

居住地選択—交通統合モデル

A Combined Residential-Location and Transportation Model

宮城 俊彦^{**} 新美 憲一^{***}

By Toshihiko MIYAGI and Kenichi NIIMI

A predictive model which combines trip generation, trip distribution, modal split, trip assignment, and residential choice for given job locations is presented in this paper. The model is based on the user equilibrium concept, so that is formulated as the non-linear mathematical programme so as to predict the use and performance of the transportation systems and residential choice for given job location. The model presented here is a generalization of the previously developed models which combine residential location model and transportation model. A formulation of the model is presented and a solution methodology is proposed for prediction and calibration. The model can use to determine the impact of changes in population and workers employed on the performance of transportation systems, or reciprocally to determine the impact of new investments in the transportation system on residential choice.

1. はじめに

本論文の目的は、派生需要としての交通需要を交通サービスおよび土地利用に関係した経済変数でとらえ、さらに4段階推定法における各ステップを同時に予測できる”居住地選択—交通統合モデル”の構築にある。

交通発生を含む交通統合モデルは以前から提案されているが、利用者均衡概念と整合した形のモデルの発展はまだ不十分な段階にある。宮城・加藤はCesarioモデルを交通需要関数としてBeckmann型交通均衡モデルによる発生・分布・配分交通量の同時予測を提案しており、このモデルが従来型の段階的予測法に比較して

予測精度や統計的性質において優れた側面をもつことを明らかにしている。ただし、Cesarioモデルはゾーンの利用変数を含んでいないので、将来予測には不都合である。派生需要としての交通を把握するためには、土地利用に関係した経済変数を内生化するようにモデルを構築する必要がある。そのため土地利用—交通統合モデルが発展してきた。

土地利用—交通統合モデルにも様々なタイプがあるが、本論文で対象とするのはLowryの経済フレームをもち、かつ利用者均衡概念に基礎をおく交通統合モデルである。この種のモデルの先行研究としてBoyce²⁾あるいはLos³⁾によるものがあるが、これらは非通勤目的のトリップは無視されているか、あるいは所与の一定値である。しかし、交通生成において交通混雑の影響を受けやすいのは非通勤目的のトリップの方であり、交通統合モデルを構築するという観点からは非通勤交通をいかに定式化するかが重要な課題となる。これに対し、Magnanti⁴⁾のモデルは発生交通を交通混雑の関数とお

* キーワード: 交通統合モデル, 利用者交通均衡,

立地選択モデル

** 正会員 工博 岐阜大学助教授 工学部土木研究科

*** 学生会員 岐阜大学大学院工学研究科

(〒501-11 岐阜市柳戸1-1)

き、発生・分布・配分交通量を同時に推定するモデルを提案している。しかしMagnantiのモデルは逆に通勤交通を明確に扱っておらず、発生交通量の一部が交通混雑とは無関係に外生的に与えられている。したがって、将来予測にその固定量をどのように予測すれば良いかが明確でなく、問題を残している。

本論文では交通目的を通勤目的と自由目的に限定する。まず、職場の与えられた世帯の居住地選択を定式化し、Wilsonによって提案されたアプローチ⁵⁾より通勤目的トリップの分布を定式化する。自由目的交通は通勤目的交通と比べて交通混雑の影響を受けやすいことから、トリップの発生量をアクセシビリティ（自由目的交通における移動のしやすさ、サービスの享受性）に比例した量で表せると仮定し、分布を定式化する。以上の通勤・自由目的交通トリップの機関分担・配分プロセスをも定式化することにより、利用者均衡概念を基礎とした交通統合モデルを提案する。さらに、この提案モデルは非線形の数理最適化問題となることから、解の一意性を示したうえで計算手法も提案する。

2. 諸仮定

いま、対象地域をいくつかのゾーンに分割し、ODペア集合を Z とし、任意のODペア ij ($ij \in Z$)を考える。また、ODペア ij に存在する利用可能経路集合を R_{ij} とし、さらに経路を構成するリンク集合を L とする。このとき、立地選択および交通需要を以下の(1)～(4)のように仮定する。

(1) 居住地選択

j ゾーンに職場を持つ世帯が、居住地として i ゾーンを選択することの効用を次のように仮定する。

$$U_{ij} = b_i - C_{ij} + e_{ij} \quad (1.a)$$

U_{ij} : j ゾーンに職場をもつ世帯が居住地として i ゾーンを選択することの効用

b_i :

C_{ij} : 一般化交通費用

$$C_{ij} = \rho \pi_{ij} + \mu_{ij} \quad (1.b)$$

π_{ij} : 交通費用

ρ : 時間価値の逆数

μ_{ij} : 各交通機関の平均所要時間

e_{ij} : 誤差項

このとき e_{ij} がガンベル分布に従うと仮定すれば、ランダム効用理論より、 j ゾーンに職場をもち、 i ゾーンを居住地とする世帯数は次式で表現される。

$$R_{ij} = \frac{1}{\sigma} E_j \frac{\exp(B_i - \beta C_{ij})}{\sum_n \exp(B_n - \beta C_{nj})} \quad (2)$$

R_{ij} : j ゾーンに職場をもち、 i ゾーンに居住する世帯数

E_j : j ゾーンにおける従業者数

B_i : 居住地 i ゾーンの魅力度

σ : 1世帯当りの就業者数

β : パラメーター

(2) 発生および分布交通量

いま、発生および分布交通量を通勤目的と自由目的でとらえることにする。このとき、通勤目的トリップは職場が与えられ居住地が決定することにより、固定的なトリップであるといえるのに対して、非通勤目的トリップは所要時間・交通費用などに大きく影響され発生量までも変化するトリップといえることから、通勤目的トリップおよび非通勤目的トリップを次のように仮定する。

a) 通勤目的トリップ

いま、ODペア ij の通勤目的トリップの分布を考える。式(2)で j ゾーンに職場をもち、 i ゾーンに居住する世帯数が与えられているので、通勤目的トリップの分布はトリップ生成原単位を用いて次のように定式化する。

$$T_{ij} = \eta \sigma R_{ij} \quad (3)$$

T_{ij} : 通勤目的の分布交通量

η : トリップ生成原単位

したがって、通勤目的トリップの発生量は次式で与えられる。

$$G_j = \sum_i T_{ij} \quad (4)$$

G_j : 通勤目的トリップの発生量

b) 自由目的トリップ

いま、居住地を i ゾーンに定めた人が自由目的交通の目的地として m ゾーンを選択することの効用を次のように仮定する。

$$U_{im}^s = a_m - C_{im} + \varepsilon_{im}^s \quad (5)$$

U_{im}^s : i ゾーンに住む人が自由目的交通の目的地として m ゾーンを選択することの効用

a_m :

ε_{im}^s : 誤差項

このとき、 ε_{im}^s のガンベル分布を仮定し、ランダム効用理論に従えば、居住地 i ゾーンからの自由目的交通に関連した最大期待効用は次式で与えられる。

$$S_i = (1/\alpha) \ln \sum_m \exp(A_m - \alpha C_{im}) \quad i, m \in Z \quad (6)$$

S_i : 居住地 i ゾーンからの自由交通に関連した最大期待効用

A_m : 目的地 m ゾーンにおける魅力度

α : パラメーター

この S_i を以後ゾーン i におけるアクセシビリティと呼ぶことにする。

ここで、自由目的トリップの発生量は居住地 i におけるアクセシビリティに比例すると仮定するが、 S_i は計算上、負になることが考えられるため、次のようにおく。

$$g_i = \max(0, k S_i) \quad (7)$$

g_i : 自由目的トリップの発生量

k : 比例定数

したがって、非通勤目的トリップの分布は次のように定式化される。

$$T_{2ij} = g_i \frac{\exp(A_j - \alpha C_{ij})}{\sum_m \exp(A_m - \alpha C_{im})} \quad (8)$$

T_{2ij} : 自由目的の分布交通量

a), b) より全目的の分布交通量は次のように表現できる。

$$X_{ij} = T_{1ij} + T_{2ij} \quad (9)$$

(3) 機関別交通量

本論文ではマストランジットと自動車の2種類のモード選択を考えるが、マストランジットのネットワークには次の2種類が考えられる。

① マストランジットが自動車のネットワークとは全く分離したネットワークをもち、走行時間が他モードと独立かつ一定と仮定できる場合。(例えば鉄道)

② マストランジットが自動車のネットワークを共有しており、マストランジットと自動車の走行時間が相互に影響を及ぼす場合。(例えばバス
いま、本論文では①のタイプのみを考えることにする。

ゾーン i から j への交通を考えたとき、交通機関としてマストランジット、自動車を選択することにより得られる効用を次のように仮定する。

$$U_{ij}^{st} = -u_{ij} + \varepsilon_{ij}^{st} \quad (10.a)$$

$$U_{ij}^{au} = -\lambda_{ij} + \varepsilon_{ij}^{au} \quad (10.b)$$

U_{ij}^{st} : マストランジットを選択することにより得られる効用

U_{ij}^{au} : 自動車を選択することにより得られる効用

u_{ij} : マストランジットの所要時間

λ_{ij} : 自動車の所要時間

$\varepsilon_{ij}^{st}, \varepsilon_{ij}^{au}$: 誤差項

誤差項のガンベル分布を仮定すれば、ランダム効用理論より、 i ゾーンから j ゾーンへのマストランジット・自動車の分担交通量はそれぞれ次のように表現される。

$$M_{ij} = X_{ij} \frac{\exp(-\gamma u_{ij})}{\exp(-\gamma u_{ij}) + \exp(-\gamma \lambda_{ij})} \quad (11.a)$$

$$X_{ij}^{au} = X_{ij} - M_{ij} \quad (11.b)$$

M_{ij} : マストランジットの分布交通量
 X_{ij}^{au} : 自動車の分布交通量
 γ : パラメーター

したがって、式 (1.b) の μ_{ij} は次のように表現できる。

$$\mu_{ij} = \frac{1}{\gamma} \ln \{ \exp(-\gamma u_{ij}) + \exp(-\gamma \lambda_{ij}) \} \quad (12)$$

(4) 配分交通量

機関別交通量の議論より配分は自動車交通のみを扱う。

いま道路ネットワークにおける交通流はWardrop均衡条件に従うと仮定すると次のような式で表現できる。

$$t_{r,ij} - \lambda_{ij} = 0 \quad \text{if } h_{r,ij} \geq 0 \quad (13.a)$$

$$t_{r,ij} - \lambda_{ij} \geq 0 \quad \text{if } h_{r,ij} = 0 \quad (13.b)$$

$$\forall r \in R_{ij}$$

$h_{r,ij}$: ODペア i, j の r 番目経路交通量

$t_{r,ij}$: ODペア i, j の r 番目経路の所要時間

λ_{ij} : ODペア i, j の最小所要時間

$$\text{ただし、} t_{r,ij} = \sum_{a \in L} \delta_{ar} t_a(f_a) \quad (14)$$

$t_a(\cdot)$: リンク a のパフォーマンス関数

δ_{ar} : 経路行列の要素

= 1 : ODペア i, j の r 番目経路が

リンク a を通るとき

= 0 : その他のとき

f_a : リンク a のリンク交通量

またこのとき次の基本関係式が成立する。

(分布交通量保存式)

$$\sum_{r \in R_{ij}} h_{r,ij} = X_{ij}^{au} \quad (15)$$

(リンク交通量条件式)

$$\sum_{i,j} \sum_{r \in R_{ij}} \delta_{ar} h_{r,ij} = f_a \quad (16)$$

(交通量非負条件式)

$$h_{r,ij} \geq 0 \quad (17)$$

3. 居住地選択-交通統合モデル

2-(1)~(4)で仮定した交通需要モデルにおいて、自動車のゾーン間所要時間は所与の一定値として扱われている。したがって、この時点では交通需要モデルは利用者均衡条件と整合していない。本節では利用者均衡モデルと2で仮定した交通需要モデルの自動車のゾーン間所要時間に関連をもたせ、同一の目的関数に統合したモデルを提案する。

(1) 提案モデル

2で仮定した交通需要モデルを得ることと、次の提案モデル(数理最適化問題)の解を得ることが等価であることを示す。

$$\begin{aligned} \min Z(g, R, T, M, h) \\ = \sum_i (1/2k) g_i^2 \\ + (1/\alpha) \sum_i (g_i - g_i \ln g_i) \\ + (1/\alpha) \sum_{i,j} (T_{2,ij} \ln T_{2,ij} - A_{ij} T_{2,ij} - T_{2,ij}) \\ + (\eta \sigma / \beta) \sum_{i,j} (R_{ij} \ln R_{ij} - B_{ij} R_{ij} - R_{ij}) \\ + \rho \sum_{i,j} (\eta \sigma R_{ij} + T_{2,ij}) \pi_{ij} \\ + \sum_{i,j} \int_0^{M_{ij}} \frac{1}{\gamma} \ln \frac{\theta}{(\eta \sigma R_{ij} + T_{2,ij}) - \theta} + u_{ij} d\theta \\ + \sum_a \int_0^{f_a} t_a(\tau) d\tau \end{aligned} \quad (18.a)$$

s. t

$$\sum_i R_{ij} = \frac{1}{\sigma} E_j \quad \forall j \quad (18.b)$$

$$\sum_j T_{2,ij} = g_i \quad \forall i \quad (18.c)$$

$$\sum_r h_{r,ij} + M_{ij} = \eta \sigma R_{ij} + T_{2,ij} \quad \forall i, j \quad (18.d)$$

$$g_i \geq 0, R_{ij} \geq 0, T_{2,ij} \geq 0, h_{r,ij} \geq 0 \quad \forall r, i, j \quad (18.e)$$

$$0 \leq M_{ij} \leq \eta \sigma R_{ij} + T_{2,ij} \quad \forall i, j \quad (18.f)$$

この問題のLagrange関数を考える。

$$\begin{aligned}
 L = & Z + \sum_j \omega_j \left(\frac{1}{\sigma} E_j - \sum_i R_{ij} \right) \\
 & + \sum_i \phi_i (g_i - \sum_j T_{2ij}) \\
 & + \sum_{ij} \lambda_{ij} (\eta \sigma R_{ij} + T_{2ij} - \sum_r h_{rij} - M_{ij})
 \end{aligned}
 \quad (19)$$

(ただし、 ω_j , ϕ_i , λ_{ij} は、Lagrange乗数)

Kuhn Tucker条件より、最適解が満足すべき条件は以下のようになる。

$$g_i = \frac{k}{\alpha} \ln \sum_j \exp(A_j - \alpha C_{ij}) = k S_i \quad \text{if } g_i > 0 \quad (20.a)$$

$$T_{2ij} = g_i \frac{\exp(A_j - \alpha C_{ij})}{\sum_j \exp(A_j - \alpha C_{ij})} \quad \text{if } X_{ij} > 0 \quad (20.b)$$

$$R_{ij} = \frac{1}{\sigma} E_j \frac{\exp(B_j - \beta C_{ij})}{\sum_j \exp(B_j - \beta C_{ij})} \quad \text{if } R_{ij} > 0 \quad (20.c)$$

したがって

$$T_{1ij} = \eta \sigma R_{ij} \quad (20.d)$$

$$M_{ij} = X_{ij} \frac{\exp(-\gamma u_{ij})}{\exp(-\gamma \lambda_{ij}) + \exp(-\gamma u_{ij})} \quad \text{if } M_{ij} > 0 \quad (20.e)$$

$$X_{ij}^{*u} = X_{ij} - M_{ij} \quad (20.f)$$

$$t_{rij} = \lambda_{ij} \quad \text{if } h_{rij} > 0 \quad (20.g)$$

$$t_{rij} \geq \lambda_{ij} \quad \text{if } h_{rij} = 0 \quad (20.h)$$

ただし、ここに示す C_{ij} , μ_{ij} , X_{ij} は次のようである。

$$C_{ij} = \rho \pi_{ij} + \mu_{ij} \quad (20.i)$$

$$\mu_{ij} = (1/\gamma) \ln \{ \exp(-\gamma u_{ij}) + \exp(-\gamma \lambda_{ij}) \} \quad (20.j)$$

$$X_{ij} = \eta \sigma R_{ij} + T_{2ij} \quad (20.k)$$

以上の結果は2で仮定した条件と一致する。

(2) 解の一意性

提案モデルの解が一意に定まることを以下に示す。

目的関数 Z のヘシアンを Ω としたとき、 Ω が正値定符号行列であることと提案モデルの解の一意性を述べることは等価である。そこで次式を計算する。

$$\begin{aligned}
 & [g, R, T, M, f]^t \Omega [g, R, T, M, f]^t \\
 = & \frac{1}{k} \sum_i g_i^2 + \frac{1}{\alpha} \sum_i g_i \\
 & + \frac{1}{\alpha} \sum_{ij} T_{2ij} + \frac{1}{\gamma} \sum_{ij} \left\{ \frac{M_{ij}}{X_{ij}(X_{ij} - M_{ij})} \right\} T_{2ij}^2 \\
 & + \frac{\eta \sigma}{\beta} \sum_{ij} R_{ij} + \frac{\eta \sigma}{\gamma} \sum_{ij} \left\{ \frac{M_{ij}}{X_{ij}(X_{ij} - M_{ij})} \right\} R_{ij}^2 \\
 & + \frac{1}{\gamma} \sum_{ij} \left\{ \frac{X_{ij}}{M_{ij}(X_{ij} - M_{ij})} \right\} M_{ij}^2 \\
 & + (\partial ta / \partial fa) \sum_a f_a^2 \quad (21)
 \end{aligned}$$

ゆえに制約条件を考慮すれば

$$[g, R, T, M, f]^t \Omega [g, R, T, M, f]^t > 0 \quad (22)$$

となり、 Ω は正値定符号行列である。したがって、提案モデルは解が一意に定められる。

4. 計算手法

(1) 計算手法の概要

提案モデルの計算手法として以下に示す方法を提案する。

STEP 0: 初期実行可能解 $G^{(1)}$, $g^{(1)}$ を仮定する。これはゼロフロー時の自動車の所要時間より計算できる。

$n=1$ とする。

STEP 1: 分布・機関分担・配分統合モデルを解く。

(分布・機関分担・配分統合モデルの解法については4-(3)で述べる。)

STEP 2: STEP 1より得られた自動車の所要時間 $\lambda_{ij}^{(n)}$ より最適解 $G_i^{(n)}, g_i^{(n)}$ を計算する。

STEP 3: 目的関数 Z を減少させる降下ベクトル $Y^{(n)}$ を求める。

STEP 4: $G_i^{(n)}, g_i^{(n)}$ を凸結合し、新しい最適解 $G_i^{(n+1)}, g_i^{(n+1)}$ を求める。

$$G_i^{(n+1)} = G_i^{(n)} + \alpha (Y_g^{(n)} - G_i^{(n)}) \quad (23.a)$$

$$g_i^{(n+1)} = g_i^{(n)} + \alpha (Y_g^{(n)} - g_i^{(n)}) \quad (23.b)$$

α : 最適ステップ幅

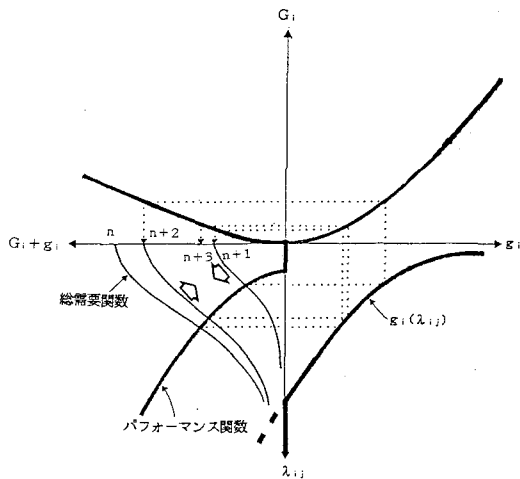
$Y_g^{(n)}, Y_g^{(n)}, Y_g^{(n)}$: Y の要素

STEP 5: 収束基準を満足すれば終了、満足しなければ $n=n+1$ としてSTEP 1へ戻る。

(2) 計算手法の収束性

(1)で提案した計算手法が収束することを以下に示す。

分布・機関分担・配分統合モデルはFlorian, Nguyen⁶⁾によって収束することが証明されているので、発生交通量の計算と分布・機関分担・配分統合モデルを解く計算の繰り返し計算が収束するかどうか問題となる。



図一 計算手法の収束性

図に示すように、発生交通量が変化することにより、総需要関数も変化して均衡点がスライドする。このとき均衡点は、発生交通量が増加すると減少させる方向へ、減少すると増加させる方向へスライドしていることが分かる。したがって、以上のことと3の(2)で示した解の一意性を考慮すると、本節で提案した計算手法は収束し、解が得られると考えられる。

(3) 分布・機関分担・配分統合モデルの計算手法

発生交通量 G_i, g_i を仮定し、これを制約条件とすることにより、提案モデルは次のような分布・機関分担・配分統合モデルとなる。

$$\min Z \ 1 \ (R, T, M, h)$$

$$\begin{aligned} & + (1/\alpha) \sum_{i,j} (T_{2ij} \ln T_{2ij} - A_j T_{2ij} - T_{2ij}) \\ & + (\eta \sigma / \beta) \sum_{i,j} (R_{ij} \ln R_{ij} - B_i R_{ij} - R_{ij}) \\ & + \rho \sum_{i,j} (\eta \sigma R_{ij} + T_{2ij}) \pi_{ij} \\ & + \sum_{i,j} \int_0^{M_{ij}} \frac{1}{r} \ln \frac{\theta}{(\eta \sigma R_{ij} + T_{2ij}) - \theta} + u_{ij} d\theta \\ & + \sum_{i,j} \int_0^{fa} ta(\tau) d\tau \end{aligned} \quad (24.a)$$

s. t

$$\sum_j R_{ij} = G_i \quad \forall j \quad (24.b)$$

$$\sum_j T_{2ij} = g_i \quad \forall i \quad (24.c)$$

$$\sum_r h_{rij} + M_{ij} = \eta \sigma R_{ij} + T_{2ij} \quad \forall i, j \quad (24.d)$$

$$R_{ij} \geq 0, T_{2ij} \geq 0, h_{rij} \geq 0 \quad \forall r, i, j \quad (24.e)$$

$$0 \leq M_{ij} \leq \eta \sigma R_{ij} + T_{2ij} \quad \forall i, j \quad (24.f)$$

$Z \ 1$ を解く方法として、2段階法を用いる。ここで説明する2段階法は配分プロセスが Frank-Wolfe法で解かれるということを前提とし、かつ Bendersの分解原理に類似の方法で解く方法である。⁷⁾

いま、 $Z \ 1$ は $R_{ij}, T_{2ij}, M_{ij}, h_{rij}$ によって各々構成され、異なる最適化問題として分離可能な構造を持つ。すなわち、いま R_{ij}, T_{2ij}, M_{ij} をある値に仮定すれば、 $Z \ 1$ の第1～4項は定数となり、 $Z \ 1$ は次の問題に縮小できる。

$$W(R, T, M) = \min Z_2(h) = \sum_a \int_0^{f_a} t_a(\tau) d\tau \quad (25.a)$$

s. t

$$\sum_r h_{rij} = \eta \sigma R_{ij} + T_{2ij} - M_{ij} \quad (25.b)$$

$$h_{rij} \geq 0 \quad (25.c)$$

この問題を解いて得られる解 f_a , h_{rij} は R_{ij} , T_{2ij} , M_{ij} をパラメータとして変化するので、最適値関数 $W(\cdot)$ は R_{ij} , T_{2ij} , M_{ij} の関数となる。すなわち、この問題は Wardrop 均衡モデルとなる。

一方、 R_{ij} , T_{2ij} , M_{ij} は次の最適化問題の解として与えられる。

$$\min Z_3(R, T, M)$$

$$\begin{aligned} &= (1/\alpha) \sum_{ij} (T_{2ij} \ln T_{2ij} - A_j T_{2ij} - T_{2ij}) \\ &+ (\eta \sigma / \beta) \sum_{ij} (R_{ij} \ln R_{ij} - B_j R_{ij} - R_{ij}) \\ &+ \rho \sum_{ij} (\eta \sigma R_{ij} + T_{2ij}) \pi_{ij} \\ &+ \sum_{ij} \int_0^{M_{ij}} \left(-\ln \frac{\theta}{(\eta \sigma R_{ij} + T_{2ij}) - \theta} + u_{ij} \right) d\theta \\ &+ W(R, T, M) \end{aligned} \quad (26.a)$$

s. t

$$\sum_j R_{ij} = G_i \quad \forall j \quad (26.b)$$

$$\sum_j T_{2ij} = g_i \quad \forall i \quad (26.c)$$

$$R_{ij} \geq 0, T_{2ij} \geq 0, \quad \forall i, j \quad (26.d)$$

$$0 \leq M_{ij} \leq \eta \sigma R_{ij} + T_{2ij} \quad \forall i, j \quad (26.e)$$

もし、 $W(\cdot)$ が R_{ij} , T_{2ij} , M_{ij} の関数として表せるなら、 Z_3 は R_{ij} , T_{2ij} , M_{ij} だけの関数として解ける。このことが可能ならば、 Z_1 は $Z_3 - Z_2$ という相互に関連し、調整し合う 2 段階の最適化問題に分解できる。

ところで、 Z_2 に Frank-Wolf 法を適用し、 n 回目反復終了後の補助最適化問題の最適化問題を考えることにより、最適値関数 $W(R, T, M)^{(n)}$ の下限近似は次の

ように表せる。

$$W(R, T, M)^{(n)} = \sum_{ij} \lambda_{ij}^{(n)} (\eta \sigma R_{ij} + T_{2ij} - M_{ij}) \quad (27)$$

ゆえに、 n 回目反復時点における Z_3 は次のようになる。

$$\begin{aligned} \min Z_3(R, T, M)^{(n)} &+ (1/\alpha) \sum_{ij} (T_{2ij} \ln T_{2ij} - A_j T_{2ij} - T_{2ij}) \\ &+ (\eta \sigma / \beta) \sum_{ij} (R_{ij} \ln R_{ij} - B_j R_{ij} - R_{ij}) \\ &+ \rho \sum_{ij} (\eta \sigma R_{ij} + T_{2ij}) \pi_{ij} \\ &+ \sum_{ij} \int_0^{M_{ij}} \left(-\ln \frac{\theta}{(\eta \sigma R_{ij} + T_{2ij}) - \theta} + u_{ij} \right) d\theta \\ &+ \sum_{ij} \lambda_{ij}^{(n)} (X_{ij} - M_{ij}) \end{aligned} \quad (28.a)$$

s. t

$$\sum_j R_{ij} = G_i \quad \forall j \quad (28.b)$$

$$\sum_j T_{2ij} = g_i \quad \forall i \quad (28.c)$$

$$R_{ij} \geq 0, T_{2ij} \geq 0, \quad \forall i, j \quad (28.d)$$

$$0 \leq M_{ij} \leq \eta \sigma R_{ij} + T_{2ij} \quad \forall i, j \quad (28.e)$$

この問題の最適解は次のようである。

$$T_{2ij}^{(n)} = g_i \frac{\exp(A_j - \alpha C_{ij})}{\sum_j \exp(A_j - \alpha C_{ij})} \quad \text{if } X_{ij} > 0 \quad (29.a)$$

$$R_{ij}^{(n)} = \frac{1}{\sigma} E_j \frac{\exp(B_j - \beta C_{ij})}{\sum_i \exp(B_j - \beta C_{ij})} \quad \text{if } R_{ij} > 0 \quad (29.b)$$

$$M_{ij}^{(n)} = X_{ij} \frac{\exp(-\gamma u_{ij})}{\exp(-\rho \lambda_{ij}) + \exp(-\rho u_{ij})} \quad \text{if } M_{ij} > 0 \quad (29.c)$$

$$X_{ij}^{av} = X_{ij} - M_{ij} \quad (29.d)$$

結局、 Z_1 を解くということは、ロジットモデルで分布交通量、機関別交通量を求めて、Wordrop 均衡配分を行うという操作を繰り返せばよい。

5. おわりに

本論文では、派生需要としての交通需要を交通サービスおよび土地利用に関係した経済変数でとらえ、4段階推定法における各ステップを同時に予測できる“居住地-交通統合モデル”を提案した。また、このモデルは非線形の数理最適化問題となることから、解の一意性を示したうえで計算手法を提案した。

以上のことから、本論文における提案モデルは利用者交通行動理論に基づいたモデルであり、方法論的矛盾を内包した従来の段階的予測手法の問題点を改善することが期待できる。また、提案モデルは居住地選択モデルを内包しているので、世帯数の同時予測にもつかえる。したがって、世帯（人口）・従業者数などの土地利用条件の変化が交通システムに与えるインパクトが予測できる。また、逆に、交通システムの変化が住宅立地に与えるインパクトを分析することも可能となる。

また、問題点も数多く残った。そのいくつかを以下にあげる。

- a) 機関分担において道路ネットワークをマストランジットと自動車とが共有する場合、モデルをいかに定式化するか。
- b) 業務トリップをどのように定式化してモデルに取り込むか。
- c) 土地供給主体、企業の立地行動をどのようにとらえ、モデルに取り込むか。
- d) 世帯が居住地を選択する要因として自由目的交通のアクセシビリティを取り込むことはできないか。
- e) 実際に都市のデータを用いてモデルの現況再現性などを通して実用性の検討が必要である。

以上のことは今後の課題としたい。

参考文献

- 1) 宮城俊彦、加藤晃(1985): 交通需要・パフォーマンス均衡モデルの実用化に関する一手法の提案: 適用事例、交通工学、Vol. 20, No. 2, pp. 3~8
- 2) Boyce, D. E., Southworth, F. (1987): Quasi-dynamic urban-location models with endogenously determined travel costs, Environment and Planning A, Volume 11, pp. 575~584.
- 3) Los, M. (1979): Combined residential-location and transportation models, Environment and Planning A, Volume 11, pp. 1241~1265.
- 4) Magnanti, T. L. (1984): Models and algorithms for predicting urban traffic equilibria, Transportation Planning Models Mr Florian (editor), North-Holland, pp. 153~185.
- 5) Wilson, A. G. et al (1981): Optimization in Locational and Transportation Analysis, John Wiley & Sons, pp. 85~110.
- 6) Florian, M., and Nguyen, S. (1978): A combined trip distribution modal split and trip assignment model, Transpn. Sci., Volume 12, No. 4, pp. 241~246.
- 7) 第18回 土木計画学会講習会テキスト(1987): 交通ネットワークの分析と計画 最新の理論とその応用, pp67~83.