

環境整備計画のための数理計画手法とその適用

三菱総合研究所 森杉寿芳
京都大学工学部 ○ 若井郁太郎
竹中土木 本城勇介

1. はじめに 生活様式の多様化と社会・経済活動の多様化により、より複雑な環境が人間を取りまわっている。そして、人間の意識の高揚により生活、社会、自然環境に対する国民の関心が非常に高まっている。それゆえ、従来の単一の公害による環境問題から脱却してより広い総合的な観点から環境問題を論じていくことが必要とされている。環境問題を解決するためには、発生源対策、被害者救済等があるが、それらは技術的開発の限界や行政制度のあり方など多くの今後解決しなければならない問題があり、早期の解決があまり期待できないものと思われる。一方、現在各地域で起こっている環境問題の多くは、狭い範囲に住・商・工が混在していることとみられ、また、その原因があると思われる。すなわち、土地利用の適正化に問題があると考えられる。

人間の生活・社会・経済活動の基盤である土地に着目して土地利用の適正化によって環境問題を論じようとする立場は、従来から著者らが提案してきたことである。^(1,2) したがって本研究でもこの立場から環境問題を論じる。

2. 環境の定義と前提条件 本研究では、環境を人間活動を制約する空間条件と定義する。そして、人間・社会が制約への適応をかける行動としては、順応（改良）、転換（開発）、移転の3種類の環境改善行為を設定した。順応は、その環境下で生活様式を変えていくが、生活の質そのものを変えない。転換は内容そのものを質的に変えるものである。移転は、現在の土地を離れて他で生活し易い場所へ移るものである。

2.1 ゾーニング あらうはじめ対象地域を適当なメッシュ分割し、個々のメッシュを分析の要素とする。そしてメッシュ分割にはつぎのことも考慮した。⁽¹⁾ ① 各メッシュは独立した用途を代表させる大きさであること。② 土地の環境評価項目の水準値が、ゾーン/個あたり均一性を保てる大きさであること。③ 計算の実用性に十分耐え得る大きさであること。

2.2 土地利用形態 ゾーンの土地利用形態には、混合利用を許す場合と許さない場合との二つがある。これはメッシュ分割の仕方にも関係する。環境整備の主旨からすれば、混合利用を許さない場合の方が適切であるといえる。しかし、混合利用を許さない場合には、ゾーン内部の用途を完全に決定するため地域の土地利用構想を考慮しなければならない。ここで、混合利用を許す場合、ゾーンの用途利用度を示す指標として混合率を選ぶ。「第iゾーンにおける第k用途の混合率とは、第k用途が第iゾーンにありて占有している面積の第iゾーンの全利用可能面積に対する比率」と定義する。

2.3 容積率 用途の量的扱いは、延べ床面積で表わす。ここでは、容積率はグロス量としての以下で定義される総容積率を用いた。

$$\text{総容積率} = \frac{\text{延べ床面積}}{\text{敷地面積} + \text{周辺の道路面積の合計値}} \quad (1)$$

土地の利用度は、ゾーンあたり求められればよりから(1)式の分母をゾーンの全利用可能面積に選び、総容積率を与えれば、各用途のゾーンあたりの延べ床面積は次式により求まる。

$${}_kA_i = A_i \cdot \gamma^k \quad (2)$$

ここで、 ${}_kA_i$: 第iゾーン全体を、第k用途に利用した場合の延べ床面積。 A_i : 第iゾーンの全利用可能面積。 γ^k : 第k用途の総容積率。

任意の混合率 ${}_kG_i$ ($0 \leq {}_kG_i \leq 1$) で第iゾーンを占有する第k用途の延べ床面積を ${}_kF_i$ とすれば次式になる。

$${}_kF_i = {}_kA_i \cdot {}_kG_i \quad (3)$$

ここで、計画総容積率の決定は、問題のあるところだが、計画総容積率ゾーンと用途が与えれば、別途の観点から最適な値が存在するとして与件とする。

2.4 環境評価 環境を示す何らかの評価項目のもとで定量的な指標をもって環境も評価する。ここでは、対象地域の環境は、ゾーンあてりの環境評価指標の集合である。そして、環境評価指標は対象地域の特性のみに応じて必要なだけ列挙される環境評価項目により構成される。環境を規定する環境評価項目を何にも選ぶのが問題となるが、考えられるあらゆるものを列挙し、相互に独立なもの、重みの高いものを選んで計算の簡略化を図る必要がある。しかし、環境評価項目の中には、必ずしもデジタルな尺度で評価しきれないものもある。このとき5段階評価法がよく使われる。ここでは、好ましいものには5、逆に好ましくないものには1まで与えて序数的に取り扱えるようにした。

2.5 費用分析 a) 改良費用 環境評価は、地区相互に独立な総ての環境評価項目により、評価されるので、改良費用は総ての環境評価項目のそれぞれについての改良費用の総和である。改良費用は、ゾーン別用途別に総て調査するのが立て前だが、ここでは、あらかじめ環境の水準を列挙される環境評価項目について評価し、与件とする環境基準値と比較し、環境基準がみだされているものと、そうでないものとを選別する。そこで、環境基準がみだされているものについて各環境評価項目についての改良費用単価から改良費用と積算する。

b) 転換費用・移転費用 転換費用は、次の四つの費用に分類でき、各費用を用途別に求めて積算すればよい。
① 構築物の解体費 ② 土地の整地費 ③ 移送費 ④ 建築費 である。移転費用はさらに移転代替地の買収費・整地費が加わる。さて、③の移送費は、ゾーン間の移送距離に依存するが、対象地域が比較的狭い範囲であり、距離の相違による費用差が小さいと考え、これを無視できると仮定した。

以上、述べてきた仮定すべきことを整理すると以下のとおりである。

① 用途の需要量を一定とし、与件とする。 ② 道路、鉄道、空港、駅、ガス、電気、水道等の都市施設の配置パターンも与件とする。ただし、学校、病院等の都市施設は住宅地区の付属施設とする。 ③ 用途別容積率を一定とする。 ④ 環境評価は互いに独立な環境評価項目により分類可能であり、しかも、各環境評価項目の水準はラングブレイク可能である。 ⑤ 達成すべき環境基準は与件とする。 ⑥ 対象地域は、改良、転換、移転のいずれかの組合せにより環境基準を達成する。 ⑦ 用途の転換にとりうる周囲への影響は無視できる。 ⑧ 転換、または移転にとりうる移送費は距離に比例しない。 ⑨ 費用は占有面積に比例する。

3 静学モデルの定式化

3.1 混合利用を許さない場合 以下、使用する記号は次のとおりである。

N : 対象地域のゾーン総数。 K : 用途の種類総数。 i : ゾーン番号 ($i \in N$)。 k : 用途 ($k \in K$)。
 kZ_i : 第 i ゾーンに第 k 用途の現況混合率 ($0 \leq kZ_i \leq 1$)。 A^k : 移転代替地全体に第 k 用途を利用した場合の第 k 用途の延べ床面積。 D_k : 第 k 用途の需要量。 $kC_{i,1}$: 第 i ゾーンに全利用可能面積から第 k 用途が占有した場合のゾーンあたり改良費用。 $kC_{i,2}$: 第 i ゾーンに全利用可能面積から第 k 用途が占有した場合のゾーンあたり転換費用。 $kC_{i,3}$: 第 k 用途を移転代替地に転換した場合のゾーンあたり移転費用。 kX_i : 0-1変数 (1のとき、第 i ゾーンに第 k 用途が立地する。0のとき、第 i ゾーンに第 k 用途が立地しない)。
 W^k : 連続変数、第 k 用途の移転代替地全体の混合率。 I : 総費用。

混合利用を許さない場合の定式化はつぎのようになる。

$$\sum_{i=1}^N kA_i \cdot kX_i + A^k W^k \geq D_k \quad (k \in K) \quad (4), \quad 0 \leq \sum_{k=1}^K kX_i \leq 1 \quad (i \in N) \quad (5), \quad 0 \leq \sum_{k=1}^K W^k \leq 1 \quad (k \in K) \quad (6)$$
のもとで次の目的関数を最小にすることである。

$$I = \sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^K kC_{i,1} \cdot kX_i + \sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^K kC_{i,2} (1 - kZ_i) \cdot kX_i + \sum_{k=1}^K kC_{i,3} W^k = \sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^K \{kC_{i,1} + kC_{i,2} (1 - kZ_i)\} \cdot kX_i + \sum_{k=1}^K kC_{i,3} W^k \quad (7)$$

3.2 混合利用を許す場合 記号は、混合利用を許さない場合と同一である。ただし、この場合、変数 kX_i

は第iゾーンの第k用途の混合率を表す連続変数($0 \leq x_{ki} \leq 1$)である。ここで、連続変数 $x_{ki} \in [0, 1]$ で定義される連続変数 x_{ki} 、 x_{ki} を分離する。すなわち、可分計画法を用いる。定式化はつぎのようになる。

$$x_{ki} = x_{ki1} + x_{ki2} \quad (8) \quad 0 \leq x_{ki1} \leq kZ_i, \quad 0 \leq x_{ki2} \leq 1 - kZ_i \quad (\text{付帯条件, } x_{ki1} < kZ_i \text{ のとき, } x_{ki2} = 0) \quad (9) \quad \sum_{i=1}^N kA_i (x_{ki1} + x_{ki2}) + A^k W^k \geq D_k \quad (k \in K) \quad (10) \quad 0 \leq \sum_{k=1}^K (x_{ki1} + x_{ki2}) \leq 1 \quad (i \in N) \quad (11) \quad 0 \leq \sum_{k=1}^K W^k \leq 1 \quad (12) \quad \text{のもと、次の目的関数を最小にする。}$$

$$I = \sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^K kC_{i,1} (x_{ki1} + x_{ki2}) + \sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^K C_{i,2} x_{ki2} + \sum_{k=1}^K C_{k,3} W^k = \sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^K C_{i,1} x_{ki1} + \sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^K (C_{i,1} + C_{i,2}) x_{ki2} + \sum_{k=1}^K C_{k,3} W^k \quad (13)$$

混合利用を許さない場合は、0-1混合整数計画法であり、混合利用を許す場合は、線形計画法である。

2.3 静学モデルの適用例と考察

本研究の適用例の対象地域は、Q国際空港東部地区である。この地域は、航空機騒音の着陸進入路直下であり、航空機騒音の著しいほか、工場や高速道路等による騒音や大気汚染等の公害も起きている。一方、地理的には都心部への交通の便がよく、そのため単独のスプロール地帯の典型的な発展を見せ、本質アパート・文化住宅等が密集し、現在、種々の公害に悩まされ、省悪な生活環境を形成し、環境再整備の必要がある地域の一つである。そこで、本研究は、上記対象地域に対して $200' \times 200'$ のメッシュ・デーを基として、 $400' \times 400'$ のメッシュ・デーに加工した。これは、 $200' \times 200'$ のメッシュ・デーを使用すれば、膨大な組合せ計算も必要とし、大型計算機の容量を越えてしまうためこのように簡略化して行なう。

独立な環境評価項目としては、対象地域の代表的な属性の指標として、自然条件より地形、地盤、交通条件より鉄道、道路の利便性、公害条件より航空機騒音、道路騒音、大気汚染の計7項目を採用した。これらの環境評価項目も序論的に取り扱えるようランキング法を用いて表1に示す。さらに、対象地域の各用途に対して設定した環境基準を表2に示す。また、各用途の航空機騒音および費用に関しては表3、4のようである。以上の表1～4に示した数値は、絶対的なものではなく、地域的にも時間的にも変化するものである。しかし、ここでは、これらについて議論するのではなく上層計画および別途計画から与えられるものとする。

以上のデータを基として6通りのケースについて計算を行なった。各ケースおよび最適解については表5に示すところである。また、図1～3は、それぞれ対象地域の土地利用の現状、ケースおよびケースによる整備方法の土地利用を一例として示した。

適用例の結果を要約すれば、つぎのようになる。

① 空港のある場合の整備費用は、空港のない場合の整備費用と比較して、

1000億円程度高額である。② 改良手段も考慮する整備方式は、改良手段も考慮しない整備方式より高くなる。これは当該対象地域における移転代替地として選んだ周辺の地域の用地造成費が非常に高いことに起因している。

③ 総費用最小の観点から言えば、地域における土地利用整備の配置パターンは、各用途の配置が総合的に決定される。これは、従来、公害等の土地利用整備の考え方が、防音工事や騒音補償等の対象地を各用途ごとに指定して至ることは、必ずしも一定しない。

④ 環境整備のための土地利用の配置パターンは、各用途が集中化する傾向がある。これは混合利用を許さないモデルについてより顕著にあらわれる。

ラ ン ク	自然条件		交通条件		公害条件		
	地形	地盤	鉄道	道路	航空機騒音	道路騒音	大気汚染
1	山地	支持層深い 上部軟弱	不便 1200'以上	細街路のみ	W-95以上	居住不適	0.05 ppm 以上
2	丘陵台地	支持層やや浅い 上部軟弱	駅から 700~1200'	区画街路以下	W-90~95	居住できる	0.05 ppm 以下
3	盆地谷間	支持層深い 上部軟弱	駅から歩道 300~700'	地域内主要道路沿 (歩道に700m)	W-85~90		
4	平坦地	支持層やや浅い 上部軟弱	駅から距離 300'以内	幹線道路沿 (高速道路・国道 の両側260m)	W-80~85		
5	低湿地	支持層浅く 堅地盤		インターチェンジ 周辺 (1km以内)	W-80以下		

(注) i) N値の程度は上部支持層の深さ(15m以上)を深さとした。
ii) 鉄道は、最も近い駅からの距離(都市部の時間距離は、対象地域内では大抵10'以内)を基に上層計画。
iii) W: Weighted Equivalent Continuous Perceived Noise Level (WECPNL)
iv) 道路騒音は、幹線道路から100mは60 dB(A)以上となる。

表1 環境評価項目

用途	住宅	商業	工業	緑地
地形	2	2	4	1
地盤	3	3	2	1
鉄道(利便性)	2	3	1	1
道路(利便性)	1	4	5	1
航空機騒音	4	3	2	2
道路騒音	2	1	1	1
大気汚染	2	2	1	1

表2 環境基準

④ 環境整備のための土地利用の配置パ

④ 混合利用を許すモデルの総費用は、同じ条件では、混合利用を許さないモデルの総費用より低くなる。ただし、混合利用を許すモデルは、ゾーン内部の配置計画に残すからゾーン内部の配置計画に関する費用の潜在化が起こり、厳密には、混合利用を許さない場合との総費用の比較が困難である。

用途	住宅	商業	工業	緑地(%)
Q-市	41%	95.1%	26.1%	100%

表3 総容積率(現況)

5.4 結論と今後の問題

① ゾーニングの結果、得られる各ゾーン内にあり用途の混合利用を許す場合と許さない場合との両方について環境整備の土地利用計画モデルを策定し、その実用的解決を示した。

② 混合利用を許す場合と許さない場合との両辺の土地利用の計画論的相違を分析した。

③ 環境整備の計画にもなる費用と改良、転換、移転を分類し、ゾーン別用途別に算出して計画の具体性に寄与した。

④ ゾーニングにおけるメッシュ・データの有効性を立証し、メッシュ・データの資料収集を奨励した。

⑤ 従来、直観的な図形表現を用いて行なわれてきた土地利用の配置計画を数理計画法と大型計算機を用いて客観的に表現する基礎的手法を確立した。

⑥ 空港のある場合とない場合との比較を行ない、航空機騒音の帰属整備費用のオーダー的把握を行なえるようにした。さらに、他の公害がある場合にも同様な方法によって把握が行なえることも示した。

また、本研究が、今後解決されねばならない問題として以下のものが考えられる。

- ① 本研究が条件としたゾーン相互間の隣接効果や相互作用効果を同時に考慮したモデルの開発をすること。
- ② 公営施設の配置パターンを条件としたが、これも、同時に決定するモデルの開発をすること。
- ③ 対象地域に対してグロス量で取り扱った総容積率を地域内の地区的最適値としてとらえる手法を開発すること。
- ④ 取り入れるべき環境評価項目ならびに評価指標選択の手法を確立すること。
- ⑤ 総費用最小という評価基準は、定量的に容易であるが、これに利用の最大となる評価基準、あるいは利便性最大という評価基準に拡張すること。

5.5 動学モデルの定式化

3.3で示した静学モデルを動学モデルに拡張する。本研究において動学モデルとは、当該期間の土地利用形態を決定するとき、その決定をそれより以前の期間に行なう決定と独立に行なうことのできるモデルという意味である。なお、この章は、完全に整理されていないので、上記の部分と多少独立と考えて読んで下さい。

5.5.1 動学モデルに必要な仮定と記号

① 整備後の各期間、各ゾーン、各用途についての総容積率は定年とする。

転換費用

用途	費用	撤去・整地費	移送費	建築費	買収費	ゾーンあり転換費用 億円/メッシュ
住宅	0.8	0.8	8.0	0.0	153.6	
商業	0.8	1.0	10.0	0.0	188.8	
工業	0.8	0.7	7.0	0.0	136.0	
緑地	0.15	0.0	0.3	0.0	7.2	

移転費用

用途	費用	撤去・整地費	移送費	建築費	買収費	ゾーンあり移転費用 億円/メッシュ
住宅	0.8	0.8	8.0	8.0	281.6	
商業	0.8	1.0	10.0	8.0	316.8	
工業	0.8	0.7	7.0	8.0	264.0	
緑地	0.15	0.0	0.3	8.0	135.2	

改良費用

環境評価項目	万円/㎡	億円/メッシュ
地盤	0.8	12.8
航空機騒音	1.0	16.0
道路騒音	0.5	8.0

表4 転換、移転、改良費用

用途の転換、移転を 考慮した最適化モデル	混合利用を許す	空港あり	ケース 1	6954
用途の改良、転換、 移転をとり扱う 最適化モデル	混合利用 を許す	空港あり	ケース 2	2228
			ケース 3	2785
		空港なし	ケース 4	1827
	混合利用 を許さない	空港あり	ケース 5	3661
			ケース 6	3356
		空港なし		

表5 最適解の比較 (単位: 億円)

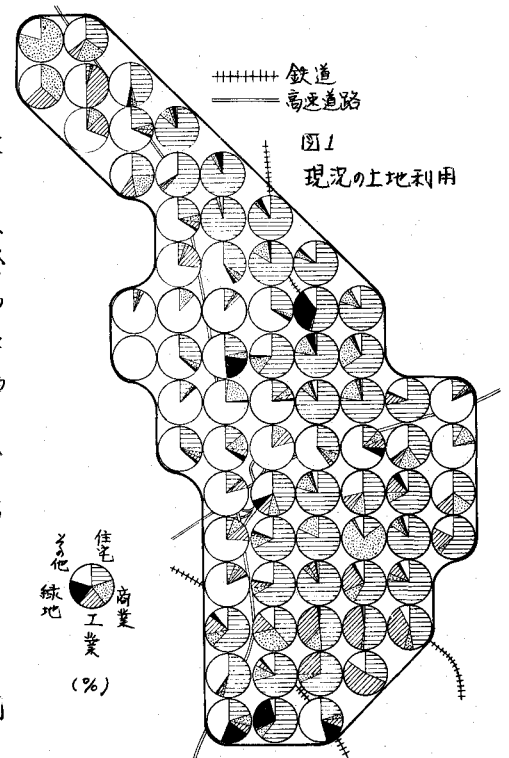


図1 現況の土地利用

② 各期間, 各用途, 各環境評価項目についての環境基準は与えられているとする。 ③ 各期間, 各用途についての対象地域全体に対する総延べ床面積の需要量は5件とする。

④ 改良, 転換, 移転費用の定義は下記のようになる。

a) 改良費用 あるゾーン, 第 $t-1$ 期より第 t 期にかけて同用途が立地する場合, この用途が立地したまま環境基準に達するように環境整備を行なうのに要する費用。

b) 転換費用 あるゾーン, 第 $t-1$ 期と第 t 期において異なる用途が立地する場合, 用途の転換を行なうのに要する費用。

c) 移転費用 環境整備の対象となっている対象地域内のある用途を, 移転代替地に移転するために要する費用。

⑤ 本モデルでは, 各期間, 各用途についての需要量と環境基準をみだり土地利用計画を総費用最小化の評価基準で代替案を選択する。

その他必要と思われる仮定は, 静学モデルに依りて, 仮定と暗に使っているとして承けて下さい。次の記号についても, 符号, 断わらぬいおぼしめすようにしている。

記号は以下のようである。

i : ゾーン番号 $i \in I = I_1 \cup I_2$, $I_1 = (1, \dots, N)$, $I_2 = (W-95, \dots, W-M)$ 。

j : 環境評価項目番号 $j \in J = (1, 2, \dots, J)$ 。

t : 期間番号 $t \in T = (1, 2, \dots, T)$ 。 $k, L_j(t)$: 第 t 期, 第 k 用途, 第 j 環境評価項目の環境基準値。 $D_k(t)$: 第 t 期第 k 用途の需要量。 $kX_i(t)$: 第 t 期, 第 i ゾーン, 第 k 用途の立地に関する変数(混合利用を許す場合と許さない場合とでは異なる。)。 $kQ_i(t)$: 0-1変数。 $y_{ij}(t)$: 第 t 期, 第 i ゾーン, 第 j 環境評価項目の評価値。 $kC_i(t)$: 第 $t-1$ 期に k 用途が立地し, 第 t 期に k 用途が立地する場合, 第 i ゾーン, 第 t 期における第 k 用途のゾーンの転換費用。 $C_{ij}(y_{ij}(t), y_{ij}(t-1))$: 第 i ゾーン, 第 t 期, 第 j 環境評価項目についてのゾーンの転換費用。 $kC_i'(t)$: 混合利用を許さない場合の, 第 t 期, 第 i ゾーンへの第 k 用途のゾーンの移転費用。ただし, $k \neq k'$ のとき, k 用途への移転が行なわれ, $k' = k$ のとき移転は行なわれない(すなわち k 用途が立地している。($i \in I_2$))。 $kC_i(t)$: 混合利用を許す場合の, 第 t 期, 第 i ゾーンへの第 k 用途のゾーンの移転費用。

4.1 混合利用を許さない場合 さらに仮定と定義とを補

足する。 ① $kX_i(t)$ の定義 ($=1$ のとき, 第 t 期に, 第 i ゾーンに第 k 用途が立地する。 $=0$ のとき, 第 t 期に, 第 i ゾーンに第 k 用途が立地しない。 ② 改良費用は, も, とも悪い環境状態からの累加費用

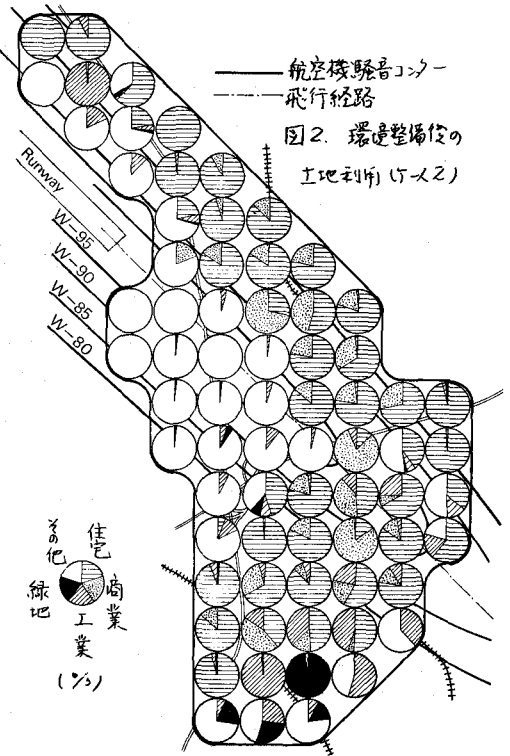


図2 環境整備後の土地利用(ケース2)

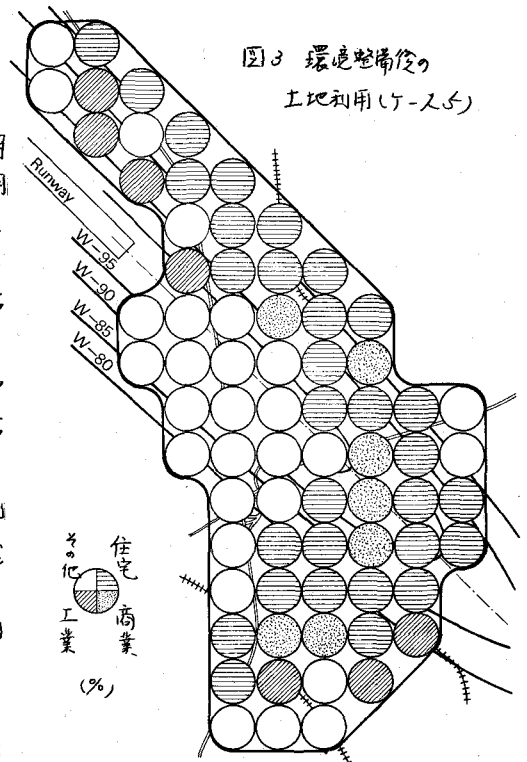


図3 環境整備後の土地利用(ケース3)

よ、と定義する。 $C_{ij}(y_{ij}(t), y_{ij}(t-1)) = C'_{ij}(y_{ij}(t)) - C'_{ij}(y_{ij}(t-1))$ 。以上より定式化すると。

$$\sum_{i=1}^{NM} k A_i \cdot k X_i(t) \geq D_k(t) \quad (k \in K), (t \in T) \quad (14), \quad \sum_{k=1}^K k X_i(t) = 1 \quad (i \in I), (t \in T) \quad (15).$$

$$k L_{ij}(t) \cdot k X_i(t) \leq y_{ij}(t) \quad (k \in K), (j \in J), (t \in T), (i \in I), \quad (16). \quad k X_i(t) = 0 \text{ or } 1 \quad (17).$$

のもとで、次の目的関数を最小にする。ことである。

$$I = \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J k C_i(t) \cdot k X_i(t-1) \cdot k X_i(t) + \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^J C_{ij}(y_{ij}(t), y_{ij}(t-1)) + \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J k C'_{ij}(t) \cdot k X_i(t-1) \cdot k X_i(t) \quad (18)$$

解決のための問題の簡略化を行なえば以下のような式になる。すなわち、(18)式の第2項を变形する。

$$\sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^J C_{ij}(y_{ij}(t), y_{ij}(t-1)) = \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K \sum_{k'=1}^K C_{ij}(y_{ij}(t), y_{ij}(t-1)) \cdot k X_i(t-1) \cdot k X_i(t)$$

1をず、と、(18)式はつぎのようになる。

$$I = \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^K \sum_{k'=1}^K \left\{ k C_i(t) + \sum_{j=1}^J C_{ij}(y_{ij}(t), y_{ij}(t-1)) \right\} \cdot k X_i(t-1) \cdot k X_i(t) + \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^K \sum_{k'=1}^K k C'_{ij}(t) \cdot k X_i(t-1) \cdot k X_i(t) \quad (19)$$

(19)式において変数の置換を行なう。すなわち、 $k C_i(t) = k C_i(t) + \sum_{j=1}^J C_{ij}(y_{ij}(t), y_{ij}(t-1))$, $(i \in I)$
 $(k, k' \in K), (t \in T) \quad (20).$ $k C_i(t) = k C'_i(t) \quad (i \in I_2) \quad (21)$

以上より $k C_i(t)$ の値は、 k, k', t, i のすべての組合せについて与えられるデータとして(16)式より計算が可能となるので、あらためて定式化を行なうとつぎのようになる。

$$\sum_{i=1}^{NM} k A_i \cdot k X_i(t) \geq D_k(t) \quad (k \in K), (t \in T) \quad (22) \quad \sum_{k=1}^K k X_i(t) = 1 \quad (i \in I), (t \in T) \quad (23)$$

$$k X_i(t) = 0 \text{ or } 1 \quad (i \in I), (k \in K), (t \in T) \quad (24)$$

のもとで、次の目的関数を最小にする。ことである。 $I = \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^K \sum_{k'=1}^K k C_i(t) \cdot k X_i(t-1) \cdot k X_i(t) \quad (25)$

4.3 混合利用を許す場合 取扱費用によって追加的補正を行なう。k用途からk'用途への取扱費用c, k用途の破壊費用とk用途の建設費用とを合せて、次のように定義する。

$k C_i(k X_i(t-1), k X_i(t)) =$
 $\left\{ \begin{array}{l} \text{i) 破壊費用 } k C'_i(k X_i(t-1) - k X_i(t)) \text{ if } k X_i(t-1) > k X_i(t) \\ \text{ii) 破壊も建設もない } 0 \text{ if } k X_i(t-1) = k X_i(t) \\ \text{iii) 建設費用 } k C_i(k X_i(t-1) - k X_i(t-1)) \text{ if } k X_i(t-1) < k X_i(t) \end{array} \right\} \quad (26)$
 よって、立地する用途の混合率を表す変数 $k X_i(t)$ に次のような変数を置き換えて行なう。

$$k X_i(t) = k X_{i,w}(t) + k X_{i,u}(t) \quad \left\{ \begin{array}{l} 0 \leq k X_{i,w}(t) \leq k X_i(t-1), \quad 0 \leq k X_{i,u}(t) \leq 1 - k X_i(t-1), \\ \text{付帯条件 } k X_{i,w}(t) < k X_i(t-1) \text{ ならば } k X_{i,u}(t) = 0 \end{array} \right\} \quad (27)$$

1をず、と、第iゾーン全体での取扱費用はつぎのようになる。 $\sum_{k=1}^K \left\{ k C_i(k X_i(t-1) - k X_{i,w}(t) + k C_i k X_{i,u}(t)) \right\} \quad (28)$

① $k X_i(t)$ は、第t期k, 第iゾーンに立地する第k用途の混合率である。② 取扱費用は上記のものである。③ ゾーン内の混合利用を許す。この場合、取扱費用はゾーンに立地する用途の環境基準の中で、最も水準の高いもので統一する。以上より定式化を行なうとつぎのようになる。

$$\sum_{i=1}^{NM} k A_i \cdot k X_i(t) \geq D_k(t), (k \in K), (t \in T) \quad (29). \quad 0 \leq \sum_{k=1}^K k X_i(t) \leq 1 \quad (i \in I, t \in T) \quad (30), \quad \bigcup_k Q_i(t) - k X_i(t) \geq 0, \quad (i \in I), (k \in K), (t \in T), \quad k Q_i = 0 \text{ or } 1, \quad \bigcup: \text{最大の正数。} \quad k L_{ij}(t) \cdot k Q_i(t) - y_{ij}(t) \leq 0, \quad (i \in I), (j \in J), (k \in K), (t \in T) \quad (31).$$

$k X_i(t) = k X_{i,w}(t) + k X_{i,u}(t), \quad (i \in I), (k \in K), (t \in T), \quad 0 \leq k X_{i,w}(t) \leq k X_i(t-1), \quad 0 \leq k X_{i,u}(t) \leq 1 - k X_i(t-1)$ (付帯条件, $k X_{i,w}(t) < k X_i(t-1)$ ならば, $k X_{i,u}(t) = 0$) (32)
 $k X_i(t-1) \leq k X_i(t), \quad (i \in I_2), (k \in K), (t \in T) \quad (33)$ のもとで、次の目的関数を最小にする。

$$I = \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^K \sum_{k'=1}^K \left\{ k C'_i(t) (k X_i(t-1) - k X_{i,w}(t)) + k C_i(t) k X_{i,u}(t) \right\} + \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^J C_{ij}(t) (y_{ij}(t-1) - y_{ij}(t)) + \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^K \sum_{k'=1}^K k C'_{ij}(t) \cdot k X_i(t-1) \cdot k X_i(t) \quad (34)$$

混合利用を許さなう場合は、2次0-1整数計画法であり、解決としては、0-1整数計画法とDP(ダイナミックプログラミング)に変形すれば可能である。混合利用を許す場合は混合整数計画法である。

5. おわりに 環境整備のための土地利用計画モデルを、静学モデルと動学モデルとによって提案してきた。これらのモデルは、多くの仮定のもとに作られているため、今後解決しなければならない点があるが、現在の環境問題を解決する方法論の一つを提案しているものと思われる。最後に、京都大学教授長尾義三氏と運輸省林恒一郎氏とから助言や援助をいただいた。参考文献 1) 若井郁次郎：公害地における地域再整備計画手法とそれに必要な環境のモデル化、第2回環境問題シンポジウム、1974年8月。2) 長尾義三、若井郁次郎、林恒一郎：環境インパクトをプロジェクト周辺地域の整備計画手法、工学会論之報告集(投稿中)。その他省略。