

混雑料金理論からみた 都市高速道路路線別料金の適用性に関する研究

秋 山 孝 正

- I はじめに
- II 混雑料金理論からみた都市高速道路料金
- III 利用者均衡配分を用いた都市高速道路料金設定モデル
- IV 都市高速道路路線別料金に関する適用性の検討
- V おわりに

I はじめに

都市道路網は都市高速道路と一般道路で構成される。このうち、一般道路は無料であるが都市高速道路は有料道路として対距離料金制が採用されている。したがって、都市高速道路の料金設定は、都市道路網のなかの有料道路であることから、混雑料金理論に対応する都市道路網に対する交通調整機能を持つと考えることができる。また都市高速道路料金政策に関して、これまでの経過を見ると、都市高速道路の開設当初は均一料金制が採用されていた。その後、高速道路料金徴収に ETC が導入され、都市高速道路のネットワーク拡大から対距離料金制に移行された。現在は、都市間高速道路などの有料道路と整合した統一的な対距離料金設定が行われている。さらに、近年では高速道路での ETC の専用化が提案されており、また都市高速道路料金の電子的徴収技術の進展からも、多様な形態の都市高速道路料金の設定が可能となっている¹。

このようなことから、従来の現実的な料金徴収問題は軽減しており、混雑料金理論として知られる道路混雑に関する外部不経済の内部化としての道路課金の現実的運用が可能となっている。これまでにも、都市高速道路の対距離料金制を基本として、車種別料金・時間帯料金・乗り継ぎ料金制などの現実的運用が行なわれている。

本研究では、都市道路網に適用可能な混雑料金理論に対応する限界費用料金に着目する。混雑料金理論を道路ネットワークで表現するための需要変動型の利用者均衡配分モデルによる定式化について概説する。これらの定式化を踏まえて、都市高速道路料金に関する基本統計量の算定を可能とする。さらに、都市高速道路の先進的な料金設定として、空間的な交通需要の相違に着目した路線別料金に関する適用可能性について数理モ

1 秋山, 井ノ口, 奥嶋 [3]

デル (交通量配分) を用いて定量的な考察を行う。

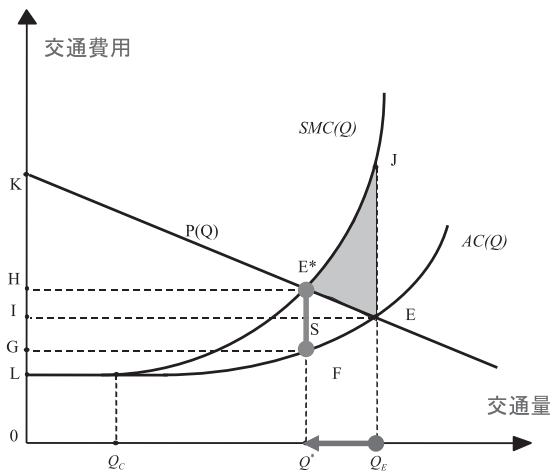
II 混雑料金理論からみた都市高速道路料金

道路交通混雑に起因する外部不経済を内部化する混雑料金理論について考える。基礎的な混雑料金理論は単一の道路区間を前提として説明されることが多い。

これに対して、現実的な道路ネットワークに関する混雑料金理論は、道路ネットワークの利用者均衡モデル (User Equilibrium) の定式化に対応づけられる²。

基本的な混雑料金理論では、特定の道路区間 (リンク) を想定する。この場合、図1に示すように、道路区間の交通需要量 (車両台数) に対応して、道路区間の平均所要時間 (交通費用) AC と社会的限界費用: SMC を考えることができる。ここで、交通経済学における平均費用関数は、交通工学では、道路区間に対する時間費用の関数としてパフォーマンス関数 (リンクコスト関数) と呼ばれる³。

図1 道路区間の混雑料金理論



通常の混雑料金理論では、当該道路区間の交通費用を時間費用 (時間単位) で考える。したがって、金銭的费用 (円) を示す場合は、時間価値: γ (円/分) を用いて一般化費用として、換算可能と考えている。

これに対して、一般的な都市道路網 (ネットワーク) は、道路区間の集合体として表現される。したがって、図1の市場均衡点 E は、道路ネットワークでは、利用者均衡点 (UE) に対応する。基本的な混雑料金理論では、 E^*S に相当する混雑料金を徴収することで、外部不経済の内部化が可能となると考えられる。この社会的最適点 E^* は、

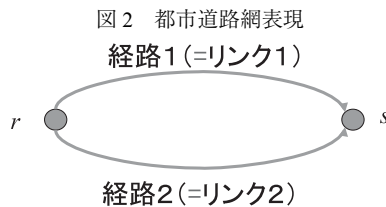
2 文 [7]

3 秋山 [4]

道路ネットワーク理論では、システム最適点（SO）といわれる点である。

すなわち混雑料金は、社会的には交通市場均衡における「死荷重損失」（dead weight loss）： $E \cdot JE$ の減少を目指すものである。結果的に、当該道路区間の交通量は Q_E から Q^* へ移行することになる。

この単一の「道路区間」に対する混雑料金理論は、交通工学のネットワーク交通流解析（利用者均衡分析）を用いて、道路ネットワークに対する拡張が可能である。すなわち、図2のような都市道路網を想定する。⁴



このとき、都市道路網の各道路区間はリンクで表現される。本例の場合には、各経路は一つのリンクに対応している。したがって、リンクの平均費用関数として、リンク（経路）上の移動交通量と所要時間の関係を表す「パフォーマンス関数」が定義できる。図2の道路ネットワークに対して、各リンクごとにパフォーマンス関数を定義する。すなわち、

$$AC_1(x_1) = t_1(x_1) = 2 + x_1 \tag{1}$$

$$AC_1(x_2) = t_2(x_2) = 1 + 2x_2 \tag{2}$$

いずれもリンク交通量の増加に対して単調増加関数（本例では線形関数）となっている。実際の計算においては、BPR 関数と呼ばれる関数がよく用いられる。また OD 間（ $r - s$ ）の移動費用（所要時間）と OD 交通量： q_{rs} の関係を示す「交通需要関数」を定義できる。

本例では、逆需要関数として、 $D^{-1}(q_{rs}) = 10 - q_{rs}$ を定義する。

一般的に「需要変動型の利用者均衡状態」（市場均衡に対応）は、「完全情報下で利用者が最適経路を選択するとき、当該交通が利用する各経路の所要時間が等しく、それらは利用されない経路の所要時間より小さいか、せいぜい等しい。」という等時間原則が成立している。したがって、本例では、 $t_1(x_1) = t_2(x_2)$ と $x_1 + x_2 = q_{rs}$ の条件から、解析

4 Sheffi [1]

的に利用者均衡解を算定することができる。通常、多数のリンクで構成される一般的なネットワークに対しては、リンク交通量を変数とした等価数理計画問題を解くことでリンク交通量が算定される。

つぎに、社会的限界費用 (SMC) について考える。社会的限界費用は、各リンクの総交通費用： $TC(x_a) = x_a \cdot t_a(x_a)$ の限界変化を表すものである。したがって、

$$SMC(x_a) = \frac{dTC(x_a)}{dx_a} = \frac{d\{x_a \cdot t_a(x_a)\}}{dx_a} = t_a(x_a) + x_a \cdot \frac{dt_a(x_a)}{dx_a} \quad (3)$$

すなわち、図1で示した特定区間での関係が道路ネットワーク上の各リンクで成立している。この関係式より、社会的限界費用は平均費用に外部費用を加算したものであることがわかる。

本例では、社会的限界費用は定義より比較的容易に計算できる。すなわち、式(1)(2)で定義されたパフォーマンス関数を、式(3)の定義にしたがって算定すると、 $SMC_1(x_1) = 2 + 2x_1$ 、 $SMC_2(x_2) = 1 + 4x_1$ と算定される。

混雑料金が導入されていない場合は、道路交通市場の均衡が、利用者均衡状態 (UE) に対応する。一般道路網のように道路網の道路区間が無料の場合に相当する。このため、交通工学では、前述した需要変動型の利用者均衡問題に関する等価な数理計画問題を解くことで解が得られる。

すなわち、

$$z(x_a, q) = \sum_{a \in A} \int_0^{x_a} t_a(w) dw - \sum_{r-s} \int_0^{q_{rs}} D_{rs}^{-1}(w) dw$$

一般的には、左項はリンク数、右項は OD ペア数の関数積分値の総和となる。本例では、リンク数：2、OD ペア数：1 であるので：

$$z(x_1, x_2, q) = \int_0^{x_1} (2+w) dw + \int_0^{x_2} (1+2w_2) dw - \int_0^q (10-w) dw$$

具体的に、この問題を解くと図1の市場均衡点 (E 点) に対応するリンク交通量は $(x_1, x_2, q) = (3, 2, 5)$ となる。このとき、交通費用 (所要時間) は $t_1 = t_2 = 5$ で等時間原則が成立している。またこのときの総走行時間は、 $TC(x_a) = 25$ である。

一方で、図1の社会的最適点 (E*) に対応する点は、「需要変動型のシステム最適化

問題」の解として表現することができる。すなわち

$$\min z_S(x_a, q) = \sum_{a \in A} x_a t_a(x_a) - \sum_{r-s} \int_0^{q_{rs}} D^{-1}(w) dw$$

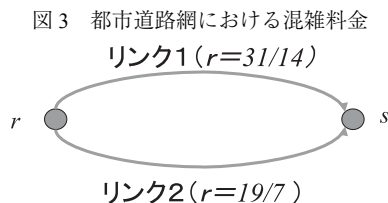
目的関数の符号を変えると、社会的余剰の最大化に対応していることがわかる。本例では、リンク数：2, OD 交通需要：1 であるから、つぎのように定式化できる。

$$\min z_S(x_1, x_2, q) = x_1(2 + x_1) + x_2(1 + 2x_2) - \int_0^q (10 - w) dw$$

これを解くと、 $(x_1, x_2, q) = (31/14, 19/14, 25/7)$ となり、 $TC = 2817/196 = 14.37$ となる。上記の利用者均衡状態と比べて TC の値が減少しており、需要変動型のシステム最適状態に対応した交通状態が算定される。ここで、「システム最適状態」とは、道路交通システムの社会的最適状態を示したものであり、混雑料金による自律的交通調整を考える場合は、リンク単位に相当分の混雑料金を賦課する場合に対応する。（一方で、システム最適状態を実現するためには、混雑料金ではなく、交通管制・交通規制などの直接的な道路交通調整による方法も考えることができる。）

この例では、道路ネットワークの利用者均衡状態に対して、システム最適状態を実現すると、リンク 1 の交通量： x_1 は、 $2 \Rightarrow 31/14$ に減少する。このとき、当該リンクでの社会的限界交通費用は、 $SMC_1 = SMC_2 = 45/7$ 、平均費用は $AC_1 = 59/14$ 、であるので、混雑料金は両者の差を取って、 $r_1 = 45/7 - 59/14 = 31/14$ と算定される。

リンク 2 に関しても、同様に社会的限界費用と平均費用を算定して、混雑料金は、 $r_2 = 45/7 - 26/7 = 19/7$ と求められる。すなわち、混雑料金はリンクごとに図 1 に示した状況を想定して、社会的最適交通量に対応する SMC と AC の値の差として算定できる。具体的には、図 3 に示すようなリンク別混雑料金が算定できる。



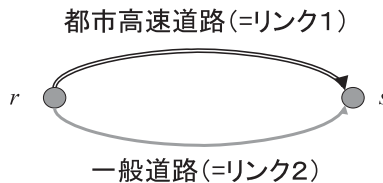
このように道路ネットワークに対する混雑料金はリンクごとに定義されることがわかる。すなわち、一般的な道路ネットワークにおける混雑料金の設定は、すべての道路区間ごとに、それぞれ混雑料金額が設定されることになる。

Ⅲ 利用者均衡配分を用いた都市高速道路料金設定モデル

これまで、都市道路網がすべて無料で利用可能な道路で構成されると想定した道路交通流解析を紹介した。つぎに、都市高速道路と一般道路で構成される都市道路網に対する利用者均衡分析を考える。すなわち、わが国では都市間高速道路・都市高速道路は有料であり、一般道路は無料であることを考慮した道路交通流解析を検討する。

現実にも、都市高速道路の料金設定が都市道路網全体の交通流動に影響を与えることから、都市高速道路の料金政策は道路交通運用面で重要な項目となっている。このようなことから、図4に示すように、都市高速道路と一般道路で構成される都市道路網を考える。これは、有料の都市高速道路と無料の一般道路で構成される都市道路網を描いたものである。

図4 都市高速道路を含んだ都市道路網



このとき、道路交通流解析において「需要変動型の利用者均衡」状態を前提とする点は、これまでの検討内容と同様である。したがって、リンクパフォーマンス関数、OD間の逆需要関数は同様の設定が用いられている。

本例では都市高速道路は有料道路であり、一般道路は無料であるから、都市高速道路リンクのみ料金が設定される。ここでは、料金額： p （均一料金）として、時間費用（分）の単位で算定されているものとする。このとき、リンク1の走行費用（一般化時間としての算定値）はつぎのようになる。

$$AC_1(x_1) = t_1(x_1) + p$$

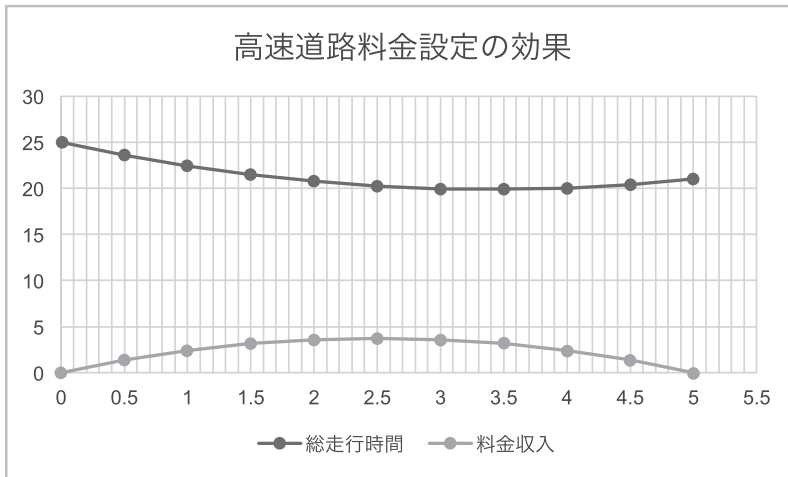
すなわち、都市高速道路料金額の増加は、都市高速道路の実質的な走行費用（一般化時間）の増加として記述できる。そこで、上記の都市高速道路の料金項を含んだリンクパフォーマンス関数を用いて利用者均衡分析を行う。これより、都市高速道路の料金設定は、相対的に都市高速道路の平均費用の増加に対応しており、都市道路網全体の交通均衡状態が変化することになる。

ここでは、都市高速道路の料金額（時間相当額）が変化した場合の利用者均衡配分を

実行した。具体的には、図5にそれぞれの都市高速道路料金（時間相当額）に対応した利用者均衡状態における総走行時間（TC）と都市高速道路の料金収入を示している。

本図より、都市高速道路料金が無料（無課金）であるときは、無料の一般道路だけで構成される道路網の利用者均衡と同様の状態である。このときの都市道路網全体の総走行時間は、すでに算定されており $TC=25$ である。この点から、都市高速道路料金が増加すると、都市道路網全体の平均交通費用が増加して、OD 交通需要量は減少する。一方で、都市高速道路から一般道路への交通量転換が発生して自発的な交通量調整が行われる。これらの総合的な道路交通現象の変化から、都市道路網の総走行時間は減少する。本図では、 $p=0\sim 3.5$ においては、都市道路網の総走行時間が減少している。

図5 都市高速道路料金設定の効果



しかしながら、さらに高額な都市高速道路の料金設定においては、都市道路網の OD 交通需要の減少が発生するものの、一般道路に過大な道路混雑が発生する。したがって、都市高速道路の必要以上の料金設定（本例では、 $p=4.0$ 以上）では、都市道路網全体の総走行時間が増加している。これは、都市道路網全体の道路交通状態を都市高速道路の料金設定に基づいて検討する場合の留意点と考えられる。

また、本例の場合は、前述した一般道路・都市高速道路ともに混雑料金を設定する場合の「システム最適状態」では、都市高速道路の利用台数は、 $x_1 = 31/14$ である。したがって、現実の都市高速道路の料金設定により、都市高速道路の利用台数が減少する場合は、これらの値を基準として、過剰な料金設定を考える根拠になるかもしれない。

いずれにしても、現実の都市道路網においては、全リンクを対象とした混雑料金を設定は、現行では想定することが難しい。この意味から、都市道路網全体の総走行時間最小化を都市高速道路の料金設定から検討することは重要であると考えられる。

また、本図において、同様に都市高速道路の料金収入の変化について検討している。この場合には、都市高速道路料金の増加に伴い、個別車両の料金支払い額は増加するが、都市高速道路利用台数は減少する。したがって、都市高速道路の料金収入についても一定の料金額（本例では、 $p=2.5$ ）の場合にピークが発生することがわかる。このグラフの傾向は、かならずしも都市道路網の総走行時間と同様の変化ではないことがわかる。すなわち、現行の償還原則に基づく受益者負担の原則を踏まえて、都市高速道路の料金収入を考える場合には、別途検討が必要であることがわかる。

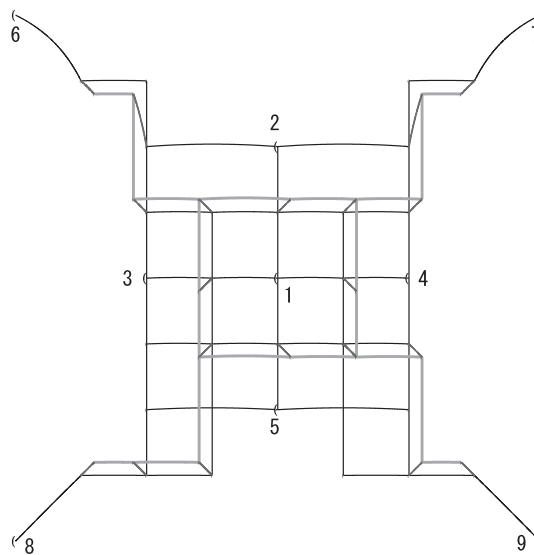
これらの検討結果を踏まえると、都市高速道路料金設定は、混雑料金理論における限界費用価格に基づく社会的最適化に基づいて、現実的な制約条件を考慮した問題であるといえる。

IV 都市高速道路路線別料金に関する適用性の検討

これまでのモデル分析における議論を踏まえて、現実的な都市高速道路の料金設定について検討する。すなわち、混雑料金理論の概念を導入して、都市高速道路の合理的料金の設定を考える。都市高速道路の空間的な交通需要パターンに対応した料金設定として路線別料金を検討する。

図6に具体的な都市道路網の形状を示す。道路ネットワークは、リンク数：88（一般道路48，都市高速道路20，ランプ20）で構成される。また、ノード数：55であり、セントロイド数：9となっている。各セントロイド間にOD交通需要を設定する⁵。

図6 都市高速道路網と一般道路網



5 秋山，井ノ口，奥嶋 [2]

すなわち、OD ペア数：9×8 の OD 交通需要関数を $Q_{rs}(C_{rs}) = \alpha_{rs} - \beta_{rs}C_{rs}$ （線形関数）として定義している。このとき、 C_{rs} は、OD 間所要時間費用に料金額相当の時間を加えた一般化所要時間である。すなわち、一般化所要時間（分）は一般化費用（円）を時間換算したものである。ここで、時間価値を 50 円/分・台としている。

本研究では、基本的な利用者均衡配分のアルゴリズム（FW 法）を用いて計算を実行する。このとき、都市高速道路の料金設定に伴う道路交通流解析を行うことを目的とするため、基本的な利用者均衡配分法に加えて、いくつかの修正を行っている。具体的には、①都市高速道路料金賦課に関する道路ネットワーク表現（仮想ネットワーク）、②都市高速道路の乗り継ぎ利用交通算定のためのアルゴリズム修正などを内包した計算アルゴリズムを利用している。これらの技術的詳細の説明については、関連文献に譲ることとし^{1,6}たい。

都市高速道路の料金設定に関して考察を行うまえに、仮想的な無課金の都市道路網を想定した場合の利用者均衡配分を行った。すなわち、都市道路網に対する基本統計量として、表 1 に仮想的な無課金状態を想定した道路ネットワークに対する利用者均衡状態（UE）とシステム最適状態（SO）の計算結果を示している。

表 1 基本統計量（無課金状態）

	総走行時間（台・時）			利用台数	生成交通量
	一般道路	都市高速道路	全体	都市高速道路	
システム最適	769,233	374,372	1,143,605	774,310	997,956
無課金	773,817	566,207	1,340,024	783,876	1,040,803

すなわち、都市高速道路の料金を無料として、仮想的に都市道路網全体の利用者均衡状態とシステム最適状態を評価したものである。したがって、混雑料金理論に対応させると、総走行時間（全体）は、都市道路網の総交通費用を示していることになる。すなわち、利用者均衡状態（UE）においては、生成交通量が大きく、一般道路・都市高速道路ともに総走行時間が大きい（無課金時の市場均衡状態に対応している）。

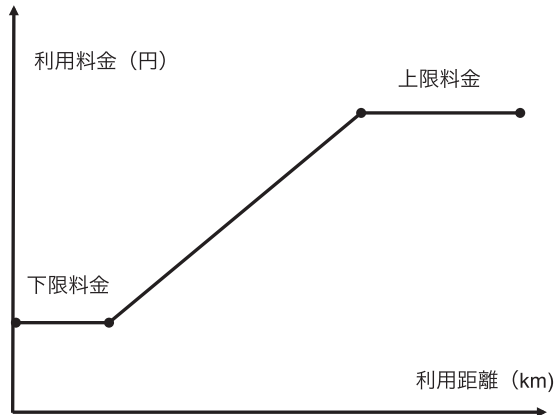
一方で、システム最適状態（SO）は、限界価格費用に基づく最適交通状態に対応しており、需要変動型の総走行時間最小化配分結果に対応している。すなわち、（一般道路区間を含めて）リンク単位の混雑料金を課した場合の最適交通状態に対応している。すなわち、この場合の利用者均衡状態に対する総走行時間の減少分は、混雑料金理論での死荷重損失分に相当している。

つぎに、現時点の都市高速道路に対する「対距離料金」についての評価を実行する。

6 井ノ口, 奥嶋, 秋山 [5]

現行の都市高速道路料金は、全線一律の対距離料金が採用されている。したがって、ここでは現行の阪神高速道路の料金設定（線形型の上限・下限付き料金）を参考として、下限料金 300 円～上限料金 1300 円の線形型の対距離料金を設定した。

図7 対距離料金設定（上限・下限付き料金）



具体的には、都市高速道路ランプ間料金を時間換算した一般化所要時間に基づく利用者均衡配分を行った。これより料金設定時の都市道路網の道路交通状態が算定される。

ここでは、現行の対距離料金制（下限：300 円，上限：1300 円）に対応した都市高速道路の一律対距離料金設定を行う。すなわち、図7の上限・下限付きの線形の対距離料金を想定して、下限値については、200 円・250 円・300 円・350 円・400 円の5ケースを設定する。線形の対距離料金設定において、下限値の設定可能な範囲を想定して、最適な対距離料金関数を特定するものである。このとき、目的関数として都市道路網全体の総所要時間最小化を検討した。具体的には、妥当な都市高速道路の対距離料金設定を行うことで、都市道路網全体の道路交通状態を、無課金状態（利用者均衡状態）から社会的最適状態（システム最適状態）に漸近させることを目的としている。

下限値の各ケースについて利用者均衡配分を実行した結果、下限値：350 円とした対距離料金を設定した場合に、都市道路網全体の総走行時間が最小になることがわかった。本研究では、これを一律の都市高速道路の対距離料金として採用する。表2にこの場合の都市道路網の道路交通状態に関する基本統計量を示している。

本表より、都市高速道路の料金設定は、都市道路網の有料道路としての交通調整機能が考えられる。しかしながら、一般道路の料金は設定されないため、都市道路網全体の交通需要変化（生成交通量）は軽微である。また表1に示された都市道路網全体の総走行時間の期待される変化（死荷重損失分）に対して、この料金設定により得られる社会的改善効果は、約30%程度となっており、システム最適状態に漸近していることがわかる。また、都市高速道路の利用台数は、無課金状態に比べて減少するものの約61万

表2 基本統計量（全線一律料金）

一律料金	総走行時間（台・時）				生成交通量
	一般道路	都市高速道路	全体	改善率	
対距離料金	911,074	370,049	1,281,123	30.00%	1,036,195

一律料金	都市高速道路		
	利用台数	料金収入 （億円）	平均料金支払額 （円/台）
対距離料金	611,243	5.804	949

台の利用が算定されている。さらに料金収入として、約 5.8 億円であり、平均料金支払額は 949 円となっている。

したがって、都市高速道路の対距離料金が設定されると、都市高速道路利用の一般化費用は増加するため、①都市道路網全体の交通需要が減少する、②都市高速道路の一般道路に対する相対的な交通量割合が減少すると考えられる。

つぎに、本研究で提案する「都市高速道路の路線別対距離料金」について考察する。これは、都市高速道路の料金政策において、弾力的料金に分類されるものである。すなわち、都市高速道路に関する空間的な交通需要（OD 交通パターン）に対応する路線別の混雑度の相違に着目したものである。現行の都市高速道路の料金運用においても路線の交通需要に着目した環境ロードプライシングや端末区間料金などが見られる⁷。

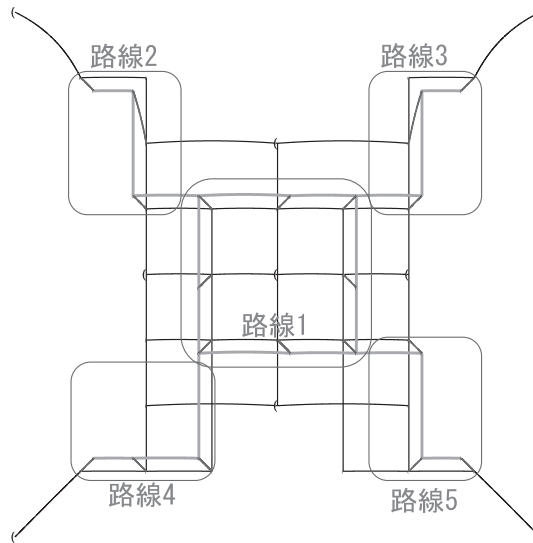
本研究では、都市高速道路の基本的構成として、都心環状線と放射線の形状を想定した分析を実行する。具体的には、図 8 に示すような 5 路線に分割する。路線 1 は都心環状線で、路線 2～路線 5 が放射線に対応している。

ここでは、路線 1～路線 5 ごとに対距離料金の下限料金を設定する。一律の下限料金 300 円に対して、200 円・250 円・300 円・350 円・400 円の 5 ケースを設定する。すなわち、対距離料金関数の形状は同一であり、下限料金の値により平行移動する。一方で上限料金については、複数路線の利用時において一定額となるように本例では現行値（1300 円）を一律に設定した。したがって、各路線について 5 種類の下限料金の設定が可能となるので、合計で $55 = 3,125$ 通りの組み合わせが設定可能である。

ここでは、各路線の都市道路網の総走行時間の最小化を目的として、路線別対距離料金の組み合わせを算定する。すなわち、①路線別の対距離料金関数の組み合わせを設定する、②各路線別料金設定（組み合わせ）に対応する利用者均衡状態を算定する。③都市高速道路網・一般道路網に対する基本統計量を算定する。このような手順の計算過程

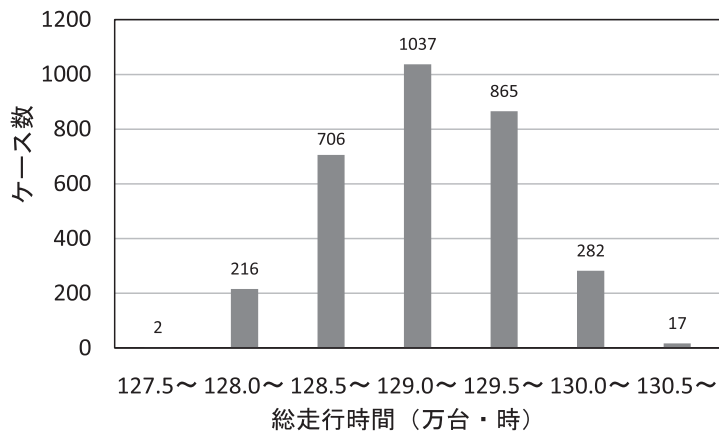
7 角山, 井ノ口, 秋山 [6]

図8 都市高速道路の路線別料金設定



を繰り返して、最終的に都市道路網の総走行時間が最小化された路線別対距離料金の組み合わせを算定した。図9は、各ケースの都市高速道路総走行時間の算定結果の分布を示している。本図より、129万台・時を中心に多数のケースが分布していることがわかる。また、都市高速道路総走行時間が128万台・時以下となる場合は比較的少数であり、道路交通面での有効性が高いことがわかる。

図9 都市道路網の総走行時間



具体的な最適な路線別対距離料金の組み合わせとして、下限料金（路線1：200円，路線2：400円，路線3：400円，路線4：250円，路線5：350円）が算定された。これらは、路線別の交通需要に対応した料金設定が算定されている。

利用者均衡配分の結果算定される区間交通量を用いた路線別の最大混雑度の算定結果からも料金設定の妥当性が検討できる。すなわち、路線2・路線3においては、相対的

に混雑度が大きく（1.75 程度）、結果的に路線別対距離料金が相対的に高額である。

表 3 に、路線別対距離料金を設定した場合の道路交通流に対する基本統計量を示す。

表 3 基本統計量（路線別料金）

路線別料金	総走行時間（台・時）				生成交通量
	一般道路	都市高速道路	全体	改善率	
路線別	921,836	357,725	1,279,562	30.80%	1,036,342

路線別料金	都市高速道路		
	利用台数	料金収入 （億円）	平均料金支払額 （円/台）
路線別	593,864	5.75	968

全線一律の対距離料金の場合と同様に各統計量が算定されている。本表より、全線一律の対距離料金（表 2）の場合に比べて、都市道路網全体の総走行時間は小さい値である。一方で、生成交通量（都市道路網全体の交通需要）は若干ではあるが全線一律対距離料金の場合より大きい値となっている。すなわち、路線別対距離料金の設定により、都市道路網全体の交通需要の低下が減少して、社会的最適状態（システム最適状態）に漸近していることがわかる。ただし、都市高速道路の利用台数は、全線一律の対距離料金の場合より減少しており、一方で平均料金支払い額は若干増加していることがわかる。この場合も全線一律の対距離料金では出現しない都市高速道路料金の構成パターンが算定されたものと考えられることができる。

このように、全般的には路線別対距離料金の導入により、都市高速道路の路線別の交通需要に対応した弾力的な料金運用の可能性が示された。

V おわりに

都市高速道路の料金設定は、現在の都市道路網の自律的交通調整としての料金政策の中心的課題である。本研究では都市高速道路と一般道路で構成される都市道路網に関して、道路交通流に関する利用者均衡分析と混雑料金理論と整合的な数理モデルの定式化について述べた。これより、道路ネットワークにおける最適交通状態（システム最適）は、リンク単位の混雑料金設定に対応することがわかる。したがって、一般道路は無料で都市高速道路が有料で運用される現実の都市道路網においては、都市高速道路の料金設定が一定の自律的交通調整機能を持つことが簡単なモデル分析より示された。

さらに本研究では、現実的な都市高速道路料金設定に関して、従来の都市高速道路全

体に一律の対距離料金設定に対して、空間的な交通需要パターンに着目した「路線別対距離料金」の適用性について考察を行った。これらの分析結果から、路線別対距離料金の適用可能性は示されたが、かならずしも都市高速道路の最適料金政策が提案できたとはいえないことから、今後都市高速道路料金設定に対する多面的な検討が必要である。

また最終的に都市高速道路の料金政策に関して、現行の情報通信技術の進展を踏まえて、時間帯別料金問題、車種別料金問題、乗り継ぎ交通問題など各種の自律的な交通調整機能が検討できる。また、道路交通流解析の高度化の点から、深層学習などの AI 技術、群知能などのメタヒューリスティック技術の導入が今後の課題として挙げられる。

なお本研究の遂行にあたり、需要変動型利用者均衡配分に基づく道路交通流算定においては、関西大学環境都市工学部井ノ口弘昭准教授に多大なご協力をいただいた。ここに記し感謝の意を表する次第です。

参考文献

- [1] Sheffi, Y., (1985) Urban Transportation Networks: Equilibrium analysis with Mathematical Programming Methods, Prentice-Hall, Inc.
- [2] 秋山孝正, 井ノ口弘昭, 奥嶋政嗣: 都市高速道路のゾーン別対距離料金の適用可能性に関する検討, 交通学研究, pp.245-254, 2011.
- [3] 秋山孝正, 井ノ口弘昭, 奥嶋政嗣: 交通調整を意図した都市高速道路の対距離料金設定に関する検討, 交通学研究, No.57, pp.97-104, 2014.
- [4] 秋山孝正編著: すぐわかる計画数学, コロナ社, 2018.
- [5] 井ノ口弘昭, 奥嶋政嗣, 秋山孝正: 都市高速道路における路線別対距離料金の適用可能性の検討, 交通工学論文集, Vol.2, No.4, pp.A 9-A 15, 2016.
- [6] 角山雅人, 井ノ口弘昭, 秋山孝正: 蟻コロニー最適化に基づく都市高速道路の路線別料金設定, 土木学会関西支部年次学術講演会, IV-16, 2021.
- [7] 文世一: 混雑料金と交通量配分, 土木計画学・論文集, No.11, 113-120, 1993.