戦略・戦術的概念に基づく経路選択ロジックとその配分方法の開発

岐阜大学　○学生会員　坂　穂崇
岐阜大学　正 会 員　倉内文孝

1．はじめに

交通ネットワーク配分モデル上の経路選択ロジックは，確定的利用者均衡や確率的利用者均衡配分が主である．しかし，情報化が進んだ現在，交通情報を得る機会は多いが，それを十分考慮できる経路選択ロジックは存在しない．本研究では，戦略・戦術の2つの概念を用いることで，経路変更可能点に到達した時点で交通状況を認識し経路選択確率が変化することを確率事象として表現できるものとし，その確率により戦略的意思決定を行う経路選択ロジックを構築し，さらにこの考えに基づく交通流配分手法を提案する．

2. 経路選択ロジックの検討

(1) リスク回避型経路選択ロジック

今，ODペアがいくつかのリンクで接続されており，各リンクには，渋滞・非渋滞の2つの状態しかなく，それぞれの状態の所要時間は一定であると仮定しよう．先行研究[1)]では，q_aについて全く知識を持たないとき，混雑を意図的におこす邪悪な存在がいることを想定し，その元で期待所要時間を最小化するような行動を行うリスク回避型経路選択ロジックを提案した．これは，q_aをコントロール可能な邪悪な存在と，経路選択者との以下のマキシミン問題として表現できる．

$$\max_{q_a}\min_{p_a}\sum_a\left(v_a+d_a\cdot q_a\right)p_a \tag{1}$$

$$subject\ to\quad \sum_a p_a=1,\ 0\le p_a\le 1\ {}^\forall a\in\mathbf{A} \tag{2}$$

$$\sum_a q_a=1,\ 0\le q_a\le 1\ {}^\forall a\in\mathbf{A} \tag{3}$$

ここで，v_a：リンクaの非混雑時所要時間，d_a：混雑時遅れ，p_a：リンクaの利用確率，q_a：リンクaの混雑発生確率，A：リンクの集合，である．この問題の最適経路選択戦略は，公共交通ネットワークにおける遅れd_aを運行間隔とみなした最短経路群（hyperpath）戦略と一致し，最小期待所要時間は，以下で記述できる．

$$E[t]=\left(1+\sum_a t_a/d_a\right)\Big/\left(\sum_a 1/d_a\right) \tag{4}$$

先行研究は，q_aに関して知識を持たないという極端なケースを想定しているが，ここではそれを拡張する．

(2) 期待所要時間最小化ロジック

q_aに関して十分な知識を持つ場合を考えよう．ただし，それぞれのリンクが実際渋滞・非渋滞のいずれの状態であるかはわからないとする．このとき，ドライバーが取り得る最適な状況とは，期待所要時間を最小とする行動となる．従って，式(1)のq_aを与件とし，p_aのみを変数と見なせばよい．

$$E[t]=\min_{p_a}\sum_a\left(v_a+d_a\cdot q_a\right)p_a \tag{5}$$

(3) 戦略・戦術的経路選択行動ロジック

(2)では，q_aに関して十分な知識をもつが，実際の状態についてはわからない，とした．一方で，もし分岐地点において交通状況がわかるとすれば，それを元に所要時間が最小の経路を選択することができる．このとき，各リンクの渋滞発生確率が独立であると仮定すれば，経路分岐確率はq_aで決定づけられ，そのときの期待所要時間は次のように記述できる．

$$E[t]=\left(1-q_1\right)v_1+\sum_{j=1}^{n-1}\prod_{i=1}^{j-1}q_i\left(1-q_j\right)\cdot v_j+\prod_{i=1}^{n}q_i\min_k\left(v_k+d_k\right) \tag{6}$$

ただし，ここではi=1,…,nの順で所要時間v_iが短い経路順に並んでいるとし，第3項では渋滞時経路所要時間が最短の経路kを求めている．また，非渋滞時所要時間が，渋滞時所要時間最短のリンクのそれより大きな経路は利用されない．この考え方を，戦略・戦術的経路選択行動と称することにする．戦略的経路選択は，その地点より先の地点で情報が提供され，最短経路が変化することを前提として，目的地に向かうまでに使用する可能性のある経路群の決定と定義する．戦略的経路選択においては，唯一経路を選択するのではなく，経路群あるいはある流出リンク一つを選択することになり，式(6)におけるn個の経路を抽出する意思決定となる．戦術的経路選択は，戦略的経路選択に従って移動している中で，経路変更が可能な地点に到着した

時に取得した情報を参照し，所要時間が最小となるように経路を選択する行動となる．戦術的経路選択行動によって，戦略的経路選択行動において選択された経路群のうちひとつが式(6)の分岐確率により選ばれる．

(4)　定常状態の記述

渋滞発生確率がリンクフローの関数で記述できると考え，定常状態を考察する．ただし，リスク回避型経路選択においては，混雑状況が経路選択行動に反映されないため，均衡状態を記述することは困難である．期待所要時間最小化ロジックは，期待所要時間が最小の経路が選択されることより，Wardrop 均衡が成立する．一方，戦略・戦術的経路選択ロジックにおいては，リンクの渋滞発生確率がリンクフローの関数，すなわち経路選択確率の関数であり，それと同時にリンクフローが渋滞発生確率の関数となる．したがって，p，q がバランスする状態として定常状態を記述できる．

3. 仮想ネットワークでの試算

(1)　仮想ネットワーク

上記の経路選択ロジックによって生じうる定常状態を議論するために，図 1 に示した 1OD2 リンクの仮想ネットワークにおいて試行計算を実施した．ただし，渋滞発生確率については，次に示すようなロジスティック型の関数を仮定している．

$$q_a = 1/\left(1+\exp\left(\alpha\left(-x_a + c_a/2\right)\right)\right) \qquad (7)$$

ここで，a：感度パラメータ，x_a：交通量，c_a：渋滞発生確率が 0.5 となる交通量（ある種の交通容量）である．リンク交通容量，非渋滞時所要時間および渋滞時遅れ時間は図中に示した通りの設定である．配分計算は，逐次平均法（Method of Successive Average）を適用した．

(2)　モデルの基本検証

すべての利用者が期待所要時間最小，あるいは戦略・戦術的経路選択ロジックに従うとした場合について，交通需要を変化させた結果を考察する．図 2 は，各ロジックを用いた時の期待所要時間である．戦略・戦術的経路選択ロジックを用いた場合，需要 100 台までは期待所要時間が短いが，これは情報によって渋滞を避けるドライバーが増加し，Link 2 の方に多く交通が流入するためと考えられる．次に，2 つのロジックの差が大きな交通需要 75 台に着目し，情報利用率を変化させた場合の期待所要時間推移について考察する．図 3 は，情報利用率と期待所要時間の関係を表したものである．情報を利用する戦略・戦術的経路選択行動ロジックの方が常に所要時間が短いことが確認できる．また，戦略・戦術的経路選択行動ロジックのドライバーが増加すると，期待所要時間最小化ロジックに従うドライバーの所要時間も減少する，という関係が生じる．

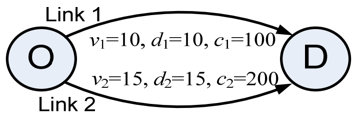

図 1.　計算ネットワーク

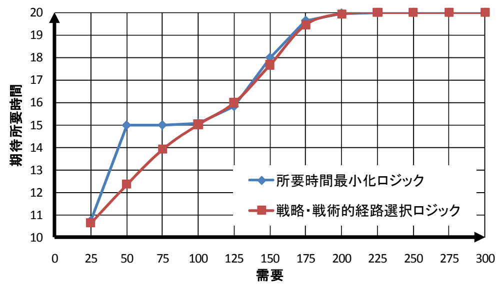

図 2　期待所要時間の比較

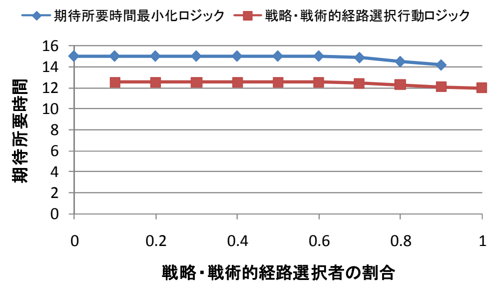

図 3　期待所要時間変動値

4. おわりに

本研究では，戦略/戦術的経路選択ロジックの構築を行い，そのロジックに沿って簡単な試算を行った．今回の試算では，従来の利用者均衡状よりも経路情報を利用し，経路選択を行う場合の期待所要時間が減少し，組み立てたロジックの有効性を示す結果となった，今後異なるパラメータ設定や，複雑な経路での検証を行い，実ネットワークへの適用を検討する．

謝辞：本研究は，科学研究費・挑戦的萌芽研究「経路選択原則の新しいパラダイム：戦略・戦術的行動の数理的記述」(課題番号 20656080, 研究代表者:倉内文孝, 2008～2009）の成果の一部である．記して深謝する．

【参考文献】

1) Schmöcker, et. al. “A Game Theoretic Approach to the Determination of Hyperpaths in Transportation Networks”, Transportation and Traffic Theory 2009: Golden Jubilee, 1-18, 2009.