

都心部通過交通排除をねらった都市高速道路のネットワーク形状
～円形都市モデルからのアプローチ

A Evaluation of Urban Expressway Network for Exclusion
of Traffic Flow through the Center of Metropolis

若 林 拓^{**}, 井 上 矩 之^{***}, 高 橋 徹^{****}

By Hiroshi WAKABAYASHI, Noriyuki INOUE, Toru TAKAHASHI

The aim of this paper is to examine a network structure of urban expressway from a point of view to exclude traffic passing through the center of metropolis. Urban expressway generally consists of a loop road in the center of metropolis and several radial roads. It is reasonable to assume that its role is to connect the center of metropolis with suburban area directly. As inflow demand to expressway increases, traffic congestion often happens especially on a loop road. So it is important to exclude trips on a loop road which have both trip-ends in suburban area and have no purpose in the center of metropolis. In this paper, an evaluation model of network which includes travel demand model and land use change model is developed.

1. 都市高速道路の役割

都市高速道路は一般に複数の放射線と都心環状線とから構成され、道路網全体としては、「都心と郊外を直結」する役割、都心環状線は「郊外からの交通を都心に分散、都心の交通を吸収」させる役割であると考えられる。また、環状線の渋滞は、放射線にまで延伸するとネットワーク全体が麻痺してしまうので環状線の円滑化が重要であると考えられる。流入需要が全体として増加し、渋滞が発生するような状況では環状線通過交通は都心部通過交通を意味

することからも減少させることが重要である。

本研究は、このような動機のもとで通過交通を効果的に排除できるようなネットワーク形状を検討することが目的である。放射・環状型の都市高速道路が環状方向に均質に発達した円形都市に建設された場合を想定し、建設に伴う土地利用の変化、交通需要の変動を連鎖的に取扱うことができるネットワーク評価モデルを作成した。取扱ったネットワーク形状の代表的なものは図-1のとうりである。ケース1は従来一般的な単ループ型で現在の都市高速道路はこの形状に近いと考えられる。ケース2はケース1に外郭環状線を追加した形状、ケース3はさらに都心環状線から通過交通排除のため都心環状線の分断をはかったケースであり既存の放射・環状型ネットワークにおいて構造的に実現可能な形状となっている。ケース4は二重ループ型と呼んでいるが、この形状は都心環状線が2段構造になっており、上り放射線と、下り放射線に接続する環状線とが分離し

* キーワード 交通制御・管理 道路工学

** 正会員 工修 大阪府立高専土木工学科
(〒 572 寝屋川市幸町)

*** 正会員 工博 京都大学工学部交通土木
工学科 (〒 606 京都市左京区吉田本町)

**** 学生員 京都大学大学院
(〒 606 京都市左京区吉田本町)

ていて、上り放射線→環状線→下り放射線の利用のためには一度平面街路に降りなければならない。

2. モデルの構築

このモデルは大きく分けて、都市形態モデルと交通モデル、立地量変動モデルから構成されている。都市形態モデルは都市の形状、ネットワーク形状、および土地利用の初期値を与えるモデルである。交通モデルは、立地量の分布と平面街路と高速道路からなるネットワークが与件とされ、発生・集中交通量、分布交通量、配分交通量を決定するモデルである。立地量変動モデルは、高速道路建設に伴う立地条件の変化が、夜間人口と従業者数という2つの立地主体の立地量にどう影響するかを記述したモデルである。

つまり、本研究では、土地利用の変化が新たな交通需要パターンを生むという土地利用と交通施設間

の相互従属的な関係をモデル化しようとしている。その際、本モデルでは、 t 期の状態が時間遅れを伴って $(t+1)$ 期の状態に影響を及ぼすという仮定を行っており、動的なモデルの形態となっている。

計算のステップは図-2に示すように、まず予備ステップにおいて各ゾーンの夜間人口および従業者の立地量を求めておく。そしてそれらをもとに発生・集中交通量、および分布交通量の初期値を求め、さらに交通量配分を行なうことにより次期ステップにインプットするゾーン間所要時間を得る。 $(t=1)$ 期以降のステップにおいては、上述の立地量変動モデルと交通モデルを交互に適用するが、ネットワーク形状（特にここでは高速道路を中心に考察しているが）は、 t の任意の時期に供用が可能なようなモデル構築となっている。

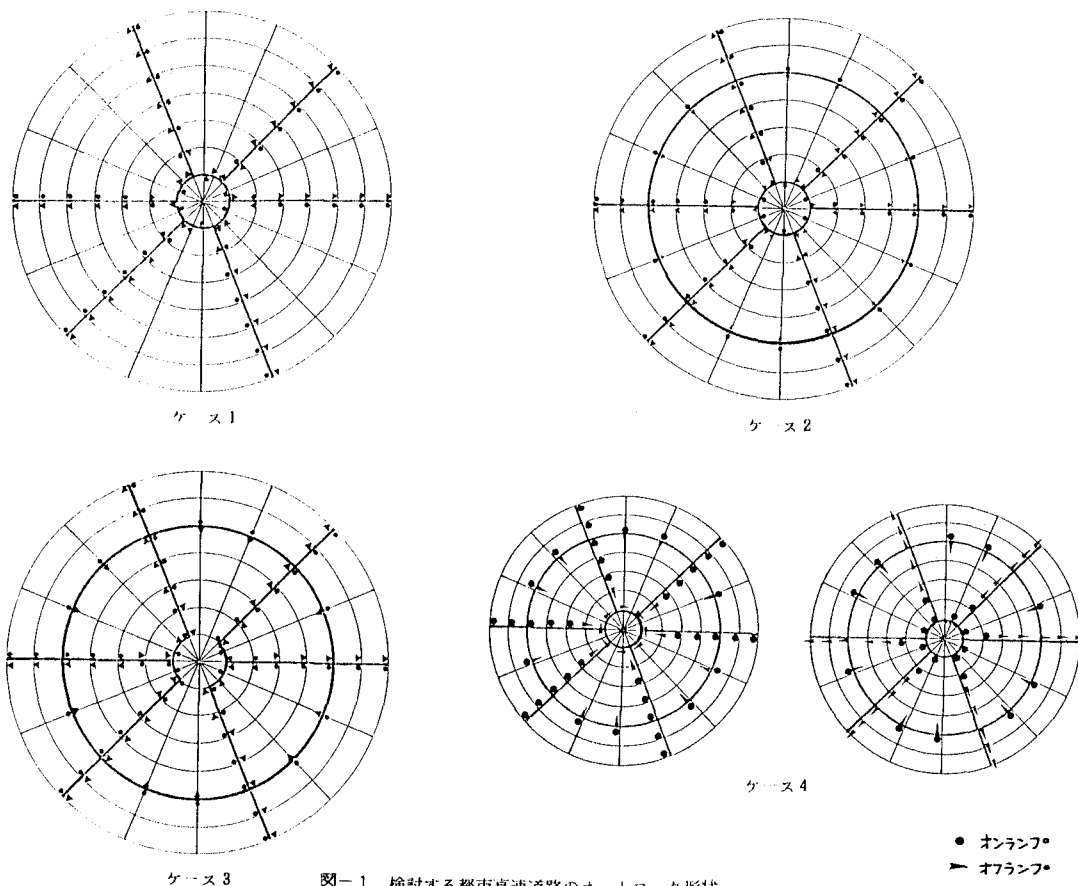


図-1 検討する都市高速道路のネットワーク形状

(1) 都市形態モデル

1) 都市形状・道路網とゾーニング

都市の形状は円形とし、都心を中心に環状方向に均質な都市を想定する。また都市域は有限で、都市外との交通は存在しないと仮定する。都市の規模は都心から15kmとする。これは、大阪市の都心を中心とした15km圏内（大阪市及び周辺都市10市）を取り上げると、昭和49年度の全国交通情勢調査の結果ではその内々トリップ率が87.1%となっており、都市高速道路利用特性を見るという観点からはモデルとしてこの程度の圏域を閉じた地域として設定しても妥当な結果が得られると考えたからである。こ

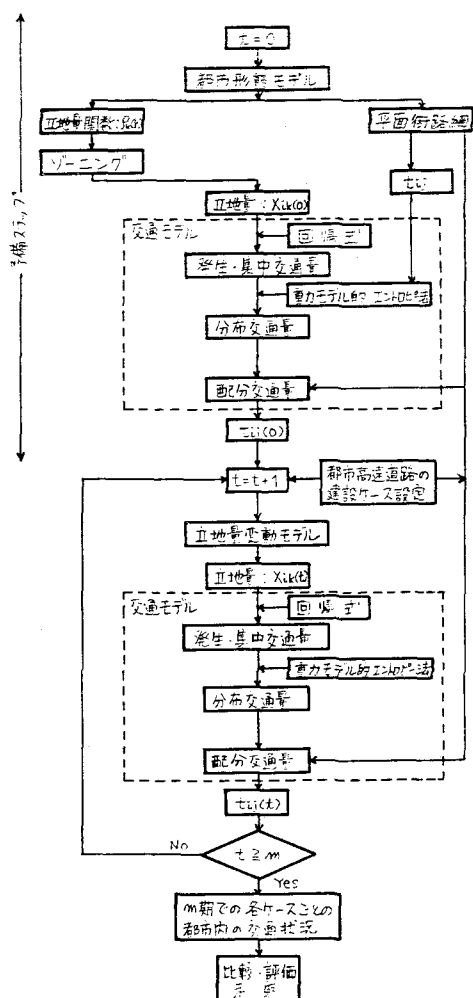


図-2 ネットワーク形状評価モデルのフロー

の円形都市内において、図-3に示すように放射・環状型の平面街路網を設定する。またゾーニングは図-3に示すように平面街路網の交差点を中心とした地紙形に分割している。

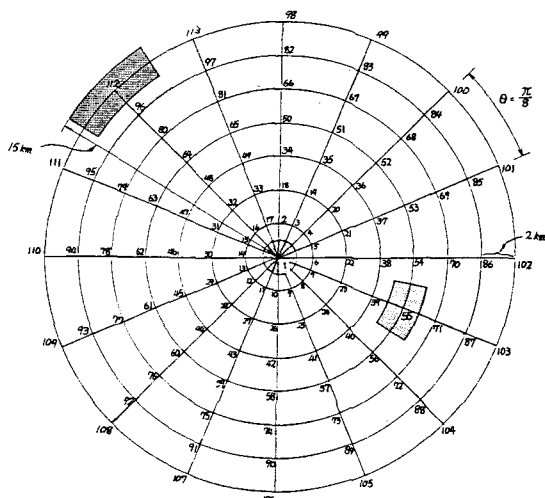


図-3 平面街路網とゾーニング

2) 予備ステップでの立地量の分布

立地主体として夜間人口と従業者を設定し、それぞれの初期立地量の密度関数を与える。従業者はさらに、2種類に分けて取扱っている。本研究では高速道路を建設すれば土地利用が変化し、さらにODパターンが変動して次期の高速道路の利用形態を変化させるという相互作用をモデルに組込むことをねらっている。そのため、道路建設によるアクセシビリティ等の変化により立地が促進される産業とそれ以外の産業とに分けることを考えた。前者は、生産品あるいは活動それ自身が道路に依存する産業とし、後者はそれ以外の産業と考えている。それをここでは基幹の産業と非基幹の産業と定義する。分布形はいずれも非線形回帰モデルを使用して求めている。求められた夜間人口密度関数、従業者密度関数を用いて各ゾーンの立地量を求める。

① 夜間人口

夜間人口密度分布 $P_1(r)$ を都心からの距離 r の2次指数関数として与える。

$$P_1(r) = e^{ar^2 + br + c}$$

(a, b, c はパラメータ)

これは都市化に伴うドーナツ化現象を表現し得る Newling 型のモデルである。

② 従業者

従業者密度分布 $P_2(r)$ を都心からの距離 r の 1 次指数関数として与える。

$$P_2(r) = e^{-ar+b}$$

(a, b はパラメータ)

ゾーン毎に上式により従業者を求め、さらに次のように分ける。

③ 基幹的産業従業者数と非基幹的産業従業者数の比

基幹的産業をここでは製造業と建設業とし、全体の従業者に対する基幹的産業従業者の比率 $P_3(r)$ を都心からの距離 r の関数として与える。

$$P_3(r) = A - e^{-Br+C}$$

(A, B, C はパラメータ)

(2) 交通モデル

ネットワーク、立地量分布を与件として発生・集中交通量、分布交通量、配分交通量を推計する。配分計算の結果得られたゾーン間所要時間は次期ステップのゾーン間所要時間としてインプットする。

1) 各ゾーンの発生・集中交通量

各ゾーンの発生・集中交通量 U_i, V_j は、各ゾーンの夜間人口 X_{i1} と基幹的産業従業者数 X_{i2} と非基幹的産業従業者数 X_{i3} を説明指標として、次式を用いて求めている。

$$U_i = a X_{i1} + b X_{i2} + c X_{i3}$$

(a, b, c はパラメータ)

2) 分布交通量

土地利用の変化、ゾーン間所要時間の変化に対して対応できるモデルを採用する必要がある。そのため、重力モデル式を先験確率としたエントロピー法を採用した。

$$P_{ij}^f = \alpha \cdot U_i \cdot V_j / t_{ij}^f$$

P_{ij}^f : i, j ゾーン間のトリップ発生の先験確率

U_i, V_j : 総発生・集中交通量 T に対する各

ゾーンの発生・集中交通量 U_i, V_j

の比

$$U_i = U_i / T, \quad V_j = V_j / T$$

t_{ij} : ゾーン間所要時間

α, γ : パラメータ

3) 交通量配分モデル

都市内における渋滞状況を考慮に入れるため、等時間配分法を採用している。また、ネットワークに高速道路を有しているために比較の実績のある手法を用いるのが適当と考え、分割・転換率式モデルを採用した。

(3) 立地量変動モデル

本モデルは、 t 期の各ゾーンの特性値の線形和で表わされた $(t+1)$ 期の立地ポテンシャルの相対的比率 $P(t+1)$ によって $(t+1)$ 期の立地量を決定するモデル構造となっている。本モデルでは夜間人口と従業者数（非基幹的産業）を扱っている。基幹的産業は道路建設からの影響で捉えることとし、高速道路のあるゾーンとないゾーンとで異なった伸び率を外生的に与える。 $(t+1)$ 期のゾーン i 、立地主体 k のポテンシャル $Q_{ik}(t+1)$ は、 t 期の現状を維持しようとする特性値 $A_{ik}(t)$ と、現状から各ゾーンの魅力に従って変動しようとする特性値 $A_{ik}(t)$ の線形和で表現する。さらに、各ゾーンの立地量 $X_{ik}(t+1)$ は、全域での $(t+1)$ 期の総立地量 $T_k(t+1)$ を所与として次のように表される。

$$X_{ik}(t+1) = P_{ik}(t+1) * T_k(t+1)$$

$$P_{ik}(t+1) = Q_{ik}(t+1) / \sum_j Q_{jk}(t+1)$$

$$Q_{ik}(t+1) = \alpha_{k1} A_{ik}(t) + \alpha_{k2} A_{ik}(t)$$

α : パラメータ

具体的には、特性値の前者は各立地主体の立地量を取りあげ、後者は高速道路建設に伴うゾーン間所要時間短縮によるアクセシビリティの向上等の要因を考えている。

3. 数値の設定

各ゾーンの夜間人口および従業者数の初期立地量を前節の方法に従ってパラメータ推計を行なって決定する。まず、昭和50年の立地量（大阪府統計年鑑など）から夜間人口密度分布、および従業者人口密度分布、基幹的産業従業者比率の回帰式を非線形回帰により求めた。回帰の適合状況を図-4、5、6に示す。次に求めた回帰式をもとにして、各ゾ

ーンの夜間人口、基幹的産業従業者、非基幹的産業従業者の立地量を計算する。発生・集中交通量のパラメータ推定も同様の地域を対象に重回帰分析により求めている。発生・集中交通量の実績値は昭和50年に近い断面として昭和49年の全国交通情勢調査の結果を用いている。エントロピー式の先験確率としての重力モデル式のパラメータ推定は全国交通情勢調査より求めた各ゾーン間の分布交通量とゾーンの発生・集中交通量および阪神地区走行速度調査から得たゾーン間所要時間から非線形回帰分析によって求めた。立地量変動モデルについては、パラメータ推定に用いる2断面として昭和50年と昭和53年の立地量を用いている。重回帰分析の結果から、符号の検定、相関係数などを考慮して特性値として、1) 夜間人口の推定には、 $A_{ik_1}(t)$ として夜間人口を、 $A_{ik_2}(t)$ として(全従業者へのアクセシビリティ) * (転用農地可能面積) を用い、2) 非基幹的産業従業者の推定には、 $A_{ik_1}(t)$ として非基幹的産業従業者を、 $A_{ik_2}(t)$ として(夜間人口へのアクセシビリティ) + (非基幹的産業従業者へのアクセシビリティ) を採用している。以上により求めたパラメータを用いて各ゾーンの次期立地量の推定を行なうのであるが、本モデルでは地域内の立地量の分布の変化に注目していることから、夜間人口および従業者数の総立地量の変化傾向は、昭和43年から昭和53年の間での同地域での伸び率の平均値、3.3%、6.0%を外生的に与えている。基幹的産業従業者の変化は、高速道路のあるゾーンとないゾーンとで8.0%、-12.2%を外生的に与えている。

4. 評価のためのモデルの前提条件と評価の規準

① $(t = 0)$ 期を基準時点とし、 $(t = 1)$ 期より高速道路が供用される。

② t 期から $(t + 1)$ 期への予測断面間の間隔は3年である。

③ 評価の時点としては、供用開始後ほぼ10年を想定することにし、その近い断面である $(t = 4)$ 期とする。

④ 都市モデルにおける $(t = 0)$ 期の夜間人口は651万人、従業者数は309万人、総発生・集中交通量は358万トリップであり、 $(t = 4)$ 期のそれぞれの値は、737万人、368万人、418万トリップである(ケース1)。(表-2参照)。

表1 回帰式のパラメータ一覧表

回帰式	パラメータ推定値
人口密度 (人/km ²) $P_1(r) = e^{ar^2 - br + c}$	$a = -0.00439$ $b = 0.01488$ $c = 9.4464$
従業者密度 (人/km ²) $P_2(r) = e^{ar + b}$	$a = -0.25457$ $b = 10.484$
基幹的産業 従業者比率 (%) $P_3(r) = A - e^{-Br + C}$	$A = 0.433$ $B = -0.427$ $C = -1.400$
発生・集中 交通量 (台) $U_i = aX_{i1} - bX_{i2} - cX_{i3}$	$a = 0.222$ $b = 0.639$ $c = 0.721$

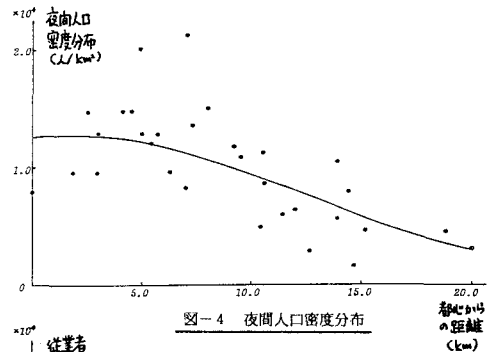


図-4 夜間人口密度分布

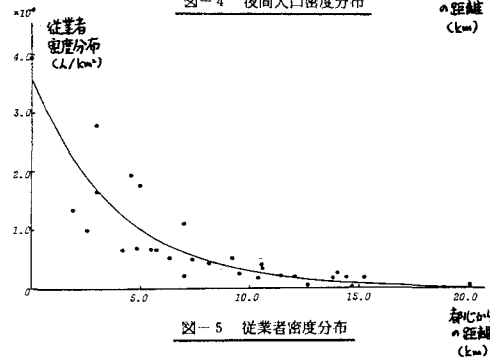


図-5 従業者密度分布

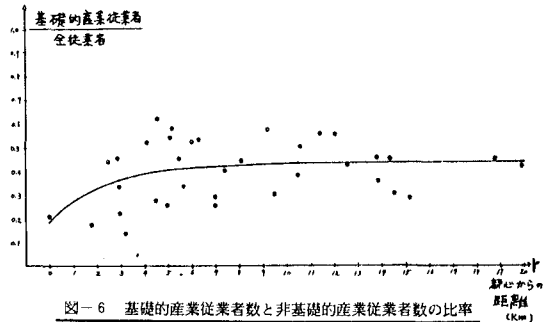


図-6 基幹的産業従業者数と非基幹的産業従業者数の比率

表-2 夜間人口、従業者数、総発生・集中交通量

		夜間人口	従業者数	総発生・集中交通量
ヒ=0		651.1万人	309.8万人	358.4万トリップ
ヒ=4	ケース1	737.1万人	368.1万人	418.0万トリップ
	ケース2	737.1万人	371.8万人	420.4万トリップ
	ケース3	737.1万人	371.9万人	420.4万トリップ
	ケース4	737.1万人	371.8万人	420.4万トリップ

1. で述べたように本研究では都市高速道路の本来の役割を都心と郊外を結ぶ交通が便宜をはかられるべきであるとの立場に立っている。そこで、ネットワーク形状の比較評価に際しての規準について述べる。

① 高速道路網全体、特に都心環状線の渋滞軽減ははかられること。

② 平面街路、特に都心部街路の渋滞の軽減もはかられること。

③ 都心環状線通過交通の利用が抑えられ、放射線→環状線中心の利用がなされていること。

これらのことにより、利用特性に注目した評価指標として ①都心環状線利用台数、②都心環状線通過台数、③都心環状線内の平面街路利用台キロ等を用いている。

5. 結果と結論

計算結果を表-3に示す。

(1) 都心環状線通過トリップについて

都心環状線通過トリップは、ケース1の15.9万台に対し、ケース2では11.9万台と減少してはいるも

の 外郭環状線のみでの設置では通過交通排除の効果が十分大きくないことがわかった。それに対し都心環状線に何らかの制約を設けたケース3、4では6.3万台、3.7万台と減少して効果のあることがわかった。

都心環状線通過トリップの減少分については、放射線→外郭環状線型トリップや外郭環状線内々型トリップに転換したと考えられる。都心環状線の利用台数はケース1で32万台であったが ケース2、ケース3、ケース4では28万台、21万台、21万台と減少している。特にケース3、ケース4では都心環状線が円滑に維持されている。

(2) 各ケースの都心部平面街路への影響

都心環状線内の平面街路の台キロは、各ケースで 3.404×10^6 (台キロ)、 3.362×10^6 (台キロ)、 3.342×10^6 (台キロ)、 3.396×10^6 (台キロ) となっており、ケース2～4ともケース1より平面街路の台キロが減少している。なお3ケース中、ケース4では台キロが少し高く計算されているがケース4ではネットワークのオンランプ、オフランプの位置設定で都心環状線内々のトリップが利用できなくなっており、その分を平面街路で受けもっているため高めに計算されたと考えられる。

(3) 都心と郊外の直結機能について

このトリップとしては、放射線→都心環状線型トリップを考える。ケース2では15万台、ケース3では13万台、ケース4では18万台となっており、都

表-3 利用特性のケース間比較

ケース	① 高速利用台数	利用効率 台/km	② 都心環状線 利用台数 (②/①)	③ 都心環状線通 過トリップ (③/②)	④ 放射線→外 郭環状線型 トリップ (④/①)	⑤ 外郭環状線 内内型 トリップ (⑤/①)	⑥ 放射線→ 都心環状線 型トリップ (⑥/①)	⑦ 都心環状線内 の平面街路 台キロ
ケース1	379873	4491	323161 (85.1%)	159414 (42.0%)	-----	-----	149571 (39.4%)	3.404×10^6
ケース2	552454	3748	284462 (51.5%)	118836 (21.5%)	109871 (19.0%)	119497 (21.5%)	153058 (27.7%)	3.362×10^6
ケース3	534089	3743	210033 (39.3%)	63365 (11.9%)	125429 (23.5%)	127202 (23.7%)	133295 (25.0%)	3.342×10^6
ケース4	520396	3530	216163 (41.5%)	34605 (6.6%)	121182 (23.3%)	128090 (24.6%)	181558 (34.9%)	3.396×10^6
現況参考値 ケース1 (1955年)	417754	5130	299607 (71.7%)	163116 (39.2%)	-----	-----	133568 (32.0%)	-----

心と郊外の一體的都市機能を充足させるにはケース4が一番好ましいと考えられる。ケース3が少し低くなっているのは都心環状線が分断されて十分利用できないため、ケース2の放射線 $\leftrightarrow$ 都心環状線型トリップが放射線内タトリップに転換しているものと考えられる。

(4) 各ケースの利用効率について

高速道路の利用台数はケース2～4で55万台、53万台、52万台で現況を表すケース1の37万台より各ケースとも増加している。この高速道路利用台数を供用延長距離で除した利用効率で各ケースを比較すると、ケース1では4491台/km、ケース2では3748台/km、ケース3では3743台/km、ケース4では3530台/kmとなっておりケース2～4では外郭環状線を設置したために利用効率が低くなっている。これは交通管制が容易であるという利点がある反面、償還しにくいという問題点もあると考えられる。

以上、ケース4の都心部環状線2重ループ型に外郭環状線を設置する場合が最も望ましいことが明らかとなった。また現実的な政策面からは、ケース3の都心部環状線分断型に外郭環状線を設置する場合も有効であるが、その場合には、都心部平面街路に対する適切な渋滞対策を行なう必要があると考えら

れる。

本研究における今後の課題は次のとおりである。

- 1) ネットワーク建設の立地変動への影響のみを捉えることは困難である。しかし、長期展望にたったネットワークの評価を行なうにはネットワーク建設の立地に及ぼす影響を何らかの形で取入れねばならず、モデルの改良を含めて今後の検討を要する。
- 2) ネットワークの評価問題を、今回取扱った通過交通排除という評価からネットワークの運用のしやすさという評価への拡張を考えており、現在検討を進めている。

この他にも課題は多いが、本モデルにはモデルの挙動が比較的安定していて応答が素直であるという特徴があり、本研究のような方法論をネットワーク形状の評価問題に使用することの可能性が明らかとなった。最後に本研究のモデル作成にあたって多大なご協力をいただいた運輸省（当時京都大学大学院学生）中野則夫氏に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 井上、若林、高橋「都市高速道路の都心部通過交通排除をねらったネットワーク形状の評価」
（土木学会関西支部昭和59年度年講）
- 2) 伊藤滋「計量的土地利用計画」（「地域政策の計画と適用」勁草書房1974 第5章）
- 3) 奥平耕造「都市工学読本」彰国社1976