

# 都市高速道路の関数型対距離料金に関する 実証的分析

浅原 麗<sup>1</sup>・秋山 孝正<sup>2</sup>・井ノ口 弘昭<sup>3</sup>

<sup>1</sup>学生会員 関西大学大学院 理工学研究科 (〒564-8680 大阪府吹田市山手町3丁目3-35)

E-mail:k364080@kansai-u.ac.jp

<sup>2</sup>正会員 関西大学 環境都市工学部 (〒564-8680 大阪府吹田市山手町3丁目3-35)

E-mail: akiyama@kansai-u.ac.jp

<sup>2</sup>正会員 関西大学 環境都市工学部 (〒564-8680 大阪府吹田市山手町3丁目3-35)

E-mail: inokuchi@kansai-u.ac.jp

本研究では、都市高速道路の対距離料金制に関して、現行料金制度（均一料金制）との比較に基づき、各種の料金設定形式が検討できる。ここでは特に関数型の対距離料金に着目して、実証的な料金設定方法を検討する。具体的な検討においては、交通流動変化を考慮した利用者均衡配分を用いて、都市道路網の走行時間短縮便益などの評価指標を用いる。また実証的な視点から、対距離料金設定の特徴を考察するために、交通需要の変化と乗り継ぎ交通量の発生に関して具体的な検討を行う。最終的に、関数型の対距離料金設定の特徴を整理するとともに、有効性の高い料金設定を実証的に提案する。

**Key Words** : *Distance Based Toll, Urban Expressway, Functional Toll, Traffic Assignment, Diversion*

## 1. はじめに

これまで、都市高速道路の各ランプ間の多様な料金を意図した都市高速道路における対距離料金制について、具体的な検討が行なわれている。特に従来の均一料金制に対して、弾力的な料金設定が可能となり、交通運用面からの有効性も期待できる。本研究では、対距離料金制の具体的な設定方法のうち、関数型の料金に着目して分析を進める。すなわち、ETC利用を前提とした連続的な料金設定方式に関して、多数の関数形状を包含する一般的な表現方法を検討するものである。

関数型料金設定においては、少数のパラメータの調整により、多様な対距離料金の規定が可能であり、適切な料金設定方法を提案する上でも有効である。ここでは、具体的に関数型料金を設定するとともに、対距離料金導入時に発生する交通行動変化（乗り継ぎ交通）を考慮した利用者均衡配分法を用いて実証的な比較分析を行う。

また都市道路網の将来交通需要に関する不確定性を考慮して、交通需要の変化に対応した対距離料金設定の比較検討を行う。さらに、対距離料金制導入における都市道路網の交通状況変化として、特徴的な乗り継ぎ交通の発生について、実証的分析を行うことから、交通流動変化の具体的な把握を試みる。

## 2. 都市高速道路の対距離料金の設定

従来より都市高速道路の料金制度に関して、均一料金と対距離料金に関する多数の議論が行われており、本研究では具体的な対距離料金設定の方法を検討する。

### (1) 都市高速道路の対距離料金制

現在の都市高速道路においては、償還主義による均一料金制に基づいて料金設定されている。これに対して、都市高速道路の対距離料金制は、ランプ間の多様な料金設定を可能とし、都市内の交通調整機能を有することから、都市道路網全体の交通運用に対応する料金政策である。すなわち、都市高速道路の流入制御などによる物理的な交通制御ではなく、利用者の自律的な交通調整を促すことができるため、交通制御と料金政策の一体的な交通運用が期待される<sup>1)</sup>。また、交通現象面から対距離料金制においては、利用者が都市高速道路の短距離を複数回利用する「乗り継ぎ交通」が増加すると考えられる。このような視点に対応して、「乗り継ぎ交通を考慮した利用者均衡配分」が提案されており、都市道路網の交通量推計に利用されている<sup>2)</sup>。本研究では、これらの研究成果を参考として、具体的な対距離料金の設定方式について実証的に検討する。

## (2) 対距離料金に対応した推計方法

本研究では、都市高速道路である阪神高速道路と一般道路で構成される京阪神都市道路網を対象とする。これらの都市道路網の概要と都市高速道路の現行均一料金圏について、図-1に示している。現在の阪神高速道路では、阪神東線、阪神西線、阪神南線、京都線の4料金圏が設定されている。各料金圏ごとに均一料金制が適用され、複数料金圏の一部区間で特定料金が設定されている。また、現行の都市高速道路の延長は245.7kmであり、180入路、183出路が供用されている(平成23年)。さらに、平成22年度の日平均利用台数は876,062台であった。本研究では、既存研究の設定にしたがい、計画路線の完成年次として、平成22年の都市道路網を想定する<sup>2)</sup>。

つぎに、具体的な都市高速道路を含む都市道路網の交通量推計として、既存研究で提案された「有料道路を含む交通量配分アルゴリズム」を利用する<sup>3)</sup>。特に対距離料金制の場合、各ランプペアごとに都市高速道路利用料金が相違することから、都市高速道路において短距離を複数回利用する行動、すなわち「乗り継ぎ交通」が増加する。したがって、交通現象表現のための交通量配分アルゴリズムの特徴として、①多様なランプ間料金に対応した計算が可能であること、②乗り継ぎ交通を考慮した交通量配分計算が可能であることが挙げられる。すなわち「多様なランプ間料金に対して乗り継ぎ交通を含む交通現象の推計」が可能で利用者均衡配分アルゴリズムが構成されている。また、時間価値は全車種平均値として70円/分を用いている。これらの具体的な計算方法の詳細に関しては、関連研究を参照されたい<sup>4)</sup>。

## (3) 都市高速道路の対距離料金の形式

これまで、既存の関連研究において、様々な都市高速道路の対距離料金の設定方法が提案されている。代表的な料金設定形式を図-2に整理している。本図において、①均一料金は、現在の都市高速道路で運用されている料金形式であり、同一料金圏内で一定額の料金が課金される。②上限下限付直線型料金は、平均利用距離および平均支払額に対応する点Pを通る一定料率(円/km)の直線に上限値、下限値を与えた料金設定である<sup>5)</sup>、<sup>6)</sup>。以下の具体的な分析では、点P:(17.5km, 760円)、料率33円/kmの値を用いている。③通増通減型料金は、利用距離に対する料金額の変化を通増通減型の線形関数の組み合わせで表現したものである<sup>2)</sup>。④関数型料金は、利用距離に対する料金額を連続的な関数として表現したもので、本研究で中心的に議論する料金形式である。また、⑤ステップ関数型料金は、単位距離ごとに段階的に料金額を規定する料金設定である<sup>7)</sup>。この場合は、料金額は不連続にいくつかの階段状に変化する。このように、対距離料金制においては、多様な料金設定形式が検討可能であ

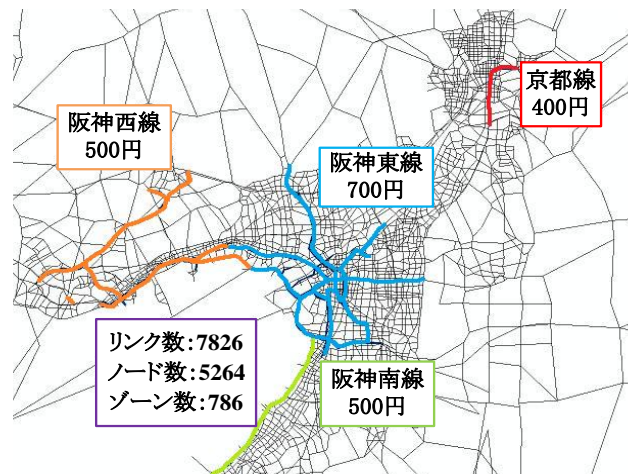


図-1 京阪神都市高速道路網と都市高速道路料金圏

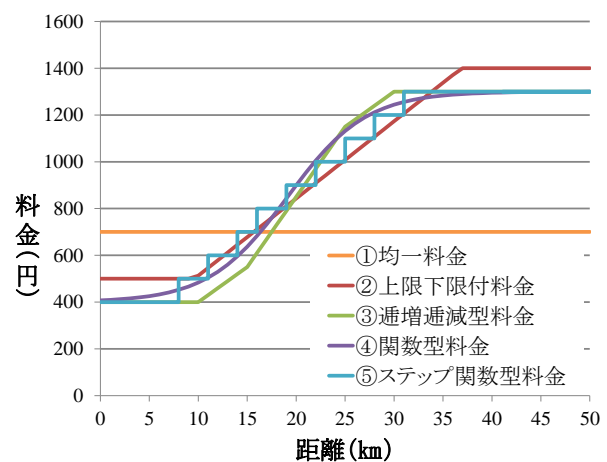


図-2 都市高速道路の対距離料金の各種形式

る。既存研究において、①、⑤などの検討結果が紹介されており、本研究では、特に④関数型料金に関して、具体的な料金設定内容に関して議論を進める。

## 3. 関数型対距離料金についての検討

### (1) 関数型対距離料金の設定

本研究においては、具体的な対距離料金として関数型料金を用いる。一般に関数型料金は特定の関数式で表現されるため、適当な係数パラメータの設定により、多様な料金の形を作ることが可能である。ここでは、具体的な関数として、次式(1)に示す関数を用いる。すなわち、

$$f(x) = 900 / \{1 + 22 / 23 \times \exp(17.5 - x) / \alpha\} + 300 \quad (1)$$

ここで、 $f(x)$ : 都市高速道路料金額、 $x$ : ランプ間利用距離、 $\alpha$ : 調整パラメータである。ここで、式(1)においては、上限下限付き線形型料金と同様、点P: 平均利用距離17.5kmと平均交通料金760円を通る形状とした。

結局、この関数の形状は調整パラメータ $\alpha$ の値により特徴づけられる。本研究では、 $\alpha = 3 \sim 6$ として、対距

離料金額を表現する関数を設定する。各ケースに対応する対距離料金関数形状を図-3に示す（ケース1～4）。ここで、ケース0は現行の均一料金による料金設定（同料金圏内では距離に無関係に一定額となる）。一方、ケース1～4が関数型対距離料金であり、距離に対応して料金が増加している。

ここで、既存研究の上限下限付線形型料金では、下限300円、上限1200円の設定値が比較的良好であると報告されている<sup>8)</sup>。この研究成果を踏まえて、本研究においても関数型対距離料金を、300円～1200円として、上下限を900円の範囲でケース設定を行う。この関数形状では、パラメータ $\alpha$ の値の増加に伴って、短距離利用の料金は相対的に高額になり、長距離利用の料金が相対的に低額になる。すなわち、料金の変化割合の緩やかな曲線が定義される。例えば、ケース1（ $\alpha=3$ ）の場合には、利用距離10kmで371円、30kmで1,187円が与えられる。一方、ケース4（ $\alpha=6$ ）の場合には、10kmで507円、20kmで1,104円が定義される。

このようなことから、本研究では均一料金の場合（ケース0）を基準に対して、形状の相違する4種類の関数型料金形式を設定する（ケース1～ケース4）。

## (2) 基本ケースに関する算定結果

つぎに、都市道路網に対する交通量推計結果を示す。ここでは、阪神高速道路を含む都市道路網に関する平成22年時点の交通需要推計値（OD交通量）に対応して、各料金設定に対応した交通量推計を行った。

各料金設定として、ケース0～ケース4に対応する都市道路網の交通量推計結果を表-1に整理する。本研究では、均一料金の場合と比較して、対距離料金制の妥当性を検討する。このため、利用者便益の側面から、都市道路網全体（都市高速道路・一般道路）の総走行時間にに基づき、走行時間短縮便益を算定する。すなわち、均一料金設定時に比較して、都市道路網の総走行時間の減少分を利用者の走行時間短縮便益と考える。本表より、いずれの料金設定形式においても、均一料金設定に比べて総走行時間は減少している。

すなわち、全般的には対距離料金制の妥当性が検証できる。また料金収入に関しては、関数の形状に対応して、均一料金制と比較して、増加・減少のいずれの状況も観測される。さらに利用距離の短距離化と乗り継ぎ交通量の増加は、いずれのケースにおいても観測できることがわかる。

つぎに、具体的なケース間比較を行うために、各ケースについて都市道路網の総走行時間を図-4に図示する。前述したように、均一料金制と比較して、対距離料金制の各ケースの都市道路網の総走行時間はいずれも減少する。

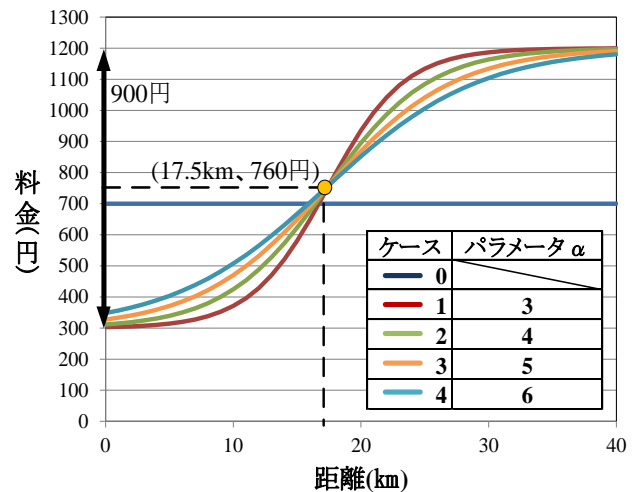


図-3 関数型料金の設定方法動に対応した利用者均衡

表-1 各ケースの計算結果

ケース	都市高速道路					道路網全体
	利用台数 (台)	料金収入 (万円)	乗り継ぎ交通量 (台)	平均利用距離 (km)	総走行時間 (台・時)	総走行時間 (台・時)
0	1,045,764	71,974	23,619	16.4	369,571	10,411,170
1	1,238,980	65,846	57,242	13.4	348,554	10,387,780
2	1,191,267	69,873	37,615	13.9	348,780	10,381,000
3	1,158,765	72,352	33,406	14.3	349,801	10,369,680
4	1,132,587	73,902	30,825	14.7	350,652	10,378,760

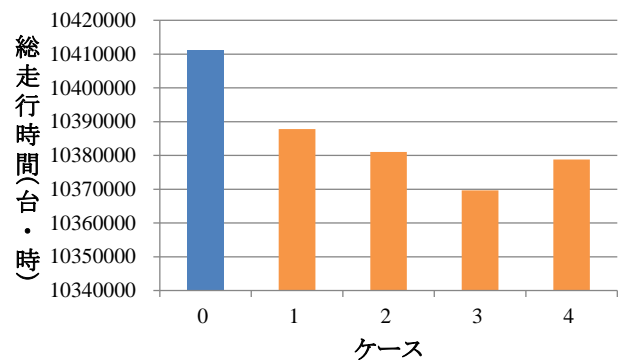


図-4 都市道路網の総走行時間の比較

各ケースのうち、最小値はケース3（パラメータ $\alpha=5$ ）の場合である。この料金設定は、比較的平坦な変化を与える関数形状である。一方で、料金収入および乗り継ぎ交通量は均一料金制と比較して、相対的に増加している。特に料金収入に関してはケース4（ $\alpha=6$ ）、乗り継ぎ交通量はケース1（ $\alpha=3$ ）の場合が最大である。これらより、関数形状の変化によって、距離帯別の量交通量の変化を与えられることがわかる。

## (3) OD交通需要に関する算定結果

前項までの分析においては、平成11年の交通センサスOD交通量に基づいた平成22年のOD交通量推計値を用い

た。しかしながら、経済活動の減少などから、現行の都市高速道路利用台数の顕著な増加傾向が観測されない。このようなことから、対距離料金の具体的設定に関してOD交通需要を変動を考慮する。

本研究では、均一成長率を想定した、OD交通量の変化に対応した具体的料金設定（ケース1～4）の与える利用者便益について考察する。具体的には、OD交通量比率を0.7～1.2の5種類を想定する。それぞれに対して、パラメータ $\alpha = 3 \sim 6$ の場合（ケース0～4ケース）を組み合わせた20ケースの料金設定を考える。

さきの基本ケース（基本OD交通量：前述）の場合と同様に、利用者均衡配分を実行する。また利用者便益の評価指のため、都市道路網の総走行時間、都市高速道路の料金収入、乗り継ぎ交通量を基本的指標として取り上げる。すなわち、OD交通需要量の変化に対応した対距離料金の具体的形式について比較検討する。

#### (4) 都市道路網の総走行時間算定結果

基本的な道路利用者便益の視点から対距離料金の検討を行う。本研究では、都市高速道路と一般道路の合理的な分担関係を考えて、都市道路網全体の総走行時間の短縮を利用者便益として評価するものである。各ケースに対する都市道路網の総走行時間の推計結果を図-5に整理する。ここで特定のOD交通需要を前提とした場合の、対距離料金形状は、横軸方向（パラメータ値）における比較に対応する。これより、各OD交通需要量に対応する総走行時間が最小のケースを白枠で表示している。

本図より、OD交通量の変化に伴う総走行時間の相違は比較的顕著である。これに対して、同一のOD交通需要量におけるパラメータの変化に対する総走行時間の相違は相対的に小さい。しかしながら、詳細な相違に着目すると料金形式として、 $\alpha = 5, 6$ の場合が妥当性が高いといえる。料金設定形式として、なだらかな変化を与える関数形状に対応している。

#### (5) 都市高速道路料金収入の算定結果

都市高速道路の道路事業者の側面から、対距離料金制による料金収入額を評価指標として検討する。基本的には償還原則に基づき、料金収入の必要設定水準が設定されるが、対距離料金制においては、具体的な料金形式（パラメータ値）に対して増減が検討可能である。各計算設定ケースに対する料金収入額の推計結果を図-6に整理する。本図より料金収入額は、OD交通需要量の増加と料金設定形式の相違に対して、いずれも傾向的变化が観測される。すなわち、OD交通需要量およびパラメータ値 $\alpha$ に対して正の相関関係が観測される。したがって、いずれのOD交通需要量の場合においても、 $\alpha = 6$ のケースで料金収入は最大化される（右端ケース：

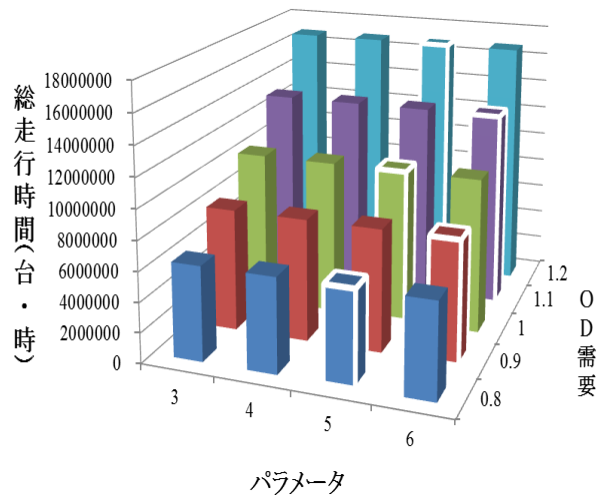


図-5 各ケースに対する都市道路網の総走行時間推計結果

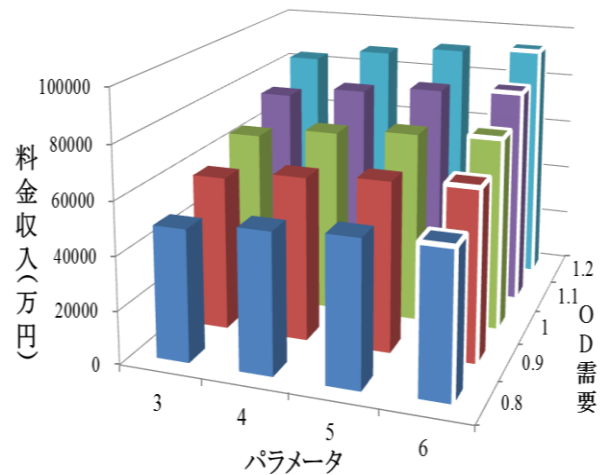


図-6 各ケースに対する料金収入の推計結果

白線枠表示)。一方で、一部の料金設定形式においては、均一料金制に対して、料金収入額の減少が観測される。

#### (6) 乗り継ぎ交通量の算定結果

つぎに、対距離料金制により交通流動変化について検討する。ここでは、対距離料金制における特徴的な交通行動として、乗り継ぎ交通量を取り上げる。

各計算設定ケースに対する乗り継ぎ交通量の推計結果を図-7に整理する。本図より、乗り継ぎ交通量は、OD交通需要量に対しては、比例的な変化が観測される（縦軸方向）。一方で、特定のOD交通需要量に対する、料金設定形状（パラメータ値）に対する変化は特徴的である（横軸）。いずれのOD交通需要量の場合においても、ケース3（パラメータ $\alpha = 3$ ）において、乗り継ぎ交通量は最大である。これは料金設定形状（図-3）からみて、平均利用距離（中距離）付近の料金変化割合が急激に変化を与えることに起因する結果であると考えられる。

#### 4. 乗り継ぎ交通についての検討

前章で検討したように、対距離料金制において、乗り継ぎ交通量は顕著に増加が推測される。これは、短距離利用の促進効果と関連する特徴的な交通行動変化（経路変更行動）である。本研究では、都市高速道路網の交通流動変化として、乗り継ぎ交通に着目した検討を行う。

##### (1) 都市高速道路網全体の交通行動変化

ここでは都市高速道路網における乗り継ぎ交通の空間的な分布を検討する。具体的には、現行の均一料金制（ケース0）と利用者便益最大のケース3（ $\alpha = 6$ ）のリンク交通量を比較する。すなわち、同一のOD交通需要を前提として、均一料金制と対距離料金制でのリンク交通量の相違から交通流動変化を検討するものである。

各設定ケース間（ケース0→ケース3）のリンク交通量の増減を図-8に図示する。図-8ではリンク交通量の増減に関して9段階の状態区分を利用している。

ここで、一般的に湾岸線、守口線、松原線、神戸線東側では、交通量は増加している。すなわち、対距離料金制の導入に伴い、乗り継ぎ交通が増加する路線であると推定される。一方で、北神戸線、神戸山手線、大阪湊線、池田線、神戸線西側、環状線線の全般的にリンク交通量の減少が観測される。なかでも、環状線におけるリンク交通の減少は顕著であり、短距離利用の増加と乗り継ぎ交通の増大が推測される。これは、均一料金制では混雑の顕著な環状線部分において、対距離料金制により一部迂回可能性（乗り継ぎ）の向上に起因すると考えられる。

##### (2) 具体的な乗り継ぎ経路選択の現象分析

つぎに、対距離料金制に基づく、具体的な交通行動変化（経路変更）に着目した分析を行う。ここでは、特定のODペアを抽出して、均一料金制と対距離料金制それぞれの場合の利用経路の比較を試みる。具体的には、「乗り継ぎを考慮した計算アルゴリズム」の算定結果から、乗り継ぎ利用が発生した5種類のODペア（ノード番号ーノード番号）を取り上げる。具体的には、OD①：531-260（尼崎市ー寝屋川市）、OD②：132-58（住之江区ー旭区）、OD③：542-261（西宮市ー寝屋川市）、OD④：542-260（西宮市ー寝屋川市）、OD⑤：436-507（東灘区ー西区）である。

これらのODペア間の移動に関して、均一料金制における利用経路を「通常経路」とする。これに対して、対距離料金制（料金設定ケース3）における利用経路を「乗り継ぎ経路」とする。各ODペアの移動に関して、対距離料金制の状況下での両経路の交通状態を表-2に整理する。本表によれば、いずれのODペアに対しても「乗り継ぎ経路」の都市高速道路利用距離は「通常経

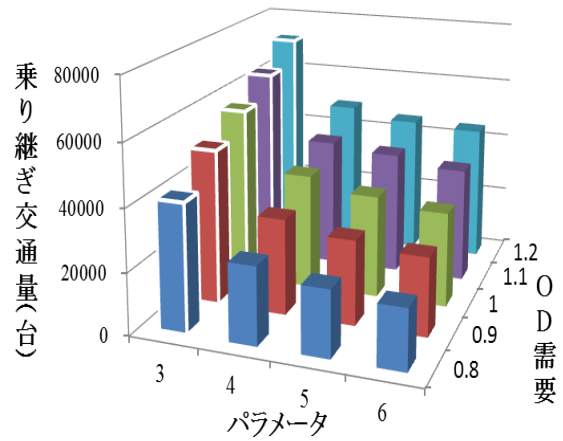


図-7 各ケースに対する乗り継ぎ交通量の推計結果

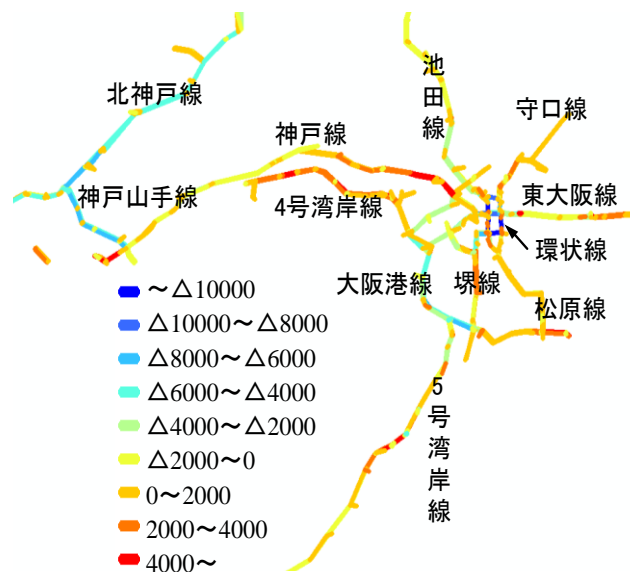


図-8 均一料金に対するリンク交通量の変化

表-2 通常経路と乗り継ぎ経路の比較

O	D	交通量 (台)	通常経路				乗り継ぎ経路			
			料金 (円)	所要時間 (分)	一般化費用 (円)	距離 (km)	料金 (円)	所要時間 (分)	一般化費用 (円)	距離 (km)
531	260	58	1,180	68.5	5,978	36.1	1,058	66.3	5,702	30.9
132	58	55	1,036	40.7	3,887	24.8	840	37.4	3,459	19.6
542	261	53	1,186	76.9	6,569	37.9	972	74.5	6,184	32.6
542	260	43	1,184	73.6	6,333	37.4	972	70.7	5,918	31.0
436	507	35	1,179	63.5	5,623	35.9	897	57.9	4,947	33.1

路」より短い。この結果、相対的に「乗り継ぎ経路」の利用料金・所要時間も小さい値となっている。この結果として、両経路の一般化費用の比較においても「乗り継ぎ経路」が優越することが分かる。またこれらのODペアでは、全OD交通量が「通常経路」から「乗り継ぎ経路」に変更している（表中の交通量（台））。

さらに具体的な経路選択状況を検討するため、OD①：531-260（尼崎市ー寝屋川市）の経路を取り上げる。図-9に当該ODペアに関する「通常経路」と「乗り継

ぎ経路」を図示している。ここで「通常経路」は、尼崎オンランプ～守口オフランプを経由して、寝屋川に至る経路である。都市高速道路では、神戸線—環状線—守口線の利用に対応する。これに対して、「乗り継ぎ経路」は、同一ランプ間（尼崎～守口）を経由する移動ではあるが、環状線部分で短距離利用となる。すなわち、信濃橋オフランプ～堂島オンランプ間の一般道路への迂回（乗り継ぎ）により経路延長が短縮されることがわかる。乗り継ぎによる利用経路の変更は、他のODペアに対しても同様に観測することができる。このように対距離料金制によって、多数のOD間で乗り継ぎ交通による交通流動変化が想定できることがわかる。

## 5. おわりに

本研究では、都市高速道路の対距離料金制と乗り継ぎ交通に着目して、利用者均衡配分を用いて都市道路網における走行時間を算定した。本研究の成果は以下のように整理できる。

- 1) 関数型対距離料金制は均一料金制と比較して都市道路網の総走行時間の短縮が観測できる。主要変動を考慮しない場合はパラメータ  $\alpha = 5$  の場合に最小である。OD需要変動を考慮した場合、パラメータ  $\alpha = 5$  または  $\alpha = 6$  の場合に総走行時間が最小となる。
- 2) 総走行時間以外の指標で関数型対距離料金を評価する場合、均一料金と比較して対距離料金の場合、料金収入および乗り継ぎ交通量の増加が観測できる。OD需要にかかわらず、料金収入はパラメータ  $\alpha = 6$  の場合が最大であり、乗り継ぎ交通量はパラメータ  $\alpha = 3$  の場合が最大である。
- 3) 対距離料金の場合均一料金と比較して乗り継ぎ交通が増加する。また、通常経路と乗り継ぎ経路を比較した場合、乗り継ぎ交通をしたほうが料金および所要時間が減少する。

現在の利用者均衡配分アルゴリズムは固定需要に基づいている。また本研究のOD需要は、交通量が一律に変化する。そのため、実用的な対距離料金設定を検討するためにODごとの需要変動に対応した利用者均衡計算が必要である。したがって、今後の課題として「需要変動を考慮した利用者均衡分析」に関する検討が必要である。

**謝辞：**本研究を遂行するにあたり、資料収集および研究討議に関して、阪神高速道路株式会社、(株)交通システム研究所の御協力を得た。ここに記し感謝の意を表す次第です。また、本研究は、平成23年度独立行政法人日本学術振興会科学研究費補助金・基盤研究(C) (課題番号：23560636) の研究の一部であることを付記する。

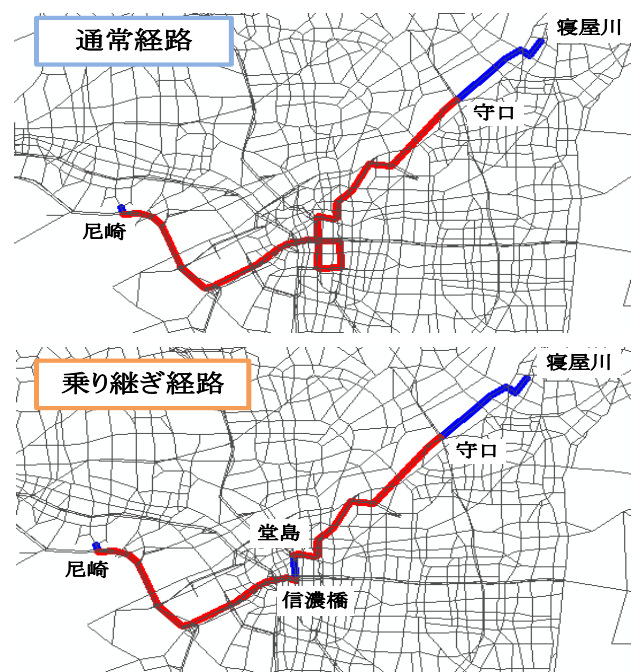


図-9 対距離料金制における乗り継ぎ交通例

## 参考文献

- 1) 秋山孝正：料金政策を考慮した都市高速道路交通運用の高度化，高速道路と自動車，vol.51，No.12，pp.5-8，2008.
- 2) 奥嶋政嗣，秋山孝正：交通均衡分析を用いた都市高速道路の対距離料金制度の検討，交通学研究，2005年研究年報(通巻49号)，pp.81-90，2006.
- 3) 秋山孝正，奥嶋政嗣：交通均衡分析による都市高速道路の料金体系に関する検討，交通学研究，2003年研究年報(通巻47号)，pp.169-178，2004.
- 4) 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，2010年研究年報，pp.245-254，2011.
- 5) 奥嶋政嗣，秋山孝正：対距離料金制度下の時間帯別料金設定に関する基礎的分析，第28回交通工学研究発表会論文報告集，pp.253-256，2008.
- 6) Rei ASAHARA， Hiroaki INOKUCHI， Takamasa AKIYAMA：Evaluation of Distance Based Toll System for Urban Expressway，6th International Symposium in Science and Technology at Kansai University 2011，2011.
- 7) 浅原麗，秋山孝正，井ノ口弘昭：都市高速道路の対距離料金設定についての交通システム分析，土木学会関西支部年次学術講演会講演概要集(CD-ROM)，IV-42，2011.
- 8) 浅原麗，秋山孝正，井ノ口弘昭：都市高速道路の実証的料金設定についての方法的な研究，第31回交通工学研究発表会論文集，印刷中.
- 9) 文世一，秋山孝正，奥嶋政嗣：道路ネットワークにおける次善の混雑料金—都市高速道路の役割に着目して—，応用地域学研究，第12号，pp.15-25，2007.