

道路網容量から見た土地利用の在り方 に関する考察

A STUDY ON THE LAND-USE PATTERN CONSIDERING
THE CAPACITY OF ROAD NETWORK IN URBAN AREA

清田 勝・高田 弘・樽木 武

By Masaru KIYOTA, Hiroshi TAKATA
and Takeshi CHISYAKI

The development of land-use in urban area generates the new traffic demands in every zones, therefore, the land-use pattern in future is restricted by the capacity of road network to accommodate these traffics.

In this paper, using the LP algorithm, we proposed a method to seek for the land-use pattern which is most suitable for the characteristics of existing road network, and the usefulness of this method are discussed considering the several results of practical analysis in SAGA city.

1. まえがき

最近、地方都市においても都市の発展に伴って交通問題が重要な課題となっており、これを無視して将来の都市の在り方を考えることは難しくなりつつある。しかし、財源の乏しい地方都市においては増大する交通需要に対して十分な容量をもつ道路網の整備はとうてい望めそうもない。

そこで、既存道路網をどのようにしたら効率よく利用できるかということが問題となってくる。道路網（ネットワーク）を形成する道路区間（リンク）を観察すると、使用頻度の少ない道路、つまり有効に利用されていない道路や道路区間もかなりあり、道路網が有効に利用されているとは言い難い。

そこで、交通需要に見合うだけの道路網整備が難しい現状においては、既存道路網に適するような土地利用パターンに変化させて行くことが都市政策の基本として必要になってくる。

本研究は、そのための第一歩として、土地利用の変化に伴って発生交通量がさらに増加すると期待される幾つかの候補地（ゾーン）が考えられる場合、これらに対してどのようなウエートで土地利用の変化を許容すべきかという問題にアプローチしたものである。つまり、既存道路網のネットワークとしての能力を最大限に活用するためには、これらの各候補地（ゾーン）で期待される発生交通量の増加分をどのような相対比率で考えるのが最も妥当なのかという点を明らかにする手法を提案したものである。

地方都市のように道路網の能力にまだ幾分余裕のある所では土地利用計画を立案するに際し、このような比率が明らかになっておれば有用な基準として参照できるものと思われる。

• 正会員 工修 佐賀大学助手 理工学部建設工学科
(840 佐賀市本庄町1番地)

•• 正会員 工博 佐賀大学教授 理工学部建設工学科
••• 正会員 工博 九州大学教授 工学部土木工学科

また、これを実際に佐賀市に適用することによって、この手法の有用性と問題点を検討したものである。

2. 道路網と土地利用

地方都市においては、現在でもすでに交通渋滞が発生している道路区間もあるが、ラッシュの時間は極めて短く、日交通量として見た場合にはまだ道路網容量に達しているとは言えないようである。

しかし、無計画に各ゾーンの発生量を増加させると思わぬ負荷がかかり、道路網容量が著しく低下する。そこで、土地利用の変化に伴って発生交通量が增加する場合には、道路網への影響を常に考慮しておくことが必要である。

いま、土地利用の変化によって発生交通量の増加が見込まれるゾーンを発生可能ゾーン、それらの発生交通量の増加量を増加発生交通量 (ΔU_i) と呼ぶことにする。この増加発生交通量はその地区の土地利用の変化によって直接に生じた発生量であり、他ゾーンの影響により間接的に発生した交通量は含まれていない。

また、現在のOD表に基づきあるゾーン i から他のすべてのゾーンへの分布交通量の比率 (行き先別比率) を求め、これを P_{ij} とする。

$$\sum_j P_{ij} = 1 \quad (j \neq i)$$

この P_{ij} が増加発生交通量 ΔU_i についても変わらないものと仮定すれば、図-1 に示すように $\Delta U_i \cdot P_{ij}$ が i ゾーンから j ゾーンへ分布することになる。

このとき、道路網に影響を与える一方向当りの分布交通量の増加分 ΔX_{ij} は次式で表わされる。ただし、発生可能ゾーンを $1 \sim n_z$ 、その他のゾーンを $n_z + 1 \sim n$ とする。

(a) i, j ゾーンが発生可能ゾーンであるとき

$$\Delta X_{ij} = \Delta U_i \cdot P_{ij} + \Delta U_j \cdot P_{ji}$$

(b) i ゾーンだけが発生可能ゾーンであるとき

$$\Delta X_{ij} = \Delta U_i \cdot P_{ij}$$

(c) j ゾーンだけが発生可能ゾーンであるとき

$$\Delta X_{ij} = \Delta U_j \cdot P_{ji}$$

(d) i, j ゾーンが共に発生可能ゾーンでないとき

$$\Delta X_{ij} = 0$$

次に、道路網にはすでに現在OD交通量が流れており、残余容量を算定する必要がある。今回は現在OD交通量をそれぞれ最短パスに従って配分することにし、各リンクごとに通過する配分交通量の合計をそのリンク容量から差し引き、これを残余容量と定義した。

このとき、各ゾーンの増加発生交通量 ΔU_i のトータル $\sum \Delta U_i$ を最大にするような、つまり道路網容量を最大にするような増加発生パターンを求めることが本研究の主要な目的である。

3. OD間に最短パスのみを考慮した場合

i, j ゾーン間の分布交通量 (一方向) の増加分 ΔX_{ij} をネットワークに配分する場合、 i, j ゾーン間のパスが問題になってくる。代替パスを考慮せず、それらがすべて最短パスに配分されるものとすれば、増加発生交通量 ΔU_i だけの変数となり、

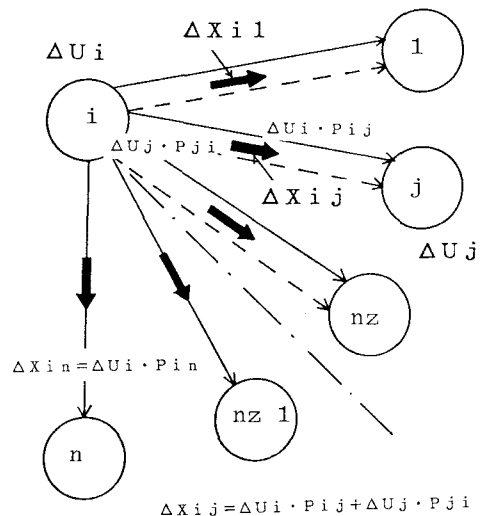


図-1 分布交通量と増加発生交通量

下に示すような定式化によってLPを利用して簡単に解くことができる。代替パスを考慮した場合にはパスフローが変数になり膨大な計算が必要になってくるので別個に取り扱うことにする。

(1) 目的関数

$$\max. Z = \sum \Delta U_i \quad (1)$$

つまり、発生可能ゾーンの増加発生交通量 ΔU_i ($i=1 \sim n_z$)の合計を最大にすることを目標とする。

(2) リンク容量に関する制約条件式

リンク (u, v) に新しく配分される配分交通量を F_{uv} 、リンク容量(残余容量)を Q_{uv} とすると、

$$F_{uv} \leq Q_{uv} \quad (2)$$

が道路網を構成するすべてのリンクについて満足されなければならない。

ここで

$$\begin{aligned} F_{uv} &= \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \Delta X_{ij} \delta_{ij}(u, v) \\ &= \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (P_{ij} \Delta U_i + P_{ji} \Delta U_j) \\ &\quad \times \delta_{ij}(u, v) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &+ \sum_{i=1}^n \sum_{j=n+1}^n P_{ij} \Delta U_i \delta_{ij}(u, v) \\ &+ \sum_{i=n+1}^n \sum_{j=1}^n P_{ji} \Delta U_j \delta_{ij}(u, v) \end{aligned}$$

これを変形すると

$$\begin{aligned} F_{uv} &= \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n P_{ij} \Delta U_i \delta_{ij}(u, v) \\ &+ \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n P_{ji} \Delta U_j \delta_{ij}(u, v) \end{aligned} \quad (3)$$

となる。

また、 $\delta_{ij}(u, v)$ はリンク (u, v) が i ゾーンから j ゾーンへのパスに含まれているときに1, 含まれていない場合に0を採る。

(3) 式を(2)式に代入すると

$$\begin{aligned} &\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n P_{ij} \delta_{ij}(u, v) \Delta U_i \\ &+ \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n P_{ji} \delta_{ij}(u, v) \Delta U_j \leq Q_{uv} \end{aligned} \quad (4)$$

となる。

(3) 増加発生交通量の相対比率

上記(2)の制約条件式のもとに $\max. Z$ をとくと最適解 ΔU_i ($i=1 \sim n_z$)が得られる。したがって、増加発生交通量の相対比率を R_i とすれば

$$R_i = \frac{\Delta U_i}{\sum \Delta U_i} \quad (5)$$

4. OD間に数本の代替パスを考慮した場合

i, j ゾーン間に M_{ij} 本のパスが考えられる場合 i ゾーンの増加発生交通量 ΔU_i によって起こる j ゾーンへのパスフローを $\Delta S_{ij}^{(1)}, \Delta S_{ij}^{(2)}, \dots, \Delta S_{ij}^{(M_{ij})}$ とすると、 i ゾーンの増加発生交通量 ΔU_i は他のすべてのゾーンへのそれぞれのパスフローの合計としてつぎのように表わされる。

$$\Delta U_i = \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^{M_{ij}} \Delta S_{ij}^{(k)} \quad (j \neq i) \quad (6)$$

(1) 目的関数

3.の場合と同じく発生可能ゾーンの増加発生交通量の合計は式(6)に示すようなパスフローの合計で表されるので、この場合の目的関数は次のようになる。

$$\max. Z = \sum U_i = \sum_i \sum_j \sum_k \Delta S_{ij}^{(k)} \quad (7)$$

(2) 行き先比率 P_{ij} に関する制約条件式

i ゾーンで新しく発生した増加発生交通量の行き先比率 P_{ij} は現在のOD表から求められた比率に等しいという仮定をおくと、発生可能ゾーンそれぞれにおいて次の制約条件式が成り立つ。

$$\sum_k \Delta S_{ij}^{(k)} = P_{ij} \Delta U_i \quad (i=1 \sim n_z, j=1 \sim n-1)$$

(6) 式をこれに代入すると

$$\sum_k \Delta S_{ij} = P_{ij} \sum_{p=1}^n \sum_{k=1}^{M_p} \Delta S_{ip}^{(k)} \quad (8)$$

となる。

ここで、 $\sum_j P_{ij} = 1$ という条件があるので、各 i に対して 1 つの条件式が従属となり、この条件式から除去される（したがって $j = 1 \sim n-1$ ）。代替バスを考慮しない場合は、この特殊な場合として次式ようになる。

$$\Delta S_{ij} = P_{ij} \sum_p \Delta S_{ip}$$

(3) リンク容量に関する制約条件式

3. の場合と同じく、リンク (u, v) に配分される配分交通量を F_{uv} 、リンク容量を Q_{uv} とすると、すべてのリンクについて

$$F_{uv} \leq Q_{uv} \quad (9)$$

が満足されなければならない。

ここで

$$\begin{aligned} F_{uv} = & \sum_i \sum_j \sum_k (\Delta S_{ij}^{(k)} + \Delta S_{ji}^{(k)}) \\ & \times \delta_{ij}^{(k)}(u, v) \\ & + \sum_i \sum_j \sum_k \Delta S_{ij}^{(k)} \delta_{ij}^{(k)}(u, v) \\ & + \sum_i \sum_j \sum_k \Delta S_{ji}^{(k)} \delta_{ij}^{(k)}(u, v) \end{aligned}$$

と表わされる（図-2 参照）。

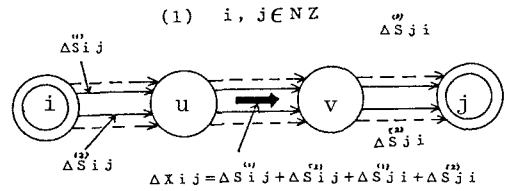
上式を変形すると

$$\begin{aligned} F_{uv} = & \sum_i \sum_j \sum_k \Delta S_{ij}^{(k)} \delta_{ij}^{(k)}(u, v) \\ & + \sum_i \sum_j \sum_k \Delta S_{ji}^{(k)} \delta_{ij}^{(k)}(u, v) \end{aligned} \quad (10)$$

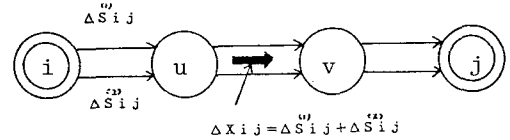
ここで、 $\delta_{ij}^{(k)}(u, v)$ はリンク (u, v) が i ゾーンから j ゾーンへの k 番目のバスに含まれているとき 1、含まれていないとき 0 を採る。

ゆえに、リンク容量に関する制約条件式は次式で表わされる。

$$\begin{aligned} & \sum_i \sum_j \sum_k \Delta S_{ij}^{(k)} \delta_{ij}^{(k)}(u, v) \\ & + \sum_i \sum_j \sum_k \Delta S_{ji}^{(k)} \delta_{ij}^{(k)}(u, v) \leq Q_{uv} \end{aligned} \quad (11)$$



(2) $i \in NZ, j \in N-NZ$



(3) $i \in N-NZ, j \in NZ$

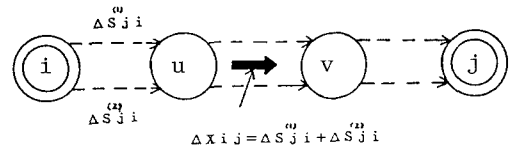


図-2 分布交通量とバスフロー

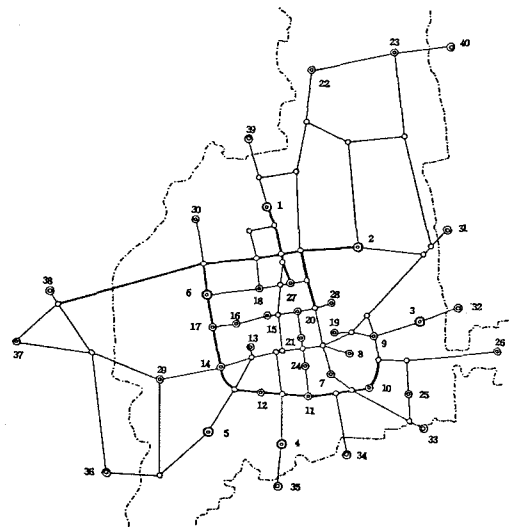


図-3 佐賀市のネットワーク図

(4) 増加発生交通量の相対比率^(*)

前と同じくLPを解いて最適解 $\Delta S_{ij}^{(*)}$ ($i=1 \sim n_z, j=1 \sim n$, ただし $j \neq i, k=1 \sim M_{ij}$) が得られる。したがって、増加発生交通量の相対比率 R_i は

$$R_i = \frac{\sum_j \sum_k \Delta S_{ij}^{(*)}}{\sum_i \sum_j \sum_k \Delta S_{ij}^{(*)}}$$

5. 佐賀市への適用

本研究では上記の考え方を実際に佐賀市に適用してみた。

まず道路網を図-3に示すようなネットワーク(ノード数=75, リンク数=100)に組み上げ, さらに全国街路交通情勢調査におけるCゾーンに基づき市内を30ゾーンに分割した。つづいて佐賀市周辺部を10個の発着ノード(ゾーン番号31~40)にまとめ, 合計40個のノード(2重丸, 番号の付いたノード)を発着ノードと見なした。

次に, 土地利用の変化等によって発生交通量が増加すると期待されるゾーンを6個抽出し, これを発生可能ゾーン(ゾーン番号1~6)とした。

本研究で提案した手法を適用する場合, 問題となってくるのは大きく次の2点である。

- (1) リンク容量の算定法
- (2) ゾーン間の代替パスとして, どのようなパスを選択するか

各リンクごとにリンク容量を決定するのは大変厄介である。そこで, リンクの集合を大きく3つに分類することにした。

- (a) 4車線道路
- (b) 広幅員2車線道路
- (c) 狭幅員2車線道路

そして, 道路構造令で使用されている可能交通量を参考にして, 3つのグループの容量比を20:10:8に決定した。

佐賀市の現在の道路網を見る限り, たとえ朝夕のラッシュ時には渋滞が見られるにしても, 1日の交通量としてはまだ幾分余裕が残されているように思われる。

これらの状況および西村氏によって算定された値

を参照して, 表-1に示すようなリンク容量を仮定した。実際の計算では, 表-1の値の半分を一方当りの容量として式(4), 式(11)の Q_{uv} の値として用いる。

2番目に2ゾーン間の代替パスをどのような方法で抽出するかという問題が残されている。可能なパスをすべて抽出することも不可能ではないが, パスの数と共に計算量が急速に増大し, 実用性がなくなる。実際, 各ドライバーによって使用されるルートは1~2本に限定されているようである。そこで, 今回は佐賀市の道路網に熟知している学生10名によって, 使用可能なルートを選択してもらうことにした。今回の調査の結果, ほとんどのゾーン間で2本のパス(最短パスも含む)が選択されていて, 5本以上のパスは選択されていなかった。

(1) 最短パスのみを考慮した場合の結果

式(4)で表される制約条件式のもとに, 増加発生交通量 ΔU_i のトータル $\sum \Delta U_i$ を最大にした場合の結果を表-2に示した。

この場合には, 4, 5, 6ゾーンに増加発生交通量が集中している。中でも4ゾーンは全体の60%を占めている。この結果によると, 道路網を有効に利用するためには, 1, 2, 3ゾーンからはこれ以上増加発生交通量を期待することが出来ないということになる。

実際には1ゾーンは農地が宅地に転用されて急激に人口が増加している地区である。急激な住宅化に対し, 道路網の整備が伴っていないことを示している。

4ゾーンは1, 2, 3ゾーンとは逆に積極的に増加発生交通量の増加を図ってもよいということがこの分析から明らかになった。

今回用いたリンク容量が妥当であるかどうかの検証を行っていないので, 厳密には言えないが, 1, 2, 3ゾーンの発生量を出来るだけ抑えながら, 4ゾーンの発生量の増加を図るべきであるというのは現実的であるように思われる。

(2) OD間に数本の代替パスを考慮した場合

調査によって得られた代替パスを制約条件式(8)(11), 目的関数(6)に導入して求められた解を表-3に示した。

表-2の結果と比べて分かるように $\sum \Delta U_i$ は

1.2%程度増加している。

また、4ゾーンは依然として高い相対比率R4（最短パスのみを考慮したとき60%、代替パスを考慮したとき54%）を維持し、6ゾーンに代わって2、3ゾーンに若干の増加が見られる。これは代替パスの選定の仕方にも問題があると思われるが、各ゾーンの現状より見てやはり表-3の結果の方が妥当のように思われる。

道路網を有効に利用するためには、宅地化が急激に進んでいる北部、西部の発生量を抑制する必要がある。

また、南部、東部においては、北部、西部に比べて道路網の容量から見て若干の余裕があるように思われる。

6. あとがき

佐賀市の分析を通して得られた結果をまとめると次のようになる。

(1) 最短パスのみを考慮した場合と代替パスを考慮した場合の増分パターンは比較的類似している。そこで、大雑把な増分比率が必要な場合には計算量の少ない前者の方が適している。

(2) リンク容量の算定法および代替パスの選定の仕方が結果に大きく影響する。

(3) 膨大な計算量を必要とするが、発生可能ゾーンを全ゾーンに拡大し R_i ($i=1, 2, \dots, n$)を求めれば将来の都市政策の参考となる指標を求めることも可能である。

上記の結果から今回提案した手法については次のことがいえよう。

(1) リンク容量については今回は道路区分に応じて概略値を定めたが、実際には都市部と郊外部の区分、沿道条件等を考慮して各リンクごとにきめ細かな算定を行うことが必要である。

(2) 代替パスの選定についても今回はかなり主観的な方法によったが、最短パスに対する代替パスの距離の比率、ドライバーが代替パスを選択する場合の抵抗感なども考慮して、客観的基準による抽出法を導入すべきである。

都市の発展は地価や環境など多くの要素に左右され、必ずしも交通の利便性のみに依存するものでは

道路区分	4車線道路	広幅員2車線道路	狭幅員2車線道路
リンク容量 日/台	62000	31000	24800

表-1 リンク容量（両方向）

ゾーン	増加発生交通量	相対比率(%)
1	0	0.0
2	0	0.0
3	0	0.0
4	6465	60.3
5	2164	20.2
6	2097	19.5
合計	10726	100.0

表-2 各ゾーンの増加発生交通量
(最短パスのみを考慮した場合)

ゾーン	増加発生交通量	相対比率(%)
1	0	0.0
2	1996	16.6
3	1186	9.9
4	6524	54.2
5	2325	19.3
6	0	0.0
合計	12031	100.0

表-3 各ゾーンの増加発生交通量
(代替パスを考慮した場合)

ないが、今回提案したような手法によって都市道路網の全体的効率という点から発展方向に関する制約を指標のひとつとして求めておくことは都市政策の面からも意義があると思われる。

参 考 文 献

- (1) 西村 昂：ルート配分法による最大ODフロー問題へのアプローチ，土木学会論文報告集，NO. 242，pp. 53-62，1975
- (2) 西村 昂：容積計画のための交通施設容量の解析，都市計画，NO. 88，1976
- (3) 飯田恭敬：道路網の最大容量の評価法，土木学会論文報告集，NO. 205，1972