

IV-27

道路網感度分析の立地配分問題への応用について

苫小牧工業高等専門学校 正員 榎谷 有三
 室蘭工業大学工学部 正員 田村 亨
 室蘭工業大学工学部 正員 斉藤 和夫

1. まえがき

道路網において処理し得る最大交通需要量を表す道路網容量は、交通施設の容量からみた都市活動の適正な水準を示す指標の一つであり、道路網があるサービスレベルの下でその機能を発揮するために保つべき都市活動の容量である。したがって、自動車交通需要の増大に伴って生じる交通混雑・渋滞あるいは大気汚染などの各種道路交通問題に対する種々の対策を道路交通の面から評価するうえでも重要な要因となっている^{1), 2)}。

道路網容量は一般にネットワーク特性およびフロー特性によって規定されることから、道路網感度分析は、ネットワーク特性としての道路網の形態および各リンクの交通容量あるいはフロー特性としての道路網上における発生・集中交通量（土地利用パターン）あるいは分布交通量（OD交通量）などがそれぞれ変化したとき、道路網容量がどのような影響を受けるかを定量的に分析することである。そして、このような感度分析は道路網容量を超えるような交通需要に対処するための管理運用計画あるいは土地開発利用への規制計画等を策定しようとするときに重要となってくる。

本研究においては、住宅団地開発、工業団地開発あるいは都市活動施設など各種の新規土地利用活動の配置と規模が道路網容量にどのような影響を及ぼすかについて考察を試みるものである。すなわち、新規の土地利用活動の立地に伴って土地利用パターンが変化すると、各OD交通の構成比も変化するとともに道路網容量も変化する。立地配分問題を道路網容量の面から考察するのも、このように土地利用パターンの変化に伴って道路網容量が変化するからである。新規の土地利用活動の適切な規模と配置を道路網容量の面から考察した研究としては、清田・高田・樺木の研究³⁾及び榎谷・斉藤の研究⁴⁾等がある。このうち、著者等の研

究はカット行列及びODカット行列を基礎に各ゾーンの立地可能量の上限値あるいは立地可能な実現可能領域を求めて、道路網容量から見たときの実現可能な種々の立地配分パターンについて考察してきた。しかしながら、カット行列及びODカット行列作成に必要なカットは、道路網容量増強問題をLP問題（線形計画問題）として定式化するとともに、LP問題の相補性定理を基に考察されてきた。したがって、これらの行列を基礎に各ゾーンの立地可能量の上限値等を求めたとき、求められた値は必ずしも各OD交通の経路選択挙動を踏まえたものとはなっていない場合もある。そこで、本研究では著者等が開発した各OD交通の経路選択挙動を考慮できるとともに、大規模な道路網にも適用可能なカット行列及びODカット行列作成手法⁵⁾を基礎に、単一のゾーンを対象に各種の土地利用活動を立地させたときの道路網容量、すなわち各ゾーンの立地可能量の上限値について算定を試みる

2. 各ゾーン（地域）の立地可能量の上限値の算定手法

各ゾーンの立地可能量の上限値の算定にあたっては、土地利用パターンの変化に伴う各OD交通の構成比の変化あるいは各OD交通の走行可能な経路選定などについて考えなければならないが、本研究にはおいては次のような仮定のもとに考察を進める。(1)立地されたゾーンにおける新たな発生・集中交通量は、現在のOD表に基づき同じ相対比で発生・集中するものとする。(2)また、各OD交通の走行可能な経路は、新たに発生・集中交通量が増加したとしてもODカット行列を作成するときに選定された経路と同じとする、などである。

いま、 n 個のノード(ゾーン)と m 本のリンクからな

る道路網上に r 個のOD交通が存在するものとする。また、著者等のアルゴリズムを通して探索された感度分析に必要なカットの本数を W 本とし、カット行列およびOD-カット行列をそれぞれ C 、 K とする。ここのよびOD-カット行列をそれぞれ C 、 K とする。ここで、各行列の要素 C_{ij} 、 K_{ij} はそれぞれカット i にリンク j を含むとき、及びカット i を k 番目のOD交通が通過するとき 1、そうでないとき 0 を取る。

各ゾーンの立地可能量の上限値の算定手順は次のとおりである。

(1) 各リンクの交通容量に関する式 (1) の列ベクトル L を、式 (2) のようにカット行列 C に右側から掛けて各カットの交通容量 M_w を求める。ここで、 t は転置を示す。

$$L = [L_1, L_2, \dots, L_n]^t \quad (1)$$

$$M = [M_1, M_2, \dots, M_w]^t = C \cdot L \quad (2)$$

(2) 各OD交通の構成比に関する式 (3) の列ベクトル p を、式 (4) のように行列 K に右側から掛けて各カットを通過するOD構成比の和 P_w を求める。

$$p = [p_1, p_2, \dots, p_k, \dots, L_n]^t \quad (3)$$

$$P = [P_1, P_2, \dots, P_w, \dots, P_w]^t = K \cdot p \quad (4)$$

(3) 各カットを通過するOD構成比の和 P_w に需要交通量 F を掛けて各カットを通過するOD交通量の和 D_w を求める。さらに、式 (6) にて各カットの残余容量 V_w を求める。ここで、 D 、 V はそれぞれ $(W \times 1)$ である。

$$D = [D_1, D_2, \dots, D_w, \dots, D_w]^t = F \cdot P \quad (5)$$

$$V = [V_1, V_2, \dots, V_w, \dots, V_w]^t = M - D \quad (6)$$

(4) 各OD交通がいずれのゾーンを発着点とするかを示す式 (7) のOD-ゾーン行列 N に、式 (8) に示す各OD交通の構成比 p_k を対角要素とする行列 p' を左側から掛けて行列 N' を作成する。ここで、行列 N の要素 N_{ki} は k 番目のOD交通が i 番目のゾーンを発着点とするとき 1、そうでないとき 0 を取る定数である。また、行列 N' は $(r \times n)$ 行列であり、行列の各要素 N'_{ki} は k 番目のOD交通が i

番目のゾーンを発着点とするとき p_k 、そうでないとき 0 を取る。

$$N = \begin{bmatrix} N_{11} & N_{12} & \dots & \dots & N_{1n} \\ N_{21} & N_{22} & \dots & \dots & N_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ N_{r1} & N_{r2} & \dots & \dots & N_{rn} \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$p' = \begin{bmatrix} p_1 & & & 0 \\ & p_2 & & \\ & & & \\ 0 & & & p_r \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$N' = p' \cdot N \quad (9)$$

(5) 行列 N' において、各列ごとに各列の要素の和を求めて各ゾーンで発生・集中するOD構成比の和 N'_i は式 (10) で求める。

$$N'_i = \sum_{k=1}^r N'_{ki} \quad (i=1, 2, \dots, n) \quad (10)$$

(6) 行列 N' にOD-カット行列 K を左側から掛けて、各ゾーンごとに発生・集中するOD構成比の和 Q_w を式 (11) で求める。

$$Q = K \cdot N' \quad (11)$$

(7) 各ゾーンごとに、各ゾーンを発生・集中するOD交通のうち各カットを通過するOD交通の相対比 R_{wi} を式 (12) で求める。そして、 R_{wi} を要素とする行列を R とする、 R は $(W \times n)$ 行列である。

$$R_{wi} = Q_{wi} / N'_i \left\{ \begin{matrix} i = 1, 2, \dots, n \\ w = 1, 2, \dots, w \end{matrix} \right\} \quad (12)$$

(8) 各ゾーンに新規の土地利用活動を立地させたときの、カット w の残余容量 V_w からみたゾーン i の立地可能量の上限値 F_{wi} を式 (13) で求める。

$$F_{wi} = V_w / R_{wi} \left\{ \begin{matrix} i = 1, 2, \dots, n \\ w = 1, 2, \dots, w \end{matrix} \right\} \quad (13)$$

(9) 各ゾーンごとに、各カットの残余容量からみた立地可能量の上下限値 F_{wi} のうち最小値 F_i を式 (14) で求める。

$$F_i = \min \{ F_{1i}, F_{2i}, \dots, F_{wi}, \dots, F_{wi} \} \quad (i=1, 2, \dots, n) \quad (14)$$

そうすると、式(14)で求められる値 F_i が、単一のゾーンを対象に立地配分を行うとするときの各ゾーンにおいて立地可能な上限値となる。したがって、既存道路網の交通処理能力という面からは各ゾーンにおいて F_i を超えるような立地は不可能ということになる。そして、 F_i が各ゾーンにおいて新たに発生・集中可能な交通量であるから、各ゾーンに F_i に相当する土地利用活動を立地させると道路網容量は $(F + F_i)$ となる。それゆえ、既存道路網の有効な利用という面からはいずれのゾーンに立地させればよいか、さらにはどの程度の規模まで立地可能であるかなどは各ゾーンの F_i を比較検討すればよい。このように、カット行列およびODカット行列を基に単一のゾーンを対象に立地配分したときの立地可能量の上限値及び道路網容量の算定を行うことができる。

3. 計算例

ここでは従来のLP問題を基礎としたアプローチと比較検討するため、文献4)、5)と同様に図-1(図中のリンク上の数字はリンク番号)に示す10ノードモデルを対象に各ゾーンの立地可能量の上限値の算定を試みる。表-1にはOD構成比(右上半分)及び各リンクの距離(左下半分)を示した。また、各リンクの交通容量は12000台とする。文献5)で考察した配分シミュレーション法を基に道路網容量の算定を試みたところ、図-1に示すカット1が最小カットとして発生して、道路網容量 $69767(=24000/0.344)$ 台を得た。なお、LP問題を通した算定においても、この例では同

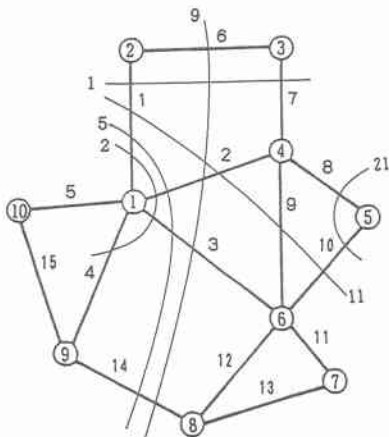


図-1 対象道路網と探索されたカット

じ値を得ている。次に、カット行列を作成するために、最小カットよりフロー水準の大きいカットを文献5)で考察したアルゴリズムを通して探索したものが図-1のカットである。また、図-2に示すカットは図-1のカットを基に、感度分析に必要な他のカットを

表-1 各OD交通の構成比と各リンクの距離(m)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1		0.095	0.077	0.095	0.084	0.104	0.056	0.014	0.017	0.005
2	500		0.038	0.022	0.012	0.013	0.006	0.000	0.024	0.001
3	∞	500		0.050	0.016	0.015	0.005	0.005	0.000	0.003
4	800	∞	300		0.029	0.022	0.007	0.004	0.020	0.001
5	∞	∞	∞	300		0.068	0.013	0.003	0.000	0.000
6	600	∞	∞	600	400		0.032	0.003	0.004	0.002
7	∞	∞	∞	∞	∞	200		0.013	0.005	0.001
8	∞	∞	∞	∞	∞	500	600		0.011	0.004
9	600	∞	∞	∞	∞	∞	∞	500		0.001
10	400	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	700	

表-2 各カットの交通容量(Mw)、通過するOD構成比の和(Pw)、通過するOD交通量の和(Dw)及び残余容量(Vw)

カット	Mw	Pw	Dw	Vw
1	24000	0.3440	18920	5080
2	48000	0.6400	35200	12800
3	48000	0.6400	35200	12800
4	48000	0.6197	34084	13917
5	48000	0.6197	34084	13917
6	24000	0.3027	16649	7352
7	24000	0.3027	16649	7352
8	48000	0.5987	32929	15072
9	48000	0.5784	31812	16188
10	48000	0.5610	30855	17145
11	48000	0.5610	30855	17145
12	48000	0.5222	28721	19279
13	48000	0.5222	28721	19279
14	48000	0.5197	28584	19417
15	48000	0.5186	28523	19477
16	48000	0.4983	27407	20594
17	48000	0.4809	26450	21551
18	48000	0.4798	26389	21611
19	24000	0.2333	12832	11169
20	48000	0.4595	25273	22728
21	24000	0.2250	12375	11625

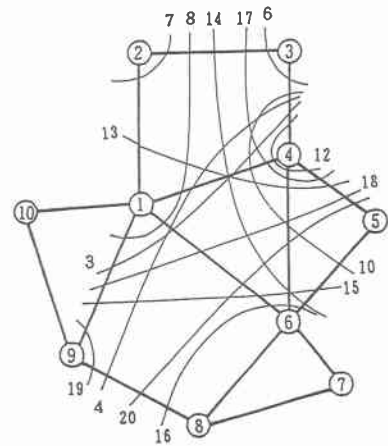


図-2 感度分析に必要な他のカット

探索したものである。ここでは、これら21本のカットを対象にカット行列及びOD-カット行列を作成するとともに、2. で述べた手順にしたがって各ゾーンの上限値の算定を行った。まず、図-1, 2に示されるカットを対象に各カットの交通容量(Mw)、通過するOD構成比の和(Pw)を求めた結果が表-2である。

さらに、現在の交通需要が55000台であるとしたときの各カットを通過するOD交通量の和(Dw)及び残余容量(Vw)はそれぞれ表-2となる。そして、2. で述べた手順(4)以降を

行って各ゾーンの立地可能量の上限值(Fi)及び道路網容量を求めた結果の一部が表-3である。表中の道路網容量は現在の交通需要55000台にFiを加えたものである。

ここでは、LP問題による結果と比較するため代表的なゾーンのみを示した。表中以外の他のゾーンの道路網容量は、いずれもLP問題と等しく、それぞれゾーン3(61208), 5(66625), 6(87592), 7(71410), 8(86382), 9(72991)及び10(77860)であった。

これらの結果から、多くのゾーンでは配分シミュレーション法を基礎に求めた道路網容量とLP問題による結果とが同じであったが、表-3に示すゾーン1及び4では異なっている。すなわち、上限値を規定するカットが変化するとともに、道路網容量も異なった値となっている。このようなことから、立地配分問題を道路網容量の面から考慮するときには、各OD交通の経路選択挙動についても考慮すべきことが窺える。

次に、単一ゾーンを対象に新規の土地利用活動を立地させようとしたときには、先の各ゾーンの道路網容量の値からも立地対象のゾーンによって大きく異なることが理解できよう。すなわち、ゾーン6, 8, 10などは、道路網容量も77000台をも超えることから既存施設の有効な利用という面からも望まれるところである。一方、ゾーン2, 3, 5などへ立地させたときには、道路網容量もOD構成比一定としたときの容量(69767台)より下回ることから、これらのゾーンへの立地は道路網容量の面からは必ずしも好ましくないこととなる。このように、道路網容量の面から土地利用活動の立地を考えたとき、立地されるゾーンによって

表-3 各ゾーンの立地可能量の上限值

ゾーン番号 探索手法	1		2		4	
	配分法	L P法	配分法	L P法	配分法	L P法
各ゾーンを発生集中するOD構成比の和 Ni	0.547		0.211		0.250	
上限値を規定するカットの番号	2	5	1	1	3	1
規定するカットを通過するOD構成比の和 Qwi	0.541	0.525	0.173	0.173	0.196	0.072
相対比 Rwi(=Qwi/Ni)	0.989	0.960	0.820	0.820	0.784	0.288
規定するカットの残余容量 Vw	12798	15110	5080	5080	12799	5800
立地可能量の上限值 Fi(=Vw/Rwi)	12940	15743	6195	6195	16325	17638
道路網容量	67940	70743	61195	61195	71325	72638

は道路網容量も大きく異なってくる。従って、立地にあたっては既存道路網の交通処理能力のみならず、各OD交通の経路選択挙動をも十分に踏まえることの必要性が窺える。

4. あとがき

以上、本研究は住宅団地開発、工業団地開発あるいは都市活動施設など各種の新規土地利用活動の適切な規模と配置を、すなわち土地利用活動の立地配分問題を道路網容量の面から考察した。

本研究では、各OD交通の経路選択挙動を考慮できるとともに、大規模な道路網にも適用可能なカット探索手法を基にカット行列及びOD-カット行列を作成した。そして、これらの行列を基礎に単一ゾーンを対象に各種の土地利用活動を立地させたときの道路網容量、すなわち各ゾーンの立地可能量の上限值を算定した。その結果、立地配分問題を道路網容量の面から考慮するときには、各OD交通の経路選択挙動をも十分に踏まえる必要がある。

<参考文献>

- 1) 土木学会土木計画学委員会(1987)「交通ネットワークの分析と計画：最新の理論と応用」、土木計画学講習会テキスト, Vol. 18,
- 2) 柏谷・朝倉(1992)「道路ネットワークの最大容量からみた都市開発基準の指標化に関する研究」、平成2・3年度文部省科学研究費研究成果報告書
- 3) 清田・高田・樗木(1985)「道路網容量から見た土地利用の在り方に関する考察」、土木計画学・講演集, No. 7,
- 4) 樗谷・斉藤(1987)「道路網容量から見た土地利用活動の立地配分」、交通工学, 第22巻4号
- 5) 樗谷・田村・斉藤(1994)「道路網感度分析のためのカット行列およびOD-カット行列の作成手法に関する研究」、土木学会論文集, No. 494/IV-24