

都市高速道路の車種別料金体系に関する検討*

Examination on Vehicle Class Toll Setting of Urban Expressway *

井ノ口弘昭**・秋山孝正***

By Hiroaki INOKUCHI**・Takamasa Akiyama***

1. はじめに

都市高速道路では、料金徴収が簡便になることなどの理由により、均一料金制で運用されている。また、車種区分は普通車と大型車の 2 区分であり、都市間高速道路と比べて少なく、分かりやすくなっている。現在、高速道路の料金体系について議論が活発に行われている。都市高速道路の料金体系の変更は、高速道路利用者のみならず一般道路利用者にも多大な影響を与えるため、社会的便益や環境面も含めて十分な検討が必要である。本研究では、都市高速道路の車種別料金体系の設定について、便益面・環境面も含めて検討する。

2. 都市高速道路の車種別料金設定

(1) 都市高速道路の料金制度

本研究では、都市高速道路の車種別料金について検討するため、阪神高速道路を対象に分析する。阪神高速道路は 16 路線、総延長 242.0km(H.20)で構成される。阪神高速道路は、表-1 に示す通り、現在は 4 料金圏からなる均一料金制で運用されている。このうち、京都線は独立した路線になっているため、本研究では他の 3 料金圏について検討する。

阪神高速道路は普通車と大型車の 2 車種区分で運用されている。普通車区分は、自動二輪車、軽自動車、普通・小型乗用車、普通・小型トラックなどが該当する。また、大型車区分は、最大積載量 5t 以上あるいは総重量 8t 以上の大型トラック、大型バスなどが該当する。現在の阪神高速道路では、表-2 に示す各種割引制度がある。このうち、湾岸線 2 線通し通行券および ETC の環境ロードプライシングは、国道 43 号線・阪神高速 3 号神戸線沿道の気環境改善を目的としたものであり、大型車・一部の貨物車のみが対象である。

*キーワード：交通ネットワーク分析、交通環境、都市高速道路

**正会員、博士（工学）、関西大学 環境都市工学部

(大阪府吹田市山手町3-3-35、

TEL:06-6368-0964、E-mail:hiroaki@inokuchi.jp)

***正会員、工博、関西大学 環境都市工学部

表-1 阪神高速道路の通行料金¹⁾

料金圏	普通車	大型車
阪神東線	700 円	1,400 円
阪神西線 阪神南線	500 円	1,000 円
京都線	450 円	900 円

表-2 阪神高速道路の通行料金割引制度¹⁾

割引制度	割引制度の概要
特定料金	距離が短い区間を対象に通行料金が普通車 150 円～300 円、大型車 300 円～600 円に設定している。
ETC 割引	平日時間帯割引（割引率 20%） 土曜・休日割引（割引率 普通車 30%・大型車 20%） 湾岸線連続利用割引（普通車 100 円引・大型車 200 円引） 環境ロードプライシング（湾岸線利用で大型車など 割引率 30%） 大口・多頻度割引（割引率 3～18%）など
湾岸線通し割引	5号湾岸線の3料金圏を連続して利用する場合、普通車 200 円、大型車 400 円の割引を行う。
湾岸線 2 線通し通行券	大型車のための割引制度であり、5号湾岸線の阪神西線・東線を利用した場合に 200 円の割引を行う。

阪神高速道路を含む都市高速道路では、対距離料金制度の導入が検討されている。

(2) 都市道路網についての設定条件

本研究では、図-1 に示す京阪神都市圏の阪神高速道路を含む道路ネットワークを用いて検討する。図中の赤色の道路区間は阪神高速道路、青色は都市間高速道路、黒色は一般道路を示す。交通量配分に用いる対象リンク数は 6,013、ノード数は 4,092、ゾーン数は 640 である。OD 交通量は平成 11 年度道路交通センサスの OD 調査を基に設定する。各リンク特性を表すリンクパフォーマンス関数は、6 種類の道路種別ごとにパラメータ推計を行った BPR 関数²⁾で定義する。通行料金を時間換算す



図-1 本研究の検討対象道路ネットワーク

る時間価値は、費用便益分析マニュアルに基づき、車種ごとに設定する³⁾。

現在の阪神高速道路の料金について表-2に示した各種 ETC 割引が実施されている。本研究では車種別料金設定の検討を行うことを目的としているため、現行の ETC 割引は考慮しない。したがって、本研究で設定する料金は、現実の料金水準と比べてやや高い値である。

3. 車種を考慮した交通流解析法

本研究で用いる交通流解析手法について検討する。都市高速道路の車種別の料金を検討するため、車種別交通量配分モデルを用いる。この際、通行料金が付加されるリンクでは、通行料金の算定のために車種別リンク交通量の情報が必要である。

通常の確定的利用者均衡配分モデルでは、定式化の際に起点あるいは終点別リンク交通量を用いないため、起点別の交通量を唯一に決めることが出来ない。したがって、リンク交通量の内訳も唯一に決まらない。それに対して、(1)式で示されるリンク変数を用いた確率的利用者均衡配分モデル⁴⁾では、起点あるいは終点別リンク交通量を用いてエントロピー関数を定義しているため、最適解は起点別リンク交通量に関して唯一に決まる。

$$\min Z(x) = \sum_{ij} \int_0^{x_{ij}} t_{ij}(\omega) d\omega - \frac{1}{\theta} \sum_r \{HL(x^r) - HN(x^r)\} \quad (1)$$

$$\text{s.t. } x_{ij} = \sum_r x_{ij}^r, \quad x_{ij}^r \geq 0$$

ただし、

$$HN(x^r) \equiv - \sum_j (\sum_i x_{ij}^r) \ln(\sum_i x_{ij}^r)$$

$$HL(x^r) \equiv - \sum_{ij} x_{ij}^r \ln(x_{ij}^r)$$

ここで、

r : 起点

HL, HN : エントロピー関数

本研究では、この起点別リンク交通量の考え方を車種別に拡張して用いる。本研究で用いる車種別交通量配分の計算手順を図-2に示す。

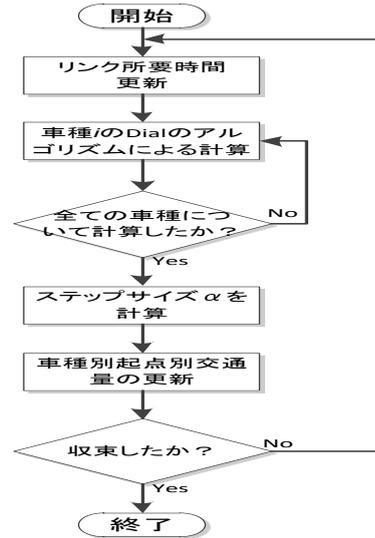


図-2 本研究で用いる車種別交通量配分の計算手順

この計算手順の特徴は、1つのセントロイドを車種で分割して計算することである。これにより、最適解は起点別リンク交通量に加え、車種に関して唯一に決めることができる。したがって、通行料金が付加されるリンクにおいてもリンクの通行料金総額が唯一に計算できる。

各リンクの所要時間を求めるリンクパフォーマンス関数は、入力変数であるリンク交通量の計算の際に換算係数を用いて単車種に変換して用いる。従って、車種の違いによる所要時間の差はないと仮定している。大型車の加速性能は、エンジン性能の向上により普通車とあまり変わらない。大型貨物車は速度抑制装置により 90km/h 以上の速度で走行できないが、検討対象の阪神高速道路では規制速度が最高で 80km/h である。これらのことから、車種による所要時間の差はないという仮定は問題ないと考えられる。

通行料金の考慮方法は、料金抵抗法を用いた。これは、時間価値を用いて通行料金を時間単位に換算し、所要時間に加えるものである。各リンクの所要時間は車種による違いがないが、通行料金は車種により異なるため、通行料金を時間単位に換算して加えた一般化所要時間は、車種によって異なる。したがって、Dial のアルゴリズムにおける各ノードの最小交通費用の計算は車種ごとに

行う必要がある。

この考え方をを用いた車種別確率的利用者均衡配分モデルの等価最適化問題は、(2)式で示される。

$$\min : Z = \sum_{ij} \int_0^{x_{ij}} t_{ij}(\omega) d\omega - \frac{1}{\theta} \sum_c \sum_r \{HL(x^{c,r}) - HN(x^{c,r})\} \quad (2)$$

$$s.t. \quad x_{ij} = \sum_c \sum_r E_c x_{ij}^{c,r}, \quad x_{ij}^{c,r} \geq 0$$

ただし、

$$HN(x^{c,r}) \equiv - \sum_j (\sum_i E_c \cdot x_{ij}^{c,r}) \ln(\sum_i E_c \cdot x_{ij}^{c,r})$$

$$HL(x^{c,r}) \equiv - \sum_{ij} E_c \cdot x_{ij}^{c,r} \ln(E_c \cdot x_{ij}^{c,r})$$

ここで、

c : 車種

E_c : 車種 c の乗用車換算係数

この等価最適化問題では、確率的利用者均衡配分モデルの2つのエントロピー項が車種ごとに分かれ、乗用車換算係数を用いて交通量の計算を行う。本研究では、利用者行動の分散パラメータ θ を 0.5 とした。

なお、起点別リンク交通量を用いた確率的利用者均衡配分モデルは、部分線形化法を適用することで、極めて効率よく解くことができることが知られている⁵⁾。したがって、車種別に拡張した車種別確率的利用者均衡配分モデルにおいても確定的な均衡配分と比べて収束が速く、

効率的に解くことができる。本研究では、収束判定条件を「全てのリンクについて 1%以内の交通量差」に設定したところ、9~11 回の繰り返しで収束した。やや性能が良いパーソナルコンピュータを用いて、計算時間はおよそ 70 分である。単車種の場合と比べておよそ車種数倍の時間で計算が可能である。但し、車種別起点別リンク交通量を用いるため、確定的な均衡配分と比べて多くのメモリが必要である。

4. 車種別通行料金の検討

(1) 車種別通行料金の交通均衡分析推計

車種別通行料金が社会に与える影響を検討するため、表-3に示す料金設定を組み合わせ、25 ケースについて分析を行った。

表-3 本研究の車種別料金設定

車種	料金圏	料金設定
普通車	阪神東線	500円・600円・700円・800円・900円
	阪神南線 阪神西線	300円・400円・500円・600円・700円
大型車	阪神東線	1000円・1200円・1400円・1600円・1800円
	阪神南線 阪神西線	600円・800円・1000円・1200円・1400円

上記の料金設定に関しての車種別確率的利用者均衡配分モデルを用いた推計結果を表-4に示す。現行の阪神

表-4 料金組み合わせに関する推計結果

ケース	阪神高速道路							総走行台時 (台・時)	一般道路 総走行台時 (台・時)	道路網全体 総走行台時 (台・時)	
	阪神東線通行料金		料金収入 (万円)	利用台数(台)			平均利用距離(km)				
	普通車	大型車		普通車	大型車	大型車 混入率	普通車				大型車
1	500	1000	69,757	1,184,661	216,670	15%	8.4	10.1	254,697	3,692,997	3,947,694
2	500	1200	71,316	1,198,343	183,761	13%	8.4	10.5	246,251	3,666,164	3,912,415
3	500	1400	71,660	1,217,911	149,694	11%	8.4	10.9	238,504	3,686,987	3,925,491
4	500	1600	71,886	1,227,663	128,269	9%	8.4	11.1	232,088	3,673,103	3,905,191
5	500	1800	72,163	1,239,302	111,908	8%	8.4	11.2	227,158	3,658,512	3,885,669
6	600	1000	74,735	1,034,970	223,617	18%	8.9	10.1	240,208	3,715,121	3,955,329
7	600	1200	76,310	1,044,783	189,871	15%	8.9	10.6	231,729	3,696,348	3,928,077
8	600	1400	76,558	1,059,303	155,834	13%	8.9	11.0	222,459	3,696,373	3,918,831
9	600	1600	76,850	1,069,108	132,711	11%	8.9	11.2	215,439	3,669,315	3,884,754
10	600	1800	77,113	1,078,042	116,264	10%	8.9	11.4	211,608	3,695,278	3,906,887
11	700	1000	77,219	900,429	230,265	20%	9.4	10.1	225,011	3,695,007	3,920,018
12	700	1200	79,052	911,079	195,170	18%	9.4	10.6	217,076	3,662,429	3,879,505
13	700	1400	79,748	928,543	160,895	15%	9.4	11.0	208,965	3,665,727	3,874,692
14	700	1600	80,268	939,272	137,828	13%	9.4	11.3	202,948	3,699,197	3,902,145
15	700	1800	80,040	943,642	118,475	11%	9.4	11.5	196,923	3,696,704	3,893,627
16	800	1000	78,933	794,718	235,811	23%	9.8	10.1	212,416	3,695,362	3,907,778
17	800	1200	81,054	805,452	202,874	20%	9.7	10.6	206,162	3,696,753	3,902,915
18	800	1400	81,927	821,136	167,421	17%	9.8	11.0	197,746	3,702,233	3,899,978
19	800	1600	81,980	830,812	140,492	14%	9.7	11.2	189,713	3,649,082	3,838,795
20	800	1800	82,222	837,839	122,156	13%	9.8	11.5	185,553	3,707,143	3,892,696
21	900	1000	78,490	689,283	240,721	26%	10.2	10.1	198,786	3,697,810	3,896,596
22	900	1200	80,825	699,172	208,351	23%	10.1	10.6	192,600	3,679,885	3,872,485
23	900	1400	82,035	716,606	172,329	19%	10.1	11.0	185,436	3,709,110	3,894,547
24	900	1600	82,770	728,734	147,029	17%	10.1	11.4	179,599	3,722,787	3,902,386
25	900	1800	82,585	734,784	125,405	15%	10.1	11.6	173,300	3,721,919	3,895,219

高速道路の料金設定はケース 13 に相当する。通行料金が高くなるほど、都市高速道路の利用台数は減少し、1台あたりの平均利用距離は増加することが分かる。料金収入は、通行料金が低いほど増加する傾向があるが、阪神東線の大型車の通行料金が 1800 円の場合は 1600 円の場合と比べて減少するケースがある。また、通行料金が高くなるほど一般道路の総走行時間は増加することが分かる。道路網全体では、ケース 19 において総走行時間が最小になる。

大型車の通行料金を変更した場合の交通流動の変化を見るために、ケース 11 (大型車通行料 阪神東線 1000 円、阪神南線・西線 600 円) とケース 15 (大型車通行料 阪神東線 1800 円、阪神南線・西線 1400 円) の交通量の差を分析した。阪神高速道路の大型車の交通量差を図-3、一般道路の大型車の交通量差を図-4に示す。

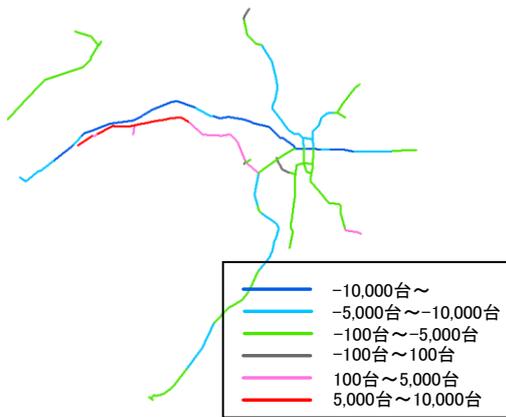


図-3 ケース 11 とケース 15 の大型車交通量差 (阪神高速道路)

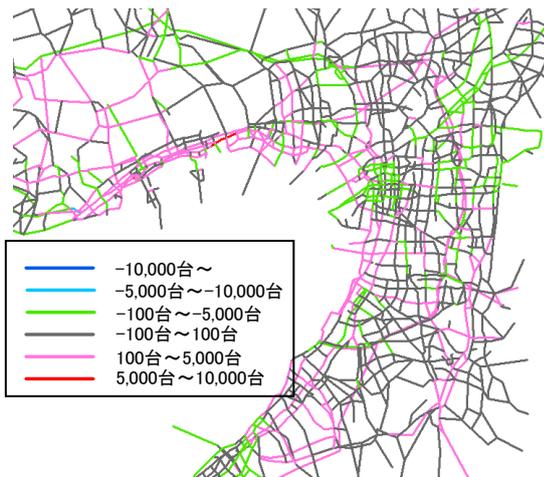


図-4 ケース 11 とケース 15 の大型車交通量差 (一般道路)

阪神高速道路の大型車交通量は、5号湾岸線を除いて通行料金が上がると交通量は減少することが分かる。特に3号神戸線の減少は大きく、その一部が環境ロード

プライシングで割引を行っている5号湾岸線に移動したと考えられる。一般道路の交通量は、減少した区間と増加した区間があることが分かる。

(2) 車種別通行料金の便益推計

上記の 25 ケースに関して便益を推計する。ここでは、便益として各車両の走行時間短縮便益と阪神高速道路の料金収入増加の便益について検討する。便益の算定は、現行の料金であるケース 13 を基準にした。便益の推計結果を表-5および図-5に示す。

表-5 料金組み合わせに関する便益推計結果

ケース	阪神東線通行料金		道路網全体便益 (万円)		
	普通車	大型車	時間短縮便益	料金収入増加額	合計便益
1	500	1000	-22,166	-9,991	-32,158
2	500	1200	-10,467	-8,432	-18,900
3	500	1400	-15,795	-8,088	-23,883
4	500	1600	-9,633	-7,862	-17,496
5	500	1800	-3,736	-7,585	-11,322
6	600	1000	-25,093	-5,013	-30,107
7	600	1200	-16,407	-3,438	-19,845
8	600	1400	-14,192	-3,190	-17,382
9	600	1600	-3,576	-2,898	-6,474
10	600	1800	-11,116	-2,635	-13,751
11	700	1000	-13,725	-2,529	-16,254
12	700	1200	-882	-696	-1,579
13	700	1400	-	-	0
14	700	1600	-9,653	521	-9,133
15	700	1800	-7,217	292	-6,926
16	800	1000	-9,897	-815	-10,712
17	800	1200	-8,975	1,306	-7,669
18	800	1400	-8,461	2,179	-6,282
19	800	1600	11,156	2,232	13,389
20	800	1800	-7,022	2,474	-4,549
21	900	1000	-6,326	-1,258	-7,584
22	900	1200	1,017	1,077	2,094
23	900	1400	-6,836	2,287	-4,550
24	900	1600	-10,387	3,023	-7,365
25	900	1800	-8,859	2,838	-6,022

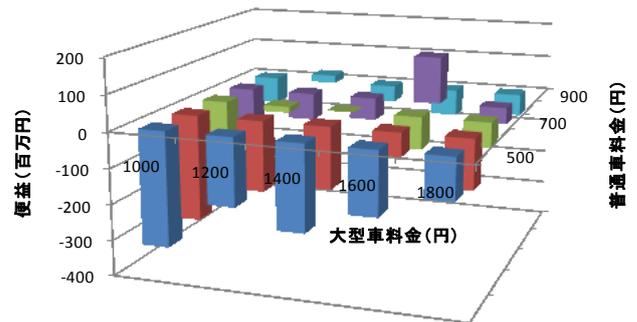


図-5 料金組み合わせに関する便益の比較

総走行時間が最小になったケース 19 において便益が最大になった。ケース 19・22 以外では、現在の料金水準の場合と比べて便益が減少した。大型車・普通車の料金比率と便益との間に明確な関係は見られないが、阪神東線では普通車 800 円・大型車 1600 円、阪神西線・南線では普通車 600 円・大型車 1200 円が妥当である。

(3) 車種別通行料金の環境負荷推計

車種別の通行料金が環境に与える影響を調べる。本研究では地球環境に与える影響として CO₂ 排出量、地域環境に与える影響として NO_x 排出量を取り上げる。CO₂ 排出は、地球規模で削減が検討されているものである。それに対して NO_x 排出は、従来から排ガスによる公害として、局所地域の環境に影響を与えるものである。したがって、本研究では CO₂ 排出量は道路網全体での総排出量を指標にした。それに対して NO_x 排出量は、環境基準を満たしているかが 1 つの指標になる。NO_x の 1 つである NO₂ は、大気汚染防止法で特定物質に指定されており、環境基準は、「1 日平均値が 0.04–0.06 ppm の範囲内またはそれ以下であること」とされている。自動車からの排出ガスは、大気中に放出されて拡散するため、沿道の濃度は風向きや風速、沿道の建築物の状況などによって変化する。したがって、濃度が環境基準を満たすかの予測は、現時点では困難である。本研究では NO_x 排出に対する指標として、道路長 1km 当たり NO_x 排出量が 30kg/日以上の道路区間を環境に悪影響のある区間として取り上げ、そのリンク数を指標にした。

CO₂ 排出量・NO_x 排出量の算定は、リンクパフォーマンス関数から求められるリンク平均走行速度を用いて、車種別速度帯別排出係数に車種別交通量をかけることで、排出量を求めた^{6), 7), 8)}。

料金の組み合わせに関して環境指標を推計した結果を表-6 および図-6 に示す。

表-6 料金組み合わせに関する環境指標推計結果

ケース	阪神東線通行料金		道路網全体環境指標	
	普通車	大型車	CO ₂ 排出量 (t-CO ₂)	NO _x 30kg/km・日以上のリンク数
1	500	1000	28,889	24
2	500	1200	28,523	11
3	500	1400	28,390	12
4	500	1600	28,121	11
5	500	1800	27,800	11
6	600	1000	28,948	24
7	600	1200	28,621	10
8	600	1400	28,374	10
9	600	1600	27,983	11
10	600	1800	28,094	11
11	700	1000	28,749	24
12	700	1200	28,315	11
13	700	1400	28,113	10
14	700	1600	28,172	12
15	700	1800	28,023	12
16	800	1000	28,645	25
17	800	1200	28,554	12
18	800	1400	28,283	10
19	800	1600	27,670	11
20	800	1800	28,022	14
21	900	1000	28,544	25
22	900	1200	28,322	19
23	900	1400	28,249	11
24	900	1600	28,173	12
25	900	1800	27,926	14

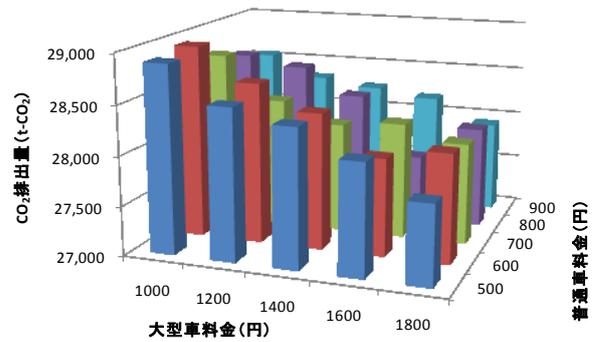


図-6 料金組み合わせに関する CO₂ 排出量の比較

CO₂ 排出量は、総走行時間が最小であり、便益が最大になったケース 19 において、最小になった。NO_x 排出量は、大型車の料金が安いケースで NO_x 排出量の高いリンクが多くなるのが分かる。環境面からも阪神東線普通車 800 円・大型車 1600 円の妥当性が示された。

5. おわりに

本研究では、都市高速道路の車種別料金体系の設定について、便益面・環境面も含めて検討した。確率的利用者均衡配分の特長を応用した車種別確率的利用者均衡配分モデルを用いて推計した。

1) 通行料金が高くなるほど、高速道路の総走行時間は減少し、一般道路の総走行時間が増加する。また、高速道路の平均利用距離は増加する。本研究の設定の範囲では、阪神東線の通行料金は普通車800円・大型車1600円、阪神南線・西線は普通車600円・大型車1200円の場合に総走行時間が最小になった。これは、現行の料金水準よりやや高いものである。大型車の通行料金が普通車の2倍ということは、現行の料金設定と同じである。

2) 時間短縮便益および料金収入の増加便益を推計したところ、総走行時間が最小のケースで合計の便益が最大になった。したがって、料金設定の妥当性が便益面で裏付けられた。

3) 車種別料金設定が地球環境および地域環境に与える影響を推計した。その結果、総走行時間が最小のケースでCO₂排出量が最小になった。総走行時間が増加するとCO₂排出量も増加する傾向があることが分かった。NO_x排出量に関しては、大型車の通行料金が低いケースで基準を満たさないリンク数が増加する傾向があることが分かった。

今後の課題として、対距離制度の場合で同様の検討を行う必要があること、便益の算定では走行時間短縮便益以外の評価要因について検討する必要があること、環境指標について更なる検討を行う必要があることなどが挙げられる。

参考文献

- 1) 阪神高速道路 Web サイト : <http://www.hanshin-exp.co.jp/drivers/ryoukin/index.html>
- 2) 松井寛, 山田周治 : 道路交通センサデータに基づく BPR 関数の設定, 交通工学, Vol. 33, No. 6, pp. 9-16, 1998.
- 3) 国土交通省 道路局・都市・地域整備局 : 費用便益分析マニュアル, 2003.
- 4) 土木学会交通ネットワーク出版小委員会 : 交通ネットワークの均衡分析—最新の理論と解法—, 土木学会, pp. 73-102, 1998.
- 5) 土木学会交通ネットワーク出版小委員会 : 交通ネットワークの均衡分析—最新の理論と解法—, 土木学会, pp. 167-193, 1998.
- 6) 井ノ口弘昭 : 環境負荷を考慮した都市高速道路の車種別料金設定について, 土木計画学研究・講演集, Vol. 39, No. 117, 2009.
- 7) 大城温, 松下雅行, 並河良治, 大西博文 : 自動車走行時の燃料消費率と二酸化炭素排出係数, 土木技術資料, Vol. 43, No. 11, pp. 50-55, 2001.
- 8) 並河良治, 高井嘉親, 大城温 : 自動車排出係数の算定根拠, 国土技術政策総合研究所資料, No. 141, 2002.