

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

京都大学工学部 正 員 天野 光三
京都大学工学部 正 員 〇小谷 通泰
京都大学大学院 学生員 山中 英生

1. はじめに

鉄道や道路などの施設整備のように、実現にまで長期間を要する交通計画とともに、バス運行の改善などを含めた短期的な交通計画の重要性が認識され、そのための計画の方法が必要とされている。そこで本研究では、バス運行の改善のための諸策のうち、特にバス系統網に関する改善策ととりあげ、それを分析、評価するための計画システムについて述べたものである。ところで、このような計画システムにおいては、改善策が実施されたことによる種々の効果を測定するための手法の開発が必要であることは言うまでもないが、これと同時に実際にシステムを適用して行く際には、多数の代替案の分析、評価を容易に、かつ迅速に行なえることが重要であり、このような観点から、ここでは計画システム全体を支援する電算機システムの整備とあわせて行なっている。

以下では、まず本研究でのバス系統網計画システムの考え方について述べるとともに、開発した計画支援システムの目的や機能などの概要について説明する。そしてさらに、システムを現実の都市におけるバス系統網再編問題へ適用した例について述べる。

2. バス系統網計画システムの考え方

本計画システムでは、計画対象地域に関する道路網データ、およびバス停間のOD需要のデータを基礎データとし、また分析、評価すべき代替案（現実のバス系統網も含む）を条件としている。なお、バス系統網の変化によりOD需要には変化が生じないものと仮定している。そして、これらの基礎データ、条件となるデータをもとに、図-1に示すフローにしたがって代替案の分析を行ない、得られた種々の分析結果をもとに代替案を評価する。この結果必要に応じて代替案の修正や新たな代替案の追加を行ない、先と同様の手順を繰り返すことにより、望ましい計画案を得ようとするものである。以上のような計画作業は、次に、述べるように電算機の支援をうけながら行なわれる。

以下では、先に図-1に示したフローに従って、計画作業の中で行なわれる分析の内容について説明する。

① ODペア間における代替経路の探索とそのサービス水準の推定

ODペア間について、バス利用者が選択することのできる代替経路を明らかにする。この代替経路は、たとえば直通バスの利用による経路や、バスと地下鉄の乗り換えによる経路というように複数列举される。なお、この際、あるODペア間に物理的に到達可能な経路は、無数に存在するものと考えられるため、ここではその経路を利用したときの所要時間が最小所要時間の一定の倍率以下であること、乗換回数や乗換地点等に対して制約を設けることなどにより、現実のバス利用者の行動に即して仮定のもとで、代替経路の探索を行なっている。一方、列举された代替経路については、その経路を利用した時のサービス特性、つまり所要時間（待ち時間、乗車時間、乗換時間等の総計）、乗換回数、運賃などの値を算出する。

② バス系統網上のバス利用者流動の推定

ODペア間に複数の代替経路が存在する場合には、各代替経路のもつサービス水準を要因として、利用者が各経路を選択する確

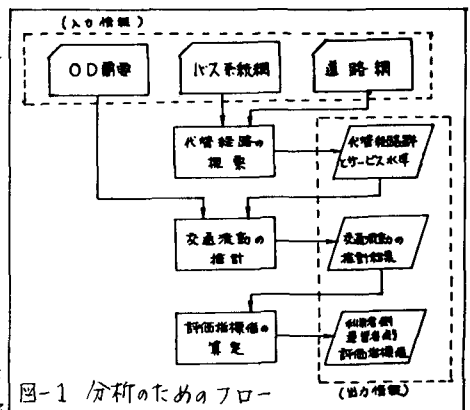


図-1 分析のためのフロー

率を求め、これをもとにOD需要をバス系統網上に配分し、利用者の流動を推定する。なおここでは、利用者が各代替経路を選択する確率は、サービス水準のうち待ち時間や乗換之時間を含む所要時間と要因として、表-1で示す式により得られるものと仮定して、算定した。

表-1 代替経路の選択確率の算定式

$$P_i = \frac{(1/t_i)^n}{\sum_j (1/t_j)^n} \quad (n=3 \text{ と仮定})$$

i : ODペア間の代替経路の総数
 t_i : 所要時間(待ち時間+乗換之時間)

③利用者、バス運営者からみた評価指標の値の算定

推定されたバス系統網上の利用者流動を用いて、利用者側の指標として延べの所要時間、乗換之回数、運賃、またはそれら指標の一人あたりの平均値や、そして運営者側の指標として、バス系統ごとの乗客効率、収支係数またはバス系統網全体としてのそれら指標の値を算定する。

以上述べたように、分析過程では、ODペアごとの代替経路やそれらのサービス水準、利用者流動の推定結果などから得られ、また最終結果として各種の評価指標の値が得られるが、後に述べる支援システムを用いてこれらの分析結果を加えて編集し、図形化出力することにより、個々の代替案の検討や代替相互の比較検討を行なうことが可能である。

3. 電算機支援システムの概要

本研究で整備しようとする電算機支援システムは、計画者が必要とする情報を容易にかつ理解しやすい形で提供することにより、分析・評価の助けをすることともに、計画の効率化ならびに質的向上をはかっているとするものである。そしてこのような目的のために利用する電算機システムの構成を示したのが図-2である。これによれば、大型計算機と通信回線で結ばれたマイクロコンピュータを中心に、その周辺機器として図形の入力を行なうためのタブレット装置、図形の出力を行なうためのディスプレイ装置、プロッター装置等が配列されている。このような構成をとることによって大規模な演算や大量のデータ処理を大型計算機のTSS機能を利用して行ない、一方、端末側では、主として図形情報を用いた対話処理を行なうものとする。

一方、支援システムのもつ機能としては、次に述べるデータ・ベース機能、グラフィック機能、対話管理機能があげられ、以下ではこれらの機能について順に説明する。

3-1 データ・ベース機能

収集されたデータや分析結果の格納、更新、抽出などの一連の操作を行なえ、データの統一的管理と可能とするものである。

一方、ここでは、計画に関するあらゆるデータは、空間的位置や形状を示す地図情報と、それらに付随した属性情報に分類し、地図

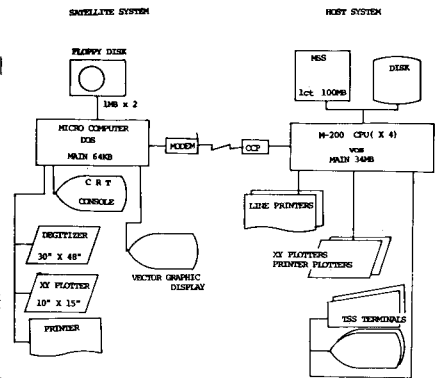


図-2 電算機システムの構成

情報を表現する構造要素としては、ノード、リンク、ルート、メッシュの4要素を考えている。そしてまたこれらのデータはすべて表形式で表現され、表単位に操作を行なわれる。

たとえば、道路網やバス系統網のように地図形式のデータは、タブレット装置の利用によりコード化した上で図-3に示すような形式により与えられる。つまり道路網のデータは、道路交差点(ノード)と、隣接した交差点によりはなされた道路区間(リンク)のデータから構成される。また、道路形状が曲線であったり、屈折している場合には、交差点間に適宜ダミーノードを設け、折れ線により近似する。この道路区間データは、距離などの属性をもつ。またバス系統網のデ

交差点 ノード番号	X座標	Y座標

(a) 道路交差点(ノード)

道路 リンク番号	始点 ノード番号	終点 ノード番号	距離

(b) 道路区間(リンク)

< 道路網データ >

バス停 番号	X座標	Y座標

(a) バス停留所(ノード)

バス停 区間番号	始点 バス停番号	終点 バス停番号	運行 所要時間

(b) バス停区間(リンク)

< バス系統データ >

系統番号	運行回数	運行時刻	ルート名	ルート上の バス停数	ルート上のバス停	ルート上のバス停
				1		n

(c) バス系統(ルート)

図-3 道路網データ・バス系統網データ

地下鉄と競合する系統の廃止や経路変更、地下鉄駅を起終点とするゾーンバス系統の設定等が主たる改善内容である。なおこのような比較検討は、各バス系統の運行頻度が時間的に変化することを考慮すれば、適当ないくつかの時間帯ごとに行なう必要があるが、以下では午前7～9時のピーク時における比較検討結果を例にとり説明を進めることとする。

4-1 サービス水準による現況と計画案との比較

図-1の分析フローに示すように、中間情報として市内の各ODペア間について、利用者が選択することか可能な代替経路とそのサービス水準が推定されているので、まずこれらの情報を用いて現況と計画案の比較を行なった。つまり、市域内をメッシュ(250m四方)に分割し、各メッシュから市内の主要地点へ至る際に、代替経路の所要時間、乗換回数、運賃といった各サービス特性が現況と計画案とでどのように異なっているかを調べた。なおこの際に、複数ある代替経路の中からとりわけ所要時間、乗換回数、運賃のそれぞれが最小となる経路ととりあげて比較を行なったが、以下では一例として最小所要時間経路に着目した場合について説明する。また市内の主要地点とは、乗降客数の多いバス停と考えるものとする。

そこで、まず乗降客数の多いバス停を抽出するために、図-5に示すように各バス停の乗降人数に比例する円と、乗車人員数は白い円で、降車人員数は黒い円で、地図上の対応する地点上に重ねあわせて図示した。この結果、乗降客数の多いバス停の一つとして京都駅とあげることが出来る。そして次に図-6は、市内の各メッシュからこの京都駅に至る際の最小所得時間経路について、現況と計画案に関してサービス水準と比較し分類した結果を図示したものである。サービス水準の比較は、単一の特性、たとえば所要時間のみと取りあげて行なうことも可能であるが、ここでは所要時間、乗換回数、運賃の3つの特性と同時に取りあげ比較分類している。なお分類は表-3に示すカテゴリー区分に従っており、このカテゴリー区分では最小所要時間経路が代替経路の中で所要時間も重視した経路であることから、まず3つのサービス特性の中から所要時間が、計画案では現況より改善するか、変化しないか、また悪化するかを分類している。そしてそのうち、残る2つの特性、つまり乗換回数、運賃が改善するか、もしくは変化しないか、悪化するかを分類している。一方このでの所要時間は、2.で述べた所要時間には、当該メッシュの中心から最寄りのバス停へ



図-5 バス停ごとの乗降人員数

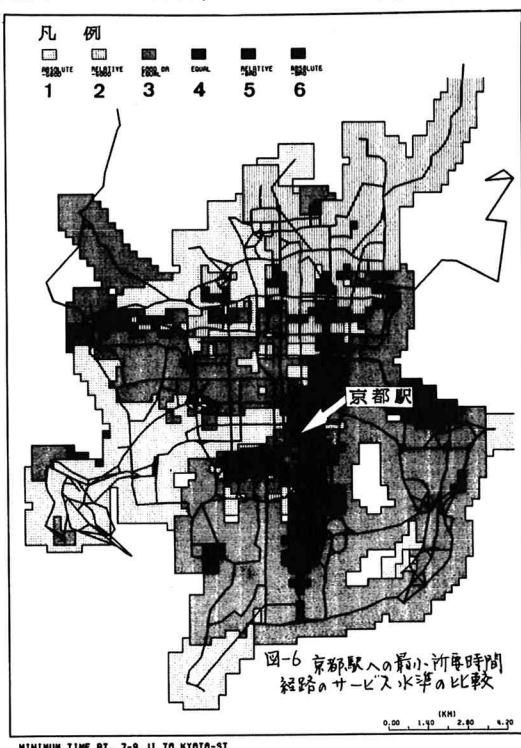


図-6 京都駅への最小所要時間経路のサービス水準の比較

表-3 分類のための
カテゴリー区分
+ : 計画案では現況
より改善する
0 : 計画案と現況で
は変化がない
- : 計画案では現況
より悪化する

分類	所要時間	乗換回数	運賃
1	+	+、0	+、0
2	+	-	+、0
3	0	+、0	+、0
4	0	+、0	-
5	-	+、0	+、0
6	-	-	-

の徒歩時間を加えたものである。

以上述べた例では、代替経路の中から最小所要時間経路ととりあげ、そのサービス水準の比較を行なったが、これ以外にも最小乗換之経路、最小運賃経路についても同様に分析することにより、代替経路全体のサービス水準と把握することが可能である。

4-2 利用者側、運営者側の評価指標による現況と計画案の比較

利用者流動の推計結果をもとに算定した、利用者側、運営者側の評価指標の値を用いて、現況と計画案と比較検討した結果について述べる。

①利用者側指標による比較

ここでは利用者側指標のうち、所要時間ととりあげ、市内の各地点ごとに次の2通りの表示を行なった。

(1) 近べ所要時間の差を表示する。なお近べ所要時間は表-4により算定する。

(2) 1人あたりの平均所要時間の変化率を表示する。なお1人あたりの平均所要時間および変化率は表-5により算定する。

表-4 近べ所要時間の算定方法

$$S_i = \sum_j T_{ij} \cdot P_{ij}$$

S_i : i地点における近べ所要時間
 T_{ij} : i地点からj経路と利用する際の所要時間
 P_{ij} : i地点からj経路と利用する交通量

表-5 平均所要時間の変化率の算定方法

$$M_i = \frac{\sum_j T_{ij} \cdot P_{ij}}{P_{ij}}$$

M_i : i地点における1人あたりの平均所要時間
 M_i' : 現況
 M_i'' : 計画案
 $INC_i = \frac{M_i' - M_i''}{M_i'}$
 INC_i : i地点における変化率

図-7, 8はそれぞれ、今述べた近べ所要時間、1人あたりの平均所要時間の変化率と市内の各地点ごとに図示したものであり、いずれも同じ時間帯の所要時間に関する比較結果である。これらの図によれば、前者の図-7からは各地点の所要時間の改善、悪化を全市的地見地から見る事ができ、一方後者の図-8からは市内各地点別に所要時間などのように変化したものを把握することができる。したがってここで図示された例では、所要時間については計画案では市内の各所で改善、もしくは悪化している地点がみられるものの、全体的に見た場合には変化の度合が大きい、また利用人数の多い京都駅での改善効果が著しいことが示されている。

なお所要時間についてのこのような表示は、乗換回数、運賃などの指標についても同様に行なうことができ、それぞれの指標について計画案と現況との比較ができる。

②運営者側の指標

乗車効率はあるバス系統に平均して乗客定員の何%の乗客が乗っているか

図-9 系統別の乗車効率

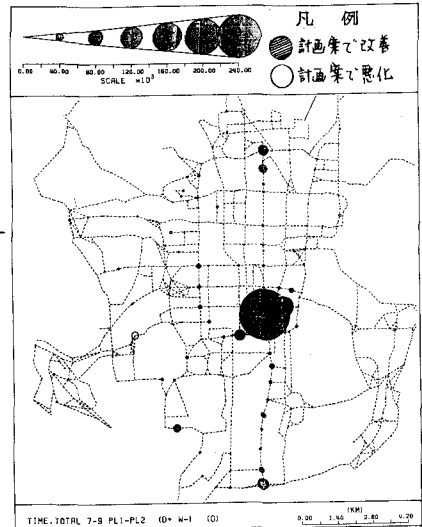


図-7 近べ所要時間の差

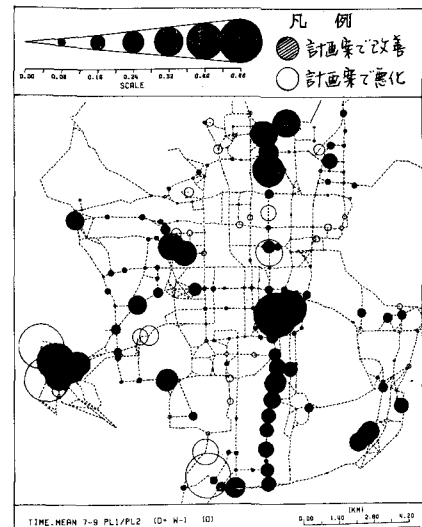
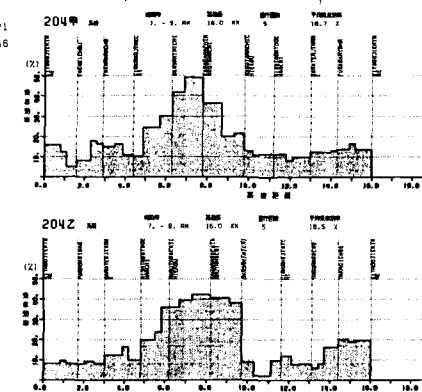


図-8 平均所要時間の变化率



(b) 乗車効率の変化図

を示す指標であり、表-6により算定される。

このような乗車効率¹⁾は、図-9に示すように各バス系統に関する運行頻度やルート図、および運行区間全体での平均の乗車効率²⁾とともに、バス停区間ごとの乗車効率³⁾を算出してルート上での乗車効率の変化と図示することができ、これにより、系統による平均乗車効率の大小や、各系統ごとにどの区間で乗車効率が高いか、また低いかについて知ることができる。

表-6 乗車効率の算定方法

$$\text{系統別の乗車効率} = \frac{\sum \left(\frac{\text{バス停間数}}{\text{バス乗車人員}} \right) \times \left(\frac{\text{バス乗車人員}}{\text{間距離}} \right) \times (\text{バス日数})}{\left(\frac{\text{バス台数}}{\text{1日の乗車}} \right) \times (\text{系統の運行回数}) \times (\text{路線長})}$$

5. おわりに

本研究では、バス系統網計画代替案の分析・評価を行なうための計画システムと提案するとともに、多数の代替案の分析・評価を容易に、かつ迅速に行なえるようにするために、あわせて電算機支援システムの整備をはかった。そしてさらに、現実の都市を対象としたバス系統網再編問題へのシステムの適用を行なった。

現在、分析・評価のための手法の改良ならびに支援システムの機能の拡充をはかっているが、今後の課題としては以下のようなことがあげられよう。

- ①バス系統網に関する改善策には、運行頻度を増加させたり、バス経路の変更を行なうことによる所要時間の短縮化だけでなく、利用者が乗車時に感じる抵抗の軽減化（たとえば、乗継ぎ時の割りき運賃制度の導入、バスターミナルの整備）など、種々の方策が考えられる。このように多様な内容をもつ改善策を分析・評価するためには、バス利用者の行動を予測する際に、上述の改善内容を説明変数として取り込むことができるモデルを構築して行くことが必要であり、今後、非集計行動モデル体系の適用などをはかて行きたい。
- ②本システムでは、利用者の選択できる代替経路とそのサービス水準や交通流動の推計結果、そしてさらに利用者側、運営者側の各種評価指標の値などの分析結果が得られるが、これらと、すべてデータ・ベースに格納しているので、代替案評価の際に容易に利用することができる。ところで、ここで利用可能な情報は大量かつ多岐であるため、これらの情報を評価に役立たせるためには、いかに加工・編集し、また効果的に視覚化して行くかが重要となる。この点で支援システムの果たす役割には大きなものがあるが、また一方で、得られる情報の集約化をはかるため、たとえば、評価指標の値を個別に検討するだけでなく、複数の指標の統合化をはかて行くことも必要と考えられ、そのための方法論についての検討が必要である。

参考文献)

- 1) M.H.Rapp: Man-Machine Interactive Transit system planning, Socio-Econ, Plan, Sci, Vol. 6, pp. 95~123, 1972年
- 2) 林、中村、宮本他; 土地利用-交通計画のための計画支援システム, 第3回土木学会計画学研究発表会, 昭和56年1月
- 3) 天野、小谷、山本; コンピュータ・グラフィックスシステムの交通計画への応用例, 第5回電算機利用に関するシンポジウム講演概要, 昭和55年10月
- 4) 天野、小谷、山本; 地区道路網計画のための電算機支援システムの開発と応用について, 第15回日本都市計画学会学術研究発表会論文集, 昭和55年
- 5) 小谷、山中、佐分; バス系統計画のための電算機支援システムとその適用, 第36回土木学会年次学術講演会概要集, 昭和56年