

IV-35

鉄道と航空の連携方策に関する研究  
 -GAを用いた複数モードのスケジュールリング-

室蘭工業大学	学生会員	○ 有村 幹治
北海道開発コンサルト(株)	正会員	浦田 康滋
室蘭工業大学	正会員	田村 亨
苫小牧工業高等専門学校	正会員	栴谷 有三
室蘭工業大学	正会員	斉藤 和夫

1 はじめに

近年、ヨーロッパでは、鉄道と航空ネットワークの連携が注目されている。わが国においても、羽田、成田の容量制約を解決するために、新たに空港を造り、高速鉄道が乗り入れることによって、短時間で需要を輸送し、空港の容量を確保するという議論がある。しかし、異種間ネットワークの連携を扱った研究は、これまでにあまりなされていない。その理由は、各モードがそれぞれ違う制約条件をもっていること、各モードのスケジュールが他のモードに互いに影響して定まらないこと、各モードのスケジュールの組合わせと2種類のモードの組合わせによって全体のスケジュールの組合わせ数が膨大な数になるため、解の探索が困難なこと、である。本研究は、制約条件の多い複合モードのネットワークのスケジュールリング問題にGAを適用したものであり、ケーススタディを解いて、構築した手法の有効性を確認する。

2 複合モードの連携スケジュール最適化問題

(1) 対象ネットワークとGAの設計

本研究は、航空と鉄道の異種ネットワークが連携する際、全体のネットワークとして各スケジュールの最適な組み合わせをもとめることを目的とする。対象とした複合ネットワークは図-1に示すハブ&スポーク型の航空ネットワークに単一路線の鉄道が

大都市間を運行することを想定する。また旅客は地方都市から大都市へ、または大都市から地方都市へ、ハブ空港を経由して移動するものとする。

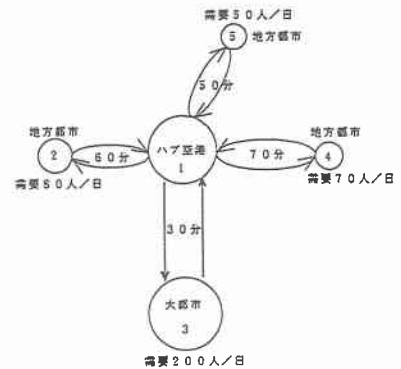


図1 対象とする航空・鉄道のネットワーク  
 (2) 線列の考え方

GAをスケジュール問題に適用するとき、初期化プロセスが重要になる。つまり設計変数の与え方と線列の組み方である。本研究では、1つの線列に鉄道と航空の2つのモードの運行ルートを与えることによって2つのスケジュールが同時に得られるようにした。線列を解析する際に設計変数の値によって、その設計変数を航空機の設計変数と鉄道の設計変数に分け、運行時間に合わせ別々に解析し、スケジュールをたてる。つまり1つの線列は2つのモードの1日のスケジュールを表していることになる(図-2)。1つの線列は1日の総輸送量を最大とするように進化していく。(目的関数の設定)

スケジューリング問題で工夫が必要なことは、機材の運行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、機材の運行時間との関係で、希望出発時刻に近い便を希望出発時刻を遅らせるか、早めて利用する現実である。そこで、①利用者の希望出発時刻に機材が運行されると、その時刻の利用者はすべてその機材を利用する、②希望出発時刻に運行されない場合は、希望出発時刻と運行時刻との差が大きくなるほど、その便を利用しなくなる。と仮定して、運行時刻ごとの利用者数を決定する(図-3)。モデル式は以下のとおり

$$R_{ts} = 1 - |s - t| * K_s$$

ここで

- $R_{ts}$  : 時刻  $t$  を希望する人で時刻  $s$  の便を利用する割合
- $t$  : 希望出発時刻
- $s$  : 列車の出発時刻
- $K_s$  : 1時間経つとその便を利用しなくなる割合

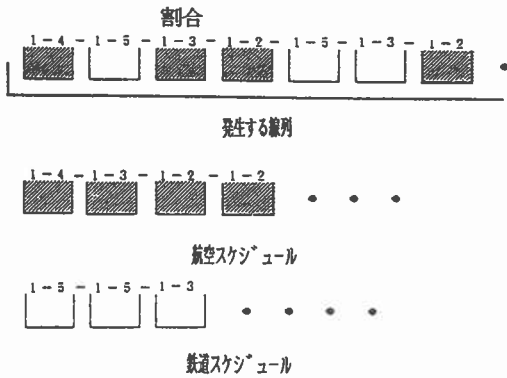


図2 線列の概念

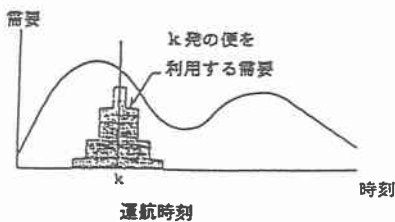


図3 潜在需要の顕在化

(3) 需要分布の考え方

既存の研究では1種類の機材のネットワーク構成により、各路線の需要とその希望出発時間の分布を

1つ与えることによって、最適化することができた。しかし、異なるネットワークを連携する場合、ハブ空港での需要は都市のそれと同じ形とはならない。つまり、他のネットワークのスケジュールしたいで、ハブ空港から各拠点への需要分布が変化するためである。よって各路線の上りと下りの希望出発時刻の分布を別々に与えるものとする。

各都市からハブ空港への需要分布は固定して与える。この需要は都市の潜在需要であり、希望出発時刻に便がない場合、旅行をとりやめることもあると考えている。

ハブ空港から各都市への需要は、図-2で示した2つに分けた線列より航空スケジュールと鉄道スケジュールを解析する際、航空機がハブ空港に降ろした客が、鉄道で大都市に向かうその時間の需要となる。また列車がハブ空港に降ろした客が、航空機で地方都市に向かうその時間の需要となる。概念図を図-4に示す。

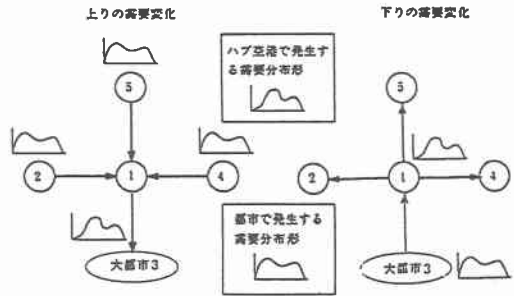


図4 上り・下りの需要変化

ハブ空港で乗り継ぎをする場合、希望出発時刻帯より早い時刻の便に乗ることは不可能である。またあまり遅い時刻の便だと、待ち時間が大きくなる。そこで、希望する運行時刻と実際の運行時刻の差による利用者の利用率のを、空港で乗り継ぎに1時間以上の待ち時間がある場合、客は他のアクセス交通機関を利用してしまふこととして、モデル式を以下のようにした。

$$R_{ts} = 1 - (s - t) * K_s$$

$$S > T$$

$$K_s = 1$$

$$R_{ts} < 0 \text{ の場合: } R_{ts} = 0$$

本研究では、航空スケジュールは、従来の研究どおり設計変数に航空ルート当てはめ、解析している。つまり図-1の航空ネットワーク部の3つの循環ルートが、設計変数となる。線列の左から設計変数を読み取り、1日の航空スケジュールとしている。例えば、線列が(2 8 4 6 3 7)と生成される。この際、あらかじめ2は循環ルート①→②→①、8は循環ルート①→④→①等、決めておくことにより設計変数を循環ルートに変換する。

鉄道スケジュールには、数種類の運行所要時間のバリエーションを設計変数に入れた。これは路線の所要運行時間は同一でも、ハブ空港、大都市での待ち時間が異なる考えによる。例えば、3種類の運行所要時間を考え、鉄道路線は実際は単路線であるが以下に示すように3種類の仮定の路線を設定する

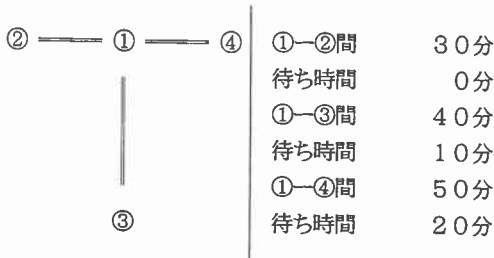


図5 3種類の鉄道運行

①は大都市を示しており、②、③、④は同じハブ空港を示している。よって各路線間の需要の値は等しくなる。1-4-1と設計変数に入ると、実際の路線では大都市とハブ空港間を往復するのに100分要することになる。①から②、③、④への需要とその分布は、大都市から発生するものであるから、固定するものとする。②、③、④から①への需要と分布はハブ空港から発生するものとなるので、航空スケジュールにより変動する(同様に空港ネットワークの、ハブ空港から地方都市への需要と分布も、鉄道スケジュールにより変動する)。また、例えばスケジュールの線列が1-2-1-3-1-4-1となるとする。その際、仮想路線の1-2を運行したときの積み残し客が、次の1-3間の需要になるように、次々とスライドさせることで、実際の路線に合うように工夫した。

#### (4) 最適化のながれ

複合モードの連携スケジュールの最適化におけるGAの線列解析のながれを、簡単に以下に示す。

- 1) 生成された1つの線列から航空機と鉄道に分ける。
- 2) 1日の始発と終着の各運行時間にあわせ、航空スケジュールは各ルートを設計変数として、鉄道スケジュールは運行所要時間を設計変数として別々に組み合わせる。
- 3) 2つを時系列にそって重ね合わせる。この時点で1つの複合ダイヤが生まれる。
- 4) 時系列の早い方から、その便の利用者数を計算する。下り列車の利用者よりハブ空港での需要を得て、下りの航空機の利用者を計算する。同様に、上りの航空機の利用者より上り列車の利用者を計算する。
- 5) 終着便までの利用者数を計算し、1日の総輸送人数(目的関数)をえる。

以上の解析で目的関数を計算し、線列をGA上で淘汰、交叉、突然変異させて、最適解を探索する。

### 3 ケーススタディ

図-1のネットワークを用いて連携スケジュールを検討した。航空機の機材数を3機とし、定員数は25人とする。運行時間は8時~18時とする。鉄道の機材数は1機とし、定員数は40人とする。運行時刻は7時~20時とする。航空機はハブ空港から始発しハブ空港に到着するものとする。列車は大都市を始発し大都市に到着するものとする。

ここでは、ハブ空港の需要分布を毎時刻ごとの希望出発時刻の分布に以下の方法で変換、計算した。まず航空スケジュールよりハブ空港での上り便の需要分布をえる(図-6)。降客は準備等に30分程かかるものとし、需要分布を30分後ろにずらしたものが希望出発時刻帯の分布となるのだが、ここでは希望出発時刻帯は1時間単位としたので、30分後の次の時刻に希望するものとした。また30分間中に時刻の変わるものについては、時刻を過ぎた時間の割合で人数を振り分けた。希望出発時刻の分布を図-7に示す。

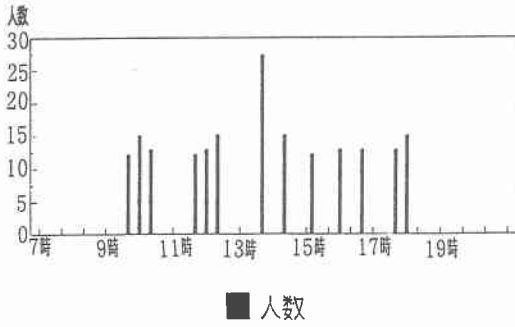


図6 ハブ空港での上り便の需要分布

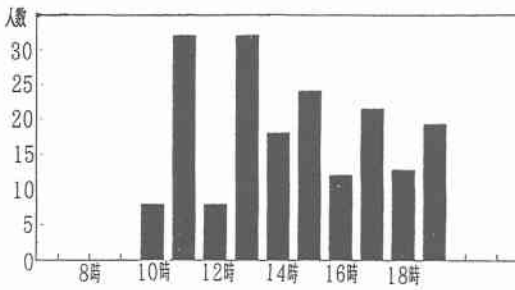
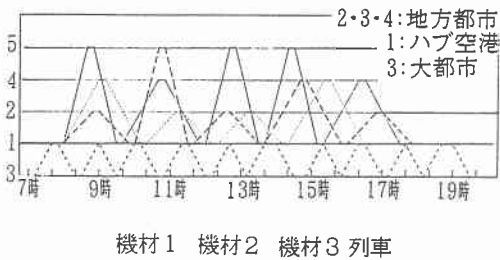


図7 希望出発時刻の分布

ハブ空港からの鉄道利用客の特性のモデル式より、ハブ空港～大都市間の鉄道利用者数を求める。大都市～ハブ空港間の鉄道利用者数は、従来のモデル式と、大都市の希望出発時刻の分布によって求める。運行時間の種類は、図-5で示したとうりとする。解析結果をダイヤ化すると図-8のようになった。ハブ空港の客は、空港から鉄道への乗換時に1時以上待つことなく全員乗車でき、航空機から鉄道と連携した、全体スケジュールとなることがわかった。



機材1 機材2 機材3 列車

図8 航空と鉄道のダイヤ

#### 4 おわりに

本研究は、遺伝的アルゴリズムを複合ネットワークのスケジュールの連携に適用したもので、以下の点を工夫したことで、GAの特徴を生かしながら複合ネットワークのスケジュールを行った。①1つの線列に異なる機材のデータをあてはめたこと、②設計変数は循環ルートと所要運行時間（待ち時間）とし、別々に当てはめたこと、③ハブ空港での利用客の動向を考慮に入れ、上りと下りの需要を別々に与えたこと、これらの工夫によって複合ネットワークのスケジューリング問題を複雑化させる制約条件に対応できたと考えられる。今回は、ケーススタディで試験的に、ハブ空港で発生する需要を希望出発時刻に変換させた。しかし、その手法も充分とはいえず、今後の課題としたい。GAは複雑な離散組み合わせ最適問題の解法に優れており、今回の対象ネットワークはGAの能力を十分に生かしきれたものとはいえない。また、機材整備、乗員配置などをからの視点によるGAのシステム構成や、目的関数を自然環境や騒音レベルとするような、社会的視点から考えることも、これから重要な課題になってくると考えられる。

#### 参考文献

- Gabbert P.S., Brown D.E., Huntley C.L., Markowicz B.P., Sappington D.E.: A System For Learning Routes and Schedules with Genetic Algorithms, Proceedings of The Forth International Confence on Genetic Algorithms, pp.430-438. (1991, Jure)
- 田村亨、稲野茂：地域航空における機材の最適スケジューリング、土木計画学研究・論文集5 (1987)
- 田村亨、金子裕一、杉本博之：遺伝アルゴリズムを用いた航空スケジューリングの最適化、土木計画学研究・論文集11 (1993)
- 計測と制御「特集 遺伝的アルゴリズム」Vol. 32, No. 1, (1993)
- 稲野茂：コンピューター空港のネットワーク構成に関する研究 北海道大学 情報工学選考修士論文 (1986)
- 徳永幸之、稲村豊：多航空間航空ネットワークのスケジューリング 土木計画学研究講演集13 (1990)