

地域航空における機材の最適スケジューリング

SCHEDULING AND ROUTING MODELS FOR REGIONAL AIRLINE SYSTEMS

田村 亨**

稲野 茂***

by Tohru Tamura and Sigeru Inano

Today, in many regions in Japan, there are intensive discussions about the introduction of regional airlines as one of the improvements of regional transportation services. Usually, the analysis on the feasibility was made by comparing the one route fare with this route cost. So that, many of air routes were proved to be difficult to run feasible this air service on them.

In this paper, the feasibility analysis is formulated for the route network configuration problem. Because of, each carrier has some air routes. The initial purpose of this research is to develop routing and scheduling models for the feasibility analysis on regional air service.

Two models are built. One is the Air Passenger Demand Model using the displacement time and the adjusted flight time. Other is the Scheduling Model based on the method of successive approximate in Branch-and-Bound algorithm.

1. はじめに

近年の交通需要の多様化や高速交通の需要の増大により、地方自治体でも地域航空を本格的に検討しているところが増えつつある。地域航空の特徴としては、交通システムとしての導入の費用は鉄道や高速道路に比べてかなり安価なものの、その運営費用に見合う運賃収入を得ることが困難である点があげられる。採算性を向上させる手段としては、路線をネットワーク化して運航の効率を向上させることが指摘されているが、従来の地域航空に関する研究では、対象を単一路線とし、その需要予測を行ったに過ぎないものが多い。

そこで本研究は、複数の路線を組み合わせたネットワーク交通として地域航空を捕え、ネットワーク

に対する航空機材のスケジュールの最適化分析により、地域航空の導入の可能性について考察することを目的とする。

2. 航空機スケジューリングの概要と既存の研究

航空機のスケジューリングには

○どの様な機材をいつ頃、購入、売却またはリースすればもっとも効率の良い機材運営が出来るか。

○どの路線にどんな機材を、どのくらいの運行頻度で飛ばせば最も収益が大きくなるか。

○各路線、各便の離陸時刻はいつがよいか。

など、様々な問題が含まれている。以下に航空機のスケジューリングに関する一般的な手順を述べる。スケジューリングの手順は、需要予測モデルの構築とスケジュール組立モデルの構築の2つに分けられる(図2-1)。(1)(2)

手順1：需要量予測モデルの構築

・国民総生産(GNP)、所得、人口などの一般的な経済活動指標の予測値。

* キーワース：地域航空、ネットワーク、スケジューリング

** 正員 工博 北海道大学工学部土木工学科
助手(〒060 札幌市北区北13条西8丁目)

*** 正員 工修 建設省土木研究所
(〒305筑波郡豊里町大字旭1)

- ・運賃、運行頻度、離着陸時刻、安全性、利便性などのサービスレベル（この中には、他の航空会社および競合交通機関のサービスレベルも含まれる）
- ・乗客獲得のための宣伝および売り込みの状況
- ・ルートの構成
- ・各ルートに導入する機材の種類およびその際の所要時間

などをインプットし、ルートごと、あるいはその予測値をもとにして次のステップであるスケジュール組立モデルの構築を行う。

手順2：スケジュール組立モデルの構築

- ・手順1で求めた平均需要量の予測値およびそれによって得られる収入
- ・ルート構成
- ・各ルートに導入する機材の種類およびその際の所要時間
- ・運営費

- ・機材のメンテナンス、乗務員のスケジュール、空港施設の規模など運営上の様々な制約

などを考慮の上で、各ルートの最適運行頻度、および各便の最適機種や最適離着陸時刻を求める。図の中には手順のところでは触れなかった2つのフィードバックが描かれているが、それは次のようなものである。

スケジュール評価のフィードバックループ

機材のメンテナンス、乗務員のスケジュール、空港施設の規模、スケジュール現実化の可能性などの制約は、直接モデルの中に取り入れられてはいない。したがって、スケジュール組立モデルを使って作成される最適時刻表が、それらの制約を満たしているかどうかチェックしなければならない。そのプロセスがこのループであり、実際の航空会社においても最終的な時刻表を得るまでには、何度もこのフィードバックが行われている。

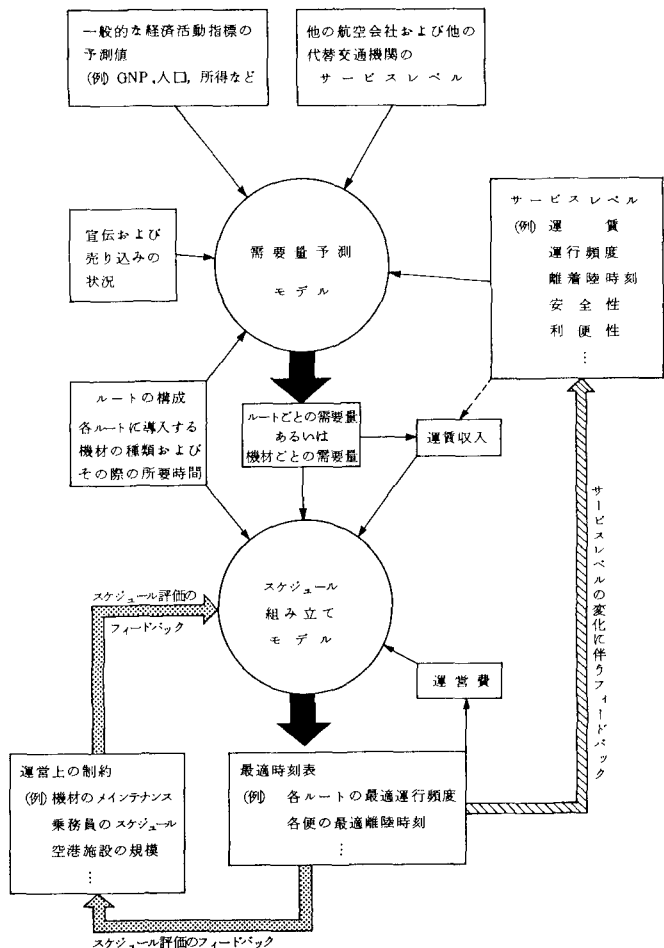
サービスレベルの変化に伴うフィードバックループ

スケジュール組立モデルによって、需要量予測モデルの構築の際に用いた時刻表とは異なる新しい時刻表が得られると、サービスレベルが変化するので、それに伴って手順1の平均需要量の予測値、さらには手順2の最適時刻表までもが変わってしまう。よって、

競合する航空会社があるルートや、自動車や列車が航空機と競合する短距離のルートでは、このフィードバックは欠かすことはできない（一般的には、航空会社は、最適時刻表を求めそれを用いてまた需要量予測モデルから計算しなおすようなことは行っていない）。

最適スケジュールを得るための手法開発は、1950年代から多くの研究者達によってなされてきた。初期の研究で構築されたモデルは、数学的な最適解探索手法によって解かれた。もちろん、目的関数、仮定、制約などを変えた様々なモデルが当時構築され研究が進んだが、そのほとんどは G.B.DANTZIG の "Linear Programming and Extension" (1963) の中のモデルの延長に過ぎなかった。

そののち、実用的なスケジュールを得るには、モデルの中にさらに詳しく機材運行と需要の関係や航



空機運営上の制約を取り込まなければならないことが認識された。航空機のスケジューリングは、機材のメインテナンスや空港諸施設などを考慮にいれつつ、四次元空間で同時発生する機材、乗客、乗務員の流れを取り扱って、はじめて現実的なものとなる。

現在、研究上で取り扱われている主な点は、①需要の1日の時間変動と運行頻度、投入機材を考えた機材ごとの需要予測モデル（先に述べたサービスレベルの変化に伴うフィードバックループ）の開発、②より詳しいスケジュール組立モデルの構築である。①については、ディスプレイメント時間（ある乗客が出発したいと希望する時刻と、交通機関が出発する時刻との差）を初めてモデルに導入した Steven E. Eriksen (1978) のモデル³⁾、空港アクセス時間を対象とし到着指定時刻に遅刻するために生じる負の便益を一般化出発時刻として捕らえモデル化した角等の研究(1986)⁴⁾、機材の出発時刻に対応させ乗客分布にマルコフ性を考慮した渡部・森地等の研究(1986)⁵⁾、交通浪費時間（到着希望時刻と、機材出発時刻による実際の到着時刻との差）を非集計交通選択モデルに導入した渡部・森地等の研究(1987)⁶⁾がある。これらのモデルは、航空機の運行時刻と需要量との関係をモデル化したものである。航空需要予測モデルとして、1日の運行頻度を所要時間、運賃の変数と同様のレベルでモデル化した例は見られるが、需要量と運行頻度との相関が高すぎ、モデルのパラメーターが安定的に求まらない例が多い。このため、先に示すような、時刻を取り込んだ需要モデルが必要となる。角等の研究は、空港アクセスを対象としたものではあるが、この概念を航空需要予測に持ち込んで分析する価値はある。Eriksenのモデルは、ある便を利用する乗客の分布がその出発時刻を中心に一樣分布で集まるとしている点に問題がある。この分布型を正規分布と仮定し、その分布は、路線のいくつかの便の出発時刻の間でマルコフ性を有しているとして分析しているのが渡部・森地等の研究（1986）である。この仮定については、一応の妥当性は考えられるが、調査データによる実証が必要である。渡部・森地等の研究（1987）は、機関連続モデルの中に、運行時刻を取り込んでおり、運行頻度の向上による交通発生量の増加（地域航空を扱うとき特に重要）を扱えない問題がある。

②の航空機のスケジュール組立モデルは機材の購入・売却およびリースに関するもの、最適運行頻度の決定に関するもの、最適離陸時刻の決定に関するものなどいくつかのモデルに分けて考えるのが一般

的である。モデルがいくつかに分類されるのは、それらを1つにまとめたのでは制約式および決定すべき変数が多くて解を得るのが困難なためである。Robert W. Simpson (1969)¹⁾ の論文によると、モデルは次のように分類される。

- a. Fleet Assignment Models
各ルート上の最適フライト数を求めるためのモデル
- b. Fleet Planning Models
機材の売却・購入・リースに関する計画作成のためのモデル
- c. Dispatching Models
ルートごとに1日の最適離陸時刻を求めるモデル
- d. Aircraft Routing Models
機材ごとの最適な運行計画を決定するためのモデル
- e. Fleet Routing Models
個々の機材の運営も考慮にいれたうえで、機団全体についての最適ルーティングを捜し出すモデル

これらの分類のうち、現在モデル化されているものは、a、c、dである。アメリカのボーイング社等ではa、c、dに関してのプログラムが組まれ、b、eについては、定量的な最適化手法のみでは解決できないとして、専門家の経験によって決めるための、DSS（Decision Support System）のプログラムが作成されている。⁷⁾ a、c、dのモデルの内容は、基本的には線形計画法、動的計画法^{2), 8), 9)}、¹⁰⁾による最適化問題として捕らえられ構築されている。問題はa、dにおいてネットワークが複雑となると列挙法による組合せ最適化問題では計算に莫大な時間が必要となること²⁾、cにおいて、機材の出発時刻と需要変動の関係（①で取り上げたフィードバックループを考慮すること）を取り込んだモデルが構築されていないことである。

3. 出発時刻を考慮した航空需要モデル

3-1 モデルの概要

一般に航空機のスケジューリングの為には時刻に着目した航空需要モデルの構築が必要である。本研究で対象とする地域航空は、一日に2～3便程度運航の路線が多いと考えられるため、出発希望時刻に運航している便があるか否か、が必要に大きく影響する。そして、この航空機利用希望者の中には、競合交通機関が不便なため、希望時刻に運航する便が

なければ旅行そのものをやめてしまう人（運航頻度が交通発生レベルまで影響する人；主に業務目的以外のトリップ）がいることが重要である。

本研究では、路線の航空機利用希望交通量があらかじめ分かっているものとし、出発希望時刻と運航便の出発時刻との関係から航空需要量を推計するモデルを構築することとした。ここで航空機利用希望交通量とは、航空機を利用して旅行したいという人々の数であり、この中には出発希望時刻に出発便がなければ他の交通機関を利用する人及び旅行そのものをやめてしまう人が含まれる。この交通量は、地域航空として運航頻度サービスが十分にあった場合に予測される航空需要量であり、YS-11クラスの航空機が高頻度で運航している路線の頭在需要量に占める航空需要量の関係から算出できるものと考えている。

本研究で構築する出発時刻を考慮した航空需要モデルは、航空機利用希望者の航空機利用が時間をおって、利用できる時間帯と利用できない時間帯という2段階の〔0, 1〕に変化していると仮定すると、次の様に定式化できる。

$$P = N \times \frac{\sum_i \delta_i}{n}$$

P : 路線の航空機旅客数

N : 路線の航空機利用希望者数

n : Nより抽出したサンプル数

δ_i : 抽出した1個人 i について、

$\delta_i = 1$: 利用できる時間帯内に航空機の運航がある

$\delta_i = 0$: 利用できる時間帯内に航空機の運航がない

ここである運航時刻の利用者数を推計する際、全サンプルを検索して推計を行なうのは非常に煩雑となる。そこで、希望する運航時刻と実際の運航時刻の差と利用者の航空利用率を回帰させたモデルを構築することとした。モデル式は以下のとおりである。

$$P_s = \sum_t Mts$$

$$Mts = Mt \times Rts$$

$$Rts = 1 - |t - s| \times Ks$$

P_s : 時刻 s の便の旅客数

Mts : 時刻 t を希望する人で時刻 s の便を利用可能な人数

Mt : 時刻 t を希望する人数

Rts : 時刻 t を希望する人で時刻 s の便を利用する割合

t : 出発希望時刻

s : 航空機の出発時刻

Ks : 定数

3-2 航空需要モデルの構築

航空需要モデル構築のため、航空機利用者に対してアンケート調査を実施した。調査対象者は、丘珠空港を離発着している航空機（使用機材YS-11）を利用している人々であり、調査を4路線10便について昭和61年12月17～19日に実施した。有効サンプル数は482サンプルであり、各便ごとのサンプル数は表3-1に示す通りである。調査内容は、今回と同じ目的で航空機を利用する場合の希望出発時刻と利用可能な時間帯についてである。

希望出発時間は、旅行目的、日帰りか否か、往路か復路か等の旅行属性によって異なってくると考えられる。表3-2は、各便ごとの旅行属性をまとめたものであり、業務目的の比率が高いこと、日帰り率は20%程度であること、往路は午前の便、復路は午後の便を利用する傾向が強いことが分かる。利用可能な時間帯は、その旅行が到着時間の制約が有るか否かで変わってくる。この点に関して表3-2に各便ごとの時間制約有の割合を示したが、全体で約50%の人々が時間制約が有りとしており、この人々と先の旅行属性の関係をクロス分析したが、有意な差は得られなかった。

そこで、本研究では、全てのデータをブーリングし、3-1に示した需要予測モデルを構築することとした。

図3-1は、希望時刻の分布を示すものであり、朝の9時と午後の16～17時にピークがあることが分かる。

モデル構築は先に述べたように、出発希望時刻（t）と航空機の出発時刻（s）との差と航空機利用率（Rts）から求める。時刻は30分刻みとし、9時30分なら9.5として扱うこととした。図3-2は $t < s$ の場合、図3-3は $t > s$ の場合の航空機出発時刻別のKsの値を示したものである。図の縦軸は、出発時刻（s）であり、横軸はKsの値を示す。ここでKsの値は、1時間ずれたら利用しなくなる割合である。Ksの値は、実測データより単回帰で求めた。ただし利用可能時間帯の実測データは8時から18時まで30分ごとに収集したが、データ回帰上、10時～16時のKsを求めることとした（例えば10時の出発便のt

$t < s$ の Ks 値は、8時～10時までの5点のデータで回帰するため)。この Ks 値を航空機の出発時刻 s に回帰させることにより、時刻 t を希望する人の中で時刻 s の便を利用する人の割合 (Rts) が算出され、図3-1に示す時刻 t を希望する人数 (Mt) に Rts を掛けることで時刻 s の便の旅客数を求めることができる。

算出されたモデル式は以下のとおりである。

$t < s$ の場合

$$Ks = 23.153 - 0.692s, R = -0.88$$

$t > s$ の場合

$$Ks = -16.775 + 2.588s, R = 0.97$$

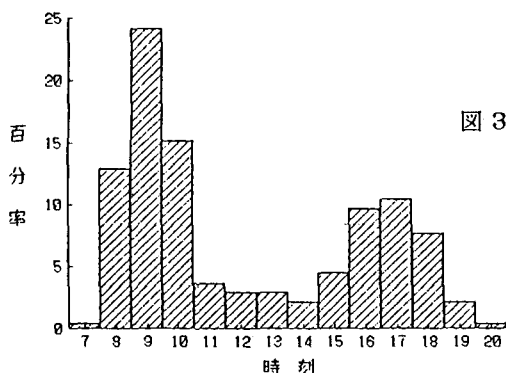


図3-1 希望出発時刻の分布

図3-2、図3-3の Ks 値から午前出発の便では $t > s$ の場合（希望時刻より早い便に乗る）の方が1時間ずれることによる利用率の低減が小さく、昼間時（12時、13時）では $t > s$ の場合、 $t < s$ の場合とも利用率の減少は同じくらい（13%程度）、午後の出発便では、 $t > s$ の方が $t < s$ より1時間ずれることによる利用率の低減が大きいことが分かる。

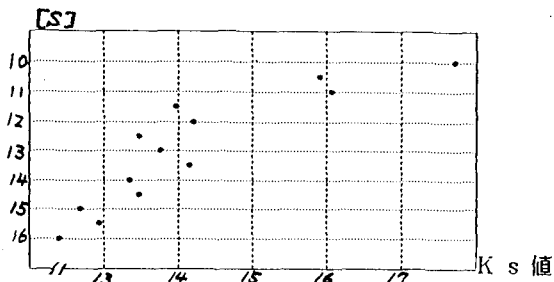


図3-2 $t < s$ の場合の出発時刻と Ks 値

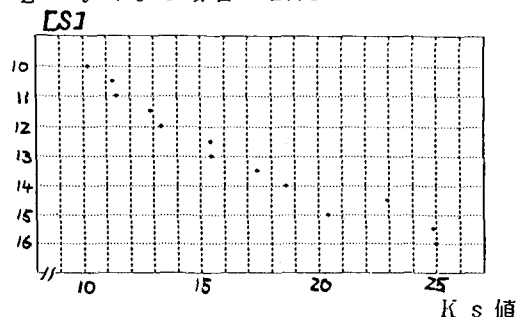


図3-3 $t > s$ の場合の出発時刻と Ks 値

表3-1 調査サンプル数

路線	発時刻	着時刻	計
丘珠 → 函館	8:10	8:55	64
函館 → 丘珠	9:20	10:10	56
丘珠 → 函館	16:40	17:25	48
函館 → 丘珠	17:50	18:40	65
丘珠 → 稚内	10:40	11:40	57
稚内 → 丘珠	15:10	16:10	32
丘珠 → 中標津	8:40	9:45	41
中標津 → 丘珠	13:30	14:45	47
丘珠 → 紋別	15:15	16:05	33
紋別 → 丘珠	16:30	17:25	29

総計 482 票

表3-2 出発便別旅行属性

路線	発時刻	業務目的	日帰り率	往路利用	復路利用	時間制約有
丘珠 → 函館	8:10	82.0%	41.0%	74.1%	20.7%	59.0%
函館 → 丘珠	9:20	86.2%	20.0%	52.5%	40.7%	73.0%
丘珠 → 函館	16:40	85.1%	19.1%	43.2%	54.5%	38.3%
函館 → 丘珠	17:50	87.5%	31.3%	20.3%	74.6%	32.8%
丘珠 → 稚内	10:40	91.1%	26.8%	71.2%	23.1%	67.9%
稚内 → 丘珠	15:10	70.0%	20.0%	14.3%	82.1%	44.8%
丘珠 → 中標津	8:40	75.6%	5.0%	63.2%	36.8%	59.0%
中標津 → 丘珠	13:30	58.7%	0.0%	70.7%	26.8%	39.1%
丘珠 → 紋別	15:15	74.2%	3.2%	44.8%	55.2%	26.7%
紋別 → 丘珠	16:30	60.7%	10.7%	69.6%	26.1%	33.3%
合計		79.3%	20.1%	52.9%	43.2%	49.7%

4. 航空ネットワークの最適スケジューリングモデル

4.1 最適スケジューリング

ここではこれまで説明してきた航空需要予測モデルを用いた航空ネットワークの最適化を行う。

最適化を行う対象は航空機材の運航スケジュールである。この問題は組合せ最適化問題として捉えることができるので、本研究では列挙法に分枝限定法を用いた手法によって最適化計算を行う。計算のアルゴリズムの概要を以下に示す。

[1]．初期値として $i = 1$ を行う。

[2]．航空機 i について、1日の始めに指定された出発空港を出発し、指定された制限時間以内にその空港に戻ってくるといった1日の運航スケジュールの案を作成する。但しこのスケジュール案の作成に関しては、基本的に作成のめがねがないように列挙法に基づき、作成して手順3へ行く。

但し機材 i の運航スケジュールを全て作成し終えたならば、1つ前の機材に戻って運航スケジュールを作成し直す ($i = i - 1 : \text{GOTO } 2$)。また全ての航空機に関して全ての運航スケジュールを作成し終えたならば計算を終了する。

[3]．手順2で求めたスケジュール案で運航した場合の、その航空機に関する1日の延べ乗客（あるいは運賃収入）をモデルを用いて計算する。これを i 番目の航空機に関しては変数 P_i に代入する。

[4]．現在までに得られている P_i について以下の条件をチェックする。但し、 P_{MAX} は現在の探索の中で得られている最良解である。条件を満足しない場合には、機材 i に関して、手順2に戻り運航スケジュールを作成し直す。

$$N \times P_i \geq P_{MAX}$$

$$P_i \geq P_2, (N-1) \times P_2 \geq P_{MAX} - P_1$$

$$P_2 \geq P_3, (N-2) \times P_3 \geq P_{MAX} - (P_1 + P_2)$$

$$P_{i-1} \geq P_i, (N-i) \times P_i \geq P_{MAX} - \sum_{j=1}^{i-1} P_j$$

[5]． N 番目の機材までのスケジュール案を求めていないならば ($i < N$)、次の機材に関して手順2に戻る。 ($i = i + 1 : \text{GOTO } 2$)

[6]．次の条件を満足するならば手順7へいく、さもなければ手順2に戻る。

$$\sum_{j=1}^N P_j \geq P_{MAX}$$

[7]． $P_{MAX} = \sum P_j$ とし各機材の運航スケジュールと P_{MAX} を出力し、手順2に戻る。

以上で計算が終了し、最後に出力された P_{MAX} と運航スケジュールが最適解と、その際の運航スケジュールである。

ここでアルゴリズムの要点について若干の説明をくわえる。

まず、手順2で各航空機のスケジュール案を作成する際に基本的に列挙法で作成となっているが、このスケジュール案の作成に関しては路線として運航しない空港間についてはもちろん考慮しないが、その外にその時点の運航による航空旅客がかなり少なく、ほぼゼロに近いといった路線についてもこれを以後の探索から除外する。ただし、この航空旅客の下限值については、これを大きな値にするほど探索から除外される枝の数が多くなり計算時間が向上するが、下限値を必要以上に大きくすると最適解を探索の対象外にしてしまう確率が大きくなるので、本研究においては各航空機の各便における旅客輸送の下限値として1名として以後の計算を行っている。これは、各航空機は1回の運航において少なくとも1名以上の乗客を乗せなければならない、といった制約条件を付け加えたことになる。

手順4においては、分枝限定法の優越関係による限定操作の概念を用いた分枝規則を設けている。この航空ネットワークのスケジュール最適化モデルにおいては機材の種類を1種類としているので、任意の機材間で各機材の1日の運航スケジュールを交換した場合にも、目的関数には影響を与えないことになる。従って、機材 i の1日の旅客輸送数（運賃収入） P_i について $P_i \geq P_{i-1}$ といった優越関係による分枝の限定を行っている。またこの優越関係を利用して現在の部分最適解 P_{MAX} との比較を行い、各機材ごとの目的関数の優越関係を保ちつつ部分最適解 P_{MAX} を上回る解を得る可能性のある場合、つまり以下の不等式が満足された場合にのみ以後の分枝を行う分枝の限定操作を行っている。

$$(N-i) \times P_i \geq P_{MAX} - \sum_{j=1}^{i-1} P_j$$

従ってこの手順4においては、部分的な目的関数 P_i に関して優越関係による上限と現在の部分最適解 P_{MAX} との比較による下限の、上限下限の2つによる分枝の限定操作を行っていることになる。

4. 2 ケーススタディ

ここでは、航空ネットワークのスケジュール最適化問題を実際にテストデータを与えて最適化計算を行い、その計算結果に関する考察を加える。

対象とする航空路線ネットワークは図4. 1に示すハブ&スポーク型を想定する。また、最適化のための目的関数については基本的には航空機運営主体の運賃収入の最大化とするが、ここでは各路線の運賃が一様なものとして、1日における航空旅客輸送数の最大化を目的関数として計算を行うことにする。

諸条件についての詳細については以下のように定める。

1. 航空機の数に2機、3機、4機の各々の場合について行う。
2. 航空機の座席数については19席とする。
3. 航空機を運航可能な時間帯は8時から17時までの9時間とし17時を過ぎてからの着陸は認めないが、離陸は認めない。
4. 図中に示している空港間の所要時間には整備のための時間を含んでいるものとする。
5. 各航空機は空港において整備が終了し、運航時間に余裕があるならば、直ちにその空港を離陸する。従って各航空機は8時に一斉に離陸するものとする。
6. 図の第1空港が全ての航空機が1日の始めに出発し、1日の終わりに戻ってくる空港である。
7. 航空機は運航する際には必ず乗客を乗せるものとする。
8. 各路線の旅客予測モデルに関しては、3章で行

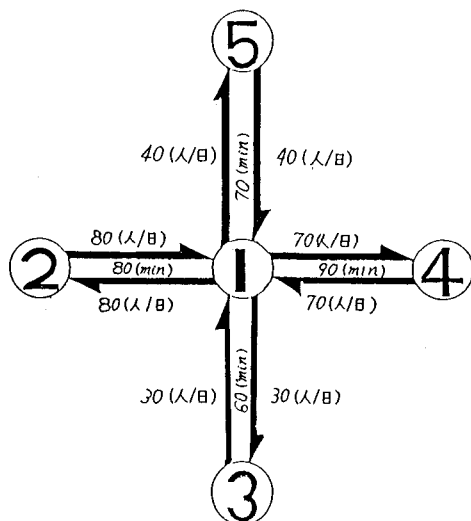


図4-1 想定航空ネットワーク

った航空旅客に対する調査のデータがそのまま各路線に拡大して適用できるものとする。

旅客予測モデルに関する第8条件については、基本的には第3章における航空旅客調査の結果および航空旅客予測モデル構築の概念に沿って行なう。

また、計算機でスケジュールの組合せ探索を行う際に、その探索の分枝の限定のために部分的な航空旅客を求める必要があるが、この計算において厳密には前述の乗客の効率的な配分を考慮しなくてはならない。つまり、ある路線において先に求めた航空旅客が、この路線に更に航空機を運航させることにより、変化する可能性があるのである。しかし、このための計算のフィードバックを行うと計算時間が著しく増大するので、探索の途中の部分的な航空旅客の計算の際には、航空旅客の配分は計算を行う順番を優先に航空需要を航空機にらせて行くものとし、探索の終了後の全体的な航空旅客の計算の際にのみ、航空旅客の効率的な配分を行うことにする。

従って、この最適化モデルによって得られた最適解は、絶対的最適解である保証を失い、近似的最適解となる。表4-1は、投入機材を2、3、4機と変化した場合の便数、旅客数、座席利用率、顕在化率をまとめたものである。また、図4-2は4機の場合の各機材のスケジュールをまとめたものである。

これらの結果について、昭和62年1月運輸省航空局が発表した採算性と需要量をもとに検討する。この内容は、路線距離100km、ロードファクター70%を想定し、19人乗り機材を用いたとき標準的な民間企業が採算性を取るためには、運賃単価80円/kmで9.0万人/年（予備機も含めた19人の機材2機で10往復/日）の需要が必要と言うものである。本研究で対象としたネットワークを考えると単独路線では最も需要の多い①-②間を全員運んだとしても（80人×2×365日=5.85万人/年）しかならず、採算性は取れない。ところがネットワークで考えると2機使用で（271人×365日=）9.9万人/年となり、採算性が取れるようになる。3機、4機保有の場合の採算性

表4-1 最適スケジューリング分析結果

対象路線	全路線（8路線）		
	2機	3機	4機
便数	16便	24便	32便
旅客数	271人	344人	379人
座席利用率	89.1%	75.4%	82.3%
顕在化率	61.6%	78.2%	86.1%

については、明示されていないが、一般的にロードファクターが70%を超えることが採算性の基準であることを考えると本ネットワークにおいては、3機材保有して運営することが望ましいと思われる。

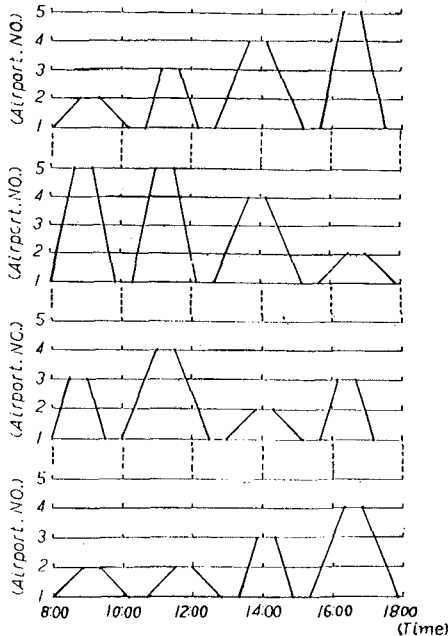


図4-2 4機保有の場合の各機材のスケジュール
5、おわりに

本研究は、複数の路線を組み合わせたネットワーク交通として地域航空を捕え、ネットワークに対する航空機材のスケジュール最適化手法を開発しこれを用いて地域航空の導入可能性について検討したものである。

本研究では航空機スケジューリング手法について既存研究の問題点を明らかにし以下の点に特徴のある手法の開発を行った。

①機材の出発時刻に着目した航空需要予測モデルにおいて運航頻度が交通発生レベルまで影響を与えるという地域航空の需要特性を考慮したモデル構築を行っていること。

②従来、列挙法で莫大な時間をかけて探索していたスケジューリングモデルの中に分岐限定の概念を導入し計算時間を短縮させるアルゴリズムを提案したこと。

③機材の運航時間が変化する（サービスレベルが変化する）と需要が変化するという需要予測モデルとスケジューリングモデルとのフィードバックループを取り込んだ最適機材運用モデルを構築したこと。

④仮定のネットワークであるが、ケーススタディを行ない、単独路線では採算の取れない路線でも複数の路線をネットワークとして組み合わせることにより、採算の取れる場合があることを示したこと。

本研究では、モデルの格段階において、構築したモデルの予測精度を確認していない。需要予測モデルの現状再現性については、モデル構築時の相関係数がいずれも0.85以上であったことより比較的精度の高いモデルができたと考えられる。しかし、このモデルの地域移転性やスケジューリングモデルの精度については、わが国において地域航空サービスが昭和62年4月西瀬戸で初めて運航されたということもあり、事例が少ないため検討できないのが現状であり、この点が今後の課題である。

本研究をまとめるにあたり、北海道大学の五十嵐日出夫教授、佐藤馨一助教授、千葉博正助手からは大変有益な指摘を頂いた。また、修士2年の上野文男君には一部計算からモデル構築上の概念に対しいくつかの指摘を頂いた。ここに名を記し感謝の意を表します。

最後に、本研究において2章航空機スケジューリングに関する海外研究のレビューの多くは、東京工業大学の森地茂教授、渡部富博氏との共同研究による。ここに感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) Robert W. Simpson ; Scheduling and Routing Models for Air line Systems , M.I.T. Dept. of Aeronautics and Astronautics Report 1969.2
- 2) M. Etschmaier ; Airline Scheduling : An Overview , M.I.T. Dept. of Aeronautics and Astronautics Report 1985.6
- 3) Steven E. Eriksen ; Demand Models for U.S.Domestic Air Passenger Markets , M.I.T. Dept. of Aeronautics and Astronautics Report 1978.2
- 4) 角知憲 他4名 ; 空港アクセス交通の一般化出発時刻と交通行動の経験依存性 , 土木学会論文集 No.385 , 1986.1
- 5) 渡部富博, 森地茂 他1名 ; 航空機の最適スケジューリングに関する研究 , 土木学会 第41回年講 , 1986.11
- 6) 渡部富博, 森地茂 他2名 ; 航空運行頻度を考慮したスケジューリング手法に関する研究 , 土木学会 第42回年講 , 1987.9
- 7) Trans World Airlines ; Airline Scheduling Manual 1985.
- 8) Thomas A. Deckwitz ; Interactive Dynamic Aircraft Scheduling , M.I.T. Dept. of Aeronautics and Astronautics Report 1984.5
- 9) M. Ball, A. Roberts ; A Graph Partitioning Approach to Airline Crew Scheduling , Transportation Science, vol 19, No.2 , 1985.5
- 10) Morton E. O'Kerry ; The Location of Interacting Hub Facilities , Transportation Science, vol 20, No.2. 1986.5