

京都大学工学部 正員 高橋琢馬
 京都大学工学部 正員 O池淵周一
 日本国有鉄道 正員 藤岡繁樹

1. はじめに.

本研究は水需給構造を一つの社会システムとしてとらえ、その階層的構造の把握、予測にシステム・ダイナミックス手法を適用したものである。すなわち、水需給構造を人口、土地、上水需給、工業需給、水源開発、排水汚濁・処理構造の各サブシステムに分割し、フィードバック機構を考慮した構造方程式を組み立て、いくつかの政策変数を組み合わせたシミュレーションを行なうことにより、水を中心とした社会構造の将来を探ったものである。

2. 社会システムとしてみた水需給構造.

今日の水問題は需要、供給、排水汚濁を個々独立にとらえることはできず、それらの有機的な関連構造を量・質・コストの3側面を包含しながる統合的にとらえなければならぬ段階にきている。しかも、我々の人間生活・産業活動にとり、現状の水需給は量・質・コストの面で決して満足のいくものではなく、そのギャップを改善・緩和させるために講じた対策、手段があるものは遅れをとると、あるものは必ずしも、再び我々の生活・産業構造にはね返り、時間の経過とともにこのプロセスが繰り返される。このように考えると、我々は水需給構造を一つの社会システムとして体系的にとらえるべきであり、しかもそれらのシステムの階層的フィードバック構造を正しく認識しなければならぬことに気付く。図-1はこうした考えの下で需要・供給・排水汚濁の相互関係をフローチャートで示したものである。

さて、こうした水需給システムの広汎でかつ複雑な相互関係、およびそれらのダイナミックな特性はもはや従来の範囲を越えており、シミュレーション手法の導入が不可欠である。ここに、システムの階層的フィードバック構造を組み入れたシミュレーション手法、すなわちシステム・ダイナミックスの水需給構造への適用がある。

3. システム・ダイナミックス(S. D)の基本構造.

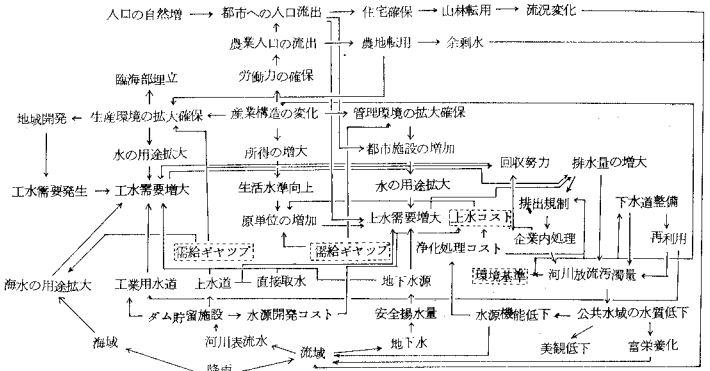
S.Dの基本構造はi)システム内のフローの種類とあるレベル(記号; \square), ii)あるレベルの内容を他のレベルへ運ぶフロー(通路は——で表示), iii)レベル内のフローの大きさ(レイト)を決める意志決定機構(記号; $\square \times$), iv)意志決定機構とレベルを結ぶ情報の通路(……で表示), の4つのファクターからなっている。なお、計算の手法は時間の流れJ, K, Lに従って、解答時間DTごとに計算され、レベル方程式はJ時点のレベルと時間間隔JKのレイトからK時点のレベルを計算するプロセスを示し、レイト方程式はK時点のレベルが計算された後2次のステップである時間間隔KLのレイトを決めるプロセスを示す。

4. 水需給構造のシステム・ダイナミックス・モデル.

システム分析の目的は、必要な工業生産の拡大を可能にし、人間生活を営むに十分なだけの水資源を確保しながら、しかも廃水の排出先である河川の環境基準を守り、ていくには、どのような手段を用いて、いかなる政策ルールによつて実施していかれば良いかと、システムの動向をみるから、その量的な目安を見い出すことにある。このことは、水そのものの量的な動きが、質・コストなどのはね返りを受けて、どのように動くかといったことを追求することにより、水政策の上で重要と見る指標を求めることでもある。なお、システムの空間的域がりとしては近畿圏を、時間的域がりとしては昭和40年から89年までを、対象とする要素は図-1の範囲を逐んどモデル化している。またトータルシステムを人口、土地、上水需給、工業需給、排水汚濁・処理構造のサブシステムに分割し、モデルの内部構造をより詳細にさぐるようにしている。ここでは紙面の都合上、各サブシステムでのレ

ベル方程式、ライト方程式の詳細は省くが、基本的な考えは、以下のようなものである。

1) 人口構造のサブシステム；人口の自然増加はもとより、産業活動にともなう1次、2、3次産業就業者人口および他域からの流入就業者人口の増減を考えている。2) 土地構造のサブシステム；1次産業就業者人口の減少にともない手離された耕地が工場敷地および宅地



図一 水需給構造のフロー図

へ転換されるプロセス、臨海埋立地が工場敷地に付加されるプロセスを取り扱う。3) 上水需給構造のサブシステム；上水需要を家庭用と業務用に分け、前者においては人口・生活水準・上水道普及率に、後者は工業出荷額に関連させて予測している。さらに昭和50年以降は水源開発や浄化処理などにもなる上水コストの上昇が必要を抑制する構造をも導入している。一才、上水供給はダム等の建設により開発供給される河川表流水と、従来からの地下水供給でまかなわれる。4) 工業需給構造のサブシステム；工業を冷却・温調用水とその他工業（原料・ボイラー・洗浄処理用水）に分け、それぞれの需要を工業出荷額に結びつけて予測している。また、冷却・温調用水は海水・淡水供給でまかなわれるが、不足する場合は回収率の向上、さらには下水処理水の再利用を計り、それでも不足する場合には工業出荷額の増加にブレーキがかかる。5) 水源開発構造のサブシステム；湖沼水、河川表流水をダム・堰などの建設により開発し、上水道、工業用に供給する。なお、水源開発にはダム適地の枯渇水途補償などの問題があり、開発の遅れおよび開発コストの上昇がみられるので、モデルではこれらの点も考慮している。6) 水質汚濁・処理構造のサブシステム；上水道用および工業用水は利用後、湖沼や河川に排出され公共用水域の水質汚濁を激化させている。ここではそれを防止すべく処理技術の向上、下水道の普及、さらには排出規制を計っている。また、水質汚濁は浄化処理コストにはね返ってくるので、コスト面からの汚濁原単位の減少も考えている。以上の各サブシステムを一つにまとめると、トータルシステムが構成されるが、各サブシステムを結ぶ代表的なフィードバック・ループである工業出荷額の伸びは、i) 工場敷地面積の対前年度比、ii) 水不足の場合は水不足を全てかぶることになる、という冷却用水の対前年度比、iii) 工業からの河川放流汚濁量が水質基準を越えるときは、下水道普及率の対前年度比、の3つのうち、いずれかが伸びが最も少なくなるものに従うとして導入している。

5. シミュレーションの結果と考察

シミュレーションに当っては昭和40年を基準年度とし、政策変数として、i) 水源開発の進捗度、ii) 下水道普及の進捗度、iii) 上水管布設の進捗度、iv) 水質基準、v) 再利用、vi) 漏水防止、vii) 企業努力、行政指導による汚濁原単位の減少、viii) 企業努力による用水原単位の減少、ix) 上水コストによる用水、汚濁原単位の減少、の9つを選んだ。政策変数の組合せは非常に多いが、ここでは表-1の19通りに限定してシミュレートした。図-2、3はシミュレーション結果の一例である。他の結果と

表一 政策変数の組合せ

政策変数 シミュレーションID	水源開発	下水道普及	上水管路延長	水質基準	再利用	漏水防止	工業汚濁原単位減	工業原単位減	上水コスト効果
1	遅	遅	遅	厳	×	×	×	×	×
2	遅	遅	遅	緩	×	×	×	×	×
3	遅	急	遅	緩	×	×	×	×	×
4	急	急	急	緩	×	×	×	×	×
5	遅	急	遅	緩	×	×	×	×	×
6	急	急	急	厳	×	×	×	×	×
7	遅	遅	遅	緩	○	○	○	○	○
8	遅	遅	遅	厳	○	○	○	○	○
9	急	急	急	厳	○	○	○	○	○
10	遅	遅	遅	緩	○	○	○	○	○
11	遅	遅	遅	厳	○	○	○	○	×
12	急	急	急	緩	○	○	○	○	×
13	早	早	早	緩	×	×	×	×	×
14	早	早	早	緩	×	×	×	×	×
15	早	急	早	緩	×	×	×	×	×
16	早	早	早	緩	○	○	○	○	×
17	早	早	早	緩	○	○	○	○	○
18	早	早	早	緩	○	○	○	○	×
19	早	早	早	緩	○	○	○	○	○

注) 遅：建設年数100年 早：同50 急：同30 厳：厳い基準・規制 緩：緩い基準・規制 ○：採用 ×：不採用

も合わせて考察すると以下のようなものである。1)工業用水とくに冷却・温調用水の供給は将来ますます回収水、海水に依存する傾向を示し、工水道、上水余剰水、その他水源などによる淡水供給量はボイラー・原料・洗淨処理用水をまかなうにすぎない。したが、こ、回収水、海水の利用、拡大が無ければ工水不足を招き、工業出荷額の停滞さるには減少という事態に陥らう。2)工業成長が続く限り、1次産業就業人口は減少し、それが2、3次産業就業人口を増加させるとともに、耕地面積の減少を通じて宅地面積、工場敷地面積の増加をもたす。だが工業成長が滞ると、単位面積当りの工業出荷額は企業の技術レベルの向上により増加するものの、工場敷地の確保が停滞気味になり、それが再び工業出荷額の増加を抑制する。3)水源開発の進捗度は工業出荷額の増加に大きな影響をもたらすが、安定した成長を継続させるためには急ぎである、とても良いというものではなく、下水道普及、上水管路の建設と関連させて開発すべきであり、しかも厳しい水質基準の設定をあわせて必要である。4)工業出荷額の増加、上水需要の充足、水質指標の改善をあわせるためには、水源開発、下水道、上水管路延長といったハードな施設群のすみやかな建設はもとより、厳しい水質基準、漏水防止、下水再利用、企業努力・行政指導による用水・汚濁原単位の減少、上水コストによる用水・汚濁原単位の減少といったさるかといえはソフト面での努力も必要である。その他、いくつかの成果が得られたが、紙面の関係で省略する。

6. あとがき

健全な水需給の発展を計るには、個々の政策変数が生体に及ぼす影響を十分に認識した上で、それらのシステム内における有機的な関連性を追求することによ、て、はじめて最適政策・手段が導き出されるといえる。こうした意味で、本モデルでの考察から得られた政策提言として次のことが言える。すなわち、回収努力、海水利用の促進、厳しい水質基準、漏水防止、下水の再利用、企業努力・行政指導による用水・汚濁原単位の減少、上水コストによる用水・汚濁原単位の減少、これら全てを組み合わせた政策手段を講じることが、工業成長の安定的かつ長期的な発展の維持、工水不足の緩和、上水の充足100%、水質指標(BOD指標)の10ppm以下への改善、これら全てを満たして欲しい。もちろん、低成長、節水、環境基準をある程度緩和するならば、これら全ての厳しい組合せは幾分緩和されよう。

最後に、こうしたSDモデルの構成およびそのモデルの実証においては種々の統計資料が必要であるが、1)近年しか資料がない、2)統計のとり方が変更されている、3)全国的な数値はあっても対象地域のものがない、4)他の資料と比較すると矛盾する、5)全く資料がない、などの問題にそうぐうすることが多く、統計数値の分類、整備は地道な仕事とはいえ、非常に重要であることを強調しておきたい。

図-2 シミュレーションN0.1

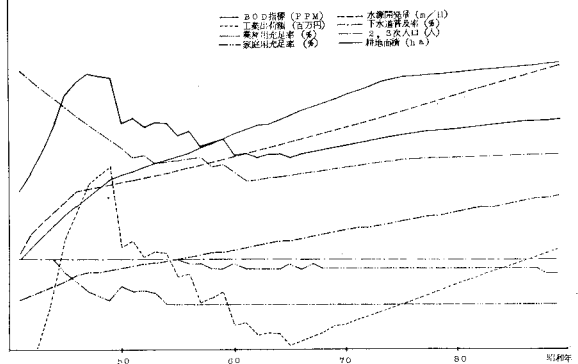


図-3 シミュレーションN0.9

