IV-38　交通量の需要推計で用いる最短経路探索

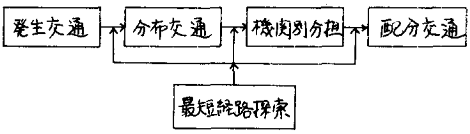
東京大学都市工学科　正員　井上孝
東京大学都市工学科　学生員　○杉恵頼寧

交通計画では，ゾーン間の隔りを表わすのにゾーン間の最短経路がよく用いられる。ゾーン間の最短経路とは，ゾーン間の最も短いルートを意味しており，短い指標には距離，時間，コストなどがある。これらの値は交通量の需要推計の分布交通，交通機関別分担，配分交通に用いられ，これを図に示すと図-1のようになる。この中で，距離と時間の最短経路探索は，MOORE や RRL によって開発された計算プログラム[1]が直ちに応用できるが，大量輸送機関のコスト最短の経路探索は，料金が走行距離に比例して増加しないために，そのまま適用できない。そこで，ここでは 1968～69 年に実施された広島都市圏の交通計画（HATS）[2]で用いたコスト最短の経路探索の手法について説明し，さらに HATS で実際に計算した結果の一部とOD調査の結果を集計したゾーン間の所要時間とを比較してみる。

1　コスト最短の経路

コストといった場合，その中には料金，時間，その他いろいろな要素が含まれる。今ゾーン i-j 間のルート r に対するコストの要素を D^{ir} で代表させると，D^{ir} は次のように表わすことができる。

図-1　交通量の需要推計の流れ図



$$D^{ir} = (d_1^{ir},\ d_2^{ir},\ \cdots\cdots\cdots,\ d_n^{ir}) \qquad (1)$$

ただし，$d_1^{ir} \cdots\cdots d_n^{ir}$ はゾーン i-j 間のルート r の時間，距離等を意味している。しかし，交通計画では，ゾーン間のコストは一次元で表わす必要がある。そこで，コストを円で統一すると，D^{ir} の各要素を円に変換する変換係数 S^k が必要になる。

$$S^k = (s_1^k,\ s_2^k,\ \cdots\cdots\cdots,\ s_n^k) \qquad (2)$$

ただし，s_n^k は交通機関利用者の k グループに対する n 要素の変換係数を意味している。

したがって，ゾーン i-j 間に r 本の経路があり，k グループのコストを C_k^{ir} とすると，最短経路のコスト C_k^{i*} は次のようになる。

$$C_k^{i*} = \min_r C_k^{ir} = \min_r (D^{ir} \times S^k) = \min_r \left(\sum_n s_n^k d_n^{ir}\right) \qquad (3)$$

2　道路網の最短コスト

HATSの道路網の最短コスト経路探索では，利用者のグループを乗用車保有世帯と非保有世帯に分け，前者のコストには，時間，ガソリン代，高速道路の料金を含めた。後者のコストには，時間，タクシー代，高速道路の料金を含めた。ここで，乗用車の保有世帯を第1グループ，非保有世帯を第2グループとし，ゾーン i-j 間のルート r の所要時間を d_1^{ir}，走行距離を d_2^{ir}，高速道路の利用回数を d_3^{ir} とすると，s_1^1 と s_1^2 は単位時間当りのコスト，s_2^1 は単位走行距離当りのガソリン代，s_2^2 はタクシーの料金体系，s_3^1 と s_3^2 は高速道路の利用1回当りの料金になる。したがって，k グループのゾーン i-j 間の最短コスト LC_k^i は次のように表わされる。

$$LC_k^i = \min_r \left\{ d_1^{ir} \cdot s_1^k + d_2^{ir} \cdot s_2^k + d_3^{ir} \cdot s_3^k \right\} \qquad (4)$$

ただし，$s_1^k = 0.278$ 円/秒，$s_2^1 = 0.005$ 円/m，$s_2^2 =$ 最初の 1.5km までは 80円，以降 400m 増すごとに 20円 追加，$s_3^k = 150$ 円

これらのS^kはいずれも将来の最短経路を探索する時に用いた値である。

道路網の最短コスト探索では，乗用車保有世帯を中心に考えると，コストが走行距離と時間に比例して求まるので，従来の経路探索の手法を直ちにあてはめることができる。非保有世帯では，保有世帯の最短コスト経路の時の走行距離からタクシー代を求めた。

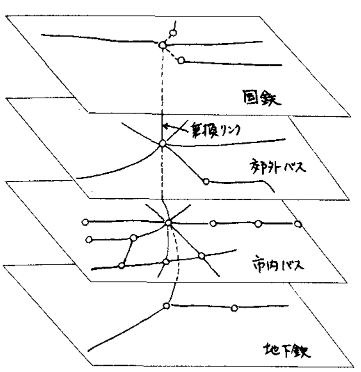
3　大量輸送機関の最短コスト

HATSの将来の大量輸送機関には，市内バス，郊外バス，国鉄，地下鉄を含めることにし，各交通機関は相互に連絡しており，全体で一つの大量輸送機関のネットワークを構成している。特に，市内バスは市内のすべてのゾーンペアを連絡しており，これを模式的に表わすと図-2のようになる。大量輸送機関の場合は，乗用車の場合と違って，交通機関の利用者のグループは1グループである。ここで，d_1^{ir}をゾーンi-j間のルートrの走行時間，d_2^{ir}，d_3^{ir}，d_4^{ir}，d_5^{ir}をそれぞれゾーンi-j間のルートrの市内バス，郊外バス，国鉄，地下鉄の走行距離とすると，大量輸送機関を利用した場合の最短コストMC^iは次のように表わされる。

$$MC^i = \min_r \left(d_1^{ir} s_1 + d_2^{ir} s_2 + d_3^{ir} s_3 + d_4^{ir} s_4 + d_5^{ir} s_5 \right) \qquad (5)$$

ただし，$s_1 = 0.278$ 円/秒；s_2, s_3, s_4, s_5 = 図-3に示された料金体系（10円未満はすべて切上げ）

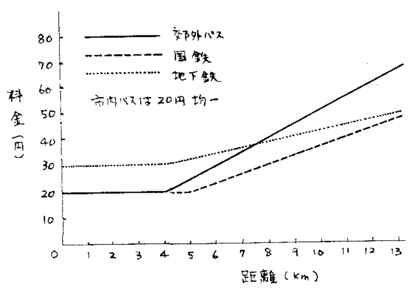
図-2　大量輸送機関の模式図



4　大量輸送機関の最短コスト経路探索

大量輸送機関の最短コスト経路探索は，料金体系が不連続の距離制のため，あるノードまでの最短経路が次のノードまでの最短経路に連続しない問題点がある（図-4参照）。すなわち，Aを出発してDまでの最短コスト経路が$\overrightarrow{ABD}$であっても，Eまでの最短コスト経路は$\overrightarrow{ACDE}$になる可能性がある。ただし，これは$\overrightarrow{ACD}$の所要時間あるいは距離のいずれか一方が$\overrightarrow{ABD}$のそれよりも短かい時に限られる。その結果，従来の経路探索のアルゴリズムは図-4の$\overrightarrow{ACDE}$のような経路を捜すことができないので，新しい経路探索のアルゴリズムが必要になる。しかし，このアルゴリズムも従来のものと基本的には同じである。

図-3　大量輸送機関の料金体系

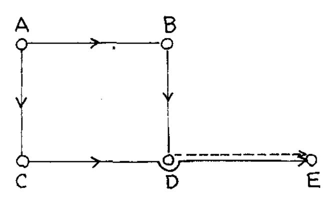


このアルゴリズムには，N表（リンクテーブル），S表（リンク連続表），T表（最短経路表），W表（最短コスト表）が必要になる。N表はネットワークのリンクを示した表であり，次のように表わせる。

$$N=\{n_p=(n_p^1,\ n_p^2,\ n_p^3,\ n_p^4,\ n_p^5\ ),\ p=1,P\} \qquad (6)$$

ただし，n_p=ネットワークのp番目のリンク；n_p^1，n_p^2，n_p^3，n_p^4=それぞれリンクn_pの発ノード，着ノード，所要時間，距離；P=ネットワークのリンクの数

図-4　最短コスト経路の一例



S表はリンクをhomeノードからリンクの着ノードまでの総コストに従って，小さい方から順番に並べた表である。

$$S=\{s_k=(s_k^1, s_k^2, s_k^3, s_k^4, s_k^5, s_k^6);\ k=1, K\} \qquad (7)$$

ただし，s_k＝S表のk番目のリンク；s_k^1，s_k^2＝リンクs_kの発ノードと着ノード；s_k^3＝homeノードからノードs_k^2までの総コスト；s_k^4＝当交通機関（リンクs_k）以外で要したコスト；s_k^5，s_k^6＝当交通機関（リンクs_k）による所要時間と走行距離；K＝ネットワークの最大コスト

T表は最短経路を表わした表である。

$$T=\{t_q=(t_q^1, t_q^2, t_q^3, t_q^4, t_q^5, t_q^6);\ q=1, Q\} \qquad (8)$$

ただし，t_q＝最短経路樹のq番目のリンク；t_q^1，t_q^2＝リンクt_qの発ノードと着ノード，t_q^3＝homeノードからノードt_q^2までの総コスト；t_q^4＝当交通機関（リンクt_q）以外で要したコスト；t_q^5，t_q^6＝当交通機関（リンクt_q）による所要時間と走行距離；Q＝最短経路樹のリンクの数

W表はそのノードまでの最短コストを示した表である。

$$W=\{w(i);\ i=1, I\} \qquad (9)$$

ただし，$w(i)$＝homeノードからi番目のノードまでの最短コスト；I＝ネットワークのノードの数

さらに，交通機関別の料金体系（図-3）をg，時間コストの変換関数をf，homeノードをhとすると，最短コスト探索のアルゴリズムは図-6のようなフローチャートで示される。しかし，HATSでは，大量輸送機関のネットワークが非常に大きいので，電子計算機の都合上，図-6のフローチャートを一部省略した「簡便法」を用いた。[3]

5 ゾーン間の最短経路の計算結果とOD調査結果の比較

OD調査では，トリップごとに発時間と着時間が記録されるので，ゾーンペアごとに集計して平

図-5　最短経路探索の説明図

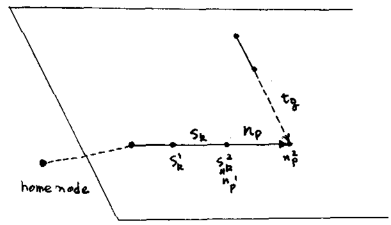
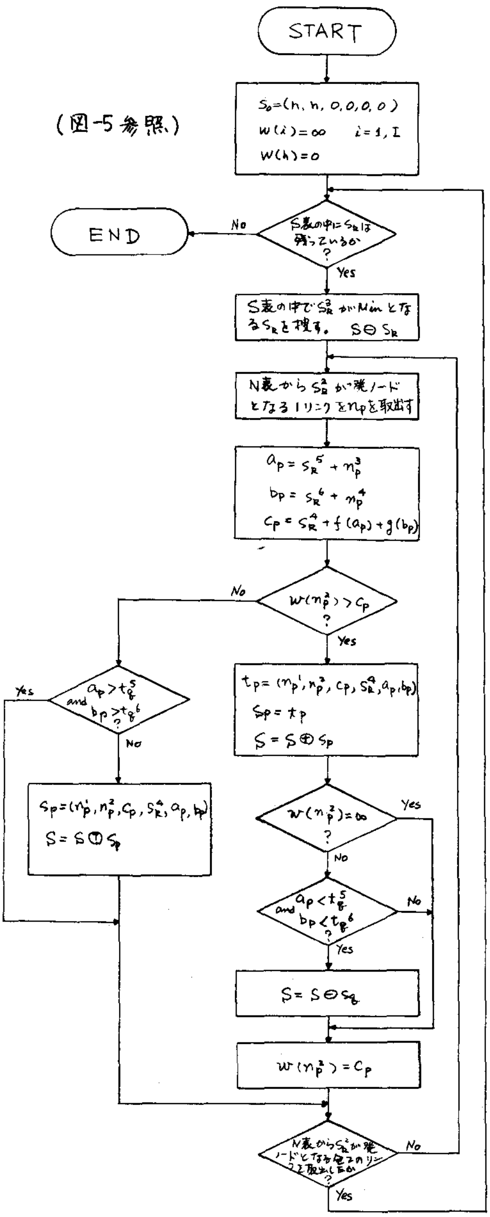


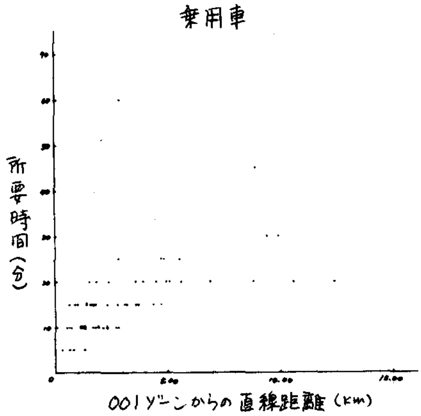
図-6　最短コスト経路探索のフローチャート

（図-5参照）



均値を計算すれば，実際の所要時間が求められる。HATSでは，発着時間を5分単位で記録しており，ODペア毎の集計に当っては，その最大値をゾーン間の平均所要時間とした。この調査結果の精度を調べるために，横軸に都心ゾーン（001）からの直線距離を取って，交通機関別に001ゾーンに発着を持つゾーンペアの所要時間をプロットすると図-7のようになる。一方，調査結果と比較するために，最短コスト経路の時の所要時間を同じ形式でプロットすると図-8のようになる。これを見ると，計算結果の方が調査結果に比べて，一般に所要時間が短くなっているが，ゾーン001からの距離に対して所要時間のバラツキは小さくなっている。これは調査の集計が5分単位であることと，トリップのデータの少ないゾーンペアでは，その精度が悪いためと考えられる。

図-7　調査結果の所要時間



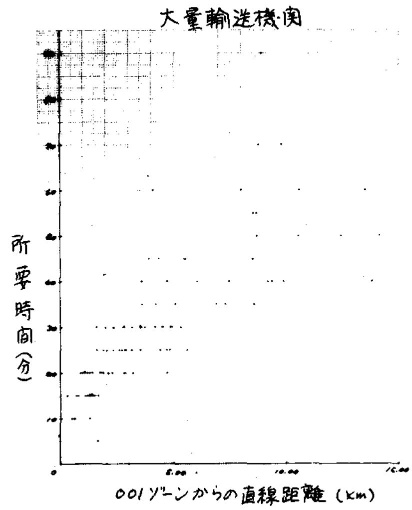
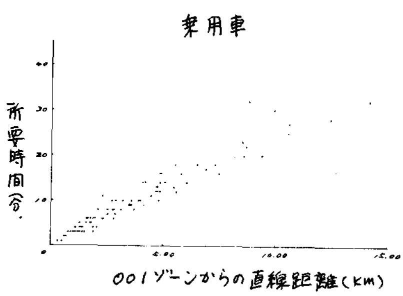
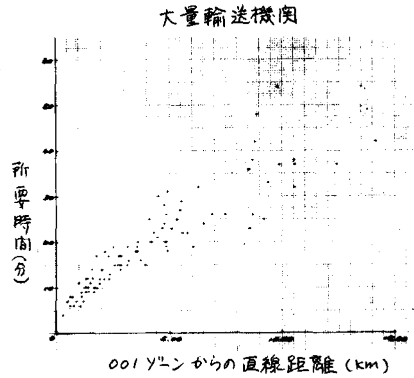


図-8　計算結果の所要時間





なお，この論文の作成に当って，広島都市交通問題懇談会の皆様の御協力をいただいたことを深く感謝いたします。

参考文献

1) R.V. Martin, "Minimum Path Algorithms for Transportation Planning", MIT Report, 1963.
2) 「広島都市圏における総合的交通計画に関する報告書」広島都市交通問題懇談会，1969.
3) 「交通量の路線配分の検討」Technical Report No. 2，広島都市交通研究会，1970.