

京大工学部 正員 朝倉 康夫
京大工学部 正員 佐佐木 綱

1. はじめに

長期的な交通および土地利用計画代替案の作成を目的として、従来よりいくつかのシステム最適化モデルが提案されてきた。(表-1) TOPAZ, Coelho and Williams, および Los and Nguyen は、交通網が所与という条件の下で、土地利用の最適配置を求めるモデル, Lundqvist, Los は、交通網と土地利用の同時最適配置モデルである。(なお、土地利用が所与の下での最適交通網形成モデル¹⁾には、Dantzig et al. (1979), Boyce and Sobanances (1979) がある。)

本稿では、与えられた交通網の下でのシステム最適を与える土地利用計画モデルに着目し、このモデルを最適化問題として定式化するとともに、その解法を示すことを目的とする。ここで提案するモデルは、①土地利用を表現する変数は連続変数であり、計画対象地域が比較的小さい場合に適用していること、②交通量の増加に伴う交通サービスレベルの低下(交通混雑)を考慮しており、道路交通網を念頭に置いていること、を前提とする。

2. モデルの定式化

与えられた交通網の下での交通混雑を考慮した最適土地利用計画モデルは、次に示す2段階計画問題として定式化することができる。

$$[P] \quad \text{Min}_{\{x\}} \sum_r \sum_j b_{rj} \cdot x_{rj} + \sum_r \sum_j u_{rj}^* \cdot T_{rj}^* \quad \text{----- (1)}$$

$$\text{Sub. to} \quad \sum_j x_{rj} = M_r \quad \text{for all } r \quad \text{----- (2)}$$

$$\sum_r x_{rj} \leq N_j \quad \text{for all } j \quad \text{----- (3)}$$

$$x_{rj} \geq 0 \quad \text{for all } r, j \quad \text{----- (4)}$$

ここに、 T_{rj}^* , u_{rj}^* は、次の3問題の解である。

$$[S] \quad \text{Min}_{\{T, V\}} \sum_r \int_0^{V_a} S_a(x) dx + \frac{1}{\delta} \sum_r \sum_j T_{rj} (\ln T_{rj} - 1) \quad \text{----- (5)}$$

Sub. to

$$\sum_j T_{rj} = \sum_r x_{rj} \cdot PR_r \quad \text{for all } i \quad \text{----- (6)}$$

$$\sum_r T_{rj} = \sum_r x_{rj} \cdot AT_r \quad \text{for all } j \quad \text{----- (7)}$$

$$\sum_m h_{mj} = T_{rj} \quad \text{for all } i, j \quad \text{----- (8)}$$

$$V_a = \sum_r \sum_j \sum_i h_{mj} \cdot \delta_{amij} \quad \text{for all } a \quad \text{----- (9)}$$

ここに、 r は活動(activity), i, j はゾーンを示す。

このモデルのインプットとなる変数は、

b_{rj} : 活動 r の1単位をゾーン j に配置するための開発費用

M_r : 地域全体での活動 r の総配置量

N_j : ゾーン j での配置量の上限

PR_r, AT_r : 活動 r の自動車トリップ発生、集中率単位であり、アウトプットとしては、

x_{rj} : 活動 r のゾーン j への配置量。

T_{rj} : ゾーン i, j 間のODフロー, V_a : リンク a のフロー

を得ることが出来る。また、 u_{rj} : ゾーン i, j 間の交通

費用, h_{mj} : ゾーン i, j 間のバスのフロー, δ_{amij} :

ゾーン i, j 間のバスのリンク a を通れば1とそうでな

ければ0, δ : OD分布パラメータ, $S_a(x)$: リンク a の

パフォーマンス関数。である。

表-1 システム最適化アプローチによる交通網/土地利用計画モデルの比較

	目的関数の構成	アウトプット変数			交通混雑	交通手段	OD分布	制約化	解法
		土地利用	交通フロー	交通網					
TOPAZ Brothie et al. (1970)	(development cost)+(transportation cost) → min	Xkj k: activity j: zone	Tij: OD flow	—	N	Y	Y	Y	L.P.とOD分布モデルの くり返し。
Coelho and Williams (1978)	(establishment cost)-(interaction benefit) → min	Hi: household Ej: job i, j: zone	Tij: OD flow	—	N	N	Y	N	明示的に示していないが、 Frank-Wolfe法を用。
Lundqvist (1973)	(interaction cost)+(spatial congestion cost) → min	Bi: building capacity i: zone	—	Tk: existence of link k	N	N	N	Y	ヒューリスティックな tree search アルゴリズム
Los (1979)	(establishment cost)+(transportation cost)+(network const. cost) → min	Yip i: activity p: location	Va: link flow	Za: link capacity	Y	N	N	N	Geoffrionの離散型凸計画 法の適用。
Los and Nguyen (1981)	(establishment cost)+(peak transp. cost)+(offpeak transp. cost) → min	Yip i: activity p: zone	Va: link flow Gpq: peak OD Gpq: off-peak	—	Y	N	Y	N	2次計画問題と分枝定界 法を用いた解法のくり返し。

(*) 連続変数

(**) 離散変数

(Y) 考慮あり

(N) 考慮しない

[P] の目的関数 (4) の第1項は、土地利用の開発費用、第2項は総交通費用である。(2)は活動長の地域全体の総配置量に関する制約、(3)はゾーンjの総配置量が N_j 以下であるための制約である。子問題[S]は、Evans (1976) の分布、配分同時決定モデルと等価であり、(6)、(7)はそれぞれ自動車トリップの発生、集中量に関する制約、(8)はODフロー保存則、(9)はパスフローとリンクフローの関係式である。

[P] は、土地利用開発費用と交通費用の和を最小化するシステム最適化問題であるのに対し、[S] は利用者均衡問題である。したがって、このモデルは、交通のフローとしては利用者の自由な交通行動を認めつつ、都市地域システム全体としてはひとつの効率性の尺度を最適にする土地利用計画案はどのような案となるか、を求めるモデルである。

従来のモデルとの関係は、次の2点である。

①リンク容量が十分大きく交通混雑を考慮する必要がない場合、子問題を発生、集中制約付きの重力モデル

$$\text{Min}_{T, T_j} \sum_i \sum_j C_{ij} \cdot T_{ij} + \alpha \sum_i \sum_j T_{ij} \ln T_{ij} \quad \text{----- (4)}$$

Sub. to (6) and (7)

ここに C_{ij} はゾーンiとj間の交通費用

で置換すれば、最も簡略化された TOPAZ と等価となる。

② X_{ij} を0,1の離散変数とし、子問題の目的関数を

$$\text{Min}_{T, T_j, X_{ij}} \sum_i \int_0^{V_i} S_i(x) dx + \alpha \sum_i \sum_j T_{ij} \ln T_{ij} \quad \text{----- (1)}$$

とすれば、Los and Nguyen モデル (ピーク時) となる。

3. 求解の手順

[P] および [S] は、2段階計画問題の中で、子問題の制約条件が線形である Stackelberg 問題であるため、子問題をその必要十分条件で置換えることにより、通常の非線形計画問題に帰着させ2解けばよいことが知られている。²⁾ レオレ、その手順は非常に複雑であり、変数の数が多い場合にもそのまま適用できるかどうかは検討が必要である。そこで、本稿ではひとつのヒューリスティックな方法として、以下の手順により解を求めるものとした。

step 1. 初期点 $X_{ij}(1)$ とそれに対する [S] の解 $T_{ij}(1)$ $V_i(1)$ を求める。最短経路上で、i-j間の交通費用 $U_{ij}(1)$ を求めた後、 $m=1$ とする。(mは繰返し回数)

step 2. $X_{ij} = X_{ij}(m)$ とした [P] の目的関数の勾配 Δf_{ij} をすべての i, j に関して求める。

$$\text{step 3. } \text{Min}_{X_{ij}} \sum_i \sum_j \Delta f_{ij} \cdot X_{ij} \quad \text{----- (2)}$$

Sub. to (2), (3) and (4)

のL.P.を解き、解を X_{ij}^* とする。

step 4. $X_{ij} = X_{ij}(m) + \lambda (X_{ij}^* - X_{ij}(m))$ において、 $0 \leq \lambda \leq 1$ の範囲で [P] の目的関数を最小にする $\lambda = \lambda^*$ を求め、 $X_{ij}(m+1) = X_{ij}(m) + \lambda^* (X_{ij}^* - X_{ij}(m))$ とする。

step 5. $X_{ij}(m+1)$ を用いて [S] を解き、 $T_{ij}(m+1), V_i(m+1)$ を求める。最短経路上で $U_{ij}(m+1)$ を求める。

step 6. 解が収束しておれば終了。そうでなければ step 2. へもどる。

なお、ここに示した求解の手順に従って、簡単なゾーニング(ゾーン数9)と交通網(ノード数9, リンク数24)を仮定して数値計算を実行した結果、アルゴリズムの収束性を確認することができたが、詳細は省略する。

4. おわりに

本稿で示したモデルの主な問題点と課題は、

①交通手段による分担関係を取り込む必要があること。交通手段が2種類の場合(車とトラジット)については、子問題を Florian and Nguyen (1978) の分布、分担、配分の同時決定問題と類似の問題で置換する方法が考えられる。

②既存土地利用を前提とした土地利用の再編成のための計画代替案を検討する場合にも適用しうるように、土地利用の既存立地量を考慮すること。そのためには、既存土地利用を EX_{ij} とし、制約 (6), (7) をそれぞれ

$$\sum_j T_{ij} = \sum_j (X_{ij} + EX_{ij}) \cdot PR_i \quad \text{for all } i \quad \text{---- (6')}$$

$$\sum_i T_{ij} = \sum_i (X_{ij} + EX_{ij}) \cdot AT_j \quad \text{for all } j \quad \text{---- (7')}$$

と置換する方法が考えられる。

実際の計画代替案策定に適用するためには、①、②に加え、活動別の土地利用指標として何が必要であるか、 b_{ij} もどのように設定するか、などについての十分な検討が必要となる。

参考文献

- 朝倉康夫 (1984), "交通混雑を考慮した最適ネットワーク形成に関する2つの考察", 土木計画学研究・講演集, Vol. 6, pp. 231-238.
- 志水清孝 (1982), "多目的と競争の理論", 共出版, pp. 210-216