

発生交通量の時間分布量推計に関する研究

Modelling of Time-of-Day Trip Generation Curve

高山 純一^{*} 吉田 均^{**}

By Jun-ichi TAKAYAMA and Hitoshi YOSHIDA

Traffic demand estimation has been done by a concept of an entire day until now. Hereafter, however, time-of-day traffic demand must be grasped and estimated. There are two approaches which estimate a traffic demand per unit time in a conventional research. The first is a method to construct a model at the time-of-day, the second is a method to divide an amount of traffic demand of an entire day with a time ratio pattern.

In this paper we clarify the concept of the time-of-day traffic demand distribution curve and propose a new model to estimate the time-of-day trip generation curve. The new model is applied to Kanazawa urban area as a case study in order to the properties of the model for practical use.

1. はじめに

一般に、都市における交通渋滞の解消、あるいはその緩和を目的とした各種交通運用計画の立案およびその評価を行うためには、対象地域の交通流動をできるだけ詳細に、しかも時間単位に把握することが望まれる。特に、最近の都心部においては大規模な都市再開発が進行し、そこからの発生交通量あるいは集中交通量が周辺部の道路混雑（交通渋滞）を招く結果となり、都市再開発の急激な進行と周辺道路網整備の立ち遅れの問題（両者のアンバランス）が指摘されている。このような問題に対処するためには、まず（1）対象地域の時間帯別の交通需要量

キーワード：時間分布量推計，発生原単位曲線

* 正会員 工博 金沢大学助教授 工学部土木建設工学科（〒920 金沢市小立野2-40-20）

** 正会員 工修 首都高速道路公団

（〒100 東京都千代田区霞ヶ関1-4-1）

（発生・集中交通量およびOD交通量）を推定し、

（2）その交通需要量をもとに周辺部道路の改良計画の立案・評価を行うことが必要となる。

しかし、従来より主に用いられるパーソントリップ調査による方法は、通常一日単位の交通量を対象としているため、そのままでは利用が困難である。したがって、何らかの方法により時間帯別の交通需要量を推計する必要があるといえる。

対象地域の時間帯別の交通需要量（発生・集中交通量，OD交通量）を推定する方法としては、大きく2つの方法が提案されており、その1つは時間帯別の交通需要量（発生・集中交通量，OD交通量）を既存統計資料（人口関連資料など）を基にした重回帰モデルにより推計する方法^{1)~2)}であり、もう1つは1日の交通需要量の時間変動パターン（時間比率パターン＝時間係数）をトリップ目的別に計算し、それを目的別生成交通量に掛け合わせることに

より推計する方法^{3)~4)}である。前者の方法では、

本研究で提案する時間分布量推計モデルの概念を示すと、図－2のようになる。

従来、発生交通量（集中交通量）の予測には、関数モデル法、成長率モデル法、あるいは原単位法などの方法が用いられて来たが、いずれの方法も一長一短がある。

本研究で新しく提案する方法は、既存の手法と比較すると、原単位曲線モデル（原単位法と関数モデル法を合成したようなモデル）と考えることができる。つまり、基準となる原単位曲線（第1原型曲線＝基準分布曲線）と土地利用特性の違いを補正するための複数の原型曲線の重回帰モデルとして表現されるからである。

ここで、第1原型曲線（基準分布曲線）は、従来の原単位と類似しており、時間分布量曲線群の平均的な変動パターンを表わすものとみなすことができる。そして、第2原型曲線以降の曲線は、土地利用特性の差異による時間分布量曲線の形状的な違いを補正する補正曲線と考えられる。

4. 金沢都市圏を対象としたケーススタディ

(1) 対象地域と分析に用いたデータの概要

対象地域としては、金沢都市圏パーソントリップ調査における調査区域（金沢市・松任市・野々市町・津幡町・内灘町・鶴来町の2市4町）を取り上げこれを126ゾーンに区分したCゾーンを推計対象ゾーンとする。

また、分析に利用する時間帯別の発生交通量は昭和59年度パーソントリップ調査で作成された「家庭訪問調査マスターテープ」から、自動車交通手段に限って集計したものを用いる。時間帯の区分としては1時間を単位とし、扱うトリップは、全目的のDで集計したものである。

土地利用特性を示す指標としては、計画的見地から、人口特性、商業特性、工業特性、農業特性の各特性を示す代表的な15個の変数（表－1）を選択した。農業特性（耕地面積）以外は、主に人口や従業者数など人口関連指標を用いた。なお、これらのデータは、昭和50年度、昭和55年度、昭和60年度の各国勢調査報告、事業所統計、工業統計、農業センサスから収集し、外挿または内挿によって、昭和59年度のデータに補正した。

表－1 土地利用特性を示す指標（説明変数）

	説明変数名	分類	出典名
①	夜間人口	人口特性	国勢調査
②	就業者人口		
③	卸売業従業者数	商業特性	事業所統計
④	小売業従業者数		
⑤	飲食店従業者数		
⑥	金融保険業従業者数		
⑦	運輸通信業従業者数		
⑧	サービス業従業者数		
⑨	公務従業者数		
⑩	建設業従業者数	工業特性	工業統計
⑪	食料品工業従業者数		
⑫	繊維工業従業者数		
⑬	金属製品工業従業者数		
⑭	一般機械工業従業者数		
⑮	耕地面積	農業特性	農業センサス

(2) 時間分布量の原型曲線の抽出方法

ここでは、発生交通量の時間分布曲線群から原型曲線を抽出し、その形状的な解釈を行う。

まず、原型曲線の導出方法について説明する。

時間分布量曲線を、 $\{y_{si}\}$ ($s=1, 2, \dots, 126; i=1, 2, \dots, 24$)で表わす。ここで、 s はサンプル（ゾーンの番号）を表わし、 i は時間帯の番号（1～24時間帯）を示す。また、原型曲線を、 $\{l_{ki}\}$ ($k=1, 2, \dots, m < 24; i=1, 2, \dots, 24$)で表現する。さらに、それを結合するための「重み」を $\{z_{sk}\}$ で表わす。

以上より時間分布量曲線は次の式で表わされる。

$$y_{si} = z_{s1}l_{1i} + z_{s2}l_{2i} + \dots + z_{sm}l_{mi}$$
$$\{z_{sk}\} \quad (s=1, 2, \dots, 126; k=1, 2, \dots, m < 24)$$
$$\{l_{ki}\} \quad (k=1, 2, \dots, m < 24; i=1, 2, \dots, 24)$$

したがって、次式が最小となるように、

$$\sum_{s=1}^{126} \sum_{i=1}^{24} (Y_{si} - y_{si})^2 \rightarrow \text{Min}$$

$\{z_{sk}\}$ を求めればよい。すなわち、サンプル値を $\{Y_{si}\}$ 、推定値を $\{y_{si}\}$ とすると、 y_{si} と Y_{si} の差の2乗和を最小にすればよい。そのためには、交通量データの平方和・積和を要素とする固有値問題を解けばよい。このときの解、すなわち原型曲線 $\{l_{ki}\}$ は、交通量データの平方和・積和を要素とする行列の固有ベクトルに対応し、またそのときの重み $\{z_{sk}\}$ は、その主成分スコアに対応する。

時間帯別に重回帰モデルを作成する必要がある、ある特定の時間帯を対象とした推計には有効であるが複数の時間帯を同時に推計するためには、その都度モデルを構築する必要がある、煩雑となる。一方、後者の方法では日交通需要量（目的別生成交通量）が既知であり、また日交通需要量を分割するための時間係数もパーソントリップ調査データから先決されるものと仮定している。しかし、実際には先決値とした時間係数の推定方法が課題として残される。

また一方著者の一人は、リンク上で観測される交通量から対象地域のOD交通量を推計するモデル⁵⁾を提案しているが、時間帯別の観測交通量データを用いれば、時間OD交通量を推計することも可能である。ただし、そのためには時間単位に変化する交通発生ならびにOD分布の交通量パターンを何らかの方法で推計することが必要となる。

以上のようなことより、本研究では、時間帯別に変動する交通需要量を土地利用特性との関連から推計する新しい推計モデルを提案し、その適用性を検討する。今回は、金沢都市圏における発生交通量の時間帯別推計をケーススタディとして、その有効性を実証する。

2. 本研究の概要

まず、第2章で本研究の概要と本研究の特徴をまとめる。

第3章では、本研究で新しく定義する「時間分布量」の概念を示すとともに、時間分布量の推計モデル構築の基本的な考え方を示す。

第4章では、ケーススタディとして、金沢都市圏を対象に、まず交通発生の時間分布量と土地利用特性との関連性を分析し、時間分布量推計モデルの構築の可能性を検討する。具体的には、発生交通量の時間分布を示す曲線群から原型曲線（その地域における発生交通量の時間分布曲線の典型的な特徴を示す曲線）を抽出し、土地利用特性との関連性を把握する。分析には、回帰主成分分析を利用し、説明変数群を要約することにより行う。次に、実際に発生交通量に関する時間分布量の推計モデルを構築し、時間分布量の推計を試みる。そして、他の既存推計手法との推計精度を比較することにより、本推計モデルの適用可能性を検討する。

最後に、本研究の成果と今後の課題を第5章でまとめる。

3. 推計モデル構築の基本的な考え方

(1) 時間分布量の定義

本研究で用いる発生交通量の「時間分布量」とはあるゾーンからの発生交通量を時間帯（単位時間）ごとに集計し、時間軸上に表示したものであり、交通需要の時間変動を表わした分布曲線（図-1）を意味する。

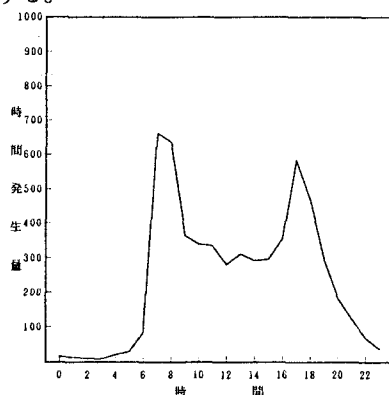


図-1 発生交通量の時間分布曲線

本研究では、交通需要（発生交通量）の時間帯別の推計方法を次の3つのアプローチに大別し、それぞれの方法についてその特徴をまとめる。

1つ目の方法は、①交通需要量を時間帯ごとに区分し、個別に推計する方法である。この方法では、時間帯ごとにモデルを構築する必要がある、複数時間帯を対象に推計する場合には多少煩雑となる。

2つ目の方法は、②日交通需要量が既知であると仮定して、それを時間帯ごとに分割するための時間係数（時間比率パターン）を計算し、その時間係数を日交通需要量に掛け合わせることで推計する方法である。この方法では時間比率パターンをどのようにして推計するかが課題となる。

3つ目の方法は、本研究で提案する方法であり、③時間によって変化する交通需要量を時間分布曲線（時間分布量）として直接推計する方法である。

以上3つの方法の違いを、数式（集合式）で表現すると、次のように表現できる。

$$\textcircled{1} Y_i = \{y_{si} \mid s \in N\}$$

$$\textcircled{3} Y = \{y_s = \{y_{si} \mid i \in I\} \mid s \in N\}$$

② $P = \{p_s = \{p_{si} \mid i \in I\} \mid s \in N\}$
 ここに、

Y_i : ある時間帯 i の時間帯別発生交通量の集合

Y : 発生交通量の時間分布量の集合

P : 発生交通量の時間係数 (時間比率パターン) の集合

N : 何からのカテゴリーで類型化したトリップ群の集合

I : 1 日を単位時間で分割した時間帯の集合

y_{si} : あるサンプル (ゾーン) s におけるある時間帯 i の発生交通量

y_s : あるサンプル s の発生交通量の時間分布量

p_{si} : あるサンプル s のある時間帯 i の時間係数 (発生比率)

p_s : あるサンプル s の時間発生比率のパターン

本研究で提案する時間分布量の推計方法 (③の方法) と従来の方法 (①および②の方法) との違いは次の 2 点である。第 1 点は、各時間帯の発生交通量を個別に推計するか、あるいは一組の曲線として推計するか、すなわち各時間帯相互の交通量の相関を考慮するかしないかという点である。また、第 2 点は発生交通量の時間変動を時間比率 (確率分布) パターンとして推計するかあるいは度数分布曲線として推計するかの違いである。

(2) 推計モデルの基本的な考え方

発生交通量の時間変動の特徴は、その地域 (ゾーン) の土地利用特性と密接な関連性を持っており、同様な土地利用特性を持つ地域同士の交通量の時間変動は一般に類似していると考えられる。

そこで、本研究では地域ごとに異なる交通量時間分布曲線の特徴に着目し、全地域に共通な特徴と地域ごとに異なる個別的な特徴に分けて、典型的な時間分布曲線を複数抽出し、それを重ね合わせることで、その地域の時間分布量を推計する方法を提案する。すなわち、各ゾーンごとに求まる発生交通量の時間分布量の曲線群には、複数の共通する曲線 (典型的な時間分布曲線) が含まれており、それらの組み合わせにより各ゾーンの時間分布量が構成されていると考えるものである。

そこで本研究では、先ず主成分分析を用いることにより、発生交通量の時間分布曲線の情報を要約し典型的な時間分布曲線の特徴を示すいくつかの原型曲線を抽出する。ここでいう「原型曲線」とは、元の曲線群の形状的な特徴を明確に示す曲線であり、時間分布量曲線群の平均的なパターンを示すところの第 1 原型曲線 (基準分布曲線と呼ぶ) とそれ以外の土地利用特性の違いによる変動を説明する第 2 原型曲線以降 (補正曲線と呼ぶ) の曲線とがある。

ここでは、各ゾーンの発生交通量の時間分布量曲線は、原型曲線 (基準分布曲線および複数の補正曲線) の重みつき結合で表現できると考え、土地利用特性によって異なる原型曲線の「重み」を重回帰モデルによって推計することにより、時間分布量曲線の推計を行う。すなわち、時間分布量推計モデルの構築は、①原型曲線の設定と②原型曲線の重みの推計という 2 段階のステップにより行われる。

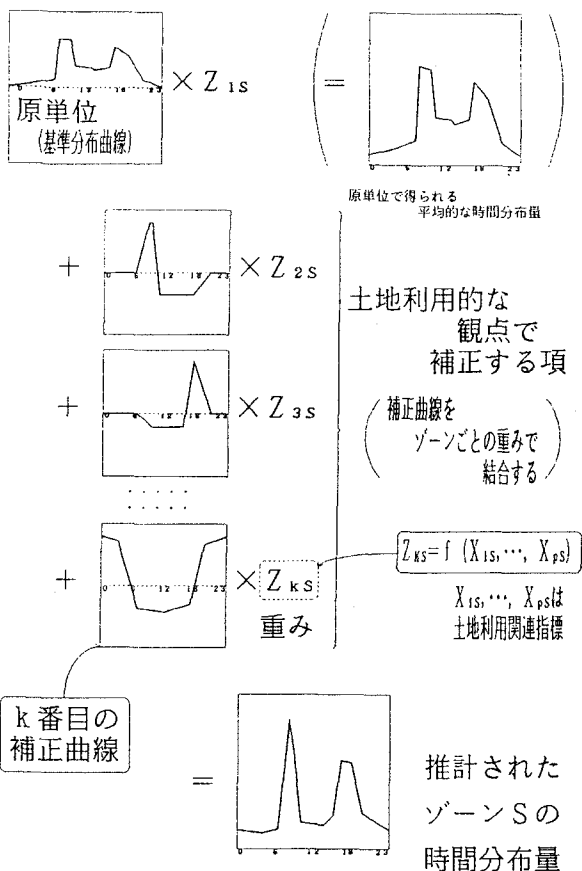


図-2 時間分布量推計モデルの概念図

(3) 原型曲線と土地利用特性との関連分析

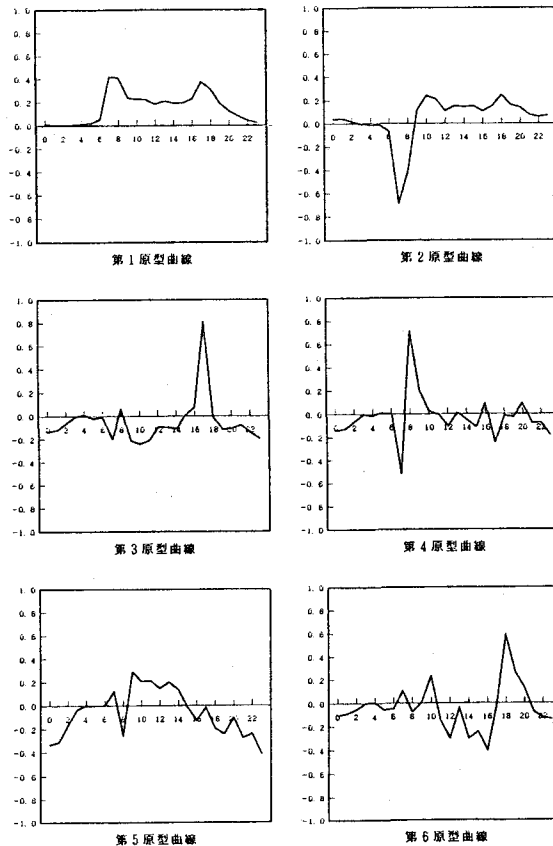
抽出された原型曲線と土地利用特性との関連性を分析し、形状的な特徴を把握する。すなわち、各々の原型曲線が、時間分布量曲線群のどのような特徴を表現しているかを明らかにする。ここでは、回帰主成分分析法を用いて分析する。具体的には、原型曲線群と関連のある土地利用特性のパターン（土地利用のパターン＝対比される土地利用特性を因子負荷量で判断する）を明らかにする。目的変数群としては、原型曲線の抽出時に得られた「重み」（主成分スコア）を用いる。

(4) 金沢都市圏への適用

金沢都市圏における発生交通量の時間分布量曲線群から、主成分分析を用いて原型曲線を抽出したところ、6個の特徴的な原型曲線が抽出され。

原型曲線の特徴を解釈すると以下ようになる。

①第1原型曲線は、基準分布曲線であり、時間分布



図一 3 発生交通量についての時間分布量の原型曲線（固有ベクトル）

量曲線の平均的なパターンを示す。

②第2原型曲線は、朝7、8時台の発生交通量を補正する特徴を持つと解釈できる。つまり、この原型曲線は朝7、8時台の発生量のピークと対応している。午前9時～午後8時台に比べて、朝7、8時台の発生量を増加させる効果を持つ。

③第3原型曲線は、夕方5時台の発生交通量を補正する特徴を持つと解釈できる。つまり、夕方5時台の発生量を増加させる効果を持つ。

④第4原型曲線は、朝7、8時台の発生交通量を補正する特徴を持つと解釈できる。ただし、第2原型曲線との違いは、一方が増加の傾向ならば、もう一方は減少傾向となり、朝7、8時台の発生交通量の違いを互いに補正する。

⑤第5原型曲線は、夜6時～深夜2時台の発生量を補正する特徴を持つと解釈できる。すなわち、日中（午前9時～午後2時台）に比べて、夜6時～深夜2時台の発生量を増加させる効果を持つ。

⑥なお、第6原型曲線は、第3原型曲線と特性が類似している。

そこで、第1～第6原型曲線を対象に、各原型曲線が特定の土地利用特性と関連性を持つかどうかを回帰主成分分析を用いて分析した。

結果を図一4に示す。元の15個の人口、従業者数などの説明変数から、6つの回帰主成分に要約することができた。しかも、第5原型曲線までは特定の回帰主成分が大きく寄与していることがわかる。第6原型曲線については、寄与率の大きさ・構成が第3原型曲線のものに類似しているといえる。

ここで、各原型曲線に関する因子負荷量（原型曲線の重みと各説明変数との相関係数）から、各回帰主成分の具体的な解釈を行うと次のようになる。

第1回帰主成分は、人口・商業（卸売、小売）特性との関連性の強さを示している。第2回帰主成分は、対比する2つの特性（農業・人口特性と商業特性）と強い関連性を示している。第3回帰主成分もまた対比する2つの特性（小売、金融保険、飲食、サービスなどの商業特性と一般機械、繊維、金属製品などの工業特性）と強い関連性を示している。第4回帰主成分は、農業・商業（サ

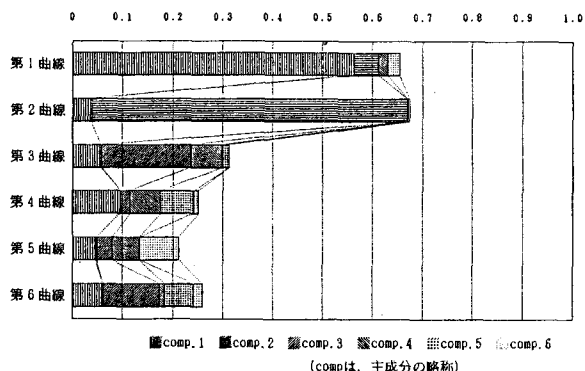


図-4 原型曲線に対する回帰主成分の寄与度

ービス、小売)特性との関連性の強さを示している。そして、第5回帰主成分は、工業特性の中の各産業パターン(金属製品、食料品、繊維と一般機械)の特性の違いと強い関連性を示している。第6回帰主成分は、商業(飲食、小売、サービス)特性との関連性の強さを示している。

(5) 時間分布量推計モデルの定式化

本研究で提案した時間分布量推計モデルは、基準分布量曲線および土地利用特性に着目した複数の補正曲線を、ゾーンごとの「重み」によって推計する手法である。したがって、適用にあたっては、原型曲線の重み $\{z_{sk}\}$ を推計する必要がある。

説明変数(土地利用関連指標)を x_p で表現すると、次のようになる。

$$z_{sk} = \sum_{p=1}^p \beta_{kp} x_{skp}$$

すなわち、あるゾーン s に関する発生交通量の時間分布量 y_s は、次式で表現できる。

$$y_s = \{y_{si} \mid y_{si} = \sum_{k=1}^M l_{ki} z_{sk}\}$$

$$= \{y_{si} \mid y_{si} = \sum_{k=1}^M l_{ki} \sum_{p=1}^p \beta_{kp} x_{skp}\}$$

なお、原型曲線の重み $\{z_{sk}\}$ を推計するモデルの構築にあたっては、最大 R^2 改良法を用いて重回帰モデルを構築した。説明変数の増加(ステップの更新)による決定係数の変化特性から、本研究では、第1～第3原型曲線を時間分布量推計モデルの構築

に利用する。なお、推計された重みモデルは次のようになる。

①第1原型曲線の重み推計モデル

(重相関係数:0.794)

$$z_1 = 459.3172 + 0.1764x_1 + 0.4796x_2 - 0.3926x_3 + 1.5426x_4 + 0.4987x_5$$

x_1 : 夜間人口, x_2 : 卸売業従業者数, x_3 : サービス業従業者数, x_4 : 建設業従業者数, x_5 : 耕地面積

②第2原型曲線の重み推計モデル

(重相関係数:0.790)

$$z_2 = 62.9023 - 0.1781x_1 + 0.3346x_2 + 0.7888x_3 + 0.6699x_4 - 0.6032x_5$$

x_1 : 就業人口, x_2 : 卸売業従業者数, x_3 : 小売業従業者数, x_4 : 機械工業従業者数, x_5 : 耕地面積

③第3原型曲線の重み推計モデル

(重相関係数:0.544)

$$z_3 = 55.0213 - 0.0367x_1 - 0.1043x_2 - 0.4836x_3 + 0.1900x_4 + 0.3920x_5 + 0.4929x_6 + 0.7257x_7 + 0.2994x_8$$

x_1 : 夜間人口, x_2 : 飲食店従業者数, x_3 : 金融保険業従業者数, x_4 : サービス業従業者数, x_5 : 公務従業者数, x_6 : 繊維工業従業者数, x_7 : 金属工業従業者数, x_8 : 耕地面積

そこで、本研究では、第1、第2原型曲線を用いた推計モデル(第1モデル)と第1～第3原型曲線を用いた推計モデル(第2モデル)の2通りのモデルを構築し、発生交通に関する時間分布量の推計を行う。

2つの時間分布量推計モデルによる現況再現性を比較すると以下ようになる。

図-5は全体の推計精度を相関係数で示したものである。また、図-6および図-7は推計結果の一例として、ゾーン30およびゾーン35の発生交通量に関する時間分布量の推計結果を示したものである。

図-5より、全体の推計精度は時間帯によってかなりバラツキがみられ、交通量の多い時間帯(7時～20時)では、ほぼ相関係数で0.7～0.8のまずまずの推計精度であるが、それ以外の時間帯では相関係数も低く、かなり誤差も大きい。今回採用した2つの推計モデルを比較すると、どちらもそれ

ほど推計精度に違いは見られず、第3原型曲線まで取り入れた第2モデルの方が若干推計精度が良い傾向にある。

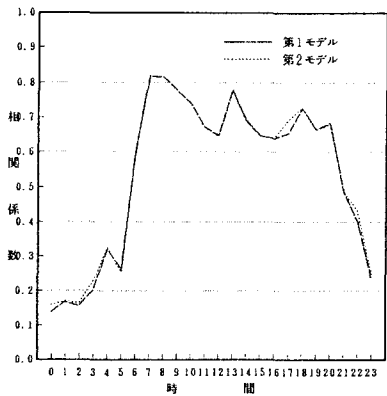


図-5 相関係数による推計精度の比較

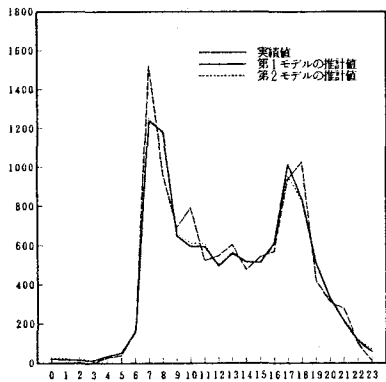


図-6 ゾーン30における現況再現性の比較

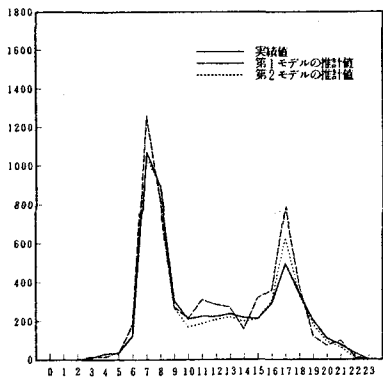


図-7 ゾーン35における現況再現性の比較

また、図-6および図-7は重み推計モデルの各重みの推計誤差が比較的小さい場合について、発生交通量の時間分布量を推計した結果を示したものである。ゾーン30においても、またゾーン35においても、ほぼ良好な現況再現性を示しているといえる。

(6) 既存推計モデルとの比較

ここでは従来より開発されてきた既存推計モデル(重回帰モデル)と本推計モデルの推計精度を比較することにより、本推計モデルの適用性を具体的に検討する。同一条件による比較を行うために、用いたデータ(説明変数)、ゾーン区分、時間帯区分などは、まったく同一とした。なお、既存推計モデルとしては個々の時間帯(単位時間=1時間)ごとに推計モデルを構築し、発生交通量を推計する重回帰モデルを用いた。

推計結果を図-8に示す。この図は、本推計モデルと既存推計モデルの推計精度を時間帯ごとに相関係数を用いて表わしたものであり、図中、破線は、本推計モデル(基準分布曲線と2つの補正曲線の一次結合による時間分布量推計モデル)による推計結果を示したものであり、点線は、従来の時間帯別推計モデルによる推計結果を示したものである。

全体として本推計モデルと既存推計モデルの推計精度には、大きな相違はみられず、特に7時~20時の交通量の多い時間帯では、両モデルの現況再現性はほぼ等しいといえる。しかし、発生交通量の少ない20時以降から朝の6時台までの時間帯では本推計モデルの方が推計精度が悪い傾向にある。これ

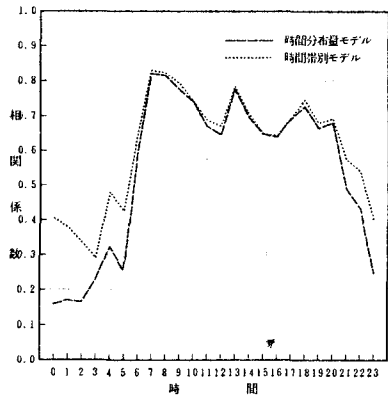


図-8 既存推計モデルとの推計精度の比較

は、モデル構築において、本推計モデルの場合、深夜の時間帯に関連する補正曲線を結合していないことが原因と考える。

5. まとめと今後の課題

本研究では、時間帯別に変動する交通需要量（発生交通量）を土地利用特性との関連から推計する新しい推計モデルを提案し、その適用性を金沢都市圏におけるケーススタディを通して検討した。ケーススタディにおける推計結果をまとめると次のようになる。

（1）発生交通量の時間分布量を推計するために、主成分分析を用いて時間分布量曲線の形状的な特徴を示す6つの原型曲線を抽出し、土地利用特性との関連性を分析した。最終的には、第1～第5原型曲線が、特定の土地利用特性と関連を持つことが明らかとなった。

（2）発生交通量の時間分布量は各原型曲線とゾーンごとの重みの1次結合により推計されるので、各原型曲線の重みを推計するために、土地利用関連指標を用いた重回帰モデルを構築した。具体的には、第1～第3原型曲線までの重み推計モデルを作成し第1原型曲線と第2原型曲線の2つの曲線により推計する第1モデルと第1～第3原型曲線までの3つの曲線を用いて推計する第2モデルの2通りの推計モデルを提案した。金沢都市圏における現況再現性を比較したところ、全体的にはどちらの推計モデルも交通量の多い時間帯では相関係数が0.7～0.8の範囲にあり、まずまずの推計精度であった。

（3）既存推計モデルとしての重回帰モデルと本推計モデルの推計精度を比較したところ、両者の推計精度には、大きな相違はみられず、特に7時～20時の交通量の多い時間帯では、両モデルの現況再現性はほぼ等しい結果であった。したがって、このことより従来法では時間帯ごとにモデルを構築する必要があったが、本推計モデルでは1つのモデルで全時間帯の推計が可能となり、煩雑な推計作業が解消できたといえる。

ただし、推計精度的には従来法よりも多少精度が悪い時間帯が存在するので、今後は以下のような課題の検討が必要である。

（4）今回は、全目的合計の交通量を対象にモデル

の作成を行ったが、交通目的別に推計を行った方が発生交通量に関する時間分布曲線の特徴が明確になると考えられるので、今後は交通目的別の検討が必要である。

（5）現況再現性のみの検討であるので、今後は予測モデルとしての適用性の検討が必要である。

（6）発生交通量と同様に、集中交通量あるいはOD交通量についてもモデルを作成し適用性を検討する必要がある。

最後に、本研究を進めるにあたり、金沢大学工学部土木建設工学科教授川上光彦先生から貴重なコメントを頂いた。ここに記して、感謝したい。

6. 参考文献

- 1) 高山純一・飯田恭敬・藤本克郎：交通発生・分布の時間変動推計に関する研究，第9回交通工学研究発表会論文集，pp. 85～87, 1988年
- 2) 松井 寛・藤田素弘・神谷英次：時間帯別発生集中交通量の予測に関する研究，土木学会中部支部研究発表会講演概要集，pp. 374～375, 1990年
- 3) 藤田素弘・松井 寛：時間帯別OD交通量予測の経年及び地域移転性分析，土木学会中部支部研究発表会講演概要集，pp. 372～373, 1990年
- 4) 石田剛之・松井 寛・藤田素弘：時間帯別OD交通量の予測手法に関する研究，土木学会第44回年次学術講演会概要集，第4部，pp. 74～75, 1989年
- 5) 高山純一：リンクフロー観測値に基づいた道路網交通需要分析モデルに関する方法論的研究，京都大学学位論文，1988年
- 6) 第2回金沢都市圏パーソントリップ調査報告書 No. 1～No. 5，金沢都市圏総合交通計画調査会，1985年～1987年
- 7) 国土庁計画・調整局総務課国土情報整備局編，商業統計メッシュデータ利用手引書（昭和57年商業統計），pp. 15～17, 1984
- 8) 奥野忠一・他3名：多変量解析法，日科技連出版社，pp. 25, 1971年
- 9) 奥野忠一・他3名：統多変量解析法，日科技連出版社，pp. 147, 1976年
- 10) 星野哲三・鈴木淳志：パーソントリップ調査発生量モデルとその時間安定性，土木学会第37回年次学術講演会概要集，pp. 333～334, 1982年
- 11) 吉田 均・高山純一・川上光彦：土地利用からみた交通発生の時間変動分析に関する研究，土木学会第44回年次学術講演会概要集，第4部，pp. 56～57, 1989年
- 12) 藤田素弘・松井 寛・溝上章志：時間帯別交通量配分モデルの開発と実用化に関する研究，土木学会論文集，第389号，pp. 111～119, 1988年