

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
 京都大学大学院 学生員 佐分 英治

1. はじめに

都市における人口の郊外化や都市構造の変化に伴う交通需要の変化に対応するため、また地下鉄路線の新設などに際して、バス系統網の再編の必要が生じる。しかしながら、現実には、こうした再編作業は計画者の勘や経験に頼って行なわれることが多く、必ずしも合理的、効率的なものではなかった。そこで本報は、再編作業において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できるような電算機支援システムの開発により、バス系統網再編計画の評価、修正を容易にすることを試みたものである。以下では、開発したシステムをK市における地下鉄開通時のバス系統網再編計画の評価へ適用し、主として、システムの利用により、どのような情報が提供されるのかについて、具体例を示して説明することとする。

2. バス系統網再編計画の評価のための分析内容

バス系統網再編計画の評価のための基礎となる情報は、①道路網に関するデータ、②再編前後におけるバス系統網に関するデータ（地下鉄路線も含む）、③バス停間のOD需要に関するデータ、である。そして、これらのデータをもとに、具体的に次の3種の分析を行なう。

(1) OD需要の特性の分析——バス停間OD表をもとに、市域内のOD需要の特性を把握する。これによって、主要な需要のODパターンを把握し、後に再編前後のバス系統網を比較する際の基礎とする。

(2) 交通流動分析によるバス系統網再編計画の評価——バスや地下鉄利用者の経路選択に関するモデルを仮定した上で、

OD交通量を再編前後のバス系統網上に配分して、交通流動の推計を行なう。そして、この推計結果をもとに、

所要時間、乗換え回数、運賃や、バスの乗車効率などの指標が再編前後どのように変化しただかを比較検討する。

(3) サービス特性分析によるバス系統網再編計画の評価——

(1)のOD需要の分析から、主要なODパターンを抽出し、これらのODペアについてバス系統網の細部にわたるサービス特性（所要時間、乗換え回数、運賃）の再編前後の変化を比較検討する。

これらの分析は、バス系統網（特に運行本数）、OD需要が時間帯によって変化することから、適当ないくつかの時間帯にわけて行なう。

3. 評価のための基礎情報のデータ化

2.で述べた評価のための基礎情報は、本システムではすべて電算機に入力する必要がある。この際、OD表のように数値で表現されたデータについては、そのまま電算機への入力が可能であるが、道路網やバス系統網のように地図形式で表

交差点 ノド番号	X座標	Y座標	道路 リンク番号	始点 ノド番号	終点 ノド番号	距離

(a) 道路交差点(ノド)

(b) 道路区間(リンク)

図-2

道路網データ

バス停 番号	X座標	Y座標	バス停 区間番号	始点 バス停番号	終点 バス停番号	運行 所要時分

(a) バス停留所(ノド)

(b) バス停区間(リンク)

系統番号	運行回数	運賃種別	ルートタイプ	ルート上の バス停数	ルート上のバス停
					1番目のバス停 n番目のバス停

(c) バス系統(ルート)

図-3 バス系統 網データ

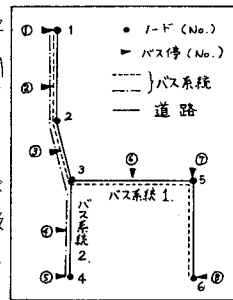


図-1 バス系統網と道路網

タイプ	模式図	コード
往復型		0
端ループ型		1
完全ループ型		2
8の字型		3

図-4 ルートタイプ

現されているデータは、座標読み取り装置の利用によりあらかじめ数値化しておく必要がある。そしてこれらの道路網やバス系統網のデータは、以下述べるように、それぞれ異なる形式により与えられる。なおここで、道路網とバス系統網の関係を図示したのが図-1である。

3-1 道路網に関するデータ——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さまれた道路区間（リンク）のデータから構成される。また、道路線形が曲線であったり、曲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。こうした道路網データは、図-2に示す形式で与えられる。

3-2 バス系統網に関するデータ——バス系統網のデータは、バス停（ノード）と隣接したバス停によりはさまれたバス停区間（リンク）のデータ、およびバス停のつらなりとして表現できるバス系統（ルート）のデータから構成される。バス停区間データは、バス停間距離、運行所要時分などの属性をもち、またバス系統データは、運行回数、運賃種別、ルートタイプ（図-4参照）などの属性をもつ。これらのバス系統網データは、図-3に示す形式により与えられる。

4. OD 需要特性の分析

ここでは、OD 需要の特性を分析するため、OD 表を以下の2通りの方法により図画することを考える。

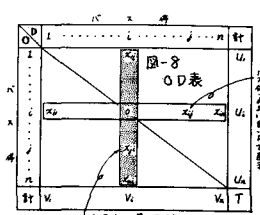
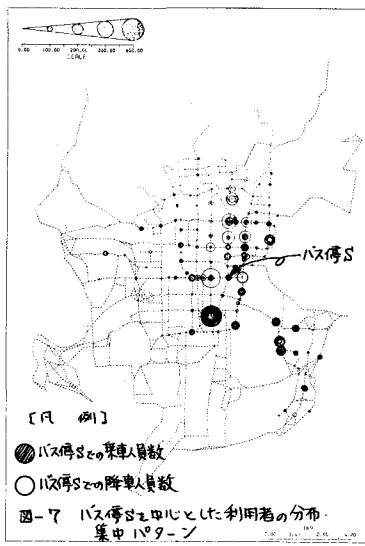
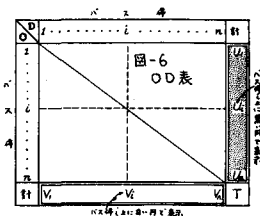
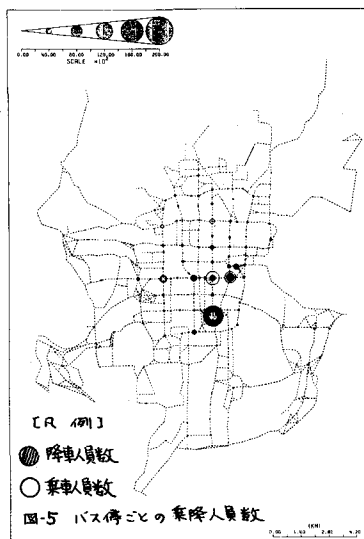
4-1 バス停での乗降人員数——図-5は、午前7～9時の時間帯について、

各バス停の乗降人員数に比例する円を、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ものである。つまり、この図は図-6に示すOD表中の□で囲まれた部分を図示したことに相当する。これによって、同一時間帯において、バス停相互の乗降人員数の比較や、各バス停での乗車人員数と降車人員数の比較、および、異なった時間帯における各バス停の乗降人員数の比較などの分析が可能となる。

4-2 利用者の分布・集中パターン——図-7は、先と同じ時間帯について、図-5で示された乗降人員数の大きいバス停Sをとりあげ、バス停Sで乗車した利用者が降車するバス停、およびその時の人員数を、地図上の対応する地点上に、人員数に比例した大きさの円（白い円）により図示したものである。なお図中には、同時に、バス停Sで降車する利用者が、乗車した地点および人員数を、人員数に比例した大きさの円（黒い円）により図示している。つまり、この図は図-8に示すOD表中の□で囲まれた部分を図示したことに相当する。図-5に示された乗降人員数の多い他のバス停についてもこれと同様な図を描くことにより、そのバス停で乗車した利用者は主としてどの地点で降車するのか、また逆にそのバス停で降車する利用者はどのバス停で乗車したかといった利用者の主要な行動範囲を見きわめることができる。

5. 交通流動分析による再編前後の比較

地下鉄やバス利用者に関する経路選択モデルを仮定し、再編前後の交通流動を推計



する。そして、この推計結果をもとに、①所要時間・乗換え回数・運賃や②乗車効率などの評価指標の値を算定し、再編前後でこれらの指標がどのように変化したかについて検討した。なお、ここで仮定した経路選択モデルは次のようなものである。つまり、各ODペア間に対して、利用者が選択可能な経路のうち、所要時間が小さな上位 m 本の経路について、それぞれの経路を選択する確率を表-1に示す算定式によって求める。以下では、上述の指標による、再編前後の比較結果を図示した例について説明する。

表-1 ODペア間の各経路の選択確率の算定方法

$$P_i = \frac{(1/t_i)^n}{\sum_j (1/t_j)^n} \quad (i=1 \sim m)$$

t_i : 所要時間 (Σ待ち時間 + Σ乗車時間 + Σ乗り換え時間)

5-1 所要時間・乗換え回数・運賃 — 所要時間について、午前7時から9時の時間帯に関して、市内各地点ごとに再編前後の比較を行なうための2通りの表示を行なった。

(1) 延べ所要時間の差の表示 — 図-9は、市内の各地点について、再編前後の延べ所要時間の差を図示している。なお、延べ所要時間は表-2に示す算定式によって求めた。

(2) 平均所要時間の変化率の表示 — 図-10は、各地点での1人あたりの平均所要時間の、再編前後の変化率を示したものである。なお、平均所要時間および変化率は表-3に示す算定式により求めた。

表-2 延べ所要時間の算定方法

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

S_i : i 地点における延べ所要時間
 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-3 平均所要時間の変化率の算定方法

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

$$INC_i = \frac{M_i' - M_i}{M_i}$$

M_i : 平均所要時間
 INC_i : 変化率
 M_i' : 再編前の平均所要時間
 M_i : 再編後の平均所要時間

これらの図は、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が、それぞれの図が意味する内容は異なったものである。つまり、図-10に示すように、1人あたりの平均所要時間の差をみた場合には、市内の各所において、改善または悪化している地点がみられるものの、図-9に示すように、延べ所要時間の差をみた場合には、バス停Kでの改善効果が他の地点に比して著しい。これは、バス停Kでは、地下鉄開通による所要時間の短縮が大きく、かつここでの乗車人員数が多いことに起因している。

なお、所要時間について行なった、このような表示は、乗換え回数、運賃の他の2つの指標についても同様に行なうことができる。

5-2 乗車効率 — 各系統ごとに利用人数が推計されているので、表-4に示す算定式により、乗車効率を求めることができる。また、こうした乗車効率は、図-11に示すように、系統ごとに、そのルート図とともに、バス停区間ごとの乗車効率を算定してルート上での乗車効率の変化を図示することができる。これによって、系統による平均乗車効率の大小とともに、あわせて各系統ごとにどの区間で乗車効率のルート図

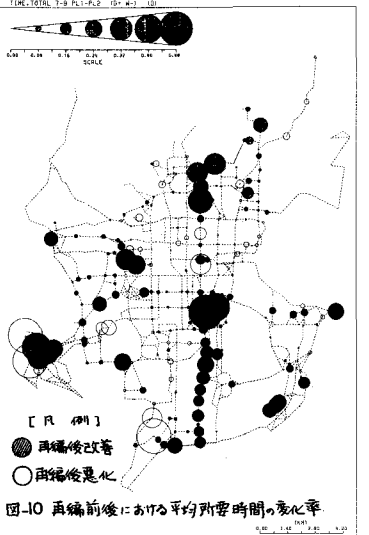
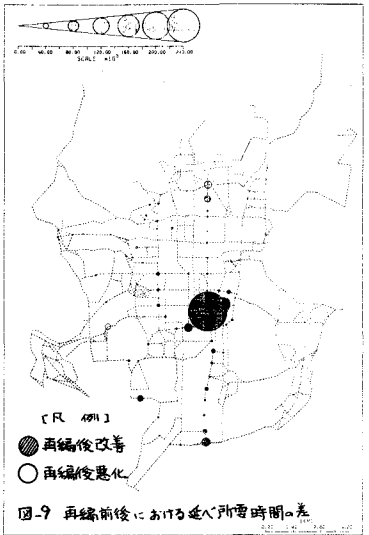
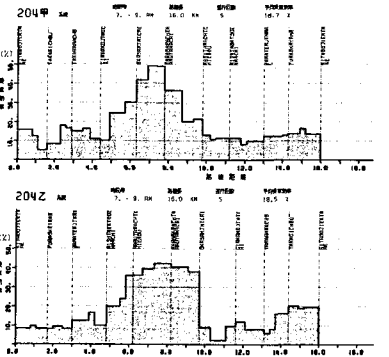


表-4 乗車効率の算定方法

$$\text{乗車効率} = \frac{\sum (\text{バス乗車人数}) \times (\text{バス停留区間の長さ}) \times (\text{バス台数})}{(\text{バス台数の総数}) \times (\text{運行回数}) \times (\text{路線長})}$$



車効率が高いか、また低いかを知ることができる。

6. サービス特性分析による再編前後の比較

市域内をメッシュ（250m四方）に分割し、各メッシュから市域内の主要地点へ至る際に、利用者が利用可能な経路の所要時間・乗換え回数・運賃といふサービス特性が、再編前後どのように変化したかについて比較検討する。

ここでは、これらの経路のうち、とりわけ最小所要時間経路、最小乗換え経路、最小運賃経路に着目して、サービス特性の分析を行えるようになっているが、以下では一例として、最小所要時間経路の場合について説明する。なお最小所要時間経路とは、あるODペアについて利用可能な経路中、所要時間が最小であるものを言うが、この際所要時間が最小である経路が複数ある場合には、乗換え回数、次いで運賃が最小となる経路も選ぶものとする。また、この所要時間には、各メッシュから最寄りのバス停へ至るまでの歩行時間が含まれている。

図-12は、午前7～9時の時間帯に、バス停Kへ至る際の最小所要時間経路

について、表-5に示すカテゴリー区分を用いて、サービス特性の再編前後に於ける変化により、メッシュを分類した結果を示している。このような分類図を描くことにより、メッシュごとに、まず所要時間が再編前とくらべて改善されているか、悪化しているか、または、変化が小さいかについて検討できるとともに、わざわざ残りの2つの要素、つまり乗換え回数、運賃についても改善されているか、悪化しているかについて把握することができる。

また、同様上、最小乗換え経路については乗換え回数を、そして最小運賃経路については運賃を、それぞれ主たる評価要素として、残る2要素（たとえば最小乗換え経路については、所要時間と運賃）がどのように変化したかにより、メッシュを分類することができる。

このような図を、先に図-5に示した主要集中地点について表示すれば、サービス特性の再編前後による変化の様子を詳細にとえることができる。

7. おわりに

本報では、開発したシステムにより、主としてどのような入力情報をもとに、具体的にどのような情報が出力され、またこれによってバス系統網再編計画の評価が支援されるかについて述べてきた。ここでの出力結果の多くは、多次元情報であり、これらをより理解しやすい形で表示するためには、今後カラーグラフィックスの利用が有効であると考えられる。また、支援システムは、一般に、本報で述べたような、地図情報の入力や計画情報の視覚化とハットグラフィック機能のみならず、各種データを統合的に運用管理するためのデータ・ベース機能、平易な命令により電算機への指示を与えることが可能となるような対話管理機能、さらに、今後種々の応用プログラムを追加、登録できるプログラム機能も必要としており、本システムにおいても、これらの機能の整備拡充を合わせて進めている。

〈参考文献〉大野・小谷・山本、コンピュータ・グラフィックスの交通計画への応用例について、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

図-5 メッシュの分類

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

例 + : 再編後、改善されたメッシュ

0 : 再編後、変化がなかったメッシュ

- : 再編後、悪化したメッシュ

表中の「+」の組の各メッシュは、運賃制度の更新と関係がない。

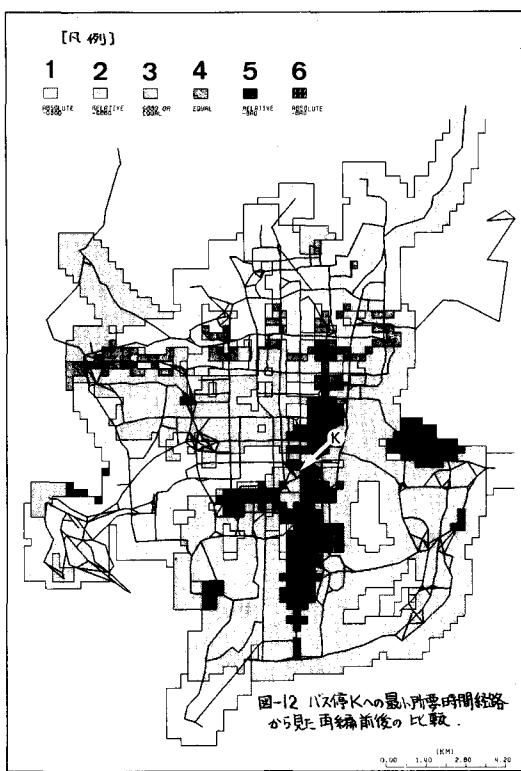


図-12 バス停Kへの最小所要時間経路から見た再編前後の比較