

道路網計画と土地利用パターンの整合に関する考察

INVESTIGATIONS ON INTEGRATED ROAD NETWORK
AND LAND USE PLANNING

飯田 恭 敬*・平 本 健 二**

By Yasunori IIDA and Kenji HIRAMOTO

1. 緒 論

ここ数年来、都市内における道路網交通需要は飽和状態に達しているが、最近では環境公害問題あるいはエネルギー問題とも関連して、こうした劣悪な道路事情を少しでも緩和すべく、各種交通規制の導入やマイカーから公共輸送機関への転換策が講じられている。しかし、これらの対処療法的な方策のみでは限界があることは自明で、抜本的には長期的視点に立った交通需要の発生および集中源の再配置もあわせて考慮することが必要である。この交通需要の発生および集中源の再配置ということは、とりもなおさず土地利用形態の変更を意味するものであり、問題は既存の道路網に対して、どのような地域別土地利用形態（これを土地利用パターンということにする）が望ましいかを知ることとなる。そこで本研究では、所与道路網に対する運用面からみた最適な土地利用パターンを考慮することにする。

本論文ではまず初めに、各ゾーンとも土地利用に対する面積的制約がまったく存在しない、いいかえると利用空間に余裕が十分にある場合を想定して考えてみる。この場合はどのような土地利用パターンも実現可能であると考えてもよいので、問題を単純化して地域別にみた発生交通量および集中交通量の分布形態について検討すればよい。しかし人口が増加するとおのずと土地利用空間に制約が伴い、それに現実の土地利用形成においては経済的効率性、生活の利便性、環境の良悪が基本要因となっている。また、これらの諸要因は交通サービス水準と相互依存関係を有している。このことから、ローリーモデルに道路網要因を組込んで、土地利用モデルをより現実的なものに発展させ、先のモデルとは異なった観点から検討を試みる。このときモデルとしては、すべての交

通機関を含んだものであることが望ましいが、この場合は、交通機関分担率といったまだ研究課題として多くの問題が残されていることに加え、大量輸送機関の路線系統や運転間隔等の設定が困難であるため、ここでは乗用車のみを対象とした道路網交通に限定することにする。

ところで、土地利用パターンにおける最適ということであるが、ここではある土地利用パターンから生じられる交通需要量が所与道路網施設と最もバランスがとれている状態をいう。バランス状態を表わす指標としては処理可能最大トリップ数（これを道路網容量とよぶ）、総走行所要時間、平均トリップ時間、道路区間の平均混雑度およびその分散等であり、これらを総合的に判断することによって評価していく。これらの評価基準が単一的な尺度でないこともさることながら、土地利用形成におけるメカニズムが複雑であるため、最適な土地利用パターンを解析的に求めることはきわめて困難である。そのため、ここでは道路網形態、道路密度および土地利用の基本パターンをいくつか組合せとしてあらかじめ与え、モデル計算の結果を通して、土地利用計画と道路網計画の整合について議論することにする。

結論は後で詳しく述べるが、要するに最適な土地利用パターンは道路網形態と道路施設密度によって異なるということである。したがって、都市交通問題解決に対する一つの方法としてしばしば安易に主張される、交通需要を多量に発生させる都市施設の分散配置策は、必ずしも当を得たものではないということである。

2. 発生および集中交通量の単純分布方策による
土地利用パターンの検討（単純分布モデル）

(1) モデルの考え方

土地利用パターンを単純に発生および集中交通量の分布形態として捕え、道路網との関係を考察してみる。実

* 正会員 工博 金沢大学助教授 工学部建設工学科

** 正会員 工修 大日本コンサルタント(株)

際土地利用パターンはあるメカニズムをもって形成されるが、ここではひとまずそのメカニズムを無視して、どのような発生および集中交通量の分布形態も実現可能であると考えて行うことにする。もちろん、これらがすべて実現可能であるためには、各ゾーンとも土地利用空間に制約がないことが前提となっていなければならない。そして、OD 交通パターンは与えられた発生集中分布形態に対し重力モデルに基づいて形成されるものとする。

このモデルでは、所与道路網に対する土地利用パターンの適否を道路網容量と平均トリップ時間で評価することにする。この他にも道路区間混雑度に関する指標があるが、このモデルは単純であるため容易に推量できるので特に求めてはいない。ここで道路網容量は、その道路網が正常なサービス水準で処理可能な最大総トリップ数ということであり、次のように定義している。すなわち、対象域内における OD 交通量の相対比率（これを OD パターンとよぶ）を不変としたとき、どの OD 交通も渋滞に遭遇することなく円滑な状態で走行可能な経路を有する最大総トリップ数である。したがって、道路網容量は OD パターン不変の仮定から時間当りのトリップ数で考えるのが妥当であろう。この道路網容量は、経路選択行動と OD パターンによって異なってくる。経路選択行動に関しては、対象域が都市内道路網という限られた範囲であるからどのドライバーも道路事情についてはよく通じていると思われ、等時間原則配分に沿って行われると考えても差し支えなからう。それゆえ、経路選択行動はすべて等時間原則配分で取扱うことにして、各種の OD パターンに対する道路網容量を求めることにする。

道路網容量を評価基準とした理由は、この値が所与道路網に対する土地利用パターンの調和程度を表わす1つの指標と考えることができるからである。道路網容量が小さくなるのは、特定の道路に交通需要が集中してしまう土地利用パターンの場合であり、道路網容量が大きくなるのは、道路網全体に交通需要が適当に分散するような土地利用パターンのときである。したがって、道路網容量を大にする土地利用パターンほど、各道路区間が均等に使われ、交通需要に対する余裕があることから、所与道路網と調和しているといつてよい。

他の指標としては、トリップ所要時間が通常よく用いられるが、これには総所要時間と平均所要時間がある。しかし、両者の値は、総トリップ数の伸びに伴い増大する。特に、前者は相乗されて増大する。したがって、これらの値を用いての相互比較は、総トリップ数が一定値でなければならない。しかしながら本研究では、道路網容量との関連で、トリップ所要時間を評価するというこ

とであるから、総トリップ数は固定ではなく、その差異を考慮して評価しなければならない。そのためには上述の性質から総所要時間よりも平均所要時間を用いる方が考察が容易である。

昨今では交通需要が輻輳しているおりから、所要時間面での運用サービス向上もさることながら、できるだけ多くの交通需要を処理することに重点が置かれている。それゆえ、道路網容量を主として評価し、平均所要時間等の他要因は従として考えていくことにする。

(2) モデル計算の方法と結果

道路網と土地利用パターンの適合性に関する一般法則性を把握するのがここでの目的であるから、いくつかの代表的な道路網タイプに対し、交通量の発生密度および集中密度の分布形態の組合せを与えて、モデル計算で考察してみる。道路網形態としては、図-1 に示すような帯状道路網、格子状道路網、放射状道路網、放射環状道路網の4種類である。また、道路密度分布によって道路網容量や平均所要時間等が異なってくるので、道路密度分布を次の3つの型に分類した。① 中心部において高密度で周辺部にいくほど低密度である。② 対象域全体について道路密度が均一である。③ 中心部においては低密度で周辺部ほど高密度である。これらをそれぞれ中心部高密度型、均等密度型、周辺部高密度型とよぶことにする。道路密度が高ければ交通需要を多量に処理できるということであるから、モデル計算では道路区間容量に置き換えて与えてある。発生交通量と集中交通量の密度分布についても同様な3つのタイプで考えることにすると、表-1 に示す9ケースですべての交通量分布の組合せを検討できることになる。各ケースについての OD パターンは、各ゾーンの所与発生密度、集中密度および

表-1 発生交通量と集中交通量の分布形の組合せ

発生量	集中量		
	周辺部高密度型	中心部高密度型	全域均等密度型
周辺部高密度型	ケース 1	ケース 2	ケース 3
中心部高密度型	ケース 4	ケース 5	ケース 6
全域均等密度型	ケース 7	ケース 8	ケース 9

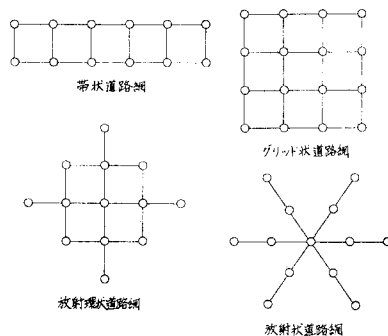


図-1 単純分布モデルの対象道路網

ゾーン間距離から重力モデルで OD トリップ確率を求め、これを正規化することによって得る。道路網容量は、上で与えられた OD パターンのもとに総トリップ数を適当な増分で少量ずつ等時間原則で道路網に配分し、交通量が容量に達した道路区間を順次除去することによって決定できる。すなわち、この操作においてトリップが不能となる OD 交通が出現したとき、その総トリップ数が道路網容量となる。なお、このモデル計算ではノードのみで交通量の発生集中が行われるとしているので、ゾーン内トリップは同一ノード内交通として取扱われ、配分の対象とはならない。

次にモデル計算の結果について述べよう。個々のケースの投入データについては紙幅の制約から詳しく述べられないので、基本的なことだけを記しておく。まず道路密度に関してであるが、標準的な場合、道路区間の容量は 1000 台/時として取扱っている。そして、高密度な場合はこの 2 割増、低密度な場合は 2 割減としている。交通量の発生および集中密度の分布に関しては、高密度と低密度の比率を带状道路網では 1:3、放射型では 1:4、格子型では 1:2、放射環状型道路網では 1:5 で行っている。なお、これらの投入データの与え方については明確な基準がないので、一般的な傾向をつかむため適当に行ったものである。結果は、道路網形態別に 図-2 から 図-5 に示してある。

a) 带状道路網

道路網容量が最大となるのは発生および集中交通量が同一分布型となるときであり、中でも周辺部高密度型のケース 1 である。逆に最小となるのは、発生量が周辺部高密度で集中量が中心部高密度のケース 2 である。したがって、中心部が業務地として専用化され、郊外部が住宅地として発展する土地利用パターンは、带状道路網の場合最も悪いケースとなる。この逆の土地利用パターンはケース 4 であるが、これも 2 番目に悪い。道路密度分布の変化はこの道路網形態の場合ほとんど影響がなく、ケース 5 および 9 についてのみ道路密度を中心部で高くしたとき、道路網容量が増大する。しかし、ケース 5 は道路密度が周辺部高密度型になると、急激に道路網容量が低下する。平均トリップ時間についてみると、総トリップ数が最大となるケース 1 が大きくなるのはある程度やむを得ないが、周辺部道路密度を高くしてやると、他ケースに比べて相対的によくなる。ケース 2 は道路網容量が小さいので平均所要時間はよくなる

と思われていたが、結果はかなり悪い順位となっている。したがって、平均所要時間の面からもケース 2 の土地利用形態はよくないことが改めて認識される。もし道

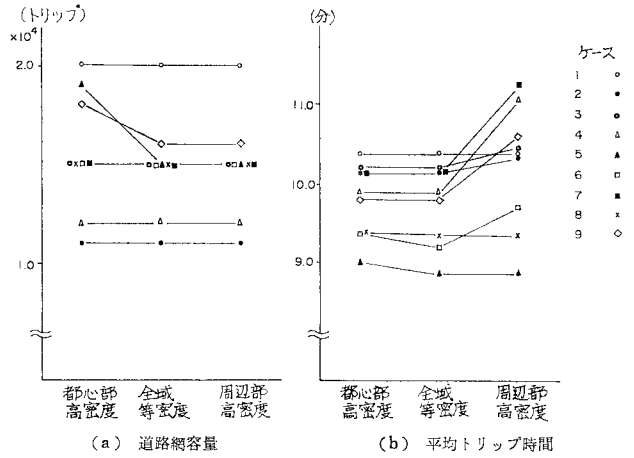


図-2 带状道路網の計算結果

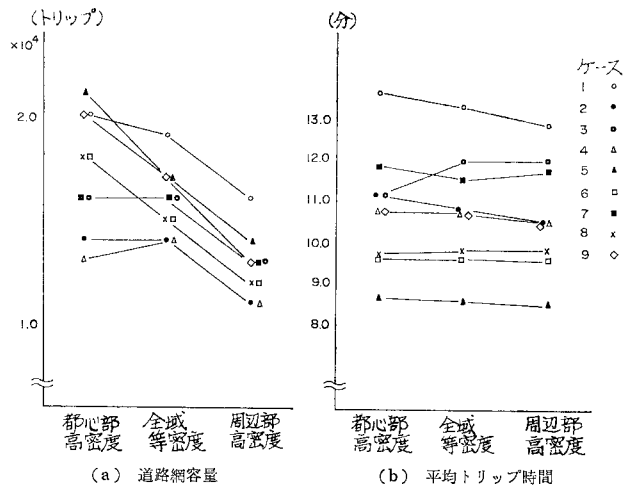


図-3 放射状道路網の計算結果

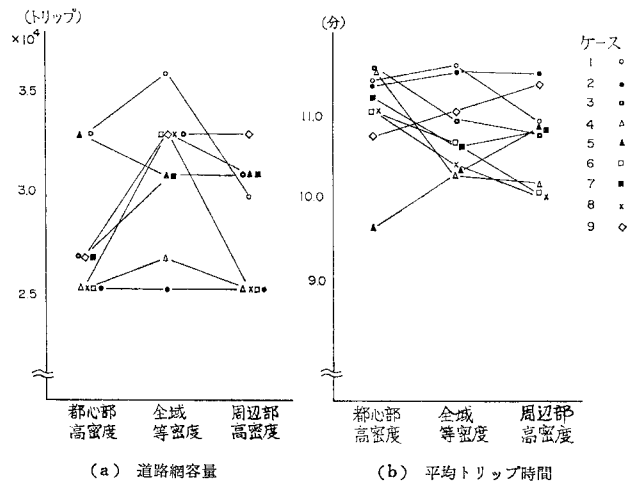
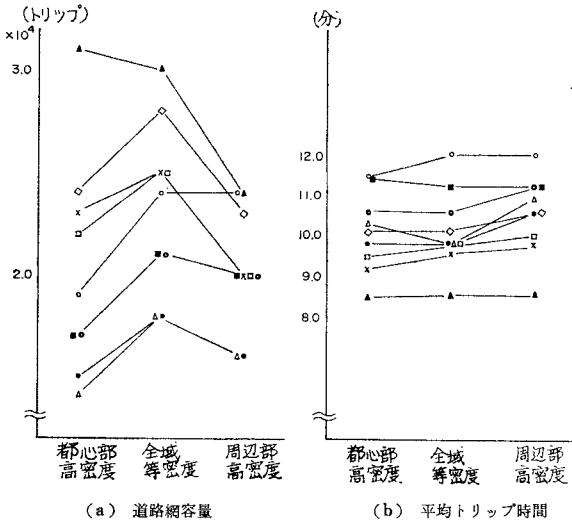


図-4 格子状道路網の計算結果



図一五 放射環状道路網の計算結果

路網容量も平均所要時間もどちらも望むということであれば、発生集中交通量ともに中心部高密度型のケース5が最適となろう。道路網の整備方針としては、この道路網形態の場合交通量が都心部に集積される性質をもつため、都心部道路密度を高くしてやるのがよいようである。

b) 放射状道路網

道路網容量が最大となるケースを道路密度分布型によってみると、中心部高密度型ではケース5、均等密度型および周辺部高密度型ではケース1となる。そして、全般的傾向として、道路密度が中心部高密度型から周辺部高密度型に移行するにつれて道路網容量は低下する。それゆえ、この道路網形態のときは中心部道路を重点的に整備するのがよいと思われる。平均トリップ時間については、道路密度分布型による変動量は带状道路網の場合に比べて小さいが、傾向としてはほぼ似ている。

c) 格子状道路網

道路密度が中心部高密度型の場合は、ケース1とケース5が道路網容量を最大とする。道路が均等密度型の場合はケース1、周辺部高密度型の場合はケース9が最大となる。一方、ケース2はこの道路網形態の場合も道路密度型のいかにかわらず最低となっている。平均トリップ時間でみると、道路密度分布型によってかなり変化するので一概にはいえないが、ケース5がやはりよさそうである。ケース2はここでも最低の部類に属している。これらのことから道路網容量だけを重視するのであれば、ケース1かケース9、平均所要時間も同等にウェイトを置くのなら、ケース5の土地利用パターンが最適と判断されるであろう。格子状道路網のときは道路密度が全域で等しいとき、ほとんどのケースで道路網容量

が増大するので、道路網の整備方針としては均等密度型にするのがよいようである。また、ケース3とケース7については周辺部道路を密にするほど道路網容量、平均所要時間もよくなるのが特徴的である。

d) 放射環状道路網

この道路網形態では発生・集中密度ともに中心部に集中するケース5が、道路密度分布型に関係なく道路網容量が最大となる。当然のことながら、道路密度分布型がこれに相応しているほどよい。ついではケース9がランクされる。発生・集中密度がともに周辺部で高いケース1は、道路密度も周辺部で高いとき、ケース5と同じ道路網容量となり最良となるが、道路密度分布がそれ以外のときはランキングが低下する。また、平均所要時間についてもケース5の値が最も小さい。しかし、ケース1は道路網が周辺部高密度のとき、道路網容量は最上位にランクされるのに、平均所要時間は最低位となる。道路網容量は道路密度を均等にしたとき、ケース5を除いてすべて増大するが、平均所要時間はほとんど変化しない。ゆえに放射環状道路網では、格子状道路網の場合よりも明確に、道路を均等密度で整備するのが最良の結果となっている。ただし、ケース5のみは道路網容量が低下するので得策とはなっていない。

- ケース
- 1 ○
- 2 ●
- 3 ◊
- 4 ▲
- 5 △
- 6 □
- 7 ■
- 8 ×
- 9 ◇

以上のことを整理すると次のようにまとめることができる。第1点は、どのような道路網形態に対してもケース1, 5, 9が道路網容量に関してよい結果を与えている。これらのケースはいずれも発生および集中密度分布が同型であるため、同一ゾーン内（この場合は同一ノード内）トリップが多くなっているからである。このことはきわめて常識的であるが、職住近接をはかることが道路網運用にとって重要であることを示している。第2点は、道路網容量をできるだけ大きくするには、通過交通が中心部に集積せざるを得ない道路網形態（ここでは带状道路網と放射状道路網）では、周辺部に発生および集中交通量分布を集めるのがよく、中心部通過交通に対してバイパス経路を有する道路網形態（格子状道路網と放射環状道路網）では、中心部の発生・集中交通密度を高くするのがよいとなっている。第3点は、道路網整備の方針としては、道路網形態が前者の場合、交通量が中心部に集中する特性を有するので、中心部道路密度が高くなるように、後者の場合は、交通量が均等に分散されるので特定部分のみの整備では効果が薄く、全体として一律に整備するのがよいと考えられる。第4点は、最適な土地利用パターンは道路密度分布とも無関係ではなく、道路密度分布に応じた発生・集中交通密度分布とするのがよいとなっている。具体的には、中心部で道路密度が

高ければ交通密度分布も中心部に集中させ、逆の場合は、周辺部の交通密度分布を高くすればよい。第5点は、平均所要時間についてであるが、道路密度分布と道路網容量によってかなり値が変動するものの、発生・集中交通の分布密度を周辺部で高くしたとき大きく、逆に中心部で高くしたとき小さくなっている。

3. 道路網要因を考慮したローリーモデルによる土地利用パターンの検討

(1) ローリーモデルの拡張

現実の土地利用は経済的効率性や社会生活における利便性によって形成されるものであり、また各ゾーンの利用空間にも上限がある。そこで本章ではローリーモデルを応用して考察することにする^{2),3)}。ローリーモデルでは、土地利用における活動主体を基礎的産業部門、サービス産業部門、世帯部門の3部門に分類している。基礎的産業部門はモデルに外生的に与えられるものであり、一方、サービス産業分布と世帯分布は、対象地域の人口分布に依存して決まるものであり、内生化されている。いまゾーン*i*における基礎的産業従業者数、サービス産業従業者数および世帯数をそれぞれ E_i^b, E_i^s, P_i とすると、基礎的産業従業者ベクトル E^b が与えられたとき、サービス産業従業者ベクトル E^s および世帯ベクトル P は式(1)および式(2)の行列演算によって決定できる。

$$E^s = E^b \{I - (AB + C)\}^{-1} (AB + C) \dots\dots\dots (1)$$

$$P = E^b \{I - (AB + C)\}^{-1} A \dots\dots\dots (2)$$

ただし、

$$E^b = (E_1^b, E_2^b, \dots, E_n^b)$$

$$E^s = (E_1^s, E_2^s, \dots, E_n^s)$$

$$P = (P_1, P_2, \dots, P_n)$$

$$A = [a_{ij}] = [a_{ij}' \alpha_j] \quad (i, j = 1 \sim n)$$

$$B = [b_{ij}] = [b_{ij}' \beta_j] \quad (i, j = 1 \sim n)$$

$$C = [c_{ij}] = [b_{ij}' r_j] \quad (i, j = 1 \sim n)$$

$I =$ 単位行列

また、 a_{ij}' ゾーン*i*における従業者がゾーン*j*に世帯を構える確率、 b_{ij}' は、ゾーン*i*における居住者および従業者がゾーン*j*でサービスを受ける確率、 α_j はゾーン*j*に住居をもつ従業者1人当りの世帯数、 β_j はゾーン*j*の1世帯当りに必要なサービス産業従業者、 r_j は、ゾーン*j*の従業者1人当りに必要なサービス産業従業者である。

このモデル演算を実行するには、 a_{ij}' と b_{ij}' を決めおかねばならない。まず、 a_{ij}' についてであるが、本研究の目的はモデル作成に主眼があるのではなく、巨視

的観点から土地利用形成を検討することにあるから、同一の価値基準をもつと仮定して簡単に扱おうことにする。居住地選択の評価要因としては交通の便と住環境の良悪を採用する。通勤における交通の便としては通勤所要時間を用いればよいであろう。住環境水準を示す指標としては既存の居住人口と密度で表わしてみることとする。これは住環境がよければそこに住みたいという欲求が強く、逆からみれば、既存人口が多いということはその結果としての現象であるとも考えられるからである。しかし、人口密度が過密になると生活施設のサービス水準が低下して住環境は悪化する。そこで、ゾーン*i*の従業者がゾーン*j*に住居を選択する潜在的確率を選択ポテンシャルと定義して R_{ij} で表わすと、 R_{ij} は式(3)のように記述できる。

$$R_{ij} = AP_j^{\delta_1} (1 - x_j/AP_j)^{\delta_2} (x_j + 1)^{\delta_3} / T_{ij}^{\delta_4} \dots\dots\dots (3)$$

ここに、 AP_j はゾーン*j*の可能最大世帯分布数、 x_j はゾーン*j*の既存世帯分布数、 T_{ij} はゾーン*i, j*間の所要時間である。また、 $\delta_1, \delta_2, \delta_3, \delta_4$ は要因の重みを表わす係数であるが、ここでは、既存データが得られないことから同一とした。これより、 a_{ij}' は式(4)のように表わせられる。

$$a_{ij}' = R_{ij} / \sum_{j=1}^n R_{ij} \dots\dots\dots (4)$$

次に、 b_{ij}' について考える。これはゾーン*i*における従業者と居住者のゾーン*j*へのサービス産業へのトリップ確率でもある。つまりローリーモデルではゾーン*j*への顧客数に応じて、サービス産業部門の規模が拡大され従業者が増える形となっている。いまゾーン*i*の従業者と居住者によるゾーン*j*のサービス産業部門従業者の増大ポテンシャルを S_{ij} とすると、 S_{ij} は上と同様な考え方で式(5)のように示せる。

$$S_{ij} = AS_j^{\epsilon_1} (1 - y_j/AS_j)^{\epsilon_2} (y_j + 1)^{\epsilon_3} / T_{ij}^{\epsilon_4} \dots\dots (5)$$

ここに、 AS_j はゾーン*j*のサービス産業従業者の可能最大分布数、 y_j はゾーン*j*の既存サービス産業従業者数である。また、 $\epsilon_1, \epsilon_2, \epsilon_3, \epsilon_4$ は要因の相対的重みを示す係数である。計算では、同一の重みとした。これより、 b_{ij}' は式(6)で得られる。

$$b_{ij}' = S_{ij} / \sum_{j=1}^n S_{ij} \dots\dots\dots (6)$$

ところでこのモデルでは、世帯分布については通勤所要時間を、サービス産業従業者分布については業務時間帯の所要時間を要因として用いなければならない。通勤時間帯は交通需要のピーク時であり混雑度が最大であるため、所要時間が居住地選択において大きく効いてくる。しかし、業務時間帯においては道路は比較的空いた状態であり、交通所要時間のサービス産業従業者分布に

与える影響も比較的小さいと考えられる。そこで、交通所要時間については、通勤交通のみ世帯分布の変化に応じて修正することにし、業務交通に対しては、配分計算を省略する意味もあって零フロー時の所要時間で代用することにする。通勤 OD 交通量は、式 (2) における行列 $\{I-(AB+C)\}^{-1}A$ の ij 要素を w_{ij} とすると $[1/\alpha_i \cdot E_i^b w_{ij}]^t$ なる行列で表わすことができる。ただし、 t は転置を示す。

(2) 計算手順と土地利用制約ルール

サービス産業従業者と世帯数の分布が、それぞれの既存分布量、適正密度および交通所要時間に影響されるとなると求解がきわめて困難である。それで次のような修正 IA 法⁹⁾を応用して近似解を求めることにする。

- 手順 1. ゾーンごとに各活動主体別の土地利用面積を割当てる。
- 手順 2. E_i^b を m 分割し、まず初めに E_i^b/m に対して式 (1) と式 (2) から第 1 回目の ΔE_i^s および ΔP_i を求める。
- 手順 3. 上の E_i^b/m , ΔE_i^s および ΔP_i に対する通勤 OD 交通量を算出し、これを道路網に最短経路配分する。
- 手順 4. 通勤所要時間を交通量に相応した値に修正する。
- 手順 5. 上で得られた ΔE_i^s と ΔP_i から y_j および x_j を求め、また修正された所要時間を用いて、第 2 回目の a_{ij}' と b_{ij}' を計算する。これより、第 2 回目の E_i^b/m に対する ΔE_i^s と ΔP_i が与えられる。
- 手順 6. 同様にして m 回目までこの手順を繰り返す。
- 手順 7. 手順 6. までの結果である E_i^s , P_i , 道路区間交通量 X_l をすべて一率に $(1-1/m)$ 倍し、再び E_i^b/m に対する ΔE_i^s および ΔP_i を算定して、 E_i^s , P_i , X_l を修正する。この修正操作は安定した解に収束するまで続けられるが、これはサービス産業従業者や世帯が諸要因の変化に応じて移動し、最終的に均衡状態に落ち着くことを意味している。

ところでローリーモデルではゾーン別に活動主体別の利用可能面積を制約条件として与えているが、これはたとえば商店と住宅とが同じ用地で競合した場合、地価負担力の差により商店となることを想定している。土地利用をこのような自由競争にまかせておけば都市の均衡発展を阻害することがあるので、このことをみるために本モデル計算では土地利用規制がある場合とない場合に分け、それぞれ モデル 1 および モデル 2 というようにする。モデル 1 では各活動主体は所与の土地利用面積

を超えては分布できないが、モデル 2 ではサービス産業部門が住宅部門を追出しても分布できるとしている。

(3) 計算結果と考察

図-6 および 図-7 のような帯状道路網と放射状道路網に対してモデル計算を行った。このとき $\alpha_j, \beta_j, \tau_j$ は金沢市の値を参考にして、それぞれ 0.57, 0.88, 0.25 とした。またローリーモデルでは都市人口規模を先決しなければならないので、帯状道路網では 4 万人から 10 万人まで、放射環状道路網では 8 万人から 14 万人まで、2 万人ずつの増分さきみで計算を行った。この理由は計算結果をみてわかるように、帯状道路網では 4 万人以下は常に分布可能、12 万人以上では分布不能、また放射環状道路網では、8 万人以下では常に分布可能、16 万人以上になると分布不能となるからである。各人口規模に対する活動主体別分布総数の比率は先の $\alpha_j, \beta_j, \tau_j$ の値から同一となり、1:1.49:1.42 となる。各ゾーン（本モデルではノードで代表させている）の活動主体別土地利用面積は、まず初めに基礎産業部門の面積を先取りし、残りの面積をサービス産業部門と世帯部門に上で与えた β 対 τ の比率で配分することにした。このとき、各ゾーンとも利用面積合計は同一と仮定している。外生的に与える基礎産業分布については、周辺部高密度型、均等密度型、中心部高密度型の 3 タイプとした。帯状道路網ではゾーンを 3 グループに分類し、周辺部高密度型分布のときは分布密度の比率を 1:2:4、中心部高密度型分布のときはその逆比率とした。また、放射環状道路網ではゾーンを 5 グループに分類し、周辺部高密度型分布のときは 0:1:2:3:4、中心部高密度型分布のときはその逆とした。なおこの比率も単純分布モデルの場合と同

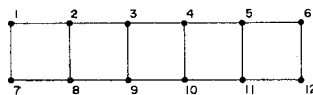


図-6 ローリーモデルに対する帯状道路網

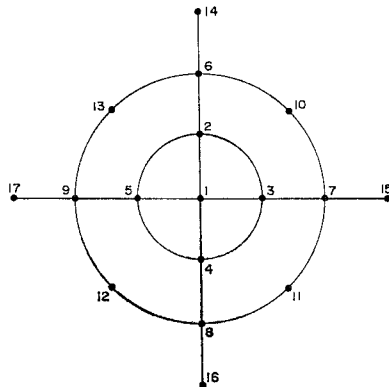


図-7 ローリーモデルに対する放射環状道路網

様、適当に与えたものである。一方、道路密度の相違によっても道路網の利用状況が異なってくるので、これも前節と同様に中心部高密度型、均等密度型、周辺部高密度型の3つの基本パターンで与えることにした。基礎産業分布と道路密度分布の組合せは表-2のとおりである。

a) 带状道路網

モデル1および2に対する計算結果は、表-3に示し

表-2 基礎産業分布パターンと道路密度パターンの組合せ

基礎産業分布パターン	周辺部高密度型 全域均等密度型 中心部高密度型	道路密度パターン		
		全域均等密度型	中心部高密度型	周辺部高密度型
	周辺部高密度型	ケース1	ケース4	ケース7
	全域均等密度型	ケース2	ケース5	ケース8
	中心部高密度型	ケース3	ケース6	ケース9

表-3 带状道路網の計算結果

モデル 1					モデル 2				
評価基準	a	b	c	d	評価基準	a	b	c	d
ケース	人口 4万人				ケース	人口 4万人			
1	3.41	20.3	0.33	0.14	1	3.42	20.3	0.33	0.14
2	3.12	19.2	0.31	0.12	2	3.12	19.2	0.31	0.13
3	2.92	18.3	0.29	0.13	3	2.92	18.3	0.29	0.13
4	3.08	19.8	0.38	0.18	4	3.09	19.8	0.38	0.18
5	2.88	18.8	0.35	0.15	5	2.88	18.8	0.35	0.15
6	2.74	18.0	0.33	0.14	6	2.74	18.0	0.33	0.14
7	2.92	19.5	0.34	0.24	7	2.93	19.6	0.34	0.24
8	2.75	18.5	0.33	0.24	8	2.75	18.6	0.33	0.24
9	2.62	17.8	0.32	0.25	9	2.63	17.8	0.32	0.25
ケース	人口 6万人				ケース	人口 6万人			
1	4.94	22.6	0.43	0.18	1	4.95	22.7	0.43	0.18
2	4.65	21.5	0.41	0.17	2	4.66	21.5	0.41	0.17
3	4.48	20.7	0.40	0.17	3	4.48	20.7	0.40	0.17
4	4.85	22.7	0.52	0.25	4	4.86	22.8	0.52	0.25
5	4.52	21.3	0.49	0.20	5	4.52	21.3	0.49	0.20
6	4.35	20.5	0.47	0.19	6	4.35	20.5	0.46	0.19
7					7				
8					8				
9					9				
ケース	人口 8万人				ケース	人口 8万人			
1	6.93	25.1	0.54	0.22	1	6.97	25.2	0.54	0.23
2	6.55	23.9	0.52	0.21	2	6.55	23.9	0.52	0.21
3	6.40	23.4	0.51	0.22	3	6.41	23.3	0.51	0.22
4					4				
5	6.42	23.8	0.62	0.26	5	6.42	23.7	0.62	0.26
6	6.47	23.9	0.60	0.26	6	6.53	24.1	0.60	0.30
7					7				
8					8				
9					9				
ケース	人口 10万人				ケース	人口 10万人			
1	10.06	30.3	0.65	0.29	1	10.06	30.3	0.65	0.29
2	8.08	26.6	0.63	0.25	2	8.08	26.6	0.63	0.25
3	10.02	29.8	0.63	0.29	3	10.02	29.8	0.63	0.29
4					4				
5	9.72	29.7	0.75	0.30	5	9.72	29.7	0.75	0.30
6					6				
7					7				
8					8				
9					9				

モデル1の人口規模 10 万人は全ケースで分布不能空白部は分布不能、評価基準 a は総走行時間 (×10⁶ 分), b は平均トリップ時間 (分), c は道路区間の平均混雑度, d は混雑度の分散

である。サービス産業従業者分布および世帯分布についてみると、人口規模が小さいときは図-8に示すように分布形がきわめてゆるやかであるが、基礎産業部門の分布形と同一となる。分布形がゆるやかなのは、 a_{ij}' および b_{ij}' における交通所要時間の要因効果が小さかったからである。

しかしながら人口規模が大きくなるにつれ、基礎的産業部門の集中するゾーンでは、その分だけサービス産業部門、世帯部門の土地利用面積が減るので、これらの分布形は図-9のように基礎産業部門のそれとは逆になってくる。

道路網の利用状

況を総走行時間あるいは平均トリップ時間で評価してみよう。道路密度を固定して、基礎産業部門の分布形別にみると、人口規模が小さいうちは中心部高密度型がよいが、人口規模が増大するに伴い均等密度型がよくなる。このようになる理由は、基礎産業部門が中心部に集中している場合、人口規模が小さいと職住近接型の分布が可能であるが、人口規模が大きくなると、土地利用面積の制約から職住分離型にならざるを得ないからである。それゆえ、職住近接型にするには基礎的産業部門の均等密度型が適するようになる。次に基礎産業部門の分布形を固定して、道路密度分布が変わるとどのようになるか比較してみよう。基礎産業部門が周辺部に集積するときは道路密度も周辺部で高くしてやればよい。しかし、基礎産業部門が一様分布あるいは中心部高密度型分布の場合は、道路密度をそれぞれの分布形に対応させるのが最適であるとは必ずしもいえないようである。これはサービ

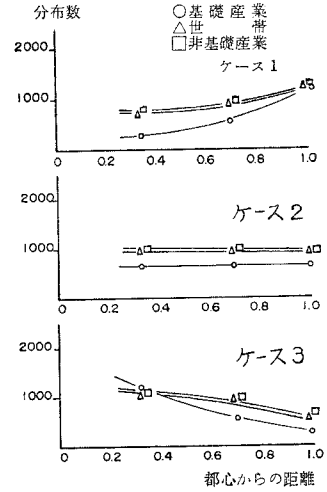


図-8 人口規模 4万人のときの分布形態(带状道路網, モデル1)

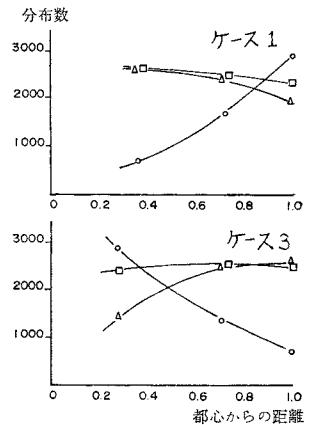


図-9 人口規模 10万人のときの分布形態(带状道路網, モデル2)

ス産業分布と住宅分布に対する交通要因効果の大きさによって異なってくる。交通要因効果が大きいときは両者とも基礎産業分布に近接して分布するが、小さいと拡散分布する。それゆえ、前者の場合は、基礎産業分布に相応した形で道路密度を分布させるのがよいと思われる。後者の場合は、基礎産業が均等分布の場合、交通量の増大に応じて周辺部、ついで中心部の道路密度を高くしてやるとよいようである。また、基礎産業部門が中心部集積型のときは、交通要因効果が小さい場合、先の均等分布のときと同様な傾向を示すが、交通需要が増大して少し要因効果が大きくなると、一律な道路密度分布が適してくる。

道路網容量の観点から道路密度別に道路網と土地利用パターンの関係を考察してみる。道路網容量が最大となるのは道路密度が均等な場合であり、基礎産業部門の3つの分布形いずれに対しても、モデル1では人口8万人まで、モデル2では人口10万人までの交通需要が処理可能となっている。次に道路網容量が大きいのは、中心部高密度型の道路網である。ケース4, 5, 6がこれに相当する。このうちケース4の道路網容量が小さいのは、基礎産業分布と道路密度分布が逆になっているからである。この考え方でいくと、両者の分布形が同一となるケース6がケース5よりも道路網容量が大きくなるはずであるが、このモデル計算ではモデル2の人口10万人については反対の結果となっている。これは交通要因をあまり効かせていないため、世帯分布およびサービス産業分布が拡散分布して周辺道路の容量制約でおさえられたからである。道路密度が周辺部高密度型の場合は道路網容量が最低となり、どの基礎産業分布形に対しても人口4万人までしか処理できなかった。このような道路網容量に関する道路密度分布からの最適順位は、表3の道路混雑度の分散からも容易に推察できよう。道路混雑度の分散が大きいということは、特定の道路に交通需要が集中しているということであり、よって総トリップ数が増えればその道路ですぐに容量に達してしまうことを意味している。

道路区間交通量の全ケースに対する平均値と最大値および最小値との差を 図-10 に示してある。これより帯状道路網では、長軸方向の都心部道路ほど交通量が多く、短軸方向の道路交通量はこれに比べて少なくほとんど一様であることがわかる。また、土地利用パターンの変更による交通量変化は、都心部から周辺部に向う道路で、しかもそれが周辺部にあるほど大きい。その逆方向道路区間の交通量変化は、都心と周辺を結ぶ中間部でやや大きいもののほとんど差がない。短軸方向のそれはさらに小さい。

以上をまとめると次のようになる。帯状道路網では、

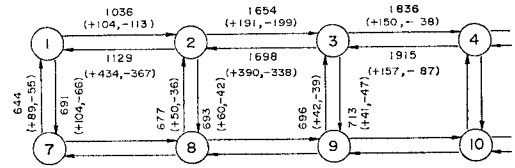


図-10 各種土地利用パターンに対する帯状道路網の平均交通量と変動

人口規模が小さく道路網としての交通処理能力に余裕がある場合は、基礎産業部門を中心部に集中させるのがよい結果となっており、平均トリップ時間、平均混雑度も最小となっている。しかし、人口規模が増大してくると、ケース5と6で道路網容量が最大となることから、基礎的産業部門を中心部に重点をおいた形で均等分布させるのがよくなっていく。道路網容量を道路密度分布からみると、均等密度型について中心部高密度型がよい。特に均等密度型の場合は、基礎的産業部門の分布形にかかわらず道路網容量が大きくなるので、将来の土地利用変化に対しても適応性を有する。道路網整備については長軸方向の中心部道路ほど重点的に投資しなければならず、短軸方向の道路に対しては必要最小限でよい。また、将来の土地利用変化に備えるなら長軸方向の周辺部道路を余裕をもって建設しておくことが望まれる。

b) 放射環状道路網

モデル1と2に対する計算結果はそれぞれ表4のようになった。総走行時間あるいは平均トリップ時間を、道路密度を固定した基礎産業分布別にみると、やはり人口規模が小さいうちは中心集積型がよく、人口規模が増えると均等分布型がよくなる。一方、基礎産業分布を固定した道路密度分布別にみると、基礎産業分布が周辺部高密度型の場合は、道路密度も同じく周辺部高密度型が適している。また、基礎産業分布が均等分布型、中心部高密度分布型の場合は、人口規模の増大に応じ、最適な道路密度分布形は周辺部高密度型から均等分布型へと変わってくる。この場合も交通要因効果を大きくしておけば、基礎的産業と同型の道路密度分布がよくなることが推量される。

道路網容量に関して道路密度分布で順位をつけると、全域で均等な道路密度分布が最もよく、ついで周辺部高密度型の道路網、中心部高密度型の道路網となる。

道路区間交通量については、図-11に全ケースに対する平均交通量と最大および最小交通量との差を示してある。これをみると、内部環状道路網と外部環状道路の間にある中間部放射道路の交通量が最も多く、ついで外部環状道路、周辺部放射道路、都心部放射道路の順となっている。内部環状道路の交通量は最も少ない。土地利用パターンの変更による交通量変動で最大なのは、外向き周辺部放射道路であり、中間部放射道路（両方向と

表-4 放射環状道路網の計算結果

モデル 1					モデル 2				
評価基準	a	b	c	d	評価基準	a	b	c	d
ケース	人口 8万人				ケース	人口 8万人			
1	9.10	25.9	0.46	0.14	1	9.11	25.9	0.46	0.14
2	8.37	24.5	0.43	0.11	2	8.37	24.4	0.43	0.11
3	7.81	23.2	0.41	0.13	3	7.81	23.2	0.41	0.13
4	8.49	25.7	0.53	0.28	4	8.50	25.7	0.53	0.28
5	7.86	24.1	0.51	0.25	5	7.86	24.1	0.51	0.25
6	7.42	22.9	0.47	0.22	6	7.42	22.8	0.47	0.22
7	8.06	25.2	0.43	0.15	7	8.07	25.2	0.43	0.15
8	7.57	23.8	0.42	0.16	8	7.57	23.8	0.42	0.16
9	7.18	22.6	0.42	0.21	9	7.18	22.6	0.42	0.21
ケース	人口 10万人				ケース	人口 10万人			
1	10.64	27.2	0.51	0.16	1	10.66	27.2	0.51	0.16
2	10.02	25.8	0.49	0.13	2	10.02	25.7	0.49	0.13
3	9.62	24.6	0.48	0.15	3	9.62	24.7	0.48	0.16
4					4				
5	10.17	26.6	0.60	0.29	5	10.15	26.5	0.60	0.29
6	10.46	27.3	0.56	0.27	6	10.57	27.5	0.56	0.27
7	10.18	26.9	0.51	0.18	7	10.21	26.9	0.51	0.18
8	9.60	25.4	0.50	0.19	8	9.60	25.4	0.50	0.19
9	9.35	24.7	0.50	0.24	9	9.40	24.8	0.50	0.25
ケース	人口 12万人				ケース	人口 12万人			
1	13.77	29.3	0.61	0.19	1	13.81	29.3	0.61	0.19
2	13.03	27.9	0.59	0.15	2	13.02	27.8	0.59	0.15
3	13.04	27.9	0.58	0.19	3	13.24	28.2	0.58	0.20
4					4				
5					5				
6					6				
7	13.30	29.2	0.61	0.21	7	13.35	29.3	0.61	0.21
8	12.46	27.5	0.60	0.21	8	12.45	27.5	0.61	0.21
9					9				
ケース	人口 14万人				ケース	人口 14万人			
1	16.46	31.4	0.68	0.21	1	16.87	32.0	0.68	0.22
2	15.41	29.6	0.67	0.17	2	15.39	29.5	0.67	0.17
3	16.40	31.7	0.65	0.23	3				
4					4				
5					5				
6					6				
7					7				
8	15.13	29.6	0.67	0.20	8				
9					9				

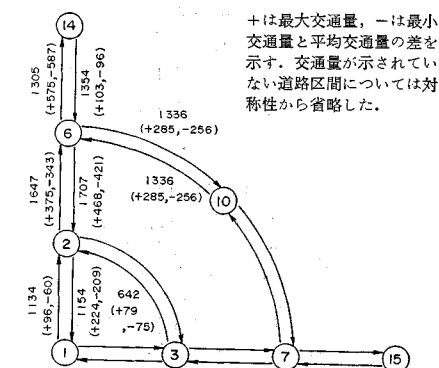


図-11 各種土地利用パターンに対する放射環状道路網の平均交通量と変動

も), 外部放射道路がこれに続いている。

以上のことをまとめると, 放射環状道路網の場合, 人口規模が小さいときは基礎的産業を都心部に集中させるのがよい結果を与えて, 人口規模が増大するに伴い均等分布の方向にもっていくのがよくなっている。このとき, 道路網容量を考慮すると, ケース1と2およびケース7と8が最大となることから, 周辺部に重みを置いた分布形がよい。道路網容量からみた道路密度の適正分布については帯状道路網と同じく, 均等密度型が最もよく, 次に周辺部高密度型となる。均等密度型の道路網は土地利用パターンの変化に対しても適応性をもっている。また, 道路網整備に関しては, 中心部道路よりも中間部と周辺部道路, 特に外部環状道路に重点を置いて増強するのが効果的のようである。

c) 土地利用規制の効果

人口規模が小さい間は, モデル1とモデル2の結果にほとんど差はないが, 人口規模が増大して道路網容量および土地利用面積に余裕がなくなってくると, しだいにその差が顕著になってくる。帯状道路網では人口10万人の場合, モデル1ではすべてのケースが分布不能となるのに対し, モデル2ではケース1, 2, 3および5のみで分布可能であった。一方, 放射環状道路網では人口14万人の場合, モデル1ではケース1, 2, 3, 8が分布可能であるのに対し, モデル2ではわずかにケース1とケース2のみが分布できるとどまった。したがって, この計算例からは人口規模が大きくなると, 帯状道路網の場合, 土地利用に関してはある程度自由競争にまかせる方がよく, 放射環状道路網では, 逆に活動主体別に土地利用規制する必要があるという結果となっている。しかしながら, この結論は, 道路密度分布と, 各活動主体の分布形成における交通要因効果の大きさ等によって異なってくる可能性があるため, 実際には実情に応じた検討をしなければならない。

d) 単純分布モデルとの比較

前章の単純分布モデルは, 活動主体の区別と土地利用面積に制約のない場合のモデルであり, 本章の拡張ローリーモデルは, 活動主体を区別し土地利用面積に制約を有する場合のモデルである。以下に両モデルによる結果の比較検討を行っておく。

中心部通過交通に対するバイパスが存在しないという。ことで帯状道路網と放射状道路網をあわせて考える。平均トリップ時間については, 総トリップ数と道路密度分布形によって異なるので一概にはいえないが, 単純分布モデルの場合, 発生および集中交通量分布とも中心部に集中させるのがよく, 分布形がたとえ同一でも周辺部に集中するほど平均所要時間は長くなっている。ローリーモデルの場合も, 基礎産業部門を都心部に集積させるほ

どよいとなっているので互いに矛盾はしていない。道路網容量に関しては、単純分布モデルでは発生および集中交通量を同一分布形とするのがよく、しかも周辺部に集めるほどよいとなっている。これに対してローリーモデルでは、基礎産業部門を中心部にウェイトを置いた形で均等分布させるのが最適となっており、逆の結論となっている。この差異はモデルの構造によるものであり、もしすべての制約がなければ、単純分布モデルによる土地利用パターンも実現可能であろうが、現実的にはローリーモデルの結論を採用するのが妥当であろう。道路網整備の面では、やはりいずれのモデルにおいても道路密度を全域で均等にするのが最適で、次に中心部道路密度を高くする方がよいという順になっている。

都心部通過交通に対するバイパスを有する放射環状道路網および格子状道路網についてみる。平均トリップ時間に関しては、带状道路網とほぼ同様な結論が得られており、両モデル間に大きな矛盾はない。道路網整備の面についてもやはり同様な傾向が示されている。しかし、この道路網タイプでは、全域均等密度型の道路整備が最良であるのは先の道路網タイプのときと同じであるが、周辺部高密度型が次善策となるのが異なっている点である。道路網容量については単純分布モデルの場合、発生量および集中量を同一分布形とするのがよく、最適となるのは、放射環状道路網では中心部高密度型、格子状道路網では周辺部高密度型と逆の関係になっているが、2番目としてはいずれも均等密度型がランクされている。ローリーモデルでは人口が増大したとき、基礎産業部門を周辺部に重きを置いて均等分布させるのが最適となっている。両モデルの前提が異なるので明確にはいえないがこの道路網タイプではいずれのモデルでも均等分布が上位になっているので矛盾はしていないと考えられる。

4. 結 論

単純分布モデルと拡張ローリーモデルを通して土地利用パターンと道路網の関係についてこれまで考察してきたが、おもな結果としては以下のようにまとめられる。

(1) 道路網容量に余裕がある場合は、道路網形態のいかにかわらず交通量の発生および集中分布を中心部に集中させるのがよいようである。

(2) 中心部通過交通に対するバイパスが存在しない道路網形態、たとえば带状道路網や放射状道路網では、人口規模が増大すれば基礎的産業部門を中心部をやや高くした均等分布にするのがよい結果となった。そして、サービス産業部門と世帯部門の間の土地利用規制はなるべくならしない方が効果的であった。

(3) 中心部通過交通に対するバイパスを有する道路

網形態、たとえば放射環状道路網や格子状道路網では、人口規模が大きくなると基礎的産業部門を周辺部密度をやや高くした均等分布にするのがよい結果となった。そして、サービス産業部門と世帯部門の土地利用面積に対しては上限を設けて規制する方が効果的であった。

(4) 道路網容量の観点からみた道路網整備の方針としては、どのような道路網形態に対しても全域均等密度とするのが最上策となり、土地利用パターンの変化に対しても適応性が大きかった。次善策としては、带状道路網のようなタイプに対しては中心部道路の高密化、放射環状道路網のようなタイプに対しては周辺部道路の高密化がよいとなっている。

これらの結論は、本文で述べたような仮定に基づく限られたモデルについてのものであり、一般性を有するとはいい難いが、多くの示唆を含んでいることも事実であろう。当然のことながら、発生・集中交通量の分布形態、基礎的産業の分布形態、道路密度の分布形態の与え方によって結果が異なってくるのが予想されるが、そのときの解の変化については、これらの結果を基準にしてある程度推測できよう。たとえば、発生交通量と集中交通量をともに中心部に極端に集中分布させたときの道路網容量は、本計算例の結果よりも高い値を与えることになる。しかし、単純分布モデルにみられるように、带状道路網と放射状道路網、格子状道路網と放射環状道路網とで発生および集中交通量の密度分布がかなり異なっているにもかかわらず結果の傾向としてはかなり似かよったものとなっている。したがって、極端に偏った分布形態を与えない限り本モデルで得られる解の傾向は、比較的安定したものと思われる。いずれにせよ都市はそれぞれ固有の事情を有するので、実際の都市を対象とする場合には、その都市のもつデータを用いて検討しなければならないことはいうまでもない。

また現実モデルとしてさらに発展させるには、分布形成のメカニズムを詳細に分析するとともに、各要因効果の大きさを明確にすることが今後の課題である。なお本論文では所与道路網形態に対する土地利用パターンの適合性を中心に議論してきたが、もし現状土地利用パターンが変更困難であれば、それに適した道路網形態に改変するのも現実的な方法であろう。

参 考 文 献

- 1) 飯田恭敬：道路網の最大容量の評価法，土木学会論文報告集，No. 205，pp. 121～129，1972。
- 2) Hutchison, B.G.: Principle of Urban Transport System Planning, McGraw-Hill, 1974.
- 3) 佐佐木綱：都市交通計画，第5章，国民科学社，1974。
- 4) 森口繁一，伊理正夫，長谷 彰：多種類輸送問題に対する1つの逐次解法，1970年日本OR学会秋季研究発表会論文集，pp. 21～22，1970。

(1978.2.21・受付)