

シミュレーションモデルを用いた混雑料金の算定 Calculation of Congestion Pricing by Using a Simulation Model

五井直輝**・秋山孝正***
By Naoki GOI and Takamasa AKIYAMA

1. はじめに

近年、自動車交通の利用が進み、わが国の都市高速道路における混雑問題は深刻化している。これに対し各種の交通管理の方法が検討され、技術面からは流入制御、経路誘導などの交通管理方策が行われている。

一方で、交通混雑と道路利用料金との関係から、多くの経済学的考察が行われ、道路交通に対する混雑料金の賦課などの交通調整策が検討されている。

このような料金政策を検討するためには、現実の交通混雑現象を把握することが必要である。特に区間交通量は時間と相対的な位置より決定づけられる。ある路線全体を対象とする場合には、非定常な交通流を前提とした検討が必要である。

本研究では非定常な交通流を記述するため、渋滞シミュレーションを用いる。これにより都市高速道路を対象とした混雑料金水準の算定をおこなうとともに、混雑料金の徴収可能性について検討する。

2. 交通密度からみる混雑料金

経済学においては、混雑の激化による交通費用の増加を道路利用者間の外部不経済と考える¹⁾。外部不経済による損失が道路利用者によって適正に負担されないために、交通量が過剰となる。そこで、この外部不経済分を混雑料金として利用者に課すことで費用負担の適正化を目的とする混雑料金理論が考えられている。

従来の経済学説においては、交通量を変数として定式化した混雑理論が一般的であった。すなわち平均交通費用関数 $C(Q)$ 、社会的限界費用関数 $SMC(Q)$ 、交通需要関数 $P(Q)$ にもとづいた理論である。

つまり $C(Q)$ より $SMC(Q)$ を導き、交通需要関数との交点に対応する交通量が最適であるとする。このよう

な最適状態を達成するため、 $SMC(Q)$ と $C(Q)$ との差に等しい混雑料金を徴収する。

しかし、現実には交通量が最大容量を越え、 $C(Q)$ が反転する領域がある。このような状態は「超混雑」と呼ばれる。超混雑領域は社会的に非効率であり、最大交通容量以下の場合に対して議論されている。

一方、近年交通密度を変数として定式化する混雑理論が考えられている²⁾。図-1 は交通密度-費用平面に平均交通費用関数 $C(K)$ 、社会的限界費用関数 $SMC(K)$ 、交通需要関数 $P(K)$ を示したものである。ここで

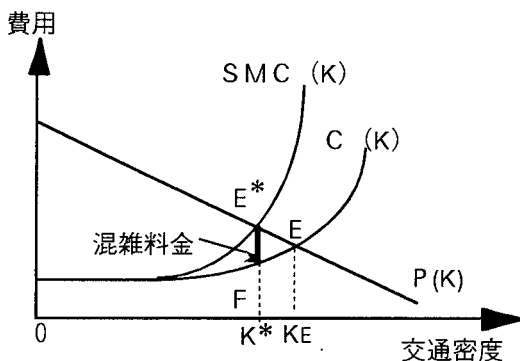


図-1 交通密度-費用平面でみた混雑料金

限界費用関数 $SMC(K)$ はつぎのように求められる。

$$SMC(K) = \frac{d(C(K) \cdot K)}{dK} = C(K) + C'(K)K \quad (1)$$

このとき、平均交通費用関数 $C(K)$ は単調増加関数として表現できるため、ある交通密度 K に対して一意に最適点が求められる。したがって、混雑料金は図-1 に示すように $E^* \sim F$ として表現される。

3. 非定常交通流での混雑料金の算定

3-1 渋滞シミュレーションモデル

本研究では非定常な交通現象を記述するため阪神高

* キーワード：交通管理、混雑料金、渋滞シミュレーション

** 学生会員 岐阜大学大学院土木工学専攻

*** 正会員 岐阜大学工学部土木工学科

(〒501-11岐阜市柳戸1-岐阜大学工学部)

(TEL 058-293-2443 / FAX 058-230-1528)

速道路の旅行時間予測のため構築・実用化された渋滞シミュレーションモデルを利用する³⁾。対象路線は阪神高速道路堺線りである。この路線は阪神高速道路の典型的な形状の放射線である。また、路線延長は約12 kmであり、シミュレーションモデルにおいては500 mごとの24区間分割している。この対象路線の概要を示したものが図-2である。

モデルの主要な計算概念は、上流区間から下流区間に流れる車群台数を流出需要量と受け入れ可能交通量との関係から求めるものである。具体的な計算手順をつぎのようにまとめることができる。

- ① 区間の交通状態は一樣であると考え、区間を単位として交通状態の変化を取り扱う。
- ② 各区間に交通密度－走行速度特性が与えられており、この関係を用いて車両を進行させる。
- ③ ある時刻の区間存在台数は、1単位時間（20秒）前の、当該区間の存在台数、上流区間からの流入台数、および流出台数によって決定される。
- ④ 車両は1単位時間前に下流方向に最大1区間だけ進み、2区間以上は進行しないものとする。
- ⑤ 区間の交通状態の推定は、下流区間から上流区間に向かって行われる。

この手順にしたがって実際に計算をおこなうためには各オンランプ交通量、オフランプ交通量と関連する区間全11地点の5分間交通量のデータが必要になる。

つぎに昭和60年11月28日午前9時台の堺線り上の渋滞延伸状況とモデルによる予測の結果を図-3に示す。堺集約料金所付近で若干、過大評価されているが全体としては良好な現況再現結果が得られている³⁾。

3-2 費用関数、需要関数の設定

まず平均交通費用関数 $C(K)$ のうち時間費用のみを考え、これを $C_t(K)$ とする。この渋滞シミュレーションモデルにおいては区間ごとに交通密度－走行速度(K - V)関係が設定されている。具体的には構造的な意味から堺集約料金所～芦原オフランプ間、芦原オフランプ～環状線合流部間の2種類の関数が設定されている。したがって、これらの関数から $C_t(K)$ 、およびその限界費用関数 $SMC_t(K)$ が算出できる。

本研究では有料道路を考えているので交通費用には時間費用だけでなく利用料金も含まれる。したがって、図-1に示される交点Eおよび交点E*では、それぞれつぎに示すような関係が成立している。

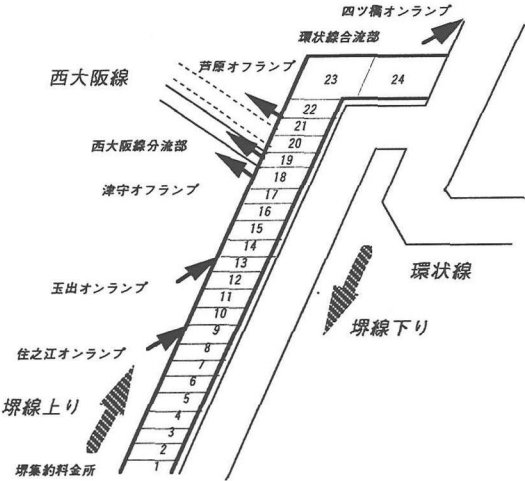


図-2 モデルの区間表示（堺線り）

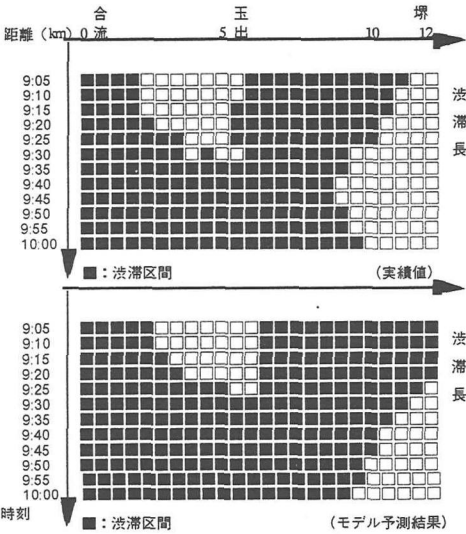


図-3 渋滞現況・現況再現結果（午前9:00台）

$$C(K)=C_t(K_E)+R=P(K_E)\cdots(2)$$

$$SMC(K)=SMC_t(K^*)+R=P(K^*)\cdots(3)$$

R：利用料金

つぎに区間ごとに交通密度 K に関する交通需要関数 $P(K)$ を設定する。交通需要関数をパラメータ α 、 β を用いてつぎに示すような線形関数で表現する。

$$P(K) = \alpha + \beta \cdot K \quad \dots (4)$$

ここで阪神高速道路公団の調査より得られた堺線の平成元年・平日の道路利用料金に対する交通量の弾性値を用いる⁴⁾。すなわち、

$$e = -\frac{\Delta Q/Q}{\Delta P/P} = 0.2588 \quad \dots (5)$$

つぎに(5)式に調査時における道路利用料金 500 [円]、日平均交通量 38,100 [台/日] (堺線上り堺集約料金所～住之江オンランプ平日)を代入と $P(Q)$ の Q に対する変化率 ($dP/dQ = -0.0507$) が求められる。

これより(4)式の β が得られる。

$$\beta = \frac{dP}{dK} = \frac{dP}{dQ} \cdot \frac{dQ}{dK} = -0.0507 \cdot \frac{dQ}{dK} \quad \dots (6)$$

さらに均衡点付近の dQ/dK を設定するために渋滞シミュレーションを用いた。まず対象区間 (堺集約料金所～住之江オンランプ) の日平均交通量 (38,100 [台/日]) に午前9時台の時間係数 5.5 をかける。これより当該区間の時間平均交通量が 2,306 [台/時] となり、この状態を再現する。つぎに流入交通量が 10% 増加した場合には 2,537 [台/時] となる。両者の差を微小変化 ΔQ (210 [台/時]) とする。これに対応する平均交通密度の微小変化 ΔK は $48.49 - 38.22 = 10.27$ [台/km] である。したがって、

$$\frac{dQ}{dK} = \frac{\Delta Q}{\Delta K} = \frac{210}{10.27} = 20.4479 \quad \dots (7)$$

ここで(7)式を(6)式に代入すると、パラメータ $\beta = 24.8810$ となる。

つぎに各区間ごとの交通需要関数を設定する。変化率 β は一定値とする。パラメータ α は区間ごとに变化させる。具体的には(2)式の関係にシミュレーションで算出される現在の区間交通密度を代入して、各区間の α が決定される。つまり各区間の交通需要関数はそれぞれ平行移動した直線で図-4に示すようである。

$$P(K) = \alpha - 24.8810 \cdot K \quad \dots (8)$$

3-3 混雑料金の算出

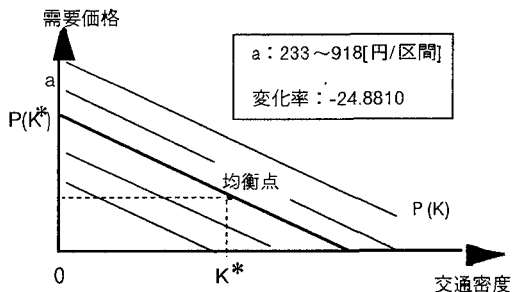


図-4 各区の交通需要関数の概要

つぎに混雑料金の算出結果について述べる。(3)式が示す関係に、さきに導出した社会的限界費用関数 $SMC(K)$ 、交通需要関数 $P(K)$ を代入することで各区間の最適交通密度 K^* が得られる。最適交通密度 K^* が達成されるような交通状況下における $P(K^*)$ 、 $C(K^*)$ の差として混雑料金が算出される。

これらの手順により得られた諸数値(1994年:午前9時台)を表-1に整理した。混雑料金の欄で斜線部は40 [円/区間]以上のものを示している。玉出オンランプ付近や環状線合流部付近では現在の交通密度が大きいため需要価格と平均交通費用の乖離幅が大きい。このため混雑料金も大きく算出されている。

表-1 各指標値の計算結果(1994年午前9時台)

区間番号	最大需要価格 a [円/台]	最適交通密度 K [台/km]	交通需要価格 P [円/区間]	平均交通費用 C [円/区間]	混雑料金 [円/区間]
1	248	7.33	66	38	28
2	240	7.02	65	37	28
3	233	6.75	65	37	28
4	249	7.37	66	38	28
5	242	7.09	66	38	28
6	334	10.65	69	39	30
7	337	10.77	69	39	30
8	351	11.31	70	39	31
9	508	17.34	77	42	35
10	535	18.37	78	43	35
11	667	23.38	85	46	39
12	739	26.08	90	48	42
13	739	26.08	90	48	42
14	803	28.47	95	49	46
15	811	28.77	95	49	46
16	806	28.58	95	49	46
17	833	29.58	97	50	47
18	580	20.08	80	44	36
19	918	32.71	104	52	52
20	665	22.92	95	53	42
21	677	23.37	96	54	41
22	607	20.75	91	52	39
23	615	21.05	91	52	39
24	662	22.81	94	53	41
TOTAL					900

また各区間の混雑料金(1994年)を図-5に示す。住之江オンランプ付近から混雑料金の算出値は増加し、

玉出オンランプ付近からは 40 [円 / 区間] を越えている。これは、阪神高速道路堺線上下においては玉出オンランプ付近の渋滞が著しいことに起因する。区間別混雑料金の最小値は 28 [円 / 区間]、最大値は 52 [円 / 区間] となり、これらの値を参考とすると、路線全体では 672 [円 / 12km] ~ 1,248 [円 / 12km] という水準になるものと考えられる。

4. 実用面における混雑料金

前章における混雑料金の算出過程で各区間の最適交通密度が求められた。しかしながら、現実はこの交通状態を実現することは不可能である。なぜなら、高速道路では流入、流出地点が限定されており、任意区間での独立した交通需要の変化が生じないからである。

ここでは各区間の最適交通密度に最も近似した状態をシミュレーションを用いて再現した。現行流入交通量（午前 5 時以降の交通量）と流入交通量が 15% 減少した場合（[28,305 台 / 日] に対応）との間を 1% ずつ変化させた。ここでは各区間の最適交通密度と算定された交通密度の偏差の総和が最小となる場合を抽出した。この状態は流入交通量 10 パーセントの減少時である。このような実現可能な各区間交通密度と前章で算出された最適交通密度との相違を図-6 に図示した。

このときの交通状態（流入交通量 90%）に対して、さきのような各区間が独立した混雑料金として求めると路線全体で 1,126 円 となる。前章ではこれに対応する値は 900 円 である。この考え方にもとづいて混雑料金が賦課された場合、本章で検討した交通状況に類似する可能性が高い。したがって、環状線合流部付近の区間においては、目標以上に混雑が緩和されることになる。これは混雑料金による調整前の各区間の混雑状況の相違に起因している。

5. おわりに

本研究では都市高速道路の混雑問題に対して、交通密度を変数とした混雑理論を紹介した。交通流の非定常性を考慮するために渋滞シミュレーションモデルを用いた。阪神高速道路堺線上下を対象として各区間の交通密度から混雑料金の算定をおこなった。さらに都市高速道路の構造を考慮した計算もおこなった。

今後の課題として、つぎのような 3 点が挙げられる。

- ① 本研究以外の時間帯についても分析をおこなう。この結果、時間帯による混雑料金の変化を検討する。

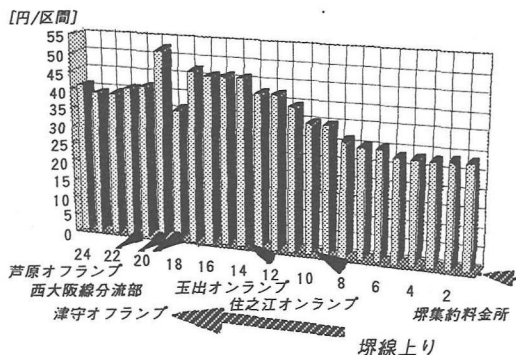


図-5 区間別混雑料金（1994年 午前 9 時台）

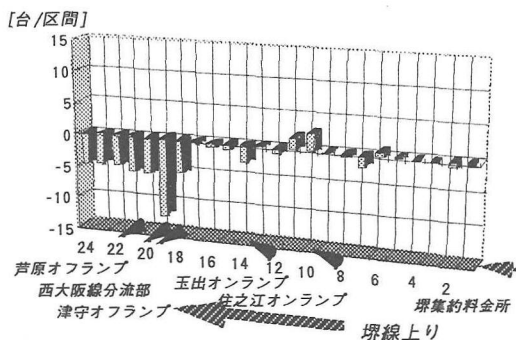


図-6 各区間の実現可能な交通密度との相違

- ② 計算においては線形の交通需要関数だけでなく経済理論的背景と現実にもとづいた設定をおこなう。

- ③ 現実面から、混雑料金によって得られる収入について利用者への公平な再配分方法を検討する。

最後に本研究を遂行するにあたり、資料収集に御協力いただいた阪神高速道路公団・（株）都市計画研究所に感謝の意を表します。また研究における理論的検討に関して適切な御指摘をいただいた、大阪国際大学 山田 浩之先生をはじめ日本交通工学研究会「混雑問題研究会」の皆様にも感謝の意を表する次第です。

参考文献

- 1) 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
- 2) 文世一, 超混雑の経済学的分析に関する一考察, 高速道路と自動車, 第36巻, 第9号, pp.16-22, 1993
- 3) 佐佐木 綱, 都市高速道路の旅行時間予測システムによる情報提供に関する研究, 平成3年度科学研究費補助金・試験研究(B)(1)研究成果報告書, 1993
- 4) 阪神高速道路公団, 阪神高速道路の料金弾力性に関する調査研究報告書, 1994