

経路選択原則の相違による BP流入制御の比較分析*

An Analysis of BP On-ramp Traffic Control Based on Different Route Choice Principles

飯田恭敬** 金 周顯*** 宇野伸宏****

By Yasunori IIDA, Ju-Hyun KIM and Nobuhiro UNO

As the network of urban expressway has expanded, the drivers can choose their ways to the destination even in driving the urban expressway. Consequently, optimum conditions as the result of controlling the traffic may depend on the volition of drivers, namely link traffic volume in urban expressway. In this paper, we construct the BP (Bilevel Programming) on-ramp traffic control model that includes the route choice principles of drivers. As for the lower problem of this model, three different types of assignment, travel times ratio principle assignment, equal travel times principle assignment, and total travel time minimizing principle assignment, are introduced to clear the relation between assignment principles and on-ramp traffic control patterns. If the assignment principle becomes different, the optimum control pattern also changes. Therefore, the choice of assignment principle plays significant role in BP on-ramp traffic control.

In this study, the possibility of applying BP on-ramp traffic control model to various types of assignment principle was confirmed. From the view point of value of object function, efficiency, impartiality, the assignment principle that can most efficiently express the traffic condition is searched among those mentioned above. Therefore, the traffic control can be deliberated by navigating the drivers in order to achieve the optimal on-ramp traffic control pattern.

1. はじめに

都市高速道路網が今後さらに拡充されると、ドライバーは都市高速道路網上でも経路を選択することが可能になる。このように、一つのOD間に複数経路が存在する道路網では、ドライバーの経路選択に応じてリンクフローが変化し、都市高速道路の制御方策を表す目的関数（例えば、総流入台数最大化、総走行台キロ最大化）の値が影響を受け制御パターンが異なる可能性がある。このため、経路選択を内生化した流入制御問題の構築が必要となる。

本研究では、ネットワークにおける経路選択をマクロに記述できる交通量配分問題を下位問題に持ち、従来のLP制御問題を上位問題として持つ、2レベ

ル最適化問題として流入制御問題を取り扱う。これをBP(Bilevel Programming)流入制御問題と呼ぶ。

ところで、経路選択行動は、その主体が個性ある人間としてのドライバーであるため、経路選択の仕方は一様でなく、それも不確かな情報に基づく主観的な判断によって行われている等、交通量配分の枠組みの中で行動面に忠実にモデル化することが難しい点も多くある。それゆえ配分原則では、各ドライバーの経路選択要因は同一であるとか、道路網全体として見れば交通流はある原則に従って流れている等のように、ある仮定のもとにマクロな視点から理論が構成されており、したがって、実際面に応用する場合、この点をよく認識しその限界を知った上で、利用する必要がある。今後、都市高速道路における情報提供の高度化も予想され、ドライバーの持つ情報量は全体としては増加し、その個人差は大きくなると考えられる。本研究では、静的な交通量配分問題の枠組みに限定して議論しているが、情報提供の

* キーワード：経路選択原則、流入制御、2レベル最適化問題

** 正会員 工博 京都大学教授 工学部交通土木工学教室

*** 学生員 工修 京都大学大学院工学研究科 博士後期課程

****正会員 工修 京都大学助手 工学部交通土木工学教室

(〒606-01 京都市左京区吉田本町)

高度化の前後で、ネットワーク上の交通状態を各々適切に記述できる配分原則の構築・選択が、この流入制御モデルの実用化には必要と考えられる。この点は、今後の大きな研究課題である。

本研究では、このような背景を踏まえ交通渋滞問題が深刻化している都市部において、より効率的な都市高速道路網の利用を図り、円滑な交通サービスを確保するために、既存の都市高速道路の流入制御手法を踏まえ、ネットワークの拡充にともなう利用可能経路の複数化を想定し、最適流入量を求めるため、ドライバーの経路選択原則を内包したBP流入制御モデルを構築する。その下位問題に時間比配分、等時間配分、総走行時間最小化配分という異なる配分原則を導入し、配分原則と流入制御との関係を明らかにする。さらに、配分諸原則間の関連性についてふれ、あわせて各配分原則を用いた流入制御モデルの評価について論じ、交通運用の視点からの配分原則の適用性について検討する。

2. 交通配分における経路選択原則

(1) 交通量配分の原則について^{11)・2)}

一般にドライバーが経路選択を行うときは、自身が知覚したコスト、特に旅行時間のより短い経路を選択する傾向にあるが、旅行時間は交通量の増加にともなって変化するものであるし、ドライバーはすべての可能な経路についてその旅行時間を知っている訳でもなく、日頃の走行経験の積重ねなどの個人的な情報に基づき、主観的経路決定を行っていると考えられる。したがって、通常交通量配分モデルという場合は道路網上の交通流を時々刻々表現しようとするものでなく、ある定まったOD交通量のパターンが何回となく繰返されて道路網に流入する場合に、実現するであろうと思われる期待値的な交通量を示すにすぎない。しかし、近い将来道路・交通管理者と道路網上を走行中の各ドライバーとの間で、交通状況や経路指定に関する情報交換が容易に行えるようになれば、ドライバーの経路選択行動に影響を及ぼし、リアルタイムな経路誘導が可能になると思われる。この場合には、本来ならば時間の経過に従う道路網上の交通状態の変動を記述できる動的な交通量配分モデルを流入制御問題にも導入する必要があると考えられる。ただし、制御問題自体がある

時間帯において一定の時間継続されるものなので、交通状態の時々刻々の変動を詳細に記述することは、次のステップと考えられる。

交通量配分で規定する要因としては、経路選択におけるドライバーの有する情報の差、ドライバーの経路選択ルール、交通量が増加すれば旅行時間が非線形な関係に従って増加するという性質、並びに道路の容量の取扱いをどうするかという点が挙げられ、これによって交通量配分の方法論の展開がかなり異なってくる。

本研究では、ドライバーの経路選択行動と対応した各配分原則によって、ネットワーク上の交通状態がどのように記述されるか、またその結果、都市高速道路の流入制御にはどのような影響があるかを把握することを目的とする。そのため、まず各配分原則の性質を知る必要があろう。

交通量配分には、時間比原則、等時間原則、総走行時間最小化原則の3つの配分原則がある。一般的に、情報があまいで判断がばらついているとしたときを時間比配分として考え、情報が完全であるとしたときを等時間配分と見なしている。この3つの配分原則のうち、時間比と等時間の配分原則は、運転者の自主的判断で経路選択が行われるモデルの構造になっているが、総走行時間最小化原則は、管理者によって選択経路が指定されることが前提になっている。

等時間原則と総走行時間最小化原則、この二つの配分原則の違いは、誰の眼から交通状態の最適を論じることにも関連している。ドライバーの立場からすれば、各人それぞれに最も速い経路を得たいから、等時間原則配分が望ましいことになる。一方、道路管理者の立場から見れば、全交通を最も効率よく処理することが望ましいから、総走行時間最小化が望ましい指標となる。

これからはドライバーの行動や交通現象を詳細に観察し、交通量配分モデルで記述される交通状態と現実のそれとの関係づけを行うことが交通の運用や制御の面において、ますます重要な役割を果たすと考えられる。以下ではこのようなことを念頭において、配分原則の特徴について整理する。

(2) 時間比原則配分

時間比原則配分は、旅行時間の短い経路ほど選択

率が高くなるという原則に基づいて行われる。一般的に経路選択の主な要因は旅行時間であるが、ドライバーはすべての経路について旅行時間を知ることが困難であり、このほかにも費用、安全性、快適性等や、時には好みや習慣もドライバーによっては関係してくる。このために、実際の交通においては時間最短の経路のみが選択されるのではなく、旅行時間が長くかかる経路でも利用されている。時間比配分は、このように時間以外の不確定要因も潜在的に含んだ形で経路選択がモデル化された方法とも考えられる。

時間比原則配分は、容量制約(capacity restraint)を考慮しているか否かでさらに二つに大別される。容量制約とは、各道路区間(リンク)ごとに交通容量が定まっていることおよびリンク交通量が増加すればリンク走行時間が増加することの2点を意味している。

a) 確率配分モデル

確率配分(stochastic assignment:SA)は、容量制約を考慮しないで(フローインディペンデント)、時間比原則を利用して、ドライバーの交通費用(旅行時間)に対する認識の差異に基づき交通量を配分する。したがって、代替利用可能な経路に配分されるが、交通費用が最小の経路に多く配分される。

確率配分モデルとして効率的で広く用いられているDialのモデル³⁾は、ODペア ij 間の選択経路 k の選択確率を P_{ijk} 、効率的経路(efficient path)の集合を K 、最短経路の所要時間を c_{ij}^* 、経路 k の所要時間を c_{ijk} とした場合、次に示されるロジットモデルにより、OD交通量 T_{ij} を効率的経路に配分するものであり、その特徴は配分対象経路をあらかじめ列挙する必要がない点である。

(i) 経路 k が効率的経路集合 K に含まれる場合

$$P_{ijk} = \frac{\exp\{-\theta(c_{ijk} - c_{ij}^*)\}}{\sum_{k \in K} \exp\{-\theta(c_{ijk} - c_{ij}^*)\}} \quad (1)$$

(ii) 経路 k が効率的経路集合 K に含まれない場合

$$P_{ijk} = 0 \quad (2)$$

ここで、効率的経路とは、ノードからノードへと経路が進むに従って発生点から遠ざかる経路のことをいう。つまり、発生点 i からノード r までの最短所要時間を c_{ir} とすると、常に $c_{ir} < c_{is}$ を満た

すリンク rs (リンクの発ノードを r 、着ノードを s とする) で構成されている経路のことである。なお θ (配分パラメータ) は、 $0 \leq \theta < \infty$ の値であり、 θ が零 (= 0) ならば各経路の交通費用に関係なくすべての効率的経路に等確率で配分される。 θ が大きくなると交通費用の短い経路を選択する傾向が強まり、 $\theta \rightarrow \infty$ のとき最短経路配分(等時間配分)と一致する。

b) 確率均衡配分モデル

この配分は、容量制約を考慮した(フローディペンデント)モデルである。確率均衡配分(stochastic user equilibrium assignment:SUB)とは、利用者が不完全な情報下で必ずしも同一でない評価基準に従って経路を選択しているという仮定の下で、経路選択行動と交通状態の間に成立する均衡状態をいう。この均衡状態は「すべてのドライバーが自分が経路を変更することにより、自身の知覚所要時間を減少させることができない状態」⁴⁾と定義される。

このモデルは数理最適化問題として、Fiskによって以下のように定式化される⁵⁾。

$$\min Z(h) = \frac{1}{\theta} \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} h_{ijk} \ln h_{ijk} \quad (3)$$

$$+ \sum_{a \in A} \int_0^{v_a} t_a(x) dx$$

$$\text{s.t.} \quad \sum_{k \in K_{ij}} h_{ijk} = T_{ij} \quad i \in I, j \in J \quad (4)$$

$$v_a = \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{k \in K_{ij}} \delta_{ijka} h_{ijk} \quad a \in A \quad (5)$$

$$h_{ijk} \geq 0 \quad i \in I, j \in J, k \in K_{ij} \quad (6)$$

ここに、

A : リンクの集合

I : 発生ノードの集合

J : 集中ノードの集合

K_{ij} : ODペア ij 間の利用可能経路の集合

h_{ijk} : ODペア ij 間の経路 k の交通量

v_a : リンク a の交通量

T_{ij} : ODペア ij 間のOD交通量

$t_a(x)$: リンク a の走行時間関数(リンク交通量に対する単調増加関数)

δ_{ijka} : 経路行列 (i, j のバスがリンク a を通るとき1, そうでなければ0)

この最適化問題の解が確率利用者均衡配分交通量

を与えるには、Kuhn-Tucker条件より最終的に以下の条件式を満たさなければならない。

$$h_{ijk}^* = T_{ij} P_{ijk} = T_{ij} \frac{\exp(-\theta c_{ijk}^*)}{\sum_{k \in K} \exp(-\theta c_{ijk}^*)} \quad (7)$$

ここで、 P_{ijk}^* はODペア ij 間における第 k 経路の経路選択確率であり、 c_{ijk}^* は式(8)を満たすODペア ij 間第 k 経路のコストである。なお、*印はその均衡値(最適解)を示す。

$$c_{ijk}^* = \sum_{a \in A} \delta_{ijka} t_a(v_a^*) \quad (8)$$

式(3)の目的関数において、 θ は経路の不確実性に関係するパラメータであり、 $\theta \rightarrow \infty$ になると、第1項が0に近づいて第2項が支配的になり、最短経路のみが選択される等時間原則配分と等しくなる。このことは、個々のトリップの経路選択に伴う経路費用のばらつきが小さくなり、利用者がすべて一様な評価基準に従って行動することを意味する。一方分散が大きくなれば θ は小さくなり($\theta \rightarrow 0$)、第1項の比重が相対的に大きくなり、式(7)で与えられる経路配分交通量は、経路費用に無関係に、有効経路に対して等確率な配分モデルとなる。このように θ の値は配分交通量の推定値に大きな影響を与える。したがって、実際の交通量配分プロセスにFisk型確率均衡配分モデルを用いる場合は、あらかじめ何らかの方法で θ の値を適切に推定しておく必要がある。

(3) 等時間原則配分

旅行時間が交通量に依存するとした場合、自身にとっての時間最短経路の選択がすべてのドライバーに対して実現されるとき、この配分を利用者均衡配分(user equilibrium assignment:UE)といている。この配分原則は、ワードロップ(J.G.Wardrop)により提示された等時間原則の考え方であり、「各OD交通ごとに、その間に存在する経路のうち利用される経路については旅行時間が同じで、利用されない経路についてはそれ以上の時間を要する」というものである⁶⁾。これは各ドライバーがどこの道路は混んでいるとか、どこそこの道路は走り易いかといったように、経路選択に関する情報を完全に得ていたときの交通量配分であり、完全情報が前提条件となっている。現実にはこの前提条件は認められないかもしれないが、日頃のトリップの積重ねによる経験や、聞き伝えなどによってある程度の交通情

報は知ることができよう。また、最近では交通情報センターから各ドライバーに交通混雑、目的地までの所要時間などの情報を伝達するシステムも運用されており、こうした情報伝達技術が今後さらに発達することを考えれば、現実の交通現象も等時間原則配分の現象に近づく可能性も考えられる。

リンクごとの走行時間関数を用いることにより、UE配分は次式の目的関数を最小化する数理計画問題として定式化することができる。

$$\min \sum_{a \in A} \int_0^{v_a} t_a(v) dv \quad (9)$$

$$\text{s.t.} \sum_{k \in K_{ij}} h_{ijk} = T_{ij} \quad i \in I, j \in J \quad (10)$$

$$v_a = \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{k \in K_{ij}} \delta_{ijka} h_{ijk} \quad a \in A \quad (11)$$

$$h_{ijk} \geq 0 \quad i \in I, j \in J, k \in K_{ij} \quad (12)$$

(4) 総走行時間最小化原則配分

総走行時間最小化配分は、ワードロップが等時間原則と共に提示したもう一つの配分原則であり、すべてのトリップについての走行時間の総和が最小となる配分である。この配分は、個々の車についての経路選択の最適化ではなく、道路網全体としての交通流の最適化を目指すことから、システム最適配分(system optimizing assignment:S0)ともいわれている。配分モデルは下のように定式化される⁷⁾。

$$\min \sum_{a \in A} v_a t_a(v_a) \quad (13)$$

制約条件は、等時間原則配分と同じであり、式(10)~(12)である。さらに、この目的関数は次式のように書き直すことが可能である。

$$\min \sum_{a \in A} \int_0^{v_a} \frac{d}{dv} [v t_a(v)] dv \quad (14)$$

したがって、式(14)の被積分項 $\frac{d[v t_a(v)]}{dv}$ を仮定の走行時間関数と見なすとS0配分を解く問題はUE配分の走行時間関数を変えただけの同一の問題として取り扱うことが可能となる。

ところで、総走行時間最小化配分では、全体の効率最大を達成するため、ある特定の交通が、他に旅行時間の短い経路が存在するにもかかわらず遠回りを余儀なくされることがある。こうしたことは、現在想定され得る経路選択の一般的傾向から考えると

現実性を欠くとも考えられる。情報量の豊富なドライバーがたとえそのような経路を強制されても、走行時間がより短い経路の存在することが知っておれば、管理者側の誘導には従わないと考えられる。ただし、将来的に、ドライバーの選好を考慮に入れた経路誘導を実行できればシステム最適の近傍に交通状態を移行させることは可能とも考えられる。この点については今後の研究課題である。

3. 経路選択原則の差異を考慮した流入制御問題

(1) 定式化

2章で述べた3つの配分原則、そのうち時間比原則配分についてはフローディペンドとフローインディペンドの2つ、合計4通りの交通量配分原則を用いてBP流入制御問題の数値計算を行う。ただし、確率配分(SA)は最適化問題ではなく、これを経路選択原則に持つ流入制御問題は、厳密にはBP流入制御問題とはなっていない。

目的関数としては、都市高速道路の計画、運用者にとっての効率性の最大化を考える。都市高速道路は一般道路の混雑緩和を主な目的としており、通過交通等、長距離トリップの円滑な処理がその重要な機能の一つとなる。そこで、比較的長距離を利用するドライバーが優先される傾向を示す、総走行台キロ最大化を目的関数として採りあげる。このほかに、目的関数は都市高速道路の機能、運用の制度などに関連して、総流入台数最大化や総流入台数と総走行台キロの結合最大化を考えることもできる。

[上位問題]

$$\max \sum_{i \in I} U_i \bar{d}_i \quad (15)$$

$$\text{s.t.} \sum_{i \in I} Q_{ia}^* U_i \leq C_a \quad a \in A \quad (16)$$

$$0 \leq U_i \leq U_i^d \quad i \in I \quad (17)$$

[下位問題]

ただし、 $T_{ij} = U_i P_{ij}$

- ① 時間比原則配分(確率配分: SA)
- ② 時間比原則配分(確率均衡配分: SUE)
- ③ 等時間原則配分(UE)
- ④ 総走行時間最小化(SO)

ここに、

U_i : ランプ i からの流入交通量 (制御変数)

U_i^d : ランプ i からの流入需要量

\bar{d}_i : ランプ i からの流入車の平均利用距離

C_a : リンク a の容量

Q_{ia}^* : 影響係数 (流入ランプ i から1台の車が流入した場合、リンク a に生じる交通を表す)

$$Q_{ia}^* = \sum_j X_{a,ij}^* / U_i$$

P_{ij} : 目的地選択確率 (流入ランプ i から流入した車が流入ランプ j から流出する確率)

$$\sum_{j \in J} P_{ij} = 1$$

上位問題において利用者の経路選択を表現している影響係数 Q_{ia}^* は、LP制御では先決的に与えるが、BP制御では、下位問題を解くことによって内生的に決定される。具体的には、与えられた流入交通量 U に対して、下位の最適化問題を解いて得られるリンク交通量のOD内訳をオンランプ側で集計することにより、 $Q_{ia}^*(U)$ が定義されることになる。

(2) 数値計算法

下位問題として確率配分(SA)を持つ流入制御問題以外は、最適化問題(交通量配分問題)を制約条件として持つ2レベル最適化問題の枠組みで定式化され、制約条件式が非線形でかつ陽には与えられない。したがって、解析的に制約領域を明示できず、また、非線形計画問題の解法として実用的である目的関数の勾配を用いる勾配法によって最適解を探索することは容易ではない。そこで、実用的解法として、コンプレックス法を応用する。コンプレックス法については飯田ら⁸⁾の研究で詳しく述べられているので、ここでは省略する。

BP流入制御モデルの計算アルゴリズムは、図-1に示すように、まず、下位問題から影響係数行列 Q_{ia} を求め、上位問題がこれを受けて、制御変数 U_i を求める。次に U_i を下位問題に与えて、さらに Q_{ia} を求める。この繰り返しで収束計算を行う。

下位問題のドライバーの経路選択行動を表す交通量配分問題を解くための解法としては、各原則のそれぞれに確率配分はDial法、確率均衡配分はSheffiraが提案したDialの確率配分法を繰り返し計算によ

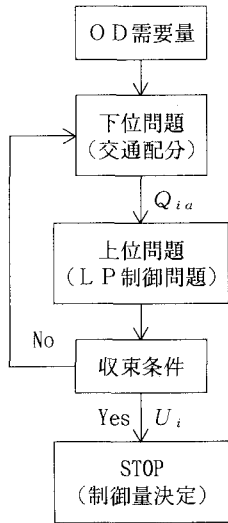


図-1 計算アルゴリズム

って収束させる逐次平均化法(MSA:Method of Successive Average)^{9),10)}, 等時間原則配分は分割配分法(IA法)を用いることにする. 等時間原則配分の場合は, 飯田ら¹¹⁾がBP流入制御の実用的解法について研究したが, 本研究で用いるネットワーク規模では, IA法を用いれば十分であると考えられる. 数値計算において, リンク走行時間関数としては修正BPR関数を用いる. また, 時間比配分原則の配分パラメータは経路が所要時間により確率的に選択されることを反映させるために $\theta = 1$ とする.

(3) ネットワークとOD需要交通量

都市高速道路を想定した数値計算用ネットワークは, 図-2に示す放射環状型である. このネットワ

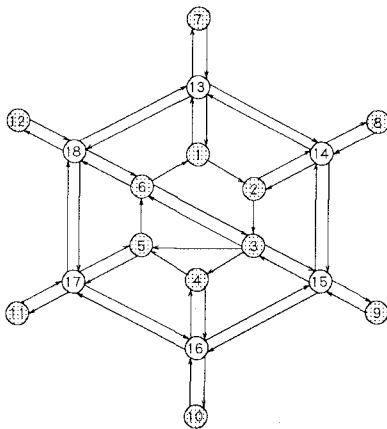


図-2 数値計算用ネットワーク

ークは, 内側ループの都心環状線, 外側ループの外郭環状線と6本の放射線が構成されており, 多くのODペアで合理的な経路が複数存在している. 計18個のノードのうち, セントロイドは都心環状線上の(ノード①~ノード⑥)およびネットワークの端末に位置するノード(ノード⑦~ノード⑱)である.

本研究では日交通量を配分対象としており, OD交通需要量は1日あたりの交通量に対応するODパターンを設定し, 各オンランプごとで規準化して与える. 配分対象の流入需要量は792,000台/日である.

4. 異なる配分原則によるBP流入制御の比較分析

本研究では, BP流入制御問題に4つの経路選択原則を用いたときの最適制御パターン及び交通状態の差異について比較分析を行い, 想定した経路選択原則が流入制御に及ぼす影響について主に検討する.

交通状態(ネットワークの利用状態)をここでは「効率性」と「公平性」の観点からも見ることにする. 「効率性」とは, ネットワークを円滑な交通状態を保ちながら可能な限り多数の利用者に利用してもらうことである. 「公平性」とは, 流入制御によって高速道路を利用できないドライバーが地域的に偏らないことをここでは意味している.

図-3は配分原則と目的関数である総走行台キロ, 並びに総流入台数との関係を示している.

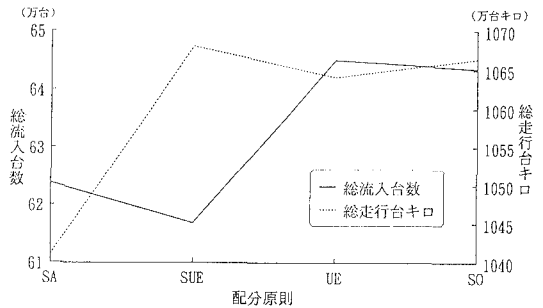


図-3 配分原則と総流入台数・総走行台キロ

SA(確率配分)については総流入台数はSUE(確率均衡配分)より大きい総走行台キロは一番小さい. これはSAがフローインディペンデントであるため交通状態に影響されないで最短経路に多くの交通量が一回で配分されるためであると考えられる. SUEは総流入台数は一番小さいが, 総走行台キロは一番

大きい。これは、流入交通が最短経路だけではなく、確率的に経路に配分され合理的経路が幅広く利用されているためと考えられる。UE（利用者均衡配分）は総走行台キロはSUEより小さいが総流入台数はSUEより大きい。UEでは確定的な旅行時間に基づき、利用者にとっての時間最短経路が選択されている結果と考えられる。UEとSO（システム最適配分）の総流入台数と総走行台キロが逆転しているのは、SOの場合全体の目的関数を満足させるため、遠回りさせられる交通が含まれていることが原因と考えられる。配分原則が異なると最適化問題の制約領域が異なるため、最適解も違うものとなっている。また、同一のネットワーク構成、同じ流入需要量の場合、利用者の経路選択がUEあるいはSOで記述できる様な時、高水準な都市高速道路の運営を行える可能性がある。

図-4はゾーン別交通制御率を示す。都市高速道路を利用するトリップの特性を概略把握するため、対象地域を2ゾーンに分けてゾーン間の交通流動を考える。外郭環状線を境界にして、その内側を都心部、外側を郊外と考える。

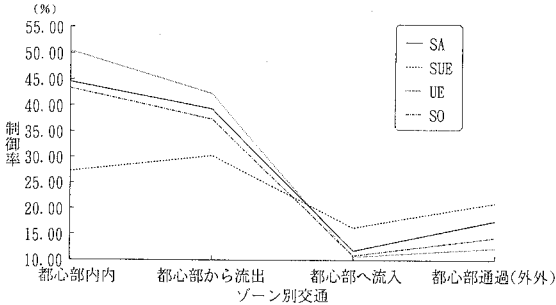


図-4 配分原則とゾーン別交通制御率

都心部内内、都心部からの流出、すなわち都心部のオンランプではSUE, SO, SA, UEの順に制御率が低い。すなわち、SUEの場合が都心部での流入量が最も多く、UEが最も少ない。都心部への流入交通と都心部通過交通については、UE, SO, SA, SUEの順に制御率が低い。平面道路も含んだ効率性から見ると、都心部平面からの吸い上げ能力を確保し、都心部の混雑緩和に寄与する都心部のランプの制御率が低いSUEが有利ある。しかし、本研究での目的関数の持つ意味、すなわち通過交通等の都市部に起点または終点を持たない交通の円滑な処理という観点から見る

と、都心部通過交通（外外）の制御率が低いUEが有利であると考えられる。また、公平性の観点から見るとゾーン間の制御率の差が小さいSUEが公平であると考えられる。

図-5は、配分原則と路線別混雑率を示している。混雑率は各路線別交通量を容量で割ったもので、この指標はネットワーク内の路線の利用効率と見ることができる。多くの交通が流れても、混雑率が非常に高いと「効率的」とは言えない。路線は、その存在位置と利用交通方向により、都心向きを上りとすると、上り放射線、下り放射線、都心環状線、および外郭環状線に分類できる。

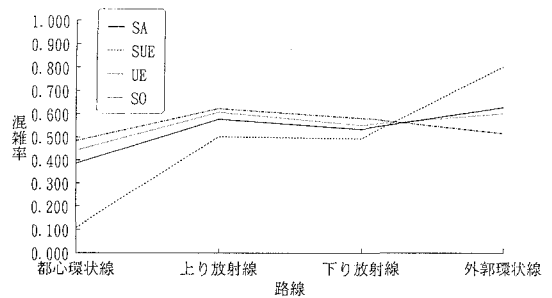


図-5 配分原則と路線別混雑率

都心環状線、上り放射線、下り放射線では、混雑率がSUEが一番低くて次にSA, UE, SOの順に低い。外郭環状線では、逆にSO, UE, SA, SUEの順に低い。一番混雑率が高いのはSO, UEの上り放射線である。これは郊外のノードを発生点とする交通の制御率が低い点と整合する。ボトルネックがどのようなリンクに現れているかをみると、ノード⑭と⑧の上り、下り放射線では各配分共通にボトルネックとなっている。さらにSAは外郭環状線⑯→⑰のリンクで、SUEも外郭環状線⑯→⑰、⑬→⑭のリンクでボトルネックになっている。

図-6は配分原則と計算時間、1台あたりの平均走行時間の関係を示している。計算時間は各種配分原則を用いた場合の数値計算にかかった実計算時間であり、BP流入制御問題の実用レベルのネットワークに対する適用可能性を考察することができる。

時間比配分は最短経路のみが選択されるのではなく、所要時間が長くかかる経路でも利用されているため1台あたりの平均走行時間は他の配分原則よりはか

かると思われる。SUEではそれに加えてフローディペンデントであり、交通量の増加とともに走行時間が増加するため、1台あたりの平均走行時間が最もかかっている。UEは各ドライバーにとっての最短経路に配分されるためS0よりは1台あたりの平均走行時間がかかるが時間比原則配分よりは短い。S0はすべてのトリップについての走行時間の総和が最小となるように配分されているため1台あたりの平均走行時間が一番短い。

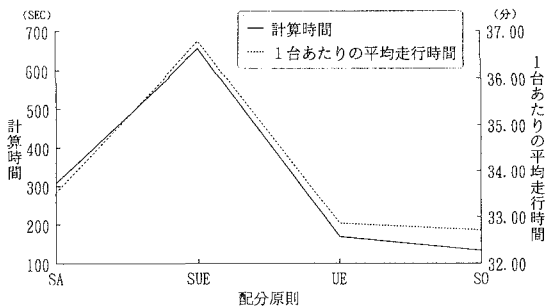


図-6 配分原則と計算時間・1台あたりの平均走行時間

計算時間においては SAが308秒, SUEが655秒, UEが109秒, S0が133秒かかった。時間比原則はODペアごとにネットワークパターンを与えるためUE, S0に比べて計算時間がかかる。特にSUEは収束が非常に緩慢な繰り返し計算を行っているために最も計算時間がかかる。実用レベルのネットワークに対して, SUEを下位問題に持つBP流入制御問題を適用する場合は, 解の有効性を考慮しながら収束判定基準を緩和するなどして, 計算時間を短縮することが必要であろう。

5. おわりに

都市高速道路網が今後さらに拡充されると, ドライバーは都市高速道路網上でも経路を選択することが可能になる。このようになると, ドライバーの経路選択に応じてリンクフローが変化し, 制御量が異なる可能性がある。そこで, 本研究ではドライバーの経路選択行動を内包したBP流入制御モデルの下位問題に時間比原則配分, 等時間原則配分, 総走行時間最小化配分を適用し, 配分原則と流入制御との関係について考察を行った。

本研究では, まずBP流入制御モデルに様々な配分原則を適用して計算可能なことを確認した。数値

計算の結果, ドライバーの経路選択を記述する交通量配分原則が異なると, BP流入制御問題の制約領域が違うため, 最適制御パターンが大きく異なったものとなる可能性が示唆されている。つまり, 現実の交通現象との対応で, 各種配分原則が記述している交通状態の意味づけを行い, その結果用いるべき配分原則を選択する必要がある。また, 目的関数値, 効率性, 公平性等の都市高速道路の運用方策を反映する概念に基づき, 得られた解や計算時間の面から見て, どの配分原則で記述される交通状態が最適かを推測し, そのような交通状態を得るための誘導方策を考える手がかりにするという見方もできる。一方, 各種配分原則を適用して得られた解は流入制御問題の実行可能解の存在領域をラフに示しているとの見方もできる。

今後の課題としては, 今後さらに拡大が予想される交通情報提供を想定して, ドライバーがどのような判断基準に従って経路選択を行っているか, 経路選択に影響する要因と行動規範についてより詳細な検討を行い, 交通情報と配分モデルとの関係を把握する必要がある。そして, ドライバーを効果的に経路誘導するための交通情報提供の方法を考究するとともに, 交通情報提供下の経路選択を考慮した新しい流入制御方法を確立したいと考えている。

参考文献

- 1) 佐佐木綱監修, 飯田恭敬編著: 交通工学, pp. 78~88, 国民科学社, 1992.
- 2) 飯田恭敬: 道路網交通流に関する基礎的研究, 京都大学学位論文, 1972.
- 3) R. B. Dial: A Probabilistic Multipath Traffic Assignment Model Which Obviates Path Enumeration, *Transpn. Res.*, Vol. 5, pp. 83~111, 1971.
- 4) C. F. Daganzo and Y. Sheffi: On Stochastic Models of Traffic Assignment, *Transpn. Sci.*, Vol. 11, No. 3, pp. 253~274, 1977.
- 5) C. Fisk: Some Developments in Equilibrium Traffic Assignment, *Transpn. Res. -B*, Vol. 14B, pp. 243~255, 1980.
- 6) J. G. Wardrop: Some Theoretical Aspects of Road Research, *Proceedings, Institute of Civil Engineers, Part 2*, pp. 325~378, 1952.
- 7) 前掲1)
- 8) 飯田恭敬・朝倉康夫・田中啓之: 複数経路を持つ都市高速道路の最適流入制御方法, *土木計画学研究・講演集*, No. 12, pp. 305~312, 1989.
- 9) Y. Sheffi and W. Powell: A Comparison of Stochastic & Deterministic Traffic Assignment Over Congested Networks, *Transpn. Res. -B*, Vol. 15B, pp. 53~64, 1981.
- 10) Y. Sheffi: *Urban Transportation Networks*, Prentice-Hall, Inc., 1985.
- 11) 飯田恭敬・内田 敬・金 周順・吉岡 優: 都市高速道路におけるBP流入制御の実用的解法, *土木計画学研究・講演集*, No. 15(1), pp. 331~336, 1992.
- 12) 金 周順: 利用者均衡フローに基づいた都市高速道路網の流入制御方法に関する研究, 京都大学修士論文, 1992.