

## 採算性を考慮したバス路線の決定\*

Bus Routes Choice Model Taking Account of Bus Operator's Profit

藤田昌弘\*\* ・ 稲村 肇\*\*\* ・ 須田 薫\*\*\*\*

By Masahiro FUJITA, Hajime INAMURA, Hiroshi SUDA

In the case of determination of the bus network, bus operator will mainly consider a profitability of each bus route. This paper discusses the bus route choice model based on a man-machine system. The decision process of bus routes are divided into two phases. Firstly, bus network, which is expected to earn the maximum operating profit, is determined. Secondary, another route will be added to this network from a view point of welfare. This paper proposes bus routes choice model take account of bus operator's profit. In this model, user's benefit will be considered through addition or reduction of bus demand, implicitly.

### 1. はじめに

都市の発展に伴う土地利用状況の変化によりもたらされるODトリップパターンの変化や、地下鉄等の他の交通機関の整備に伴う乗客数の増減等に対応するために、バスの路線網を再編成することが必要とされる。バスの都市内交通としての特色は、その運行路線や運行頻度を需要に応じて変更することにある。この特徴を生かすべく従来からより好ましいバス路線網の設定を目的として多くの研究がなされてきた。

枝村・森津<sup>1)</sup>らは、目的関数を総所要時間最小として路線網を数理計画法により内生的に求め、その路線に対し乗り換えを含む総待ち時間が最小となる

各路線の運行回数を求める手法を示した。

天野・銭谷<sup>2)</sup>らは、路線長等の制約の下で全手段ODトリップに対し最短経路で考え得る総ての往復路線と循環路線を探索し、その数を限定した候補路線に対し待ち時間・乗り換え乗客数・総走行距離等を評価指標として運行頻度・乗客の待ち時間・バスの総走行距離・乗り換え回数別の乗客数等をシミュレーションから見出すモデルを開発した。

しかしながら、これらのモデルは既存の交通調査から入手したバスODをそのまま用いるため、サービス状況の変化に伴うバスOD量の変化についての評価が行えない。また設定したバス路線によりOD量に変化するためその結果の最適性は保証されない。一般に、乗客の総待ち時間の最小化は、個々の路線のサービス水準を保証しないため局所的には極端に待ち時間が多くなる場合が想定される。またこれらのモデルではOD量の多い路線にバスを運行するよ

\* キーワーズ：公共交通、路線選定

\*\* 学生会員 東北大学大学院工学研究科

\*\*\* 正会員 工博 東北大学助教授 工学部土木工学科

\*\*\*\* 正会員 工博 東北大学教授 工学部土木工学科  
(〒980 仙台市荒巻字青葉)

うに路線が設定されるが、このことが必ずしも運行者の収益を多くすることに繋がらないためバス運行者にとってそのような路線は採算面からみて魅力的なものとはいえない。

バスサービスによるOD量の変動を考慮にいたれた研究としては河上・溝上<sup>3)</sup>らのモデルがある。このモデルでは、対象地域を車庫区毎に分割し、まず対象地域内全体について全手段のOD表を用いてバス運行者の収支に関する条件（収入（補助金を含む）と支出との差が零）を満足させながら、バス利用者の余剰を最大になるような料金水準・各車庫区内に存在する各セントロイド間投入バス台数と共にこの段階でバスサービス水準に伴う各セントロイド間バス利用OD量を求める。ここで求めた各セントロイド間の投入バス台数・OD量を用いて各車庫区毎にシステム費用（利用者の時間費用とバス運行者の費用（バス単位台キロ当り運営費用と運行頻度と路線長の積）の和）を最小とするように最短経路で路線網を設定し、運行頻度を決定する手法を定式化した。

このモデルでは、バス運行者の収益は少なくとも赤字にはならないがそのため各路線における料金水準が異なることになる。このため同一利用者が異なる路線を乗り継いだ場合、同様のサービスを受けるのに異なる料金を支払わなければならないという問題が生じる。またこのモデルは式自体が非常に複雑なため、簡単なネットワークによる例題以外の検証はなされていない。

これらの従来の研究では運行者側の条件（バスの総台数等）や便益（収支の差が零等）は制約条件として扱われ、利用者側の便益（総所要時間等）を最大にする方法をとるものが主であった。しかし、現実にはバス運行者がバス路線網を決定する際の要因としては個々の路線における採算性に対する評価が大きな比重を占められると思われ、バス運行者にとってはどのような路線を設定すれば収益が良くなるかという情報に対して大きな関心があると思われる。またシビルミニマムの確保等の運行者側にとって収益にマイナスとなるサービスに対しては経営全体の黒字から、あるいはそれらに対するサービスを行うこ

とにより赤字になった時に補助金が支払われる場合にサービスを行うという考え方が妥当であると思われる。つまり、需要があり採算が採れるバス路線を設定するのが運行者の基本的スタンスである。この意味からバス路線の採算性に対し、より厳密な検討が可能となる研究の必要性がある。

バス会社経営の採算面に関してもいくつかの研究<sup>4)</sup>・報告がある。しかし、これらの論文の多くは全路線を一括して扱ったものであり、個々の路線の採算性を評価し得ない。したがってその採算性に基づくバス路線網の決定という重要なテーマは扱い得なかった。

採算性を考慮するバス路線網の決定過程は二段階に分けて考えることができる。すなわち第一段階では運行者側からみて最も収益の大きいバス路線網を決定し、第二段階では第一段階で求められたバス路線網に政策的な候補路線を加え全体の収益から最終的なバス路線網を決定する。本稿ではこのうち第一段階である運行収益最大を目的関数とする路線網を決定するシステムを提示する。利用者側からの路線網のバスサービス水準に対する評価はOD量となって現われると考え、利用者にとって極端に不便な候補路線はOD量の減少をまねきその路線の収入を減らすことになり採用されない。バスODは往路・復路でOD量に偏りがあり、時間的にも大きな変動があるので、個々の路線の採算性を検討する場合にはこのトリップパターンの変動に対する考慮が必要である。これに対し本研究では目的別全手段ODの時間分布から時間帯ごとのバスOD表を作成して計算を行なう方法を採用した。尚、候補路線は計画作成者が入力するマンマシンシステム方式により列挙される。

## 2. バス路線網決定システムの概要

本システムで決定するのは候補路線集合から実際に運行するバス路線とその運行頻度及びその採算である。第一段階の決定の目的は、バス運行者の収益つまり総収入と総支出の差の最大化である。

$$\max \sum_k Z^k = \sum_k (B^k - C^k)$$

$$s, t$$

$$0 \leq N_{lm} = \sum \sum \delta_{lm}^k \delta_{ij}^k OD_{ij} / \sum \delta_{lm}^k f^k \leq N_a$$

$$B_s \leq B_x$$

$Z^k$  : k路線の総収益  
 $B^k$  : k路線の総収入  
 $C^k$  : k路線の総支出  
 $N_{lm}$  : lmリンクのバス一台当りの乗車人数  
 $N_a$  : バス一台当りの定員  
 $OD_{ij}$  : ijペアのバスOD量 (時間帯幅  $t_k$  当り)  
 $f^k$  : k路線の運行頻度 (時間帯幅  $t_k$  当り)  
 $\delta_{lm}^k = 1$  : k路線がlmリンクを通過する  
 $\delta_{lm}^k = 0$  : k路線がlmリンクを通過しない  
 $\delta_{ij}^k = 1$  : ijペアがk路線を利用する  
 $\delta_{ij}^k = 0$  : ijペアがk路線を利用しない

$B_s$  : 対象時間帯に実際に稼働するバス台数

$B_x$  : 対象時間帯に稼働可能なバス台数

Zの総和を最大化するためには、個々の候補路線から収益最大となる路線の組み合わせとその運行頻度を求めればよい。制約条件はすべてのlmリンクで積み残しが生じないことを示す。

図-1は、全体のフローを示している。

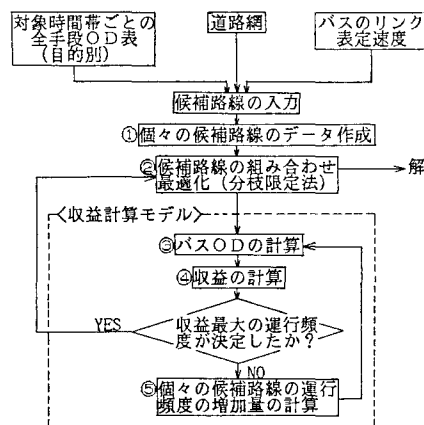


図-1 全体のフロー

本システムでは、目的別全手段OD表、全手段ODの目的別時間分布、道路網、各道路リンクの表定速度をデータとして外生的に与える。本研究ではこれらのデータを加工して、画面上にDisplayし、そ

れを参考としながらバス運行計画作成者が候補路線をアプリオリに入力する。次にこの路線代替案から運行者の収益を計算機によって求めるとい、いわゆるマンマシンシステムである。このような、データベースを基に計画作成者が画面操作により候補路線を入力するシステムはすでに天野・小谷・山中<sup>5)</sup>らによって提案されている。この研究では地下鉄開通に伴う路線再編に伴い代替路線を計画作成者が設定し、これに対し利用者の代替路線網の経路選択を考慮することにより個々の路線のサービスやOD量の変動に対し、利用者側や運行者側の諸指標を導入し計算機によってそれら代替路線を比較評価することを目的としている。ここで用いられたバスODと地下鉄利用ODの総量は不変であるため次の様な欠点を持っている。①サービスの变化に伴うOD量の変化がバス会社の総収益に与える影響が大きいと考えられるにもかかわらずそれを考慮できない。②バスODを固定すると現在バスODが無いあるいは非常に少ないODに関する新規路線の導入による効果が顕著に現われない。そこで本研究はサービスの变化に伴うOD量の変動を重視して、入力した候補路線について計算機がその候補路線を組み合わせ、その組み合わせでのサービスからバス分担OD量をもとめる。その後採算性を計算し、最適路線網とその運行頻度を同時に決定する候補路線の最適化モデルを提示する。このシステムはマンマシンシステム方式を採用がゆえに、求められる候補路線の最適解は路線網の最適解ではなく次善解となる。一方、従来の最適路線網計算システムにおいても結果を実用化する際には、最終段階で人間による修正を必要とすることから本質的には次善解となっている。このため本システムにより求められる解も最適解とは実用上の差異は少ないと思われ、計算時間が大幅に省略できること、及びネットワーク形成過程、評価の簡明さにおいて実用面で優れていると言える。

以下、フローに従って説明を加える。

候補路線の入力により①で入力した個々の候補路線について通過ノード間の距離と所要時間及び利用可能なODペアに関するデータを計算し記憶する。

③で候補路線に関する組み合わせ最適解を求める。

この組み合わせ最適化は分枝限定法を用いて行なう。分枝限定法の子問題を解くステップ毎に③で道路距離・待ち時間を含めたバスの所要時間等をパラメータとする集計型ロジットモデルを用いた機関分担を行ない全手段ODよりバスODを求める。④では求められたバスODより、組み合わせた個々の候補路線毎に収入を求め、また個々の候補路線の運行頻度・路線長・ターンアラウンドタイムより支出を求める。それを基に⑤では個々の候補路線の収益から個々の候補路線の運行頻度を決定し③へ戻り組み合わせ候補路線の総収益が最大となるまで計算を繰り返す。

本システムで注意を要する点は以下のとおり

#### (1) 候補路線の入力

本システムでは、バス運行計画作成者が候補路線を入力する。従来の研究の多くはある制約条件の下で利用者便益を最大化するためODペアに対する最短経路を求め、その中から候補路線を選ぶ方法を取っていた。しかし、バス運行者側からみてその収益を最大化する路線はODペアに対する最短経路である必要性はない。多少迂回することにより両端のOD量が減少してもOD量の多い地点を効率的に経由するような路線があれば、その路線の収益が高い可能性がある。このような路線を自動的に設定するDP等の方法もあるが、両端ODペアが複数である場合や道路ネットワークが複雑な場合には膨大な計算量となることは明らかである。また、一組のODペアについて類似路線をまとめると現実的に実行可能な候補路線はほんの数本であると思われるが、自動化手法は非現実的な路線や極めて類似する路線まで候補路線として列挙されるため組み合わせ数が増大する。これは組み合わせ最適解を求める上での大きな障害となる。また、循環路線に関しては任意の形を候補路線として列挙することは従来のグラフ理論からでは非常に困難である。このため本システムでは、複数の候補路線を計画作成者が外生的に入力した方が良いと考えた。

#### (2) 使用するOD表

本研究では全手段ODの目的別時間分布から計算を行おうとする時間帯の目的別全手段ODを求める。これを目的別に集計型ロジットモデルを用いた機関分担を行ない目的別バスODを求める。それらを目的別に加えることにより得られるバスODについて計算を行う。これはトリップパターンの多くが時間的に変動するためこれに対応するためである。朝の時間帯は通勤・通学ODを中心とするトリップパターンよりバスOD表が作成され、昼の時間帯は私事・業務ODを中心とするトリップパターンよりバスOD表が作成される。朝の通勤・通学を対象とする往復バスや昼間の業務ODを対象とする都心循環バスの様な時間的に特殊なトリップパターンを示す需要に対する適切な路線や運行頻度が設定できる。これにより実際の運行状況により近づき、また採算性をも向上させることができると思われる。

#### (3) 利用者の便益

利用者のバスサービスに対する評価はOD量となって現われると考える。従来の研究ではOD量が固定されているものが多いため、所要時間を指標として利用者の便益を考慮していた。本研究ではサービスが低下すれば機関分担により求められるOD量が減少するため、目的関数である収益を最大にするためには一定水準のサービスを確保しなければならない。利用者側の便益はOD量で代弁され则认为る。

#### (4) 運行頻度

従来の研究では、運行頻度の決定は路線を決定した上で、通過OD量が最大となるリンクでODを積み残さない運行頻度の最低値を求めこれを基に各路線の運行頻度を求める方法と、稼働可能なバスをすべて使用して目的関数を最大にするように各路線の運行頻度を決定するものが主であった。しかしこれは実際の運行状況にそぐわない。つまりリンク最大ODより決定する場合には、昼間のようなODの少ない時間帯にはあるリンクで定員に近くなるまでバスが運行されないことになってしまう。これでは運行頻度が非常に少なくなり、そのため需要が減少してしまうことが想像される。バスの台数はピーク時

間帯の需要に対して決められており、燃料費を除く人件費等の固定費用はピーク時間帯以外でも、バスを車庫に眠らせて置いてもおかかるので、燃料費分以上の収入が望めるならばバスは運行される。このため実際には昼間の様な需要の少ない時間帯ではバスの定員よりはるかに少ない乗車人数でも運行されている。また反対に稼働可能なバスをすべて運行させる場合には、運行させればさせるほど支出がかさむ場合が想像される。本研究では路線の収益の最大化を目的関数としているため、運行頻度を増加させることにより増収が望める限り運行頻度を増す。このためピーク時間帯以外では定員より少ない人数でも運行されるので実際の状況に近いと考える。朝夕等のラッシュ時には路線の往路・復路方向のOD量の差は大きな偏りを示し、路線の採算を計算する上で無視できない。実際の運行計画では、往路・復路で運行頻度を変え、バスを回送してやりくりをする。しかしながら本研究では回送車を作らず対象時間帯の稼働中の車両はすべて旅客運送に携わるものとし往路・復路では運行頻度を同じ回数とする。収入計算に用いるOD量は往路・復路のOD量の合計量に対して行う。その際運行頻度の最低値は往路・復路のOD量の多い方向の総てのリンクに積み残しがでない数であることに注意する。

### 3. 組み合わせ決定について

候補路線の集合から最適路線網を得るためには基本的にはすべての候補路線のあらゆる組み合わせに対して最適な運行頻度を決定し目的関数を比較しなければならない。しかし実際問題としてこのような組み合わせの数は膨大である。そこで先に述べたように本研究では複数の候補路線を計画者がア prioriに与え、組み合わせの最適解を求めるため分枝限定法を用いることにする。また組み合わせ問題の計算では組み合わせられる候補路線の数により計算時間が大きく左右される。実際のバス運行計画は車庫区単位を中心に計画が行なわれることから、本システムでも候補路線の数をあまり増やさずに詳細な路線設定が出来るように、また一回の演算で対象とする

地域を限定すべく、車庫区を単位として候補路線を検討する。

### 4. 収益計算モデルについて

#### (1) バスOD量計算式について

バスOD量の計算には、目的別全手段ODから各々の目的に対して作られた集計型ロジットモデルを用いて求める。パラメータ中に待ち時間を含めたバスの所要時間を用いるが、これは次の式で定義する。

$$T_{ij} = t_{ij} + 1/2 \times t_i + \sum_k \delta_{ij}^k f^k$$

$T_{ij}$  :  $ij$ ペアの総所要時間

$t_{ij}$  :  $ij$ ペアのバス実乗車時間

待ち時間が長い場合にはたとえバス停でバスを待っていないくても利用者は家庭や職場で待っており、結果的にはバスの運行時間に行動が制約されると思われるからである。またピーク時間帯のように待ち時間が短い場合には利用者の到着がランダムであると考え、待ち時間の平均を運行間隔の半分と仮定する。また利用者の乗車経路は乗り換え回数が最小の経路の内で目的地までの所要時間が最も短いものを利用するとし、乗り換える場合に要する時間は乗り換え地点での待ち時間と等しいものと仮定する。

#### (2) 収益計算式について

本節では、収支の計算に用いる式を定式化する。従来この収支計算についての研究はバス台数全体に対する総走行距離等を用いて収入・支出の総量を扱うことによる収益の定式化・検証であったが、本研究の目的から収益計算に用いる式は個々の路線について求めることのできるものでなければならない。

##### (a) 収入計算について

バス運行者の収入には営業収入（運賃収入・広告料収入等）、営業外収入（受取利息・配当金・補助金等）、特別収入（固定資産売却等）等が考えられるが、本研究では運賃収入についてのみ取り扱い、組み合わせた候補路線から得られる収入を求めるものとする。

候補路線  $k$  についての  $ij$  ペア間の運行距離を  $l_{ij}$  とし、また  $k$  路線の市内均一区間の料金を  $W$ 、市内均一区間距離を一定と仮定し、これを  $l_a$  とする。

このとき  $k$  路線の  $OD_U$  からの収入を  $B_U$  とすると

$l_U^k \leq l_a$  のとき

$$B_U^k = W \times \delta_U^k OD_U$$

$l_U^k > l_a$  のとき

$$B_U^k = \{W + g(l_U^k - l_a)\} \times \delta_U^k OD_U$$

ここで  $g(l_U^k - l_a)$  は距離に対する増加運賃の関数であり 10 円刻みの整数値とする。ゆえに  $k$  路線全体での収入  $B^k$  は

$$B^k = \sum_U B_U^k$$

(b) 支出計算について

バス運行者の支出には営業費用（人件費・燃料費・修繕費・減価償却費等）、営業外費用（支払い利息・雑支出等）、特別損失（過年度損益修正損等）等が考えられるが、本研究では人件費・燃料費・修繕費・減価償却費についてのみ対象とし、組み合わせた候補路線を運行するために必要となる支出を求めるものとする。

支出で大きなウエートを占めているのは人件費であるがこれはバス台数に比例すると仮定する。これは職員数が営業規模に比例して増加すると考え、この営業規模はバス台数により表わせると考えられるからである。ここではまずピーク時間帯の稼働状況からバス台数を求める式を提示する。さらに求められたバス台数から職員数を求める式を導く。但し、以下の式で用いる添字  $p$  はピーク時間帯を示す。バス車両の単位時間当りの回転率を  $\alpha_1$ 、運転手の単位時間当りの回転率を  $\alpha_2$  とすると  $k$  路線の  $\alpha_1$  は一回毎の運行時間と休息時間から求められる。

$$\alpha_1^k = t_t^k / t_a^k$$

$$t_a^k = t_t^k + t_w^k$$

$t_t^k$  :  $k$  路線の一回の所要時間（運転時間）

$t_w^k$  :  $k$  路線の一回の運行毎の運転時間調整の時間

ここでバスの予備車率を  $\beta_1$  とすると車両数  $B_0$  は

$$B_0 = \sum_k (f_p^k / \alpha_{p1}^k) \times (1 + \beta_1)$$

$$= 1/t_t \times \sum_k (f_p^k \times t_{pa}^k) \times (1 + \beta_1)$$

次に運転手数  $Q_0$  を求める。運転手数はピーク時間帯の稼働状況に対応して決定するが、ピーク時間帯は車両数・運転手数を最小とするため担当車制に

して  $\alpha_1 = \alpha_2$  とする。運転手の予備率を  $\beta_2$ 、さらに運転手は勤務時間の関係から交代制であるので対象時間帯の乗務組数率を  $\beta_3$  とすると

$$Q_0 = \sum_k (f_p^k / \alpha_{p1}^k) \times (1 + \beta_{p2}) / \beta_{p3}$$

$$= 1/t_t \times \sum_k (f_p^k \times t_{pa}^k) \times (1 + \beta_{p2}) / \beta_{p3}$$

ここで求められた  $Q_0$  に対象時間帯の乗務率  $\beta_2$  と乗務組数率  $\beta_3$  とを乗じたものが対象時間帯の運転手数となり、実際に稼働可能なバスの台数は  $B_0$  と対象時間帯の運転手数の少ない方の数をとる。ここで当然  $B_0$ 、 $Q_0$  は整数値をとる。

つまり、対象時間帯の稼働可能なバス台数  $B_x$  は

$$B_x = \min(B_0 / (1 + \beta_1), Q_0 / (1 + \beta_2) \times \beta_3)$$

但し  $B_x$  は整数であり、ピーク時間帯では

$$B_0 / (1 + \beta_1) = Q_0 / (1 + \beta_{p2}) \times \beta_{p3}$$

となる。また整備員・その他一般職員は先に述べたようにバス台数に比例すると仮定したのでその比例定数を  $\gamma$  とすると、整備員・その他一般職員の人数  $Q_1$  は

$$Q_1 = \gamma \times B_0$$

次に組み合わせた候補路線にバスを運行する際に必要な一日当りの総固定費用を求める。運転手一人当りの年間平均給与を  $C_0$ 、整備員・その他一般職員の一人当りの年間平均給与を  $C_1$  とすると年間を通じて支払われる人件費  $M_0$  は

$$M_0 = C_0 \times Q_0 + C_1 \times Q_1$$

また一台当りの年間修繕費  $S_1$  については一定であると考え。これは各車を年間を通じて均等に動かせば、故障等の年間発生率は各車等しいという仮定を前提とする。また同様に各車の耐用年数が等しいと考えると減価償却費も各車等しいので、一台当りの年間減価償却費  $S_2$  も一定であると仮定する。ゆえにバスに関する年間固定費用  $B_0$  は

$$B_0 = (S_1 + S_2) \times B_0$$

ゆえに一日当りの総固定費用  $FC$  は

$$FC = (M_0 + B_0) / 365$$

次に、固定費用を各路線の対象時間帯における運行時間の比率に従って各路線に割り当てる。これは各路線の固定費用を各路線の運行頻度と一回の運行所要時間に従い負担させることを意味し、各路線の

対象時間帯での運行時間当りの固定費用を均等にするためである。さらに各時間帯の利用者の固定費用の負担を公平にするため対象時間帯のOD量に従って各時間帯に固定費用を割り当てる。この割り当て計算にはすべてのODが潜在的なバスODであると考へ全手段ODを用いる。運行時に必要となる燃料費 $K_0$ は1Km 走行するために必要となる燃料の価格であるから一定である。これから求められる $k$ 路線の対象時間帯の総支出 $C^k$ は以下の通り

$$C^k = \delta_{ij}^k Z O_{ij} / \delta_{ij}^k Z A_{ij} \times F C \times \{ (t_a^k \times f^k) / \sum (t_a^k \times f^k) \} + K_0 \times l^k \times f^k$$

$Z O_{ij}$  :  $ij$ ペアの対象時間帯の全手段OD

$Z A_{ij}$  :  $ij$ ペアの営業時間帯の全手段OD

ここで $l^k$ ,  $t_a^k$ はすべて路線固有の値であるので、これを各路線のデータとして扱うならば $F C$ は $f^k$ のみの関数となるので各路線の支出は $f^k$ の関数として扱うことができる。またピーク時間帯では $F C$ が $f_p^k$ により変化するが、ピーク時間帯以外ではピーク時間帯で $f_p^k$ から求められるバス台数 $B$ ・職員数 $M_0$ により $F C$ が決定されているので $F C$ が定数となっていることに注意を要する。

### (3) 運行頻度決定式について

運行頻度は初期値として各路線に単位時間当り一回を与え、その結果求められるバスODに対し各リンクで積み残しのない運行頻度を求めそれを基に再びバスODを求める繰り返し計算を行ない各路線の収益を求め、各路線の収益が最大となるまで運行頻度を増加させてゆく。

## 5. 適用事例

図-2に示す様なネットワークに対し、表-1に示す様な候補路線を設定する。

表-1 候補路線の通過ノード

|            |                 |
|------------|-----------------|
| 候補路線 No. 1 | ①-②-③-④         |
| " No. 2    | ①-③-④-⑤         |
| " No. 3    | ①-③-④-⑤-⑥       |
| " No. 4    | ①-③-④-⑤-⑥-⑦     |
| " No. 5    | ②-③-④-⑤-⑥-⑦     |
| " No. 6    | ②-③-④-⑤-⑥-⑦-⑧   |
| " No. 7    | ②-③-④-⑤-⑥-⑦-⑧-⑨ |

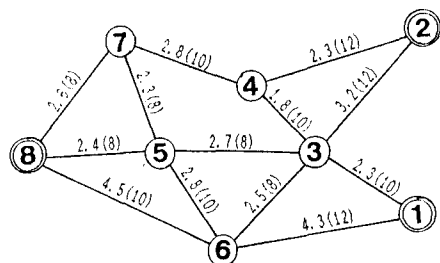


図-2 計算に用いたネットワーク

図中で各リンクの値はノード間の距離を示し、同じく( )内の数字は7-9時の各リンクにおけるバスの表定速度を示す。ここでは簡略化するため13-15時のバスのリンク速度は7-9時のリンク速度を1.4倍した値を用い、自動車のリンク速度は各時間帯のバスのリンク速度を1.2倍した値を用いた。また対象時間帯幅を120分として計算を行った。ピーク時間帯を7-9時と仮定しその時間帯の全手段ODを表-2に示す。同様にピーク時間帯以外の例として13-15時の時間帯の全手段ODを表-3に示す。

表-2 全手段OD表 (7-9時)

|   | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7    | 8   |
|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|
| 1 | -   | 50  | 120 | 100 | 300 | 700 | 1000 | 500 |
| 2 | 70  | -   | 210 | 120 | 800 | 500 | 700  | 600 |
| 3 | 180 | 100 | -   | 180 | 500 | 300 | 600  | 200 |
| 4 | 50  | 100 | 150 | -   | 250 | 200 | 500  | 300 |
| 5 | 120 | 70  | 120 | 80  | -   | 300 | 700  | 400 |
| 6 | 90  | 130 | 100 | 70  | 150 | -   | 200  | 450 |
| 7 | 60  | 50  | 180 | 170 | 250 | 150 | -    | 500 |
| 8 | 100 | 120 | 210 | 150 | 300 | 900 | 1100 | -   |

表-3 全手段OD表 (13-15時)

|   | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   |
|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 1 | -   | 40  | 100 | 70  | 120 | 30  | 300 | 120 |
| 2 | 80  | -   | 130 | 80  | 250 | 50  | 370 | 120 |
| 3 | 90  | 120 | -   | 20  | 110 | 40  | 130 | 260 |
| 4 | 10  | 40  | 30  | -   | 70  | 20  | 130 | 50  |
| 5 | 140 | 230 | 150 | 80  | -   | 30  | 170 | 140 |
| 6 | 90  | 70  | 30  | 60  | 20  | -   | 40  | 110 |
| 7 | 340 | 390 | 220 | 160 | 230 | 40  | -   | 190 |
| 8 | 100 | 140 | 170 | 60  | 110 | 200 | 230 | -   |

営業時間帯を7-21時と仮定し、上記の時間帯のOD量の営業時間帯に対する割合をそれぞれ24%, 10%とする。機関分担を定めるために、昭和57年に仙台都市圏で行なわれたPT調査より得られた集計型ロジットモデルのパラメータを用いた。(表-4参照)ここではパラメータを道路距離とバス/自動車時間比のみとした。同様に7-9時のトリップ目的を

通勤のみ、13-15時のトリップ目的を私事のみとして計算を行った。

表-4 集計型ロジットモデルのパラメータ

| 分担率             | 使用変数名                 | 目的 | パラメータ  |        |
|-----------------|-----------------------|----|--------|--------|
|                 |                       |    | $a_0$  | $a_1$  |
| 徒歩・二輪車以外<br>選択率 | $x_1$ : 道路距離          | 通勤 | -0.442 | 0.178  |
|                 |                       | 私事 | 0.834  | 0.279  |
| バス選択率           | $x_1$ : バス/自動車<br>時間比 | 通勤 | 0.448  | -0.376 |
|                 |                       | 私事 | 0.516  | -0.288 |

以下、計算に使用したデータは次のとおりである。

- ・バスの定員  $N_a$  は80人
- ・一回の運行毎の運転時間調整の時間  $t_w$  は一律5分
- ・市内均一区間距離  $l_a$  は5.4km
- ・運賃の増加は1kmごとに30円
- ・バスの予備車率  $\beta_1$  は0.07
- ・運転手の予備率  $\beta_2$  は7-9時と13-15時で等しく0.01、7-9時の乗務組数率  $\beta_3$  は0.64
- ・13-15時の乗務組数率  $\beta_3$  は0.36
- ・整備員・その他一般職員数のバス台数に対する比率  $\gamma$  は0.47
- ・運転手一人当りの年間平均給与  $C_0$  は520万円
- ・整備員・その他一般職員の一人当りの年間平均給与  $C_1$  は590万円
- ・バス一台当りの年間修繕費  $S_1$  は75万円
- ・一台当りの年間減価償却費  $S_2$  は76.5万円
- ・1km走行当りの燃料費  $K$  は38円

この結果、7-9時では候補路線No.3、No.4、No.7に一方方向当りにそれぞれ10本、11本、11本運行するとき605,845円の収益が得られた。また必要となる総バス台数は35台、運転手は51人、1日当りの総固定費用は1,146,644円となる。13-15時ではこの時間帯での稼働可能なバス台数が18台となることから、候補路線No.4、No.5、No.6に一方方向当りにそれぞれ11本、5本、7本運行することにより592,407円の収益が得られた。しかし、この計算では各時間帯の乗務組数率  $\beta_3$  を所与としたため13-15時では運行頻度が稼働可能なバス台数の上限に達した。このため一日の運行状況から乗務組数率  $\beta_3$  についての解

を得るための繰り返し計算が必要であることが分かった。

## 6. 結論ならびに今後の展開

本システムにより対象地域に対し与えられた候補路線から最も収益の大きい候補路線の組み合わせと各路線の運行頻度が求められる。またそれらの個々の候補路線の収益と組み合わせた候補路線全体の総収益とその時必要なバス台数、運転手の人数、整備員・その他職員の数、総固定費用を求めることが可能となった。さらに今後の展開として、ここで求められた解を起点としてバス運行者はこの路線網に政策的判断を加えて各路線の運行頻度を増加したり、あるいは新たに路線を加えたりすることができる。これに対し収支計算モデルを用いて総収益を求めることにより、例えば補助金がある場合にはこれを対象地域に投じることにより、あるいはサービスを向上させるため総収益の何割かを対象地域に投じることにより、対象地域にどの程度のサービスを行うことができるかを検討することができる。

最後に本論文を作成するにあたり、適切な助言をいただきました東北大学工学部土木工学科湯沢助手徳永助手に対し感謝の意を表します。

## 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 1980年 8月
- 2) 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 1982年 9月
- 3) 河上省吾・溝上章志：バス輸送計画の策定システムに関する研究：土木計画学研究発表会講演集 1983年 1月
- 4) 田中耕造：バス輸送計画策定上考慮すべき問題点：運輸と経済 1982年 4月
- 5) 天野光三・小谷通泰・山中英生：電算機支援システムによるバス系統網計画の評価に関する研究：土木計画学研究発表会講演集 1982年 1月