

協力と競合を考慮した新規参入航空会社の ネットワーク設計モデル

05001221 南山大学 *日比野尋伯 HIBINO Jinha
01207453 南山大学 佐々木美裕 SASAKI Mihiro

1. はじめに

O'Kelly[2]が離散型ハブ配置モデルを提案して以来,さまざまな航空ネットワーク設計モデルが提案されている[1].その多くは,ハブ・アンド・スポーク型のネットワークを前提とするが,PPANP(Point-to-point based airline network design problem)[4]は,ハブ空港の設置を前提とせずに路線(枝)を開設することでネットワークを構築するモデルである.本稿では,PPANPの拡張モデルとして,新規会社が既存会社と協力関係を持ちつつ自社の収益最大化を目的として路線開設を行う新規参入モデルを提案する.

2. PPANP

PPANPは,空港の配置と各空港間のOD需要を所与として,空港間に路線を開設することでネットワークを構築する.乗客は最大2ストップまでの経路を路線を乗り継いで利用し,1つのODペア間に複数の利用可能な経路が存在するときは,経路コスト(移動コスト+乗り換えコスト)が最小の経路のみを利用すると仮定する.乗り換えコストは[3]に従い,乗り換えのために発生する空港での待ち時間をその間に移動できる距離に換算する.また,経路に魅力度を設定し,この値が大きい経路ほど利用者が多いと仮定する.ここで,経路の魅力度は,その経路の起終点間の直線距離に対する経路コストによって決まるものとする.この仮定の下で収益を最大化することにより,魅力度の高い経路が開設され,乗客にとっても利便性の高いネットワークの構築が期待できる.

3. 新規参入モデル

PPANPの拡張モデルとして,既存会社の路線配置を所与とする航空市場に1社の新規会社が参入するモデルを考える.新規会社は,既存会社の収益に配慮し,既存会社の収益を一定以上奪うことなく,自社の収益最大化を目的として路線を開設す

る.乗客は,最大2回まで乗り換えて目的地へ移動し,途中で他社路線への乗り換えも可能とする.他社路線への乗り換えコストを高く設定すると,他社路線への乗り換えを含む経路の魅力度は低くなり,その経路の乗客は減る.逆に,低く設定すると,他社路線への乗り換えを必要とする経路も利用されやすくなる.前者の場合,2社は競合関係にあり,後者の場合,2社は協力関係にあると言える.提案するモデルでは,乗り換えコストの設定により,2社の協力または競合を重視したネットワーク設計が可能である.また,他社乗り換えを含む経路の収益は,2社で分配する必要がある.このモデルでは,経路の収益を各社の運航する路線の距離の比で分配するものとする.

4. 新規参入モデルの定式化

はじめに,以下のように記号を定義する.

N : 空港(ノード)の集合.

A : 有向枝の端点ペアの集合.

$$A = \{(i, j) \mid i \in N, j \in N, j \neq i\}.$$

Π : ODペアの集合.

$$\Pi = \{(i, j) \mid i \in N, j \in N, j > i\}.$$

T_{ij}^1 : $(i, j) \in \Pi$ 間の1ストップパスにおいて経由可能な空港の集合.

$$T_{ij}^1 = \{k \mid k \in N, k \neq i, k \neq j\}.$$

T_{ij}^2 : $(i, j) \in \Pi$ 間の2ストップパスにおいて経由可能な空港ペアの集合. $T_{ij}^2 = \{(k, l) \mid k \in N, l \in N, k \neq l, k \neq i, k \neq j, l \neq i, l \neq j\}.$

m : 新規会社が開設する路線(枝)の本数.

d_{ij} : 路線 $(i, j) \in A$ の開設で得られる単位量あたりの収益.

w_{ij} : ODペア $(i, j) \in \Pi$ 間の潜在需要.

a_{ijk}^1 : 1ストップパス $i-k-j$ の魅力度.

$$(i, j) \in \Pi, k \in T_{ij}^1, 0 \leq a_{ijk}^1 \leq 1.$$

a_{ijkl}^2 : 2ストップパス $i-k-l-j$ の魅力度.

$$(i, j) \in \Pi, (k, l) \in T_{ij}^2, 0 \leq a_{ijkl}^2 \leq 1.$$

α : 既存会社の収益を保証する割合.

E : 新規会社参入前に既存会社が持つ収益.

e_{ij} : 既存会社が路線 $(i, j) \in A$ を開設しているとき 1, そうでないときを 0 とするパラメータ.

さらに, 1 ストップパス i - k - j の収益は既存会社と新規会社で $s_{ijk}^{A1} : s_{ijk}^{B1}$ に分配するとし, 同様に 2 ストップパス i - k - l - j の収益は $s_{ijkl}^{A2} : s_{ijkl}^{B2}$ に分配する. ただし, $s_{ijk}^{A1} + s_{ijk}^{B1} = 1$, $s_{ijkl}^{A2} + s_{ijkl}^{B2} = 1$ である. 収益分配率は, 各空港間の距離と $e_{ij} ((i, j) \in A)$ から求めることができる.

次に, 以下の決定変数を導入する.

x_{ijkl} : 2 ストップパス i - k - l - j が利用可能なとき 1, そうでないとき 0 をとるバイナリ変数.

$$(i, j) \in \Pi, (k, l) \in T_{ij}^2.$$

y_{ijk} : 1 ストップパス i - k - j が利用可能なとき 1, そうでないとき 0 をとるバイナリ変数.

$$(i, j) \in \Pi, k \in T_{ij}^1.$$

z_{ij} : ノンストップパス $(i, j) \in A$ が利用可能なとき 1, そうでないとき 0 をとるバイナリ変数.

新規参入モデルは次のように定式化できる.

$$\max. \sum_{(i,j) \in \Pi} d_{ij} w_{ij} \left(\sum_{(k,l) \in T_{ij}^2} a_{ijkl}^2 s_{ijkl}^{B2} x_{ijkl} + \sum_{k \in T_{ij}^1} a_{ijk}^1 s_{ijk}^{B1} y_{ijk} + z_{ij} \right) \quad (1)$$

$$\text{s.t.} \quad \sum_{(k,l) \in T_{ij}^2} x_{ijkl} + \sum_{k \in T_{ij}^1} y_{ijk} + z_{ij} + e_{ij} \leq 1, \quad (i,j) \in \Pi \quad (2)$$

$$\sum_{(i,j) \in \Pi} d_{ij} w_{ij} \left(\sum_{(k,l) \in T_{ij}^2} a_{ijkl}^2 s_{ijkl}^{A2} x_{ijkl} + \sum_{k \in T_{ij}^1} a_{ijk}^1 s_{ijk}^{A1} y_{ijk} + e_{ij} \right) \geq \alpha E \quad (3)$$

$$x_{ijkl} \leq z_{ik}, \quad (i,j) \in \Pi, (k,l) \in T_{ij}^2 \quad (4)$$

$$x_{ijkl} \leq z_{kl}, \quad (i,j) \in \Pi, (k,l) \in T_{ij}^2 \quad (5)$$

$$x_{ijkl} \leq z_{lj}, \quad (i,j) \in \Pi, (k,l) \in T_{ij}^2 \quad (6)$$

$$y_{ijk} \leq z_{ik}, \quad (i,j) \in \Pi, k \in T_{ij}^1 \quad (7)$$

$$y_{ijk} \leq z_{kj}, \quad (i,j) \in \Pi, k \in T_{ij}^1 \quad (8)$$

$$z_{ij} = z_{ji}, \quad (i,j) \in \Pi \quad (9)$$

$$\sum_{(i,j) \in \Pi} z_{ij} \leq m \quad (10)$$

$$x_{ijkl} \in \{0, 1\}, \quad (i,j) \in \Pi, (k,l) \in T_{ij}^2 \quad (11)$$

$$y_{ijk} \in \{0, 1\}, \quad (i,j) \in \Pi, k \in T_{ij}^1 \quad (12)$$

$$z_{ij} \in \{0, 1\}, \quad (i,j) \in A. \quad (13)$$

目的 (1) は新規会社の収益の最大化を意味する. 制約 (2) は各 OD ペア間で利用可能な経路は高々 1 つであることを示す. 制約 (3) は, 既存会社の収益を新規会社参入前の α 倍以上とする制約である. 制約 (4), (5), (6) は, 枝 $(i,k) \in A$, $(k,l) \in A$, $(k,j) \in A$ が開設されたとき, 2 ストップパス i - k - l - j が利用可能になることを示す. 同様に制約 (7), (8) は, 枝 $(i,k) \in A$, $(k,j) \in A$ が開設されたとき, 1 ストップパス i - k - j が利用可能になることを示す. 制約 (9) は, 枝 $(i,j) \in A$ が双方向に利用できることを示す. 制約 (10) は, 最大 m 本の路線を開設することを示す. 制約 (11), (12), (13) は決定変数がバイナリ変数であることを意味する.

5. 計算実験

計算実験の結果については, 発表当日に説明する.

参考文献

- [1] I. Contreras. Hub location problems. In G. Laporte, S. Nickel, and F. Saldanha da Gama, editors, *Location Science*, chapter 12, pp. 311–344. Springer International Publishing, Switzerland, 2015.
- [2] M.E. O’Kelly. A quadratic integer program for the location of interacting hub facilities. *European Journal of Operational Research*, Vol. 32, pp. 393–404, 1987.
- [3] M. Sasaki and J.F. Campbell. The role of competition in airline hub network design. *Proceedings of 24th Annual Conference of Applied Regional Science Conference in Nagoya*, p. 20, 2010.
- [4] M. Sasaki and T. Furuta. Point-to-point based airline network design problems. *Proceedings of International Symposium on Scheduling 2017*, pp. 174–179, 2017.