

コンピューター航空を活用したハブ・アンド・スポーク路線の構築

Development of Hub and Spoke System Utilizing Commuter Airlines

北海道大学大学院工学研究科 ○学 生 員 日野 智(Satoru HINO)  
北海道大学大学院工学研究科 正 員 岸 邦宏(Kunihiko KISHI)  
北海道大学大学院工学研究科 フェロー 佐藤 馨一(Keiichi SATOH)

1. はじめに

近年の航空輸送業界に対する規制緩和によって、これまで以上に効率性を重視した経営が航空会社に要請されている。そのため、採算性の高い幹線では新たな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競争などサービス水準の向上が図られている。一方、地方航空路線においては採算性の低さを理由とした運航便数の縮小や路線の廃止、航空運賃の値上げがなされ、地域における航空サービスの低下を招く恐れがある。

航空輸送の合理化・効率化を図る路線システムとしてハブ・アンド・スポーク路線がある。しかし、利用者数の少ない地方空港においてはハブ空港と結ぶ路線の運航便数を十分に確保できず、ハブ・アンド・スポーク路線の機能を生かすことができない。

本研究は地方空港間を結ぶコンピューター航空路線を活用することにより、新千歳空港を道内航空路線のハブ空港とすることを提案し、ハブ・アンド・スポーク路線の有用性と実現可能性について明らかにするものである。

2. 北海道における航空路線

(1) 北海道における道外路線

北海道における空港の多くは東京(羽田空港)との間に路線が設定されており、空港利用者の多くがその路線を利用している。そのため、各空港の地元自治体は運航便数の増加や時間帯の拡大を望んでいるが、採算性や羽田空港の発着枠、夜間駐機の点から困難である。

新千歳空港においても東京線が中心である。しかし、利用者数の多さや新規参入航空会社が存在することから、他の道内地方空港との間には運航便数や運賃などのサービス水準に大きな差がある。

(2) 北海道におけるコンピューター航空

北海道内のコンピューター航空は北海道エアシステム(HAC)によって担われている。HACは道内における高速交通空白地域の解消などを目指し、1997(平成9)年9月に設立された。1998(平成10)年3月の運航開始時には1機体制で新千歳～函館・函館～旭川・旭川～釧路間に就航していたが、その後の機材増強に従って運航路線を拡大している。

その輸送人員の推移は開業年度である平成9年度こそは少ない水準にとどまったが、そ

の後は運航路線の拡大もあり、輸送人員数・座席利用率を大きく伸ばしている(表1)。経営収支も平成11年度には黒字に転換し(表2)、平成11年度以上の営業収入が見込まれる。平成12年度には累積赤字が解消されるものと考えられる。

HACは小型機を使用するコンピューター航空であるために輸送人員の絶対数は多いものではないが、目標としてきた役割は十分に果たしているものといえる。

(3) コンピューター航空によるハブ・アンド・スポーク路線の構築

ハブ・アンド・スポーク路線は、利用者にとって運航便数の増加とそれに伴う利用時間帯の拡大をもたらす。また、多方面への移動も容易なものとなる。航空会社は経営を合理化・効率化することができ、そのことは利用者には航空運賃の低下をもたらす。本来のハブ・アンド・スポーク路線は航空会社による効率性を重視した経営と利用者にとってのサービス水準を両立させうるものである。

しかし、ハブ・アンド・スポーク路線では航空機による移動時間が増加するため、利用者は航空機の乗継利用に対して抵抗感があるものと考えられる。東京との間で乗継利用が可能な路線が設定されている地方空港は存在するが、乗継利用を行う旅客はわずかである<sup>1)</sup>。

表1 北海道エアシステム利用者数と座席利用率の推移

| 路線名                  | 平成9年度        | 平成10年度          | 平成11年度           | 平成12年度<br>(7月末) |
|----------------------|--------------|-----------------|------------------|-----------------|
| 新千歳～函館 <sup>1)</sup> | 102<br>35.4% | 24,435<br>38.4% | 32,276<br>45.5%  | 19,014<br>72.1% |
| 函館～旭川 <sup>*1</sup>  | 331<br>65.7% | 27,236<br>51.4% | 24,964<br>47.9%  | 10,242<br>58.7% |
| 旭川～釧路 <sup>*1</sup>  | 259<br>51.4% | 15,394<br>37.4% | 9,844<br>38.1%   | 3,588<br>41.7%  |
| 釧路～函館 <sup>*2</sup>  |              | 12,753<br>61.3% | 20,618<br>48.0%  | 5,808<br>67.2%  |
| 新千歳～釧路 <sup>3</sup>  |              | 3,797<br>72.7%  | 27,771<br>84.3%  | 12,635<br>82.8% |
| 女満別～函館 <sup>4</sup>  |              |                 | 6,470<br>50.2%   | 4,398<br>50.7%  |
| 各路線合計<br>及び平均        | 692<br>53.4% | 83,615<br>45.5% | 121,943<br>51.3% | 55,685<br>65.5% |

※ 1: H10.3.28～ ※2: H10.7.1～ ※3: H11.1.16～ ※4: H11.10.1～  
(上段: 利用者数、下段: 座席利用率)

表2 北海道エアシステム営業成績の推移

|              | 平成9年度   | 平成10年度   | 平成11年度    |
|--------------|---------|----------|-----------|
| 営業収入         | 5,583   | 941,182  | 1,440,071 |
| 当期利益         | △30,056 | △75,164  | 70,772    |
| 当期末<br>未処理利益 | △30,056 | △105,220 | △34,447   |

(単位: 千円)

本研究では HAC に代表されるコミューター航空が道内間の輸送だけではなく、ハブ空港との連絡を行うことで道外間との輸送においても有用と考える。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・スポーク路線を構築することを提案する。

ハブ空港と地方空港とを結ぶ路線は運航便数が多いことが望まれるが、コミューター航空は採算性や柔軟性から対応が可能である。運航便数の増加は道内間を移動する旅客にとってもサービス水準の向上となる。さらに、これまで空港が存在しなかった地域においても、コミューター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うる。

しかし、同一航空会社によって運営されるハブ・アンド・スポーク路線と比較すると、経営の合理化・効率化が十分に図られない恐れもある。

### 3. 改良型時間空間座標によるハブ・アンド・スポーク路線の評価

#### (1) 改良型時間空間座標

本研究では改良型時間空間座標<sup>2)</sup>によって、ハブ・アンド・スポーク路線の時間的な有用性を示す。アクティビティ・ペースト・アプローチの基本的概念が時間空間座標であり、自由に移動・行動できる時間空間が菱形のプリズムとして表される。

改良型時間空間座標では公共交通機関による移動を2地点間を結ぶ線分として、任意の地点での乗換時間や自由時間をプリズムとして表現する。さらに、平面図と正面図に分離して作図することで、都市平面を正確に表現する。

#### (2) 女満別空港における改良型時間空間座標

本研究ではハブ・アンド・スポーク路線である乗継便を設定し(図1)、設定した乗継便と現状の直行便の始発と終発便から羽田空港を目的地とした女満別空港における改良型時間空間座標を作成した(図2)。直行便と乗継便とを比較すると、プリズム(図2・菱形部分)が大きく拡大している。航空機による移動時間は増加するが、目的地における滞在時間・自由時間も増加する。

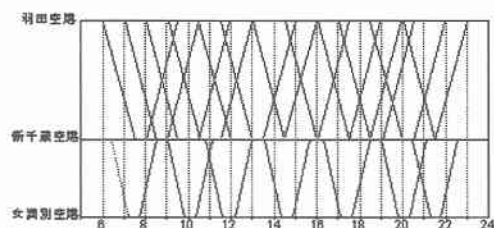


図1 本研究で設定した航空ダイヤ

#### (3) 名寄コミューター空港における改良型時間空間座標

名寄市近郊にコミューター空港が建設され、新千歳空港との間に路線が開設された場合を仮定し、設定した乗継便と旭川空港からの女満別空港と同様に改良型時間空間座標を作成した(図3)。名寄と旭川間の移動にはJRおよび空港連絡バスを利用するものとし、現状のダイヤ設定を用いている。

この事例では乗継便によるプリズムが縮小しており、

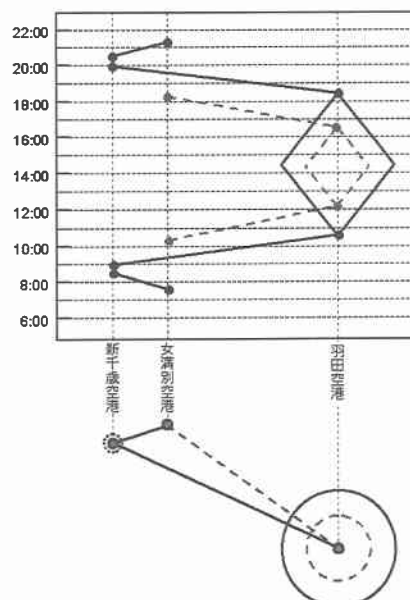


図2 女満別～羽田空港間の改良型時間空間座標

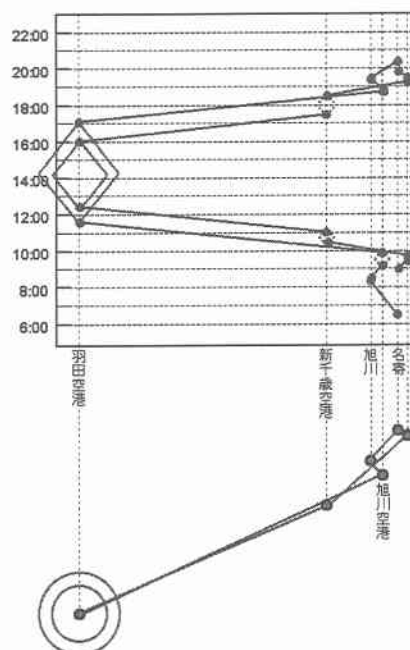


図3 名寄～羽田空港間の改良型時間空間座標

乗継便を利用することで目的地における滞在時間は短くなることがわかる。しかし、名寄～東京間の移動時間は大きく短縮されている。東京(羽田空港)を発地に名寄を目的地とした場合、移動時間の短縮と同時に滞在時間・自由時間は拡大している。

女満別空港と名寄コミューター空港における改良型時間空間座標を作成した結果、ハブ・アンド・スポーク路線構築による時間的な効果は目的地における滞在時間の増加と目的地までの総所要時間の短縮の2種類が存在することが明らかとなった。

### 4. ハブ・アンド・スポーク路線の選択意識分析

#### (1) 意識調査の概要

ハブ・アンド・スポーク路線は乗継の必要性があることなどから、航空利用者にとっては意識的な抵抗は大きい。そのため、時間的な効果が存在しているとしても、利用者が乗継便を受け入れるかどうかは明らかなでない。

表3 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    |

本研究では新千歳空港を経由する乗継便の選択意識を明らかにするため、女満別空港において意識調査を実施した。調査は女満別～羽田空港間を対象とし、2000(平成12)年6月15日(金)・16日(土)に、対面方式によって214票の回答を得た。

選択意識の分析については実験計画法<sup>3)</sup>を用い、乗継便の選択に影響を与える要因として、交通目的や乗継便の合計運賃など4要因に2水準を設定した(表3)。変動要因の組み合わせを $L_8$ 直交表に割り付けることで8種類の調査票を作成し、乗継便の利用意向を質問した。質問の際には3.で設定した運航ダイヤを被験者に提示している。

## (2) 選択意識の分析と選択モデルの構築

各票種における割付と乗継便の選択結果を表4に示す。全体的に乗継便の選択率は低く、乗継便の利用に対する意識的抵抗が表れていると考えられる。

選択率に対して分散分析を行った結果を表5に示す。乗継便の運賃が最も寄与率の高い要因となった。また、交通目的と方向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×B)の寄与率が比較的高いことが着目される。すなわち「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」という目的と方向を組み合わせた選好が生じている。

本研究では意識調査の結果から乗継便選択モデルを構築した。交通目的と方向の交互作用を考慮し、その組み合わせを変数としてモデル式に取り込んでいる。構築された選択モデルは(1)式、(2)式で表される。

表4 直交表による割付と乗継路線の選択意識

| 票種 | A<br>(交通目的) | B<br>(交通方向) | C<br>(乗継便運賃) | D<br>(直行便便数) | 乗継便<br>選択率 | n  |
|----|-------------|-------------|--------------|--------------|------------|----|
| ①  | 業務          | 女満別発        | 4.45万円       | 4本/日         | 21.4%      | 56 |
| ②  | 業務          | 女満別発        | 3.00万円       | 2本/日         | 47.3%      | 55 |
| ③  | 業務          | 羽田発         | 4.45万円       | 2本/日         | 17.0%      | 53 |
| ④  | 業務          | 羽田発         | 3.00万円       | 4本/日         | 20.0%      | 50 |
| ⑤  | 私用          | 女満別発        | 4.45万円       | 4本/日         | 4.0%       | 50 |
| ⑥  | 私用          | 女満別発        | 3.00万円       | 2本/日         | 39.6%      | 53 |
| ⑦  | 私用          | 羽田発         | 4.45万円       | 2本/日         | 20.0%      | 55 |
| ⑧  | 私用          | 羽田発         | 3.00万円       | 4本/日         | 41.1%      | 56 |

表5 分散分析表

| 要因      | 変動<br>S | 自由度<br>f | 分散<br>V | 分散比<br>$F_0$ | 寄与率<br>$\rho$ |
|---------|---------|----------|---------|--------------|---------------|
| 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×B     | 302.58  | 1        | 302.58  | 34.31        | 19.27         |
| A×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        |         |              |               |

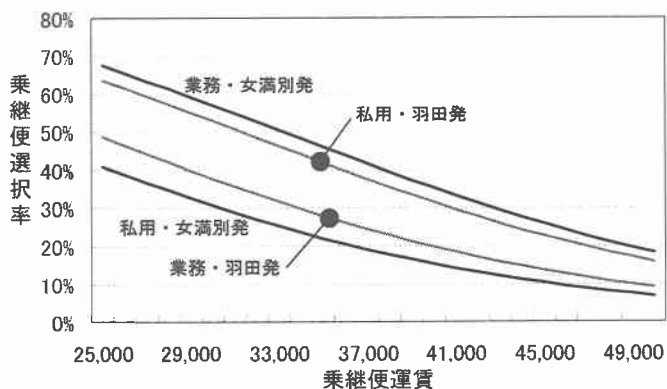


図4 乗継便運賃と乗継便選択率(直行便:2本/日)

$$P = 1 / (1 + e^{f(x)}) \quad (1)$$

$$f(x) = -3.4713 \left\{ \begin{array}{l} -0.1685x_{11} \\ +0.6129x_{12} \\ +0.9270x_{13} \\ +0 \cdot x_{14} \end{array} \right\} + 0.0000892x_2 + 0.3403x_3 \quad (2)$$

$$(R^2 = 0.939)$$

ただし、 $P$ : 乗り継ぎ便選択率

$x_{1i}$ : 交通目的・方向変数

( $x_{11}$ : 業務目的・女満別空港発

$x_{12}$ : 業務目的・羽田空港発

$x_{13}$ : 私用目的・女満別空港発

$x_{14}$ : 私用目的・羽田空港発)

$x_2$ : 乗継航空路線運賃(円)

$x_3$ : 直行便運航便数(本/日)

直行便運航本数を2本/日とした際の交通目的・方向別の乗継便運賃と選択率の関係を図4に示す。交通目的と方向の組み合わせでは、業務目的で女満別から羽田空港へ向かう場合の選択率が最も高く、私用目的で女満別から羽田空港へ向かう場合が最も低い。また、私用目的で羽田から女満別空港へ向かう場合と業務目的で羽田空港を出発する場合の間には、選択率に大きな差が存在する。

乗継便の運賃が44,500円と現状の乗継利用と同額の場合、直行便の運航便数が現状よりも少ない2本/日であっても選択率は10.9～26.7%と低い値にとどまっている。しかし、女満別空港を出発する場合は業務目的で33,190円、私用目的では20,900円、羽田空港を出発する場合は業務目的で24,400円、私用目的で31,300円以下において乗継便選択率が50%を超える。

そのため、ハブ・アンド・スポーク路線の選択率を高めるためには交通目的や方向の組み合わせといった利用者のニーズを考慮した運航計画が必要であり、航空運賃も可能な限り低減させることが望ましい。

## 5. ハブ・アンド・スポーク路線利用者数の算出

### (1) 乗継便航空運賃と年間旅客数・座席利用率

女満別～羽田空港間の直行便の運航本数を2本/日とし、同区間に通勤航空によるハブ・アンド・スポーク路線を設定した際の年間旅客数と座席利用率を乗継便運賃毎に算出する。算出には構築した選択モデルとOD別の利用目的<sup>1)</sup>、路線毎の方向別旅客数・座席数(表6)を利用した。通勤航空路線はHACと同様にサーブ340B(定員36名)を機材として用いる。

表 8 旅客数・座席利用率の算出結果(直行便は2本/日と設定)

| 乗継便運賃：<br>44,500 円             | 旅客数                               | サ-7340B<br>運航便数 | サ-7年間<br>座席数 | B737<br>運航便数 | B737 年間<br>座席数 | 年間総<br>座席数 | 年間座席<br>利用率 |
|--------------------------------|-----------------------------------|-----------------|--------------|--------------|----------------|------------|-------------|
| 羽 田→女満別                        | 228,876                           |                 |              |              |                | 223,811    | 100.0%      |
| 女満別→羽 田                        | 202,156                           |                 |              |              |                | 222,335    | 90.9%       |
| 小計                             | 431,033                           |                 |              |              |                | 446,146    | 96.6%       |
| 新千歳→女満別<br>(乗継便利用者)<br>(現状利用者) | 218,917<br>(55,858)<br>(163,059)  | 6 本/日           | 78,840       | 3 本/日        | 142,350        | 221,190    | 98.1%       |
| 女満別→新千歳<br>(乗継便利用者)<br>(現状利用者) | 207,708<br>(43,083)<br>(164,625)  | 7 本/日           | 91,980       | 3 本/日        | 142,350        | 234,330    | 88.6%       |
| 小計                             | 426,624                           |                 | 170,820      |              | 284,700        | 455,520    | 93.7%       |
| 乗継便運賃：<br>35,000 円             | 旅客数                               | サ-7340B<br>運航便数 | サ-7年間<br>座席数 | B737<br>運航便数 | B737 年間<br>座席数 | 年間<br>座席数  | 年間座席<br>利用率 |
| 羽 田→女満別                        | 182,298                           |                 |              |              |                | 223,811    | 81.5%       |
| 女満別→羽 田                        | 166,410                           |                 |              |              |                | 222,335    | 74.8%       |
| 小計                             | 348,708                           |                 |              |              |                | 446,146    | 78.2%       |
| 新千歳→女満別<br>(乗継便利用者)<br>(現状利用者) | 265,496<br>(102,437)<br>(163,059) | 6 本/日           | 78,840       | 4 本/日        | 189,800        | 268,640    | 98.8%       |
| 女満別→新千歳<br>(乗継便利用者)<br>(現状利用者) | 243,454<br>(78,829)<br>(164,625)  | 7 本/日           | 91,980       | 4 本/日        | 189,800        | 281,780    | 86.4%       |
| 小計                             | 508,950                           |                 | 170,820      |              | 379,600        | 550,420    | 92.5%       |

表 6 現状における路線毎の旅客数と座席数<sup>4)</sup>

| (平成 10 年) | 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 7 交通目的方向別の乗継便選択率と利用者数

| 乗継便<br>運賃 | 業務・<br>女満別発     | 業務・<br>羽田発      | 私用・<br>女満別発     | 私用・<br>羽田発      |
|-----------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| ¥30,650   | 57,541<br>55.6% | 43,738<br>36.4% | 41,816<br>29.5% | 84,593<br>51.4% |
| ¥35,000   | 47,502<br>45.9% | 33,644<br>28.0% | 31,326<br>22.1% | 68,793<br>41.8% |
| ¥44,500   | 27,632<br>26.7% | 17,183<br>14.3% | 15,450<br>10.9% | 38,676<br>23.5% |

羽田～女満別空港間の方向別旅客数と利用目的から、乗継便と直行便の利用者が算出され(表 7)、乗継便の利用者を新千歳～女満別空港間の旅客数に足し合わせる。新千歳～女満別空港間は乗継便運賃が現状と同様である場合においても、コミューター航空のみの運航では旅客数が年間座席数を大幅に上回る。そこで、現状と同じ B-737(定員 130 名)を不足する年間座席分だけ運航させて、年間座席数と座席利用率を求めた(表 8)。

直行便は乗継便運賃が直行便料金と等しい 35,000 円の際においても、座席利用率が現状よりも高い値である。現状の4本/日から2本/日に運航本数を減少させることで、直行便を運航する航空会社にとっては経営の効率化が図られることを示している。利用者のサービス水準や利用者数増加による採算性の向上を考慮すると、運賃は低減させた方が望ましい。しかし、過剰な乗継便運賃の低下は直行便の旅客数・座席利用率低下を招き、直行便における経営が十分に効率化されないこととなる。

新千歳～女満別空港間においても、不足座席数分を既存航空路線で補うことで座席利用率が向上する。また、合計の運航便数が増加することで、乗継便利用者・既存

路線利用者の双方にとって利便性は高まる。

## (2) コミューター航空による路線構築方策

構築した乗継便選択モデルにおいては、交通目的や方向といった利用者のニーズによって選択率に大きな差が生じる。各便の運航時間帯によって、利用者数に差が生じる可能性もある。既存路線の規模が比較的大きなものである際、コミューター航空は地方空港と新千歳空港とを結ぶ既存航空路線を補完する役割を果たしえる。

また、既存路線が小規模である際はコミューター航空への転換も検討すべきである。仮に、同区間の座席利用率を乗継便利用者のみで算定すると、乗継便運賃が44,500 円においても 57.9%となる。そのため、新千歳空港と結ぶ現状の路線が小規模、または存在しない場合にはコミューター航空による運航が効率的と考えられる。

## 6. おわりに

本研究では北海道全体の航空サービス水準向上を目指し、新千歳空港をハブ空港とした道内航空路線ネットワークとそれに対するコミューター航空の導入を提案した。そして、利用者に対する時間的効果を明らかにし、モデル構築から利用者の乗継便の選択意識について分析した。

さらに、路線毎の利用者数・座席利用率を算出することでハブ・アンド・スポーク路線の実現可能性とコミューター航空を活用すべき方向性について言及した。今後は航空ネットワークについて検討し、利用者と航空会社双方にとって有効な方策を明らかにしていく所存である。

## 参考文献

- 1) 平成9年度航空旅客動態調査、運輸省航空局、1998
- 2) 日野智、原田慎一、岸邦宏、佐藤馨一：アクティビティ・ベースト・アプローチによる交通情報の体系化に関する研究、土木学会第53回年次学術講演会講演概要集第4部、pp674-675、1998
- 3) 田口玄一：第三版実験計画法(上・下)、丸善、1977
- 4) 平成10年航空輸送統計年報、(社)全日本航空事業連合会、1999