

水 管 理 と 環 境

岩 佐 義 朗

概 説

生物やわれわれ人類がその生存のために必要な最低限の要素は大気、水、土地である。ところが、大気は地球上で普遍的に存在するのに反し、土地は地理的に、また水は時間的かつ空間的に偏在し、われわれの必要度や慾望をつねに満たしてくれるとは限らない。現実とは逆であって、われわれが土地と水とを求めてさまよい続けてきたことは人類の歴史の物語るところである。大は国家間、民族間の紛争から小は西部劇の題材に至るまで、土地問題、水問題のからまぬものはない。人口が少なく、地球は限りなく大きいと考えられていた時代には、土地問題、水問題はその範囲が比較的限定され、また容易に解決されたかも知れない。

人類文明の発展は土地の生産力の増加と人口の爆発的な増加をもたらし、これらの問題解決は複雑かつ困難なものとなるようになった。一方、土地や水の価値が社会的に、経済的に、あるいは感覚的に生れるようになった。とくに、昨今のような人類活動の大型化と多様化の時代になれば、土地問題、水問題は、その偏在的存在のゆえもあって、上述の各側面からの取扱いとともに、国際間の問題として、国内の問題として、あるいは地域内のこととして、各レベルにおける適切な解決が必要とされる。

表一 1 世界における年降水量

国 名	面 積 (Km^2)	人 口 (百万人)	年 降 水 量	
			人口1人当り (m^3 /年・人)	単位面積当り (m^3 /年・ Km^2)
全 世 界	149,400,000	3,420	32,000	725,500
カ ナ ダ	9,976,000	20	385,000	790,000
ブ ラ ジ ル	8,512,000	86	162,000	1,630,600
ノ ル ウ ェ ー	324,000	4	124,000	1,449,600
米 国	9,363,000	199	39,200	833,000
ソ 連	22,402,000	236	37,100	389,700
オ ラ ン ダ	33,600	13	23,800	8,925,400
ト ル コ	781,000	33	15,800	663,600
フ ラ ン ス	547,000	50	8,320	758,600
イ タ リ ー	301,000	52	5,660	982,700
連 合 王 国	244,000	55	3,560	803,200
西 独	248,000	58	3,470	806,500
日 本	370,000	100	6,610	1,811,900

* 人口は1967年の統計に準拠している

水と人間とのかかわり合い、あるいは水の人類文明に果す役割は治水、利水などという土木事業で説明されることが多い。これは、土木事業でつくられた施設が長年月にわたりわれわれの生活の維持と向上に利用され、その技術的な効果がわかりやすいためである。われわれの行なう治水、利水事業は、その規模の大小にかかわらず、水およびそれを取りまく環境に影響を及ぼす。治水事業は、水およびその周辺環境要素がわれわれに及ぼす脅威に対する対策であり、われわれに対する環境の主体的役割の反応であり、また利水事業は生活向上のためのそれらの要素の利用のあらわれであり、環境を対象的存在としてみたものである。いずれにせよ、すべてのものは何らかの形で関連をもち、お互いに影響を及ぼしつつ存在している。したがって、土木技術者としてのわれわれも、その専門的事業の計画、設計、評価において、単に技術的判断を下すのみならず多くの関連する側面からの考慮を払う必要がある。

以上に述べた水とのかかわり合いに関するわれわれの英知が水管理である。その制度的・法律的側面の発展が河岸主義、認可制、充当主義に代表される水利権の歴史となり、また技術的側面が、単一目的利用、多目的利用、多目的再利用ならびに統合水管理などという形態に示されている水管理事業である。水問題には、すでに述べたように、国際的な協力によって解決すべきもの、国土計画の一環として取り扱われるもの、地域あるいは流域の開発と密接な関連をもつものがある。しかも、これらの問題には環境との関連がある。また、解決の目標も一定でなく、絶えず変るものである。もともと、農業用水の確保や洪水調節のために行なわれた水管理も、われわれの生活の向上とその様式の変化によって、レクリエーション、観光などのために行なわれるようになるかも知れない。したがって、われわれの対象とする水問題、またその具体的解決策としての水管理はあらゆる側面からの要求に答え、あらゆるレベルの目標に対応したものでなければならない。すなわち、そのシステムは単純にして融通性のあるものでなければならない。

1 水管理の目標とその達成

(1) 水管理の終局的目標

われわれの日常生活に直接関係する水資源^{*}は、ある一つの流域内における水文サイクルに根ざす水である。一方、われわれの生活は各種のレベルのものがあがり、人類活動の大型化、多様化によってレベル間の交流はいよいよ密接となる。時間的、空間的に偏在する水資源も何らかの施設によって人類活動を支え、次第に広域利水や流域間の水輸送へと発展され、またその規模も全世界的になってくる。すなわち、水あるいは水資源は公共用物とみなされ、その管理の目標は次のように表わされる。¹⁾

- a. 国際間における協調（自然水ならびに水資源の配分・利用に関する国際的協力）
- b. 全国的な社会・経済的発展（国土計画レベルにおける国民の社会・経済的な発展の促進）
- c. 地域開発による格差の是正（各地域の開発によって住民の福祉の均等化の促進）
- d. 環境改善（生態系歴史において水管理事業の環境改善への貢献）

Wright²⁾ は水管理の経済的・社会的目的として

- a. 公正さ
- b. 経済効率
- c. 地域開発
- d. 環境改善
- e. 地方公共団体との協力
- f. 国際的協力

を示しているが、これらの両者は同じものであると考えてよい。

したがって、水管理政策あるいは事業の終局的目標は、これらの各目標を座標軸とした多次元空間において各種の制約条件のもとでの最適点を探すことになる。ところが、これらの目標は同一の重要度であるとは限らない。地域や国の特殊性あるいは時代の要請によって重要度はつねに変っている。すなわち、最適点はつねに移動しているとともに、水管理もそれにいつも追随しうるものでなければならない。

(2) 水管理の達成

水文事象にもとづく自然水の分布は時間的にも、空間的にも変り、一般に次のようにあらわされる。³⁾

$$S = \begin{pmatrix} L \\ T \\ Q \end{pmatrix} \quad (1)$$

ここに、 S ：自然水の特徴を示すマトリックス、 L ：位置ベクトル、 T ：水の生起に関する時間的分布、 Q ：水の量的、質的性質に関するベクトルである。

一方、流域における人類活動に必要な水資源の分布マトリックスも同様に

$$S^* = \begin{pmatrix} L^* \\ T^* \\ Q^* \end{pmatrix} \quad (2)$$

と表わされる。ここに、 S^* ：水資源マトリックス、 L^* ：各種の用途に供せられる地点の位置ベクトル、 T^* ：需要の時間的分布によるベクトル、 Q^* ：利用形態によって規定される水資源の量的、質的、規準である。

* ここでは、水資源は水と別の意味をもつものとして用いられている。すなわち、われわれの生活の維持とその向上に用いられる水を水資源といい、水とは広く自然水などのような意味において用いられている。

SとS*とは一般に異なる。とくに、人類活動が大きくなり、生産・流通・処理の過程が大型化、多様化すれば、その違いは著しくなる。この場合、(1)で述べた目標を達成するため、SとS*とを関連づけるのが水管理政策であり、水管理事業である。具体的には

- a. 流域内、地域内あるいは行政区域内において、水資源の量的・質的な過不足に対処する淡水の制御および管理
- b. 水資源のもつ各種の価値、すなわち人類ならびに生物に対する社会的、経済的、工業的、感覚的諸性質の維持と改善
- c. これらの目的をできるだけ少ない実質的、経済的、人的資源によって達成する

ということになる。

ところが、終局的目標はつねに変わるものであるから、それに対応して管理や事業の目標、手段も変わる。とくに、土木施設は長年月に亘って使用されるものであるから、当初の計画によって行なわれたものもそのあり方、評価は常に検討されなければならない。

(3) 水管理の歴史

水管理の歴史あるいはその事業の変遷を具体的に知るには、水配分法の歴史を明らかにすればよい。ごく一般的には、水利権の法制的変遷であり、技術的には配分法の計画技術的変遷である。

水利権のなかでもっとも古い制度はローマ法の河岸主義（*riparian doctrine*）である。これは水利用の有無にかかわらず、所有地を通過するか隣接する河川水の水利権はその土地所有者に帰するというものである。その後、比較的水資源の多い文明諸国では、水利権はいわゆる認可制（*prescriptive right*）にとって代られ、現在にいたっている。認可に関するもろもろの制度は各国の実情に応じて異なっているけれども、その本質には変りはない。19世紀後半より今世紀当初に至り、米国西部、オーストラリアなどの乾燥地帯の開発とその水利用が大きく問題になるに至り、新しく水利用にもとづくもので、使用しなくなるとともに失う水利権としての充当主義（*appropriative doctrine*）が取り上げられるようになった。

これらのいずれの制度も自然水と水資源との変換を表わすものであり、それぞれの流域、地域あるいは国家に対応したものでなければならない。

ところが、水利権がいかにくすぐれた制度に作られていようとも、その運用は柔軟性に乏しい。まして、人類活動が大きくなり、限られた水資源に対する要求が強くなるとともに、その使用目的の多様化が進むと、水資源の配分に関する合理的な運用法の開発が望まれるようになる。多目的利用と流域総合開発が水管理に関する二つの大きな概念であって、合理的運用法に寄与してきた。とくに、前者は洪水防禦、上水、かんがい、発電、舟運、汚染防止、レクリエーション、生態保護などの多くの機能を果たすために、水資源を同時管理することであり、土地利用計画の空間的要素を形成している。一方、後者は、これが単一目的であろうが多目的であろうが、流域全体の水文系に関係し、空間的のみならず時間的な観点より取り扱われるものである。

2 流域環境の特性とその把握

治水、利水といわれる水管理は、人類活動と水資源との流域における何らかのかかわりあいを表わすものであるから、管理あるいはその事業の成否は流域のもつ各種の要素、すなわち環境特性を理解するとともにその把握に努めなければならない。従来における多くの事業においてもある程度までは認識されていた。事業の主体が土木施設に関係をもつから、その主眼は自然的要因に関する土木技術的側面に向けられ、社会的要因は水管理者のいわば個人的才量によって判断されていた傾向が強い。

水資源に対する需要の増加は土木技術的側面のみならず経済的要因への考慮をも促したが、流域における自然と人間との関係を十分にとらえたものとはいわれない。このような観点からすれば、水管理における流域の把握は次の各項目にわたって行なわれるのが望ましい。¹⁾

- a. 流域の地形・形態的特徴
- b. 流域の水文応答
- c. 生物的特徴
- d. 社会的形態
- e. 経済的特徴
- f. 感覚・意識的特徴

(1) 流域の地形・形態的特徴

土木技術の水管理事業では古くから取り上げられているが、これらを統一的な観点に立って整理すれば、次のように細分化されよう。

i. 一次元特性としての流域の地形的・幾何的特徴 流域における河川長、河川数などに関する定量的関係を河川の位数 (stream orders)⁴⁾ によって明らかにしようとするものであり、Horton, Strahler, Schummなどにより展開されている。

ii. 流域形態の二次元的特性 流域面積、流域形状などの二次元的特性を同様に調査しようとするものである。

iii. 流域の三次元的形態による影響 流域内の三次元的影響は、流域勾配、河道勾配、流域の凹凸度などによって明らかにされる。

これらの関連要素は、簡単には、次元解析により次のように関係づけられている。⁵⁾

$$\phi \left(HD, Q_r K, \frac{Q_r H}{\nu}, \frac{Q_r^2}{gH} \right) = 0 \quad (1)$$

ここに、 HD ：凹凸度、 $Q_r K$ ：Horton 数で、流域における浸食過程を表わすもの、 $Q_r H/\nu$ ：Reynolds 数、 Q_r^2/gH ：Froude 数である。また、 H は流域の高度差、 Q_r は比流量、 K は単位面積、単位時間当りの浸食質量とこれに加わる単位面積当りの力であり、 D は次式で定義される排水密度で、流域の平面形状の代表量として用いている。

$$D = \sum L/A$$

ここに、 L ：河道長、 A ：流域面積である。

(2) 流域の水文応答

流域の降水という入力に対する流出という出力をもたらし特徴を表わすもので、水管理の技術的基礎資料を与える。したがって、従来より土木技術者の間でもっとも熱心に研究されてきたものであり、つぎの各項目より構成される。

i. 降水の統計解析とその評価 入力としての降水を水管理事業においてどのように設定するかは、技術的観点を越えたより高次の問題である。しかし、もっとも基礎的なものであり、資料の時系列解析が用いられる。とくに注意すべきは、治水事業と利水事業における目的差であり、前者は短時間におけるものを、後者は長期間にわたるものにもとづいて行なわれなければならない。

ii. 蒸発散 わが国におけるように、全降水の 80% が有効降水となって河川水の供給源となるころではあまり問題ではないが、世界的にみれば、降水量の $\frac{2}{3}$ は蒸発散によって大気内へ還元される。したがって、場所によりこの問題は重要となる。

iii. 土壌構造 地下水ならびに土中水の状態をきめる流域の要素として土壌構造、保湿度などがある。

iv. 流出の統計解析とその評価 いうまでもなく、水管理事業における技術的側面の中心課題である。降水のそれと同様に、洪水と渇水の統計解析とその評価がきわめて重要であり、多くの研究が行なわれてきた。しかし、その評価は単に水文学的にとどまらず、その社会、経済、環境的側面の考察も加えた政治的判断が必要とされるものである。

v. 地下水 低水、渇水に関する水管理は本来地下水を含めたシステムで行なわれるべきであるが、わが国では制度的にむずかしいものがある。

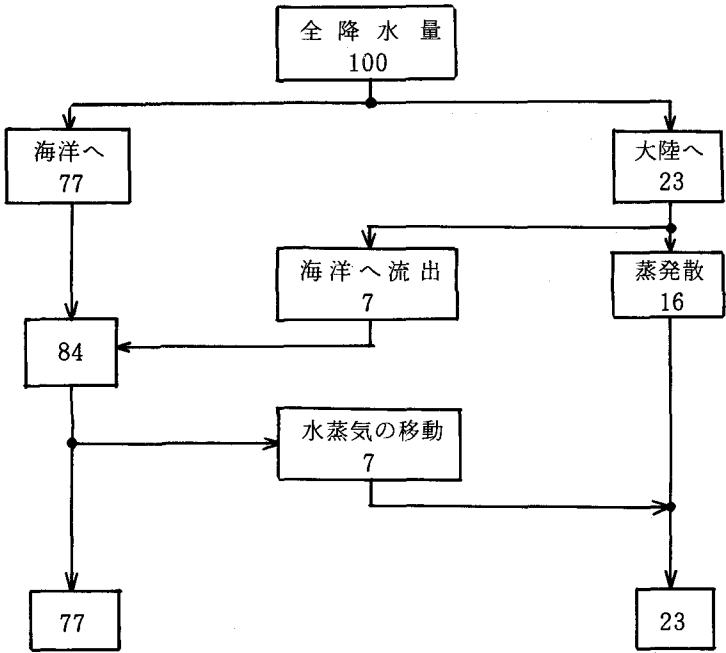
vi. 浸食、土砂生産と流砂量 とくに荒廃地や土地利用形態の変化のはげしいところでは重要であり、河道の自然的変貌に大きな影響を与えるのみならず、水質にも関係するものである。

vii. 雪水 北海道、東北、裏日本ではこの要素の流域における影響を考慮しておく必要がある。

viii. 水の物理的、化学的、生物的性質 いわゆる水質といわれるものであり、どのような要素を取り上げるかは各国の実情によって異なるけれども、現在、西欧、北米諸国が相協力して行なっている富栄養化汚染の比較研究に用いられている要素は表－2 のようである。

表－2 富栄養化汚染における比較研究の要素

水質の種類	必要性の有無	要 素
物 理 的	必須 望ましいもの	水温、電気電導度、透明度、色度、全太陽輻射量 濁度
化 学 的	必須 望ましいもの	pH、溶存酸素、磷、窒素、SiO ₂ 、アルカリ度と酸度、 Ca++とMg++, Na+とK+, SO ₄ --とCl-, Total Fe Mn, Mo、重金属その他有毒化学物質、H ₂ S
生 物 的	必須 望ましいもの	植物プランクトン（葉緑素）、酸素生産、COD 植物および動物プランクトン（種、数）



図－1 世界的規模の水文サイクル

IX. 流域の水文図 (Water atlas)⁶⁾ 流域における地形図や地質図と同様に、以上の各要素のうち対象流域に必要と思われるものを図示しようとするものであり、今後次第に取り上げられるようになるだろう。

(3) 生物的特徴

従来においては、植生、魚類、鳥獣類など各種の生物的特徴は水産業などの関連において経済的観点より取り扱われる場合が多かったが、生態系の歴史のなかで水管理事業が行なわれなければならない今日、各種微生物よりの環境調査を明らかにする必要がある。一方別に、水を利用した各種のレクリエーション活動が盛んになれば、魚類、鳥獣類の保存が望まれる。

(4) 社会的形態

貯水池や遊水池の建設あるいは各種の技術的、管理的代替案を組み込んだ大規模な水管理事業がすすめられると、対象地域における多くの社会的形態が変り、従来の社会構造、組織は新しいものに改変されるのが普通である。このような改変を対象地域の住民と十分納得のいくまで話しあっておく必要がある、この項目として次のようなものがある。

i. 土地利用の変化

ii. コミュニティ 水管理事業によって集落などの移転、再編が行なわれる。このような改変をどのようにみるかは単に集落の移転によってすむものではない。とくに文化的、宗教的なつながりには十分な関心を払う必要がある。

iii. 家庭とその財産 コミュニティ構成の基本である家庭をどのようにとらえるかが問題である。とくに、社会全体が経済的に繁栄すれば、これが大きな要素となってくる。

iv. 地域の歴史と文化的遺産 この項目をいかに大切に取り扱うかが事業実施と水管理の円滑な運営における地域住民の協力をえられるか否かの基本である。

(5) 経済的特徴

いうまでもなく、この項目に属するすべての要素は水管理の便益一費用解析の中心となる。一般に、これらは

- i. 農 業
- ii. 林 業
- iii. 水 産 業
- iv. 製 造 業
- v. 流通機構

に分けられるが、とくに各種の製造業はその経済活動が大きく、また水資源に与える影響も大であるから、流域の水管理の終局的目標とも一致するような形にされなければならない。このような意味において

vi. 将来における発展の見通し

を明らかにしておくことはきわめて好ましいといえる。フランスの水管理政策⁷⁾においてはこのような目標のもとに行なわれている。

(6) 感覚・意識的特徴

自然的特徴、経済的活動などにおいては、その構成要素は数量化されやすく、統計的解析も比較的容易に行なわれる。一方、社会的形態は数量化されがたく、いわゆる属性として解析されざるをえない。ところがさらに、

i. 生活様式

ii. レクリエーションと旅行

などという感覚的特徴になれば、その多様性ととも、ますます数量化が行なわれがたい。しかし、社会的安定と経済的繁栄がもたらされると加速度的に、これらの要素の占める意義が大きくなり、その取扱いが複雑になってくる。

3 西ヨーロッパ諸国における水管理の制度的現況⁸⁾

水管理にともなう各種環境情報の解析に先立ち、西ヨーロッパ諸国における水管理政策の制度的現況を概括し、参考に供しよう。

(1) フランス

1964年12月16日の立法により、フランスにおける河川流域管理機関は明確にされた。すなわち図-2に示すように、フランス全土を水文学的に独立し、かつ自然的、経済的条件を考え合せ、6流域、Artois-Picardie, Seine-Normandie, Rhin-Meuse, Loire-Bretagne, Rhone-Mediterranee - Corse, Adour-Garonne に分けて管理することとなった。各流域には、流域委員会があって、流域財務庁 (Agence Financière-de-bassin) の作成した流域の管理、財政に関する長期計画を認可する。

流域財務庁は技術ならびに財政計画を担当し、前者に関しては水資源開発に関する各種の技術援助を各レベルの地方公共団体あるいは企業に与えるとともに、後者については、受益者負担金の査定を行なっている。このようにして得られた資金は各種の補助金あるいは財政借入金として新しい事業の施設建設に用いられている。

要するに、フランスの現行制度は、流域水管理と全国的・地域経済計画とを結びつけようとしたものであり、この点よりみれば正しく画期的であり、通常の流域水管理の概念を越えたものである。

(2) イングランド・ウェールズ

イングランドおよびウェールズにおける河川管理は、水資源庁 (Water Resources Board) の助言と指導のもとに運営される29の地方河川局 (river authorities) によって行なわれている。(図-3参照)。すなわち、水資源保全、洪水防禦、舟運、レクリエーション、漁業、上下水道などを担当している。

これらの地方河川局は1963年施行された水資源法によって設立されたものであり、その理事会は21名以上の理事より構成されている。なお理事のうち、少くとも半数は当河川局管轄下の市会からの選出理事であり、他は漁業、農業、公共用水、工業などのグループより選ばれることになっている。

水資源開発資金は水利権保有者に課した負担金および料金より成り立っている。なお、この地方河川局に加え、約1500の機関が上・下水を中心としたサービスを行なっている。

しかし、この現行制度は内水排除、漁業には好ましいが、河川管理、水資源保全、上・下水など流域全体にわたる問題の解決には適しないことが明らかにされたので、英国政府は新しく10の地域河川局 (Regional Water Authorities) を設立し、現在の地方河川局と地方公共機関の行なっている各種の水管理行政を併せようと考えている。

(3) オランダ

Meuse, Rhine, Yssel湖、主要舟航運河、河口、沿岸水域は公共水域といわれ、Ministerie van Verkeer en Waterstaatによって管理されるとともに、その他の小水路は約1400に及ぶWaterschapによって管理されている。

このような水管理の細分化は、水の統合管理の実が挙がらず、近く統一される見込みである。

CIRCONSCRIPTIONS DES BASSINS

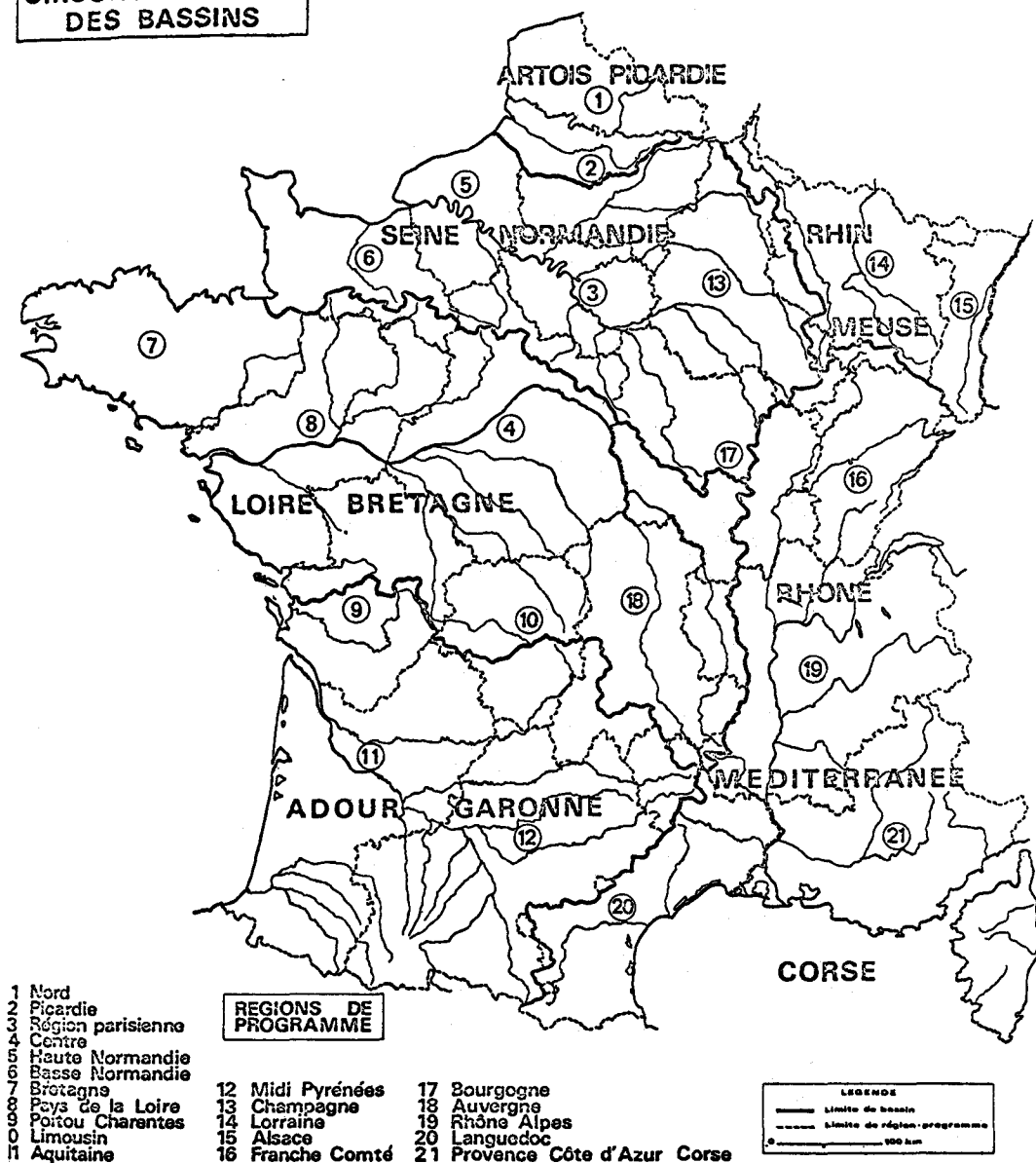


図-2 フランスにおける水管理に関する流域図

AREAS OF RIVER AUTHORITIES



Produced by Sidney-Barton Limited.

Printed by Edwin Jones & Sons (London) Ltd.

図-3 イングランド・ウェールズにおける
水管理流域図

(4) 西 独

12,000 に及ぶ小規模な water association によって、上・下水、水資源開発、治水、その他の水管理が行なわれている。これらの多くの協会のなかでもっとも著名なものは Ruhr 地方における水管理であり、技術的には、Ruhr 河、Emscher 河、Lippe 河の 3 川にそれぞれ飲料水、排水流下、工業・農業用水の使命を与えるとともに、行政的には、Ruhrtalsberrenverein (RTV) および Ruhrverband (RV) とに分かれ、それぞれ水量および水質管理を行なっている。

RTV では、年間財政負担金の額により二つの部会に分れており、それぞれ予算の批准と事業の実施が行なわれる。なお、水利権は専門家の助言とあいまち、各部会へ申し出ることになっている。

一方、RV はこの流域の汚染防止事業を担当している。これらの Ruhr 地方の経験により、西ドイツの水管理制度は改善の必要がみとめられ、現行のものより流域水管理へと動くことが予想されている。

(5) フィンランド

フィンランドにおける水管理行政は National Board of Waters によって行なわれている。すなわち、1970 年 1 月 9 日施行の Water Administration Law によってフィンランド全国を 13 の地域に分けて次の各項目の管理を行なっている。

- i. 水の総合利用を考えた計画立案
- ii. 水質保全
- iii. 上・下水道施設の開発・管理
- iv. レクリエーションの促進
- v. 水力発電
- vi. 洪水防禦
- vii. 水管理
- viii. 水に関する各種の研究

4 環境に及ぼす影響の評価

(1) 環境に及ぼす影響の評価

これまでに述べたことから想像されるように、水管理は多方面にまたがるものであり、しかも土木技術者がそれを受けもたなければならないから、われわれはこれらの各側面をどのような形で対応するかが大きな問題となる。従来においては、土木技術者は水管理とその事業の技術的側面を受けもち、それに終始するのが常であった。戦後、事業の経済性が問われるようになり、とくに多目的水管理事業における費用割振の問題において経済的側面が大きく取りあげられるようになった。

一方、近年における事業の巨大化はわれわれをとりまく環境を大いに変化させるようになった。このため、環境に及ぼす影響を明らかにすることが必要であって、水管理とそれともなう事業は、技術的側面、経済的側面ならびに環境的側面の 3 面より取り扱われなければならないこととなった。ここで述べた環境とは、2 で述べた流域環境をいうのであって、特徴的に述べると、流域の物理・化学的特徴、生物的条件、社会のおよび感覚的要素、生態的關係などで表現される。

技術的側面ならびに経済的側面における要素はほぼ計量化しうるものである。ところが、環境的側面はなかなか計量化されうるものでない。しかし、最近、淀川流域における社会環境調査⁹⁾は計量化への試みであって、次第にその方面の動きが活潑になるであろう。

(2) 環境インパクトマトリックス

水管理およびその事業をすすめるに当って、その環境に及ぼす影響がどの程度の大きさであり、ま

たどの程度の重要性をもっているかを調べる方法に環境インパクトマトリックスがある。現在、世界の各国でこの問題をどう取り扱うかあるいは法律・制度的にどうすべきであるかなどが検討されているが、その最初に行なわれたものが米国における環境インパクト申告書¹⁰である。

a. Leopold マトリックス

1969年に制定された国家環境政策法（U.S. National Environmental Policy Act-1969）の第102条(c)に定められたもので、環境に影響を及ぼすおそれのある計画立案あるいは政策決定にあたって組織的、学際的に行なうことになっている。実際には

- i. 事業実施によって環境に及ぼす影響
- ii. さけることのできない悪影響
- iii. 計画案に対する代替案
- iv. 局地的、短期的な環境の利用と長期的な生産性の維持・向上について
- v. 事業実施にともなう生ずる資源に対する回復不可能な影響

を調査し、それに対する結果を環境インパクト申告書として示すようになっている。この事業と環境との関連がマトリックスの形で示されるものであり、横方向、すなわち行には、先に述べた物理・化学的特徴として、大地、水、大気ならびにその挙動を、生物的条件として植物ならびに動物に関する各種の特徴、社会的および感覚的要素として、土地利用、レクリエーション、美的ならびに人間的興味、文化の程度、人類活動と各種土木施設、各種の生態的関係が記載されている。一方、縦方向の列には、環境に影響する事業内容として、流域形態の変化、交通施設ならびに各種土木工事、資源採取、製造工程、土地形状の変化、資源の再利用、交通形態の変化、各種廃棄物の処理、農業・農肥・その他化学薬品、災害、その他である。こうして得られた関連要素の行列の元素は8800である。

具体的には、環境要素と事業内容とで関連のおこりうる元素に斜線を引き、左上半分に影響の大きさ、広がり、程度を示す数値を入れ、右下半分に重要度あるいは意義を示す数値を記入する。この場合、影響あるいは重要度の最大を10に、最小を1にして学際的チームによって作られる。明らかに一種のチェックリストであり、これ以上の定量化は行なわれえない。しかし、この方法の利点は

- i. 系統的に取り扱われる。
- ii. 学際的に解析される。
- iii. 研究計画の作成に好都合である。

などであり、一方欠点として

- i. あまりに複雑である（8800個の関連性をもつ）
- ii. 複雑なシステムでは中間的な関連表を作りえない
- iii. 時間的な影響が入らない

などが挙げられる。カナダでは、1～10の数値の代りに、重大な影響あり、中程度、影響は少ない、一時的である、および多分影響があるという5段階に分けている。

b. Soreisen マトリックス¹¹

これは米国カリフォルニア海岸地域の環境計画の樹立にあたって開発されたものであり、利用・開発とそれにとまなう原因要素との関連表を作り、関連のあるものについて、好ましからざる影響を初期段階、第2段階および影響という形にわけて示すものである。ついで、これの悪影響を除去する手段としての方法（corrective actions）、法制的方法（control mechanism）および関係（reference-index）を示すものである。

この方法の利点は

i. 原因と結果との関係が示される

ii. 計算機にかけやすいため、情報処理が簡単である。

が挙げられ、一方、欠点として

i. 影響の大きさ、意義が評価しえない

ことがある。

C. Fischer-Davies マトリックス¹²⁾

カナダ、Waterloo 大学の Fischer ならびに Davies がこれまでの各種のマトリックス法の改良を試み
て行なったもので、

i. 環境度評価 (environmental baseline evaluation)

ii. 環境-事業計画関連マトリックス (environmental compatability matrix)

iii. 決定マトリックス (decision matrix)

の3段階より成っている。

まず第1段階の環境度評価においては、生物的、物理・化学的、社会的、生物社会的環境要素を重要度、現在の状態ならびに必要な管理程度の3分類について学際的チームによって1～5に分けて評価する。これらの環境要素のうち、4あるいは5という重要度をもつもののみを抽出し、第2段階への評価に移る。行として、上述の重要度の高い環境要素をとり、列には開発・管理などの事業にともなう各種の活動を取り、活動による将来の環境破壊を概観しようとするものである。同様に影響の大きさは1～5で計量するが、好ましい影響を与えるものには+、また悪化させるものには-をつける。またさらに、影響が短期間であるか長期に亘るものであるかによって、数値の後にSあるいはLを付けて分類する。同じく、4および5の関連をもつ環境要素について第3段階の決定マトリックスを作成する。列欄には、事業計画の各種代替案を列記する。すなわち、第1段階の現在の状態で示された評価をまず「事業なし (no project)」で示し、次いで各種の代替案を考えられる施設計画 (structural alternatives)、土地利用、保険などによる非施設計画 (non-structural alternatives)、および場所的な代替案にわけてそれぞれ評価するというものである。

なお、この決定マトリックスには受益者、新規発展の可能性、不確定効果、補償、各種の管理などの関係も別につけ加えられている。

この方法の利点には、

i. 現在の環境およびそれに及ぼす影響が広く取り扱われる。

ii. 多方面からの解析が行なわれうる。

iii. 将来の研究課題が明確にされる。

iv. 代替案のそれぞれが同様に取り扱われる。

などが挙げられる。

(3) 便益 — 費用解析

経済理論における便益 — 費用解析 (benefit-cost analysis) を環境の評価に用いようとするものであって、原理的には何ら変ることではない。すなわち、

$$\sum \frac{B_t - C_t}{(1+r)^t} - P$$

を求めることになる。ここに、 B_t : t 年目における環境破壊防止による便益、 C_t : 破壊防止のための費用、 $\sum$: 破壊防止期間、 P : 環境計画における防止費用、 r : 利子率である。

ところが、環境に及ぼす影響は経済的、政治的、社会的などの各側面よりきわめて複雑であって、

Identification	Evaluation														
	Scale of Importance					Scale of Present Condition					Scale of Management				
Environmental Elements/Units	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
	low				high	low				high	low				high
Biological:															
flora															
fauna															
ecological relationships															
Physical-Chemical:															
atmosphere															
water															
earth															
Cultural:															
households															
communities															
economy															
communications															
Bio-cultural linkages/units:															
resources															
recreation															
conservation															

図-4 環境度評価の一例

Existing Environment	Introduced Activities											
	Manufacturing	Commerce	Residence	Agricultural	Recreation	Energy	Transportation	Extractive	Water	Waste Disposal	Education	Conservation
Biological												
Physical-Chemical												
Cultural												
Bio-cultural												

図-5 環境-事業計画関連マトリックスの一例

Alternatives Decision Criteria	No Project (Baseline)	Structural Alternatives (1 n)	Non-structural Alternatives (1 n)	Locational Alternatives (1 n)	Comments
Ecological					
Physical - Chemical					
Cultural					
Bio-cultural					
Additional :					
Incidence					
Access					
Uncertainty					
Compensation					
Management					
Controls					

図一6 決定マトリックスの一例

現実にはあまりにも多くの制約条件が加わり、実際には2次的な判断の材料としかなりえないものである。したがって、この方法が利用されることはあまりない。

(4) 要素形状解析¹³⁾

Bishopらは高速道路建設にともなう間接的、環境的、社会的な影響を調査する方法を開発していたが、それを水資源開発に適用した。この方法は貨幣的価値の決定のむずかしい環境的、社会的、感覚的要素を事業計画の各種代替案について適当な尺度のもとで比較することに外ならない。この場合、好ましい影響を与えるものに+を、また好ましからざるものに-の符号をつけ、横軸に尺度を、縦軸に関連する要素をとり、このグラフ上で棒グラフを作成し、各種の代替案を比較する。この定量化ももちろん感覚的であって、一般に学際的チームによって作られるのが望ましい。

5 環境インパクト評価の水管理への導入

(1) 水管理事業計画の作成

水管理およびそれに関連する事業のすすめ方は、各国において個有のものがあり、一括するわけにはいかない。わが国においてもきわめて複雑な制度的、組織的、行政の手順によって進められているが、これらを概括していわゆるフロー・チャート式に表せば表-3のようになる。表において、左欄は計画各段階のそれを示し、中央欄はその段階において考えられる各レベルの代替案の作成および関係者間の調整を示し、また右欄はその段階における環境情報のとり方を表わしている。もちろん、この情報の解析は現在のところ自然環境

の情報、すなわち計量化しうるものにとどまっていることはいうまでもない。表-3はあくまで理想化したものであって、現在ではきわめて複雑かつ不明確である。

(2) 環境インパクト評価の水管理への導入

前項の表-3でわかるように、水管理事業達成には多くの管理的、技術的、規模および工期に関する代替案が考えられ、これらのすべてに対する実施計画案をさらに技術的ならびに経済的側面から比較検討し、最も好ましい事業案を作成するのが普通である。ところが、環境に及ぼす影響がきわめて大きいのが普通であって、この側面からの問題も同時に検討されなければならない。この関係をフロー・チャートに示せば図-7のようになる。もちろん、これは手順を示すにすぎない。実際、すでに何度も述べたように、技術的側面、経済的側面の検討は計量化されたもので行なわれうるのに反し、環境的

表-3 水管理事業のすすめ方

計画段階	用いられる手順	環境情報
(必要性) ↓ 計画の確認 ↓ 代替案の作成 ↓ 最適解の検討 ↓ 計画の完成 ↓ 実施 ↓ 再検討	目標に関する代替案 制度的代替案 管理方式の代替案 技術的代替案 規模、工期の代替案 関係各官庁間の調査 社会・経済的解析 費用分振り 環境解析 財政計画 関係各官庁間の調整	調査開始 詳細な調査 予備的解析 詳細な解析 再検討

律の適用によって行なわれるかに起因するものである。多くの場合、国の補助金との関連もあり、大きく問題視されるものである。

Ⅲ．管理方式の代替案 …… これは、たとえば治水事業において堤防方式によるか貯水池方式によるか、あるいは併用するかといったことに関連するものである。現実には、なかなか一義的に決定されるものではない。

Ⅳ．技術的代替案 …… ここで述べるものは、たとえば必要貯水容量を単一ダムで達成させるか、多数のダムで行なうかに関するものであり、いくつかの組合せが考えられる。

Ⅴ．規模、工期に関する代替案 …… 一つの事業を進めるにあたって、規模をどの程度にするか、また工期をどのように定めるかのものであり、基本的要件の一つである。

計画がシステムの的に進められるようになると、これら各種のレベルの代替案は同時に検討されなければならない。従来においては、むしろ一つづつ試行錯誤的に提出されてきた気配が濃いけれども、今後は次第にシステムの的になってくるものと思われる。

とくに、代替案提出の意義が上述のシステム解析的なものにとどまらず、管理機関が少数意見、反対意見をどう汲み上げるかといういわゆる市民参加の問題と関連をもつことである。多くの場合、反対運動は情緒的なものと施設計画に関するものがあり、前者は水管理計画による流域の未来への展望を語ることににより、また後者はさきに示した管理方式、技術的、規模、工期その他の代替案を示すことによって相当程度まで反対をおさえることができよう。さきに示したフランスのセーヌ河流域における未来像⁷⁾は前者の例の典型である。

6 おわりに

ここでは、水管理と環境という表題のもとに、水管理の達成すべき目標から流域環境がどのように認識され、どのように評価されて具体的な計画に導入されるかについて現況の概要を示した。この課題はごく新しいものであり、現在その進むべき方向は混々としており、すべてが今後の問題であるといわれよう。しかしながら、環境インパクトの評価を水管理を初めすべての公共事業に取り入れられることは事実であり、また世界的にも同様である。

ところが、環境インパクトの評価はなかなか計量化しうるものでないから、その解析がむずかしい。属性解析などの新しい研究分野の展開、システムの手法による管理計画の発展が望まれる。

参 考 文 献

1. Y. Iwasa : Incorporation of environmental informations into water management decisions in Japan, Paper presented at the Special Meeting of the Water Management Sector Group, Environment Committee, OECD, Paris, Feb, 1972
2. W.A. Wright : Economic and social purposes related to water management, Water Management Sector Group, Environment Directorate, OECD, Paris, June 1972
3. N. Buras : Dynamic programming in water resources development, Advances in Hydrosience, edited by V.T. Chow, Vol. 3, 1966
4. たとえば、高棹琢馬：流出機構，1967年度水工学に関する夏期研修会講義集，A．河川コース，土木学会水理委員会，guly 1967
5. A.N. Strahler : Quantitative geomorphology, Encyclopedia of geomorphology, edited by R. W. Fairbridge, Reinhold, New York, 1968

6. L.A.Herndl : Proposal for a U. S. national water atlas, Water Resources Bulletin Vol. 6, No 1, Jan. - Feb. 1970
7. La Documentation Francaise : L'eau en seine - normandie, schéma général d'aménagement de la France, Agence financière de bassin seine - normandie, Sept. 1969
8. 岩佐義朗：流域水管理制度の現況（西欧諸国における実情），特定研究「環境汚染制御」，報告書 47-02, Oct. 1972
9. 川崎精一：都市化流域における河川システムに関する研究，Mar. 1973
10. 金屋敷忠儀：米国における環境アセスメントについて，月刊建設，Nov. 1972
11. たとえば，土木学会・建設省：環境インパクトアセスメント講習会講義集，June 1973
12. D.W.Fischer and G.S.Davies : An approach to assessing environmental impacts, 土木学会・建設省講習会，June 1973
13. A.B. Bishop : An approach to evaluating environmental, social and economic factors in water resources planning, Water Resources Bulletin, Vol. 8, No 4, Aug. 1972