

二面市場モデルに基づく
内際ハブ空港の着陸料設定に関する研究

平成25年2月20日

京都大学工学部地球工学科土木コース

宇波謙介

要 旨

ローカル空港から直接海外の都市へ直接アクセスできないとすると、国内に居住する旅客は、海外の都市へアクセス可能な国際空港を経由する必要がある。ハブ・アンド・スポーク型の航空ネットワークでは、国際空港は、国内からの旅客に対して様々な海外都市へのアクセスというサービスを提供している。内陸ハブ空港は国内路線と国際路線をつなぐプラットフォームとしての機能を果たしており、国内路線の需要はハブ空港からアクセス可能な海外就航都市数に依存するというネットワーク外部性が生じる。国内航空会社はハブ空港からアクセス可能な海外就航都市数により運航を決定する。一方で、海外航空会社はハブ空港へアクセス可能な国内就航都市数により運航を決定する。

本研究では、旅客需要に焦点をおいた二面市場モデルにより、空港の着陸料課金政策を分析する。さらに、国内路線と国際路線の差別化着陸料を設定することにより、ネットワーク外部性を効率的に内部化し、旅客の効用を高めることができることを示す。

目次

第1章	はじめに	1
第2章	本研究の基本的な考え方	3
2.1	既存の研究概要	3
2.2	ネットワーク外部性	4
2.3	二面市場	5
2.4	利用外部性とメンバーシップ外部性	7
2.5	クロスサブシディ	8
第3章	基本モデル	9
3.1	モデルの前提条件	9
3.2	家計の行動	11
3.3	航空会社の行動	12
3.3.1	国内航空会社の行動	12
3.3.2	海外航空会社の行動	13
3.4	均衡解の決定	15
第4章	着陸料設定問題	17
4.1	差別化着陸料	17
4.2	非差別化着陸料	18
4.3	差別化と非差別化の関係	19
4.4	クロスサブシディ	20
第5章	おわりに	22
	参考文献	23
付録A	式の導出過程(需要関数の導出)	付-1

第1章 はじめに

近年の航空市場では、ポイント・トゥ・ポイントの航空網が発展してきたとはいえ、国内線・国際線の乗り継ぎを考慮すれば、依然として国際的拠点空港を中心として周辺都市を結ぶハブ・アンド・スポーク・ネットワーク (hub-and-spoke network: 以下、HSネットワーク) 型の航空ネットワーク構造が支配的となっている。空港の利用者数は、ハブ空港と非ハブ空港の間で明確な格差が存在する。また、ハブ空港としての機能が期待される空港であっても、その役割の大きさには、空港によってばらつきがあることも事実である。ハブ空港は、多くの都市と航空便で結ばれており、ハブ空港が位置する都市には、交通の利便性から人やモノが集積しやすくなる。したがって、国家あるいは都市の発展戦略を立案する上で、国際的ハブ空港の形成は極めて重要な事項に位置づけられている。

ハブ空港としての経済的価値は、その乗り継ぎ拠点としての機能に依存する。国際線がアクセスしていない地方に居住する人が、海外の都市に旅行する際、まず地方空港から国内線で国内の国際空港に行き、そこで国際線に乗り継がなければならない。内陸ハブ空港は、国際線とハブ空港が存在する国の各都市を結ぶ国内線の乗り継ぎ拠点、すなわち、国内と国外を結ぶゲートウェイとしての役割を果たしている。国内線を運行する航空会社が、ある国内都市とハブ空港の路線を運行する際に、より多くの海外都市への路線が充実しているハブ空港との間を結ぶ路線を就航させる方が魅力的であろう。ハブ空港は、航空サービスの利用者が、国内外の多様な都市へアクセスすることを可能にするという意味で、航空サービスのプラットフォームとしてのサービスを提供している。HS型の航空ネットワーク構造を所与とすれば、より多くの都市へのアクセスが可能なハブ空港の方が、そこにアクセスする路線の需要を高めるというネットワーク外部性 (network externalities)¹⁾⁻⁴⁾が存在する。

本研究では、内陸ハブ空港が国内線と国際線をつなぐゲートウェイ機能の経済的価値 (ゲートウェイ価値) に着目する。より多くの海外都市にアクセス可能なハブ空港ほど、国内線の路線の就航価値は高まる。同様に、国内線の就航路線数が多いほど、国際線の路線の就航価値は高まる。このとき、いわゆる「卵が先か鶏が先か？」

という問題が生じる。要塞ハブ (fortress hub)⁵⁾のように、1つの航空企業がハブ空港の路線の大部分を占める場合には、就航路線の意思決定を集権的に行うことができるため、ネットワーク外部性を効果的に内部化することが可能である。しかし、国際線と国内線のプラットフォーム機能に着目する場合、国内線を運航する航空会社と国際線を運航する航空会社が異なることが多い。このとき、航空会社のハブ空港への路線就航に関する意思決定が分権的に行われるため、効果的にネットワーク外部性を内部化する仕組みが必要となる。本研究では、空港の着陸料課金政策を通じて、国内と国際のプラットフォーム機能を果たす内際ハブ空港において発生するネットワーク外部性を内部化することが可能になることを明らかにする。

以上の研究背景に基づき、本研究では、Rochet and Tirole^{6),7)}によって提示された二面市場モデル (two-sided market model) に基づき、ネットワーク外部性の内部化を通じて旅客の効用を最大にするような空港着陸料課金政策について分析する。以下、2章では、本研究の新規性について明らかにする。また、本研究が依拠する基本的な分析の視座について明らかにする。3章では、航空会社の行動によりハブ空港を中心とした航空ネットワーク構造が決まる二面市場モデルを定式化する。4章では、空港会社の着陸料課金政策を、国内路線と国際路線における差別化・非差別化に着目し、着陸料が果たす役割を明らかにする。最後に、5章では、本研究をとりまとめるとともに、今後の課題について示す。

第2章 本研究の基本的な考え方

2.1 既存の研究概要

航空産業組織に関する理論的・実証的な研究は、すでに相当の蓄積が存在する。本研究で対象とする空港の料金政策に関連する研究も、盛んに行われてきた⁸⁾⁻¹⁰⁾。Basso and Zhang は、空港の課金政策に関する従来の研究が、伝統的なアプローチ (traditional approach) と垂直的構造アプローチ (vertical-structure approach) の2つに分類できると指摘している^{11), 12)}。伝統的アプローチは、航空市場 (airline market) を明示的にモデル化せず、空港サービスの需要が、航空会社と旅客の両方に課される空港の利用料と混雑費用によって決まる部分均衡モデルの枠組みが採用されている。一方、垂直的構造アプローチでは、空港サービスに対する需要が、航空市場の均衡状態によって決まる構造を持っている。したがって、垂直的構造アプローチでは、航空会社と旅客が直接的に空港サービスから効用 (あるいは、不効用) を得る伝統的アプローチとは異なり、空港に対する需要は派生需要であると捉えられる。しかし、これら既往の空港料金政策に関する研究は、空港利用料金と空港の混雑費用との関係に着目している。そこでは、空港は、飛行機が離発着するための時間スロットというサービスを提供することで、経済的価値を生み出すと捉えられている。これに対して、本研究では、内際ハブ空港が国際線と国内線の乗り継ぎを可能にするというゲートウェイ価値に着目する。

HSネットワークが形成されるメカニズムに関する理論及び実証研究が蓄積されている。機材の大型化に伴う顧客1人あたりの費用を縮減できる輸送密度の経済性が存在する場合には、都市間旅客需要に対して、直行便の開設によって都市間リンクを提供するポイント・トゥ・ポイント・ネットワーク (point-to-point network: 以下、P2Pネットワーク) よりも、ハブ空港と呼ばれる空港を経由させて、都市間のリンクを提供するHSネットワークが支配的になることが明らかにされている^{13), 14)}。また、複数の航空会社間の競争メカニズムの分析も進んでいるが、既存研究では、HSネットワーク企業とP2Pネットワーク企業との競争に着目している。さらに、どの空港がハブ空港機能を果たすかは、外生的な条件として与えられており、ハブ空港形成

に係わる空港側の戦略行動については考慮されていない。以上の従来研究では、航空ネットワークに存在する密度の経済性に着目しており、本研究が着目するKatz and Shapiro¹⁾で定義されたネットワーク外部性を明示的に考慮しているわけではない。

航空輸送業における規模の経済性とは、輸送量が増加するにつれて収穫逓増となり、総費用は増加するが増加の程度が小さくなり、平均費用が逓減することを指す輸送密度の経済性に加えて、路線数に依存するネットワークサイズの経済性の概念という2種類の経済性を加味する必要がある。航空会社はネットワークを拡大させることにより、単位あたりの費用を低下させることができる。

2.2 ネットワーク外部性

最寄りの空港が国内空港の場合、国内のいずれかの国際空港を経由しなければ、海外に渡航することができない。国際旅客は、必ず国際空港を経由しなければならないという意味において国際空港は、国内と国外を結ぶゲートウェイとして機能している。国内から国外に旅行するとき、どのゲートウェイを利用するかは、国内空港からゲートウェイへのアクセスだけでなく、ゲートウェイから目的地へのアクセスの利便性に依存している。例えば、ロンドンに行きたいと思ったとき、ロンドンへの直行便がない国際空港よりも、直行便がある国際空港の方が価値があると考えられる。したがって、国際空港のゲートウェイ機能に着目したとき、多くの海外の都市にアクセスできることが可能な国際空港の方が、経済学的にも高い価値を提供している。本研究では、内際ハブ空港が国内線と国際線の乗り継ぎを実現することによって発生する経済的価値をゲートウェイ価値と呼ぶ。

ゲートウェイ価値は、Katz and Shapiro¹⁾の意味において、ネットワーク外部性を意味する。ネットワーク外部性は、ネットワークのサービスの消費者のネットワークに属することに対する支払い意思額が、ネットワークの規模が大きさに依存する場合に生じる。ある消費者がネットワークに加わるという行動は、副次的にネットワークが提供するサービスの価値を増加させるという効果をもたらす。ゲートウェイ機能を担う国際空港では、以上のようなネットワーク外部性が生じるメカニズムが存在する。

ネットワーク外部性が存在する場合、外部性が適切に内部化される仕組みが具備されていないと、ネットワーク外部性から生じる経済的価値を効果的に実現するこ

とができない。国際線と国際線の接続拠点として機能する内陸ハブ空港は、規模の経済が存在する下での自然独占の結果として、ただ1社の航空企業によって、空港の大半のサービスが利用されている要塞ハブ (fortress hub) となる可能性が指摘されている⁵⁾。要塞ハブでは、独占的航空会社が都市リンクごとに航空運賃を定めることによって、ハブ空港への追加的な路線就航がもたらす他の就航路線の経済的価値 (ネットワーク外部性) が効果的に内部化される。したがって、要塞ハブでは、航空会社がネットワーク外部性を内部化する役割を担っており、空港はハブ形成において、実質的な役割を果たしていない。

本研究では、1つの航空会社が独占しているような要塞ハブではなく、航空会社が多数存在しており、ネットワーク外部性が航空会社間で内部化することができない場合を考える。例えば、国際線と国内線では、アライアンスを提携していない異なる航空会社が運航する路線を利用することがある。あるいは、同一のアライアンスであっても、国際線区間と国内線区間では、異なる運賃体系を採用している場合が考えられる。このような場合には、家計が利用する都市リンクに対して運賃を決定することができる独占的な航空会社が存在しないため、国内線区間と国際線区間の航空チケットを分けて購入する必要がある。特に、LCC (low cost carriers) が今後普及すれば、乗り継ぎ路線の間で生じるネットワーク外部性を、航空運賃のコーディネーションによって内部化することが難しくなると考えられる。航空会社によるネットワーク外部性の内部化が難しい場合には、空港の着陸料設定が重要になる。

2.3 二面市場

二面市場は、2つの異なるグループの間に生じるネットワーク外部性に関連している。二面市場の代表的な例として、クレジットカードが挙げられる。クレジットカードは、VisaやMasterCardといったクレジット決済のプラットフォームを提供する。すなわち、売り手と買い手がクレジットカードを利用して、取引を行おうとするとき、売り手買い手の両方が、VisaやMasterCardのようなプラットフォームが可能なネットワークに属していなければならない。クレジットカード保有に対する支払い意思額は、そのクレジットカードを利用することができる商店がどれだけ存在するかによって依存する。仮に、あるクレジットカードを入手しても、そのクレジットカードを利用可能な商店が少なければ、保有することの価値は限定的である。このように、クレ

ジットカードを取引のプラットフォームと位置づけると、そのプラットフォームを利用した取引ネットワークにはネットワーク外部性が働く。

二面市場の分析は、Rochet and Tirole⁶⁾をはじめ、近年急速に研究の蓄積が進んでいる^{7), 15)–16)}。多くの二面市場の例として、クレジットカードやゲーム機、不動産のエージェント等が挙げられる。Rochet and Tirole (2003)⁶⁾は、二面市場の性質が存在する環境では、売り手と買い手の間にプラットフォームが存在するときのみ交渉が行えるため、コースの定理¹⁸⁾が成立しないことを示唆している。Caillaud and Jullien (2003)¹⁷⁾は、結婚相談所、不動産エージェントやインターネットの商店街のように、競争的なマッチメイカーについて分析している。そこでは、同質な売り手と買い手を仮定し、競争的なマッチメイカーが間接的なネットワーク効果の結果、独占的なプラットフォームが生じる場合と複数のプラットフォームが共存する場合が内生的に導かれることを示した。Armstrong (2006)¹⁵⁾は、独占的なプラットフォームと競争的なプラットフォーム及び競争的ボトルネックの3つのケースのモデルを定式化した。Hagiu (2006)¹⁶⁾は、Bertrand競争の下で、プラットフォームの所有によるプラットフォーム企業の利潤最大化行動によって、間接的なネットワーク効果を内生化することができることを指摘しており、供給する財の多様性が最適なプラットフォーム価格構造を決定する重要な要素となることを明らかにした。また、Caillaud and Jullien (2003)¹⁷⁾、Rochet and Tirole (2003)⁶⁾とArmstrong (2006)¹⁵⁾は、相対的な需要の価格弾力性がプラットフォームの価格構造に与える効果を明らかにしている。

Rochet and Tirole⁷⁾は、二面市場を以下のように形式的に定義した。プラットフォームが用いられる取引量を V と表そう。また、プラットフォームの一方の利用者に対して課す取引あたりの料金を a_1 、もう一方の利用者に対して課す取引あたりの料金を a_2 と表す。プラットフォームを通じた取引量 V が、プラットフォームが課すすべての料金 $a = a_1 + a_2$ にのみ依存するとき、プラットフォームの市場は、「一面 (one-sided)」であると定義される。すなわち、プラットフォームの用いた取引量 V は、2つの市場での料金の分配には影響を受けない場合、市場が一面である。逆に、プラットフォームの総料金 a を一定として、一方の料金 a_1 を変化させることにより、取引量 V が変化するとき市場は二面であると呼ぶ。

二面市場モデルにおける重要な仮定は、2つの異なるグループに属するエージェントの集団が、効率的な交渉ができないという点にある。クレジットカードの例において、クレジットカード保有に対する支払い意思額は、そのクレジットカードを

利用可能な商店がどれだけ存在するかに依存すると考えた。しかし、仮に、商品の買い手であるクレジットカードを保有する潜在的なエージェントのグループと、商品の売り手である潜在的なクレジットカードの加盟店が、コース¹⁸⁾の意味で効率的に交渉することができれば、買い手のグループが売り手のグループに対して、よりクレジットカードが利用可能な商店を増やすように提案し、商店側のグループもそれを受け入れるであろう。したがって、二面市場モデルでは、2つの異なるグループのエージェントが、効率的に交渉を行うことが、実際上、不可能である状況を仮定している⁷⁾。したがって、本研究において、二面市場モデルに基づいた航空市場分析を行う前提条件として、前節で指摘したように、国際線を運航する航空会社のグループと国内線を運航する航空会社のグループとの間で、効率的な運賃の交渉を行うことができないケースを考える。

二面市場と航空市場との関連性については、これまでに定型化された理論的枠組みを示した研究は存在していないものの、その重要性について指摘した研究は存在する。例えば、Bergman (2004)¹⁹⁾は、2つの航空会社が同じ空港を利用する場合に乗り継ぎを可能にするという点において、それが間接的なネットワーク効果を含む二面市場の構造を有していることを指摘している。Gillen (2010)²⁰⁾は、乗客と航空会社を同じ空港に集めることによって、空港の価値が生まれるという点において、二面市場であると指摘している。本研究では、以上の研究とは異なり、空港着陸料設定によって、異なる航空会社間で生じるネットワーク外部性を内部化することが可能であることを指摘する。

2.4 利用外部性とメンバーシップ外部性

二面市場では、プラットフォームの利用に関する1経済主体の意思決定行動が、他の経済主体の利得に影響を与えるという意味で外部性の存在を前提としている。Rochet and Tirole⁷⁾は、二面市場の外部性を利用外部性 (usage externalities) とメンバーシップ外部性 (membership externalities) に区別している。利用外部性は、例えばクレジットカードのように、我々がクレジットカードを利用した場合に、利用した商店は、利用料を支払わなければならない。このように、1つの取引に対して、利用料という形でエージェント間で外部性を与える場合、利用の外部性と呼ばれる。一方、メンバーシップ外部性とは、一方の潜在的なプラットフォームの利用者が、プラットフォー

ムを選択する際に、もう一方のプラットフォームの利用者の数を考慮に入れて、プラットフォームへの参加を決定するときに生じる。メンバーシップ外部性は、プラットフォームへ参加するかどうかといった事前の意思決定に関わるものであり、支払ったメンバーシップの料金は埋没費用 (sunk cost) となる。航空産業の場合、メンバーシップの料金とは新規路線運航に伴う機材や乗員、地上職員、整備士の確保、事務所・整備施設などの開設費用、広告費等を意味している。本研究では、固定費用が伴う航空会社の路線への参入行動によって生じるネットワーク外部性を対象としており、メンバーシップ外部性に分類することができる。

2.5 クロスサブシディ

空港の着陸料課金政策による効果を分析するために、クロスサブシディ (cross-subsidy) という概念を取り入れる。補助金は政府などが、利益が出ないと考えられるサービスを生産者に提供してもらうためにお金を与えるような、お金の”外部”の流れだが、クロスサブシディはあるサービスからもう一方のサービスへのお金の”内部”の流れである。クロスサブシディに関する研究はGerald Faulhaberを中心に多くなされており、電気通信分野の分析などにも使われている^{21), 22)}。電気通信分野では、電気通信会社が域外の長距離料金を平均費用を大幅に上回る料金に設定し、そこで得た利潤をクロスサブシディとして域内の部門にまわすことができた。そのため、域内の料金を平均費用を下回る料金に設定することで顧客を増やし、ネットワークサービスを拡大していった。

Faulhaber²³⁾はクロスサブシディを以下のように定義した。「ある複数生産企業が、既存の財(サービス)の生産に加え、新たに財の生産を開始したとする。そのとき、それが当該企業によって既に生産されている財グループの価格を引き上げることがないならば、新規の財生産により実現される状態をクロスサブシディがない状態 (subsidy-free) とする。」また、Faulhaberは独立採算費用条件 (stand-alone cost test) と増分費用条件 (incremental cost test) という二つの条件式による判断方法を提唱している。

第3章 基本モデル

3.1 モデルの前提条件

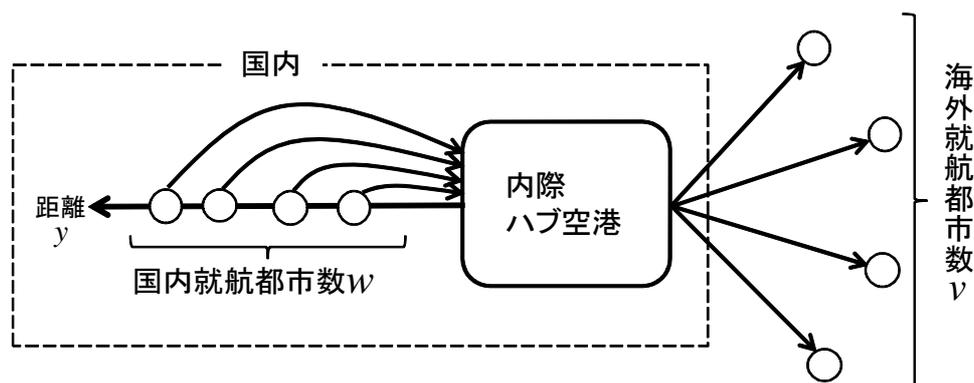


図-3.1 基本モデル

国内の各都市には、海外都市に直接アクセスできる空港が存在しない。海外の都市へ渡航するためには、それぞれの都市にある空港から別の国際ハブ空港までの国内便に乗る必要がある。すべての家計は、直接ハブ空港へアクセスすることができず、いったん各都市からの国内線に搭乗する必要がある。基本モデルでは、図-3.1のようにハブ空港がただ1つしか存在せず、海外へ渡航するためには、すべての乗客はハブ空港を経由する必要がある。

国内都市及び海外都市は、連続的に分布していると仮定し、国内都市のインデックスを $y \in [0, +\infty)$ 、海外都市のインデックスを $z \in [0, +\infty)$ と表す。ハブ空港から、海外都市へのアクセスに要する時間費用はすべて同一であるという意味で、海外都市は対称的である。一方、国内都市からハブ空港へのアクセスに要する時間は、インデックスの大きさに対応して増加する。

各国内都市に居住する各家計は、海外旅行を通じて効用を獲得する。国内都市は、ハブ空港への距離によって差別化されている。各都市に居住する家計の選好は同質である。 $t(z)$ を各都市レベルの集計的な直接効用関数を以下のような代替の弾

力性が一定である Dixit-Stiglitz 型効用関数により定義する.

$$T(y) = \left[\int_0^v t(z, y)^\rho dz \right]^{1/\rho} \quad (3.1)$$

ただし, $\rho(0 < \rho < 1)$ は, 旅行先となる海外都市の多様性を選好する度合いを表すパラメータである. 各都市の海外旅行に費やす集計的な費用は全て同一であり, 外生的な変数 Y で表す.

航空会社は, 各国内都市とハブ空港間及び各海外都市とハブ空港間で旅客サービスを提供する. すべての路線は, 各路線異なる航空会社一社によって運航されていると仮定する. すべての路線について, 参入が競争的ではなく独占状態となっている. 国内路線の航空旅客サービスに用いられる技術は距離に依存し, 輸送距離 y の国内都市間で輸送するために必要な費用を

$$C(y) = F + c_a y + c_p m(y) \quad (3.2)$$

とする. F は固定費用, c_a は1距離あたりの限界費用, c_p は旅客一人当たりの限界費用, $m(y)$ は国内都市 y とハブ空港を結ぶ路線 (国内路線 y) の旅客数である. 一方, 国際路線の航空旅客サービスに用いられる技術は同一で, 距離に関わらず以下のような費用が必要となる.

$$C(z) = F + c_p n(z) \quad (3.3)$$

$n(z)$ はハブ空港と海外都市 z を結ぶ路線 (国際路線 z) の旅客数である.

ハブ空港は, 国内線と国際線の着陸料を設定する. 国内都市とハブ空港を結ぶ路線 (国内路線) の着陸料を ϕ , 海外都市とハブ空港を結ぶ路線 (国内路線) の着陸料を ψ と表す.

空港の着陸料の設定, 航空会社の運賃の設定, 家計の空港, 航空会社の選択行動に関する相互依存的な状況を分析するために, 図-3.2に示すような3段階モデルを定式化する. まず空港会社が着陸料を設定し, その料金をもとに航空会社が新たな路線に参入するかを決定する. さらに航空会社の行動によって, 航空ネットワーク構造が定まり, その構造をもとに家計の行動が決定するというモデルである.

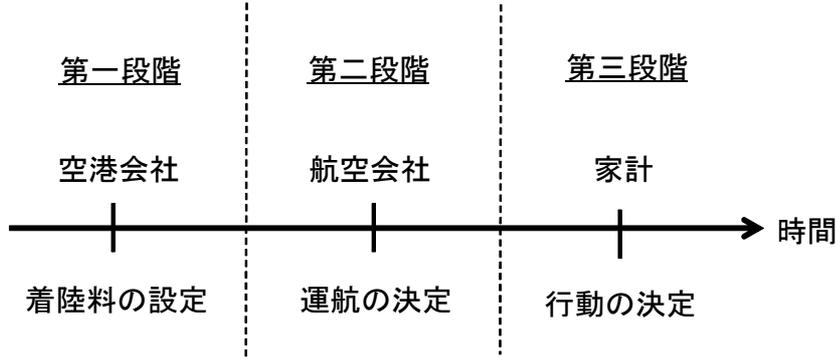


図-3.2 モデルの時間的順序関係

3.2 家計の行動

国内都市 y に居住する家計の効用最大化問題は以下のように表される。

$$\begin{aligned}
 & \max_{t(z,y)} T(y) \\
 & \text{subject to} \\
 & \int_0^v \{p(y) + q(z)\} t(z,y) dz = Y
 \end{aligned} \tag{3.4}$$

効用水準 $T(y)$ を達成するために、費用最小化する場合に選択される国内都市 y の家計の海外都市 z への旅行数（補償需要関数）は、

$$t(z,y) = \frac{(p(y) + q(z))^{1/(\rho-1)}}{\left[\int_0^v \{p(y) + q(z)\}^{\rho/(\rho-1)} dz \right]^{1/\rho}} T(y) \tag{3.5}$$

と導かれる。

効用水準 $T(y)$ を達成するための最小費用は以下のようになる。

$$\left[\int_0^v \{p(y) + q(z)\}^{\rho/(\rho-1)} dz \right]^{(\rho-1)/\rho} T(y) \tag{3.6}$$

ここで、価格指数を $G(y)$ とおく。すなわち、

$$\begin{aligned}
 G(y) & \equiv \left[\int_0^v \{p(y) + q(z)\}^{\rho/(\rho-1)} dz \right]^{(\rho-1)/\rho} \\
 & = \left[\int_0^v \{p(y) + q(z)\}^{1-\sigma} dz \right]^{1/(1-\sigma)}
 \end{aligned} \tag{3.7}$$

ただし、 $\sigma \equiv 1/(1-\rho)$ である。補償需要関数は、

$$t(z,y) = \left(\frac{p(y) + q(z)}{G(y)} \right)^{-\sigma} T(y) \tag{3.8}$$

海外旅行に費やす集計的費用が Y のとき，普通需要関数は，

$$t(z, y) = \frac{\{p(y) + q(z)\}^{-\sigma}}{G(y)^{1-\sigma}} Y \quad (3.9)$$

費用 Y ，国内航空運賃 $p(y)$ ，海外航空運賃 $q(z)$ を所与としたときに，国内都市 y に居住する家計が達成可能な効用水準（間接効用関数）は，

$$T(y) = \frac{Y}{G(y)} \quad (3.10)$$

である．

3.3 航空会社の行動

3.3.1 国内航空会社の行動

国内都市 y とハブ空港を結ぶ路線（国内路線 y ）の旅客数 $m(y)$ は，

$$\begin{aligned} m(y) &= \int_0^v t(z, y) dz \\ &= vt(y) \\ &= v \{p(y) + q(z)\}^{-\sigma} G(y)^{\sigma-1} Y \end{aligned} \quad (3.11)$$

$$\Leftrightarrow p(y) = \left(\frac{vY G(y)^{\sigma-1}}{m(y)} \right)^{1/\sigma} - q(z) \quad (3.12)$$

国内路線 y を運航する航空会社（航空会社 y ）の利潤最大化問題は，

$$\max_{m(y)} \pi(y) = p(y)m(y) - (F + c_a y + c_p m(y) + \phi) \quad (3.13)$$

となる．路線 y は参入が競争的ではなく，各路線は一社による独占状態である．このとき，航空会社は利潤が最大となるように運賃 p を決定する．国内航空会社は $G(y)$ とハブ空港の海外就航都市数 v ，国際路線の航空運賃 $q(z)$ を所与として，利潤最大化行動をとる．最大化問題を解くと，

$$m(y) = \left(\frac{\rho}{c_p + q(z)} \right)^{\sigma} G(y)^{\sigma-1} vY \quad (3.14)$$

式(3.12)より，

$$p = \frac{c_p + q(z)}{\rho} - q(z) \quad (3.15)$$

となる。国内路線の運賃は距離にかかわらず一定で、どの国内路線も同じ運賃となる。よって、価格指数 $G(y)$ も距離にかかわらず一定(G)となる。国内航空会社は超過利潤を得るが、国内路線の輸送費用は距離に対応して増加するため、ハブ空港との距離が大きくなるほど費用は大きくなり、利潤は0に近づく。そして、 $\pi(w) = 0$ となる国内就航都市数 w が、式(3.13)より以下のように定まる。

$$w = \frac{1}{c_a} \left\{ (1 - \rho) \left(\frac{\rho G}{c_p + q(z)} \right)^{\sigma-1} vY - (F + \phi) \right\} \quad (3.16)$$

3.3.2 海外航空会社の行動

海外都市 z とハブ空港を結ぶ路線（国際路線 z ）の旅客数 $n(z)$ は、

$$\begin{aligned} n(z) &= \int_0^w t(z, y) dy \\ &= wt \\ &= \{p + q(z)\}^{-\sigma} G^{\sigma-1} wY \end{aligned} \quad (3.17)$$

$$\Leftrightarrow q(z) = \left(\frac{wY G^{\sigma-1}}{n(z)} \right)^{1/\sigma} - p \quad (3.18)$$

国際路線 z を運航する航空会社（航空会社 z ）の利潤最大化問題は、

$$\max_{n(z)} \pi(z) = q(z)n(z) - (F + c_p n(z) + \psi) \quad (3.19)$$

と表される。

路線 z は参入が競争的ではなく、各路線は一社による独占状態である。このとき、航空会社は利潤が最大となるように運賃 q を決定する。海外航空会社は国内会社の運賃の決定方法を知っており、それをもとに利潤を最大化する運賃 q を設定し、その後、国内航空会社が海外航空会社の運賃をもとに自らの路線の運賃を設定するとすると、式(3.15)より、

$$n(z) = \left(\frac{\rho}{c_p + q(z)} \right)^{\sigma} G^{\sigma-1} wY \quad (3.20)$$

$$\Leftrightarrow q(z) = \rho \left(\frac{wY G^{\sigma-1}}{n(z)} \right)^{1/\sigma} - c_p \quad (3.21)$$

価格指数 G とを所与として海外航空会社の最大化問題を解くと、

$$n = \left(\frac{\rho^2}{2c_p} \right)^{\sigma} G^{\sigma-1} wY \quad (3.22)$$

式(3.21)より,

$$q = \frac{2 - \rho}{\rho} c_p \quad (3.23)$$

となり, 国際路線の運賃も全路線均一運賃である.

国内航空会社はこの国際路線の運賃 q をもとに, 自らの路線の運賃 p を式(3.15)のように設定するので,

$$p = \frac{\rho^2 - 2\rho + 2}{\rho^2} c_p \quad (3.24)$$

また, 式(3.14)より

$$m = \left(\frac{\rho^2}{2c_p} \right)^\sigma G^{\sigma-1} v Y \quad (3.25)$$

ここで, 式(3.16)を式(3.23)により整理すると,

$$w = \frac{1}{c_a} \left\{ (1 - \rho) \left(\frac{\rho^2 G}{2c_p} \right)^{\sigma-1} v Y - (F + \phi) \right\} \quad (3.26)$$

$$\frac{dw}{dv} = \frac{1 - \rho}{c_a} \left(\frac{\rho^2 G}{2c_p} \right)^{\sigma-1} Y > 0 \quad (3.27)$$

となり, 海外就航都市が増加すると国内就航都市数も増加することがわかる. 家計の海外旅行にかかる費用と航空運賃が一定であると考えると, 海外就航都市数が増えたと1路線あたりの旅客数は減少する.

海外航空会社の利潤に話を戻すと, 国際路線の輸送費用は距離にかかわらず一定だが, メニュー数(海外就航都市数)が増えたと1都市あたりの旅客数が減少するので, $\pi(v) = 0$ となる海外就航都市数 v が存在する. まず, 式(3.19)において利潤0となる国内就航都市数 w を求めると,

$$\begin{aligned} w &= \frac{F + \psi}{\rho(1 - \rho)Y} \left(\frac{2c_p}{\rho^2 G} \right)^{\sigma-1} \\ &= \frac{(F + \psi)}{\rho A} \end{aligned} \quad (3.28)$$

ただし

$$A = (1 - \rho)Y \left(\frac{\rho^2 G}{2c_p} \right)^{\sigma-1} \quad (3.29)$$

式(3.26)より,

$$\begin{aligned} v &= \frac{c_a w + (F + \phi)}{A} \\ &= \frac{c_a(F + \psi) + \rho A(F + \phi)}{A^2} \end{aligned} \quad (3.30)$$

3.4 均衡解の決定

各航空会社は以上のように利潤最大化行動をとり、長期的にはある路線数(就航都市数)に収束する。ここで、航空会社にとって価格指数 G を所与としていたが、実際に値を求めると

$$\begin{aligned} G &= \left[\int_0^v (p(y) + q(z))^{1-\sigma} dz \right]^{1/(1-\sigma)} \\ &= (p+q)v^{\frac{1}{1-\sigma}} \\ &= \frac{2c_p}{\rho^2} v^{\frac{1}{1-\sigma}} \end{aligned} \quad (3.31)$$

$$\begin{aligned} A &= (1-\rho)Y \left\{ \frac{\rho^2 G}{2c_p} \right\}^{\sigma-1} \\ &= \frac{(1-\rho)Y}{v} \end{aligned} \quad (3.32)$$

であるから、式(3.32)を(3.28)に代入すると、

$$\begin{aligned} w &= \frac{(F+\psi)}{\rho(1-\rho)Y} v \\ &= \frac{(F+\psi)}{\rho B} v \end{aligned} \quad (3.33)$$

ただし

$$B = (1-\rho)Y \quad (3.34)$$

$\frac{(F+\psi)}{\rho B} > 0$ であるので、国内就航都市数 w は、海外就航都市数 v に比例する。つまり、以下の命題1が導かれる。

命題 1

- 国内就航都市数と海外就航都市数は、一方が増加するともう一方も一定の割合で増加し、一方が減少するともう一方も一定の割合で減少する関係にある。
- 航空会社の航空ネットワークに属する支払い意思額が、航空ネットワークの規模の大きさに依存しているという意味で、ネットワーク外部性が生じている。

さらに、式(3.30),(3.32)~(3.34)より、

$$v = \frac{\rho B \{B - (F + \phi)\}}{c_a (F + \psi)} \quad (3.35)$$

$$w = \frac{B - (F + \phi)}{c_a} \quad (3.36)$$

以上の結果より，以下の命題 2 を得る．

命題 2

- 海外就航都市数は，国内路線の着陸料が増加すると減少し，さらに国際路線の着陸料が増加すると減少する．
- 国内就航都市数は，国内路線の着陸料が増加すると減少するが，国際路線の着陸料の増減には直接影響を受けない．
- 国内就航都市数は，海外就航都市数が増加すると増加するため，長期的に見れば国際路線の着陸料が増加すると減少する．

以上のモデルを整理すると，

$$p = \frac{\rho^2 - 2\rho + 2}{\rho^2} c_p \quad (3.37)$$

$$q = \frac{2 - \rho}{\rho} c_p \quad (3.38)$$

$$m = \frac{\rho^2 Y}{2c_p} \quad (3.39)$$

$$n = \frac{\rho(F + \psi)}{2(1 - \rho)c_p} \quad (3.40)$$

$$w = \frac{B - (F + \phi)}{c_a} \quad (3.41)$$

$$v = \frac{\rho B \{B - (F + \phi)\}}{c_a(F + \psi)} \quad (3.42)$$

$$t = \frac{\rho c_a(F + \psi)Y}{2c_p B \{B - (F + \phi)\}} \quad (3.43)$$

と表される．

第4章 着陸料設定問題

4.1 差別化着陸料

空港会社は、空港使用料として航空会社に着陸料を課している。この章では、上記の基本モデルにおいて家計(旅客)の効用を最大にするような着陸料を導き、着陸料課金政策について分析する。まず、以下の最大化問題を解くことにより最適な着陸料を求める。

$$\begin{aligned} \max_{\phi, \psi} T(y) &= \left[\int_0^v t(z, y)^\rho dz \right]^{\frac{1}{\rho}} \\ &= \frac{\rho^2 Y}{2c_p} \left\{ \frac{B(B - F - \phi)}{\rho c_a (F + \psi)} \right\}^{\frac{1-\rho}{\rho}} \end{aligned} \quad (4.1)$$

subject to

$$\phi w + \psi v = c_A(w + v) \quad (4.2)$$

$$w = \frac{B - (F + \phi)}{c_a}$$

$$v = \frac{\rho B \{B - (F + \phi)\}}{c_a (F + \psi)}$$

c_A は空港の一路線あたりの限界費用を表している。空港会社は着陸料収入によって路線数に関わる費用をまかない、路線数とは関係なく発生する固定費用は、非航空系の収入などによりまかなうとする。 $0 < \rho < 1$ より、この問題は以下のように書き換えることができる。

$$\max_{\phi, \psi} Z(\phi, \psi) = \frac{B - (F + \phi)}{F + \psi} \quad (4.3)$$

subject to

$$\phi w + \psi v = c_A(w + v)$$

最適解を求めると、

$$\phi^* = \frac{D}{2} + c_A \quad (4.4)$$

$$\psi^* = \frac{2c_A \rho B - FD}{2\rho B + D} \quad (4.5)$$

ただし

$$D = (1 - \rho)B - F - c_A \quad (4.6)$$

この最適解より, 旅客の効用を最大化するときの各航空会社の利潤を求める. 国内航空会社の利潤 $\pi(y)$ は式 (3.13) より

$$\begin{aligned}\pi(y) &= pm - (F + c_a y + c_p m + \phi^*) \\ &= D + \rho(1 - \rho)B - c_a y\end{aligned}\quad (4.7)$$

全ての国内航空会社の総利潤 $\Pi(y)$ は

$$\Pi(y) = \int_0^w \pi(y) dy = \frac{D + 2\rho B}{8c_a} \{D + 2\rho B(2\rho - 3)\} \quad (4.8)$$

海外航空会社の利潤 $\pi(z)$ は式 (3.19) より

$$\pi(z) = qn - (F + c_p n + \psi^*) = 0 \quad (4.9)$$

よって全ての海外航空会社の総利潤 $\Pi(z)$ は

$$\Pi(z) = \int_0^v \pi(z) dz = 0 \quad (4.10)$$

4.2 非差別化着陸料

空港会社が国内路線と国際路線の非差別化着陸料を設定した場合, 最適化問題の解は

$$\phi = \psi = c_A \quad (4.11)$$

となり, 着陸料と限界費用が一致する. また, 着陸料課金政策により, ネットワーク外部性を内部化できることを示す. 差別化着陸料の場合の効用 $Z(\phi^*, \psi^*)$ と非差別化着陸料の場合の効用 $Z(c_A, c_A)$ を比較すると,

$$\begin{aligned}Z(\phi^*, \psi^*) - Z(c_A, c_A) &= \frac{(D + 2\rho B)^2}{4\rho B(F + c_A)} - \frac{D + \rho B}{F + c_A} \\ &= \frac{D^2}{4\rho B(F + c_A)} \geq 0\end{aligned}\quad (4.12)$$

よって, 以下の命題 3 を得る.

命題 3

- 非差別化着陸料では, 最適な差別化着陸料よりも旅客の効用が大きくなることはない.
- 差別化着陸料を適切に設定することで, ネットワーク外部性を内部化し, 旅客の効用を高めることができる.

4.3 差別化と非差別化の関係

この節では、 D の値を場合分けすることにより、差別化着陸料と非差別化着陸料の関係を示す。

前提として、各路線の就航都市数は必ず正であるから、

$$\begin{aligned} w > 0, v > 0 \\ \Leftrightarrow D > -2\rho B \end{aligned} \quad (4.13)$$

最適な差別化着陸料と空港の限界費用 c_A の関係を考える。式(4.4), (4.5)より、

$$\phi^* - c_A = \frac{D}{2} \quad (4.14)$$

$$\psi^* - c_A = -\frac{D(F + c_A)}{2\rho B + D} \quad (4.15)$$

(1) $D > 0$ のとき

$$\phi^* - c_A > 0, \psi^* - c_A < 0 \quad (4.16)$$

国内路線の着陸料は空港の限界費用よりも大きい、国際路線の着陸料は限界費用よりも小さくなる。

(2) $-2\rho B < D < 0$ のとき

$$\phi^* - c_A < 0, \psi^* - c_A > 0 \quad (4.17)$$

国内路線の着陸料は空港の限界費用よりも小さい、国際路線の着陸料は限界費用よりも大きくなる。

(3) $D = 0$ のとき

$$\phi^* - c_A = 0, \psi^* - c_A = 0 \quad (4.18)$$

国内路線と国際路線の着陸料が空港の限界費用に一致する。つまり、 $D = 0$ のときのみ、差別化着陸料の最適解と非差別化着陸料が一致する。これは式(4.12)が $D = 0$ で等号成立となることから確認できる。

4.4 クロスサブシディ

この節では，航空会社多数存在し，ネットワーク外部性を航空会社間で内部化できない場合でも，着陸料課金政策によりクロスサブシディと同等の効果を得ることができることを示す．

全ての航空会社が一社である場合，黒字路線の利潤をクロスサブシディ(cross-subsidy)として赤字路線に分け与えることができるため，航空ネットワーク全体を考えて航空運賃を設定し，効果的にネットワーク外部性を内部化できる．しかし，数多くの航空会社が存在するこのモデルでは，航空会社がクロスサブシディを使うことはできない．そのため，着陸料課金政策により同様の効果を得られることを以下に示す．

各航空会社のサービス水準が，差別化着陸料により旅客の効用を最大にする水準に保たれているとする．つまり，各路線の運賃や旅客数，就航都市数が着陸料にかかわらず一定であるとする．

ここで，空港会社が国内路線と国際路線に非差別化着陸料を設定した場合，航空会社の利潤がどうなるのか考えてみる．国内航空会社の利潤 $\pi(y)$ は式(3.13)より

$$\begin{aligned}\pi(y) &= pm - (F + c_a y + c_p m + c_A) \\ &= D - \rho(1 - \rho)B - c_a y\end{aligned}\tag{4.19}$$

全ての国内航空会社の総利潤 $\Pi(y)$ は

$$\Pi(y) = \int_0^w \pi(y) dy = \frac{D + 2\rho B}{8c_a} \{3D + 2\rho B(2\rho - 3)\}\tag{4.20}$$

海外航空会社の利潤 $\pi(z)$ は式(3.19)より

$$\begin{aligned}\pi(z) &= qn - (F + c_p n + c_A) \\ &= -\frac{D(F + c_A)}{2\rho B + D}\end{aligned}\tag{4.21}$$

全ての海外航空会社の総利潤 $\Pi(z)$ は

$$\Pi(z) = \int_0^v \pi(z) dz = -\frac{D(D + 2\rho B)}{4c_a}\tag{4.22}$$

非差別化着陸料に設定された状態から，最適な差別化着陸料に設定されるようになった場合の航空会社の総利潤の変化量を式(4.8),(4.10),(4.20),(4.22)より求めると，

$$\begin{aligned}\Delta\Pi(y) &= \frac{D+2\rho B}{8c_a}\{D+2\rho B(2\rho-3)\} - \frac{D+2\rho B}{8c_a}\{3D+2\rho B(2\rho-3)\} \\ &= -\frac{D(D+2\rho B)}{4c_a}\end{aligned}\tag{4.23}$$

$$\Delta\Pi(z) = 0 - \left[-\frac{D(D+2\rho B)}{4c_a}\right] = \frac{D(D+2\rho B)}{4c_a}\tag{4.24}$$

もしも全ての航空会社が利潤最大化行動をとった後に，その利潤を赤字路線の航空会社に分け与えることができると仮定すれば，この結果は利潤の発生している路線からクロスサブシディとして $\left|\frac{D(D+2\rho B)}{4c_a}\right|$ だけを赤字が発生している路線に分け与えていることにほかならない．

第4.3節の場合分けを考慮すると，

(1) $D > 0$ のとき

$\Delta\Pi(y) < 0, \Delta\Pi(z) > 0$ であるから，国内路線で発生した利潤がクロスサブシディとして国際路線に分け与えられる．これは，差別化着陸料設定において式(4.16)のように国内路線に限界費用よりも大きな着陸料を課し，国際路線に限界費用よりも小さな着陸料を課すことで生み出される効果に匹敵する．

(2) $D = 0$ のとき

$\Delta\Pi(y) = 0, \Delta\Pi(z) = 0$ であるから，クロスサブシディは存在しない．これは，式(4.17)のように差別化着陸料にはならないためである．

(3) $D < 0$ のとき

$\Delta\Pi(y) > 0, \Delta\Pi(z) < 0$ であるから，国際路線で発生した利潤がクロスサブシディとして国内路線に分け与えられる．これは，差別化着陸料設定において式(4.18)のように国内路線に限界費用よりも大きな着陸料を課し，国際路線に限界費用よりも小さな着陸料を課すことで生み出される効果に匹敵する．

以上の結果より，以下の命題4を得る．

命題 4

- 差別化着陸料を適切に設定することで，クロスサブシディと同等の効果を得ることができる．

第5章 おわりに

内際ハブ空港を中心とした航空ネットワーク構造では、航空会社の航空ネットワークに属する支払い意思額が、航空ネットワークの規模の大きさに依存しているという意味で、ネットワーク外部性が生じている。本研究では、この国内航空会社と海外航空会社の相互関係により、構造が決まるモデルを定式化した。さらに、空港の着陸料を設定する際に、国内航空会社と海外航空会社に差別化料金を課すことで、ネットワーク外部性を効率的に内部化し、旅客の効用を高めることを示した。差別化着陸料によりクロスサブシディと同様の効果が得られることも明らかとなった。

しかし、本研究には、まだいくつかの課題が残されている。本研究で構築したモデルは、国内航空会社の超過利潤の使われ方を無視したモデルであるため、超過利潤をどうするのが課題である。また、本研究では、国内にゲートウェー機能を果たす内際ハブ空港がただ一つ存在する場合を考えたが、そのような内際ハブ空港が複数存在する場合における空港着陸料政策についても分析する必要がある。その場合、ハブ空港間での競争も生じるので、より複雑な構造となることが予想される。

参考文献

- 1) Katz, M. L. and C. Shapiro: Network externalities, competition, and compatibility, *The American Economic Review*, Vol. 75, No. 3, pp. 424-440, 1985.
- 2) Katz, M. L. and C. Shapiro: Technology adoption in the presence of network externalities, *Journal of Political Economy*, Vol. 94, No. 4, pp. 822-841, 1986.
- 3) Farrell, J. and G. Saloner: Standardization, compatibility, and innovation,” *RAND Journal of Economics*, Vol. 16, pp. 70-83, 1985.
- 4) Farrell, J. and G. Saloner: Standardization and variety, *Economics Letters*, Vol. 20, pp. 71-74, 1986.
- 5) Zhang, A.: An analysis of fortress hubs in airline networks, *Journal of Transportation Economics and Policy*, Vol. 30, No. 3, pp. 293-307, 1996.
- 6) Rochet, J. C. and J. Tirole: Platform competition in two-sided markets, *Journal of the European Economic Association*, Vol. 1, No. 4, pp. 990-1029, 2003.
- 7) Rochet, J. C. and J. Tirole: Two-sided markets: a progress report, *RAND Journal of Economics*, Vol. 37, No. 3, pp. 645-667, 2006.
- 8) Oum, T. H. and Y. Zhang: Airport pricing: Congestion tolls, lumpy investment, and cost recovery: *Journal of Public Economics*, Vol. 43, pp. 353-374, 1990.
- 9) Pels, E. and E. T. Verhoef: The economics of airport concession pricing, *Journal of Urban Economics*, Vol. 55, pp. 257-277, 2004.
- 10) Zhang, A. and Y. Zhang: Airport capacity and congestion when carriers have market power, *Journal of Urban Economics*, Vol. 60, pp. 229-247, 2006.
- 11) Basso, L. J. and A. Zhang: Congestible facility rivalry in vertical structures, *Journal of Urban Economics*, Vol. 61, pp. 218-237, 2007.

- 12) Basso, L. J. and A. Zhang: On the relationship between airport pricing models, *Transportation Research Part B*, Vol. 42, pp. 725-735, 2008.
- 13) Hendrick, K., M. Piccione and G. Tan: The economics of hubs: The case of of monopoly, *The Review of Economic Studies*, Vol. 62, No. 1, pp. 83-99, 1995.
- 14) Hendrick, K., M. Piccione and G. Tan: Entry and exit in hub-spoke networks, *The RAND Journal of Economics*, Vol. 28, No. 2, pp. 291-303, 1997.
- 15) Armstrong, M.: Competition in two-sided markets, *RAND Journal of Economics*, Vol. 37, No. 3, pp. 669-691, 2006.
- 16) Hagiu, A.: Pricing and commitment by two-sided platforms, *RAND Journal of Economics*, Vol. 37, No. 3, pp.720-737, 2006.
- 17) Caillaud, B. and B. Jullien: Chicken and Egg: competition among intermediation service providers, *RAND Journal of Economics*, Vol. 34, No. 2, pp. 309-328, 2003.
- 18) Coase, R. A.: The problem of social cost, *Journal of Law and Economics*, Vol. 3, p. 1-44, 1960.
- 19) Bergman, M. A.: Competition in services or infrastructure-based competition?, *Report commissioned by the Swedish National Post and Telecom Agency*, Stockholm, 2004.
- 20) Gillen, D.: The Evolution of airport ownership and governance, *Journal of Journal of Air Transport Management*, Vol.17, pp. 3-13, 2011.
- 21) Sumit K. Majumdar: With a little help from my friends? Cross-subsidy and installed-base quality in the U.S. telecommunications industry, *International Journal of Industrial Organization*, Vol.18, pp. 445-470, 2000.
- 22) Steve G. Parsons: Cross-Subsidization in telecommunications, *Journal of Regulatory Economics*, Vol.13, pp. 157-182, 1998.
- 23) Gerald R. Faulhaber: Cross-subsidy analysis with more than two services, *Journal of Competition Law and Economics*, Vol.1, pp. 441-448, 2005.

付録A 式の導出過程(需要関数の導出)

以下の最大化問題を解くことにより各需要関数が導かれる。

$$\begin{aligned} & \max_{t(z,y)} T(y) \\ & \text{subject to} \\ & \int_0^v \{p(y) + q(z)\}t(z,y)dz = Y \end{aligned} \quad (\text{A.1})$$

まず、 $T(y)$ の値がいくつであっても、 $T(y)$ を達成する費用を最小とするように各 $t(z,y)$ が選択されなければならない。この事は以下の最小化問題を解くことを意味する。

$$\min_{t(z,y)} \int_0^v \{p(y) + q(z)\}t(z,y)dz \quad (\text{A.2})$$

$$T(y) = \left[\int_0^v t(z,y)^\rho dz \right]^{1/\rho} \quad (\text{A.3})$$

この最小化問題の一階条件は、任意の差別化インデックス z, z' について限界代替率と価格比率が等しくなることである。

$$MRS = \frac{\{t(z,y)\}^{\rho-1}}{\{t(z',y)\}^{\rho-1}} = \frac{p(y) + q(z)}{p(y) + q(z')} \quad (\text{A.4})$$

$$\Leftrightarrow t(z,y) = \left\{ \frac{p(y) + q(z)}{p(y) + q(z')} \right\}^{\frac{1}{\rho-1}} t(z',y) \quad (\text{A.5})$$

この式を(A.3)に代入すると

$$T(y) = \frac{t(z',y)}{\{p(y) + q(z')\}^{\frac{1}{\rho-1}}} \left[\int_0^v \{p(y) + q(z)\}^{\frac{\rho}{\rho-1}} dz \right]^{\frac{1}{\rho}} \quad (\text{A.6})$$

$$\Leftrightarrow t(z',y) = \frac{\{p(y) + q(z')\}^{\frac{1}{\rho-1}}}{\left[\int_0^v \{p(y) + q(z)\}^{\frac{\rho}{\rho-1}} dz \right]^{\frac{1}{\rho}}} T(y) \quad (\text{A.7})$$

これは、差別財 z' の補償需要関数にほかならない。

また、 $T(y)$ を達成するための最小費用を求めることもできる。差別財 z' への支出は $\{p(y) + q(z')\}t(z',y)$ であるから、(A.7)を使って、 z' について積分すると

$$\int_0^v \{p(y) + q(z')\}t(z',y)dz' = \frac{T(y)}{\left[\int_0^v \{p(y) + q(z)\}^{\frac{\rho}{\rho-1}} dz \right]^{\frac{1}{\rho}}} \int_0^v \{p(y) + q(z')\}^{\frac{\rho}{\rho-1}} dz'$$

$$= \left[\int_0^v \{p(y) + q(z)\}^{\frac{\rho}{\rho-1}} dz \right]^{\frac{\rho-1}{\rho}} T(y) \quad (\text{A.8})$$

ここで，価格指数 $G(y)$ を

$$G(y) = \left[\int_0^v \{p(y) + q(z)\}^{\frac{\rho}{\rho-1}} dz \right]^{\frac{\rho-1}{\rho}} = \left[\int_0^v \{p(y) + q(z)\}^{1-\sigma} dz \right]^{\frac{1}{1-\sigma}} \quad (\text{A.9})$$

とすると，式 (A.1)(A.8) より，以下のような間接効用関数を得る．

$$T(y) = \frac{Y}{G(y)} \quad (\text{A.10})$$

これを (A.7) に代入すると

$$t(z, y) = \{p(y) + q(z)\}^{-\sigma} \{G(y)\}^{\sigma-1} Y \quad (\text{A.11})$$

謝 辞

本論文を結ぶにあたり, 本研究の遂行に際して御指導・御協力を頂きました多くの方々に感謝の意を表します. 京都大学工学研究科の小林潔司教授には, 大変御多忙の中, 終始適切な御指導・御助言を頂き, 研究を進めていくことができました. 心から感謝申し上げます. 京都大学工学研究科の松島格也准教授には, 研究ゼミにおいて鋭い御指摘, 適切な御助言を頂きました. ここに深く感謝する次第です. 京都大学工学研究科の大西正光助教には, 研究に関する素養を始めとして, 多くの有益な御指導と御教授を頂きました. 心より感謝いたします. 京都大学工学研究科の鄭蝦榮特定研究員には, 日頃から温かい御指導をいただきました. ここに, 深く感謝いたします. 秘書の藤本彩氏には, 研究生活において, 事務上の手続きのほか, 様々な場面でご支援を頂きました. 心より感謝いたします. 最後になりましたが, 計画マネジメント論研究室の諸先輩には, 日頃から親身に相談に乗って頂き, 研究に対する温かい励ましの言葉やご指導を頂きました. ここに深く感謝の意を表します.