

環境インパクトをもつプロジェクト周辺地域の整備計画手法

A DEVELOPMENT PLANNING METHOD ON THE SURROUNDING
AREA OF THE PROJECT WITH ENVIRONMENTAL IMPACTS

長尾 義三*・若井 郁次郎**・林 恒一郎***

By Yoshimi NAGAO, Ikujiro WAKAI and Kohichirou HAYASHI

1. 緒 言

安定状態にある地域生態系の中に、ある環境インパクトをもつプロジェクトを設けたとき、何らかのかく乱が生じる。好ましくない面への対応は、1) インパクト要因の制御、2) 被影響側における対応策もしくは補償である。1) は技術的・経済的要因から早急に実現期待が困難な場合もあり、さりとて 2) は問題の根本解決となりえないことも多い。プロジェクトの要請がこの障害を乗り越えるほど大きい場合、地域の間・社会の取りうる行動は、順応 (behavioural)、転換または開発 (development) および移転 (locational) の3つとされる¹⁾。順応はインパクト下で生活様式を変えていくが、生活の質そのものを変えるものではない。何らかの外部費用が発生し、補償という形で表にあらわれることもある。転換または開発は、内容そのものを質的に変える行為である。土地利用についてみれば用途転換がこれに相当する。最後の移転は土地を離れて他に生活し易い場所を求める行為である。環境インパクトを持つプロジェクトを実施しようとするとき、そのインパクト要因を列挙し、それが周辺地域にどのような影響を与え、それを受けた人間・社会の取りうべき最適行動を明らかにすることは前述の2つの方法に続く第3の方法としてプロジェクト実施を可能にさせる有力な情報を与える²⁾。

2. 問題の設定

Fig. 1 (a) にある地域の土地利用現況が例示されている。この地域には商住工混在し、ある住宅地は駅から離れたり、工場の騒音、排気ガスの影響を受けたり、ま

た低湿地にある。決して好ましい働く環境、住む環境とはいえない。地域住民としては、Fig. 1 (b) に示されるような地域環境が好ましいとしても、生活様式の変化、転換、移転費用の増加を考慮して Fig. 1 (a) の状態で安定していると考えられる。なお、Fig. 1 (c) は環境インパクトをもつプロジェクトがあるときの地域環境を示す。

これをもう少し明確に説明するために、この地域を適当に等間隔の N 個のメッシュに切って、その1つの地区を i 地区として次のような記号に意義を与える。この場合1つのメッシュに含まれる地域の環境を H 個の評価項目のもとで評価するとする。環境は、また地域の用途によって評価の順位あるいは重みが異なる。

${}_hL_i$: i 地区の h 番目評価項目の現況水準

${}_hB_k$: k 用途の h 番目評価項目のシビルミニマム (たとえば、環境基準)

${}_hY_i$: i 地区の h 番目評価項目の計画水準

($i=1, 2, \dots, N, h=1, 2, \dots, H, k=1, 2, \dots, K$)

ここで、 ${}_hL_i \geq {}_hB_k$ ならば順応、転換、移転を行う必要がない。

$$({}_hY_i =) {}_hL_i \geq {}_hB_k \dots\dots\dots(1)$$

${}_hL_i < {}_hB_k$ ならば順応、転換、移転のいずれかを行わねばならない。

$$({}_hY_i \geq) {}_hB_k > {}_hL_i \dots\dots\dots(2)$$

地域の環境の評価は、用途に応じた働く場、生活の場、交流の場としての評価であって、評価項目には地形、地質などのその土地固有のものと、他の地区からの影響を受けるものがある。その例は以下のとおりである。たとえば、騒音、大気汚染、水質、交通事故、通勤・通学の時間と費用、買い物の便利性など、保健性、安全性、便利性、経済性に属するもので、これらは他地区にこれらの発生要因があって距離を媒介として当該地区には影響を受ける。これは当該地区 i と要因発生地区 j との相互作用効果 (interaction effects) と名付けられ

* 正会員 工博 京都大学教授 工学部交通土木工学教室

** 正会員 工修 京都大学助手 工学部交通土木工学教室

*** 正会員 工修 運輸省港湾局

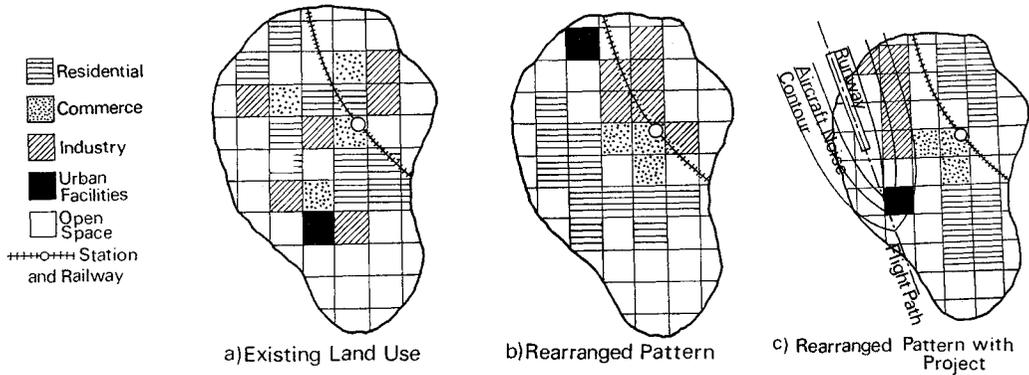


Fig. 1 Land Use Pattern

るもので、その表示の方法の1つには次のようなものが考えられる。

$$m\phi_i = \sum_{j \neq i} \frac{m\phi_{j \neq i}}{R_{ij}^l} \dots\dots\dots (3)$$

ここに、

$m\phi_i$: i 地区の m 番目評価項目の相互作用効果
 R_{ij}^l : ij 両地区の距離抵抗 (たとえば、 R は距離、 l は定数値)

$m\phi_{j \neq i}$: i 地区以外の j 地区における i 地区への m 番目評価項目の相互作用効果に影響を与えるポテンシャル (発生騒音、排気ガスなど)

$m\phi_i$ は hL_i と同じ性質のものであるが、他地域と相互に影響し合うものとするか、その地区固有のものとするかの相違である。いま式 (1) に示す状態にあるならば、環境としては問題はないが、式 (2) の状態であるならば、何らかの行動を起こさねばならない。順応できなくなるか、何らかの当該地域と関係ないプロジェクトが計画されれば式 (2) の状態が意識される。しかし、式 (2) の状態を満足する解は無数にある。1つの代替案は次のようである。いま、移転を考えないとして、 i 地区の改良費用を C_{i-1} 、転換費用を C_{i-2} とすれば、

$$C_{i-1} = \sum_{h=1}^H C_{ih}(hL_i, hB_k, hY_i) \dots\dots\dots (4)$$

$$C_{i-2} = \sum_{k=1}^K C_{ik}(kX_i, kS_i) \dots\dots\dots (5)$$

ここに、

kX_i : i 地区を k 用途に利用することを示す変数で、利用する場合 1、利用しない場合 0
 kS_i : i 地区が現在 k 用途に利用されていることを示す変数で、利用している場合 1、利用していない場合 0

もちろん

$$0 \leq \sum_{k=1}^K kX_i \leq 1, 0 \leq \sum_{k=1}^K kS_i \leq 1 \dots\dots\dots (6)$$

これらの式は、混合利用を許さない場合、 i 地区は 1

つの用途にしか利用できない制約式となる。0-1 変数 kX_i を用いて式 (2) を書き換えると次のようになる。

$$hY_i \geq hB_k \cdot kX_i \dots\dots\dots (2)'$$

また、需要および資源制約条件として次式を与える。

$$\sum_{i=1}^N kD_i \cdot kX_i \geq D_k \quad (k=1, 2, \dots, K) \dots\dots\dots (7)$$

$$kD_i \cdot kX_i \leq kA_i \dots\dots\dots (8)$$

ここに、

kD_i : i 地区を k 用途に使用したときの計画収容量
 D_k : このコミュニティにおける k 用途の総需要量
 kA_i : i 地区の k 用途の収容可能量

いま、簡単のために他地区との相互移転を考えないとすれば、式 (1) および式 (2) で示される状態で上述の制約条件を満足する経済的な行動は、整備費用を I_1 とすれば、

$$\begin{aligned} I_1 &= \sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^K C_{i-1} + \sum_{i=1}^N C_{i-2} \\ &= \sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^K \sum_{h=1}^H C_{ih}(hY_i, hB_k, hL_i) \\ &\quad + \sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^K C_{ik}(kX_i, kS_i) \dots\dots\dots (9) \end{aligned}$$

を最小にすることといえる。さらに、この場合、生産活動に要する費用は不変とみて生活費用、すなわち、家計支出のみ変化すると考えられるのでそれを I_2 とすれば、この計画の総効用 U_A は、次のようになる。

$$U_A = U_A(I_1, I_2) \dots\dots\dots (10)$$

これは、 Y のレベルをいろいろ変えることによって I_1, I_2 も変化する。効用の最大なる点が存在するためには、式 (10) の効用関数の内容を明らかにして、解の集合の凸性を示さねばならないのであるが、その必要ならびに十分条件を求めることは、効用関数の性質が十分でないので困難である。したがって、プロジェクト周辺地域の環境にある水準以上 (たとえば環境基準) に保つための費用最小点を、人間行動のとりうべき代替案の中から探索する問題として扱う。そして、求め得た結果は、

最適の計画水準であるかどうかは分らないが、少なくとも、満足しうる水準を保つための人間行動の費用の最小値をもつ計画を持つことができるという、費用-有効度分析モデルの³⁾一つを形成したことになる。この手法は、安定しているが好ましくない地域環境をプロジェクトの投入によって好ましい地域環境に変える実際的な手法ともいえる。

3. モデルの前提条件

(1) ゾーニング

前述したように、本考察ではあらかじめ対象地域を適当なメッシュに分割し、その結果あらわれる正方形ゾーンを分析の要素とする。この種のゾーニングを行うに際しては、メッシュの格子間隔の選び方に問題がある。本考察ではメッシュの格子間隔について、次の条件が満たされていることを必要とした。

- ① 各メッシュは独立した用途を代表できる大きさであること。
- ② 土地の評価項目の水準値がゾーン1個当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。

①の用途とは、土地に設定された建造物の土地に対する特殊な利用形態であり、これは不可分な大きさを持っているから、1単位の用途の不可分な大きさを見捨てるようなゾーニングは、本来無意味なものであることをいう。②は、各ゾーンが各環境評価項目に対してある水準値を代表していなければ、本考察の手法としてゾーニングをする意義が失われてしまうことをいう。③は、与えられたメッシュ格子間隔について、その格子間隔を1/K倍にするならば、ゾーン総数はK²倍となり、取り扱うデータは著しく増大し、計算の大型化をきたすことをいう。

(2) ゾーンにおける土地利用形態のあり方

ゾーン内の計画変数としての利用形態には、混合利用を許す場合と混合利用を許さない場合との2通りが考えられる。これはメッシュ格子間隔のとり方とも関連する。公害、特に大気汚染などは、用途の混在地区で多く起こっているように、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、ゾーン内部の用途の配置を完全に決定することになるので、対象地域の土地利用構想をぬきにしては考えられない。ところで、混合利用を許す場合には、ゾーンにおける用途の利用度を示す指標を混合率に選び、次のように定義する。

「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*ゾーンにおい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」である。

(3) 容 積 率

用途の量的扱いは、延べ床面積をもって表わす。延べ床面積は土地の物理的面積に対して容積率から計算される。ただし、容積率はグロス量としての総容積率を用いる。これは都市施設の配置パターンを与件としたことを考慮したためである。

総容積率は、次のように与えられる。

$$\text{総容積率} = \frac{\text{延べ床面積}}{\text{敷地面積と周辺の通路面積の合計値}} \dots\dots\dots(11)$$

土地の利用度は、ゾーン当たり求められればよいから「敷地面積と周辺の通路面積の合計値」をゾーンの全利用可能面積に選び、総容積率が与えられれば、各用途のゾーン当たりの延べ床面積は次のように定まる。

$${}_kA_i = A_i \cdot r^k \dots\dots\dots(12)$$

ここに、

${}_kA_i$: 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

r^k : 第*k*用途の総容積率

したがって、任意の混合率 ${}_kQ_i$ で第*i*ゾーンを占有する第*k*用途の延べ面積を ${}_kF_i$ とすれば、次のようになる。

$${}_kF_i = {}_kA_i \cdot {}_kQ_i \dots\dots\dots(13)$$

ただし、 $0 \leq {}_kQ_i \leq 1$

以上の関係を概念図で示せば、Fig. 2 のようである。

ところで、計画すべき容積率をどのように決定するかについては、従来、ほとんど研究のなされていない分野であり、現状では、法的に規制されている場合もあり、各利用者にゆだねられている場合もある。おのおのの利用者にゆだねられている場合の経済的なミクロの分析は文献 4) に詳しい。本研究のモデルでは、容積率の経済学的な決定プロセスは導入されていないが、容積率はゾーンと用途を与えれば、何らかの観点から最適値が存在しうると考えて与件とする。容積率の感度については、感度分析が可能であり、4.(3) a) において述べる。

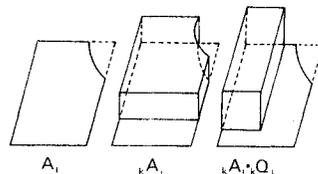


Fig. 2 Conceptual Scheme on Mix Ratio and Total Floor Space for Land Use

(4) 環境評価

プロジェクト実施前の人間活動を制約する空間条件に何を、どのように表わし、さらにプロジェクトの影響を予測することは、環境アセスメントの研究分野となる。本研究では、アセスメント手法の詳細について述べるのではなく、何らかの作業によって必要と思われる評価項目についての定量的な、もしくは順序づけが可能な評価指標が得られたとしている。ゾーニングによって個々のゾーンを分析対象とする本研究の手法からすれば、対象地域の環境とは、ゾーン当たりの評価指標の集合であると考えられる。さらに、評価指標は、対象地域の特性のみに応じて、必要だけ列挙された環境評価項目によって構成される。環境を規定する環境評価項目に何を選ぶかが問題となるが、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。環境評価項目は、たとえば、地形とか地盤の良否などその地区の固有の自然的条件によるもの、騒音とか大気汚染などの発生源との相対距離と関係のある社会的条件によるもの、さらに、駅までの距離のように経済的条件によるものなどがある。こうして、列挙された環境評価項目のおおのに対して、評価指標の水準がデジタルな尺度で調査されねばならない。前述した環境基準は、ある環境評価項目に対する計画水準として考えることは、根拠のあることである。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が、これについては、便宜的な指標を設定して評価し、デジタルな尺度と同様の取り扱いができるように、実用上の工夫をすることが必要となる。

単位の異なるデジタル尺度、ならびに非計量のものを実用するに、5段階評価を用いることは有用である。もっとも好ましいものに5、逆に好ましくないものに1を与えることを基準に、評価項目間のウェイトを考慮して、1~5までの序数を与える。

(5) 費用分析

a) 改良費用

環境評価は、地区相互に独立な H 個の環境評価項目によって評価されるので、前述した順応に対応する改良費用は、 H 個の環境評価項目のそれぞれについての改良費の総和である。改良費用は、原理的には、ゾーン別用途別にすべて調査をして求めるわけであるが、本研究では、次の方法によることを提案する。すなわち、あらかじめ環境の水準を列挙された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、環境基準が満たされているものと、そうでないものとを選別する。こうして選別されたもののうち、環境基準が満たされてい

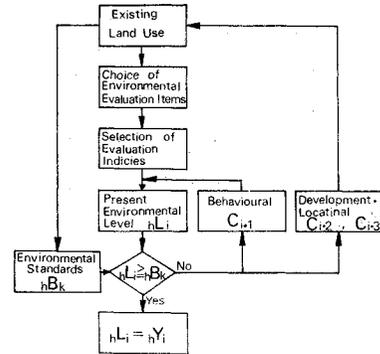


Fig. 3 Flow Chart of Environmental Rearrangement

いものについて、各環境評価項目についての改良費用単価から改良費用を積算する。以上の手順を流れ図で示せば、Fig. 3 のようである。

b) 転換費用・移転費用

転換費用と移転費用の費用の上からの相違は、移転費用は移転代替地の用地の買収費、整地費を含むが、転換費用はそれらを含まない点である。転換費用は次の4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。分類される4つの費用は、1) 構造物の解体費、2) 土地の整地費、3) 移送費、4) 建築費である。移転費用は以上4つの費用に、移転代替地の買収費、整地費が加えられる。ところで、3)の移送費は、あるゾーンから他のどのゾーンへ向けて移送されるかに依存してくる量であるが、本研究では、適用例にみられるように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て、上のように転換費用と移転費用を定めることにする。

c) 総費用

費用分析による評価の総費用は、以上 a), b) を加算した整備費用と、式 (10) で考慮した生活費用をこれに加えることになる。生活費用のインパクトについては、われわれの行った研究の手法をとり入れることもできるが⁹⁾、現況のままでは、生活費用は高く、転換・移転を行えば、生活費用は低くなるのが、一般に予想されるので、本研究では、第一段階の分析として I_2 の影響を考慮外とした。

4. モデルの定式化

モデルを定式化するにあたり仮定とすることを、もう一度整理し列挙すると以下のとおりである。

- ① 用途需要を一定とする。
- ② 道路、鉄道、空港、駅、ガス、電気、水道などの都市施設の配置パターンを与件とする（ただし、学校、病院などの都市施設は住宅地区の付属施設とす

る)。

- ③ 容積率は、用途に関してのみ関係する量として与えられる。
- 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、順序づけが可能である。
- ⑤ 達成すべき環境基準を与件とする。
- 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 用途の転換にともなう周囲への効果は無視できる。
- ⑧ 転換、または移転にともなう移送費は距離に関係しない。
- ⑨ 費用は占有面積に比例する。

(1) 混合利用を許さない場合

これまで説明したものの以外の記号の説明は以下のとおりである。

kZ_i : 第 i ゾーンの第 k 用途の現況混合率 ($0 \leq kZ_i \leq 1$)

A^k : 移転代替地全体を第 k 用途に利用した場合の延べ床面積

A : 移転代替地全体の面積

$kC_{i,1}$: 第 i ゾーン、第 k 用途のゾーン当たり改良費用

$kC_{i,2}$: 第 i ゾーン、第 k 用途のゾーン当たり転換費用

(ただし、 kC : 第 k 用途の転換費用)
 $kC_{i2} = kC \cdot A_i$

kC_3 : 第 k 用途の移転代替地全体の移転費用

kX_i : 0-1 変数

($kX_i = 1$, 第 i ゾーンに第 k 用途が立地する)
 ($kX_i = 0$, 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 (ただし、整備費用のみとする)

また、転換費用は面積に対して比例的に求められるが概念図を示せば Fig. 4 のとおりである。

混合利用を許さない場合の定式化は次のようになる。

$$\sum_{i=1}^N kA_i \cdot kX_i + A^k W^k \geq D_k \quad (k=1, 2, \dots, K) \quad \dots \dots \dots (14)$$

$$0 \leq \sum_{k=1}^K kX_i \leq 1 \quad (i=1, 2, \dots, N) \quad \dots \dots \dots (15)$$

$$0 \leq \sum_{k=1}^K W^k \leq 1 \quad (k=1, 2, \dots, K) \quad \dots \dots \dots (16)$$

のもとで、

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

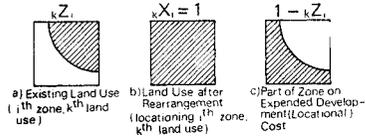


Fig. 4 Conceptual Scheme at Calculating Development (Locational) Cost for Pure Land Use

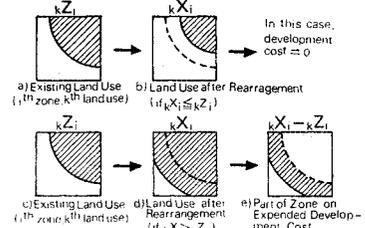


Fig. 5 Conceptual Scheme at Calculating Development Cost for Mixed Land Use

$$\begin{aligned} & + \sum_{k=1}^K kC_3 W^k \\ & = \sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^K \{kC_{i,1} + kC_{i,2} (1 - kZ_i)\} kX_i \\ & + \sum_{k=1}^K kC_3 W^k \dots \dots \dots (17) \end{aligned}$$

を最小にすることである。

(2) 混合利用を許す場合

記号は上記 4.(1) と同様である。ただし、この場合、変数 kX_i は第 i ゾーンの第 k 用途の混合率を表わす連続変数—前述した kQ_i に相当—(ただし、 $0 \leq kX_i \leq 1$) である。混合率と転換費用との線形的関係を概念図で示せば Fig. 5 のとおりである。

定式化にあたり変数 kX_i を 2 区間で定義される変数 $kX_{i(1)}$, $kX_{i(2)}$ に分離し、可分計画法を用いる。

$$kX_i = kX_{i(1)} + kX_{i(2)} \dots \dots \dots (18)$$

$$0 \leq kX_{i(1)} \leq kZ_i, 0 \leq kX_{i(2)} \leq 1 - kZ_i \dots \dots (19)$$

ただし、 $kX_{i(1)} < kZ_i$ ならば、 $kX_{i(2)} = 0$

したがって定式化は次のようになる。

$$\sum_{i=1}^N kA_i (kX_{i(1)} + kX_{i(2)}) + A^k W^k \geq D_k \quad (k=1, 2, \dots, K) \dots \dots \dots (20)$$

$$0 \leq \sum_{k=1}^K (kX_{i(1)} + kX_{i(2)}) \leq 1 \quad (i=1, 2, \dots, N) \dots \dots \dots (21)$$

$$0 \leq \sum_{k=1}^K W^k \leq 1 \dots \dots \dots (22)$$

$$0 \leq kX_{i(1)} \leq kZ_i \dots \dots \dots (23)$$

$$0 \leq kX_{i(2)} \leq 1 - kZ_i \dots \dots \dots (24)$$

のもとで

$$I = \sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^K kC_{i,1} (kX_{i(1)} + kX_{i(2)})$$

$$\begin{aligned}
 & + \sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^K k C_{i,2} \cdot k X_{i(2)} + \sum_{k=1}^K k C_3 W^k \\
 = & \sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^K k C_{i,1} \cdot k X_{i(1)} \\
 & + \sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^K (k C_{i,1} + k C_{i,2}) k X_{i(2)} + \sum_{k=1}^K k C_3 W^k \\
 & \dots\dots\dots(25)
 \end{aligned}$$

を最小にすることである。

混合利用を許さない定式化は解法上 0-1 混合整数計画法である。0-1 混合整数計画法の解法には多くの手法が開発されているが、茨木らによって開発されたヒューリスティック・プログラミングに基づくプログラムを使用した^{6),7)}。混合整数計画法のアルゴリズムは、Land-Doig の分枝限定法⁸⁾ や Benders の分割法⁹⁾ があるが、大規模な問題に対しては実用上十分でない。本研究で使用するプログラムは、大規模な問題に対して実用上近似最適解が得られるように開発されたもので、これは可能な集合の中で、ある基準に基づいて最初の集合を定め、試行錯誤的な手段により解を改良し、近似最適解を求めて計算を打ち切りにしたものである。

一般に、整数計画法は計算速度が問題のタイプによって異なること、また、大型の実用計算が困難であることなどの問題が残っている。この点は、混合整数計画法についても同様である。混合利用を許す定式化においては線形計画法の採用が考えられる。線形計画法には多くの研究成果があり、大型計算、感度分析、パラメトリック分析、双対問題などが可能であるという特徴をもっている。のちに計算例で用いるプログラムは LIPS-60 C¹⁰⁾ なるもので変数の制限はなく、制約式の数が 1000 個まで実用的に解法可能である。混合利用を許さない場合の 0-1 混合整数計画法による本モデルの定式化は、変数と制約式が増大し、解法上計算機の記憶容量にきわめて左右される。この点については、本モデルの改良を行う余地があり、残された課題である。

(3) 感度分析に関する考察

感度分析の対象は、本研究の定式化から次の 6 点に要約される。

- ① 第 i ゾーン第 k 用途の改良費用の変化、特に環境基準について解にどのような影響を与えるか。
- ② 第 k 用途の転換費用の変化が解にどのような影響を与えるか。
- ③ 対象地域の用途需要量の変化が解にどのような影響を与えるか。
- ④ ゾーンにおける現況の混合率の変化が、解にどのような影響を与えるか。
- ⑤ 計画する容積率の変化が解にどのような影響を与えるか。

⑥ ゾーンの全利用可能面積の変化が解にどのような影響を与えるか。

①, ② については目的関数の各項の係数の感度分析をすることによってえられる。③, ④ については制約式の制約量の感度分析をすることによってえられる。⑤, ⑥ については、工夫があるので一般的な混合利用を許す場合について次に示す。

a) ⑤ についての感度分析

定式化における制約式で計画容積率に関する制約式は次のようであった。

$$\sum_{i=1}^N k A_{i \cdot k} X_i + A^k W^k \geq D_k \dots\dots\dots(26)$$

ここに、

$$k A_i = A_i \cdot r^k, A^k = A \cdot r^k \dots\dots\dots(27)$$

であった。したがって、式 (26) は次のようになる。

$$r^k \sum_{i=1}^N A_i \cdot k X_i + r^k A W^k \geq D_k \dots\dots\dots(28)$$

r^k が $(r^k + \Delta r^k)$ の変化をするならば

$$(r^k + \Delta r^k) \sum_{i=1}^N A_i \cdot k X_i + (r^k + \Delta r^k) A W^k \geq D_k \dots\dots\dots(29)$$

両辺を $(r^k + \Delta r^k)$ で除して

$$\sum_{i=1}^N A_i \cdot k X_i + A W^k \geq \frac{D_k}{r^k + \Delta r^k} \dots\dots\dots(30)$$

再び r^k を両辺に乗じると左辺はもとにもどり

$$\sum_{i=1}^N k A_i \cdot k X_i + A^k W^k \geq \frac{r^k}{r^k + \Delta r^k} D_k \dots\dots\dots(31)$$

いま、解の変化が起こらないような需要 D_k についての変化量を ΔD_k とすれば、

$$\frac{r^k}{r^k + \Delta r^k} D_k = D_k + \Delta D_k \dots\dots\dots(32)$$

を満たす Δr^k の変化は解に影響を与えない。したがって、次のようになる。

$$\Delta r^k = \frac{r^k \Delta D_k}{D_k + \Delta D_k} - r^k = -\frac{\Delta D_k}{D_k + \Delta D_k} r^k \dots\dots(33)$$

b) ⑥ についての感度分析

式 (26) において第 i_0 ゾーンの利用可能面積が ΔA_{i_0} だけ変化して $(A_{i_0} + \Delta A_{i_0})$ になったとする。このとき式 (26) は次のようになる。

$$\sum_{i=1}^N r^k A_i \cdot k X_i + r^k \Delta A_{i_0} \cdot k X_{i_0} + r^k A W^k \geq D_k \dots\dots\dots(34)$$

$$\therefore \sum_{i=1}^N k A_i \cdot k X_i + A^k W^k \geq D_k - r^k \Delta A_{i_0} k X_{i_0} \dots\dots(35)$$

いま、解の変化が起こらないような需要 D_k の変化量を ΔD_k とすると、

$$D_k + \Delta D_k = D_k - r^k \Delta A_{i_0} k X_{i_0} \dots\dots\dots(36)$$

を満たすような第 i_0 ゾーンの利用可能面積の変化 ΔA_{i_0} は解に影響を与えない。すなわち、次のようになる。

$$\Delta A_{i_0} = -\frac{\Delta D_k}{r^k X_{i_0}} \dots\dots\dots (37)$$

ここに、

kX_{i_0} : 第 i_0 ゾーン第 k 用途の最適解における混合率

以上の感度分析は線形計画法においてすべて可能である。

(4) 適用例と考察

本研究の適用例の対象は、O 国際空港東部地区である。この地域は、航空機の着陸進入路直下において航空機騒音の著しいほかに工場や高速道路などによる騒音や大気汚染など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良く、そのため戦後のスプロール地帯の典型的な発展を見せ、木質アパート・文化住宅などが密集し、現在、種々の公害と相まって劣悪な住環境を形成している。

本研究は、上記対象地域に対して 200 m×200 m のゾーニングを利用した^{11),12)}。計算に使用したメッシュ・データは、400 m×400 m のもので、これは 200 m×200 m のメッシュ・データをもとに加工して作成した。独立な環境評価項目としては、航空機騒音のみならず対象地域の代表的な属性の指標として自然条件から地形、地盤、交通条件から鉄道・道路の利便性、公害条件から道

Table 2 Environmental Standards

Environmental Evaluation Items	Residential	Commerce	Industry	Green
Geography	2	2	4	1
Ground	3	3	2	1
Railway	2	3	1	1
Road	1	4	5	1
Aircraft Noise	4	3	2	2
Road Noise	2	1	1	1
Air Pollution	2	2	1	1

Note : The environmental index values indicate that each land use must satisfy minimum level.

Table 1 Environmental Evaluation Items

Rank	Natural Conditions		Traffic Conditions		Public Nuisance Conditions		
	Geography	Ground	Railway	Road	Aircraft Noise	Road Noise	Air Pollution
1	Mountainous district	Deep bearing stratum Upper soft	Over 1200 m	Only minor street	Over W-95	Bad for residence	Over 0.05 ppm
2	Hill. Plateau	Shallower bearing stratum Upper soft	700~1200 m	Compartment street	W-90~95	Good for residence	Under 0.05 ppm
3	Basin. Valley	Deep bearing stratum Upper bearing capacity	300~700 m	Along main street (both 100 m)	W-85~90		
4	Flat base	Shallower bearing stratum Upper bearing capacity	Within 300 m	Along arterial road (both 260 m)	W-80~85		
5	Marshy land	Deep bearing capacity Firm base		Near interchange (within 1 km)	Under W-80		

Remarks The "deep" is defined by a depth of over 15 m and upper bearing stratum with about 50 N-value.

Railway : Distance from the nearest station.

W : Weighted Equivalent Continuous Perceived Noise Level (WECPNL).

Road Noise : It has over 60 dB(A) within 100 m from arterial road.

Table 3 Gross Floor Space Ratio

Land Use	Residential	Commerce	Industry	Green (Sports, recreation etc.)
T-City	41	95.1	26.1	100%

(Present Situation)

Table 4 Unit Costs for Behavioural, Development and Locational

Land Use	Development Cost				
	Costs Removal-Land Readjustment	Transfer	Building	Land Purchase	Development Cost/Zone
	10 ⁴ Yen/m ²				10 ⁸ Yen/Mesh
Residential	0.8	0.8	8.0	0.0	153.6
Commerce	0.8	1.0	10.0	0.0	188.8
Industry	0.8	0.7	7.0	0.0	136.0
Green	0.15	0.0	0.3	0.0	7.2

Land Use	Locational Cost				
	Costs Removal-Land Readjustment	Transfer	Building	Land Purchase	Locational Cost/Zone
	10 ⁴ Yen/m ²				10 ⁸ Yen/Mesh
Residential	0.8	0.8	8.0	8.0	281.6
Commerce	0.8	1.0	10.0	8.0	316.8
Industry	0.8	0.7	7.0	8.0	264.0
Green	0.15	0.0	0.3	8.0	135.2

Environmental Evaluation Items	Behavioural Cost	
	10 ⁴ Yen/m ²	10 ⁸ Yen/Mesh
Ground	0.8	12.8
Aircraft Noise	1.0	16.0
Road Noise	0.5	8.0

(It is impossible to do behavioural to others.)

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を序数的に取り扱えるようにランクづけしたものを Table 1 に示す。さらに、本研究での対象地域の各用途について設定した環境基準は Table 2 のようである。ただし、Table 2 で使用した環境基準は、中央政府や各地方公共団体からの規制法令や報告書^{13),14)}を

Table 5 Optimal Solutions

Case with Development and Locational only	Mixed Land Use	with Airport	Case 1	(10 ⁸ Yen) 6 954
Case with Development, Locational and Behavioural	Mixed Land Use	with Airport	Case 2	2 228
		with Airport	Case 3	2 785
	Pure Land Use	without Airport	Case 4	1 827
		with Airport	Case 5	3 661
		without Airport	Case 6	3 356

参考にした。また、各用途の総容積率および費用に関しては Table 3 および 4 のようであり、これらの諸数値は、各種調査資料^{(12), (15), (16)}を参考にしてえられた。

以上のデータをもとに Table 5 に示すように 6 通りのケースを考えて各ケースにおける最適解の費用を

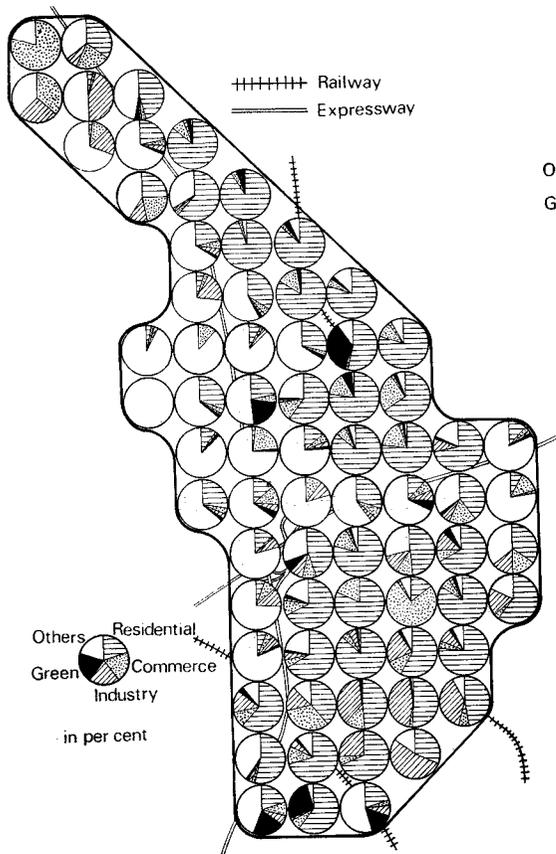


Fig. 6 Existing Land Use

Table 6 Computation Time

Model Name	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4	Case 5	Case 6
Number of Variables	588	588	588	608	136	316
Number of Constraints	662	662	662	667	71	83
Total CPU Time (MS)	58 150	133 796	138 075	137 729	11 798	18 700
Total CORE Time (MS)	457 620	694 485	718 956	691 442	87 720	91 233

Note : Case 1~4 use LIPS-60 C.

Case 5~6 use Approximate Integer Programming.

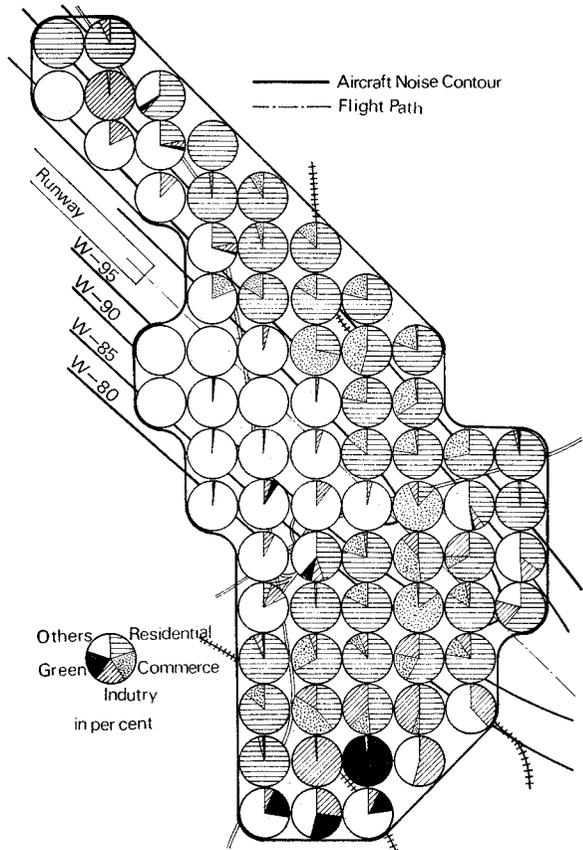


Fig. 7 Optimal Land Use of Case 2

同一の Table 5 に記載した。また、Fig. 6~8 は、それぞれ対象地域の土地利用の現況、ケース 2 の整備方式による土地利用およびケース 5 による整備方式の土地利用を 1 例として示したものである。そして、各ケースの計算時間については Table 6 に示すとおりである。

以上の結果より判明した点を要約すれば次のようである。

- 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に比例して 1 000 億円程度高額である。
- ② 「改良」という手段を考慮しない整備方式は、「改良」という手段を考慮した整備方式より総費用は高くなる。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いえば、地域における土地利用整備の配置パターンは、各用途の配置の排他性をもって任意に決定される。これは、

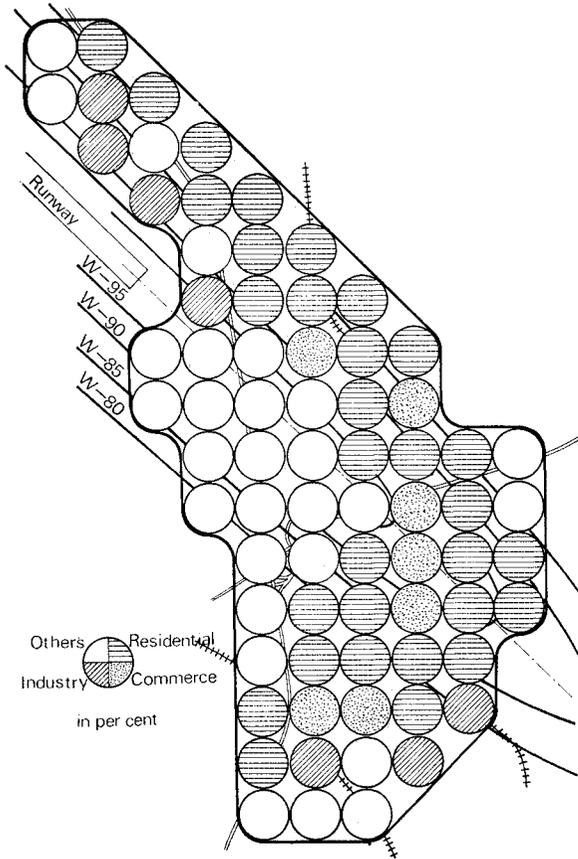


Fig. 8 Optimal Use of Case 5

従来、公害などの土地利用整備の考え方が、防音工事や移転補償などの対象地区を各用途ごとに独立に指定してきたことは、必ずしも一致しない。

- ④ 環境整備のための土地利用の配置パターンは、地域において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。
- ⑤ 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を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。

ここで、空港のある場合とない場合との対象地域の土地利用整備の総費用の差額をもって航空機騒音の社会的費用を定義するならば、本研究の成果によって発生者が責任をもつべき航空機騒音の社会的費用をオーダー的に把握することが可能となる。ただし、本研究では、環境基準は先見的に決まるものとして与件とした。環境基準そのものの決定法については、本研究の範囲を越えるの

でふれない。

5. 結 論

本研究は、環境インパクトをもつプロジェクト周辺地域の整備計画の方法論とその適用を、空港とその騒音の影響を受ける地域に行ってその実用性を論述した。しかし、方法論の提示を主体とした本研究の成果をそのまま、実際に適用することは、モデルの簡略化のために設けたいくつかの前提が容認されない限り困難であることはいうまでもない。今回の研究の範囲で得られた結論を要約すれば以下になる。

- ① 最適計画でなくても、環境水準のよい環境におかれることは事実であり、 I_e すなわち家計支出も公害が最少もしくは環境基準以上になることから少なくなることが考えられるので、説得の一つの方法論提示になる。
 - ② ゾーニングの結果、えられる各ゾーンにおいて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、その実用的解法を示した。
 - ③ 混合利用を許す場合と許さない場合との両方の土地利用の計画論的相違を分析した。
 - ④ 土地利用整備の計画にともなう費用を総費用とともにゾーン別用途別に算出し、計画の具体性に寄与した。
 - ⑤ 「改良」を行うべき用途のゾーン別延べ床面積、「転換」を行うべき用途のゾーン別延べ床面積を算出し、計画の具体性に寄与した。
 - ⑥ 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強調した。
 - ⑦ 従来、直感的な図形表現を用いて行われてきた土地利用の配置計画を数理計画法と大型電子計算機を用いて客観的に表現する基礎的手法を確立し、感度分析を可能にした。
 - ⑧ 空港のある場合とない場合との比較を行い、航空機騒音の社会的費用のオーダーの把握を行えるようにした。
 - ⑨ 費用、用途需要の感度分析に加えて、容積率、全利用可能面積（ゾーン当たりの）についての感度分析の手法を確立し、混合利用を許す場合について分析結果を示した。
- 本研究を続ける上で、今後、ぜひとも解決されねばならない課題を整理すると次のようである。
- ① 本研究では 4. モデルの定式化で示したように、道路・鉄道などの都市施設は与件としている。ま

た、それらは公害の発生要因として取り扱われることもある。したがって、今後はこれらも操作変数とするような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に努めること。

- ② 公共施設の配置パターンと各用途がどこに立地すべきかという土地利用の問題を同時に決定するモデルの開発に努める。
- ③ 線形計画法や整数計画法の大型処理に対する効果的な手法を開発すること。
- ④ 対象地域に対してグロス量で取り扱った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。
- ⑤ 静学的本モデルから地域改良による地域生態構造の変化を動学的に拡張していくこと。
- ⑥ 文化財などの移転にともなう非計量要素の評価を行うこと。
- ⑦ 取入れるべき、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。
- ⑧ 総費用最小という評価基準は定量化が容易であるが、これを効用の最大となる評価基準に拡張すること。

などがあげられる。

なお、本論文の計算は、京都大学大型計算機センターの FACOM 230-75 を使用した。

参 考 文 献

- 1) McLoughlin J.B. : Urban and Regional Planning, A System Approach, Praeger, 1969.
- 2) 長尾義三：プロジェクトの実施と公共投資計画の方向，「社会資本整備の課題と方向」，経済企画庁，pp. 115～120，昭和 49 年 3 月。
- 3) 宮川公男 編著：PPBS の原理と分析，有斐閣，昭和 44 年。
- 4) 経済審議会土地政策研究委員会編集：日本の土地問題，社団法人 経済企画協会，昭和 45 年。
- 5) 長尾義三・森杉寿芳・佐藤信秋：工業開発地の選定とその規模決定法に関する研究，土木学会論文報告集，第 212 号，pp. 65～75，1973。
- 6) Ibaraki T., T. Ohashi and H. Mine : Program Listing of a Heuristic Algorithm for Mixed Integer Programming Problems, Department of Applied Mathematics and Physics, Faculty of Engineering, Kyoto University, June, 1973.
- 7) Ibaraki T., T. Ohashi and H. Mine : A Heuristic Algorithm for Mixed Integer Programming Problems, Department of Applied Mathematics and Physics, Faculty of Engineering, Kyoto University, May, 1973.
- 8) Land A.H. and A.G. Doig : An automatic method of solving discrete programming problems, Econometrica, 28, pp. 497～520, 1960.
- 9) Benders J.F. : Partitioning procedures for solving mixed-variables programming problems, Numerische Mathematik, 4, pp. 238～252, 1962.
- 10) FACOM 230-60, LIPS 60 C 解説書，富士通，昭和 47 年 4 月。
- 11) 建設省住宅局：空港公害地における地区整備に関する考察，1973 年 3 月。
- 12) 同上，資料編。
- 13) 中央公害対策審議会騒音振動部会 特殊騒音専門委員会 航空機騒音に係る環境基準について（報告），昭和 48 年 4 月。
- 14) 豊中市：豊中市の地域計画とその問題点，その 20，昭和 46 年。
- 15) 阪口 理：地形・地質・地盤条件の住宅建設費におよぼす影響，第 5 回土質工学研究発表会講演集，pp. 353～356，昭和 45 年 6 月。
- 16) 豊中市：土地利用に関する現況調査，昭和 44 年度。
(1975.3.7・受付)