

道路網容量を考慮した土地利用最適配分モデル

OPTIMUM LAND USE ALLOCATION MODEL SUBJECTING TO ROAD NETWORK CAPACITY

柏谷増男* 朝倉康夫** 斉藤道雄*** 加古真一****

by Masuo KASHIWADANI, Yasuo ASAKURA, Michio SAITOH, Shinichi KAKO

Large scale redevelopment in cities produces huge traffic volume and roads around the sites are burdened severe congestion unless they are not improved. This paper presents a model to analyze the relationship between land use allocation in a tract and neighboring road network capacity. The model is represented a Hervert-Stevens type LP model specially subjecting to link capacities in road sections. Computation test is done for center city zone in Matsuyama city. The results shows that if we consider traffic congestion seriously central city redevelopment should be strongly limited.

1. はじめに

昭和60年に東京都心部から始まった地価高騰は一定のタイムラグを持った地方への波及を伴ないながら、一定の収束を見ようとしている。これに対して現在最も深刻な都市問題となっているものは大都市の交通問題、とりわけ都心部の道路交通問題であろう。情報産業革命の進行に伴い、大都市、特に都心

へ情報志向産業が集中して都心部の高度土地利用を促し、世界各国で都心部の再開発が進められている。都心部の床需要の増大は必然的に交通需要を増加させその結果が現在の道路交通問題となっており、近年、この点に関する調査研究がいくつか進められるようになってきた。¹⁾そのような事態の中で地価高騰に起因する需要、あるいは民活による内需拡大策としての容積率緩和が叫ばれてきたが、都市政策としての容積率決定に際して道路交通条件が正しく検討されたとは必ずしも言えない。容積率の緩和は地価を上昇させ、そのことは道路をはじめとする公共用地の取得をより困難にさせている。今日の深刻な道路交通問題は地価の高騰や都市政策としての容積率決定等も含めて総合的に研究すべきであろう。

本研究では土地利用、地価、道路交通問題等を一体的に扱う一つの規範的モデルを提案し、政策手段

*正会員 工博 愛媛大学教授 工学部 土木海洋工学科 (〒790 松山市文京町3)

**正会員 工博 愛媛大学助教授 工学部 土木海洋工学科

***正会員 工修 中央復建コンサルタンツ (〒532 大阪市淀川区東三国町3-5-26)

****正会員 中央復建コンサルタンツ

としての交通施設整備や容積率決定について考察することにする。

2. 開発容量を考慮した土地利用モデル

(1) 容積率

都市内の開発行為について都市計画に種々の規制が設けられているが、都心部で最も重要な規制は容積率である。各地区での容積率の決定に関する明確なルールは存在しないが、容積率決定の概要は大きく次の2点に分けられよう。その一つはごく近隣に与える影響であり、日照、通風、防災空間の確保、あるいは都市景観上の配慮等から必要とされるものであり、以下では地区環境条件と呼ぶ。第2は周辺の都市環境システムへの影響であり、道路や鉄道、上下水道・エネルギー供給、情報回線等への負担の面から必要とされるものであり、これを以下ではネットワーク条件と呼ぶ。その他にも公園や文化施設等への過度な集中への配慮も必要であるが、それらをネットワーク条件の一部として扱うことは可能である。

(2) モデルの前提

(2-1) ゾーニング

都市圏内のある地域を集合 I で表し、地域内の地区を添字 i で表す。地区環境条件は土地利用用途によって大きく異なると考えられる。土地利用形態を添字 k で表し、 k にとって地区環境条件の面から望ましい容積率を u_k ($\times 100\%$) とし外生的に与える。なお、用途間の干渉は存在しないと仮定する。ネットワーク条件については道路を代表として取り上げることとする。集合 I 内で発生する交通は都市圏内のどこかに着地を持つものとし、都市圏内を各地区に分割して添字 j で表し、その集合を J とする。なお、 I は J に含まれるものとし I のゾーニングと J のゾーニングとを一致させる。都市圏内の道路ネットワークを構成するリンクのうち、当該地域の開発容量決定に重要な関係を持つ集合を A で表し個別のリンクを添字 a で表す。

(2-2) 影響係数

地区 i で発生する単位交通量が地区 j に到着する確率を目的地選択率と呼び、 P_{ij} で表す。ODペア

i, j についての経路集合を M_{ij} 、経路 m を選択する経路選択率を r_{mij} とおく。 P_{ij} 、 r_{mij} について次式が成立する。

$$\sum_{j \in J} P_{ij} = 1 \quad (1)$$

$$\sum_{m \in M_{ij}} r_{mij} = 1 \quad (2)$$

i, j 間の経路 m がリンク a を通るときは $\delta_{amij} = 1$ 、そうでないときは $\delta_{amij} = 0$ とすると、地区 i で発生する単位交通量がリンク a を通る割合は次式の Q_{ia} で表され、 $\{Q_{ia}\}$ を影響係数と呼ぶ。

$$Q_{ia} = \sum_{j \in J} \sum_{m \in M_{ij}} P_{ij} r_{mij} \delta_{amij} \quad (3)$$

(3) モデルの定式化

(3-1) 問題 I - 都市圏全域モデル

土地利用形態 k が地区 i の建物床面積 1 m^2 に示すつけ値家賃を b_{ik} とする。なお、つけ値は本来利益水準、もしくは効用水準に対して定められるがここでは簡単のためそれらを省略する。ここで、単位期間あたりの建物建築費相当額は建物の階数にかかわらず床面積 1 m^2 につき各土地利用形態ごとに一定値 f_k で表せるものとする。単位期間を一日とし、次式でフロア地代 β_{ik} (円/ m^2 /日) を定義する。

$$\beta_{ik} = b_{ik} - f_k \quad (4)$$

地域 I での用途 k の立地可能最大総面積を D_k (m^2)、地域 i の面積を S_i (m^2) とする。なお、用途 k の床面積 1 m^2 、1日当りのカートリップ発生割合を α_k とし、リンク a の日交通容量を C_a で表す。

今、都市圏の既存土地利用はなく、道路ネットワークは与えられており、 I は都市圏全体 J と一致すると仮定して、地区 i 、用途 k の床面積 X_{ik} を変数とする開発容量を考慮した土地利用モデルを以下の問題 I で表すこととする。

[問題 I]

$$\max_{X_{ik}} \sum_{ik} \beta_{ik} X_{ik} \quad (5)$$

s. t

$$\sum_i X_{ik} = D_k \quad (6)$$

$$\sum_k \frac{X_{ik}}{u_k} \leq N_i \quad (7)$$

$$\sum_{ik} Q_{ika} \alpha_k X_{ik} \leq C_a \quad (8)$$

$$X_{ik} \geq 0 \quad (9)$$

ここで、式(5)は都市圏でのフロア地代総額を最大化することを示し、式(6)は用途kの立地総量制約式(7)は地区iの用途制約を示している。式(8)の Q_{iak} は用途kによってODパターンが異なるため影響係数を用途kごとに定めたものであり、式(8)は各道路リンクの交通量制約式である。ところで問題Iは正しい意味でのオープンシティモデルではない。オープンシティモデルでは式(6)は不要である。しかしながら本研究では開発容量特に道路ネットワーク容量とバランスの取れた土地利用計画を策定しうるモデル開発を考えており、都市内の一部の地区を対象地域Iとすることがある。また、一部の地区の再開発計画のような場合には計画者が土地利用形態の制限を課すことも十分考えられる。以上の点を考慮して、土地利用計画の基本モデルには式(6)を含めることとした。

(3-2) 問題Iの最適条件と解釈

問題Iのラグランジェ関数Lを次式で定める。

$$\begin{aligned} L = & \sum_{ik} \beta_{ik} X_{ik} + \sum_k \phi_k (D_k - \sum_{ik} X_{ik}) \\ & + \sum_i \lambda_i (N_i - \sum_k \frac{X_{ik}}{u_k}) \\ & + \sum_a u_a (C_a - \sum_{ik} Q_{ika} \alpha_k X_{ik}) \end{aligned} \quad (10)$$

最適解を X_{ik}^* 、それにともなう補助変数の値を ϕ_k^* 、 λ_i^* 、 μ_a^* 、とすると、それらは式(6)、(7)、

(8)、(9)を満たすともに次式を満足せねばならない。

$$\beta_{ik} \leq \phi_{ik}^* + \frac{\lambda_i^*}{u_k} + \sum_a Q_{ika} \alpha_k \mu_a^* \quad (11)$$

$$\begin{aligned} (\beta_{ik} - \phi_{ik}^* - \frac{\lambda_i^*}{u_k} \\ - \sum_a Q_{ika} \alpha_k \mu_a^*) X_{ik}^* = 0 \end{aligned} \quad (12)$$

$$(D_k - \sum_i X_{ik}^*) \phi_k^* = 0 \quad (13)$$

$$(N_i - \sum_k \frac{X_{ik}^*}{u_k}) \lambda_i^* = 0 \quad (14)$$

$$(C_a - \sum_{ik} Q_{ika} \alpha_k X_{ik}^*) \mu_a^* = 0 \quad (15)$$

問題Iの解を分権的ルールで達成することを想定すると、以下のように解釈される。式(13)は用途kの立地課徴金 ϕ_k^* ($\phi_k^* \geq 0$) または立地補助金 ($\phi_k^* \leq 0$) を示している。式(14)は地区環境条件から定められる一種の地代 (円/m²) であり、地区iの土地が使いきられておればこの地代額は非負となる。式(15)はリンクaの交通量が交通容量に達しておればリンクaの通行料 μ_a^* (円/トランプ) が課せられ、そうでなければ通行料は無料となることを示している。式(11)の右辺は用途kが地区iに立地する場合の支払費用を示しており、式(12)はつけ値が支払費用に等しい場合に限ってその用途kが地区iに立地しうることを表している。

いま $k^*(i)$ を地区iに立地している用途の集合とすると、 $k^*(i)$ について次式が成立する。

$$u_k \beta_{ik} = u_k \phi_{ik}^* + \lambda_i^* + \sum_a u_k Q_{ika} \alpha_k \mu_a^* \quad (16)$$

ここで β_{ik} の値が全ての用途kにとつての均衡利益水準もしくは均衡効用水準に対応していると仮定して立地課徴金(補助金)を無視すると地代換算したフロア地代は地区環境条件から定められる地代とリンク通行料金との和になる。建物床の使用者は地区iの床に β_{ik} の評価を行うが地区iの地代はこの評価値から交通容量不足のために生じているリンク交

通コストを差し引くべきである。(もしもリンク交通コストが支払われなければフロア地代はすべて地代 λ_i^* に吸収されることになる)もしも地区 i から発生する交通がよく利用するリンクの多くが容量に達しておれば式(16)の第3項の値は大きくなり、 λ_i^* の値は小さくなる。いま、それらのリンク容量が大きくなり μ_a^* の値が0になっても β_{ik} の値が不変ならば λ_i^* の値はそれだけ大きくなる。

(4) 問題Ⅱ—都市圏の一部を対象としたモデル

地域 I は都市圏全域 J の一部で、 I を除いた地域での土地利用は先決されていると仮定する。この問題は例えば都市圏内の再開発地域での土地利用計画に相当する。地域 I 以外に発着地を持つOD交通量でリンク a を通る交通量を V_a とする。また、地域 I に立地させ得る用途 k の床面積の上限が別途に与えられており、この値を D_k とする。この設定のもとでの最適土地利用計画問題は次の問題Ⅱで表される。

[問題Ⅱ]

$$\max_{X_{ik}} \sum_{ik} \beta_{ik} X_{ik} \quad (17)$$

s.t

$$\sum_i X_{ik} \leq \widetilde{D}_k \quad (18)$$

$$\sum_k \frac{X_{ik}}{u_k} \leq N_i \quad (19)$$

$$\sum_{ik} Q_{ika} \alpha_k X_{ik} + V_a \leq C_a \quad (20), \quad i \in I$$

$$X_{ik} \geq 0 \quad (21)$$

ここで、 $\widetilde{D}_k$ は地域 I に立地させる土地利用形態 k の床面積の上限である。

3. 松山市道路網での試算例

(1) 対象地域

松山都心部を立地対象地域とした場合の試算例を示す。図-1に対象地域を含む松山都市圏の道路ネ

ットワーク図を示す。図中、白丸印が各地区に対応するノードを表しており、土地利用配分の対象となる地区はノード番号1から5である。なお、地区1から5までの道路公園等を除いた総面積は102.51haである。表-1に各地区の敷地面積、現況延床面積、平均指定容積率を示す。道路容量制約条件については、都市圏内の全てのリンクを対象とすればリンク数は膨大となる。このため都心部周辺と市内流入部に位置する主要幹線道路のうち重要と思われる20本のリンクを選んだ。これらのリンクは図の太線に対応している。ここで市内流入部のリンクを選んだ理由は、地方都市では最も混雑が激しいリンクであるためである。全てのリンクを取り上げていないために、つけ値、地代、道路通行コスト等地価面での整合性の取れた分析は出来ないが、開発容量のおおよその算定や開発容量から得た各リンクの相対的重要性等、都市計画面での有意義な情報は得られると考えられる。なお、使用した道路ネットワークはノード数197個(うちセントロイド66)、方向付きリンク数636となっている。また対象地域のデータは特にことわらない限り昭和54年パーソントリップ調査時のものを用いている。

(2) 用いたデータ

(イ) 床面積、敷地面積

変数は現況の土地利用に加えて今後開発しうる床面積とする。現況土地利用をも含めた床面積としなかった理由は、そうした場合現況土地利用による交通量を各リンクから除去しなければならないからである。ところで現況では敷地のほとんどが既に利用されている。そこで、現況床面積は容積率400%でまともめられると仮定し、そのために必要な敷地面積をもとの敷地面積から除くこととした。従って残された敷地面積は空地として見なされる。次に各用途に課す地区環境条件面での床面積としては、現況の床面積指定を参考にして業務、商業では600%、工場では400%、住宅は200%とした。従って制約条件として与えられる地区敷地面積は各地区番号の順に、88.7(千 m^2)、115.1(千 m^2)、105.8(千 m^2)、231.8(千 m^2)、191.6(千 m^2)となる。

一方、各用途に立地配分させる床面積の上限については地域内の現況床面積を基準にしてその2倍を

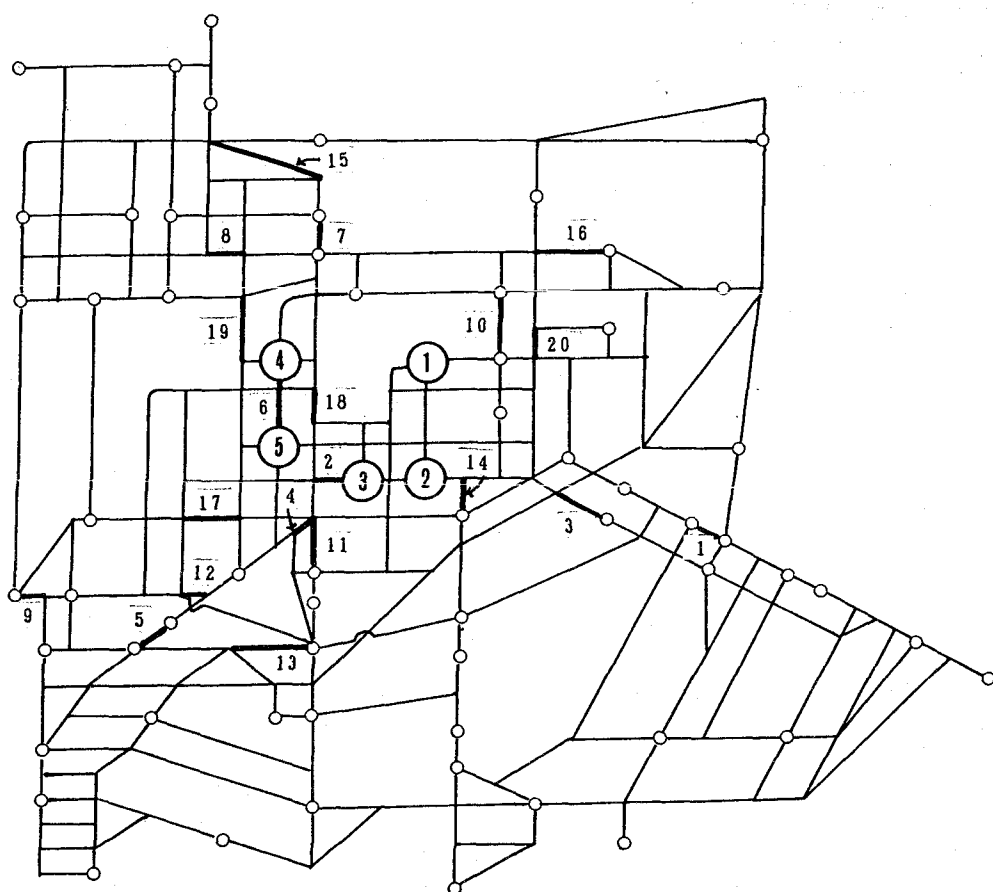


図-1 対象地域の道路ネットワーク

表-1 各地区の土地利用状況

地区	1	2	3	4	5
敷地面積(千 m^2)	135.9	187.5	169.6	280.9	251.2
現況延床面積(千 m^2)	188.6	289.7	255.0	196.4	238.4
平均指定容積率(%)	535	470	545	338	410

与えることとした。それらの値は、住宅、業務、商業、工業についてそれぞれ788.3(千 m^2)、398.8(千 m^2)、799.7(千 m^2)、209.3(千 m^2)である。

(ロ) 単位床面積あたりトリップ発生率

昭和54年パーソントリップ調査結果から、施設を住宅、業務、商業、工業系に分け、各ゾーンについて延床面積と発生トリップ数との相関をとったところ、相関係数の値は住宅系では0.72、業務系では0.66、商業系では0.92、工業系では0.41、その他では0.10となった。住宅、商業、業務については相関が高く床面積を発生源単位指標とすることは妥当と思われる。調査結果から床面積1000 m^2 あたりトリップ数として住宅、業務、商業、工業についてそれぞれ9.11、75.52、38.18、11.69の値を得た。

(ハ) 影響係数

昭和54年度パーソントリップ調査結果をネットワーク配分した結果から影響係数の値を定めた。また対象リンク容量もこのときに設定した値を用いている。表-2に分析対象とした20リンクのLP問題でのリンク容量と影響係数の値を示す。ここでリンクの容量についてはパーソントリップ調査で設定したリンク容量を C_0 としたときに、実際には C_0 をある程度上まわる交通量が流れうるとしてその交通量をリンク容量 C_a と考えている。この場合の C_0 に対する C_a の比の値をリンク切断基準値 R と呼ぶとLP問題Ⅱの容量制約値 $RC_0 - V_a$ の値は表に示すとおりとなる。なお、対象となる立地配分床面積以外の先決土地利用による交通量は昭和54年のネットワーク配分結果そのものを用いている。

(ニ) つけ値

家賃に関するデータを入手できないため、まず用途別地価平均値を各地区ごとに推定し、次に地代は地価に比例し、地代は各地区の平均家賃と平均容積率の積で表されると仮定して、各地区各用途のつけ値の相対的な大きさを定めた。この結果は表-3に示す。

(3) 試算結果

$R=1.00, 1.25, 1.50$ の3つのケースについて試算を行った。解の各用途別床面積の単位は千 m^2 であり、アクティブな制約条件名のうしろのかっこ内の数字はその制約条件に対応する補助変数の値を示してい

る。

(イ) $R=1.00$ の場合

解は、ゾーン3の商業床面積440、ゾーン5の商業床面積359.6と工業床面積100.6であり、目的関数の値は2892.7億円・ m^2 であった。アクティブな制約条件は商業床面積(87.8千円/ m^2)、リンク6(27.0千円/台)、リンク7(109.123千円/台)であった。

(ロ) $R=1.25$ の場合

解はゾーン2の住宅床面積128.5、業務床面積108.2、商業床面積164.9、ゾーン3の商業床面積634.8、ゾーン4の住宅床面積346.8、業務床面積36.6、工業床面積209.3、ゾーン5の住宅床面積313.1、業務床面積210.3であり、目的関数の値は4738.3億円・ m^2 であった。アクティブな制約条件は住宅床面積(38.2千円/ m^2)、商業床面積(191.4千円/ m^2)、工業床面積(73.7千円/ m^2)、ゾーン3の地区面積(775.4千円/ m^2)、ゾーン4の地区面積(16.1千円/ m^2)、ゾーン5の地区面積(18.9千円/ m^2)、リンク6(2388千円/台)、リンク7(14864千円/台)、リンク14(8324千円/台)であった。

(ハ) $R=1.50$ の場合

解はゾーン1の業務床面積377.5、ゾーン2の住宅床面積175.2、商業床面積164.9、ゾーン3の商業床面積634.8、ゾーン4の住宅床面積237.0、工業床面積209.3、ゾーン5の住宅床面積376.1、業務床面積21.3であり、目的関数の値は4886.4億円・ m^2 であった。アクティブな制約条件は各用途の床面積、住宅(91.7千円/ m^2)、業務(155千円/ m^2)、商業(283.0千円/ m^2)、工業(127.6千円/ m^2)とゾーン2の地区面積(4.3千円/ m^2)、ゾーン3の地区面積(657.0千円/ m^2)、ゾーン5の地区面積(27.4千円/ m^2)、リンク14(2118千円/台)であった。

(ニ) 考察

$R=1.00$ の結果を $R=1.25$ の場合と比べると配分床面積合計、目的関数の値いずれについてもかなり小さくなっている。商業床面積のみが上限制約に達しているため、他の用途についてはリンク6、7の制約が配分床面積を押さえている。特にLP問題に対するリンク7の交通容量は2005台に過ぎず厳しい制約となっており、対応する補助変数の値もきわめて大きい。 $R=1.25$ の場合では業務を除く各用途で

表-2 LP問題のリンク容量と影響係数 (RC_a-V_a)

リンク番号	リンク切断基準に応じた容量			影響係数 Q _{ia}				
	1.00	1.25	1.50	ゾーン1	ゾーン2	ゾーン3	ゾーン4	ゾーン5
1	5485	8110	10735	0.013	0.015	0.017	0.009	0.000
2	22604	30129	37654	0.054	0.242	0.495	0.000	0.000
3	31542	43917	56292	0.102	0.131	0.189	0.095	0.082
4	3634	6659	9684	0.075	0.055	0.069	0.000	0.000
5	3064	5689	8314	0.013	0.009	0.003	0.036	0.039
6	9576	11976	14376	0.000	0.000	0.000	0.000	0.220
7	2005	5380	8755	0.053	0.034	0.043	0.053	0.026
8	15344	23094	30844	0.076	0.085	0.076	0.081	0.071
9	2103	4728	7353	0.015	0.010	0.010	0.009	0.015
10	8039	11064	14089	0.035	0.012	0.014	0.000	0.007
11	23890	32140	40390	0.073	0.095	0.133	0.119	0.139
12	3087	5712	8337	0.031	0.025	0.039	0.021	0.038
13	27253	35503	43753	0.042	0.061	0.078	0.025	0.054
14	6260	9285	12310	0.125	0.152	0.063	0.044	0.047
15	5290	8665	12040	0.027	0.024	0.029	0.022	0.013
16	4096	6721	9346	0.006	0.009	0.004	0.023	0.007
17	2314	3389	4464	0.017	0.019	0.016	0.000	0.026
18	14668	23843	33018	0.263	0.207	0.229	0.000	0.000
19	32624	43899	55174	0.065	0.058	0.086	0.178	0.141
20	25240	34415	43590	0.048	0.053	0.033	0.003	0.039

表-3 各ゾーンごとの用途別床面積付け値 (単位: 千円/m²)

	ゾーン1	ゾーン2	ゾーン3	ゾーン4	ゾーン5
1. 住宅系	103.1	106.7	122.2	94.3	109.0
2. 業務系	185.6	185.0	205.5	132.4	168.8
3. 商業系	278.6	304.6	402.4	175.2	276.9
4. 工業系	92.1	105.1	117.5	130.2	125.0

上限制約に達しており、業務については他の制約条件により配分が押さえられている。対象となる5つのゾーン全体ではほぼ立地配分量を満たしているがアクティブな制約条件が多く立地については制約を受けているといえる。R=1.50の場合を1.25の場合と比べると目的関数の値はほぼ同じである。配分床面積についてはR=1.50の場合には各用途で上限に達しているが合計面積では2つのケースの差は小さい。R=1.50の場合にはリンク制約はリンク14のみでアクティブであり、リンク制約はほとんど効いていない。R=1.25とR=1.50との目的関数の値がほぼ同じことはむしろ敷地面積制約、特にゾーン3の制約がきついためと思われる。このようにR=1.00の場合では道路容量が容積率決定に重要な役割を果たしている。いいかえれば道路容量を考慮して容積率決定を行うべきといえる。R=1.25の場合では道路容量が効率的な土地利用に影響してはいるがその程度はあまりきつくはないと言え、R=1.50では道路容量をあまり考慮しなくても良いと考えられる。

4. おわりに

本研究では都心部の再開発等の場合に着目して土地利用と周辺道路混雑との関係を分析する最適化モデルを提案した。本モデルはHervert-Stevens型のモデルを出発点としているが、都市圏内の特定地区を対象とする場合や容積率を考えるとこの点ではモデルの解釈は不十分である。規範的モデルと決めつけて、容積率指定の意味を探ることも重要であるが、その場合のモデルの前提等今後検討すべきことは多い。しかしながら本モデルにより、道路容量と最適立地地代との関係が把握できるため、道路容量拡大効果の測定をも含めてさまざまな適用が考えられる。試算例の十分な吟味をも含めて今後の課題としたい。

なお本研究は文部省科学研究費一般C02650372及び総合A03302048の援助を受けたものである。

参考文献

- 1) 竹内直文、大規模開発地区関連交通計画について、新都市、No.9、PP.13-18、1990