

搭乗率保証契約のリスク分配メカニズムに関する研究

主指導： 牧本直樹教授

筑波大学大学院・企業科学専攻

副指導： 徐 驊教授・倉橋節也准教授

日原勝也

1 本研究の目的・構成 (1章)

我が国の航空分野において、2000年に規制緩和がなされ、国際線を中心に競争が激化し航空会社の経営破たんが生じ、このため、地方路線からの撤退が相当程度発生。国・自治体の財政制約のため、従来型の補助金による支援が困難となり、それがいの方法で地方路線を維持することが重要となってきた。ローコスト・キャリア (LCC) の本格的に進出が予定されるのとあわせ、国管理空港についても、民営化が本格的に検討されており、個別の空港独自に収益を高めるための工夫が求められている。更に、低成長時代を迎え、不確実性のコントロールがより重要となっている。

本研究は、こうした状況の下、空港と航空会社が契約を締結し、路線の搭乗率に基づき、両者に共通する需要・収益の変動リスクを約定の金銭のやり取りにより分配する例が現れており (表1)、こうした新たなメカニズムについて、リスク分配機能、インセンティブ設計等の観点から分析を行い、効率的な制度設計等に資することを目的とする。

表1 搭乗率保証契約の代表例

空港	路線	契約年
能登空港	能登=羽田	2003~現在
米子空港	米子=ソウル	2007
静岡空港	静岡=福岡	2009

本論文の構成は、第3章で能登空港の搭乗率保証契約について定量的な実証研究を行い、当事者間のリスク分配の状況、公共政策上の意義等を分析した。そこから、契約が当事者の努力に与えるメカニズム、契約の決定過程等を分析する必要があるとの問題意識に基づき、第4章では、線形契約の締結過程・契約期間内の各人の努力をゲームとしてモデル化し、最適な線形契約の合意内容を求め、そのリスク分配とインセンティブ付与の機能を明らかにした。第5章では、更に契約により就航をコミットする機能をモデル化し、両者の相互依存的で密接な垂直関係に即して不完備契約理論の枠組みにより分析。努力不足問題を克服できる条件、契約上の支払いの上下限の意味等を明らかにした。(図1)

2 先行研究サーベイ (2章)

交通経済学において、リスク分配、インセンティブ設計等の観点からの先行研究は、バス事業に関する定性的な寺田 (2007) を除き、非常に限

定的、散発的なものに止まる。ゲーム理論等の航空交通分野への適用も、一定の蓄積があるが、空港と航空会社間の密接な関係を捉えたものは、Zhang et al. (2010) 等があるが、限定的である。国内の航空市場における、搭乗率保証契約の分析については、鳥取県・米子空港の鳥取県とアジア航空空間の契約事例について、福山他 (2009) が、交渉理論を用いて、目標搭乗率の合意を分析しているものの、当事者の努力、契約のインセンティブ構造、契約の不完備性及びリスク分配の観点からの分析は、未だ発見できていない。

比較的新しい契約理論、プリンシパル・エージェント理論も交通分野の分析について多いに期待されるが研究例は限られている。不完備契約理論について Tirole (1999) が優れたサーベイ論文であるが、中でも努力不足問題であるホールドアップ理論は、Hart and Moore (1988) が問題の定式化と均衡の導出を行い所有権アプローチ等の進展の契機となった。その他、情報の経済学、メカニズムデザインなど多くの分野で相当の蓄積があるものの、空港と航空会社との間のジョイントベンチャー的で密接な繋がりを考慮した研究は非常に限られ、上述の Zhang et al. (2010) が関連する程度である。

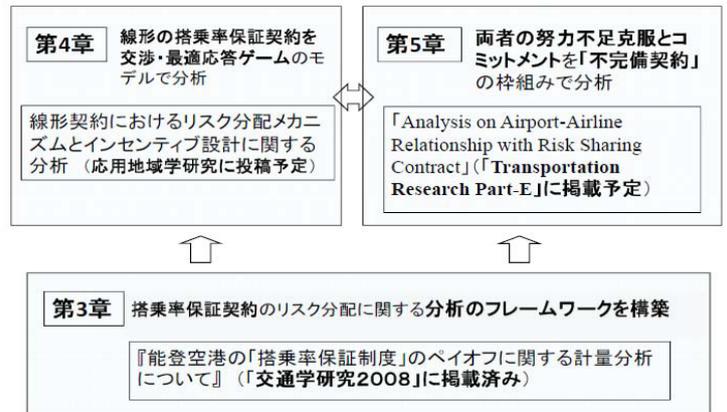


図1 本論文の構成

3 リスク分配メカニズムの定量的分析 (第3章)

搭乗率保証契約の代表例である能登空港の例に即して、リスク分配機能に関し定量的分析を行った。前提として、契約の内容について、当事者が事前に合意する目標搭乗率を基準に、実績搭乗率が目標搭乗率を超えると空港に支払いがなされ、目標搭乗率を下回ると空港から会社へ支払いがなされるように規定されていること、支払いの単価に当たる傾きは、搭乗率の実現域に従って異なっていること、そのため、例えば空港の支

払い額は、搭乗率 θ の関数 $p(\theta)$ であり、以下の図2にあるような区分線形であることを確認した。

次に、能登空港の搭乗率保証契約におけるリスク分配のバランス等を評価するため、ペイオフの特性を評価する枠組みを構築した。最初に、51年以降の国内航空市場全体の搭乗率データを時系列分析し、ARIMA(1, 1, 4)の構造を同定(図3)。

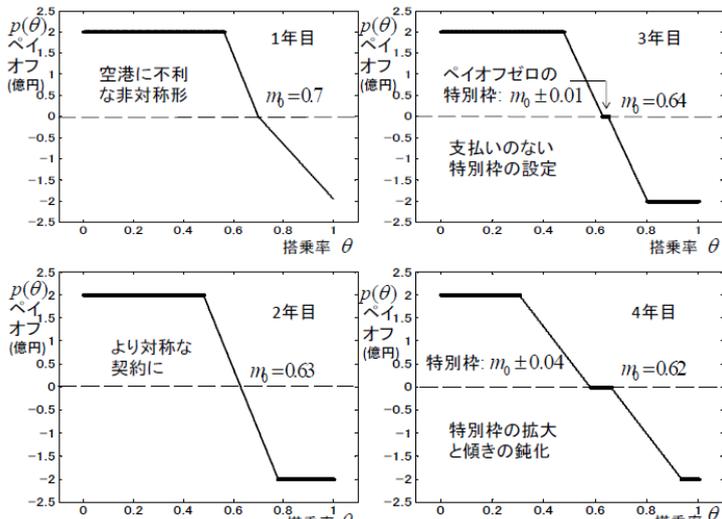


図2 能登空港の搭乗率保証契約-空港のペイオフ関数

そのモデルにより次年度の搭乗率を正規分布で予測し、契約に定める搭乗率とペイオフの関数とあわせることにより、当事者の各年の期待値等の評価を可能にし(図4)、各人の契約上のペイオフの密度関数を導出した(図5)。これにより、当該モデルにより、当初、空港側は、支払い可能性が高く、大きくリスク・テイクしたと思われるが、経過とともに、支払う可能性が少なくなるように契約内容を経年的に改訂している状況が窺える。同様の傾向は期待値に関しても存在することが確認できる。

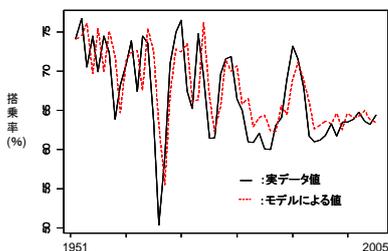


図3 搭乗率の時系列分析

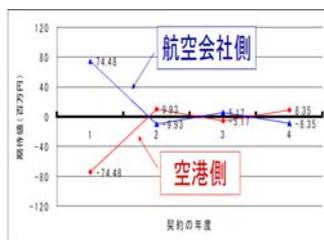


図4 ペイオフの期待値の推移

他方、現実の結果は、前掲の表のとおり、当初3年間は、モデルでの予想と反対に、かつ、他の契約事例と異なり、空港が会社から協力金を受け取る状況が続いた。需要喚起に関し空港側が座席ごとの支援金の支払いや、空港アクセス改善、旅行商品のプロモーション、PR活動等の多大な努力を行ったことによるものと思われる。4年目以降は、契約内容を当事者間で改定し、就航も継続しつつ、支払いが生じない状況が続

いているように推察される。搭乗率保証契約は、国の補助金等に頼らず、ネットワークを維持できている点評価される反面、客観的なリスク負担の程度等についての透明性確保が重要であるなど公共政策上の示唆が得られたと考える。

本章での分析により、当該契約は当事者の行動・努力に多大の影響を与えており、線形契約の主要な要素である傾き(当事者へのインセンティブ)と目標搭乗率(リスク分配上の支払い計算の基準点)はどのように定まり、その意味は何かを分析することが重要であることが判明。また、契約によりどの程度努力の程度が増大するのか、就航をコミットするなど契約の主要な影響、機能についても何らかの示唆が得られることも求められることが課題として抽出された。

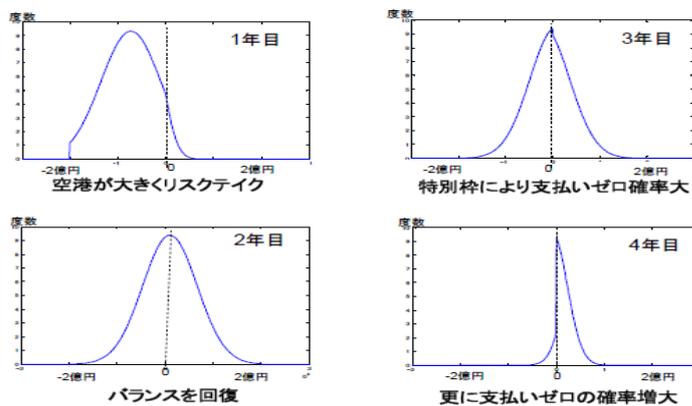


図5 契約上の空港のペイオフ密度関数

4 線形契約におけるリスク分配メカニズムとインセンティブ設計に関する分析(4章)

第3章の研究から、能登空港の2年目の契約にみられるように、搭乗率とペイオフの関係が線形となっている。リスク分配機能を有する線形の契約は、どのような交渉過程により契約内容が当事者間で定まるのか、また、契約期間内においては、空港と航空会社は別の経済主体であることから、それぞれが自らの効用を最大化する行動をとると考えられるが、このような分権的な意思決定に従って、契約締結後に各自が行動する場合に、こうした構造を最初に締結する契約とその交渉過程にどのように組み込んで分析すべきかは、契約のリスク分配とインセンティブ機能を明らかにする上で非常に重要である。

本章では、この点につき、空港と航空会社による2段階のゲームを想定し、モデルを構築して分析を実施。第1段階は、搭乗率保証契約に相当する線型契約の内容に関し両者が交渉ゲームを行うとし、第2段階は、両者が独立して努力水準を手番とするクールノー型の努力投入ゲームを行うことを想定する。第2段階からバックワードに解き、最適反応関数から最適な努力水準に関するナッシュ均衡を求めて、その均衡解を第1段階に戻して、最適な線型契約の傾きと目標搭乗率を一般化ナッシュ

交渉解の枠組みにより導出した。ここで、当事者の努力は、搭乗率の平均値を引き上げるように設定されており、契約のインセンティブ機能を把握できる設計となっている。契約を締結しない場合の効用 $G_i(0)$ ($i = \text{空港 } p, \text{ 航空会社 } \ell$) を基準とし、締結する場合の効用 $G_i(\gamma^*)$ との差に基づく以下の一般化ナッシュ積について、傾きと目標搭乗率にて最大化を行う。その結果も併せて以下に示す。

これにより、最適な契約の傾き (γ^*) は、両者の交渉力に依存せず、両者の合計効用水準 ($U(\gamma) = U_p(\gamma) + U_\ell(\gamma)$) を最大化する水準で妥結してパレート最適を達成すること、最適な目標搭乗率 (m_0^*) は、最適な傾きに加え、契約締結による両者の効用水準の増加相当分及び両者の交渉力に依存して定まることを示した。(命題 4.4.1)

$$(\gamma^*, m_0^*) = \arg \max_{\gamma, m_0} \{U_p(\gamma, m_0) - U_p(0, \cdot)\}^\tau \{U_\ell(\gamma, m_0) - U_\ell(0, \cdot)\}^{(1-\tau)}$$

$$\gamma^* = \arg \max_{\gamma \in R} U(\gamma)$$

$$m_0^* = \frac{1}{\gamma^*} [(1-\tau)\{G_p(\gamma^*) - G_p(0)\} - \tau\{G_\ell(\gamma^*) - G_\ell(0)\}]$$

最適な契約の傾き (γ^*) は、努力を促すインセンティブを両当事者に与え、リスク分配の機能を有する契約上の支払い額のスケールを定める意味も持つが、両者の交渉力に依存せず、両者の合計効用水準 ($F(\gamma) = F_p(\gamma) + F_\ell(\gamma)$) を最大化する水準で妥結してパレート最適を達成することが示せる。また、最適な目標搭乗率 (m_0^*) は、努力へのインセンティブ付与とリスクシェアの機能を有する契約上の支払いの方向を定める機能を有するが、最適な傾きに加え、契約締結による両者の効用水準の増加相当分及び両者の交渉力に依存して定まることを示した。線形のリスク分配契約において、傾きは、最適な傾きは、交渉ゲームの中で、両当事者の効用の合計を最大にするように選ばれることになる。

表2 パラメータの変動による契約への影響

パラメータ変化	合意される線形契約		最適な努力水準における平均搭乗率 $\mu(b^*, s^*)$
	傾き γ^*	目標搭乗率 m_0^*	
ベースケース(BC)	0.1997	0.6480	0.8315
リスク倍増	0.1997	0.6452	0.8315
空港交渉力倍増	0.1997	0.6364	0.8315
空港生産性5%増	0.1747	0.6519	0.8319
航空会社リスク回避度10%増	0.2007	0.6480	0.8315
航空会社コスト5%増	0.1997	0.6433	0.8311

数値モデルにより、比較静的な分析も行い、搭乗率の変動リスク、空港の交渉力、空港の生産性、航空会社のリスク回避度、航空会社のコストの増加について、分析を行った。表2に示すように、全体的に大きな変化はなく、傾きについてこの傾向がより顕著である。均衡努力水準

に対する平均搭乗率も 83%前後で、努力を全く行わない場合の 40%を大きく上回っている。いずれのケースも平均搭乗率は目標搭乗率を大きく上回っており、空港から航空会社への支払いが発生する状況である。個別のパラメータの変化による影響では、空港の交渉力が増加すると目標搭乗率が低下し空港に有利な契約となる。空港の生産性が 5%増加する場合、傾きは低下するが目標搭乗率は上昇する。傾きの低下は、航空会社への支払いの単価が減少することを意味し、生産性の高まった空港からの支払いを抑えることで相対的に空港の努力をより促し、それにより総期待効用を最大化するよう均衡が働いていると思われる。なお、こうした観察事項は、特定のモデルとパラメータに対する計算結果に基づくもので、あり、一般的な性質を調べるためにより具体的に詳細な分析が今後も必要と考える。

5 不完備契約理論による空港-航空会社間の関係の分析 (5章)

能登のケース等に見られるように、就航を会社側がコミットしつつ、目標を共有することで、努力を促すという意味のインセンティブ付与の機能を分析するため、Hart and Moore(1988)のホールドアップ・モデルを、空港 - 航空会社間の戦略的な補完関係にある垂直関係に即して修正。具体的に、契約がないと努力不足が生じることを証明した上で、命題 5.3.1により契約が満たすべき、ファーストベスト(両者の取引価値の合計を最大化する両者の努力水準)達成のための条件を特定し、その条件を満たすことで、努力不足問題が克服されることを証明した。具体的に、確率変数である搭乗率 (θ) の全ての値にわたり、契約上の支払い $q(\theta)$ が、当事者の当該関係における空港・輸送サービスに関する価値とコストの評価関数 $v_i(\theta), c_i(\theta)$ ($i = \text{空港 } p, \text{ 航空会社 } \ell$) との間で次の関係が成立することを導出した(図6)。

$$v \geq q(\theta) \geq c, \quad v := v_p - c_p, \quad c := c_\ell - v_\ell$$

この条件により、契約上のペイオフ支払い関数の上限値は、空港のネットの取引価値 v がとり得る下限値を上回らない範囲にて設定されることが必要であり、同時に、ペイオフ支払い関数の下限値は、航空会社のネットの取引コスト c がとり得る最小値を下回らない範囲にて設定されることが必要であることが示された。更に、数値計算により、ファーストベストと努力不足水準の努力レベルを解析的に導出し、搭乗率の平均値が低い場合には、より努力し、搭乗率の変動リスクが高い場合にもより努力する構造を明らかにした。契約が締結されない場合には、実現する取引価値が一般化ナッシュ交渉解により配分され、必ず一部相手方に奪われるため、ファーストベストの努力水準に導くことはできないこととなる。得られた努力水準の解析解を、契約がある場合とない場合の各人の効用関数に戻すことで、契約のある場合とない場合の両者の合計の効用水準を導出でき、その差を計算することにより、契約を結ぶこと

で、ない場合に生じる効用損失をどの程度回復できるかを示すことができる。

能登のケースにおいても、図7に示すとおり、当該空港の収益の見込みが振るわない（不確実性を示す正規分布の平均値 μ が低い）、不確実性が高い（標準偏差 σ が大きい）、契約がない場合の当事者間の非対称性が大きい（一般化ナッシュ交渉解 α が0.5からかい離する）場合には、努力不足から生ずる効用の低下の程度が大きく、適切な条件を満たす契約締結により、適切なインセンティブ構造が設定されることにより、努力不足を回復し、効用を回復する必要性が大きいことを示した。

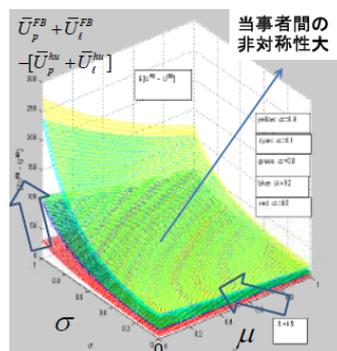
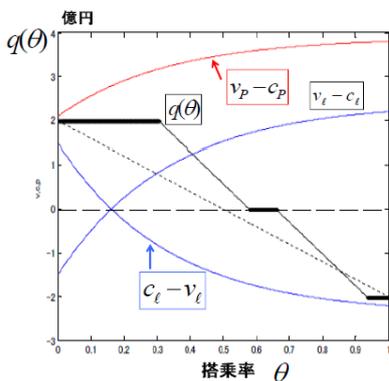


図6 契約で努力不足が克服される条件 図7 契約による効用損失の回復

また航空会社がリスク回避的な場合にも分析を拡張し、リスク中立な空港は、リスク回避的な航空会社のリスクを引き受けるように能登類似の契約を設計することで、自身の期待効用レベルを下げることなく航空会社の期待効用を高めることができることを示した。（命題5.4.1）

数値例により、各人の総期待効用を各人の努力により同時に最大化するファーストベストの努力水準における総期待効用(\hat{V}^{fb})を導出。空港の期待効用水準を両者がナッシュ交渉解で合意し契約締結する場合(\hat{V}^{nb})、契約が締結されない場合(\hat{V}^{nc})も算出した。総期待効用の水準は、ファーストベスト、ナッシュ交渉解で契約する場合、契約しない場合の順に高いことが判る。個別のパラメータの変動による影響は、搭乗率の不確実性、航空会社の生産性及びそのリスク回避度が増加する場合、契約により総期待効用がより多く増加することを示した。

6 本論文のまとめ (6章)

搭乗率保証契約は、新しいリスク分配メカニズムであり、能登の例で見ると、ペイオフの関数形は、区分線形で、更新により一層対称で支払可能性の少ない形に進化している可能性がある。また、両者の努力を促し搭乗率を継続的に向上させていると考えられる。線形の搭乗率保証契約は両者の努力が最適応答により均衡する場合、傾きは、両者の効用を最大化するように、目標搭乗率は傾きと併せ契約締結による両者の効用

増分を公平に分配するように両者の交渉ゲームにより合意される。また、空港と航空会社はジョイントベンチャー的關係にあり、搭乗率保証契約を不完備契約として適切に設計することで努力不足問題を克服し、効用水準を回復できることを示した。当該契約の支払い上下限についても効率性の観点から示唆を得た。

本研究により、搭乗率保証契約は、適切に設計すれば直接の財政支出なく航空ネットワークを維持し利用者の利便性を高め得ることから公共政策上も有意義であり、また、効率性向上の観点から公費による契約上のリスク負担も正当化され得ることを示した。今後とも、搭乗率保証契約の特別枠、区分線形性等未解明の事項に取り組むとともに、これまでの研究の成果を踏まえ、努力の外部性を扱うこと、継続的な契約関係に伴う多期間の問題に拡張すること、ネットワークを有する航空産業の観点から、価格、路線構成に加え、空港容量制約の政策変数なども取り入れること等の可能性について更に分析を深化させることが重要と考える。

表3 当事者の属性変化等が契約による効用の増加に与える影響

契約締結の有無方法・vの設定方法	両者の効用の合計値 (赤字:BCより高い 青字:BCより低い)										
	ベースケース (BC)	空港の生産性20%増加	空港のリスク回避度20%増加	航空会社の生産性10%増加	航空会社のリスク回避度50%減少	航空会社の定額コスト増の100%増加	契約上のインセンティブの100%増加	状態の期待値の20%減少 (悪化)	不確実性の増加率の20%引き上げ	目標搭乗率の20%引き上げ	航空会社のリスク回避度の20%増加
ファーストベスト: \hat{V}^{fb}	27.668	28.418	27.484	28.078	22.668	27.668	27.395	27.668	27.668	27.682	27.668
ナッシュ交渉解: \hat{V}^{nb}	15.200	15.840	15.148	15.281	15.200	15.126	15.070	15.326	15.200	15.266	15.249
契約無: \hat{V}^{nc}	14.900	15.540	14.858	14.900	14.900	14.900	14.770	14.900	14.900	14.900	14.900
$\Delta_{fb,nb}$	12.468	12.578	12.336	12.797	7.468	12.542	12.325	12.342	12.468	12.416	12.419
$\Delta_{fb,nc}$	12.768	12.878	12.625	13.178	7.768	12.768	12.625	12.768	12.768	12.782	12.768
$\Delta_{nb,nc}$	0.300	0.300	0.290	0.381	0.300	0.226	0.300	0.428	0.300	0.366	0.349

【主要参考文献】

寺田一薫 (2007), 「都市部の自治体コミュニティバスにおける官民役割分担」 『交通学研究』 2006年研究年報, pp. 39-48.

福山敬 香川哲哉 池田結樹 (2009), 「地方空港国際定期路線「米子空港ソウル便」に対する地域支援に関する分析」 『国際交通安全学会誌』 34, pp. 90-98.

Hart, O. and J. Moore (1988), Incomplete Contracts and Renegotiation, *Econometrica*, 56, pp. 755-785.

Tirole, J. (1999) INCOMPLETE CONTRACTS: WHERE DO WE STAND?, *Econometrica*, 67, pp. 741-781.

Zhang, A., X. Fu and H. Yang (2010), Revenue Sharing with Multiple Airlines and Airports, *Transportation Research Part B*, 44, pp. 944-959.