

2-レベル・シュタッケルベルグ均衡としての 最適空港ネットワークモデル

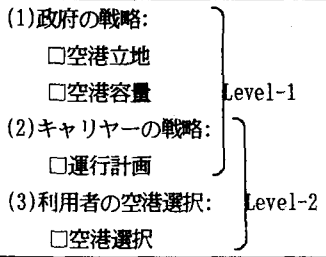
熊本大学工学部 正 員 黒田 勝彦
同 上 学生員 〇大橋 忠宏

1. はじめに

21世紀に向けて、世界的に自由化の進む中、地域間の交流は多角的かつ多面的に進み、交流の史的体験の少ないわが国においては、地域ごとの直接交流が急激に進むことは必至とみて良い。したがって、わが国の空港の整備は急務な課題といえる。

空港ネットワークは空港を整備する政府と航空サービスを提供するキャリアー及びこれらのサービスを利用する利用者からなっていると考えられる。そこで本研究では、これら政府、キャリアー及び利用者それぞれについて着目し、お互いをシュタッケルベルグ問題(図-1)として定式化することを試みる。

図-1 2-レベル・シュタッケルベルグ問題



2. 空港ネットワークモデルの定式化

政府の戦略は、航空会社が利潤の最大化を図るという条件の下で利用者の総走行時間と空港建設費を最小化する問題として定式化を行った。

$$\begin{aligned} \text{MIN. } G &= C_c(t_{A11}, t_{A21}, F_1) \\ &+ \varepsilon \left(\sum_k \sum_l t_{Fk1} \cdot f_{k1} + \sum_k \sum_l t_{A1k} \cdot X_{1k1} \right. \\ &\quad \left. + \sum_k \sum_l t_{I1j} \cdot X_{11j} \right) \\ \text{S.t. } &t_{A11}, t_{A21}, F_1 \geq 0 \\ &f_{k1} = \sum_m f_{m1}^k \\ &f_k = \sum_l (f_{k1} + f_{1k}) \leq F_k \quad (k=1) \end{aligned}$$

キャリアーの最適戦略

S.t

ユーザーの空港選択

ここで、

$C_c(d_{11}, d_{21}, F_1)$: 空港建設費, ε : 空港建設費に対する時間の重み, t_{Fk1} : フライト時間, f_{k1} : 路線頻度, t_{A1k} : アクセス時間, $X_{1k1} = (\sum_j \sum_l X_{1klj})$ i ゾーンから k 空港利用者数, t_{I1j} : イグレス時間,

$X_{11j} = (\sum_k \sum_l X_{1klj})$ 1空港から j ゾーンへの利用者数, F_k : k 空港最大離発着数である。

キャリアーの戦略としては、ユーザーが総時間費用の最小化を行うという条件の下で利潤の最大化問題として定式化を行った。

$$\begin{aligned} \text{MAX. } C_F &= \sum_k \sum_l \{ (X_{m1}^k) PF_{k1} - (CF_{k1} \times f_{m1}^k) \} \\ \text{S.t. } &f_{m1}^k \geq 0 \\ &\sum_m X_{m1}^k = X_{1k1} = \sum_j \sum_l X_{1klj} \\ &CAP_{k1} \cdot f_{k1} \geq X_{1k1} \end{aligned}$$

ユーザーの空港選択

ここで、

f_{m1}^k : m 社の路線運行頻度, PF_{k1} : 路線運賃, CF_{k1} : 路線運行費用, CAP_{k1} : 機材容量である。

ユーザーの空港選択は、Fiskが提案した確率均衡配分モデル¹⁾で表すことができると考えられる。そのモデルは以下の最適化問題で定式化できる。

$$\begin{aligned} \text{MIN. } Z &= \frac{1}{\theta} \cdot \sum_k \sum_l \sum_j \sum_i X_{1klj} \ln X_{1klj} \\ &+ \sum_k \sum_l \int_0^{V_{k1}} t_{k1}(v) dv \\ \text{S.t. } &\sum_k \sum_l X_{1klj} = X_{11j}, \quad \forall i, j \quad (2) \\ &X_{1klj} \geq 0, \quad \forall i, k, l, j \quad (3) \\ &V_{k1} = \sum_k \sum_l \sum_j \delta_{1klj} X_{1klj}, \quad \forall k, l \quad (4) \end{aligned}$$

(1)式: 第一項はエントロピー項で、等確率で分配しようとする項。第二項は等時間原則で分配しようとする項。、(2)式: OD保存方程式、(3)式: 経路交通量の非負条件式、(4)式: リンク交通量と経路交通量の関係式である。ここで、

X_{1klj} : i ゾーンから j ゾーンへの kl 路線通過交通量, θ : パラメーター, $t_{k1}(v)$: コスト関数, δ_{1klj} : リンク kl が ij 路線のとき、1をとるダミー変数, *: 最適解を示す, V_{k1} : リンク交通量, また、 $C_{1klj} = (\sum_k \sum_l \delta_{1klj} t_{k1}(V_{k1}))$ を満たす $ijkl$ 路線のコストである。

利用者の空港選択モデルにおいて、ラグランジュ関

数をつくりKuhn-Tucker条件より $X_{iklj} > 0$ のとき、最終的に以下の条件が導けることが明らかである。

$$\therefore X_{iklj} = X_{1...j} \cdot \frac{\exp(-\theta C_{iklj})}{\sum_k \sum_j \exp(-\theta C_{iklj})} \quad (5)$$

今回は、 C_{iklj} を以下のように定式化を行った。

$$C_{iklj} = \alpha_1 t A_{ik} + \alpha_2 t F_{kl} + \alpha_3 t I_{lj} + \alpha_4 P A_{ik} + \alpha_5 P F_{kl} + \alpha_6 P I_{lj} + \alpha_7 f_{kl}$$

ここで、 α_n ($n=1, \dots, 7$) : パラメータである。

3. 仮想ネットワークへの適用

2. で定式化を行った空港ネットワークモデルを仮想データ(表-1)(ゾーン間ODで上段は現況、下段は将来需要を示す)での適用を試みた。今回キャリアへの需要量の配分方法は、路線数の比で配分を行った。ここでは空港1の代替空港として2つのケースを仮定して分析を行った。その結果を(表-2)に示す。(表-2)で、需要量、路線運行頻度共に、左上段は現況需要について、右上段は将来需要(対策無し)の状態、左下段はケース2(新規空港建設案)、右下段はケース3(新規空港建設案)である。ただし、新規に建設する空港1の最大離発着量はその最小値であり、総走行時間(費用)は、アクセス時間(費用)と X_{iklj} 、フライト時間(費用)と路線運行頻度、イグレス時間(費用)と X_{iklj} のそれぞれの積の和であると定義する。また、機材はDC10程度(定員300人、平均 μ - σ - μ - σ - μ - σ -60%)、既存の空港1の容量は、10万回/年を想定している。

今回の分析の結果、本研究で用いた仮想データでは、空港1の新規建設は総走行時間、総走行費用の小さいことから考えると、ケース3の方がケース2よりもふさわしいことになる。また、他の計算結果による説明は、紙数の都合により割愛するが、講演時に合わせて説明する。

4. おわりに

今回の研究では、2-レベル・シュタッケルベルグ問題として、ネットワーク計画を立てる場合のモデルへの適用可能性を示した。しかし、本空港ネットワークモデルを実データへ適用し、分析するためには、かなりのデータの蓄積が必要とされる。また、今回は機関別ゾーン間ODは与件として計算を行っているが、実際は空港立地点などで機関別ゾーン間ODは変化するはずである。したがって、今後研究を進めるにあたり、これらの点を考慮しつつ実際の空港ネットワークへの適用を試みる必要がある。

表-1 仮想データ

ゾーン間OD (万人/年)					
0	1	2	3	4	Σ
1	-	-	400.0	500.0	900.0
2	-	-	600.0	700.0	1300.0
3	400.0	250.0	-	-	650.0
4	500.0	200.0	-	-	700.0
Σ	900.0	450.0	650.0	700.0	2700.0
	1300.0	550.0	900.0	950.0	3700.0

アクセス時間(分)、費用(万円)				フライト時間(分)、費用(万円)			
ゾーン	空港	時間	費用	ゾーン	空港	時間	費用
1	1	現況	40 0.05	1	1	3	60 2.00
		ケース2	60 0.07			4	70 2.20
		ケース3	40 0.05			2	3 70 2.20
1	2	60 0.07		2	4	80 2.30	
2	1	現況	70 0.08				
		ケース2	60 0.07				
		ケース3	100 0.11				
2	2	90 0.10					
3	3	60 0.07					
3	4	90 0.10					
4	3	80 0.09					
4	4	40 0.05					

表-2 モデルによる計算結果

需要量(万人/年)									
		3	4	3	4	3	4	3	4
1	1	124.9	96.7	125.0	151.9	189.1	145.4	176.6	213.2
	2	100.0	78.4	100.0	123.2	148.3	117.2	138.5	171.8
2	1	78.1	78.4	50.0	60.7	78.1	60.4	50.0	60.7
	2	62.5	60.4	40.0	49.3	74.2	58.6	49.5	61.3
3	1	177.4	136.4	165.6	199.9	189.3	146.6	176.7	214.8
	2	159.9	126.3	149.3	185.1	147.5	116.5	137.7	170.8
4	1	97.0	74.6	64.7	78.1	85.9	66.5	57.3	69.6
	2	71.7	56.6	47.8	59.3	82.5	65.1	55.0	68.2
路線運行頻度(回/年)									
		1	2	1	2	1	2	1	2
3	3	118.3	100.5	73.9	62.9	178.3	149.6	89.1	74.8
	4	97.3	83.8	60.8	52.4	146.6	125.5	73.3	62.8
4	3	117.5	99.9	47.0	60.7	165.3	138.7	59.0	49.5
	4	151.8	130.8	40.0	52.3	213.4	182.7	76.2	65.2
3	3	166.6	160.7	90.6	73.1	179.7	148.7	80.4	83.7
	4	137.0	135.7	74.5	61.7	146.8	124.8	65.7	70.2
4	3	154.4	148.9	60.0	48.4	166.6	137.9	53.2	55.4
	4	199.3	197.4	77.5	64.2	213.7	181.7	68.3	73.0
路線運行頻度(回/年)									
		3	4	3	4	3	4	3	4
1	1	19710	17520	27375	22995	1	20805	20805	29565
	2	20805	17520	28470	24090	2	17520	16425	22995
3	3	26280	24090	27375	24090	3	28470	27375	28470
	4	27375	26280	27375	25185	4	24090	24090	24090
総走行時間(分/日) 総走行費用(円/日) 最大離発着量(回/年)									
現況		1.48E8	1.93E9	82125					
将来		2.01E8	2.63E9	113880					
ケース2		2.10E8	2.73E9	109500					
ケース3		2.08E8	2.61E9	111690					

参考文献

- 1) 溝上他: Fiskモデルにおける θ の推定方法および実用可能性に関する一考察(土木計画学研究・講演集 No.12 1989年12月)