

水 資 源 論 序 説

東京大学工学部 工博 高 橋 裕

1 水資源問題の発生と条件

資源問題としての水を論ずる場合、それを規定づける根拠をつぎのように分類して考えることができる。

- (1) 水資源の存在状態、それを支配する自然法則
- (2) 人間との関係、人間の水資源への働きかけの特性
- (3) 働きかけられた自然からの、水資源を媒介とする人間社会への反作用の特性

このように分けられるのは、水を資源として取り扱うようになって以来の、水資源問題の展開の整理から得られる。

- (1) その存在状態から水を眺めると、ほかの資源と異なり、量的にはきわめて豊富であり、しかもつねに流動し、大気圏、水圏、岩石圏にまたがって大きな循環をしているという特性を有している。
- (2) 人間の水資源への働きかけは、まず農業に始まる。今日発見される太古の住居は、ほとんどかつての川や海岸近くであり、水が飲料として食糧を生産する手段として不可欠であったことを物語っている。最初の文明が築かれたナイル川、チグリス川、ユーフラテス川、インダス川、黄河の流域は、いずれも定期的に氾濫するが、その運ばれた肥沃な土壌と常時の水を利用して、かんがい技術を育て、すぐれた文明の礎を築いたのであった。

中国や日本においては、治水はつねに国家にとってもっとも重要な問題であった。この面でおこなわれた人間の努力は、わが国土の至る処に歴史の刻みとして遺されている。

かつては人間の水への働きかけは単目的であった。現代に至り、さまざまな目的が水に課せられ、それらが競合してきた。しかもそれぞれの目的の規模が拡大し、これらを進んだ技術で同時に解決しようという方向で、人間の水資源への対処が進んでいる。

- (3) 人間の水への要望度が増大し、水への働きかけが拡大化すれば、その反作用も大きくなっている。

元来、自然に存在する水を、資源として取り扱わねばならなかったのは、この作用反作用の問題故といってもよいであろう。水を利用するといっても、利用形態が高度化すれば、水を採取し運搬し処理するには、資源の取り扱いとならざるを得ない。しかも採取、運搬、処理を含む開発は大規模となり、自然への大きな力となって働き、その反作用を招くことになる。

すなわち、水資源問題発生由来、ならびにその対処にあたっては、水と人間との交流、そこに介在する技術との相互関係が追及されねばならないことになる。その関係は図-1のように、より総括的に自然と社会と技術の関係としても捕えることができよう。



図-1

2 水資源問題の考え方と計画手法

2.1 水資源問題の考え方の原理

すでに述べたように、“水資源”という概念は、自然に存在するだけの水ではなく、水と人類活動との交流における水を意味している。すなわち“人間と水”との基本的関係を分析することが、水資源問題を考える場合に欠くことのできない項目となる。

“人間と水”の基本的関係を検討する場合、便宜上つぎのようにその思考内容を分類することができよう。

① 自然状態における水

自然における水の存在、循環は多様にして複雑である。しかもつねに変動し続けている。海洋や陸地から蒸発し水蒸気となり、やがて雨や雪となり地上に落ちる。地表を流下した流れが集まり川となり、下って海へ至る。その間、地中に浸透して地下水となったり、浸透したのち川へ出てきたり、さまざまに運動する。

水循環のなかのある過程での運動の量的ならびに時間的關係を追究するのが水文学のもっとも重要なテーマである。すなわち、自然界における水の循環と運動には一定の法則性が支配していると考えられる。その法則には力学的なものから、地球物理学的なもの、生態学的なものなど種々含まれている。

自然における水についてのつぎに重要な点は、水の現状ならびにその法則性の認識も歴史的所産であるといえることである。しかも、現代における科学技術の発展が、人間の自然への働きかけの量を増大させ、大きな質的変換をもたらし、歴史的所産である点を一層はっきりさせている。つまり水をめぐる自然そのものが生きているという認識である。特に人類活動との関連については項目をあらたにして考える方が分かりやすい。

② 人間活動の水への働きかけ

水資源を人間の役に立たせるために、われわれはさまざまな技術を駆使する。その内容は技術の進歩に応じて高度化してきたが、いずれにしても技術の内容をつぎのような段階に分けて考えることができる。①水資源の開発 ②水資源の輸送 ③水資源の利用 ④水資源の処理。これらの個々の技術はもちろん、全般的な計画、管理は土木技術者の役割とされている。①については昔からの農業用水堰から現代のダムに至るまでさまざまな進歩段階がある。地下水の探査や最近の工業用水湖などもこの項目に入る。②については、開水路や管路によるもので、水門やその操作をめぐる技術はもとよりのこと、輸送途上に生ずる洗掘とか堆積現象に対する技術なども含まれよう。③は、その利用目的に応じてさまざまな形態がある。利用し得る状態にするための浄水も広義にはここに含めてもよからう。かつては、飲料水などの生活用水と農業用水、それに水運であったが、明治以降は工業用水と水力発電が徐々に重要な地位を占めてくる。と同時に近代都市の形成とともに近代的上水道が重要な水利用として姿をあらたに出現する。工業の飛躍的発展とこれに呼応するダム技術などの進歩は、工業用水と水力発電を大規模化するとともに質的にも大きな変革をもたらした。④は下水処理、排水などであるが、大都市の誕生と工業の発展は水処理の問題を急激に重大化せしめつつある。

これからは、開発技術もさらに高度化複雑化する一方、利用に関してもレクリエーションとか自然保護といった目的が加味され、しかもそれらの重要度が増してくるであろう。また水処理は一層困難ではあるがその解決が急を要する問題として出現してくると推測される。

ここにひとつの大切な点は、洪水対策である。水資源の利用を考える場合には、いつの時代でも洪水対策との調和が強く要請される。現代においては、ダム技術の進歩に応じて多目的ダムという手段でこれに対処しようとしている。洪水処理の水利用の技術と方策の調和は、水資源計画上いつの時代いずれの国においても重要なテーマである。しかも注意すべき視点は、その調和のための具体的方法は、時代により国によりさまざまであり、その回答は固定的なものではないということである。それは、人間と水資源との関係における特性のひとつである地域性の問題でもある。

すなわち、人間活動の水への働きかけを調べるにあたっては、地域性とか歴史性などを考慮した縦横の複合関係に深く留意しなければならないといえる。たとえば、河川に治水工事を施すにしても、その河相に応じた計画なり工法をおこなうことによって、その成果を期待できよう。これも地域性といつてよい。治水の手段や目標は、技術の程度にもよる一方、時代時代に応じた流域での土地利用や水利用の実態によって著しく影響される。これは地域性を加味した歴史性といえる。

③ 水を媒介とする自然から人間への反作用

自然にはさまざまな自然力が支配しており、自ら自然法則によってある均衡が保たれている。

人間が水を利用しようとして、あるいは洪水を処理しようとして、さまざまな科学技術を駆使して自然に働きかけると、それが自然界に対し自然力とともにひとつの作用力として働く。それは当然期待どおりの反作用とともに、しばしば思わざる反作用をも招く。その反作用がつぎつぎと連鎖反応的に生じ、当初は人間が予想をもしなかった結果をもたらすこともあり、そればしばしば災害の形になってあらわれる。それは、人間の自然に対する認識の不足、部分的な理解による場合が多いと思われるが、その反作用をある程度予期していても、その対抗策があらかじめ打たれなかったり、その方法が見出し得ない場合もある。

最近是人类活動がきわめて活発になり、自然へ働きかける技術が著しく進歩して大規模になったため、その反作用もまた大きくなってきたといえる。

反作用の実例は無限にある。洪水処理の手段として信濃川で、大河津分水と呼ばれる放水路を掘ったのは明治末期から大正時代にかけての約15年間であった。このため、その直接目的は達したが、さまざまな反作用がその後20年くらい経てから顕著にあらわれてきた。放水路口のデルタ形成、放水路の河床低下、旧川の河床上昇とそれによるかんがい排水や舟運への悪影響、河口港への土砂滞積、旧川河口付近の新潟海岸の欠潰などである。

捷水路を切れば、一般に本川での捷水路上流側は河床低下し、下流部では河床が上がる。ダムを築けば、その下流部では河床が洗掘され、上流側の人工湖には土砂が滞積する。期待した目的とは別に、それらはしばしばわれわれの生活に好ましくない結果を招く。しかもその的確な予測が困難なために、厄介な争点の種となりやすい。

東京江東地区、名古屋南部、尼崎などのデルタに見られる地盤沈下もまた、自然からの反作用の好例と見ることができる。工業の発展に伴う工業用水用として地下水の汲み過ぎがおもな原因となって地盤が下がり、災害に危険ないわゆるゼロメートル地帯が生じてしまった。

反作用は一般に、自然への働きかけの直接目的達成とは別の面で生じ、いわゆる予期しない結果を招くことが多い。しかしある程度長期間にわたってその因果関係を追究すると、表面的にはその直接目的に対してさえ逆効果を来すような反作用を呈することもある。明治以来の治水のための改修計画について、そのような成り行きが認められる。すなわち、明治中期以降における治水の目標は、洪水流を一刻

も早く海へ放出するということであった。そのため、河道に沿って兩岸に連続堤防を築き、洪水氾濫をなるべく少なくするようにした。その目標は達せられ、洪水流は集中して河道に達するようになり、洪水流は以前よりもかなり早く海まで達するようになった。しかし、反面従来の出水時には自由に氾濫していた流水部分も一時に河道に集中する結果、出水の出足が早くなる一方、中下流部河道部での最大流量もまた大きくなってきた。すなわち、同程度の豪雨に対しても、下流方面の最高水位や最大流量は従前より大規模化してきたのである。そのため従来の河巾や堤防高では不足し、堤防欠潰を起しやすいという結果が生まれる。治水のために打った手のために、洪水規模が大きくなり、従来の計画では間に合わないということになる、表面的には自己矛盾の現象を呈することになる。このような現象のあらわれは時代の経過を越えて考えれば、さまざまな分野に見られることといえてよい。もし、時代と国々により治水の直接目標が違うことを理解しないと、たとえば上述のような改修計画は失敗であったという結論が導かれてしまう。ここにもまた水文学的現象さらには水害現象における地域性と歴史性の把握の重要性が認められる。

以上、人間と水の基本的関係における三要因をならべてみたが、これらを通じて重要な視点は、水資源をそれぞれの時代における住民の生活や産業の要望、技術、経済との関連においてとらえるべきであるという点にある。つまり、水資源と人間との関係は時代の進展とともに変転してゆく、きわめてダイナミックな関係である点を重視すべきであるということになる。しかもそのダイナミックな関係は、それぞれの時点において水を媒介とする自然界のバランスを保とうとする方向に向っている。そのバランスは、自然界での各種作用力に大きな変化が無ければ、そのままに保たれる。作用力に幾分の変化があっても自然界はかなり強い復元力を持っているので、バランスが保たれてゆくのが普通であった。

しかし、現代ならびに将来においては、人間と自然との関係において人間が主体性を持つと考えてよいであろう。それは自然に対して働きかける技術手段がきわめて有力になってきたからである。それをもたらしたのは、いうまでもなく科学技術の進歩であり経済規模の拡大であるといえる。しかも、それらが現代において、急角度に伸展したという点に注目しなければなるまい。したがって、自然界のバランスが破られる機会が増えたといえる。しかし、一般には一旦バランスが破られても、作用力の変化に応じてあたらしいバランスを求めて自然は動くと考えられる。にも拘らず、その破壊の衝撃があまりに強力であると、バランス復元に至る道はきわめてけわしくなる恐れがある。

水資源問題を資源論的に検討するに当たっては、以上のような原理的考えをつねに念頭に置くことが必要であり、水資源の基本計画に際しての理念を形成する要素だといってもよいであろう。つぎに、そのような理念を実際の水問題の考察にどのように適応させたらよいかについて試論を展開して置こう。

2.2 個々の水資源問題への応用

水資源をその利用目的によって分類して考えるのが常識的であろう。ここでは発電水力、農業用水、工業用水、都市上水、さらに治水に分類して問題整理の方向を探ってみることとする。

(1) 発電水力

発電に対する水資源の役割を概観するに当たっては水力技術の発展段階と、産業界における水力の位置の変遷（エネルギー構造、水力の産业内での利用内容など）を柱として、それらの因果関係を追究することができよう。

わが国で水力発電が誕生したのが1892年（明治25年）で、それ以後とくに大正以降水力技術は著しい

進歩を見せ、かつわが工業も目ざましい発展を遂げたため、上に述べた因果関係さらには波及効果の様相は、時期によって相当異なる。それがなぜ、どのように異なるかを仔細に攻究することによって、水力としての水資源の占めてきた役割、その評価が資源論的に、もしくは技術論的に解きほぐすことができよう。

しかも、この場合わが国のエネルギー構造のなかに占めてきた水力の高い比率についての考察を伴うこともひとつのポイントとなり得る。単に水資源に恵まれていたからといった種類の単純な把握でなく、そもそも、わが国が国民所得の割に相当高いエネルギー生産をおこなってきた原因とにらみ合わせ、日本のエネルギー構造の特質との関連で、問題を追究すべきであろう。

前節で述べた検討事項をここに適用するならば、水力から見た水資源の自然的存在状況、水力開発技術の内容とその発展段階、開発の推移、開発に対する自然の反作用すなわちほかの利水との競合調整、ダム建設に伴う家屋の立退き、環境の変化、ダムによる土砂堆積などが検討事項となる。

このような思考をひとつの柱として、一方水力がわが国の産業の内容にどのような貢献をしてきたか、産業での水力の利用法に、わが国水資源の持つ自然的特性がどのように反映してきたかなどを調べることによって、水力の性格が解かれてゆく。

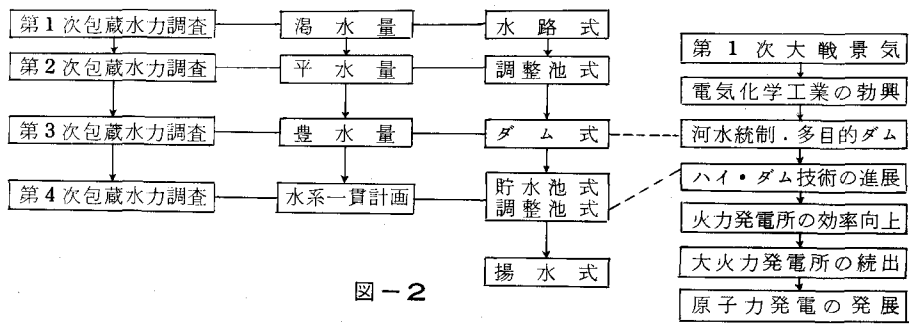


図-2

(2) 農業用水

農業用水はおそらくもっとも古くからの水利用ということができよう。わが国では江戸時代に農業水利事業が全国各地に勢力的におこなわれ、それらは国土へのすぐれた遺産として明治政府に引き渡された。それはまた明治以後にわが国が近代化に成功する礎になったと見なすことができよう。

明治初期までは、農業水利をめぐる調整は主として農業用水同志の競合に対して必要であった。しかし明治中期以降、事情はきわめて複雑になってきた。新生した発電用水、工業用水、都市のぼう張に対する都市上水、ならびに治水のそれぞれと農業用水との競合がさまざまな形で起ってきた。それぞれの水利調整ごとに相当に複雑な因果関係があるが、ここでは河川総合開発における水利調整について例示して置こう。

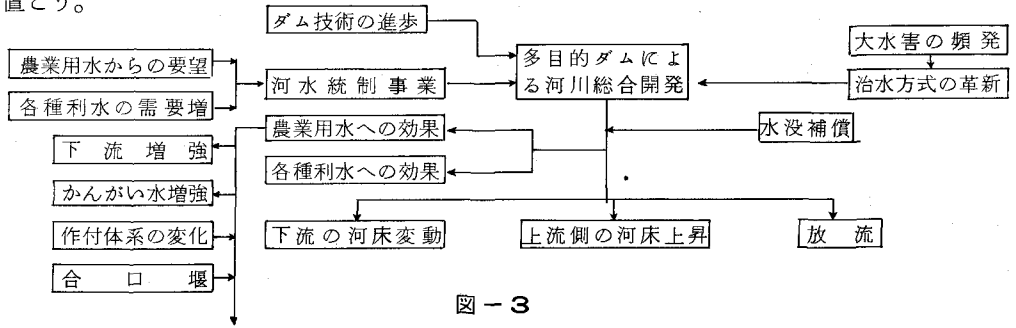


図-3

(3) 工業用水

明治以来、工業の発展とともに工業用水の需要が増えてきたが、第2次大戦後になって水資源として工業用水の性格はガラリと変わったといえる。工業規模の拡大で水需要量が激増し、かつその用途についても変貌してきた。このような傾向は特に昭和30年代に入ってから、いわゆる高度成長時代に至って著しい。その傾向を一口でいえば、工業用水の利用の型にも重化学工業化の影響がはっきり見え出したということである。重化学工業すなわち鉄鋼業、化学工業、合成セメント工業などはいずれもいわゆる用水型工業に属する。すなわち重化学工業化率が高まることは、工業用水の使用量が非常に大きくなることを意味する。その用途は冷却用水が圧倒的に多いのも、重化学工業におけるひとつの特色といえる。

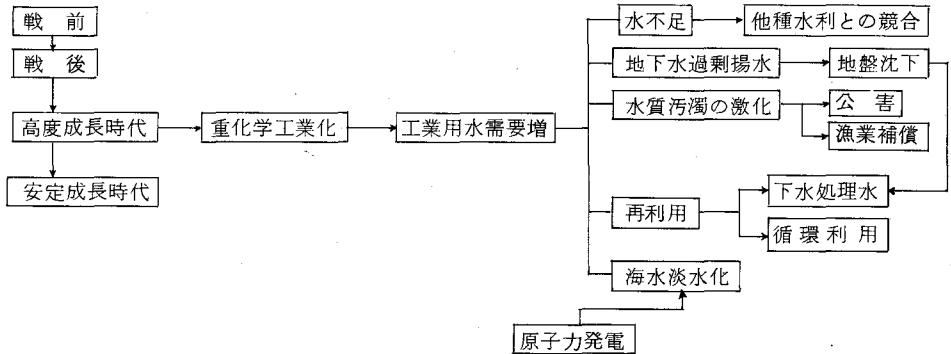


図-4

(4) 都市上水

人口が激増してゆく大都市への水供給計画には、世界各国とも心を痛めている。しかも、大都市への人口集中はこれからますます激しくなる気配であり、加えて生活水準の向上、都市構造の変貌は大都市における水需要をますます増大させる傾向へと向かわせている。すなわち、第3次産業の中核としての大都市においては、人口増を上回る勢で水需要量が増しつつある点が重要である。

これに対処するために、大規模なプロジェクトが各大都市で考慮されつつある。そのために、従来のダムによる水源開発のみならず、あたらしい技術が生まれつつある。一方効率の高い水利用方法についても革新的手段が考えられつつある。たとえば下水処理水の利用や海水淡水化の開発は、工業用水に始まりやがては上水の領域にまで入り込む可能性がある。

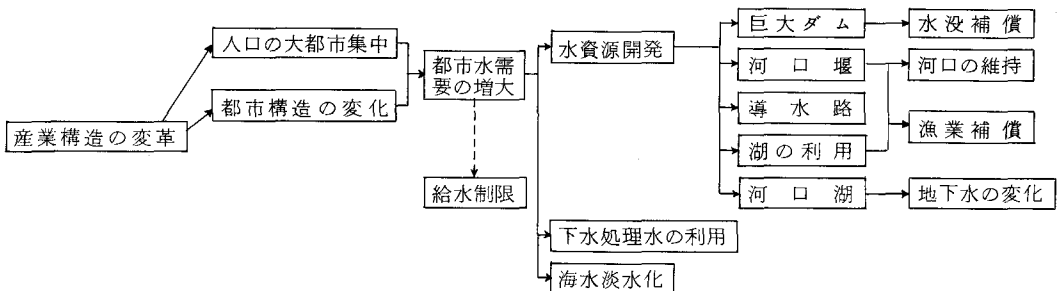


図-5

(5) 治水と水害

わが国では古来河川工事の主体をなすものは洪水処理のための治水工事であった。その目的はいうまでもなく水田や部落を水魔から救うためであった。したがって、守られるべき土地の変貌に応じて治水の具体的方策は変化させられる。また治水技術の進歩は、つぎつぎとあたらしい技術手段を可能にしている。こうして、時代の各段階に応じて、住民と産業の要望ならびに技術の状況により治水の方法や狙いは異なるのが当然である。重要なことは、そのような観点から各時代各河川ごとの技術、経済、生活の相互関係を調べることである。さらに、その治水工事の効果ならびに流域への反作用とか、治水にあたって、各種水利用との調整などが問題となる。

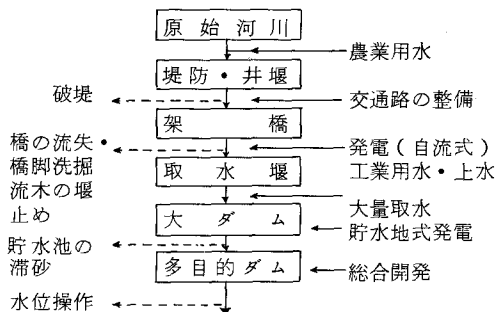


図-6 水利用と災害発生要因

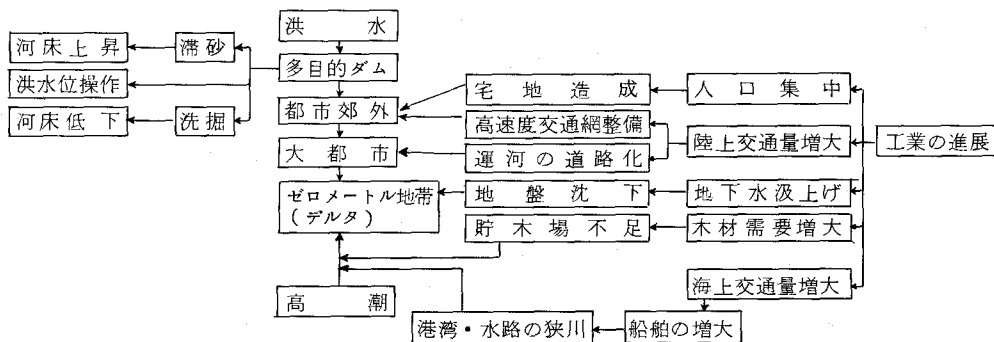


図-7 現代の水害構造

以上、各項目は水資源の各種目的ごとに総括的にかつごく概略的に考え方の大筋を例示したに過ぎない。実際の個々のテーマについては、それぞれの問題に特有な条件が付与されねばなるまい。たとえば、各地域での問題では、地域の特性が織り込まれるべきであろう。また検討しようとする目的にも応じて、重点的に考慮すべき項目は種々異なるであろう。

2.3 水資源計画の手法の考え方

水資源に関連する長期計画とか、水資源に重点を置いた地域計画が最近各国でさかんに立案されている。それは、大都市や工業地帯などで水需要が激増し、供給に対する計画を念入りにしなければならなくなってきたにも拘らず、需給のバランスが崩れている例が続出していることに端を発している。さらに、使用水量の激増や各種新型工業の発生、農薬の普及などに起因する水質汚濁問題が到る処に発生し、多くの都市で深刻な問題になってきたことも、総合的な水資源計画を推進させようとする重要な因子である。つぎには水資源開発の大規模化に伴い、開発に伴うさまざまな摩擦、競合、たとえば水没補償、漁業補償、各

種水利の調整、自然保護との調和、文化財との関係など、開発後にもたらされる自然界からの反作用なども大きな力を持つようになってきたことが、長期的水資源計画が強く要望されてきた重大な側面と見なしてよいであろう。

すなわち、水の量と質の確保、水の開発と調和をめざして、水資源計画が樹立されねばならない。しかもその計画に合理性と説得力をもたせるためには、具体的にどういう手法で立案するが問題となる。しかしその手法に関しては、少くとも現段階では統一的方法は見出されていないというべきであろう。もちろん、各国とくにアメリカ合衆国を中心にさまざまな考え方や提案があるが、いずれもいわば試論の域を十分に脱してはいないと思われる。

ここでは、方法論的に特徴のそれぞれ異なるものを簡単に紹介し、こんどの傾向について予測してみたい。

(1) マクロ的計画の一方法

合衆国では古くから水を資源として考えてきた。それが半世紀も前からの土地保全運動とも結びつき、TVAなどをはじめいくつかのすぐれた総合開発を成功させる底流であったとみることができる。

水資源に対する要望の内容が変わってきても、さまざまな面から総合的有機的に水資源を眺めるという姿勢は、合衆国において特に伝統的に確立しているといってもよい。1930年代以降、合衆国政府はしばしば水資源に関する総括的委員会などを通して、水資源対策への重要指針を呈示してきた。

最近の合衆国政府の水資源活動のなかから、計画面から見て特徴的なものとして、1959年4月上院に設立された国家水資源特別委員会の動きとその手法を紹介して置こう。

委員会の目的は、50年代後半に入って厳しくなってきた水資源の需給バランスに対する合衆国全体の長期的見通しを立て、どのような対策を打つべきかを探ることであった。水資源に関連するあらゆる面から現況と21世紀はじめに至るまでの長期的予測が試みられた。

その全体の報告書は1961年に上院へと提出された。報告書の内容項目はすなわち調査事項であり、それは3つの部分から成っている。第1部は水資源の現況概観、過去半世紀の水資源開発の経緯、合衆国の地表水資源の存在状況、西暦2000年に至るまでの将来人口の推計と経済観測、各州での水資源問題の現況概観と見解などより成っている。すなわち、国家水資源に関する現況と問題点、ならびに水資源に関する将来予測のための基本的前提資料である人口と経済についての将来動向についての報告ということになる。

第2部は水資源の各項目ごとの詳細な現状と将来展望といえることができる。すなわち、都市上水の各都市ごとの将来需要想定、主要な用水型工業の将来の水需要、水質汚濁、水力、水運、土地と水の関係、農業用水、開拓、洪水、水に関連するレクリエーション、魚類と動植物と水、これらについての現況と将来の動向予測が同じく西暦2000年を目標になされている。

第3部は、いわば第2部を受けて水需要増大や水質汚濁、洪水その他への考えられる対策の見通しが展望されている。すなわち、蒸散抑制、天候調節、蒸発抑制と浸透調節、水質管理、河川予報、塩水淡水化、核エネルギーの応用、水資源研究、水質汚濁防止対策、水の再利用、多目的水資源開発などについてであり、最後に1980年と2000年における合衆国の水の需要と供給についての総括がなされている。

これら3部32号よりなる膨大な報告は、各号ごとに担当官庁もしくは委員会、専門家などに委託された。

水資源特別委員会としては、何回かの公聴会を開き延 1000 人近くの証言、各州での 20 回以上の聴き込み調査に約 4 万キロの旅をおこなっている。こうしてできあがった報告は約 2000 ページにもおよぶ大部のものとなった。

この広範な活動を実際に支えたのは、Edward A. Ackerman を中心とする学者グループであった。地理学者である彼は、日本の敗戦直後、G.H.Q. の天然資源局で日本の資源問題の将来について精力的な仕事をし、その成果は大著“日本の天然資源”とか、当時の経済安定本部に資源委員会（現在の科学技術庁資源調査会）を誕生させたことによって知られている。のちにシカゴ大学地理学教授を経て以来資源協会の水資源プログラムの長となり、さらにカーネギー研究所にも関係し、その間に“Technology in American Water Development”を著したことは有名である。これらの著作に彼の水資源に対する考え方、調査の視点、計画の方法などを伺うことができる。広範な捕え方、バランスのとれた考え、技術と産業との関係への深い取り組み方などを特徴とするいわば技術地理学的手法が、この上院水資源特別委員会活動の狙いにも認められるのは、Ackerman の考え方が深く浸透し、彼自身が縦横の活躍をしたことを物語っていると思われる。

この委員会報告の個々のテーマは主として各官庁が担当しており、それらを統一的に総括して細かい計画案が用意されたわけではない。むしろ、個々の水問題ごとの将来への問題点が広く陳列されたという方が当たっているかも知れない。対策にしても、各の水問題について具体案を呈示したのではなく、合衆国全体から見て、個別的水対策の可能性を示したという段階である。つまり個々のプロジェクトのために資すべき、基本的将来傾向を示したというべきであろう。

しかし、大局的に見た現況と 2000 年までの動向をマクロに展望予測したことは、資源としての水をまぜ一握みにして見るという、資源論での基本的思考を実行し問題の本質を捕えようとした点で、大きな意義を認めてよいであろう。おそらくこのような問題は個々の項目での積み上げと同時に、それらのバランスを見て大所高所からの概観することを忘れてはならないと思われるからである。

(2) 計量手法のひとつの試み

1959 年、Arthur Maass 教授を中心とするハーバード大学のグループは Harvard Water Program を発表した。それは、この大学で 1955 年以来、政治、経済、工学の専門家たちが協同して水資源開発計画に取り組んできた成果の第 1 段階であった。

彼等は政府の水資源局やロックフェラー財団の協力を得て、水資源に関する各分野を総合したあたらしい計画技術の開発を目指したのである。

その第 1 段階は 1955～61 年にわたって基礎的研究が強調された。実際面で経験豊富な政府関係者が大学の教官や大学院学生と協力して、水資源計画の研究と教育セミナーに焦点をしばった。第 2 段階は 1961～65 年にかけて、基礎的研究の継続と、計画手法の提案とそれを実際の計画でテストされた。この際、公共投資計画についての新教育セミナーがおこなわれ、この段階での研究を側面から応援している。第 3 段階は 1965 年以降で、地域システムでの水の供給を水質に関する経済学的研究開発に力が注がれている。ここでは、経済計画モデル、河川システムのシミュレーションモデル、水理モデルの結合を試み、Delaware 川を実測として取り上げている。

さて、これらの手法を簡単にここで紹介する。第 1 段階では、1. 社会福祉関数のもつ多元的性格が強調され、2. 公共投資計画に重要な、割引率 (discount rate) と機会費用 (opportunity cost) が検討された。3. 目的関数、設計条件、費用投入関数、便益算出関数、技術関数を総合した

公共投資決定のモデルが提案された。4. シミュレーションと数学的モデルを主体とするシステム計画が提案されたが、数学的モデルで線形ないし非線形プログラムを解こうとすれば、計算機の容量が問題となってくる。5. 公共投資に関する政府決定のモデルについての議論。

第2段階では、テスト河域として Delaware 川などを取り上げ、1. 実際計画の目標と条件設定、2. 設計条件の応用 3. 実際計画の過程、について研究された。これらのテーマをめぐって、水資源開発への公共投資決定の理論および費用便益解析が改究され、費用便益の応用例としては、工業の洪水被害の評価方法、水力発電、レクリエーション、かんがいなどの費用便益の評価などについて研究された。

なお、これらのシミュレーションに用いた水文学的資料の統計処理に際しては1000年分の流況モデルが用意されている。

また、このHarvard Water Programにおいては教育面をも重視し、何回ものセミナーを開催している。

このプログラムは、すでに10年以上を経過し、計画手法に工夫をこらし、実際計画をあてはめて、手法を実際的なものにしようと大きな努力を傾けている。各専門分野の前者、官庁の実務家が協力して総合的水資源計画手法を縛ろうとしていること、実際計画との融合に非常な努力を注いでいる点は、おそらく何人も否定し得ない、研究開発の正攻法であろう。したがって縛られてゆくこの成果をわれわれは注目して眺めたい。しかし、問題の複雑性、もしくは地域性を考慮するとき、手法としても普通性をもつためにはなお多くの問題が横たわっていると思われる。

彼等自身の現段階での反省と評価を要約すればつぎの通りである。すなわち、

- 1 大学での研究は理論的基礎に貢献し、実際家が詳しい応用をするのが効率的であると見られるが、理論は実際のデータを処理することによって成長する。
- 2 数学的モデルは期待はずれであって、シミュレーションがもっとも有効と思われる。
- 3 全体としてみれば、計画過程の研究の端緒だけが完成し、計量経済、レクリエーション、水理モデルの融合その他はこんど発展させるべき課題である。
- 4 水資源計画の研究で残された重要なテーマは、政府の目標とそれに応じた妥当な設計条件を導く政治と経済の条件、計画の地形的ならびに機能的領域の決定、レクリエーションなど量的把握の困難な便益関数の決定、現実の水資源計画の評価とケース・スタディなどである。

このほか、アメリカ合衆国においてはさらにいくつかの大学を中心にさまざまな水資源に関する総合計画への研究がおこなわれている。ここには方法の異なる、しかも相当程度業績を挙げたものから選んで紹介した。

(1)のAckerman 的手法は、広範な問題をまず大局的に捕える場合には、適切かつ有効な方法といえてよいであろう。しかし、これは全般的動向を知ることが狙いであって、個々のプロジェクトの具体的内容にまで触れるわけではない。また、全般的動向といっても、いくつかの巨視的仮定をかなり大胆に立てている点にも注意して置かねばならない。したがって、このような方法を必要とする場合には、よほどすぐれた洞察力、構想力、総合力のある指導者によらなければならないといえる。

(2)のHavard 的手法は、より实际的な地域開発の計画手法を打ち立てようという野心的なもので、多目的もしくは多元的水系総合開発計画(multipurpose, multi-unit water systems)に対するあたらしい計画科学的接近方法を求めようとした。つまり、いくつかの候補計画のなかから、も

っとも望ましいものを選び出す基準は何であるか、そのシミュレーションのための電子計算機へのプログラミングの手順をどう設定するか、得られた結果の判定と評価の方法はどうするかなどである。

ここに盛られている考え方や問題意識に流れるものはアメリカのプラグマチズムであると考えて差し支えない。ここでいうデザインは、開発の効果を経済効率的に見た計画を作ることを指し、従来数量的に取り扱いにくかった河川計画を、より合理的、科学的にしようという試みである。そこにはアメリカの実用主義の長所も短所もかなりよくあらわれているように見え、その根幹をなす経済効率中心主義はある条件下ではもっとも妥当な基準ともいえるが、また同時に人間本来の精神的目的と経済効率が一致するとは限らず、形式的妥協点を求める危険をも蔵している。しかし、この問題を追究することは、人間の本性、社会組織、人間と社会の関係の問題に連なることであり、それらをはたして計量的手法で処理し得るかどうかという根本問題に触れることになる。

3 水資源問題に対処するために準備すべきこと

ここで話題は転ずるが、これから水資源問題に取り組もうと志している若い人々のために、この問題を扱うための基礎的能力として、どのような点が要求されるかについて、ひとつの私案を提供して置きたい。というのは、水資源計画といい、あるいは水資源工学、水資源経済といっても、いずれもその学問的体系はなお構成されておらず、その担当者や、またそれを志している人が多いにも拘らず、それぞれ思い思いに知識を積み重ね、その経験はしばしば雑然と集積され、後継者がかならずしも引き受け易いような形態にはなっていないと思われるからである。しかしここに述べるのは、あくまで個人的見解であり、しかもなお十分練られた意見とはかならずしもいえないと思うので、その点はご了解頂きたい。

3.1 水資源問題の考え方、原理の養成

水資源問題の基礎的考え方もしくは原理を培うためには、まず第1に自然科学と社会科学の方法論ならびに手法の相違を理解していることが大切であろう。自然科学のなかでも水文学、水理学、自然地理学、地球物理学など関連諸分野の研究ならびに調査方法は相当に異なる。それらの相違はもちろんのこと、それらが依っている基盤ならびに論理を展開する場合の前提などを、概略的にでもおさえて置くことが重要であると思われる。

水資源問題を処するにあたっては、多くの分野の人々が協力し合ったり、または各分野の人々の見解を蒐集整理して調整しなければならないことが多い。その場合ここに述べたような観点からの知識なり理解がないと、問題の整理は困難であろう。文明の進歩のために、しばしば既成の学問の壁がその発達の障害になることがある。水資源問題はまさに従来の学問の壁が非常に邪魔になる好例がある。この場合異なった分野の学問の方法の相違が客観的に評価できることが必要であるといえる。

第2に技術の役割と性格についての認識を深めて置きたい。それはかならずしも抽象的な技術論でなく、なるべく具体的な開発技術について、応用の効く技術論でありたい。水資源開発のための技術駆使が、人間の生活や産業にどういう形でどういう役割をになうか、自然界にどのような影響を与えるか、これらについての考え方の基礎がこの場合の技術論の主要な展開テーマとなろう。

第3に技術史の素養が望まれる。なにも技術史そのものを考究するにはおよばないが、技術史に関する基

本的知識やその思考方法を会得しているべきであろう。ここにいう歴史は、いうまでもなく問題趣味の歴史とは違う。単に過去の技術についての知識の羅列ではあまり意味はない。治水や利水の技術がどのような経路を経て発展してきたか。その発展段階とそれぞれの時代の社会環境や自然環境との関係はどうであったのか。社会環境といっても、それぞれの時代の技術に対する政府とか住民の考え方、生活水準、産業の状況などさまざまな要因が含まれよう。自然環境も決して一定ではない。国土開発によって変貌する自然環境が、つぎのあたらしい技術を期待する。そのような視点で、過去の例を見ることによって、こんどの技術の役割についても予測の手がかりとなるに違いない。

3.2 水資源に関する攻守手法の養成

ほかの計画手法と同じく、水資源計画についてもオペレーションズ・リサーチ、シミュレーションなどの手法は、ある条件下に有力な手段となるであろう。それら手法を実際の計画にどのような形で設定するかが問題であるに違いないが、有力な手法として会得しておくことが望ましい。

OR手法などを駆使するにしても、水資源の場合には当然水文学的諸量を用いなければならない。計画手法に導入するまえに、水文学的解析がおこなわれるのが普通であるし、手法を展開する段階においても、水文学的知識が要求されるのは当然である。したがって水文学における常套手段とされる解析手法などは水資源関係者の必須の知識といってよい。

つぎに扱う問題の種類によっては、それぞれさまざまな知識と思考方法が必要とされる。水の運動の力学的処理が必要とされる場合には、水理学の手法と知識が必須となるであろう。自然条件が特に支配的要因として重視される場合には、地形学、地質学などの地学的手法が用いられる。総合的計画などの場合は、個々の部門はそれぞれの専門家との協力によればよいのであり、結局与えられたテーマを全体として、どのような構成と方法で処理するかが大事なことになる。水資源問題を扱うにあたっては、その全体の構成の画ける人であることが期待されると思われる。

3.3 水資源資料の現況とその利用法

水資源問題が多岐にわたっているために、まず各関連分野の情報を的確に蒐集し整理し判断する能力が必要である。

水資源の情報資料は、まず降水量、蒸発散量、流量などの水文資料がある。これについて、ここで詳しくは述べないが、水収支的な面から問題を検討するならば、降水量と流量など諸量の間の精度を合わせるような配慮をはじめつぎのような諸点には、特に留意することが肝要である。流域全体のいわゆる面積雨量を確実に捕える方法はないこと、わが国の蒸発散量は相対的に少なく、その観測網はあまり良く完備していないこと、低水流量については特に平野部にはあまり完備した資料がなく、しかも農業用水の取水流量や川にもどる量についてよく捕えられていないこと、これらの点を良く了解して水文諸量を扱うようにしたい。

水資源の利用状況に関する資料もまた決して良く整備されているとはいえない。概論的にいえば、水利用の都市上水、工業用水、農業用水のなかでは、都市上水に関する資料が比較的良好に整備されている。各都市の上水資料が日本水道協会が集計され、毎年上水道統計として発表されている。水道が料金制で、経営面からも使用水量などの整った資料が要求されること、すでに比較的良好な統計の経歴を経ていることなどが、資料の比較的良好な理由であろう。しかし、都市の水利用構造の型が変わってきている現在、

水需要の細かい内訳をある程度全国的に統一して資料を完備してゆくとか、漏水率とかメーターの不感と思われる点の改善など、統計にさらに要望したい項目は多い。都市の水利用が量的にも飛躍的に増大し、その型も変わってきている現在、より一層細かい資料が要望されてきたからである。

工業用水に関する資料は、都市上水にくらべずと貧弱な現状である。各工場からの資料を基に、通産省工業用水課が取りまとめている。しかし、各工場ではかならずしも正確に用水量を捕えているとは限らない。たとえば水源が地下水である場合などは、揚水ポンプの電気代から換算するとか、直接測定でない場合も多い。水源が上水であれば、料金制もはっきりしてよりかつ比較的料金も高いが、その他の場合は年間通してキメの細かい計量をしていない工場もかなり多い。用水型でしかも大規模な工場においては、水管理事体が重要な問題であるので比較的良い資料を整備している。大規模な工場の精度が比較的には良いので、全体の資料がそれほど大きな誤差を生じていないと推測される。しかし、工業用水の需要量が淡水のみで全国的には上水の3倍にも達し、なお激しく増大していること、水質汚濁の源泉としての工業用水の実態をも正しく捕えることの重要性をも考え、工業用水資料の精度を上げることは、緊急なことといつてよい。

農業用水は、工業用水、都市上水に比しきわめて大量に使用しているとはいえ、その用水量の把握ははなはだ遅れている。それは、農業用水がもっとも古くから日本の自然条件にもっとも適合するような利用形態を指向して使われてきたからである。そして従来はむしろ水の豊富さを前提に用水の利用構造が形成されていた。量的チェックはもともと大事なことでなかったといつてよい。川からの取水法といい、導水の技術といい、近代的なものを除いては、常時流量をコントロール計量するという態勢にはない。全体としての農業用水の量的実態の掴み難いゆえんである。したがって農業用水の使用量は、総括的に掴むときは、水田の減水深を基準に概算している現状である。しかし、減水深そのものが、あまり高い精度でもなく、全国的に見れば農業用水の全使用量の誤差の範囲に、全国都市の上水総使用量が入ってしまう状況である。農業用水も将来は計量料金制になるものと考えてよからうが、それに至る道はかなり厳しい。しかしその方向に向かっているとすれば、農業用水についてもその使用量についての検討の精度を上げてゆかざるを得ないであろう。また農業、特に水田とか畑地かんがいにおいての必要量についての調査、農業用排水が大量な川の水収支などの調査がこんどの要望課題となるであろう。

以上、水資源の利用量に関する概略を述べたが、個々のプロジェクトなり調査にあたっては、それら資料の精度と問題点を的確に捕え、解析にあたって正しい判断ができるようにすべきである。一般に水関連資料を蒐集するのは容易でない。しかし、蒐集の苦労と資料の精度は別問題である。

資料をいかに集め、それら精度をどのように判定し、解析にどう利用し、得た結果をどう判断するかは、水資源計画上きわめて大切な点だといえよう。

以上は水資源問題を総括的に扱う場合についての試論の域を出ていない。こんど論議と批判を得て私見を固めていきたい。大方のご意見、ご質問をお願いする。

参 考 文 献

- 1 黒岩俊郎 : 資源論、科学論・技術論双書2, 勁草書房, 1964.
- 2 新沢嘉芽統 : 河川水利調整論, 岩波書店, 1962.
- 3 佐藤武夫・奥田 稜・高橋 裕 : 災害論、科学論・技術論双書3, 勁草書房, 1964.
- 4 高橋 裕 : 日本の水資源, 東大新書, 東大出版会, 1963.
- 5 高橋 裕 : 日本の水問題を考える, 講談社, 1965.
- 6 E.A.Ackerman & G.G. Lof: Technology in American Water Development,
The Johns Hopkins Press, 1959.
- 7 Water Resources Activities in the United States: Report of Select
Committee on National Water Resources, United States Senate, 1961.
- 8 高橋 裕 : アメリカの水資源計画に学ぶもの (I), (II), (III)
[水利科学] & No. 29. 30. 32, 1963年4月~8月.
- 9 Maass, Arthur, Hufschmidt 他 : Design of Water-Resource Systems,
Harvard University Press, 1962
- 10 Hufschmidt & Maynard: Simulation Techniques for Design of Water-Resource
Systems, Harvard University Press, 1966
- 11 A.V.Kneese & S.C.Smith: Water Research, The Johns Hopkins Press, 1965.
- 12 A.V.Kneese & V.Allen: The Economies of Regional Water Quality
Management, The Johns Hopkins Press, 1964.