路のサービス水

準が高く、経路が多いほどその機関の効用が高くなることを表す。

4. 推定結果

表 1 に上述した都市間鉄道・航空機関分担モデル(代替経路モデル)の推定結果を示す。比較のため最短経路のサービス水準のみを説明変数とした最短経路モデルの推定結果も示す。

表 1 鉄道・航空機関分担モデル推定結果

パラメータ	代替経路モデル		最短経路モデル	
	推定値	t値	推定値	t値
時間 (100分)	-1.07 **	-9.57	-1.28 **	-13.17
運賃 (万円)	-0.42 **	-2.67	-0.27	-1.56
鉄道 頻度 (本/日)	0.02 *	2.32	0.01	1.16
航空 頻度 (本/日)	0.05 *	2.52	0.07 *	2.47
航空 代替	7.00 *	2.04	-	-
鉄道 代替	6.52 **	2.78	-	-
定数項	0.84 *	2.46	1.26 **	4.03
初期尤度	-697.3		-697.3	
最終尤度	-397.1		-404.2	
尤度比	0.431		0.420	
自由度調整済み尤度比	0.428		0.419	
サンプル数	1006			

(** :1%有意 * :5%有意)

表 1 より、最短経路モデルと比べて、代替経路を考慮することによってモデルの適合度が上昇している。

代替経路のパラメータを見ると、鉄道、航空とも正で有意な値となっている。すなわち、サービス水準の高い代替経路が多く存在することによってその機関の選択確率が高くなる。最短経路モデルに比べ、時間のパラメータの絶対値は代替経路モデルの方が小さくなっている。逆に、運賃は代替経路モデルの方が大きな絶対値を示している。最小運行頻度はモデル間での大差はないが、航空の方が鉄道より大きな値を示している。これより、運行頻度の影響は航空において大きく現れることが明らかになった。

5. おわりに

本研究では代替経路を考慮した都市間鉄道・航空機関分担モデルを構築した。その結果、サービス水準の高い代替経路が多く存在すれば、その交通機関の選択確率が大きくなることが明らかとなった。

● 参考文献 1) 加藤直樹,茨城俊秀,三根久:無向グラフの第K最短単純路を求める $O(Kn^2)$ アルゴリズム,電子通信学会論文誌,Vol.J61-A,No.12,1978,12