Ⅳ－5

# 需要－供給均衡交通量の推計法に関する一考察

岐阜大学工学部　正　員　加藤　晃
岐阜大学工学部　学生員　○宮城俊彦

## 1．はじめに

交通施設系と需要量の間に内在する敏感な反応をいかに交通計画プロセスに組み入れるかという問題に対し提案された「需要－供給均衡モデル」は，従来の四段階推定法が活動系のみによってトリップ発生機構を説明しようとしたのに対し，交通施設によって与えられる通行価格に応じトリップの発生，交通機関選好，ルート選択を含む一連の意志決定が行なわれると考える点で行動需要モデルということができ，前の四段階推定法以上に因果関係の線にそってトリップ発生機構を説明しうる点で望ましい。また，新路線が開設された場合に，どれ位の交通量がその路線に転換するのか，誘発交通量はどれ位かという問題に対し，「需要－供給均衡モデル」は，これらを統一的に説明することができる。

ところで，トリップの発生機構に影響を与える他の大きな要因は生活時間であると考えられる。1日が24時間であることは普遍的なものであり，この制約された時間内での行動は必然的に最適化過程を構成するであろう。

このようなことを考慮して交通需要と交通施設の関係を通行サービス水準を媒介として説明する「均衡モデル」について考察する。

## 2．トリップ発生機構と需要関数

2地点間の交通需要は一般に次のような形で表わされる。

$$D = f(A, L) \qquad (1)$$

D：交通需要　　A：アクティビィティ　　L：サービス・レベル

サービス・レベルLは具体的に2地点間の通行時間，通行価格等の指標で表わされるが，本稿では通行時間によってLを表わす。また，アクティビィティはそのゾーン人口（あるいは世帯数），土地利用，社会経済的指標を表わし，外生変数である。短期予測においては，Aを固定して考えるのが普通であり，Lが明確に示されるとDは顕在化する。すなわち，2地点間の通行サービス水準が提示されることによりトリップの発生，機関選好，経路選択という一連の意志決定が行なわれる。このような意志決定は本質的にトリップ・メイカーの社会経済的特性に依存しており，トリップ・メイカーはその特性に応じて個有の受け入れ価格をもつであろうし，また，支払い能力に応じてトリップ機会が変化するであろう。トリップ機会に影響を与える他の大きな要因はトリップ・メイカーの稼働時間である。限られた24時間のうち，個人の社会経済的特性に応じた最適化が行なわれ1日の行動時間が決定されると考えてよいだろうし，そのような稼働時間を種々の活動，あるいはゾーンでの滞留時間に分配する過程も最適化過程を構成するであろう。各トリップ断面における意志決定の際も，これまでの消費時間あるいは，ゾーンでの滞留時間の影響を受ける。ゾーンでの滞留時間が長ければ長い程トリップ機会は減少し，短い程トリップ機会は多くなるであろう。したがって，稼働時間が長いからといって，それがトリップの増加につながるとは必ずしも言えない。このような時間ファクターをとり入れてOD量

を求めるモデルは，次のような形で表わすことができ，すでに報告した[1]。

$$Q_{ij} = \frac{T \cdot \nu \, u_i P_{ij}}{\sum_i u_i S_i + \sum_{ij} u_i P_{ij} t_{ij}} \qquad (2)$$

T；システムの総保有台数　$\nu$；平均的稼働時間　$S_i$；ゾーン滞留時間

$t_{ij}$；ゾーン間通行時間　$u_i$；ゾーンの相対的発生力　$P_{ij}$；ゾーン間遷移確率

$\theta_{ij} = u_i P_{ij}$として求めることも多い。

ところで，ゾーンの滞留時間はゾーンの活動レベルを表わす指標と考えられ，土地利用や駐車需要等に関連させて把握されるべきもので，短期予測においてはほぼ一定と考えてさしつかえない。したがって，上述のモデルは土地利用，個人の属性，交通施設の特性を織り込んだモデルとなっており，$T, \nu, S_i$が与えられると，OD需要はゾーン間の通行サービス水準の関数となる。

## 3．供給関数

経済学でいう供給関数に相当するものは一般に次のような形で表わされ，Q-V関係式，あるいは走行時間関数が用いられる。

$$L = g(T, D) \qquad (3)$$

T；交通施設特性　D；交通量

最短経路探索法に依るならば，2地点間の供給関数は一意的に定められるが，競合路線が何本か存在する場合の供給曲線はどのように考えたらよいであろうか。このような2地点間のルート特性のアグリゲーションに対し，次の2つのアプローチが考えられる。

(1)分担率による場合

経路kの分担率を$\theta_{ij}^k$，通行時間を$t_{ij}^k$とするとき，平均的な通行時間は

$$t_{ij} = \sum_k \theta_{ij}^k t_{ij}^k \qquad (4)$$

として表わすことができる。

(2)等時間原則による場合

Wordropによって提唱されたこの原理は，走行時間とフローが安定する平衡状態を求めようとするもので，需要-供給均衡フローを求める概念にマッチして最も合理的な手法を与える。例えば，2経路の場合，等時間原則を満足するような供給曲線は右図実線のような合成曲線で表わされる。

このような合成曲線を供給曲線とし，(2)式を需要曲線とする場合の需要-供給均衡分析について以下に議論する。

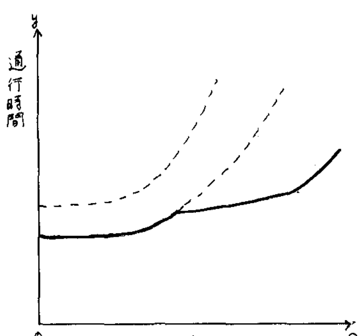

図-1　合成供給曲線

## 4．需要-供給均衡分析による種々の交通量の推計

(1) Single O-D flow

今，説明を簡単にするため対象とするOD間の経路に他のODフローが流れ込まないような独立ODについて考える。経路が一本しかない場合には多くの文献に説明されているように需要曲線と供給曲線の交点が顕在化する交通量である。ところで，ルート2が新設されたと考えてみよう。

ルート1だけの場合の均衡フローは図-2の$Q_0$で示されるが，ルート2の新設によりルート1から徐々にルート2へ転換が生じる。また，通行サービス条件が改善されたことにより潜在需要のいくらかが顕在化する。この誘発交通量を含めた形で交通量の転換が生じルート1とルート2の通行時間が等しくなる点ですべての交通量が均衡状態になる。このような同一O-D内での転換量を一次転換量と呼ぶことにすると，一次転換量は図-2の$\overline{x_1Q_0}$で示される。また，誘発量は$\overline{Q_0Q_1}$，ルート・フローは各々$\overline{Ox_1}$, $\overline{Ox_2}$である。したがって，O-D交通量は$Q_1$まで増加し通行サービス水準は$t_0 \to t_1$まで改善される。もし，将来もネットワークが改善されないならば需要の自然成長的増加によって$D \to D'$へと右上方にシフトする。

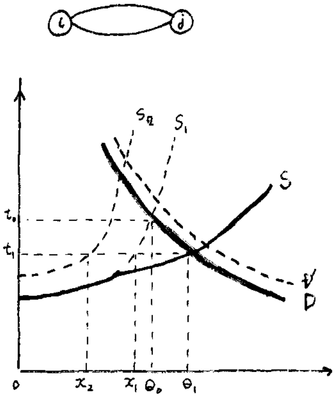

図-2 Single O-D equilibrium flow

(2) multi-commodity Network flow

上述のような独立ODフローは，現実のネットワークではほとんど存在せず，実際のネットワーク・フローはmulti-commodity flowとして取り扱われる。この場合，他のODフローのうち当該OD間の経路を利用するものがいるので，i-j間のルートのバイアス走行時間は上方へシフトする。これは図-3において$S_1, S_2$曲線を上方へシフトさせるか，y軸を通過交通量に等しい分だけ平行移動させることによって表現できる。この場合，軸$y'$はルート・フローについての原点を示し，軸$y''$がOD量についての原点となる。しかし，ルート2が新設されることにより当該OD内での転換量の他に，他のODからの転換量も同時に考慮する必要がある。このような二次転換量は$y''$をさらに右側へシフトさせることになろう。
誘発交通量も考慮した均衡状態におけるOD量は$\overline{O''Q_1}$となる。

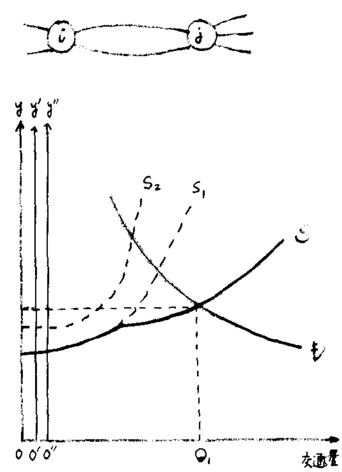

図-3 Equilibrium flows in Multiple O-D Network

## 5. 分布-配分交通量の同時推定法へのアプローチ

上述のような均衡点を求める手法は(2)式の需要関数を用いることによって分布-配分量，ひいては発生量をも求める手法を与える。

線型走行時間関数を用いた場合の均衡フロー推計法の概念図は図-4のように示される。

始めに，零フロー時の走行時間を用いて(2)式により$Q_{ij}^{(1)}$を求める。1回目の推計ではルートの走行時間が小さいので$Q_{ij}^{(1)}$は大きな値となる。この初期条件に基づいて求められる需要量は，理想的な交通条件下での需要量を与えるので，一般にポテンシャル需要と呼んでいる。このポテンシャル量をルートに流してやると，走行時間関数によって求められるルート走行時間は大きな値となるので2回目の$Q_{ij}^{(2)}$は小さめに出る。同様な方法で繰返し計算を行なっていくと$Q_{ij}^{(k)}$を流すことによって$Q_{ij}^{(k-1)}$を流した場合のルート走行時間と変らない状態になる。このときのルート走行時間を用いて$Q_{ij}^{(k+1)}$を求めても$Q_{ij}^{(k)}$と差がないので，ルートの走行時間もフローもこれ以上変化させることのない均衡状態になったと考えてよい。

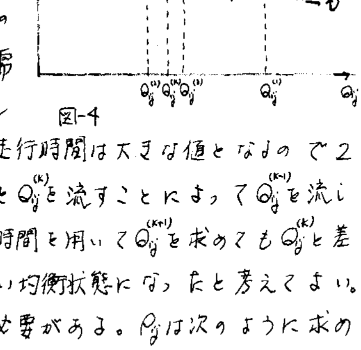

図-4

ところで，(2)式により各回の$Q_{ij}$を求める際，$P_{ij}=U_iP_{ij}$ を推定する必要がある。$P_{ij}$は次のように求め

ることができる。(2)式において$TV$はある時点においては一定と考えられるので確率最大化手法を用いれば，$\sum_j P_{ij}=U_i$, $\sum_i P_{ij}=V_j$を制約条件として，次のような単位時間当りの'ネットワーク・エントロピー'を最大にする問題に変換しうる。

$$H=-\sum_{i,j} P_{ij}\ln P_{ij} \Big/ \sum_{ij} P_{ij}(S_i+t_{ij}) \qquad (5)$$

ラグランジュ未定常数法を用いて解くと，$P_{ij}=\alpha_i\beta_j e^{-rt_{ij}}$という解が得られるが，$\alpha_i$, $\beta_j$は未定常数を含んだ形となっている。したがって，収束計算を必要とし，始めに$\beta_j^{(1)}=V_j$と仮定して計算を行い$\max[|P_{ij}^{(K)}-P_{ij}^{(K-1)}|]\leqq\delta$となるように収束させることができる[2]。したがって，$r$を仮定して各回ごとの$t_{ij}$に応じた$Q_{ij}$を求めることができるが，最終的に求まった$Q_{ij}^*$と$t_{ij}^*$を用いて$\sum_{ij}Q_{ij}^*(S_i+t_{ij}^*)=TV^*$を計算してやり，実際の$TV$と異なる場合には，さらに$r$を変えて計算をやりなおす必要がある。

これまでの説明では，$U_i$, $V_j$は所与のものとしてきたが，将来推定の場合には現況のデータから$U_i$を求め，上述の方法により$P_{ij}$, $t_{ij}$を求める。その際，将来年次のゾーン別世帯分布$a_i$を求めておき，推計された$S_i$, $t_{ij}$, $P_{ij}$を用いて$a_i^*=U_i\sum_j P_{ij}^*t_{ij}^*/(\sum_i U_iS_i+\sum_i\sum_j U_i P_{ij}^*t_{ij}^*)$を求め$a_i\neq a_i^*$の場合は，$U_i=a_i(\sum U_iS_i+\sum_i\sum_j(U_iP_{ij}^*t_{ij}^*)/\sum_j P_{ij}^*t_{ij}^*$として計算をやり直す。

$a_i$はゾーンの才1トリップ生成力を表わす指標であり，$Ta_i$として才1トリップ量を求めることができる。しかし，$U_i$は立回りも考慮した発生力であり，$a_i$とは区別する必要がある。上式~~によれば~~は，ゾーンの相対的発生力は世帯数に比例し，他ゾーンへの相対的な所要時間の大きさに反比例していることを示す。

## 6. 需要の弾力性

需要の弾力性とは，通行価格の1%変化に対する需要の%変化を示しており，交通システムの評価には欠かせないものである。例えば，通勤などの交通は少し位交通サービスが悪くなっても交通量はさほど変化しないのに比べ，買物や業務トリップは通行時間に敏感に反応するだろう。従来の需要推定法はこの弾力を全く無視して推計を行なっており，これはこれまでの推定法の明らかな欠点であろう。

(2)式の弾力性を求めると

$$e=\frac{\partial Q_{ij}/Q_{ij}}{\partial t_{ij}/t_{ij}}=-\left(\frac{r\bar{s}+1}{\bar{s}+\bar{t}}\right)t_{ij}$$

$(\bar{s}+\bar{t})\gg1$ であるから $\qquad e=-\left(\dfrac{r\bar{s}}{\bar{s}+\bar{t}}\right)t_{ij} \qquad (6)$

弾力性は，このように通行時間に関連するがこれをスケールするのは，推移確率にかかる常数$r$と平均的推移時間と滞留時間の比である。すなわち，滞留時間に比べ走行時間の非常に小さいような交通は塑性的であるのに対し，滞留時間と走行時間が非常に近いような，あるいは走行時間の方が長いような交通は，通行時間が鋭敏に響くことになる。前者のタイプには通勤・登校トリップなどがあり，後者のタイプには，業務や買物，娯楽トリップが含まれる。

## 7. 問題点

これまでの計算結果では零フロー時の最短経路を固定してやり，その経路だけ収束計算を行ったり，あるいは複数経路に等配分する場合には解は収束し所与のODパターンに近い値を求めることができ，リンクフローも満足いく結果を出した。しかし，ルートの所要時間によって分担率を変える方法（例えば，$\beta_i^k=\dfrac{e^{-rt_i^k}}{\sum_k e^{-rt_i^k}}$）を用いると解はなかなか収束しない。今後，解の収束方法の改良，等時間原則に基づく配分法を行う必要がある。また，より現実的な走行時間関数を用いる等の工夫が必要であり，問題点はまだ多い。

(1) 加藤，宮城「マルコフ再生理論による都市交通モデルについて」才29回年次講演概要集 (2) R.B.Potts & R.M.Oliver「Flows in Transportation Network」