

混雑料金と交通量配分*

Congestion Tolls and Traffic Assignment

文 世 一**

By Se-il Mun

This paper focuses on the role of the congestion toll as a measure to achieve the efficient traffic assignment. I formulated a second best policy that requires toll collection only for expressway, while the optimal(or first best) assignment requires collection for all road section in a city. The performance of the second best policy is evaluated through comparison with the no toll equilibrium, the first best optimum, and the marginal cost pricing solely for expressway. Furthermore, I extended the model to incorporate user heterogeneity and carried out similar analyses.

The results are summarized as follows:

(1)The second best toll is derived that is the congestion effect on expressway minus weighted average of congestion effects on all other roads. (2)The second best policy reduces total travel cost considerably compared to the no toll equilibrium, while user expenses for that policy are smaller than for the first best optimum. (3)When there are heterogeneities among drivers, the efficiency gains from toll policies are greater than the case of homogenous drivers. These efficiency gains for the case of heterogenous drivers cannot be achieved by the physical control methods such as on-ramp control.

1. はじめに

都市における交通混雑を緩和するために、信号制御や高速道路の流入制御などの交通工学的手段に関する研究が進んでおり、一部は実用化されている。一方、経済学の立場からは1960年代以来、混雑税に関する膨大な研究の蓄積があるが、これらの研究から導かれた提言はほとんど現実の混雑対策に反映されていない。その大きな原因としては、混雑税が社会的には効率的であっても、利用者の金銭的負担を増加させるため社会的合意が得られにくいという問題があげられる。しかしそれだけではなく、従来の混雑税に関する研究があまりにも単純な状況のみを想定したものであるため、そのままでは実際に適用できる段階にないということも指摘できる。

混雑税に関する既存の典型的な文献は、単一の、しかも均質な道路区間を対象とした分析に終始するものがほとんどであった。一方、実際の都市では様々な長さ、容量を持った道路がネットワークを構成しており、道路利用者はそれぞれの行動基準に従って経路を選択することになる。したがって混雑税を導入するためには、どの道路でいくらの料金を徴収すべきかを計算する必要がある。

本研究では、混雑料金がネットワークへの交通量配分に及ぼす効果に着目する。従来の混雑税に関する研究は、トリップ数を削減するための手段としての側面のみが注目されていたが、望ましい交通量配分を達成する手段としても有効であると考ええる。一般に混雑の外部的性がある場合、ドライバーの自由な経路選択の結果達成される道路網の交通流均衡は社会的に効率的ではないが、この状態を改善する手段としての混雑料金の役割にはあまり注目されていない。たとえば経済学者による最近のレビュー^{(1),(2)}にお

* キーワーズ：混雑料金、交通量配分、改善

** 正会員 工博 東北大学助教授 大学院情報科学研究科
(〒980 仙台市青葉区片平2丁目1-1)

いてもこの問題に関する言及は見当たらない。実際には、少数ではあるが、混雑税と交通量配分を同時に考慮した研究がいくつか行われている。それらの研究では、すべての道路において混雑の外部効果に等しい額の料金を徴収することによって、効率的な交通量配分を達成できることが示されている³⁾。また、所要時間の確率の変動を考慮した混雑税の計算方法に関する研究も行われている⁴⁾。最近、Amottらは、出発時刻選択を内生化するとともにボトルネックにおける待ち行列を考慮したモデルによって混雑料金の分析を行っており、このモデルを経路選択や複数タイプの利用者を考慮できるよう拡張している⁵⁾⁶⁾。彼等の研究では最善ばかりでなく次善の料金政策も取り扱っているが、そこでは出発時刻に影響を及ぼすような料金政策に主たる関心が払われており、経路選択を誘導するという視点からの政策分析は不十分である。さらに彼らの想定している料金政策の実現可能性はあまり高くない。というのは、Arnottらの考える最適（あるいは次善でも）料金を計算するためには各ドライバーの出発時刻と到着予定時刻（通勤の場合には始業時刻）を知らねばならないが、実際に料金を徴収する際、交通管理者が各ドライバーに逐一訊ねることは困難であり、ドライバーの方も正直にそれを表明するインセンティブを持たない。

以上述べた既存の研究で提案された料金システムはいずれも、すべての道路で料金徴収を行うことを求めている。しかしすべての道路の分岐点や交差点にチェックポイントを設けて料金を徴収することは不可能でないにしても、そのために要する労力や資源の大きさを考えると合理的な手段とはいえない。そこで次善の策として、現在においてもすでにいくらかの料金徴収が行われている高速道路料金に着目する。

本研究では、ドライバーの経路選択肢の中に高速道路リンクが含まれているときの最適な高速道路料金を導出する。そしてこのような料金設定がドライバーの経路選択に影響を与え、最善でなくても、混雑の緩和に有効であることを示す。また、このような料金システムと混雑料金を徴収しない場合、あるいはその他のいくつかの料金政策のもとでの社会的費用を比較することにより、提案する料金システム

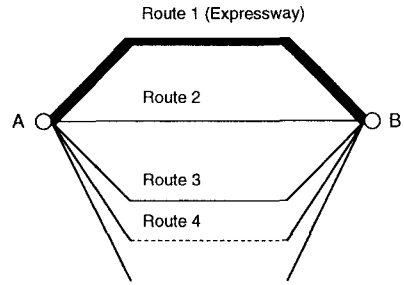


図-1 分析対象道路システム

の有効性を検討する。さらにドライバーの時間評価値が異なる場合についてモデルを拡張し、同様の分析を行うこととする。

2. モデル

最も単純な状況を想定する。図-1に示すように、空間的に離れた二つの地点A、Bの間に高速道路が一本、そして一般路がI-1本存在するものとする。AからBへの交通需要はMであり、交通手段は自動車のみであると仮定する。したがって各トリップメーカー（＝ドライバー）は上記のI本の道路の内いずれかを通して目的地へ向かう。各経路を通過するのに要する費用は所要時間に比例する時間費用（走行費用）と、道路料金の和として定義される一般化費用である。所要時間は通過交通量の関数であり、 $t_i(x_i)$ と表すものとする。ここに x_i は経路iを利用する交通量である。そして $t_i(x_i)$ は x_i の増加凸関数であると仮定する。各ドライバーは、一般化費用の最小となる経路を選択する。そして均衡に達したとき、どのドライバーも経路を変更する誘因を持たないので、利用されているすべての道路の一般化費用は等しくなる。

(1) 無料金均衡

高速道路を含め、すべての道路で料金が徴収されない場合、各ドライバーは時間費用のみを考慮する。均衡が達成されたときに各経路で等しくなる時間費用を C^e と表せば、均衡条件は次のように定式化される。

$$\text{if } x_i > 0, \quad c_i(x_i) = C^e \quad (1a)$$

$$\text{if } x_i = 0, \quad c_i(x_i) > C^e \quad (1b)$$

$$\sum_{i=1}^I x_i = M \quad (2)$$

ここに

$$c_i(x_i) = w t_i(x_i) \quad (3)$$

であり、 w はドライバーの時間評価値である。

(2) 最適な交通量配分

最適な交通量配分とは、 M 台の車両がAからBまで走行するのに要する総費用を最小化するような配分方式であると定義する。したがってこれは効率性の観点から見た最適ということである。

解くべき問題は

$$\text{Min} \sum_{i=1}^I c_i(x_i) x_i \quad (4)$$

$$\text{subject to} \sum_{i=1}^I x_i = M \quad (2)$$

$$x_i \geq 0, \quad i=1,2,\dots,I \quad (5)$$

である。Lagrange乗数法により上の問題の最適条件を求めると、次のようになる。

$$x_i > 0, \quad c_i(x_i) + c'_i(x_i) x_i = C^* \quad (6a)$$

$$x_i = 0, \quad c_i(x_i) + c'_i(x_i) x_i > C^* \quad (6b)$$

および(2)。

ここに C^* は制約条件式(2)に関するLagrange乗数である。上の式の左辺の第2項は、その道路を利用するある一台の車が、同じ道路を走行するすべての車に及ぼす混雑の外部効果である。各ドライバーはこのような外部効果を認識せずに経路選択を行うために、効率的な交通量配分が達成されないのである。上の条件はまた、すべての道路で外部効果(=左辺第2項)に等しい額の料金を徴収すると、(時間費用+料金)により定義される一般化費用に関する利用者均衡のもとで最適な交通量配分が達成されることを意味している。しかし、1. でも述べたように、すべての道路に料金所を設置し、料金を徴収することは困難であるばかりでなく、社会的に容認もされ難いであろう。

(3) 高速道路料金による次善の交通量配分

(1) で述べたような自由な経路選択による均衡では非効率な交通量配分をもたらすことがわかった。一方、(2) で示した最適な交通量配分を実現することもきわめて困難である。しかし交通混雑による経済損失は莫大であり、これを放置することは許されることではない。そこで現実的な方策として、現在でもすでに料金徴収の行われている高速道路料金を操作することを考える。これによって、最適とはいかないまでも次善の交通量配分を達成することをめざす。高速道路のみで料金徴収が可能な状況を考慮した次善の問題についてはすでに清野・金本⁷⁾に

おいて指摘されていたが、そこでは具体的な定式化や分析は行われていない。また本モデルでは、経路が3本以上ある一般的な状況を考慮している。

次善の問題では、高速道路以外の道路において料金が徴収されずまた何等の交通規制もないので、等時間(費用)原則による利用者均衡が達成されている点を考慮する必要がある。

解かれるべき問題は次の通り

$$\text{Min}_{x_i, C^{**}} \quad (4)$$

$$\text{subject to} \quad x_i (c_i(x_i) - C^{**}) = 0 \quad i=2,3,\dots,I \quad (7)$$

$$c_i(x_i) \geq C^{**} \quad i=2,3,\dots,I \quad (8)$$

and (2) (5)

ここに C^{**} は高速道路以外の道路における利用者均衡時の走行費用である。すなわちこの問題は、(2)における最善の場合の問題に、高速道路以外の道路網における利用者均衡(等時間)条件(7)(8)を制約として付加したものである。このような制約が付加されるため最善の交通量配分よりもいくらか劣った解しか得られないという意味で「次善」なのである。

最適化の一階の条件は

$$c_1(x_1) + c'_1(x_1) x_1 - \lambda + \tau_1 = 0 \quad (9)$$

$$c_i(x_i) + c'_i(x_i) x_i - \lambda + \rho_i \{c_i(x_i) - C^{**} + c'_i(x_i) x_i\} + \mu_i c'_i(x_i) + \tau_i = 0, \quad i=2,3,\dots,I \quad (10)$$

$$\sum_{i=2}^I (\mu_i + \rho_i x_i) = 0, \quad i=1,2,\dots,I \quad (11)$$

ここに λ , ρ_i , μ_i , τ_i は、それぞれ制約条件式(2), (7), (8), (5)に関するLagrange乗数である。これらの式を整理することにより、次が導かれる。

if $x_1 > 0$,

$$c_1(x_1) + c'_1(x_1) x_1 - \sum_{i=2}^I r_i c'_i(x_i) x_i = C^{**} \quad (12a)$$

if $x_1 = 0$,

$$c_1(x_1) + c'_1(x_1) x_1 - \sum_{i=2}^I r_i c'_i(x_i) x_i > C^{**} \quad (12a)$$

$$\text{if } x_i > 0, \quad c_i(x_i) = C^{**} \quad i=2,3,\dots,I \quad (13a)$$

$$\text{if } x_i = 0, \quad c_i(x_i) > C^{**} \quad i=2,3,\dots,I \quad (13b)$$

ここに

$$r_i = \frac{1/c'_i(x_i)}{\sum_{k=2}^I 1/c'_k(x_k)} \quad (14)$$

式(13)の左辺第2項は高速道路における一台の追加的利用によって生じる混雑の外部効果であり、第3項は他のすべての道路に関する外部効果の重み付き平均である。重みは(14)式により計算される r_i である。

第3項は、一台の車が高速道路を利用することによって一般道路の混雑が緩和される効果と解釈できる。上の条件は、(12)式左辺の第2項と第3項の差に等しいだけの料金を高速道路の入り口で徴収すれば、(時間費用+料金)に関する利用者均衡のもとで、次善の交通量配分が達成できることを示している。なお、利用可能な経路が2本のみである場合、最善と次善の交通量配分は一致する。

上で示した最善および次善の最適化問題はいずれも料金が計画変数として含まれておらず、また高速道路と他の道路との間の利用者均衡のメカニズムも組み込まれていないが、最適条件を利用者均衡の概念に対応させて解釈することによって上述のような料金システムを導いたのである。高速道路料金と、一般化費用に関する利用者均衡を明示的に組み込んだ形で、次善の問題を定式化すると次のようになる。

$$\begin{aligned} & \text{Min}_{x_i, p_1, C^{**}} \quad (4) \\ & \text{subject to} \quad x_1 (c_1(x_1) + p_1 - C^{**}) = 0 \quad (5) \\ & \quad \quad \quad c_1(x_1) + p_1 \geq C^{**} \quad (6) \\ & \quad \quad \quad \text{and (2) (5) (7) (8)} \end{aligned}$$

新しい制約条件は、高速道路における走行費用に料金を加えた一般化費用が他の経路における走行費用と均衡していることを意味する。この問題の計画変数としては、 x_1 、 C^{**} とともに p_1 が加えられる。ところがこの問題の最適条件を求め整理すると(9)(10)(11)と同じ形になることが容易に示される。すなわち後者の問題は、前者に比べて制約条件や計画変数の数が増加するが、結果的には同一の問題を解いていることになる。

(4) 高速道路における限界費用料金の賦課

もう一つの高速道路料金の考え方は、高速道路においてのみ混雑の外部効果に等しい料金を徴収することである。このような方法は経路選択を考慮しない部分均衡的な分析、たとえば坂下・林山⁸⁾による研究において想定されているものである。そこでは混雑料金を導入した場合の高速道路における混雑緩和便益の計測を試みているが、高速道路の利用を断念した車両が一般道路に転換することによってそこでの混雑を悪化させる効果は考慮されていない。したがって高速道路のみの効率性を追及して限界費用料金を徴収することは社会全体としては最適な政策とはいえない。しかしこのような政策が検討対象として取り上げられることは多いと思われるので、その

帰結がいかなるものかを知るため、他の方式との比較検討を行っておく。

高速道路において限界費用料金を徴収される場合の交通量配分は、次の条件式

$$\text{if } x_1 > 0, \quad c_1(x_1) + c'_1(x_1) x_1 = C^m \quad (17a)$$

$$\text{if } x_1 = 0, \quad c_1(x_1) + c'_1(x_1) x_1 > C^m \quad (17a)$$

$$\text{if } x_i > 0, \quad c_i(x_i) = C^m \quad i = 2, 3, \dots, J \quad (18a)$$

$$\text{if } x_i = 0, \quad c_i(x_i) > C^m \quad i = 2, 3, \dots, J \quad (18b)$$

及び(2)によって求められる。ここに C^m は均衡時に利用されるすべての経路で等しくなる一般化費用である。(17)式の左辺第2項が高速道路において徴収される混雑費用である。

3. 交通量配分方式の比較

1本の高速道路と、2本の一般道路から成る道路網を考える。これらの道路条件は表-1のように、

表-1 道路条件

道 路	長さ(km)	容量(台/時)
1 (高速道路)	8.0	2500
2	10.0	1800
3	15.0	1800

また諸パラメータの値を下記のように設定する。

総交通量 $M = 2000$ (台/時)

時間評価値 $w = 2000$ (円)

自由走行速度 $v_f = 60$ (km/h)

また各道路の通過所要時間は次の式によって計算される。

$$t_i(x_i) = t_i^0 \{1.0 + 2.62 (x_i/K_i)^{5.0}\} \quad (19)$$

ここに t_i^0 は自由走行時の所要時間であり、これは(道路長/自由走行速度)によって計算される。また K_i は道路*i*の容量である。

計算結果を表-2に示す。

まず表-2 (a)に示した交通量配分結果について見ると、混雑料金の導入によって高速道路の交通量が減少することがわかる。その分だけ一般道路へ配分される交通量が増加している。また最適と次善の場合の高速道路交通量の差はわずかであるが、次善の場合の方が高速道路の交通量が少ない。

表-2 (b)より、無料金均衡以外の配分方式では、(走行費用+料金)として定義される一般化費用に関して均衡が達成されていることがわかる。なお、最適の場合の混雑料金は、料金差のみが交通量配分

表-2 配分方式の比較

(a) 経路別交通量

道路	長さ	容量	均衡	最適	次善	高速道路のみ 限界費用料金
1	8.	2500.	2023.	1767.	1740.	1506.
2	10.	1800.	1307.	1194.	1353.	1419.
3	15.	1800.	670.	1040.	908.	1075.

(単位: 台/時)

(b) 経路ごとの走行費用と通行料金

道路	均衡	最適		次善		高速道路で限界費用	
	走行費用	走行費用	料金	走行費用	料金	走行費用	料金
1	509.35	389.78	194.45	380.64	162.07	322.12	277.26
2	509.35	445.34	138.90	542.70	0.00	599.38	0.00
3	509.35	584.22	0.00	542.71	0.00	599.38	0.00

(単位: 円)

(c) 各配分方式の評価

	均衡	最適	次善	高速道路のみ 限界費用料金
総走行費用	2037408.12	1827600.62	1888893.12	1979931.25
走行費用+料金	—	2336925.25	2170821.00	2397531.50

(単位: 円)

に意味を持つので、最低料金との差を示している。

表-2(c)における総走行費用とは、(4)式で表わされる目的関数の値であり、時間費用の合計に等しい。一方、走行費用+料金とは、これに総料金収入(支出)を加えたものであり、実際に利用者が負担する額の合計である。総走行費用は、最適の場合、均衡の場合と比べ、約10%減少させることができる。しかし一方で、実際に利用者が負担する総費用(=走行費用+混雑料金)は約14%増加する。混雑料金を課すると社会的な効率性は改善されるが、それ以上に利用者の負担が増えるのである。さらにこのような効率性の改善は、上で見たように交通量を高速道路から一般道路に転換させることによって達成される点にも注目されたい。

次善の場合、総走行費用の低減効果は最適の場合に及ばないが、約7%に達している。また利用者の負担は最適の場合よりも低いので、その点で利用者の不満はいくらか軽減されるものと考えられる。

高速道路のみ限界費用料金を課した場合、総走行費用は無料金均衡の場合よりも低減されるが、次善の場合には及ばない。さらにこの場合、利用者の負担する総費用(=走行費用+料金)は最も大きい。したがって高速道路のみで限界費用料金を徴収することは効率性の観点からも、また利用者の立場から

も支持は得られそうにない。

なお、ここでの状況設定は、高速道路が最短距離の経路となっているが、そうでない場合、次善の高速道路料金はマイナスになることもありうる。

ここで得られた結果は先に設定された特定のパラメータや道路条件のもとでのものであるが、このような条件を様々に変更した場合についても分析を行った。その結果、条件が変わっても定性的な結果には影響しないことが確かめられた。

4. ドライバーの異質性を考慮したモデル

これまでではすべてのドライバーが均質であり、同一の時間価値を持つものと仮定された。しかし負傷したときなど緊急の用がある場合や、時間あたり賃金の高い人などは旅行時間に対する評価値が高くなると考えられる。このような場合、交通量配分や混雑料金はどのように変化するかを調べることにする。ただし自動車の性能や一台の流入による混雑効果はドライバーのタイプに関わりなくすべて同一であると仮定する。その他の設定は上の分析と同様である。

上の分析と同様、均衡、最適、次善の順に各方式の定式化を行うことにする。

(1) 無料金均衡

各ドライバーの自由な経路選択の結果達成される均衡の条件は次の通り

$$\text{if } x_{ij} > 0, \quad c_{ij}(V_i) = C_j^e, \quad j = 1, 2, \dots, J \quad i = 1, 2, \dots, I \quad (20a)$$

$$\text{if } x_{ij} = 0, \quad c_{ij}(V_i) > C_j^e, \quad j = 1, 2, \dots, J \quad i = 1, 2, \dots, I \quad (20b)$$

$$\sum_{j=1}^J x_{ij} = V_i \quad i = 1, 2, \dots, I \quad (21)$$

$$\sum_{i=1}^I x_{ij} = M_j \quad j = 1, 2, \dots, J \quad (22)$$

ここに x_{ij} は道路 i を利用する j タイプのドライバーの数、 V_i は道路 i を利用する総交通量、そして M_j はタイプ j の道路利用者の総数である。また $c_{ij}(V_i)$ はタイプ j のドライバーにとつての、道路 i の走行費用であり、

$$c_{ij}(V_i) = w_j t_i(V_i) \quad (23)$$

により定義される。ここに w_j はタイプ j のドライバーの時間評価値である。また(20式右辺の C_j^e は均衡時にタイプ j のドライバー間で等しくなる走行費用である。

(2) 最適な交通量配分

複数タイプのドライバーが存在する場合の最適な交通量配分は次の問題を解くことによって得られる。

$$\text{Min } \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J c_{ij}(V_i) x_{ij} \quad (24)$$

$$\text{subject to (21), (22) and } x_{ij} \geq 0 \quad (25)$$

最適条件は

$$\text{if } x_{ij} > 0, \quad c_{ij}(V_i) + \sum_{j=1}^J c'_{ij}(V_i) x_{ij} = C_j^* \quad (26a)$$

$$\text{if } x_{ij} = 0, \quad c_{ij}(V_i) + \sum_{j=1}^J c'_{ij}(V_i) x_{ij} > C_j^* \quad (26a)$$

および(21)(22)である。ここで左辺の第2項に等しい額の料金をすべての道路の入り口で徴収することにより、このような交通量配分が達成される。

(3) 高速道路料金による次善の交通量配分

高速道路の通行に対してのみ料金を徴収できる場合の次善の交通量配分は次の問題を解くことによって得られる。

Min (24)

$$\text{subject to } x_{ij} (c_{ij}(V_i) - C_j^{**}) = 0 \quad i = 2, 3, \dots, I \quad (27)$$

$$c_{ij}(V_i) \geq C_j^{**}, \quad i = 2, 3, \dots, I \quad (28)$$

and (21), (22), (25)

最適条件は

$$c_{1j}(V_1) + \sum_{j=1}^J c'_{1j}(V_1) x_{1j} - \lambda_j + \tau_{1j} = 0 \quad (29)$$

$$c_{ij}(x_i) + \sum_{j=1}^J c'_{ij}(V_i) x_{ij} + \rho_{ij} \{c_{ij}(V_i) - C_j^{**}\} + \sum_{j=1}^J \rho_{ij} c'_{ij}(V_i) x_{ij} + \sum_{j=1}^J \mu_{ij} c'_{ij}(V_i) - \lambda_j + \tau_{ij} = 0 \quad i = 2, 3, \dots, I \quad (30)$$

$$\sum_{i=2}^I (\mu_{ij} + \rho_{ij} x_{ij}) = 0 \quad (31)$$

ここに λ_j , ρ_{ij} , μ_{ij} , τ_{ij} は、それぞれ制約条件式(22), (27), (28), (25)に関するLagrange乗数である。これらを整理することにより次が得られる。

$$\text{if } x_{1j} > 0, \quad c_{1j}(V_1) + \sum_{j=1}^J c'_{1j}(V_1) x_{1j} - \sum_{i=2}^I r_i \sum_{j=1}^J c'_{ij}(V_i) x_{ij} = C_j^{**} \quad (32a)$$

$$\text{if } x_{1j} = 0, \quad c_{1j}(V_1) + \sum_{j=1}^J c'_{1j}(V_1) x_{1j} - \sum_{i=2}^I r_i \sum_{j=1}^J c'_{ij}(V_i) x_{ij} > C_j^{**} \quad (32b)$$

$$\text{if } x_{ij} > 0, \quad c_{ij}(V_i) = C_j^{**} \quad i = 2, 3, \dots, I \quad (33a)$$

$$\text{if } x_{ij} = 0, \quad c_{ij}(V_i) > C_j^{**} \quad i = 2, 3, \dots, I \quad (33b)$$

ここに

$$r_i = \frac{1/r'_i(V_i)}{\sum_{k=2}^I 1/r'_k(V_k)} \quad (34)$$

2.(3)と同様、(32)式左辺の第2項と3項の差に等しい額の料金を、高速道路の入り口で徴収することにより次善の交通量配分が達成される。(32)式より、そのような料金がドライバーのタイプに依存しない点に注目されたい。したがって交通管理者が料金を徴収する際に個々のドライバーの時間評価値を知る必要はない。これは料金政策の実行可能性という観点からは、好ましい性質といえる。

5. ドライバーの異質性と料金政策の効果

最も単純なケースとして2種類の時間評価値を持つドライバーが存在する状況を想定する。道路の条件などは3.と同様とし、各タイプの総交通量と時間評価値を次のように設定する。

$$M_1 = M_2 = 1000$$

$$w_1 = 2500, w_2 = 1500$$

ここで時間評価値の平均は、3.におけるものと等しくなるようにした。これは同質なドライバーを仮定した場合との比較を可能とするためである。

(1) 交通量配分方式の比較

数値計算の結果を表-3に示す。均衡の場合、各道路におけるタイプ別構成は一意には決まらないので、表には均等に混在する場合を示している。ただし、各道路の交通量 V_i は一意である。最適および次善の場合、高速道路はタイプ1(時間評価値の高い)のドライバーによって占められ、最も距離の長い道路3がタイプ2のドライバーによって占められる。すなわちタイプ別の分離がなされる。なお、最適の場合のタイプ別構成比は、均衡の場合とは異なり一意に決まるが、次善の場合、高速道路におけるタイプ別構成比のみが一意である。

総走行費用は、何等の対策を講じない均衡の場合と比べ、最適の場合で約13%、次善の場合でも約11%低下する。これは、同質のドライバーを仮定した3.における結果と比べても、大きな改善であるといえる。しかしこれをさらにタイプ別に見ると、タイプ1の総走行時間が混雑料金の賦課によって大きく減少しているのに対し、タイプ2のそれは逆に増加している。混雑料金の賦課は、時間評価値の低いグループをより不利にする。実際にドライバーの負担する費用は走行費用に混雑料金を加えたものであるが、これを見ると、いずれのタイプも混雑料金の賦課によって実質的な負担は増加している。特に

表-3 2タイプのドライバーが存在する場合の数値計算結果

(a) 経路別交通量

タイプ	道路	長さ	容量	均衡	最適	次善
1	1	8.	2500.	1012.	1697.	1691.
	2	10.	1800.	653.	303.	308.
	3	15.	1800.	335.	0.	0.
2	1	8.	2500.	1012.	0.	0.
	2	10.	1800.	653.	906.	1056.
	3	15.	1800.	335.	1093.	944.

(単位: 台/時)

(b) 経路ごとの走行費用と通行料金

タイプ	道路	均衡		最適		次善	
		走行費用	走行費用	料金	走行費用	料金	
1	1	636.66	459.23	223.24	457.11	232.75	
	2	636.70	566.01	116.56	689.89	0.00	
	3	636.70	760.41	0.00	689.92	0.00	
2	1	382.00	275.54	223.24	274.26	232.75	
	2	382.02	339.61	116.56	413.93	0.00	
	3	382.02	456.25	0.00	413.95	0.00	

(単位: 円)

(c) 各配分方式の評価

	タイプ	均衡	最適	次善
総走行費用	All	2037374.62	1757393.75	1813758.62
	1	1273359.12	950706.25	985945.81
	2	764015.56	806687.50	827812.87
走行費用+料金	All	-	2277197.25	2207414.25
	1	-	1364852.00	1379601.25
	2	-	912333.94	827812.87

(単位: 円)

最適の場合、タイプ1よりもタイプ2の負担増が相対的にもまた絶対値としても大きい。次善の場合では、負担の増加率は各タイプではほぼ等しくなり、タイプ2にとつての相対的不便さの程度は軽減される。

多くの場合、時間評価値は所得に比例すると考えられているが、それに従うと、混雑料金の賦課は、低所得層により大きな負担を求める逆進的な政策ということになる。しかし、低所得層にとつても急ぐ用事のある場合もあり、その際の時間評価値は高所得層のそれよりも高くなる可能性もあるので一概にはいえない。

(2) 交通制御による効果との比較

一部の都市高速道路では、交通管制によって高速道路入り口のゲートの一部を閉鎖して流入を制限することが実際に行われている。その際、高速道路へ流入する車のドライバーを選別することができないので、時間価値の高い者も低い者も同時に流入することになる。一方で、高速道路への流入を制限され

た車のドライバーたちの中にも時間価値の高い者と低い者が混在する。交通制御によって可能なことは台数の制御に限定される。

いま流入制御を行うことによって、表-3に示した次善の場合と等しい経路別交通量配分が達成されたと想定しよう。ただし次善の場合と等しくなるのはタイプについて合計した交通量のみであり、タイプ別構成比は異なる。流入制御を行う場合の各経路におけるタイプ別構成は不定であるが、期待値としては均等に混ざっている状態を考えることができる。その場合の総走行費用を計算すると1,892,507円であった。一方、料金政策によって次善の交通量配分が達成されたときには、高速道路がタイプ1のドライバーのみによって利用され、そのときの総走行費用は、表-3によると1,813,758円であった。比較すると流入制御の場合よりも約4.4%減少している。これは高速道路に流入することのできた時間価値の低い車と一般道路の利用を余儀なくされた時間価値の高い車を入れ換えることによって総走行費用の低減が達成されたのである。入れ替えによってさらなる改善がされなくなった状態が表-3に示したタイプ別に分離される交通量配分である。混雑料金を高速道路の入り口で徴収するにすれば、入れ替えを行わなくとも、各ドライバーの自発的な選択行動によって同様の結果を得られるのである。ドライバーにとつても、急ぐときに流入制御によって高速道路の利用を排除されるより、高い費用を払っても早く着く可能性を確保される方が望ましいという考え方もあり得るだろう。流入制御はそのような場合に、時間評価値の高い利用者を排除することによって非効率な結果を招く可能性がある。

6. おわりに

高速道路の料金設定は、主として償還主義の原則が支配的であるが、本稿では料金による交通量配分効果に着目し、その混雑軽減効果について種々の検討を行った。

ここで得られた結果を以下に要約する。

(1) 高速道路料金による次善の交通量配分を達成するためには、高速道路における混雑効果から、一般道路における混雑効果の重み付き平均値を控除した額に等しい料金を徴収すればよい。また、ドライバーの時間価値が異なる場合でも次善の高速道路料金

はタイプ間で差別する必要はない。

(2)次善の交通量配分は総走行費用に関して無料金均衡の場合に比べ一定の効果がある。一方、走行時間+料金によって定義される利用者の負担は最善の場合に比べて小さいことから、利用者の不満もいくらか軽減される

(3)ドライバー間で時間価値が異なる場合、最善あるいは次善のもとでは道路利用の分離が行われ、また同質のドライバーを仮定した場合よりも効率性の改善額が大きい。またこのような改善は、料金が自動的に利用者タイプを選別する機構を持つため可能となったものであり、流入制御などの工学的手段では達成できない。

本稿の分析は、1組のODペアのみを対象としており、道路網の形状も最も単純なものであった。今後は複数ODや、一般的なネットワークについてもモデルを拡張する必要があるが、モデル上の問題にとどまらず実際の適用上の問題についても検討すべきことは多い。

本稿で提案したシステムにおける交通管理者の役割は、各ドライバーに所要時間などの正確な情報と、そのときの最適料金を伝えることによって、ドライバー自らの選択によって望ましい交通量配分の達成を図ることである。このようなシステムは、情報技術の進歩によってけっして夢物語ではなくなりつつあるが、そのような料金システムを実際に適用するにはまだ多くの問題が存在する。たとえば現在、都市高速道路は、均一料金制になっている。これは2カ所で車を止めることによる非効率性や料金所設置の費用などを考慮したためである⁹⁾。一方、都市圏の拡大により、均一料金による不公平がますます大きくなっており、それに対して既存の枠組みに基づいた対策なども研究されている¹⁰⁾。均一料金制のもとで交通量配分を効率化するよう、本稿のモデルを修正することは不可能ではないと思われるが、その場合、混雑緩和の効果は限られたものになるだろう。情報技術の進歩により、2カ所で車を止めなくても料金を徴収するようなシステムや料金徴収業務そのものが効率化される可能性も期待されるので、視点を変え、均一料金制を見直すことも長期的には検討に値すると考える。そのためには、たとえば混雑緩和による便益と料金システム改編のコストを比較す

ることなどが考えられる。

ただし情報技術がいかに進歩しても、完全な情報を与えることは不可能である。したがってドライバーの側でも与えられた情報の不確実性を考慮しながら経路の選択を行うだろう¹¹⁾。一方の交通管理者もそのようなドライバーの反応を勘案しながら料金を設定する必要がある。不確実性と経路選択を考慮した混雑料金の理論を拡張することも今後の重要な課題と考える。

参 考 文 献

- 1) 山内弘隆・竹内健蔵：混雑税理論の展望—経済学の視点、土木学会論文集、No.449、pp.17-26、1992。
- 2) Small, K.A. : Urban Transportation Economics, Harwood Academic Publishers, 1992.
- 3) Smith, M.J. : The marginal cost taxation of a transportation network, Transportation Research, Vol.13B, pp.237-242, 1979.
- 4) 赤松隆・桑原雅夫：確率的利用者均衡条件下での最適混雑料金、土木学会論文集 No.389, pp.121~129, 1988年。
- 5) Arnott, R., de Palma, A. and Lindsey, R. : Departure time and route choice for the morning commute, Transportation Research, Vol.24B, pp.209-228, 1990.
- 6) Arnott, R., de Palma, A. and Lindsey, R. : Route choice with heterogeneous drivers and group-specific congestion costs, Regional Science and Urban Economics, Vol.22, pp.71-102, 1992.
- 7) 清野一治・金本良嗣：交通料金、第1章、奥野正寛・篠原総一・金本良嗣編「交通政策の経済学」、pp.27~47, 1989.
- 8) 坂下昇・林山泰久：首都高速道路1号線に関する便益の測定—混雑料金導入による混雑緩和効果の実証的検討—、応用地域科学研究会1990年度大会報告論文、1990年。
- 9) 飯田恭敬編：交通工学、国民科学社、pp.260-261, 1992年。
- 10) 西井和夫：高速道路におけるチェックポイント通過料金決定方法、土木計画学研究・論文集、No.6, pp.259~256、1988年
- 11) 小林潔司：不完備情報下における交通均衡に関する研究、土木計画学研究・論文集、No.8、pp.81-88、1990年。