

時間制約を考慮した1日の交通・活動 スケジュール決定プロセスのモデル化*

MODELLING A DECISION PROCESS OF HUMAN TRAVEL-ACTIVITY SCHEDULE
CONSIDERING TIME CONSTRAINTS

河上省吾**・磯部友彦***・仙石忠広****

by Shogo KAWAKAMI, Tomohiko ISOBE and Tadahiro SENGOKU

In this paper, we try to represent a human travel-activity behaviour under time constraints, using the theory of maximizing random utility. The time of day when starting activity and the spent time of activity are incorporated into utility function which indicates effectiveness of activities. Therefore, the time constraints can be considered and the continuation of time and the derivative property of travel are represented correctly. Further we operationalize this problem to that of choices of activity patterns. Finally, we use the developed model to predict the change of activity pattern for workers, when the reduction of working hours is performed.

1. 緒言

本研究は、人間生活の最も基本的な活動の周期である1日を対象とした交通・活動スケジュール決定プロセスのモデル化を試みるものである。

ここで交通・活動スケジュールとは、種々の活動の実施、それらの活動への時間配分、活動場所移動に伴う交通の発生といった一連の行動を実施時刻順に時間軸上に並べたものである。ある特定の日に実施された人の活動に着目すると、その日に必ず実施されなければならなかった活動と当初の予定には無かったが実施された活動とに分けられる。そこで、予定に従って実施せざるを得なかったという意味で

前者を「必須活動」、当日における活動選択の結果に従って実施されたという意味で後者を「選択活動」と呼ぶことにする。ただしこの区分は同種の活動でも日により変わりうる。

この交通・活動スケジュールの例として、勤務という必須活動を行う就業者が勤務以外に買物等の自由活動を行う場合の模式図を図-1に示す。ここでは在宅Hと勤務Wが必須活動、自由活動A～Dが選択活動であると考えられる。そして、交通・活動スケジュール決定プロセスとは在宅、勤務等の必須活動を実施しなければならないという条件下で自由活動への時間配分と活動場所とそこに至る交通手段を決定するというプロセスである。

本研究では、勤務という必須活動を持つ就業者を対象として議論を進め、就業者の時間・空間系での交通・活動スケジュールを記述するモデルを勤務時間、勤務場所という制約条件を考慮して構築する。もっとも、これによって得られた理論は就業者以外

* キーワーズ 交通・活動スケジュール、時間制約、効用最大化

** 工博 名古屋大学教授 工学部 土木工学科
(〒464名古屋市中区不老町)

*** 工修 名古屋大学助手 工学部 土木工学科(同上)

**** 工修 愛知県技師 津島土木事務所
(〒496津島市西柳原町1-14)

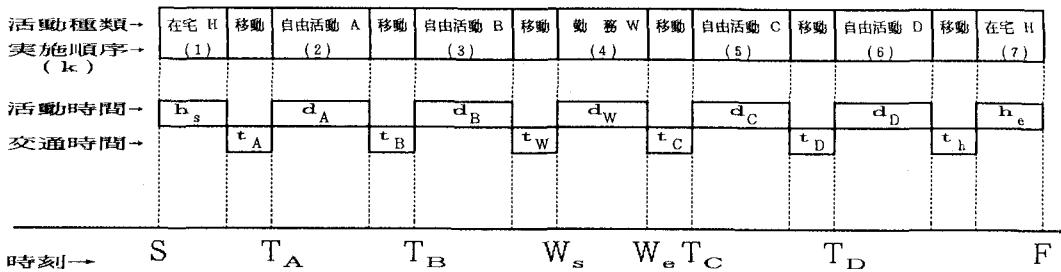


図-1 交通・活動スケジュールの例

にも必須活動と選択活動の関係を考慮することにより適用可能である。

従来、就業者に対する時間配分の研究は、消費者行動の経済学における伝統的な効用理論の枠組みの範囲で研究がなされてきた。交通行動分析と関連が深いものとしては、De Serpa¹⁾とBruzelius²⁾の効用モデルを取上げることができる。この効用モデルより交通選択モデルの誘導が種々試みられている³⁾⁴⁾。

しかし、いずれの場合も活動または交通が実施される回数、それに配分される時間といった量的側面が考慮されているに過ぎない。

そこで本研究では、活動実施時刻をも考慮して個人が得る効用を表現する。さらに、勤務の開始・終了時刻といった時間制約下、勤務場所といった空間制約下における効用最大化という行動規範に基づいた交通・活動スケジュール決定モデルを構築する。

2. 1日の交通・活動スケジュールの効用

本研究で定義した選択活動は潜在的には多く存在する。しかし、種々の制約が存在するために実施できるのは限定される。さらに実施された活動への消費時間配分は在宅への時間配分を考慮して決定される。よって勤務以外に n 個の潜在的選択活動を持つ人の交通・活動スケジュールの効用は、次に定義する効用関数により表現される。

$$U = U(G \cdot y, G \cdot d, G \cdot T, G \cdot t, G \cdot X, h_s, h_e, t_w, t_h) \quad (1)$$

ここに、 y : 選択活動の実施により得られる市場財あるいはサービスの量; d : 選択活動の消費時間; T : 選択活動の開始時刻; t : 選択活動実施場所への交通所要時間; X : 選択活動の実施場所の魅力度; h_s : その日の最初のトリップを行なう前の在宅時間;

h_e : 最後のトリップ後の在宅時間; t_w : 勤務場所への交通所要時間; t_h : 最後の帰宅トリップの交通所要時間。ただし、 y 、 d 、 T 、 t 、 X のいずれも n 次元ベクトルである。 G は多くの選択活動の中から実施する活動を選ぶことを表現する n 次元ベクトルで、次に示されるようなベクトル成分を持つ。

$$G_i = \begin{cases} 1, & \text{選択活動 } i \text{ を実施するとき、} \\ 0, & \text{選択活動 } i \text{ を実施しないとき。} \end{cases}$$

この効用関数内の変数 h_s 、 h_e は在宅活動時間による1日の効用への寄与を表し、 t_w 、 t_h は勤務あるいは在宅活動を行う場所（勤務場所と家）への交通所要時間が1日の効用へ影響することを表す。また、 $G \cdot y$ 、 $G \cdot d$ 、 $G \cdot T$ 、 $G \cdot t$ 、 $G \cdot X$ により基本活動パターンである在宅・勤務・在宅以外に選択活動を実施することによる効用の増分が表現可能である。

3. 1日の交通・活動スケジュール決定における制約条件

最大効用をもたらす交通・活動スケジュールを決定するにあたって、いくつかの制約条件が存在する。本研究では次の4制約を考える。

- ①所得制約、②消費時間の下限制約、
- ③時間の連続性制約、④活動場所の連続性制約。

①は伝統的消費者行動理論で考慮されてきたものである。②はDe Serpa¹⁾によって活動時間配分理論に導入されたものである。交通・活動スケジュール決定においては活動を行うのに必要な最小時間の制約となる。③および④は、本研究においてとくに検討を加えるものである。以下に詳述する。

まず、③の時間の連続性制約について述べる。各活動に割り当てる時間量のみを決定する従来の時間配分理論とは異なり、本研究で扱う交通・活動スケ

ジュールの決定は各活動の開始時刻をも決定しようというものである。このことにより、たとえば勤務開始時刻と他の活動との関係が表現され、必須活動の開始、終了時刻の変化が選択活動の実施に与える影響を表現できる。この制約の一般的な定式化は次のようになされる⁵⁾。

$$T^{k+1} - (T^k + d^k) = t(l^k, l^{k+1}, T^k + d^k) \quad (2)$$

ここに T^k : 実施順序が k 番目の活動の開始時刻、 d^k : 実施順序が k 番目の活動の消費時間、 l^k : 実施順序が k 番目の活動の活動場所、 $t(i, j, s)$ は時刻 s に交通を始めるときの場所 i, j 間の交通所要時間。

しかし、交通・活動スケジュールは(2)式に示される制約条件によって一意には決定されない。そこで図-1に示された例を用いて、時間の連続性制約の定式化を考える。この例において、時刻 W_s, W_e は勤務の開始、終了時刻を示し、時刻 S, F は活動開始、終了可能時刻を示す。 T_A, T_B, T_C, T_D は自由活動 A, B, C, D の開始時刻である。これらの時刻を示す変数を基準時刻からの時間量と考えるとこれらの間には次のような関係がある。

$$T_A = W_s - t_w - d_B - t_B - d_A = T_B - t_B - d_A \quad (3.1)$$

$$T_B = W_s - t_w - d_B \quad (3.2)$$

$$T_C = W_e + t_C \quad (3.3)$$

$$T_D = W_e + t_C + d_C + t_D = T_C + d_C + t_D \quad (3.4)$$

活動の行われる順序は、各活動の開始時刻 $T_A, T_B, T_C, T_D, W_s, W_e$ の大小関係によって示される。図-1の例の場合、(3.1)~(3.4)式は $T_A < T_B < W_s, W_e < T_C < T_D$ を表現している。逆に各活動の実施順序が与えられれば、各活動の開始時刻 $T_A \sim T_D$ は(3.1)~(3.4)式に示されるように $d_A \sim d_D, t_A \sim t_D, t_w, W_s, W_e$ を用いて表現される。よって各活動の開始時刻のかわりに必須活動である勤務をも含めた活動の実施順序を示すベクトル K を新たに用いて(1)式は次式のように書き直される。

$$U = U(G \cdot y, G \cdot d, G \cdot t, G \cdot X, K, h_s, h_e, t_w, t_h) \quad (4)$$

ここに、 K : 選択活動 i (ただし $G_i = 1$ である活動のみ) と必須活動の実施順序を表す m 次行ベクトル ($m \leq 1 + \sum_{i=1}^n G_i$)。

このことから、活動の時間連続性制約は活動の実

施順序を考慮することにより満たされる。

次に、④の活動場所の連鎖性制約について述べる。活動 i を行うのに必要とする交通時間 t_i は前後の活動場所の位置と交通手段の速度により決まる。この制約は前後の活動場所の組み合わせにより移動に必要な交通時間が変化することを表現するものである。

活動 i を行うのに利用可能な場所集合 L_i を考える。

$$L_i = \{l^r_i\}, \quad (r=1, \dots, R_i) \quad (5)$$

ここに、 l^r_i : 活動 i を行うことができる r 番目の場所、 R_i : 活動 i を行うことのできる活動場所の数。

さらに、次のような変数を設ける。

$$\theta^r_i = \begin{cases} 1: \text{活動場所が } l^r_i \text{ の時;} \\ 0: \text{その他} \end{cases}$$

$$\left(\text{ただし1度の選択において } \sum_{r=1}^{R_i} \theta^r_i = 1 \right)$$

活動 i から活動 i' への遷移における交通所要時間 $t_{ii'}$ は、次式で表される。

$$t_{ii'} = \sum_{r \in L_i} \sum_{r' \in L_{i'}} (t_{rr'} \cdot \theta^r_i \cdot \theta^{r'}_{i'}) \quad (6)$$

ここに、 $t_{rr'}$: 活動場所 r から活動場所 r' への交通所要時間

よって、活動場所の連鎖パターンをベクトル $\theta = \{\theta^r_i\}$ で表現し、これを(4)式に導入する。

以上、交通・活動スケジュール決定における制約条件の考察ならびに定式化を行った。次節では交通・活動スケジュール決定問題を定式化する。

4. 交通・活動スケジュール決定の定式化

1日の効用を最大とするような交通・活動スケジュール決定の定式化を次に示す。

$$\begin{aligned} &\text{maximize } U(G \cdot y, G \cdot d, G \cdot t, G \cdot X, \\ &\quad K, \theta, h_s, h_e, t_w, t_h) \end{aligned} \quad (7)$$

$$\text{subject to } C_w \cdot t_w + \sum_{i=1}^n (y_i \cdot E_i + C_i \cdot t_i) \cdot G_i = I = d_w \cdot \bar{w} + Z \quad (8)$$

$$d_i \cdot G_i \geq q_i \cdot G_i \quad (9)$$

$$T^k + d^k + t^{k+1} = T^{k+1} \quad (10)$$

$$t^{k+1} = \sum_{r \in L_i} \sum_{r' \in L_{i'}} (t_{rr'} \cdot \theta^r_i \cdot \theta^{r'}_{i'}) \quad (11)$$

$$(i, i', k=1, \dots, n)$$

ここに、(8)式は所得制約を示し、 E_i は財・サービスの単位当りの価格、 C_i, C_w は単位時間当りの交通費用である。また、 I は可処分所得でありこれは勤務時間 d_w とその単位時間当たりの報酬 $\bar{w}$ との積およびその他の所得 Z とからなる。(9)式は消費時間の下限

制約を示し、 q_i は活動 i を行うのに必要な最小時間である。(10)、(11)式はそれぞれ前節で述べた時間の連続性制約と活動場所の連鎖性制約である。

しかし、この問題を直接解くことは非常に困難である。(7)式の U は、活動を行なうかどうかを示す G とその活動の順序を示す K と活動場所を示す θ という3つの離散型変数ベクトルとその他の連続変数ベクトルの関数である。そこで、 G 、 K 、 θ の組合せを1つの活動パターンと考えることにより上の問題は次のようにして解くことができる。

まず、 G 、 K の組合せを活動パターン集合 $P = \{p_1, \dots, p_s\}$ で表現し、活動パターン p_i 毎に効用関数 U_{p_i} ($i=1, \dots, s$) を考える。

$$U_{p_i} = U(y, d, t, X, h_s, h_e, t_w, t_h | p_i) \quad (12)$$

次に θ で表現される活動場所連鎖を場所パターン集合 $B = \{b_1, \dots, b_r\}$ で表現し、場所パターン b_j 毎に、効用関数 $U_{p_i b_j}$ ($i=1, \dots, s; j=1, \dots, r$) を考える。

$$U_{p_i b_j} = U(y, d, t, X, h_s, h_e, t_w, t_h | p_i, b_j) \quad (13)$$

そして活動パターン集合 P と場所パターン集合 B が与えられたときに効用最大となる交通・活動スケジュール（つまり $y, d, t, X, h_s, h_e, t_w, t_h$ ）を求め、これらの実施可能な活動パターン、場所パターンの中から最大の効用 $U_{p_i b_j}^*$ をもたらすような交通・活動スケジュールを決定する。

$$\begin{aligned} U_{p_i b_j}^* &= U(y^*, d^*, t^*, X^*, h_s^*, h_e^*, t_w^*, t_h^*) \\ &= \max_{p_i \in P} U_{p_i} b^* \\ &= \max_{p_i \in P} \left[\max_{b_j \in B} U_{p_i b_j} \right] \end{aligned} \quad (14)$$

ここに $y^*, d^*, t^*, X^*, h_s^*, h_e^*, t_w^*, t_h^*$ は、 $y, d, t, X, h_s, h_e, t_w, t_h$ の最適解ベクトル、 $U_{p_i b_j}^*$ は、活動パターン p_i において効用最大となる場所パターンをとったときの効用値である。

以上のように交通・活動スケジュールは、活動パターン、場所パターンという2段階の効用最大化問

題に置換えられることにより求められる。次節ではこの解法に従って実績データを用いて交通・活動スケジュール決定モデルの構築を試みる。

5. 非集計選択モデルによる交通・活動スケジュール決定モデルの構築

本節では、勤務の他に自由活動（日常的活動、非日常的活動、社交活動、塾・おけいこ活動等）を実施する就業者を対象に、図-2に示した4つの活動パターン（ p_1, p_2, p_3, p_4 ）を選択肢とする活動パターン選択モデルを構築する。

この活動パターンの定義においては、就業者が業務活動によって生じる活動パターンは全て勤務という1つの活動の中にまとめられている。この定義に従えば最も構成比率の高いものは在宅・勤務・在宅といういわゆるピストン型の活動パターンである。

（第2回中京都市圏パーソントリップ調査における名古屋市内居住の就業者の活動パターンのうち、約84%がピストン型であった。）構成比率の大きさからいって、ピストン型活動パターンをもモデル化の対象に含めるべきだが、そのためには、人の行動を活動の頻度選択として定式化する必要がある。しかし本研究では、活動の頻度選択までは取扱わず、交通・活動スケジュール決定における制約条件の影響を確めるために、勤務以外の自由活動が1個という状況下に限定して交通・活動スケジュール決定モデルの構築を行う。なお、 $p_1 \sim p_4$ の活動パターンがピストン型を除く全ての活動パターンに対する構成比率は約81%（第2回中京都市圏パーソントリップ調査の場合）であり、これらはピストン型以外の就業者の活動パターンを代表するものといえる。

また、本節では、パーソントリップデータを用いてモデルの構築を行うものであり、以後の理論展開においては、パーソントリップデータから得られる情報のみを取扱う。よって3節で述べた制約条件のうち、可処分所得による制約は考慮できない。

これまでに取扱ってきた効用は確定的であり、観測不能な要因や個人の嗜好などの要因による効用のランダム性を考慮していない。そこで本節では、前節で述べた活動パターン決定、場所パターン決定の各段階で求まる最大効用がランダムに変動することを考慮する。そして前節の問題は、非集計選択モデ

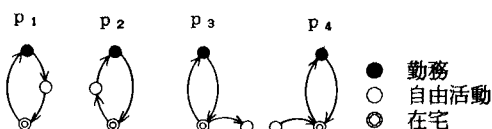


図-2 対象とする活動パターン

ルを用いて、活動パターン選択・活動場所選択といった段階的な選択モデルに置換えられる。

前節の理論を非集計選択モデルを用いて表現する際、次のような仮定を設ける。

1) 効用関数内の各変数間の関係は、線形である。

2) 人は効用最大化行動をする。そこで、最大の効用をもたらす活動消費時間 d_A^* 、一時帰宅時在宅時間 d_h^* (活動パターン p_3 、 p_4 についてのみ考慮) の与えかたは、まず実際に個人が選択した活動パターン・活動場所に対しては、実績値が d_A^* 、 d_h^* であると見なしこの実績値をそのまま用いる。また活動消費時間、一時帰宅時在宅時間とそれを実施した個人の属性や交通所要時間等の変数との関係について、時間連続性 (たとえば、(3.1)~(3.4)) を考慮して活動パターン毎に重回帰分析を行い、この回帰式を使って実際には選択しなかった代替案に対して d_A^* 、 d_h^* を求める。

3) 交通所要時間は時刻帯による変化はなくゾーン間毎に一定とする。そしてゾーン間の交通所要時間については、実際に個人が選択した活動パターン・活動場所に対しては実績値をそのまま用い、実際には選択しなかった代替案に対しては、各ゾーン間の平均交通所要時間の実績値 (各交通手段の重み付け平均) を用いる。

本研究では、活動パターンとその活動が行なわれる活動場所の選択を扱うわけであるが、選択肢相互の類似性 (IIA特性) により発生する問題点^{6) 7)} を避けるために、活動パターンと活動場所の単純な同時選択とはしない。まず活動パターンを決定し、活動場所の選択は、既に決定された活動パターンの条件下で行なうものとする。そしてこの段階選択が同時選択における効用最大化との整合性を保証できる非集計 Nested Logit モデルを適用する⁶⁾。以下に、モデルの作成手順の概要を述べる。

まず、活動パターンが決定したという条件下で、活動場所選択 Logit モデルを作成する。ここで、このモデルから活動場所 r の効用関数 V_{rip_i} が活動パターン p_i 毎に計算される。続いて、各活動パターン p_i を選択する際に活動場所に係する効用値 Sp_i を合成変数 (ログサム変数) とする。

$$Sp_i = \frac{1}{\lambda_1} \ln \sum_{r \in R_i} \exp(\lambda_1 V_{rip_i}) \quad (15)$$

ここで、 λ_1 は活動場所を選択する場合の効用の分散に係するパラメータである⁷⁾。各活動パターン p_i の効用関数は、活動場所とは無関係な効用 Vp_i と (15) 式の Sp_i との和として与えられ、活動パターン p_i の選択確率 Qp_i は次式のように表される。

$$Qp_i = \frac{\exp[\lambda_2 (Sp_i + Vp_i)]}{\sum_{p_j \in P} \exp[\lambda_2 (Sp_j + Vp_j)]} \quad (16)$$

ここで、 λ_2 は活動パターン p_i の効用の分散に係するパラメータである。

以上に述べた Nested Logit モデルを用いて活動パターン選択モデル、活動場所選択モデルの構築を行った。表-1、表-2に各個人が利用しなかった代替案に対する自由活動の消費時間 d_A^* と一時帰宅時在宅時間 d_h^* とを与えるための回帰式を示す。

表-1 活動消費時間算定回帰式

被説明変数	活動パターン p_1		活動パターン p_2	
	自由活動消費時間 d_A^*	帰宅後在宅時間 d_h^*	自由活動消費時間 d_A^*	出発前在宅時間 d_h^*
勤務開始時刻 W_s (分)	0.0141 (0.4)	-0.0141 (0.4)	0.353 (10.1)	0.647 (18.4)
勤務終了時刻 W_e (分)	-0.377 (18.2)	-0.663 (35.8)	-0.166 (3.5)	0.166 (3.5)
TRIP1の所要時間 (分)			0.892 (4.1)	-1.89 (8.6)
TRIP2の所要時間 (分)	-0.46 (16.0)	-0.554 (0.7)	0.0642 (0.3)	-1.06 (5.1)
TRIP3の所要時間 (分)	0.692 (6.1)	-1.69 (4.9)		
活動場所の魅力度 (兆円)	4.41 (7.0)	-4.41 (7.0)	-1.74 (1.2)	1.74 (1.2)
性別ダミー ^b	66.4 (16.2)	-66.4 (16.2)	26.8 (2.8)	-26.8 (2.8)
日常目的ダミー	-58.7 (5.5)	58.7 (5.5)	5.32 (0.2)	-5.32 (0.2)
非日常目的ダミー	-37.9 (3.4)	37.9 (3.4)	23.1 (0.7)	-23.1 (0.7)
社交目的ダミー	-19.5 (1.7)	19.5 (1.7)	-3.13 (0.1)	3.13 (0.1)
塾目的ダミー	13.7 (1.1)	-13.7 (1.1)	1.67 (4.3)	-1.67 (4.3)
年令ダミー-1 ^c	30.3 (2.1)	-30.3 (2.1)	9.34 (0.3)	-9.34 (0.3)
年令ダミー-2 ^d	19.0 (1.7)	-19.0 (1.7)	34.1 (1.8)	-34.1 (1.8)
年令ダミー-3 ^e	14.4 (1.3)	-14.4 (1.3)	40.8 (6.4)	-40.8 (6.4)
年令ダミー-4 ^f	5.14 (0.5)	-5.14 (0.5)	38.2 (2.1)	-38.2 (2.1)
年令ダミー-5 ^g	-2.42 (0.2)	2.42 (0.2)	24.5 (1.2)	-24.5 (1.2)
定数	410	1030	-110	110
重相関係数	0.831	0.825	0.819	0.897
平均値 (分)	84.7	275.7	52.3	513.2

注: a: 交通パターンを構成する3つのトリップを最初のものから順に TRIP1, TRIP2, TRIP3 と呼ぶ。b: 男=1, 女=0。c: 19才以下=1, その他=0。d: 20才~29才=1, その他=0。e: 30才~39才=1, その他=0。f: 40才~49才=1, その他=0。g: 50才~59才=1, その他=0。

表-2 活動消費時間・一時在宅時間算定回帰式

被説明変数	活動パターン p_3			活動パターン p_4		
	自由活動消費時間 d_A^*	一時帰宅時在宅時間 d_h^*	帰宅後在宅時間 h_e^*	自由活動消費時間 d_A^*	一時帰宅時在宅時間 d_h^*	出発前在宅時間 h_e^*
説明変数						
勤務開始時刻 W_s (分)	0.00003 (0.1)	-0.0304 (1.0)	0.0304 (0.8)	0.0805 (1.8)	0.393 (5.6)	0.527 (7.3)
勤務終了時刻 W_e (分)	-0.0714 (5.2)	-0.347 (20.1)	-0.581 (28.3)	-0.0185 (0.4)	0.0409 (0.6)	-0.0225 (0.3)
TRIP2の所要時間 (分)	-0.132 (1.5)	0.0752 (0.7)	-0.943 (7.0)			
TRIP3の所要時間 (分)				-0.326 (1.0)	-0.601 (1.1)	-0.0723 (0.1)
TRIP1とTRIP2の合計時間 (分)				1.04 (3.6)	-1.02 (2.7)	-0.834 (1.8)
TRIP3とTRIP4の合計時間 (分)	0.372 (5.1)	-0.176 (1.9)	-1.2 (11.8)			
活動場所の魅力度 (兆円)	1.53 (2.2)	-0.688 (0.8)	-0.846 (0.8)	-0.0912 (0.03)	-1.46 (0.3)	1.55 (0.3)
性別ダミー ^b	20.6 (5.5)	20.1 (4.3)	-40.7 (7.2)	6.05 (0.5)	-23.3 (1.1)	17.2 (0.8)
日常目的ダミー	-58.6 (6.8)	1.53 (0.1)	57.1 (4.4)	-97.3 (3.9)	109 (2.8)	-11.4 (0.3)
非日常目的ダミー	-10.3 (1.1)	14.8 (1.3)	-4.56 (0.3)	-81.7 (2.7)	155 (3.3)	-73.8 (1.5)
社交目的ダミー	-29.9 (3.2)	31.5 (2.7)	-1.63 (0.1)	-113 (4.3)	71.2 (1.2)	41.5 (1.0)
塾目的ダミー	6.63 (0.7)	2.17 (0.2)	-8.8 (0.6)	-106 (2.7)	154 (2.5)	-47.5 (0.8)
年令ダミー-1 ^c	35.0 (3.1)	33.8 (2.4)	-68.8 (4.3)	65.2 (1.4)	-8.43 (0.1)	-56.8 (0.7)
年令ダミー-2 ^d	19.6 (2.5)	24.1 (2.5)	-43.6 (2.8)	45.9 (1.5)	-11.9 (0.2)	-33.9 (0.7)
年令ダミー-3 ^e	7.93 (1.1)	4.60 (0.5)	-12.5 (1.1)	35.2 (1.2)	-12.6 (0.3)	-22.6 (0.5)
年令ダミー-4 ^f	2.15 (0.3)	3.88 (0.4)	-6.03 (0.5)	31.1 (1.1)	1.29 (0.03)	-32.4 (0.7)
年令ダミー-5 ^g	0.40 (0.04)	10.3 (1.0)	-10.7 (0.9)	52.3 (1.8)	-9.83 (0.2)	-42.4 (0.3)
定数	144	395	899	409	187	-228
重相関係数	0.580	0.564	0.839	0.609	0.801	0.769
平均値 (分)	53.8	60.0	259.3	49.9	126.4	199.9

注: a: 交通パターンを構成する4つのトリップを最初のもから順にTRIP1, TRIP2, TRIP3, TRIP4と呼ぶ。b~gは表-1の注と同じ。

なお、説明変数のうち交通所要時間は(15)式の t^* 、活動場所の魅力度は同じく X^* をそれぞれ表している。また、日常目的ダミー、非日常目的ダミー、社交目的ダミー、塾目的ダミーは活動毎の時間配分の傾向の相違を表しており。さらに、 d_A^* と d_h^* は厳密な時間制約を満たしていることから、出発前の在宅時間 h_s^* と帰宅後の在宅時間 h_e^* を被説明変数とした回帰式を作成し、これにより推計された h_s^* 、 h_e^* から d_A^* 、 d_h^* を求めることも可能であるのでこれらの回帰式も付しておく。たとえば、活動パターン p_1 において自由活動消費時間 d_A^* と帰宅後の在宅時間 h_e^* は次に示す関係を必ず満たす。(ただし、前節の活動開始可能時刻(S)、終了時刻(F)をそれぞれ0時、24時と一定にしている。)

$$W_e + d_A^* + h_e^* + t_A^* + t_h^* = 1440 \text{分}$$

$$= (\text{午前0時を基準時とした時刻}24\text{時})$$

(17)

また回帰の結果、勤務の後に自由活動を行う活動パターン p_1 と p_3 では勤務終了時刻 W_e 、勤務の前に自由活動を行う活動パターン p_2 と p_4 では勤務開始時刻 W_s がそれぞれ説明力のかかなり強い変数となっていることから、(17)式のような制約が存在していることが伺い知れる。よっ

て d_A^* 、 d_h^* 、 h_s^* 、 h_e^* のそれぞれの回帰式の内、推計精度のよい回帰式を使用する。これらの回帰モデルは重相関係数、 t 値からみて妥当なものと考えられる。

表-3に活動場所選択モデルの結果を示す。活動場所は、名古屋市内の16区に名古屋市外を1つのゾーンとして加えて17ゾーンとした。なお、場所の魅力度を表す変数として、各ゾーン毎の卸売業、小売業、飲食店の年間商品販売額の合計を用いた。

本研究が、従来の効用理論と最も異なる点は、効用の中に活動消費時間(ここでは、自由活動の消費時間、一時帰宅時在宅時間)を含むことである。このことにより、従来の効用最大化モデルでは明確にされていなかった活動の効用を時間的要素も考慮し

てとらえることができ、その結果、「交通需要(つまり交通時間消費)が活動を行なうための派生需要(つまり派生的消費)」であることを表現できる。言いかえれば、活動に消費される時間が前述のごとく厳密な時間制約を満たした上で実現されることを考えることにより、本研究は人の時間制約下の行動を表現可能にしたといえる。

表-3のMODEL-1は、従来のように交通所要時間と場所の魅力度により説明するもので、MODEL-2は上述の活動消費時間、一時帰宅時在宅時間を効用関数内に入れたものである。両モデルとも家あるいは勤務場所から自由活動実施場所への交通所要時間の t 値が最も高く、活動場所選択における交通所要時間の重要性を示している。

今回新しくモデルに導入した活動消費時間、一時帰宅時在宅時間についてみると、係数の符号はいずれも正で、一時帰宅時在宅時間の t 値は1.05と低いが、活動消費時間の t 値は3.83と高く、この変数を導入することが有意であることを示している。両モデルの的中率、 ρ^2 値はほとんど同じで、説明力はほぼ同じといえるが、MODEL-2が活動の効用を扱っていること、時間制約を考慮していることを考えると、このモデルにより表現しうる交通行動予測領域が広がるものと思われる。

表-4に活動パターン選択モデルの推定結果を示す。活動場所から得られる効用を表す合成変数(ログサム変数)のパラメータである λ_2/λ_1 の値は0.119を示し、0と1の間に存在していることから、ここで得られたNested Logitモデルは、効用最大化理論と整合性がとれている⁶⁾。

6. 時間制約変更による交通行動変化予測

前節で構築した活動パターン・活動場所選択モデルを用いた活動パターン変化の予測の一例として、就業者の勤務開始、終了時刻の変更および勤務時間短縮が就業者の交通・活動スケジュールへの影響の予測を試みる。対象とした活動パターンは前節で扱った4つである。勤務開始時刻を遅くし、かつ勤務終了時刻を早くすることにより、勤務時間を短縮したときの活動パターンの構成比率(シェア)の変化予測を行った。

各ケースにおける活動パターン毎のシェアは次のような手順で求めた。まず、表-1、表-2の回帰式を用いて、勤務開始時刻、終了時刻の変更時に対する活動消費時間 d_A^* と一時帰宅時在宅時間 d_h^* の値を求め、活動場所選択モデルの説明変数とする。次に活動場所選択モデル・活動パターン選択モデルを用いて、各個人の活動パターン選択確率を求める。最後に数え上げ法⁷⁾という集計方法を用いて、各活動パターンのシェアを求める。

表-3 活動場所選択モデルの推定結果

モデル	MODEL-1	MODEL-2
説明変数	係数 (t値)	係数 (t値)
自由活動場所への交通所要時間(分)	-0.0906 (62.2)	-0.0912 (61.7)
活動場所の魅力度(億円)	0.0127 (13.8)	0.0115 (11.9)
自由目的消費時間(分)		0.00286 (3.8)
一時帰宅時在宅時間(分)		0.00135 (1.1)
名古屋市内ダミー	1.98 (12.6)	1.92 (12.1)
サンプル数	2899	2899
的中率	0.675	0.679
ρ^2_o	0.561	0.562
ρ^2_c	0.547	0.547

表-4 活動パターン選択モデルの推定結果

説明変数	係数 (t値)
λ_2/λ_1	0.119 ($\lambda_2/\lambda_1=0$ に対して16.9) ($\lambda_2/\lambda_1=1$ に対して124.5)
勤務場所への交通所要時間(分)	-0.0232 (9.7)
定パターン p_1	3.94 (21.8)
数パターン p_2	-0.238 (1.8)
項パターン p_3	4.29 (24.7)
サンプル数	2899
的中率	0.661
ρ^2_o	0.395
ρ^2_c	0.157

前節のモデル作成に用いたサンプル(2899人)について、活動パターンのシェアの変化を表-5に示す。その結果、勤務時間の短縮が大きくなるに従って、勤務前の行動領域が広がり、活動パターン p_2 と p_4 、すなわち、勤務前に自由目的活動を行うという活動パターンのシェアが大きく増加する。また、勤務後の行動領域の拡大により、活動パターン p_3 のように、勤務後、一旦帰宅してから自由活動を行うという活動パターンも増加している。それらの活動パターンの増加に従い、帰宅途中で自由活動を行うという活動パターン p_1 は減少する。

ここで重要なのは、このようなパターンの変化がトリップ数の変化(p_1 から p_3 への変化は、トリップ数を増加させる)や、トリップの発生時刻分布の変化(p_1 、 p_3 から p_2 、 p_4 への変化により自由目的トリップを開始する時刻が早まる)や、自由活動実施場

表-5 活動パターン選択シェアの変化

ケース番号		0(現状)	1	2	3	4
就業開始時刻の変更(分)		0	+15	+30	+45	+60
就業終了時刻の変更(分)		0	-15	-30	-45	-60
活動 構 成 百 分 率	活動パターン p ₁	53.8	52.6 (-2.1)	51.1 (-4.2)	50.3 (-6.4)	49.1 (-8.7)
	活動パターン p ₂	5.5	5.9 (7.5)	6.4 (16.3)	6.9 (24.4)	7.4 (33.8)
	活動パターン p ₃	37.4	37.9 (1.3)	38.3 (2.4)	38.7 (3.5)	39.1 (4.5)
	活動パターン p ₄	3.3	3.6 (6.2)	3.8 (14.4)	4.1 (23.7)	4.5 (33.0)
サンプルの全トリップ数		9878	9898	9818	9939	9959

()内は、ケース0(現状)に対する増加量の百分率

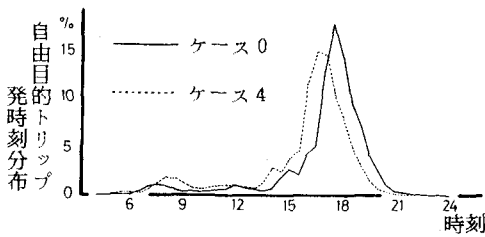


図-3 自由目的トリップ発時刻分布の変化

所の変化という結果を引き起こすことである。本適用例においては、表-5に示すように勤務時間の短縮に伴い全トリップ数は増加し、また図-3に示すように自由目的トリップ発生時刻分布が変化すると予測される。

以上本節で実施した交通・活動スケジュール変化予測は、あくまでも構造パラメータが変化しないと仮定できる比較的短期の予測のみに適用可能である。よって、本節の結果が直ちに時間的、地域的普遍性を持つとは断定できない。しかし、今後の研究において、パーソントリップデータによる交通・活動スケジュール決定プロセスの分析を複数の時点および複数の地域において実施していくことにより、これに対する回答が得られると思われる。また、勤務時間変更という仮想された状況に対する人の意思決定の把握は、直接質問により可能であるが、この場合の質問範囲の設定には十分な検討が必要である。その検討は本節の予測手法（とくに感度分析）を用いて行うことが可能であり、本節の予測結果と直接質問の結果とを比較することにより交通・活動スケジュール変化予測に対する本研究のアプローチの妥当性が検証可能である。

7. 結語

本研究では時間制約を考慮した効用最大化という枠組みを用いて「交通の派生需要的性質」と「人の活動における時間制約」とを考慮できる交通・活動スケジュール決定モデルの構築を行った。以下、本研究で得られた成果について述べる。

「活動開始時刻」、「活動消費時間」という時間的要因を取入れた効用関数を用いて「勤務時間」という時間制約とその他の制約を持つ就業者の行動を効用最大化理論で説明した。次に「時刻」という要因をそのベクトル表現である活動パターンという離

散型の変数におきかえることにより操作性の高いモデルを構築し、さらに効用が確率分布することを考慮し、非集計選択モデルを用いて活動パターン選択モデル及び活動場所選択モデルを構築した。これにより時間制約および時間次元に変換された空間制約を考慮した交通・活動スケジュール決定モデルを構築でき、さらに交通・活動スケジュール決定の因果関係を検証できた。さらに、本研究で得られたモデルを用いた交通需要予測手法についての適用例として勤務時間を短縮した場合の就業者の活動パターン変化を推計した。そして、この活動パターンの変化が結果的に発生、分布交通量の変化となることを数量的に示した。

今後の課題として次のものがあげられる。

1) 本研究で開発した交通・活動スケジュール決定モデルの実際への適用においては、選択活動が1個という活動パターンに限定している。今後、2つ以上の選択活動をも含んだ交通・活動スケジュールへの適用方法を検討すべきである。

2) 5節、6節で実施した交通・活動スケジュール変化予測モデルの長期にわたる時間的普遍性、地域的普遍性の検証、あるいは、適用の限界の検証が必要である。

なお、本研究は、文部省科学研究費（課題番号59750434、同60550374）の補助を受けたものであることを記し、謝意を表したい。

参考文献

- 1) De Serpa, A.J.: A theory of the economic of time, The Economic Jour., vol 81 (1971), pp.829-845
- 2) Bruzelius, N.: The Value of Travel Time, Croom Helm London (1979)
- 3) Webster, F. V. and P. H. Bly (eds.): The Demand for Public Transport, TRRL (1980)
- 4) 宮城俊彦: 時間-空間系における交通行動分析(その1), 土木計画学研究発表会講演集, No.5, (1983), pp.371-378.
- 5) Kitamura, R: Identifying Time and History Dependencies of Activity Choice, TRR, 944, (1983), pp.67-81.
- 6) 原田昇: Nested Logit モデルの理論と適用に関する研究のレビュー, 土木学会論文集, No.353/IV-2, (1985), pp.31-40.
- 7) 土木学会土木計画学研究委員会編: 土木計画学講習会テキスト(非集計行動モデルの理論と実際), (1984)