

**投稿論文(和文)
PAPERS**

断面交通量に基づく休日OD交通量の推定手法に関する研究

松本幸正*・藤田素弘**・松井 寛***

本研究は二種類の方法論による休日OD交通量の推定手法について提案したものであり、ともに休日交通に関する情報として休日におけるスクリーンラインの観測断面交通量のデータを用いている。一つは残差平方和最小化に基づく推定手法であり、一つは同時生起確率最大化に基づく推定手法である。本研究ではこの両手法における推定モデルを実際に京阪神地域において適用計算を行い、本推定手法の有用性を検証した。

Keywords : weekend traffic flow, origin-destination matrix estimation, observed traffic counts on screen lines

1. はじめに

我が国の経済はいまや国民一人当たりのGNPが世界のトップクラスにランクされるほどの成長を遂げ、所得水準・生活水準は向上し、それにともない人々の行動圏はますます拡大してきており、また一世帯に複数台といった自家用車保有率の増大が一段と行動圏の拡大に拍車をかけている。さらに休日制度の変化として週休二日制や長期休暇の浸透とともに、人々の関心は物質的豊かさから精神的豊かさへと移行し、観光・レクリエーションなどの自由目的行動が増加し、国民のライフスタイルにも大きな変化が進行中である。

このような背景のもと休日交通、特に観光・リゾート地域周辺における交通計画の重要性が高まりつつあると言えるが、特に既存の観光・リゾート地域、およびその周辺では、観光・レクリエーション交通などの休日交通の需要を反映した交通基盤計画がなされていないため、休日のピーク時においては道路交通の渋滞が深刻化し、観光・リゾート地域としての魅力も半減し、さらに地元住民にも大きな支障をきたしているという今日的課題も指摘されるようになってきた。また近年そのような背景のもと、観光地において休日における交通需要の特性を考慮した道路網の整備計画を検討した事例¹⁾も幾つかみられるようになってきている。

一般に観光・リゾート地域における交通の特徴として、国民の嗜好の変化、価値観の変化、景気動向の変化をより直接的に受けること、またその発生ピークが平日ではなく土、日、祝日に集中することや、季節的変動が大きいことなどが挙げられる。ところで、従来の交通計

画の対象は、平日の通勤・通学を中心とした日常的な交通が主体であるため、観光・レクリエーションを中心とした非日常的な交通が主体となる休日における交通需要予測の手法については、あまり研究の蓄積も少なく、とりわけ基礎データとなる休日交通関連資料については、いまだ未整備の状態であると言える。行政機関などによる大規模な数少ない休日交通に関する調査としては、昭和45年に実施された京阪神都市圏パーソントリップ調査²⁾、昭和49年に実施された全国道路交通情勢調査³⁾、および平成2年に実施された全国道路交通情勢調査⁴⁾が挙げられるが、休日交通関連資料は依然十分な整備水準に達しているとは言い難い状況である。

そこで本研究では、休日交通需要の変動を反映した交通計画を行う際に必要不可欠である休日OD交通量を、休日に関する最小限の情報をもとに推定するための簡便な方法を提案し、観光・リゾート地域など休日の交通需要が増大するような地域における交通計画の基礎データとして役立てようというものである。

2. 従来の研究と本研究の概要

休日の交通に関する従来からの研究の一つに、都市部およびその周辺において最近重要視されてきている休日の買物交通の分析がある。買い物行動は都市部において休日には平日とは異なった挙動を示す交通行動であり、杉恵・芦沢(1991)⁵⁾は買物・私用交通の曜日変動を1週間の連続した活動日誌調査の結果を用いて定量的に分析を行っている。休日のみの分析例として西井・岩本・立川(1991)⁶⁾はアクティビティ調査により休日のショッピングコンプレックス来訪時刻がどのような規定要因によって説明されるかを分析し、吉田・原田(1990)⁷⁾は買物頻度選択モデルとしてOL(Ordered Logit)モデル、RL(Repeated Logit)モデルをNL(Nested Logit)モデル体系の中で統一的に取り扱う方

* 正会員 工修 名城大学助手 理工学部土木工学科
(〒468 名古屋市天白区塩釜口)

** 正会員 工博 名古屋工業大学助手 社会開発工学科
*** 正会員 工博 名古屋工業大学教授 社会開発工学科

法を提案している。また武政・原田・毛利（1987）⁸⁾は休日の買物行動は自動車交通への依存が高く、特定の地区に集中するということから、アンケート調査の結果を用いて休日の買物行動の分析と駐車場の選択行動をモデル化した。

買物目的行動のみではなく、休日に行う行動全般を分析するということも休日交通の実態を明らかにするという意味において重要であり、原田・太田（1988）⁹⁾はアクティビティダイアリーによる個人の交通行動を金、土、日曜日を対象に分析を行い、小島・兵藤・中嶋（1991）¹⁰⁾

はアンケートによる実行動調査と選好意識調査により休日の形態と活動の関係分析を行っている。また磯部・河上（1990）¹¹⁾は活動日誌調査法を用いて個人の行動を休日交通と平日交通との比較という側面から分析し、さらに休日における行動スケジュールの形成過程を分析した例¹²⁾もある。

以上のような休日における交通行動の分析は、休日の交通行動が平日の通勤・通学を中心とした定常的な行動とは異なり、非定常的な交通行動が多く、その交通特性は日によって大きく異なってくるため、主に個人の交通行動の分析に重点を置いたものが多く見られ、またその交通行動の目的も買物や駐車場選択というように一つの目的に限定されている場合が多く、それらは個々の施設計画などの基礎データとして用いるには有用ではあるが、対象地域の交通網計画などに用いる際には、他の目的を持った行動の調査・分析も必要となってくる。

休日の、特に観光地における道路交通の特性分析を行った例として、谷口・安田・橋口・中口（1990）¹³⁾の行った研究があるが、この研究は交通量常時観測調査の結果、および全国道路交通情勢調査の結果を用いて観光型道路を抽出しその特性を分析した。また奥山・高梨（1991）¹⁴⁾は夏季休日における通過交通量調査、および駐車場のナンバープレート調査の結果から観光地域への自動車の流入台数、駐車台数などの分析を行い、観光地の駐車場の利用状況と周辺道路の交通量の関係を明らかにした。これらの研究は、休日における特に観光地の自動車交通を対象にしたものであり、特定の観光地の道路交通計画の基礎資料としては有用であるが、広域な地域を対象とした観光交通計画にはそのままでは利用することができないと言える。

地域全体の休日における交通需要予測手法として、平日の OD 交通量を目的別に構成し、平日に対する休日の目的別行動量率を乗じることにより休日の OD 交通量の予測を行った事例¹⁵⁾もみられるが、対象地域以外においては、目的別行動量率などの把握が難しくなってくると思われる。より一般的な方法として松本・山本・松井（1989）¹⁶⁾は平日 OD 交通量から休日 OD 交通量を推定する簡便な手法について提案したが、内々交通の推定

にはまだ多くの問題点を抱え、また休日 OD 交通量を表わすモデルが平日 OD 交通量の分布に大きく依存しており、観光・リゾート地域のような変動の大きな休日 OD 交通量を捉えきることは難しいと思われる。

このように休日に関する交通行動の研究は、休日交通は平日交通のような定常性の仮定のもと取り扱うことは難しく、同じ日曜日のみの交通に関しても天候、季節、景気の動向、価値観の変化などによりその構造は大きく変化し、そのような各変化を説明可能な要因の抽出は困難であると言える。

そこで本研究では、そのような変化をより直接的に集計ベースで観測可能である対象地域の休日のスクリーンラインの観測調査結果を用い、また休日 OD 交通量を表わすモデルに休日交通の特性を反映することが可能であると思われるゾーン間距離の指標を組み込み、既知の平日 OD 表より休日の OD 交通量をより簡便で実用的に推定可能な手法について提案する。

3. 休日 OD 交通量の推定手法

本研究では、2種類の方法論による休日 OD 交通量の推定手法を提案する。両手法において共通する点は、対象地域において休日にスクリーンライン調査を実施して得られた休日断面交通量を用いることである。すなわち対象地域を二分するスクリーンラインを数本任意に設定する。その各スクリーンラインは対象地域のゾーン境界線に沿って引くものとし、次にそれらスクリーンラインと交差する道路断面において、必要とする休日の調査日に断面交通量を観測する。後述するように、実際にはスクリーンラインの断面交通量の休日と平日の比のみ与えられればよいかスクリーンラインと交差する全ての道路断面で観測する必要はなく、主要な道路断面だけを選んで休日と平日の断面交通量比を観測し、その加重平均値を用いることにはすれば観測箇所を減らすことができる。このようなことから実際には道路断面の観測値として、交通量常時観測調査の結果などを利用可能であるということになる。

（1）残差平方和最小化手法によるモデルの定式化

本手法は、推定休日 OD 交通量による計算断面交通量と観測休日断面交通量との残差平方和が最小になるよう休日 OD 交通量を推定する手法であり、道路交通センサスなどで集計された平日 OD 表と休日のスクリーンライン調査により得られた休日断面交通量、および対象地域のゾーン間距離のデータを用いて休日の OD 交通量を推定する。まずスクリーンラインに関して以下の仮定を設ける。

- ① 任意に設定されたスクリーンラインによって分割された二つの地域間を通行する交通は、このスクリーンラインをただ一回のみ横断する。

- ② あるスクリーンラインに対して同一側に起終点を持つ交通はそのスクリーンラインを横断しない。

いまゾーン $i-j$ 間の平日 OD 交通量を a_{ij} とし、休日 OD 交通量の真値を z_{ij} 、推定値を x_{ij} とする。また第 k 番目のスクリーンラインの休日断面交通量を s_k とし、さらにゾーン $i-j$ 間の OD 交通が第 k 番目のスクリーンラインを横切るとき $\delta_{ijk}=1$ 、それ以外は $\delta_{ijk}=0$ となるようなダミー変数 δ_{ijk} を定義する。ここで第 k 番目のスクリーンラインの断面交通量の休日と平日の比を F_k とし、先に示した仮定に基づくと、 F_k は

$$F_k = \frac{\sum_j \delta_{ijk} z_{ij}}{\sum_j \delta_{ijk} a_{ij}} \dots \quad (3.1)$$

となる。さらにこの式 (3.1) を変形し

$$\sum_j \delta_{ijk} z_{ij} = F_k \sum_j \delta_{ijk} a_{ij} = s_k \dots \quad (3.2)$$

とすると、 a_{ij} は既知であるので F_k をデータとして与える場合と s_k をデータとして与える場合は同値であることがわかる。ここで平日 OD 交通量 a_{ij} とゾーン間距離 t_{ij} 、また幾つかのパラメータを用いて休日 OD 交通量を表現したモデルを次のように考える。

$$\text{モデル① } x_{ij} = \alpha_i \beta_j a_{ij} \dots \quad (3.3)$$

$$\text{モデル② } x_{ij} = \alpha_i \beta_j a_{ij} + \omega \exp(\gamma t_{ij}) \dots \quad (3.4)$$

$$\text{モデル③ } x_{ij} = \alpha_i \beta_j a_{ij} \exp(\gamma t_{ij}) \dots \quad (3.5)$$

モデル①は著者ら¹⁷⁾が以前提案したモデル形式であり、発生側パラメータ α_i 、集中側パラメータ β_j のみで休日の OD 交通量を表現した形であり、休日 OD 交通量は平日 OD 交通量の分布パターンに大きく依存した表現形式となっており、休日交通の構造変化を反映しにくいと思われるが、比較のため用いる。

一般に OD 交通量というものは、平日に限らず休日においてもゾーン間距離が大きくなるほどその絶対量は小さくなると考えることができる。そこでモデル②における休日 OD 交通量は、ゾーン間距離の指數関数として表現できる部分と平日 OD 交通量の関数として表現できる部分の和の形として表わせるものとして考えたが、これは平日 OD 交通量の関数として表現できる部分はサービス業などに多く見られる休日と平日に共通したトリップを表わし、ゾーン間距離の指數関数として表現できる部分は観光・レクリエーションなどの休日特有のトリップを表わしていると考えることができる。また図-1は、昭和45年度京阪神都市圏パーソントリップ調査により集計されたカートリップ OD 交通量のうち、域外に関するトリップを除いたゾーン間距離と実績値の休日 OD 交通量と平日 OD 交通量の比（休日平日比）の関係を示してあるが、この図より休日平日比 z_{ij}/a_{ij} はゾーン間距離 t_{ij} の指數関数であると考えることができモデル③の表現形式が導かれるが、この関係はゾーン間距離が大きくなるほど平日に対する休日のトリップ発

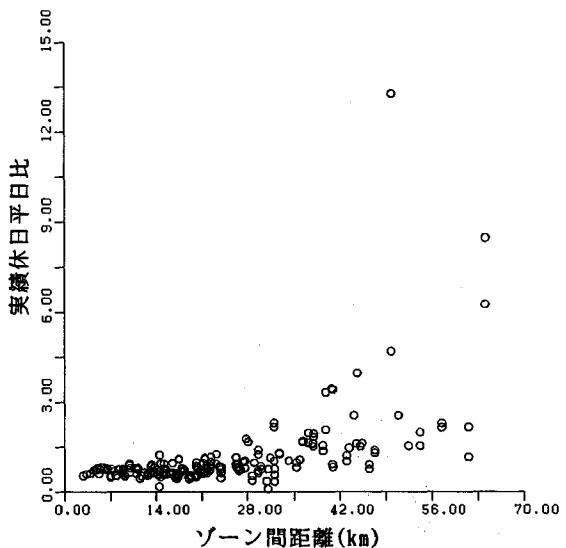


図-1 ゾーン間距離と休日平日比の関係

生率が大きくなることを示しており、休日交通の特徴を明確に表わしていると言える。

次に目的関数として式 (3.2) の残差平方和をとり

$$Q = \sum_k (\sum_j \delta_{ijk} x_{ij} - s_k)^2 \dots \quad (3.6)$$

とすると、この Q が最小となるような x_{ij} を、より一般的な非線形最適化計算手法である準ニュートン法を用いて求めれば、その x_{ij} が推定休日 OD 交通量ということになる。

式 (3.6) においては未知変数は x_{ij} であり、このままでどのスクリーンラインも横切らない OD 交通量はどのような値をとっても目的関数 Q の値には影響を与えないことになり推定不可能であるが、式 (3.3) から式 (3.5) にあるように未知変数を x_{ij} から α_i 、 β_j および γ 、 ω に変換することによりゾーン i からの発生交通がいずれかのスクリーンラインを横切れば α_i は制約され、ゾーン j への集中交通についても同様のことが言える。また γ 、 ω についてもトリップがあるスクリーンラインを横切ることにより制約を受け推定されることになり、つまりどのスクリーンラインも横切らない OD 交通量も、発生側パラメータ、集中側パラメータなどの導入により推定が可能になるということである。

このモデルにおいては、スクリーンラインを一本しか設けなかった場合にも、 γ 、 ω を 0 と仮定し

$$x_{ij} = F_1 a_{ij} \dots \quad (3.7)$$

とおけば式 (3.6) より $Q=0$ となることがわかる。つまり推定される休日 OD 交通量は、一律に F_1 が平日 OD 交通量 a_{ij} に乗じられることにより求められる。しかしながら、このようにスクリーンラインをただ一本しか設けない場合には、特別な場合として推定休日 OD 交通量と平日 OD 交通量の構造は全く同一となってし

まうため、休日交通の変動を反映した休日 OD 交通量を推定するためには、スクリーンラインを 2 本以上設けなければならないことがわかる。

(2) 同時生起確率最大化手法によるモデルの定式化

このモデルの定式化においても先に示した残差平方和最小化手法によるモデルの定式化の際に用いたスクリーンラインに関する仮定は成立するものとし、また同じ記号は同じものを意味するものとする。

同時生起確率最大化手法によるモデルの定式化においては、各スクリーンラインでの観測休日断面交通量に一致する推定休日 OD 交通量の OD 分布のなかで、確率的に見て最も起こりやすい OD パターンを求める方法である。なお同時生起確率最大化に基づく OD パターンの推定の考え方方は、佐左木（1967）¹⁸⁾のエントロピー法がその先駆をなす。

いま平日 OD 交通量のゾーン $i-j$ に関する OD 交通量を平日 OD 交通量の総和で除したものをゾーン $i-j$ 間の平日 OD 交通の生起確率であると考える。すなわちある平日の OD トリップがゾーン $i-j$ 間の平日 OD 交通をもつ生起確率 p_{ij} は

$$p_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_i \sum_j a_{ij}} \quad (3.8)$$

となる。この p_{ij} は平日 OD 交通量が与えられるので既知である。

次に推定休日 OD 交通量の総和を T とすると

$$T = \sum_i \sum_j x_{ij} \quad (3.9)$$

であり、休日の OD 交通の先驗確率を q_{ij} とすれば

$$\sum_i \sum_j q_{ij} = 1 \quad (3.10)$$

であり、休日にある OD 表が得られる同時生起確率 P は

$$P = \frac{T!}{\prod_i \prod_j x_{ij}!} \prod_i \prod_j (q_{ij})^{x_{ij}} \quad (3.11)$$

で定義される。この同時生起確率 P が最大となるような q_{ij} 、すなわち x_{ij} を求めればよい。そこで両辺の対数をとり

$$\log P = \log T! - \sum_i \sum_j \log x_{ij}! + \sum_i \sum_j x_{ij} \log q_{ij} \quad (3.12)$$

$x_{ij} \gg 1$ と仮定しステーリングの公式を用いると

$$\begin{aligned} \log P &= T \log T - T - \sum_i \sum_j x_{ij} \log x_{ij} + \sum_i \sum_j x_{ij} \\ &\quad + \sum_i \sum_j x_{ij} \log q_{ij} \end{aligned} \quad (3.13)$$

となる。ここで各スクリーンラインでの推定休日 OD 交通量による計算断面交通量が、観測休日断面交通量に一致しなければならない。

$$s_k = \sum_i \sum_j \delta_{ijk} x_{ij} \quad (3.14)$$

を満たさなければならない。そこで式 (3.14)、式 (3.9) および式 (3.10) のもとで式 (3.13) の $\log P$ を最大に

するため、ラグランジェの未定乗数法を用いる。未定乗数をそれぞれ μ_k 、 ρ 、 λ とすると、式 (3.14) よりラグランジェ関数 L は

$$\begin{aligned} L &= T \log T - \sum_i \sum_j x_{ij} \log x_{ij} + \sum_i \sum_j x_{ij} \log q_{ij} \\ &\quad + \sum_k \mu_k (\sum_i \sum_j \delta_{ijk} x_{ij} - s_k) \\ &\quad + \rho (\sum_i \sum_j x_{ij} - T) + \lambda (\sum_i \sum_j q_{ij} - 1) \end{aligned} \quad (3.15)$$

となる。この L を最大とする x_{ij} を求めればそれが推定された休日 OD 交通量ということになるが、このままではどのスクリーンラインも横切らない OD 交通量は、 δ_{ijk} が 0 であり、式 (3.14) の等式制約条件において何の制約も受けないということから、休日交通の需要変動を反映できない可能性がある。そこで先程の式 (3.8) の平日 OD 表から得られる p_{ij} を用いて q_{ij} を表わすモデルを、残差平方和最小化モデルを参考に以下のように表現するモデルを考える。

$$\text{モデル①}' \quad q_{ij} = \alpha_i \beta_j p_{ij} \quad (3.16)$$

$$\text{モデル②}' \quad q_{ij} = \alpha_i \beta_j p_{ij} + \omega \exp(\gamma t_{ij}) \quad (3.17)$$

$$\text{モデル③}' \quad q_{ij} = \alpha_i \beta_j p_{ij} \exp(\gamma t_{ij}) \quad (3.18)$$

もし $q_{ij} = p_{ij}$ と仮定する場合は、スクリーンライン調査による OD 表の修正法として提案された井上（1977）¹⁹⁾のモデル構造と形の上で一致するが、そのモデルは、OD パターンが同一であるという仮定のもとに OD 表を修正していくという点で、休日 OD 交通量の推定に関する手法としての限界がある。

そこで本研究における提案手法では、平日交通と休日交通に関する OD パターンの分布特性の違いを、モデル①'、モデル②' やモデル③' のような構造を持った先驗確率を与えることにより考慮し、このような構造の先驗確率を導入することにより、平日交通とは異なった OD パターン特性を持った休日 OD 交通量の推定にも十分対応できるようになると考えられる。

以上 3 つのモデルにおける q_{ij} を式 (3.15) に代入し α_i 、 β_j 、 μ_k 、 λ 、 T 、およびモデル②'においては γ と ω 、モデル③'においては γ といった未知変数を最適化計算を行い求めるわけであるが、その過程はモデルによって異なる。そこでここではモデル②'における場合のみ簡単に示す。

式 (3.15) の L にモデル②'を代入し、それぞれの未知変数で偏微分し 0 と置く。その式から x_{ij} 、 ρ を導くと

$$x_{ij} = T (\alpha_i \beta_j p_{ij} + \omega \exp(\gamma t_{ij})) \cdot \exp(\sum_k \mu_k \delta_{ijk}) \quad (3.19)$$

$$\rho = \log T + 1 \quad (3.20)$$

となり、これらの式を用いて x_{ij} 、 ρ を消去すると以下の非線形連立方程式が導かれる。

$$T \sum_j \beta_j p_{ij} \exp(\sum_k \mu_k \delta_{ijk}) + \lambda \sum_j \beta_j p_{ij} = 0 \quad (3.21)$$

$$T \sum_i \alpha_i p_{ij} \exp(\sum_k \mu_k \delta_{ijk}) + \lambda \sum_i \alpha_i p_{ij} = 0 \quad (3.22)$$

$$T\omega \sum_i \sum_j t_{ij} \exp(\gamma t_{ij}) \exp(\sum_k \mu_k \delta_{ijk}) \\ + \lambda \omega \sum_i \sum_j t_{ij} \exp(\gamma t_{ij}) = 0 \quad \dots \dots \dots \quad (3.23)$$

$$T \sum_i \sum_j \exp(\gamma t_{ij}) \exp(\sum_k \mu_k \delta_{ijk}) \\ + \lambda \sum_i \sum_j \exp(\gamma t_{ij}) = 0 \quad \dots \dots \dots \quad (3.24)$$

$$\sum_i \sum_j (\alpha_i \beta_j p_{ij} + \omega \exp(\gamma t_{ij})) - 1 = 0 \quad \dots \dots \dots \quad (3.25)$$

$$T \sum_i \sum_j (\{\alpha_i \beta_j p_{ij} + \omega \exp(\gamma t_{ij})\} \\ \cdot \exp(\sum_k \mu_k \delta_{ijk})) - T = 0 \quad \dots \dots \dots \quad (3.26)$$

$$T \sum_i \sum_j (\delta_{ijk} (\alpha_i \beta_j p_{ij} + \omega \exp(\gamma t_{ij})) \\ \cdot \exp(\sum_k \mu_k \delta_{ijk})) - s_k = 0 \quad \dots \dots \dots \quad (3.27)$$

以上の非線形連立方程式を非線形最適化計算手法である準ニュートン法を用いて解き、 α_i , β_j , γ , ω , μ_k , λ , T を求め、式(3.19)に代入し x_{ij} を求める。

4. 京阪神都市圏地域における適用事例

この章では、本研究で提案した残差平方和最小化および同時生起確率最大化に基づく休日OD交通量の推定モデルを実際に対象地域において適用し、それぞれの適用結果について比較・検討し、モデルの妥当性や有用性などを検証する。

本研究の提案モデルは、休日交通が主体となる観光・リゾート地域における適用を想定しており、そのような地域における平日OD交通量に関するデータは、全国規模で行われる全国道路交通センサス自動車起終点調査によって得ることができる。しかしながら、本適用事例においては得られるデータの都合上、昭和45年度に京阪神都市圏を対象地域として実施された京阪神都市圏パーソントリップ調査により集計されたカートリップOD表のデータを用いて適用計算を行った。またそのデータは、調査対象地域を域外を除いて14にゾーニングしたものと36にゾーニングしたものの2種類を用いて計算を行ったが、その両者の推定結果には大きな違いは見られなかったため、ここでは紙面の都合上14にゾーニングした場合の推定結果についてのみ検証していくこととし、図-2にその調査対象地域のゾーニング図を示す。また同調査では全目的平日OD交通量と全目的休日OD交通量が集計されており、それら調査結果の実績休日OD交通量を用いて推定モデルの検証を行う。また本研究で提案した休日OD交通量の推定モデルにはゾーン間距離のデータが必要であり、本適用事例においては昭和60年に実施された物資流動調査により得られた3桁ゾーンにおける平均トリップ長を用い、そのデータからそれぞれ対応するゾーニングに集計し直し平均トリップ長を求め、そのデータをゾーン間距離として用いた。さらに、調査時点のスクリーンラインの断面交

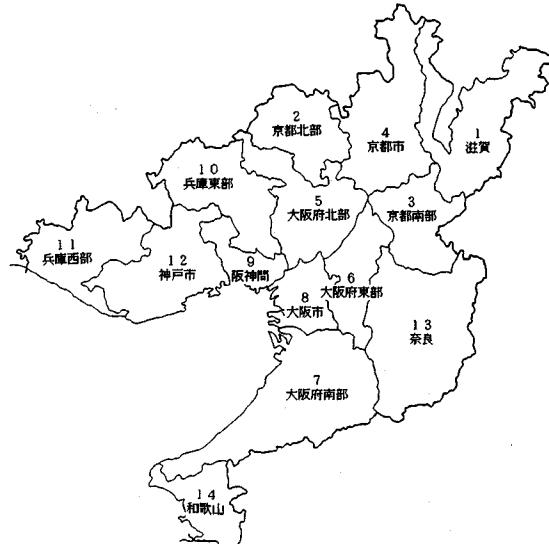


図-2 京阪神都市圏ゾーニング図

表-1 スクリーンラインの設定数

	パターン1	パターン2	パターン3	パターン4	パターン5	パターン6
本数	2	3	3	2	3	6

通量の休日・平日比は観測データがないため本適用計算事例においては便宜的に調査された実績休日OD交通量と実績平日OD交通量を用いて以下のように算出した。

$$F_k = \frac{\sum_i \sum_j \delta_{ijk} z_{ij}}{\sum_i \sum_j \delta_{ijk} a_{ij}} \quad \dots \dots \dots \quad (4.1)$$

ここに z_{ij} , a_{ij} は休日および平日の実績OD交通量であるが、実際の適用の際には休日OD交通量は未知であるので、スクリーンラインの休日断面交通量の観測は不可欠であることは言うまでもない。

本適用事例に際してスクリーンラインの設定は、本数が2本から4本ぐらいが適当である²⁰⁾ことを考慮して任意に6パターンを考えたが、その各パターンごとのスクリーンラインの本数を表-1に示す。また両モデルの最適化計算における初期値は、 α_i^0 , β_j^0 を同値として各スクリーンラインの休日平日比 F_k を平均的に評価し、次式を満たすように与えて計算を行い、 γ^0 , ω^0 についての初期値は0とした。

$$x_{ij} = F a_{ij}, q_{ij} = F p_{ij} \quad \dots \dots \dots \quad (4.2)$$

ここに K をスクリーンラインの設置本数とし

$$F = \sum_k F_k / K \quad \dots \dots \dots \quad (4.3)$$

またゾーン間距離 t_{ij} についてもその絶対値は必要なくより一般性をもたせるために本適用事例においては以下に示すようにその平均で除したもの用いた。

表-2 残差平方和最小化モデルにおける相関係数

	モデル①		モデル②		モデル③	
	case1	case2	case1	case2	case1	case2
バターン-1	0.9888	0.9865	0.9987	0.9888	0.9881	0.9885
バターン-2	0.9015	0.9756	0.9899	0.9902	0.9397	0.9887
バターン-3	0.9897	0.9794	0.9847	0.9917	0.9670	0.9883
バターン-4	0.8997	0.9750	0.9794	0.9868	0.9428	0.9797
バターン-5	0.8915	0.9780	0.9312	0.9909	0.9128	0.9886
バターン-6	0.8131	0.9494	0.9760	0.9919	0.9344	0.9908
平均	0.9049	0.9740	0.9767	0.9901	0.9475	0.9874
レンジ	0.1707	0.0371	0.0675	0.0051	0.0753	0.0111

表—3 残差平方和最小化モデルにおける RMS 誤差

	モデル①		モデル②		モデル③	
	case1	case2	case1	case2	case1	case2
パ~ターン1	129950	9812	51456	7770	109338	5869
パ~ターン2	368942	12068	95532	7141	136182	5984
パ~ターン3	446788	32223	128707	7701	207966	16075
パ~ターン4	521154	16990	121800	8379	189050	12900
パ~ターン5	524683	16246	209051	8118	214508	7245
パ~ターン6	585080	19937	124219	6537	174402	5798
平均	429433	17879	121794	7608	171908	8979
レンジ	465130	22411	157595	1842	105169	10277

n : 全 OD ペア - 数

なお推定結果の適合度検定には、実績値と推定値の相關係数、平均トリップ長、および以下に示す *RMS* 誤差、合計比の値を用いて行った。

$$RMS\text{ 誤差} = \sqrt{\sum_i \sum_j (z_{ij} - x_{ij})^2 / N} \quad \dots \dots \dots \quad (4.5)$$

N: OD ペア-数

(1) 残差平方和最小化手法による計算結果

残差平方和最小化手法を実際に適用する際に、内々交通を含めた全てのODを対象とする場合をcase1とし、内々交通以外のODを対象とする場合をcase2として両方について検証した。

表-2は、推定休日OD交通量と実績休日OD交通量の相関係数を示してある。この表より、実績休日OD交通量に対する実績平日OD交通量の相関係数が、case 1の場合に0.9947であり、case 2の場合に0.9870となり高い値を示していることから予想されるように、全般に高い相関性を有していることがわかり、また全モデルとも内々交通を含めないcase 2の方が高めの相関性を示し、特にモデル①はその傾向が強いことがわかる。さらにスクリーンラインの設定の違いによる推定結果のばらつきもモデル①が特に大きく、モデルにゾーン間距離を組み込むことでモデルの安定性が増すことがわかり、またcase 1, case 2との差もあまり大きくない。相関性については特にcase 1, case 2ともその安定性を含めモデル②が一番優れていることがわかり、次いでモデル③が良いことがわかる。

表-4 残差平方和最小化モデルにおける合計比

	モデル①		モデル②		モデル③	
	case1	case2	case1	case2	case1	case2
△ ^o タ-1	1.1223	0.8673	1.0579	0.9649	1.1105	0.8825
△ ^o タ-2	1.3576	0.9520	1.157	1.0147	1.2475	0.9530
△ ^o タ-3	1.6691	1.1914	1.1923	0.9809	1.4420	1.1697
△ ^o タ-4	1.5812	1.0851	1.1824	1.0428	1.4013	1.1191
△ ^o タ-5	1.5554	1.0606	1.1734	0.9503	1.3757	1.0540
△ ^o タ-6	1.7337	1.0721	1.1257	0.9895	1.3206	1.0609
平均	1.5032	1.0381	1.1412	0.9905	1.3463	1.0399
レンジ	0.6144	0.3241	0.1344	0.0923	0.3815	0.2872

表-5 実績値における平均トリップ長

	case1	case2
実績平日平均トリップ長	12.7086	24.4628
実績休日平均トリップ長	13.9978	27.8770
休日／平日	1.1014	1.1396

表-3は、推定値と実績値の RMS 誤差の値を示してあるが、特にモデル①の case 1 の値が大きく、実績平日 OD 交通量との RMS 誤差の値が 411657 であるので、その値よりも大きいことがわかる。しかしながら逆に case 2 の場合は、実績平日 OD 交通量との RMS 誤差の値が 42270 であるので、その値よりも小さく、あまり大きな値を示していないということから、モデル①では内々交通以外の交通量に関してはほぼ妥当な値で推定されているが、内々交通に関しての推定結果が極端に悪いということがわかる。またモデル②、モデル③に関しては、実績平日 OD 交通量に関する RMS 誤差の値よりもかなり小さく、妥当な値を示していることがわかり、全ての値はモデル①の値よりも小さく、特にモデル②の値が優れていることがわかる。さらにスクリーンラインの設定の差違による変動も、モデル①に比べ小さく安定していることから、推定モデルにゾーン間距離を組み込むことにより、内々交通も含めた推定結果が向上し、より安定性も増すことがわかった。

表-4は推定値と実績値の合計比の値を示してあるが全般にcase 1の方は過大推計傾向があり、case 2の方はそのような傾向は見られないことから、内々交通をより過大に推定していることがわかる。しかしながらモデル②のcase 1の誤差は、十数パーセントでありほぼ妥当な値であると思われる。また次いでモデル③の値が良好であり、推定結果の安定性についても同様のことが言え、モデルにゾーン間距離を組み込むことの有意性を示していると言える。なお休日OD交通量に対する平日OD交通量の合計比の実績値は、case 1の場合に1.7338、case 2の場合に1.3873であり、つまり内々交通を含めた平日の総トリップ数は休日の約1.7倍であり、内々交通以外は約1.4倍であるということである。

表-5は、実績値の平日、および休日の平均トリップ長とその比率を示してあるが、休日トリップの方が平均的に case 1, case 2とも 10 パーセントほど長いトリップ

表-6 残差平方和最小化モデルにおける平均トリップ長

	モデル①		モデル②		モデル③	
	case1	case2	case1	case2	case1	case2
パターン1	12.8790	24.9174	13.8903	29.1609	13.0462	25.2708
パターン2	12.3392	25.6054	13.9605	29.9806	12.8446	26.2467
パターン3	13.2118	25.3513	13.7432	28.0922	13.5874	26.2697
パターン4	12.0484	25.7730	14.0156	30.1444	12.9252	26.4902
パターン5	12.0470	25.7794	13.8768	30.1457	13.0005	26.6999
パターン6	13.4632	26.7145	13.9808	29.9962	13.6928	27.2274
平均	12.6648	25.6902	13.9112	29.5867	13.1828	26.3675
レンジ	1.4162	1.7971	0.2724	2.0535	0.8482	1.9566

表-7 残差平方和最小化モデルにおける γ , ω の値

	モデル②		モデル③	
	γ	ω	γ	ω
パターン1	-0.00202	3740.42775	0.12988	
パターン2	-0.00200	4518.78403	0.25989	
パターン3	-0.05341	2759.76965	0.39509	
パターン4	-0.06707	4955.12942	0.38615	
パターン5	-0.03142	3969.66973	0.37660	
パターン6	-0.02735	4443.36500	0.55542	
平均	-0.03055	4064.5209	0.35051	
レンジ	0.06507	2195.3598	0.42554	

表-8 同時生起確率最大化モデルにおける相関係数

	モデル①		モデル②		モデル③	
	case1	case2	case1	case2	case1	case2
パターン1	0.9839	0.9721	0.9975	0.9905	0.9927	0.9809
パターン2	0.9543	0.9507	0.9564	0.9404	0.9762	0.9697
パターン3	0.8829	0.8806	0.9882	0.9729	0.9828	0.9696
パターン4	0.8933	0.8906	0.9680	0.9634	0.9664	0.9326
パターン5	0.3981	0.9167	0.9215	0.9596	0.9500	0.9363
パターン6	0.9341	0.9308	0.9612	0.9895	0.9538	0.9777
平均	0.9244	0.9236	0.9655	0.9694	0.9703	0.9611
レンジ	0.1010	0.0915	0.0760	0.0501	0.0427	0.0483

であることから、休日交通の一つの特徴である休日には遠くへ出かけているという傾向がこの値からわかる。表-6は休日OD交通量の推定値の平均トリップ長を示してある。これらの表からモデル①については、その平均トリップ長はほとんど平日の実績値と変化が無く、そのモデル形式からも判断するとモデル①はやはり平日のOD分布に大きく依存していると考えられ、その構造自体は大きく変化することなく、休日OD分布の構造を反映しにくいモデルであると言える。モデル③の平均トリップ長は、モデル①よりは実績値に近い値ではあるが、case1, case2とも多少小さめの値を示していることがわかり、モデル②はほぼ妥当な値を示していると言え、ゾーン間距離をモデルに組み込んだモデル②、モデル③は、平日OD分布とは異なった構造を持っていることがわかる。

表-7は、モデル②、モデル③における γ 、および ω の値を示してあるが、これらの値のみ見る限りモデル②のパターン1、パターン2でそのオーダーも他のパターンの値とは異なり、またモデル③についても多少小さめの値を示しており安定性に欠けているように思われるが、これらの値のみでパラメータは推定されず、 α や β

表-9 同時生起確率最大化モデルにおけるRMS誤差

	モデル①		モデル②		モデル③	
	case1	case2	case1	case2	case1	case2
パターン1	105003	16462	68568	7181	78976	11173
パターン2	161259	17952	217007	17551	132229	12933
パターン3	330862	30545	248655	26944	233132	28117
パターン4	367389	27159	220164	16140	231554	27152
パターン5	335019	24749	260285	16072	245902	23315
パターン6	275690	29470	181299	7360	174491	11562
平均	262537	24390	199330	15208	182714	19042
レンジ	262386	14083	191717	19763	166926	16944

表-10 同時生起確率最大化モデルにおける合計比

	モデル①		モデル②		モデル③	
	case1	case2	case1	case2	case1	case2
パターン1	1.0721	0.8465	1.0734	0.9531	1.0721	0.8725
パターン2	1.1721	0.8987	1.1767	0.9412	1.1717	0.9539
パターン3	1.3965	1.0118	1.3962	1.1357	1.3964	1.1595
パターン4	1.3754	1.0483	1.3751	1.1523	1.3751	1.1642
パターン5	1.3554	1.0409	1.3549	1.0218	1.3549	1.0656
パターン6	1.2539	0.9302	1.2440	1.0033	1.2438	1.0294
平均	1.2709	0.9627	1.2701	1.0346	1.2690	1.0409
レンジ	0.3244	0.2018	0.3228	0.2111	0.3243	0.2917

表-11 同時生起確率最大化モデルにおける平均トリップ長

	モデル①		モデル②		モデル③	
	case1	case2	case1	case2	case1	case2
パターン1	12.8562	24.7240	13.7224	28.8731	13.0634	25.2861
パターン2	12.3420	25.1809	13.0840	28.7757	13.0706	26.3253
パターン3	12.8406	25.4021	13.4102	26.8410	13.1905	26.1534
パターン4	12.7151	25.2303	14.5627	28.5079	12.9121	26.2131
パターン5	12.6175	25.1340	13.3823	27.5834	13.1177	26.5318
パターン6	13.1241	25.9704	13.5706	29.4686	13.6723	27.3742
平均	12.7493	25.2653	13.6220	28.3416	13.1711	26.3140
レンジ	0.7821	1.2464	1.4787	2.6276	0.7602	2.0881

表-12 同時生起確率最大化モデルにおける γ , ω の値

	モデル②		モデル③	
	γ	ω	γ	ω
パターン1	-0.00396	0.00013	0.17985	
パターン2	-0.00308	0.00009	0.35821	
パターン3	-0.00671	0.00006	0.40117	
パターン4	-0.43498	0.00019	0.40636	
パターン5	-0.21634	0.00008	0.29750	
パターン6	-0.00051	0.00012	0.57894	
平均	-0.11093	0.00011	0.37034	
レンジ	0.43447	0.00013	0.39909	

との兼ね合いの中で最適に決まっているためこのような値となったと思われる。さらにモデル②の ω の値を見てみると、その値はかなり全般に大きな値を示し、このモデル形式では相対的に交通量の小さいOD交通量は表現できないことがわかる。

(2) 同時生起確率最大化手法による計算結果

同時生起確率最大化手法による計算結果においても残差平方和最小化手法による計算結果の場合と同様に、内々交通を含めた全OD交通を対象とする場合をcase1とし、内々交通以外のOD交通を対象とする場合をcase2として考察していく。

表-8から表-12は、残差平方和最小化モデルの場合

と同様の各適合度指標を示してある。表-8の相関係数の値を見てみると、全般的に高い相関性を示していることがわかり、特にモデル②'、モデル③'が優れていることがわかり、また case 1, case 2 については大きな差違は無いと言え、安定性についてはモデル③'が優れていることがわかる。表-9の RMS 誤差の値を見てみると、やはりモデル①'の case 1 の値がかなり大きくなっていること、このことは内々交通量の推計誤差によると思われ、また全般に、case 1 ではモデル③'、case 2 ではモデル②'の値が優れていることがわかる。表-10の合計比の値を見てみると、case 1において各モデルの相違はかなり小さくすべて似通った値となっている。これは推定休日 OD 交通量の総計 T が未知変数として目的関数に入っているためであると思われ、この T が制約となり各モデルの合計比は似たものとなったと思われる。しかしながら case 2 の合計比の値は各モデルで異なった値を示しているが、全て十数パーセント以内の誤差となっている。表-11の平均トリップ長の値は、モデル①'の値が小さくなっているが、モデル②'、モデル③'では休日平均トリップ長に近い値になっていることがわかる。またモデル②'の case 2 の平均トリップ長の値が実績値よりも多少大きめの値を示しているが、このこともやはり小さな OD 交通量を過大に推定していることによるものであると考えることができる。表-12にモデル②'、モデル③'の γ , ω の値を示してあるが、モデル②'の γ の値にばらつきはみられるもののほぼ妥当な値であると思われる。

(3) 両手法による適用結果の比較・検討

それぞれ各手法の適用結果についての考察を行ってきたが、ここではそれら両モデルの適用結果を比較・検討していく。

まず両手法の推定結果に共通することは、推定モデルにゾーン間距離を組み込むことで推定結果の安定性が向上し、また相関性、RMS 誤差、合計比、平均トリップ長などの各適合度指標の値も向上した。

次に両手法の推定結果の違いは、残差平方和最小化手法においては、内々交通を含めた全 OD 交通を対象とした case 1 と内々交通以外の OD 交通を対象とした case 2 での結果が大きく異なり、全般的に case 2 の方が優れ、特に合計比の値でそのような傾向となった。しかしながらモデル②'では比較的その両者の差は小さく、優れた推定結果が得られることがわかった。また同時生起確率最大化手法においては case 1, case 2 での差違はあまり見られず、合計比の値を除いて全般に case 1 の結果の方が優れていた。このことはモデルの定式化に説明したように同時生起確率最大化手法については休日 OD 交通量の総計 T が目的関数に未知変数として組み込

まれるが、残差平方和最小化手法には、総計に関する変数は一切無いためであると思われる。

以上のことから全般に、内々交通を含めた全 OD 交通量の推定には同時生起確率最大化手法の方が適しており、内々交通以外の OD 交通を対象とする場合には残差平方和最小化手法の方が適していることがわかった。しかしながら両手法、および内々交通を含む case 1、内々交通を含まない case 2 を通じて総合的に優れた推定結果を得ることができるのは残差平方和最小化手法におけるモデル②'であることがわかった。またこのモデルによって、一般的な交通計画に必要である相対的に大きな OD 交通量は、十分な精度で推定できることがわかったが、そのモデル形式から判断できるように、最大 OD 交通量と最小 OD 交通量の差がかなり大きい場合に、小さな OD 交通量の把握までは難しいと思われる。次に同時生起確率最大化手法におけるモデル③'の推定結果が優れており、このモデルの場合はモデル②'の形式と比較し、相対的に小さな OD 交通量も把握できると考えられる。

5. おわりに

本研究では、国民の経済・生活水準が向上し余暇時間が増大するとともに休日交通需要を反映した交通計画の重要性が高まる中、休日の交通計画に必要な休日交通関連資料が未整備であるという状況を背景に、既知の平日 OD 交通量とより入手しやすい休日の断面交通量のデータをもとに休日 OD 交通量をより簡便に推定可能な実用的な手法を提案した。一つは残差平方和最小化に基づく休日 OD 交通量推定手法であり、一つは同時生起確率最大化に基づく推定手法であった。そして実際に提案した幾つかのモデルを京阪神都市圏地域において適用計算し、その各手法の有用性や妥当性について検証した。以下本研究で得られた結論をまとめる。

- ① 両手法とも休日 OD 交通量の推定モデルにゾーン間距離を組み込むことで推定結果は安定し、またその精度も向上した。
- ② 両手法を通じて総合的に残差平方和最小化手法のモデル②'による推定結果が一番優れ、十分有用性のあるものであった。
- ③ 残差平方和最小化手法においては、内々交通を除いた case 2 の場合の推定結果の方が優れ、また内々交通以外の推定結果は精度の高いものであった。
- ④ 同時生起確率最大化手法による推定結果は、内々交通を含めた全 OD を対象とした case 1 の場合と内々交通以外の OD 交通を対象とした case 2 の場合との差違は大きくなく、OD 交通量の総計の過大推計の傾向を除けば十分全 OD の推計に耐え得ることができる手法であることがわかった。

- ⑤ 内々交通の推定に関しては今後より多くの検討が必要であるが、一つの方法として内々率を平日、休日ともに一定とする方法²¹⁾や、事前に休日OD交通量の総計Tを別に予測し、その予測されたTを制約式に組み込むことが考えられる。
- ⑥ 本研究では得られるデータの都合上、観光・リゾート地域ではなく都市圏である京阪神都市圏において提案した推定手法の適用計算を行ったが、データとして用いる休日のスクリーンラインの観測断面交通量、あるいは観測休日平日比は、対象地域の季節変動・地域特性や経年変化を観測値に直接捉えるため、推定値にも十分それら変動や特性を反映することが可能であると考えられる。しかしながら本研究では、そのようなことを検証できなかったため、今後は他の都市圏や特に観光・リゾート地域のデータや多年度のデータを用いて本研究で提案した手法の妥当性や地域移転可能性などについて検証していく必要があると思われる。
- ⑦ またスクリーンラインの設定に関する仮定についての影響評価や、休日平日比の観測値の分析による断面交通量の与え方の妥当性や観測誤差による影響評価についての検証が必要であると思われる。
- ⑧ 本研究では、将来の休日OD交通量を予測する方法について述べたものではないが、比較的短期的な将来予測については本研究で提案した推定モデルは十分有用であると思われる。また長期的予測の一つの方法として現状の休日OD交通量が推定されれば、そのOD交通量をもとに平日OD交通量の将来予測と同じ手順で将来の休日OD交通量が予測可能である。さらに休日断面交通量、あるいは休日平日比の時系列分析から求まる、それぞれの将来予測値を用いて、本手法により将来の休日OD交通量の予測も可能であると考えられる。

参考文献

- 1) 例えば、丹野弘・舟山義広・増澤亨：休日観光交通に着目した道路整備計画事例、第18回日本道路会議・特定課題論文集、pp. 300~302、1989。
- 2) 京阪神都市圏パーソントリップ調査委員会：昭和46年度京阪神都市圏パーソントリップ調査報告書・現況解析編、1972。
- 3) 建設省道路局：昭和49年度全国道路交通情勢調査・一般交通量調査、1975。
- 4) 建設省道路局：平成2年度道路交通センサス・一般交通量調査、1991。
- 5) 杉恵頼寧・芦沢哲蔵：買物・私用交通の曜日変動特性、第26回日本都市計画学会学術研究論文集、No. 26-A, pp. 277~282, 1991.
- 6) 西井和夫・岩本哲也・立川伸：休日活動・交通パターンに着目した買物場所来訪時刻特性分析、土木計画学研究・講演集、No. 14(1), pp. 567~574, 1991.
- 7) 吉田朗・原田昇：休日の買い回り品買物交通を対象とした買物頻度選択モデルの研究、土木学会論文集、第413号/IV-12, pp. 107~116, 1990.
- 8) 武政功・原田昇・毛利雄一：休日の買物行動における駐車場選択に関する研究、都市計画別冊、No. 22, pp. 523~528, 1987.
- 9) 原田昇・太田勝敏：生活活動記録に基づく個人の活動分析に関する研究、第23回日本都市計画学会学術研究論文集、No. 23, pp. 415~420, 1988.
- 10) 小島浩・兵藤哲朗・中嶋勇一：休日形態の変化に着目した休日活動に関する基礎的研究、土木学会第46回年次学術講演会講演概要集、第4部, pp. 254~255, 1991.
- 11) 磯部友彦・河上省吾：交通・活動関連分析による休日交通の分析—平日交通との比較—、第25回日本都市計画学会学術研究論文集、No. 25, pp. 49~54, 1990.
- 12) 磯部友彦・石田勝一・青島縮次郎：休日における自動車利用行動スケジュールの形成過程の動的分析、土木学会第46回年次学術講演会講演概要集、第4部, pp. 294~295, 1991.
- 13) 谷口栄一・安田泰二・橋口賢治・中口和巳：休日観光交通特性と道路計画、土木計画学研究・講演集、No. 13, pp. 751~758, 1990.
- 14) 奥山育英・高梨誠：観光特化型道路における休日交通流現象に関する研究、土木学会第46回年次学術講演会講演概要集、第4部, pp. 200~201, 1991.
- 15) 濱戸馨・高木修一・野上幸義：夏季休日のOD推計に関する考察、第18回日本道路会議・特定課題論文集、pp. 7~9, 1989.
- 16) 松本幸正・山本幸司・松井寛：休日OD交通量の簡易推定に関する研究、第24回日本都市計画学会学術研究論文集、No. 24, pp. 301~306, 1989.
- 17) 前掲16)
- 18) 佐左木綱：トリップのOD分布を求める確率論的方法、交通工学、Vol. 2, No. 6, pp. 12~21, 1967.
- 19) 井上博司：スクリーンライン調査によるOD調査の精度の検定およびOD表の修正法、交通工学、Vol. 12, No. 6, pp. 11~19, 1977.
- 20) 前掲16)
- 21) 松本幸正・松井寛：観測交通量に基づく休日OD交通量推定手法に関する考察、土木学会中部支部平成元年度研究発表会講演概要集、pp. 370~371, 1989.

(1992.1.27 受付)

A WEEKEND TRAFFIC DEMAND ESTIMATION MODEL BASED ON TRAFFIC COUNTS ON SCREEN LINES

Yukimasa MATSUMOTO, Motohiro FUJITA and Hiroshi MATSUI

Weekend trip distribution matrices are indispensable for overall transportation planning process in resort or recreation areas. However, traffic data on weekend are not collected, as compared with that on weekday. In this paper we propose two methods which can estimate a weekend trip distribution matrix from a weekday trip distribution matrix, using weekend traffic counts on screen lines. One model is obtained by method of minimum residual sum of squares, and the other model is obtained by method of maximum simultaneous incidence probability on constraints that observed traffic volume on screen lines are identical with estimated traffic volume of estimation. Two models presented here are also compared through practical application to OD survey data on both weekdays and weekend in Keihanshin metropolitan area.