

インフラ整備による交通・環境負荷の変化に関する研究-相模原市を対象に-*
 Change of the Traffic and Environmental Load to Infrastructure Maintenance
 -Example about Sagami-hara City-*

松本 修一**・川嶋 弘尚***

By Shuichi MATSUMOTO ** Hironao KAWASHIMA ***

1. はじめに

高速道路を整備する際に、高速道路利用車両の需要予測には高速道路転換率モデルという数理モデルを用いて高速道路利用交通量と一般道路利用交通量の割合を推計している。この高速道路転換率モデルを利用して高速道路利用交通量を推計した結果が、建設するか否かを決定するための判断材料の1つとなっている。

現在実務で用いられている高速道路転換率モデルは一般的に次の2つの式が用いられている。1つは首都高速公団などの各都市高速公団で使用されているモデルで以下のように定式化される。

$$P = \left[\frac{1}{1 + \alpha T^\gamma} - \beta \right] \delta \quad (1)$$

ここに、Pが高速道路への転換率、 α 、 β 、 γ はパラメータ、 δ は短トリップの時の低減率を与えるパラメータである。また説明変数Tは高速道路利用経路と一般道路利用経路の競合時間比、走行時間比が用いられている。

また日本道路公団では、以下のように定式化している。

$$P = \frac{1}{1 + \alpha (X/S)^\beta / T^\gamma} \quad (2)$$

ここに、Pが高速道路への転換率、 α 、 β 、 γ はパラメータ、Xは料金/時間差(C/T)(円/分)、Tは高速道路利用経路と一般道路利用経路の走行時間差、Sはシフト率と定義される。

式(1)では走行時間のみを説明変数に用いている。式(2)では、 α 、 β は国内均一、 γ は国内を14地域に分け地域ごとに設定しているなど工夫を加えている。しかし高速道路を利用するか否かという交通行動には、走行時間の他に、高速道路の料金や利用者の所得を考慮してモデル化の方が自然である。

2. 本研究の概要

本研究では既存のモデルに対し、高速道路料金を考慮した新しい高速道路転換率モデルを構築する。また神奈川県相模原市における高速道路利用交通量について既存のモデルおよび平成9年度道路交通センサス¹⁾の結果と比較し、その精度について考察する。次に相模原市周辺において建設中である「さがみ縦貫道路」開通後(平成32年)の交通、環境負荷の推定を行う。そして高速道路料金を変化させることで相模原市における都市交通、都市環境と高速道路料金について検討することができるようなツールを開発することを目的とする。本研究の概要を図1としてまとめる。

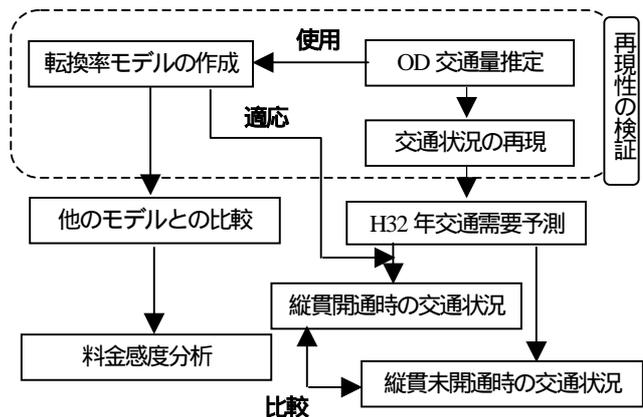


図1：研究概要

3. 高速道路転換率モデルの構築

(1) 転換率モデルの概要

従来、高速道路を含む道路ネットワークにおける交通量の配分では、あらかじめ高速道路利用ODと一般道路利用ODを分離して用いる分割配分法の使用を前提にして定式化されてきた。しかし近年「利用者が最も所要時間の少ない経路を選択する」という、利用者均衡配分モデルによる交通量配分方法が注目されている。松井、藤の研究²⁾により都市高速道路を対象にした利用者均衡配分モデルと併用が可能な新しい転換率モデルの研究がなされている。この定式化は以下のような目的関数を最小化する問題とされている。

*キーワード：交通網計画，地区交通計画
 **学生会員，工修，慶應義塾大学大学院理工学研究科
 ***正会員，工博，慶應義塾大学理工学部管理工学科
 (神奈川県横浜市港北区日吉3-14-1，
 TEL:045-563-1141，E-mail:shuichi@ae.keio.ac.jp)

$$\min F = \sum_a \int_0^{y_a} C_a(y) dy + \sum_i \int_0^{g_i^e} \frac{1}{\theta} \left(\ln \frac{1}{G_i - w} + \psi_i \right) dw \quad (3)$$

ここに

y_a : リンクaのリンク交通量

$C_a(y)$: リンクaのリンクコスト関数

g_i^e : ODペア の高速道路利用の交通量

G_i : ODペア の全交通量

θ, w, ψ_i : パラメータ

である．この最小化問題の解として得られるODペアの高速道路転換率として

$$P_i = \frac{1}{e^{-\theta(\lambda_i - \lambda_i^e) + \psi_i} + 1} \quad (4)$$

が得られる．ここに $\lambda_i - \lambda_i^e$ はODペア 間の一般道路

利用と高速道路利用の最短経路における時間差である．

ここでパラメータ ψ_i は料金抵抗，時間価値を含むとい

う不明瞭なパラメータである．この中でODペア 間での高速道路料金のみは明確に数値化することが出来るため，これをパラメータに含める．これにより式(4)は，

$$P_i = \frac{1}{e^{-\theta(\lambda_i - \lambda_i^e) + \theta' C_i + \psi_i} + 1} \quad (5)$$

ここに

C_i : ODペア の高速道路利用料金

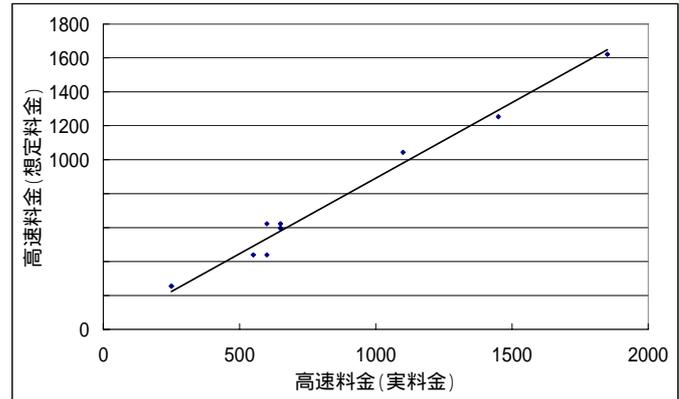
θ' : パラメータ

と変形される．このように式(3)から導出される転換率モデルはロジットタイプで，説明変数として所用時間差および各ODでの高速道路利用料金を用いた形になっていることが分かる．従って式(5)で与えられる転換率モデルのパラメータ θ, θ', ψ_i を推定すれば良い．

(2) 本研究で用いるデータ

本研究で用いたデータは平成9年度道路交通センサ調査より高速道路利用交通量および，全道路利用交通量のOD表，相模原市総合都市計画策定報告書³⁾より経路情報をもちている．なお平成9年度道路交通センサ調

査から相模原市を起終点とする3025ODペアについてデータとして用いた．本研究ではさがみ縦貫道路の高速道路利用料金が未定である点，高速道路利用ODの最短経路に日本道路公団，首都高速公団の両方の高速道路を利用する経路が存在する．現在日本道路公団では固定費150円，1kmあたり25円課金している，一方首都高速公団では走行距離に依存せず一律に料金を課している．このようなことから回帰分析を行い最も決定係数の高かった固定費150円，1kmあたり26.3円を課金する料金体系（以下基準料金）として設定した．（図2参照）



相関係数：0.98

図2：料金設定 傾き：0.89

(3) パラメータの推定

本研究では式(5)を式(6)のように変形し，重回帰分析をすることでパラメータの推定を行う．

$$\ln\left(\frac{1}{P} - 1\right) = -\theta(\lambda_i - \lambda_i^e) + \theta' C_i + \psi_i \quad (6)$$

式(6)をもちいて重回帰分析を行なう際，平成9年度道路交通センサ調査から相模原市を起終点とする3025ODペアの中から，高速道路利用OD交通量が存在し，高速道路利用経路の所要時間が一般道路利用経路の所要時間より短いものを対象とした．この結果抽出された103ODペアについて重回帰分析を行なった．

このようにして計算した対象の全てのODでの共通の高速道路転換率パラメータは

$$\theta = 9.01E - 2$$

$$\theta' = 2.66E - 4$$

$$\psi = 2.74E - 2$$

と推定され，重相関係数は0.66となった．ここで高速道路を利用するか，しないかという交通行動にはOD間での所要時間差が同等でも走行距離が長い場合と短い場合では高速道路転換率が異なるのが自然である．したがって高速道路転換率のパラメータを全てのODで

一律に定め需要交通量を推定するには無理がある．そこで複数のOD間距離別にパラメータを推定し、距離帯別の高速道路転換率を求める．ここでは10kmから40kmまで、10kmごとに距離帯をとり、40km以上を1つの距離帯として区分し、各距離帯でそれぞれ重回帰分析を行い高速道路転換率モデルのパラメータ推定を行う．この結果を表1として示す．

表1：各距離帯のパラメータ

距離帯(km)				重相関係数
10~20	2.84E-2	-5.20E-5	2.59E-2	0.542
20~30	5.63E-2	9.78E-5	-7.51E-2	0.501
30~40	-3.33E-2	2.58E-6	8.11E-2	0.631
40~	1.77E-1	1.33E-4	8.61E-2	0.586

この結果では各距離帯での重相関係数を見ると各距離帯では0.5~0.6とサンプルデータにややばらつきがあることが分かる．

(4) 各推定結果との比較

本節では、3節で求めた高速道路転換率モデルでの交通量の推計値と同一データによって式(2)を用いて推計した結果、および平成9年度道路交通センサ調査から相模原市を着終点とする高速道路利用交通量(以下「実績値」)の比較を表2として示す．ただし、ここでは式(2)(以下公団モデル)のシフト係数Sは $1.01^3 = 1.03$ として計算する．(シフト係数Sは「国民1人当りの購買力の平成6年を1とした伸び率で、年1%増加する。」と定義されている)実績値は1日の高速道路利用交通量は、7520台と推計されている．この値と提案モデルでの推計結果および公団モデルでの推計結果の比較を表2として示す．

表2：各モデルでの推計結果

	提案モデル	公団モデル
交通量(台)	9444.48	18388.32
交通量誤差	25.50%	139.50%

ここでは10kmから5kmごとの距離別での提案モデルと実績値の交通量の関係および、公団モデルと実績値の交通量の関係を図3、4として示す．

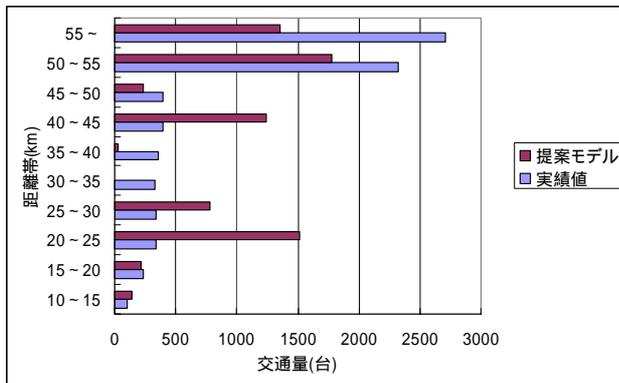


図3：提案モデルと実績値の関係

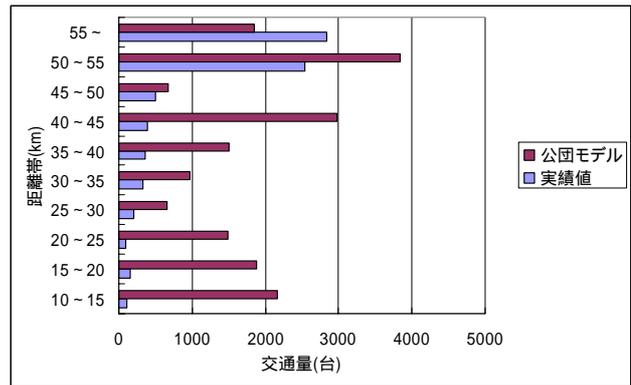


図4：公団モデルと実績値の関係

これらの推計値の距離帯別での相関係数の比較を行うと、前者が0.647、後者が0.494となり相模原市において、現在実務で使用されているモデルより精度の良い結果が得られた．

4. シミュレーションを用いた交通行動分析

(1) OD交通量の推定

さがみ縦貫道路開通時の交通流を推定するための、データの1つとして自動車のOD交通量を推定が必要となってくる．ここでは、さがみ縦貫道路開通時のOD交通量の推定を行う．そこで、まずこの推定のベースとなる交通抵抗を決定するために、相模原市総合都市交通計画策定調査報告書のOD交通量と以下の式で表されるVoorheesの修正重力モデルを用いたOD推定を行い、この2つの値の比較を行い整合性の検証を行う．

$$f(R_{ij}) = a * R_{ij}^b * e^{(-c * R_{ij})} \quad (7)$$

ここに

a, b, c : パラメータ

R_{ij} : ゾーン j 間の距離の平方

その後さがみ縦貫道路開通時の相模原市及びその周辺のOD交通量推定を行う．ここではパラメータは一般的に用いられている $a=1.0, b=0.5, c=1.0$ と設定する．⁴⁾⁵⁾相模原市外への移動にも目を向けると、移動目的によっては自動車のみでは達成できないものも多く存在する．これには都心への通勤や通学などが挙げられる．その際の主な交通手段は鉄道である．そのため、鉄道駅の存在するゾーンとその周辺地域は結びつきの強いものになると考えられるので、この結びつきが存在する OD ペアの交通抵抗を軽減する．その方法として、鉄道駅別鉄道端末交通手段自動車・タクシー・バスの割合を考慮する．以下の式を考慮することにより、交通抵抗を軽くする．⁶⁾⁷⁾

$$M = (100 - M_c - M_t - M_b) / 100 \quad (8)$$

ここに

M_c : 鉄道駅別鉄道末端交通手段車の割合 (%)

M_t : 鉄道駅別鉄道末端交通手段タクシーの割合 (%)

M_b : 鉄道駅別鉄道末端交通手段バスの割合 (%)

これらの処理によって算出したOD交通量の相関係数を表3として示す。

表3 : OD交通量の算出結果

	発生交通量	集中交通量
市内内	0.992	0.989
市内外	0.974	0.966

この結果から相模原市およびその周辺でのOD交通量の推定精度は非常に良いことが分かる。

次にさがみ縦貫道路開通時のOD交通量の推定を行う。この際OD交通量を変化させる要因としてまず考えられるのは、人口の推移である。人口が多くなればそれに従って移動は多くなり、自動車・タクシー・バスの交通量も多くなると考えるのが自然である。またさがみ縦貫道路開通時も自動車に依存する社会は続いていくものと考えられる。そこで、平成8~12年度相模原市の登録自動車台数の対数近似を取ることで、平成32年度の相模原市の登録自動車台数を予測した。(図5参照)

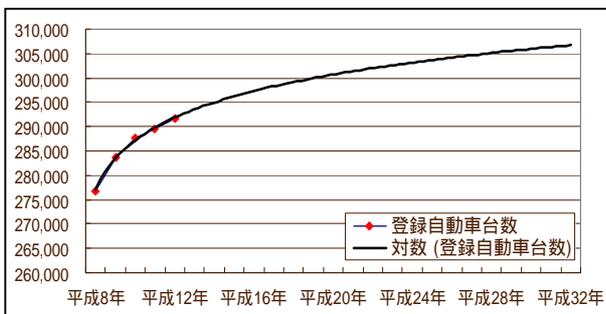


図5 : 相模原市の登録自動車台数の推移予測

以上のことからさがみ縦貫道路開通時の交通量を以下のように推定した。

$$\langle \text{発生交通量} \rangle \quad U_i = X_i * P_i * 1.07$$

$$\langle \text{集中交通量} \rangle \quad V_j = Y_j * P_j * 1.07$$

ここに

P_i : ゾーンiの人口推移

P_j : ゾーンjの人口推移

X_i : ゾーンiからの発生交通量

Y_j : ゾーンjへの集中交通量

U_i : さがみ縦貫道路開通時のゾーンiからの発生交通量

V_j : さがみ縦貫道路開通時のゾーンjへの集中交通量

(2) シミュレーションモデルの概要

本研究では交通流動とそれに起因する汚染物質の推計を統合して行う交通シミュレーションVISUMを用いて相模原市道路ネットワーク(図6)を作成しシミュレーションを実行することによって、交通状況の再現を行い、総走行距離およびNOx、CO2の総排出量を推定する。交通シミュレータ実行までのフローを図8として示す。作成した道路ネットワークは発着セントロイド数42、ノード数181、往復別リンク数412である。本シミュレーションでの車両の経路選択の設定はWardropの第2原則⁸⁾にもとづき、全車両に対して、1時間毎にネットワークの情報を与え、最短経路を選択するように設定を行った。これは松井ら⁹⁾の開発した時間帯別利用者均衡配分モデルと同様の設定であるが、時間帯別高速道路転換率モデルの内生化までは行っていない。また速度別排出係数は、東京都環境保全局が作成した車種別排出係数推計式¹⁰⁾を用いた。排出ガス排出量推定方法を図7として示す。さがみ縦貫道路開通時の新設道路に関しては、再現性の評価を行う際には実際存在しない道路なので、交通容量を「0」にする。

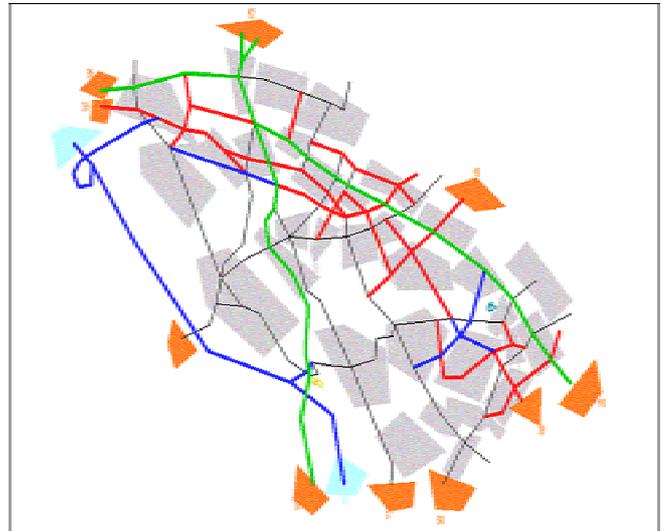


図6 : 相模原市道路ネットワーク

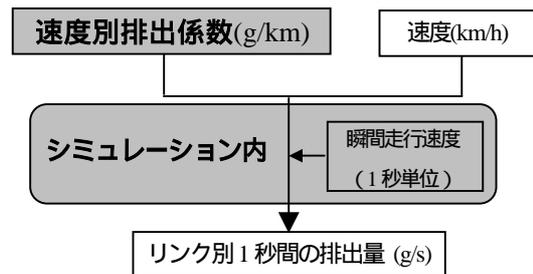


図7 : 排出ガス排出量推定フロー

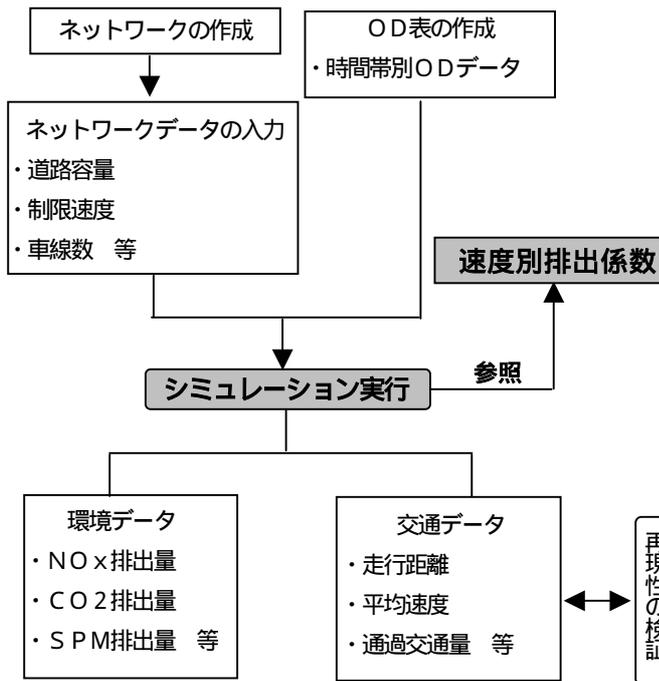


図8：シミュレーション実行のフロー

(3) 交通状況の再現性の検証

再現性の評価に使用する実測値は平成11年度道路交通センサス調査¹⁾より相模原市内での断面交通量観測点13箇所で行う。再現性の指標として、7時から18時の計12時間での1時間ごとの実測断面交通量とシミュレーションでの再現交通量に関して2値の相関係数、絶対誤差、RMS誤差、回帰式 $y = ax$ 傾きaの4つの指標で行う。交通量観測地点を図9に示し、これらの結果を図10及び、表4として示す。



図9：交通量観測地点

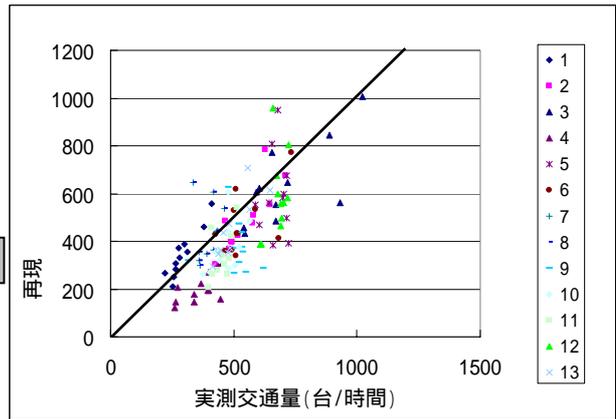


図10：交通量の実測値と再現値の比較

表4：交通量の実測値と再現値の関係

	相関係数	誤差 (%)	傾き a	RMS 誤差
時間帯別平均値	0.721	26	0.876	0.288

これらの結果から高い精度で交通量を再現していることが分かる。このときの総走行距離は22806km、CO₂の総排出量は50554kg/12h NO_xの総排出量は1245kg/12hと推定される。

(4) さがみ縦貫道路開通時の交通量の変化

(a) さがみ縦貫未開通の場合と現状の比較

仮にさがみ縦貫道路が開通しなかった場合、1節で推定したODをもとにシミュレーションを実行した結果と、3節で行ったシミュレーションの結果を総走行距離およびNO_x、CO₂の総排出量で比較を行う。この結果を表5にまとめる。

表5：さがみ縦貫道路未開通時の変化

発生集中交通量	総走行距離	NO _x 排出量	CO ₂ 排出量
+7.60%	+12.9%	+17.1%	+15.6%

このことから高速道路が開通しない場合でも相模原市における交通混雑は悪化するものと推測できる。

(b) さがみ縦貫道路開通時と未開通時の比較

次にさがみ縦貫道路開通時による交通状況の変化に関して同様の比較を行う。この場合高速道路の通過交通量が都市に与える交通負荷、環境負荷の影響を考慮しないために、発生集中交通量の変化はないものとする。さらに3章で求めた転換率モデルを適用することで、市内を通行する車両の経路変更によるさがみ縦貫道路開通時の相模原市内における交通負荷、環境負荷の変化に関して比較する。

表6：さがみ縦貫道路開通時・未開通時の変化

発生集中交通量	総走行距離	NOx排出量	CO2排出量
+0.00%	+8.79%	+7.75%	+11.5%

この結果からさがみ縦貫道路開通時には、仮に開通させなかった場合よりさらに交通混雑は悪化すると推測できる。

(5) 料金変動による交通状況の変化

4節から本研究では、さがみ縦貫の開通の有無に関わらず相模原市においては自動車交通に起因する混雑が悪化し、環境負荷の増加が推測された。そこでここで開発したツールを用いて、さがみ縦貫道路の開通を前提に、この交通混雑、環境負荷の軽減のための施策として、高速道路料金を変動させた場合に相模原市における都市交通、都市環境への負荷との関係を検討する。

(a) 料金感度分析

本研究で推定してパラメータを用いて1kmあたりの高速道路料金と高速道路利用交通量の関係を図11に示す。

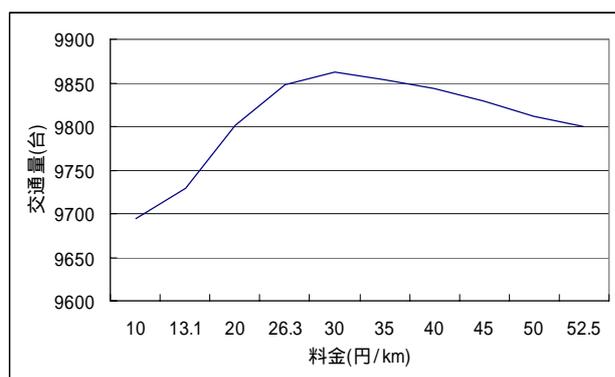


図11：高速道路料金と利用交通量の関係

図11では高速道路料金が高くなるにしたがって、高速道路利用交通量が多くなるという不自然な傾向がみられた。よってこの傾向を高速道路料金が高くなるにしたがって交通量が少なくなるように補正するために、 θ' 項が常に正であり、短距離でパラメータの変動が大きく距離が長くなるに従って収束する性質を持つ対数関数を用いて近似する。使用する説明変数としてはOD間距離を用いた。

$$\theta(x) = 0.0932 \ln(x) - 0.261 \quad (9)$$

(相関係数：0.564)

$$\theta'(x) = 0.0001 \ln(x) - 0.0003 \quad (10)$$

(相関係数：0.715)

$$\psi(x) = 0.0807 \ln(x) - 0.246 \quad (11)$$

(相関係数：0.578)

式(9)～(11)を用いて算出した1kmあたりの高

速道路料金と高速道路利用交通量の関係を図12に示す。

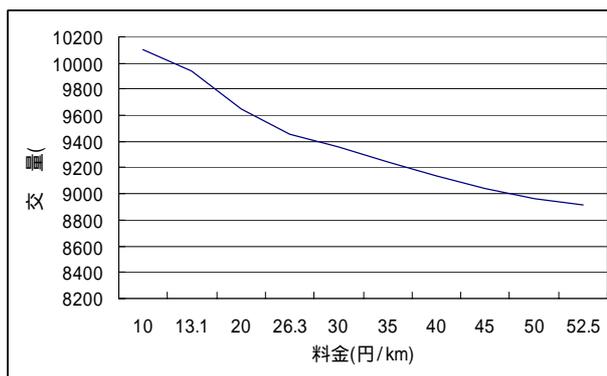


図12：高速道路料金と利用交通量の関係

(b) 料金変動による交通状況の推定

3章で求めた高速道路転換率モデルを用い、固定費150円および、1kmあたり10円から基準料金の2倍まで課金額を1kmあたり5円毎変更し、高速道路利用交通量を推定し、シミュレーションを実行する。その結果各課金方法での車両の経路選択行動による総走行距離、NOxおよびCO2の総排出量を推定し、これらを評価項目として最適な料金施策を求める。上記の各料金設定でシミュレーションを行い、高速道路未開通時と比較した。この結果、基準料金に比べ1kmあたりの料金が高くなるにしたがって3つの評価項目の増加率が大きくなる傾向を示した。また逆に料金が低くなる場合、はじめは3つの評価項目の増加率は減少する傾向を示し、その後再び増加率が高くなった。その中で、これら3つの評価項目の増加率が最も少ない料金設定は、本ネットワークにおいては1kmあたり20円の課金であった。さがみ縦貫道路開通時における相模原市における都市交通、都市環境に最適な高速道路料金は、基準料金よりやや安い、150円の固定費に1kmあたり20円前後の課金であると推測される。

5.まとめ

(1) 結論

本研究で得られた成果は以下ようになる。

- (a) 高速道路料金を考慮した高速道路転換率モデルを構築した。このモデルと既存の高速道路転換率モデルを比較すると、既存のモデルは相模原市の高速道路交通需要に対応しておらず、実際の高速道路利用交通量より多めに推計される傾向がある。一方、本研究で提案したモデルは相模原市の高速道路利用交通量の現在値をより正確に推定することができた。同様の手法を用いることで、国内での高速道路需要予測に対し、過大推計が起り難い交通計画に必要なツールになることを示唆した。

(b) 本研究での提案ツールを用いてシミュレーションした結果、OD交通量が変化しない場合に、高速道路料金変動させ高速道路料金を値下げすることで都市交通、都市環境が改善されるケースがあることを示すことができ、ツールとしての有効性が示せた。

(2) 今後の課題

本研究で提案した高速道路転換率モデルでは高速道路の総利用交通量の精度は良かったが、距離帯別での精度には未だ改善の余地がある。本研究では、説明変数として時間差と高速道路料金を用いたが、新たな説明変数の導入を考慮する必要があると考える。

また本提案ツールの信頼性を高めるためにも、他の都市で同様の手法を用いた研究が必要である。最後に複数の都市を対象にしたメソスケールの交通ネットワークでの交通状況の変化を把握するなど研究の拡張が必要である。

謝辞

最後に本研究をあたるに際し、膨大な資料等の入手にあたり、相模原市役所都市部の方々に多大な協力を得た。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1)建設省道路局編・(社)交通工学研究会：平成9年道路交通センサス,1998。
- 2)松井 寛，藤田 素弘：「高速道路を含む都市圏道路網における利用者均衡配分モデルの実用化に関する研

究」,土木学会論文集,No653,pp85~94,2000。

3)相模原市都市部：「平成12年度相模原市総合都市計画策定報告書」,2001。

4)友正達美・中尾誠司・高木東・山本勝成・室岡順一：「市町村間の通勤行動に関する重力モデルの適用」,農業土木学会中国四国支部講演会講演要旨 Vol.46,pp137~139,1991。

5)武井幸久：「地方都市圏における分布交通の重力構造」,福井工業高等専門学校研究紀要 自然科学・工学 No.25,pp97~111,1991。

6)奥村誠；「地域間交流と人間関係」,交通工学 Vol.31 p3~7 1996 (No.6)

7)相模原市：「平成8年度都市計画基礎調査解析報告書 地区詳細情報カルテ」,1997。

8)藤田素弘,雲林院康宏,松井 寛：「高速道路を考慮した時間帯別均衡配分モデルの拡張に関する研究」,土木計画学研究・論文集,Vol.18No3, pp563-572, 2001。

9)Wardrop ,J.G.:Some :theoretical aspects of road traffic research,Proceedings of the Institution of Civil Engineers, Part (36),pp.325~378,1952。

10)東京都環境保全局：「都内自動車走行量及び自動車排出ガス量算出調査報告書」,1997。

11)建設省道路局編・(社)交通工学研究会：平成11年道路交通センサス,1999。