

償還原則に基づく都市高速道路料金に関して、長期的需要変化に基づく政策を考える。具体的には、都市圏の将来交通需要推計に基づき、長期的需要変動に対応した都市高速道路料金の時系列的運用方法を提案する。

長期的需要を考慮した都市高速道路料金政策に関するモデル分析

秋山孝正*
井ノ口弘昭**
奥嶋政嗣***

1. はじめに

少子高齢社会における人口減少傾向を考えると、都市高速道路の償還可能性については、長期的な交通需要の変化に対応する必要がある。そこで本研究では、都市高速道路の長期的な交通需要変化に対応した対距離料金制の運用方法を検討する⁽¹⁾。このため、経年的な交通需要変化を、社会経済状況の変化から推計するモデルを構築する。この社会経済指標の推移を踏まえた将来交通量推計に基づいて、いくつかの将来の交通需要パターンが想定される。これに対して、都市高速道路の償還制は、基本的な費用負担の枠組みであり、建設費・維持管理費などの借入金を長期的な料金収入（および受取利子）により返済するシステムである。したがって、長期的な交通需要変化を考える場合、都市交通需要が一定水準で維持あるいは増加傾向にある場合には、料金収入の増加が見込まれるが、長期的交通需要低下が生じる場合には、当初に設定した償還可

能性が危惧される。そこで本研究では、長期的交通需要のパターンに対応した都市高速道路料金の運用方法を検討する。

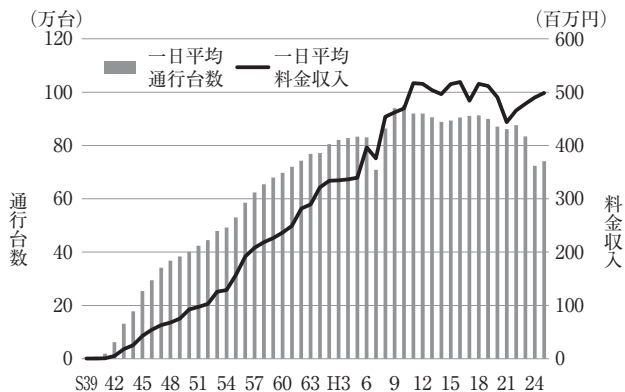
2. 都市高速道路の交通需要変化

ここでは、都市高速道路の交通需要変化について検討する。具体的には図-1に示す阪神高速道路を含む



図-1 京阪神都市道路網

* 関西大学環境都市工学部 教授
** 関西大学環境都市工学部 准教授
*** 徳島大学大学院ソシオテクノサイエンス研究部 准教授



図一2 都市高速道路通行台数の経年的推移（阪神高速道路）

京阪神都市道路網の長期的交通需要変化に基づいて考察を進める。

(1)都市高速道路交通需要の経年変化

一般道路と都市高速道路で構成される都市道路網において、経年的な都市高速道路の交通需要の変化の推移について考察する。図一2に阪神高速道路の1日平均通行台数と1日平均料金収入の経年的推移（昭和39年度～平成25年度）を示す。⁽²⁾

阪神高速道路の1日平均通行台数は、わが国の高度成長期から平成10年度まで、道路供用延長の増加にともなって増加している。

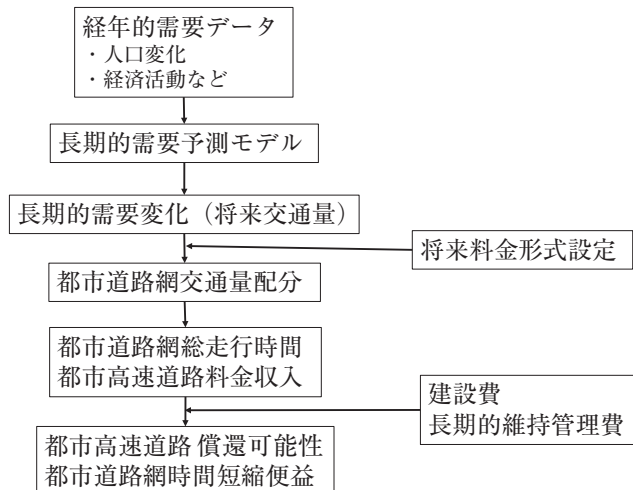
また、平成7年に発生した阪神淡路大震災の通行止めにより、一時的に大きく減少したものの、その後過年度と同様に推移している。一方で、平成11年度以降においては、平均通行台数の大きな増加はなく、一定水準で推移している。さらに平成19年度以降は、継続的に減少傾向で推移している。また、平成23年度（平成24年1月）以降は、対距離料金制の導入に伴い通行台数の算定方法が変更されており、平成24年度の平均通行台数は、約72万台となっている。⁽²⁾

(2)長期的需要変化に対する償還可能性

次に、本研究における長期需要変化に対する都市高速道路償還可能性の分析手順を図一3に示す。

ここでは、まず都市圏の社会経済指標の経年的データに基づいて、将来交通需要を推計する。

さらに長期的交通需要の計算結果に基づき、都市道路網における将来の都市交通流動を推計する。さら



図一3 長期的需要変化に関する分析手順

に、都市高速道路の将来の利用状況から都市高速道路の長期的な料金収入変化が算定できる。

このとき、都市高速道路の長期的な償還可能性を考慮して、将来の妥当な料金形式を決定する。

(3)京阪神都市道路網の交通需要推計

ここでは、まず京阪神都市圏都市道路網に対する経年的交通需要量推計モデルを作成する。本研究では、昭和52年～平成22年の京阪神都市圏における実績交通量データを利用した。⁽³⁾

具体的には、道路交通センサスの近畿臨海地区（大阪府・兵庫県・和歌山県）の生成交通量について、経年的な8年次断面（S52, S55, S60, H2, H6, H11, H17, H22）の実績値を利用した。

また、これに対応する経年的データとして、各年次における大阪府の夜間人口：POP(t)、大阪府のGDP（大阪府）：GDP(t)のデータを抽出した。⁽⁴⁾

このとき、年次tにおける京阪神都市圏生成交通量TRF(t)を求める具体的なモデル形式として、線形重回帰モデルを採用する。ここで、定数項を加えたモデルでは係数が負値となるため、論理的に問題が発生する。このため、原点を通る関数として、次式のモデルを用いる：

$$TRF(t) = \beta_1 \cdot POP(t) + \beta_2 \cdot GDP(t) \dots\dots\dots (1)$$

このパラメータ推計結果を表一1に整理する。ここで、前述のようにモデル作成のためのデータは、8年次断面である。

表一 偏回帰係数の推計結果

説明変数	係数	t 値
人口	1.529	10.21
GDP	0.3228	8.29
データ数	8	
R ²	0.9989	

表一より、いずれの変数に対する t 値も有意な値となっている。

また、京阪神の生成交通量の実績値と線形重回帰モデルによる推計値の関係を図一4に示す。これより、京阪神都市圏の経年的な交通需要変化を比較的良好に再現することができた。すなわち、センサスデータによる京阪神都市圏の生成交通量の実績値に基づく大阪府の人口変化と GDP の推移を基本とした推計モデルの妥当性が検証できた。

(4)長期的交通需要に関する推計

次に京阪神都市圏の将来交通需要量の長期的推計のために、独立変数に関する将来設定値を関連研究より把握する。まず、①夜間人口に関して、「日本の地域別将来推計人口（平成 25 年 3 月推計）」を用いる⁽⁵⁾。この推計においては、将来の出生率・死亡率に関して、それぞれ高位・中位・低位の3種類が設定されている。したがって、合計9種類の設定が可能である。

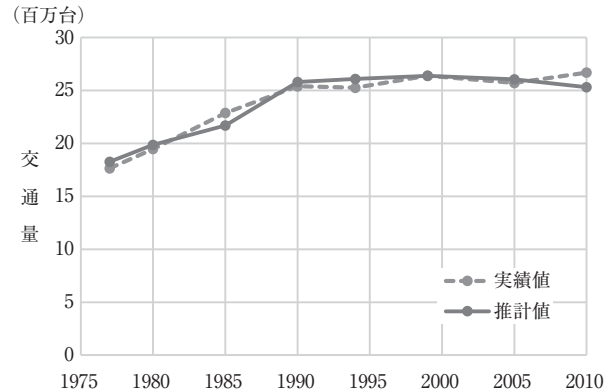
ここでは、①出生率：高位・死亡率：低位、②出生率：中位・死亡率：中位、③出生率：低位・死亡率：高位の3種類の設定を用いている。

このような手順による経年的な将来人口設定値を図一5に示す。ここで、人口減少社会を反映して、いずれの設定においても長期的な人口減少傾向が推計される。

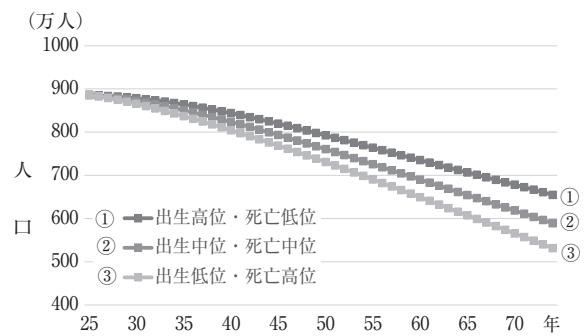
つぎに経済活動の指標として、大阪府の GDP 推計値を用いる。この値は、基本的には労働人口の変化などから推計されている。すなわち、具体的には「Creating a very long-term database for world population and GDP forecasts」の報告値を用いている⁽⁶⁾。このような将来の GDP 設定値を図一6に示す。

この推計結果によれば平成 25 年から数年間は京阪神都市圏の経済活動の増大が想定され、さらに長期的には、経済活動の減少が想定されている。

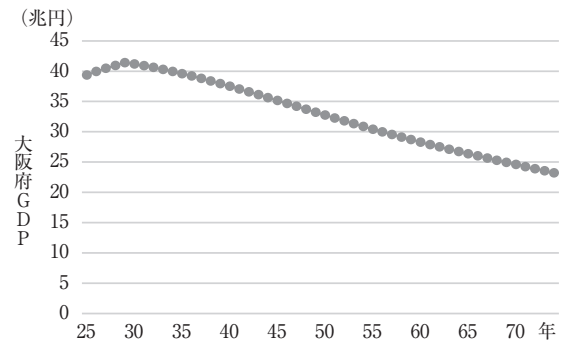
これらの将来推定値に基づいて、京阪神都市圏の将来生成交通量を推計する。すなわち、人口変化（3種



図一4 京阪神生成交通量の推計



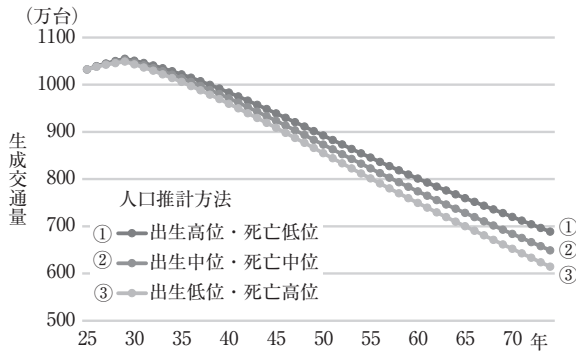
図一5 大阪府の将来人口推計値



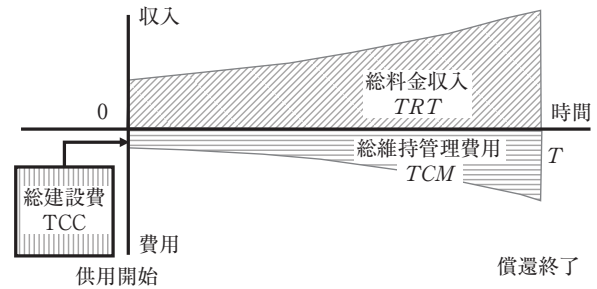
図一6 大阪府の GDP 設定値

類) と GDP 変化 (上記想定値) の将来値を用いて、生成交通量を推計する。このような手順に基づいて算定された生成交通量推計値を図一7に示す。

本図に示すように、将来人口推計結果を反映して、3種類の生成交通量推計結果が算定される。いずれの場合も都市道路網全体の交通需要の長期的減少傾向を示している。



図一七 将来生成交通量の推計値



図一八 都市高速道路の償還計画

3. 長期的需要変化に対する償還可能性分析

つぎに都市高速道路における償還計画の概要について整理するとともに、長期的交通需要変化を想定した交通需要推計プロセスを内包した償還可能性分析について述べる。

(1)都市高速道路の償還計画の基本モデル

都市高速道路の償還制は、一定期間において、都市高速道路の建設費用と維持管理費用および支払利子を料金収入と受取利子によって返済するシステムである⁽⁷⁾。この基本的な概念を図一八に示す⁽¹⁾。

建設費用と維持管理費用に対して、料金収入が時間経過に伴う累積結果として、等しくなるように料金を決定する。ここで、 T ：償還年数、 t ：年次 ($t=1 \sim T$)、 $RT(q(t))$ ：年次 t の交通需要 $q(t)$ に対する都市高速道路料金収入、 CC ：建設費(出資金・借入金)、 $CM(t)$ ：年次 t における年間維持管理費用とする。

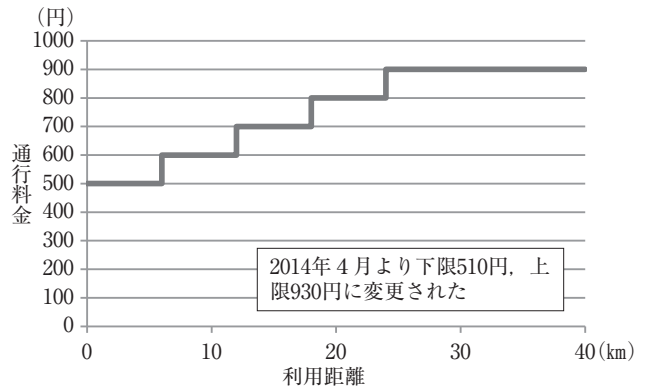
ここで、償還期間最終年次 T における総建設費： TCC 、総料金収入： TRT 、総維持管理費用： TCM に対して、利率 r を用いて、それぞれ以下のように算定される。

$$TCC = CC \cdot (1+r)^T \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$TCM = \sum_{t=1}^T CM(t) \cdot (1+r)^{T-t} \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$TRT = \sum_{t=1}^T RT(q(t)) \cdot (1+r)^{T-t} \quad \dots\dots\dots (4)$$

実際の都市高速道路の建設は、長期間にわたり段階的に進められる。ここでは、償還開始時点(図一八における供用開始)での償還に必要な残額(これまでの建設費・維持管理費用と料金収入との差額)を建設費として計上している。さらに、償還期間における利子



図一九 都市高速道路料金設定ケース(阪神高速道路)

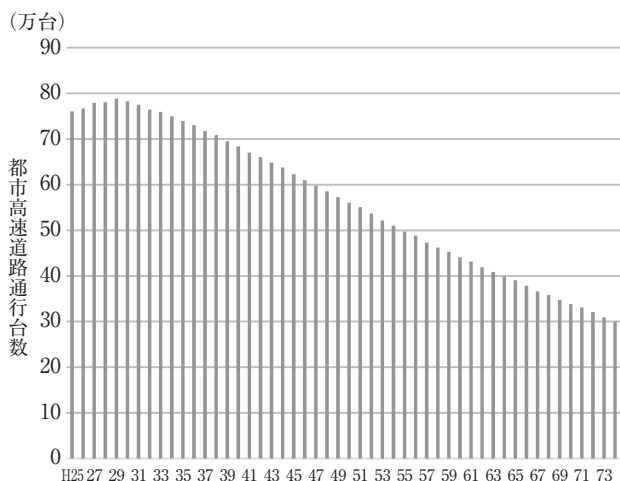
率は、一定であると仮定する。このとき償還計画では、 $TRT = TCC + TCM$ の関係が成立する⁽⁷⁾。

(2)都市高速道路の長期的需要推計

次に都市高速道路の料金設定方法について考える。わが国の都市高速道路は、従来均一料金制が採用されており、平成24年より対距離料金制が導入されている。図一九に平成24年時点の料金設定(階段型料金：阪神高速道路)を表示している⁽⁸⁾。

ここでの分析においては、将来の都市高速道路料金設定においても現行設定に対応した「階段型料金」を用いて検討を行う。

次に、将来生成交通量推計値を用いて、各OD要素の均一成長を仮定することで、経年的OD交通量を設定する(均一成長率法)。この各年次のOD表に対して、上記の「ランプ間料金設定を考慮した交通量配分」を用いて、順次各年次の都市道路網の将来交通量(リンク交通量)が推計できる^{(9),(10)}。これより、都市高速道路の通行台数を経年的に表示したものが図一十である。



図一10 都市高速道路の通行台数の変化

なお本図は、将来人口推移に関して、②出生率：中位・死亡率：中位の推計値を利用した場合の算定結果を示している。このとき、将来的な人口減少とGDPの長期的な逓減傾向を反映して、都市高速道路利用台数は、平成30年以降で減少する推計結果となっている。

(3)都市高速道路の償還計画の記述

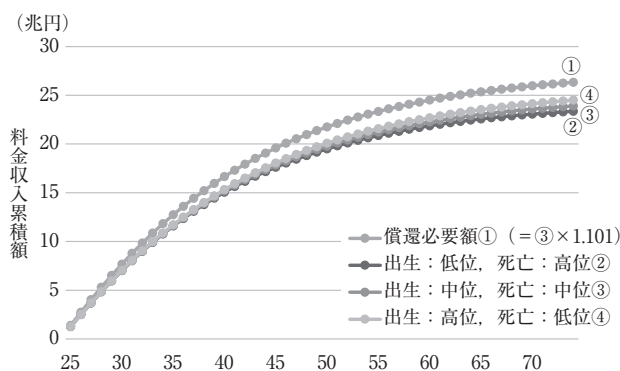
各年次の交通量配分結果から、都市道路網の交通状態が推計され、これより都市高速道路の通行台数変化が推計された。上記で推計された都市高速道路通行台数の長期的減少に伴い、都市高速道路の料金収入は減少する。

次に各年次の都市高速道路交通量推計値を用いて、長期的な償還可能性検討のための設定をおこなう。この場合、償還期間：50年間、利子率：4%を想定する。また総建設費(TCC)：21.3兆円を設定する。また単位距離あたりの維持補修費：1.26億円/kmを設定する。

ここで、総建設費(TCC)に関しては、図一8に対応する供用開始時の初期建設費を想定する。このため、建設費として、平成25年度の有利子借入金(3.0兆円)を本モデルにおける初期建設費とみなして設定した⁽¹¹⁾。

また、維持補修費に関しては、阪神高速道路実績値(平成10年～平成12年)より平均維持管理費を(CM)：326.5億円と設定した⁽¹²⁾。すなわち、総維持管理費用(利子を含む)として合計5.0兆円が算定できる。

以上の各設定を踏まえて、最終的な償還必要額($TRT = TCC + TCM$)を26.3兆円 = 21.3兆円 + 5.0兆円と設定した。



図一11 料金収入累計額算定結果

さらに上記の償還設定額に対して、想定される経年的な料金収入額について考える。ここでは、①将来人口変化に関する出生率：中位・死亡率：中位の場合の推計値を用いて将来生成交通量を算定する。②生成交通量変化に対応して、都市道路網交通量推計(交通量配分)を行うとともに、都市高速道路料金収入を経年的に算定する。③一方で、建設費および維持補修費より算定された償還必要金額を設定して、②で算定された各年次料金収入額を一律に増加させる(このときの相対的比率は1.101である)。

このような算定プロセスに基づいた料金収入の推計結果を図一11に示す。

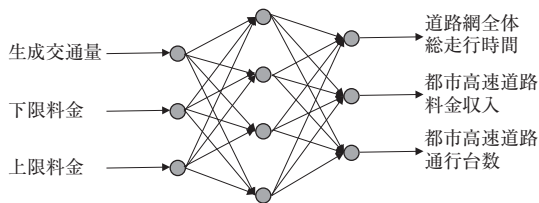
本図より、人口変化が④出生率：高位・死亡率：低位の場合においても、想定された償還必要累積額に到達しないことがわかる。

(4)都市道路網交通状態の近似推計法

各年次の生成交通量に対応するOD交通量と都市高速道路の対距離料金設定に基づく交通量配分(利用者均衡)結果から、将来の都市道路網における交通状態が推計される。したがって、すべての生成交通量・料金設定値の組み合わせに対して、1ケースあたり50年分(50回)の利用者均衡配分を実行する必要がある。

また、都市高速道路の償還可能性の検討では、都市道路網全体の総走行時間・都市高速道路利用台数・都市高速道路料金収入の各指標を交通量配分結果を用いて、算定する必要がある。

本研究では、各リンク交通量の算定結果を直接用いることはなく、総走行時間・都市高速道路料金収入・都市高速道路通行台数の3指標値の算定を目的として



図一12 ニューラルネットワークモデルの構造

いる。このため、将来の料金設定変更に対応する料金収入額等の評価値を近似的に算定する方法を考えた。

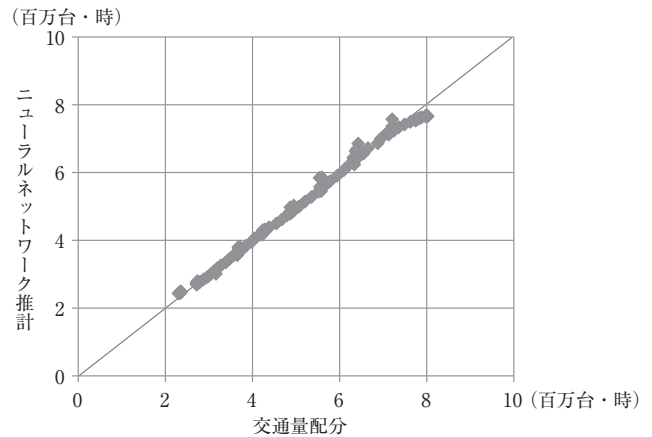
ここでは知的情報処理として、現象に対する複数の同時推計（パターン推計）が可能な方法として階層型ニューラルネットワーク（NN）を適用した^{(13),(14)}。このモデルの基本構造を図一12に示す。入力層：3変数，中間層：4変数，出力層：3変数の3-4-3型の階層型モデルとなっている。

このとき、各要素（変数）間の結合荷重を求める。学習データ（教師データ）として、上記の交通量配分結果による算定値を用いる。すなわち、入力変数として、①生成交通量（600万～1,000万台）②下限料金（200円～600円）③上限料金（600円～1,600円）を設定する。これらの推計値の組み合わせに対する交通量配分結果より、各指標値を算定し、100サンプル（条件設定の2ケース分に相当）の教師データを作成した。

図一12に示すニューラルネットワークにおいては、要素（ニューロン）間の結合荷重 w_{ij}, w_{jk} ：24種類，閾値 θ_j, θ_k ：7種類の学習パラメータを誤差伝搬法により決定した。このとき、パラメータ学習において、初期値は乱数を用いて設定し、学習回数は1,000回とした。これらの手順により、結合荷重が決定され、図一12の階層型NNによる推計モデルが構成された。

これより、入力条件の設定に対して、交通量配分手順を代替するNNの少ない計算量で3種類の評価指標値（出力変数）を同時に推計することができる。ここで、都市道路網全体の総走行時間に関して、交通量配分結果に基づく算定値とNNモデルによる近似計算結果の関係を図一13に示す。このときのRMSE = 5.48万台・時である。また、都市高速道路通行台数はRMSE=7.568台、料金収入はRMSE=553万円であり、比較的良好な推計が可能となった。

本図より、知的情報処理（NNモデル）を用いて、利用者均衡配分に基づく都市道路網に関する基本的な



図一13 総走行時間の推計結果

評価指標値が近似的に算定可能であることがわかった。

4. 都市高速道路の償還可能性分析

次に長期的交通需要変化に対して、償還可能性を考えた都市高速道路の料金政策について検討する。

(1)都市高速道路の償還可能性分析

前項のNNにより、生成交通量（交通需要量）と対距離料金の（上限料金，下限料金）に基づく都市高速道路料金収入の変化を検討する。

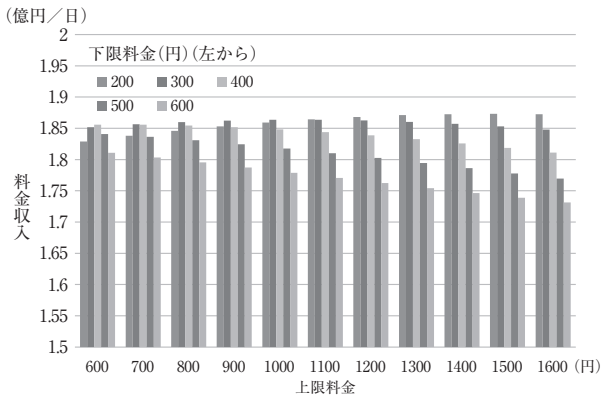
図一14および図一15は、生成交通量の変化（600万台～1,000万台）に対応した料金設定パターンと都市高速道路料金収入を示したものである。

全般的な傾向として、都市道路網の将来交通需要量が比較的少ない場合（図一14）には、上限・下限料金が低下すると都市高速道路料金収入が増加する。

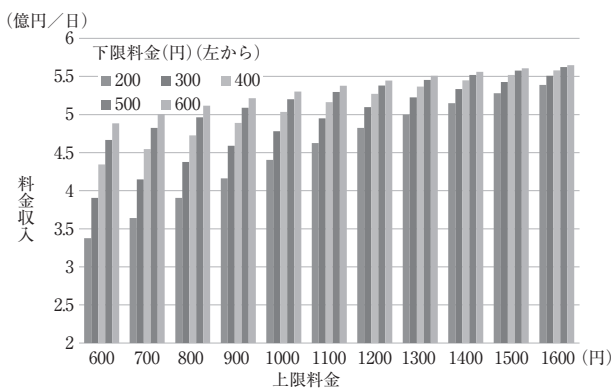
一方で、将来交通需要量が比較的大きい場合（図一15）には、設定料金が増加する場合に、都市高速道路料金収入が増加する。ここで、長期需要モデルは、経年的な需給均衡点を示している。すなわち、均衡点の変化は、需要関数の経年的変化に対応している。このため、各年次の利用者均衡点における価格弾力性は相違することになる。

(2)都市高速道路の料金運用手順

次に、将来の交通需要変化を考慮した料金運用方法を検討する^{(15),(16)}。前節の検討より、主要な運用方針として、①都市圏の生成交通量が大きいとき、料金水準値上げにより都市高速道路の料金収入の増加を図る、②都市圏



図一14 都市高速道路料金収入 (需要：600万台)



図一15 都市高速道路料金収入 (需要：1,000万台)

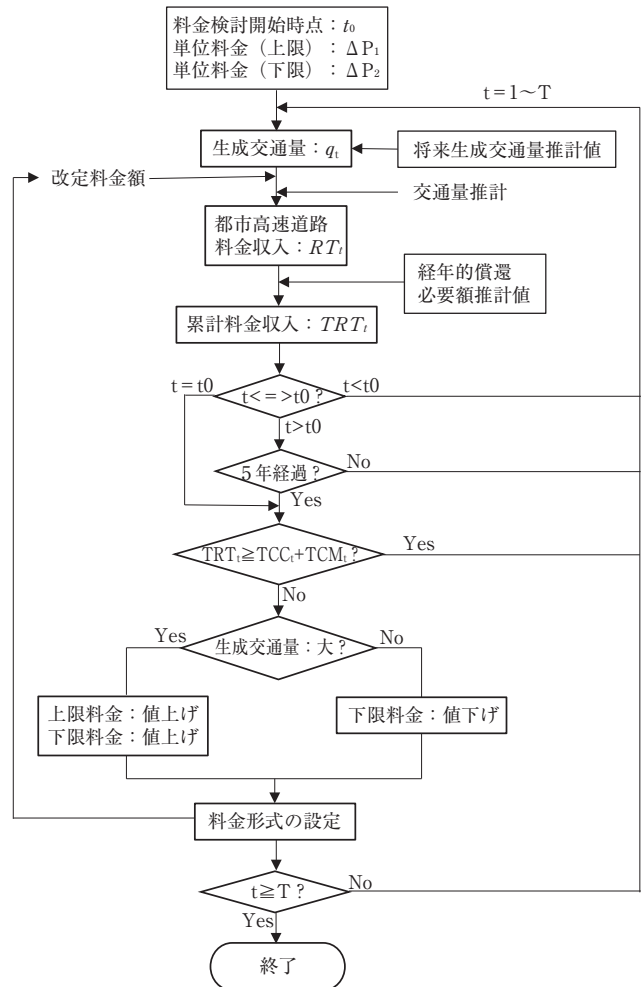
の生成交通量が小さいとき、料金水準値下げにより都市高速道路の利用促進を図るという点が示された。

本研究では、長期的な人口減少と GDP 変化に対応する交通需要の低下に基づいて、対距離料金設定を検討する。図一16 に都市高速道路の料金変更ルールの概要を示す。

ここでは、現行料金設定=(下限値, 上限値)=(500, 900)を踏まえて、下限値・上限値の設定額変更による将来料金設定を考える。すなわち、下限値は200～600円、上限値は、800～1,600円の範囲で料金額の組み合わせを設定する。ここで、本図の要点を整理する。

- 5年単位で料金水準を検討する
- 料金変更単位は100円または200円とする
- 料金収入累積額(利子考慮)が想定償還額に不足する時点で料金改定を行う。

- ①生成交通量：大(750万台以上)の場合
 - 上限値・下限値を値上げ(料金水準の値上げ)
- ②生成交通量：小(750万台未満)の場合
 - 上限値は変更なし・下限値を値下げ



図一16 都市高速道路料金変更ルール

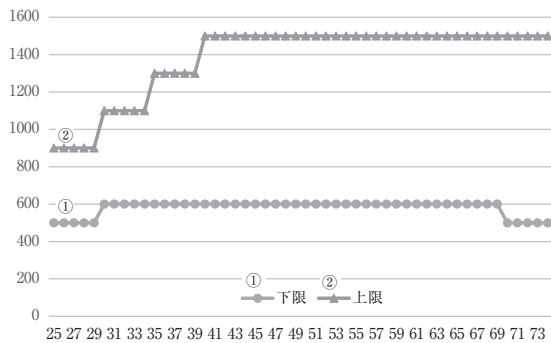
(3)料金変更パターン(その1)

上記の料金変更ルールは、前項に示した料金設定と総需要交通量(生成交通量)の関係から、交通需要量の大きい場合に料金値上げ、交通需要量の小さい場合に料金値下げに対応している。

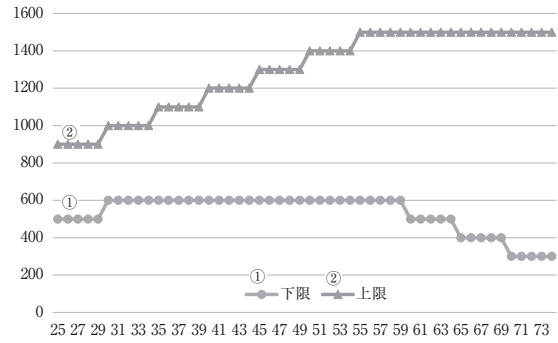
そこで、料金変更のパターンとして、5年単位の料金水準変更を $\Delta P_1=200$ 円(上限)、 $\Delta P_2=100$ 円(下限)として料金変更パターンを設定した。この料金変更パターンを図一17に示す。

この場合は初回(5年目)より想定償還不足分を補償するための料金値上げを実行する。ここでは、3回の上限料金の増加が提案される。

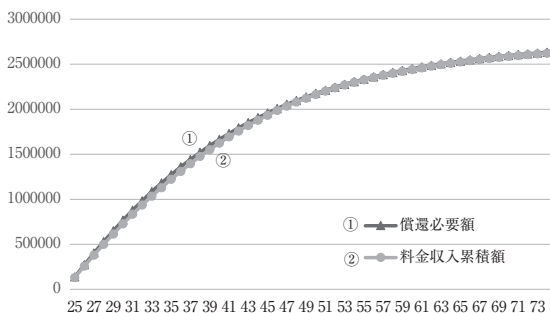
この場合の都市高速道路料金収入累積額の推移を図一18に示す。本図に示すように、料金変更プロセス①により、最終年度の都市高速道路料金収入が基準額に対して $\Delta 0.035$ 兆円であり、ほぼ当該年度で償還完了



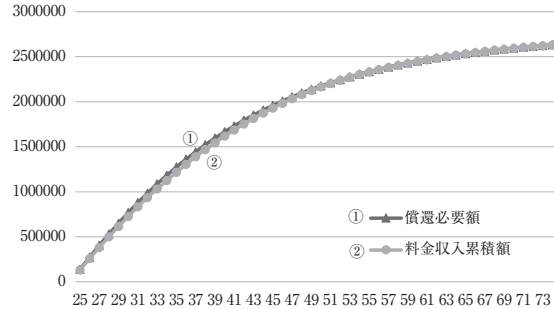
図一17 料金設定の変更パターン（その1）



図一19 料金設定の変更パターン（その2）



図一18 料金収入の累積過程（その1）



図一20 料金収入の累積過程（その2）

している。また、都市道路網の総走行時間は、0.80%の増加が算定される。

(4)料金変更パターン（その2）

次に料金変更のパターンとして、5年単位の料金水準変更を $\Delta P_1=100$ （上限）、 $\Delta P_2=100$ 円（下限）として料金変更パターンを設定した。長期的な料金収入の漸増と後半期間での都市高速道路利用喚起を意図した料金変更パターンである。この具体的な料金変更プロセスを図一19に示す。この場合は、1回の料金値上げを $\Delta P_1=\Delta P_2=100$ 円とするパターンであり、長期的（6回）な上限料金の増加が設定される。一方で、後半年次には下限料金の値下げが設定されている。

この料金変更パターンに対する都市高速道路料金収入累積額の推移を図一20に示す。本図に示すように、料金変更プロセス②により、最終年度の都市高速道路料金収入は、基準額に対して0.012兆円の増額であり、設定年度内に償還が完了する。

一方で、都市道路網の総走行時間は、0.80%の増加が算定される。

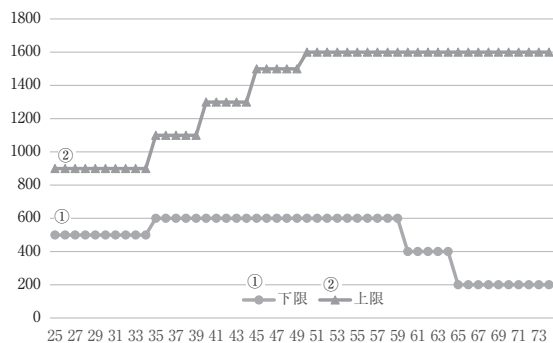
(5)料金変更パターン（その3）

次の料金変更のパターンとして、当初10年間は料金変更を行わず、比較的短期間での償還計画を検討する。すなわち、15年後以降の5年単位の料金水準変更を $\Delta P_1=\Delta P_2=200$ 円（上限・下限とも）として料金変更パターンを設定した。この場合の具体的な料金変更パターンを図一21に示す。この場合は、中期より200円単位で料金値上げが実行される。一方で、後半期間においては、交通需要喚起のための200円値下げ（下限値）が実行されるパターンが設定されている。

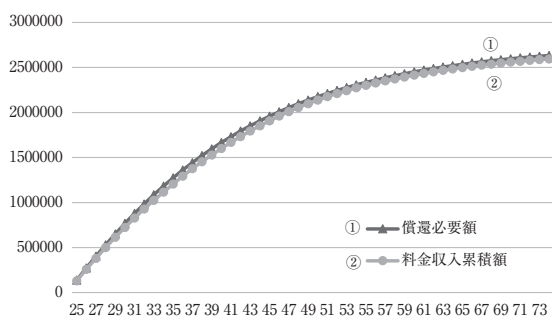
この料金変更パターン③に対する都市高速道路料金収入累積額の推移を図一22に示す。本図に示すように、料金変更パターン③によれば、最終年度の都市高速道路料金収入は、基準額に対して△0.604兆円となり、設定年度内の償還は完了していない。また、都市道路網の総走行時間は、2.27%の増加が算定されている。これより、償還年次の初頭より償還可能性に関する調整を開始する必要があることを示している。

5. おわりに

本研究では、長期的交通需要を想定した、都市高速



図一21 料金設定の変更パターン (その3)



図一22 料金収入の累積過程 (その3)

道路の償還可能性と時間短縮便益に関する基本的モデル分析を行った。本研究の主要な成果は以下のように整理できる。

①都市道路網の実績データより長期交通需要変化の推計モデルを構築した。長期的交通需要を、将来の社会経済指標値より推計できることがわかる。

②交通量配分に基づく、都市道路網交通需要推計より、料金設定形式に基づく償還可能性を比較検討した。また知的情報処理技術(階層型 NN)を用いた近似的計算法を提案した。

③長期的需要変化を踏まえた料金水準設定を検討した。交通需要に対する弾力的な料金設定により、償還可能性の修正が可能であることを示した。いくつかの料金変更時期と変更額の設定による料金変更パターンを提示した。

現実の長期的な交通需要変化に対応するための今後の検討課題として、①都市高速道路の維持管理費用の経年変化のパターンの検討、②特定区間料金、時間帯料金など各種の都市高速道路料金政策に基づく総交通需要変化についての検討、③時間短縮便益の最大化と都市高速道路の償還可能性の完了におけるトレードオ

フに関する考察などが挙げられる。

最後に本研究を遂行するにあたって、資料収集に関して阪神高速道路(株)のご協力を得た。ここに記し感謝の意を表する次第です。また本研究は、平成 26 年度(公財)高速道路調査会研究助成研究の成果であることを付記させていただきます。

参考文献

[1] 秋山孝正, 井ノ口弘昭, 奥嶋政嗣 (2015), 「長期的需要を考慮した都市高速道路料金政策に関する考察」, 『交通学研究』, No. 58, pp. 89-96。
 [2] 阪神高速道路 (2014), 『阪神高速開通 50 周年記念 阪神ハイウェイ』, Vol. 195, pp. 20-21。
 [3] 国土交通省道路局 (2014), 「路交通センサスからみた道路交通の現状」, 推移(データ集), http://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-data/data_shu.html。
 [4] 大阪府 (1978-2011) 『大阪府統計年鑑』, <http://www.pref.osaka.lg.jp/toukei/nenkan/>。
 [5] 国立社会保障・人口問題研究所 (2013), 「日本の地域別将来推計人口(平成 25 年 3 月推計)」, 『人口問題研究資料』, No. 330。
 [6] アジア太平洋研究所 (2014), 「Creating a very long-term database for world population and GDP forecasts」, <http://www.apir.or.jp/ja/statistics/gdp/>。
 [7] 山内弘隆・竹内健蔵 (2002), 『交通経済学(有斐閣アルマ)』, 有斐閣。
 [8] 阪神高速道路株式会社 (2013), 『ドライバーズサイト』 <http://www.hanshin-exp.co.jp/kyoriryoukin/index.html>。
 [9] 秋山孝正, 井ノ口弘昭, 奥嶋政嗣 (2011), 「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』 No. 54, pp. 245-254。
 [10] 秋山孝正, 井ノ口弘昭, 奥嶋政嗣 (2014), 「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。
 [11] 日本高速道路保有・債務返済機構 (2015) 「機構と会社の収支予算の明細(平成 26 年 11 月 17 日付け協定等の一部変更を反映) 機構の収支予算の明細」, <http://www.jehdra.go.jp/syuusi25.html>。
 [12] 阪神高速道路(株) (2006-2014), 「料金収入及び通行台数実績」, 『決算の概要』。
 [13] 浅原麗, 秋山孝正, 井ノ口弘昭 (2011), 「都市高速道路の実証的料金設定についての方法論的研究」, 『第 31 回交通工学研究発表会論文集』, pp. 285-290。
 [14] Akiyama, T., Inokuchi, H., Okushima, M. (2013), "Practical Management of Distance Based Toll System for Urban Expressway," *Proceedings of WCTR 2013*, No. 3226。
 [15] 文世一, 秋山孝正, 奥嶋政嗣 (2007), 「道路ネットワークにおける次善の混雑料金」, 『応用地域学研究』, No. 12, pp. 15-25。
 [16] 秋山孝正 (2008), 「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。