

1.はじめに

都市交通計画の策定は、交通実態の把握と分析、都市成長および土地利用の予測、都市交通のあるべき姿の検討、および、計画目標の設定、交通需要の予測、交通施設の整備運用計画の策定、計画の評価という手順で行なわれている。本研究では、このうち、計画の評価の段階で必要となる都市交通計画の評価手法について検討する。さらに、それに基づき計画の最適化の方法についても試案を述べる。

計画の評価はきわめて重要であるにもかかわらず、従来、予測および施設計画の手法と較べて研究が遅れているといえよう。この原因の1つは、交通計画の評価が交通体系に係わりをもつ人々（たとえば都市住民など）の価値観に基づいて行われるべきであるが、多くの人の価値観すなわち交通体系の評価基準を把握するのがきわめてむづかしいことにあるといえよう。このとき、個々の人の評価基準を把握するだけでなく、人々のばらつきのある評価基準から、共通性のあるものを抽出する必要がある。ここでは、まず交通計画を評価する人々（都市住民）にアンケート調査をすることにより、共通性のある評価基準を抽出する方法について検討する。

一般に、計画の評価は、計画がその目的をどの程度いかに合理的に達成しているかということとを計測することであると考えられる。都市交通施設について考えれば、その目的は、都市活動を行なうための交通サービスを供給することであるので、都市活動の主体の大きな部分を占める都市住民がその計画を評価すべきであると考えられる。そこで、ここでは都市住民の交通計画の評価について検討するわけである。なお、都市住民にもいろいろの立場の人がいるので、この点も計画の評価をむづかしくする原因の1つであるが、ここでは交通計画を評価する立場すなわち価値観のほぼ等しい人々を1つのグループとしてまずそれぞれのグループにおける交通計画の評価について考え、それらに基づいて総合評価を行なうものとする。

しかし、この方法論は、都市交通施設の全体計画の評価にも適用できるものである。

2.交通計画の評価項目

交通体系の評価項目を大別すると、利便性、安全性、快適性、経済性、環境に与える影響、施設の必要空間などがある。一般に交通計画の評価は、まず、代替計画案を各評価項目ごとに評価し、次に各評価項目の相対的ウエイトを考慮して総合評価を行なう。

各評価項目の評価を行うには、まず、各項目の内容を具体的指標でもっと表現する必要がある。人々の評価をより客観的に把握するためには、評価項目の内容を客観的指標たとえば時間、距離などのような物理量などで表現し、それぞれに対する人々の評価を調査すべきである。このとき、ある項目においては、それを構成するいくつかの具体的指標が考えられる場合がある。たとえば利便性は、所要時間、歩行距離、待ち時間、乗換え回数などから構成されいると考えられ、ある代替計画案の利便性を1つの指標で示すことはむづかしい。そこで、このような場合は、ある主項目に含まれる副次的項目それぞれの評価もある主項目に占める各副次的項目の相対的ウエイトを考慮した一次結合式によって総合化し、主項目の評価を決めることにする。すなわち、後述する主項目ごとの評価を総合化する場合の手法も副次的項目ごとの評価を総合化する場合にも用いることにする。

いま、近隣住区交通施設の評価項目ごとの具体的内容の一例を示せば、次のようになる。

- 1.利便性— 所要時間、アクセシビリティ
- 2.安全性— 交通事故数
- 3.経済性— 道路整備の費用
- 4.快適性— 歩行のしやすさ
- 5.環境に与える影響— 騒音、排気ガス量
- 6.施設空間量— 道路面積

3.各項目の評価

各評価項目ごとに計画を評価するためには、評価項目のそれぞれの水準に対して人々が感じる好ましさの程度

を計量する必要がある。ここでは、評価項目の水準を好ましさを程度に変換する関数も効用関数とよぶ。この関数は、交通施設利用者に評価項目の各水準に対する好ましさを直接アンケートすることにより求めることができる。なお、効用は相対的にしか得にくいので、図-1に示すように最も望ましいレベルを1.0とし、最も望ましくないレベルを0.0とする。具体的には、ある項目のある水準を体験している住民に対するアンケート調査によって、その水準に満足している、あるいは満足していない住民のパーセントも満足度（効用）、あるいは不満度（非効用）と考えることができる。ただし、効用関数を得るためには、各項目においていろいろな水準を体験している住民から資料を収集する必要がある。

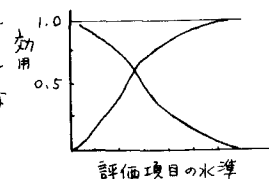


図-1. 効用関数

4. 評価の総合化

ここでは、交通計画の代替案 i の総合的評価値 E_i が次式(1)に示すように各評価項目の評価の一次式で表わされると仮定する。そして、この値 E_i が最大のものが最良の計画であると判定する。

$$E_i = \sum_j W_j U_j(S_{ij}) \quad (1)$$

ここに

S_{ij} = 代替計画案 i の評価項目 j の状態（水準）

$U_j(S_{ij})$ = S_{ij} の効用

W_j = 評価項目 j の総合的評価に与える相対的重要度

なお、計画の評価の基準として、非効用を用いることもでき、この場合も式(1)と同様な関係式を得ることができる。ただし、非効用を用いる場合は、非効用最小のものが最良の計画であると判定すべきであるのはいきなりではない。

また、ある評価項目がいくつかの副次的評価項目から構成されている場合は、前述の考え方に基いて、式(2)の関係も仮定する。

$$U_j(S_{ij}) = \sum_k w_{jk} U_{jk}(S_{ijk}) \quad (2)$$

ここに、

S_{ijk} = 代替計画案 i の評価項目 j の副次項目 k の水準

$U_{jk}(S_{ijk})$ = S_{ijk} の効用

w_{jk} = 評価項目 j における副次項目 k の相対的重要度

5. 各評価項目のウエイト付けの方法

項目別評価も総合化する場合の各項目のウエイト付けは、交通計画を評価する立場にある住民および交通施設利用者に対するアンケート調査を用いて以下のようにして行なう。なお、この方法には2つの方法が考えられる。1つは、人々に交通計画の代替案をいくつか示し、それぞれの案に対する人々の評価を調査する方法で、これを方法1とよぶことにする。他の1つは、住民が実際に日常利用している交通体系に対する評価を調査する方法で、これを方法2とよぶことにする。方法1は、同一人物からいくつかの交通体系に関する評価すなわち、各評価項目に関していくつかの異なる水準に対する評価を得ることができ、調査効率がよいという利点をもっている。方法2では、同一人物からは、彼等が毎日利用している、すなわち唯一の交通体系に対する評価しか得られないが、しかしその評価は、仮想的交通体系に対するものではなく、体験に基づくものであり、より正確な情報が得られるという利点がある。以下でそれぞれの方法について説明する。

(1) 方法1.

まず、住民にいくつかの交通計画の代替案を提示し、それに関するアンケート調査を行なう。質問は、3つの部分からなり、第1に、各代替案の利便性、安全性、快適性、経済性、環境に与える影響などに関する評価を聞き、第2に各代替案の比較をせしめよう。第3に回答者の社会経済特性についてたずねる。そして、第1の部分の回答に基づいて各代替案の各評価項目ごとの評価を行なう。たとえば、回答者の満足度から $U_j(S_{ij})$ を決定することができる。第2の部分においては、いくつかの代替案の2つずつを住民に評価してもらい、優劣を決めよう。あるいは、いくつかの代替案の順位付けをせしめよう。そして、以下に示す方法により、心理物理学²⁾に使われているThurstoneの同隔尺度²⁾を利用して、代替案の相対評価に反映している各評価項目のウェイト W_j を決定する。このとき、人々のある交通計画に関する評価は正規分布するものと仮定する。

まずアンケート調査に基づいて、それぞれの代替案間の優劣を%で表示する。このとき、評価が個人属性など大きく変わる場合は、住民を個人属性により層別しておき、各層ごとに評価結果を集計する。そして、たとえば、A、B 2代替案の評価 E_a, E_b において、 $E_a > E_b$ と判断した人が、

100%あれば、 $P(E_a > E_b) = p$ と考える。いま E_a, E_b の分布が平均値 μ_a, μ_b 、分散 σ_a^2, σ_b^2 をもった正規分布と仮定できれば、図-2のようになり、図-2の記号を用いると次式を得る。

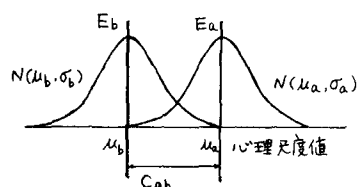


図-2. 評価値 E の分布

$$\mu_a - \mu_b = C_{ab} \quad (3)$$

ここには、 C_{ab} は代替案A、Bの評価値の心理尺度上の差を表す。

また、 $E_a - E_b$ の分布は $N(\mu_a - \mu_b, \sigma_a^2 + \sigma_b^2)$ となるので、次式によって C_{ab} の値を決定することができる。

$$\int_0^p \frac{1}{\sqrt{2\pi(\sigma_a^2 + \sigma_b^2)}} \exp\left\{-\frac{(x - C_{ab})^2}{2(\sigma_a^2 + \sigma_b^2)}\right\} dx = \int_0^p \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp(-t^2/2) dt = p \quad (4)$$

ここには

$$q = C_{ab} / \sqrt{\sigma_a^2 + \sigma_b^2}$$

式(4)から C_{ab} を決めるためには、 σ_a と σ_b がわかっていなければならない。もし一般に $\sigma_a = \sigma_b$ があるならば、 σ_a の値は不明でもここでは C_{ab} の絶対値ではなく相対値さえ得られればよいのである。たとえば $\sigma_a = 1$ として C_{ab} を求めれば、すべての C_{ab} を $\sqrt{\sigma_a}$ を単位として求めたことになる。

名古屋市の幹線街路周辺の調査結果によれば、評価値 E が準分散の正規分布をするという仮定はほぼ満足されていることがわかっている。³⁾

いま、 W_j が各代替案の評価の平均値 μ を与える。すなわち、 W_j は、代替案の評価値の平均値における各項目のウェイトを与えると式(3)から次式(5)を得る。

$$\sum_j W_j U_j(S_{aj}) - \sum_j W_j U_j(S_{bj}) = C_{ab} \quad (5)$$

式(4)をアンケート調査結果に適用することにより式(5)に関する多くのデータを得ることができるので、式(5)に最小自乗法を適用すれば W_j を決定することができる。また W_j の統計学的信頼性を求めることも可能である。

(2) 方法2³⁾

この方法は、まず対象地域を交通施設の各評価項目の水準がほぼ等しいゾーンに分割する。そして、住民および利用者に対して交通施設の評価に関するアンケート調査を行なう。この際の質問は、方法1と同様に3つの部分からなり、第1と第3の部分は方法1と全く同じである。したがって、第1の部分の質問に基づいて $U_j(S_{ij})$ の値を決める。質問の第2の部分では、人々が毎日利用し、体験している交通施設の各評価項目間の比較に関する質問をする。人々に各評価項目間がいずれが望ましい状態か、あるいはいずれをより改善してほしいかを尋ねる。あるいは、人々にとって望ましいまたはその逆の観点から各項目に順位をつけてもらう。この質問を分析

いま、人々のある評価項目の評価 $U_j(S_{ij})$ が、正規分布すると仮定する。そして、項目 j の評価が項目 l のそれよりよいと評価する人々の比率 EP とすると、 $P\{U_j(S_{ij}) > U_l(S_{il})\} = P$ と考えることが出来る。従って、方法1と同様な手法を使って次式(6)を得ることが出来る。

二に、 C_{jkl} は項目 j と l の評価の平均心理尺度値の差で、 k はグループを表わしている。

式(5)と(6)において、各項目の評価の心理尺度値は、各項目の効用 $U_i(S_{ij})$ と相対的重要度 W_i の積で表わされているので、これらの式から得られる W_i の値は、交通施設を評価する人々が体験している各項目の水準 $U_i(S_{ij})$ といふ独立なものごとであると考えることができる。このことは本方法の適用例^{3), 4)}により、ある程度裏付けられている。

上記の方法2の適用において、人々の項目間の優劣の比較を容易にするために、評価項目を2～3のグループに分類することが考えられる。たとえば、利便性、安全性、快適性などといったプラス要因と、環境に対する影響、費用、必要空間といったマイナス要因に分類すると回答者はそれぞれのグループ内での各項目の比較を容易に行なうことができる。そして、各グループにおいて我々は前述の方法によって、 W_j を求めることができる。各項目の評価の相加性を仮定すると、各グループの項目の評価の総合値は式(7)で表わされる。

$$= 11.$$

$$B_k = \begin{matrix} & & & & \\ & & & & \\ & & & & \\ & & & & \\ & & & & \end{matrix}$$
$$w_1^f, w_2^b = \text{グループ}^f \text{および}^b \text{における評価における項目}^j \text{および}^i \text{の相対的重要度}$$
$$E_k = W^b B_k + W^f F_k \quad (8)$$

B_k および F_k の評価方法として満足度と不満度の両者が考えられるが、アンケート調査の容易さおよび変数の変換特性などから不満度で評価する方がよいと考えられる。式(8)にアンケート調査より得られたデータを代入し最小二乗法を用いれば、 W^b , W^f を指定することができる。さらに式(9)を用いることにより、各種環境因子の環境総合評価におけるウェイトを求めることも可能である。また、 W^b , W^f は、 B_k , F_k の値により異なることもできる。

—213—

ける各項目のウェイトはそれぞれ 1.25, 1.05, 1.38, 1.00, 0.84, 0.69, 0.51, 0.57 という値になる。3) これらの値を求めた際の回帰分析における係数はいずれも有意であることが確認されている。

なお、本方法によって得られる W_j の値は、その方法からわかるように、相対値であるので、異なる地域あるいは時点における W_j の値を比較するためには、いずれかの W_m を基準として他の値も W_j/W_m という形で示すか、 $\sum W_j = 1$ という条件を設定して基準化が必要がある。常に同じ評価項目の組合せを用いる場合は前者を利用可能であるが、そうでない場合は、前者を用いるべきであろう。

また、人々の社会的経済的属性的差によつて W_j の値に大きな差が存在することが考えられる。これを、価値観の差と考えることができ、この場合は、交通計画の各評価項目の水準 S_{kj} に対する満足度 $U_j(S_{kj})$ も異なると考えられる。

7. 最適計画を求める方法

ここでは、上記の方法を応用して、交通施設計画の最適化を行なう方法の討案について述べる。

以下の手順で最適計画を求める。

(1) 計画において取扱う地域の設定

まず、対象とする交通施設にある程度以上、係わりをもつ人々が居住する地域を対象地域とし、それを交通に關しておおむね同一の性質をもついくつかのゾーンに分割する。

(2) 交通需要の予測と、環境に対する影響の推定を行なう。同時に、上記の方法を用いて、交通計画の評価に必要な W_j の値を推定する。

(3) 交通計画の最適化

a. 価値観が1つの場合

将来の予測される状態を、利便性、安全性、経済性、快適性、環境に与える影響、必要空間量などの各観点から評価する必要がある。このとき、環境に与える影響、快適性、安全性、利便性などには、最低限度満足しなければならない基準、たとえば、環境基準などを設定し、これを満足する計画が、実現性のある計画として検討の対象とする。そして、評価の原則として有限な資源の内、人々の不満度の総和が最小の計画が最適計画であるとする。すなわち、各評価因子における不満度の最大値を一定値以下におさえ、各評価項目の相対的重要度を考慮した (不満度) $\times$ (不満を感じる人数) の和を最小とする計画が最適であるとする。

これを式で示すと、以下のような最適化問題として表わすことができる。

目的関数

$$E = \sum_k \sum_j W_j U_j(S_{kj}) N_{kj}(S_{kj}) \rightarrow \text{Min} \quad (9)$$

制約条件

$$\sum_k \sum_j S_{kj} C_{kj} \leq C \quad (10)$$

$$U_j(S_{kj}) \leq U_j(S_j), j = 1, \dots, m, k = 1, \dots, n. \quad (11)$$

ここに、

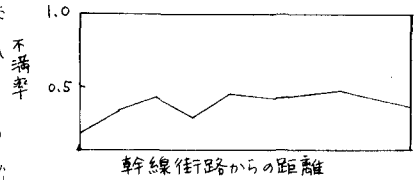


図-3. 利便性の評価

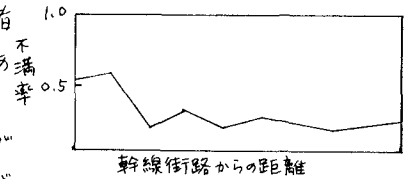


図-4. 環境に与える影響の評価

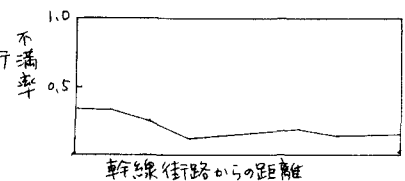


図-5. 総合評価

$U_{kj}(S_{kj})$ = ゾーン k における交通施設の項目 j の水準 S_{kj} に対する不満度 (非効用)

$N_{kj}(S_{kj})$ = ゾーン k において交通施設の項目 j の水準 S_{kj} に不満度 $U_{kj}(S_{kj})$ をもつ人数

C_{kj} = 交通施設の項目 j の水準を S_{kj} とするための費用

C = 総資源量

S_j = 人々が許容できる交通施設の項目 j の最低水準値

m = 評価項目数

n = ゾーン数

b. 価値観が複数 (P組) の場合

それぞれの価値観をもつグループごとに、a の場合と同様に交通施設の各評価項目ごとに効用関数を決め、また、項目別の最低許容水準を決定する。この場合も、a と同様な考え方で、最適計画を求めるものとする。その数式は以下ようになる。

$$\text{目的関数} \quad E = \sum_k \sum_j \sum_l W_{jkl} U_{jkl}(S_{kj}) N_{kj}(S_{kj}) \rightarrow \text{Min} \quad (12)$$

$$\text{制約条件} \quad \sum_k \sum_j S_{kj} C_{kj} \leq C \quad (13)$$

$$U_{jkl}(S_{kj}) \leq U_{jkl}(S_{jl}) \quad j=1, \dots, m, k=1, \dots, n, l=1, \dots, p \quad (14)$$

== 二 ==

$U_{jkl}(S_{kj})$ = ゾーン k における交通施設の項目 j の水準 S_{kj} に対する価値観 l をもつ人の不満度 (非効用)

$N_{kj}(S_{kj})$ = ゾーン k において交通施設の項目 j の水準 S_{kj} に不満度 $U_{jkl}(S_{kj})$ をもつ価値観 l の人数

W_{jkl} = 価値観 l をもつ人の項目 j の総合評価における相対的重要性度

S_{jl} = 価値観 l をもつ人々が許容できる交通施設の項目 j の最低水準値

p = 価値観の総数

== 三 ==
この最適化問題においては、価値観の異なるグループ間で、不満度に大きな差が生ずることが考えられるので、これを解決する手段として目的関数式(12)を下記のように変更することが考えられる。

$$E' = \sum_k \sum_j \sum_l W_{jkl} U_{jkl}(S_{kj}) N_{kj}(S_{kj}) + \alpha \sum_{l>g} \left\{ \sum_k \sum_j W_{jgl} U_{jgl}(S_{kj}) N_{kj}(S_{kj}) / R_l - \sum_k \sum_j W_{jlg} U_{jlg}(S_{kj}) N_{kj}(S_{kj}) / R_g \right\}^2 \rightarrow \text{Min} \quad (15)$$

== 三 ==
 α は、経験的に定められる定数であり、 R_l , R_g は価値観 l, g をもつ人数である。

すなわち、式(15)は、住民の不満足総量を最小にすると同時に、それぞれの価値観をもつ人々の平均的不満度の差を小さくすることを目的としている。また、さらにゾーン間における人々の不満度に大きな差がないようにするためには、次式を用いよう。

$$E'' = E' + \beta \sum_{k>r} \left\{ \sum_j \sum_l W_{jkl} U_{jkl}(S_{kj}) N_{kj}(S_{kj}) / T_k - \sum_j \sum_l W_{jrl} U_{jrl}(S_{kj}) N_{kj}(S_{kj}) / T_r \right\}^2 \rightarrow \text{Min} \quad (16)$$

== 三 ==
 β は経験的に定められる定数であり、 T_k , T_r はゾーン k および r における総人口である。

α および β の値を適当に決めることによって、価値観の異なる階層間および地域間の不満度の差を適当な大きさにすることが可能である。

ここでは、交通計画を最適化するための方法について述べたが、いくつかの代替案が与えられた場合、 E , E'

および E の値を用いて、それらの評価をすることも可能である。

8. おまわり

本研究では、多次元の評価を行なうべき交通計画の評価を效用関数の考え方を用いて一元化する方法について述べ、この方法では必要となる各評価項目の相対的重要度を計量心理学で用いられる Thurstone の間隔尺度を応用して決定する方法も提案した。さらに、これらの結果を応用して、交通施設計画の最適化および評価を行なう方法についても述べた。しかし、これらの方法を実際の問題に適用するためには、人々のおかれている社会経済的状态と交通施設の評価との関係(価値観)、交通計画における適切な S_j の決定、 S_{kj} と C_{kj} の関係などに関し、これらに研究する必要がある。

なお、本報告は筆者が Humboldt 財団の奨学研究員として西ドイツ Darmstadt 工科大学の Retzko 教授の研究室に滞在中にまとめたものであることを記し、Retzko 教授および Humboldt 財団に謝意を表したい。

また、本報告の一部を International Conference and Exhibition on the Integration of Traffic and Transportation Engineering in Urban Planning (1978年12月) においても公表することをお断わりします。

参考文献

- 1) 河上、青島：交通計画の評価手法に関する一考察、土木学会中部支部研究発表会概要集 1976年1月
PP.173, 174
- 2) Guilford, J. P. 秋重監訳：精神測定法、培風館、PP.219-242, 1959年
- 3) 青島、河上、片平：幹線街路周辺の環境総合評価における各因子の重みづけについて、土木学会論文報告集 No.263 1977年7月 PP.97-106.
- 4) 浅野、河上、青島：鉄道沿線地区の環境影響評価に関する研究、土木学会全国大会講演概要集 1978年9月
- 5) 河上、青島、片平：環境評価における利便性と迷惑度の Trade off関係の分析法、土木学会中部支部研究発表会概要集、1977年1月
- 6) Lin, F.B and Hoel, L.A : Structure of Utility-Based Evaluation Approaches,
Transportation Engineering Journal, ASCE, Vol.103 No.TE2
March 1977, pp.307-320
- 7) Kawakami, S.: A Method for Evaluating Urban Transportation Planning, Proc. of
International Conference and Exhibition on the Integration of Traffic
and Transportation Engineering in Urban Planning, 1978年12月