

# ポイント・トゥ・ポイント型航空ネットワーク設計に対する 利用者配分の導入

05001221 南山大学 \*日比野尋伯 Jinha Hibino  
01111573 南山大学 小市俊悟 Shungo Koichi  
01207453 南山大学 佐々木美裕 Mihiro Sasaki

## 1. はじめに

PPANP [2] は、ハブ空港の設置を前提とせず、路線(枝)を開設することで航空ネットワークを設計するモデルであり、その目的は顕在需要の最大化である。その拡張モデルである PPANP-CC [1] は、1 社の新規会社が既存会社と協力・競合関係の下で路線開設を行うモデルであり、その目的は新規会社の収益最大化である。PPANP-CC では、すべての利用者が最小コスト経路を利用することを想定しているが、実際には必ずしもそうとは限らない。本研究では、PPANP-CC を基盤に、利用者が最小コスト経路以外の経路も利用することを想定し、経路の利便性によって利用者を比例配分するモデル PPANP-CC-MP (PPANP-CC with multiple paths) を提案する。

## 2. PPANP-CC-MP の概要

PPANP-CC-MP は、OD (出発地と目的地) ペア間の潜在需要と 1 社の既存会社の路線配置を所与とし、1 社の新規会社が自社の収益最大化を目的に所定数の路線を開設するときの最適な路線を求めるモデルである。一般的に、採算の取れない路線を運航することはないため、一定以上の利用者が使う路線のみを開設可能とする。

OD 間を最大 2 回の乗り換えで移動可能な経路のことを「OD パス」と呼ぶ。新規会社の参入前には、既存会社の路線のみで構成される「既存 OD パス」のみが利用可能である。新規会社の参入後は、新規会社の路線のみで構成される「新規 OD パス」、両社の路線を含む「協力 OD パス」があらたに利用可能となる。OD パスには、利便性を表す指標として、パスコスト(移動コスト+乗り換えコスト)と魅力度を設定する。魅力度は、パスコストの単調減少関数として表し、0 以上 1 以下の値をとる。そのため、パスコストが小さい OD パスの方が魅力度は大きくなる。

OD ペアの潜在需要は利用可能な OD パスの魅力度に応じて顕在化する。潜在需要に対して、顕在化する需要の割合を「顕在化率」と呼び、複数の OD パスが利用可能なとき、その OD ペアにおける顕在化率は、パスコストが最小のパスの魅力度とする。顕在化した利用者は、利用可能な OD パスの魅力度によって比例配分されることとする。

## 3. モデルの説明

### 3.1. 記号の定義

PPANP-CC-MP の定式化では、乗り換え回数(経由地の数)に応じて OD パスを明示的に区別するが、以下では、そうせずに OD ペアごとの制約条件のうち利用者の比例配分に関するものについて説明する。そのため、ある 1 つの OD ペアに対する OD パスの候補集合  $P$  から、利用可能とするパスを選択する問題として記述する。説明のため、以下の記号を用いる。

$P$ : OD パスの候補集合(既存 OD パスを含む)。

$E_p$ : OD パス候補  $p \in P$  が含む路線の集合。

$e_{ij}$ : 路線  $(i, j) \in E_p, p \in P$  が既存会社のものであるとき 1, そうでないとき 0 をとる 0-1 パラメータ。

$m_p$ : OD パス候補  $p \in P$  が含む経由地の数,  
 $m_p \in \{0, 1, 2\}$ 。

$a_p$ : OD パス候補  $p \in P$  の魅力度 ( $0 \leq a_p \leq 1$ )。

$M$ : 大きな値。

さらに、以下の決定変数を定義する。

$x_p$ : OD パス候補  $p \in P$  が利用可能であるとき 1, そうでないとき 0 をとる 0-1 変数。

$y_p$ : OD パス候補  $p \in P$  に配分される利用者の割合 ( $0 \leq y_p \leq 1$ )。

$z_p$ : OD パス候補  $p \in P$  の魅力度が利用可能な OD パスの中で最も大きいとき 1, そうでないとき 0 をとる 0-1 変数。

$u_{ij}$  : 路線  $(i, j) \in E_p, p \in P$  を開設するとき 1, そうでないとき 0 とする 0-1 変数.

$b$  : 顕在化率 ( $0 \leq b \leq 1$ ).

### 3.2. 路線と OD パスに関する制約

OD パス候補  $p \in P$  が利用可能となることは,

$$x_p \leq u_{ij} + e_{ij}, \quad (i, j) \in E_p, \quad p \in P \quad (1)$$

$$\sum_{(i,j) \in E_p} (e_{ij} + u_{ij}) - m_p \leq x_p, \quad p \in P \quad (2)$$

$$e_{ij} + u_{ij} \leq 1, \quad (i, j) \in E_p, \quad p \in P \quad (3)$$

で表す. (1) より, OD パス候補  $p \in P$  が利用可能となるには, OD パス候補  $p$  が含む路線  $(i, j) \in E_p$  がすべて, 既存会社または新規会社によって開設されていることが必要であり, (2) より, そのような路線がすべて開設されているとき,  $p$  は必ず利用可能となる.  $P$  には既存 OD パスを含むため, 新規会社の路線開設に依存しない既存 OD パスも利用可能となることに注意する. (3) は, 路線  $(i, j) \in E_p$  を開設するのはいずれか一方の会社のみであることを示す.

### 3.3. 顕在化率に関する制約

顕在化率  $b$  を, 利用可能な OD パスのうちパスコストが最小であるものの魅力度, すなわち, 利用可能な OD パスの魅力度の最大値とするため,

$$\max_{p \in P} \{a_p x_p\} \leq b \quad (4)$$

が制約となる. (4) は,

$$a_p x_p \leq b, \quad p \in P \quad (5)$$

に置き換えることで, 線形化可能である. さらに,

$$z_p \leq x_p, \quad p \in P \quad (6)$$

$$\sum_{p \in P} z_p \leq 1 \quad (7)$$

$$b = \sum_{p \in P} a_p z_p \quad (8)$$

とすれば, (6), (7) により,  $z_p = 1$  となるのは, 利用可能な OD パス  $p \in P$  のうち高々 1 つであり, (8) と (4) により,  $z_p = 1$  となる  $p$  は,

$$p \in \arg \max_{q \in P} \{a_q \mid x_q = 1\}$$

となるので, 顕在化率  $b$  は利用可能な OD パスの魅力度の中で, 最も大きな値と等しくなる.

顕在化する ( $b \times 100$ ) % の利用者が, いずれかの利用可能な OD パスを利用することは,

$$y_p \leq x_p, \quad p \in P \quad (9)$$

$$\sum_{p \in P} y_p = b \quad (10)$$

で表す. (9) より, OD パス  $p \in P$  が利用可能でないとき,  $y_p = 0$  である. (10) は, 顕在化する利用者は, いずれかの利用可能な OD パスを利用することを示す.

### 3.4. 利用者の比例配分に関する制約

OD パス  $p \in P$  の利用者の割合  $y_p$  が, 利用可能な OD パスの魅力度によって比例配分される制約は,

$$a_p y_q \leq a_q y_p + M(2 - x_p - x_q), \quad p, q \in P, \quad p \neq q \quad (11)$$

で表すことができる. 利用可能な OD パスの集合を  $P^* = \{p \in P \mid x_p = 1\}$  とすると, (11) より,

$$a_p y_q \leq a_q y_p, \quad p, q \in P^*, \quad q \neq p$$

$$a_q y_p \leq a_p y_q, \quad p, q \in P^*, \quad q \neq p$$

となり,

$$a_p y_q = a_q y_p, \quad p, q \in P^*, \quad q \neq p$$

が得られる. これは,

$$y_p : y_q = a_p : a_q, \quad p, q \in P^*, \quad q \neq p$$

を意味するので, 利用者は, 利用可能な OD パスの魅力度の比で各  $p \in P^*$  に配分される.

### 参考文献

- [1] J. Hibino, S. Koichi, T. Furuta and M. Sasaki: Cooperation and competition to design a point-to-point airline network under regulation for a new entry. *Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing*, Vol. 16, No. 4 (2022), 20 pages.
- [2] M. Sasaki and T. Furuta: Point-to-point based airline network design problems. *Proceedings of International Symposium on Scheduling 2017*, pp. 174–179.