

新規参入制約下における 協力と競合を考慮した航空ネットワーク設計モデル

05001221	南山大学	*日比野尋伯	Jinha Hibino
01111573	南山大学	小市俊悟	Shungo Koichi
01508030	奈良教育大学	古田壮宏	Takehiro Furuta
01207453	南山大学	佐々木美裕	Mihiro Sasaki

1. はじめに

PPANP (Point-to-point airline network design problem)[2] は、ハブ空港の配置を前提とせず、路線の開設計により航空会社がネットワークを設計するモデルである。本稿では、PPANP の枠組みで航空ネットワークを構築することを前提に、既存会社のネットワークを所与として新規に参入する会社の航空ネットワーク設計モデル PPANP-CC (PPANP under cooperation and competition) を提案する。PPANP-CC は、Hibino らの提案モデル [1] の拡張モデルである。新規参入規制のある航空市場に、新規航空会社が、既存会社との協力と競合の双方を考慮しつつ、参入を計画している状況を想定し、協力と競合の程度が新規参入会社の最適ネットワークと両社の収益にどのような影響を及ぼすか分析する。

2. PPANP

PPANP では、空港の座標と OD(出発地と目的地) ペア間の潜在需要を所与とし、1 社の航空会社が顕在需要の最大化を目的に路線を開設計する。2 つの空港を出発地と目的地とする OD パスのうち、経由する空港数(乗り換え回数) が 2 以下のものを対象とし、乗り換え回数が 0, 1, 2 の OD パスをそれぞれノンストップパス、1 ストップパス、2 ストップパスと呼ぶ。1 つの OD ペア間に複数の OD パスが存在する場合は、パスコスト(移動コスト+乗り換えコスト) が最小のパスに沿った旅客輸送を提供する。乗り換えコストは、乗客の乗り換えに対する抵抗の程度を表し、空港ごとに設定する。さらに、OD パスには魅力度を設定し、この値が大きいほど顕在化する利用者の割合が大きいと仮定する。

3. PPANP-CC

PPANP-CC では、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として所定の数の路線を開設計する。新規参入後の OD パスには、既存会社の路線のみで構成されるもの、新規会社の路線のみで構成されるもの、両社の路線を含むもの(協力パス) の 3 種類がある。協力パスから得られる収益は、

各社の運航する路線の距離の比で分配する。また、協力パスがあるため、乗り換えには「自社乗り換え」と「他社乗り換え」があり、それぞれに乗り換えコストを導入する。2 種類の乗り換えコストの設定により、2 社の協力・競合関係を表すことができる。例えば、自社路線への乗り換えコストに比して他社路線への乗り換えコストを高く設定することは、2 社の競合的な関係を想定することに对应する。

一般に、新規参入の際には何らかの規制があることが多い。PPANP-CC では、既存会社の各 OD ペアにおいて顕在化する利用者の割合と既存会社の収益を保証する制約を導入することにより、新規参入規制を考慮する。

4. 定式化

以下のように記号を定義する。

n : 空港(ノード)の数。

N : 空港の集合。 $N = \{1, 2, \dots, n\}$ 。

R : 路線の集合。 $R = \{(i, j) \mid i, j \in N, j \neq i\}$ 。

Π : OD ペアの集合。 $\Pi = \{(i, j) \mid i, j \in N, j > i\}$ 。

$T_{ij}^{1\text{-stop}}$: $(i, j) \in \Pi$ において、1 ストップパスの経由可能な空港の集合。 $T_{ij}^{1\text{-stop}} = \{k \mid k \in N, k \notin \{i, j\}\}$ 。

$T_{ij}^{2\text{-stop}}$: $(i, j) \in \Pi$ において、2 ストップパスの経由可能な空港の集合。 $T_{ij}^{2\text{-stop}} = \{(k, l) \mid k, l \in N, k \neq l, k, l \notin \{i, j\}\}$ 。

p_{ij} : $(i, j) \in \Pi$ に対する単位需要あたりの収益。

w_{ij} : $(i, j) \in \Pi$ の潜在需要。

m_B : 新規会社の開設する路線本数。

e_{ij} : 既存会社が路線 $(i, j) \in R$ を開設しているとき 1, そうでないとき 0 をとるバイナリパラメータ。

E^{rev} : 新規参入前の既存会社の総収益。

E_{ij}^{cap} : 新規参入前の $(i, j) \in \Pi$ において、既存会社の顕在化した利用者の割合。

α^{rev} : 参入後の既存会社の収益を保証する割合。

α_{ij}^{cap} : $(i, j) \in \Pi$ に対して、参入後の既存会社の顕在化した利用者の割合について保証する割合。

$a_{ijk}^{1\text{-stop}}$: 1ストップパス ($i-k-j$) の魅力度, $(i, j) \in \Pi$,
 $k \in T_{ij}^{1\text{-stop}}$. $0 \leq a_{ijk}^{1\text{-stop}} \leq 1$.

$a_{ijkl}^{2\text{-stop}}$: 2ストップパス ($i-k-l-j$) の魅力度, $(i, j) \in \Pi$,
 $(k, l) \in T_{ij}^{2\text{-stop}}$, $0 \leq a_{ijkl}^{2\text{-stop}} \leq 1$.

協力パスから得られる収益は既存会社と新規会社で分配し, その比を, 1ストップパス ($i-k-j$) は, $s_{ijk}^{A1} : s_{ijk}^{B1}$, 2ストップパス ($i-k-l-j$) は, $s_{ijkl}^{A2} : s_{ijkl}^{B2}$ とする. ただし, $s_{ijk}^{A1} + s_{ijk}^{B1} = 1$, $s_{ijkl}^{A2} + s_{ijkl}^{B2} = 1$ である. これらの値は, 各 OD 間の距離と e_{ij} から求める.

さらに, 以下の決定変数を導入する.

x_{ijkl} : 2ストップパス ($i-k-l-j$) に沿って輸送するとき
1, そうでないとき 0 をとるバイナリ変数,
 $(i, j) \in \Pi$, $(k, l) \in T_{ij}^{2\text{-stop}}$.

y_{ijk} : 1ストップパス ($i-k-j$) に沿って輸送するとき 1,
そうでないとき 0 をとるバイナリ変数, $(i, j) \in \Pi$,
 $k \in T_{ij}^{1\text{-stop}}$.

z_{ij} : ノンストップパス ($i-j$) に沿って輸送するとき 1,
そうでないとき 0 をとるバイナリ変数, $(i, j) \in \Pi$.

u_{ij} : 路線 $(i, j) \in R$ を開設するとき 1, そうでないとき
0 をとるバイナリ変数.

PPANP-CC は, 0-1 整数計画問題として定式化できる.

[PPANP-CC]

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

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

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

$$\sum_{(k,l) \in T_{ij}^{2\text{-stop}}} a_{ijkl}^{2\text{-stop}} s_{ijkl}^{A2} x_{ijkl} + \sum_{k \in T_{ij}^{1\text{-stop}}} a_{ijk}^{1\text{-stop}} s_{ijk}^{A1} y_{ijk} + e_{ij} \geq \alpha_{ij}^{\text{cap}} E_{ij}^{\text{cap}}, \quad (i, j) \in \Pi \quad (4)$$

$$x_{ijkl} \leq u_{kl} + e_{kl}, \quad (i, j) \in \Pi, (k, l) \in T_{ij}^{2\text{-stop}} \quad (5)$$

$$x_{ijkl} \leq u_{kl} + e_{kl}, \quad (i, j) \in \Pi, (k, l) \in T_{ij}^{2\text{-stop}} \quad (6)$$

$$x_{ijkl} \leq u_{lj} + e_{lj}, \quad (i, j) \in \Pi, (k, l) \in T_{ij}^{2\text{-stop}} \quad (7)$$

$$y_{ijk} \leq u_{ik} + e_{ik}, \quad (i, j) \in \Pi, k \in T_{ij}^{1\text{-stop}} \quad (8)$$

$$y_{ijk} \leq u_{kj} + e_{kj}, \quad (i, j) \in \Pi, k \in T_{ij}^{1\text{-stop}} \quad (9)$$

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

$$z_{ij} \leq 1 - e_{ij}, \quad (i, j) \in \Pi \quad (11)$$

$$u_{ij} = u_{ji}, \quad (i, j) \in R \quad (12)$$

$$\sum_{(i,j) \in \Pi} u_{ij} = m_B \quad (13)$$

$$x_{ijkl} \in \{0, 1\}, \quad (i, j) \in \Pi, (k, l) \in T_{ij}^{2\text{-stop}} \quad (14)$$

$$y_{ijk} \in \{0, 1\}, \quad (i, j) \in \Pi, k \in T_{ij}^{1\text{-stop}} \quad (15)$$

$$z_{ij} \in \{0, 1\}, \quad (i, j) \in \Pi \quad (16)$$

$$u_{ij} \in \{0, 1\}, \quad (i, j) \in R. \quad (17)$$

(1) は, 新規会社の収益の最大化を意味する. (2) より, 各 OD ペア間に旅客輸送を提供するパスは 1 つのみである. (3) より, 新規参入後も既存会社の収益の $\alpha^{\text{rev}} \times 100\%$ が保証される. (4) より, 新規参入後に, OD ペア $(i, j) \in \Pi$ において, 既存会社の顕在化した利用者の割合の $\alpha_{ij}^{\text{cap}} \times 100\%$ が保証される. (5), (6), (7) より, $(i, k), (k, l), (l, j) \in R$ を開設すると, 2ストップパス ($i-k-l-j$) に沿って輸送できる. (8), (9) より, $(i, k), (k, j) \in R$ を開設すると, 1ストップパス ($i-k-j$) に沿って輸送できる. (10) より, 新規会社が路線 (i, j) を開設すると, ノンストップパス ($i-j$) に沿って輸送できる. (11) より, 既存会社が路線 (i, j) を開設しているとき, 新規会社はノンストップパス ($i-j$) に沿って輸送できない. (12) より, 路線 (i, j) は双方向に利用可能である. (13) より, 新規会社は m_B 本の路線を開設する. (14) - (17) は, すべての決定変数がバイナリ変数であることを意味する.

5. おわりに

ベンチマークデータを用いて計算実験を行った結果, 適度な新規参入規制と競合の下で, 新規会社が協力的にネットワークを構築することは, 両社に対して収益増加をもたらすことがわかった.

参考文献

- [1] Hibino, J., Koichi, S., Furuta, T. and Sasaki, M., Point-to-point airline network design under cooperation and competition, *Proc. of Int. Symposium on Scheduling 2021*, pp. 124-129.
- [2] Sasaki, M. and Furuta, T., Point-to-point based airline network design problems, *Proc. of Int. Symposium on Scheduling 2017*, pp. 174-179.