

環境税導入が航空ネットワーク形成に与える影響

高島いぶき¹・加藤哲平²・内田賢悦³・杉木直⁴・田村亨⁵

¹学生会員 北海道大学大学院 工学院 (〒060-8628 北海道札幌市 北区北13条西8丁目)
E-mail: mo221@eis.hokudai.ac.jp

²学生会員 北海道大学大学院 工学研究科 (〒060-8628 北海道札幌市 北区北13条西8丁目)
E-mail: ieppet@eis.hokudai.ac.jp

³正会員 北海道大学大学院 工学研究科 (〒060-8628 北海道札幌市 北区北13条西8丁目)
E-mail: uchida@eng.hokudai.ac.jp

⁴正会員 豊橋技術科学大学大学院 工学研究科 (〒441-8580 愛知県豊橋市天伯町雲雀ヶ丘1-1)

⁵フェロー会員 北海道大学大学院 工学研究科 (〒060-8628 北海道札幌市 北区北13条西8丁目)
E-mail: tamura-t@eng.hokudai.ac.jp

近年新興国の経済発展に伴って将来航空需要の増加が予測されており、年々航空市場からの二酸化炭素排出量が増加しているのが現状である。この状況を打破するために、経済的手法を取り入れることが議論されており、本研究では経済的手法に環境税を導入した場合における航空ネットワークの変化を旅客とキャリアの両方、他交通機関との競合を考慮した上で二酸化炭素排出量が異なる大中小型機にそれぞれ税を設定し、環境税を導入した際に生じる航空ネットワーク、航空サービスの変化、また航空市場における二酸化炭素の削減量などについて仮想地域内で分析を行った。

Key Words : environmental tax, airline, airport, perfect competition, Nash equilibrium

1. はじめに

近年、アジア地域を中心とした新興国の経済発展に伴い、航空需要が増加しており、今後も需要の増加が予測されている。これに伴って航空部門における二酸化炭素の総排出量は、排出原単位の減少にも関わらず増加しており、この傾向は今後も続く予測されている。

排出量の増加傾向を改善するために、ヨーロッパ圏では排出権取引や環境税の導入等といった二酸化炭素の排出を抑制する政策が既に実施されている。日本では、平成 24 年から地球温暖化対策のための課税が段階的に導入されているが、航空部門は課税から除外されているのが現状である。そこで国土交通省は、国内航空の二酸化炭素排出量を削減するため、効率的な運航方式の導入や、空港内での省エネ・省 CO₂、代替航空燃料の普及等を促進する他に、経済的手法が議論されている。

本研究では、経済的手法として環境税を導入した場合、航空業界が受ける影響と、地域都市間を結ぶ航路における変化を分析する。

2. 既往研究

竹林ら¹⁾は、空港における規模の経済性を取りあげ、旅客とキャリアの両方を考慮した Nash 型の均衡問題を解いた。またネットワークのサービスレベルに依存した需要変動型として、航空市場の規制緩和が進んだ際、航空ネットワークに生じる変化について分析を行った。しかし、ここでは投入機材は B-747 の 1 機のみを考慮しており、また旅客の路線頻度の評価が考慮されていない。

三室ら²⁾は、航空市場を独占的競争理論を用いて表し、規制緩和が進んだ航空市場を想定した上で環境税を導入した場合の航空市場の影響について定量的に評価した。環境税は、燃料の輸入と生成段階の間で課税される上流型の環境税を導入しており、また鉄道との競合も考慮して評価を行っている。一方で、航空会社はすべて同質なものとして仮定しているため、航空会社間の固定費用は同一であるという前提が置かれている。

以上より、本研究では二地点間における仮想地域を対象として、他交通機関との競合、キャリアと旅客の行動両方を考慮した上で航空会社の航空機便数決定問題を定

式化する。その上で、二酸化炭素排出量の異なる大、中、小型機の 3 種類の機材を想定し、それらの排出量に応じた環境税を設定した場合における地域都市間を結ぶ航路における便数、需要の変化を分析し、現実へのインプリケーションを示す。

3. 環境税について

現在、世界で CO2 の排出を削減するために取られている方法は大きく分けて排出権取引と環境税の 2 種類が存在する。

排出権取引はあらかじめ CO2 の排出量を定めておき、排出権を市場に売却し、会社間で取引を行い値段の設定を行う。この手法は排出量をあらかじめ定められるので効率的で、短期間で排出量が削減できるというメリットがある一方でこの仕組みを作り上げる実施コストが初期に必要となる他、会社間でも取引費用が発生する。また経済状況によっては排出権の価格が下落してしまうことがデメリットとして挙げられる。

一方環境税は汚染物質 1 単位あたりに課税を行い、間接的に排出量を制御するものである。このメリットとしては、コンスタントに排出量を減少させることができ、また政府も税収として収入を得ることができるが、一方で課税額の決定が難しいといった問題点が生じる。

今回はモデルが煩雑になることを防ぐため排出権取引ではなく環境税を導入した場合の効果を検証する。

4. 航空輸送モデル

(1)前提条件

モデルの構築にあたり、図-1 のような仮想地域を設定した。また仮想地域に対して、以下の条件を仮定した。

- 1)1 つのルートは 1 つの航空会社が運営しており、航空会社によって使用する機体のサイズは異なる。
- 2)1 つの Zone に対し 1 つの空港が存在する。
- 3)Zone 内の交通は考慮せず、Zone1-2 間のみの移動を考える。
- 4)Zone1 と Zone2 間には航空機と他交通機関の 2 種類の交通手段が存在する。

尚条件 1)については、今回 Airline1 が大型機(B-747 クラス)、Airline2 は中型機(B-767 クラス)、Airline3 は小型機(DHC-8 クラス)として設定した。

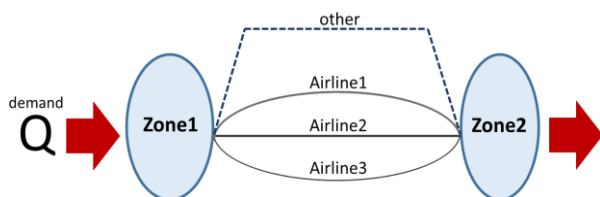


図-1 仮想地域

(2)旅客配分

旅客は交通の一般化費用を最小化するように交通行動を決定するものとする。ルート i における旅客の一般化費用を式(1)で定義する。また、船舶の一般化費用は一定とし、式(2)で表すことにする。

$$C_i = F_i + \sum_{k \in K} \frac{\alpha}{f_i^k} \quad (1)$$

$$C_s = const \quad (2)$$

ここで α は正のパラメータであり、 f_i^k はルート i における機体サイズ $k \in K$ の航空機の飛行頻度、 F_i はルート i における運賃である。式(1)、式(2)に対して、式(3)に示す一般化極値分布を誤差項として付加すると、旅客が航空を選択する確率 (P_a)、ルート i を選択する確率 (P_i) はそれぞれ式(4)、式(5)で与えられる。

$$F(\varepsilon_i) = \exp \left(- \sum_{m \in \{s,a\}} \left(\sum_{i \in R_m} \exp \left(- \frac{\varepsilon_i}{\lambda} \right) \right)^\lambda \right) \quad (3)$$

$$P_a = \frac{\exp(-S_a)}{\sum_{m \in \{a,s\}} \exp(-S_m)} \quad (4)$$

$$P_i = P_a \cdot P_{i|a} \quad (5)$$

where

$$P_{i|a} = \frac{\exp(-C_i/\lambda)}{\sum_{j \in R_a} \exp(-C_j/\lambda)} \quad (6)$$

$$S_m = -\lambda \cdot \ln \sum_{i \in R_m} \exp \left(- \frac{C_i}{\lambda} \right) \quad (7)$$

ここで R_m は、交通モード $m \in \{s, other, a: air\}$ のルートの集合である。また λ はネステッドロジットモデルに関するパラメータであり、 $0 < \lambda \leq 1$ となるが、特に $\lambda = 1$ の場合、多項ロジットモデルとなる。Zone1,2 間における旅客の総需要を Q とすると、航空の需要量 D_a 、ルート i における需要量 $D_{a,i}$ はそれぞれ式(8)、式(9)で与えられる。

$$D_a = P_a \cdot Q \quad (8)$$

$$D_{a,i} = D_a \cdot P_{i|a} \quad (9)$$

(3)航空機配分

航空機配分において、航空会社は自社の利潤を最大化するように行動するものとする。したがって、航空会社は航空機の便数を以下の利潤最大化問題で決定する。

$$\max \pi_i(\mathbf{fr}_i) = F_i \cdot D_{a,i}(\mathbf{fr}_i; \mathbf{fr}_j (j \neq i)) - C_i(\mathbf{fr}) \quad (10)$$

$$s.t. \quad f_i^k \geq 0 \quad \forall k \quad (11)$$

where

$$\mathbf{fr}_i = (f_i^1, \dots, f_i^{|K|}) \quad (12)$$

$$\mathbf{fr} = (f_i^1, \dots, f_i^{|K|}, \dots, f_{|R_a|}^1, \dots, f_{|R_a|}^{|K|}) \quad (13)$$

π_i はルート i を運航する航空会社の利潤、 $Cl_i(\mathbf{fr})$ はルート i を運航する会社の費用であり、以下のように表すことにする。

$$Cl_i(\mathbf{fr}) = \sum_{k \in K} fr_i^k \cdot (AC_i^k + LC) + \theta(\mathbf{fr}) \quad (14)$$

where

$$\theta(\mathbf{fr}) = \theta_1 \exp \left(\theta_2 \frac{\sum_{i \in R_a} \sum_{k \in K} fr_i^k}{CA} \right) \quad (15)$$

AC_i^k はルート i の航空機 1 機にかかる固定費用、 LC は空港使用料、 $\theta(\mathbf{fr})$ は到着空港における着陸待ちなどの空港混雑に起因する追加的費用、 CA は到着空港の空港容量である。また θ_1 、 θ_2 はカリブレーションパラメータである。

ルート i の需要者数はすべてのルートにおける航空機の便数によって決定される。航空会社 i の運航便数決定問題では、ルート $j \neq i$ の便数を所与としている点に注意したい。式(10)-(14)から、利潤最大化問題のナッシュ均衡解を求めることにより、各ルートの機材サイズ別の運行便数が決定される。

(4)環境税の設定

本研究では環境税を旅客の運賃に組み込んで表現する。また、一般的に航空機の二酸化炭素排出量は機材が大型になるにつれて増大する傾向であるため、今回想定した大、中、小型機のそれぞれに対して環境税を設定する。なお、他交通機関には環境税はかからないものと仮定する。

課税に伴って生じる旅客の運賃は以下のように表される。ここでは、完全競争市場を想定しているため、運賃は利潤が 0 となるように設定されている。

$$F_i = \frac{Cl_i(\mathbf{fr}) + \sum_{k \in K} fr_i^k \cdot T^k}{D_{a,i}} \quad (16)$$

ここで T_k は機体サイズ k の航空機 1 機にかかる環境税である。

5. 数値計算

(1)入力データ

今回のモデル構築にあたって、各ルート別の運賃、空港使用料、運航頻度、固定費用の初期値は表-1 のように初期値を設定した。なお、航空機の固定費用については、ANA の飛行機機体価格資料³⁾を参考にし、空港使用料については国土交通省の資料⁴⁾を参考に値を設定した。なお費用の単位は unit で表している。

表-1 各ルートの初期値設定

	Airline1	Airline2	Airline3
F_i (*10000unit)	0.60	0.60	0.60
LC (*10000unit)	88	42	21
fr_i (便/day)	1.00	1.00	1.00
AC_i (unit)	684.93	465.75	95.89

環境税については、表-3 の通り Case1-3 の 3 ケースを設定した。Case1 では環境税を導入しなかった場合、Case2 では環境税を税率 150unit/L にした場合、Case3 では税率 250unit/L にした場合を想定した。またそれぞれの機体が 1 回のフライトで燃料タンクの半分の量の燃料を使用すると仮定して、大、中、小型機に対してそれぞれ税率を設定した。

表-3 環境税の設定

(単位:unit)	Airline1	Airline2	Airline3
Case1	0	0	0
Case2	1627.5	600	300
Case3	2712.5	1000	500

(2)数値計算結果

図-2 は各会社が設定した運賃を表している。大型機で運航している Airline1 は需要減少により大幅な運賃の上昇がみられた。またルート別の選択確率については図-3 に表しているように Airline1 の選択確率が減少する一方で Airline2,3 は選択確率が増加傾向にある。しかし航空市場全体で見ると航空機を選択確率が減少傾向であることが示された。図-4 に表しているルート別運行頻度については、Airline2,3 では運行頻度を減らしているが、Airline1 については需要が減少するため、運行頻度を上昇させることで旅客の一般化費用を下げ、競争力を高めるとことが示された。

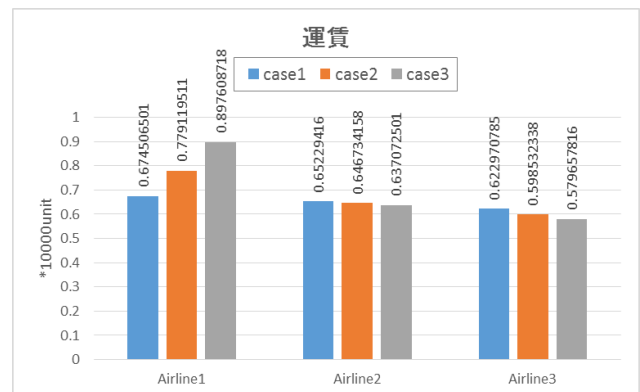


図-2 エアライン別運賃

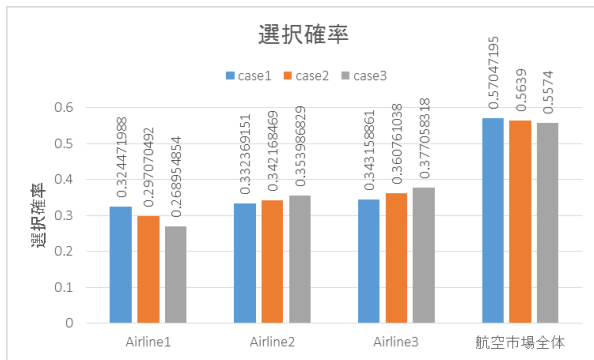


図3 エアライン別選択確率

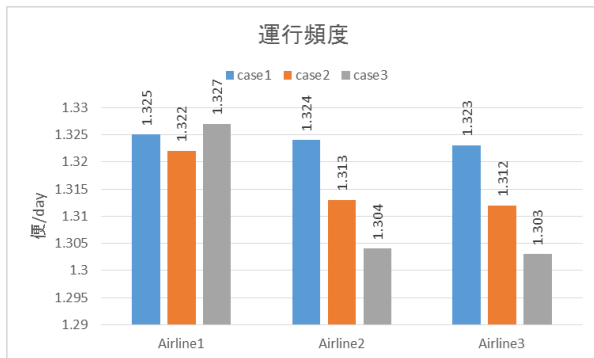


図4 エアライン別運行頻度

環境税導入による CO₂ の削減効果については図-5 に示すとおりである。尚 CO₂ 削減量の算出については、参考文献⁷⁾を使用し算出した。また、環境税を高くした場合は case3 のように若干ではあるが CO₂ の排出量が増加することも示された。これは、Airline1 の大型機の運航頻度が上昇したことに伴うものだと考えられる。

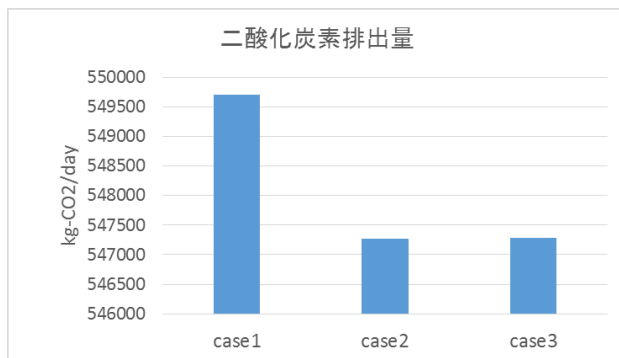


図5 ケース別二酸化炭素排出量

6. 結論

本研究は、航空市場において仮想地域において環境税導入を行った場合の航空ネットワーク形成、航空会社の機材選択への影響について航空会社別固定費用、他交通機関との競合両方を考慮して数値計算を行った。

今後の課題として、今回それぞれ航空会社が1つの機材しか所持していないと仮定したため、より現実の航空市場に近づけるため会社が複数機材を所持しているモデルへの拡張が必要だと考える。また、今回考慮していない路線の撤退を考慮して表現出来るモデルを構築する必要がある。また、今後の展望としては、本モデルの仮想地域を拡張し、乗り継ぎ等を考慮した複数空港内でのネットワーク形成、航空サービスの変化について検討したいと考えている。

謝辞

本研究を進めるにあたり、南山大学の奥田隆明教授と名大博士課程に居られた三室碧人様 には有益なアドバイスを頂いた。ここに記して感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 竹林幹雄, 黒田勝彦, 鈴木秀彦, 宮内敏昌: 完全競争市場として見た国際航空旅客輸送市場のモデル分析, 土木学会論文集, No.674/IV-51, pp35-48, 2001.
- 2) 三室 碧人, 奥田 隆明: 独占的競争理論を応用した都市間旅客交通部門の分析手法の開発～今後の環境税導入を見込んで～, 土木学会論文集 D3(土木計画学), Vol.68, No.5, I_1005-I_1012, 2012.
- 3) ANA ホールディングス株式会社 (2016/04/04 閲覧)
https://www.ana.co.jp/ir/kessan_info/annual/pdf/07/07_09.pdf
- 4) 国土交通省 (2016/04/04 閲覧)
http://www.mlit.go.jp/singikai/koutusin/koku07_8/02.pdf
- 5) 国土交通省航空局(2016/04/04 閲覧)
<https://www.mlit.go.jp/common/001027544.pdf>
- 6) 一般財団法人日本航空機開発協会
http://www.jadc.jp/files/topics/98_ext_01_0.pdf
- 7) 環境省 (2016/04/04 閲覧)
<https://www.env.go.jp/council/16pol-ear/y164-04/mat04.pdf>

THE EFFECT FOR THE AIRLINE NETWORKS CONSIDERING INTRODUCING THE ENVIRONMENTAL TAX

Ibuki TAKASHIMA, Teppei KATO, Kenetsu UCHIDA, Nao SUGIKI, Toru TAMURA

The discharge of CO₂ is increasing in the field of aviation. This study is considered the competition with other transportation modes, the effect of introducing environmental tax to the airline network and services is studied.

Virtual area is set up, then passenger and airplane distribution is carried out with using the nested logit model.

It is found out that setting up the tax has an effect on decreasing CO₂, however the high rate tax cause the increase in the CO₂ output, and decrease the ratio of choose the airplane.