

# 整数計画法による土地利用と道路網の 同時最適化モデルに関する研究

埼玉大学大学院政策科学研究科 転馬 潤 (指導教官 大山達雄教授)

## 1. 研究の目的

土地利用計画の最適化,あるいは道路網建設の最適化に関する研究は,これまでそれぞれ個々には数多くなされてきているが,これら2つを同時に行なった研究はあまりなされていない.本研究では,土地利用と道路網の同時最適化モデルを,混合型整数計画法を用いて定式化し,それを現実の埼玉県北部地域の道路交通網に適用する.そして,実際の当地域のOD交通量データを用いた計算と,得られた最適解の詳細な分析によって,当モデルの妥当性,有効性について考察を加える.

## 2. 宅地開発と道路網の同時最適化モデルの概要

このモデルは,地域内の業務地域の発展に伴う雇用増に対応する住宅地域の配置,交通需要変化に対応する道路整備(拡幅,新設)箇所の配置,ならびに各道路の交通量等が,当該地域における交通流の最適化という評価基準の下で,どのようになるのが望ましいかを求めるものである.したがって得られる最適解は,雇用の増加量,宅地開発と道路整備の予算上限制約,宅地開発前のOD交通量を与えられたときに,全体の道路網の効率性を最大にする(ネットワークの総走行時間を最小にする)ものとなる.

現実の道路交通網を,ノードとリンクで構成されるネットワークを用いて表わす.ここで, $R$ をノード全体の集合, $S$ を交通が発生するノードの集合, $L_0$ をリンク全体の集合, $L_1$ を拡幅,新設対象リンクの集合とする.なお,リンクは有向リンクとする.

モデルの対象とする地域を,業務ゾーンと住居ゾーンに2分割する.ゾーンはノードで表わされる.モデルは,業務ゾーン $j$ に雇用増(単位は交通量で表わす)があったときに,そこへの通勤者を,住居ゾーン $i$ へ割り当てるものである.

ここで, $Q$ を業務ゾーン $j$ の集合, $H$ を住居ゾーン $i$ の集合( $Q \cap H = \phi, Q \cup H = R$ )とする.

### 1) 決定変数

本モデルにおける決定変数は以下のとおりである.

$y_{ij}$  : リンク $(i, j)$ の拡幅,新設があるときに1,ないときに0をとる0-1変数( $(i, j) \in L_1$ )

$f^n_{ijs}$  : リンク $(i, j)$ を所要時間の異なる $m$ 個の部分リンクの合成としたときの, $n$ 番目のものの流量( $(i, j) \in L_0, s \in S, n=1, \dots, m$ )

$z_i$  : 住居ゾーン $i$ の開発があるときに1,ないときに0をとる0-1変数( $i \in H$ )

$g_{ij}$  : 住居ゾーン $i$ から業務ゾーン $j$ への増加交通量( $i \in H, j \in Q$ )

### 2) 制約条件

#### (i) 交通流保存則

$$\sum_{i \in b(j)} \sum_{n=1}^m f^n_{ijs} - \sum_{k \in a(j)} \sum_{n=1}^m f^n_{jks} = \begin{cases} -O_s & (s=j) \\ D_{js} & (s \neq j) \end{cases} \quad (s \in S, j \in R) \quad (1)$$

ここで,

$$O_s = \bar{O}_s + \begin{cases} \sum_{r \in H} g_{rs} & (s \in Q) \\ \sum_{r \in Q} g_{sr} & (s \in H) \end{cases} \quad (s \in S) \quad (2)$$

$$D_{js} = \bar{D}_{js} + \begin{cases} g_{js} & (j \in H, s \in Q) \\ g_{sj} & (j \in Q, s \in H) \\ 0 & (\text{それ以外}) \end{cases} \quad (3)$$

( $s \in S, j \in R$ )である.

(1)式は,ノード $j$ における,発生ノード別交通量に関する流量保存則である.ノード $s$ から発生した交通流に関して,任意のノード $j$ に入る量と,出る量が等しいことを表わしている.つまりノード $j$ が発生ノードであれば発生量 $O_s$ に,そうでない場合は,そのノードを目的地とする交通量 $D_{js}$ によって保存量調整が行なわれる.

なお, $a(j)$ はノード $j$ を始端とするリンクの集合, $b(j)$

はノード  $j$  を終端とするリンクの集合である。

(2), (3)式は,  $OD$  交通量に関するもので, それぞれ, 右边第 2 項以降が宅地の開発によって発生した交通量である。  $\bar{O}_s, \bar{D}_{js}$  は宅地開発前の,  $O_s, D_{js}$  は開発後の  $O, D$  交通量である。

(ii) 部分リンクの容量制約

$$\sum_{s \in N} f_{n_{ijs}} \leq F^{n_{ij}} + \Delta F^{n_{ij}} \quad ((i, j) \in L_0, n = 1, \dots, m) \quad (4)$$

(4)式は, 部分リンクの容量に関する制約式である。リンクが新設, 拡幅されると, その容量が  $F^{n_{ij}}$  から  $\Delta F^{n_{ij}}$  だけ増加することを表す。

(iii) 増加交通量に関する整合条件

$$\sum_{i \in H} g_{ij} = \Delta Q_j \quad (j \in Q) \quad (5)$$

$$\sum_{j \in Q} g_{ij} \leq \bar{H}_i z_i \quad (i \in H) \quad (6)$$

(5)式は, 業務ゾーン  $j$  へ集中する増加交通量の総和(式の左辺)を, ゾーン  $j$  の雇用増  $\Delta Q_j$  に等しくする制約式であり, (6)式は, 住宅ゾーン  $i$  から発生する増加交通量の総和(式の左辺)を, そのゾーンの宅地開発量の上限  $\bar{H}$  以下にする制約式である。

(iv) 宅地の開発, 道路の整備に伴う費用上限予算制約

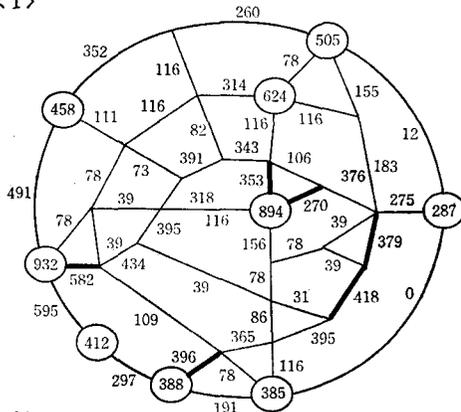
$$\sum_{(i, j) \in L_1} \epsilon_{ij} y_{ij} + \sum_{i \in H} \xi_i \sum_{j \in Q} g_{ij} \leq B \quad (7)$$

(7)式は, 道路整備と宅地開発のコストの総和を一定上限額以下にする制約式である。  $\epsilon_{ij}$  はリンク  $(i, j)$  の拡幅, 新設のコスト,  $\xi_i$  はゾーン  $i$  の単位宅地開発量あたりコスト,  $B$  は道路整備と宅地開発の予算の上限である。

(v) 宅地開発ゾーンの総数に関する上限制約

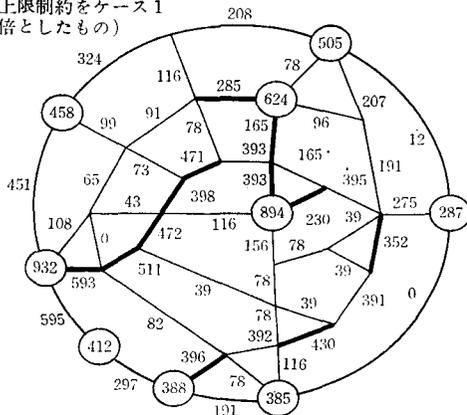
$$\sum_{i \in H} z_i \leq N \quad (8)$$

<ケース 1>



<ケース 2>

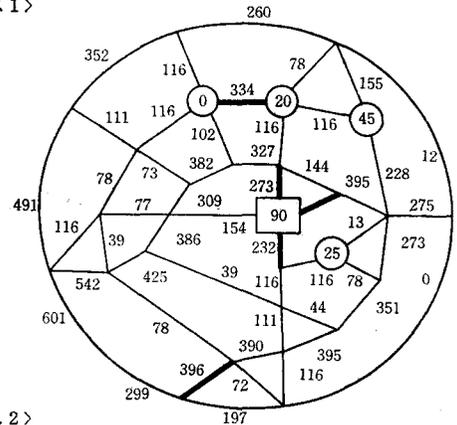
(予算上限制約をケース 1 の 2 倍としたもの)



数字はリンク交通量, 太線は拡幅リンク, 白円は交通発生ノード, 円内数字はゾーン発生交通量を表す。数字の単位は100台/日

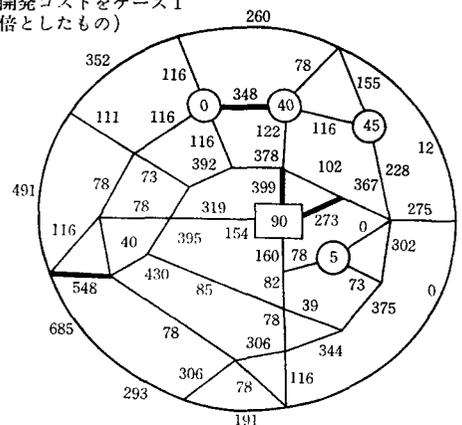
図 1 道路網最適配置モデルの解

<ケース 1>



<ケース 2>

(宅地開発コストをケース 1 の 2 倍としたもの)



数字はリンク交通量, 太線は拡幅リンク, 白円は住居ゾーン, 円内数字は宅地開発量, 中央四角は業務ゾーン, 四角内数字は雇用増加量を表す。数字の単位は100台/日

図 2 土地利用と道路網の同時最適化モデルの解

ここで、 $N$ は開発する住宅ゾーン数の上限である。

(vi) 変数条件

$$y_{ij} \in \{0, 1\} \quad ((i, j) \in L_1) \quad (9)$$

$$z_i \in \{0, 1\} \quad (i \in H) \quad (10)$$

$$f^{n_{ijs}} \geq 0 \quad ((i, j) \in L_0, s \in S, n=1, \dots, m) \quad (11)$$

$$g_{ij} \geq 0 \quad (i \in H, j \in Q \text{ または } i \in Q, j \in H) \quad (12)$$

(9)(10)式は変数の整数条件, (11), (12)式は交通量の非負条件である。

3) 目的関数

$$\text{minimize} \quad \sum_{(i,j) \in L_0} \sum_{n=1}^m r^{n_{ij}} \sum_{s \in S} f^{n_{ijs}} \quad (13)$$

(13)式は部分リンクの所要時間  $r^{n_{ij}}$  と流量の積和であって、ネットワーク上の全交通量の総走行時間を表わす。ここで、 $S^1_{ij}$ を拡幅、新設があるときの、 $S^0_{ij}$ をそれがないときのリンク所要時間関数（研究では交通量の2次関数とした）とすれば、(4), (13)式は、(14)式を線形近似したものと同値である。このとき、 $r^{n_{ij}}$ ,  $F^{n_{ij}}$ ,  $\Delta F^{n_{ij}}$ は、 $S^0_{ij}$ ,  $S^1_{ij}$ より与えられる。なお、 $f_{ij}$ はリンク  $(i, j)$ の総交通量 ( $f_{ij} = \sum_{n=1}^m \sum_{s \in S} f^{n_{ijs}}$ ) である。

$$\text{minimize} \quad \sum_{(i,j) \in L_0} \{ (1-y_{ij}) \cdot f_{ij} \cdot S^0_{ij}(f_{ij}) + y_{ij} \cdot f_{ij} \cdot S^1_{ij}(f_{ij}) \} \quad (14)$$

### 3. 計算結果

1) 道路網最適配置モデルの計算結果

先に定式化した、宅地開発と道路網の同時最適化モデルで、宅地開発を考慮しないものを、道路網最適配置モデルとして、埼玉県春日部市周辺地域に適用し、モデルの特性をみた(図1)。

2) 宅地開発と道路網の同時最適化モデルの計算結果

このモデルを埼玉県春日部市周辺地域に適用し、予算制約、宅地開発コストが変化したときの、土地利用と道路網の配置解を得た(図2)。ネットワークは、ノード数29, うち交通発生ノード9, 宅地開発ノード4, リンク数102, 拡幅対象リンク86である。整数変数は47個である。

### 4. まとめ

既存研究のモデルと比較した本研究のモデルの特徴をまとめると、以下のとおりである。

- ① 道路整備による容量の変化を、離散的に取り扱った。
- ② ゾーンの土地開発を、整数変数として定式化した。
- ③ 道路混雑を考慮して、交通量と所要時間の関係を階段関数を用いて表わした。

これらの項目のうち、各項目単独では既存研究ですでになされているものもあるが、全項目を同時に満足する研究例はまだない。本研究は、これらの項目を同時に取り入れたものとして位置づけられる。

## 報文集価格表 (会員価格)

T-73-1	ネットワーク構造を有するオペレーションズ・リサーチ問題の電算機処理に関する基礎研究	1200円
T-76-1	オペレーションズ・リサーチのためのデータとプログラムに関する研究	4000円
T-77-1	システムダイナミックス——方法論と適用例	2500円
R-79-1	「ORの実践とその有効活用」視察団報告	1200円
R-82-1	「欧州におけるOR実施状況」視察団報告書	1200円
R-84-1	「米国におけるORの実践」視察団報告	1200円
T-86-1	「南北協力の新しい戦略——マイクロ電子技術を起爆として——」	3500円
R-88-1	「南米諸国とのOR交流視察団」報告書	1200円