

通勤用航空を活用した北海道における航空路線のハブ・アンド・スポークシステム

北海道大学大学院工学研究科

日本学術振興会特別研究員(PD) 日野 智

1. はじめに

広大な面積を有する北海道では、距離が都市間交通における大きな抵抗となる。そのため、高速交通機関の整備がもたらす効果は非常に大きいと考えられる。航空輸送は高速交通機関の一つであり、北海道における今後の交通体系にとってその機能を充実させることが必要である。

しかし、近年の規制緩和を背景とし、航空会社にはこれまで以上に効率性を重視した経営が求められる。そのため、採算性の高い幹線区間と採算性の低い地方航空路線とではサービス水準に差が生じている。すなわち、幹線区間では新規航空会社の参入や運航便数の増加、柔軟な運賃設定による価格競争などによって、サービス水準が向上している。その一方で、地方航空路線では運航便数の減少や運航の撤退、航空運賃の値上げなどによるサービス水準の低下が懸念される。

本稿では北海道における航空輸送のサービス水準を向上させる方策として、女満別空港を対象とした航空路線のハブ・アンド・スポークシステムを検討した。そして、ハブ・アンド・スポークシステムによってもたらされる効果を明らかにしたものである。

2. ハブ・アンド・スポークシステムの効果

(1) 航空路線のハブ・アンド・スポークシステム

ハブ・アンド・スポークシステムはハブとなる空港を中心に放射状の路線(スポーク)を構成するものであり、最小路線数で接続空港数を最大とする効率的なネットワークを形成できる。その影響として、以下のようなものが挙げられている¹⁾。航空会社については 効率的なネットワークの拡大と需要の囲い込み、 座席利用率の上昇などによる費用の削減、 市場支配力の上昇、また、利用者については 運航便数の増加による待ち時間減少、 航空会社による接続空港数の拡大による効

果を挙げている。

しかし、ハブ・アンド・スポークシステムでは所要時間が増加し、ハブ空港における乗り継ぎの手間も発生する。そのため、ハブ・アンド・スポークシステムの構築が必ずしも航空サービスの向上にはつながらない。また、利用者数が少ない場合、フィーダー路線の運航本数も少ないものとなる。航空会社には経営効率化となっても、利用者にとってはサービスの低下である。

そこで、ハブ空港と連絡するハブ・アンド・スポークシステムのフィーダー路線に通勤用航空を運航させることを提案する。すなわち、新千歳空港をハブ空港としたネットワークを確立することで、北海道内におけるハブ・アンド・スポークシステムを構築する。これまでも通勤用航空は道内間の輸送に活用されてきたが、道外との輸送においてもフィーダー路線として航空サービスを向上させる。ハブ空港と地方空港とを結ぶフィーダー路線は運航便数が多いことが望まれるが、通勤用航空は採算性や機材運用における柔軟性から対応が可能と考えられる。また、これまで空港が存在しなかった地域においても、通勤用空港を整備することで道内と道外間とを合わせた輸送について、航空利用者の利便性を向上させよう。

(2) 女満別空港を対象とした路線設定

ここでは、北海道の女満別空港を対象とし、ハブ・アンド・スポークシステムの導入を検討する。現在、女満別空港は道外3ヶ所・道内3ヶ所の空港と空路で結ばれている。このうち、羽田空港と結ぶものが主要な路線といえ、年間利用者数の約半数を占めている。また、羽田～女満別路線は利用者数の季節変動が大きく、座席利用率も35～77% (平成11年度)と大きく変動している。

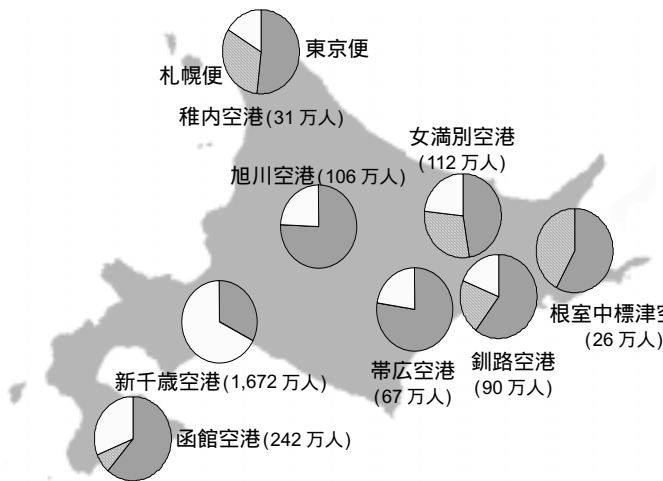


図1 主要空港の年間旅客輸送人員と各路線が占める割合(平成10年度)²⁾

北海道内の空港において羽田空港と結ぶ路線が中心となっている状況は、女満別空港に限った話ではない。また、道内間では札幌(新千歳・丘珠空港)と結ぶ路線が中心であるが、その輸送人員数は多くない(図1)。道内各空港の地元自治体の多くが羽田空港への直行便就航を働きかけ、就航後も運航便数の増加や運航時間帯の拡大を望んでいる。しかし、採算性やナイトステイの点からそれらの実現は難しい。また、運賃面でも幹線の航空路線と比較すると、不利な状況にある。このように、地域における航空サービスの水準を向上することが望まれていても、その実現は困難な状況下にある。

本稿では、新千歳空港をハブ空港とし、女満別空港と羽田空港を結ぶハブ・アンド・スポークシステム(乗り継ぎ便)を対象とする。ここで、女満別空港における駐機時間を原則30分とし、乗り継ぎの待ち時間を20~30分と仮定した。また、フィーダー路線(新千歳~女満別空港)に用いる航空機材を2機とし、女満別空港では必ず折り返して運航するものとした。以上のような仮定を基に、運航便数が6~7本/日であるフィーダー路線を設定し

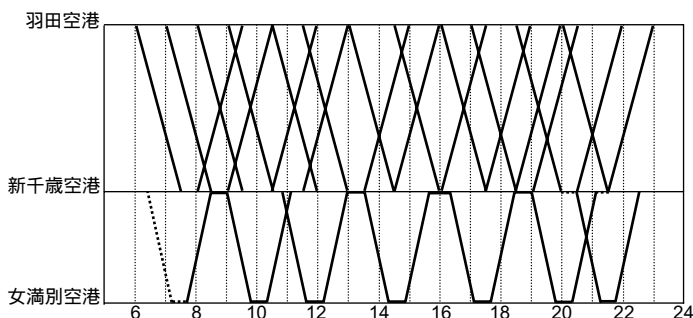


図2 設定した航空ダイヤ

た(図2)。現状の直行便に比べ、所要時間は約1時間増加するが、運航便数とその時間帯は大きく拡大する。

3. 時間空間座標による活動時間拡大効果³⁾

(1) 改良型時間空間座標の概念

アクティビティ・ベスト・アプローチの基本概念が時間空間座標であり、ある地点における活動を線分、自由に移動・行動できる時間・空間を菱形のプリズムとして表現する。このプリズムは場所や時間が定まっている個人の活動や任意の地点における移動可能な速度からその大きさに制約を受ける(Coupling制約)。

従来は都市平面を2次元に射影していたが、これを平面図と正面図で表現し、より正確な交通情報の提示を可能としている。

(2) 自由活動時間による効用の表現

改良型時間空間座標において、交通機関*i*を用いて移動した時の*n*番目の活動可能時間を T_n 、移動速度を*v*とすると、得られるプリズム体積 p_{in} は式(1)で示される。このプリズム体積は目的地等において自由に活動できる時間・空間の大きさを示しており、 p_{in} が大きければ大きいほど、交通行動による個人の効用は大きくなるものと考えられる。

$$p_{in} = \frac{1}{12} \pi v^2 T_n^3 \quad (1)$$

交通機関*i*の所要時間が短縮された場合、目的地への到着時刻が早まることで目的地におけるプリズム体積、出発時刻が遅くなることで出発地におけるプリズム体積が拡大される。一方、運行時刻が変更された場合、到着時刻が早まる場合は目的地でのプリズム体積が拡大される。しかし、出発時刻が早まる場合、出発地でのプリズム体積は縮小される。

4. 女満別空港を例とした活動時間拡大効果の表現

(1) 日帰り交通における活動時間拡大効果

北見市内を出発地、羽田空港を目的地とした日帰りの交通を想定した改良型時間空間座標を作成した(図3)。ここでは、深夜23時から6時までは睡眠時間にあてるために北見市内に滞在することを制約条件としている。また、移動時間は各地点で一定であることを仮定している。

ハブ・アンド・スポークシステムの導入によ

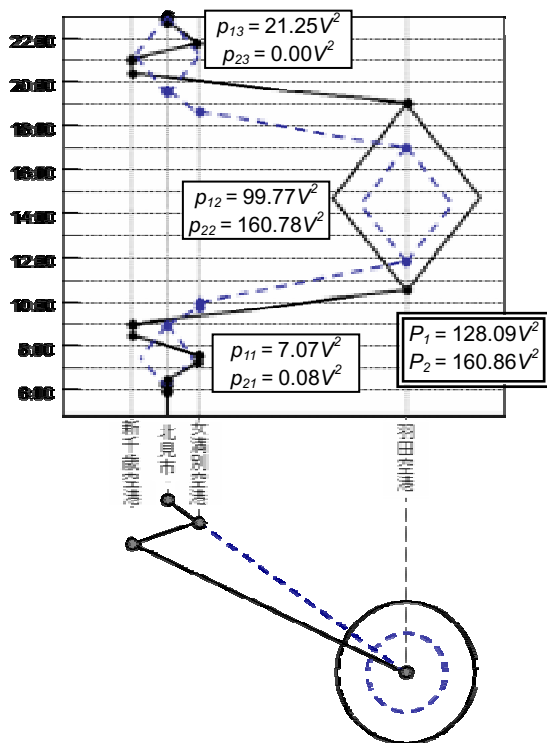


図3 日帰り交通における改良型時間空間座標とプリズムで、総プリズム体積は125.6%拡大する。特に、目的地(羽田空港)におけるプリズムが大きく拡大する。ハブ・アンド・スポークシステムでは所要時間が増加するため、1日の自由活動時間の合計は減少している。しかし、目的地におけるプリズムの拡大が出発地におけるプリズム体積の減少を大きく上回る結果となった。すなわち、まとまった活動時間を得ることで自由活動時間の拡大効果が発生している。

(2) 制約条件を考慮した活動時間拡大効果

目的地におけるCoupling制約を考慮した改良型時間空間座標を作成した(図4)。ここでは、目的地における制約条件として、13時から17時まで東京、翌日の13時から北見市において業務が発生することを仮定している(ケース)。この場合、直行便

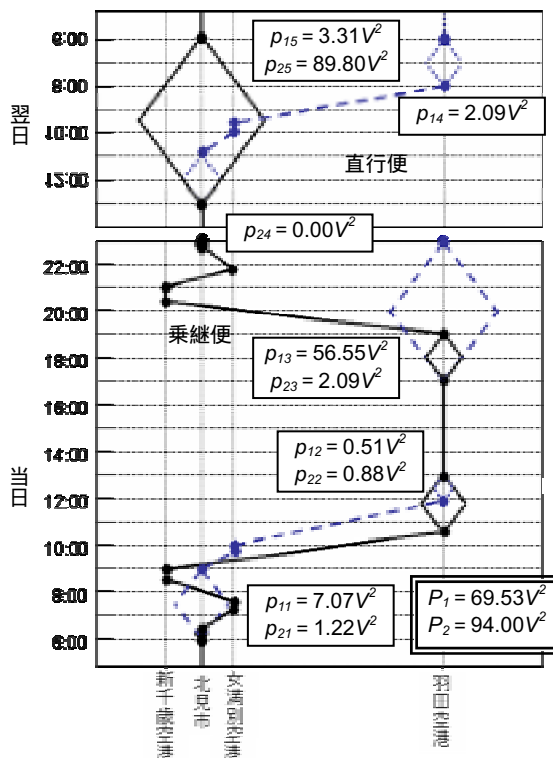


図4 制約条件を考慮した改良型時間空間座標とプリズム(ケース・立面図のみ)

では当日に帰宅することが不可能であるため、翌日に北見市へ戻ることになる。

P_2 が P_1 を上回っている。ハブ・アンド・スポークシステムは当日中に北見市へと戻ることが可能なため、翌日の午前中に発生するプリズムが大きなものとなっている。

同様に、9時から17時まで東京において業務が発生することを仮定した(ケース)。この場合、直行便・乗り継ぎ便ともに前日に出発することになる。このケースにおいても、 P_2 が P_1 を上回る。

(3) ウェイトによる活動時間帯の考慮

これまでの、各プリズムの価値は等価なものとした。しかし、現実には活動の時間帯によってその価値は異なると考えられる。すなわち、昼間の活動時間は業務などにあてることが可能であり(業務可能時間)、夜間における自由活動時間に比べると活動目的の自由度は高いといえる。そこで、業務等にあてられる自由活動時間の価値をウェイトによって表現する。業務可能時間におけるプリズム体積の合計を P'_i 、その他の時間によるものの合計を P''_i とした時、 U_i を考慮した個人の効用 U_i は式(2)に示される。

$$U_i = P'_i + P''_i \quad (2)$$

が1を超えると、ある個人は業務可能時間におけるプリズムを重要視していることを示す。ここで、前日と翌日の出発地における活動時間を業務可能時間とすると、ケース 1 では P_2 が0.72以上、ケース 2 では P_2 が0.55以上で乗り継ぎ便の総プリズム体積 P_2 が直行便を上回る。業務可能時間を重要視する個人にとって、ハブ・アンド・スポークシステムによる効用が高く、その他の時間、すなわち、「ゆとり」等を重要視する個人にとっては直行便による効用が高いといえる。

ケース 1 において、直行便は2種類/往復、乗り継ぎ便は3種類/往復の便を選択できる。そのため、利用する便に複数の組み合わせが発生し、組み合わせ毎に効用は異なる。直行便と比較し、ハブ・アンド・スポークシステムは業務可能時間におけるプリズム体積が大きいことから、業務可能時間を重視する個人の効用は高くなる。しかし、業務可能時間のプリズム体積が小さい組み合わせも存在する。

ハブ・アンド・スポークシステムでは移動時間帯の選択肢が増加し、多様な大きさのプリズムが作成される。個人によって各プリズムの価値は時間帯や場所毎に異なると考えられる。ハブ・アンド・スポークシステムはそれに合わせた移動の自由度を拡大することが可能といえる。

4. 空港利用者に対する意識調査⁴⁾

(1) 意識調査の概要と航空機の利用実態

航空機の利用実態とハブ・アンド・スポークシステムの選択意識を把握するため、女満別空港利用者を対象とした意識調査を実施した。調査は2000(平成12)年6月15日(金)・16日(土)に行い、対面方式によって214票を回収している。

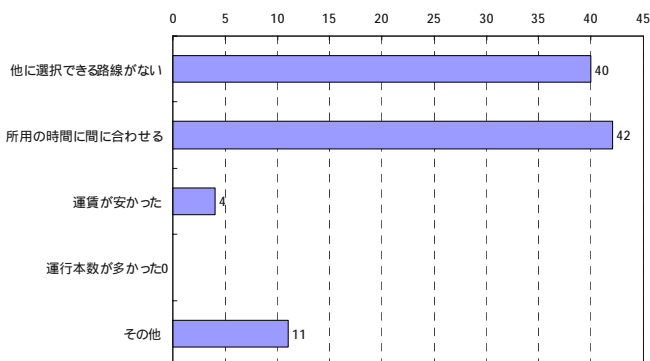


図5 航空機を乗り継いで利用した理由(複数回答可)

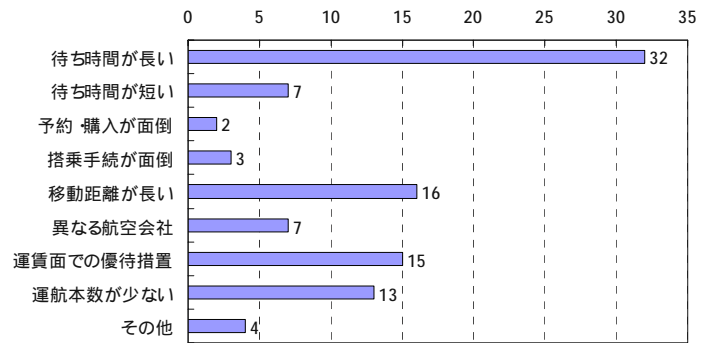


図6 乗り継ぎ便利用に際して不満と感じたこと(複数回答可)

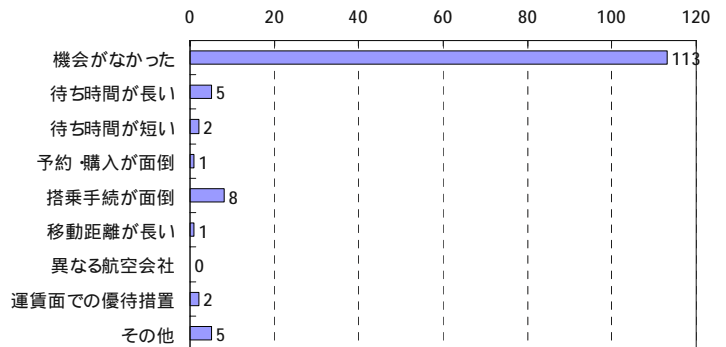


図7 乗り継ぎ便を利用したことがない理由(複数回答可)

航空機の主な利用目的をみると、出張などの業務目的と観光・帰省などの私用目的がそれぞれ半数ずつを占めている。乗り継ぎ利用の経験については、利用したことがある人が40.7%を占めている。利用した理由については、「他に選べる路線がなかった(直行便がなかった)」ことと「所用の時間の間に合わせる」ことが多い(図5)。他に選べる路線がない場合は当然であるが、直行便を選択できる場合においても目的地への到着時間などの時間的な制約条件から航空機を乗り継いで利用する場合が少なくないことがわかる。

乗り継ぎ時に不満と感じたことについては、「待ち時間が長い」ことを挙げる利用者が非常に多い(図6)。他にも、「移動距離が長い」「運賃面などの優待措置」なども比較的多く挙げられている。一方、乗り継ぎ便を利用したことがない人については、その理由として「利用する機会がなかった」ことに回答が集中している(図7)。乗り継ぎ便の設定がない航空路線のみを利用してきたこともあるが、直行便の路線が存在する場合には乗り継ぎ便の利用を考えないという意識が表れているとも考えられる。つまり、利用者は乗り継ぎ便を通常では航空経路の一つとして認知していない可能性がある。

(2) 実験計画法による交通機関選択意識の分析^{5), 6)}

実験計画法を用い、ハブ・アンド・スポークシステムの選択意識を分析する。交通行動等の分析に用いられるデータには、被験者の意識・価値観・記憶などについて調査し、得られるデータである意識データ(Stated Preference Data)と、交通量のように事実について調査し、得られるデータである行動データ(Revealed Preference Data)がある。交通機関選択意識分析に行動データを用いる長所として、快適性などの定量化しにくい要因を考慮できることや仮想の代替案に対する選択意識を把握できること等が挙げられる。

実験計画法による分析では、交通機関選択に影響すると考えられる要因とその水準を直交表に割り付けることで調査票を作成する。直交表を用いた意識調査を実施する長所として、以下の点が挙げられている。要因間に直交性のある意識データを作成できる。交通機関選択モデルの多くは線形構造になっており、データが直交性を有している意味は重要である。直交表を用いることにより、必要な情報を最小限の調査票種で求めることができる。寄与率を計算することにより、採用した要因の影響度を知ることができる。また、残差項の寄与率があまりにも大きければ、意識調査をやり直すことになる。

意識データを用いる際、最も課題となる点は回答誤差である。すなわち、不真面目な回答等による誤差である。直交表から調査票を作成すると、現実では考えられない代替案が提示されることがある。しかし、誰も選択すると思われない代替案を誰も選択しないということが重要といえる。すなわち、現実離れた代替案が存在することにより、回答誤差を明らかにすることができる。

(3) ハブ・アンド・スポークシステムの選択意識

ハブ・アンド・スポークシステムの選択に影響する要因として、交通目的や方向、乗り継ぎ便の合計運賃、直行便数の運航本数の4要因に2水準を

表2 直交表による割付と乗り継ぎ便の選択意識

票種	A (交通目的)	B (交通方向)	C (乗継便運賃)	D (直行便便数)	乗継便選択率	n
	業務	女満別発	4.45万円	4本/日	21.4%	56
	業務	女満別発	3.00万円	2本/日	47.3%	55
	業務	羽田発	4.45万円	2本/日	17.0%	53
	業務	羽田発	3.00万円	4本/日	20.0%	50
	私用	女満別発	4.45万円	4本/日	4.0%	50
	私用	女満別発	3.00万円	2本/日	39.6%	53
	私用	羽田発	4.45万円	2本/日	20.0%	55
	私用	羽田発	3.00万円	4本/日	41.1%	56

表3 分散分析表

要因	変動 S	自由度 f	分散 V	分散比 F ₀	寄与率
A : 交通目的	0.13	1	0.13	0.01	-
B : 交通方向	25.21	1	25.21	2.86	1.01
C : 乗継運賃	915.92	1	915.92	103.85	59.52
D : 直行便数	174.85	1	174.85	19.82	10.89
A x B	302.58	1	302.58	34.31	19.27
A x C	96.61	1	96.61	10.95	5.76
e : 誤差項	8.82	1	8.82	1.00	3.48
全体	1524.1	7			

設定した(表1)。これらの変動要因の組み合わせをL₈直交表に割り付けることで8種類の調査票を作成し、ハブ・アンド・スポークシステム(乗り継ぎ便)の選好意識を質問している。各票種における割付と乗り継ぎ便の選択結果を表2に示す。全体的に乗り継ぎ便の選択率は低く、乗り継ぎに対する意識的な抵抗は大きなものと考えられる。

乗り継ぎ便選択率に対する分散分析を行った結果を表3に示す。乗り継ぎ便の運賃が最も寄与率の高い要因であり、利用者は主として運賃によって航空路線を選択している。また、交通目的と交通方向は単独ではほとんど選択率に寄与していないが、交通目的と方向の交互作用(A x B)の寄与率が比較的高いことが着目される。交互作用はある二つの要因を組み合わせることで表れる影響である。すなわち、道内居住者を例とすると「業務目的で女満別から羽田空港に向かう場合は直行便を利用するが、帰りの羽田から女満別空港へは乗継便を利用する」といった目的と方向を組み合わせた選択意識が生じている。

表1 変動要因の種類と水準

	要因	第1水準	第2水準
A	交通目的	業務目的	私用目的
B	交通方向	女満別 羽田	羽田 女満別
C	乗継便合計運賃	4万4500円	3万0000円
D	直行便運航便数	4本/日	2本/日

5. 選択率モデル構築による利用者数の算出

意識調査の結果から、ハブ・アンド・スポークシステム選択率モデルを構築した。モデルは集計ロジットモデルであり、交通目的と方向の組み合

わせを変数として取り込んでいる。構築された選択率モデルを(3)・(4)式に示す。

$$P=1/(1+\exp F(x)) \quad (3)$$

$$F(x)=-3.4713 \begin{cases} -0.1685x_{11} \\ +0.6129x_{12} \\ +0.9270x_{13} \\ +0 \cdot x_{14} \end{cases} +0.0000892x_2+0.3403x_3 \quad (4)$$

(R²=0.882)

ただし、P: 乗り継ぎ便選択率、x₁₁: 交通目的・方向変数 (x₁₁: 業務目的・女満別空港発, x₁₂: 業務目的・羽田空港発, x₁₃: 私用目的・女満別空港発, x₁₄: 私用目的・羽田空港発)

x₂: 乗継航空路線運賃(円)、x₃: 直行便運航便数(本/日)

表4 現状における路線毎の旅客数と座席数⁷⁾

	旅客数	座席数	座席利用率
羽田 女満別	284,735	447,623	63.6%
女満別 羽田	245,239	444,670	55.2%
小計	529,974	892,293	59.4%
新千歳 女満別	163,059	302,725	53.9%
女満別 新千歳	164,625	301,533	54.6%
小計	327,684	604,258	54.2%

表5 算出された運賃・路線毎の年間旅客数

乗り継ぎ便運賃 44,500円	旅客数	うち乗り継ぎ 利用者数
羽田 女満別	228,876	-
女満別 羽田	202,156	-
小計	431,033	-
新千歳 女満別	218,917	55,858
女満別 新千歳	207,708	43,083
小計	426,624	-
乗り継ぎ便運賃 35,000円	旅客数	うち乗り継ぎ 利用者数
羽田 女満別	182,298	-
女満別 羽田	166,410	-
小計	348,708	-
新千歳 女満別	265,490	102,437
女満別 新千歳	243,454	78,829
小計	508,950	-

構築した選択率モデルから、女満別～羽田空港間の直行便運航本数を2本/日に減じ、同時に同区間にハブ・アンド・スポークシステムを設定した際の年間利用者数を算出する。モデルでは路線毎の方向別旅客数・座席数⁷⁾(表4)、OD別の利用目的⁸⁾を利用した。羽田～女満別空港間の方向別旅客数と利用目的から乗り継ぎ便と直行便の利用者を算出し、乗り継ぎ便利用者も現在の新千歳～女満別空港間の旅客数に足し合わせる。

以上のように求められた各路線の旅客数を表5に示す。乗り継ぎ便の運賃が44,500円の時、羽田

～女満別空港間と新千歳～女満別空港間の路線規模はほぼ同程度になる。現在の直行便と同じ35,000円にまで乗り継ぎ便運賃が引き下げられると、新千歳～女満別空港間の利用者総数は羽田～女満別空港を上回る。フィーダー路線における運航便数を確保するためにも、その路線規模は大きい方が望ましい。その点からも、ハブ・アンド・スポークシステムによる経営効率化から航空運賃を低減すべきである。

6. コミューター航空を活用した機材運用の検討

(1) 使用される航空機材の設定

5.で求められた利用者数を基に、ハブ・アンド・スポークシステムにおける座席利用率を算出する。ここでは直行便運賃を一律に35,000円とし、直行便の運航本数は減少させることを前提とした。すなわち、航空路線間での競争が発生しない独占事業者によるハブ・アンド・スポークシステムの構築を想定している。

使用機材については、各路線で実際に運航されているものとして羽田～女満別空港間はA-300(定員295名)、新千歳～女満別空港間はMD-90(定員166名)、HACが現在使用しているSAAB-340B(定員36名)を通勤航空が用いる機材として仮定している。運航本数については、フィーダー路線である新千歳～女満別空港間では先に設定した6～7本/日の運航本数を確保するものとしている。

(2) 直行便における座席利用率

直行便(羽田～女満別空港)の座席利用率を図8に示す。運航本数は2本/日を基本としたが、季節変動によって利用者数に対して座席数が不足する月は運航本数3本/日に増加させている。乗り継ぎ便運賃35,000円とした方が運航本数の変更は少ない。

直行便の運航本数を減少させることで、座席利用率は現状から向上する。利用者のサービス水準を考慮すると運賃は低減させた方が望ましい。しかし、ここでは直行便運賃は一定としたため、乗り継ぎ便運賃を低下させると直行便の利用者数は減少する。そのため、過度の乗り継ぎ便運賃の低下は直行便の利用者数や座席利用率の低下を招き、直行便の運航が十分に効率化されないこととなる。

直行便と乗り継ぎ便双方の運賃を設定できる航空事業者を想定した場合、利用者数と年間を通した運航ダイヤの変更、座席利用率などを考慮した上で乗り継ぎ便の運賃を設定する必要がある。

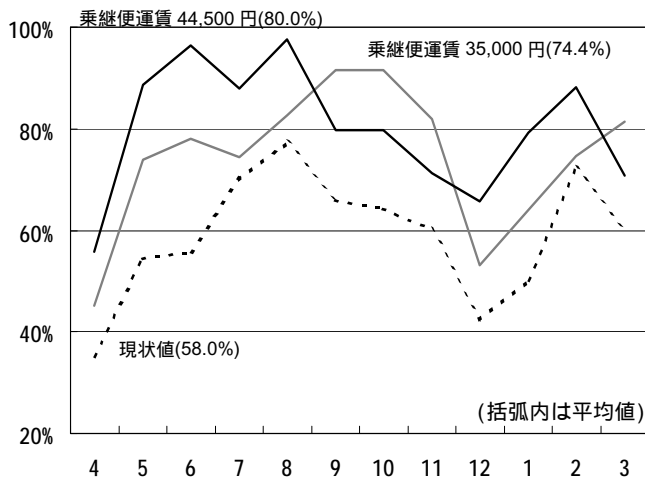


図8 直行便(羽田～女満別)の月別座席利用率

(3) ハブ・アンド・スポークシステムの座席利用率

ハブ・アンド・スポークシステムのフィーダー路線(新千歳～女満別空港)の設定に関しては、以下のような3つのケースを仮定した。

ケースA：現在と同様の機材(MD-90)を新千歳～女満別空港間に6～7本/日運航させる

ケースB：通勤用航空(SAAB 340B)を6～7本/日運航させ、座席数の不足分をMD-90で補う

ケースC：MD-90を3本/日または4本/日運航させ、座席数の不足分をSAAB-340Bで補う

以上の各ケースにおける乗り継ぎ便運賃が44,500円での座席利用率を図9に示す。また、ケースB・Cにおいて設定された運航本数を表6に示す。

ケースAの場合、乗り継ぎ便運賃が35,000円の際は路線の利用者数が増加するために座席利用率は年平均63.9%に向上するが、44,500円では低下する。つまり、現状と同様の機材ではハブ・アンド・スポークシステムによる運航効率化は困難である。

ケースB・Cでは乗り継ぎ便運賃が44,500円の場合でも現状値から向上している。通勤用機材と現状機材とを組み合わせることで、運航本数を増加させても座席利用率は高いままである。ケースBとCを比較するとケースCの方が座席利用率は高く、特に乗り継ぎ便運賃が35,000円の際は、その変動も小さくなっている。ケースBは通勤用機材を主とし、その補助として現在の機材を

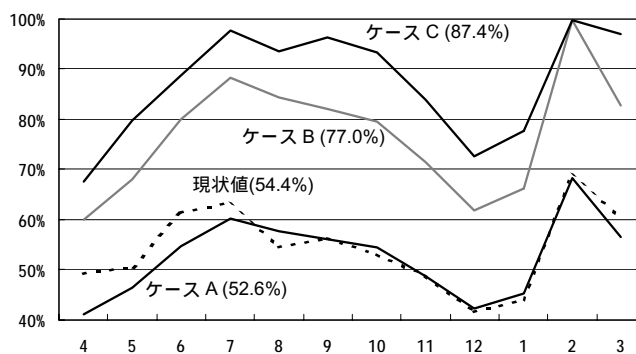


図12 新千歳～女満別空港間の月別座席利用率 (乗り継ぎ便運賃：44,500円、括弧内は平均値)

表6 乗り継ぎ便(新千歳～女満別空港)における運航本数

月	乗り継ぎ便運賃 ¥44,500		乗り継ぎ便運賃 ¥35,000	
	ケースB MD-90	ケースC SAAB	ケースB MD-90	ケースC SAAB
4	3本/日	3～4本/日	3本/日	2～3本/日
5	3本/日	3～4本/日	3本/日	2～3本/日
6	3本/日	4～5本/日	3本/日	2～3本/日
7	3本/日	4～5本/日	4本/日	3～4本/日
8	3本/日	4～5本/日	4本/日	3～4本/日
9	3本/日	3～4本/日	4本/日	3～4本/日
10	3本/日	3～4本/日	4本/日	3～4本/日
11	3本/日	3～4本/日	3本/日	2～3本/日
12	3本/日	3～4本/日	3本/日	2～3本/日
1	3本/日	3～4本/日	3本/日	2～3本/日
2	3本/日	6～7本/日	4本/日	5～6本/日
3	3本/日	3～4本/日	4本/日	3～4本/日

BはMD-90に加え、SAAB 340Bを6～7本/日運航
CはSAAB 340Bに加え、MD-90を3本/日または4本/日運航

運航する路線設定であり、Cは現在の機材を主とし、補助として通勤用機材を運航する路線設定である。通勤用航空は定員が少ない機材を使用するため、利用者数の変動に対する細かい調整が可能である。そのため、ケースCでは全運航本数や座席利用率の変動が少なくなっていると考えられる。

7. おわりに

ハブ・アンド・スポークシステムは航空会社の運営を合理化・効率化するだけでなく、同時に利用者の利便性も両立させようものといえる。ハブ・アンド・スポークシステムは自由活動時間を拡大し、個人の価値判断によって直行便と使い分けられるものと考えられる。選択意識の分析結果においても交通目的や方向の組み合わせが選択率に影響しており、それらの利用者ニーズを反映させた運航計画を立案することが必要不可欠である。

一般に、通勤用航空は利用者数が少ない路線において有効と考えられているが、既存の路

線と組み合わせることでフィーダー路線として利用者数の比較的多い航空路線でも有効に機能しうる。今後の北海道における輸送体系において、コミューター航空を活用可能な場面は少なくないと考えられる。

参考文献

- 1) 大橋忠宏・安藤朝夫：航空市場でのハブ・スポークネットワーク形成と空港使用料政策に関する研究，土木学会論文集，No.611/ -42，pp.33-44，1999
- 2) 財団法人北海道陸運協会：数字で見る北海道の運輸平成11年版，1999
- 3) 日野智・岸邦宏・佐藤馨一：改良型時間空間座標による自由活動時間拡大効果の解析，土木学会北海道支部論文報告集，pp.692-693，2001
- 4) 日野智・岸邦宏・相浦宣徳・佐藤馨一：北海道におけるハブ・アンド・スポーク路線の構築に関する研究，土木計画学研究・論文集，No. 18 Vol. 4，pp.667-674，2002
- 5) 佐藤馨一・五十嵐日出夫：空港アクセス交通における交通機関分担モデルの推定，土木学会論文報告集，Vol. 274，1978
- 6) 田口玄一：第三版実験計画法(上・下)，丸善，1977
- 7) 平成11年航空輸送統計年報，(社)全日本航空事業連合会，2000
- 8) 平成9年度航空旅客動態調査，運輸省交通局，1998