

遺伝的アルゴリズムによる都市道路網ゾーン別混雑料金の設定*

Determination of Zonal Congestion Toll
On Urban Network by Genetic Algorithms

野村 貴博**・秋山孝正***

By Takahiro NOIRI and Takamasa AKIYAMA

1. はじめに

道路交通混雑を社会的側面から外部不経済とした混雑料金の考え方がある。最近では都市道路網の効率的利用を目指して、混雑料金政策の導入が検討されている。しかしながら、混雑料金政策の現実的な運用に関しては料金徴収方法などの問題が残されている。料金徴収方法を考慮し、ゾーンを対象とした混雑料金政策としては、仮想的な道路網においてすでに解決方法が示されている¹⁾。

そこで本研究では、都市道路網として岐阜市の道路網を例として、混雑地域を対象とした混雑料金政策を検討する。混雑料金導入による交通現象の変化、および効果について検討をおこなう。具体的には、交通現象分析の点に関しては、混雑料金政策による混雑緩和の場所および交通減少量に着目して検討をおこなう。また、ネットワーク均衡の枠組みで、混雑料金理論をとらえるとリンク単位での料金徴収制度に対応する。しかしながら、現実的な料金徴収の可能性を考えると、ゾーン単位による課金制度等の妥当性の検討も必要である。そこで本研究では、両者の交通緩和の効果および社会的便益に着目して分析をおこなう。さらに、価格弾性値の違いに対して、どの程度の影響が生じるのかを検討する。

2. 都市交通政策としての混雑料金

(1) 混雑料金理論の概念

都市道路網における市場均衡としての交通量は、図-1 に示すように交通需要関数 $P(Q)$ と平均交通費用曲線 $AC(Q)$ との交点 A に対応する交通量 F となる。しかしながら、この交通量は社会的な意味で過剰となっている。なぜなら、交通量の増加にともない社会的限界費用曲線 $SMC(Q)$ が平均交通費用曲線 $AC(Q)$ から乖離するためである。経済学的な意

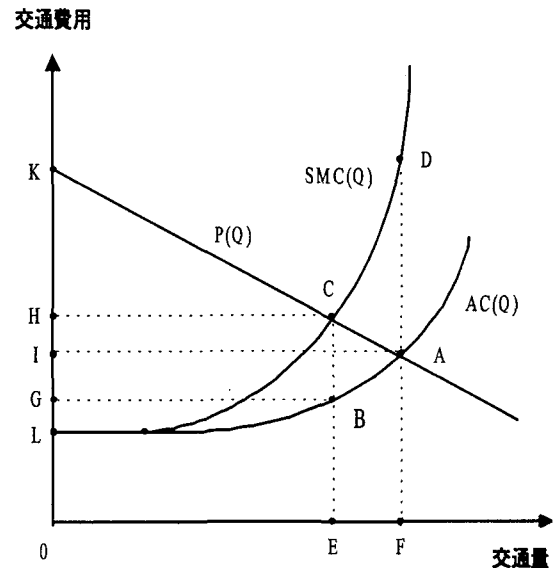


図-1 交通量-交通費用平面

味での最適交通量は走行車両 1 台増加した際の社会的限界便益が社会的限界費用に等しい交通量である²⁾。ここで、社会的限界便益は交通需要関数 $P(Q)$ の高さで表される。つまり、交通需要関数 $P(Q)$ と社会的限界費用曲線 $SMC(Q)$ との交点 C に対応する交通量 E が最適交通量であり、市場均衡点である交通量 F より小さい。すなわち、交通量が E となる状況を達成するには交通混雑に対応する外部不経済 BC に等しい金額を混雑料金として賦課すればよい。

(2) 交通均衡分析の方法

つぎに混雑料金に関する交通均衡分析の方法を検討する。都市道路網での平均交通費用に関する交通均衡は利用者均衡状態 (UE)、社会的総費用最小化はシステム最適状態 (SO) に対応し、等価な数理計画問題として定式化することができる。具体的には、それぞれの目的関数はつぎのようになる。

$$\text{利用者均衡配分} \rightarrow \min \sum_{a \in A} \int_0^{V_a} t_a(x_a) dx \quad (1)$$

$$\text{システム最適化配分} \rightarrow \min \sum_{a \in A} t_a(x_a) x_a \quad (2)$$

$t_a(x)$: リンクコスト関数 V_a : リンク交通量

混雑料金政策では交通需要変動を考慮しなければならない。「需要変動型システム最適配分」の目的関数は社会的純便益の最大化で表現することができる。

* キーワード: 混雑料金、配分交通、遺伝的アルゴリズム

** 学生員 岐阜大学工学部研究科土木工学専攻

*** 正会員 工博 岐阜大学工学部土木工学科

〒501-1193 岐阜市柳戸1-1, 岐阜大学工学部

TEL 058-293-2446 FAX 058-230-1528

すなわち、社会的総便益と社会的総費用との差で計算される社会的純便益を最大化することと等価な数理計画問題として表現できる³⁾。したがって、目的関数は式(3)のようになる。

$$\max \sum_{w \in W} \int_0^{d_w} D_w^{-1}(x_a) dx - \sum_{a \in A} t_a(x_a) x_a \quad (3)$$

$D_w^{-1}(x)$: 逆需要関数 d_w : ODペア w の交通量

3. 都市道路網を対象とした混雑料金

(1) 都市道路網のモデル化

都市道路網における混雑料金政策を検討するために、具体的な例として岐阜市の道路網をとりあげる。本研究では、岐阜市の道路網を図-2のように設定した。図-2に示すように、幹線道路である国道21号線、156号線、157号線や岐阜環状線などを簡略化して表現した。また、岐阜市を11ゾーンに分割した。各ゾーン内の発生・集中交通量を1つのセントロイドに集約した。また、このOD交通量は第3回中京圏パーソン・トリップ調査(平成3年実施)を参考としたものである。さらにOD交通量は周辺地域からの流入および通過交通量を考慮する必要がある。そこで、周辺地域からの流入および通過交通量を発生・集中交通量として集約した。

(2) 平均交通費用曲線と交通需要関数の設定

つぎに都市道路網の交通現象を記述するために、各OD交通量に対する平均交通費用曲線 $AC(Q)$ と交通需要関数 $P(Q)$ を設定する。ここで平均交通費用曲線 $AC(Q)$ は交通費用が主として所要時間で表現できるとき、平均交通費用曲線 $AC(Q)$ は当該OD間の経路交通所要時間として算定される。したがって、当該経路上のリンク所要時間の和で算定される。すなわちリンクコスト関数を用いて算定される。本研究では、リンクコスト関数として式(4)に示すようなBPR関数を導入する。

$$t_a(x_a) = t_a^0 \left[1 + 0.15 \left(\frac{x_a}{Q_a} \right)^4 \right] \quad (4)$$

t_a^0 : 初期所要時間 Q_a : リンク交通容量

さらに交通需要関数 $P(Q)$ を式(5)に示すように線形関数を用いて設定する⁵⁾。

$$P(Q) = \alpha + \beta Q \quad (5)$$

具体的にゾーン1-2間について $P(Q)$ を設定する。ここで、市場均衡点にもとづき、価格弾力性を規定することで、交通需要関数を特定する。価格弾力性

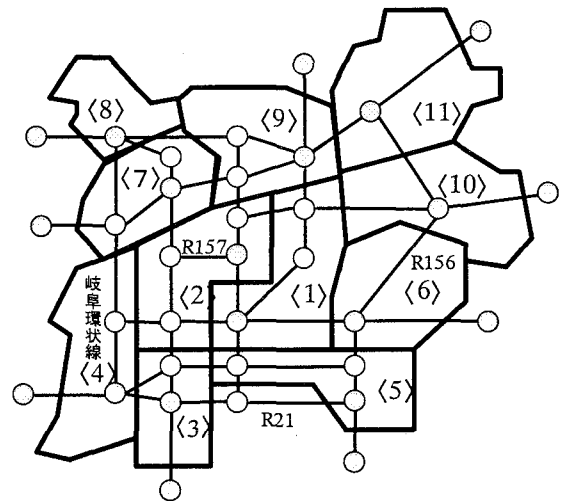


図-2 対象道路網

の定義を式(6)に示す。都市道路網の「価格弾力性」を一般的に特定することは難しい。ここでは、阪神高速道路堺線における料金水準の変化から得られた値 $e = 0.2588$ を参考とした⁴⁾。都市内幹線道路という意味から、 $e = 0.30$ と設定した。したがって、厳密な検討には高速道路と一般道路あるいは、有料道路料金と一般化費用の関係を考慮する必要がある。

$$e = - \frac{dQ/Q}{dP/P} = 0.30 \quad (6)$$

また、OD間経路交通費用は、利用者均衡配分結果で得られる最短経路上のリンクコストの和で算定でき、136円(時間価値: 50円/分)である。したがって、OD交通量2300台、交通費用136円を代入することにより、交通需要関数 $P(Q)$ の傾きが $\beta = -0.1964$ と決定される。また、交通需要関数 $P(Q)$ は市場均衡点(2300, 136)を代入することで定義される。したがって、市場均衡点の値を代入することで、切片が $\alpha = 587$ と決定される。交通需要関数 $P(Q)$ は、需要変動型交通量配分においては、OD交通量 x_{rs} に関する逆需要関数 $D^{-1}(x_{rs})$ と考えることができる。したがって、式(7)に示すように決定される。

$$D^{-1}(x_{1,2}) = 587 - 0.1964 x_{1,2} \quad (7)$$

同様の手順で各OD間についても設定する。

以上のように、平均交通費用曲線 $AC(Q)$ 、および交通需要関数 $P(Q)$ が設定された。これらを用いて対象道路網での交通現象変化について検討をおこなう。

(3) リンク単位の混雑料金による交通現象変化

つぎに、リンク単位による混雑料金導入による交通現象について考察する。まず、対象道路網での市場均衡状態を示す。また、リンク単位による混雑料金導入による交通現象変化について考察する。

(a) 対象道路網における市場均衡状態

まず、対象道路網での市場均衡におけるリンク交通量を算出する。ここで、現在対象道路網で観測されている交通量を市場均衡点と仮定する。したがって、平均交通費用曲線 $AC(Q)$ と交通需要関数 $P(Q)$ の交点に対応する市場均衡点は需要固定型利用者均衡配分の解と一致する。したがって、需要固定型利用者均衡配分をおこなった⁵⁾。

つぎに、市場均衡における交通量について整理をする。図-3 は、対象道路網の交通量を混雑度（＝交通量／交通容量）で示したものである。岐阜駅・柳ヶ瀬を中心とした市内中心部、また国道 21 号線、156 号線、157 号線、岐阜環状線といった幹線道路において交通混雑が発生していることがわかる。また、長良川にかかる 4 本の橋梁（鏡島大橋、忠節橋、金華橋、長良橋）でも交通混雑が発生していることがわかる。交通混雑が発生している箇所は、市内中心部へとつながるところである。さらに、交通量が多いことからリンク所要時間は大きい。

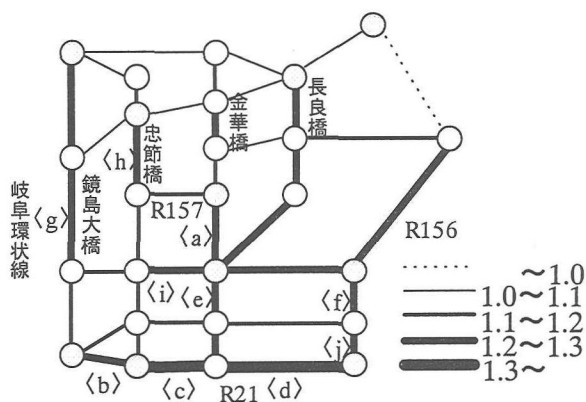


図-3 市場均衡における交通状態

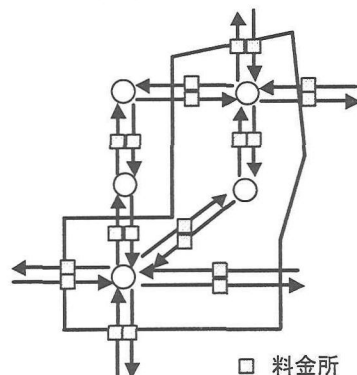


図-4 料金所の設置箇所（ゾーン1）

(b) 混雑料金導入後の交通状態

まず、リンク単位による混雑料金導入によるリンク交通量を算出する。つまり、社会的限界費用を基本とする交通均衡状態を考える。これは、対象道路網において各リンクに混雑料金が賦課された状況に対応し、図-1 の社会的限界費用 $SMC(Q)$ と交通需要関数 $P(Q)$ の交点 C に対応する。全リンクについてこの均衡状態にある場合が、ネットワークに対する「需要変動型システム最適配分」の解である。これは、全リンクに料金所が設置されることを前提とした混雑料金政策導入に対応する。たとえば、図-3 における岐阜市中心部の「ゾーン1」（破線部）を取りあげる。これを具体的に表現したものが図-4 である。すなわち、当該ゾーンに関連するすべてのリンクに料金所が設置されることになる。

つぎに、リンク単位の交通量、所要時間（交通費用）の変化について考察をおこなう。リンクにおける交通現象変化は図-1 を用いて説明することができる。ゾーン1-2間のリンクにおいては、市場均衡点はA（交通量：18632台、交通費用：136円）である。これに対してBCに相当する混雑料金86円を賦課することで、社会的総費用最小に関する均衡点であるC（交通量：16396台、交通費用：207円）へ移行するという点で混雑緩和が観測される。同様な交通量変化が他のリンクにおいても見られる。

つぎに、混雑緩和が観測されるリンクの場所について考察をおこなう。図-5 は、混雑料金導入による交通量変化が大きい上位10カ所を示したものである。図-3 からわかるように交通混雑が激しいゾ

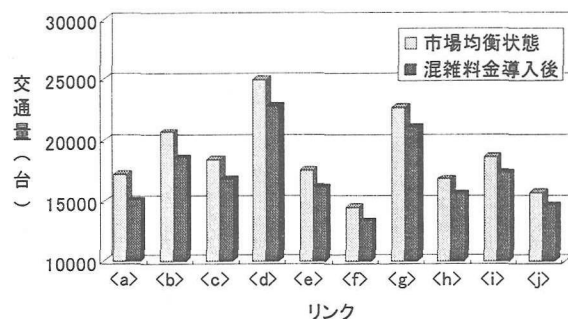


図-5 リンク交通量変化

ーン1,2にあたる市内中心部やゾーン5などの市内南部において交通量が減少している。OD交通量に関しては、全体としてOD交通量が6%減少している。特に市内中心部のゾーン1,2に関連する交通量が減少している。

(4) 混雑料金導入による経済効果

つぎに、混雑料金導入における経済評価をおこなう。混雑料金が賦課された状態では消費者余剰は図-1において三角形KCHに対応し、225百万円となる。また交通事業者が得る混雑料金収入は長方形HCBGに対応し、147百万円となる。社会的純便益は消費者余剰と混雑料金収入の和（四角形KCBG）に対応し、372百万円となる。混雑料金賦課による社会的な便益は死荷重の解消分に相当し、三角形ACDの面積に対応し、231百万円となる。表-1は対象道路網における混雑料金導入前後の経済指標を

表－１ 混雑料金導入の経済評価

	平均交通費用	混雑料金導入後
社会的総便益 (円)	836,984,125	773,298,164
社会的総費用 (円)	695,956,243	401,297,586
社会的純便益 (円)	141,027,882	372,000,578
混雑料金収入 (円)		146,823,759
混雑料金による便益 (円)		230,972,696

整理したものである。混雑料金賦課により利用者の交通費用は増加する。しかしながら、交通事業者が得る混雑料金収入が社会的費用の増加分を上回る。この結果社会全体として外部不経済が解消され、社会純便益が 231 百万円増加する。したがって、混雑料金政策導入の効果が示される。

４．現実的徴収を考慮した混雑料金

リンク単位の混雑料金導入は、料金徴収箇所や料金水準の観点から技術的に困難である。そこで、混雑地域を対象とした混雑料金導入を検討する。混雑料金水準決定に関する組み合わせ問題の解法として、遺伝的アルゴリズム (GA) を適用する。組み合わせ問題と GA との対応を説明するとともに、混雑料金水準を算出する。また、算出された混雑料金に対して、効果の検討をおこなう。

(１) 現実的徴収を考慮した混雑料金

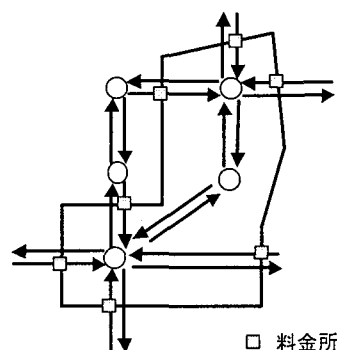
混雑料金政策において、社会的限界費用に基づいた各リンクでの混雑料金賦課が最適である。しかしながら、混雑料金政策を実施する上で、各リンクでの混雑料金徴収は技術的に困難である。具体的に、利用者はすべてのリンクにおいて混雑料金を支払うことになる。したがって、図－４に示すようにすべてのリンクに料金所が必要となる。また、各リンクで混雑料金水準が決定されるため、各リンクにおける混雑料金は均一的ではない。

そこで、ある混雑地域を対象とした混雑料金政策を検討する。つまり、混雑地域へ流入するリンクのみにおいて混雑料金を賦課する。道路網における状況としては、図－６に示すようになる。本研究における対象道路網では料金所の設置箇所は 98 ケ所から 38 ケ所に減少する。また、混雑料金水準が少数に限定できる利点が挙げられる。

しかしながら、混雑地域を対象とした混雑料金政策はリンク単位の混雑料金政策の場合と比較すると、社会的純便益が小さくなる。そこで、社会的純便益がどの程度変化するか検討する必要がある。

(２) 混雑地域を対象とした混雑料金水準設定

本研究では、ある混雑地域を対象とした混雑料金



図－６ 料金所の設置箇所 (ゾーン１)

政策を検討する。現実的な意味では混雑地域である「混雑料金徴収エリア」と混雑地域への流入交通に対して賦課される「混雑料金水準」の組み合わせが重要となる。すなわち、ゾーンの規定と単位費用を用いた混雑料金水準の同時決定が必要となる。本研究では、「混雑料金徴収エリア」を分割された 11 ゾーンとして用いる。また、混雑料金の賦課方法については以下のように設定する。

- ① ゾーン境界を中心部方向に横断する場合
- ② 複数ゾーンを横断するときは各ゾーンの混雑料金額の合計を支払う
- ③ 単位費用を 20 円として設定
- ④ 0～620 円の 32 段階で料金水準を設定

この設定では、賦課ゾーン数 11、料金水準 32 種類となるため、設定される「混雑料金水準」の組み合わせ数は、 $32^{11} = 36028797018963968$ 通り考えられる。これをすべての組み合わせについて計算することになるが、このような膨大な数となる「混雑料金水準」の設定にあたっては、遺伝的アルゴリズムなどの組み合わせ最適化手法の適用が必要となる。

(３) 遺伝的アルゴリズムによる料金水準決定

設定された問題に対して、遺伝的アルゴリズム (GA) を用いて最適解探索をおこなう。したがって、組み合わせ問題を GA に適用するとともに、組み合わせ問題と GA との対応について説明する。

(a) 遺伝的アルゴリズムの適用

前節で設定された「混雑料金水準」の組み合わせ問題に対する現実的な設定方法について考える。本研究では、組み合わせ最適化手法の一つである遺伝的アルゴリズム (GA) を適用する。そこで設定された問題に対して GA を適用するために、本研究では以下のように設定した。

① 個体の表現方法について

まず本問題の解を示す個体の表現方法について説明する。GA における個体表現により、混雑料金水準の組み合わせを記述する⁶⁾。具体的には、図－７に示す。各遺伝子を 0、1 の 2 進法で表現する。また、各

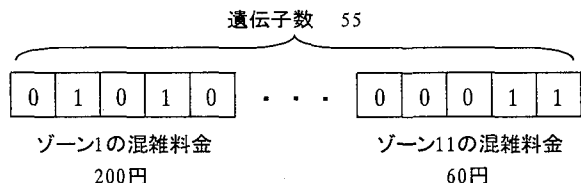


図-7 ゾーン別料金設定のための染色体構造

ゾーンの混雑料金水準を5個の遺伝子ごとに表現する。したがって、遺伝子数は55個になる。初期集団として個体を100個生成した。

②適応度関数について

本研究の問題は、需要変動を考慮するため「混雑料金導入による社会的純便益の最大化」である。したがって、GAにおいても、式(8)に示すように、目的関数を適応度関数として用いる。

$$\max \sum_{w \in W} \int_0^{t_w} D_w^{-1}(x_a) dx - \sum_{a \in A} t_a(x_a) x_a \quad (8)$$

(b) 遺伝的アルゴリズムとの対応

つぎに、設定された組み合わせ問題とGAにおける最適探索との対応を図-8に示す。つまり、乱数を用いて、初期集団を生成することは各ゾーンにおいて任意の混雑料金水準を設定することに対応する。また、各個体における適応度の算定は、任意に設定された混雑料金水準のもとで、社会的純便益を算定することに対応する。

また、世代の更新ごとにおこなわれる淘汰・交差・突然変異によって、遺伝子の0,1の組み合わせが変更される。これを具体的に手順をおって説明する。まず、「淘汰」とは、適応度の低い個体を削除するステップである。すなわち、ゾーン別料金水準の決定においては、社会的純便益が小さいゾーン別料金の組み合わせを削除することに対応する。つぎに、「交差」とは、複数の染色体の一部分を組み替えるステップである。すなわち、本研究の料金決定問題においては、ゾーンごとの料金額を入れ替えることに対応する。また、「突然変異」とは、一定確率のもとで遺伝子を変更するステップである。すなわち、本研究の料金決定問題においては、あるゾーンの料金額を任意の値に置き換えることに対応する。このように、各ゾーンの混雑料金水準を変更し、あらゆる料金水準設定のもとで、社会的純便益を計算する。

本研究では、遺伝的アルゴリズム(GA)により社会的純便益を最大化する方法を用いている。この演算過程においては、各世代の全個体群に対して交通量配分計算を実行した上で、各個体の評価値(社会的純便益)を計算する。また同時に、各個体群を「交差」「突然変異」などの遺伝的操作によって更新をおこなう。したがって、本研究のGAにおいては、「交通量配分」「遺伝的操作」が演算の主要部分を占めると考えられる。

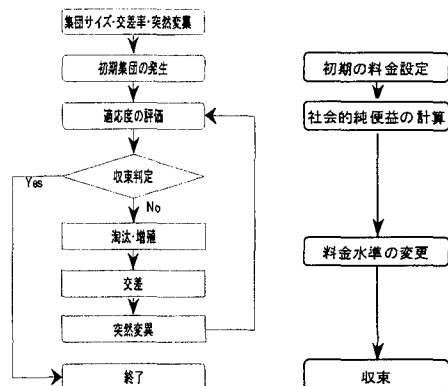


図-8 料金水準決定プロセス

すなわち、大規模道路網を対象とした分析においては、膨大な演算時間を要するため、この両側面からの改善を検討する必要がある。本研究の演算実行時に観測された問題点から、今後の課題として、これらを整理する。

- ① 「遺伝的操作」に関しては、基本的なプロセスである淘汰・交差・突然変異の演算方法の改良を行うとともに、演算効率を向上させるコーディング技術の導入が必要である。またGAを拡張的に構成されたIA(免疫アルゴリズム)の利用なども効率的最適探索の意味から重要である。
- ② 「交通量配分」に関しては、ここではFW法を利用したが、一般に探索効率が悪いとされるため、各種アルゴリズムの利用を検討する必要がある。また問題の定式化と道路網表現等を再考することにより、極めて類似する交通量配分プロセスを近似的に簡略化する点も挙げられる。

つぎに、終了判定に関しては、最適解が200世代にわたって更新されない場合、および世代数が2000世代を超える場合とした。すなわち、解の更新がほとんどおこなわれなくなった場合には、収束したものとする。しかしながら、収束したものが必ず最適解とは限らない。したがって、得られた最適解に対しては十分な検討が必要となる。

このように設定された「混雑料金水準」の組み合わせ問題をGAに対応させ、以下においてGAを用いて最適探索をおこなう。

(4) 混雑料金水準の算定と考察

GAを用いて最適探索をおこなう。ここで、GAの性質を考慮し、最適な混雑料金水準を決定する。また、決定された混雑料金水準に対して、混雑料金導入による効果について検討をおこなう。

(a) 混雑料金水準の算定

つぎに、前節までの設定にしたがい、料金水準設定に関する最適探索をおこなう。本研究では、パラメータとして淘汰率、エリート保存率、交差率、突

然変異率の4つを設定した。パラメータの設定にあたっては効率的な最適解探索を目指して、優良な解は次世代に残るように、また世代間において個体が大きく変更されないように考慮した。つまり、淘汰率を例とすると、値を大きく設定すると次世代において前世代までの探索結果が考慮されにくくなる。また、値を小さく設定すると、個体に変更されないために個体の更新がされにくくなる。このことを考慮して、表-2に示すようにパラメータを2ケース設定した。

つぎに、設定されたそれぞれのケースについて3回ずつ、合計6回の最適解探索をおこなった。これら6回の最適解探索における目的関数値の変化過程を図-9に示す。目的関数が世代の経過とともに順次増大し、200世代以降一定となっている。6回の最適解探索のうち5回については同一値に収束している。社会的純便益は352百万円程度計上されることがわかる。しかしながら、1回については同一値に収束せず、局所解に陥ったと考えられる。この原因を検討するため、各ケースの個体群の収束状況を検討する。局所解となった「ケース A-3」について、収束性に高い例として「ケース A-1」を比較する。ここでGAでは、世代の進行に伴う個体の分布変化が重要であり、いくつかの世代の特徴的な個体群に着目する。たとえば、第25世代では、目的関数値が150万円以上を示す個体が全100個体のうちA-1では32個体、A-3では27個体観測された。また、その世代でのA-1の最適関数値は185万円で、A-3の目的関数値は167万円である。このことから、大局的な個体群分布としては、両ケースに大きな相違はない。しかしながら、A-3では、33世代の突然変異によって他と大きく異なる遺伝子列を示す個体が生成されている。すなわち、この時点でA-1では中心部ほど料金額が高くなっているが、A-3では郊外ほど料金額が高くなっている。さらに、以降の世代の算定では、生成された遺伝子列を持つ個体が支配的になっている。その結果100世代では、個体分布が大きく異なっている。

GAにおいては、初期設定やパラメータ設定によって、局所解に陥ることがあり、必ず最適解として決定されるわけではない。このようなGAにおける性質を考慮し、6回の最適解探索をおこなった。そのうち、5回が同一値に収束したことから、このときの混雑料金水準の組み合わせを最適解とし、各ゾーンの混雑料金として用いる。これは、社会的純便益がより大きな値になる可能性はあるが、実用的な解が得られたと判断したためである。

(b) 混雑料金水準算定結果の考察

つぎに、混雑料金水準に関する考察をおこなう。

表-2 パラメータの設定

ケース	淘汰率	エリート保存率	交差率	突然変異率
A	0.5	0.1	0.5	0.1
B	0.6	0.1	0.4	0.1

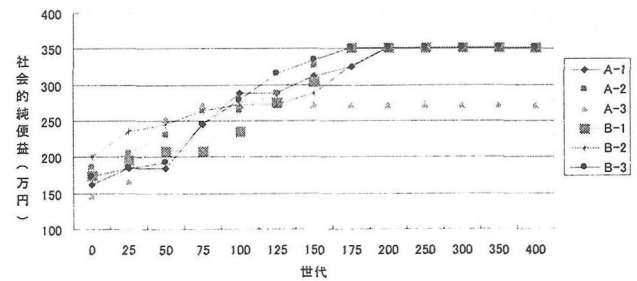


図-9 目的関数値の変化過程

各ゾーンの混雑料金水準の分布を図-10に示す。ここでは、各ゾーンの混雑料金水準を3段階に分類して表示している。この結果から、岐阜市西部からゾーン4、2、1という経路選択をした場合、利用者は各ゾーンの総和にあたる360円を混雑料金として支払うことになる。各ゾーンの混雑料金水準は、市内中心部および南部において高い。また、ゾーン間の相互関係としては、市内中心部ほど高く、市内の周辺ゾーンほど安いという結果となっている。

つぎに、交通量の変化について考察をおこなう。図-11は交通減少が多かった上位10個のODペアを示したものである。市内中心部のゾーン1、2に関連したOD交通量が減少していることがわかる。また、市内中心部への流入交通だけでなく、ゾーン5-8間のように市内中心部の通過交通量も減少していることがわかる。理論的な混雑料金政策と比較すると、混雑料金水準が高い中心部に関連する交通量はより減少している。

さらに、経済的指標の変化として混雑料金による便益について検討する。ここでの算定された混雑料金による便益は211百万円で、社会的限界費用(SMC)に基づく混雑料金賦課の場合と比較する。これより現実的な設定によって91% (=211(百万円)/231(百万円))の効果が示された。

いずれの方法においても混雑料金政策を行なうことで、市場均衡状態と比べて社会的純便益は増加する。本研究では、現実的な意味からゾーン単位ごとの料金徴収方法を検討した。このため、リンク単位の混雑料金賦課の場合と比較すると、社会的純便益は若干小さくなる。この場合の計算結果によれば、ゾーン別混雑料金により得られる社会的純便益は、リンク単位の場合の9割程度であることがわかる。

5. 交通需要関数からみた混雑料金政策

つぎに、交通需要変化を規定する「価格弾性値」について検討する。ここで、いくつかの既存研究の

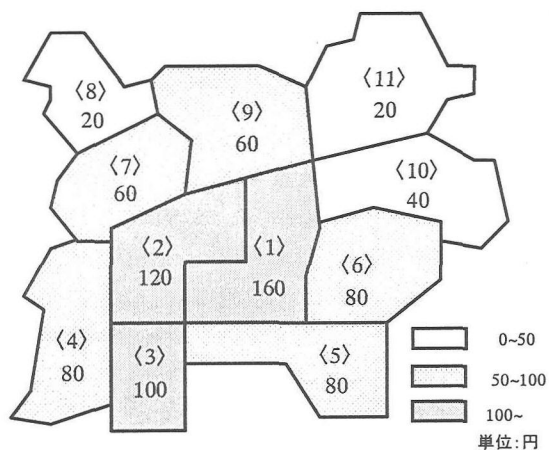


図-10 各ゾーンにおける混雑料金水準

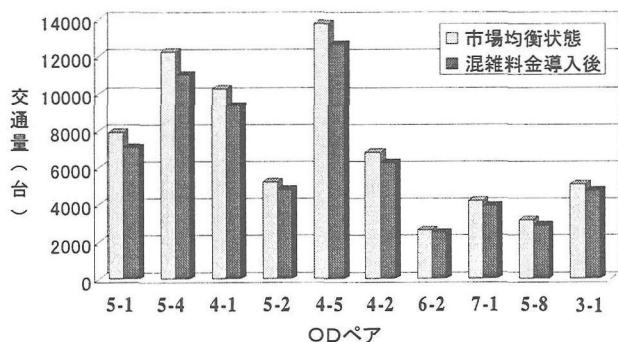


図-11 OD交通量の変化

例を参考とする。たとえば、英国ケンブリッジにおける都市内道路網に対する分析においては、 $e = 0.50$ と設定されている⁷⁾。一方、都市内の公共交通の運賃弾力性に関する研究では、米国シカゴの乗合バスに対して、 $e = 0.11$ と推定されている⁸⁾。また、米国サンフランシスコの乗合バスに対する同様な研究もあり、 $e = 0.20$ と推定されている⁹⁾。以上のように「価格弾性値」は対象地域、交通機関、交通目的等により比較的大きな範囲を持つものと考えられる。ここでは、直接推定は困難であることから、都市道路網に対応する価格弾性値を、既存研究での数値を包含する形で、 $e = 0.10 \sim 0.50$ の範囲で検討するものとした。

本研究では交通需要関数の設定にあたり、価格弾性値を $e = 0.30$ とした。ここでは、交通需要関数における価格弾性値を $e = 0.10$ と $e = 0.50$ の2ケース設定し、どのような影響が生じるか検討する。それぞれの価格弾性値における経済指標を計算した。

計算結果をもとに経済指標の変化について考察をおこなう。設定された状況での社会的純便益、混雑料金収入、混雑料金による便益についての計算結果を図-12に示す。価格弾性値0.3のケースと比較すると、社会的純便益は率にして85%から151%、金額にして-55百万円から+191百万円となった。混雑料金収入は率にして58%から173%、金額にして-61百万円から+108百万円となった。さらに、死荷重の解消分に相当する混雑料金による便益は率に

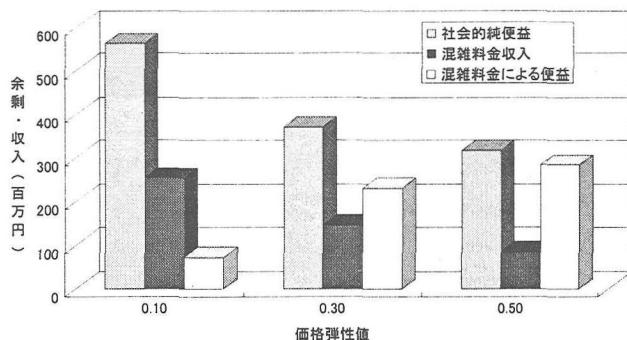


図-12 価格弾性値による便益評価

して32%から123%、金額にして-158百万円から+53百万円となった。社会的純便益、混雑料金収入、混雑料金による便益とも大きな幅が生じている。これより、経済指標は価格弾性値に大きく依存していることがわかる。

6. おわりに

本研究では、都市道路網での混雑料金政策について検討をおこなった。具体的には、混雑地域を対象とした混雑料金政策の検討をおこなった。ゾーン単位の混雑料金水準を決定する組み合わせ最適な問題として定式化できる。設定された問題に対しての最適解探索には、遺伝的アルゴリズム(GA)を適用した。本研究の成果は以下のとおりである。

- ①交通経済学理論を忠実に表現するリンク単位の混雑料金に対して、都市道路網における現実的問題に対応できるゾーン単位の混雑料金政策を具体的な例から提示した。
- ②ゾーン単位の混雑料金に関する具体的な課金方法を提示するとともに、理論的な経済便益に対しても、合理性を失うことのない実用的な方法が示された。
- ③組み合わせ最適化として料金水準決定問題を定式化するとともに、交通流動推計を内包した遺伝的アルゴリズムを構成することで近似解が得られることがわかった。
- ④都市道路網への混雑料金導入における経済便益の算定を行った。これより、推計される経済便益は交通需要の弾力的変化に大きく依存することが明確となった。

また、都市道路網における現実的な混雑料金水準決定に関連して、本研究における今後の課題として以下の3点が挙げられる。

- ①混雑料金政策の現実的な運用に関しては、料金所などの投資費用を含めた政策実施費用を用いた検討が必要である。
- ②混雑料金政策により、対象道路網利用を転換した交通需要に関しては議論していない。したがって、現実的には公共交通機関を含めた都市交

通全体での議論が必要となる。したがって、機関分担を内部化した混雑料金政策の検討が必要となる。

- ③ 本研究では混雑料金政策を1日単位として検討した。しかしながら、交通混雑は1日中発生しているわけではない。そこで、より効率的にピーク時間への導入や時間帯に応じて、混雑料金水準を設定するといった時間帯別の混雑料金政策（各種料金制度との関係）についての検討などが挙げられる。

－参考文献－

- 1) 野杵貴博・秋山孝正：遺伝的アルゴリズムを用いた都市道路網における混雑料金水準設定、第20回交通工学研究発表会論文集報告集、pp.193-196、2000
- 2) 奥野正寛・篠原総一・金本良嗣：交通政策の経済学、日本経済新聞社、pp.27-47、1989
- 3) Hai Yang and Hai-Jun Huang : Principle of Marginal-Cost Pricing: How Does It Work in a General Road Network ?, Transportation Research A, Vol.32, No.1, pp. 45-54, 1998
- 4) 阪神高速道路公団・(財)日本システム開発研究所、阪神高速道路の料金弾力性に関する調査研究報告書、pp.10-59、1993
- 5) 土木学会：交通ネットワークの均衡分析－最新の理論と解法－、pp.39-47、pp.103-109、1998
- 6) 安居院猛・長尾智晴：ジュネティックアルゴリズム、1993年
- 7) A.D.May and D.S.Milne : Effects of alternative road pricing systems on network performance, Transportation Research A .34,pp.407-436,2000
- 8) 斎藤峻彦、交通市場政策の構造、中央経済社、1991
- 9) 秋山孝正、五井直輝、小川圭一：渋滞シミュレーションを用いた混雑料金に関する研究、土木計画学研究・論文集16(1)、pp.1009-1016、1999
- 10) 金本良嗣：プログレッシブ経済シリーズ、都市経済学、東洋経済新報社、1997
- 11) 野杵貴博・秋山孝正：遺伝的アルゴリズムによる都市道路網の混雑料金圏設定に関する研究、土木計画学研究・講演集23(1)、pp.551-554
- 12) Hai Yang and Hai-Jun Huang : Traffic Restraint, Road Pricing and Network Equilibrium, Transportation Research B, Vol. 31, No. 4, pp303-314,1997

遺伝的アルゴリズムによる都市道路網ゾーン別混雑料金の設定*

野杵貴博・秋山孝正

都市道路網の交通混雑に対して混雑料金政策の導入が検討されている。これは利用者への料金賦課により、交通市場における社会的余剰を最大化するものである。交通経済学の議論を理論的に展開すると、都市道路網においては道路区間を単位とした混雑料金が仮定される。しかしながら、単位料金の設定と技術的な実行可能性からゾーン単位の混雑料金が現実的である。具体的には、ゾーン単位の料金水準を決定する組み合わせ最適な問題として定式化できる。ここでは現実的な都市道路網を対象として検討を行った。また、最適解探索には、遺伝的アルゴリズムを適用している。これより、現実的な混雑料金政策による交通現象変化と経済的便益の面から適用可能性を検討できることがわかった。

Determination of Zonal Congestion Toll On Urban Network by Genetic Algorithms

By Takahiro NOIRI and Takamasa AKIYAMA

The congestion pricing policy has been recommended to reduce the traffic congestion on urban networks. The policy aims to maximize the social surplus in the transport market with toll charge. The link-based congestion pricing on the urban network should be assumed as the extension of the transport economic theory. However, the zonal congestion pricing can be more realistic with considering the unit price and technical feasibility. The pricing would be formulated as the combinational optimization problem to determine the levels of zonal toll. The realistic network problem is formulated to discuss the problem in the study. The optimal solution is obtained by search procedure of genetic algorithm. The applicability of congestion pricing policy can be mentioned in terms of traffic flow change and economic benefit.