

## 断面流動調査に基づく廃棄物環境の解析\*

ENVIRONMENTAL PLANNING INDICATED BY SOLID WASTE FLOW

末石 富太郎\*\*・盛岡 通\*\*\*  
By Tomitaro Sueishi and Tōru Morioka

## 1. 緒 言

この研究は、環境計画学<sup>1)</sup>の体系化の過程において、きわめて重要な部分を構成するもので、本文は、昭和 42 年来、末石が構想を練り<sup>2)</sup>、昭和 43 年度より盛岡らが参加して行ってきた研究の第一段階について報告するものである。

最近、公害問題が一般に認識されはじめ、環境問題に関しても、多くの分野からのアプローチが行なわれるようになった。しかし、これらの研究にほぼ共通していえることは、まず第一に合理的な環境基準の確立の必要性をあげ、その基準達成のために法制や技術開発などの公害防除効果を向上させようとしている。この場合にまず重要なことは、環境基準がたとえ人間の生理に基づくかなり高度のものとなっても、基準を unique solution とすれば、基準決定に際して排除された考え方（たとえば生物や自然の要求）が次段の法制や技術の適用に際し問題となりうるし、また逆に、基準達成への過程においては、現在のように低レベルの環境状態を経由することも避けられない。そして、このような環境基準が満足されている状態に対する評価は、人間の生活・生産活動から発生する廃棄物または公害源物質は、環境がいわゆる自然の浄化機能を十分に保持できる程度に処理されたのちに環境に放出・処分されるものと期待されることになる。このとき人間活動は、いわゆる処理技術<sup>†</sup>を介して自然または環境と対立しているかにみえる。人間の生活も上述の環境基準によってのみ護られるものと説明されることにより、社会・経済的には「産業開発投資と生活基盤投資との対立ないしは調和策」として議論されることになるが、このような取扱いが確かに問題の一面をと

らえていても、普遍的な計画学理を誘導しうるものとは思えない。

一方、土木工学的計画技術の一部であった環境施設計画においては、すでに早くから上記のような考え方に従っており、都市活動需要と想定される環境基準との間をつなぐ処理システムの広義の構造的経済性を求める手法がその中心となっている。このような考え方は、かなり体系化のすすんできた土木計画学が、OR など計画数学の適用によって、建設費を最小にするような最適計画を実践する戦略の研究を通じて発展してきた過程にもみられる。最近、必要性の叫ばれはじめた「環境制御」は、上記のような環境施設計画・実施を操作変数として、より長期的に環境を計画・制御してゆこうとする、一段次元の高いものではあるが、それについて現在主流となりつつある思想は、都市や環境を大規模システムとみため、現象システムの定式化とその最適操作を、多くの技術要素のトータル化システム方法によって、需要と環境基準の間に実現させようとするものであり、米国で発展しつつある urban dynamics も大体この考え方に近い。

これら計画制御技術の欠点は、一見人間のために環境を制御しているはずのところ、逆に都市内における人間の生活活動は、既存のパターンに基づきながら、ますますあるわずかな空間的・時間的最適状態へと統制される結果になりつつあることに留意しなければならない。文明論的批判をまつまでもなく、現在の環境施設計画・環境制御は、都市の側から人間を規制しており、真の環境改善のためには人間の側から環境をみる主体性が回復されなければならない。

以上の議論から明らかに、衛生工学的立場からの計画アプローチとしては、むしろ環境基準なり、人間活動需要の側に重要な評価をおき、それらが計画化過程での種々な要素の決定にどのように関与するか、そしてその評価を高めるための新しい必要なシステムは何か、を追求しなければならないであろう。このような方向を末

\* 第 25 回土木学会年次学術講演会で発表(昭和 45 年 11 月)

\*\* 正会員 工博 京都大学教授 工学部衛生工学科

\*\*\* 学生員 工修 京都大学大学院 工学研究科

† 疎外、遮へい、希しゃくなども、広義に含むものとする。

石は計画の高次化<sup>3)</sup>と定義し、上・下水道計画についてかなりの成果をあげている<sup>4)5)</sup>が、環境計画という膨大な分野についてはなお相当の研究が必要で、単に、環境基準の高度化とか、生活環境整備の積極的評価と都市活動の最適化などの羅列的な言辭を弄することによっては問題の解決をはかることはできない。

研究基本方針の第一は、上述のような生活・生産・環境に関する混乱した論理を排すること、ついで、環境と生活・生産は対立するものではなく相互包括的であることを認識すること、そして最後に、計画結果をいまだちに実現することよりも、綿密な計画化過程において、あらゆる手段やプロセスを網羅し、それぞれができるだけ純粋な条件のもとで果たした効果を評価することによって、新しい環境価値体系を解析することが必要である。このような取扱いによる最も極限化した環境の見方が、環境を（潜在）廃棄物環境とみなす次章の展開であり、人間の活動自身が物質の廃用を中心とした価値変動体系を構成しているという仮説に基づくものである。

## 2. 物質循環と環境計画

都市域にもちこまれた各種の物質は、人間の生物学的生存、社会的諸活動および文化的蓄積に寄与し、やがて質・量を変じて廃棄物となる。環境とは、人間をとりまいてすべての客観的事象をいい、自然的環境、社会的環境、文化的環境に大分類される点において、環境が各種物質の質・量に大きく支配されることがわかる。廃棄物の発生から処分までをつかさどる現象を還元部新陳代謝というが、生体における新陳代謝から類推することにより、都市の新陳代謝もまた都市環境内において行なわれるべきであるという立場を否定する必要はない。さらに、緒言に述べたように、人間活動と環境とが相互包括的であるので、少なくとも代謝過程において都市環境内に存在する廃棄物と人間との接触も不可避となる。

従来の環境施設計画は、還元部代謝の結果のみに注目して、不完全ながら代謝能力の人為的増大・加速をはかってきたのであるが、現在この考え方が環境と対立的にとらえられてきたゆえに破綻を来しつつあるのは前記のとおりである。この従来の方式では、都市域の排出する廃棄物が一元的に自然界に還元され、自然の代謝・自浄能力をへてふたたび資源として利用されるものと考えている。これはいわば自然サイクルであるが、これからの環境の計画においては、自然サイクル以外に人為的代謝と直接的再利用を含む環境サイクルを構成し、そのサイクルの規模と数を地域の特性に応じて決定することを含めねばならない。

現在、筆者らが想定している環境サイクルは、次のよ

うな連鎖型サイクルであるが、これら全体としては自然サイクルより大規模\*となりうる。

第Ⅰ段サイクル：第Ⅱ段サイクルにつらなり、多分、都市の用途別区分単位の大きさ以下で構成されるサイクルで、資源の局所再利用サイクルとなる。すでに各種工場単位でみられる原材料の再利用サイクルや有害微量金属の封じこめのための工場廃水サイクルがこれに相当する。

第Ⅱ段サイクル：環境サイクルの中樞をなすもので、第Ⅰ段ならびに第Ⅲ段サイクルの双方と物質の授受をしつつ、都市域でのかなり大規模な物質循環系を構成し、従来の環境施設は、不完全ながら、このなかに含まれる。水の再利用や、鉄・木材・プラスチックなどの回収ならびに資源化などが行なわれる。

第Ⅲ段サイクル：サイクルの幾何的半径としては、これが最大で、地球的規模におよぶ場合がある。人工的環境サイクルが具体化するまでは、自然サイクルが全面的にその役割を果たしているといえる。環境的・経済的・技術的な価値体系の変化によって、必ずしも安定なものとはいえず、また未解明の点も多く残されるとともに、合理的な制御は最もむずかしい。第Ⅱ段サイクルを適切に配置することによって、第Ⅲ段サイクルや自然サイクルへの負荷を減じ、安定化させられるであろう。

以上のように環境を計画的にみるためには、物質循環の過程を取扱うことが必要なことが理解されよう。すなわち、質や量を制御する拠点的生産施設・環境施設だけでなく、物質自体の流れの現象を支配する普遍的な原理を広い視野からみることを要し、当然、流通・交通システムの新しい原理を見出すことも意図されねばならない。サイクル内の流れは、明瞭な断面をもつ環状管路の一方向流れとは限らないが、最も素朴な水流と等置すれば、流量、断面積、流速を時間的・場所的に変え、それに伴いエネルギーを損失してゆくが、計画的にはこれら4要素のうち任意の2つを独立に選択できるはずである。しかし、これまでの環境施設計画においては、無意識的に環境における物質流動が需要のみを原動力として流量を規定するモデルを想定していたと考えられる。現在の物質循環の特徴を都市環境を中心として、上記の環境サイクルとの関連で述べると、

- i) 拠点大量生産によるサイクルの寸法の巨大化、広域化が顕著である。
- ii) 消費化社会への移行による物質サイクルの移動速度が増大し、システムの渋滞が起り、欠陥も露呈しはじめる。
- iii) 新製品の開発による新しい物質サイクルの生成と、同時に技術革新にとり残された物質サイクルの消滅

\* 寸法の大きいことではない。

がはげしくなりつつある。

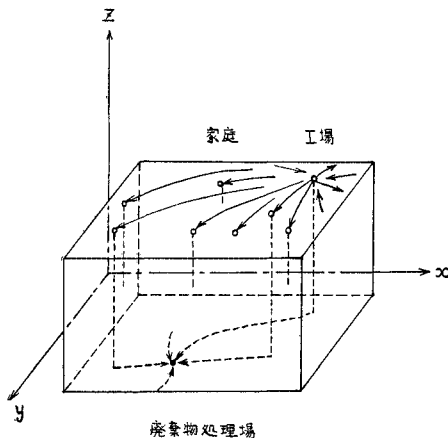
iv) プラスチックにみられるように、新しく生じたサイクルのいくつかにおいて、有機物質から出発しながら生物学的連鎖がないためにサイクルが完成されず代謝が滞っている。

などの点があげられよう。

以上のような物質循環に対する解析ならびに計画のためには、水や鉄などの主要指標物質—指標廃棄物<sup>2)</sup>の系を見出すことがきわめて重要であるが、今回の研究報告においては、これらを総括した廃棄物の流動を指標として解析を進めている。正值値を有するすべての物質は時間の経過とともにいずれ必ず廃棄物化することを避けられず、その意味で環境は物質サイクルにそって流動する潜在廃棄物の集合であると考えられる。使用中の建築物や耐久消費材あるいは加工中の木材などの、生産あるいは消費過程にとどまっている物質も将来は廃棄物となるという見方の意義は、緒言に述べたような解析条件の純粋な設定にあるとともに、以下の理論的展開に示すように、廃棄物発生予測においてもその重要性が実証されるであろう。

### 3. 廃棄物流動の基礎方程式

環境サイクルにおける人為的・自然的な物質流動（潜在廃棄物の流動）は大小規模の物質循環が複雑に組みあわさり、都市の物質代謝を原動力として運動する形態である。この形態をできるだけ忠実に表わすために、図—1のような場を設定し、具体的な物質流動を環境と関連づけて分析することにする。ここに、 $x-y$  平面は対象としている地域を、 $z$  軸は物質の質を長さの単位で表わしたものとしておく。すなわち、上側の面は対象とする物質の新製品面であって、この面上で新製品の輸送が行なわれる。底面は完全廃棄物面で、この面上での移動は



図—1 廃棄物

廃棄物のみを輸送を意味する。一方、上面ならびに底面には環境サイクルの他の段階との連絡接点があり、点源的な役割を果たしている。この場合は潜在廃棄物と完全廃棄物からなる環境構成物質の流動の場であるから、図—1の空間は環境サイクルを構成することになるが、このなかで潜在廃棄物が顕在化していく場として「廃棄物体」と呼ぶことにする。

廃棄物体の表面や内部を流動する物質の質量保存則は、次のように表わされる。

$$\frac{\partial c}{\partial t} + \frac{\partial(cu)}{\partial x} + \frac{\partial(cv)}{\partial y} + \frac{\partial(cw)}{\partial z} = q \dots \dots (1)$$

ここに、 $c$  は対象物質・対象指標の濃度、 $u, v, w$  はそれぞれ対象物質の  $x, y, z$  軸方向の速度成分、 $q$  は廃棄物体内部での湧出による対象物質濃度の単位時間あたりの増加量、 $t$  は時間である。 $z$  軸を長さの単位で表現するには若干のあいまいさが残るが、有用期間を長さで表現して対応関係を知っておき、全体に対する長さの割合で未使用時間の割合を示す。 $u, v$  は対象物質の地域流動速度を、 $w$  は都市の生産ならびに消費過程での代謝速度を意味する。物質の質が主として相対時間に依存するとすれば  $wt \rightarrow z$  と変換されよう。廃棄物体表面での対象物質濃度の系外サイクルによる増減は  $w$  の境界条件値として定まることになる。

実際の地域断面での流動量は  $z$  軸に関する分布をもつことになるが、質を減じつつある中間の段階で場所的流動を行なうことは必ずしも多くなく、廃棄物体上面ならびに底面に近い層での流動が大部分をしめているであろう。いずれにせよ、式 (1) は環境計画上、重要な収支方程式であって、基礎式のひとつである。

さて式 (1) において、 $q$  は廃棄物体内部での環境構成物質の発生を意味するので、通常は 0 としてよい。 $c, u, v, w$  の分布がなめらかで連続（正確には微分可能）であるとなれば、式 (1) を体積要素  $dV$  で積分する場合、グリーン・ガウスの公式により面積分に変換することができる。すなわち、

$$\iiint \left( \frac{\partial c}{\partial t} \right) dV + \left[ \iint (cudydz + cvdxdz + cwdx dy) \right]_{\text{表面}} = 0 \dots (2)$$

となり、

$$\left. \begin{aligned} & - \left[ \iint (cudydz + cvdxdz + cwdx dy) \right]_{\text{新製品面}} \\ & = I_{IN}^* - I_{OUT}^* \\ & - \left[ \iint (cudydz + cvdxdz + cwdx dy) \right]_{\text{完全廃棄物面}} = O_{IN}^* - O_{OUT}^* \\ & - \left[ \iint (cudydz + cvdxdz + cwdx dy) \right]_{\text{側面}} \end{aligned} \right\}$$

$$\left. \begin{aligned} &= I_{IN} + O_{IN} - (I_{OUT} + O_{OUT}) \\ &\int \left( \frac{\partial c}{\partial t} \right) dV = \frac{dR}{dt} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(3)$$

とすると、

$$\left. \begin{aligned} &\frac{dR}{dt} - \{ (I_{IN} - I_{OUT}) + (O_{IN} - O_{OUT}) \} \\ &= (I_{IN}^* - I_{OUT}^*) + (O_{IN}^* - O_{OUT}^*) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(4)$$

となる。ただし、

- R：対象物質の地域内での総蓄積量、
- $I_{IN}^*, I_{OUT}^*$ ：新製品面を通しての地域内独自発生量、独自消滅量、
- $O_{IN}^*, O_{OUT}^*$ ：完全廃棄物面を通しての地域内独自発生量、独自消滅量、
- $I_{IN}, I_{OUT}$ ：側面を通しての新製品の地域への流入量、流出量、
- $O_{IN}, O_{OUT}$ ：側面を通しての完全廃棄物の地域への流入量、流出量。

新製品ならびに完全廃棄物は、先にふれたように流動している物質の大部分がこのいずれかの範ちゅうに含まれるので、ひとまず分類しただけの項目であって、今後、生産過程と消費過程を分離するなどして廃棄物体をいくつかの層に分割すれば、その分類は異なってくる。

限られた地域をとり、式(4)を当該地域における実質流入量・実質流出量で書きなおすと、( )内をひとつの量として次のように表わされる。

$$\frac{dR}{dt} - (I_s - O_s) = I_s^* - O_s^* \dots\dots\dots(5)$$

この式(5)は物質が蓄積されながら代謝されている循環機構をインプットとアウトプットとして測定される断面量でマクロに表現したものにほかならない。他方、循環の質的側面を無視して地域的な流動を表現すると、

$$\frac{dR}{dt} - (I_c - O_c) = I_c^* - O_c^* \dots\dots\dots(6)$$

となるが、式(5)と式(6)の意味が異なることに留意しなければならない。ただし、

$$\left. \begin{aligned} I_s &= I_{IN} - I_{OUT}, I_c = I_{IN} + O_{IN} \\ O_s &= -O_{IN} + O_{OUT}, O_c = I_{OUT} + O_{OUT} \\ I_s^* &= I_{IN}^* - O_{OUT}^*, I_c^* = I_{IN}^* + O_{IN}^* \\ O_s^* &= -O_{IN}^* + O_{OUT}^*, O_c^* = I_{OUT}^* + O_{OUT}^* \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(7)$$

である。式(4),(5),(6)のそれぞれは式(1)の展開式であり、5. に述べる断面流動調査の基本となっている。

$O_s$  は清掃事業や下水道などにより廃棄物処理のために地域外へもたらされた実質的排出量であり、一方、 $O_s^*$  は同じく地域内での実質処理量であって、これらの量で表わされる循環還元部の代謝能力が十分でない場合

には、排出されるべき物質が滞留して環境悪化をひきおこす。この滞留量を  $R_2$  として  $R$  を分割すると、たとえば式(6)は次のようになる。

$$\left. \begin{aligned} &\frac{dR_1}{dt} + \frac{dR_2}{dt} - (I_c - O_c) = I_c^* - O_c^* \\ &R = R_1 + R_2 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(8)$$

一方、個々の物質の動きと新品が次第に廃用されてゆく価値の変化の過程をすべて総合したものが物質代謝であると考えられる。したがって、式(1)中の  $u, v, w$  がそれぞれ、または相互に、どのような関係式で律されるかを明らかにすることによって、物質代謝式が記述されたことになり、図-1の廃棄物体内の現象が、 $u, v, w, c$ の時間的、空間的分布として定められたことになる。このような物質代謝式は、流体運動の運動方程式のように、運動量あるいはエネルギーと力の関係式として誘導することが原理的には可能であるかもしれないが、この研究では、具体的な現象の深い解析によって代謝式を明らかにしてゆく一方、むしろ、新しい環境を創造してゆく計画化をはかるため、より合理的な運動や反応を起こす原動力を代謝式の中で検討する立場をとっている。もし式(1)を流れ系中における水質収支式とみれば、たとえば  $kc$  ( $k$  は反応速度定数で時間の逆数の次元をもつ)のような反応項を右辺に加えるだけで、上述の目的は達せられる場合が多いが、これは、 $u, v, w$  の運動を律する式が  $c$  と無関係に記述できるという前提に立っている。ところが、 $c$  として浮遊物質質量をとるときに流体運動方程式に新たな補正項の導入がより厳密な解析として必要なことが論じられている<sup>9)</sup> ように、廃棄物体中の物質代謝には  $c$  自身が大きく関与し、しかもその影響を式(1)の段階の物質収支式に代入すべきか、または式(4),(5),(6)の形で考慮すべきかも明らかでない。

以上のような取扱いが計画化のためには重要であるので、以下では、半理論、半実験的な物質代謝式の近似型を提案するとともに、それに基づいて実際の現象を解析することを通じて、 $u, v$  や  $w$  を把握し、同時に計画指標化する手法を確立することにした。

式(1)を  $y$  軸方向に積分して平均をとり、次式のように二次元化して考える。

$$\frac{\partial c}{\partial t} + \frac{\partial(cu)}{\partial x} + \frac{\partial(cw)}{\partial z} = q' \dots\dots\dots(9)$$

$q'$  は  $y$  に関する境界条件値で、 $x$  軸に直交する横からの単位時間当り流入濃度を意味する。ここでふたたび  $q' = 0$  とし、さらに  $z$  軸方向に積分して実質出入量で表示すると、

$$\frac{dR}{dt} = I - O_1 - O_2 \dots\dots\dots(10)$$

となる<sup>2)</sup>。これは図-2に対応して、 $\delta x$  区間の都市域に蓄積している環境構成物質質量を  $R$  で表現しており、

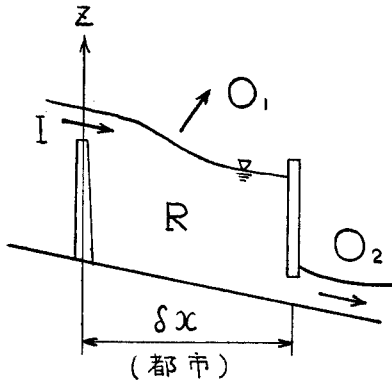


図-2 開水路流れと環境のアナロジー

これに流入量  $I$  が供給されて、都市内での活動の結果、有用物質が  $z$  の高い部分から  $O_1$  として、生じた廃棄物が  $z$  の低い部分から流出量  $O_2$  として放出される。都市内での環境構成物質の発生、消滅が少ないと、式(4)ならびに式(7)の記号を用いて次のように表わされる。

$$I \cong I_{IN}, O_1 \cong I_{OUT}, O_2 \cong O_s, \dots \dots \dots (11)$$

活動の盛んな都市では  $I, O_1, O_2$  がいずれも大きいと考えられる。もし、 $dR/dt \cong 0$  と近似できるならば、

$$O_2 = I - O_1 \dots \dots \dots (12)$$

となるので、 $I$  と  $O_1$  がわかれば発生廃棄物量  $O_2$  を求めることができる。しかし発展途上の都市では蓄積項である  $dR/dt$  の値が相対的に大きくなり、このとき清掃事業が十分に行なわれないと  $dR/dt$  に付随して本来  $O_2$  となるべきものが都市内に堆積し、 $R_2$  が表われる。すなわち、式(8)と同様にして、式(10)は

$$I - O_1 - O_2 = \frac{dR_1}{dt} + \frac{dR_2}{dt} \dots \dots \dots (13)$$

となる。 $O_2$  と  $dR_2/dt$  で表わされる物質はほぼ同じ  $z$  の位置にあるとみてよい。最も極端な場合として、 $I - O_1 = 0$  という場合を想定すると、式(13)より

$$O_2 = -\frac{dR_1}{dt} - \frac{dR_2}{dt} \dots \dots \dots (14)$$

となり、なお廃棄物を発生する可能性があることがわかる。これは瞬時的には廃棄物を発生しない構造であっても、たとえば、式(14)右辺第1項の意味するように、都市再開発などにより過去に蓄積されていたものが廃棄物として発生することを表わしている。

いま定常状態を考え、式(12)において、 $I$  と  $O_1$  との間にある関数関係が成立するならば、

$$O_2 = f(O_1) \dots \dots \dots (15)$$

と書ける。ある工場とかある生産業種などを対象として、単位生産量(多くは金額で表示している)あたりの廃棄物量を調査資料によって求める試みが数多くなされているが、その背景の

$$O_2 = a \cdot O_1, \quad a: \text{定数} \dots \dots \dots (16)$$

なる実験式型は式(15)の特別な場合である。式(12)と式(16)を用い、 $x$ 軸方向の物質移動速度  $u$  を一定として、図-2の上流、下流の断面量の平均から、 $R$ を近似的に計算すると、

$$(1 + 1/2 a) O_2 \cdot \delta x / u = R \dots \dots \dots (17)$$

となる。式(17)を書きかえると、

$$O_2 = K \cdot R \dots \dots \dots (18)$$

となる。ただし、

$$K = (1 + 1/2 a) \cdot \delta x / u \dots \dots \dots (19)$$

である。式(18)は定常状態における図-2の  $O_2$  の流出部の機能を中心としてみた  $u$  と  $R (= \int c \, dV)$  の関係を、実験定数  $a$  を媒介として表現したことになる。前出の記号を用いて式(18)を書きかえれば、

$$O_s + O_s^* = K' \cdot R \dots \dots \dots (20)$$

となるであろう。 $K'$  は  $K$  と同じく式(19)によって規定されるであろうが、 $u, a$  のかわりに  $u', a'$  を用いる必要がある。

一方、最も極端な非定常状態の物質収支式である式(14)を参照して、式(18)の  $O_2$  を  $-dR/dt$  でおきかえると、

$$\frac{dR}{dt} = -K'' \cdot R \dots \dots \dots (21)$$

となり、いわゆる一次反応型の物質代謝式が得られる。この場合、式(19)において  $u, a$  がやはり  $u', a'$  に変化するほか、図-2の構造も変化しているであろうから、式(17)の近似的表現も考慮しなおす必要がある。なお、 $K, K', K''$  は明らかに [1/時間] の次元をもち、いわゆる反応速度定数に相当する。

いずれにしても、現段階で、環境の代謝方程式として、式(18), (20)あるいは式(21)を提示することは、たとえ他の分野で代謝システムを一次反応式として表示することが適当であったとしても、十分な説得力をもつとはいえない。実際には、式(20), (21)の両方ないしは中間の代謝反応が起こっているとみられ、当面は、式(18), (20)ならびに式(21)は、ある項の値を知って残りの項の値を求めるのに用いるべきではなく、すべての項の値を知って式が実際に成立するかどうかを場所や時間を変えて考察してみることが必要であろう。

#### 4. 都市環境の解析に関する基礎式の応用

式(9)をさらに  $z$  軸方向に積分して、一次元化すると次式のようなになる。

$$\frac{\partial c}{\partial t} + \frac{\partial(cu)}{\partial x} = q'' \dots \dots \dots (22)$$

$q''$  は横からの流入濃度に加えて、循環に伴う資源流入

量や廃棄物処理量とも関係するところが  $q'$  と異なる。現段階では  $c$  の測定がきわめて困難なので、 $cu=Q$  として式(22)の  $c$  を消去し、 $q'$  をあらためて  $q$  でおきかえると、

$$\frac{\partial}{\partial t} (Q/u) + \frac{\partial Q}{\partial x} = q \dots\dots\dots(23)$$

となる。これを差分表示すると、

$$\begin{aligned} & -\frac{u_{\tau,m} - u_{\tau-1,m}}{T_{\tau-1,m} \cdot (u_{\tau-1,m})^2} \cdot Q_{\tau-1,m} + \frac{1}{u_{\tau-1,m}} \\ & \cdot \frac{Q_{\tau,m} - Q_{\tau-1,m}}{T_{\tau-1,m}} + \frac{Q_{\tau-1,m+1} - Q_{\tau-1,m}}{L_{\tau-1,m}} \\ & = q_{\tau-1,m} \dots\dots\dots(24) \end{aligned}$$

すなわち、

$$u_{\tau,m} = u_{\tau-1,m} \cdot (1 + P_{\tau-1,m}) + (u_{\tau-1,m})^2 \cdot S_{\tau-1,m} \dots\dots\dots(25)$$

ただし、

$$\left. \begin{aligned} & u_{\tau,m} : t=\tau, x=m \text{ における } u \text{ の値} \\ & T_{\tau-1,m} : t=\tau-1 \text{ より } t=\tau \text{ までの時間} \\ & L_{\tau-1,m} : x=m \text{ より } x=m+1 \text{ までの距離} \\ & P_{\tau-1,m} : \text{物質流動時間係数} \\ & P_{\tau-1,m} = [Q_{\tau,m} - Q_{\tau-1,m}] / Q_{\tau-1,m} \\ & S_{\tau-1,m} : \text{物質流動場所係数} \\ & S_{\tau-1,m} = [\{Q_{\tau-1,m+1} - Q_{\tau-1,m}\} / \\ & \quad \cdot L_{\tau-1,m} - q_{\tau-1,m}] \cdot T_{\tau-1,m} / Q_{\tau-1,m} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(26)$$

である。

図-3 は式(25)を図示したもので、 $u_{\tau,m}$  は  $u_{\tau-1,m}$  の2次関数として表示されており、 $P, S$  の値から速度  $u$  の経年変化の動向を知る一種の図解法である。たとえば、 $m$  番目と  $m+1$  番目の断面の間の地域において、図-4 のタイプの物質流動を想定すると、 $P$  が正のとき、すなわち地域への左からの物質流入量が年ごとに増

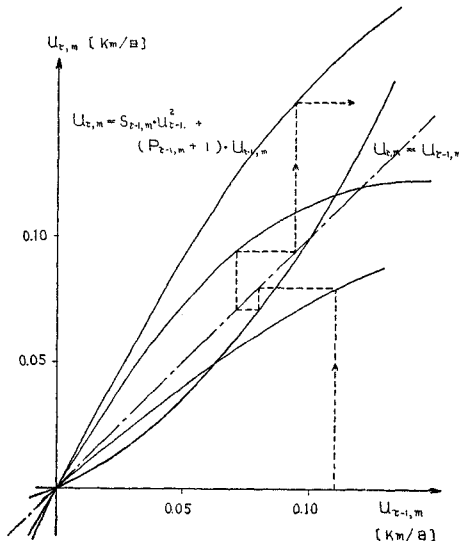


図-3  $u$  の時間変化をもとめる図解法

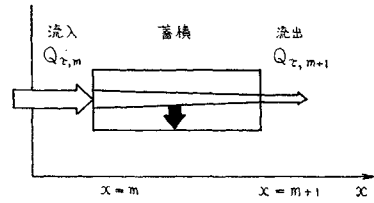


図-4  $S$  が負の場合の物質流動

加すると地域に潜在廃棄物の蓄積が生じるが、 $u$  の値は平衡に達しようという傾向をみせる。逆に  $P$  が負値の場合には  $u$  の値は減少しはじめる。いずれにしても式(25)で表わされる曲線が傾き  $45^\circ$  の直線と交わる点はひとつの飽和点を示すと考えられるので、一般的にはその点付近とそれより原点側の曲線部のみが有効と考えられる。同一地点の流動の時間的変化を表わす係数  $P$ 、流動の場所的変化を表わす係数  $S$  は、それぞれ関数の原点付近での曲線のかたちを示す値として重要である<sup>9)</sup>。

ある年度における  $u$  の値を知ることができたとする。次章に示す断面流動調査によって、 $Q_{\tau,m}$ 、 $q_{\tau-1,m}$  やその他の値を得て、図解法により  $u_{\tau,m}$  が求められると、 $c_{\tau,m}$  もも把握することができる。しかし、断面流動調査が継続的に行なわれていない現状では、すぐに将来値を予測することは不可能で、当面は将来の動向を定性的に説明するにとどまる。

ここでは、神戸市六甲～芦屋市間(図-8のブロック3)について、測定した実質流動量を  $Q$  の値として  $P, S$  を算出した結果を図-5に示す。過去の流動量測定値がないので、1970年の  $Q$  の実測値を基準として過去の  $Q$  値を交通量の比で配分するというきわめて概略的方法をとり、清掃事業による処理・処分量も無視し、 $q$  を0とした。すべての環境構成物質についても、完全廃棄物

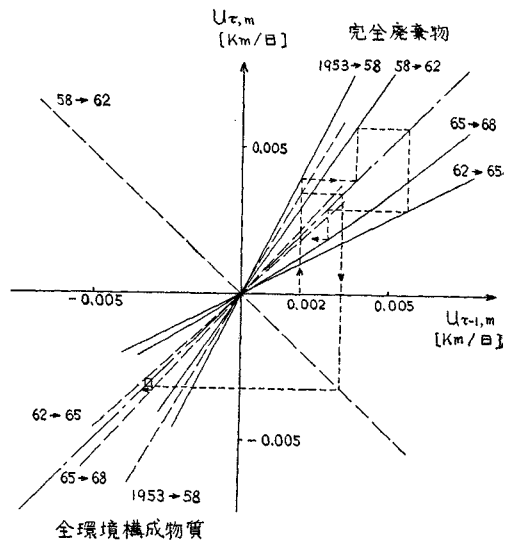


図-5 六甲・芦屋間での物質流動速度の経年変化

のみに関しても、 $u$  の絶対値の増加の傾向が減少に転じていることはひとつの特徴としてあげられるであろう。

上の解析例でわかるように、計画的な環境代謝方程式の解に基づく清掃事業の行なわれないうまま、都市の発展を許容したものと仮定すると、式 (22) のように  $x$  軸の配慮を欠いたまま一次的に物質蓄積区域の拡大する速度の代表値が  $u$  であると考えることができる。すなわち、都市域が無秩序に広がってゆくスプロール現象においては、物質の移動が形態的には重要な規定因子であろうと推定され、過去にさかのぼって都市の発展を式 (25) によって追求することも必要であろう。第 6 章では、この点についてももう少しミクロな分析を試みる。同様に、都市廃棄物の処理施設の新設や増設に伴う  $q$  の変化を流動の変化と関連させて論じることも興味深い、具体的検討は今後の研究に待ちたい。

### 5. 断面流動調査

環境において想定された物質循環の断面を、実際の地域において図-2 のように決定することは困難であるが、物質輸送の重点が道路交通にある地域においては、道路断面は物質循環の一断面を象徴的に現わしているものと考えることができる。すなわち、ある地域に通じる主要道路において、運搬される廃棄物を含む物資を把握することにより、環境内の廃棄物とそれを生み出す環境構成物質の流動を知ることができる。これまでに行なわれてきた交通調査に対する断面流動調査の主要差異は、

- (i) OD は不要である、
  - (ii) 走行速度はあまり必要ではない、
  - (iii) 走行方向が必要である、
  - (iv) 測定結果を時間的に積分する操作が必要である、
  - (v) 積荷の種類、特に廃棄物を把握する必要がある、
  - (vi) 積荷の体積の把握が必要である、
- などである。

断面流動調査は道路断面における流動測定を基本とするが、この測定値が物質循環に伴う具体的な地域流動とは必ずしも一致しないため、物質循環の質的側面については他の調査を併用する必要がある。前章に述べたように、断面流動量から  $O_2$  を求め、また交通の速度から  $K$  を求めて式 (18) に代入してもすぐに  $R$  に相当するものが得られるとはいえないので、断面流動調査と同等に重要な環境解析の他の方法として、物質代謝の質的側面を明らかにするための質問紙調査法、潜在廃棄物の蓄積を中心とした環境の直接把握を目的とした環境写真調査の二つを筆者らは提案している<sup>2)</sup>が、その詳細は続報に示すこととする。筆者らが断面流動調査をはじめて実施した地域<sup>3)</sup>は、大阪府下の人口 8 万人程度の中都市域であり、地域境界での調査のみでは新興住宅地域<sup>4)</sup>のために地域境界を通過する完全廃棄物が少なく、環境内潜在廃棄物の増加が目立っていた。宅地の間に点在する空地にはあらゆる廃棄物が不法投棄されていて、環境の計画的制御の必要性を印象づけられたが、成果としては廃棄

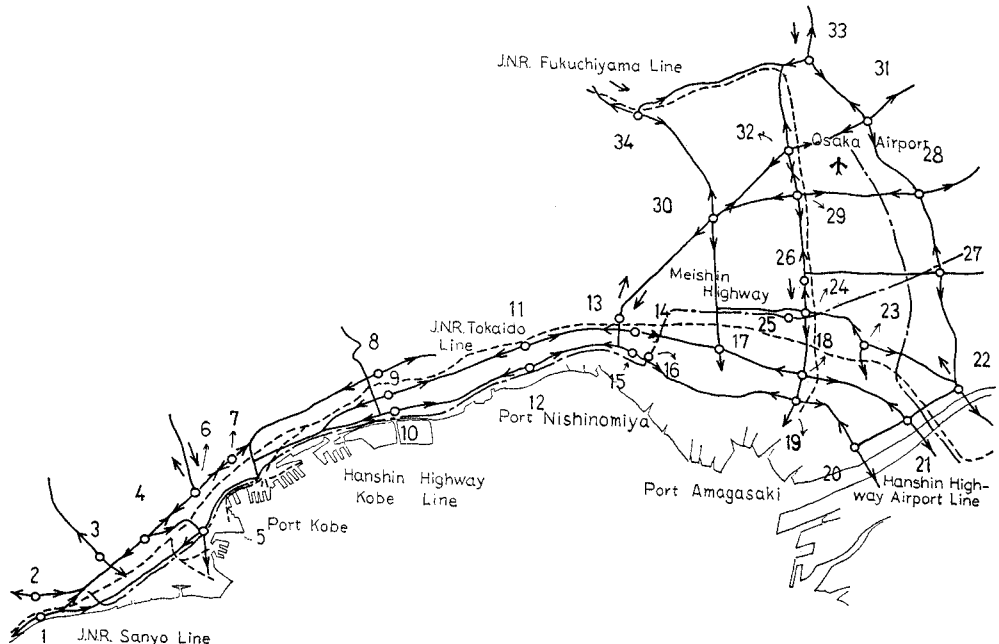


図-6 調査地域の交通機関

物を指標とした環境解析が可能であるという方向性を得たにとどまった。

本文で中心的に扱う阪神地域での断面流動調査では、次章に述べるモデルの適用に便利で、工業地域と住居地域の併存するという条件からこの対象地域を選び、地域内部の流動特性を調べることにした。図-6には対象地域の各種交通・輸送機関をあわせて示すが、神戸市街地を中心とした「西部地区」では東西方向の交通が卓越するのに対して、「東部地区」では南北方向のそれも同様の比重をもつことが特徴である。

ついで調査における実測方法について述べる。図-6に示す地点で道路上を通過する貨物自動車の荷物の種類と載荷量を測定した。測定には目測のほかには8ミリカメラやビデオテープレコーダーを用いたが、交通量の多い

表-1 断面流動調査測定表

場所名	方面	測定時間	測定者			
十三大橋 22	大阪	700224 13:00-13:15	盛岡			
物質名	新旧	載荷可能トン数	載荷割合	備考	乗用車	無載貨物車
木材(角材)	○	4.0	1.2		正	正
土建用器具(鉄)	△	2.0	0.5		正	正
菓子(ダンボール入り)	○	1.5	3.0		正	正
洗濯機	×	0.5	1.0		正	正
紙袋セメント	○	6.0	1.2		正	正
ふとん	○	2.0	1.2		正	正
			1.0		正	正

注：「新旧」の欄において  
 ○は新品  
 △は中古品  
 ×は廃品

最も右の欄はそれぞれの台数を記入する。

表-2 断面流動調査整理表

測定時間	3月5日 10:35-10:50	測定場所	塚口東・産業道路	方向	北	測定者	末石・盛岡		
物質名	完全廃棄物 中古品		新 品					貨物車 66台 乗用車 67台	載荷貨物車 79台 空貨物車 67台
	有用期間 1-2日		1-2週	1-2月	1-2年	5-6年	10-20年		
1 鉄鋼・鉄製品	11.8				9.6	18.7	9.5	55.9	
2 非鉄金属同製品					3.5			3.5	
3 木材・木製品					2.0	2.5		4.5	
4 食 料 品		1.5	1.0	5.8	0.5			8.8	
5 耐久消費材						0.7	1.5	2.2	
6 繊維製品					3.0			3.0	
7 土砂・ガレキ							9.6	9.6	
8 紙 製 品				10.5		9.0		19.5	
9 化学物質 石炭石油製品 ゴム製品 皮革製品				1.5	4.6	0.5		6.6	
10 窯業・石製造業					1.2	1.2	53.6	56.0	
11 ガラス製品					0.3			0.3	
12 その他 清掃車の 載荷を含む	6.0							6.0	
	17.8	1.5	1.0	17.8	24.7	32.6	74.2		

注：  
 各欄とも  
 上段 生産用  
 下段 消費用

地点ではビデオテープレコーダーを採用し、スローモーションビデオ画像として再生して判読した。測定時間は15分間・2回を基本としたが、調査規模の制約から1回のみ測定した地点もいくつかある。いずれの場合にも表-1のような測定表をつくり分析に供したが、載荷量の単位は1トン貨物自動車の荷台側板でかこまれた容積分の荷物量として、これを1t-v(あるいは1ton-volume)と称した。実際の測定からはビデオテープレコーダーの有用性が明確となったが、他の測定法との比較については別稿<sup>7),9)</sup>に述べてあるので省略する。

測定表より物質の推定有用期間と種類によって荷物を分別し、表-2のように整理した。まず総物質にのみ着目するが、1日の流動量を実測値から推定するには、測定交通量の1日交通量に対する比を乗じるという簡略法を用いた。こうして算定された完全廃棄物の1日流動量を図-7に示す。測定表よりいくつかの種類別に整理したが、それは鉄鋼・鉄製品、非鉄金属・同製品、木材・木製品、食料品、耐久消費材、繊維製品、土砂・ガレキ、紙製品、化学物質(石炭石油製品、ゴム製品、皮革製品、その他)、窯業・石材、ガラス製品、その他(清掃車の載荷を含む)からなる。

単にそれらを羅列することは主目的ではないが、種類別物質流動の特性についてここで若干述べることにする。まず鉄鋼・鉄製品について注目してみよう。鉄の潜在廃棄物は全体の1/10~1/4程度の流動量を示しており、工業地域でのその割合は高いものの、定性的には全体の傾向と似ており指標物質<sup>2)</sup>として総物質の流動を規定しているといえる。鉄の廃棄物濃度は、おおむね住居地域で低く、総物質の流動特性とは異なるが、これは家庭からの鉄の廃棄物を「耐久消費材」や「その他」の項目に入れたことを考慮しても、総物質に比較して鉄の生産過程での廃棄物化速度が大きいことを推定させる。化学物質には、測定表で見ると、多量の油類が含まれており、そのため見かけ上(この場合気体廃棄物が測定されていない)の廃棄物濃度は低く、さらに化学物質は潜在廃棄物、完全廃棄物のいずれをとっても工業地域に集中している。一方、耐久消費材の流動特性は以上の二つの物質あるいは総物質のそれとはかなり異なっており、完全廃棄物と潜在廃棄物との和でみ



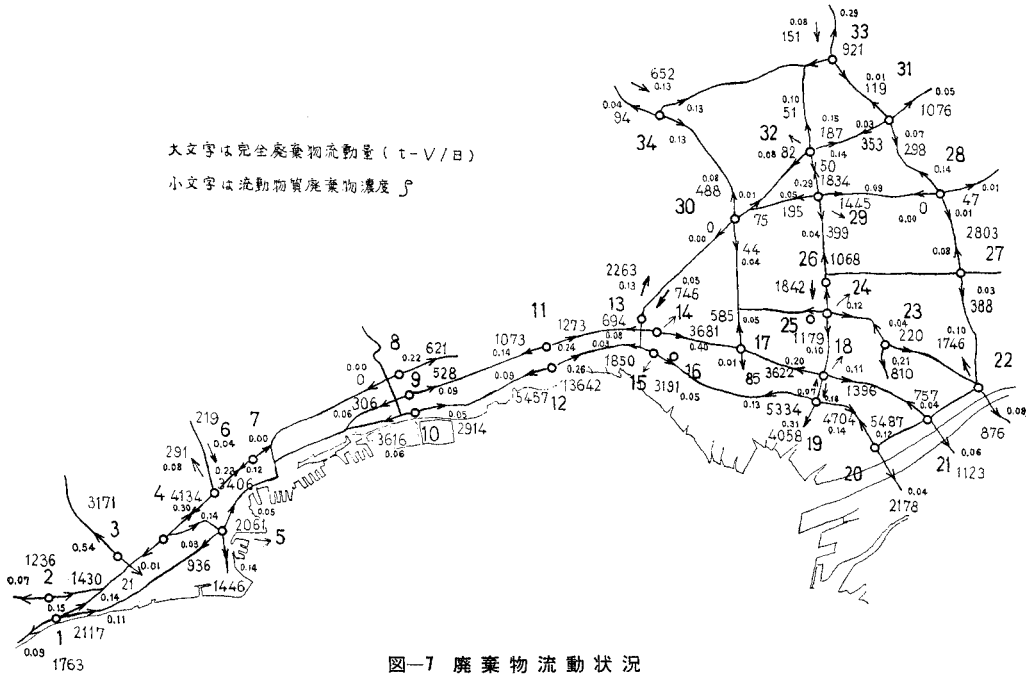


図-7 廃棄物流動状況

ると、耐久消費材の流動量は地域的にかなり平均化されている。土砂・ガレキでは建設現場の近くで完全廃棄物の大きな流れがみられ、別に質問紙調査で求められている運搬状況と比較して、10 km 程度の流動範囲をもつ完全廃棄物ならば、今回程度の測定地点の配置の断面流動調査によって、流動特性の概要を把握することができることがわかった。

次に、有用期間別に整理して、測定値の表わしている特性について述べておく。この有用期間とは対象とする物質が造られてから完全廃棄物化するまでの時間を意味し、実際にはこの有用期間値をはさんで一定の時間的幅の間に廃用がなされる。有用期間の分類は、完全廃棄物、中古品、1~2日、1~2週、1~2月、1~2年、5~6年、10~20年であるが、流動中の物質の流動時点での経過有用期間をその物質が元来もっている有用期間で割って求められた商の値に対応して 3. で示した廃棄物体の価値軸が定まることになる。しかし、7つの測定地点の往復交通中の流動物質には、明らかに使用中の物質(中古品)は少なく、廃棄物体のx軸を含む平面を通る流動量分布を求めたとしても、理想的には上下の面にそう薄い層状の部分に流動量が集中しているので、これに関するかぎりx軸についての連続量として取扱う必要はないといえる。しかし、次章に示すように、「流動」現象を断面流動調査レベルよりもさらにマクロなものとしてとらえ、有用期間中の静止物質をも流動の一部と考えれば有用期間別分類の意義は高くなる。

表-3 において、合計が100%にならないのは「不明」

表-3 有用期間別の環境構成物質流動量の割合 (%)

地点と向き	1 East	6E	14E	15E	29 South	27 South	20E
完全廃棄物	13.3	21.3	40.5	5.0	4.3	2.5	3.8
中古品	1.3	0.0	0.0	1.4	0.0	0.8	0.0
1~2日	2.6	11.9	0.0	0.2	1.5	0.0	0.0
1~2週	1.4	19.8	2.8	3.6	0.7	0.0	0.0
1~2月	7.8	9.8	12.7	7.4	10.2	4.4	5.4
1~2年	14.1	4.9	19.0	14.4	25.4	24.9	41.9
5~6年	8.9	6.2	9.9	12.6	19.0	40.7	3.6
10~20年	10.9	3.8	0.0	11.1	20.3	10.1	10.1

地点と向き	1 West	6 W	14W	15W	29N	27 Nouth	20W
完全廃棄物	9.0	30.0	7.8	3.0	29.0	7.8	12.4
中古品	0.2	0.0	4.2	2.0	0.0	0.0	1.2
1~2日	3.1	3.3	0.0	0.9	0.0	6.3	0.6
1~2週	0.5	8.3	3.3	1.3	2.8	3.9	0.0
1~2月	6.6	10.5	14.6	4.1	16.5	10.0	7.4
1~2年	14.4	14.2	23.4	23.5	6.8	24.9	15.4
5~6年	10.3	8.7	15.9	23.7	32.6	25.0	15.5
10~20年	14.7	18.3	30.9	13.8	5.8	12.9	25.1

がいくらかあるためである。この「不明」を引いた残りの30%以上はいずれの地点でも有用期間が1年を越える物質であり、この割合が70%に近い地点もある。10年以上の有用期間をもつ物質も平均して15%程度は含まれており、環境内に滞留時間の長い物質が多量に蓄積されつつあることを示している。有用期間別の流動量の割合の場所的特性については、工業地域の幹線道路では有用期間の長い物質の割合が高く、逆に都市内部の生活面での結びつきの強い一般道路では日用品などの週単位で廃用される短い有用期間の物質が多いことが認められる。

表—4 潜在廃棄物、完全廃棄物の蓄積量

単位 [t・v/日]

西部地区（神戸，芦屋）		In	Out	dR/dt
潜在 廃棄物	道路(断面流動調査)	118 662	137 188	- 18 526
	名神高速道路	0	0	0
	国鉄貨物輸送	—	—	- 2 252
	海上貨物輸送	116 335	81 432	+ 34 903
総計				+ 14 125
東部地区（大阪平野北西部）				
潜在 廃棄物	道路(断面流動調査)	195 498	207 720	- 12 222
	名神高速道路	15 754	17 167	1 413
	国鉄貨物輸送	—	—	- 655
	海上貨物輸送	28 026	4 418	+ 23 608
総計				9 318
完全廃棄物				
西部地区		7 077	15 596	- 8 519
東部地区		18 870	10 477	+ 8 393

さて、地域への流入量と流出量の差として蓄積が生じる。図—6 の測定地点 13, 14, 15 を境界とした東部地区と西部地区のおのおのについて、式 (6) に基づいて蓄積量を算出した結果を示したのが表—4 である。両地区とも道路輸送のみでは蓄積量はマイナスであるが、鉄道輸送、海上輸送を加えるとプラスとなるのは、臨海工業地帯の存在によるものと思われる。断面流動調査で測定された地区内外交換量に対し、東部地区では 5%、西部地区では 10% 程度が蓄積量となっている。兵庫県ならびに大阪府下での廃棄物発生量調査<sup>7), 10)</sup>を参考にして、 $1 \text{ t} \approx 1 \text{ t} \cdot \text{v}$  とし、さらに土砂量をさしひくと、上述のみかけ上の蓄積量の半分程度が完全廃棄物として発生していると考えられる。完全廃棄物のみかけ上の蓄積量はふたつの地区できわめて対照的で、大阪平野北西部が神戸、大阪からの完全廃棄物の集積地になっていることを暗示している。みかけ上西部地区では発生完全廃棄物の半分程度が地区外へ流出し、東部地区では逆に半分程度が流入しており、このひとつの原因は廃棄物処理場の配置に由来するものであろう。

ついで、環境計画上の重要な評価指標として、次の廃棄物濃度  $\rho$  を定義する。

$$\text{廃棄物濃度 } \rho = \frac{\text{完全廃棄物量}}{\text{環境構成物質(完全廃棄物+潜在廃棄物)量}} \dots\dots\dots (27)$$

図—7 には  $\rho$  の値をもあわせて示したが、この図から明らかになった特徴を列記すると次のようである。

i) 廃棄物濃度はおおむね、0.1~0.2 の間に分布している。工業地域などの幹線道路では全体の物質流動量が多いために、国道 43 号線にみるように  $\rho$  の値は低く、完全廃棄物の希釈現象が行なわれていると解することもできる。

ii) 廃棄物処理場の近辺の道路においては  $\rho$  の値は

高くなることが予想されるが、図—7 の No. 3 の北行、No. 20 の西行の値はそのためであろうと考えられる。

iii)  $\rho$  の値は方向によって同じ地点でも非常に異なっており、このことは潜在廃棄物より完全廃棄物の流動が方向性を持ち、流動の範囲が小さいことを示している。

iv) 廃棄物濃度の分布から完全廃棄物の流動の地域特性を知ることができる。地点 20, 21 ではおおむね  $\rho$  の値は西行の方が高い値を示し、地点 12, 11 (15, 14) では東行の方が高い値を示しており、これらの測定地点の間の大阪平野では廃棄物が集積し、それによる環境の劣化が生じている可能性がある。

式(22)は式(9)を  $x$  軸方向の廃棄物体の全域に積分して得られた式であるから、 $c$  はすべての環境構成物質の濃度とするのが妥当であるが、積分の範囲を限定することにより完全廃棄物のみを対象とすることができる。図—8 は往復流動量の差として実質流動量を求め、これを  $Q$  として表示したものであり、横からの流入量のほかに、国鉄と船舶によって出入りした貨物量をも記入してある。これをみると神戸港、尼崎港をもつブロック 2, 5 では、船舶輸送が決定的な影響をもち、実質では当該地域への流入がみられるが、道路輸送上で主要発着地の間には含まれたブロック 4, 6 では実質では当該地域からの流出がみられる。前者の場合は工場地域であるために潜在廃棄物の蓄積と完全廃棄物への急速な転化が生じていると考えられるが、後者の場合は断面流動調査をもとにした一次元解析法の問題点のひとつを示している。すなわち、実測されない境界からの実質流入が少なからずあるのにそれを  $q$  として把握していないこと、あるいは住宅地域などでほとんどが通過する生産材の流動の時間的変動を無視した測定時間の設定である。

ついで、直接に環境を汚染する完全廃棄物について考察してみる。ブロック 1 ではすでに述べたように廃棄物処理場の存在が流動を規定しており、ブロック 2 では発生した完全廃棄物が地域外に流出しており、ブロック 3 でも東の方向へ流出しているが、ブロック 4 では東の方向へ流動する完全廃棄物の一部が蓄積される形となっている。さらに残りの一部がさらに東の方向に流動し、ブロック 6 より流動してきた完全廃棄物とあわせて、ブロック 5 では流入・流出関係からは非常に大きい蓄積をみせている。ブロック 2 とブロック 5 をくらべるとすべての環境構成物質では式 (6) の  $[dR/dt]$  の値が同程度であるのに対して、完全廃棄物のみをとりだすとブロック 5 は正值、ブロック 2 は負値ときわだった対照をみせており、これはブロック 5 では主軸に直角方向に完全廃棄物の流動がかなり生じていることを暗示している。しかも調査時点では、土砂を中心とする産業廃棄物の大規模

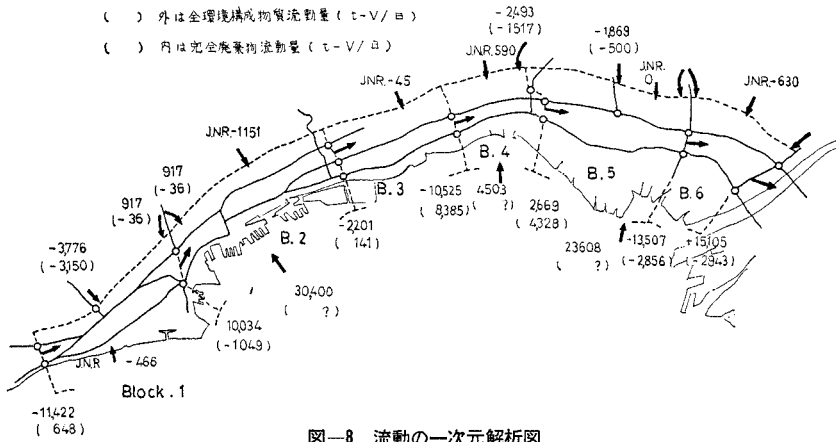


図-8 流動の一次元解析図

な埋立地も地域内に存在せず、主要幹線である産業道路からの流出量も少ないところから、主軸にそって一様に分布し、南北方面に浸透する型で流出しているものと考えられる。

以上、一次元的な処理の可能性を検討してきたが、結論として図-8の東部では南北方向の流動が主軸方向の流動に大きい影響を与えており、横からの流入量 $q$ をさらに具体的に表示してゆく必要があり、西部ではいくつかの集中流入として補正することにより、一次元流動として取扱うことは妥当であろう。

### 6. 拡散モデルの検討

以上の考察においては、式(1)の物質収支式を原則的に認め、これとは独立に半理論的な物質代謝方程式を検討し、これをただちに式(1)には代入しない方針をとってきた。しかし、 $K$ 値の特性などが明らかになる前に、断面流動調査結果によって、式(1)の積分に際して境界条件として与えられると考えてきた部分に流動の原動力が関与しているのではないかと思える状態が見出された。ブロック5にみられた上述の分布状の流出がそのよい例であり、帯状の地域内外の人口密度と関連させると、環境構成物質濃度の差に比例してその流動量が規定されているとの見方が可能である。すなわち、式(22)を次式のように修正する。

$$\frac{\partial c}{\partial t} + \frac{\partial(cu)}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial y} \left( D_y \frac{\partial c}{\partial y} \right) + q \dots\dots\dots(28)$$

この場合の $q$ は地域内外の交換量を含まず、地域内部での廃棄物処理量のみを意味する。 $D_y$ は環境構成物質濃度についての拡散係数であり、その単位はたとえば $\text{km}^2/\text{hr}$ のように表わされる。前章の終りに示唆した都市の形態の変化としては、都市域が周辺部に拡大していく場合と、束縛条件のために拡大されずに密度が高くな

る場合が考えられる。一般の都市のスプロール現象はこの二つの場合の中間タイプであり、内部の環境構成物質質量も増加しつつ都市域も拡大されている。内部の環境構成物質濃度が一定のまま都市域が拡大される場合に、その濃度が人口密度と比例的関係にあるとの仮定をすると、図-8の東部地区では年間人口増加率が5%程度なので、1人あたりの環境構成物質当量の

増加を考慮すれば、都市域の拡大は $11 \text{ km}^2/\text{年}$ ( $\cong$ 面積 $200 \text{ km}^2 \times 0.05 \times \alpha$ )程度となる。拡散係数のディメンジョンは[面積/時間]であり、都市域の拡大速度と同じである。この点から、都市域の拡大が束縛されている場合の拡散係数は無束縛下でのスプロール速度 $11 \text{ km}^2/\text{年}$ にいくらかの補正係数を乗じたものであろうと考えられる。参考のため日量に変換すると $0.03 \text{ km}^2/\text{日}$ 程度であるが、これらの値は完全廃棄物のみではなく潜在廃棄物を含めた流動量や存在量に対しての値と理解すべきであろう。しかし、理念的には内部の物質循環のおおのこの部分の空間的密度が高まると、廃棄物処理体系が十分でないとき、以前より多く発生した完全廃棄物は循環の空間的拡大を求めて、周辺部を経由して都市域外への拡散的狀況を示すので、拡散係数を次のように理解して数値を与えることも考えられる。

$$D = \frac{(\text{完全廃棄物量} : t \cdot v) \cdot (\text{面積} : \text{km}^2)}{(\text{全環境構成物質} : t \cdot v) \cdot (\text{時間} : \text{日})} \dots\dots\dots(29)$$

いま、式(1)の積分をまず最初に価値軸である $z$ 軸方向に行なうと次式を得る。

$$\frac{\partial c}{\partial t} + \frac{\partial(uc)}{\partial x} + \frac{\partial(vc)}{\partial y} = q \dots\dots\dots(30)$$

一方、環境構成物質の流動の原動力がその濃度の差に依存するものとして、

$$uc = -D_x \frac{\partial c}{\partial x}, \quad vc = -D_y \frac{\partial c}{\partial y} \dots\dots\dots(31)$$

とおく。式(30)ならびに式(31)の差分をとって、流動量 $Q_u (=uc)$ 、 $Q_v (=vc)$ の実測値を用いて、試行的に $c$ や $[\partial c / \partial t]$ を定めることが考えられる。例として大阪平野北西部(図-6の東部地区)をとりだし、式(29)の意味で拡散係数 $D_x$ 、 $D_y$ の値を暫定的に $0.05 \text{ km}^2/\text{日}$ のように与え、完全廃棄物の実測値から、No. 22を基準とした全環境構成物質濃度を求めたのが図-9(a)である。同じ操作をNo. 17, 18, 22について別途に行なうと図-9(b)のようになり、同一地点No. 17, 18の値

について的一致が得られない。

以上の解析はあくまで相対的なものであって、ここでは、式(28)または式(30)と(31)のような表示ができれば、断面流動量測定値を用いて二次元解析を行なうことが可能であることを示すのが主眼であった。現実環境構成物質の地域的な存在量分布と流動を把握するためには、拡散係数の変動を求めることももちろん重要であるが、やはり本文の最初からの意図にしたがって、モデル自身の妥当性を検討することが必要である。その点で、 $\rho$  の定量化を含め、環境の直接評価法の進展に期待したい。

## 7. 結 言

本文において述べた主要な内容を要約すると次のとおりである。

(i) 従来の環境改善に関する研究が、主として、現状に立脚した最適値探究型であることを批判し、人間を主体とした新しい物質循環システムの体系化の必要性を論じた。

(ii) そのための環境計画原理の記述は、式(10)を起点として構想されたものであるが、本文では価値軸を含む廃棄物を定義して、物質収支式を誘導・展開した。

(iii) 物質代謝式の半理論・半実験式として式(18)または(21)を提案し、物質収支式とは別に、計画誘導のための基礎式としても代謝式型を確立してゆく意義を述べた。

(iv) 物質収支式を変形して、都市の発展過程と物質移動形態を関連づける図解法(図-3)を提案した。

(v) 断面流動調査法の意義を述べ、阪神地域における物質流動の特徴を述べながら、廃棄物濃度や物質蓄積の観点からの検討方法を示した。

(vi) 物質収支式に拡散項を含めた場合の解析方法をも示し、都市のスプロール速度についても物理的説明を可能にした。

以上は、最初に述べたように、筆者らの新しい研究の最近4年間の成果である。引続き、 $K$  値の特性に関する質問紙調査法や環境直接評価法に関する研究、さらに物質流動のよりミクロな計画論的取扱方法の研究が相当進行しており、逐次発表する予定である。この間、環境システム構成に対する現状肯定の立場からは、流動ポテンシャルはすなわち経済ポテンシャルであり、筆者らの研究方法はあまりにもフローモデルにこだわりすぎるという批判もうけた。またその一方では、このような研

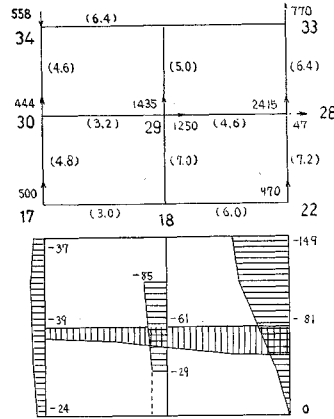


図-9(a) 拡散モデルの検討例 I

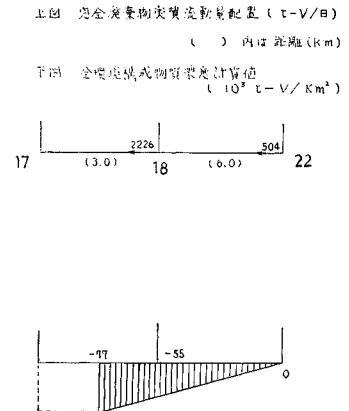


図-9(b) 拡散モデルの検討例 II

究は流れモデルの基本式の真の応用法の範例を示すものであるという意見を得ており、さらに生態学など他分野からの関心をもひきつつある。これらの研究のみで環境計画全般が律せられるものとはもちろん考えていないが、このような研究こそが、衛生工学の今後の視野の拡大につながるものと確信している。

なお、本研究期間を通じ、討議、資料収集、野外調査の段階で絶大な支援をえた住友恒助教授、山田淳助手、和田安彦助手、山岸善久技官、および調査、計算の補助をうけた学生 沢井 徹(現在三菱重工勤務)の諸氏に厚く謝意を表す。また、この研究の一部は、昭和44、45年度厚生科学研究費、昭和43、45年度大阪府都市廃棄物処理対策研究費の援助に負うところが大きい。昭和46年度からは、文部省科学研究費(一般研究)をうけている。

## 参 考 文 献

- 1) 末石：環境計画学，京都大学大学院衛生工学専攻，昭和43年度より開講
- 2) たとえば，末石：環境計画と廃物—環境における廃物の計量化への試み—，用水と廃水，Vol. 11, No. 7 (1969)
- 3) 末石：上下水道計画における計量化とその問題点，第3回土木計画学シンポジウム論文集(1969)
- 4) 末石：用途別給水計画の研究—発想と実現の可能性—，水道協会雑誌，No. 436 (1971)
- 5) 末石・和田ほか：下水道計画の高次化に関する研究(I)，(II)，下水道協会誌，Vol. 7, No. 79 (1970)，Vol. 8, No. 83 (1971)
- 6) 合田：水質の変化とその予報に関する研究，(2) 2次元等流としての厳密な解析について，第6回衛生工学研究討論会講演論文集(1970)
- 7) 都市廃棄物処理対策研究会：廃棄物に関する調査研究報告(1969)
- 8) 盛岡：廃棄物を指標とした環境の解析と計画化，京都大学修士論文(1970)
- 9) 都市廃棄物処理対策研究会：廃棄物に関する調査研究報告(1971)
- 10) 京大衛生工学教室岩井研究室：兵庫県下7都市における不燃性廃棄物の調査報告(1970)

(1971.9.13・受付)