ネットワーク上の交通流解析に関する基礎的考察

岐阜大学　　加藤　晃

§1　概　説

交通流解析を行なう場合、その解析対象として何を中心に採り上げるかによつて解析の進め方に大きな相違が生ずる。一般的に、道路計画の基礎分析として行なう交通流解析は、次の三つに大別できる。

1. 特定点における交通流の解析

   例：交差点・インターチェンジにおける方向別交通流の解析、ランプの流出入現象の分析

2. 特定路線を中心とした解析

   例：道路の交通容量、追い越し問題の解析、転換交通量の分析。

3. ある地域の道路網における交通流解析

   例：街路網、道路網における交通配分解析

第3項のように、ある地域の道路網の交通解析には、交通網をネットワークとして、その中の流れを解析する方法が、配分解析として効果的である。この場合の解析方法としては、純理論的に解析を進める方法と、交通の特性分析を行なつて、それを基礎にシミユレーション的に解決する方法とがある。このシミユレーションを応用する方法でも、シミユレーションの基礎論理を数学的に確立しておく必要がある。この報告では、ネツトワーク上の交通配分解析をシミユレーション的に求める場合の基礎的な問題を論ずる。

シミユレーションによる交通解析は、電子計算機を利用して数値演算的に行なわれる。

すなわち、解析対象とする道路網を模型化したネツトワークと考えて、電算機の中に道路網の構成と規格、種別と制約の諸条件を導入し、交通量を与えて、種々の条件想定によつて配分交通量を計算する方法がとられる。

この解析は、次の6段階に分けて進められる。

1. 道路網の定義と経路探索の論理。
2. 経路探索の解析手順と電算機シミュレーション
3. 競合路線内の交通流分散。
4. 容量制約のある交通解析。
5. 道路網各区間に対する配分交通量の算出
6. 特定点の交通流解析

§ 2. 経路探索の論理

まず対象道路網が決定すれば、この道路網を点（以下ノードという）と、ノードを結ぶ線（リンク）の集合として考える。ノードは道路網を構成する交差点、および、OD交通量の発着地の代表点をとり、リンクは交差点間を結ぶ道路区間と考えればよい。いまリンクをSで表わし、リンクSの始点側ノードをI(S)とし、終点側をJ(S)とする。また、各リンクSにはリンク評価値E(S)をつける。この評価値をノードによつて表わすとすればE（IJ）と書くことができる。

いま、道路網上の任意の2つのノード間の経路を次のように定義する。リンクS_1，S_2，....S_gの集合があつて、式(1) を満たすとき、このリンクの集合を経路といいQ_k (I^o, J_g）と表わす。この経路は、一般に、I_o J_g間で複数個あるので、kの添字でそれを区別する。この経路Q_kには経路評価値E（Q_k）があり、これはリンク評価値より定まる。

$$\left.\begin{aligned} I(S_1) &= I_o, \quad J(S_g) = J_g \\ J(S_j) &= I(S_{j+1}), \quad j = 1.\ 2.\cdots g-1 \end{aligned}\right\} \cdots\cdots (1)$$

$$\begin{aligned} E\{Q_k(I_o, J_g)\} &= \Sigma\, E(S_j(k)) \\ &= \Sigma\, E(S) \end{aligned} \cdots\cdots (2)$$

このようにして求められる経路Q_kの集合をQ（I_o, J_g）とすれば、I_o, J_g間の最適経路、第2経路、....第^{n}経路を定義すると、式(3)に示される評価値を持つ経路がI_o.J_g間の最適経路R_1として求まる。

$$\begin{aligned} R_1 &= \{ Q_k \mid \min_{Q_k \varepsilon Q} E(Q_k) \} \\ &\equiv \{ Q_k \mid E_1(I_o, J_g) \} \end{aligned} \qquad (3)$$

第2位経路R_2については、式(4)で定義する経路評価値を有する経路とし

て得られる。

$R_2 = \{ Q_k \mid \min \ E(Q_k) \} \equiv \{ Q_k \mid E_2 \ (I_o, J_g) \}$ ……(4)

一般的に言つて，第 n 位経路の経路評価値は、式(5)によつて定義される。

$$E_n(I_o, J_g) = \min_{Q_k \in R_{n-1}} {}^{c}_{\Lambda Q} E(Q_k) \quad \cdots\cdots (5)$$

最適経路の探索は、式(3)の定義に従い、ミニマム・ツリーの原理によつて求めることができる。すなわち、ノードI_oからこのネットワークに属する他のすべてのノードJへの最適経路の集合は、互いに環状接合をしないという原理が常に成立する。この最適経路の集合をミニマム・ツリーという。第2位以下の経路探索は、探索平面を替えることによつて求められる。すなわち、第1経路のみを除外したネットワーク内で最適経路の探索を行なえば、第2位経路が求められる。

§ 3. 競合路線間の交通流分散

リンクS_gの評価値E（S_g）は、走行時間T、走行経費C、および、走行の安全，快適性Aで表現できると考えて、式(6)のように表わせる。

$$E(S_j) = f(T_j) + g(C_j) + k(A_j) \quad \cdots\cdots (6)$$

式(6)中の第１、第２項は数量表示が可能であり、第３項についても評点方式で計量化できるので、式(6)を実際の道路網の各区間，各交差点について計算することができる。この場合T，C，Aともにそのリンクの交通混雑度（交通量／交通容量）に大きな影響を受ける。

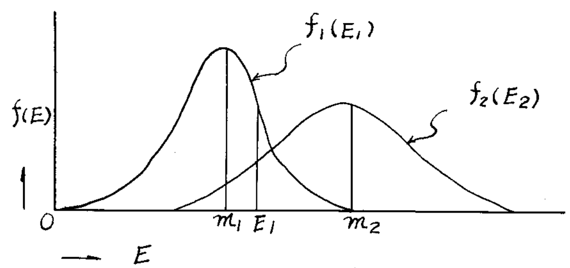
さて、経路Q_kに対して式(3)、(4)、(5)で求められる経路評価値は、各運転者が経路選択を行なうときの期待値に相当するもので、どの運転者もQ_kに対してE（Q_k）と評価するわけではない。問題を簡単にするため，経路を第１・第２の２経路のみ選び、その経路評価値をE_1，E_2とすれば，この評価値は平均値m_1，m_2，のまわりに分布するものと考えてよい。この分布関数を$f_1(E_1)$，$f_2(E_2)$とする。ここで，$E_1 \leqq E_2$ならば運転者は第１経録をとり、逆の評価を行なつたときは第２経路をE_1と評価し、第２経路を$E_1 \leqq E_2$と評価する確率をgとすると`$f_1(E1)$、$f_2(E2)$の分布関遂え調査して決定すれば，第１経路が交通を分担する割合D１が

められる。ςは第1経路をE_1と評価し、かつ、第2経路がE_1より大きいと評価する確率を求めているので、図ー1から式(7)のように求めることができる。

$$\varsigma = f\,(E_1)\int_{E_1}^{\infty} f_2\,(E_2)\,d\,E_2\,\Delta E_1 \quad\cdots\cdots\cdots\cdots (7)$$

したがつて、第1経路を選ぶ確率D_1は、式(8)として示され、第2経路を選ぶ確率D_2は、式(9)のようになる。

図ー1　経路評価の分布



$$D_1 = \int_{-\infty}^{\infty} f_1\,(E_1)\int_{E_1}^{\infty} f_2\,(E_2)\,dE_2\,dE_1 \quad\cdots\cdots\cdots\cdots (8)$$

$$D_2 = \int_{-\infty}^{\infty} f_2\,(E_2)\int_{E_2}^{\infty} f_1\,(E_1)\,dE_1\,dE_2 \quad\cdots\cdots\cdots\cdots (9)$$

この考えかたは、経路数がn本ある場合にも拡張できる。n本の経路から第1経路を選ぶ確率D_1'は式(10)で、k番目の経路を選ぶ確率D_kは式(11)で求めることができる。

$$D_1 = \int_{-\infty}^{\infty} f_1\,(E_1)\int_{E_1}^{\infty} f_2\,(E_2)\cdots\int_{E_1}^{\infty} f^n\,(En)\,d\,En\cdots dE_2\,dE_1 \quad (10)$$

$$Dk = \int_{-\infty}^{\infty} fk\,(Ek)\int^n (En)\,dEu\,f_1\,(E_1)\cdots\int_{Ek}^{\infty} fk-1\,(Ek-1)\int_{Ek}^{\infty}\int k+1\,(Ek+1)\cdots\int_{-\infty}^{\infty} fu\,(Eu)\,dEu\cdots dEk+1\,dEk-1\cdots dE_2\,dE_1 \quad (11)$$

いま、この評価値の分布を式(12)のような正規分布で表現できるとすれば、

$$f\,(E) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\delta}}\int_{E}^{\infty} exp\left\{-\frac{(E-m)^2}{2\delta^2}\right\}d\,E \quad\cdots\cdots\cdots\cdots (12)$$

2経路競合における第1経路に対する配分率D_1は、式(13)となる。

$$D_1 = \frac{1}{\sqrt{2\pi\delta}}\int_{-\infty}^{\infty} exp\left\{-\frac{(E_1-m_1)^2}{2\delta_1^2}\right\}\cdot\frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}}\int_{E_2}^{\infty} exp\left\{-\frac{(E_2-m_2)}{2\pi\delta_2^2}\right\}d\,E_2\,d\,E_1 \quad (13)$$

いま、$m_1 = \cdot\delta i/mi = C$, $m_1/mi = Zi$ $(i = 1\cdot 2)$

とおけば、式(13)は

$$D_1 = \frac{Z}{\sqrt{2\pi C}}\int_{-\infty}^{\infty} exp\left\{-\frac{(Z_1E_1-1)^2}{2c_2}\right\}\frac{Z_2}{\sqrt{2\pi C}}\Big\}\int_{E_1}^{\infty} exp\left\{-\frac{(Z_2E_2-1)^2}{2c^2}\right\}dE_2\,dE_1$$

となり、さらに、$(z_1 E_1 - 1) / 2C = E$とおけば、式（14）と表わせる。

$$D_1 = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-E^2} f\left(\frac{2CZ_2E + Z_2 - Z_1}{cZ_1}\right) dE \quad \cdots\cdots (14)$$

同様に、第2経路に対する配分率は

$$D_2 = \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-E^2} f\left(\frac{2CZ_1E + Z_1 - Z_2}{cZ_2}\right) dE \quad \cdots\cdots (14')$$

なお、式(14)、(14)の右辺（　）内は Hastxingsの近似公式によつて求めることができる。

§4. 容量制的による交通解析の方向

道路の交通容量を制約条件に加えて、各リンクに配分される交通量がすべて交通容量以下になるように配分解析を行なうのが、実際配分交通量の算定方法となるが、この解析にあたつては、式（15）の条件が満足されるような道路網についてのみ有意義な解が求められる。

$$\sum_{s \in cutA} X_s \leqq \sum_{s \in cutA} c_s \quad \cdots\cdots (15)$$

X_s: リンクsに配分された交通量

cutA: 道路網上の任意の切断面A

式(15)の条件が満足される道路網で容量制約の条件付き解析を行なう方法としては、上述の方法によつて区間交通量を算出し、その混雑度に応じて評価値を逐次修正していく方法と、一定の容量まではOD交通量に優先順位をつけて配分解析を進める方法とがある。優先順位のつけ方としては、OD交通量に対して順位をつける方法と、方向別や距離別に優先順位を決める手法がとれる。さらに、第3の方法として、OD交通量を分割する方法がある。この方法は、シミュレーションの解析が交通現象の再現を計算機で試みるものであり、日交通量の解析では精度が粗く、本来は時間交通量単位の解析が望ましいので、これに解析を近づける意味で、交通量分割の方法がとられてもよい。ただ、OD交通ごとに時間分布が相当激しく変化するので、この点に注意を要する。初歩的な接近法として、等分割方法が考えられる。

これらの交通容量を制約条件とする解析はいずれも一長一短があつて、実際の交通現象は、道路混雑による評価値の変化と、それに伴なう交通量の経路的な分散と時間的な分布、経路選択に対する優先指標の決め方、交通量の時間的分布などを総括して、より完全な配分シミュレーションが行なえるのであるが、解析の能力と経費からみて、当分の間は、その中で何を重視して解析を進めるかという点に問題が絞られるだろう。

なお、電算機によつて、与えられた諸条件を反映しながら自動的に計画路線を需要度の高い路線から決定することも、交差点やインターチェンジにおける方向別交通流の解析も、このネットワークシミュレーションの応用として発展させることができる。