

リンクフローによる発生交通量推計に関する基礎研究

Modelling of trip generation by link traffic flow

斎藤 博丈*・中川 義英**・森本 章倫***

By Hirotake SAITO, Yoshihide NAKAGAWA, Akinori MORIMOTO

This paper explains a conception of modelling of trip generation in order to consider land use from traffic flow side, and establish a notion of a trip generation model estimating by link traffic counts. And then, information has much influence on route choice by drivers, so we study communication process. Moreover, route choice information consists of the accumulation of experiences and the present recognition of situation, so drivers judge them and choose route. Using information, we formulate route choice rate and incorporate it into modelling of trip generation by link traffic counts.

1. はじめに

1960年代前半に始まった高度経済成長は、東京都市圏への人口・産業の一極集中を誘発してきた。現在でも交通問題、エネルギー問題、都市防災の問題に加えて、近年の地価高騰による都心のオフィス化、住宅の郊外化といった土地問題・住宅問題など様々な都市問題を抱えている。こういった都市問題の中で特に交通問題に焦点を当ててみると、近年の自動車保有台数の急激な増加に対して道路整備が進まなため、道路混雑はますます悪化している。

このような交通混雑問題は交通施設整備の供給の

スピードを、常に都市の成長による需要のスピードが上回った結果であると考えられる。交通混雑の対応策としては、最近では道路整備の増強というハード面と並行して、交通需要制御といったソフト面も進められている。これには時差出勤やフレックスタイムの導入、相乗りの奨励などの利用者側の意識の改善を促す施策が考えられる。

また近年の情報化時代に対応して、ドライバーへの情報提供とその効用が盛んに唱えられている。将来的には、情報提供によりサービスレベルの向上を図る誘導制御手法である。しかし適切な情報提供の内容や、実際のドライバーの交通行動との関係はまだ不明な点が多く、情報提供の効果分析も不十分である。

本研究ではこのような点を鑑み、交通から土地利用を考えるために、情報伝達を考慮した発生交通量推計モデルの概念構築を目的とする。

キーワード：交通需要推計、経路選択、情報伝達

*学生会員 早稲田大学大学院建設工学専攻

(〒169 東京都新宿区大久保3-4-1)

**正会員 工博 早稲田大学教授 理工学部土木工学科

***正会員 工博 早稲田大学助手 理工学部土木工学科

2. 交通需要予測研究の背景

近年の交通需要予測モデルは、従来から使われている段階型予測モデルの4段階推定法に対して、交通均衡理論や確率理論を用いた同時推計モデルの研究が進められてきた。

河上・住田¹⁾は予測モデルを同時生起確率最大化問題として定式化している。加藤・宮城^{2) 3)}は交通均衡理論を用いて分布・分担・配分過程を結合した交通量予測モデルを提案している。河上・溝上⁴⁾は、予測モデルを2段階の意志決定問題とみなし、これを2レベルStackelberg計画問題として定式化している。しかし、交通均衡状態が実現されるメカニズムを実際の交通現象と対応させて議論している論文は少ない。

このような既存の交通モデルによるアプローチから最近では交通行動そのものを扱う動的分析が行われるようになった。動的分析研究を、対象とする事象によって分類すれば、出発時刻決定問題、動的交通量配分モデル、学習調整プロセスのシミュレーションモデル、マクロ交通流モデル、動的交通行動分析、時間帯別交通需要予測モデル等に分けられる⁵⁾。

飯田⁶⁾は、情報と経路選択に関して個々のドライバーの経路選択を明示的に扱い、交通状態は現時点での交通状況のみで決定されるのではなく、過去の経験の蓄積にも影響されるという前提のもとに、動学的なシミュレーションモデルを構築している。飯田論文は、学習プロセスのシミュレーションモデルに属するが、本研究はシミュレーションは実施していないものの過去の情報も経路選択に反映させている点でこの系譜に属する。

本研究の構成は、概ね以下の4つのステップからなる。

- (1) 既存の交通モデルを用いた発生交通量推計の考え方
- (2) リンクフローによる発生交通量推計モデルの概念
- (3) 情報伝達と経路選択との関係の定式化
- (4) 情報を考慮した発生交通量推計モデルの概念構築

図-1 に研究のフローを示す。

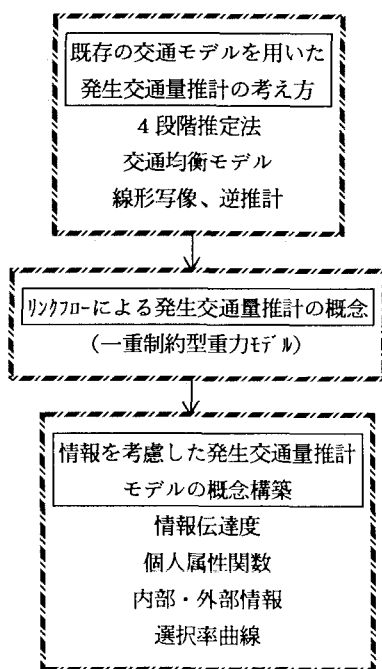


図-1 研究のフロー

3. 既存交通モデルを用いた発生交通量推計の考え方

3-1 4段階推定法

4段階推定法は4つの段階、発生・分布・機関分担・配分を順に各段階のモデル式を用いることにより道路区間交通量を推定する手法である。ここでは、の4段階推定法を集合論として捉えてみる。各段階におけるモデル式を表す関数を写像に、インプットまたはアウトプットにあたるデータを集合に対応させると4段階推定法は図-2のように表現される。

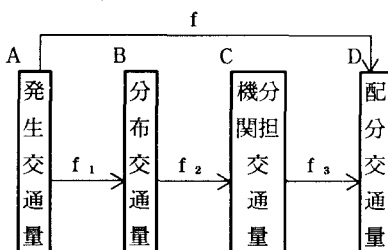


図-2 写像と集合で表現した4段階推定法

ただし、 f_1 : 集合Aから集合Bへの写像
 f_2 : 集合Bから集合Cへの写像
 f_3 : 集合Cから集合Dへの写像

を表す。一般に、

「写像 g が集合 V から集合 V' への線形写像、写像 h が集合 V' から集合 V'' への線形写像であるとき、合成写像 $h \circ g$ は V から V'' への線形写像である」

といえる。合成写像 $f = f_3 \circ f_2 \circ f_1$ は、 f_1 、 f_2 、 f_3 がそれぞれ線形であれば線形写像である。また、

「集合Aから集合Bへの写像 T が逆写像をもつためには、 T がAからBの上への一対一写像であることが必要かつ十分な条件である」

から、合成写像 f が V から V'' の上への一対一写像であれば写像 f の逆写像 f^{-1} は存在する。このことは、4段階推定法において配分交通量を既知としこれをインプットとしたとき、写像 f^{-1} によってアウトプットとして発生交通量を求める逆推計ができることを示している。

3-2 交通均衡モデル

交通均衡の基本概念は、Wardropの等時間原則の概念に基づいている。この利用者の完全情報を仮定した交通均衡モデルは、各ODペア間の需要交通量をサービス水準の変化に関わらず一定とする需要固定型均衡問題と、サービス水準の変化に応じて変動する需要変動型均衡問題とに分けることができる。

需要固定型交通均衡モデルにおいては、OD交通量と均衡状態が実現したときのリンクフローとが一対一の対応関係があれば、前述のように逆写像が存在し、リンクフローからOD交通量が求められるので発生交通量が算出できる。

3-3 影響行列による発生交通量推計

既存の交通モデルを数学的に考察し、逆写像が存在する可能性が示されたが、こういった考え方を使得交通から土地利用を考えている研究は少ない。

既存研究として⁷⁾、4段階推定法を用いて発生交通量から配分交通量を算出しているが、その際、床面積の変動による発生交通量の変化が、周辺の交通量に及ぼす影響度を表す影響行列を作成している。

$$Y = VX \quad (3.1)$$

Y : 配分交通量

X : 発生交通量

V : 影響行列

ここで、影響行列 V の逆行列 V^{-1} が存在すれば、

$$X = V^{-1}Y \quad (3.2)$$

となり、配分交通量から発生交通量を求める逆推計ができる。このモデルは非常に簡便であり、影響行列を介して配分交通量から発生交通量がダイレクトに算出できるという利点があるが、OD分布自身が影響行列の中に内包されているため、土地利用の大きな変化に対応できないという欠点をもつ。

4章ではこのような点を補うモデルとして、道路区間上で観測されるリンクフロー値から直接発生交通量を推計するモデルについて示す。

4. リンクフローによる発生交通量推計の概念

このモデルは、地域間交通需要量を与えリンク交通量を求めるという従来の方法論とは逆の考え方に基づいている。この種のタイプのモデルはいくつか開発されているが、ここでは特に、一重制約型重力モデルについて詳述する⁸⁾。

このモデルはOD交通量に関する経路選択が先決されているという前提で、OD分布を発生交通量のみを変数とした重力モデル構造で表し、リンクフローの計算値と観測値の残差平方和が最小となるようにモデル定式化を行うことで、発生交通量が求められる。また、目的値選択確率は修正重力モデルで記述されると仮定し、その更新をも内包したOD交通量推計法である。

このモデルの特徴は、ODパターンの更新が可能な点と推計計算が簡単（連立一次方程式で求めることが可能）な点にあるため、実用的なモデルである。

ノード i 、 k を結ぶリンク ik 上で観測されるフロー値を RX_{ik} 、ノード i における発生及び集中交通量をそれぞれ A_i 、 B_i とすると、

$$A_i - B_i = \sum_k (RX_{ik} - RX_{ki}) \quad (4-1)$$

が成り立つ。ここで上式の右辺を ΔD_i とおくと

$$B_i = A_i - \Delta D_i \quad (4-2)$$

と表すことができる。

OD交通量 T_{ij} を一重制約型重力モデルで表すと、

$$T_{ij} = A_i \frac{B_j R_{ij}}{\sum_j B_j R_{ij}} \quad (4-3)$$

R_{ij} : 交通抵抗係数

と示すことができる。

したがって、ODペア i, j がリンク mn を利用する確率は経路選択確率を P_{ij}^{mn} とするとリンクフローの推測値は、

$$\begin{aligned} X_{mn} &= \sum_i \sum_j T_{ij} P_{ij}^{mn} \\ &= \sum_i \sum_j \left\{ A_i \frac{(A_j - \Delta D_j) R_{ij}}{\sum_j (A_j - \Delta D_j) R_{ij}} \right\} P_{ij}^{mn} \end{aligned} \quad (4-4)$$

と示すことができる。リンク mn でのフロー観測値が $R X_{mn}$ であるとする、

$$Z = \sum_{mn} (X_{mn} - R X_{mn})^2 \rightarrow \text{Min.} \quad (4-5)$$

として上式を満たすような推測値 X_{mn} を求めることによって、発生交通量 A_i を求めることができる。

5. 情報を考慮した発生交通量推計モデルの概念構築

前述したリンクフローから発生交通量を推計するモデルは、経路選択率を外生的に与えるタイプのモデルであった。ここでは、人々の経路選択行動に大きな影響を与えると思われる情報を考慮して経路選択率を決定する。また、こうして得られた経路選択率を一重制約型重力モデルに組み込むことにより、情報を考慮したリンクフローによる発生交通量推計の概念を構築する。

5-1 情報の伝達性

情報の伝達とは道路管理者がある交通現象を計測し、その結果をラジオ・テレビ等の情報伝達手段を通じて流し、その情報を利用者が受け入れ、それに対して何らかの判断を行い、それを基にして行動を起こす一連の過程を示す。

今、最短経路情報という視点からこの一連の伝達過程を考える。完全情報伝達とドライバーの意志決定の不変を前提としたWardropの等時間原則を仮定した場合、情報伝達過程を通して利用者は最短経路を見つけだすことができる。しかし、現実には完全

情報を仮定するのは困難である。

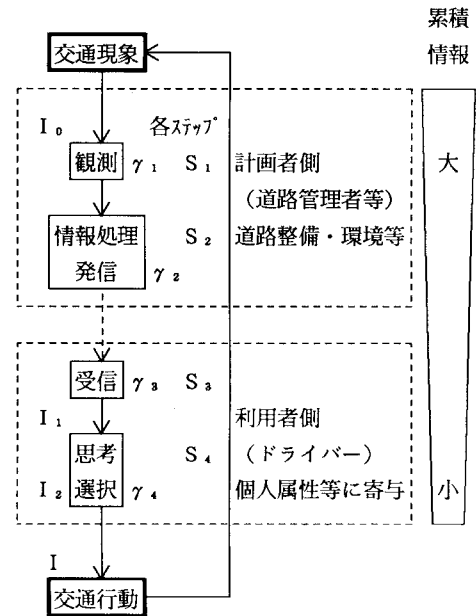


図-3 情報伝達のメカニズム

そこで、各情報伝達のステップを図-3のように定め、 $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3, \gamma_4$ を各ステップでの情報伝達度、 γ_4 を最終ステップでの情報選択度と捉える。

ここで、ステップ S_1 におけるある経路の初期外部情報を I_0 とすると、ステップ S_3 での外部情報 I_1 は情報伝達度 γ によって低減し、次のようになる。

$$I_1 = \gamma I_0 \quad (0 \leq \gamma \leq 1) \quad (5-1)$$

$$\text{ただし、} \gamma = \gamma_1 \cdot \gamma_2 \cdot \gamma_3 = \prod_i \gamma_i$$

式(5-1)においてWardropの等時間原則のもとの情報伝達度を1とすれば、 γ は現実の情報伝達の割合の程度を表すものと考えられる。

一方、過去の走行経験等による内部情報 I_2 は個人属性に関係する。

$$I_2 = f(a_1, a_2, \dots) \quad (5-2)$$

f : 個人属性関数

a_1 : 過去の走行経験

a_2 : 経路の先決性 等

よって、最終的な経路選択に有用な情報 I は、

$$I = \gamma_4 (\alpha I_1 + \beta I_2) \quad (5-3)$$

となる。ここで、 α, β は外部情報と内部情報の相

対的重みである。これは交通行動が、現在の状況認識（外部情報）と過去の知識集積（内部情報）の両者を考慮し選択判断していることを示している。

ここで、 $I_0 = 0$ のときはドライバーが経路選択に関する有用な外部情報がないため、過去の経験や経路先決性等によって経路選択が行われる。

5-2 経路選択率の決定

これまで述べてきたような情報伝達がドライバーの経路選択行動に影響を及ぼすことを考慮して、ある経路 w を選択する確率 P_w を経路に関する有用な情報 I と最短経路より余分にかかっている時間を示す余剰時間 Δt_w を用いて次式で定義する。

$$P_w = \begin{cases} \frac{\exp(I \cdot \Delta t_w)}{\sum_{w \in W} \exp(I \cdot \Delta t_w)} & \text{if } w \in W \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

W : 効率的経路の集合 (5-4)

ただし、効率的経路とはこの経路を進むことにより必ず出発点（起点）から遠ざかる経路のことを意味する。つまり、起点 i からノード k 、ノード l までの最短所要時間をそれぞれ $t(k)$ 、 $t(l)$ とすると $t(k) < t(l)$ を満たすリンク (k, l) （リンクの両端のノードを k 、 l とする）で構成されている経路のことである（図-4）。また、余剰時間 Δt_w は次式で定義するものとする。

$$\Delta t_w = t(l) - t(k) - t(k, l) \quad (5-5)$$

$t(k, l)$: リンク (k, l) の所要時間

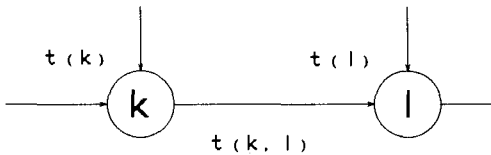


図-4 余剰時間の概念

図-5 は余剰時間と経路選択率との関係を表している。情報 I が増加するにつれて、曲線は (a) から (d) のように変化していき、余剰な経路の選択率が少なくなることを示している。情報 I は $0 \leq I \leq \infty$ の値をとるものとし、 I が 0 ならばすべての効率的経路に等確率で配分される（図-5 (a)）。

これはドライバーが初めてその経路を通り、かつ最短経路情報がドライバーに全く与えられない状態を示す。 I が ∞ ならば最短経路配分となる（図-5 (d)）。これは最短経路情報が全てのドライバーに与えられる状態を示す。

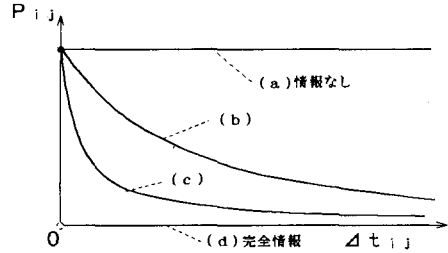


図-5 選択率曲線

本モデルはこの配分理論を用いて、経路選択率を決定し、これを一重制約型重力モデルに組み込む。

図-6 に発生交通量推計のフローチャートを示す。

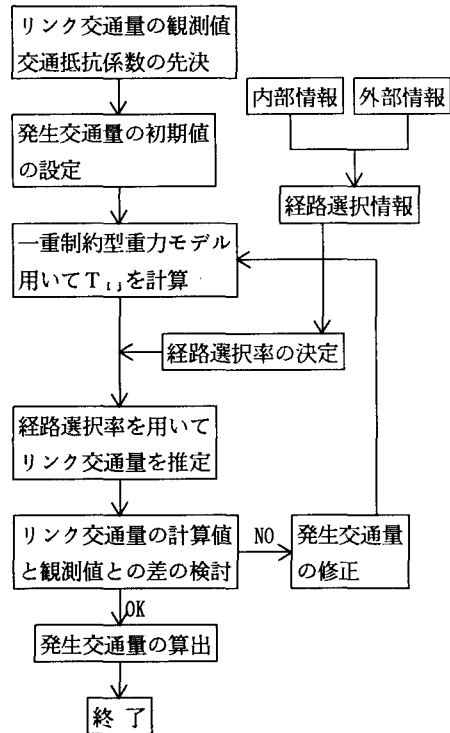


図-6 モデル推計のフローチャート

6. おわりに

本研究では、まず既存の交通モデルを用いた発生交通量推計の考え方を写像を使って概説した。次に交通状況の側面から土地利用を考慮するために、観測リンク交通量から発生交通量を推計する概念を示し、それを利用したモデルを示した。具体的には道路区間上で観測されるリンクフローから交通需要量を推定するモデルの中から、特に一重制約型重力モデルを採用して発生交通量を求めるフローを示した。その際、情報を考慮することによって経路選択率を決定した。

経路選択の決定過程は、ドライバーの過去の走行経験と現在の状況認識の両面から選択判断すると考えられる。過去の走行経験（内部情報）は人によって様々であるため、個人属性関数を導入することにより概念化した。現在の状況認識（外部情報）は、その経路の情報提供とその伝達程度に左右されるため情報伝達度を導入することにより示した。ドライバーは、この内部情報と外部情報に相対的に重みをつけて経路選択をしていると考えられる。最終的に情報を組み込んだ配分理論を用いて、経路選択率を決定した。

本モデルはこのように発生交通量を求める際、情報による利用者の経路選択への影響を考慮している点に特徴があり、実際のドライバーの交通行動を反映したモデルの一つといえる。

今後の課題としては、モデルの詳細な点を定式化すると同時に、対象地区でのケーススタディを用い、現状と比較してモデルの有用性等を確認する必要がある。その上で本モデルによって推計される発生交通量を用いて、各ゾーンの適正な土地利用を把握できれば、交通計画策定において交通から適切な土地利用計画を立てることが可能となり、道路混雑の解消への糸口になると考えられる。また将来的には情報提供等によって交通発生量を制御することによって、交通行動そのものをコントロールすることができると考えられる。

最後に、本研究は福山恵夫君（現 東工大大学院）の多大な協力により完成したものであり、ここに感謝の意を表する。

【参考文献】

- 1) 河上省吾・住田公資：分布・分担・配分過程を結合した交通量予測モデル、土木学会論文集第306号、pp. 45～57、1981年。
- 2) 加藤晃・宮城俊彦・吉田俊和：交通分布・配分結合モデルとその実用性に関する研究、交通工学、pp. 3～11、1982年。
- 3) 宮城俊彦・加藤晃：需要・パフォーマンス均衡モデルの実用化に関する一手法の提案：理論、交通工学、pp. 21～29、1985年。
- 4) 河上省吾・溝上章志：手段分担・配分結合モデルを用いた手段選択関数と均衡交通量の同時推定法、土木学会論文集、pp. 79～87、1986年。
- 5) 松井寛：交通需要の動学的分析の諸相と今後の展望、土木学会論文集、pp. 47～pp. 56、1993年。
- 6) 飯田恭敬：交通モデルの課題と展望、土木計画学研究・論文集、pp. 1～13、1992年。
- 7) 森本章倫・中川義英：交通需要量を考慮した容積率の適正設定に関する基礎研究、土木学会年次学術講演会、pp. 276～277、1992年。
- 8) 飯田恭敬・高山純一：リンクフロー観測値を用いた一重制約型重力モデルによるOD交通量推計法、交通工学、Vol. 26、No. 1、pp. 27～39、1991年。
- 9) 飯田恭敬・高山純一・金井一二・水口玲二：Dial確率配分法を導入したリンク交通量による道路網交通需要推計法、都市計画別冊、第19号、pp. 13～18、1980年。
- 10) 大矢正樹：経路を先決しない確率的均衡配分に関する1考察、土木計画学研究論文集、PP. 399～406、1983年。