

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*

Determination of Congestion Pricing Area
in Urban Network by Genetic Algorithms

野村 貴博**・秋山孝正***

By takahiro NOIRI and takamasa AKIYAMA

1 はじめに

自動車需要の増加にともない、大都市域の道路交通混雑は深刻な問題である。道路交通混雑を社会的側面から外部不経済として、内部化する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。混雑料金は交通経済学的には、社会的限界費用(SMC)の適正負担を意図している。一方、これを道路網における交通均衡問題として議論することが可能である。すなわち、道路網における利用者均衡状態(UE)は社会的には非効率であり、システム最適状態(SO)とするために課すべき費用が混雑料金に対応する¹⁾。

しかしながら、混雑料金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。本研究ではまず混雑料金政策と交通量配分との関係を整理するとともに、料金徴収方法を考慮し、ゾーンを対象とした「混雑料金徴収エリア」と「混雑料金水準」の決定方法を岐阜市の道路網を対象として考える。

2 現実的道路網を対象とした混雑料金

2-1 現実的道路網のモデル化

現実的な都市道路網における混雑料金政策を検討するために、具体的な都市道路網として岐阜市を例とする。本研究では岐阜市の道路網を図-1のよう

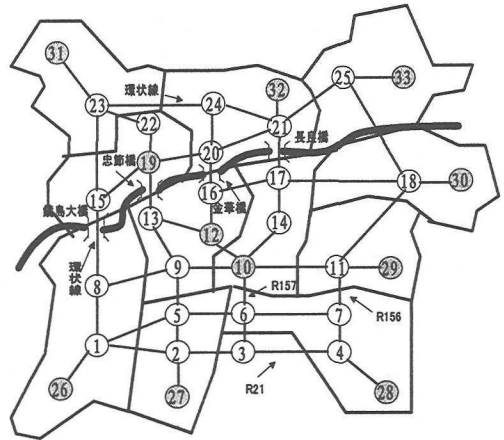


図-1 対象道路網

に設定した。これは岐阜市を11ゾーンに分割し、幹線道路である国道21号線や環状線などを簡略化して表現したものである。各ゾーンにセントロイドを設定した。各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。またOD交通量は、周辺地区からの流入および通過交通量を考慮する必要がある。そこで流入および通過交通量を最も近いセントロイドに発生・集中交通量として集約した。

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。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(UE)、社会的総費用最小化はシステム最適状態(SO)に対応し、定式化できる。具体的には、それぞれの目的関数は次のようになる。

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

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

$t_a(x)$: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た社会的純便益の最大化で表現することができる。すなわち、

* 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 岐阜大学大学院
工学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,
TEL 058-293-2446 FAX 058-230-1528)

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である。

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

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

つぎに都市道路網の交通均衡分析をおこなうために、各 OD 間交通量に対する平均交通費用曲線 $AC(Q)$ と交通需要曲線 $P(Q)$ を設定する。ここで $AC(Q)$ は交通費用が主として所要時間で表現できるとき、当該 OD 間の経路所要時間は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出される。本研究では、リンクコスト関数として BPR 関数を導入する。

さらに $P(Q)$ はつぎのように設定する。OD 間経路交通費用は、UE 交通量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る。したがって、 $P(Q)$ は①交通均衡点を通り、②この点での価格弾力性により設定する。

2-2 混雑料金賦課による交通現象変化

前節での設定にしたがい、確率的利用者均衡配分をおこなった。この配分交通量は岐阜市の現状の交通状態に対応しており、全国道路交通センサス（平成9年度）による幹線道路の実測交通量と比較すると、相関係数は0.93であった。図-2は対象道路網における交通量を混雑度（＝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と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。

つぎに、社会的限界費用（SMC）を基本とした交通均衡状態を考える。これは、対象道路網における各リンクに混雑料金賦課された状況に対応しており、「需要変動型のシステム最適配分」の解として算定できる。各リンクに混雑料金賦課することで交通量変化がみられる。図-3はリンク1（ノード1-2間）における交通量変化を示したものである。平均交通費用に関する均衡点 A から社会的限界費用に関する均衡点 C に移行することで交通量が4,310台減少しており、この点において混雑緩和が求められる。同様に他のリンクについても混雑緩和が求められる。

さらに混雑料金導入における経済的評価を行った。

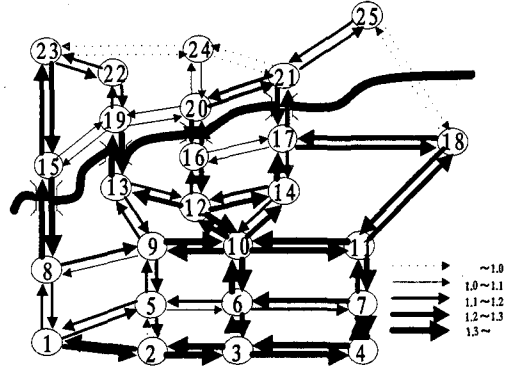


図-2 平均交通費用に基づく交通混雑

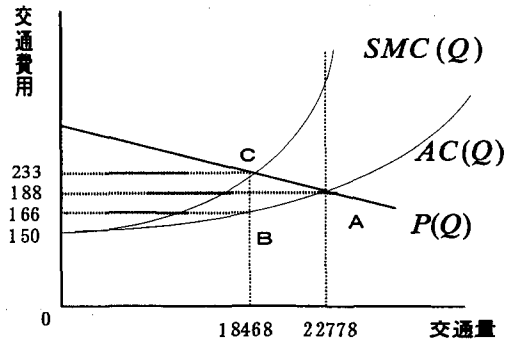


図-3 リンク交通量の変化

表-1 混雑料金導入による経済効果

	平均交通費用	混雑料金導入後
社会的総便益(円)	812,305,903	761,502,257
社会的総費用(円)	684,976,845	389,207,630
社会的純便益(円)	127,329,058	372,294,627
混雑料金収入(円)		141,493,241
混雑料金による便益(円)		244,965,569

表-1は対象道路網における混雑料金導入前後の経済的指標を整理したものである。混雑料金政策を導入することで社会的総便益は減少しているが、社会的総費用が最小化される。この結果社会全体として外部不経済が補完され、社会的純便益が増加することで、混雑料金による便益が発生する。

3 現実的徴収を考慮した料金水準

混雑料金政策において、社会的限界費用(SMC)に基づいた各リンクにおける混雑料金賦課が理想的である。しかしながら、都市道路網を対象とした混雑

料金政策を実施する上で、各リンクにおける混雑料金徴収は技術的に困難であるという点が問題となる。そこで解決策として、ゾーンを対象とした混雑料金政策を検討し、料金水準を算定する。

3-1 現実的な料金水準の設定

いくつかの方法が考えられるなかで、ここではある地域を対象とした混雑料金政策を検討する。現実的な意味では「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する「混雑料金水準」の組み合わせを検討する。ここでは「混雑料金徴収エリア」を1つのゾーンとして設定する。図-4に示すように太線で囲まれたゾーン1(岐阜駅)、2(柳ヶ瀬)、3(茜部)、4(県庁)を都心部と設定し、ゾーン境界を都心方向へ横断する際に混雑料金を徴収する。また都心部内の交通に関してはゾーン境界を横断する際に徴収する。

つぎに「混雑料金水準」については20円単位で0~640円とした。したがって33段階の料金水準のいずれかが、各ゾーンで設定される。このとき0円となったゾーンでは混雑料金が賦課されない。

この設定では、課金ゾーン数4、料金水準は33種類となるので、 $33^4=1,185,921$ 通りの場合が考えられる。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、膨大な数の「混雑料金徴収エリア」と「混雑料金水準」の現実的な設定にあたっては、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である。

3-2 遺伝的アルゴリズムによる料金水準決定

ここでは「料金徴収エリア」と「料金水準」の現実的な設定方法について考える。設定方法として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。そこで前節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な設定をおこなった。

①個体の表現方法

まずGAにおける個体表現により、本問題の混雑料金水準の組み合わせを記述する。具体的には、遺伝子数を24とし、各遺伝子を0、1の2進法で表現する。また、各遺伝子は乱数を用いて初期設定する。

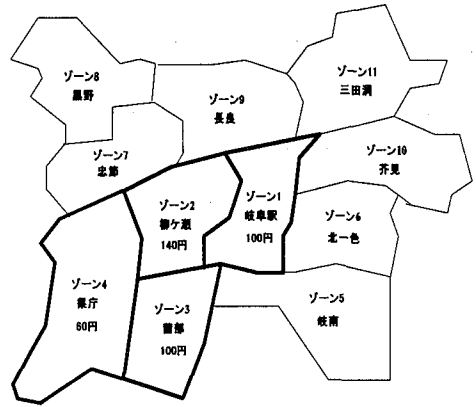


図-4 料金賦課対象ゾーン

この個体はゾーン間の混雑料金水準の組み合わせを示しており、6個の遺伝子ごとにゾーン1、2、3、4の混雑料金水準を表現している²⁾。ここでは、初期集団として染色体を持つ個体を10個生成する。

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、この目的関数を適応度関数として用いる。

3-3 混雑料金水準の算定と考察

(1) 混雑料金水準の算定

つぎに前節までに設定したことにしたがい、料金水準設定に関する最適解探索をおこなう。本研究では、表-2に示すように、パラメータである淘汰率、エリート保存率、交差率、突然変異率を変更することで2ケース設定した。実際にはそれぞれのケースについて3回、合計6回の最適解探索をおこなった。図-5は6回の最適解探索における目的関数の変化を示したものである。目的関数は世代の経過とともに順次増大し、125代以降一定となる。このことから目的関数が収束していることがわかる。またゾーンを対象として混雑料金を賦課することで、社会的純便益は350百万円程度計上されることがわかる。

(2) 混雑料金算定結果の考察

つぎに混雑料金水準の算定結果について考察をおこなう。図-4に示すようにゾーン1、2、3、4の料金水準は100円、140円、100円、60円となった。

表-2 パラメータ設定

ケース	淘汰率	エリート保存率	交差率	突然変異率
A	0.3	0.1	0.3	0.02
B	0.4	0.1	0.4	0.02

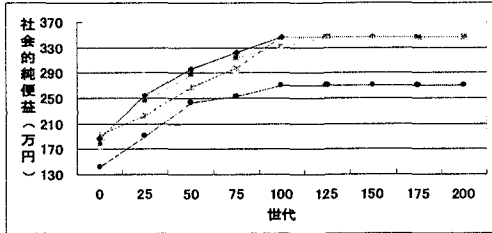


図-5 目的関数の変化

このときの交通現象の変化について考察をおこなう。図-6 はゾーンを対象に混雑料金が賦課された場合の交通混雑を示したものである。図-2 と比較すると、交通混雑が激しく、都心部として設定した岐阜駅・柳ヶ瀬の交通混雑が緩和されていることが顕著である。また岐阜市における地域特性として長良川にかかる4本の橋（鏡島大橋、忠節橋、金華橋、長良橋）がボトルネックになるという点が挙げられる。そこで4本の橋において混雑料金賦課による交通量の変化について考察をおこなう。まずそれぞれの橋の混雑料金は60円、140円、140円、100円となっている。最も交通量の減少が多かったのは忠節橋で4,032台減少している。その他の橋について3,000台程度の減少が観測できる。混雑度が最も低下したのも忠節橋で0.14低下している。つまり混雑料金政策により混雑緩和されたことがわかる。また橋相互間の混雑料金水準についても大きな料金格差が発生しないように検討する必要がある。

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223百万円で、これを前章で得られた社会的限界費用(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90% (=223(百万円)/245(百万円))の効果が示された。すなわち現実的な混雑料金設定を用いても、本来の社会的純便益と同等の便益が期待できることがわかる。この点は、単位費用の設定方法との関係も必要であり、詳細な検討が必要である。

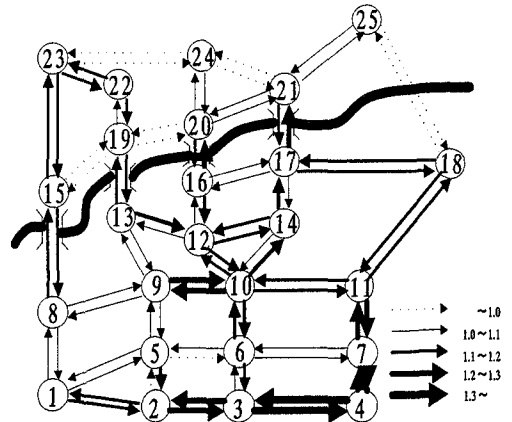


図-6 ゾーン賦課による交通混雑

4 おわりに

本研究では、都市道路網での混雑料金賦課方法として料金徴収エリアと料金水準設定にGAを用いて検討した。本研究の成果は以下のとおりである。

- ① 組み合わせ最適化問題として、現実的な混雑料金水準が規定でき、理論値に対して同等の社会的純便益が得られることがわかった。
- ② 混雑料金の導入は都心部混雑の軽減に有効であることが、具体的な計算結果から算定された。
- ③ 遺伝的アルゴリズム(GA)の利用で、社会的純便益の最適化が容易となり、現実的な混雑料金水準決定問題の現実的への拡張性が示された。

また現実的な混雑料金水準の決定に関連して、本研究における今後の課題として、①ゾーン相互間の料金水準の現実的關係についての検討、②機関分担を内部化した混雑料金設定問題の検討、③時間帯別の混雑料金の運用方法(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) 野尻貴博・秋山孝正：現実的徴収を考慮した混雑料金に関する交通均衡分析、平成11年度土木学会中部支部研究発表会講演概要集、pp. 431-432、2000。
- 2) 安居院猛・長尾智晴：ジェネティックアルゴリズム、1993年
- 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