

交通需要と道路網の整合性に関する研究

飯田恭敬¹・李 燕²

¹正会員 工博 京都大学教授 工学部交通土木工学教室 (〒606 京都市左京区吉田本町)

²学生会員 理修 京都大学大学院工学研究科 (〒606 京都市左京区吉田本町)

財政問題や環境問題等の原因で、道路や交通施設をさらに新設・増強することが次第に困難になりつつある。このような状況の下で、欧米をはじめ、交通計画の方針は従来の交通需要追随型から交通需要を道路網に整合するようにマネージメントするということに変わりつつある。本研究では、道路網全体がバランス良く利用されるための交通需要管理策に指針を与えるため、与えられた道路網と整合する交通需要パターンおよび最大発生交通量を求める発生量最大化モデルを提案する。さらに、土地利用と道路網の整合性の観点から、京都市の道路網を対象に、モデル計算を行い、整合を有する交通需要分布、将来土地利用の誘導方向について考察する。

Key Words : transportation demand management, integration of land use and road network
Maximum Traffic Generation Model, optimal OD matrix

1. はじめに

戦後アメリカの交通政策は3つの段階に分けられると言われている¹⁾。第1段階である40年代後半からの30年間は経済発展、都市化、自動車の普及を促進するため、高速道路や交通施設などの建設に重点がおかれていた。第2段階では、交通需要を予測し、それに満足できるように交通計画を立案し、施設整備を行っていた。しかし、第3段階に入った最近では、財政問題や環境問題などの原因で、道路や交通施設をさらに新設・増強することが次第に困難になりつつある。このような状況の下で、都市ならびに交通の計画主体は土地利用を道路網に整合させ、交通需要をマネージメントすることによって、混雑問題を緩和しつつ、一定レベル以上の都市活動の可能をすることを目指す考え方が重視されるようになっている。

最近の欧米での例としては、成長管理策や自動車出入制限ゾーンなど多くの交通需要管理策が報告されている。例えば、交通混雑対策について、米国交通工学会がまとめたマニュアルは、既存道路システムの最大活用および交通需要管理を重要な対策として挙げている²⁾³⁾。Higginsはアメリカのいくつかの地域における交通需要管理策の効果を報告している⁴⁾。Mayらの研究から、イギリスにおいても交通需要管理が展開しつつあることが分かる⁵⁾⁶⁾。

交通需要管理は2つの目的があると考えられる。

1つは相乗りや時差出勤や料金コントロールなど交通量の削減による混雑緩和である。もう1つは交通需要分布（土地利用）の適正化あるいは交通需要分布を交通網への整合による混雑緩和で、例えば成長管理や自動車流入出ゾーンなどの管理策がある。

しかし、交通需要量の削減や交通分布の適正化はある意味では都市活動の低下をもたらす可能性がある。したがって、利用者の交通需要をできるだけ満足しながら交通混雑の緩和を図るために、相乗りなど交通量の削減を目的とする交通需要管理策においては、それぞれのゾーンに対して、交通需要量をどれだけ削減したら適切か、成長管理や自動車流入出制限ゾーンなどの交通需要管理策の設定においては、どのゾーンの交通需要量をどれだけ削減すべきか、どのゾーンには交通需要量のどれだけ成長が可能であるか、などの問題を明らかにする必要がある。これらの問題に関する既往の文献からみれば、そのほとんどが政策の報告にとどまり、その施策内容をデータ分析に基づき、決定する定量的モデルはまだ提案されていないようである。

一方、日本では都市交通計画面からの需要管理策が明確な形で取り入れられていないようであるが、交通需要と道路網の整合を目的とした理論的な研究は、70年代の後半以降少数ではあるが報告されている。飯田・平本は与えられた道路網パターンに対

して、いくつかのODパターンを想定し、道路網の容量と平均トリップ時間を指標として道路網とODパターンの整合性を考察している⁷⁾。それ以後の研究は主として道路網容量の計算を通じて、道路網が最大限に利用されるまでに現状交通量をどれだけ増やせるかという問題を取り扱ったものが主流であった。これらの研究は、主として道路網容量⁸⁾の計算方法の違いによって分類できる。清田・高田・橋木は目的地選択確率を与件として、混雑を考慮しない場合の道路網容量の概念を用いて、各ゾーンの発生交通量の増加可能量、つまり、道路網として許容する各ゾーンの開発の規模をLP問題として定式化している⁹⁾。桝谷・斎藤はまずカット法を用いて立地対象とする各ゾーンの立地可能量の上限値を求め、そして、新規の土地利用活動の立地配分が実現可能であるための必要十分条件としての多重カット条件の作成手法を線形計画問題を基礎に考察している¹⁰⁾。朝倉はフロー配分シミュレーション法を用いた道路網容量に基づいて、都市内ゾーンの活動容量について実証研究を行っている¹¹⁾。

上述の研究においては、OD交通分布（あるいはODパターン）が与えられることが前提であり、ODパターンは不变であるという仮定を設けた上で、道路網の有効利用を可能とする発生交通量を求める目的としている。ここで、ODパターンを保持するということは、各ゾーン間の相対的な結びつきの強さは不变であるということを意味する。つまり、対象としている都市内の土地利用の用途は変わらないまま、土地利用の強度のみが強まったり、弱まったりする。したがって、将来のODパターン

（土地利用分布）を道路網に整合させることによって道路網容量をさらに増大させる可能性を考えていいくことになる。したがって、これらの研究はOD交通需要を道路網に整合させるためのモデルというよりは、むしろ道路網容量から見た余裕交通量算出のためのモデルであると言える。

しかし、ODパターンが固定された道路網容量の上限状態でも、一般的にはすべてのリンクにおいて交通量がリンク容量に達しているわけではない。したがって、OD交通需要を交通ネットワークがバランス良く利用されるように形成誘導することによって、道路網全体として受け入れ可能なOD交通量をさらに増加することができる。財政面と環境面からの制約が厳しくなりつつある現在、交通需要と交通網の整合の必要性が特に重要視されている。

本研究では、与えられた道路網と整合するOD交通量および最大トリップ数を求めるためのモデル（ここでは「発生量最大化モデル」と呼ぶ）を提案

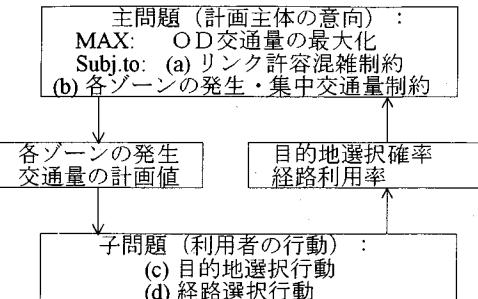


図-1 発生量最大化モデルの概要

し、その解法を示す。数値計算例としては、京都市の道路網および土地利用計画を対象に、発生量最大化モデルを適用し、モデルの有用性を確認する。

2. 発生量最大化モデル

（1）問題の構造

交通流動面からのネットワークの有効利用をはかる際、計画主体はゾーンの土地利用の誘導・規制や流入賦課金などの徴収などにより、交通需要量を規制・制御することはできるが、利用者の交通行動には直接的に干渉することができないとする。利用者は与えられたネットワークの下で、各自の行動基準に従って合理的な判断に基づき交通行動を行い、その一方、計画主体は利用者の交通行動を予測し、ネットワークの効率的利用を目的として、ゾーンの交通需要量の適正化を行うとする。つまり、発生量最大化モデルは「利用者の交通行動を制約条件として、OD交通量の最大化を目的関数とする計画システム」であり、2レベル最適化問題として定式化できる。その構造は図-1のように示される。

ここで、計画主体側の制約条件(a)、(b)は、道路網計画および土地利用計画から与えられるので、先決されるとする。一方、利用者の交通行動を表す条件(c)(d)は、行動基準の扱いによってモデルが変わる。ここでは、行動基準に関する目的地選択行動と経路選択行動については、以下のように取り扱うこととする。

目的地選択行動に関しては、次の重力モデルに従うと仮定する。

$$X_{ij} = cO_i^\alpha D_j^\beta R_{ij}^{-\gamma} \quad (1)$$

ただし、 X_{ij} はゾーン i からゾーン j への交通量、 O_i はゾーン i の発生交通量、 D_j はゾーン j の集中交通量、 R_{ij} は両ゾーン間の交通抵抗、 α 、 β 、

c , γ はパラメータである。

この式から、目的地選択確率 h_{ij} は次のように導かれ、 D_j , R_{ij} の 2 項だけに關係するものになる。

$$h_{ij} = \frac{D_j^\beta R_{ij}^{-\gamma}}{\sum_j D_j^\beta R_{ij}^{-\gamma}} \quad (2)$$

経路選択行動に関しては、完全情報の下でどの利用者もより短い経路を使い、最終的には利用者均衡状態になるという経路選択行動を仮定する^{12) 13)}。

(2) 定式化

以上で仮定された目的地選択行動と経路選択行動にもとづいて、発生量最大化モデルは次のように定式化できる。

主問題

$$\text{Max : } \sum_{i \in I} O_i \quad (3)$$

Subject to :

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} O_i h_{ij} p_{ij}^a \leq \mu_a C_a \quad a \in A \quad (4)$$

$$D_j = \sum_{i \in I} O_i h_{ij} \quad j \in J \quad (5)$$

$$O_i^L \leq O_i \leq O_i^U, \quad D_j^L \leq D_j \leq D_j^U$$

$$i \in I, j \in J \quad (6)$$

子問題

$$h_{ij} = \frac{D_j^\beta R_{ij}^{-\gamma}}{\sum_j D_j^\beta R_{ij}^{-\gamma}} \quad i \in I, j \in J \quad (7)$$

$$\text{Min : } \sum_{a \in A} \int_0^{v_a} t_a(x) dx \quad (8)$$

Subject to :

$$v_a = \sum_{k \in K_{ij}} \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} U_{ij}^k \delta_{akj} \quad (9)$$

$$\sum_{k \in K_{ij}} U_{ij}^k = O_i h_{ij} \quad i \in I, j \in J \quad (10)$$

$$U_{ij}^k \geq 0 \quad i \in I, j \in J, k \in K_{ij} \quad (11)$$

ここに、

O_i : ゾーン i の発生交通量

h_{ij} : 発ゾーン i から見た着ゾーン j の選択確率

p_{ij}^a : ゾーン i からゾーン j へのOD交通がリンク a を利用する確率

μ_a : リンク a の許容混雑度

C_a : リンク a の交通容量

D_j : ゾーン j の集中交通量

O_i^U : ゾーン i の発生交通量の上限値

D_j^U : ゾーン j の集中交通量の上限値

O_i^L : ゾーン i の発生交通量の下限値

D_j^L : ゾーン j の集中交通量の下限値

R_{ij} : ゾーン i からゾーン j までの最短経路の自由走行時間

γ : 交通抵抗に関するパラメータ

v_a : リンク a の交通量

$t_a(\cdot)$: リンク a の走行時間関数

U_{ij}^k : ODペア i j 間の k 番目経路のOD交通量
 δ_{akj} : ODペア i j 間の k 番目経路がリンク a を経由する時 1, そうでなければ 0 をとる 0-1 変数

I : 発ノードの集合

J : 着ノードの集合

A : リンクの集合

K_{ij} : ODペア間の利用可能経路の集合

主問題において、式(3)は各ゾーンの発生交通量(未知数)の和、すなわち、既存の道路網のもとで立地可能な活動量(交通量ベースで表す)を最大化するための目的関数である。式(4)はリンクの交通量に対する制約条件であり、リンク交通量は許容混雑度 μ_a (与件) となる交通量以下とする。 h_{ij} は目的地選択確率、 p_{ij}^a はリンクの利用率であり、両者とも子問題によって与えられる。式(5)はゾーンの集中交通量と発生交通量の関係式である。式(6)はゾーン発生・集中交通量の範囲の制約条件である。 O_i^U , D_j^U (与件) はゾーン i の土地利用の容量を交通量ベースで示すもので、土地利用計画を考慮に入れて、各ゾーンの開発の促進・抑制の程度を制約条件として取り込んだものである。 O_i^L , D_j^L (与件) はゾーン i の発生・集中交通量の下限値を表す。計画主体は地域の活力の維持のため、そのゾーンの発生・集中交通量がその値以上となるよう、土地利用を誘導していく方針を示す。このように、主問題は、リンク容量を最大限に利用可能とする各ゾーンの発生交通量を求める問題である。

子問題において、式(7)は式(1), (2)に示した通り、目的地選択確率の算定式である。 γ , β , R_{ij} は与件であり、 D_j は式(5)で未知の O_i と関係する。式(8)～(11)は需要固定型の利用者均衡問題であり、 O_i と h_{ij} が決まり、OD交通量が与えられた場合は、リンクのOD別利用確率 p_{ij}^a が求められる。

モデルへのインプットデータは道路網の要素(ノード、リンク)、リンク容量、リンク許容混雑度 μ

a , リンク走行時間関数, ノードの発生・集中交通量の範囲 O_i^U , D_i^U , O_i^L , D_i^L および重力モデルのパラメータ β , γ である。アウトプットは道路網全体として処理可能な最大トリップ数を与える各ゾーンからの発生交通量 O_i である。発生交通量の解が得られれば、重力モデル構造を仮定した交通需要関数から求められた目的地選択確率を用いて、OD交通量 X_{ij} および各ゾーンの集中交通量 D_j を計算することができる（式(12), (5)）。ここで、目的関数の最大トリップ数が得られるときのOD交通量を最適OD交通量と呼び、発生・集中交通量を最適発生・集中交通量と呼ぶ。

$$X_{ij} = O_i h_{ij} \quad (12)$$

以上の定式化において、目的地選択確率が決まれば、発生量最大化モデルは2レベル最適化問題として解くことができる。その解の存在性が証明されており、その解法もすでにいくつか開発されている¹⁴⁾。¹⁵⁾しかし、目的地選択確率が決まっていなければ、定式化を解くことは非常に困難である。そこで、本研究では、目的地選択確率を決める重力モデル（式(2)）において、両ゾーン間の交通抵抗 R_{ij} を両ゾーン間の最短経路の自由走行時間と固定する。このようにすれば、目的地選択と経路選択とが不整合になる可能性はあるが、どのリンクも円滑走行が保証される最大交通量を流すようにと考えているので、誤差はそれほど大きくないと考えられる。また、ゾーンの集中交通量 D_j はモデル計算の結果であるゾーンの発生交通量 O_i から求められるため（式(5)），定式化を解くためには繰り返し計算が必要である¹⁶⁾。すなわち、前回の2レベル最適化問題の計算結果から D_j を求め、この D_j を用いて目的地選択確率を更新し（式(7)），さらにモデル計算を行い、このような繰り返し計算を最大トリップ数が安定になるまで行う。しかし、この収束計算に長時間を要するので、本研究では便宜的に、繰り返し計算を5回で終了し、そのときのOD交通量を道路網と整合性を有する最適OD交通量とする。目的地選択確率が決まれば、2レベル最適問題の解が保証されるので、以上のような近似計算は解が求められる。

最適OD交通量（式(12)）のODパターンは次の2つの面で現状ODパターンと違う。まず、各ゾーンからの最適発生交通量 O_i が現状値とは異なった値で求められるので、当然のことながら各OD交通量もこれに応じて違ってくる。一方、集中交通量 D_j も推計されたOD表の列和で与えられるので現状値とは別の値となる。目的地選択確率 h_{ij} は式(7)に見られるように集中交通量 D_j が関係してく

るので、変化することになる。

なお、本研究では、2レベル最適化問題を解くために、コンプレックス法¹⁴⁾¹⁵⁾を用いる。

3. 京都市の交通需要と道路網の整合研究

発生量最大化モデルを用いて、京都市の簡略化した現状道路網および将来道路網に対してモデル分析を行い、整合を有する交通需要分布を明らかにしたうえで、交通需要と道路網の整合の観点から、将来土地利用の誘導方向について考察する。具体的には、はじめに理想的な土地利用の下で、現状道路網の最大発生交通量およびOD交通量を求める。次に、将来道路網に対して、(1) 土地利用（発生・集中交通量で表す）が自由に規制・誘導できる場合と、(2) 特定のゾーンを将来的に開発を促進する地域とし、残りのゾーンは開発を抑制する場合の2つのケースについて、将来道路網の最大トリップ数および最適OD交通量を求め、土地利用と道路網との整合性の観点から、道路網を有効に利用するために採るべき土地利用分布の方向性について考察する。

(1) モデル計算・分析の設定

a) 対象道路網

本研究の目的の1つは、発生量最大化モデルを用いて、土地利用計画に大まかな方向性を示すことができるることを検討することである。そこで、発生量最大化モデルは道路網の規模が大きくなると計算費用が飛躍的に増大するため、京都市道路網が格子形状であるという特性を活かして、南北方向で平行する主要道路を3本に、東西方向で平行する主要道路を5本にまとめ、図-2のように単純化したネットワークを対象としてモデル計算を行う。対象道路網の22個のノードのうち、ノード1～14は京都市内の各ゾーンを代表し、これを域内ノードと呼ぶ。ノード15～22はそれ以外の地域を代表するダミーノードで、域外ノードと呼ぶ。域外ノードと連結するリンクは、それぞれ地域間の主要道路を表す。

リンク容量は、簡単のため、そのリンクが対応している複数の現実道路の容量の和とする。域内リンクの長さは、代表する道路の平均距離とし、域外ノードと連結するリンクの長さは域内のリンクよりも長いので、無限大とする。リンク a の走行時間関数はBPR関数（式(13)）で与え、自由走行時間 t_{a0} はリンク長を自由走行速度（50Km/h）で除

$$t_a = t_{a0} \left(1 + 2.62 \left(\frac{v_a}{C_a}\right)^5\right) \quad (13)$$

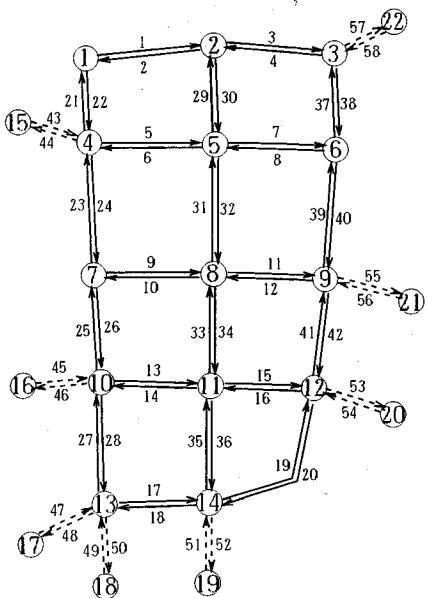


図-2 対象道路網

表-1 将来道路網の増幅リンク

	増幅リンク (増幅車線数)
都市内 高速道路	2 7 (2), 1 7 (2), 1 8 (2), 1 9 (2) 2 0 (2), 3 5 (2)
京滋バイ パスによる	1 3 (2), 1 4 (2), 1 5 (2), 1 6 (2) 1 7 (2), 1 8 (2), 3 5 (2), 3 6 (2)

したものとする。リンク許容混雑度は 1.0 とする。

この道路網は現状道路網である。京都市の道路網計画によると、南部に都市内高速道路および京滋バイパスを建設する予定があることから¹⁷⁾、現状道路網にこれらの道路を含めた道路網を将来道路網とする。なお、都市内高速道路については、現状道路網に新しい高速道路に対応するリンク容量を増強する形で表し、京滋バイパス（ノード 16, 17, 18, 19, 20）を連結する道路）については、現状道路網の通過交通を転換させる役割があるとみて、将来道路網においては通過交通がないものと仮定して計算することにした（表-1）。

b) 現状OD交通量

現時点の交通需要を表す現状ODデータは 1990 年京阪神パーソントリップ調査のデータをベースに、時間帯交通量の最も多い 8:00-9:00（通勤時間帯）を対象として、対象道路網に応じて集約したものである。さらにそのOD表の通過交通については、対象道路網を利用しないと考えられるODペアの交通量を除去している。域内ゾーンの内々交通は全体交

通量の 18 %しか占めておらず、また、対象道路網として示されていない多くの細道路にも分散するので、影響が小さいとして、除外した。本研究では、京都市の立場から交通需要と道路網の整合性を考えるので、域外ノードから域内ノードへの交通量は将来も現状のまま一定とする。通過交通に関しては、具体的なデータがないため、本研究では、域外間の通過交通が多いと思われるノード 16, 17, 18, 19, 20 相互間の通過交通だけを考慮し、現状道路網においては、予め通過交通量の分だけリンク容量を小さくしている。将来道路網に対して、通過交通が京滋バイパスを利用すると予測されるので、対象道路網の当該リンクの容量を初期値にもどしている。なお、現実のデータから求めたトータルのトリップ数は 84,861 台で、うち、域内ノード間の交通量は 66,799 台、域内から域外への交通量は 5,692 台、域外から域内への交通量は 12,370 台である。域外ノード間の交通量（通過交通）はその分だけリンク容量を小さくしているので、OD 表では 0 として扱う。

重力モデルのパラメータ β , γ は集約した現状OD 表を用いて推定した¹⁸⁾。その結果、 $\beta = 0.8$, $\gamma = 1.0$ となった。重力モデルで修正したODデータ（式(14)、目的地選択確率式(2)を用いた修正重力モデル）と現状ODデータには良好な相関関係（ $R=0.93$ ）があることから、これらのパラメータを用いた重力モデルは、京都市の交通需要分布を概ね記述可能であることが確認できる。

$$X_{ij} = O_i \frac{D_j^\beta R_{ij}^{-\gamma}}{\sum_j D_j^\beta R_{ij}^{-\gamma}} \quad i \in I, j \in J \quad (14)$$

なお、本研究では、勤務時間帯の交通量を対象としているので、その発生交通量は住宅立地と関係あるとし、集中交通量は産業業務立地と関係あるものと解釈する。

c) 現状道路網混雑状態

b) の現状ODデータを a) の現状道路網に配分して、現状道路網の混雑度を見ると、図-3のように、混雑度 1.0 以上のリンクが 10 本ある。そのうち、リンク 43 はダミーノード 15 の発生交通量によるもので、その他はすべて域内リンクである。域内のリンクの最大のリンク混雑度は 1.45 である。

全体的な傾向としては、南部および西部の道路は混雑しているが、北部の道路には比較的余裕がある。このことより、設定した道路網およびOD表は京都市の道路交通の傾向的なことをほぼ再現するものであることが確認できる。本研究では、対象道路網を簡略化するため、リンクの集約や内々交通と通過交

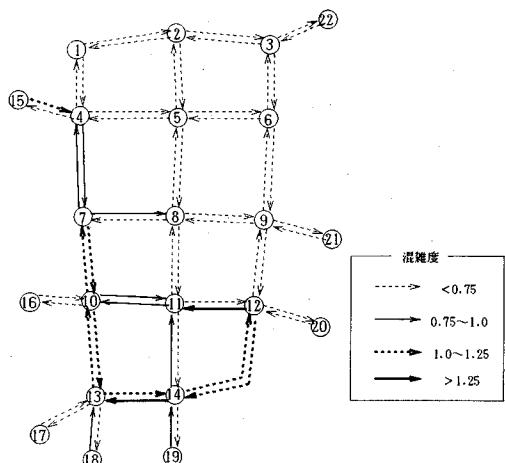


図-3 現状道路網のリンク混雑度

通の処理を行ったので、現状の再現性を把握することはかなり難しい。しかし、京都市道路交通の傾向的な特徴が反映されているので、この対象道路網およびODデータを用いた計算・分析は交通需要と道路網の整合性について一般的な傾向は言えると思われる。

(2) 現状道路網の最適OD交通量

土地利用制約がなく ($0 \leq O_i \leq \infty$, $0 \leq D_i \leq \infty$) , ゾーンの土地利用（交通需要分布）が自由に再配分することができる場合を理想状態と呼ぶことにする。以下では、現状道路網に対して発生量最大化モデルを適用し、理想状態の下で、現状道路網は最大どれだけの交通需要量を処理できるかを明らかにする。

発生量最大化モデルの計算の結果、最大トリップ数は 75,852 台である。円滑な交通状態、つまり、どのリンクの混雑度も 1.0 より小さいという場合、理想的な OD パターンの下で、道路網全体として処理可能な最大トリップ数は 75,852 台であることが分かる。この交通量は現状の交通量（84,861 台）より小さいので、交通渋滞をなくすためには、トータルのトリップ数を削減しなければならない。ところで、トータルのトリップ数の削減は、都市機能のレベルの低下とも考えられ、必ずしも健全な都市運営にとっては好ましくはない。したがって、道路網の交通処理能力を高めるため、道路網リンクを増強し、あわせて交通混雑を引き起こさないように、交通需要分布の適正化を行わなければならない。

図-4は各ノードの発生交通量について最適値と現状値を比較するため、それぞれの値を同心円の大きさ（面積）で示したものである。細い線の網掛けの円は現状の発生交通量で、太い線の透明な円は最適

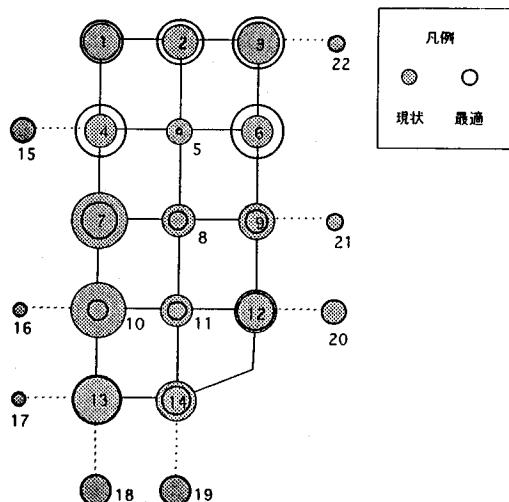


図-4 現状道路網の最適発生交通量と現状値

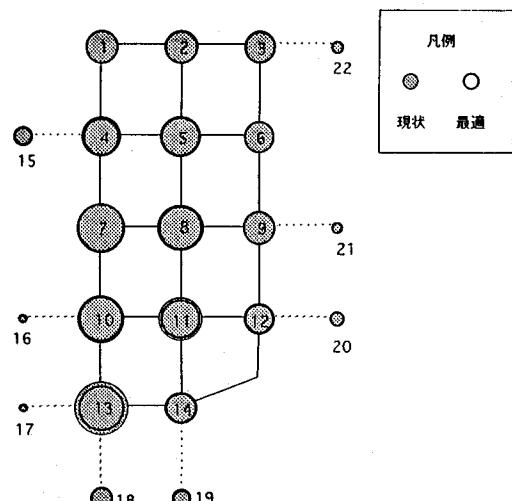


図-5 現状道路網の最適集中交通量と現状値

発生交通量である。図から分かるように、北部方面のノードでは、最適発生交通量は現状発生交通量より大きく、南部方面ではその逆である。つまり、北部は比較的余裕があるに対して、南部は過密状態になっている。今回のモデル計算では通勤交通を取り上げており、通勤時間帯の発生交通量は、住宅地の立地と関連していると考えられる。現状道路網の効率的利用を促すためには、南部・西部の住宅地開発を抑えて、北部方面を住宅地として発展させるべきとの結果が計算上は得られている。

図-5は最適集中交通量と現状集中交通量の大きさを同心円（面積）で示したものである。両者がほぼ等しくなっていることから、産業業務立地による集

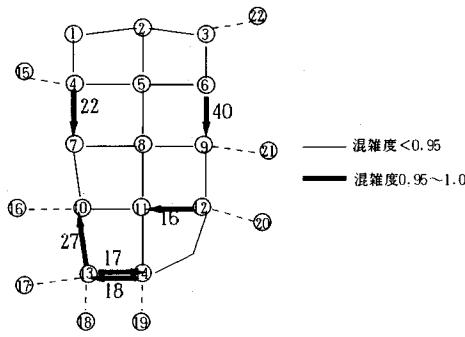


図-6 現状道路網のボトルネック

中交通量は最適な分布にあるということが分かる。

図-6は最大トリップ数が得られたときの道路網におけるボトルネックリンクである。モデル計算は近似計算であるため、混雑度 0.95 以上のリンクをボトルネックとしている。この図から分かるように、北のノード（1～6）からの発生交通量はリンク 2, 40, 18 によりさらに増加することが不可能になり、南のノード（10～15）はリンク 16, 17, 18, 27 により増加不可能になる。中間のノード 7, 8, 9 の発生交通量の増加にはリンク 18 がボトルネックとなっている。これらのリンク容量の増加によって、対応するノードの発生交通量が増加するので、表-1に示したリンク容量の増加を施した将来道路網は、各ノード、特にノード 7～15 の発生交通量を増加させることが可能と考えられる。

また、現状交通量は最大トリップ数の 1.12 倍であることから、もし現状の交通量を最適なOD分布に誘導することができれば、混雑度が 1.0 を超えるリンクは図-6に示す 6 本だけで、さらに最大のリンク混雑度はわずか 1.12 であり、現状の道路網混雑状態（図-3）に比べてかなり緩和されることになる。

(3) 将来道路網の最適OD交通量

a) 理想状態

土地利用制約がなく ($0 \leq O_i \leq \infty$, $0 \leq D_i \leq \infty$)、ゾーンの土地利用（交通需要分布）が自由に再配分することができるという理想状態の前提の下で、将来道路網に対して、交通混雑のない状況での道路網を最効率的に利用できるようなOD交通量を発生量最大化モデルで算定し、将来の土地利用誘導方向について述べる。

将来道路網に対して発生量最大化モデルを適用した結果、将来道路網の最大トリップ数は 111,238 台で、現在交通量（84,861 台）の 1.31 倍になっている。つまり、都市内高速道路や京滋バイパスの建設によって、京都市の交通量が仮に 31 % 増加しても、

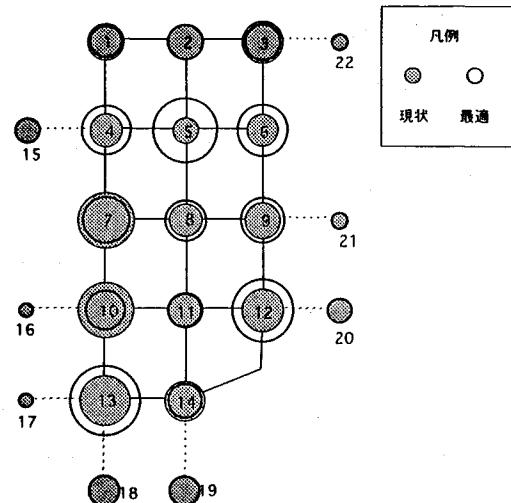


図-7 将来道路網理想状態での最適発生交通量と現状発生交通量

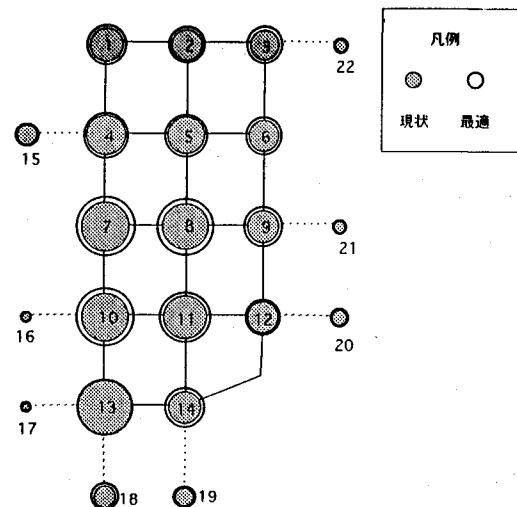


図-8 将来道路網理想状態での最適集中交通量と現状集中交通量

そのOD分布を適切に誘導すれば、円滑に処理することができる。

図-7は現在の発生交通量と将来道路網の最適発生交通量を同時に示している。この図から分かるように、ノード 4, 5, 6, 12, 13 において、最適値が現状値よりかなり大きくなっている。したがって、モデル計算の結果に基づけば、これらのゾーンを将来住宅立地の促進地域としていくことが望ましいと考えられる。一方、ノード 7, 10 は現状値が最適値よりかなり大きくなっているので、これらのゾーンの交通の発生量を規制する必要がある。

図-8は将来道路網の最適集中交通量と現状最適集

中交通量を同時に示しているものである。この図から分かるように、都市内高速道路および京滋バイパスが建設されることによって、ほとんどのノードに集中交通量の余裕が生じる。特に都市中心部のノード7～11には比較的大きな余裕量が見られる。したがって、将来道路網に整合させるという観点からは、対象地域内の将来の業務立地は都心部を中心として、都心部の外周にも立地するように誘導することが可能である。

以上の数値計算で求めた将来道路網に整合するOD交通量は、単に道路網の有効利用の観点からみたものである。ゾーンによっては、発生・集中交通量、特に発生交通量の大きな調整が必要という結果が示されている。発生・集中交通量はそれぞれ住宅立地や商業・産業立地と大きくかかわるものである。そのため、発生・集中交通量の効果的な調整を行うためには、利用モードの転換や流入規制のみでなく、土地利用パターンを積極的に誘導・調整することが必要となる。しかし、現実の土地利用計画は、単に道路網の有効利用を目的として策定されるものではなく、その都市の特性を生かし、健全な運営を行うため、都市の基本構想などの上位計画や現実的な種々の制約条件（土地利用規制）を考慮しなければならない。また、特定のゾーンでは、現時点の土地利用用途を大きく変えることが現実的にはできない場合もある。したがって、土地利用計画変更の実行可能性を考慮し、交通需要と道路網の整合性を保つための研究が必要である。

b) 土地利用計画を考慮した場合

京都市の基本計画によると¹⁷⁾、南部地域は将来の発展地域としている。そのほかの地域、特に北部の地域は風致地域などとして保護されているので、将来的に土地利用面で大きな変化が生じないよう、開発の制限がある。これらのことと、上の分析結果から、北部および都心部にあたるノード1～9の将来の発生交通量は現状で抑え、集中交通量は現在の1.0～1.2倍まで増大できると仮定する。ここで、ノードの発生交通量を固定したのは、操作変数の減少による、計算時間短縮をはかるためである。また、都市計画の面からみれば、現状土地利用活動の抑制も望ましくないので、これらのノードの発生・集中交通量の下限値は現状値より大きいと設定する。南部地域は将来的な開発促進の地域であるので、基本的には発生・集中交通量に上限値を設けないが、ノード11は、大規模な交通施設（京都駅）がすでに広い土地面積を占めているに加え、他のゾーン（ノード10、12、13、14）に比べ、面積が狭いので、このノードだけは、発生・集中交通量の上限

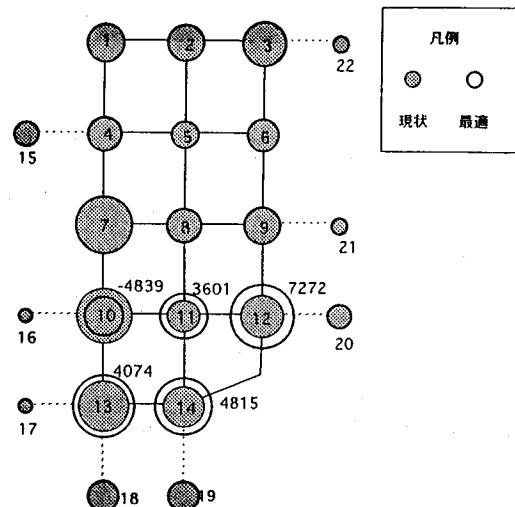


図-9 将来道路網の最適発生交通量と現状値

値を設け、現在の2倍までと仮定する。長期的に見れば、既存の土地利用の用途変更は不可能ではないので、ノード10、12、13、14については発生・集中交通量の下限値も上限値も設けないことにする。

現状発生・集中交通量をそれぞれ O_i' 、 D_i' で表し、最適発生・集中交通量を O_i 、 D_i で表すと、以上の土地利用の制限は次のようになる。

$$i = 1 \sim 9 : \quad O_i = O_i'$$

$$D_i' \leq D_i \leq 1.2D_i'$$

$$i = 10, 12, 13, 14 : \quad 0 \leq O_i \leq \infty$$

$$0 \leq D_i \leq \infty$$

$$i = 11 : \quad 0 \leq O_i \leq 2.0O_i'$$

$$0 \leq D_i \leq 2.0D_i'$$

このような制約条件をモデルに取り入れて計算した結果、最大トリップ数は99,774台である。現状交通量に比べ18%の増加が可能になっているが、土地利用の制限のない場合の最大トリップ数に比べると、11,464台（111,238 - 99,774）小さくなっている。これは、土地利用の制限を取り入れることによって、理想状態のような最適なODパターンが達成できず、道路網の利用効率を犠牲にしなければならないからである。

次に、将来最適発生・集中交通量とODデータから集計された現状発生・集中交通量との比較によって、将来土地利用の誘導方向を見る。

図-9は将来道路網の最適発生交通量と現状発生交通量を同時に示しているものである。ノードの横の

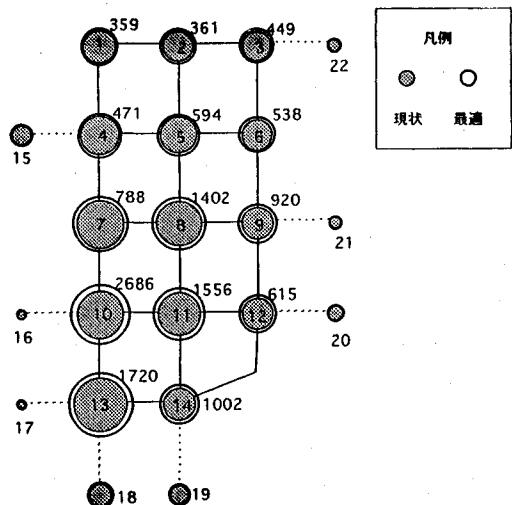


図-10 将来道路網の最適集中交通量と現状値

数字は両者の差であり、最適値から現状値を引いた値を示している。この図から分かるように、ノード 10 の発生差は -4,839 台で、最適発生交通量は現状発生交通量のほぼ半分になっている。したがって、ノード 10 の発生交通量の削減を行う必要があると考えられ、住宅地としての都市機能の抑制、自動車の発生量規制や時差出勤などの交通需要管理策の実施が望ましい。その他のすべてのノードでは、発生差が正になっている。これらのノードは、北部方面に対して開発保全策を適用した場合、人口増加地域としてふさわしいことが分かる。特にノード 12 の発生差は 7,272 台もあるので、再開発等の土地利用の高度利用により、住宅立地を増大させることができることを示している。将来道路網の有効利用の面からみれば、現在の西南部を住宅地とする立地分布に加えて、東南部および南部にも立地を増加させてもよいということが分かる。

図-10は将来道路網の最適集中交通量と現状最適集中交通量を同時に示しているものである。図において、すべてのノードの集中差が正になっている。つまり、都市高速道路および京滋バイパスの延伸によって、いずれのノードにおいても集中交通量の余裕が生じる。特に南部のノード 10, 11, 13 には大きな余裕が見られる。したがって、将来道路網への整合性という観点からは、京都市の将来の業務立地の増加はこれらのノードを中心として展開できる余地が大きい。このように、規定の道路計画が整備されれば、京都市の将来の業務立地分布は中部・西南部においてまだ開発に余裕があることを示している。

4. おわりに

本研究では、都市のバランスのとれた発展のためには交通需要管理が必要であることを確認し、OD 需要分布と道路網の整合性を保つことのできる都市計画を策定するための支援モデルを提供することを目的としている。そして、次の成果が得られた。

① 与えられた道路網に整合するような OD 需要パターンおよび道路網に負荷できる最大トリップ数を算出できる発生量最大化モデルを提案した。このモデルは、従来の OD パターン一定とした道路網容量問題と違って、道路網を最も効率的に利用するため、OD 需要パターンも内生的に求められるモデルとなっている。したがって、このモデルを用いて、交通需要管理、特に成長管理や自動車流入制限ゾーンに関して適正交通量の指針を与えることができる。また、道路網代替案の評価・比較にも利用できる。

② 発生量最大化モデルの土地利用計画への適用可能性を確認するため、京都市の簡略化した道路網に対して、数値計算を行った。その結果 OD 需要と道路網の整合性を考慮した都市計画の策定のために、本モデルは有用であり、実用性の面から見ても妥当な結果を得ている。

一方、モデルの構造面および実用計算面については、以下の問題点が今後の課題として残されている。

① モデルの定式化において、重力モデルにもとづいた交通需要関数は OD ペア間の交通量は、距離と目的地の吸引力によるものと仮定した。しかし、現実では、距離よりも走行時間の影響が強いと思われる。走行時間を交通需要関数に取り込んでモデルを改良することが必要であろう。

② 発生量最大化モデルは 2 レベル最適化問題として定式化されている。本研究では、モデルの開発・応用に重点を置き、計算アルゴリズムは従来用いられてきたコンプレックス法を用いた。しかし、このアルゴリズムは、道路網の規模が大きくなると、計算時間が膨大となり、場合によっては求解が困難な場合もある。さらに大規模な道路網に応用し、より具体的な計画に応用するためには、効率的で精度の高いアルゴリズムの開発に力を入れるべきであろう。

謝辞：本研究の遂行に当たり、京都大学工学部内田敬講師および宇野伸宏助手に多大なるご協力をいた

だいたい、記して、感謝の意を表す。

参考文献

- 1) Wachs, M: Regulating Traffic by Controlling Land Use -The Southern California experience, Transportation 16, pp.241-256, 1990.
- 2) Institute of Transportation Engineers: A Toolbox for Alleviating Traffic Congestion, ITE, 1989.
- 3) 太田勝敏：交通需要マネージメントの概念と展開－米国の事例を中心として－、道路交通経済, No.4, pp.12-21, 1992.
- 4) Higgins, T.J.: Demand Management in Suburban Settings, Transportation 17, pp.93-116, 1990.
- 5) May, A.D.: Integrated transport strategies: a new approach to urban transport policy formulation in the U.K., Transport Reviews, Vol.11, No.3, pp.223-247, 1991.
- 6) May, A.D., Gardner, K.E.: Transport Policy for London in 2001 -The case of an integrated approach, Transportation 16, pp.257-277, 1990.
- 7) 飯田恭敬, 平本健二：道路網計画と土地利用パターンの整合に関する考察, 土木学会論文報告集, 第291号, pp.119-128, 1979.
- 8) 西村 昂：道路網容量理論に関する一考察, 土木学会論文報告集, 第249号, pp.113-120, 1976年5月.
- 9) 清田 勝, 高田 弘, 横木 武：道路網容量から見た土地利用の在り方に関する考察, 土木計画学研究講演集, No.7, pp.375-380, 1985年1月.
- 10) 树谷有三, 斎藤和夫：道路網容量から見た土地利用活動の立地配分, 交通工学, Vol.22, No.4, pp.9-20,
- 11) 朝倉康夫：道路網の最大容量からみた都市内ゾーンの活動許容量に関する実証的研究, 昭和63年度第23回日本都市計画学会学術研究論文集, pp.385-390, 1988.
- 12) Wardrop, J.G.: Some Theoretical Aspects of Road Research, Proceedings, Institute of Civil Engineers, Part 2, 1952.
- 13) Sheffi, Y.: Urban Transportation Networks, Prentice Hall, 1985..
- 14) 飯田恭敬, 朝倉康夫, 田中啓之：複数経路を持つ都市高速道路網における最適流入制御モデルの定式化と解法, 土木学会論文集, No.449/IV-17, pp.135-144, 1992.7.
- 15) 志水清孝：システム最適化理論, pp.92-99, コロナ社.
- 16) 飯田恭敬, 李 燕：重力モデルに基づいた道路網の最大OD交通量に関する考察, 土木計画学研究・講演集, No.3, pp.25-32, 1992.
- 17) 京都市企画調整局：新京都市基本計画の策定に向けて—現行計画のフォローアップと新計画の策定方針—, 1992年2月.
- 18) 佐佐木綱：都市交通計画, 国民科学社, pp.190-191, 1985.

(1994.6.6 受付)

A STUDY ON INTEGRATION OF TRAFFIC DEMAND AND ROAD NETWORK

Yasunori IIDA and Yan LI

Because of the financial embarrassments and environmental limitations, to construct new transportation infrastructures is becoming increasingly difficult. Under this situation, the main target of transportation planning is changing from satisfying traffic demand by enlarging the capacity of infrastructures to matching traffic demand with supply by transportation demand management (TDM).

In order to develop a quantitative basis for TDM, this paper presents the Maximum Traffic Generation Model (MTGM) which gives the maximum traffic generation under a certain road service level and an optimal OD matrix for a given road network. Furthermore, this paper analyzes the optimal OD matrix of Kyoto city by applying MTGM to the road network and discusses the adjustment direction of its land use.