

通勤経路選好特性の計量化手法

A METHOD OF ESTIMATING COMMUTER PREFERENCES

谷 明 良*・宮 武 信 春**

By Akira TANI and Nobuharu MIYATAKE

1. はじめに

交通需要予測，交通機関分担率の予測，移動経路選択率の予測，交通路線計画の評価などの都市内交通計画の分野において従来広く用いられてきた指標はトリップの所要時間であった。しかし，近年になって歩行時間や待ち時間などの要因の重要性が指摘されるようになってきた。たとえば，乗物に乗っている15分に比べて歩行時間の15分は心理的生理的な負担が大きく，それらの差を正確に評価することが必要になってきた。こうした要請に応えるために，筆者らは交通システムに対する選好特性を計量的に詳細に検討できる手法の開発を進めてきた^{1)~5)}。以下に報告する通勤経路の選好モデルは，計量心理学で用いられている比較判断⁶⁾の考え方を基礎にしてそれを発展させたものである。

2. 通勤経路の選好に影響を与える因子

通勤者が自宅を出てから勤務先に到着するまでに行うおもな行動で，通勤経路を記述すれば図-1のようになる。経路によっては乗換えが不要な場合や2回以上必要になることもある。通勤行動はこのように，①車内で座っている状態（着席），②車内で立っている状態（立席），③乗換え，④乗物を待っている状態，⑤歩行状態の5つの行動要素に分割して考えることができる。通勤者は，これらの各行動要素に対して，その行動に要する時間の長さや回数の多さでその望ましさを評価すると考えられる。したがって，通勤経路の評価の高さは，表-1に示す5因子によっておおむね定まると考えることができよう。

以上の5因子以外にも通勤経路の選好に影響を与える

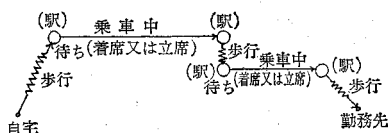


図-1 通勤経路の行動要素への分割

表-1 経路選好に影響を与える因子

行 動 要 素	選好に影響を与える因子	単 位
乗 車 中 (着 席)	着席乗車時間 x_1	分
乗 車 中 (立 席)	立席乗車時間 x_2	分
乗 換 え	乗換え回数 x_3	回
待 ち	運転間隔 x_4	分
歩 行	歩行時間 x_5	分

因子として運賃があるが，通勤費が勤務先の会社によって支払われている場合も多いことから本研究では省略することにした。また，トリップ所要時間は，上記因子の和で表わすことができるため因子間の独立性の観点から省略してある。

3. 選好モデル

通勤経路 A の望ましくない程度（負効用 U_A ）は，経路 A を表現する5因子の値 ($x_1^A, x_2^A, x_3^A, x_4^A, x_5^A$) の一次結合によって次式で表わされるものと仮定する。

$$U_A = w_1 \cdot x_1^A + w_2 \cdot x_2^A + w_3 \cdot x_3^A + w_4 \cdot x_4^A + w_5 \cdot x_5^A \dots \dots \dots (1)$$

ただし， w_1, w_2, w_3, w_4, w_5 は各因子の重みであり，これらの単位は自由に決められることから w_1 （着席乗車時間の重み）を1.0に固定してある。

同様に通勤経路 B の負効用 U_B は，経路 B の5因子の値 ($x_1^B, x_2^B, x_3^B, x_4^B, x_5^B$) によって次式で表わされる。

$$U_B = w_1 \cdot x_1^B + w_2 \cdot x_2^B + w_3 \cdot x_3^B + w_4 \cdot x_4^B + w_5 \cdot x_5^B \dots \dots \dots (2)$$

次に通勤者は，経路 A と B に対してそれらの負効用の

* 正会員 (株) 三菱総合研究所システム開発部研究員
** 正会員 (株) 三菱総合研究所システム開発部副研究員

差 (δU_{AB}) を判断してどちらの経路を選ぶかを決定するものと仮定する。また、負効用の差について人間が判断する場合には判断誤差がつきまとうため、次のような確率的比較判断モデルを考えることにする。

$$Z = \delta U_{AB} + \xi \dots\dots\dots (3)$$

$$\hat{P}_A = \int_{-\infty}^{-\epsilon} f(z) dz \dots\dots\dots (4)$$

$$\hat{P} = \int_{-\epsilon}^{+\epsilon} f(z) dz \dots\dots\dots (5)$$

$$\hat{P}_B = \int_{+\epsilon}^{+\infty} f(z) dz \dots\dots\dots (6)$$

$$\delta U_{AB} = U_A - U_B \dots\dots\dots (7)$$

ただし、

ξ ：負効用差の判断誤差を表わす確率変数であり、平均 0、標準偏差 σ の正規分布 $N(0; \sigma^2)$ に従うものとする。

z ：負効用差の判断値であり、 ξ の定義から平均 δU_{AB} 、標準偏差 σ の正規分布 $N(\delta U_{AB}; \sigma^2)$ に従う確率変数となる。

$f(z)$ ：確率変数 z の確率密度関数であり、正規分布 $N(\delta U_{AB}; \sigma^2)$ である。

ϵ ：負効用差の判断値 z が 0 に近い値であった場合には明確な選択ができなくなり、経路 A, B の差はほとんどないという判断になる。いわば比較判断のしきい値 (判断限界) を表わす正数である。

\hat{P}_A ：経路 A が選好される確率。

\hat{P} ：経路 A, B が甲乙つけがたいと判断される確率。

\hat{P}_B ：経路 B が選好される確率。

すなわち、本モデルは 図-2 に示すように負効用の差の判断値 (z) が判断限界 ($-\epsilon, \epsilon$) の内側にあるか外側にあるかによって経路の選好が異なると考える確率的モデルである。モデルのパラメーター ($w_2, w_3, w_4, w_5, \epsilon, \sigma$) が推定できれば、任意の通勤経路に対する負効用値を算出することができるばかりでなく、任意の 2 つの通勤経路に関する選好比率を式 (4)~(6) を用いて推定することもできる。

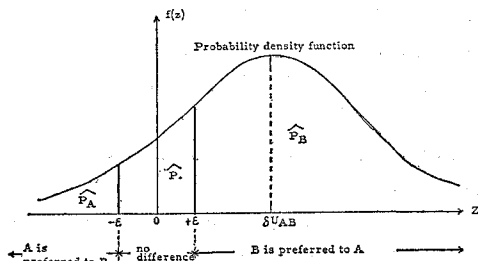


図-2 比較判断の選好モデル

この選好モデルは、心理学における比較判断の法則⁹⁾を基礎としており、どちらを選好するかという順序尺度データから選好度を表わす間隔尺度を構成する方法として位置づけることができる。また、従来の一対比較法、数量化Ⅱ類と比べて次の利点もっている。

(1) 「甲乙つけがたい」という判断の回答を許しているため回答しやすい。従来はこの種の回答を許していてもデータの処理の段階で A, B に半々に分けてしまっていたが、本モデルは、なまの加工しないデータをそのまま使うことができる。さらに、A, B どちらでもよいという浮動層がどの程度いるかについての分析も可能となる。

(2) 数量化Ⅱ類を用いて重みを推定する方法も提案されているが、効用尺度と選好比率の関係が明確にされていないため選好比率に関する定量的な検討が困難である。これに対して本モデルは効用尺度と選好比較の間に対応づけがあり、選好比率を最もよく説明できるようにモデルのパラメーターが推定されるので、選好比率に関する定量的な検討を加えることができる。

4. 選好モデルのパラメーター推定方法

前章で述べた選好モデルのパラメーターを推定するために、経路選択に関する新形式の態度調査法 (トレード・オフ法) を考案して通勤者を対象に実施した。トレード・オフ法は、着目している因子間のトレード・オフ関係が抽出できるように、心理学における一対比較形式の質問を組み合わせる方法である。通勤経路の選好に関する調査の場合は、表-2 に示すような形式で通勤経路のペア (A, B) を回答者に提示し、どちらの経路を選好するかを回答してもらい、こうした回答結果から通勤者の経路選好比率 (P_A, P, P_B) を各質問ごとに次式で算出する。

$$P_A = N_A / N_T, P = N / N_T, P_B = N_B / N_T \dots\dots\dots (8)$$

ただし、

N_T ：回答者総数 ($N_T = N_A + N + N_B$)。

N_A ：経路 A が経路 B より好ましいと回答した人数。

表-2 トレード・オフ法の質問形式

質問：左右のトリップ経路を比較して回答欄に○印をつけて下さい。				
経路 A	回答欄			経路 B
	1. 経路 A を好む	2. 甲乙つけがたい	3. 経路 B を好む	
駅まで 5 分間歩き、 運転間隔 10 分の電車 で座って 30 分かかる 通勤経路				駅まで 15 分間歩き、 運転間隔 10 分の電車 で座って 20 分かかる 通勤経路
駅まで 10 分間歩き、 運転間隔 10 分の電車 で座って 25 分かかる 通勤経路				同上

表-3 トレード・オフ法の基礎データの例（長崎市内）

質問番号	経路 A					経路 B					選択比率の回答集計値				
	着席乗車時間	立席乗車時間	乗換回数	乗換回数	乗換回数	着席乗車時間	立席乗車時間	乗換回数	乗換回数	乗換回数	運転間隔	歩行時間	Aを好む	甲乙つけがたい	Bを好む
	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	P_A	P	P_B
1	0	30	—	—	—	32	0	—	—	—	—	—	0.007	0.030	0.963
2	0	30	—	—	—	35	0	—	—	—	—	—	0.027	0.113	0.860
3	0	30	—	—	—	40	0	—	—	—	—	—	0.247	0.443	0.310
4	0	30	—	—	—	45	0	—	—	—	—	—	0.677	0.240	0.083
5	0	30	—	—	—	50	0	—	—	—	—	—	0.863	0.087	0.050
6	30	—	—	—	—	45	—	—	—	—	1	—	0.050	0.070	0.880
7	30	—	—	—	—	50	—	—	—	—	1	—	0.154	0.294	0.552
8	30	—	—	—	—	55	—	—	—	—	1	—	0.448	0.371	0.181
9	30	—	—	—	—	60	—	—	—	—	1	—	0.766	0.151	0.084
10	30	—	—	—	10	—	—	—	—	—	2	—	0.020	0.030	0.950
11	30	—	—	—	10	—	—	—	—	—	2	—	0.104	0.221	0.676
12	30	—	—	—	10	—	—	—	—	—	2	—	0.381	0.385	0.234
13	30	—	—	—	10	—	—	—	—	—	2	—	0.739	0.157	0.104
14	30	—	0	—	—	28	—	1	—	—	—	—	0.897	0.077	0.027
15	30	—	0	—	—	25	—	1	—	—	—	—	0.653	0.267	0.080
16	30	—	0	—	—	20	—	1	—	—	—	—	0.243	0.237	0.520
17	30	—	0	—	—	15	—	1	—	—	—	—	0.160	0.057	0.783

N_i : 甲乙つけがたいと回答した人数。

N_B : 経路Bが経路Aより好ましいと回答した人数。

表-2の形式の比較質問を5因子についてカバーできるように質問票を設計し、選好比率を集計してまとめたものが本モデルのパラメーター推定用の基礎データとなる。長崎市内に勤務する通勤者を対象とした態度調査によって得られた基礎データを表-3に示す。各質問に対する回答者数 N_T は 300 名である。

このようにして得られた基礎データに基づいて、すなわち既知な情報である回答選好比率 (P_A, P, P_B) のデータと比較経路の5因子データ ($x_1^A, x_2^A, x_3^A, x_4^A, x_5^A; x_1^B, x_2^B, x_3^B, x_4^B, x_5^B$) を用いて、モデルの未知パラメーター ($w_2, w_3, w_4, w_5, \epsilon, \sigma$) を次式が最小になるように求める。

$$J(w_2, w_3, w_4, w_5, \epsilon, \sigma) = \sum_{i=1}^n \{ (P_A^i - \hat{P}_A^i)^2 + (P^i - \hat{P}^i)^2 + (P_B^i - \hat{P}_B^i)^2 \} \dots \dots \dots (9)$$

ただし、 i : 比較質問の番号。

n : 比較質問の総数。

P_A^i, P^i, P_B^i : 質問 i の経路選好比率 (回答結果)。

$\hat{P}_A^i, \hat{P}^i, \hat{P}_B^i$: 質問 i の経路選好比率 (選好モデルによる推定値であり、質問 i の比較経路因子データと因子の重み、 ϵ, σ によって式 (4)~(6) で計算した値である)。

上式の J を最小にすることは、モデルの説明誤差を最小にすることを意味している。なお、上述の最小化問題は、($w_2, w_3, w_4, w_5, \epsilon, \sigma$) に関する非線形最適化問題になっており、これを解くために筆者らは共役勾配法の一つである Davidon Fletcher Powell 法⁷⁾ を使用した。

5. 選好モデルのパラメーター推定結果

選好モデルのパラメーターを推定するために、東京丸の内³⁾、長崎市内⁴⁾の2つの地域で通勤経路選好に関する態度調査を実施した。各地域の調査の概要は、表-4に示すとおりである。これらの調査結果を前章で述べた方法でデータを集計し、表-3のような基礎データ表を作成してモデルのパラメーターを推定した。パラメーターの推定結果および選好比率の実測値と推定値の相関係数 R の値は表-5に示すとおりである。

東京丸の内、長崎市内のいずれの場合も相関係数の値は 0.97 以上であり、回帰の結果は良好であった。東京丸の内のケースに関して、選好比率の回答結果と推定値を分かりやすく図示したものが図-3~5である。

また、通勤経路の実際の選択行動に対するモデルの説

表-4 経路選好に関する態度調査

調査対象	調査日	調査方法	配布票	有効回収票	回収率	比較質問数
東京丸の内の通勤トリップ	1973年12月	留置-面接-回収	404票	311票	77.0%	45
長崎市内の通勤トリップ	1975年1月	同上	360票	300票	83.3%	17

表-5 選好モデルのパラメーター推定結果

パラメーター	着席乗車時間	立席乗車時間	乗換回数	乗換回数	運転間隔	歩行時間	判断限界 ϵ	判断誤差 σ	相関係数 R
東京丸の内	1.0	1.385	6.955	1.028	2.460	2.410	4.228	0.977	
長崎市内	1.0	1.365	8.667	1.792	1.662	2.116	4.620	0.987	

注: 上記の重みの値は、1分間の着席乗車時間の与える負効用を1単位として各因子1分または1回の与える負効用を測定したものである。たとえば、東京丸の内の通勤者は歩行1分間は着席乗車時間2.460分と等価な心理的負担を感じていることを意味する。

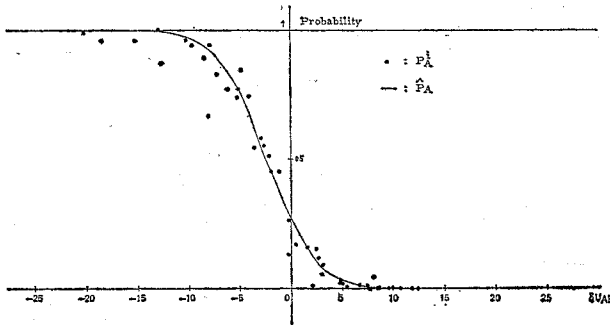


図-3 選好比率の回答結果と推定曲線
 $\{P_A^i\}_{i=1}^{45}$ and \hat{P}_A

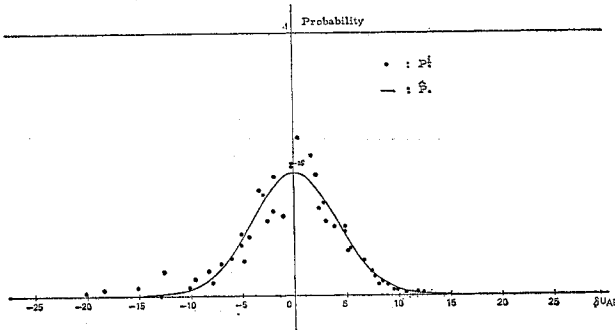


図-4 選好比率の回答結果と推定曲線
 $\{P_B^i\}_{i=1}^{45}$ and \hat{P}_B

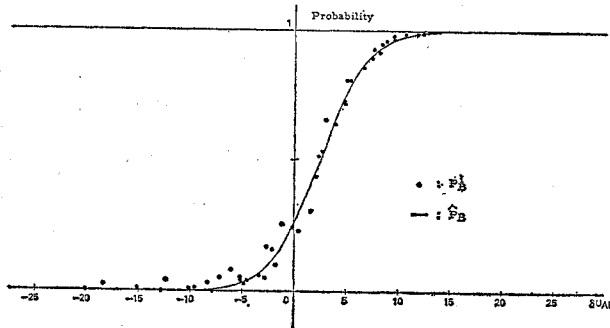


図-5 選好比率の回答結果と推定曲線
 $\{P_C^i\}_{i=1}^{45}$ and \hat{P}_C

明力を次に述べる方法で検討した。これは、長崎の通勤トリップについて、現在利用している通勤経路と代替的に利用できる通勤経路（次善経路）をアンケートで回答してもらい、選好モデルによって2つの経路の負効用値を計算し、利用経路の負効用値（ U_A ）が次善経路の負効用値（ U_B ）より小さいならば現在利用している経路の方が好ましいことが説明できたものとしてモデルの説明力をテストしたものである。このようにして実際の通勤経路選択行動をどれだけ説明できるかを調べたところ、説明力は77%であった。これに対して、所要時間の短い方の通勤経路が選択されるとする時間差モデルの

説明力は66%であり、5因子の選好モデルの方が説明力が高いことがわかる。選好モデルで説明できなかったものは23%あったが、次善経路の歩行時間や運転間隔等の値が実際に利用していないために不正確な回答をしているものが多かった。その点を正確な値に補正すれば選好モデルの説明力はさらに向上するものと考えられる。

選好モデルのパラメーター推定結果（表-5）から次の結論が得られた。

(1) 東京の通勤者は、歩行時間1分を着席乗車時間2.46分と等価に感じている。これに対して長崎市内の通勤者は歩行をあまり苦にしてい

(2) 立つ負担は、着席している負担の1.4倍程度であり地域間で差異がない。

(3) 長崎の通勤者は、東京の通勤者と比べて待つ負担を強く感じている。

(4) 乗換えの負担は、長崎市内の通勤者の方が強く感じている。ここでいう乗換えの負担は、乗換えるのに歩いたり待ったりする必要がない場合の負担を意味している。

(5) 判断のしきい値（ ϵ ）は、着席乗車時間に換算して約2分である。このことは、比較する2つの経路の負効用の差が着席乗車時間換算で2分以上であれば、いずれを好むかを明確に回答できることを意味している。

最後に、本方法による重みの推定値と別の方法による推定結果を比較検討したい。菅原ら⁸⁾は、労働科学の分野の成果である労働状態に対する基礎代謝量の考えを施設計画の立案評価に適用することを提案している。人間のある特定の労働状態における生理学的負担は、その労働の代謝率によって定量化できる。たとえば、歩いている状態の相対的な生理学的負担は、歩いている状態に対する代謝率を座っている状態での代謝率で割った値として求められる。このようにして算定した歩行

の相対的重みは、3.0であり、同様に算定した立っている状態の相対的重みは1.57である。これらの値は、選好モデルによる重みと比べて若干大きい値となっている。また、越⁹⁾は、数量化Ⅱ類を用いて自家用車保有者の項目別重みを推定している。その結果によれば、所要時間に対する歩行時間の相対的重みは2.8であり、筆者らの結果と比べて若干大きい値となっている。

6. ま と め

通勤経路の選好モデルの概要とモデルのパラメーター

の推定結果を述べてきた。本モデルを利用することによって心理的な諸因子を積極的に計量化することが可能となり、交通計画の交通需要予測や路線計画案の評価等の分野に利用していくことが考えられる。まとめるにあたって本モデルの拡張の方向を列挙しておきたい。

(1) 経路の負効用を5因子の線形結合で表わすという制約を緩める。

(2) 運賃の因子、時間の不確実性の因子をモデルに組み込む。

(3) 比較する経路が3以上の場合について、選好比率を推定できるようにする。

おわりに、本研究を行うにあたって、ご援助、ご助言賜った三菱総合研究所 杉野 昇主任研究員、青木洋一研究員に深く感謝申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 小林健三・青木洋一・谷 明良：交通システムの計量的評価に関する研究，交通工学，Vol. 8, No. 5, pp. 15～24, 1973.
- 2) Kobayashi, K., Y. Aoki, and A. Tani: A method for evaluating urban transportation planning in terms of user benefit, *Transpn. Res.*, Vol. 9, pp. 67～79, 1975.
- 3) 三菱総合研究所：新交通システムの技術評価・開発方策（基礎調査報告書），運輸経済研究センター委託調査報告書，1974.
- 4) 三菱総合研究所：新交通システムの技術評価・開発方策Ⅱ（基礎調査報告書），運輸経済研究センター委託調査報告書，1975.
- 5) 谷 明良：交通システムの計量的評価手法の開発，交通工学，Vol. 12, No. 4, pp. 33～41, 1977.
- 6) Thurstone, L.L.: *The measurement of Values*, 4th Impression, University of Chicago Press, 1967.
- 7) Davidon, W.C.: Variable metric method for minimization, A.E.C. Research and Development Report, ANL-5990, p. 21, 1959.
- 8) 東工大社会工学科：交通施設投資順位についてのシステム的研究，pp. 202～222, 1972.
- 9) 越 正毅：交通機関選択に対する意志決定，第9回土木計画学講習会テキスト，pp. 61～74, 1976.

(1977.1.21・受付)