

廃棄物埋立処分場の環境影響評価手法

ENVIRONMENTAL IMPACT ASSESSMENT METHOD
FOR A WASTE LANDFILL SITE

井上 賴輝*・森沢 真輔**・小林 一朗***
By Yoriteru INOUE, Shinsuke MORISAWA and Ichirou KOBAYASHI

1. はじめに

現在、わが国ではアセスメント手法を適用して当該事業計画の適否が判定されようとしている¹⁾。しかしながら、アセスメント手法の適用手順が複雑であること、当該手法によって評価された環境影響の“大きさ”の信頼度が不明確であること、環境影響の評価値が評価の主体（評価する人）によって異なること、等がわざわざして具体的なアセスメント手法とその適用結果に対しては必ずしも国民的合意が得られるには至っていない現状である。

著者らは都市から発生する一般廃棄物の処理処分事業を対象にして、同事業によって生ずる環境影響を評価するための手法について検討した。著者らが検討した評価手法はネットワーク法の範囲に属しており中村ら²⁾のいう環境システムマトリックス法に相当する。中村らが提案した環境システムマトリックス法は行列を用いるネットワーク法としては完成度の高い手法であるが、なお以下の諸点について改良の余地を残しているといえる。すなわち、① 評価手法が行列によって構成されているにもかかわらず環境影響の評価結果は行列の演算によっては与えられていない。中村らは數種類の環境要因を媒介として発生する環境影響の内最大のものに注目して、開発行為による影響を評価する演算手法を採用している。それゆえ、この演算手法では複数個の開発行為により複数個の環境要因を媒介として発生する環境影響の重複効果が評価されない。② 評価手法を構成する行列の要素が有次元量であるため要素相互間を直接には比較することができない。③ 事業規模の異なる代替案による環境影響を評価するためには評価手法を構成する行列

をそのつど作り直す必要がある、等である。著者らは主として、① 評価手法を構成する行列を単純に行列演算することにより環境影響の評価値が得られるよう行列の要素を定義することによって演算手法を簡略化とともに、異なる環境要因を媒介とする当該環境影響の重複効果が評価できるようにする、② 環境要因、環境影響の単位変化量の考え方を導入することにより行列の要素を無次元化し、要素間の相対的比較を可能にする。さらに、③ 評価手法を構成する行列に事業規模を表わす行列を新たに導入することにより事業規模の異なる計画案の評価を容易にする、等の改良を試みた。

2. 環境影響評価手法の位置づけ

環境アセスメントの定義については最近ようやく議論がまとまりつつあるようであるが、なお、おおかたの合意を得るには至っていない。事業計画の実施に伴って生ずる環境影響（Environmental Impact）を当該事業の実施に先だって予測・評価する一連の作業を環境アセスメントとよぶことがあれば、代替案の評価、最適計画案の選定、さらに事業の実施後に行う環境モニタリングまでも環境アセスメントの概念に含ませようとしてもある。本研究では、事業計画の実施に伴って生ずる環境影響を定量的に予測・評価する作業を環境影響評価（Environmental Impact Assessment）とよび、さらに経済性の評価等を加えて最適計画案を選定する一連の作業を環境アセスメント（Environmental Assessment）とよぶこととする。本研究で対象にしている環境アセスメントの枠組とその作業とを整理して図-1に示す。

図-1 からも理解できるように、本報で述べる環境アセスメントでは、当該事業計画案が棄却されるに至る事例として2例が考えられている。その第一は、廃棄物埋立処分場が立地することにより、史跡・古墳等の歴史的文化財が破壊されたり、あるいはたとえばコウノトリ、

* 正会員 工博 京都大学教授 工学部衛生工学教室

** 正会員 工博 京都大学助教授 工学部衛生工学教室

*** 正会員 工修 奈良県浄化センター

ホタル等の天然記念物の生殖地が奪れたりするような、回復不可能な悪影響が出現する場合である。すなわち、影響の発生がオール・オア・ナッシングであって、処分場の立地場所を変更しない限り影響の発生を予防できない場合には、環境影響評価を実施する以前の段階ですべての計画案を棄却することになる。第二の例は、環境影響評価によって発生すると予測された影響の程度が許容限度を越えている場合である。この二つの計画案無条件

棄却の判断基準をまぬがれた計画案のみが最適案選定の段階（総合評価の段階）に送られることになる。

2. 環境影響の評価手法

(1) 開発行為と環境影響

本報では、当該事業計画の実施に伴って生ずる環境影響の伝播経路が図-2のようであると想定している。すなわち、① 事業計画を実施することによって、環境を構成する諸要因（環境要因）が変化し、② 環境要因の変化が人および動植物に種々の影響（環境影響）をもたらし、③ その影響を人が主観的に評価して、環境影響の大きさを定量する、一連の過程によって人の生活環境に悪影響が及ぶと考えている。

a) 開発行為

事業計画を構成する具体的な作業項目を、ここでは開発行為とよぶ。都市で発生する一般（固体）廃棄物を処理し処分する事業計画において考えられる開発行為を整理して表-1に示す。

表-1 廃棄物の処理・処分事業を構成する開発行為のリスト

建 設	1	処理・管理用施設等の構造物
	2	専用道路・橋等
	3	廃棄物埋立用構造物
運 用	4	廃棄物の焼却
	5	大気汚染防止設備の運用
	6	焼却用施設廃水の処理
	7	焼却灰の埋立処分
	8	非焼却廃棄物の埋立処分
	9	埋立場浸出水の処理
	10	埋立用ブル・ドーザの稼動
	11	トラックによる廃棄物の輸送
	12	埋立場の衛生管理

b) 環境要因

開発行為によって変化する環境の構成要素、開発行為の実施によって波及的に誘発される社会現象等で、次に述べる環境影響になんらかの変化をもたらす因子をここでは環境要因とよぶ。廃棄物の焼却・埋立処分事業において考慮すべきと思われる環境要因を整理して表-2に示す。

c) 環境影響

事業計画の実施によって生ずる種々の影響を評価するために選定

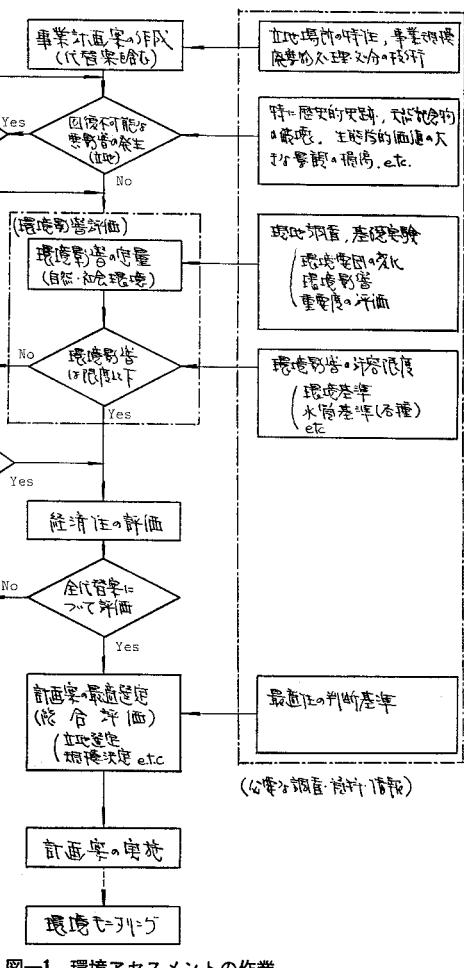


図-1 環境アセスメントの作業

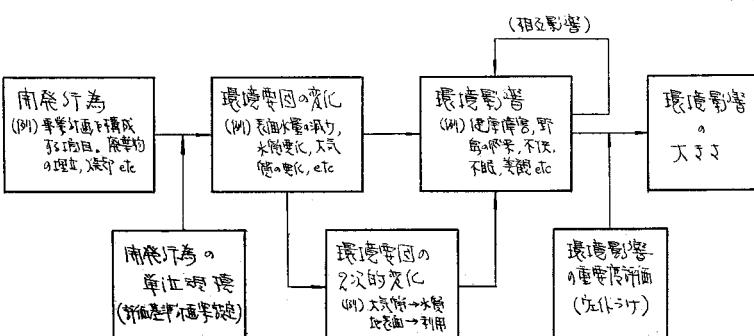


図-2 想定した環境の構造（環境影響の伝播とその評価経路）

表-2 環境要因のリスト

水用 利	水量	1	表面水の水量			12	窒素酸化物
水質汚濁	表面水	2	BOD	大気汚染	13	硫黄酸化物	
		3	カドミウム濃度	14	塩化水素ガス		
		4	六価クロム濃度	15	炭化水素ガス		
	鉛濃度	5	鉛濃度	16	一酸化炭素ガス		
		6	銅濃度	17	煤塵		
	亜鉛濃度	7	亜鉛濃度	18	悪臭		
		8	BOD	土利用	19	地表面の形態	
音	地下水	9	塩素イオン濃度	20	地表面の性状		
		10	重金属濃度	その他	21	交通現象	
騒音	騒音	11	騒音				

表-3 環境影響のリスト

生活環境 の影響	陸上植物	1	農作物・草花等の成長阻害
		2	農作物への有害物質の蓄積
		3	自然植生の変化
身体的 影響	陸上動物	4	野鳥等の野生動物
		5	スズメ等の害鳥の飛来
		6	ハエ・蚊の発生
		7	家畜(ニワトリ・豚等)
社会的 影響	魚	8	魚類
	直接障害	9	経口摂取による健康障害
		10	大気汚染による健康障害
		11	光化学スモッグ等による急性障害
	間接障害	12	睡眠阻害・不眠
		13	精神阻害(不快)
		14	レクリエーション活動の阻害
		15	美観の変化
		16	土地利用の制約
		17	交通事故の増加

する項目である。人(個人および集団)の生命や健康、あるいは快適な生活をおびやかす種々の事象のうち、直接にそれらと関わるものを選定する。環境影響の選定例を整理して表-3に示す。

(2) 環境影響評価の数理手法

a) 評価手法の数学的背景

図-2で想定した環境影響の発生・伝播経路に沿って、当該影響を評価する数理モデルを構成する。

当該事業計画を構成する n 個の開発行為を列ベクトル $\mathbf{x} \equiv (x_1, x_2, \dots, x_n)^T$ で、環境を構成する m 個の環境要因を同じく列ベクトル $\mathbf{e} \equiv (e_1, e_2, \dots, e_m)^T$ で表示する。任意の環境要因 $e_m (1 \leq m \leq m)$ が n 個の開発行為の線形結合で記述できるものとする。すなわち、

$$e_m = p_{m,1}x_1 + p_{m,2}x_2 + \dots + p_{m,n}x_n \quad (1)$$

$$(m=1, 2, \dots, m)$$

上式を行列を用いて書き改めると、次式を得る。

$$\mathbf{e} = \mathbf{P} \cdot \mathbf{x} \quad (2)$$

行列 \mathbf{P} の構成については後述する図-4を参照されたい。

ついで、環境要因が変化することによって生ずる環境

影響を評価する関係式を定める。ここでは、評価すべき環境影響が l 個あり、任意の環境影響 $f_l (1 \leq l \leq l)$ が m 個の環境要因の線形結合で記述できるものとする。すなわち、

$$f_l = q_{l,1}e_1 + q_{l,2}e_2 + \dots + q_{l,m}e_m \quad (3)$$

$$(l=1, 2, \dots, l)$$

一方、 m 個の環境要因のうちには、たとえば大気中に浮遊する媒塵のようにそれが降下することによって二次的に他の環境要因、たとえば河川や湖沼の水質、を変化させるものがある。この環境要因の二次的変化の大きさは、たとえば廃棄物処理場の浸出液の処理水を放流することによって生ずる河川水質(環境要因)の変化(一次変化)の大きさに比べると小さい。 m 個の環境要因のうち、他の環境要因の変化に伴って生ずる二次的変化を評価する必要がある環境要因の数を k 個 ($1 \leq k < m$) とし、その環境要因を f_{l+k} で表示する。すなわち、 f_{l+k} は k 個の環境要因のうちのいずれかを表わすことになる。 f_{l+k} もまた、 m 個の環境要因の線形結合で与えられるとすると、次の関係式を得ることができる。

$$f_{l+k} = q_{l+k,1}e_1 + q_{l+k,2}e_2 + \dots + q_{l+k,m}e_m \quad (4)$$

$$(l=l : k=1, 2, \dots, k)$$

l 個の環境影響と、 k 個の二次的に変化する環境要因とをあわせて、列ベクトル $\mathbf{f} = (f_1, f_2, \dots, f_l, f_{l+1}, f_{l+2}, \dots, f_{l+k})^T$ で表示する。このとき式(3)、(4)は次のように行列を用いて書き改めることができる。

$$\mathbf{f} = \mathbf{Q} \cdot \mathbf{e} \quad (5)$$

行列 \mathbf{Q} の構成については後述する図-6を参照されたい。

ついで、環境影響間の相互影響を評価する関係式を定める。環境影響間のすべてに相互作用があるとは限らない。しかしながら、たとえば環境影響の1つとして「農作物への有害物質の蓄積」(米に Cd が蓄積すると商品価値が下落する)をとると、農作物に有害物質が蓄積することにより農産物の商品価値が下落するだけでなく、その農作物を摂取することにより他の環境影響「経口摂取による健康障害」にも影響が及ぶ。環境影響の変化経路は図-2よりわかるように、(環境要因の変化)→(環境影響)→(環境影響間の相互作用)だけでなく、(環境要因の変化)→(環境要因の二次的変化)→(環境影響)の経路もある。後者の経路について影響間の相互作用を考えしないのは、すでに述べたように環境要因の二次的変化の大きさが一次的変化の大きさに比較して小さく、それゆえ、それに伴って生ずる環境影響の大きさも前者の経路によって生ずる環境影響の大きさに比べて相対的に小さいと考えられるからである。

相互影響と環境要因の二次的変化による影響とを考慮した環境影響 z_j が、環境影響 $f_j (1 \leq j \leq l)$ と二次

的環境要因変化 f_{l+k} ($1 \leq k \leq k$) との線形結合で記述できるものとする。このとき、次の関係式が得られる。

$$\begin{aligned} z_j &= r_{j,1}f_1 + r_{j,2}f_2 + \cdots + r_{j,l}f_l \\ &\quad + r_{j,l+1}f_{l+1} + \cdots + r_{j,l+k}f_{l+k} \dots \dots \dots (6) \\ &\quad (j=1, 2, \dots, l) \end{aligned}$$

l 個の環境影響を列ベクトル $\mathbf{z} \equiv (z_1, z_2, \dots, z_l)^T$ で表わすと式(6)は行列を用いて次式のように書き改めることができる。

$$\mathbf{z} = \mathbf{R} \cdot \mathbf{f} \dots \dots \dots (7)$$

行列 \mathbf{R} の構成については後述する図-8を参照されたい。環境影響ベクトル \mathbf{z} は、自然科学的尺度を用いて定量的に評価することが比較的容易なベクトルであるといえる。

自然科学的尺度を用いて定量された環境影響あるいは当該事業計画の実施によって生ずる環境影響の増加分（上乗せ分）の大きさは、客観的には、ある程度ベクトル \mathbf{z} によって評価することができる。しかしながら、環境影響を受ける個人または集団の活動範囲、廃棄物埋立処分場からの距離、処分場の操業後経過時間、あるいは当該個人または集団が異なる事業の実施によって現に受けている環境影響の大きさ、等によって、自然科学的尺度で表現した環境影響の大きさは同じであっても、影響の効果やその主観的評価は異なる。ここでは、このような環境影響を受ける側の諸条件に基づいて、個々の環境影響に相対的重みを配することにする。当該環境影響 z_l に重要度を評価して得られる環境影響を y_l とすると、両者の間には、

$$y_l = w_{l,l}z_l \quad (l=1, 2, \dots, l) \dots \dots \dots (8)$$

なる関係式が成立する。ここに、 $w_{l,l}$ は第 l 番目の環境影響の相対的重要性である。 l 個の環境影響 y を列ベクトル $\mathbf{y} \equiv (y_1, y_2, \dots, y_l)^T$ で表示すると、式(8)は行列を用いて次式のように書き改めることができる。

$$\begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_l \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} w_{1,1} & & & 0 \\ & w_{2,2} & & \\ 0 & & \ddots & \\ & & & w_{l,l} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} z_1 \\ z_2 \\ \vdots \\ z_l \end{pmatrix} \dots \dots \dots (9)$$

あるいは、

$$\mathbf{y} = \mathbf{W} \cdot \mathbf{z} \dots \dots \dots (10)$$

式(2),(5),(7),(10)を順次代入することにより次式を得ることができる。

$$\mathbf{z} = \mathbf{R} \cdot \mathbf{Q} \cdot \mathbf{P} \cdot \mathbf{x} \dots \dots \dots (11)$$

$$\mathbf{y} = \mathbf{W} \cdot \mathbf{R} \cdot \mathbf{Q} \cdot \mathbf{P} \cdot \mathbf{x} \dots \dots \dots (12)$$

式(11)は当該事業計画によって生ずる環境影響を自然科学的尺度で表わす評価式であり、式(12)は、さらに影響を受ける側の諸条件を考慮した環境影響の評価式である。

上で定義した4つの行列、 $\mathbf{P}, \mathbf{Q}, \mathbf{R}, \mathbf{W}$ の要素 $p_{m,n}, q_{l,m}, r_{l,l}, w_{l,l}$ はおのおの環境要因の変化原単位、環境

影響の変化原単位あるいは增幅係数のような性質を有する。同じ行列の要素であっても、行と列とが異なれば単位（次元）も異なる。それゆえ、行列要素のおのおのはそのままでは相互比較の対象にならない。ここでは、各行列要素を無次元化して、当該行列要素の値が相対的な意味をもつようとする。

式(2)で定義される行列 \mathbf{P} を模式的に (e_m/x_n) で表わす。式(11)の他の行列についても同様な模式的表示を採用する。このとき式(12)は模式的に次のように書くことができる。

$$(y_i) = \left(\frac{y_i}{z_l} \right) \cdot \left(\frac{z_l}{f_l} \right) \cdot \left(\frac{f_l}{e_m} \right) \cdot \left(\frac{e_m}{x_n} \right) \dots \dots \dots (13)$$

開発行為 x_n 、環境要因 e_m 、環境影響 f_l と z_l に、おのおの単位（変化）量を与えて、それらを $\hat{x}_n, \hat{e}_m, \hat{f}_l, \hat{z}_l$ で表わす。 $\hat{x}_n, \hat{e}_m, \hat{f}_l, \hat{z}_l$ を用いて式(13)を次のように変形する。

$$\begin{aligned} (y_i) &= \left(\frac{y_i}{z_l/\hat{z}_l} \right) \cdot \left(\frac{z_l/\hat{z}_l}{f_l/\hat{f}_l} \right) \cdot \left(\frac{f_l/\hat{f}_l}{e_m/\hat{e}_m} \right) \\ &\quad \cdot \left(\frac{e_m/\hat{e}_m}{x_n/\hat{x}_n} \right) \cdot \left(\frac{x_n}{\hat{x}_n} \right) \dots \dots \dots (14) \end{aligned}$$

式(14)は開発行為、環境要因、環境影響をおのおの対応する単位（変化）量を尺度にして測り直すことを意味する。ここで、式(14)の右辺、()でくくられた部分を、それぞれ対応する行列で置き戻す。すなわち、

$$\begin{aligned} \mathbf{P} &\equiv \left(\frac{e_m/\hat{e}_m}{x_n/\hat{x}_n} \right), \quad \mathbf{Q} \equiv \left(\frac{f_l/\hat{f}_l}{e_m/\hat{e}_m} \right) \\ \mathbf{R} &\equiv \left(\frac{z_l/\hat{z}_l}{f_l/\hat{f}_l} \right), \quad \mathbf{W} \equiv \left(\frac{y_i}{z_l/\hat{z}_l} \right) \dots \dots \dots (15) \end{aligned}$$

すでに明らかなように、式(15)で再定義した行列 $\mathbf{P}, \mathbf{Q}, \mathbf{R}, \mathbf{W}$ は、それぞれ式(2),(5),(7),(10)で定義された行列 $\mathbf{P}, \mathbf{Q}, \mathbf{R}, \mathbf{W}$ とは少し性質が変わっている。すなわち、式(2),(5),(7),(10)で定義される行列の要素は有次元数であるのに対し、式(15)で定義される行列の要素は、行列 \mathbf{W} を除き、無次元数である。式(14)中 (x_n/\hat{x}_n) に対応する、要素数 n の列ベクトルを \mathbf{m} 、すなわち、

$$\mathbf{m} \equiv (x_n/\hat{x}_n) \dots \dots \dots (16)$$

とし、 \mathbf{m} を次式のように行列 \mathbf{M} とベクトル \mathbf{i} の積に分解する。

$$\mathbf{m} = \mathbf{M} \cdot \mathbf{i} \dots \dots \dots (17)$$

\mathbf{M} は n 行 n 列の対角行列であり、 \mathbf{i} は要素数 n の列ベクトルである。ここで、行列 \mathbf{M} の対角要素 m_{nn} には、対応する開発行為の規模（大きさ）を、単位開発規模を尺度にして測定した量、すなわち、 x_n/\hat{x}_n の値（無次元）を、また、 \mathbf{i} の要素（有次元）にはすべて、常に値 1.0 を与えることとする。このように列ベクトル \mathbf{i} を設定しても一般性を損なうことはない。

式(15),(17)を用いて、式(14)を書き改めると、式

(12) に相当する式として、

を得る. 一方, 式 (11) に相当する式としては,

を得る。式(19)の左辺 z/\hat{z} は、環境影響 z_1 をおののおの対応する単位量 \hat{z}_1 で規格化してできる（各要素が無次元数の）要素数 l の列ベクトルである。式(18), (19)の計算では、数学的な行列演算を実施すればよいことになる。

b) 単位(開発)規模、単位変化量の設定

各開発行為の規模を無次元化するために用いる単位(開発)規模は任意に設定することができる。当該事業計画の実施に伴って生じる環境影響は基準になる事業計画によって生じる環境影響と比較されることになる。たとえば、基準事業計画として現行の廃棄物処理処分事業を採用すれば新しく計画する処理処分事業による環境影響が現在の環境影響と比較されることになる。廃棄物処理処分事業の場合には、ほとんどの場合既存の事業が進行中であるからその事業の規模を単位規模に設定すればよい。開発行為の規模(有次元量)を単位規模(有次元量)で除して得られる無次元量をここでは規模指標とよぶことにする。

環境影響および環境要因の単位変化量も任意に設定することができる。ここでは以下のように設定する。すなわち、環境影響の許容限度をその環境影響の単位変化量とし、許容限度の環境影響を生じる環境要因の変化量をその環境要因の単位変化量とする。環境影響の許容限度としては、たとえば環境基準値、飲料水基準値、農業用水基準値、なんらかの身体的・情緒的悪影響が顕在化する限度値等を用いることにする。環境影響および環境要因の変化量(有次元量)をそれぞれ対応する単位変化量(有次元量)で除して得られる無次元量をここでは変化指數とよぶこととする。上記のように単位変化量を設定するとすべての環境影響をおのおの対応する許容限度に相対的に計量することができるため、事業計画の棄却基準を統一的に記述できる(式(30)参照)、異なる環境影響の程度を相対的に比較できるようになる、等の利点を得ることができる。

c) 「開發行為一環境要因」マトリックス (**P**)

開発行為と環境要因の変化との関係を記述する行列である。式(15)より、行列 P の要素 $p_{m,n}$ の性質は次式で定まる。

$$P_{m,n} = \frac{\frac{(\text{第 } m \text{ 環境要因の変化量})}{(\text{第 } m \text{ 環境要因の単位変化量})}}{\frac{(\text{第 } n \text{ 開発行為の規模})}{(\text{第 } n \text{ 開発行為の単位規模})}} = \frac{(\text{第 } m \text{ 環境要因の変化指数})}{(\text{第 } n \text{ 開発行為の規模指数})} \quad \dots \dots \dots (20)$$

つまり、 $p_{m,n}$ の値を定めるためには、まず、① 第 m

環境要因と第 n 開発行為の規模との関係をグラフに示し、② 環境要因軸、開発行為規模軸をおのおの対応する単位変化量、単位規模を用いて縮尺し、③ 得られたグラフ(図-3)の当該開発規模の位置での勾配を算出して、④ $p_{m,n}$ の値とすればよい。ここでは簡単のため開発行為の規模と環境要因の変化とが線形関係にあるものとする。この場合には、図-3 より明らかなように、グラフの勾配あるいは開発行為の規模指数が 1.0 のときの環境要因の変化指数が $p_{m,n}$ の値として採用されることになる。つまり、 $p_{m,n}$ は第 n 開発行為が単位規模である場合の第 m 環境要因の変化指数に等しい。このようにして定めた $p_{m,n}$ を要素とする行列 P は、当該事業計画の実施場所が変わらない限り不変である。

行列 P の行方向には原因となる n 個の開発行為が、また、列方向には結果となる m 個の環境要因が配置される（図-4 参照）。

d) 「環境要因一環境影響」マトリックス (Q)

環境要因の変化と環境影響との関係を記述する行列であるが、すでに述べたように環境要因の変化と環境要因の2次的変化と関係を記述する部分行列を含んでいる。式(15)より行列 Q の要素 $q_{l,m}$ の性質は次式で定まる。

$$q_{j,m} = \begin{cases} \text{(第 } j \text{ 環境影響の変化指標)} & (1 \leq j \leq l) \\ \text{(第 } m \text{ 環境要因の変化指標)} \\ \text{(2 次的に変化する環境要因の変化指標)} \\ \text{(第 } m \text{ 環境要因の変化指標)} \end{cases}$$

.....(l+1 \leq j \leq l+k).....(21)

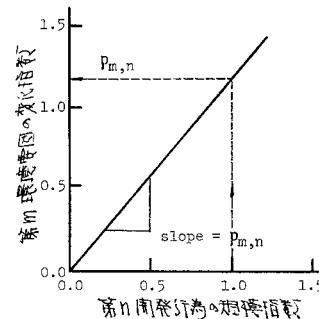


図-3 行列要素 $p_{m,n}$ の決定方法
(指標は変化量を単位量で除して得る)

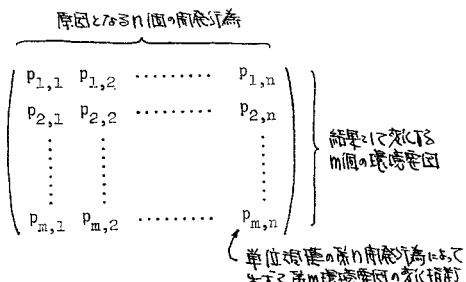


図-4 P マトリックスの構成

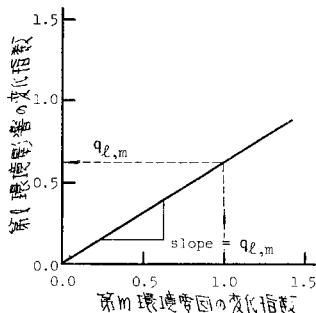


図-5 行列要素 $q_{l,m}$ の決定方法
(変化指数) = (変化量)/(単位変化量)

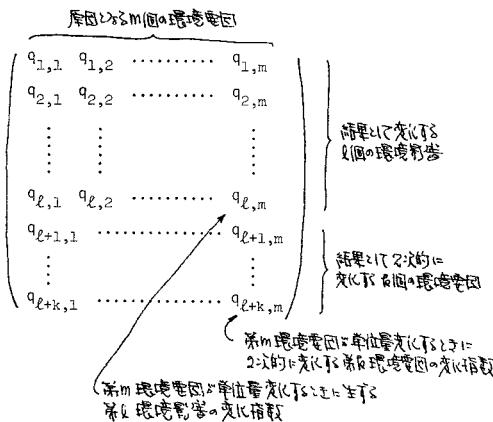


図-6 Q マトリックスの構成

ただし、環境影響の変化指数は、環境影響の変化量を単位変化量で除して与えられるものとする。図-5に示すように環境要因(の変化指数)と環境影響(の変化指数)とが、評価対象の範囲内に線形関係にある場合には、 $q_{l,m}$ は両者の関係を示す直線の勾配で与えられる。環境要因の2次の変化を評価する場合もまったく同じ手続きを適用できる。このようにして定めた要素 $q_{l,m}$ で構成される行列 Q は、当該事業計画が実施される場所が変わらない限り不变である。

図-1において示したように、環境影響が許容される限度以上になる、たとえば河川水中のカドミウム濃度が環境基準値以上になったり、玄米中のカドミウム濃度がある限度以上になり商品価値を失うようになる場合には、当該計画案は棄却されることになる。それゆえ、環境影響を評価する場合の環境要因の変動域は、実質的には、たとえば環境基準値以下の領域に限られる。この領域での要因と影響との関係は、現在、生理学的に必ずしも解明されているとはいいくらい。したがって、両者の間に線形仮定を導入することによって生ずる誤差は安全側に現われるものと期待される。要因と影響との関係にしきい値がある場合には、誤差は明らかに安全側に現われる。

行列 Q の構成を図-6に示す。行列 Q の行方向には、原因となる m 個の環境要因が、また、列方向には結果として変化する l 個の環境影響と k 個の環境要因が配置される。

e) 「環境影響-環境影響」マトリックス (R)

主として環境影響間の相互作用を記述する行列である。ただし、2次的に変化する環境要因と環境影響との関係を記述する部分行列を含む。式(15)より、行列 R の要素 $r_{l,j}$ の性質は次式で定まる。

$$r_{l,j} = \begin{cases} \text{(第 } l \text{ 環境影響の変化指標)} \\ \text{(第 } j \text{ 環境影響の変化指標)} \\ (1 \leq j \leq l, j \neq l) \\ \text{(第 } l \text{ 環境影響の変化指標)} \\ \text{(第 } j \text{ 環境要因の2次的变化指標)} \\ (l+1 \leq j \leq l+k) \\ 1 \quad (j=l) \\ \dots \end{cases} \quad (22)$$

第 l 環境影響と第 j 環境影響との関係が線形であるとすれば、 $r_{l,j}$ は図-7より明らかなように、やはり両者の関係を示す直線の勾配として定められる。2次的に変化した環境要因と環境影響との関係を記述する要素 $r_{l,j}(l+1 \leq j \leq l+k)$ も同様にして定めることができる。このようにして定められた要素 $r_{l,j}$ で構成される行列 R は、当該事業計画が実施される場所が変わらない限り不变である。

行列 R の構成を図-8に示す。

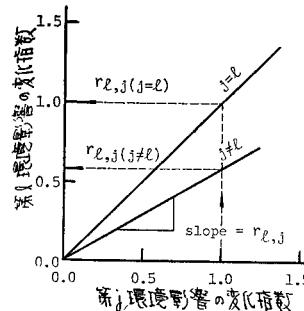


図-7 行列要素 $r_{l,j}$ の決定方法
(変化指数) = (変化量)/(単位変化量)

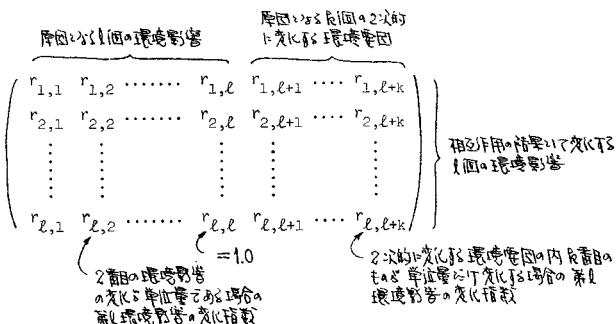


図-8 R マトリックスの構成

f) 重要度マトリックス (W)

行列 W は l 行 l 列の対角行列である。行列 W の第 j 番目の対角要素 $w_{j,j}$ の性質は式(15)より次のように定まる。

$$w_{j,j} = \frac{\text{(第 } j \text{ 環境影響の相対的重要性)}}{\text{(第 } j \text{ 環境影響の変化指數)}} \quad \dots(23)$$

$w_{j,j}$ は、環境影響を被る個人あるいは集団が、当該環境影響を他の環境影響に比べて相対的にどの程度より重要であると考えるかによって定まる。相対的重要性を評価する手法としては、たとえば対象になる個人または集団に対してアンケート調査を実施し、重要度の大きい順に環境影響に番号をつける方法がある。このような方法によって相対的重要性を評価すると、その重要度は、通常は、個人または集団が現に受けている環境影響の水準において判断された値をとことになる。事業計画の実施によってもたらされる環境影響水準において与えられる相対的重要性を得ることが望ましいが、それは不可能な場合が多い。しかも、そのようにして定めた重要度は、個々の環境影響水準の関数になる。ここでは、各環境影響の変化がすべて単位量である場合について定められた相対的重要性を用いて行列 W を決定することにする。このようにして定めた $w_{j,j}$ を要素とする行列 W は、対象とする個人または集団が変わらない限り不变である。

g) 開発規模マトリックス (M)

式(17)で定義したように、行列 M は n 行 n 列の対角行列である。 M の第 j 番目の対角要素 $m_{j,j}$ は次式で定められる。

$$m_{j,j} = \frac{\text{(第 } j \text{ 開発行為の規模)}}{\text{(第 } j \text{ 開発行為の単位規模)}} \quad \dots(24)$$

すなわち、 $m_{j,j}$ は第 j 開発行為の規模指數である。事業計画の規模を全体に大きくしたり、あるいは事業計画の質を変更する（たとえば、収集する廃棄物のうち焼却処理をする比率を増加させる）等の代替案を考慮する場合には M マトリックスの対角要素 $m_{j,j}$ の値を変更させればよい。事業計画の規模を 2 倍にする場合には $m_{j,j}$ をすべて 2 倍にし、廃棄物の焼却比率を 50% から 80% に増加させ、焼却せずに埋立する比率を 50% から 20% に減少させる場合には、廃棄物焼却の $m_{j,j}$ を 1.6 倍に、非焼却埋立の $m_{j,j}$ を 0.4 倍にすることになる。行列 M は事業計画を構成する開発行為の数とその規模（指數）によってのみ定まる。

h) 環境影響マトリックス (B)

式(19)において、

$$B \equiv R \cdot Q \cdot P \cdot M \quad \dots(25)$$

とおくと、式(19)は次式のように書き改めることができる。 B を環境影響マトリックスとよぶ。

$$z_j/\hat{z}_j = B \cdot i \quad \dots(26)$$

行列 B は l 行 n 列の行列になる。 B の要素を $b_{j,n}$ で記述して、式(26)を代数式で書き改めると次式を得る。すでに述べたように、列ベクトル i の n 個の要素の値は常に 1.0 に設定していることに留意する必要がある。

$$z_j/\hat{z}_j = \sum_{n=1}^n b_{j,n} \quad (j=1, 2, \dots, l) \quad \dots(27)$$

上式の左辺は重要度を評価しない環境影響 z_j の変化指數である。すなわち、式(27)は第 j 環境影響の変化指數が、行列 B の第 j 行要素 n 個の単純和で与えられることを示している。つまり、行列 B の要素 $b_{j,n}$ は第 n 番目の開発行為によって生じる第 j 番目の環境影響の変化指數を表わしている。それゆえ、 n 個の開発行為（当該事業計画の実施）によって生じる第 j 環境影響の変化指數は、 $b_{j,n}$ を開発行為 n について加算することにより与えられることになる。

$b_{j,n}$ のこのような性質は、行列 R, Q, P, M の各要素の性質と B の定義式(25)とから次のように明らかにできる。行列 R, Q, P の要素はそれぞれ原因事象（環境要因または環境影響）と結果事象（環境要因または環境影響）とが作る線形グラフの勾配で与えられた。つまり、各要素は数値的には原因事象の変化指數が 1.0（変化量が単位変化量に等しい）の場合の結果事象の変化指數に等しい。ゆえに式(25)より、

$$b_{j,n} = \sum_{k,m,n} r_{j,k} \cdot q_{k,m} \cdot p_{m,n} \cdot m_{n,n} \quad \dots(28)$$

$$= \sum \left(\begin{array}{l} \text{(第 } k \text{ 環境影響の変化が単位量の} \\ \text{ときの第 } j \text{ 環境影響の変化指數} \end{array} \right)$$

$$\cdot \left(\begin{array}{l} \text{(第 } m \text{ 環境要因の変化が単位量の} \\ \text{ときの第 } k \text{ 環境影響の変化指數} \end{array} \right)$$

$$\times \left\{ \begin{array}{l} \text{(第 } n \text{ 開発行為が単位規模の} \\ \text{ときの第 } m \text{ 環境要因の変化指數} \end{array} \right\}$$

$$\cdot \left(\begin{array}{l} \text{(第 } n \text{ 開発行為の規模指數)} \end{array} \right)$$

$$= \sum \left(\begin{array}{l} \text{(第 } k \text{ 環境影響の変化が単位量の} \\ \text{ときの第 } k \text{ 環境影響の変化指數} \end{array} \right)$$

$$\cdot \left(\begin{array}{l} \text{(第 } m \text{ 環境要因の変化が単位量の} \\ \text{ときの第 } j \text{ 環境影響の変化指數} \end{array} \right)$$

$$\times \left\{ \begin{array}{l} \text{(第 } n \text{ 開発行為が当該計画規模の} \\ \text{ときの第 } m \text{ 環境要因の変化指數} \end{array} \right\}$$

$$= \dots$$

$$= \sum \left(\begin{array}{l} \text{(第 } n \text{ 開発行為が当該計画規模の} \\ \text{ときの第 } j \text{ 環境影響の変化指數} \end{array} \right)$$

$$\dots \quad \dots(29)$$

となる。すなわち、行列 B の要素 $b_{j,n}$ は先にも述べたように、第 n 番目の開発行為が種々の環境要因、環境影響を媒介として引き起こす第 j 環境影響の変化指數を示す。式(27)に対応して、行列 B の列要素の単純和 $\sum_{j=1}^l b_{j,n}$ ($n=1, 2, \dots, n$) を計算すると、それは n 番目の開発行為のみが原因となって生ずる環境影響の大きさ

(l 個の環境影響の変化指標の総和) を与える.

行列 B の各要素をそれぞれ列方向、行方向に加算する演算は、各要素が単位変化量、単位規模を用いて処理された無次元数であるため数学的にも問題がない。行列 B の要素 $b_{j,n}$ は相対的な比較に耐える量である。たとえば、

$$b_{10,4}=0.8 > b_{2,8}=0.4$$

であったとする。表-1 より $n=4$ の開発行為は「ごみの焼却」、 $n=8$ は「廃棄物の埋立処分」、一方、表-3 より $j=2$ の環境影響は「農産物への有害物質の蓄積」、 $j=10$ は「大気汚染による健康障害」である。「農産物への有害物質の蓄積」については、かりに玄米中に Cd が濃縮されて人体になんらかの障害を生じる（玄米の商品価値もなくなる）影響を評価することにして、その単位変化量を“玄米中 Cd 濃度 1 ppm”と設定する。一方、「大気汚染による健康障害」については、かりに空気中の SO₂ によって人体（呼吸器）に慢性的障害が現われる影響を評価することにして、その単位変化量を“SO₂ の空气中濃度 0.02 ppm(1 時間値の 1 日平均値)”と設定する。この例では $b_{2,8}=0.4$ であるから、ごみの埋立が原因で玄米を摂取することにより生ずる健康障害は 1 ppm の Cd 米を食べる場合の障害の約 40% であることになる。つまり、この場合、摂取すると推定されている玄米中の Cd 濃度は $1 \text{ ppm} \times 0.4 = 0.4 \text{ ppm}$ （単位変化量 × 変化指數）である。同様に $b_{10,4}=0.8$ であるから廃棄物の焼却が原因となって大気汚染による健康障害をうける程度は、SO₂ による慢性的影響が顕在化する場合の健康障害の約 80% であることになる。影響の単位変化量は、等しくなんらかの健康障害が出現する限度量を参照して定められているのであるから、 $b_{10,4}$ の影

表-4 行列の性質一覧

響の方が $b_{2,8}$ の影響よりも大きいであろうと判定することになる。

このように環境影響の単位変化量をなんらかの身体的障害が顕在化し始める限度に等しく設定すれば、当該事業の実施によって生ずる環境影響が許容される限度以内にあるか否かを容易に判断することもできる。すなわち、行列 **B** の任意の行についてその行に属する全要素を単純加算して得られる値が 1.0 を越えれば、当該計画案の棄却を検討することになる。

計画案の棄却基準：

i) 影響評価マトリックス (A)

式(18)において、

とおくと式 (18) は次式に書き改めることができる. A を影響評価マトリックスとよぶ.

行列 A は l 行 n 列の行列である。行列 B と異なり、行列 A では事業計画の実施によって生ずる影響をうける個人あるいは集団の当該環境影響に対する重要度評価が加味されている。行列 A の要素を $a_{j,n}$ とするとき式(27)に対応する式として次式を得る。

行列 W は対角行列であるから、 $a_{j,n} = w_{j,j} \cdot b_{j,n}$ である。

式(33)は、 n 個の開発行為が原因となり種々の環境要因・影響を媒介として生ずる重要度を評価した第 j 環境影響の変化指数が、行列 A の行列要素の和で与えら

行列	行列の名称	行列の型	行列要素の意味とその決定方法		決定に主に 関与する者	行列の変化
			要素			
P	開発行為一環境要因マトリックス	m 行 n 列の実行列	$p_{m,n}$	第 n 開発行為が単位規模（規模指数=1.0）のときの第 m 環境要因の変化指數。「開発行為一環境要因」直線の勾配。	研究者・技術者	計画の対象が同じであれば、その規模によらず一定。場所の関数。（自然条件・社会条件が場所により変化するため）
Q	環境要因一環境影響マトリックス	$l+k$ 行 m 列の実行列	$q_{j,m}$	第 m 環境要因の変化が単位量（変化指數=1.0）のときの第 j 環境影響の変化指數。 $(1 \leq j \leq l)$ 「環境要因一環境影響」直線の勾配。	同上	
R	環境影響一環境影響（相互）マトリックス	l 行 $l+k$ 列の実行列	$r_{l,j}$	第 j 環境影響の変化が単位量（変化指數=1.0）のときの第 l 環境影響の変化指數。 $(1 \leq j \leq l)$ 「環境影響一環境影響」直線の勾配。	同上	
W	重要度マトリックス	l 行 l 列の実対角行列。要素は正値。	$w_{j,j}$	第 j 環境影響の相対的重要度。各環境影響等が同程度である場合をベースにして決定する。 $(1 \leq j \leq l)$	影響をうける個人・集団（住民）	個人・集団が同じであれば不変。
M	規模マトリックス	n 行 n 列の実対角行列。要素は正値。	$m_{j,j}$	第 j 開発行為の規模指數。 $(1 \leq j \leq n)$ (規模指數) = (開発行為の規模)/(単位規模)	計画立案者	事業計画の質と規模により変化。
B	環境影響マトリックス	l 行 n 列の実行列	$b_{j,n}$	第 n 開発行為のみが原因となり、 m 個の環境要因、 l 個の環境影響を媒介として生ずる第 j 環境影響の変化指數。 $B \equiv R \cdot Q \cdot P \cdot M$		
A	環境評価マトリックス	l 行 n 列の実行列	$a_{j,n}$	第 j 環境影響の重要度を評価した時の $b_{j,n}$ 。この場合、変化量と変化指數ははば同義に使える（本文参照）。 $A \equiv W \cdot B$		

(注) n : 開発行為の数, m : 環境要因の数, k : 2次的に変化する環境要因の数 ($0 \leq k \leq m$), l : 環境影響の数

れることを示している。重要度を評価した後では“変化指標”は単位変化量を尺度にして測定された影響の程度を表す指標として厳密な意味を損なうから、それを“変化量”とよびかえてもよい。ただし、この“変化量”が依然として無次元量であることには変わりがない。 $a_{j,n}$ は第 n 番目の開発行為のみが原因となって生ずる、重要度を評価した第 j 環境影響の変化指標（変化量）を与える。また、行列 A の第 n 列要素の単純和 $\sum_{j=1}^l a_{j,n}$ は第 n 番目の開発行為のみが原因となって生ずる、重要度を評価した l 個の環境影響の変化指標（変化量）の和を与える。それゆえ、行列 A の要素の総和 $\sum_{j=1}^l \sum_{n=1}^N a_{j,n}$ は当該事業計画によって生ずる、重要度を評価した全環境影響の変化量を与えることになる。

環境影響評価に用いる各行列の性質を整理して表-4 に示す。表-4 の第 5 欄には行列の作成に関し、現状で考えられる役割分担を示した。行列 P, Q, R は主として研究者・技術者が研究成果や調査結果を活用して作成し、行列 W は影響をうける個人または集団の意見によって作成し、また、行列 M は計画立案者が作成するのが妥当であろう。ただし、影響をうける個人または集団の意見は当該事業計画の実施によって史跡その他に回復不可能な悪影響が出る可能性がある場合に、計画案の可否を判断する場合にも配慮される必要がある（図-1 参照）。表-4 の第 6 欄には行列およびその要素がどのような場合に変わるべきを略記した。人の価値観や自然環境の生態学的特性、あるいは社会的諸条件等はすべて時間とともに変化する。これらの行列（の要素）が時間を媒介変数として持つことは自明である。

4. 評価手法の適用手順

環境影響の評価手法の適用手順と必要な調査・資料・情報を整理して図-9 に示す。図-9 は図-1 で示した環境アセスメントの手続きのうち、環境影響評価の部分をより詳しく図示している。

5. 評価方法の特色

本環境影響評価手法の特色を整理すると次のようになる。

(1) 環境変化の因果関係を行列で表示し、最終的に問題となる環境影響がそれらの行列の積で与えられるとの数学的背景を明らかにした。行列の積の形で環境影

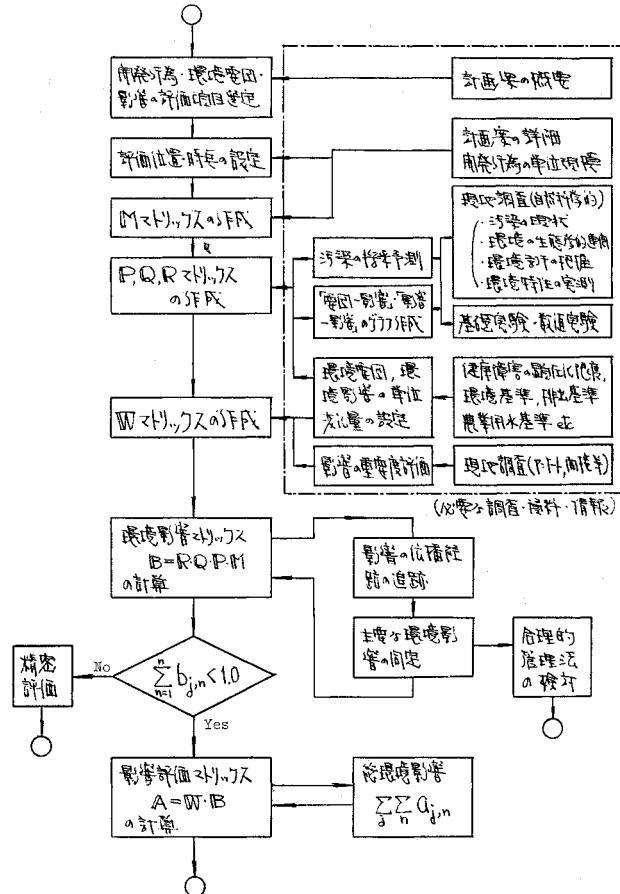


図-9 環境影響評価手法の適用手順
(図-1 の当該部分を詳しく表示したもの)

響を評価する方法では、本法で示したような数学的基礎が想定されていることになる。

(2) 各行列の要素がもつ意味を明確にし、要素に与える数値の定め方を明らかにした。単位規模、単位変化量を用いて行列の要素を無次元化することにより、要素の数値を相互に比較できるようにした。単位規模、単位変化量の設定についても、その考え方を示した。

(3) 本法で示した環境影響の評価手法は線形評価手法である。各行列、たとえば行列 P の要素 $p_{m,n}$ は環境要因の変化原単位としての物理的意味を有していると同時に、数学的には第 n 開発行為の変化に対する第 m 環境要因の変化の感度 (Sensitivity) でもある。行列 P, Q, R において、各要素を比較することはそれぞれ対応する感度を比較することにも相当する。

(4) 評価手法を構成する 5 つの行列の性格を明らかにした（表-4 参照）。行列 P, Q, R は主として研究者・技術者によって作成され、当該事業計画の規模によっては変化しない。行列 W は主として環境影響をうける者によって決定される。また、行列 M は計画立案者

によって決定され、事業計画の規模によってのみ変化する。それゆえ、開発行為の規模のみを変更する代替案について環境影響を評価する場合には、規模マトリックス M のみを変えるだけでよいことになる。これは線形評価手法であることに由来する特色である。

(5) 環境影響が許容限度を越えるとの理由で当該計画案を棄却する基準を統一的に示した。

(6) そのほか、環境変化の因果関係を追跡することができるなど、ネットワーク法あるいは環境システムマトリックス法がもつ特色をあわせて有している。

一方、本手法の問題点としては次の諸項目があげられる。

(1) 本手法が線形評価手法であることに付随して種々の問題が生ずる。たとえば、環境影響の相乗効果や複合影響を評価する準備がされていない。これらの影響は本評価手法では主として行列 W の要素値に包括されて評価されることになる。また、環境要因の変化あるいは環境影響の変化が本来的に線形表示になじまない場合、たとえば騒音のように音の強さ・大きさが音エネルギーに比例しない場合には、線形評価法は手法として本来的な問題点を有していることになる。

(2) 本手法に特有の問題点ではないが、本手法を現実に適用する場合には現象の平均値に注目した評価手法になる。実際には、たとえば開発行為（廃棄物の焼却）による環境要因（大気の汚染）の変化は平均値の周囲にある幅をもつ統計的変動量であると思われる。できる限り多くの環境影響を総括的に評価し、かつ当該計画案を実施したときに生ずる主要な影響がどこに現われるかを予測しようとする環境アセスメントにおいて、環境影響評価手法がどの程度の評価精度を持つべきかという問題ともあわせて、今後検討を要する問題である。

(3) 環境影響マトリックス B および環境評価マトリックス A の各要素が相対的に比較できる量であることは、それらがおのおの同程度の影響をもたらす単位量によって無次元化されていることにより保証されている。現実には、たとえば表-3に示した各環境影響が同程度になるような各環境影響の変化量を定めるのは困難な場合が多い。疫学データ、医学データ等を収集・整理する必要がある。

6. おわりに

行列を用いて環境の変化を表示する試みはレオポル

ド³⁾以来広く用いられており、その手法も、環境変化の因果関係の構造まで考慮すること等にみられるように、次第に精密の度合を深めている。行列法によって環境影響を評価しようとする試みを批判して、考えられる環境のすべてについて精密な影響評価をする立場が対置されることがあるが、これは行列法の枠内で個々の環境影響の評価精度をむやみに向上させようとする意図に対する批判であると思われる。自然科学的な尺度で定量化しにくい影響をも含めて、考えられる多くの項目についての影響を行列法等の手法で総括的に評価し、主要な影響が何であり、どこに現われるか、また、それがどの開発行為によってもたらされるのかを把握した後、それらの影響や行為ごとにさらに詳しい個別評価を行うべきであろう。最適計画案の選定後に実施する個別の詳細評価は、施設の合理的管理法や有効な環境モニタリング法を立案するうえでも不可欠である。

本評価手法をも含め多くの環境影響評価手法では、中村らも指摘した²⁾ように、“影響の時間的な長さ”をどのように評価すべきかが明らかにされていない。続報で具体的に明らかにするように、廃棄物の焼却・埋立処分場で問題になる環境影響の発生時期およびその継続期間は大きく異なる。たとえば、廃棄物の焼却による大気汚染の影響は廃棄物の焼却と同時に出現し、焼却の終了と同時に終了する。ところが、焼却灰を埋立することによって生ずる地下水汚染の影響は焼却灰の埋立後数年～数十年を経て初めて出現し長期間継続する。それゆえ、ある時間断面における環境影響の程度やその大きさ（影響の空間積分値）だけで当該計画の環境影響を比較するだけでは不十分である。生ずる影響の時間積分値等をも評価指標に加える必要があると思われる。

最後に、本評価手法の検討に際し土木計画学的立場から有益な助言をくださった京都大学工学部交通土木工学科教室の若井郁次郎助手に感謝の意を表します。

参考文献

- 日本環境科学研究所：熊本港建設に伴う環境保全調査報告書、1975.
- 中村英夫ほか：システム・マトリックスによる環境アセスメント、土木学会論文報告集 No. 248, pp. 111～120, 1976.
- Luna B., Leopold et al.: A Procedure for Evaluating Environmental Impact, Geological Survey Circular 645, Goverment Printing Office, U.S.A., 1971.

(1977.2.16・受付)