合理的期待均衡モデルのための配分計算法に関する研究

鳥取大学大学院　学生員　○井川　修
鳥取大学大学院　学生員　藤高勝己
鳥取大学工学部　正　員　小林潔司
京都大学防災研究所　正　員　岡田憲夫

１．はじめに

合理的期待均衡（ＲＥＥ）モデルは、不完備な経路情報を有するドライバーが経路所要時間に関して合理的期待を形成するという行動仮説（合理的期待仮説）に基づいて導出された交通均衡モデルである。ＲＥＥモデルでは経路交通量の均衡解が不動点問題の解として求まるところに特徴がある。本研究では、ＲＥＥモデルによる交通均衡解を効率的に求める汎用的計算プログラムを開発することとする。

２．経路情報の不完備性

ドライバーの利用できる情報を共有情報と私的情報に区別する。共有情報とは1)道路網の特性、2)公共主体が提供する経路情報、3)天候、曜日等の外的条件などの複数のドライバーが共有できる情報である。また私的情報は4)ドライバーが持つその時々の私的な情報、5)ドライバーの過去の走行経験などの個別情報であり他人にその内容はわからない。ドライバーが利用する経路情報が確定的に把握できない場合、経路情報は不完全であるといい、また経路情報が不完全でありかつその内容の一部が各ドライバーの私的情報で構成されている場合、経路情報は不完備であるという。

３．ＲＥＥモデルの定式化

ＲＥＥモデルの基礎となるドライバーの経路選択行動を定式化する。各リンクの走行時間関数が線形関数であり、リンクの所要時間が平均μ_z,分散σ_z^2の正規分布に従うと仮定する。その時々のドライバ-tの経路aに対する効用U_{at}が、経路aの所要時間t_aの期待値T_a,分散S_a^2,誤差項ξ_{at}の関数により表現できると考える。

$$U_{at}=-(T_a+\zeta S_a^2/2)+\xi_{at} \qquad (1)$$

ここに、ζはドライバーのリスク回避の程度を表すパラメーターである。いま、ξ_{at}が、分散$1/\lambda^2$のワイブル分布にしたがって分布すると考えるとドライバーが経路aを選択する確率は、

$$P_a^k=\frac{\exp\{\lambda EU_a^k\}}{\Sigma_{b\in\theta^k}\exp\{\lambda EU_b^k\}} \qquad (2)$$

と表される。なお、θ^kはＯＤペアkにおける経路集合である。合理的期待均衡モデルでは、各リンクの走行時間の期待値μ_z, 分散σ_z^2が客観的に実現する値と一致すると考える。この均衡状態においてはドライバーは経路の走行条件に対する主観的な予測を変更する誘引を持たない。

経路交通量の分布はＯＤ交通量と経路選択確率をパラメーターとした二項分布で与えられる。経路交通量が$q=(q^1,---,q^N)$となる同時生起確率は

$$P(q)=\Pi_{k\in\Delta}Q^k!\,\Pi_{a\in\theta^k}\frac{(P_a^k)^{q_a^k}}{q_a^k!} \qquad (3)$$

と表される。ただしNは経路数であり、ΔはＯＤペアの集合である。ＯＤ交通量が十分大きい場合、式(2)より求まる経路交通量は期待値$E[q]=\{E(q_a^k)\}$,共分散行列Σを持つ正規分布$MVN(E[q],\Sigma)$で近似できる。ただし$E[q_a^k]=Q^kP_a^k$,共分散行列の各要素は$Var[q_a^k]=Q^kP_a^k(1-P_a^k)$, $Cov[q_a^k,q_{a'}^k]=-Q^kP_a^kP_{a'}^k\,(a\neq a')$, $Cov[q_a^k,q_{a'}^{k'}]=0\,(k\neq k')$で与えられる。$Q^k$はＯＤペアkの交通量である。リンク走行時間が$\tau_z=\alpha_z+\beta_z(\Sigma_k\Sigma_{a\in\theta^k}\delta_{a,z}q_a^k)$で表されると仮定しよう。$\alpha_z$, β_zはリンク走行時間関数のパラメーター、$\delta_{a,z}$は0-1変数である。リンクZの所要時間の期待値μ_z,リスクσ_z^2は次式のようになる。

$$\mu_z=\alpha_z+\beta_z\Sigma_kQ^k\Sigma_a\delta_{a,z}P_a^k$$
$$\sigma_z^2=\beta_z^2\Sigma_kQ^k\Sigma_a\delta_{a,z}P_a^k(1-P_a^k) \qquad (4)$$

同一経路上を同じ交通が通過する以上、リンク交通量の間には相関性が存在する。経路走行時間の期待値T_aおよび分散S_a^2は次式のように表すことができる。

$$T_a=E[t_a]=E[\Sigma_{z\in\kappa_a}\tau_z]$$
$$=\Sigma_{z\in\kappa_a}(\alpha_z+\beta_z\Sigma_kQ^k\Sigma_a\delta_{a,z}P_a^k)$$
$$S_a^2=Var[T_a]$$
$$=\Sigma_{z\in\kappa_a}Var[\tau_z]+\Sigma_z\Sigma_{z'\,z,z'\in\kappa_a}Cov[\tau_z,\tau_{z'}] \qquad (5)$$

ただし$Z\neq Z'$であり、κ_aは経路aを構成するリンク集合を表す。ここでリンクZの交通量X_zを用いればリンク走行時間の分散と共分散は

$$Var[\tau_z]=\beta_z^2Var[X_z]$$

$$\mathrm{Cov}[\tau_z, \tau_{z'}]=\beta_z\beta_{z'}\mathrm{Cov}[X_z, X_{z'}] \tag{6}$$

と表される。リンク交通量X_zの分散と共分散は次式のようになる。

$$\mathrm{Var}[X_z]=\Sigma_k Q^k \Sigma_a \delta_{a,z} P_a^k (1-P_a^k)$$

$$\mathrm{Cov}[X_z, X_{z'}]=-\Sigma_k Q^k (\Sigma_a \delta_{a,z} P_a^k)(\Sigma_b \delta_{b,z'} P_b^k) \tag{7}$$

ただしa≠bである。ここで、式(1)における期待値およびリスクが経路選択確率の関数$\mu_z=\mu_z(P)$, $\sigma_z^2=\sigma_z^2(P)$であることに着目すれば、合理的期待均衡は不動点問題

$$P_a^k=\frac{\exp\{\lambda EU_a^k(P)\}}{\Sigma_{b\in\theta^K}\exp\{\lambda EU_b^k(P)\}} \tag{8}$$

を満足するP_a^{k*}として求まる。

4．配分計算のアルゴリズム

ＲＥＥモデルにより交通均衡解を求めるためにはあらかじめ配分対象経路を指定しなければならない。本研究ではBelman-Kalabaの次善経路探索法を用いて代替経路を複数個列挙する。そして経路探索によってネットワークの構造を表すデータを自動的に作成する。配分計算にあたっては各経路の所要時間の期待値と分散を修正しながら収束計算を行わなければならない。そのため各経路の所要時間と分散を各ステップごとに逐次更新していくこととした。配分計算のアルゴリズムを図-1に示す。

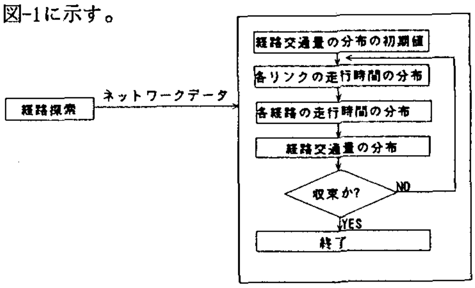

図-1 配分計算のアルゴリズム

5、計算事例

配分計算は図-2に示すネットワークを対象とした。ＯＤペアは図中のノードの組1-4(ＯＤペア1)と3-2(ＯＤペア2)をとる。各ＯＤペア間に代替経路を6本設定した。ＯＤペア1の経路を示すノード番号の順列を図-2に示す。ドライバーを危険中立型(a群)と危険回避型(b群)の二種類に分類し、配分計算を行った。

図-3より、b群のドライバーの危険回避度が大きくなれば、リスクの大きい中心リンクを通る経路2,3,4,5を通るドライバーの数が減少することが読み取れる。一方、危険中立型のドライバーはリスクが大きくても利便性が高い中心リンクを利用する経路に集中することがわかる。

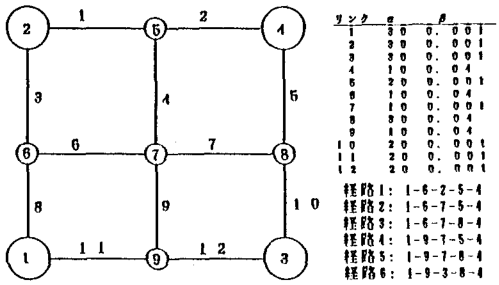

図-2 対象ネットワーク

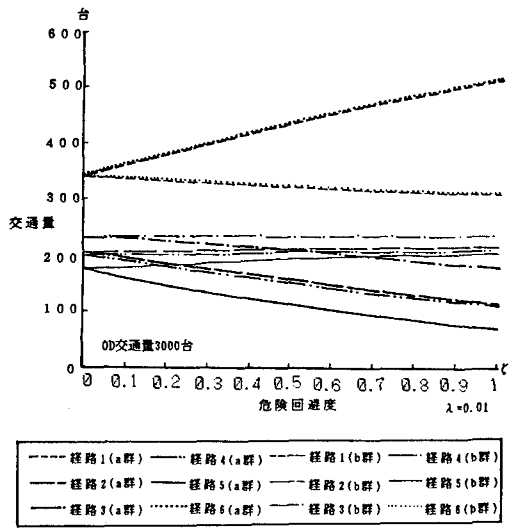

図-3 ODペア1の配分結果

6．おわりに

本研究では、合理的期待均衡モデルのための配分計算法に関して考察した。本研究では走行時間関数は線形関数にとどまっている。今後の課題としては非線形の走行時間関数を用いた場合のＲＥＥの導出があげられる。

参考文献

小林潔司：不完備情報下における交通均衡に関する研究，土木計画学研究・論文集8, 1990, pp. 81-88.