

遺伝的アルゴリズムを用いた 航空機材スケジューリングの最適化

Application of Genetic Algorithms to Airline-Networks Scheduling

田村 亨^{*}、金子 裕一^{**}、杉本 博之^{*}
By Tohru TAMURA, Yuichi KANEKO, Hiroyuki SUGIMOTO

Genetic Algorithms(GA) includes generally three genetic operators, selection, crossover and mutation. The lack of dependence on function gradients makes it more suitable to such problems, like as discrete optimization design problems and optimization design problems with non-convexities or disjointness in design space. The method is tried to apply to the Airline-Networks Scheduling in this paper. The results suggest that GA is more effective for large size networks.

1. はじめに

地方空港の国際化やダブル・トリプルトラッキングの進展に伴い、わが国の航空ネットワーク構成は近年かなり複雑になって来ている。この傾向は、アジアのハブ空港競争や、関西新空港・中部新空港等の建設により増加されるものと考えられる。この際、エアラインにとっては、どのような航空ネットワークを巡らすことが利用者獲得の上で優位となるかが課題となる。従来、この課題については、経験的に決定されてきた。この理由は、需要動向の把握が難しいことと、機材や乗務員等のスケジューリングが複雑なためである。この問題に対応した過去の研究は内外に多く見られるが、最適スケジューリングの解

法が難しく、実用の段階までは至っていない。

遺伝的アルゴリズム (Genetic Algorithms: 以下、GAと略す) は、J.D.Bagley により1967年初めて用いられた用語であるが、その手法は組合せ最適化の解法に優れているとされ、最近注目されてきてきている。この方法は生物進化の過程をダーウィンによる適者生存の過程と考え、現存する生物群を環境に対してより高い適合性を持った準最適生物とみなす。その上で、淘汰、遺伝子の交叉、及び突然変異のプロセスを簡単な数理モデルに置き換え、それを最適化の手法として用いようとするものである。

本研究は、航空ネットワークのスケジューリング問題へのGAの適用を試みたものであり、ケーススタディをとおり厳密解法との比較からGAの有効性を検討することが目的である。

キーワード： 航空ネットワーク、遺伝的アルゴリズム

* 正会員 工博 室蘭工業大学助教授建設システム

(〒050 室蘭市水元町27-1)

** 正会員 東京都

2. 航空ネットワークの最適化とGA

(1) 航空ネットワークの最適化

航空ネットワークは、航空会社・利用者・空港整備主体などの評価主体により様々な構成が考えられる。実際には、空港容量制約や航空自由化（運賃設定と路線参入撤退の自由化）の程度、総合交通体系における航空の位置付け、さらに環境問題などが絡み合ってネットワーク構成されていると言えよう。航空ネットワークを構成する上で近年世界的に注目されてきていることは、東・東南アジアの航空網がこれからどの様に構成されて行くのか、アメリカを中心としたCRS（Computer Reservation System）の活用とネットワークとの関係、さらにはヨーロッパにみられる高速鉄道網計画進展に伴う鉄道と航空のネットワーク連携であろう。わが国においても、羽田・成田の容量制約問題や、東・東南アジアの国際ハブ空港など航空ネットワークの議論は盛んに行なわれている。

これに呼応して、近年、わが国における航空ネットワーク研究も多くなってきており、研究対象も管制問題や国際観光需要予測、競争を取り込んだ航空マーケティング問題など多様になって来ている。しかし、航空ネットワークの最適化に焦点をあてると残念ながらあまり研究が進んでいないのが実態である。そもそも、この分野の研究は、アメリカのNASAを中心になされて来たと言っても過言ではない。その中心はMITの航空宇宙学科であり、Robert W. Simpson教授のもと1960-1970年を中心に精力的に研究がなされた。ここでの主な研究¹⁾は計画数理手法によるスケジューリングで、計算機の発達とともに多くのモデルが構築された。その後、S.E.Erikson²⁾、Y.Chan³⁾等により1978年のアメリカ航空規制緩和まで動的計画法などを駆使したモデルが開発されたが、1978年以降は新しい研究が殆どない。むしろ、わが国において、displacement timeを取り込んだモデル⁴⁾や運航頻度と需要の関係を明示的に組み込んだモデル^{5), 6)}など需要特性に着目した新たな研究がなされている。この間欧州では、各航空会社によるモデル開発が実務と一体となって開発されたが、その多くは計画数理手法によるスケジューリングであり、専門家の経験的意思決定を助けるためのモデル開発であった。

現在、各航空会社で用いられている専門家の経験的意思決定を助けるためのモデルを見ると、その多

くは数理計画手法による最適化モデルである。このため、ある程度の解析精度を犠牲にして現実の大規模ネットワークを解くこととなり、需要予測とスケジューリングが独立したモデルであったり、開設路線の損益分岐を把握することのみに重点が置かれたモデルであるなど研究ベースでの改良の余地は多いと考えられる。特に、スケジューリング問題を中心とした航空ネットワーク最適化研究の今日的課題としては、①大規模ネットワークの解法、②市場競争を取り込んだ技法、③鉄道と航空など異種交通ネットワークの解法なども重要であろう。

本研究は、従来の数理計画手法では大規模ネットワークへの適応に限界がある^{7), 8)}と考え、新たな最適手法としてのGAの適応可能性について基礎的な検討する。

(2) GAの特徴

GAはJ.H.Hollandによる1975年の理論的考察⁹⁾により広く知られるようになり、1985年には第1回目の国際会議が開かれた。わが国でも日本ファジー学会誌(1991)¹⁰⁾や計測と制御(1993)¹¹⁾でも特集が組まれるようにまでなっている。GAは動的計画法や分枝限定法とは異なり、確率的近似解法であるため、従来のネットワーク最適化手法との比較をするには工夫が必要である。また、従来の最適化手法は一つの解の候補を対象として最適解を探索するが、GAは解候補の集団を考えその集団に生物進化の法則を適用して最適解を求めることが特徴である。

GAの特徴としては、次の2点を挙げることができる。

- ①通常の最適化手法では、逐次改善法にせよ構成的手法にせよひとつの解の候補を対象とする探索であるのに対して、GAは逐次改善法の一つではあるが、解候補の集団を考え、その集団に生物進化の法則を適用することにより、最適解を得ようとする手法である¹²⁾。
- ②組合せ最適化で最も問題となる局所解へ捕らわれることについて、GAは各個体の適応度に基づく確率的なプロセスで回避する。適応度の低い個体であっても「選択」される可能性を許容するという点において、従来の「焼きなまし法」に類似している¹³⁾。

これらの、特徴により一般に最適解探索の計算時間

が短くて済むことや大規模ネットワーク問題の解法に適していることが報告されている。しかし、GAの挙動を知る手がかりとなる理論的研究は、あまり進んでいない¹⁴⁾。

3. GAの航空ネットワーク最適化問題への定式化

(1) GAのプロセス

初期化プロセス：生物の染色体に対応して、GAではある文字（遺伝子）でコーディングされた線列があり、この線列が生物の染色体の役割と同じように最適情報を持つと考える。このコーディングがGAの一つの特徴であり、最初にある決められたN個（集団サイズと呼ぶ）のコーディングされた線列を任意に定めこれを初期世代とする。ここで、1線列は1個体に相当し、線列集団を交配プールと呼ぶ。

淘汰プロセス：初期世代のi番目の線列の適応度評価を全てのiについて計算する。この値が高いことは（目的関数最大化の場合）、その個体の環境への適応が高いことを意味し、適応度の高い個体は1個以上の子供を次世代に残すことができる。ここで、個体の適応度評価は各線列の適応関数の値によって行なわれ、制約条件がない場合の適応関数は目的関数を変換して作られる。この適応関数の変換方法は後で詳述するが、組合せ最適化で問題となる局所解に陥るのを防ぐことに関係する。ここで重要なことは、集団サイズであるN個の線列が交配プールに入るまで淘汰を行なうことであり、適応度の高い線列が2回選ばれることが生じることである。

交叉プロセス：適応度の高い2つの個体についてその線列を入れ換えるプロセスである。前世代から選ばれた複数の線列（交配プールに入った線列）からランダムに交叉する2つの線列を決める。この組において、線列の分断箇所を一様乱数（整数列）を発生させて決め、線列の分断箇所から後半部をいれ換えて新しい線列を作成する（これは一点交叉法と言われている）。交叉した新しい線列について前のプロセスである淘汰を行い、線列を進化させて行く。

突然変異プロセス：GAのプロセスは上記、淘汰と交叉の繰り返しとなるが、この繰り返しの中である位置の線列の値が同じものとなり、限られた線列しか生成されなくなる場合がある。このことを避けるために低い確率で突然変異を発生させる。突然変

異を起こすか否かを確率により検討し、その線列が決まると、線列のどの位置の文字（遺伝子）を変えるかを一様乱数によりランダムに選び、機会的に文字を入れ換える（2進数の場合は0なら1へと変換）。経験的に、突然変異を起こす確率は0.001-0.003位が良いとされている。

GAでは以上のプロセスの繰り返しとなるが、この繰り返しの打ち切り基準は、一般に以下の3つの条件のどれかを当てはめることが多い。①適応関数の値が以降の数世代において更新されないとき、②適応関数値の低い線列が集団サイズの多くを占めたとき、③世代が任意に決めた最大世代数を越えたときである。

(2) 航空ネットワーク最適化問題

本研究では、GAの有効性を検討することが目的であることから、厳密解が求まる比較的単純な航空ネットワークを対象として解の比較と、計算効率の比較を検討することとした。その後で、応用例として、ネットワークを複雑化しての検討もする。

GAの有効性を検討するための航空ネットワーク最適化問題は航空機のスケジューリング問題であり、詳細は以下のとおりである。まず、対象とした航空ネットワークは図-1に示すハブ&スポーク型であり、OD旅客数とOD間所要時間は所与とする。最適化の目的関数は一日における航空旅客輸送数の最大化であり、分析上の制約条件等は次のとおりである。①航空機の座席数は19席とする、②航空機の運航可能時間帯は8時から17時とする、③④航空機数が2機、3機、4機の場合について分析する、⑤図中のOD間所要時間の中には機材整備の時間も含まれているとする、⑥図中の第1空港（ハブ空港）に駐機場があるとし、各機材の運航開始と終了は第1空港とする、⑦機材運航は運航時間に利用客が1人でも居れば運航することとする。

スケジューリング問題で工夫が必要なことは、機材の運航時刻にあわせて需要が局所的に変動することである。具体的には、利用者の希望出発時刻には幅があり、機材の運航時刻との関係で、希望出発時刻に近い便を利用する（希望出発時刻を遅らせるか、早めて利用する）という現実である。本研究では、1986年丘珠空港で実施した希望出発時刻調査をもと

に、次の関係を仮定して、運航時刻ごとの利用者数を決定した。①時刻を30分刻みにとり、利用者の希望出発時刻に機材が運航されればその時刻の利用者は全てその機材を利用する、②希望出発時刻に運航されない場合は、希望出発時刻と運航時刻との差が大きくなればなるほど、その便を利用しなくなる。この概念図は図-2のとおりであり、時刻別OD需要が与えられ機材運航時刻が決められると、運航時刻の需要はもとより、運航時刻に近い時刻に出発を予定している需要の一部をもかき集めて機材の利用客とすることを示している。なお、運航時刻と利用客の関係は、1986年の調査をもとに定式化して分析に用いたが、この定式化については参考文献4)にあげた筆者の論文(1987)を参考とされたい。

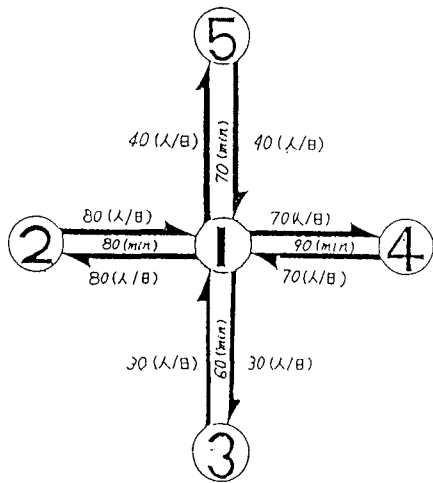


図-1 基本とする航空運航網

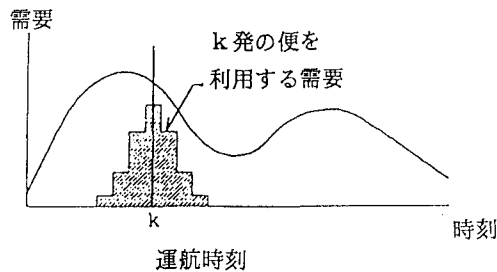


図-2 運航時刻と需要の概念図

(3) GAへの定式化
航空ネットワーク最適化問題に応用した本論文の

GAの概要について以下に説明する。

(a) 初期化プロセス

航空機のスケジューリング問題に適用するにあたり、本研究では機材の循環ルートを数値化したものを設計変数とした。本研究では、GAの線列を2進数で与え、1つの設計変数は4つのビット、つまり4桁の2進数で表わされる0から15の値とした。これに対応して、図-1に示す4つの拠点循環ルート(1→2→1、1→3→1、1→4→1、1→5→1)を以下の様に0から15までの設計変数に当てはめた。例えば、線列(2 8 5 4 1 6 3 7)は、線列の左から順に設計変数を読み取り、機材が最初に循環ルート1→4→1(設計変数2)を飛行し、次にルート1→2→1(設計変数8)、以下設計変数5、4、1、6、3、7と飛行することを示す。4桁の2進数を用いた理由は、解探索の効率を上げるためであるが、これがあまり多くなる(5桁、6桁等)と後述する線列の長さとの関係でかえって計算効率が落ちる(適応関数値の計算時間が長くなるため)。

- 1→2→1 ; 0、4、8、12
- 1→3→1 ; 1、5、9、13
- 1→4→1 ; 2、6、10、14
- 1→5→1 ; 3、7、11、15

次に、本研究で扱う線列の長さは、2進数で160桁とし、これは4桁で1つの設計変数を表わす先の定義から40個の箱を用意したことを意味する。40個の箱を用意した理由は、機材数・各路線の所要時間・運航時間帯に関係し、本研究の問題設定において1機材で1日に運航しうる最大循環ルート数が7以内であり、4機材までの分析であるから28個以上の箱を用意すれば十分と考えたからである。

本研究では制約条件のない最適化問題として定式化した。前節で挙げた制約条件は、設計変数の与え方と線列の組み方で対応できる。具体的には、複数機材への対応は、1つの線列を分解して複数機材の循環ルートを作ればよい。また、各路線の所要時間が一定ではなく、1日の決められた運行時間内に運行することができる路線数は各機材ごとに異なってくるのが考えられる。このため、線列を運行時間、循環ルート、各路線の所要時間から各機材に対応する長さで切らなくてはならない。本研究では、運行

時間帯から分かる循環数の最大値をあらかじめ与え、これ以上の探索を行わないようにした。

この様に、GAでは、多くの場合、設計変数の与え方と線列の組み方で制約条件に対応できるのが特徴であり、この初期化プロセスが重要と言われる理由である。また、GAにおいては、多数の線列を同時に扱うが、その個数Nを集団サイズといい、本研究では10とした。GAによる最適化の初期には、ランダムに線列を発生させることとした。

(b) 適応関数と淘汰プロセス

GAでは、各線列の適応関数の値の相対的な関係が、線列を次世代に残すか残さない(淘汰)かの判断材料になる。本研究は、一日における航空旅客輸送数の最大化問題であるので、各線列に対応する航空旅客輸送数をそのまま適応関数とすることもできる。しかし、この方法では、最適化の初期において、適応関数の値がかなりばらついたり、後期において、適応関数の値の差が小さくなることが多いと指摘されている。GAでは、適応関数の値のばらつきが大きいと値の小さな線列が淘汰されやすくなりこれは最適化の初期には好ましくなく、また、ばらつきが小さいと淘汰が進まなくなり最適化の後期には好ましくない。そこで、目的関数である一日における航空旅客輸送数をそのまま使うことはせず、次式で適応関数に変換することにした。

$$F_i(t) = \max(a\Phi_i(t) - b, 0) \quad (i=1-N) \quad (1)$$

ここで、係数a、bは次式である。

$$\left. \begin{aligned} a &= \frac{\Phi_{avg}(c-1)}{\Phi_{max} - \Phi_{avg}} \\ b &= \frac{\Phi_{avg}(c\Phi_{avg} - \Phi_{max})}{\Phi_{max} - \Phi_{avg}} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

tは世代数、 Φ_{avg} 、 Φ_{max} は、それぞれ各世代における費用便益比の平均値及び最大値である。

式(1)の関係を図-3に示したが、 $\Phi_{min} \sim \Phi_{max}$ の範囲の費用便益比を、 $0 \sim c\Phi_{avg}$ の範囲の適応関数に変換していることになる。

式(1)の適応関数の値を用いて、次世代に残すN個の線列が決定される。この過程を淘汰という。

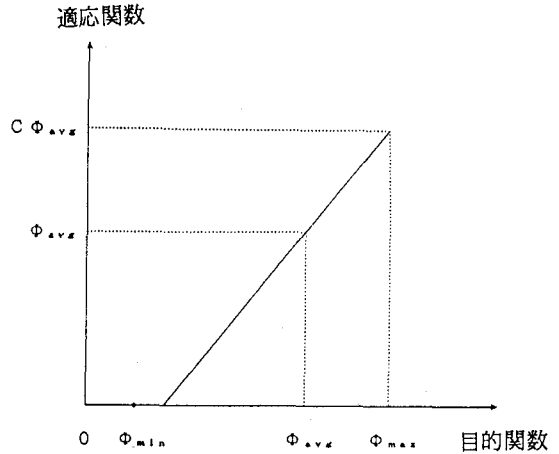


図-3 目的関数の適応関数への変換

まず、 $F_i(i=1 \sim N)$ の平均値 F_{avg} が計算され、適応関数の値が F_{avg} より大きい線列は、その値に応じて優先的に残されることになる。線列iが次世代に優先的に残される数 n_i は、次式で計算される。

$$n_i = \text{INT}[F_i / F_{avg}] \quad (i=1-N) \quad (3)$$

ここで、 $\text{INT}[\cdot]$ は、 $[\cdot]$ 内の実数値の小数点以下を切り捨てて整数化する関数である。

適応関数の値 F_i は、式(2)のcの値によりコントロールされるのが、以下に説明するように、cの値が大きければ、最大の適応関数の値に対応する線列は多数残ることになる。

式(3)により、各線列のうち優先的に次世代に残る数が決定されるが、その総和は一般的にはNよりも小さいので、残りの線列は確率的に決めることにする。各線列が次世代に残る確率は、次式で計算される $\bar{F}_i(i=1-N)$ の相対的な関係により計算される。

$$\bar{F}_i = F_i - n_i F_{ave} \quad (i=1-N) \quad (4)$$

$0 \sim 1$ の間を、 $\bar{F}_i(i=1-N)$ の値に応じて比例配分し、次に $[0, 1)$ の一樣乱数を発生して、1つずつ線列が選ばれることになる。この時、1度選ばれた線列の $\bar{F}_i$ の値は0にされる。

以上により、淘汰された新しい線列集合が作成され、次の交叉の手続きに移ることになる。

(c) 交叉プロセス

GAでは、前記の淘汰により、適応関数の値の大きい線列が密度濃く次世代に残され、小さい線列は薄く残される。そして、交叉プロセスにより新しい

子線列が形成されることになる。基本的には、この2つのプロセスの繰り返しにより最適化が進められると考えられる。

交叉では、まず2つの線列（親線列）が任意に選ばれこれらの親線列間でビットを交換して新しい子線列が形成されることになる。本研究では、以下に説明する交叉法で検討した。

この方法は、GAでは1点交叉法と呼ばれるもので、まず、親線列の切断箇所を任意に決め、子は、親の切断箇所の左右のビットの個数の多い方をまず受け継ぐことにする。次に、親の左側を受け継いだ子は、他方の親の左から順に見ていき、重複しない数字を左から順に入れていく。また、右を受け継いだ子は、他方の親の右から順に見ていき、やはり重複しない数字を右から入れるという方法である。

例えば、親線列が、

親A：2 8 5 4 1 6 3 7
親B：7 4 6 3 8 1 2 5

であり、切断箇所が、上に示すように左から5番目だった場合、子線列は次のようになる。

子A：2 8 5 4 1 7 6 3
子B：7 4 6 3 8 2 5 1

交叉において、2つの親線列が任意に選択された後に、交叉は必ず行われるわけではなく、あらかじめ与えた交叉確率 P_c で行われることになる。本研究ではその交叉確率を0.7とした。

(d) 突然変異プロセス

繁殖・淘汰と交叉が、最適化に関しては主要な働きをすると考えられるが、それだけでは、探索範囲が限定される、あるいは初期収束の恐れが残る。そこで、突然変異を与え、比較的低い確率で、ビットのある部分を強制的に変換することを行う。本研究では、切断箇所を任意に2箇所決め、その切断箇所の間の数字の並びを入れ替える方法で検討することとし、突然変異の確率を0.001と設定した。

(e) 収束条件

GAにおいては、必ずしもすべての線列が同じ組み合わせになるまで計算を進める必要はなく、ある時点で計算を終了し、さかのぼって最良の組み合わせを捜すのが良いと考えられる。本論文では以下の条件のいずれかを満足したら計算を終了させた。

・最大世代数：100、に達した場合。

- ・すべての線列が同じになった場合。
- ・一日における航空旅客輸送数の最大値が以降の20世代で更新されない場合。

4. ケーススタディ

(1) 厳密解法との比較

図-1に示す例をもとに、GAの結果と列挙法による厳密解の比較を行なった。その結果は表-1に示すとおりであり、機材2機、3機とも解が一致した。また、表-2に[FUJITSU M-380]による計算時間を示したが、解探索の時間はGAで数秒程度となっていることが分かる。これは、列挙法では、1機目の循環ルートを決定した後に2機目、3機目を計算していくのに対し、GAでは1本の線列に全ての機材データを与え解を探索するためでもある。

また、機材4機の場合、列挙法では16の階乗の組合せ数の計算となり、計算時間がかかりすぎて大型計算機でも分析不能であった。しかし、GA手法を用いると僅か3秒で計算できることが分かった（

表-1 計算された循環ルート（列挙法・GA法）

	循環ルート	総輸送人数
機材 2機	121215121	295 人
	151314141	
機材 3機	151412131	381 人
	131412121	
	121515141	

表-2 列挙法とGAの計算時間の比較

	列挙法	GA法
2機	4秒	3秒
3機	113秒	1秒
4機	240秒以上	3秒

ただし最適解の保証はされていない)。

ここで、計算時間のみに着目すると、機材が2機の場合の方が1機より計算時間が短いことが分かる。これは、GAでは1本の線列に全ての機材データを与え解を探索するため、機材数の多い方が線列計算終了の収束条件を早く満たす場合も存在するためと考えられる。

(2) 応用例

ここでは、応用例として、経路便の存在するネットワークで、かつ機材運航時間を5時-23時に拡張した場合を検討する。想定した航空ネットワークは図-4であり、前節のハブ&スポーク網(図-1)と空港数は同じでも、基幹空港①から④空港、そしてさらに⑤空港へと多段にネットワークが構成されている場合を想定した。

従来の数理計画手法では、このような経路便、すなわち多段ネットワークの分析は組合せ数が階乗的に増加するため解析が難しいとされてきた。具体的には、前節のハブ&スポーク網では3章3節で示した4つの循環ルートの組合せであったものが、図-4のネットワークでは後で述べる最低6つの循環ルートを考えなくてはならず、この2個の組合せ数の増加が階乗で効いてくるため、計算効率に決定的な問題を生じさせる。

また、機材運航時間の拡張は、4章1節の結果から分かるように1機当たり4循環ルートしか運航せず、4機運航でも先に設定した線列長(最大40循環ルートまで解析可能)の半分も使っていない。本研究では、GAの線列の長さと計算効率との関係を調べる意味からも、運航時間を倍増させた場合の解析を行なうこととした。従来の計画数理手法での解析では、運航時間増加は検討する組合せ数に直接関係してくるものであり、空港数を増やした場合や機材数を増加させた場合と同様の計算量の増加となる。

なお、分析に必要なOD交通量とOD所要時間は表-3のとおりであり、所要時間には機材整備時間と乗り継ぎ時間を含むものと仮定した。また、使用機材は100人乗りとし、5-23時の需要分布はやや問題があるが先の8-17時の需要分布を単純に相似拡大し、出発時刻に関連させ30分ごとに与えた。さらに、運航時刻と利用客の関係は3章2節

と同じとし、機材の駐機は①空港とした。なお、GAにおける確率などは先の分析例と同じである。

表-3 OD需要・所要時間

② --- ① --- ③	OD	需要	時間
	1-2、2-1	880	90
	1-3、3-1	820	90
	1-4、4-1	370	40
	4-5、5-4	200	60

図-4 運航網(2)

経路便の存在する分析では、全ての機材は最終的に①空港にもどる必要があることと、ネットワーク端末での運航を考えて、GAの設計変数割当に工夫が必要である。本研究では以下の6つの循環ルートに0から15の設計変数を割り当てることとした。

1→2→1	5、11
1→3→1	0、6、12
1→4→1	1、7、13
4→5→4	2、8、14
1→4→5→4	3、9、15
4→1	4、10

重要な点は、線列上の組合せで、運航ルートとして連続しないものと、機材が最終的に①空港にもどれないものは、適応関数を計算する前の淘汰プロセスで排除する方法をとることとしたが、GAの場合、この操作を機械的に処理できことが特徴である。

機材数2機、3機、4機の場合の計算結果を表-4に示す。なお、分析結果の厳密解との比較は、機材2機の場合でも16の階乗の組合せ数があるため不可能である。分析結果から次のことが分かる。①表-1のハブ&スポーク網の計算時間と比べて時間は多くかかっているがその程度は従来の方法に比べてGAでは数秒程度と画期的に減少している、②この主な理由は運航時間増加による線列長の増加にあると考えられる、③この事例における全需要量に占める総輸送人数の割合は機材の増便とともに増加しており、2機で56%、3機で78%、4機で96%となっている。以上、本節ではGAの適応ネット

ワークの拡大可能性を検討したが、経路便の解析においても問題なく解が求まることが分かった。

表－4 計算された循環ルートと計算時間
(経路ルートのある場合のGA結果)

機材 数	循環ルート	総輸送 人数	計算 時間
2機	141413121312121	2520	2.9 秒
	12121454131314141		
3機	14131413121414131	3877	4.3 秒
	12141414541212131		
	12145412131454141		
4機	121212121213141	4337	9.0 秒
	14541213121414541		
	14131413145413121		
	14541314541412131		

5. おわりに

本研究は、遺伝的アルゴリズムを航空ネットワークのスケジューリング問題に適用したもので、その有効性が確かめられた。特に、本研究で工夫した点とGAの特徴を生かした点は以下のとおりである。

- ① 1つの線列に複数機材のデータを当てはめたこと、
 - ② 線列の長さを固定せず、運航時間と所要時間の関係から線列の長さを決定するよう工夫したこと、
 - ③ 設計変数として機材の循環ルートを用いたこと、
- これらの、本研究独自の工夫により、GAの解探索をより効率的にできたと考えられる。

本来GA手法はより複雑な離散型組合せ最適問題の解法に優れた方法であり、今回の分析対象はGAの能力を十分に生かしたものとは言えない。この点については、より大規模な実際のネットワークへの適応や、高速鉄道と航空など異種ネットワークの組合せ最適化問題への適用へと発展させることが必要である。また、航空特有の需要構造予測や機材整備・乗員配置などを内包したGAのシステム環境構成を考えることも重要な課題であろう。

あくまでも私見ではあるが、GAはその解法上、

構造が明解な問題の解析的というより、粗い制約条件のもとで取りあえず解を求めるような問題に適していると思われる。この意味では、構造解析的な部分はニューラルネットワーク等でサブシステムを作っておき、最終的に全体をGAで解く様なシステム構成も必要と考えられる。これらは全て、今後の課題である。

参考文献

- 1)Simpson Robert W. : Scheduling and Routing Models for Airline Systems , MIT Dep. of A&A Report 1969.
- 2)Eriksen Steven E. : Demand Models for U.S. Domestic Air Passenger Markets , MIT Dep. of A&A Report 1978.
- 3)Chan Y. : Route Network Improvement in Air Transportation Schedule Planning , MIT Dep. of A&A Report 1972.
- 4)田村亨、稲野茂：地域航空における機材の最適スケジュール、土木計画学研究・論文集5、(1987)。
- 5)徳永幸之、稲村肇：多空港間航空ネットワークのスケジュール、土木計画学講演集、13、(1990)。
- 6)鬼柳雄一、徳永幸之、稲村肇：整数2次計画法による航空機材のスケジュール モデル、土木計画学講演集、15、(1992)。
- 7)Etschmaier M.M.& Mathaisel D.F.X. : Airline Scheduling ; An Overview , Tras. Science , Vol 19 , No2 , (1985)。
- 8)徳永幸之、稲村肇：ダイミックス・プログラミングによる航空ネットワークのスケジュール モデル、土木学会論文集、No.440/IV-18、(1992)。
- 9)Holland J.H.:Adaptation in Natural and Artificial Systems , Univ.Michigan Press ,(1975)。
- 10)岡部秀彦：Genetic Algorithm、日本ファジィ学会誌、Vol 13 , No.4 (1991)。
- 11)計測と制御「特集 遺伝的アルゴリズム」、Vol.32 , No.1 , (1993)。
- 12)須貝康雄、平田広則：組合せ最適化アルゴリズムとその応用、計測と制御、Vol.29 , No.12、(1990)
- 13)小林重信：遺伝的アルゴリズムの現状と展望、計測自動制御学会 第4回知能工学会講演会資料、(1993)。
- 14)小林重信：遺伝的アルゴリズムの現状と課題、計測と制御、Vol.32 , No.1 , (1993)。