

観測リンク交通量を用いた道路網交通流の日変動推定とその信頼性分析への応用

朝倉康夫*・柏谷増男**・西山晶造***

観測リンク交通量に基づく交通量推計モデルを用いて、道路網を構成する一部のリンクの交通量観測データから、観測されていないリンクを含むすべてのリンクの交通量を推計することのできる静的モデルを開発した。このモデルに基づいて、日々の観測データが得られたとき、それらを用いてネットワーク全体の交通量の日々の変動を再現および予測する方法を示した。さらに、リンク交通量の日々の変動が推計されていることを前提に、道路ネットワークの時間信頼性指標を求める方法を示した。最後に、松山都市圏の道路ネットワークを対象に開発した一連の方法を適用した。

Key Words : road network flow, day-to-day dynamics, network reliability

1. はじめに

道路網上でリンク交通量の観測データにもとづく交通量推計手法は、道路網計画における需要分析と予測のための標準的手法である段階的需要予測法を補完するものと位置づけられている。この方法の利点は、①大規模調査を必要としないため推計に要するコストが安いこと、②現実道路網に即した形で交通量が得られ、観測交通量に著しい誤差がないかぎり推計精度が良いこと、③社会・経済データが完備していない地域へも適用できることなどである。とくに、道路網の管理・運用計画のための基礎データを得るうえで、観測交通量を用いた推計法の利点が発揮される¹⁾。

最近では、車両感知器などの交通流の観測機器・システムの充実により、道路網上の多くの箇所でも交通量や密度などの時々刻々のデータが容易に得られるようになってきており、日々の観測データの蓄積も進んでいる。このような豊富な観測データを活用することにより、ネットワーク全体に渡って交通流の動的な挙動を知ることができれば、計画策定においてきわめて有用であると考えられる。

ところで、交通流の動的変動は、ピーク・オフピークといった一日の内の時間的変動 (within-day dynamics) と、日々の変動 (day-to-day dynamics) に大別することができる。時間的変動の分析・予測が交通制御や管制のために必要であることは言うまでもないが、一方、ネットワークの信頼性評価を始めとする不確実性を考慮した道路網計画においては、交通流の日々の変動を把握することが重要であると考えられる。

道路網交通流の日々の変動の推計に関連する従来のモデル研究は、次のように整理できる。

①確率過程モデル：OD 交通量は固定的であるが、ドライバーの経路選択行動の日々の変動がネットワーク交通流の変動の原因であるとし、確率過程 (マルコフ連鎖) によりモデル化するもの²⁾。行動モデルとして独創的ではあるが、アルゴリズムとしての収束が必ずしも保証されないことや、パラメータの設定法など数値計算法に問題がある。

②配分シミュレーションモデル：OD 交通量の日々の変動がリンク交通量の変動の主な要因であるとの仮定の下に、OD 表に確率的変動を与えて配分計算を繰り返すもの³⁾。交通量の連続性やリンク間の変動の相関を考慮できるという利点を持つが、変動の与え方に任意性が入るほか、計算コストがかかるという問題点を持つ。

③変動係数推定モデル：リンク交通量の変動がリンクの属性によって異なる点に着目し、交通量の変動係数をリンク属性 (たとえば、平均交通量、リンクの道路機能) により直接的に説明するもの。実測データにもとづく統計モデル⁴⁾と、数値シミュレーションによる仮想的関係にもとづくもの⁵⁾がある。前者は日々の観測データを一旦集計しているという意味で必ずしもデータが有効に利用されていないし、後者は仮説の検証が十分とはいえない。また、①と②の方法では、リンク交通量の変動をネットワーク交通流の変動としてとらえているが、③では個々のリンクを独立に扱わざるを得ないため、交通流の連続性を考慮することが難しいという問題がある。

このように、個々のモデルについてはそれぞれ改良の余地が残されているが、豊富な観測データが活用できるようになってきていることと、ネットワークフローとしての扱いが可能であることを考えると、先に述べたような様々な利点を持つ観測フローにもとづく交通量推計法からの展開を検討すべきと考えられる。そこで本研究の

*正会員 工博 愛媛大学助教授 工学部土木海洋工学科 (〒790 松山市文京町)

**正会員 工博 愛媛大学教授 工学部土木海洋工学科

***正会員 工修 日本道路公団 名古屋管理局

目的は、リンク交通量の日々の観測データを用いて道路ネットワーク交通流の日々の変動を推計できるモデルを開発し、道路網の時間信頼性評価への応用を試みることにある。

本論の構成は以下の通りである。2.では、既存の観測リンク交通量にもとづく交通量推計モデルを用いて、道路網を構成する一部のリンクの交通量観測データから、観測されていないリンク（非観測リンク）を含めたすべてのリンクの交通量を推計する静的モデルを示す。さらに、日々の観測データが得られたとき、それらを用いてネットワーク全体の交通量の日々の変動を再現・予測する方法を示す。3.では、リンク交通量の日々の変動が推計されていることを前提に、道路網の時間信頼性指標値を求める方法を示す。4.では、松山都市圏の道路ネットワークを対象に提案した方法を適用し、モデルの実証性について検討を行う。

なお、本研究で示すモデルおよび数値計算で扱う交通量はすべて日交通量単位 (veh./day) であり、一日の内の交通量の変動は考慮しないこと (within-day static) を断わっておく。

2. リンク交通量推定モデル

ネットワークの一部のリンクの観測交通量を用いて、非観測リンクを含むすべてのリンクの交通量を推計するモデルは、外井ら⁶⁾によっても提案されている。このモデルでは、非観測リンク交通量と観測リンク交通量を関係づける定義式の変形により交通量を推計する仕組みになっており、観測誤差が存在する場合には推計式をそのまま用いることが難しい。

そこで、本研究では、観測リンク交通量を用いた OD 交通量推計モデルを応用することにより、一部の観測交通量からネットワークの全てのリンク交通量を推計できるモデルを示す。

(1) 発生交通量を変数とする OD 交通量推計モデル

観測リンク交通量を用いた交通量推計モデルのうち、モデル構造が簡明で変数も少なく、しかも観測リンク数の影響を受けにくく解が安定しているという利点を持つものに、飯田・高山⁷⁾によるリンク交通量と発生交通量の残差平方和最小化による OD 推計モデル (結合モデル) がある。このモデルの未知変数は発生交通量であり、以下のような最適化問題として定式化されている。

$$G = \sum_{a \in A_1} (V_a - V_a^*)^2 + \sum_{i \in I} (T_i - O_i)^2 \dots \dots \dots (1)$$

sub. to

$$T = \sum_{i \in I} O_i \dots \dots \dots (2)$$

ここに、

O_i : ゾーン $i(i=1, \dots, n)$ の発生交通量 (未知)

T : 生成交通量 (未知)

f_i : ゾーン i の発生交通量率 (既知)

V_a^* : リンク $a(a=1, \dots, m)$ の観測交通量 (既知)

Q_{ai} : 影響係数 (既知)

A_1 : 観測リンクの集合

I : 発生ゾーンの集合

である。

影響係数 Q_{ai} とは、ゾーン i から 1 単位のトリップが発生したときに、リンク a に生じる交通量のことである。目的地選択率 p_{ij} , 経路選択率 r_{ijk} , インシデンス行列の成分 δ_{ijka} を用いて Q_{ai} を表すと、

$$Q_{ai} = \sum_{j \in J} \sum_{k \in K_{ij}} p_{ij} r_{ijk} \delta_{ijka} \dots \dots \dots (3)$$

となる。ここに、

$$\sum_{j \in J} p_{ij} = 1, \quad \sum_{k \in K_{ij}} r_{ijk} = 1$$

δ_{ijka} : OD ペア ij 間の経路 k がリンク a を含むとき 1, そうでなければ 0

J : 集中ゾーンの集合

K_{ij} : OD ペア ij 間の経路の集合

である。

発生交通量と影響係数を用いると、リンク交通量 V_a は

$$V_a = \sum_{i \in I} O_i Q_{ai} \dots \dots \dots (4)$$

と表すことができるから、目的関数中の V_a を式 (4) で置き換え、さらにラグランジェの未定乗数法を適用して式 (1)~(2) の最適化問題を解いて整理すると、式 (5) を得る。この式を解いて発生交通量 O_i を求めれば、先決された目的地選択確率 p_{ij} を用いて $T_{ij} = O_i p_{ij}$ より OD 交通量が推計できる。

$$O = 2D^{-1}Q^T V^* \dots \dots \dots (5)$$

ここに、 O , D はそれぞれ以下のベクトルまたは行列であり、 Q は影響係数を要素とする行列、 V^* は観測リンク交通量を要素とするベクトルである。

$$O = (O_1, \dots, O_i, \dots, O_n, T, \nu)^T$$

$$V^* = (V_1^*, \dots, V_a^*, \dots, V_m^*)^T$$

$$D = \begin{bmatrix} 2(1+C_{11}) & 2C_{12} & \dots & 2C_{1n} & -2f_1 & -1 \\ 2C_{21} & 2(1+C_{21}) & \dots & 2C_{2n} & -2f_2 & -1 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 2C_{n1} & 2C_{n2} & \dots & 2(1+C_{nn}) & -2f_n & -1 \\ -2f_1 & -2f_2 & \dots & -2f_n & 2\sum(f_i)^2 & 1 \\ -1 & -1 & \dots & -1 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

$$Q = \begin{bmatrix} Q_{11} & Q_{12} & \dots & Q_{1n} \\ Q_{21} & Q_{22} & \dots & Q_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ Q_{m1} & Q_{m2} & \dots & Q_{mn} \end{bmatrix}$$

なお、 ν はラグランジェ乗数で、 C_{ij} は以下のように表

される。

$$C_{ij} = \sum_{a \in A_i} Q_{ai} Q_{aj}$$

(2) 非観測リンク交通量推定モデル⁸⁾

非観測リンクについても、観測リンクと同様に影響係数を定義することができるから、ネットワークに含まれる任意のリンクの交通量は式(4)で与えることができる。そこで、式(5)により推計された発生交通量と、あらかじめ与えられた影響係数を用いて、ネットワーク上の非観測リンクを含む全てのリンクの交通量を求めることを考える。これは、観測リンク交通量を用いて推計されたOD交通量をネットワークに配分してリンク交通量を求めるというプロセスを経るのではなく、推計された発生交通量を影響係数によりリンク交通量に変換するものであり、交通量配分計算を必要としないという利点を持つ。

いま、リンク総数を M とし、便宜的に、 $a=1, \dots, m$ を観測リンク、 $(m+1), \dots, M$ を非観測リンクとすれば、リンク交通量は式(6)により推計できる。

$$V_M = Q_M O \dots\dots\dots (6)$$

ここに、

$$V_M = (V_1, \dots, V_m, V_{m+1}, \dots, V_M)^T$$

$$Q_M = \begin{pmatrix} Q_{11} & Q_{12} & \dots & Q_{1n} \\ Q_{21} & Q_{22} & \dots & Q_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ Q_{m1} & Q_{m2} & \dots & Q_{mn} \\ Q_{m+11} & Q_{m+12} & \dots & Q_{m+1n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ Q_{M1} & Q_{M2} & \dots & Q_{Mn} \end{pmatrix}$$

である。式(5)を式(6)に代入すると、

$$V_M = 2Q_M D^{-1} Q^T V^*$$

となる。上式の 部を改めて、行列 A とおくと、

$$V_M = AV^* \dots\dots\dots (7)$$

を得る。

式(7)は、非観測リンクを含むすべてのリンクの交通量が観測リンク交通量の線形写像で表せることを意味する。このモデルを観測リンク交通量の線形変換モデル (Linear Transformation of Observed Static Link Traffic Model, LITMAS) と呼ぶ。

LITMASモデルは、配分計算を必要としないという利点に加えて、OD推計のための結合モデルの利点である構造の簡潔さと、推計結果が観測リンク数に依存しないという意味での解の安定性を有しているが、推計精度を向上させるには外生的に与える影響係数の値を適切に

設定することが重要であると考えられる。

なお、観測誤差の影響を含めた誤差分析の手順を示すことは重要ではあるが、この点について現時点では十分な検討を加えるには至っていない。しかし、モデルの線形性を利用して誤差の伝播の影響などの構造分析が可能であると考えられる。

(3) リンク交通量の日変動推定モデル

a) 日変動の再現⁹⁾

道路網上の特定のリンクで交通量の観測が常時行われており、日々の変動データが蓄積されているとしよう。このデータとLITMASモデルを用いて、ネットワークの全てのリンク交通量を日毎に推定し、過去の日変動を再現することを考える。実際の交通流の変動データは、空間的にも相関を持つ時系列データであるが、これをそのままモデル化することは容易ではない。そこで、日変動の再現において、以下の前提条件を設ける。

- ① 時点(日)はそれぞれ独立であり、第 t 日の交通流が第 $(t+1)$ 日の交通流に影響を及ぼすことはない。
- ② 観測リンク交通量から推計リンク交通量へ変換する際の行列 A を全ての時点において固定する。

仮定②は、影響係数が安定的であると仮定していることになる。式(3)に示すように、影響係数は目的地選択率と経路選択率の積和であるから、影響係数が変化しないということは、目的地選択率と経路選択率が日々変動しないか、変動してもそれが相互に打ち消しあって結果的に影響係数は安定していると考えることに他ならない。

これらの条件を設定すると、LITMASモデルに日々の観測データを順次入力することにより、ネットワークの全てのリンクの交通量の日々の変動を再現することができる。すなわち、第 t 日の観測リンク交通量を $V^{*(t)}$ とすれば、同じ日のリンク交通量は、

$$V_M^{(t)} = AV^{*(t)} \quad \text{for } t=1, \dots, T \dots\dots\dots (8)$$

となる。 T は観測日数である。

この方法は、交通量変動の自己相関や地点間相関を直接モデル化していないという意味で、リンク間の時系列変動の構造を必ずしも明示的にモデル化するには至っていない。しかしながら、LITMASモデルによりリンク間の空間的關係は反映されており、交通量変動のリンク間相関を考慮できないわけではない。また、このモデルは行動モデルに基づいて目的地選択や経路選択の日々の変化を記述したものではないが、蓄積された観測データを利用してネットワーク全体のリンク交通量の日変動を簡単に再現できる点が利点である。

なお、ODパターンが異なる可能性がある場合(たとえば、平日と週末)には、データが入手できる範囲で行列 A を変更し式(8)を適用することもできる。

b) 日変動の予測¹⁰⁾

過去の観測データと LITMAS モデルを用いて、現時点（時点 t とする）以降の交通流の変動をつぎのような段階的予測プロセスにしたがって予測することを考える。第 1 段階では、それぞれの観測リンクごとに、時点 t 以前の観測データから時点 t 以降の交通量を予測する。第 2 段階では、その予測値を観測交通量とみなして、LITMAS モデルに順次入力し、全てのリンクの交通量を予測する。

第 1 段階は個々のリンクごとの時系列予測であり、移動平均法やフーリエ表現による方法を用いることができる。ここでは、最も容易な移動平均法による方法を説明する。

日交通量は一週間や季節を周期とする周期的変動を示すが、実証分析の結果⁴⁾、曜日変動が卓越することがわかっている。そこで、過去 K 週間の同一曜日の観測値を順次平均することにより、将来の交通量を求める。すなわち、

$$V_a^{+(t)} = \sum_{k=1}^K w^k V_a^{*(t-7k)} \dots \dots \dots (9)$$

$V_a^{+(t)}$: 観測リンク a の時点 t における予測交通量

$V_a^{*(t-7k)}$: 観測リンク a の k 週間前の観測交通量

w^k : 平均化するための重みで、 $\sum w^k = 1$

この方法では、時点 t 以降の一週間分の予測値は過去の観測データから直接計算できる。第二週以降は、予測値 $V_a^{+(t)}$ を観測値とみなし、式 (9) の右辺に順次代入することによって予測する。したがって、予測時点が先になればなるほど交通量が平均化され、変動幅が小さくなることになる。なお、フーリエ表現による方法では、変動の過小評価という問題はないが、一週間を周期とする同一の曜日変動が繰り返し出現するという問題がある。変動パターンの抽出に用いる週の数 (K の値) にもよるが、予測期間はおおむね数週間程度までと考えられる。いずれにしても、これらの方法はあまり長期の予測に適しているとはいえない。

第 2 段階は、2. (3) a) で述べた方法と本質的に同じものであるため、説明は省略する。

日変動の将来を予測することは、近い将来に生じるであろうネットワーク全体の交通流変動パターンの把握、問題箇所発見に役立つであろう。短期的な交通対策、たとえば、数カ月程度のイベント期間中に交通量を観測しつつ対策を見直す際などにも利用できるものと考えられる。

3. 道路網の時間信頼性

リンク交通量の日々の変動に着目して道路網の信頼性を評価する試みは、既にいくつかの研究によってなされており^{3), 4), 11)}、日々の変動自体の推定方法と、変動が与

えられたときの信頼性指標値の求め方について研究されてきた。前者に関しては、この論文の冒頭で述べたように、配分シミュレーションによる方法やリンク交通量の変動係数を推定する方法などが提案されている。後者については、OD ペア間の連結性と時間信頼性の二つの指標が示されている。本稿では、2. (3) a) に示した手順により、観測データに基づいて道路網の全てのリンク交通量の日々の変動が推定されているとしたとき、OD ペア間の時間信頼性指標を求める実用的な手順について述べる。

なお、連結性に関しては、従来の研究に見られるようにリンク交通量の日変動を相互に独立であると仮定するならば、2. の結果を用いてリンクの連結確率を求め、適切な方法により OD 間の連結確率を計算できるのとは言うまでもない。

(1) OD 間所要時間の推定

OD ペア間の時間信頼性指標値を求めるには、リンク交通量の変動を OD 間の所要時間の変動へ変換する必要がある。リンク交通量の変動係数を推定する方法では、リンク交通量の確率分布をリンク走行時間の確率分布に変換しなければならないが、交通量と走行時間に線形関係を保たない限りこの変換は複雑である。また、リンク間の変動を独立に扱わない限り OD 間の所要時間の確率分布を求めることは容易ではない。

これに対し、2. で述べた方法により日々の変動が蓄積されておれば、簡便な方法で OD 間の所要時間を求めることができる。これは、リンク交通量を走行時間関数によりリンク走行時間に変換し、別途求めた OD ペア間の経路に沿ってリンクの走行時間を順次加えていくという手順をおのおのの日毎に繰り返すものである。OD 間の経路の特定化にはいくつかの考え方があがるが、本研究では、日々の利用経路を固定的に扱い、リンクの自由走行時間に基づく最短経路を採用するものとした。したがって、特定の経路を毎日走行したとしたときの OD 間走行時間の変動に基づく時間信頼性解析ということになる。経路を固定することは、リンク交通量の推計の際に用いた影響係数を固定していることとも対応している。

このような所要時間の計算法は、OD 間の複数経路を考慮していないという意味で問題も残されているが、リンク走行時間関数がどのような関数であっても対応でき、リンク走行時間の変動を独立に扱う必要もないという利点を持つ。

観測された過去の T 日分について、リンク交通量の変動を再現するとともに、OD 間の所要時間を推定する手順をまとめると以下ようになる。

step.1 リンクの自由走行時間に基づいて、最短経路探索を行い、OD 間の経路を求める。OD ペア ij 間の最

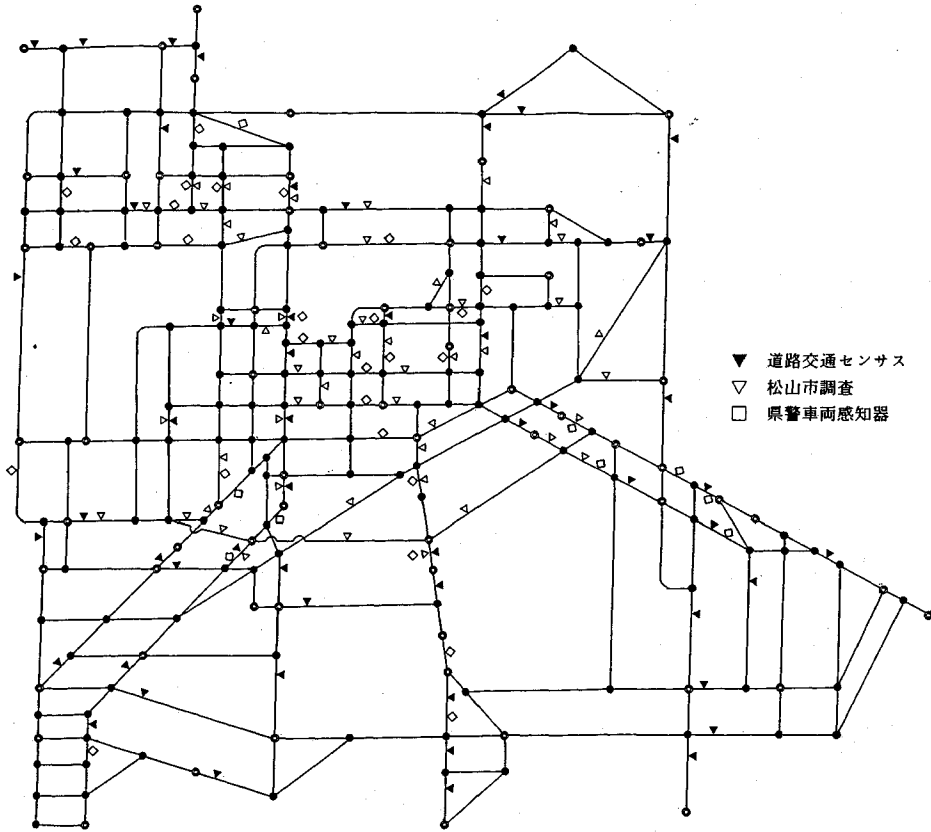


図-1 松山都市圏のネットワークと観測リンク

短経路がリンク a を含むとき $\delta_{ija}=1$, そうでなければ $\delta_{ija}=0$ とする. 観測日 $t=1$ とおく.

step.2 第 t 日の観測リンク交通量 $V^{*(t)}$ を式 (8) に代入し, 同じ日のすべてのリンクの交通量 $V_a^{(t)}$ を求める.

step.3 リンク走行時間関数 $s_a(V_a^{(t)})$ により, リンク交通量 $V_a^{(t)}$ を走行時間 $s_a^{(t)}$ に変換する.

step.4 次式により OD 間の所要時間を求める.

$$u_{ij}^{(t)} = \sum_a \delta_{ija} s_a^{(t)}$$

step.5 $t=T$ なら終了, そうでなければ $t=t+1$ として step.2 へ.

(2) OD 間の時間信頼性指標

すべての観測日 ($t=1, \dots, T$) について OD 間の所要時間が推計されれば, OD ペアごとに以下の時間信頼性指標値を求めることができる.

$P_{ij}(\tau)$: OD ペア ij 間を設定した所要時間 τ (目標時間) 以内でトリップできる確率

$U_{ij}(p)$: OD ペア ij 間を設定した確率 p (目標到着確率) でトリップするのに要する最大所要時間

$P_{ij}(\tau)$ の値は, $u_{ij}^{(t)}$ が τ 以下である日数を全観測日数 T で除することにより計算できる. 一方, $k/T \geq p$ なる

最小の整数 k を求めておけば, 小さい方から k 番目の $u_{ij}^{(t)}$ の値が $U_{ij}(p)$ である.

4. 松山都市圏への適用

(1) 用いるデータ

適用対象地域は松山都市圏で, ネットワーク (図-1) は昭和 54 年松山都市圏 PT 調査で用いられたものをもとに平成 2 年度の道路網に整合するよう修正を加えたものである. 方向づけされたリンク数は 641 本, ノード数 200 個 (セントロイド 66 個を含む) である. リンク走行時間関数は, BPR 型の関数

$$s_a(V_a) = s_{a0} \{1 + \alpha (V_a/C_a)^\beta\}$$

s_{a0} : 自由走行時間

C_a : リンク容量

α, β : パラメータ ($\alpha=1, \beta=3$)

である. なお, パラメータ値は走行時間の計算値と実績値が対応するよう修正を加えた値である.

昭和 54 年 PT 調査による OD 表を平成 2 年道路交通センサスデータにより修正した OD 表をネットワークへ配分して発ゾーン別のリンク交通量 V_{ai} を求め, それを発生交通量 O_i で除することによって影響係数を求めた. すなわち,

表一 推計結果の比較

		松山調査	
		実測値	推計値
センサス	実測値	0.889 10.3	0.913 39.1
	推計値	0.877 29.6	0.998 8.4

注) 上段は相関係数, 下段は平均誤差率 (%)

$$Q_{ai} = V_{ai} / O_i$$

である。なお、交通量配分の精度をリンク交通量の実績値と計算値の相関係数および平均誤差率でみると、それぞれ0.893, 34.5%であり、おおむね良好な結果であることが確認できた。

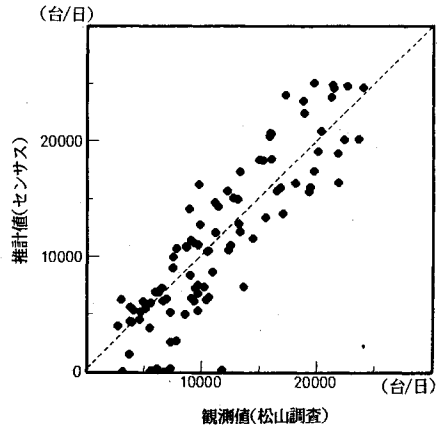
2. (2) で述べた非観測リンク交通量推定モデル (LITMAS) の再現性の検証に用いたリンク交通量の観測データ (平日一日) は、①平成2年9月の建設省道路交通センサスによるもの (センサス) と、②ほぼ同時期に松山市都市計画課によって行われた市街地交通量調査によるもの (松山調査) の二種類である。センサスの観測リンク数は、108本でネットワーク全体に分布している。松山調査の観測リンク数は98本で中心部に多い。両者が重複している22本のリンクについて二つのデータの相関係数と平均誤差率を調べると、それぞれ0.889, 10.3%であった。このズレは観測日が異なることや、同一リンクでも観測地点が全く同じではないことなどによるものと思われる。

2. (3) で述べたリンク交通量の日変動モデルの検証に用いたデータは、愛媛県警交通管制センターの車両感知器により計測されたもので、平成4年4～6月の3カ月分を利用した。94箇所の計測地点のうち、異常値を含むと判断されたものを除く63リンクを観測リンクとした。

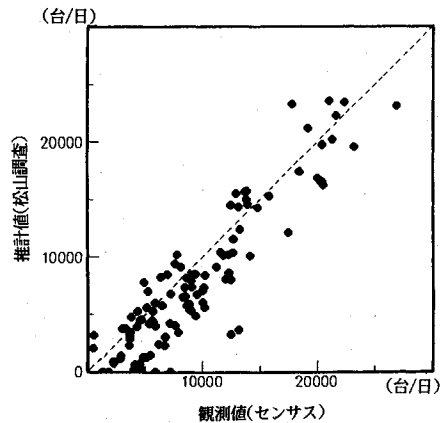
(2) LITMASの再現性

異なった二種類の観測データをそれぞれ式(7)に代入し非観測リンクの交通量を推計する。そして、センサスに基づくリンク交通量の推計値と、それに対応する松山調査の実測値を比較する。逆に、松山調査に基づく推計リンク交通量と、センサスとの比較を行う。このような比較は、非観測区間に対する再現性を調べるためであり、二組の異なったデータを用いる意味もそこにある。再現性の評価には、相関係数と平均誤差率を用いる。推計結果の比較を表一にまとめて示す。

図一2 (a) は、松山調査の実測値のある98本のリンクについて、センサスによる推計値を松山調査の実測値と比較した図である。相関係数は0.877で良好であるが、実測値が10,000 (veh./day) 以下のリンクで過小推計の傾向が見られるために誤差率は小さくない。実績値間の誤差率を考慮しても、20%程度の誤差が発生してい



図一2 (a) 松山調査の観測値とセンサスの推計値の比較



図一2 (b) センサスの観測値と松山調査の推計値の比較

ることになる。

図一2 (b) は、逆にセンサスの対象である108本のリンクについて、松山調査による推計値をセンサスの実測値と比較した図である。相関係数は0.913とかなり高いが松山調査による推計値が全体にやや小さいこともあって誤差率は40%弱であった。

いずれの場合も大きな誤差が発生しているのは、代替経路の多い市街地中心部のリンクであり、これらのリンクに関する影響係数の設定には検討の余地があるものと思われる。

なお、表一の推計値どうしの比較に示すように、いずれの調査でも観測対象とならなかった457本のリンクについてそれぞれのデータに基づく推計交通量を比較したところ、相関係数、誤差率とも良好な値であった。これは、入力データの組み合わせが多少異なっている、モデル推計値が大きく異なることを意味している。

以上まとめると、2組の異なったデータによる推計結果は、おおむね良く整合しており、モデルの再現性は悪くないといえる。しかし、影響係数がかなり支配的であることをうかがわせる結果であるため、さらに推計精度

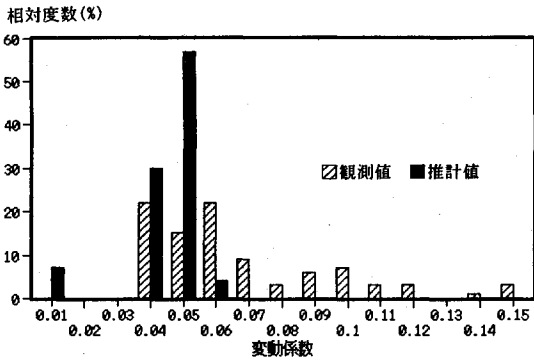


図-3 リンク交通量の変動係数の観測値と推計値の分布

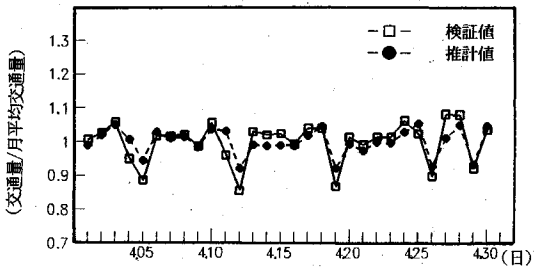


図-4 交通量変動の再現性 (主要幹線の一例)

を向上させるためには、影響係数の設定方法の検討が必要であろう。

(3) 日変動の再現性と予測性

まず、4月の30日間を対象に、式(8)により日変動の再現を行った。週末を除いて分析を行うことも考えられるが、行列Aを固定したことによる影響を見るためにすべての曜日を対象に検討を進めた。

全体の傾向を見るために、個々のリンクについて交通量の変動係数(=標準偏差/平均)を求めた。図-3はリンク交通量の観測値と推計値について、変動係数の相対度数をそれぞれ示したものである。観測値の変動係数が0.06程度を中心に0.03~0.20の範囲に幅広く分布しているのに対し、推計値は全般にやや過小評価(変動係数の平均は、0.042)で分布範囲も狭い。これは、影響係数を求めた際の配分交通量に近づく方向に推計値が偏り、変動が平均化される傾向にあるためと考えられる。

このことは特定のリンクについて、変動のプロフィールを調べた結果からも確認できる。図-4に示すような幹線道路や中心部の街路では良好な再現性を示したが、郊外部の地域幹線や観光系のリンクの変動の再現は不十分であった。

以上のことから、観測値の変動が大きい郊外部のリンクの再現性には問題がないわけではないが、平均的な変動傾向はおおむね再現されており、現況再現に基づく信頼性解析(4.(4))を進める上では著しい障害にはならないと考えられる。

表-2 移動平均法による変動の予測精度

指標	5月	6月
平均誤差率(%)	3.27	2.95
相関係数	0.802	0.790

注) 指標値はいずれも観測リンク全体の平均

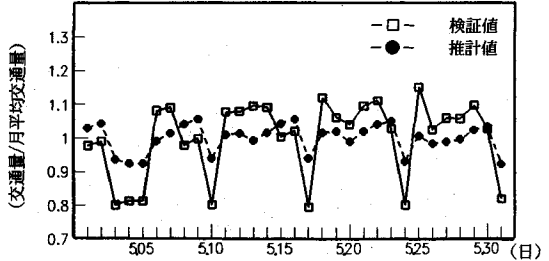


図-5 交通量変動の予測性 (都市内街路の一例)

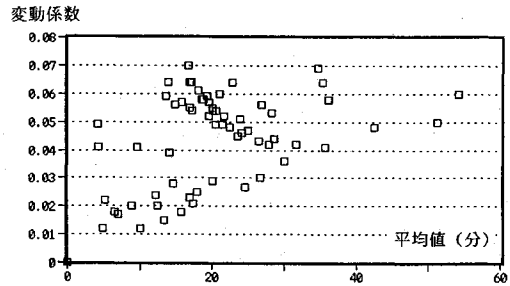


図-6 OD間所要時間の平均値と変動係数(松山空港起点)

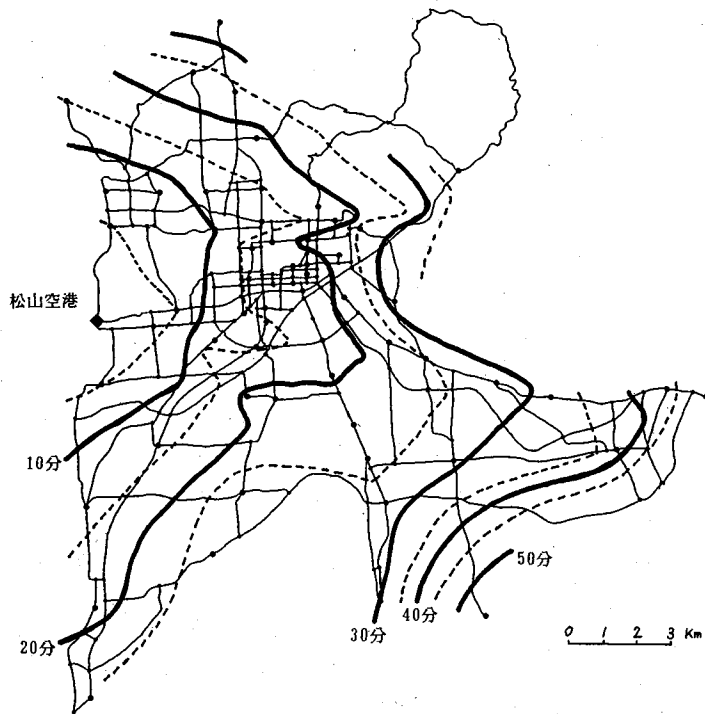
つぎに、日変動の予測結果について述べる。式(9)を用いて移動平均により観測リンク交通量の予測値を順次計算し、式(8)にその値を代入してすべてのリンク交通量の予測値を求めた。4月の4週間(K=4)のデータを用いて5,6月、の2カ月間を予測した結果、表-2に示すように観測リンクの予測精度は良好であることがわかった。

図-5は特定リンクの変動のプロフィールを示した図である。変動パターンはおおむね予測されているが、必ずしも変動幅に追従できているとはいえない。先に述べたように、本モデルでは平均的な変動傾向は捉えられているが、多様な特性を持つリンクの変動を再現するには改良の余地が残されている。

(4) 道路網の時間信頼性

ネットワークを構成するすべてのリンクの4~6月の3カ月間の交通量変動を再現し、ODペア間の時間信頼性指標値を求めた。以下では特定のセントロイドを起点(あるいは終点)とする場合の時間信頼性の計算結果について述べる。

図-6は松山空港を起点として、他の65個のセントロイドへのOD間所要時間の平均値と変動係数の関係を表したものである。全般にOD間の平均所要時間の



図一七 確率 80% の時間距離圏 (松山空港起点)

値が大きくなるにつれて交通量の変動の大きなリンクが経路に含まれる可能性が高くなるため、変動係数も大きくなる。しかし、必ずしもすべての OD 間にこの傾向が見られるわけではなく、平均値は小さくても変動の大きな (すなわち相対的に信頼性の低い) OD ペアが存在することがわかる。なお、OD 間所要時間の変動係数は、0.04~0.07 であるものが過半数となっており、推計されたリンク交通量の変動係数よりも若干大きな値を示した。これは、用いた走行時間関数である BPR 関数の形状により、交通量の変動がやや増幅される形で走行時間に変換されたことを意味している。

図一七は、松山空港を起点として 80% 以上の確率で到達できる所要時間 $U_{ij}(p=0.8)$ の等高線を 5 分刻みに描いたものである。15 分の等高線が市内中心部へ届いていないのは、市街地の混雑によるものと思われる。また、市内をバイパスする環状線 (南部のみ一部開通) により、20 分、25 分の等高線が南東部へ拡大していることや、道路整備が遅れている市街地東部の信頼性が低いことなどが読み取れる。時間距離圏の分布は、経験的に得られるものとも整合しており、このような等高線図は時間信頼性指標値を視覚的に理解するのに有効であると思われる。

なお、結果の解釈においては、(1) 求めた時間信頼性は日交通量に基づくものであるため、確率的時間圏も一日を通して見たときの平均的な指標値であること、

(2) 郊外部リンクでの交通量変動が過小推計されている可能性があるため、ネットワーク周辺部の信頼性の値はより低いと思われることの二点に注意する必要がある。

5. おわりに

本稿では、道路網上の一部のリンクの観測交通量を用いてネットワーク全体の交通量の日々の変動を推計するモデルを示すとともに、ネットワークの時間信頼性分析への応用について述べてきた。得られた主な成果は、以下のようにまとめることができる。

- ①観測リンク交通量を用いた OD 交通量推計モデルを援用することにより、一部のリンクの観測交通量からネットワークを構成するすべてのリンクの交通量を推計できるモデル (LITMAS) を開発した。このモデルの特徴は、影響係数を与件とし、観測リンク交通量の線形変化により簡便に交通量推計が可能である点にある。
- ②LITMAS モデルを拡張することにより、リンク交通量の日々の変動を推計できるモデルを示した。このモデルでは、観測リンク交通量の時系列予測と、LITMAS による空間的な交通量推計の二段階推計によりすべてのリンクの交通量の日々の変動を推計・予測する構造となっている。
- ③リンク交通量の日変動を推計しつつ OD ペア間の所要時間を推計することにより、道路網の時間信頼性指標

を計算する手順を示した。従来の方法と比較して、この方法は実際の交通量変動に整合したより実用的な方法であると考えられる。

④開発した一連の方法を松山都市圏道路網へ適用し、複数のデータを用いて実証性を調べた結果、リンク交通量の日々の変動の再現精度はおおむね良好であることがわかった。地図上に描いた時間信頼性指標値も経験的な値と整合していることが確認できた。

実際のデータによる数値計算を通してモデルの適用限界も明らかになったが、その理由は主に影響係数の設定に関係があると考えられる。ドライバーの経路選択行動を適切に反映できるような影響係数の設定方法は、今後の課題として残されている。また、日々の変動の推計においては影響係数を固定的に扱っているために、交通流のパターンが大きく異なるような場合には、影響係数を適切に変更することが必要となろう。週末のOD調査の結果などが利用できれば、平日と週末という二つの影響係数を用意すればよい。

他のひとつの課題は、変動の予測方法にある。ここでは観測リンクをそれぞれ個別に扱っており、変動のリンク間相関をモデル化するには至っていない。一日の中での時間的変動の予測へ展開するためにも、この点は今後の重要な課題のひとつであると考えている。信頼性解析を含め、本稿での静的な検討を踏まえて動的な場合への展開を試みたい。

また、本稿では誤差の発生メカニズムやその帰属判定などの検討も行うことができなかったが、観測交通量に基づく交通量の推計・予測には誤差構造の把握が重要な課題の一つとなろう。

今後、道路網交通流の観測データの質と量はさらに充実していくであろうから、観測データの有効利用による交通状態の分析・推計手法の重要性はますます高まるであろう。予測モデルとしては、ドライバーの行動を記述できる行動モデルとしての裏づけを明確に持ち、かつ観

測データを有効に利用したモデルが望ましい。

最後に、本研究で用いた多くのデータを提供いただいた関係各位と、数値計算に協力いただいた愛媛大学学生白川英志氏（現在、前田建設）に感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) 佐佐木綱（監）・飯田恭敬（編著）：交通工学，国民科学社，pp.98～99，1992。
- 2) Cascetta, E. : A Stochastic Process Approach to the Analysis of Temporal Dynamics in Transportation Networks, *Transpn. Res.*, Vol.23 B, No.1, pp.1～17, 1989.
- 3) 朝倉康夫・柏谷増男・熊本仲夫：交通量変動に起因する広域道路網の信頼性評価，*土木計画学研究・論文集*，No.7, pp.235～242, 1989.
- 4) 朝倉康夫・柏谷増男・熊本仲夫：日リンク交通量変動の推定にもとづく道路網信頼性評価，*土木計画学研究講演集*，No.13, pp.591～598, 1990.
- 5) 若林拓史・飯田恭敬・井上陽一：シミュレーションによる道路網の交通量変動分析とリンク信頼度推定法，*土木学会論文集*，No.458/IV-18, pp.35～44, 1993.
- 6) 外井哲志・天本徳浩：非観測道路区間交通量推定のための交通量観測点の最適配置計画に関する研究，*土木計画学研究・論文集*，No.7, pp.251～258, 1989.
- 7) 飯田恭敬・高山純一：リンクフローによるOD交通量推計モデル，*土木計画学講習会テキスト*，交通ネットワークの分析と計画，pp.97～118, 1987.
- 8) 西山晶造・朝倉康夫・柏谷増男：観測交通量を用いた非観測区間の交通量推計に関する実証的研究，*JSCE第46回年次学術講演会概要（IV）*，pp.380～381, 1991.
- 9) 西山晶造・朝倉康夫・柏谷増男：観測交通量を用いた道路網交通流の日変動の推定，*土木計画学研究・講演集*，No.15（1），pp.17～24, 1992.
- 10) 西山晶造：観測リンク交通量を用いた道路網交通流の動的推計，*愛媛大学修士論文*，1993.
- 11) 飯田恭敬・若林拓史：プール代数を用いた道路網ノード間信頼度の上・下限値の効率的算出法，*土木学会論文集*，No.395/IV-9, pp.75～84, 1988.

（1993.3.26 受付）

ESTIMATION OF DAY-TO-DAY DYNAMICS OF ROAD NETWORK FLOW USING OBSERVED LINK TRAFFIC AND ITS APPLICATION TO NETWORK RELIABILITY ANALYSIS

Yasuo ASAKURA, Masuo KASHIWADANI and Shozo NISHIYAMA

This paper shows an estimation model for day-to-day dynamics of road network flows using partly observed link traffic counts. A least square type model for OD estimation is extended and daily traffic volumes on unobserved links in a network are estimated through a linear mapping of observed link traffic volumes. When some of the links on a network are ceaselessly observed, those data are used for estimating and predicting day-to-day fluctuation of link traffic volumes over the network. The time reliability indexes of the network are formulated using the provided day-to-day fluctuations of link traffic. These models are calculated for observed day-to-day link traffic data in Matsuyama city. The model is available for describing traffic volume on unobserved links and day-to-day fluctuations of link traffic flow over the network.