

都市におけるバス路線網の構成に関する研究

○北海道大学 学生員 入 澤 博
 北海道大学 正 員 山 形 耕 一
 北海道大学 正 員 五十嵐 日出夫

§1 はじめに

近年、都市における交通は、いわゆるマイカーの増大によって公共大量輸送機関であるバス・路面電車の運行がさまたげられ、法定速度の著しい低下等が生じ大量輸送機関の運営に多くの問題をかかえている。そこで、このような都市内の大量輸送機関の行きづまりを打開するために、地方の中核となる都市において、路面大量輸送機関に代わって地下鉄あるいはモノレール等の専用通路を有する大量輸送機関の導入計画が大きくクローズ・アップされてきた。

しかし、地下鉄あるいはモノレール等の新設は、建設費が非常に高い。それに、マイカーの普及により周辺部の開発密度が低くなりつつあり、さらに新線の経済性に大きく影響する昼間のトリップがマイカーに依存する傾向を強めている。東京・大阪等の巨大都市は別として、その他の都市圏では経済的にみて地下鉄あるいはモノレール等のシステムは成立し難い状況にある。このシステムを成立させるためには、建設費の補助等の措置も必要であるが、同時に新線導入後における都市の形態を、新線の利用しやすいように変え新線の利用効率を高める交通計画的な措置も重視されなくてはならない。すなわち、新たにどのような大量輸送機関を導入する場合にでも、既存の交通機関との連結・整合をはかり都市交通全体の効率を上げることによって、新線の成立条件を高めることは極めて重要である。具体的には次のような対策が考えられる。

- (1) 新線の沿線を集中的に開発して新線の成立条件を高める。
- (2) 既存のバス網を再編成して新線との連結・整合をはかり新線利用者の増加をはかる。
- (3) 新線を都市の周辺で分岐させるか、または郊外駅でサブシステムの交通機関を併設してサービス圏の拡大をはかる。
- (4) パーク・アンド・ライドを大に採用して自動車交通との連結・整合をはかり新線利用者の増加をはかる。

上述のどの方法を適用するかは、その都市の置かれている条件・発展形態等によって異なるので、その都市に最も適した方法を見い出さなければならないのは言うまでもない。

ところで、現在札幌市においては大量輸送機関として地下鉄の導入が行なわれている。そして上述の(2)の対策すなわち、既存のバス網を再編成して新線との連結・整合をはかり新線利用者の増加をはかるという方法を用いて、地下鉄の効率を高め、その結果として都市交通全体の効率を高めようとする努力がなされている。従来、札幌市においてバスは都市交通の幹線の役割を担っていたが、地下鉄導入によりその役割が地下鉄に対する補完的機関となってきた。つまり、都心部における地下鉄の高速性・大量性の利点を生かし、線路機能を持つ地下鉄を面的機能を持つバスで補完して、地下鉄の効率を高めようとする考え方に基づくものである。

本研究においては、地下鉄・バスで構成する典型的な数種類の都市交通網を取りあげ、バスの都心に及び郊外における速度とバスの総配車台数を外生変数としてシュミレーションにより分析を行なった。そして、バスの速度の変化並びにバスの総配車台数の変化によって、各々の交通網の特性を明らかにしようとしたものである。

§2 評価関数の定式化

都市内において、市民が大量輸送機関を利用して移動を行なうことを、次のような考え方に基づいてモデル化を行なった。市民が大量輸送機関を利用する際に、利用者は料金を大量輸送機関の運営者に対して支払い大量輸

送機関を利用する。そして、移動に要する時間費用を負担している。一方、運営者は運行費用（地下鉄については建設費を含む）を費やして大量輸送機関を運行させている。このフローを図示すれば図-1のようになる。図-1のように交通経済現象を把握した場合、=重体に囲まれた部分は交通に費やす社会的総投入と考えることができる。主体別に投入を見ると、利用者が移動時間及び料金として費やした費用、また運営者が大量輸送機関を運行させるために費やした費用の3つの部分がある。しかし、利用者が運営者に対して支払う料金は、利用者にとっては費用であるが、運営者にとっては対果である。したがって、料金は利用者と運営者の間の内部取引となるので、移動を達成するための社会的総投入としては、利用者の移動時間費用と運営者の運行費用を考えればよい。すなわち、

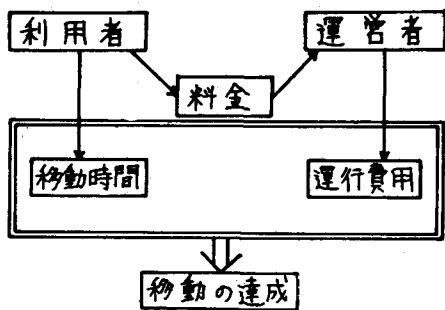


図-1

（総投入）=（利用者の移動時間費用）+（運営者の運行費用）-----① となる。

このモデルを実際の都市交通に適用するために定式化を行なう。対象交通機関を大量輸送機関（地下鉄及びバス）とし、対象交通需要を都心（C.B.D.）へ向う通勤交通とする。本モデルは、移動を達成するための社会的総投入を目的関数に設定しているので、移動の効率化は社会的総投入を最小化することによって達成される。

ここで、輸送に関する制約条件としては、各路線の断面における地下鉄及びバスの容量制限、並びに地下鉄及びバスの総配車台数の制限がある。移動は図-2のように地下鉄路線Q、バス路線P、またはその双方を用いて行なわれ、それぞれ乗車待ち時間・乗り換え時間・アクセス時間を考え、これら移動時間を金額換算した費用と運行費用の和の最小化をはかる。

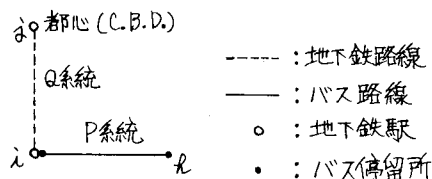


図-2

（目的関数：F）

$$F = w \sum_{P=NH}^M \sum_{Q=1}^N (T_{\lambda\mu}^P + T_{\lambda\nu}^Q + W_{\lambda}^P + W_{\lambda}^Q + K) \cdot A_{\lambda\mu}^P + \sum_{P=NH}^M D_b \cdot t_b^P + \sum_{Q=1}^N D_s \cdot t_s^Q \rightarrow \text{Min} \quad \text{②}$$

（制約条件式）

i) 地下鉄及びバスの各路線リンクにおける断面輸送量が断面容量以下である制約条件式。すなわち、

$$\begin{aligned} \text{地下鉄} \quad \text{Max} \left[\frac{A_{\lambda\mu}^Q}{\sum_{\lambda\mu} T_{\lambda\mu}^Q} \right] &\leq C_s \quad \text{③} & \text{バス} \quad \text{Max} \left[\frac{A_{\lambda\mu}^P}{\sum_{\lambda\mu} T_{\lambda\mu}^P} \right] &\leq C_b \quad \text{④} \end{aligned} \quad \text{となる。}$$

ii) 地下鉄及びバスの各系統に配車される台数の総和が総台数以下である制約条件式。すなわち、

$$\begin{aligned} \text{地下鉄} \quad \sum_{Q=1}^N SS^Q &\leq \text{Max}(SS) \quad \text{⑤} & \text{バス} \quad \sum_{P=NH}^M SB^P &\leq \text{Max}(SB) \quad \text{⑥} \end{aligned} \quad \text{となる。}$$

（記号の説明）

w : 単位時間当りの平均労働賃金 (円/時)
 $T_{\lambda\mu}^P$: P系統のリンク $\lambda\mu$ 間の時間距離 (時)
 $T_{\lambda\nu}^Q$: Q系統のリンク $\lambda\nu$ 間の時間距離 (時)
 W_{λ}^P : P系統のノード λ での乗車待ち時間 (時)
 W_{λ}^Q : Q系統のノード λ での乗車待ち時間 (時)
 D_b : バスの単位距離に対する運行費用 (円/台km)

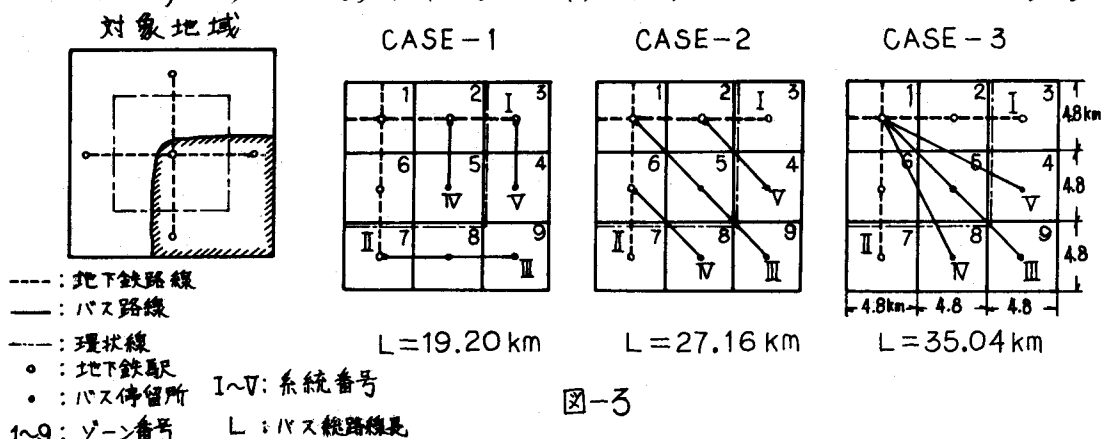
$A_{\lambda\mu}^P$: P系統のリンク $\lambda\mu$ を通過する総人数 (人)
 $A_{\lambda\nu}^Q$: Q系統のリンク $\lambda\nu$ を通過する総人数 (人)
 SB^P : P系統に配車されるバスの台数 (台)
 SS^Q : Q系統に配車される地下鉄の台数 (台)
 $\sum_{\lambda\mu} T_{\lambda\mu}^P$: リンク $\lambda\mu$ を含むP系統の時間距離 (時)
 $\sum_{\lambda\nu} T_{\lambda\nu}^Q$: リンク $\lambda\nu$ を含むQ系統の時間距離 (時)

D_s : 地下鉄の単位距離に対する運行費用 (円/台km)
 L^P : P系統のバスの総運行距離 (台km)
 L^Q : Q系統の地下鉄の総運行距離 (台km)
 K : 地下鉄駅またはバス停留所へのアクセス時間 (時)
 Q_{ij}^P : P系統のノード*i*から都心*j*へ行くOD数 (人)

$Max(SB)$: 手持ちのバスの配車可能台数 (台)
 $Max(SS)$: 手持ちの地下鉄の配車可能台数 (台)
 Q_b : バス1台の容量 (人/台)
 Q_s : 地下鉄1台の容量 (人/台)

§3 シミュレーションによるモデルネットワークの解析

まず、札幌市の交通網を想定した簡単なモデルネットワークを設定した。そして、環状線内バス速度とバスの総配車台数を変化させて、地下鉄・バス路線網を検討するためにシミュレーションによる分析を行なった。モデルネットワークとして、地下鉄が2線導入されている図-3の対象地域を設定した。解析にあたっては、その4分の1を取りあげた。そして、地下鉄・バス路線網の結合形態によりCASE-1, CASE-2, CASE-3 (以下, C1, C2, C3と略す) の3種類のモデルネットワークによってシミュレーションを行なった。



ここで、3種類のモデルネットワークについて説明しよう。

〔CASE-1〕このネットワーク案は、都市内交通において地下鉄が本線機関の役割を担い、バスがその補完的な端末機関の役割を担うという、都市内交通における地下鉄とバスの役割の位置づけを明確に区別したものである。そして、バス路線をゾーン中心より最も近い地下鉄駅へ短絡したものである。都心へ乗り入れるのは地下鉄だけであり、バス総路線長は最も短いが、乗り換えが多いパターンで、完全短絡型バス網といえる。

〔CASE-2〕C1と同様に、都市内交通における地下鉄とバスの役割を区別したネットワーク案であるがC1とは、バス路線の地下鉄駅への短絡方法が異なり、ゾーン中心から都心へ近い地下鉄駅へバス路線を短絡し、また、一部バスを本線機関として都心に直接乗り入れているパターンである。バス総路線長はC1より長くなっている。不完全短絡型バス網といえる。

〔CASE-3〕このネットワーク案は、都市内交通において地下鉄及びバスが本線機関つまり同等な役割を担っており、各々のバス路線が直接都心へ乗り入れるパターンである。バス総路線長は最も長くなっている。

さらに、この3種類のネットワーク案の特色となることは、バスの都心乗り入れを考えたときに、C1, C2, C3となるに従い、利用者は便利に、他方交通運営者の負担は重くなることである。

計算にあたっては、交通運営者が投入し得るバスの総台数及びバスの路線走行速度を仮定する必要がある。したがって、バスの総配車台数を5段階(10, 15, 20, 25, 30台)に、そしてバスの環状線内バス速度を3段階(12, 20, 25km/h)に外生変数として変化させた。また、バスの環状線外速度は25km/hとした。一方、地下鉄については、シミュレーションをより現実と近づけるために札幌市がピーク時に走らせているように4分間隔で運行す

ることとした。計算は通勤交通を対象としているので午前7時から午前9時までの2時間について行なった。地下鉄の運転間隔を一定にしているの、目的関数はバスの各路線への配車台数を変数とした関数になる。また目的関数は変数にマイナス1次の項を含む非線形方程式となる。この解法としては、制約条件を満足する各路線へのバスの配車台数を求め、目的関数に代入し最小値を探す方法を用いた。図-4に計算結果のグラフを示す。

§4 結果の考察

都市内における公共輸送機関の評価視点は、従来次の3つが考えられている。それは、1)交通機関の運営者の視点。2)交通機関の利用者の視点。3)社会的総投入の視点つまり都市交通全体の効率という視点。である。本研究においては、3)の社会的総投入の視点から計算結果を評価する。

シミュレーション結果より明らかになったことは、環状線内バス速度については、環状線内速度が25km/hの時はC3、20km/hの時はC2、12km/hの時はC1のネットワーク案が目的関数最小で最も効率が高いと判断できたこと、またバスの総配車台数については、C2、C3はバスの総台数が少ない場合に成立し得るネットワーク案であることである。これらより判断できることは、都市内のバス交通がバスレーン等の充実によってスムーズに流れ

る状況であれば、バス路線網に都心部までの直通路線を組み込んだものが効率良く、都市内の路面交通が混雑するに従って、バスを地下鉄の補完的機関とし総路線長を短くした完全短絡型バス網が効率良くなることである。

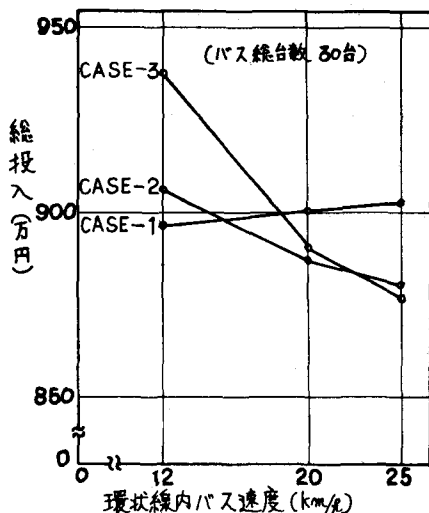


図-4

§5 札幌市を対象とするケース・スタディ

札幌市南西部の南区・中央区・西区を取りあげケース・スタディを行なった。シミュレーション分析で用いた3種類のネットワーク案にそってバス路線を編成し、環状線内バス速度は実績値である12km/hを用いて計算を行なった。明らかにC1にそって編成した完全短絡型バス網が3)の視点から見て効率が良いことが判明した。

§6 おわりに

通勤通学交通は日常的に行なわれるものであり都市的効率の悪い都市交通網で行なわれれば、非常に大きな損失を招くことは明白である。したがって、今後の都市交通の方向を探る場合に、交通の都市的効率を重視することが必要となる。さらに、節約移動時間と運行費用つまり便益と費用のバランスを考えなくてはならない。本研究は、ささやかながらこれらに対する1つの指針を与えたことになるであろう。

今後の研究方向としては、乗り換えの問題、短絡網におけるきめ細かなサービスの欠如の問題を、モデルに組み入れていく必要がある。

最後に、本研究を進めるに当り終始御指導と御助言を賜りました、山村悦夫助教授、佐藤馨一助手、加賀屋誠一助手に深く謝意を表わすとともに、資料を提供していただきました札幌市交通局の皆様にも厚くお礼申し上げます。

(参考文献)

- ①伊藤昌勝 都市の大量輸送機関網構成に関する研究
- ②計量計画研究所 都市交通に関するシステム分析

昭和41年 北大修士論文
昭和46年