実測路上交通量モデルを用いたOD間パラメーターの修正について

金沢大学工学部　正員　飯田 恭敬
システム科学研　正員　中嶋 益雄

1. まえがき

OD交通量が重力モデル構造で表わされるとき、OD間パラメータR_{ij}とOD別道路区間利用率P_{ij}^{mn}が与えられると、道路区間上の実測交通量を用いて対象道路網内のOD交通量とODより道路区間交通量が推計できることはすでに報告した[1]。この方法を実測路上交通量モデルとよんでいる。しかし交通量は常に変動するものであり、これらの先決値は推計時点における真実値とは異っていることが多いと思われる。このずれに伴う推計誤差への影響は、シミュレーションで確めたところ、以下のことが明らかとなっている。OD別道路区間交通量については、R_{ij}のずれが小さい間はP_{ij}^{mn}のずれの影響をかなり受けるが、R_{ij}のずれが大きくなるに伴い影響は次第に減少する。OD交通量については、R_{ij}のずれのみによって推計誤差が決まる。R_{ij}のずれが40%を越えると推計誤差は急速に大きくなる。したがって、推計誤差が許容範囲を越えると考えられるときは、先決値を修正することが望ましい。そこで本報告ではOD交通量推計のみを対象にすることにして、先決値であるOD間パラメータR_{ij}の修正可能性について考察を試みるものである。考え方としては、既発表のような最尤法を用いる方法[2]もあるが、ここでは実測路上交通量モデルを利用してノード発生集中交通量の誤差から修正する方法を考える。方法論としては、成長率法を応用する方法とOD交通量変動特性を用いる方法を取り上げる。

2. 成長率法の応用による修正

本報告ではOD交通量の推計のみを対象にしており、この場合はOD別道路区間利用率のずれはほとんど問題にならないので、OD間パラメータR_{ij}の修正だけについて考える。実測路上交通量モデルは先決変数の与え方によって4タイプに分類されているが、R_{ij}とP_{ij}^{mn}が先決されるタイプはモデル1とよんでいる。モデル1ではR_{ij}がずれているとノード発生，集中交通量に誤差が生じる。正しいノード発生，集中交通量は、一つの中心ノード（交差点）と隣接ノード（交差点）から成る基本部分道路網のOD比率を観測するモデル4の方法によって簡単に得ることができる。それゆえ、ノード発生，集中交通量の推計値を真実値に一致させるようなR_{ij}の修正方法をここで考えてみる。方法としては、式（1）と式（2）の2つについて検討してみる。前者は発生，集中交通量の推計値が真実値に対して過大のときは小さくなるように、過小のときは大きくなるように修正するものである。後者はモデル1におけるR_{ij}の定義式による修正である。ただし、A_i，AA_iはノードiにおける発生交通量の推計値と真実値、B_j，BB_jはノードjにおける集中交通量の推計値と真実値である。TT_{ij}はモデル1で推計されたij間のOD交通量を真実の発生，集中交通量を満足するよう調整したものである。またkは繰返し回数を示す。

$$R_{ij}^{(k+1)} = R_{ij}^{(k)}\left(\frac{AA_i}{A_i}\cdot\frac{BB_j}{B_j}\right) \qquad (1)$$

$$R_{ij}^{(k)} = \frac{TT_{ij}^{(k)}}{AA_i\cdot BB_j} \qquad (2)$$

しかし結論から先に言えば、このいずれの方法も推計誤差の改良はできないのである。なぜなら、重力モデルの性質として、発生，集中トリップエンド条件式を満たすとき、OD間パラメーターの各行あるいは各列に一定の定数を乗じてもOD交通量は変化しないからである。このことについて少し説明しておこう。OD交通量は式(5)のような重力モデル構造で表わされるとしている。α_iおよびβ_jは発生交通量，集中交通量に関するトリップエンド条件を満たすための調整係数である。α_iとβ_jは式（4）と式（5）を交互に繰返す収束計算によって決定できる。いまR_{ij}に対して、$\beta_j^{(0)}=1$を初期値として

$$T_{ij} = \alpha_i A_i \beta_j B_j R_{ij} \qquad (3)$$

$$\alpha_i = \left[\Sigma_j \beta_j B_j R_{ij}\right]^{-1} \qquad (4)$$

$$\beta_j = \left[\Sigma_i \alpha_i A_i R_{ij}\right]^{-1} \qquad (5)$$

調整係数の収束計算をしたところ、α_i^*とβ_j^*が得られたとする。次に$\bar{R}_{ij} = R_{ij}/(m_i \cdot k_j)$とOD間パラメータを変更してみる。収束計算の初期値を$\beta_j^{(0)} = k_j$としても一般性は失われないから、同様にして調整係数を求めるとそれぞれ$m_i\alpha_i^*$，$k_j\beta_j^*$となる。これより、$\bar{R}_{ij}$と得られた調整係数を式(3)に投入しても、OD交通量は前の値と不変であることがわかる。Evansは成長率法であるファーネス法あるいはデトロイト法では、元のOD交通量に発生側，集中側の固有定数を乗じても結果は同一となることをすでに証明している[3]が、R_{ij}だけを対象としてもまったく同じことになる。上では調整係数の収束計算法を用いてこれを具体的に示したものである。

もう1つの方法である式(2)についてもやはり修正することはできない。なぜなら、TT_{ij}はトリップエンド条件式を満たすよう調整されていても、構造的には式(1)と同じだからである。

このようにして、ノード発生，集中交通量の推定値と真実値が一致するようR_{ij}を修正するとき、デトロイト法的な式(1)あるいは式(2)の方法では困難なので、別の方法を考究する必要がある。たとえば、式(1)ではAA_i/A_iおよびBB_i/B_iを$R_{ij}^{(k)}$のべき指数として用いる方法、また式(2)では$TT_{ij}^{(k)}$を平均成長率法で調整して$R_{ij}^{(k)}$を求める方法が考えられる。しかし、これらの方法についてはこれから実際計算を通して有効性を検討してみたい。ついでながら、式(3)の形の重力モデル構造で表わされるOD交通量が所与のトリップエンド条件を満たす場合、R_{ij}がiあるいはjについて一定数を乗じても、ODパターンは不変であることはきわめて興味深い。これはたとえば、ある1つの特定地点から他の全地点への交通サービスが一率に変化したときに相当する。現実には交通サービス水準の変化によって、ノード発生，集中交通量は異ってくるが、これを固定値と与えているときは上述のごとく不変となる。実測路上交通量モデル1では、ノード発生交通量を逐次修正するという方法（ノード集中交通量はノード発生交通量が決まれば得られる）をとっているが、式(1)あるいは式(2)によるR_{ij}の修正を施しても、元のR_{ij}に対する収束過程とまったく同一となり、推計結果は改良されないのである。

3．ODパターンの変動特性を利用する方法

ODパターン変動にある種の法則性が存在すれば、この特性を利用することによってOD間パラメータR_{ij}を修正することが可能となろう。現在のところ、OD交通量変動に対する調査例がないので、その一般法則性は明らかではないが、発生交通量あるいは集中交通量の変動からOD交通量の変動特性をある程度推察できる。OD表には統合性および分割性という性質があるため、発生集中ノードのグルーピングによって任意サイズのOD表に作りかえることができる．OD交通量の発合計あるいは着合計である発生交通量，集中交通量もOD交通量の一つの形態と見なすことができよう。したがって、発生あるいは集中交通量の変動分析を用いてOD交通量変動特性を類推してもそれほど大きな問題は生じないと思われる。限られたデータではあるが、北陸自動車道と中国自動車道のインターチェンジの流入・流出交通量で調べたところ次のようなことが判明している[4]。変動要因としては月間変動，曜日変動，不規則変動に分けて考えることができる。不規則変動は一般に大きく30%～60%である。曜日変動が卓越した交通量変動には周期性（7日）が明確に存在し、月間変動が卓越する場合は周期性はあいまいとなる。発生交通量（あるいは集中交通量）相互の間にはかなり高い正の相関関係がある。交通量変動の大部分は正規分布に従う。交通量変動の平均値μと分散σ^2の間には式(6)の形の関係が見られる。

$$\sigma^2 = a \cdot \mu^b \qquad (6)$$

これらの変動特性を利用して次のようなシミュレーションを実行し、R_{ij}の修正が可能かどうか検討してみることにする。本シミュレーションでは、まず最初の仮定として1つのOD交通量が増加すれば他のOD交通もすべて増加するとしている。この仮定はOD交通量変動間には正の相関があることから妥当であろう。第2の仮定は、OD交通量の増加変動分ΔT_{ij}は、期待値μ_{ij}，分散σ_{ij}^2の正規分布$N(\mu_{ij}, \sigma_{ij}^2)$に従い、よって変化後のOD交通量$TT_{ij}$は$N(T_{ij}^* + \mu_{ij}, \sigma_{ij}^2)$に従うとし、さらに期待値$\mu_{ij}$は変化前のOD交通量$T_{ij}^*$の関数で、標準偏差$\sigma_{ij}$は変化後のOD交通量$TT_{ij}$の関数でそれぞれ決まるものとする。いま仮にこれらの関数が式(7)および式(8)の形で表わされるものとする。p，qは比例定数で

あり、m, n は正の定数である。すなわち、μ_{ij} の T^*_{ij} に対する比および σ_{ij} の TT_{ij} に対する比は、それぞれ T_{ij}, TT_{ij} が大きくなるにともない小さくなるとしている。才2の仮定の現実性について今後のデータ蓄積によって確める必要があるが、これまでの分析例によるとそれほど矛盾したものではない。OD交通量変動に関する平均値と分散は式(6)の関係で示されることは既述したが、不規則変動分だけを取出したときはbの値が2を越えることはほとんどない。式(7)は、$\mu^2_{ij}=\sigma^2$, $T^*_{ij}=\mu$ とおけば式(6)の関係を利用したことが容易に理解されるが、$b<2$ より m を正定数とおいた。しかし、後述のシミュレーション結果からわかるように m が正負いずれでも別に問題はない。式(8)を用いた理由は、OD交通量変動は式(6)の関係を満たす確定値とはならず、やはりその周辺にばらつくと考えたからである。ばらつきの大きさは不明であるがここでは一応変動後のOD交通量に依存するとして式(7)と同様の関係式を用いることにした。式(7)から式(9)が得られ、また式(8)の TT_{ij} に $(T^*_{ij}+\mu_{ij})$ を代入して式(10)が導かれる。よって、変化後のOD交通量 TT_{ij} は正規分布 $N(T^*_{ij}+p\cdot T^{*1-m}_{ij},\ \{g\cdot(T^*_{ij}+p\cdot T^{*1-m}_{ij})^{1-n}\}^2)$ に従うものと考える。このようなOD交通量変動の仮定をすることによって、変化前のOD交通量 T^*_{ij} が与えられると、以下の方法で変化後のOD交通量 TT_{ij} を作ることができる。OD交通量変動を式(11)のように標準化すると、Z_{ij} は $N(0,1)$ に従う。ここで、仮に $m=n=1/2$ とおくと、Z_{ij} に正規乱数を発生させることによって、式(12)から TT_{ij} が得られる。

$$\frac{\mu_{ij}}{T^*_{ij}} = p\cdot T^{*\,-m}_{ij} \qquad (7)$$

$$\frac{\sigma_{ij}}{TT_{ij}} = g\cdot TT^{-n}_{ij} \qquad (8)$$

$$\mu_{ij} = p\cdot T^{*\,1-m}_{ij} \qquad (9)$$

$$\sigma_{ij} = g\cdot(T^*_{ij}+p\cdot T^{*\,1-m}_{ij})^{1-n} \qquad (10)$$

$$Z_{ij} = \frac{TT_{ij}-(T^*_{ij}+p\cdot T^{*\,1-m}_{ij})}{g\cdot(T^*_{ij}+p\cdot T^{*\,1-m}_{ij})^{1-n}} \qquad (11)$$

$$TT_{ij} = T^*_{ij}+p\cdot\sqrt{T^*_{ij}}+Z_{ij}\cdot g\cdot\sqrt{(T^*_{ij}+p\cdot\sqrt{T^*_{ij}}} \qquad (12)$$

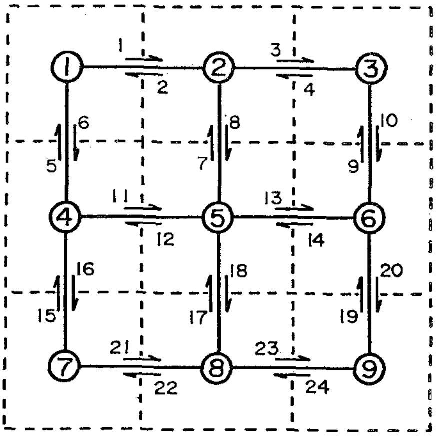
$$R_{ij} = \frac{T^*_{ij}+p\cdot\sqrt{T^*_{ij}}}{AA_i\cdot BB_i} \qquad (13)$$

変化前のOD交通量 T^*_{ij} とOD別道路区間利用率 P^{mn}_{ij} が与えられているので、これから R_{ij} を修正して変化後のOD交通量 TT_{ij} を推計してみる。変化後の各ノードの発生および集中交通量 AA_i, BB_j は基本部分道路網の交通流観測によって得ることが可能なので既知量として取り扱う。推計シミュレーションは次のように行なっている。まず p および g に任意の値を与えて TT_{ij} を作る。この p と g が推定できれば、トリップエンド条件を満たす変化後のOD交通量は容易に求められるが、現実には p, g のいずれも未知である。両者を同時に推定することは困難なので、ここでは p のみについて推定を行ない、g については推計結果に対する安定性について検討する。初期値として p に小さな値を与え、式(13)によって修正した R_{ij} を用いてモデル1でOD交通量を推計する。以後適当な増分で p の値を大きくし、同様の推計計算を実行する。図−1の道路網におけるOD交通量(省略)に対し、$\alpha^*=30$, $\beta^*=0, 1, 2, 3, 4$ で変動させた TT_{ij} を推計計算した結果が図−2, 図−3である。α の値は零から40まで変化させた。図−2は α の各値に対する発生交通量の推計誤差 δ_A、図−3は同じくOD交通量の推計誤差 δ_{OD} である。推計誤差はいずれも重み付き標準比率誤差で表わしている。これらの計算結果からわかるように、β の値が小さい間は推計誤差の最小点が明確に現われるが、β の値が大きくなるにつれて推計誤差に差が見られなくなる。このことは、OD交通量変動が正確に法則性に従っておれば R_{ij} の修正によって精度向上が可能であるが、ばらつきが大きくなると、この方法では精度改良は望めないことを意味している。ばらつきが大きいということはランダム変動に近づくことであり、上の結果は自明の帰結といえよう。この方法では発生交通量あるいは集中交通量の誤差をOD推計誤差基準として用いることを考えているが、β が小さいときはほぼ妥当と思われる。$\beta=0$ のときは、最小の δ_A は $\alpha=24$ となるのに対し、最小の δ_{OD} は $\alpha=27$ であり、$\beta=1$ のときは、最小の δ_A は $\alpha=20$ となるのに対し、最小の δ_{OD} は $\alpha=26$ で得られる。このように $\min\delta_A$ の α 値と $\min\delta_{OD}$ の α 値は少し異なるが、推計計算は $\min\delta_A$ なる α で終了しても、そのときの δ_{OD} は $\min\delta_{OD}$ とあまり差異がないので、実用上問題はないと思われる。以上のことから β の値が小さいと考えられるときは、$\min\delta_A$ が得られる α 値を探索す

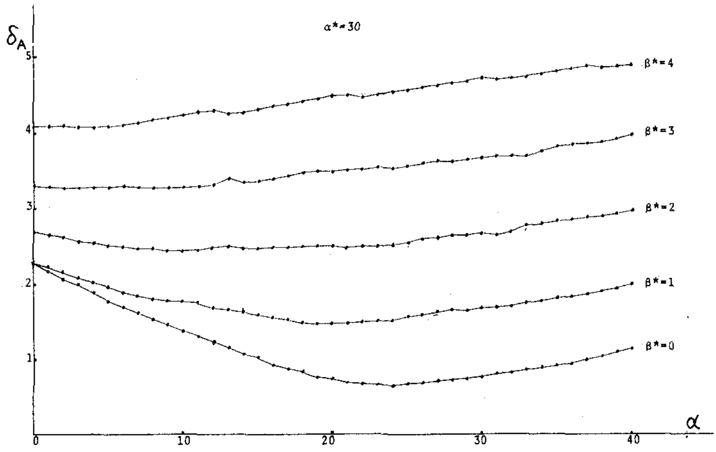
るアルゴリズムの開発によって、ＯＤ交通量変動に対応した推計が可能となる。

4、あとがき

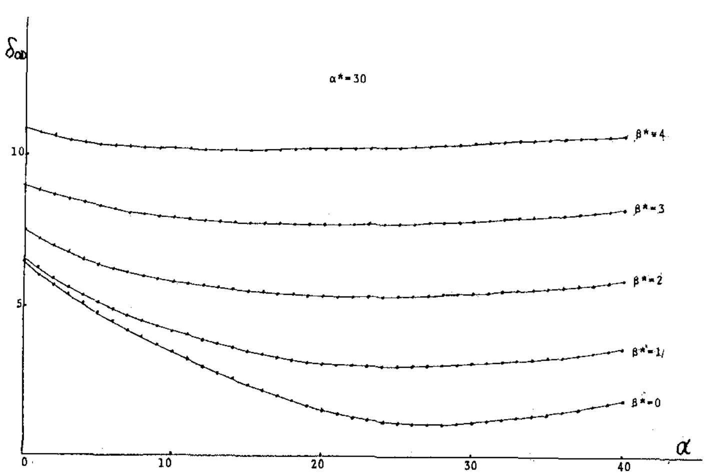
本報告では、ＯＤ交通量が変動したとき、すなわちＯＤパターンが変動したとき、既開発の実測路上交通量モデルにおけるＯＤ間パラメータR_{ij}の修正について論じた。方法論としては、発生交通量あるいは集中交通量の推計誤差が最小となるように、成長率法を応用して修正する方法と、ＯＤ交通量変動特性を利用したシミュレーションで修正する方法の２つを検討した。しかしいずれの方法もまだ不十分であり今後の課題が多く残されている。第１の方法では、デトロイト法的なR_{ij}の修正では不能であることが判明したので、平均成長率法的な修正、あるいはべき指数的な修正方法が考えられる。これらについては収束の保証を含めて、どの程度推計精度の改良が期待できるか確める必要がある。シミュレーションによる方法は、ＯＤ変動データーの積重ねにより変動特性分析をさらに進めると同時に、式(7),(8)における定数m, nの変化による精度改良効果を究明しなければならない。



図－1　計算例の道路網



図－2　αの値変化による発生交通量の推計誤差変化



図－3　αの値変化によるＯＤ交通量の推計誤差変化

参考文献

1) 飯田恭敬，発生交通量のみを変量とした実測交通量による交通需要推計法，土木学会論文報告集第283号、3月、1979

2) 飯田恭敬，高村義晴，ＯＤ交通量変動が相関を有する場合の道路網交通需要推計モデル，土木計画学研究発表会講演集，第2回，1月，1980

3) Evans A.W. Some Properties of Trip Distribution Methods, Transpn. Res. Vol. 14, 1970

4) 飯田恭敬，高山純一 他，交通量変動特性の解析について，第35回土木学会年次講演会概要集第4部，9月，1980