時間制約下における人の行動パターンの予測手法の開発

名古屋大学　正員　河上　省吾
名古屋大学　正員　磯部　友彦
名古屋大学　学生員　○仙石　忠広

1　はじめに

本研究では　時間・空間制約下における人の1日活動スケジュール決定メカニズムを効用最大化理論を用いて説明する．本研究の最大の特徴は　1日の活動スケジュール決定において，各活動間の時間の連続性，場所の連鎖性を考慮することである．このことにより　各活動の消費時間だけでなく，その開始・終了時刻を決定することができる．さらに　例えば　会社の開始時刻・終了時刻といった時間軸上での固定点をモデル内に取り入れることもできる．

2　行動理論

（2－1）活動の分類

各活動をその重要度によって　(i) 必須活動　(ii) 選択活動　に分け，さらに時間・場所の拘束性によって　①時間・場所とも固定　②時間が固定，場所が選択できる　③場所が固定，時間が選択できる　④時間・場所が選択できる　活動に分類する．（注：ここでの時間は消費時間，開始時刻の両方の概念を持つ）

（2－2）活動スケジュール決定プロセス

図1に活動スケジュール決定プロセスを示す．人は，ある期間内で実施されなければならない活動からなる必須活動集合と，実施されてもされなくてもよい活動からなる選択活動集合をもつ．そして　個人は　必須活動について，各活動に係わる時間・空間制約を考慮して　長期活動スケジュールを決定する。ここでは　必須活動の実施される日程が決定される。次に，ある特定の日の最初の活動開始時点で，その日に実施される必須活動に　選択活動を含めて，その日のスケジュールを決定する．（1日活動スケジューリングモデル）ここでは　各活動に係わる時間・空間制約下で，後述する効用を最大にするように「選択集合内の活動を実施するかどうか」と「時間や場所が選択できる活動についての場所と時間」が決定される。しかし，実際，行動をし始めると，様々な不確実性のために　新たに活動が必要となったり（付加的必須活動），日程・場所の変更を行なわなければならなくなったりなど，長期活動スケジュール，1日活動スケジュールの変更という状況に直面する．こうして，このプロセスの最終的な結果が　その日の活動スケジュールとなって実現される．そして　この日の活動スケジュールは　後日の活動スケジュールへ影響する．

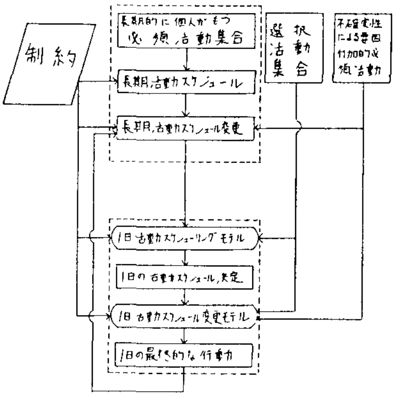

図1 活動スケジュール決定プロセス

（2－3）1日活動スケジュール決定のための効用理論

時刻・場所を選択できる活動ごとに　次に示すような効用関数を従来の研究例[1]を参考にして定義する．

活動 a_i の効用　$Z_{ai} = f_{ai}(y_{ai}, \tau_{ai}, T_{ai}, X_{ai}, t_{ai})$　—（1）

ここに　y_{ai}：活動a_iに携わることによって得られる市場財あるいはサービス量，τ_{ai}：活動a_iの消費時間，

T_{ai}：活動a_iの開始時刻，X_{ai}：活動a_iを行う場所の魅力度，t_{ai}：活動a_iを行なうのに必要としたトリップ時間

さらに，$\delta_{ai}\begin{cases}1 \cdots \text{活動}a_i\text{を行なう時} \\ 0 \cdots \text{その他}\end{cases}$ という変数を設定する。人は次に示されるような効用を最大にするように1日の活動スケジュールを決定する。時間・場所固定の必須活動は制約である。

$$\max\ U(\tau_{a1}\sim\tau_{an};\ \delta_{a1}\sim\delta_{an};\ h_1, h_2, t_w, t_h) \quad \text{—(2)}$$

ここに，h_1：第1トリップを行う前の在宅時間，h_2：最後のトリップ後の在宅時間，t_w：会社へのトリップ時間，t_h：最後の帰宅トリップ時間

(2)式に(1)式の関係を入れると　$\max\ U(y_{a1}\sim y_{an}: \tau_{a1}\sim\tau_{an}: T_{a1}\sim T_{an}: X_{a1}\sim X_{an}: t_{a1}\sim t_{an}: \delta_{a1}\sim\delta_{an}: h_1, h_2, t_w, t_h)$ —(2)′

〈制約1〉 $\sum_i (y_{ai}\cdot P_{ai} + C_{ai}t_{ai})\delta_{ai} \leqq I$，$I$：所得，$P_{ai}$：財，サービスの単位当りの価格，$C_{ai}$：トリップの単位時間当たりの費用

〈制約2〉 $\sum_i (\tau_{ai}+t_{ai})\delta_{ai} + (Y_2-Y_1)+h_1+h_2+t_w+t_h = F-S$，$Y_1, Y_2$：会社開始，終了時刻，$S, F$：活動開始，終了可能時刻

〈制約3〉 $\tau_{ai}\delta_{ai} \geqq g_{ai}\delta_{ai}$，$t_{ai}\delta_{ai} \geqq r_{ai}\delta_{ai}$，$g_{ai}$：活動$a_i$を行なうのに必要な最小時間，$r_{ai}$：最小トリップ時間

〈制約4〉 さらに各変数の組み合わせで決まる活動スケジュールはすべて時間の連続性を満たさなければならない。例えば図2のような活動$a_1\sim a_4$ ($\delta_{a1}=\delta_{a2}=\delta_{a3}=\delta_{a4}=1$) で示される活動スケジュール($P_1$)を考える。各変数の関係：

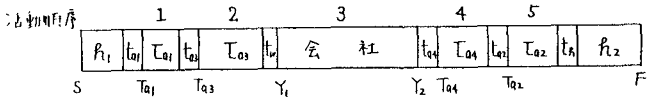

図2　活動スケジュール

$T_{a1} = S + h_1 + t_{a1}$ —①　$T_{a3} = S + h_1 + \tau_{a1} + t_{a3}$ —②

$T_{a4} = Y_2 + t_{a4}$ —③　$T_{a2} = Y_2 + t_{a4} + \tau_{a4} + t_{a2}$ —④

$Y_1 = S + t_{a1} + \tau_{a1} + t_{a3} + \tau_{a3} + t_w$ —⑤　$Y_2 + t_{a4} + \tau_{a4} + t_{a2} + \tau_{a2} + t_h + h_2 = F$ —⑥

時刻$T_{a1}\sim T_{a4}$，Y_1の大小関係より活動の行なわれる順序が示されるが，逆に活動順序が与えられれば時刻$T_{a1}\sim T_{a4}$は①〜④式のように$\mathbb{T}$，$\mathbb{t}$，$h_1, h_2, t_w, t_h, Y_1, Y_2$で示される。この関係はどの活動スケジュールにも成り立つ。すなわち，開始時刻$\mathbb{T}$はδ，活動順序$\mathbb{K}$，$\mathbb{T}$，$\mathbb{t}$，h_1, h_2, S, F, Y_1, Y_2で表わすことができる。式(2)′は次のように書き直せる。

$$\max\ U(\mathbb{y}, \mathbb{T}, \mathbb{X}, \mathbb{t}, \mathbb{K}, \delta, h_1, h_2, t_w, t_h) \quad \text{—(3)}$$

(3)式を(2)′式と同様な制約下で解くことを考える。(3)式は$\mathbb{K}$，δという離散型の変数とその他の連続変数からなる。そこで$\mathbb{K}$，δの可能な組み合わせ(＝活動パターン)をすべて考え，各組み合わせごとに$\underbrace{U^*}_{\text{効用最大値}}(\mathbb{y}, \mathbb{T}, \mathbb{X}, h_1, h_2, t_w, t_h \mid \mathbb{K}\delta)$を求め，その中で最大となるものが(3)式の最適解である。

さらに$U(\mathbb{y}, \mathbb{T}, \mathbb{X}, \mathbb{t}, h_1, h_2, t_w, t_h \mid \mathbb{K}, \delta)$のもとで具体的に活動場所を与える。各活動ごとに利用可能な場所を与える。$\mathbb{L}_{ai} = (l^1_{ai}, l^2_{ai} \cdots\cdots l^{m_{ai}}_{ai})$，$\delta^{l^k_{ai}}_{ai} = \begin{cases}1 \cdots \text{活動}a_i\text{を場所}l^k_{ai}\text{で行なう時} \\ 0 \cdots \text{その他}\end{cases}$　ただし　$\sum_{k=1}^{m_{ai}} \delta^{l^k_{ai}}_{ai} = 1$

再び図2で示される活動パターンP_1を考える。　$\max\ U(\mathbb{y}, \mathbb{T}, \mathbb{X}, \mathbb{t}, h_1, h_2, t_w, t_h \mid P_1)$ —(4)

〈制約〉 場所の連鎖より— $t_{a1} = \sum_{i=1}^{m_{a1}} t_{h\,l^i_{a1}}\,\delta^{l^i_{a1}}_{a1}$，$t_{a3} = \sum_{i=1}^{m_{a1}}\sum_{j}^{m_{a3}} t_{l^i_{a1}\cdot l^j_{a3}}\cdot\delta^{l^i_{a1}}_{a1}\cdot\delta^{l^j_{a3}}_{a3}$，$t_w = \sum_{i=1}^{m_{a3}} t_{l^i_{a3}\cdot w}\,\delta^{l^i_{a3}}_{a3}$，

$t_{a4} = \sum_{j=1}^{m_{a4}} t_{w\,l^j_{a4}}\cdot\delta^{l^j_{a4}}_{a4}$，$t_{a2} = \sum_{i=1}^{m_{a4}}\sum_{j=1}^{m_{a2}} t_{l^i_{a4}\,l^j_{a2}}\,\delta^{l^i_{a4}}_{a4}\,\delta^{l^j_{a2}}_{a2}$，$t_h = \sum_{i=1}^{m_{a2}} t_{l^i_{a2}\,h}\cdot\delta^{l^i_{a2}}_{a2}$；$t_{l^k_{ai}\,l^k_{aj}}$：場所$l^k_{ai}$から場所$l^k_{aj}$までのトリップ時間，$h$：家，$W$：会社，$X_{a1} = \sum_{i=1}^{m_{a1}} B_{l^i_{a1}}\cdot\delta^{l^i_{a1}}_{a1}$，$X_{a3} = \sum_{i=1}^{m_{a3}} B_{l^i_{a3}}\cdot\delta^{l^i_{a3}}_{a3}$，$X_{a4} = \sum_{i=1}^{m_{a4}} B_{l^i_{a4}}\,\delta^{l^i_{a4}}_{a4}$，$X_{a2} = \sum_{i=1}^{m_{a2}} B_{l^i_{a2}}\,\delta^{l^i_{a2}}_{a2}$；$B_{l^k_{ai}}$−場所$l^k_{ai}$の魅力度，$S + h_1 + t_{a1} + \tau_{a1} + t_{a3} + \tau_{a3} + t_1 = Y_1$，$Y_2 + t_{a4} + \tau_{a4} + t_{a2} + \tau_{a2} + t_h = F$，$\tau_{ai} \geqq g_{ai}$，$t_{ai} \geqq r_{ai}$

ここで　$\delta^{l^k_{ai}}_{ai}$がかかっている制約は各$\delta^{l^k_{ai}}_{ai}$の値，つまり，場所の組み合わせによって異なる。そこで制約を満たす場所の組み合わせをすべて考え，各組み合わせごとに$\underbrace{U^*}_{\text{効用最大値}}(\mathbb{y}, \mathbb{T}, \mathbb{X}, \mathbb{t}, h_1, h_2, t_1, t_2 \mid b_i P_i)$（$b_i$は場所のパターンを示す）を求め，その中で最大なものが(4)式の最適解となる。　結局(3)式の最適解は図3に示すように場所のパターン($\mathbb{B}$)と活動パターン($\mathbb{P}$)の2段階を通して求められる。

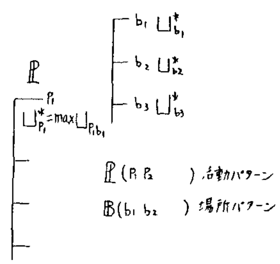

図3　U^*の段階決定

〈参考文献〉 1) 宮城俊彦(1983) 時間-空間系における交通行動分析(その1) 第5回土木計画学研究発表会