

(7) メッシュ法による汚濁分析と水質物質の流出率に関する検討

——京都市内河川を例として——

(8) 下水道整備計画に関するシステム論的研究(I)

——とくに河川汚濁制御と面整備について——

(9) 下水道整備計画に関するシステム論的研究(II)

——とくに線整備について——

(討 議)

京都大学 高松武一郎

・ 内藤 正明

1. 環境防止システムの計画、設計に対する一般的方法論

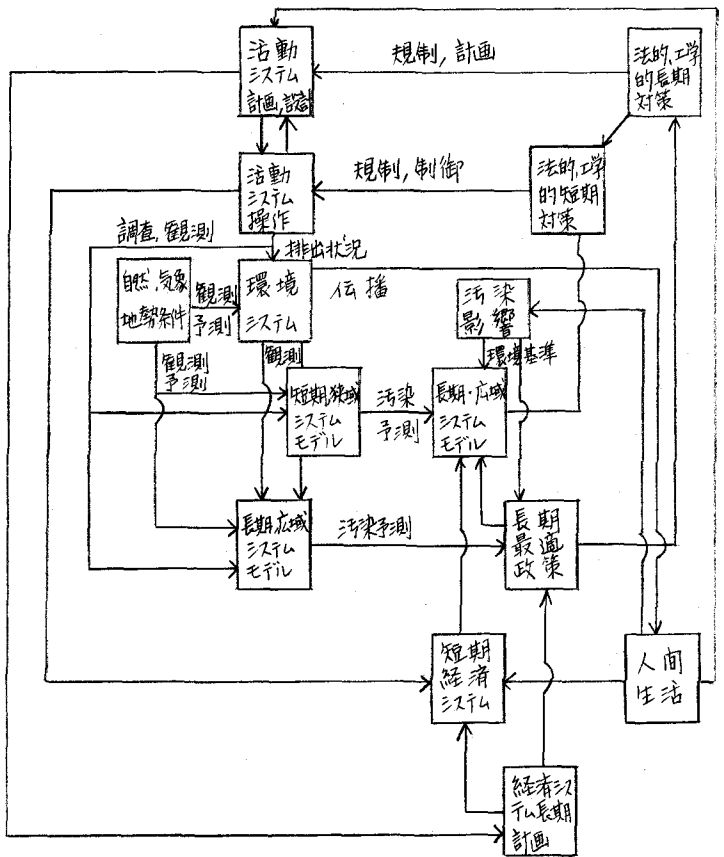
環境システムの計画の決定は極めて長い時間領域にわたるダイナミックプロセスにおける制御操作と考えることは容易に理解できる。しかもハードなシステムの建設という操作は短期間の間に自由に変更することが困難であるため、いわゆるフィードバック制御の原理による計画では不十分であり、将来の状態を予測し、それを基準にした最適は計画を決定し実行するフィードフォワード制御の原理が不可欠である。一般に将来の状態の予測にはかなりの不確定性を包含するものであるため、予測状態をもとにして求めた最適政策は多少の差はあれ、真の最適政策ではないであろう。従って適当な短期間の後、状態推定に用いた関係、すなわちシステムモデルが妥当なものであるかどうかを観測値を用いてチェックし、この修正したモデルを用いて将来の推定を行ない最適計画を決定してゆかねばならない。要するに、長期計画のための状態推定、あるいは最適政策の決定にはできるだけ広域的、長期的視野にたつてたてると同時に、できるだけ短い期間毎に修正を絶えず行なう、いわゆる適応予測制御の考え方がとられねばならない。

上記のような環境システムの汚染防止のためのシステムの設計、計画の方法論の一つとしてオ1図に示すような方式が一般的に考えられる。

オ1図の主要な部分は将来の状態推定のためのシステムモデルであるが、モデルの考え方の前に制御対策の時間的、空間的大きさの問題を明らかにしておきたい。一般に、あるシステムの制御の束縛条件、目的というのは、そのシステムを包含するより大きいシステムの必然性、最適性から規定されるべきものである。例えば、河川の水質をその流域の住民に対する環境保全を目的として制御した場合、河口付近での水質の劣化を引きおこすことが考えられる。この汚水が海域に流入して海洋汚染を引きおこし、海岸の漁業に影響がおこる場合には、河川の水質制御の条件のなかに、海への流入水質がある値以下であることという条件が入らねばならない。このように、環境汚染制御はあらゆる時間的、空間的大きさのシステムの目標を満足するものであることが要求される。なおこの大きさは連続的にどのようなようにも考えることができるが、現実には時間的、空間的に離散的にシステムを分割して制御を行なわざるをえない。

オ1図は一応、短期・狭域と長期・広域の2レベルに分割した環境汚染のフィードフォワード制御システムの考え方、構想を示したものである。活動システムからの汚染質が環境システムに入り、伝

播によって人間生活に入りこみ、その汚染影響の観測あるいは推定から、短期の狭域的な環境基準、長期・広域的な環境基準が設定されている。一方排出された汚染物質が気象条件、自然条件、地勢条件などの複雑な影響をうけて拡散あるいは化学反応をひきおこしながら環境中を移動してゆく過程のシステムモデルが出来れば、排出源および自然条件などから、任意の地点の汚染状態の計算が出来るはずである。特に社会、自然条件の予報が精確になればなる程、汚染状態の将来の値が精確に予知できることになる。この場合留意しなければならないことは、どのような環境状態を予測するにはどのような情報があれば十分であるか、ということである。例えば、ある都市の数時間後の環境汚染を



オ1図 環境汚染制御のシステム構想

推定するためには、いくつかに分割された地域からの汚染物質発生の情報と数時間の気象情報をもとに、いわゆる拡散式を用いて計算できるであろう。ところが、地球規模での大気域、水域のある汚染物質の平均値を推定したい場合は、もはや通常の拡散式よりむしろ大気中での降雨による吸収とか吸着などの速度を問題にせねばならず、地域内の詳細な汚染分布は不要であり、全体の年平均の発生情報が提供されるならば十分であろう。このように推定したい汚染状況が短期・狭域的か、長期・広域的かにより、モデルは勿論のこと必要な情報も異なってくることに注意しなければならない。勿論図にも示してあるように、短期・狭域的モデルの集合からの情報を長期・広域的モデル作成の資料とすることは十分考えられる。

いずれにせよ、環境システムのモデル化は、現在得られる入力情報をもとにして直ちに精確な値が計算できる程には進んでいない。従って過去から現在までの環境の観測値を利用し、これらの観測値をよく表現するようなモデルを作成するという考え方、すなわち適応モデルの考え方をとらざるを得ない。適応モデル方式をとったとしても、ある時点で作成したモデルは過去から現在までよく表現するかもしれないが、現時点から将来にわたるモデルを保障するわけではないから、気象条件、自然条件などの推定は依然として重要である。

不確定性を含みながらも将来の環境汚染状態が推定されたならば、その値を環境基準と比較し、も

し基準を満足しないことが予想されたならば、できる限り短い時間でしかも対象としている地域全体の経済性を考えて最も効果的に基準を満足させるような政策を決定しなければならない。この場合重要なことは長期・広域的なシステムに対して得られた政策を予言しないようにしなければならないことである。

このような適応モデルの原理によることの利点は、i) オール図のどのブロックも時間とともに変化するいわゆる動的システム、ii) 極めて多くの因子に影響される環境状態の表現に不可避の大きな不確定性の存在に対処できることである。そしてこのようなデータ処理を継続することによって学習制御の効果が期待でき、モデル化できなかった因子やその地域の特殊性などを抽出でき、年とともに精密な計画制御が出来るようになるであろう。

上記の環境システムの計画、制御の方法論の立場にたって以下に表記三論文に対する討論を行、てみたい。

2. 論文「下水道整備計画に関するシステム論的研究」について

まず最初に複雑な下水道整備計画の問題を数理計画問題に定式化され、定量的計画の算出まで進められた業績を高く評価したい。

本論文はオール図の表現では、活動システムとして下水道処理施設をとり、環境システムのモデルは簡単な1次反応形式の水質変化を考え、経済システム長期計画の表現と活動システムの操作により排出状況がどのように動的に変動するかをモデル化について特に詳細に検討しておられる。著者らは流域を局所地区に分割され、その分割地区から河川に入る汚水流入負荷 $g_i(t)$ を下水道整備レベルの関数として表現され、いわゆる地域の流達率が下水道整備の程度の関数となることを数式表現されたことは、従来流達率をスタティックに取り扱、てまたこの分野に大きなインテンションを与えるものとして評価できよう。本研究では各地域での自然的なカットの程度、すなわち下水道整備のされていない地域での流達率は一定、汚水の質も一定とし、推定汚水発生量の状態 $A_i(t)$ が時間に対して線形の場合に対して、各地区の下水道整備レベルを操作変数として最適計画問題を解いている。

目的関数は
$$\int_0^T \sum_{\text{地区}} \frac{(\text{自然的, 人工的負荷減少率})}{(\text{単位投下資本})(\text{単位汚水発生量})} dt \rightarrow \text{最大}$$

としており、負荷減少率、投下資本ともに操作量である下水道整備レベル $u_i(t)$ の関数である。

細かい部分の定式化には問題点もあろうが、複雑な問題を“目的関数”“束縛条件”“システム方程式”の形にうまくまとめ表現されたことはすぐれた業績と考える。

次に上記の研究に対していくつかの問題点をあげてみたい。

i) 境界値問題を解くという表現と、 $x(T) \leq \text{Desired values}$ を満足すればよいという条件は異質ではないだろうか。何故なら $x(T) \leq \text{Desired values}$ を満たす種々の $x(T)$ が存在する筈であるから、この論文の方法で得た $u_i(t)$ は一つのfeasibleな解を与えているだけで解釈すべきではないか

ii) もし上記のfeasibleな解でよしとして、6次元の u_i の仮定値の修正は実際にどのような方法をとられたのか示して頂ければ皆の参考になることと思います。

iii) 各地域に一つづつの処理施設が設けられるという仮定に対し、今後各区域の分割方法の相異による

最適政策の変動などの考察も期待したい。

iv) 計画水量 $A(x)$ は極めて不確定な量であり、この変化に応じて下水道整備レベルの最適操作などの程度変化するものであるかなどの感度解析的考察が実現には必要と思われるので、今後の御研究を期待したい。

v) 「適応制御プロセスの観測よりの研究」との主旨が論文の初めに述べられているが、著者らが「適応」と称せられる意味はどのようなものかを明確にして頂ければ諸君の理解を助けることになる。

次に著者らの線整備計画に関する論文であるが、これは面整備計画が立てられたなら、それを満足し、しかもコスト最小になるような幹線の施設計画を論じたものである。幹線の施設が何時建設されるかを、将来になれば有効処理効果がいくなると考え、異なるパラメータでその度合いを表わしている。

筆者は本論文に対して次の諸点をおたずねしたい。

i) 線整備計画は面整備計画に対応するように定めるという1頁目の論旨と3頁目の面整備状況はみによって変化するという論旨の関係を論文1との関連において補足説明して頂きたい。

ii) 人口密度 $y_i(x)$ 、投資効果パラメータ α_i 、幹線延長に対応する面積 $A_{ij}(y)$ など極めて不確定な量によって求められる幹線計画の解の信頼性はどのようなものかに対する御意見をおまじしたい。

3. 論文「メッシュ法による汚濁分析と水質物質の流出率に関する検討」に対するコメント

水域の環境を表現する状態変数は時間的、空間的にみて無限大あると考えねばならない。しかし現実的には有限個の状態しか測定しえない。著者の述べているメッシュ法とはこの状態変数の数を増加させることに相当する。都市河川の汚濁の状況を算定するため、都市域一律でないところに細かい流出率の分布が必要であることは著者のいうとおりである。

実測負荷量 $y_i = \alpha_i x_i$ x : 原単位基準負荷量 α : 流出率

の関係において著者らは、まず y , x を与え α を計算し、 α が不合理な場合、 x を、ついで y を修正して、合理的な α を選定している。この場合の修正の論理はいかなる原理にもとずけばよいのか。なお合理的な α はある有限の中をもっているであろうから、ユニークな α を決定することは困難であろうと思われるが……。

筆者は著者が極めて重要な事柄を論文中で指摘していることを評価したい。それは、i) 適当なメッシュの存在 ii) 平均水質を論ずる場合のサンプリング間隔の重要性 である。

著者らの指摘通り、流出率の算定は負荷予測のため必要なパラメータであるが、この値は気象条件、地勢条件、下水道整備など多数因子の関数であり、時間関数と考えるべきである。解析的にこれらの値を求めることが不可能な現在、水質の観測を十分に行なうことが先決であり、適当なメッシュでの流出率が十分の精度で計算できる観測数と位置の決定の方向への研究が期待される。