

時間帯別業務交通の推計法に関する 実証的研究

加藤文教*・門田博知**

本研究では時間帯別業務交通の推計モデルを提案する。推計モデルの特徴は、就業者が1日に業務目的で行うトリップチェーンに幾何分布を仮定し、1サイクル中の立ち回り数とサイクル数の生起確率を求めている点と、そこで用いられる諸量が、時間制約との関係から時間に依存するとしている点にある。パーソントリップデータへの適用を通して、モデル構築上の仮定の妥当性と、政策評価モデルとしての有効性を示した。

Keywords : hourly estimation, business trips, trip chaining

1. はじめに

交通行動の理解を深め、交通計画への適用性を高めることを目的として、交通関連時間を考慮した交通需要推計法が提案されている。これらの推計法は、分析の着眼点から2つに分類できる。そのうち一方は、交通に消費できる時間の制約の下で、交通行動の時間的・空間的範囲をとらえようとするものである。この範疇の研究には、時空間プリズムの概念に基づくもの^{1)~3)}と、時間予算の概念に基づくもの^{4)~7)}とがある。

もう一方は、時間軸上で交通需要量を求めようとする考え方で、本研究はこの範疇に属する。時間軸上で交通需要分析法を論じた研究として、Kitamura *et al.*⁸⁾は、時刻に依存した推移確率と、トリップ目的や活動のタイプに依存した滞在時間分布とから構成されるマルコフ再生モデルを提案している。また近藤⁹⁾は、滞在時間を目的間推移時間分布として組み込むマルコフ再生モデルと、離散的な時間帯推移確率と目的間推移確率とから構成される時間帯推移モデルとを提案し、後者のモデルが現実的かつ実用的であることを示唆している。同じマルコフ再生理論を採用したものとして、宮城¹⁰⁾はトリップの行動時間に関するゾーン滞留時間とゾーン間通行時間とにより、トリップ頻度の決定を確率論的に論じている。しかしながらこれらの研究では、時間帯別の交通需要推計について、実証的な検討が十分になされているとはいえない。それに対し研究の着眼点は若干異なるが、時間帯別の交通量を推計する手法として、藤田^{11),12)}は時間帯別交通量配分モデルを開発している。

著者らは、業務交通が受ける時間制約の影響に焦点を当て、その基礎的分析として1日の業務交通の開始時刻

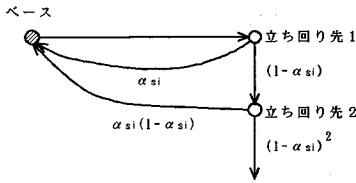
が受ける時間制約が産業分類や業務の目的施設によって異なることや、サイクル数と立ち回り数とが業務交通に消費できる時間制約の関数となることを示した¹³⁾。業務交通では業務上の戦略や相手側の都合があり、業務交通行動を説明するにはそれらを考慮しておく必要があるが、データの制約によりこれらの細かいメカニズムについては分析できず、ここではマクロな視点から時間制約の影響を明らかにすることに主眼を置いた。

これらの結果に基づき、本研究では、業務交通に消費できる時間制約の概念を導入し、業務交通が開始されてからいくつものサイクルと立ち回りを経て帰社するまでのプロセスを、時間的推移とともにモデル化することを試みる。モデルの特徴は、①1日のトリップチェーンに幾何分布を仮定し、立ち回り数生起確率とサイクル数生起確率とを求めていること。②そこで用いられる帰社率とサイクル終了率とが、時刻に依存するとしていること。③これらのトリップチェーンを時間軸上で表現するため、時刻に依存した立ち回り時間とサイクル間時間とを定義していること、等が挙げられる。このように時刻に依存した諸量を適用した理由は、上述の業務交通に消費できる時間制約の影響を考慮したもので、Kitamura *et al.*、近藤、および宮城らが提案するモデルにおいても時間制約の概念が考慮されている。

提案するモデルでは、業務交通開始時刻およびトリップ開始時刻ごとに生起確率が求められるため、ある時間間隔で集計すると時間帯別のトリップ発生レイトを得ることができ、業務交通を行う就業者数を乗じてやれば都市圏全体の時間帯別発生量が推計される。一般に需要推計モデルは、政策代替案の評価、短期的予測、および長期的予測等を目的として構築される。本モデルは適用する諸量が現実のデータを基礎としているため、現時点では業務交通行動にかかわる大きな構造変化がないことを前提とした、短期的予測モデルとして位置付けられる。

* 正会員 工修 広島大学助手 工学部第Ⅳ類
(〒724 東広島市鏡山1丁目)

** 正会員 工博 広島大学教授 工学部第Ⅳ類



図一 業務交通の立ち回りの推移

時差出勤やフレックスタイム導入による業務交通への影響評価に対しては、業務交通開始時刻の変化を通して推計することが可能であるが、ここでも大きな構造変化のないことが前提となる。したがって業務上の動向が加味でき、また長期的予測に適用できる汎用性の高いモデルへと展開するためには、モデルに用いた諸量の時間的・空間的安定性、あるいは業務交通にかかわる他の諸要因との関連性を明らかにすることが重要となろう。

本研究は、こうした汎用性の高いモデル構築の基礎段階にあり、時間制約の概念に基づき、1日のトリップチェーンを時間軸上で表現する推計モデルを定式化し、現実のパーソントリップデータへの適用を通しその有効性を検証することを目的とする。

2. 推計モデルの定式化

(1) 定式化の準備

a) 立ち回り数 立ち回り数の構成率は、立ち回り数の増加とともに低くなる。この傾向は、著者らの前述の論文や佐々木ら¹⁴⁾の論文で実証されている。ここでは各立ち回り先において、帰社するかしないかが二項分布となることから、 x 番目の立ち回りの後帰社する確率が、図一で示されるような幾何分布になるものと仮定する。すなわちサイクル i において、 x 番目の立ち回り先で帰社する確率 p_{siz} は、

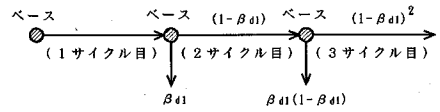
$$p_{siz} = \alpha_{si}(1 - \alpha_{si})^{x-1} \dots \dots \dots (1)$$

で求められ、その密度関数は、

$$f_{si}(x) = \alpha_{si}(1 - \alpha_{si})^{x-1} \dots \dots \dots (2)$$

となる。ここで α_{si} は立ち回り数 1 の帰社率で、業務交通に消費できる時間制約から、サイクル開始時刻 si が遅くなるとともに高くなるを考える。なお立ち回り数生起確率が式 (2) のような分布形となる点については、近藤ら¹⁵⁾が業務交通の継続確率とサイクル再起確率の定常性の仮定により理論的に展開している。

b) サイクル数 著者らは前述の論文で、平均サイクル数がサイクル開始時刻が遅くなるとともに減少することを示した。この知見に基づき、ここではサイクルを再開する確率が、次のサイクルに移行する時間的余裕があるかないかに依存すると考える。いったん帰社した後、サイクルを開始するかしないかは二項分布となることか



図二 業務交通のサイクルの推移

ら、 y 番目のサイクルで終了する確率が、図二に示す幾何分布になるものと仮定する。すなわち y 番目のサイクルで終了する確率 q_{aiy} は、

$$q_{aiy} = \beta_{d1}(1 - \beta_{d1})^{y-1} \dots \dots \dots (3)$$

で求められ、密度関数は、

$$f_{d1}(y) = \beta_{d1}(1 - \beta_{d1})^{y-1} \dots \dots \dots (4)$$

となる。ここで β_{d1} は 1 サイクルでの終了率で、1 サイクル目の終了時刻 $d1$ が遅くなるほど高くなるを考える。

c) 業務交通関連時間 業務交通の推移を時間軸上で表現するため、2つの関連時間を定義する。

- ① 立ち回り時間
- ② サイクル間時間

これらの関連時間は、業務交通に消費できる時間が少なくなるとともに減少すると考える。立ち回り時間は、おのこの立ち回りで消費される時間であり、トリップ時間と活動時間との合計で表す。サイクル間時間は、あるサイクルを終え次のサイクルに出発するまでの時間とする。なおサイクル間時間については、モデルの簡便化を図るため、帰社トリップの開始時刻から次のサイクルの開始時刻までとする。

いまサイクル i において、トリップ j が開始された時刻を tij とし、立ち回り時間 a_{tij} を、

$$a_{tij} = g_s(tij) \dots \dots \dots (5)$$

で定義する。ここで $g_s(tij)$ は、トリップ開始時刻の関数を示す。

次にサイクル間時間 b_{di} を、サイクル i が終了する時刻 di に依存すると考え、

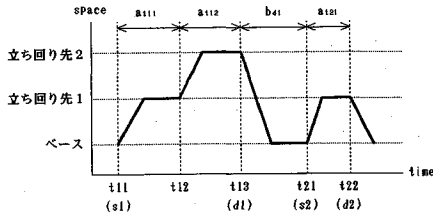
$$b_{di} = g_c(di) \dots \dots \dots (6)$$

で定義する。ここで $g_c(di)$ は、サイクル終了時刻の関数を示す。

(2) 定式化

モデルの基本的な流れは、ある時刻に開始された業務交通が、時間軸上において、いくつかの立ち回りやサイクルを経て帰社するまでの経緯を、確率的に表現するものである。すなわち業務交通が開始されたときの生起確率を 1.0 とし、それが逐次減少する経緯を、立ち回り数とサイクル数の生起確率を用いて表現する。なお立ち回り数生起確率とサイクル数生起確率は、それぞれ独立であるものと仮定する。

図三に業務交通が推移する一例を示すとともに、時



注1) ここで、 a_{1ij} : 立ち回り時間、 b_{1i} : サイクル間時間
 t_{1j} : トリップ開始時刻、 s_1 : サイクル開始時刻
 d_1 : サイクル終了時刻、 i : サイクル、 j : トリップ
 注2) 業務交通開始時刻は1サイクル目開始時刻 s_1 に等しい

図-3 業務交通の推移と関連時間の定義

間軸上で表現するために必要とされる時間要因を具体的に示した。これを参考とし、時間帯別の業務交通発生率の推計モデルを定式化する。

いま業務交通の開始時刻を s_0 とする。これは1サイクル目開始時刻 s_1 に等しい。 s_1 に対する帰社率 α_{s1} を用い、立ち回り数 x の生起確率 $f_{s1}(x)$ を、式(2)から求める。ここで便直上業務交通を、業務に向かう場合を業務トリップ、勤務先に向かう場合を帰社トリップと区別し、サイクル i, j 番目のトリップ生起確率を、それぞれ p_{bij}, p_{wij} で表す。これらは立ち回り数生起確率を用い、

$$p_{bij} = 1 - \sum_{x=1}^{\infty} f_{s1}(x), \quad p_{wij} = f_{s1}(x) \quad \dots \dots \dots (7)$$

で示される。

次に業務交通の生起確率と各トリップの開始時刻の推移を、1サイクル目の場合について考える。サイクル1, 1番目の業務トリップの生起確率 p_{b11} は、前述したように1.0であり、開始時刻は $t_{11} = s_1$ である。これよりサイクル1, j 番目の業務トリップの生起確率は、それぞれ、

$$p_{b1j} = p_{b11} p_{b1j}, \quad p_{w1j} = p_{b11} p_{w1j} \quad \dots \dots \dots (8)$$

となる。各トリップの開始時刻は、その前のトリップの開始時刻から立ち回り時間を逐次計算して求める。すなわち式(5)で得られる立ち回り時間 a_{1ij} を用い、次のトリップ開始時刻は、

$$t_{1j+1} = t_{1j} + a_{11j} \quad \dots \dots \dots (9)$$

となる。このとき帰社トリップについては、

$$d_1 = t_{1j} + a_{11j} \quad \dots \dots \dots (10)$$

をサイクル終了時刻とし、トリップ開始時刻と区別する。

帰社後、2サイクル目を開始する確率は、式(4)のサイクル数生起確率から求める。サイクル数 y の生起確率 $f_{d1}(y)$ は、1サイクル目終了時刻 d_1 に対するサイクル終了率 β_{d1} を用いて計算する。 $r_y = f_{d1}(y)$ とおくと、2サイクル目を開始する確率 γ_2 は

$$\gamma_2 = 1 - r_1 \quad \dots \dots \dots (11)$$

となる。サイクル開始時刻 s_2 については、1サイクル目終了時刻に対するサイクル間時間 b_{d1} を式(6)から

求め、

$$s_2 = d_1 + b_{d1} \quad \dots \dots \dots (12)$$

で示す。2サイクル目の業務交通は、 s_2 を開始時刻とし、立ち回り数や立ち回り時間が1サイクルと同様の手順で計算される。

このときサイクル2, 1番目の業務トリップの生起確率は、

$$p_{b21} = p_{b11} p_{w1j} \gamma_2 \quad \dots \dots \dots (13)$$

となる。これより j 番目の業務トリップと帰社トリップの生起確率は、それぞれ、

$$p_{b2j} = p_{b21} p_{b2j}, \quad p_{w2j} = p_{b21} p_{w2j} \quad \dots \dots \dots (14)$$

となる。以後3サイクル目への再起確率は、

$$\gamma_3 = \gamma_2 - r_2 = 1 - r_1 - r_2 \quad \dots \dots \dots (15)$$

で求められ、サイクル3, 1番目の業務トリップの生起確率は、

$$p_{b31} = p_{b21} p_{w2j} \gamma_3 = p_{b11} p_{w1j} p_{w2j} \gamma_2 \gamma_3 \quad \dots \dots \dots (16)$$

で示される。これまでの手順をまとめると、2サイクル目以降のサイクル i, j 番目の業務トリップと帰社トリップの生起確率は、以下のように示される。

$$p_{bij} = p_{b11} p_{bij}, \quad p_{wij} = p_{b11} p_{wij} \quad \dots \dots \dots (17)$$

(ただし、 $i \geq 2$)

ここで、

$$p_{b11} = p_{b11} \prod_{k=1}^{i-1} p_{w1j} \prod_{i=2}^j \gamma_i \quad \dots \dots \dots (18)$$

$$\gamma_i = 1 - \left(\sum_{k=1}^{i-1} r_k \right) \quad \dots \dots \dots (19)$$

なお1サイクル目のトリップ生起確率は、式(8)により求められる。

トリップの時間的経過については、立ち回り時間とサイクル間時間とを用い、1サイクル目から2サイクル目にかけて述べた手順と同じように求める。

以上で説明した計算の流れは、時刻 s_0 に開始された業務交通を対象としている。任意の開始時刻 s_i に対し、同様の手順で時間軸上のトリップ生起確率を求めそれをまとめると、各業務交通開始時刻に対する時間帯別のトリップ発生レイトが得られる。各業務交通開始時刻に対する時間軸上での業務トリップ生起確率 $p_{bij}(s_i, t_{ij})$ 、および帰社トリップ生起確率 $p_{wij}(s_i, t_{ij})$ を用い、ある時刻 tk から $tk+h_t$ の間のトリップ発生レイトは次で求められる。

$$p_b(s_i, tk) = \sum_{i,j=tk}^{tk+h_t} p_{bij}(s_i, t_{ij}) \quad \dots \dots \dots (20)$$

$$p_w(s_i, tk) = \sum_{i,j=tk}^{tk+h_t} p_{wij}(s_i, t_{ij}) \quad \dots \dots \dots (21)$$

式(20)および式(21)で得られる発生レイトは、おのおの業務交通開始時刻に対するトリップ生起確率を、トリップが開始される時間帯別に集計したものである。これに業務交通開始時刻の頻度割合を用い、その開

始時刻についてある時間間隔で集計すると、業務交通の開始時間帯ごとのトリップ開始時間帯別発生レイトが得られる。いま業務交通の開始時刻の頻度割合を分布関数 $f_s(t)$ で示すと、ある時刻 sk から $sk+h_s$ の間に開始される業務交通に対する時間帯別トリップ発生レイトが以下で与えられる。

$$p_b(sk, tk) = \int_{sk}^{sk+h_s} f_s(t) dt \sum_{si=sk}^{sk+h_s} p_b(si, tk) \dots\dots\dots(22)$$

$$p_w(sk, tk) = \int_{sk}^{sk+h_s} f_s(t) dt \sum_{si=sk}^{sk+h_s} p_w(si, tk) \dots\dots\dots(23)$$

ただし、1日24時間に対し、 $f_s(t)$ は、

$$\int_0^{24} f_s(t) dt = 1.0 \dots\dots\dots(24)$$

を満たす。これより時間帯別業務トリップと帰社トリップの発生レイトは、1日のうちに開始される業務交通を合計しそれぞれ次で求められる。

$$p_b(tk) = \sum_{sk=0}^{24} p_b(sk, tk) \dots\dots\dots(25)$$

$$p_w(tk) = \sum_{sk=0}^{24} p_w(sk, tk) \dots\dots\dots(26)$$

これらの発生レイトは、1人の就業者が業務交通を行う場合の時間帯別発生原単位を意味しており、これに業務交通を行う就業者数を乗じてやれば、時間帯別の業務トリップ量と帰社トリップ量とが計算される。

次章では、提案する需要モデルを現実のパーソントリップデータに適用し、その有効性を検証する。

3. 実証分析

(1) 使用データと分析の対象

a) 使用データ データには広島都市圏で1987年に実施されたパーソントリップデータのうち、業務交通を行っている就業者を取り上げる。その際、以下の制約を満たしていることを条件とする。

- ① 都市圏内での業務交通をとらえるという観点から、すべてのトリップエンドが都市圏内に存在すること。
- ② 11トリップ以上のデータのばらつきが大きいため、1日の総トリップ数が10トリップ以下であること。
- ③ 業務交通が勤務先をベースとして完結していること。
- ④ 業務交通のサイクル中に、私用、食事等の私的トリップが存在しないこと。
- ⑤ 利用する交通手段によって業務交通の特性が異なるため¹⁰⁾、業務交通を開始してから完結するまでの間で交通手段を変更しないこと。

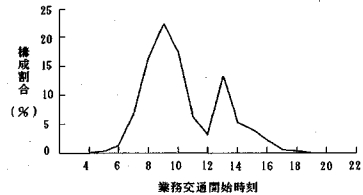
この結果業務交通を行う就業者数は、2861人となった。

b) 分析の対象 上述の条件を満たす就業者につい

表一 立ち回り時間の要因分析

要因	カテゴリ	スコア	偏相関係数	要因	カテゴリ	スコア	偏相関係数
交通手段	徒歩・自転車	-16.8	0.130	トリップ開始時刻	- 8:00	125.6	0.290
	自動車	2.1			8:01 - 10:00	-2.8	
	乗用車	3.5			10:01 - 12:00	-11.2	
	貨物車	-6.7			12:01 - 14:00	-22.7	
	公共交通機関	63.2			14:01 - 16:00	-37.8	
目的	娯楽・配達	-13.6	0.247	目的地	16:01 -	-42.2	0.110
	打ち合わせ・会議	-5.4			住居系	-0.4	
	作業・修理	112.9			商業系	-7.1	
	その他	-21.2			工業系	3.8	
サイクル	1サイクル	1.2	0.023	その他		32.1	
	2サイクル	-5.2					
	3サイクル以上	0.4					

注1) データ数: 5304, 注2) 重相関係数: 0.600



図一 業務交通の開始時刻別構成割合

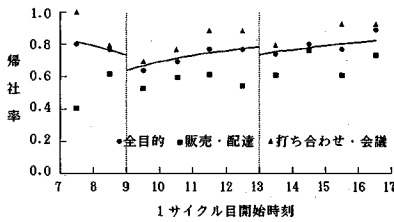
て、立ち回り時間と業務交通開始時刻の特徴をあらかじめ調べ、分析対象からデータのちらばりによる誤差をできるだけ排除し、推計法の適用性の検討を明確にする。

まず時間軸上で業務交通を表すのに重要となる立ち回り時間の説明要因について、数量化理論Ⅰ類を用いて調べた。表一に、分析に用いた要因とそのカテゴリ、およびスコアと偏相関係数とを示した。トリップ開始時刻の偏相関係数が最も大きく説明力の高い要因であるとともに、時刻が遅くなるにつれ立ち回り時間が減少しており、立ち回り時間をトリップ開始時刻の関数とすることの妥当性が認められる。また業務交通の目的によっても、立ち回り時間は大きく異なっている。立ち回り時間が業務交通の目的に依存する点については、戸田ら¹¹⁾の研究でも明らかにされている。トリップ開始時刻と目的に次いで偏相関係数の高いのは交通手段であるが、前の2要因との偏相関係数の差は大きい。しかしスコアをみると、徒歩・自転車および公共交通機関では、他の交通手段との差が顕著である。これらの結果から、分析の条件として以下の2つを設定する。

- ① 目的別に分析を行うため、業務交通を開始してから完結するまでの間目的を変更しないこと。
- ② 利用交通手段が乗用車か貨物車であること。

①の条件に該当するデータ数は86.5%で、多くの業務交通が開始された時点の目的のまま完結している。また②の条件については、全交通手段の76.4%を占める。

次に対象とする時間帯を検討するため、図一に全目的の業務交通開始時刻の時間帯別構成割合を示した。午前では9時、午後では13時にそれぞれピークが存在している。開始される時間帯は4時～21時までの長時間となっているが、7時以前と17時以降ではわずかである。



図一5 1サイクル目開始時刻別帰社率

表一2 1サイクル目開始数の目的別時間帯別構成割合

1サイクル目開始時刻	販売・配達	打ち合わせ・会議	作業・修理	その他	全目的
7:00 - 8:59	18.5	9.5	60.8	18.1	28.5
9:00 - 12:59	58.9	56.5	29.2	47.2	50.9
13:00 - 16:59	22.6	34.0	10.0	34.6	25.6

注) 単位は%

表一3 目的別帰社率

サイクル開始時刻	販売・配達	打ち合わせ・会議	作業・修理	その他	全目的
7	0.48	0.93	0.93	0.67	0.81
8	0.57	0.84	0.88	0.71	0.76
9	0.55	0.72	0.72	0.76	0.66
10	0.58	0.79	0.73	0.83	0.71
11	0.59	0.83	0.74	0.86	0.75
12	0.60	0.86	0.75	0.88	0.77
13	0.64	0.77	0.90	0.77	0.75
14	0.67	0.83	0.95	0.83	0.78
15	0.69	0.87	0.97	0.88	0.80
16	0.70	0.90	0.98	0.90	0.82

表一4 平均立ち回り数の推計精度

目的指標	販売・配達	打ち合わせ・会議	作業・修理	その他	全目的
相関係数	0.945	0.838	0.581	0.819	0.908

そこでデータが少ないことによる誤差を避けるため、分析の対象を7時~17時までの間とする。それは全データ数の、97.2%を占める。

(2) 立ち回り数とサイクル数の推計

a) 立ち回り数の推計 立ち回り数を求める際に必要とされる、サイクル開始時刻に対する帰社率を決定する。帰社率については、サイクル開始時刻が同じでも、それが何サイクル目であるかによって異なることが考えられるが、ここでは1サイクル目の帰社率を代表値として適用する。図一5に、1サイクル目の開始時刻ごとに集計した平均帰社率を示す。図では混乱を避けるため、業務交通目的として、販売・配達、作業・修理と、それに打ち合わせ・会議およびその他の目的を加えた全目的に関して示している。

これによると9時以降では全般的に1サイクル開始時刻が遅くなるにつれ帰社率は高くなる傾向にあり、業務交通に消費できる時間制約から考えて妥当なものとなっている。しかし9時と昼休み時間とにおいて、1サイクル目開始時刻と帰社率との関係が不連続となっている点も何え、9時以前では時間経過とともにむしろ帰社率が低くなる場合も存在している。このように両者の関係が不連続となった原因として以下が考えられる。9時では、(1) 早朝に開始された業務交通が、ミーティング等のためいったん帰社する場合が生ずる。(2) 表一2に示すように早朝では作業・修理を目的とする業務交通の割合が高く特性が偏る。すなわち作業・修理の場合業務先での滞在時間が長く、1つの立ち回りで帰社する割合が増え帰社率が高くなる。一方昼休み時間に関しては、昼食時間を一つのタイムリミットとして帰社が行われている。これらの点を考慮し、1サイクル目開始時刻と帰社率との関係を、7:00~8:59, 9:00~12:59, 13:00~16:59の3つの時間帯に分け検討することにする。

このような関係式を求める場合、ある関数形が仮定されることが一般的である。たとえば Kitamura et al.¹⁸⁾

は、トリップチェーン中の帰宅確率を、経過時間の指数関数として示している。しかしここでは1サイクル目開始時刻を3つの時間帯に分割するためデータ数が少なく、回帰分析で関数を決定しても統計的な意義は低いと考えられる。そこで交通機関の分担率曲線を引くと同じ手法で、できるだけ誤差が少なくなるように曲線を描き、これを帰社率曲線として適用することとした。図一5に帰社率曲線を全目的の場合について示した。ここで曲線は、上記文献を参考とし指数曲線を基本としている。以下の計算では、設定した帰社率曲線から求められる数値を、各サイクル開始時刻に対する帰社率として適用する。サイクル開始時刻に対する目的別帰社率を、表一3に示した。

次に得られた帰社率を用い、各サイクル開始時刻ごとに平均立ち回り数を推計しその精度を検証する。各立ち回り数の生起確率は、式(2)の密度関数で求める。時刻 s_i に開始されたサイクルの平均立ち回り数 n_{s_i} は、立ち回り数生起確率を用い次式で計算する。

$$n_{s_i} = \sum_{k=1}^{\infty} k f_{s_i}(k) \dots \dots \dots (27)$$

ここで、 $f_{s_i}(k)$ は立ち回り数 k の生起確率である。計算に取り込む立ち回り数については、生起確率が0.00001までで平均立ち回り数が飽和値となるため、ここで計算を打ち切る。ただし使用しているデータが10トリップ以下を対象としていることから、立ち回り数10までで飽和値に達しない場合ここで打ち切る。

7時から17時までに開始されるサイクルの平均立ち回り数を1時間ごとに求め、実測値と比較した結果を表一4に示した。推計精度は作業・修理以外では満足できるものである。作業・修理については、表一2に示したようにサイクルが開始される時間帯が他の目的と大きく異なる等、業務交通の特性が他と異なる点が多く、それを十分に推計できていないようである。

b) サイクル数の推計 サイクル数は、サイクル終

表一五 目的別サイクル終了率

1 サイクル終了時刻	販売 配達	打ち合わせ 会議	作業 修理	その他	全目的
7	0.85	0.87	-	-	0.71
8	0.58	0.73	-	0.67	0.58
9	0.47	0.67	0.50	0.54	0.57
10	0.49	0.62	0.54	0.68	0.59
11	0.51	0.58	0.57	0.76	0.60
12	0.53	0.56	0.59	0.79	0.61
13	0.69	0.90	0.60	0.91	0.83
14	0.81	0.94	0.90	0.95	0.90
15	0.87	0.96	0.94	0.97	0.94
16	0.93	0.97	0.97	0.98	0.97
17	0.97	0.98	0.98	0.99	0.98
18	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99

注) - はデータが存在しない

表一六 平均サイクル数の推計精度

目的 指標	販売 配達	打ち合わせ 会議	作業 修理	その他	全目的
相関係数	0.926	0.890	0.921	0.985	0.913

率を用いて計算する。サイクル終了率は、1 サイクルで業務交通を終了する比率とし、その終了時刻に依存する。サイクル終了率についても、帰社率と同様にサイクル終了率曲線を3つの時間帯に分けて設定する。ただし13時以降の範囲を、サイクル開始からのタイムラグを考え18時台までに延長する。7時から18時台までの1サイクル終了時刻に対するサイクル終了率を、サイクル終了率曲線から求め、目的別に表一五に示した。

次に得られたサイクル終了率を用い、サイクル終了時刻ごとに、式(4)のサイクル数の密度関数により平均サイクル数 m_{d1} を求める。 m_{d1} は次式で求められる。

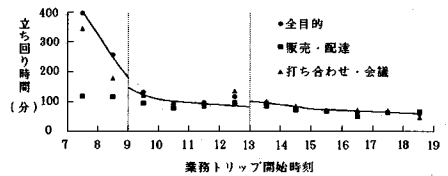
$$m_{d1} = \sum_{k=1}^4 kf_{d1}(k) \dots \dots \dots (28)$$

ここで、 $f_{d1}(k)$ はサイクル数 k の生起確率である。計算に取り込むサイクル数は、実測値での最大値4サイクルまでとする。

平均サイクル数の推計精度を表一六に示した。表一六より、平均サイクル数の推計精度はすべての目的に対し満足できるものである。

(3) 業務交通関連時間の設定

a) 立ち回り時間 立ち回り時間は、業務トリップの開始時刻から次トリップの開始時刻までの時間で定義し、トリップの開始時刻に依存すると考える。業務トリップ開始時刻に対する立ち回り時間を、全目的、販売・配達、および打ち合わせ・会議の場合について図一六に示した。これを見ると開始時刻が遅くなるにつれ立ち回り時間が減少し、それが指数曲線となる傾向にあることが伺える。この場合7時台から18時台までの間を1本の関数で示すこともできそうであるが、ここでは帰社率を決定したと同様に、立ち回り時間が9時、あるいは昼休み時間を1つのタイムリミットとして決定されていると考える。そこで立ち回り時間は、9時および13時を境



図一六 業務トリップ開始時刻別立ち回り時間

表一七 目的別立ち回り時間の平均と標準偏差

業務トリップ 開始時刻	販売 配達	打ち合わせ 会議	作業 修理	その他	全目的
7	120(180)	340(300)	520(185)	360(285)	400(260)
8	110(140)	190(155)	410(170)	190(210)	250(210)
9	85(110)	115(95)	240(180)	105(125)	115(125)
10	85(90)	105(80)	200(155)	85(100)	100(100)
11	85(75)	100(70)	170(125)	80(80)	95(85)
12	80(70)	95(70)	150(110)	75(75)	90(70)
13	80(60)	100(55)	125(75)	80(80)	90(60)
14	70(50)	80(45)	110(70)	70(75)	75(55)
15	65(45)	70(40)	95(60)	65(70)	65(50)
16	60(40)	65(40)	85(55)	60(70)	60(50)
17	60(40)	60(35)	75(55)	60(70)	60(50)
18	60(40)	55(35)	70(55)	55(70)	55(50)

注1) 単位は分 注2) ()内は標準偏差

界とする3つの時間帯に分け、帰社率曲線と同様の手順で立ち回り時間曲線を描いて求めた。描いた曲線を、全目的について図一六に示した。

立ち回り時間曲線から得られる立ち回り時間は、各開始時刻に対する平均値を与える。しかしながら開始時刻が同じでも、トラベラーによって立ち回り時間は変動すると考える方が現実的である。そこで立ち回り時間に正規分布を仮定し、標準偏差をフリーハンド曲線から求め、正規乱数により立ち回り時間を求める方法も採用する。

このようにここでは立ち回り時間として、次の2種類の時間を用いる。

- ① 平均値：立ち回り曲線から求められる立ち回り時間。
- ② 乱数値：立ち回り曲線とその標準偏差曲線から得られる平均値と標準偏差とを用い、正規乱数を発生させて求められる立ち回り時間。

なお各曲線から得られる業務トリップ開始時刻ごとの立ち回り時間の平均値と標準偏差を、表一七に示した。

b) サイクル間時間 サイクル間時間は、その前のサイクル終了時刻に依存して決定されると仮定する。サイクル間時間については、立ち回り時間と同様に、7時から18時台までを、9時と13時を境界として3つの時間帯に分割し、サイクル間時間曲線と標準偏差曲線とを描き、そこから得られるサイクル間時間とその標準偏差とを用い、①平均値、および②乱数値、2種類のサイクル間時間を設定する。表一八に、サイクル間時間曲線とその標準偏差曲線とから得られる、平均値と標準偏差とを示した。

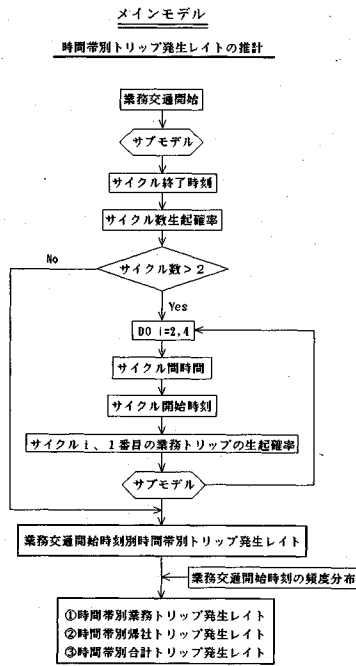
(4) 時間帯別発生レイトの推計

a) 推計フロー 定式化した推計モデルと、設定し

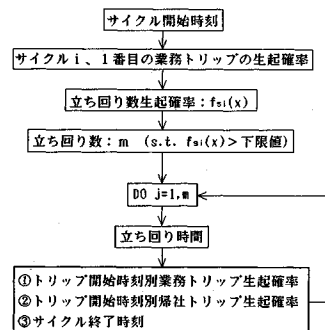
表一8 目的別サイクル間時間の平均と標準偏差

サイクル終了時刻	販売 配達	打ち合わせ 会議	作業 修理	その他	全目的
7	-	-	-	-	-
8	85 (50)	205 (150)	50 (35)	100 (5)	100 (90)
9	170 (110)	205 (85)	210 (170)	230 (190)	185 (140)
10	150 (80)	160 (80)	170 (105)	170 (115)	155 (95)
11	130 (60)	130 (70)	120 (60)	135 (75)	130 (65)
12	105 (50)	115 (60)	90 (45)	110 (55)	110 (55)
13	105 (65)	80 (40)	60 (15)	80 (40)	95 (55)
14	95 (60)	65 (40)	55 (15)	50 (30)	85 (50)
15	85 (60)	55 (40)	50 (15)	40 (25)	75 (45)
16	80 (55)	50 (40)	45 (15)	30 (20)	70 (40)
17	75 (55)	45 (40)	45 (15)	25 (20)	65 (40)
18	-	-	-	-	-

注1) 単位は分 注2) () 内は標準偏差
注3) -はデータが存在しない



サブモデル
トリップ開始時刻別トリップ発生確率の推計



図一7 時間帯別発生レイトの推計フロー

た業務交通関連時間とを用い、時間帯別業務交通発生レイトを推計する。推計フローの概略を図一7に示す。推計フローは、メインモデルとサブモデルとから構成される。

サブモデルでは、サイクル開始時刻とそのサイクルの1番目のトリップ生起確率をインプットデータとし、トリップ開始時刻別の業務トリップと帰社トリップの生起確率、および次のサイクルの開始時刻を設定するためのサイクル終了時刻がアウトプットされる。

次にメインモデルでは、以下の手順で目的とする時間帯別トリップ発生レイトを推計する。

① 各業務交通開始直後の1サイクル目の開始時刻と、1番目の業務トリップ生起確率1.0をサブモデルにインプットし、トリップ開始時刻別の業務および帰社トリップ生起確率、およびサイクル終了時刻(これは帰社トリップ開始時刻に等しい)を計算する。このときこれらの諸量を、業務交通開始時刻ごとに記憶させておく。

② 各サイクル終了時刻に対するサイクル数生起確率を計算し、業務交通開始時刻ごとに記憶する。

③ 前サイクルのサイクル終了時刻、帰社トリップ生起確率、およびサイクル数生起確率とから、次サイクルの開始時刻と1番目のトリップ生起確率とを求め、サブモデルにインプットし、トリップ開始時刻別業務および帰社トリップ生起確率と、サイクル終了時刻を計算し、業務交通開始時刻ごとに記憶する。これをサイクル数分繰り返す。

④ 業務交通開始時刻ごとに、各サイクルのトリップ開始時刻別生起確率を、時間幅 h_t について集計し、業務交通開始時刻別時間帯別業務および帰社トリップ発生レイトを計算する。

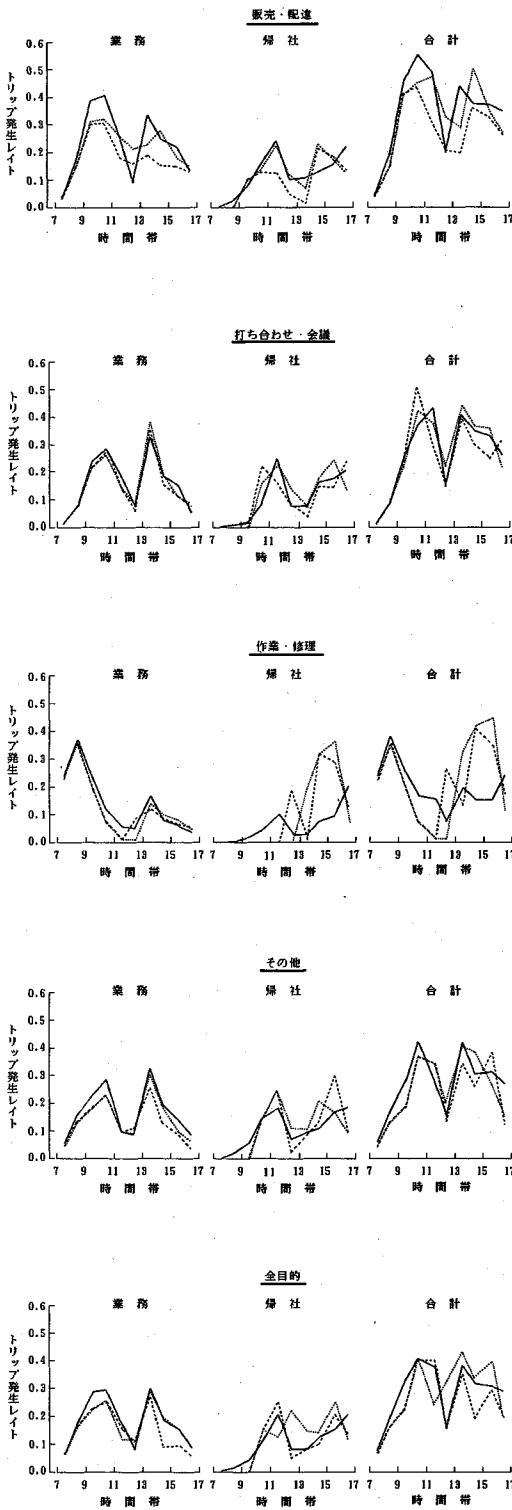
⑤ 業務交通開始時刻分布と業務交通開始時刻別時間帯別トリップ発生レイトとから、時間幅 h_s に対する時間帯別業務および帰社トリップ発生レイトを計算する。

b) 推計結果の検討 推計フローに基づき、時間帯別発生レイトを、目的別、および業務交通関連時間の平均値、乱数値別にそれぞれ求めた。その結果を、本研究で対象とするデータの実測値とともに図一8に示し、さらに実測値との相関係数を表一9に示した。なお一般の交通計画で取り扱われる業務トリップは、本研究でいう業務トリップと帰社トリップの合計で示されることから、ここでは合計値についても示している。計算条件として、業務交通開始時刻のピッチと、時間幅 h_t および h_s は1時間としている。また業務交通開始時刻分布については、本研究の定式化の範囲に含まれていないため実測値を適用している。帰社率、サイクル終了率、立ち回り時間、およびサイクル間時間については、表一3、表一5、表一7、および表一8で示される1時間ピッチの諸量をそれぞれ使用している。すなわちたとえば計算さ

表-9 トリップ発生レイトの推計精度

使用する業務交通関連時間	トリップの種類	販売 配達	打ち合わせ 会議	作業 修理	その他	全目的
平均値	業務	0.853	0.971	0.969	0.983	0.950
	帰社	0.797	0.867	0.258	0.767	0.580
	合計	0.832	0.951	0.310	0.840	0.654
乱数値	業務	0.897	0.970	0.960	0.951	0.919
	帰社	0.667	0.786	0.344	0.838	0.897
	合計	0.861	0.865	0.140	0.839	0.892

注) 数値は相関係数



注) ここで、—— 実測値 - - - - 関連時間に平均値使用 関連時間に乱数値使用

図-8 トリップ発生レイトの推計値と実測値

れたサイクル開始時間が、9:15とか9:42とかである場合、それに対応する帰社率は一律に9時台のものを使用している。

推計値と実測値との比較結果をみると、業務トリップに関しては、すべての目的に対しておおむね実測値を再現している。この傾向は、業務交通関連時間に平均値、乱数値いずれを用いた場合でもあまり差はみられない。

帰社トリップに関しては、業務交通関連時間に平均値を使用した場合、業務トリップと比べ全般に推計精度が低いものの、販売・配達、打ち合わせ・会議、およびその他ではほぼ満足できるものとなっている。全目的については、乱数値を使用した場合平均値と比べ精度は改善され、満足できる水準となっている。しかし乱数値を用いたことにより推計精度が低下する場合も存在し、販売・配達および打ち合わせ・会議でその傾向がみられる。

合計トリップに注目すると、平均値を使用した場合には、販売・配達、打ち合わせ・会議、およびその他については満足できる推計精度が得られているが、作業・修理と全目的では精度は低い。しかし全目的については、乱数値を用いた場合満足できる水準まで精度は改善されている。

4. おわりに

本研究では時間帯別の業務交通需要量の推計法を提案し、パーソントリップデータへの適用を通して、実用上の問題点や有効性を検討した。推計法の特徴は、業務目的で行われる1日のトリップチェーンに幾何分布を仮定し、サイクル数生起確率と各サイクル中の立ち回り数生起確率とを求め、業務交通関連時間との関係から時間軸上で業務交通需要量を推計している点。さらにそこで用いられる帰社率、サイクル終了率、および業務交通関連時間が、業務交通に消費できる時間制約との関係から、時刻に依存するとしている点にある。

提案した推計法について、実証分析を通して得られた結果をまとめると以下ようになる。

(1) サイクル開始時刻別に立ち回り数生起確率を求め、立ち回り数の期待値を推計したところ、作業・修理以外では満足できる推計精度が得られた。作業・修理については、朝9時までで60%以上の業務交通が開始さ

れること、その時間帯での立ち回り時間が他の目的と比べ長いこと等、業務交通の特性が他と異なり、この特性の相違がモデルによって十分説明できないためである。さらに作業・修理ではサイクルの開始が朝の早い時間帯に集中するため、開始数が極端に少なくなる時間帯が生じ、これが推計精度低下の原因となっているとも考えられる。ちなみにデータ数が10未満の時間帯を除いたところ、相関係数は0.721と改善された。

(2) サイクル数についても、サイクル終了時刻別にサイクル数の期待値を推計し実測値と比較した。ここでは作業・修理を含めて、すべての目的について満足できる推計精度が得られた。

(3) 時間帯別トリップ発生レイトを、業務、帰社、およびその合計について求め、推計精度を検証した。業務トリップについてはおおむね満足できる精度が得られ、業務交通関連時間に平均値、乱数値を用いた場合の差はあまりみられなかった。帰社および合計トリップについては、作業・修理を除き満足できる推計精度が得られた。ただし全目的においては、業務交通関連時間に平均値を使用した場合精度は低く、乱数値を使用した場合に満足できる水準に改善されている。その逆に乱数値を用いたことにより推計精度が低下する場合も生じ、帰社トリップにおける販売・配達および打ち合わせ・会議でその傾向がみられる。

以上の結果から、提案する推計モデルについて次がいえそうである。

(1) サイクル数と立ち回り数の推計に幾何分布を仮定した点については、おおむね妥当性が認められる。

(2) 業務交通に消費できる時間制約の概念から、経過時刻に依存するとして定義した諸量の適用、および提案する推計モデルは、本研究で対象としている業務交通の実態を全般に精度良く説明しており、その有効性が認められる。

(3) しかし業務の目的によって業務交通需要を十分に説明できない場合や、業務交通関連時間として平均値か乱数値いずれか一方が適合する場合が生ずることも明らかにされた。

本研究で提案するモデルは、勤務先をベースとし、1日の業務交通のトリップチェーンが開始されてから終了するまでを、時間経過に沿って表現するものである。ここでは業務交通に消費できる時間制約の概念を導入していることから、業務交通の開始時刻の変更に伴う業務トリップへの影響が、時間制約の下で数量的に求めることが可能である。しかしモデルに用いた諸量が現実のデータを基礎としているため、業務交通行動における大きな構造変化のないことが前提となり、本モデルは現時点では短期的な予測モデルとして位置づけられる。汎用性の高いモデルへと展開するためには、モデルに適用した諸

量と業務交通行動の動向や業務交通にかかわる諸要因との関連性や、業務交通の開始時刻決定のメカニズムを解明することが望まれる。

参考文献

- 1) Hagerstrand, T.: What about People in Regional Science?, Papers of the Regional Science Association, Vol.24, pp.7~21, 1970.
- 2) 近藤勝直: トリップチェーン形成過程のプリズム効用モデル, 土木学会論文集, 第377号/IV-6, pp.71~78, 1987.
- 3) Kitamura, R., Kostyniuk, L.P. and Uyeno, M.J.: Basic Properties of Urban Time-Space Paths: Empirical Tests, Transportation Research Record 794, pp.8~19, 1981.
- 4) Zahavi, Y. and Talvitie, A.: Regularities in Travel Time and Money Expenditures, Transportation Research Record 750, pp.13~19, 1980.
- 5) Downes, J.D. and Emmerson, P.: Urban Transport Modelling with Fixed Travel Budgets (An Evaluation of the UMOT Process), TRRL, SR799, 1983.
- 6) Radovanac, M.: Transferability of the UMOT Model: Tests on Two Yugoslav Cities, Transportation Planning Methods, Proceedings of Seminar H, PTRC 12th Summer Annual Meeting, pp.159~168, 1984.
- 7) Kobayashi, K.: An Activity Model: A Demand for Transportation, Transportation Research, Vol.10, pp.105~110, 1976.
- 8) Kitamura, R. and Lam, T.N.: A Time Dependent Markov Renewal Model of Trip Chaining, Proceedings of 8th International Symposium on Transportation and Traffic Theory, pp.376~402, 1983.
- 9) 近藤勝直: 交通行動分析, 晃洋書房, pp.157~191, 1987.
- 10) 宮城俊彦・加藤 晃: 交通関連行動時間を考慮した都市交通需要モデル, 土木学会論文報告集, 第254号, pp.81~93, 1976.
- 11) 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/IV-8, pp.111~119, 1988.
- 12) 藤田素弘・山本幸司・松井 寛: 渋滞を考慮した時間帯別交通量配分モデルの開発, 土木学会論文集, 第407号/IV-11, pp.129~138, 1989.
- 13) 加藤文教・門田博知: 業務交通の時間制約に関する基礎的分析, 土木学会論文集, 第425号/IV-14, pp.53~62, 1991.
- 14) 佐々木綱・西井和夫: トリップチェーン手法を用いた都市内業務交通の発生集中量の分析, 土木学会論文報告集, 第327号, pp.129~138, 1982.
- 15) 近藤勝直・菊地賢三: トリップパターンに関する二、三の考察, 交通工学, Vol.21, No.2, pp.7~14, 1986.
- 16) 前掲書13)
- 17) 戸田常一・谷口 守・秋本直人: 都心地区における来街者の滞留行動に関する研究, 日本都市計画学会学術研究論文集, pp.79~84, 1990.
- 18) 前掲書8)

(1991.2.28 受付)

AN EMPIRICAL STUDY ON HOURLY ESTIMATION METHOD OF THE DAY FOR BUSINESS TRIPS

Fuminori KATO and Hirokazu MONDEN

The objective of this paper is to suggest the hourly estimation model of the day for business trips. The two assumptions are adopted in this model as follows : (1) the probabilities that a traveler returns to his office after n -th sojourn in m -th cycle and finishes his trip chaining after m -th cycle are approximately geometrically distributed, (2) such factors which applied to estimate the above probabilities depend on time under the time budget constraints as the ratio of trip chaining has only a sojourn in each cycle and the time intervals between trips and between cycles.

Through the empirical application of the model to estimate hourly trip rates of the day, it is concluded that the assumptions are acceptable and the model is successful for the quantitative analyses of the effects of policy changes on the business travel behaviors.
