

GAを用いた最適バス路線網再編計画策定に関する研究*

A study on optimal design of a bus transportation network by Genetic Algorithm*

高山純一**、宮崎耕輔***

By Jun-ichi TAKAYAMA** and Kousuke MIYAZAKI***

1. はじめに

地方都市におけるバス交通は、面的な公共サービスを担う非常に重要な交通機関であるが、最近の自動車普及率の増加に伴いバス利用者数は年々減少する傾向にある。

バス交通を整備し活性化するためには、バスのサービスレベルを向上させる必要があり、具体的には、バス需要に対応したきめ細かなバス交通整備計画の立案とその評価が必要となる。たとえば、バス利用者の利便性を向上させるために①バスターミナルの建設を含めたバス路線網の再編、②バスの運行方法や運賃制度の見直し、③案内情報システムの整備などが必要である。本研究では、この中でもバス路線網の再編に着目し、バスダイヤを考慮したバス路線網再編の新しい手法を提案する。

バス路線網再編計画において決定すべき項目や評価指標には様々なものがあり、従来より行われてきた研究も目的関数や出力されるものには様々なものがある。例えば、目的関数を総所要時間の最小化としている研究¹⁾や、採算性に着目してバス路線の決定を行っている研究²⁾などが挙げられる。また、出力されるものは、路線網と同時に運行回数を求める研究^{1),2)}が圧倒的に多い。

そこで、本研究ではまず①目標到達時刻が既知のバス停間OD交通量（バス利用者OD）が与えられているという条件下で、バス利用者をできるだけ多く運ぶことができるように、運行可能バス台数と所要時間（各路線の所要時間、本研究では距離を用いる）を制約条件とした最適化問題として定式化する。

次に、②この組み合わせ最適化問題の解法に、遺伝的アルゴリズム（Genetic Algorithm 以下、GAと記す）を用いて解く方法（最適な路線網とバスダイヤの同時決定を行うモデル）を提案する。

2. バス路線網再編のための定式化

運行可能バス台数が限定されている場合の最適バス路線網（運行バスダイヤ）の備えるべき条件を整理すると以下ようになる。

- ①できるだけ多くのバス利用者が利用可能であること。
- ②できるだけ乗り換えが少なく、直達性が確保されていること。
- ③バス利用者数とバスダイヤの需給バランスがよいこと（乗車密度のばらつきが小さいこと）。

これらの条件を考慮して前提条件を以下のように設定する。

（1）定式化のための前提条件

- ①対象ネットワーク内での起終点（バスターミナルの位置）は予め決定しておくものとする。そして、これらの起終点を結んだ系統（経路が未定で起終点のみ既知であるものを系統と呼ぶ、なお経路が既知であるものを路線と呼ぶ）を設定しておくものとする。
- ②着時刻指定のバス停間ODが既知であるものとする。
- ③対象ネットワークにおいてバスの運行が可能な道路網が与えられているものとする。
- ④バスの総台数と1台当たりの乗車可能人数は与えられているものとする。
- ⑤本モデルでは、乗り換えは考慮しないこととする。

* キーワーズ：交通網計画、公共交通計画
** 正員、工博、金沢大学工学部土木建設工学科
*** 学生員、金沢大学大学院工学研究科
〒920 金沢市小立野2-40-20
TEL 0762-34-4650、FAX 0762-34-4644

路線限定モデル

運行バス走行可能道路、最短距離からの迂回限界距離による対象路線のピックアップ

路線網決定モデル

GAを適用

路線とバスダイヤの選択

輸送できる総ODトリップの算出

輸送できる人数が最大か?

路線網、運行ダイヤ

図-1 本モデルのフロー

⑥バスの運行は折り返しを考慮せず、片方向のみを考慮するものとする。

以上のように前提条件を設定した。⑤については、本来乗り換え需要があるので考慮する必要があるが、ここでは初步的モデルとして考慮しないものとする。また、⑥については、対象とする時間帯を通勤時間帯に限定し、短時間であるので折り返しを考慮しないことにした。

(2) 最適化問題の定式化

以上の条件により最適化問題の定式化を行うと以下ようになる。

目的関数

$$T^* = \sum_{\tau} \sum_{i,j} \sum_k f_{ij}^{\tau} \cdot \delta_{ij}^k \Rightarrow \text{Max.} \quad (1)$$

制約条件

$$L(k) \leq \alpha \cdot L_{\text{Min}}(K) \quad (2)$$

$$\sum_k f_k^{\tau} \leq B \quad (3)$$

$$x_{i,j+1,k}^{\tau} \leq f_k^{\tau} \cdot C \quad (4)$$

ここに、 T^* ：時間帯 τ におけるネットワーク全体の総輸送人数

f_{ij}^{τ} ：時間帯 τ におけるバス停 i からバス停 j へのバス利用者（OD交通量）

δ_{ij}^k ：路線 k によりバス停 i からバス停 j へのトリップが可能ならば $\delta_{ij}^k = 1$ 、不可能であれば $\delta_{ij}^k = 0$

$L(k)$ ：路線 k の距離

α ：係数（許容迂回率）

$L_{\text{Min}}(K)$ ：系統 K の最短距離

f_k^{τ} ：時間帯 τ における路線 k の運行頻度

系統

各系統の最短所要時間（距離）の算出

$L(k) \leq \alpha \cdot L_{\text{Min}}(K)$ を満たす路線のピックアップ

輸送できるODが多い路線の抽出

対象路線

図-2 路線限定モデルのフロー

対象路線

対象路線のうちどの路線に何台のバスを利用するかを選択

運行可能バス台数以下か?

YES

ネットワーク全体で輸送可能ODを計算

NO

輸送できる人数が最大か?

YES

求める路線網

図-3 路線網決定モデルのフロー

B ：総バス台数

$x_{i,j+1,k}^{\tau}$ ：時間帯 τ での路線 k における断面交通量

C ：バス1台当たりの最大乗車人数

3. バス路線網再編モデル

(1) 本モデルの構成

本モデルは以下に示すサブモデルにより構成される。まず、ネットワーク内の系統ごとに距離による最短経路の探索を行い、距離の制約条件（式(2)）を満たす第 n 番目経路までの探索を行うサブモデル（路線限定モデル）と、各系統でどの経路を採用するかを運行可能バス台数（式(3)）を制約条件として、できるだけ多くの客を輸送できるような路線の組み合わせを求めるサブモデル（路線網決定モデル）の大きく2つのサブモデルで構成される。

(a) 路線限定モデル

このモデルは、ネットワーク上でバスが通行できる道路のうち、対象とする各系統を結ぶ路線を限定するモデルである。具体的には、着時刻指定のODからできるだけ多くの客を輸送できるように路線を

結んでいく方法であるが、たくさんの人を輸送できるように必要以上に長い路線ができることは、運行効率上好ましくないので、 $L(k) \leq \alpha \cdot L_{Min}(K)$ を満たす第 n 番目最短路線までを候補路線とする対象路線の選定を行うモデルである。但し、 $L(k)$ ：路線 k の距離、 α ：許容迂回率、 $L_{Min}(K)$ ：系統 K の最短距離である。

(b) 路線網決定モデル

このモデルは、路線限定モデルで選択した路線から運行可能バス台数を制約条件としてバス路線とそのバス路線上の運行ダイヤの最適な組み合わせをGAにより求めるモデルである。具体的には、各系統からピックアップした候補路線のうちどの路線を選択し、どのようなダイヤを組み合わせる路線網を構築していくかを決定するモデルであり、組み合わせ最適化問題としてGAを用いる。評価関数には、選択した路線網で輸送可能となる利用客数の最大化を用いる。ただし、制約条件は運行可能バス台数である。

(2) 本モデルのアルゴリズム

本モデルのアルゴリズムは、以下ようになる。

推計アルゴリズム

STEP 1：各系統について最短距離の計算を行い、 $L(k) \leq \alpha \cdot L_{Min}(K)$ を満たす路線 k の探索を行う。

ここに、 $L(k)$ ：路線 k の距離、 α ：許容迂回率、 $L_{Min}(K)$ ：系統 K の最短距離

STEP 2：STEP 1で探索した各路線について着時刻指定のバス停間ODをもとに輸送できるODができるだけ多くなる路線のピックアップを行う。

STEP 3：各系統について採用する路線と運行頻度（バスダイヤ）をGAを用いて任意に選択する。但し、運行可能バス台数を満たすように運行頻度を決定する。

STEP 4：選択した各路線ごとに輸送できる人数（評価関数値）を計算する。

STEP 5：GAを用いてSTEP 3以降を繰り返し、評価関数値（総輸送人員）の最大路線網を求める解とする。

このアルゴリズムにおけるSTEP 1およびSTEP 2は

路線限定モデルを、STEP 3よりSTEP 5までは路線網決定モデルをそれぞれ示している。

4. GAを用いた最適バス路線網決定法

(1) 路線網決定モデルのGAへの適用

本研究では、バス路線網とバスダイヤの組み合わせ最適化問題を以下のようにコーディングすることによりGAを適用した。

路線限定モデルより探索された対象路線を乱数を発生させて選択し、さらにその選択した路線に1時間に何台のバスを運行させるかについても乱数により与えることとする。ただし、ネットワーク全体のバス台数の総和は、本モデルの前提条件である運行可能バス台数以下であるという制約のもとで決定する。なお、本モデルでは、現実的なバスダイヤの編成を考慮して最大5分ピッチまでの運行ダイヤとする。したがって、ここでは1時間に最大12本までのバスを運行することができるものとして考える。

このようにして選択した路線において、ネットワーク全体での輸送可能人数の最大化を目的関数とする組み合わせ最適化問題として定式化する。

(2) 本モデルのGAによる考え方

まず、路線限定モデルにより探索されたネットワーク全体の路線の数に12（1時間当たりの最大運行可能バス台数）を乗じた数に等しいビット長を持つ線列を乱数を用いて発生させる。線列は0と1のみから構成されるバイナリーコードを採用した。ここでの1,0はある路線のあるバスダイヤを選択する

(1) か否か (0) の意味を持たせたものである。

そして、それぞれのビットは上述のようにバスダイヤに対応しているので、ビットが1の場合には、そのビットに対応したバスの運行路線（通過バス停）と運行時刻（通過時刻）が決定される。したがって、その路線上に起終点を持つバス停間OD交通量が明らかとなり、着時刻を満足するOD交通量を合計すればよい。

例えば、図-4に示すような対象路線の場合、系統は2つで路線が合計5つとなるので、60個（ $12 \times 5 = 60$ ）の線列を乱数を発生させて図-5の

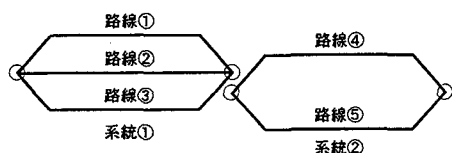


図-4 対象路線の例

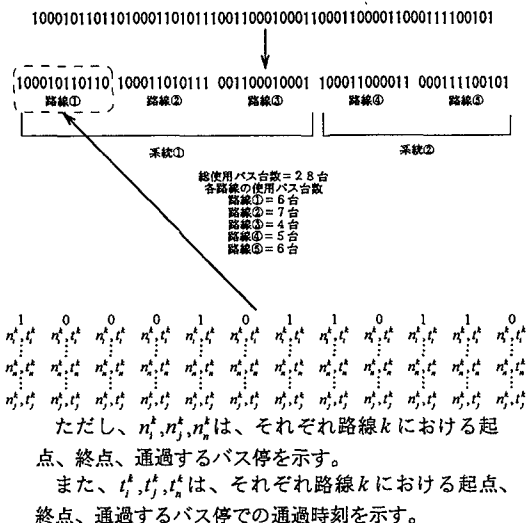


図-5 GAの設計方法

ように作成する。この線列を左から12個ずつのグループに分割する。これは、左から路線①、路線②という順番に一番右が路線⑤に対応しており、各路線に配車するバス（バスダイヤ）に対応している。また、それぞれの路線の運行するバス停順にバス停と通過時刻にも対応している。つまり、この例では、路線①に6台、路線②に7台、路線③に4台、路線④に5台、路線⑤に6台をそれぞれ配車することを意味している。

本研究では、式(1)に示す目的関数値 T をそのままGAの評価関数として採用する。すなわち、選択したネットワーク上の全路線で輸送できる人数（既存の着時刻指定ODをもとに算出）を評価関数値とする。したがって、できるだけ多くの乗客を輸送できるほど良い評価を与えるものとする。

5. まとめ

本研究では、バス路線網再編計画策定のためのシ

ステムモデルの開発を行った。本研究で提案したモデルは、運行可能バス台数と所要時間（距離）を制約条件として輸送人員が最大となるように組み合わせ最適化問題として定式化した。そして、その解法にGAを用いる方法を提案した。このモデルの特徴は、路線網とバスダイヤを同時決定するところにある。

すなわち、路線限定モデルで対象路線の限定を行い、路線網決定モデルで組み合わせ最適化問題を解くことにより、路線網とバスダイヤを求める方法である。

今後の課題としては、①乗り換えを扱っていない、②バスダイヤの折り返しを考慮していない、③着時刻指定のODをどのようにして入手するのか、という点が挙げられる。①については、現実のバス需要では乗り換え利用が存在するので、実際には乗り換え利用を考慮する必要がある。ここでは、計算の簡略化のために乗り換えODを考慮していない。今後、考慮する必要がある。②については、バスダイヤを考慮する上でバスの配車に関連する問題であり、今後考慮しなければならない。ただし本モデルでは、通勤時間帯の短い時間帯を対象としているので現実的には無視してもそれほど大きな問題はないものと考えられる。③については、実際に適用するために、外生的基礎データである着時刻指定のバス停間ODをどのようにして入手するかということが重要である。以上の点について、今後更なる改良を行っていくつもりである。

参考文献

- 1) 枝村俊郎、森津秀夫、松田宏、土井元治：最適バス路線網構成システム、土木学会論文報告集第300号、pp.95～107、1980年。
- 2) 藤田昌弘、稲村肇、須田熙：採算性を考慮したバス路線の決定、土木計画学研究・講演集No.8、pp.177～184、1986年。
- 3) 天野光三、銭谷善信、近東信明：都市街路網におけるバス系統の設定計画モデルに関する研究、土木学会論文報告集第325号、pp.143～154、1982年。
- 4) 天野光三、小谷通泰、山中英生：都市内公共輸送網の計画システムに関する研究、土木学会論文集第377号、pp.39～48、1987年。