

GAを用いた複数モードのスケジューリング*

Application of GA Method to Multiple Modes Scheduling

浦田康滋**、有村幹治*** 田村 亨****、榎谷 有三*****、斉藤 和夫*****

by Kouji URATA **, Mikiharu ARIMURA *** , Tohru TAMURA **** , Yusou MASUYA ***** , Kazuo SAITO *****

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、例えば新潟空港と首都圏を新幹線鉄道で直結し空港連携を行って、空港の容量を確保しようという議論がある。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りにくいこと、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、制約条件の多い複数モードのスケジューリング問題にGAを適用したものであり、ケーススタディを通して、構築した手法の有効性を確認することを目的とする。

本研究で対象とする鉄道と航空機の連携については交通搬具の輸送力にそもその差があり、実際には、千歳空港などの年間輸送量1000万人(1日約3万人)を越える大空港が対象となろう。その場合、航空機の運行は、時間に対して一様に分布していると仮定してもよいと考えられる。この意味では異種モードのスケジュールを同時に解く必要性は無いと考えられがちである。しかし、“ルフトハンザ”エクスプレスが運行されていた様に、運賃の相互乗り入れを含めた運行を考える場合など、交通事業者にとっては、スケジュール問題

は重要な検討課題である。なお、スケジュール問題にGAを使った研究は、貨物列車のダイヤグラム¹⁾を対象にして既になされている。

3 線列とそれを構成する遺伝子の設計

本研究は、航空や鉄道等の異種ネットワークが連携する際に、異種間のスケジュールを全体のスケジュールとして最適化するものである。GAを連携スケジュール問題に適用するとき問題になるのは、スケジュールという時間と空間で構成される情報を、いかにGAに与えるか、具体的には、GAの初期化プロセスで与えられるランダムな値を持つ線列に、いかに各スケジュールの持つ異なる条件(ネットワークが決められている場合の交通搬具数、ルート数、待機時間等)の情報(遺伝子)を当てはめるかにある。これらの条件数が増えるほど、全体のスケジュールを組む際に、その組み合わせ数は爆発的に増加する。

(1) 機材・列車など交通搬具の設計

1本の線列に、複数の交通搬具の情報を取り込むことで、複数モードのスケジューリングが可能となる。そのイメージ図は図1に示すとおりである。

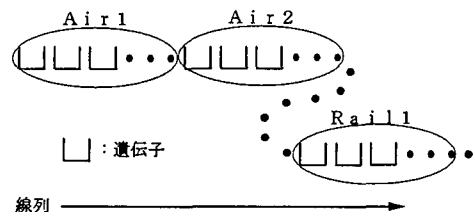


図-1 交通搬具の設計

(2) 運行ルートの設計

①遺伝子の設計

本研究では、線列を構成する遺伝子に各モードの運

* キーワーズ: 遺伝的アルゴリズム、スケジューリング、ネットワーク分析

** 正員 北海道開発コンサルタント(株)

、*、***** 学生員、正員 室蘭工業大学

(室蘭市水元町 27-1 Tel 0143-47-3419)

***** 正員 専修大学北海道短期大学

行ルートを考えた。例えば、航空ネットワークが図5に示すハブ&スポーク型をしている場合、空港1-2-1を巡回するルートをルートA、空港1-3-1をルートBなどである。具体的な線列と遺伝子の関係を示すと、まず、ランダムに与えられる2進数の線列を任意のBit数で区切り、10進法に直して、遺伝子とし、各交通搬具に振り分ける(①の作業)。そして、各機材・列車に振り分けられた遺伝子をルート情報として意味付ける(②-①の作業)。例えば、4Bitの場合16種類の遺伝子与えられるが、それを図5の航空ネットワークに適用する場合は、図2の様に振り分けることとなる。よって、遺伝子の番号が同じでも、鉄道と航空において、運行ルートの持つ意味は異なる。

飛行ルート

ルートA	0	4	8	12
ルートB	1	5	9	13
ルートC	2	6	10	14
ルートD	3	7	11	15

図-2 飛行ルートの設計

②運行に関する制約条件の内生化

GAは、確率的最適化手法であるため、制約条件や後述する致死遺伝子をできるだけ生じさせない様に、問題を定式化することが重要である。本研究では、運行時間制約をGAの中に取り込む工夫をした。具体的には、例えば航空機1の運行ルートを示す「線列の部分」には、1日で運行可能な最大ルート数分の遺伝子の箱を用意し、目的関数の計算段階で航空機1の運行時間を加算して行き、終業時間を越える前の遺伝子の箱までしか運行ルートとして認めない方法を取った。これにより、図3に示す様に、遺伝子の箱は用意されているものの、実際には使われないことのない(意味の持たない)遺伝子が発生する。一般に、これを致死遺伝子と呼ぶが、線列を切断することは、使われない余分な遺伝子を線列に含ませることになるので、できる

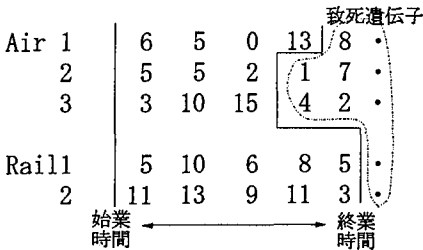


図-3 線列の切断と致死遺伝子

だけ致死遺伝子が発生しないように、各モードの運行時間帯と拠点間の運行時間の関係より、線列を設計する必要がある。

(3) ターミナルでの乗継ぎ待機時間等の設計

複数モードのスケジューリングで重要なことは、乗り継ぎターミナルでの乗換え抵抗である。ここでは、単純に、乗継ぎ待ち時間によってそれが長くなるに従って、移動予定者の行動回避が高まるとして、目的関数の計算を行っている。この乗継ぎ待ち時間は、スケジューリング上は、機材の待機時間と運行時間によって設定される。運行時間は(2)の作業で一律に決まるため、問題となるのは、ターミナルでの待機時間であり、例えば、ハブ&スポーク型航空ネットワークの場合、ハブ空港とスポーク空港での時間調整待ちとして与えられる。この要因を遺伝子情報にすることは、(2)のルート設定の中に、待ち時間を導入すればよい。具体的には、待機時間として、a, b, c, dの4種類を考えた場合、図4の様に、運行ルートと待ち時間の16種類の組み合わせを設定できる。勿論、これは、鉄道ネットワークについても同様に設定できる。

待機時間

飛行ルート	待ちa	待ちb	待ちc	待ちd
ルートA	0	4	8	12
ルートB	1	5	9	13
ルートC	2	6	10	14
ルートD	3	7	11	15

図-4 待機時間の設計

4. GAの定式化と解法手順

(1) 目的関数の設定

目的関数は、機材・列車の運行により、輸送できた人数を最大化するものである。なお、運行ダイヤによる、利用する人々の数の変化は参考文献2)で設定した、潜在需要と待ち時間の関係から算出した。目的関数の設定として、乗継ぎ抵抗の最小化も考えられるがこれは、今後の研究課題である。また、先に述べた様に、本分析では、制約条件を線列の中に全て組み込んでおり、設定していない。

(2) ネットワークにおける目的関数算出の手順

各モードのスケジュールを時系列にそって重ね合わ

せることで、1つの複合ダイヤが生まれる。時系列の早い方からモード間の「乗り継ぎ」を考慮に入つつ、計算を行う。「乗り継ぎ客」は各モードのネットワークが連結する部分で発生し、客数は乗り継ぎ時間の前に乗っていたモードのスケジュールに依存し変化する。その為、各モードの各便の利用客と乗り継ぎ客のモード間の引き渡しを時系列に沿って同時に処理する必要がある。そこで、拠点数と運行時間帯で構成されるマトリクスを作り処理する。まず、図-5のように各ネットワークをマトリクス化する。

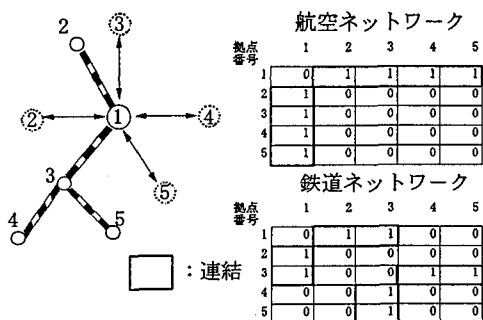


図-5 ネットワークのマトリクス化

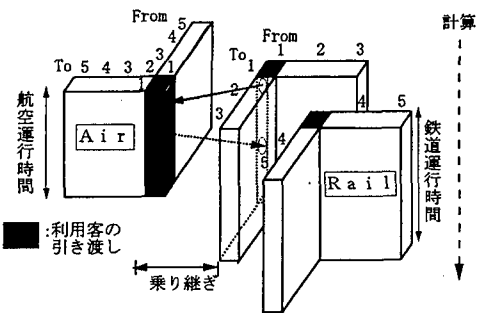


図-6 時系列処理

図5では連結する部分を1、しない部分を0で示している。このマトリクスを各モードの始業時間から終了時間まで運行時間帯に合わせて3次元化し、線列のスケジュール情報により、利用者数、便数を埋めていく(図-6)。モード間の乗り継ぎ(図-6の場合は拠点1)を順次時系列処理しながら、終業時間まで計算し目的関数を得る。

(3) GAの解法手順

複数モードのスケジュール最適化における、GAの線列解法の手順を、以下に示す。

- 1) 生成された1つの線列を任意のBit数で区切り、

- 各モードの機材数に分ける。
- 2) 各モードに振り分けられた遺伝子に、ルートや待ち時間を設計変数として組み合わせ、1日の始発と終着の各運行時間にあわせ線列を切る。
- 3) 各モードのスケジュール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。モード間を乗り継ぐ旅客は、その便の利用者よりモードの連結点(本研究ではハブ空港)での需要を得て、乗り継ぎ後の旅客数を計算する。
- 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)を得る。

以上の解析で目的関数を計算し、最適解を探索する。

なお、交叉確率と、突然変異生起確率の与え方、計算打ち切り基準については、これまでの経験を基に決定し、具体的な値は、ケーススタディで示す。

5. 設計変数改良の可能性

遺伝子に情報を与えるときに、設計変数の値を大きくとり、自由度を高めることは解の探索空間を大きくとることができる一方、計算時間が莫大なものになる危険性がある。また逆に設計変数の取り方次第で同じ問題を短時間で解くことも可能となる。本研究では、1本の線列を交通搬具数分に分けて情報を与えたが、1つの遺伝子に複数搬具とその運行ルートとを組み合わせることで、線列の長さを短くすることも可能である。例えば航空の場合、同時に同じ箇所に機材が飛ばないという条件が成立する場合、4つの飛行ルートに2機材が運行する場合は12個の遺伝子があればよく(図7)、3機材が運行する場合は24個の遺伝子があれば設計できる。

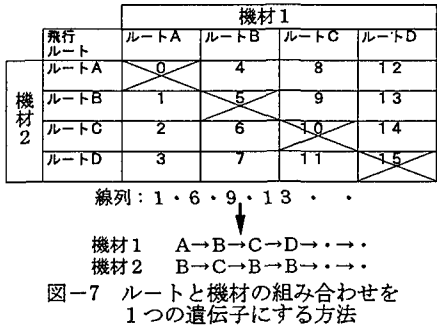


図-7 ルートと機材の組み合わせを1つの遺伝子にする方法

このように線列の設計と遺伝子の組み方によって、1つの線列で、多くの情報を表すことができる。また図7の場合は致死遺伝子が4つあるが、この対角要素については機材2が別ルートEに飛行する等の意味付けをすれば、致死遺伝子は表れない。この様に、いかに制約条件を効率よく線列に盛り込むかが、解空間の効率的な移動、収束に影響し、結局、計算時間の短縮化と最適解の値に表れると考えられる。

5 ケーススタディ

簡単な条件で、図-8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1機から4機、定員数は25人/機、運行時間は8時~18時とする。鉄道の列車数は1台、定員数は100人/台、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て、ハブ空港に到着するものとし、列車は大都市を始発して、大都市に到着するものとする。

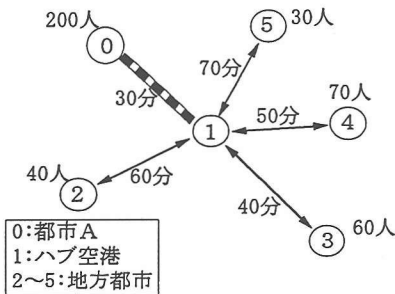


図-8 仮想ネットワーク

GA上のパラメータは人口サイズを10として、線列長を200、線列を構成する遺伝子を50 (4Bitで1変数) とした。これは全体のネットワーク上でスケジューリングされる機材と列車の1日の組み合わせ可能な最大値によって設定した。GAで設定した諸操作変数は、

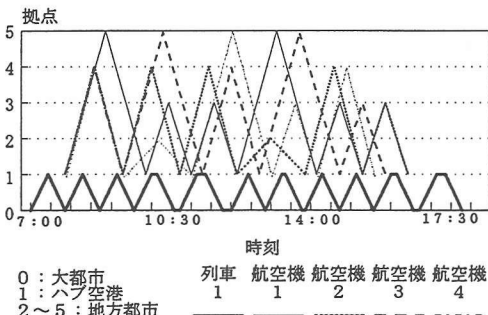


図-9 航空機4機列車1台のダイヤ

1点交叉法の生起確率0.7、突然変異の生起確率0.1とし、打ち切り基準は20世代に渡り線列が更新されないか、100世代まで、とした。

図9は、航空機4機と列車1台について、最良解を与えた場合の結果を示したものである。計算時間は富士通M780を用いて約150秒であった。

GAの収束状況を示したのが、図10である。これより、突然変異の発生(55世代)とその後の人口サイズ中の平均値、最大値の向上がわかる。

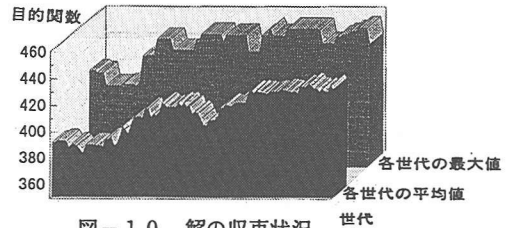


図-10 解の収束状況

6 おわりに

本研究は、遺伝的アルゴリズムを複数モードのスケジューリングに適用し、以下の点を工夫したことで、GAの特徴を生かしながら分析が可能となった。

①1つの線列の中に、複数の機材と列車を割り振ることで、機材と列車の運行を同時に考えた最適化を行った。

②遺伝子(設計変数)として、機材・列車の運行ルートを考えることで、運行にかかわる制約条件を内生化できた。

③モード間の乗り継ぎについて、ハブ空港での待ち時間を変数として、スケジューリングの評価を行った。

今後の課題は、実際の問題へとネットワーク規模を拡大すること、機材整備、乗員配置、滞留時間をGAのシステムに取り込むことなどである。

なお、本研究は文部省科学研究費補助金研究一般研究(C): 06650580の補助を受けて進めた。

<参考文献>

- 1) 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 Conference on Genetic Algorithms, pp. 430-438, (1991, June)
- 2) 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): 田村亨・稲野茂