自動車公害とモデル分析の可能性

南部鶴彦
(東京都非常勤研究員
武蔵大学)

1

騒音，大気汚染などに代表される都市公害の発生が，交通体系と不即不離の関係にあることは，今さら強調するまでもない。交通体系が都市経済の円滑な運行の基盤をなしており，それ自体が経済学の分析の対象となってからすでに久しい。しかし，経済成長に伴う都市化の進展，とくに大都市の過密化現象は，交通問題に公害をいかにとり入れるか，そしていかなる政策手段が利用可能であるかという巨大な問題を提起してきた。都市における公害が，コンジェスション（congestion）を一つの基点としている以上，交通という側面からのアプローチのみでは，十全の分析とはなりえないことは自明のことであり，また交通体系の分析から示唆される政策手段も，公害現象の一部を解消するに役立つにすぎないことは明らかである。しかしながら，交通問題という観点から，都市公害を分析するというアプローチ方法には次のような利点が存在すると思われる。

家計あるいは企業における交通手段の選択，いいかえれば通勤，通学あるいは営業上にどのような交通手段を選択するかということは，極めて経済的な問題である。人間の合理性を前提とする限り，人々は，目的地に到達するためにもっとも有効な方法すなわち目的地に到達するのにもっともコストの低い交通手段を選択するであろう。土地利用形態が所与であり，それに付随した交通網（電車，バス，高速道路等）が与えられると，そこには人々の行動目的に従って，合理性の基準に従った一定の利用パターンが存在するであろう。（もっとも，自動車通勤を行なっている人々の一部にみられるように，自動車を利用すること自体に，目的地到着以外の効用を見い出して単純なコスト最小という経済行動で，すべてが割り切れないことは確かである。）もしわれわれが，ある地域について交通手段利用パターンを，上に述べたようなコスト最小という基準に従ったモデルで分析して近似することができれば，これを交通騒音や大気汚染などの公害発生と，ある程度納得的にリンクさせることができる。公害の発生は，各種の条件が合成されたものであり，その中にはまだ解明されていないものも少なくないが，交通がそこに占める比重は決して小さなものとは考えられず，この部分についてモデル分析に基づくデータが提供されれば，公害発生がある部分では，論理的に管理可能（manageable）となるのである。

2

交通と関連の深い騒音や大気汚染などは，その発生が時間的な推移を追ってとらえられることが望ましい。したがって，われわれの交通モデルも，オーバータイム（over time）な交通手段利用パターンの分析であることが望まれるわけである。ところで，交通公害と，もっとも関連の深い交通手段は，自動車である。自動車道路に沿った騒音及び大気汚染は，もっとも顕著な公害現象として，その早急な解決が要求されている。これらの公害の発生は，自動車交通量の発生量とほぼパラレルな動きを示すものと考えてよい。それゆえ，われわれが，なんらかのモデルに従って，各道路ごとの自動車交通発生量が予測可能であれば，そこで発生する公害についても予測が可能となり，交通政策による公害の規制も不可能ではない。そこで問題は，自動車利用者が，目的地に到達するために，どのようなルートを選択するかであり，そのための理論モデルが必要とされるのである。前節で述べたように，家計あるいは企業の合理的行動を前提とすれば，交通手段の選択は，コスト最小をもたらすような利用可能な交通手段の組み合わせとなる。しかしわれわれは，ここではそのような交通体系の一部である自動車交通を部分的に取りあげて，そこで自動車利用者がコスト最小となるようなルート選択を行なう場合，各道路における自動車交通量がどのように配分されるかを，極めて

簡単なモデルによって分析してみることにしよう。したがって，このモデルはいわゆる部分均衡分析であって，最終的には一般均衡モデルである交通体系に包含されるものである。また注意せねばならないのは，ここでは土地利用形態と交通網は既設のものを所与として分析する静態的アプローチを用いることであって，都市開発と交通網の新設という動態的な状況は取り扱われていない。

3

ルートの選択をコスト最小という観点から分析するのにもっとも適した方法は，線型計画 (Linear Programming) によるものであろう。以下われわれは，極めて簡単なモデルから出発して，どのような形でモデルが設定されるべきか，その方向をさぐってみることにしよう。まず図1のように目的地Kに到達するためにルートA，Bがあり，二地域からX_1, X_2という自動車交通が発生してくるものとしよう。

X_1，X_2 は二つのルート A，Bを選択できるから，次のように分けられる。

$$X_1 = X_1{}^A + X_1{}^B \qquad (1)$$

$$X_2 = X_2{}^A + X_2{}^B \qquad (2)$$

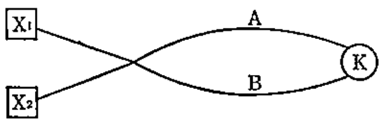
ルートA，Bを通過するためには，一方のルートに交通が集中することによって発生する混雑コスト(Congestion cost) と，混雑とは無関係にインピュートされるコストの二種類が考慮されねばならない。前者は，交通の集中度に依存するのに対し，後者はこれと独立で，一定である。A，Bの交通量あたり混雑コストを C_A，C_B とし，一定のコストを h_A，h_B とする。C_A，C_B については

$$C_A = f\left(\frac{X_1{}^A}{X_1},\ \frac{X_2{}^A}{X_2}\right) \qquad (3)$$

$$C_B = g\left(\frac{X_1{}^B}{X_1},\ \frac{X_2{}^B}{X_2}\right) \qquad (4)$$

すなわち，混雑コストは2地域から発生する自動車交通がそれぞれどのような割合でルートA，Bを利用するかに依存する。いま目的地Kに到達するための総コスト

図1



は次式で与えられる。

$$C = C_A(X_1{}^A + X_2{}^A) + C_B(X_1{}^B + X_2{}^B) + h_A(X_1{}^A + X_2{}^A) + h_B(X_1{}^B + X_2{}^B) \qquad (5)$$

Kに到達するもっとも効率的な交通流は，(5)を最小とするような $X_1{}^A$，$X_2{}^A$，$X_1{}^B$，$X_2{}^B$ を見い出すことである。これを可能とするために，われわれは C_A，C_B を一次式で特定化する。

$$C_A = \alpha_A + \beta_{A1}\frac{X_1{}^A}{X_1} + \beta_{A2}\frac{X_2{}^A}{X_2} \qquad (6)$$

$$C_B = \alpha_B + \beta_{B1}\frac{X_1{}^B}{X_1} + \beta_{B2}\frac{X_2{}^B}{X_2} \qquad (7)$$

このような特定化によって発生する問題は，目的関数である(5)式に2次の項があらわれてくることである。しかし，ここでは，次のような方法を用いて，くり繰し計算によって，近似的に$X_1{}^A$～$X_2{}^B$ を求めることができる。

たとえば $\dfrac{(X_1{}^A)^2}{X_1{}^A + X_1{}^B}$ および $\dfrac{X_1{}^A X_2{}^A}{X_1{}^A + X_1{}^B}$ については，

$$\frac{(X_1{}^A)^2}{X_1{}^A + X_1{}^B} = \frac{X_1{}^A}{1 + \dfrac{X_1{}^B}{X_1{}^A}} \qquad (8)$$

$$\frac{X_1{}^A X_2{}^A}{X_1{}^A + X_1{}^B} = \frac{X_2{}^A}{1 + \dfrac{X_1{}^B}{X_1{}^A}} \qquad (9)$$

である。そこで，$X_1{}^B/X_1{}^A$ を過去のデータによってある程度まで求めることが可能であれば，それを代入することにより，$X_1{}^A$，$X_2{}^A$ に関し（したがって$X_1{}^B$，$X_2{}^B$ に関しても）(5)をまず最小化してみる。そして求められた $X_1{}^A$，$X_1{}^B$ から $X_1{}^B/X_1{}^A$ を計算し，過去のデータとして，はじめに代入した分母の $X_1{}^B/X_1{}^A$ と比較する。この二つに大きな差がある場合には，代入値を修正して再び(5)の最小化を行なう。このような手続きによって，計算された $X_1{}^B/X_1{}^A$ と，初期値のそれとの差を求め十分小さくなるまで繰り返し計算するのである。

4

上のモデルでは，混雑コストは単純に，各ルートの集中度の関数としたが，本来は，これはルートへの集中が増大するにつれ，時間的に増大してゆくものである。交通量の over time な動きを知るためには，混雑コストのこの性質を利用して，次のような工夫が可能であろう。たとえば，ルートAでの混雑コストは，時間とともに交通量が増大するにつれて，段階的に上昇してゆくものと

する。

$$C_A{}^\alpha < C_A{}^\beta < C_A{}^\gamma < \cdots\cdots$$

ここで C_A が $C_A{}^\alpha$ の水準でいるためには，交通量 $X_1{}^A+X_2{}^A$ は，ある水準 m_α 以下でなければならない。同様にして$C_A{}^\beta$については水準 m_β が対応するものとすれば，

$$(X_1{}^A+X_2{}^A)_\alpha \leq m_\alpha$$
$$(X_1{}^A+X_2{}^A)_\beta \leq m_\beta$$
$$(X_1{}^A+X_2{}^A)_\gamma \leq m_\gamma$$
$$\vdots \qquad \vdots$$

等々が成立するのである。したがって目的関数は

$$\begin{aligned} C = & C_A{}^\alpha(X_1{}^A+X_2{}^A)_\alpha + C_A{}^\beta(X_1{}^A+X_2{}^A)_\beta + \cdots\cdots \\ & + C_B{}^\alpha(X_1{}^B+X_2{}^B)_\alpha + C_B{}^\beta(X_2{}^B+X_2{}^B)_\beta + \cdots\cdots \\ & + h_A(X_1{}^A+X_2{}^A) + h_B(X_1{}^B+X_2{}^B) \end{aligned} \tag{10}$$

$$\left.\begin{array}{ll} (X_1{}^A+X_2{}^A)_\alpha \leq m_\alpha, & (X_1{}^B+X_2{}^B)_\alpha \leq m_\alpha \\ (X_1{}^A+X_2{}^A)_\beta \leq m_\beta, & (X_1{}^B+X_2{}^B)_\beta \leq m_\beta \\ \vdots & \vdots \end{array}\right\} \tag{11}$$

$$\begin{aligned} & (X_1{}^A+X_2{}^A)_\alpha + (X_1{}^A+X_2{}^A)_\beta \\ & + \cdots\cdots = X_1{}^A + X_2{}^A \end{aligned} \tag{12}$$

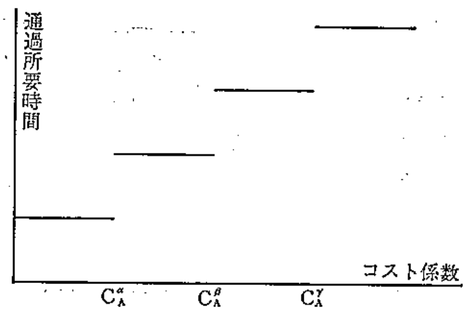
$$\begin{aligned} & (X_1{}^B+X_2{}^B)_\alpha + (X_1{}^B+X_2{}^B)_\beta \\ & + \cdots\cdots = X_1{}^B + X_2{}^B \end{aligned} \tag{13}$$

このようにコスト係数を定めることができると，この係数とルート通過所要時間との間に成立する関係によって，ある時刻に出発した自動車の通過所要時間を求める工夫ができる。

図2はコスト係数と通過所要時間の関係を示している。

コスト最小化によって，交通量が決まると同時に，総費用が決定されるが，それは横軸のコスト係数の値域をして，決定するものとなる。この値域が求められると，図2からルートを通過するのに必要な時間が決定されるのである。通勤あるいは営業用の自家用車については，出発時刻と到着時刻との間に，ある制約条件が必要となるであろう。このように制約条件を図2のような工夫を用いて内生化し，フィードバック機構として用いることができるわけである。

図2



5

以上，極めてクルードな形で，モデルによる交通量の時間分析の方法について述べてみた。このモデルを現実化するためには，幾多の操作を必要とするであろう。しかし，交通公害に取り組むためには，その基礎作業としてこのような方向での作業は不可欠である。交通問題からの政策手段が，どの程度まで公害除去に関して有効かは具体的に予測することは現在のところ不可能である。そのような意味で，理論モデルに基づいたシミュレーションによる公害除去の分析と予測は一つの有用な道具として，今後活用されねばならないものであろう。